

انتخاب سیستم برتر: کامیون یا نوارنقاله در معدن سنگ آهن گهرزمین

سید کاظم اورعی^{۱*}؛ مهدی تهامی کوهبنانی^۲؛ عباس سام^۳

۱- استاد دانشگاه استرلینگ انگلستان: Sko1@stir.ac.uk

۲- کارشناس ارشد استخراج معدن، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء- موسسه حرا: TahamiK@gmail.com

۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان: Sam@uk.ac.ir

(دریافت ۲۸ خرداد ۱۳۸۷، پذیرش ۲۹ فروردین ۱۳۸۸)

چکیده

بارگیری و حمل مواد، گران‌ترین فرآیند در استخراج معادن روباز است و معدن گهرزمین با بیش از ۶۰۰ میلیون تن ذخیره سنگ آهن در عمق متوسط ۳۵۰ متر، نیاز به روش مناسبی برای بارگیری و حمل سنگ آهن و نیز جابه‌جایی مواد باطله دارد. بالا بودن سطح آب زیرزمینی و وجود روباره‌ی زیاد، از مهم‌ترین عوامل موثر در طراحی بهینه سیستم ترابری در این معدن می‌باشد. در این مقاله، طبق طرح استخراجی معدن، دو روش مختلف حمل مواد ارایه شده است: روش اول، سیستم شاول-کامیون و روش دوم، حمل توسط نوارنقاله که در هر دو روش، سیستم سنگ‌شکنی و موقعیت آن نیز طراحی شده است. مقایسه فنی و اقتصادی این دو روش حمل نشان داد که استفاده از سیستم نوارنقاله و سنگ‌شکن درون کاواک نسبت به سیستم حمل با کامیون روش مناسب‌تری است که علاوه بر مزایای فنی از نظر اقتصادی نیز هزینه‌های کمتری دارد.

کلمات کلیدی

ترابری، معدن روباز، سنگ‌شکن داخل کاواک، نوارنقاله، کامیون، شاول، بهره‌وری.

* عهده‌دار مکاتبات

۱- مقدمه

روش‌های معدن‌کاری گوناگونی برای استخراج ذخیره‌های معدنی در جهان استفاده می‌شود؛ اما در مورد هر ذخیره، تنها یک روش وجود دارد که از روش‌های معدن‌کاری دیگر از نظر فنی و اقتصادی مناسب‌تر است. بیش‌ترین هزینه در استخراج معدن روباز مربوط به حمل مواد است؛ بنابراین، یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقتصادی در یک معدن، هزینه ترابری مواد خواهد بود که قادر است یک ذخیره معدنی را اقتصادی و یا غیر اقتصادی نماید.

تاکنون در معدن روباز روش‌های مختلفی جهت حمل مواد استفاده شده است که از مهم‌ترین آن‌ها سیستم حمل با نوارنقاله و سیستم حمل با کامیون می‌باشد. روش حمل با کامیون متداول‌ترین سیستم حمل مواد است که تقریباً در تمامی معدن روباز ایران از این سیستم استفاده می‌شود. بالا بودن هزینه‌های عملیاتی سیستم شاول-کامیون به دلیل استهلاک زیاد و کثرت نیروی انسانی مورد نیاز و از طرف دیگر افزایش مسافت حمل با کامیون (که از نظر اقتصادی دارای محدودیت‌هایی است) باعث شده‌اند سیستم حمل با کامیون با مشکلاتی مواجه شده و حتی در برخی از معدن‌قادر به کار نباشد.

نوارنقاله به‌عنوان کلید اصلی سیستم‌های معدن‌کاری پیوسته چند دهه‌ای است که در معدن روباز از جمله: معدن چاکویکاماتا^۱ در شیلی [۱] و معدن هایلندوالی^۲ در کانادا [۲] به‌کار گرفته شده است. به منظور استفاده از نوارنقاله در معدن بایستی ابعاد سنگ‌ها به اندازه‌ای قابل حمل برای نوارنقاله کاهش یابد که این عمل توسط سنگ‌شکن انجام می‌گیرد. این سنگ‌شکن‌ها در درون کاواک قرار داشته و از نظر قابلیت حرکت انواع مختلفی دارند.

گهرزمین با ذخیره زمین‌شناسی حدود ۶۰۰ میلیون تن سنگ‌آهن که بیش از ۳۰ درصد از این میزان به روش روباز با نسبت باطله‌برداری ۳:۱ استخراج خواهد شد [۳]، نیاز به روش مناسبی برای حمل مواد دارد که از نظر فنی و اقتصادی قابل اجرا و بهینه باشد. در این مقاله با طراحی سیستم شاول-کامیون در دو و سه شیفت کاری به صورت جداگانه و مقایسه فنی و اقتصادی آن‌ها با سیستم حمل‌نواری، مناسب‌ترین سیستم ترابری برای معدن گهرزمین از میان این گزینه‌ها انتخاب می‌شود.

۲- سیستم‌های حمل و نقل متاثر از موقعیت سنگ‌شکن

جابه‌جایی مواد در معدن روباز اهمیت فراوانی دارد؛ زیرا بیش از ۴۰ درصد از کل هزینه‌های معدن‌کاری را به خود اختصاص می‌دهد [۴]. سیستم‌های حمل با کامیون و حمل با نوار هر کدام ویژگی‌هایی دارند که استفاده آن‌ها را در یک معدن ممکن و یا غیر ممکن می‌سازد. استفاده از نوارنقاله با وجود پیوسته نمودن تولید و ظرفیت بالا، محدودیت‌هایی نیز دارد که از مهم‌ترین آن‌ها اندازه ابعاد مواد است. سنگ‌شکن با خرد کردن سنگ‌ها و تقلیل اندازه آن‌ها استفاده از نوارنقاله را برای حمل مواد با ابعاد بزرگ ممکن می‌سازد. این سنگ‌شکن باید بین جبهه‌کارها و کارخانه کانه‌آرایی قرار گیرد. در این روش حمل مواد از جبهه‌کار تا سنگ‌شکن توسط کامیون و بعد از سنگ‌شکن توسط نوار انجام می‌شود.

موقعیت سنگ‌شکن و جابه‌جایی آن در کاواک سیستم‌های معدن‌کاری مختلفی ایجاد می‌کند. انتخاب محل و نوع مناسب سنگ‌شکن، ناشی از بررسی فنی و اقتصادی بین سیستم‌های معدن‌کاری به‌وجود آمده است.

هرچه سنگ‌شکن به جبهه‌کار استخراجی نزدیک‌تر شود حمل با نوار طولانی‌تر و فاصله حمل با کامیون و به تبع آن اندازه ناوگان کامیونی کوچک‌تر خواهد شد. فاصله سنگ‌شکن تا جبهه‌کارها می‌تواند آن‌قدر کاهش یابد که هیچ نیازی به کامیون نباشد و ماشین‌آلات بارگیری به‌صورت مستقیم مواد را به داخل سنگ‌شکن تخلیه کنند. این سیستم نیاز به سنگ‌شکن متحرکی دارد که بتواند از پیش‌روی ماشین بارگیر تبعیت کند. این روش معدن‌کاری که در شکل ۱-ب نشان داده شده است به نام سیستم سنگ‌شکنی متحرک داخل کاواک شناخته می‌شود و جزء سیستم‌های پیوسته معدن‌کاری محسوب می‌شود. سیستم سنگ‌شکنی متحرک در معادنی که میزان تولید کم و استخراج از جبهه‌کارهای محدودی انجام می‌گیرد، قابلیت کار دارد. اولین سنگ‌شکن بکارگیری شده در داخل کاواک نیز از نوع متحرک بوده که در سال ۱۹۵۶ در یک معدن سنگ آهک در آلمان [۵] استفاده شده است.

در صورتی که میزان تولید معدن زیاد و استخراج از جبهه‌کارهای مختلف صورت گیرد استفاده از سنگ‌شکن متحرک امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین، سنگ‌شکن تا حد امکان در داخل کاواک به جبهه‌کارها نزدیک شده، اما باید در یک محل مناسب برای مدت زمانی مشخص نصب شود. این سیستم معدن‌کاری سیستم سنگ‌شکنی نیمه‌متحرک داخل کاواک نام دارد (شکل ۱-الف). سیستم سنگ‌شکن نیمه‌متحرک نیاز به ناوگان کامیون کوچکی دارد که مواد را از ماشین بارگیر گرفته و به

ذخیره شماره ۳ با نام گهرزمین از ذخایر گل گهر جدا شده و در حال حاضر مطالعات اکتشاف تفصیلی این توده با بیش از ۴۴ هزار متر حفاری انجام شده است و مطالعات فنی و اقتصادی مقدماتی آن نیز توسط شرکت ADC کانادا صورت پذیرفته و عملیات خاک برداری در آن آغاز شده است. کانسار معدن گهرزمین به طول ۲۲۰۰ متر در راستای شمالی- جنوبی و با عرض متوسط ۲۴۰۰ متر، در غرب معدن شماره یک گل گهر، در زیر دشت نسبتاً همواری قرار دارد. سنگ آهن در این معدن از نوع مگنتیت بوده و به طور متوسط شامل ۵۴ درصد آهن و ۲۲ درصد اکسید آهن است. پله‌های معدنی به ارتفاع ۱۵ متر طراحی شده و عمق کاوک در پایان سال پانزدهم (فاز اول استخراج) به حدود ۲۷۰ متر می‌رسد.

۴- طراحی سیستم شاول و کامیون

سیستم شاول-کامیون بر اساس ۳۱۰ روز کاری در سال، در دو شیفت ۸ ساعته در روز طراحی شد و زمان مفید این سیستم در هر شیفت ۶ ساعت منظور گردید.

۴-۱- محاسبه تعداد شاول و کامیون

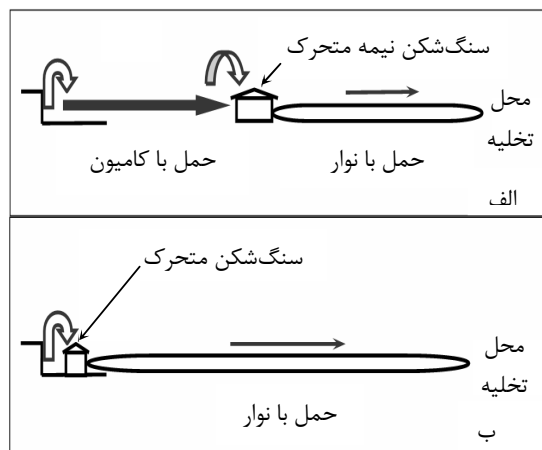
ظرفیت شاول‌ها و کامیون‌ها بر اساس فاکتورهای مانند: نوع مواد، ارتفاع پله، میزان تولید و میزان کارایی تجهیزات در شرایط ویژه معدن تعیین شدند که برای مواد روباره و باطله شاول با ظرفیت ۱۵ مترمکعب و برای ماده معدنی شاول با جام ۹ مترمکعب و ظرفیت کامیون نیز برای همه مواد ۱۰۰ تن انتخاب شد.

وزن مخصوص سنگ آهن، سنگ باطله و روباره به ترتیب ۴/۱۳، ۲/۶۵ و ۲/۰۱۷ تن در هر مترمکعب می‌باشد که فاکتور تورم سنگ آهن و باطله ۱/۴ و روباره ۱/۳ است. متوسط تولید شاول در هر ساعت برای سنگ آهن ۱۷۳۳، برای سنگ باطله ۲۱۵۴ و برای روباره ۱۸۷۰ تن محاسبه شد. تعداد شاول در سیستم شاول-کامیون طبق میزان تولید معدن در هر سال محاسبه و بر اساس دسترسی مکانیکی آن تعیین گردید. کانادا [۳] ADC پیش‌بینی مقدار تولید معدن توسط شرکت انجام شده که در

جدول ۱ نشان داده شده است.

ضریب دسترسی مکانیکی برای شاول طبق آمار جمع‌آوری شده از معادن دیگر از جمله معدن گل گهر در سال اول ۸۰ درصد، در سال‌های دوم تا پنجم ۷۵ درصد و سال‌های بعد ۷۰ درصد در نظر گرفته شد [۶]. تعداد کامیون مورد نیاز بر اساس میزان تولید آن‌ها محاسبه شده است. با توجه به فاصله‌های حمل در

سنگ‌شکن تحویل دهد. سیستم سنگ‌شکنی نیمه‌متحرک علاوه بر داشتن مزایای استفاده از نوار نقاله، به دلیل وجود کامیون‌ها انعطاف‌پذیر نیز می‌باشد که این سیستم را تقریباً در تمامی معادن روباز قابل استفاده کرده است.



شکل ۱: جریان مواد در سیستم‌های سنگ‌شکنی نیمه‌متحرک (الف) و متحرک (ب)

۳- معدن سنگ آهن گهرزمین

معدن سنگ آهن گهرزمین و گل گهر در جنوب غربی سیرجان در استان کرمان واقع شده‌اند (شکل ۲). مجتمع معدنی گل گهر با ۱۱۰۰ میلیون تن ذخیره سنگ آهن در شش توده معدنی دارای بیش‌ترین ذخیره سنگ آهن در کشور است که از این میان، توده شماره ۳ با ذخیره‌های حدود ۶۰۰ میلیون تن، بزرگ‌ترین آن‌ها است.



شکل ۲: موقعیت معدن گهرزمین

محدوده کاواک و در شمال معدن در نظر گرفته شد. علاوه بر این با طراحی یک سرند گریزلی با دهانه ۲۰ سانتی متر حدود ۳۵ درصد از میزان خوراک ورودی به سنگ شکن کاهش خواهد یافت که با توجه به این مطلب سنگ شکن با ظرفیت کوچک تری انتخاب شد. مشخصات این سنگ شکن در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۳: تعداد شاول و کامیون مورد نیاز در سیستم شاول-کامیون

| تعداد شاول | تعداد کامیون مورد نیاز | | | | زمان (سال) |
|------------|------------------------|--------|-------|---------|------------|
| | مجموع | روباره | باطله | سنگ آهن | |
| ۶ | ۴۰ | ۱۲/۳ | ۱۱/۶ | ۷/۶ | ۱ |
| ۷ | ۳۷ | ۱۵/۴ | ۶/۴ | ۷/۴ | ۲ |
| ۷ | ۴۰ | ۲۱/۰ | ۳/۴ | ۷/۵ | ۳ |
| ۷ | ۴۲ | ۲۰/۴ | ۲/۹ | ۷/۷ | ۴ |
| ۷ | ۴۶ | ۲۵/۴ | ۰/۵ | ۸/۲ | ۵ |
| ۷ | ۵۴ | ۱۴/۰ | ۱۵/۷ | ۱۰/۴ | ۶-۱۰ |
| ۳ | ۲۲ | - | ۳/۹ | ۱۲/۰ | ۱۱-۱۵ |

جدول ۴: سنگ شکن مورد نیاز معدن برای نصب در خارج از کاواک به صورت ثابت

| | |
|-------------|---------------------------|
| ۴۸"-۷۵" | نوع سنگ شکن ژیراتوری |
| ۱۲۱۹mm | اندازه دهانه ورودی |
| ۱۹۰۵ mm | قطر پایین کلاهک خرد کننده |
| ۴۰۰K | حداکثر قدرت |
| ۳۱۰۰ Ton/hr | حداکثر ظرفیت |
| ۱۲ تا ۲۰ cm | دهانه‌ی خروجی |

۵- سیستم سنگ شکنی درون کاواک و حمل با نوارنقاله

حمل مواد توسط نوارنقاله نیاز به سنگ شکن دارد تا مواد را به اندازه‌های قابل حمل برای نوار تبدیل کند. حمل مواد باطله و ماده معدنی به صورت جداگانه باید توسط نوارنقاله صورت گیرد؛ بنابراین در این معدن باید دو سیستم سنگ شکنی مجزا برای سنگ آهن و مواد باطله طراحی شود.

۵-۱- طراحی سیستم سنگ شکنی درون کاواک برای سنگ آهن

مدت زمان فاز ۱ (۱۵ سال اول استخراج) و سرعت کامیون‌ها در موقعیت‌های مختلف، زمان سیکل کاری و نرخ تولید کامیون محاسبه شد که این میزان تولید در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱: پیش بینی مقدار تولید در معدن گهرزمین

| سال | میزان تولید برنامه‌ریزی شده (میلیون تن) | | |
|---------------|---|-------|--------|
| | سنگ آهن | باطله | روباره |
| سال ۱ | ۹ | ۱۱ | ۱۳ |
| سال ۲ | ۸ | ۵ | ۱۹ |
| سال ۳ | ۸ | ۲ | ۲۳ |
| سال ۴ | ۸ | ۲ | ۲۳ |
| سال ۵ | ۸ | ۰/۳ | ۲۵ |
| سال‌های ۱۰-۶ | ۴۲ | ۵۷ | ۶۶ |
| سال‌های ۱۵-۱۱ | ۳۹ | ۱۲ | ۰ |

جدول ۲: میزان تولید کامیون در سیستم شاول کامیون

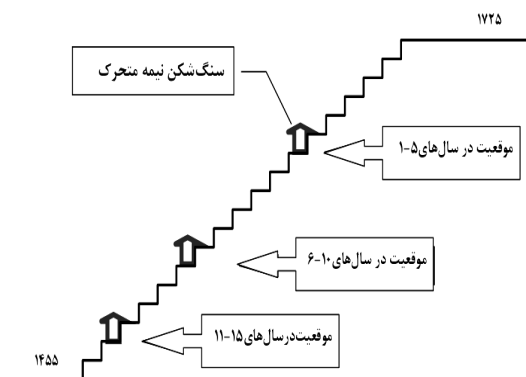
| سال | میزان تولید هر کامیون (تن در ساعت) | | |
|---------------|------------------------------------|-------|--------|
| | سنگ آهن | باطله | روباره |
| سال ۱ | ۳۲۵/۴ | ۲۵۲/۵ | ۲۸۴/۳ |
| سال ۲ | ۳۰۳/۳ | ۲۱۸/۱ | ۳۳۹/۳ |
| سال ۳ | ۲۸۴/۱ | ۲۰۴/۸ | ۲۹۱/۷ |
| سال ۴ | ۲۷۵/۳ | ۲۰۹/۶ | ۳۰۰/۸ |
| سال ۵ | ۲۵۹/۳ | ۱۶۷/۲ | ۲۶۲/۵ |
| سال‌های ۱۰-۶ | ۲۱۵/۸ | ۱۹۵/۹ | ۲۵۳/۷ |
| سال‌های ۱۵-۱۱ | ۱۷۳/۸ | ۱۷۱/۶ | - |

تعداد کامیون طبق میزان تولید معدن و نرخ تولید کامیون در هر سال محاسبه و تعداد کل کامیون مورد نیاز برای ماده معدنی و باطله در جدول ۳ نشان داده شده است. در محاسبه تعداد کامیون، ضریب دسترسی مکانیکی برای سه سال اول ۸۰ درصد و برای سال‌های بعد ۷۵ درصد [۶] در نظر گرفته شده است.

۴-۲- طراحی سنگ شکن ثابت برای سیستم شاول-کامیون

ظرفیت سنگ شکن بر اساس حداکثر میزان تولید ماده‌ی معدنی محاسبه شد. نوع سنگ شکن بر طبق ظرفیت مورد نیاز، مقاومت و خواص مواد، نسبت خردکنندگی مورد نیاز، حداکثر اندازه خوراک و میزان رطوبت مواد تعیین گردید؛ بنابراین در این معدن، سنگ شکن از نوع ژیراتوری و محل آن در خارج از

ژئراتوری 42×70 با حداکثر ظرفیت ۲۰۰۰ تن در ساعت انتخاب شد.



شکل ۳: موقعیت سنگ شکن نیمه متحرک در سال های مختلف

۱-۳- طراحی سیستم نوارنقاله برای سنگ آهن

نوارنقاله‌ها از نظر موقعیت در معدن به دو دسته تقسیم شدند.

الف) نوارنقاله‌های درون کاواک

ب) نوارنقاله‌های خارج از کاواک

نوارنقاله‌های درون کاواک بر اساس موقعیت سنگ شکن طراحی شده‌اند. بدین صورت که هر ۵ سال با جابه‌جا شدن و پایین رفتن سنگ شکن در کاواک، یک نوارنقاله‌ی جدید به سیستم قبل اضافه می‌شود. شیب مجاز نوارنقاله‌ها، حداکثر ۱۶ درجه [۶] و ظرفیت آن‌ها با توجه به حداکثر میزان تولید در سال‌های باقی‌مانده استخراج، طراحی گردید.

نوارنقاله‌های داخل کاواک برای سنگ آهن دارای سه بخش می‌باشد. بخش نخست که در سال اول نصب می‌شود به مدت ۵ سال، تنها نوارنقاله موجود در کاواک خواهد بود. این نوار، مواد را از نوار تخلیه زیر سنگ شکن دریافت کرده و تا ارتفاع ۹۵ متر، یعنی تا سطح زمین، حمل می‌کند. این نوارنقاله تا پایان عمر معدن در همین مسیر کار خواهد کرد. نوار مذکور با شماره ۶۳۵-O در طراحی‌ها مشخص گردیده که ۶۳۵ نشان دهنده پایین‌ترین افق نوارنقاله یعنی پله ۱۶۳۵ و 3O نشان دهنده موادی است که باید حمل شود.

نوار ۶۳۵-O، مواد را به نوارنقاله سطحی ۷۳۰-O که خارج از کاواک نصب شده است منتقل می‌کند. نوارنقاله دیگری در پایان سال پنجم استخراج با جابه‌جا شدن سنگ شکن به پله ۱۵۴۵، وارد سیستم حمل می‌شود به صورتی که مواد را از

۵-۱-۱- انتخاب نوع سیستم سنگ شکنی و موقعیت سنگ شکن

سنگ شکن در معدن گهرزمین به دلیل عمیق‌تر شدن هر ساله‌ی کاواک، بایستی جابه‌جا شود و به دلیل میزان تولید زیاد و انجام عملیات هم‌زمان در چندین پله، استفاده از سنگ شکن متحرک مقدور نمی‌باشد. مهم‌ترین پارامتر در زمان و میزان جابه‌جایی سنگ شکن، تعادل در فواصل بین جبهه‌کارها و سنگ شکن است. فرارگیری سنگ شکن در مرکز ثقل باربری اهمیت فراوانی دارد.

با توجه به برنامه‌ریزی تولید در معدن گهرزمین و میزان تولید از هر پله در هر سال و موقعیت و وضعیت پله‌های عملیاتی و دیواره‌ی نهایی معدن، اولین محل مناسب برای سنگ شکن، پله ۱۶۳۵ است که حدود ۹۵ متر از سطح زمین عمق دارد (ضخامت متوسط روباره حدود ۹۵ متر است که عملیات خاکبرداری آن طی یک فاز سه ساله در حال اجرا است). موقعیت سنگ شکن در این پله در دیواره شمالی کاواک - که به حد نهایی رسیده است - می‌باشد. سنگ شکن در این پله به مدت ۵ سال باقی می‌ماند که متوسط فاصله باربری برای کامیون‌ها در سال پنجم این دوره، حدود ۹۰۰ متر خواهد بود.

جابه‌جایی سنگ شکن در پایان سال پنجم انجام شده و محل جدید آن در پله ۱۵۴۵ یعنی ۹۰ متر پایین‌تر از محل قبلی خود می‌باشد. موقعیت سنگ شکن در این پله در دیواره شمالی و در گوشه شرقی کاواک پیش‌بینی شده است. سنگ شکن به مدت ۵ سال در این پله کار می‌کند که متوسط فاصله‌ی حمل در این دوره حدود ۶۰۰ متر است.

در پایان سال دهم، سنگ شکن باید ۶۰ متر پایین‌تر یعنی به پله ۱۴۸۵ منتقل شود. این مکان، محل نهایی سنگ شکن در دوره ۱۵ ساله استخراج است. در این مدت متوسط فاصله جبهه‌کارها تا سنگ شکن برای حمل کامیونی حدود ۷۰۰ متر است. موقعیت سنگ شکن نیمه متحرک در سال‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است.

۵-۱-۲- طراحی سنگ شکن برای خردایش سنگ آهن در سیستم سنگ شکنی نیمه متحرک درون کاواک

با توجه به قابلیت کار سیستم سنگ شکنی درون کاواک و حمل با نوار، این سیستم به صورت سه شیفت در روز طراحی گردید و کار مفید این سیستم ۶/۵ ساعت در هر شیفت در نظر گرفته شد. سنگ شکن مورد نیاز در سیستم سنگ شکنی نیمه متحرک بر اساس میزان تولید و خواص سنگ، از نوع

۵-۲- طراحی سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک برای مواد باطله

۵-۲-۱- انتخاب نوع سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک و تعیین موقعیت آن در سال‌های مختلف برای مواد باطله

سیستم سنگ‌شکنی مواد باطله همانند سیستم سنگ‌شکنی سنگ آهن از نوع نیمه‌متحرک و زمان جابه‌جایی آن هر ۵ سال یک بار طراحی شد. اولین محل این سنگ‌شکن در دیواره شمالی کاواک و در پله‌ی ۱۶۳۵ است. این سنگ‌شکن در سمت غرب سنگ‌شکن مربوط به سنگ آهن نصب می‌شود. متوسط فواصل حمل کامیون در این دوره ۵ ساله از ۷۰۰ متر آغاز شده و در سال آخر به طور میانگین تا ۹۵۰ متر می‌رسد.

در سال‌های ۶ تا ۱۰، باطله از پله‌های ۱۶۰۵ تا ۱۴۸۵ و روباره از پله‌های ۱۶۶۵ تا ۱۵۳۰ برداشت می‌شود. در این دوره سنگ‌شکن در پله ۱۵۴۵ مستقر می‌شود و محل آن باید در دیواره شمالی کاواک باشد. متوسط فاصله حمل برای کامیون‌ها ۱۲۵۰ متر خواهد بود.

در سال‌های ۱۱ تا ۱۵ به دلیل نبود روباره، میزان مواد باطله نسبت به دوره‌های قبل کمتر است و در مجموع در این ۵ سال حدود ۱۲/۵ میلیون تن سنگ‌باطله باید حمل شود که تقریباً یک پنجم میزان باطله در دوره ۵ ساله قبل است. این میزان کم که از پله‌های ۱۵۱۵ تا ۱۴۵۵ برداشت می‌شود، می‌تواند توسط کامیون با متوسط فاصله حمل ۱۲۰۰ متر به سنگ‌شکن در پله‌ی ۱۵۴۵ برده شود؛ بنابراین دیگر نیاز به جابجایی سنگ‌شکن در این دوره نیست.

۵-۲-۲- طراحی سنگ‌شکن برای خردایش مواد باطله در سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک

بیش‌ترین میزان تولید سنگ باطله ۲۳۴۰ تن در ساعت و روباره ۲۷۱۰ تن در ساعت است. با طراحی سرنده‌ی با دهانه ۳۰ سانتی‌متر حدود ۶۰ درصد از سنگ باطله و ۹۰ درصد از روباره از دهانه سرنده عبور خواهند کرد؛ بنابراین، میزان خوراک سنگ‌شکن در مجموع به ۱۲۸۰ تن در ساعت کاهش خواهد یافت. سنگ‌شکن مورد نیاز برای مواد باطله نیز همانند سنگ‌شکن نیمه متحرک سنگ آهن از نوع ژیراتوری ۴۲×۷۰ طراحی شد.

سنگ‌شکن دریافت کرده و به نوارنقاله ۶۳۵-O منتقل می‌کند. این نوار (۵۴۵-O) به ارتفاع ۹۰ متر مواد را بالا می‌برد. بخش سوم سیستم حمل داخل کاواک، نوارنقاله‌ی ۴۸۵-O است که در سال یازدهم به کار گرفته می‌شود. این نوار، مواد را به ارتفاع ۶۰ متر و از سنگ‌شکن تا نوار ۵۴۵-O جابه‌جا می‌کند. در جدول ۶ مشخصات کلی سیستم نوارنقاله برای حمل سنگ آهن نشان داده شده است. ظرفیت نوارها بر اساس حداکثر میزان تولید در سال‌های پس از نصب، طول نوار بر اساس ارتفاع بالابری و حداکثر شیب مجاز طراحی شد. عرض نوار به حداکثر اندازه‌ی مواد و میزان تولید وابسته بوده و قدرت مورد نیاز نوار به ارتفاع بالابری، میزان مواد و عرض نوار بستگی دارد.

۵-۱-۴- طراحی شاول و کامیون مورد نیاز در سیستم سنگ‌شکنی نیمه‌متحرک درون کاواک برای سنگ آهن

میزان تولید شاول در سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک برای سنگ آهن ۱۷۲۶ تن در ساعت می‌باشد. دلیل تفاوت این میزان با مقدار تولید شاول در سیستم شاول-کامیون اختلاف در ساعات کار مفید است. تعداد شاول مورد نیاز در سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک برای سنگ آهن در جدول ۵ محاسبه شده است. این تعداد بر اساس میزان تولید کامیون که متأثر از مسافت حمل بین جبهه کارها و سنگ‌شکن نیمه متحرک است، به‌دست آمده است.

جدول ۵: تعداد شاول و کامیون مورد نیاز در سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک برای سنگ آهن

| تعداد شاول | تعداد کامیون | میزان تولید هر کامیون (ton/h) | موقعیت سنگ شکن | زمان (سال) |
|------------|--------------|-------------------------------|----------------|------------|
| ۱/۱۳ | ۲/۶ | ۷۲۲/۶ | پله ۱۶۳۵ | ۱ |
| ۱/۰۷ | ۲/۶ | ۶۶۴/۱ | | ۲ |
| ۱/۰۷ | ۲/۹ | ۵۷۱/۴ | | ۳ |
| ۱/۰۷ | ۳/۲ | ۵۳۴/۱ | | ۴ |
| ۱/۰۷ | ۳/۷ | ۴۷۲/۵ | | ۵ |
| ۱/۱۴ | ۳/۲ | ۵۷۱/۴ | پله ۱۵۴۵ | ۶-۱۰ |
| ۱ | ۳/۲ | ۵۳۴/۱ | پله ۱۴۸۵ | ۱۱-۱۵ |

Error! Reference source not found. در سیستم

نشان داده شده است.

۴-۲-۵- طراحی شاول و کامیون در سیستم سنگ شکنی**نیمه متحرک داخل کاواک برای مواد باطله**

میزان تولید شاول در سنگ باطله ۲۱۵۰ تن در ساعت و برای روباره ۱۸۶۲ تن در ساعت است. تعداد شاول مورد نیاز برای مواد باطله حداکثر ۳ عدد خواهد بود که مربوط به سال‌های ششم تا دهم است. تعداد شاول در سال‌های مختلف در

جدول ۸ محاسبه شده است.

مسافت‌های حمل با کامیون با توجه به پیشرفت جبهه کارها و تغییر مکان سنگ شکن به‌طور متوسط در هر سال محاسبه شد و میزان تولید کامیون با توجه به زمان سیکل آن که فاکتوری از مسافت حمل است، محاسبه و سپس تعداد کامیون به‌دست آمد (

جدول ۸).

۵-۲-۳- طراحی سیستم نوارنقاله برای حمل مواد باطله

حمل مواد باطله توسط نوارنقاله به دلیل تخلیه مواد در دامپ از وسعت بیشتری نسبت به حمل سنگ آهن، برخوردار است. شیب نوارها در مورد مواد باطله نیز حداکثر ۱۶ درجه و ظرفیت آنها وابسته به میزان تولید معدن طراحی شدند.

سیستم نوارنقاله‌های درون کاواک برای مواد باطله شامل دو نوارنقاله است: نخستین نوارنقاله (W-۶۳۵) در سال اول و دومین نوارنقاله (W-۵۴۵) در سال ششم، شروع به کار می‌کند.

این نوارها به ترتیب ۹۵ و ۹۰ متر مواد را بالا می‌برند.

مجموعه نوارنقاله‌های خارج از کاواک شامل: دو نوارنقاله، یک رهاساز و دستگاه پخش کننده است. نوار W-۷۳۰، مواد را در دهانه کاواک از نوار W-۶۳۵ دریافت کرده و به دامپ باطله منتقل می‌کند. مواد باطله در روی دامپ به نوار W-۷۸۵ تحویل داده شده و این نوار مواد را به انتهای دامپ منتقل می‌کند. مواد توسط رهاساز به دستگاه پخش کننده منتقل شده و پس از آن با این دستگاه، دپو می‌شوند. ظرفیت نوارنقاله‌ها با توجه به بیشترین میزان تولید مواد باطله که برابر با ۲۵/۲ میلیون تن در سال است طراحی گردید. مشخصات کلی این

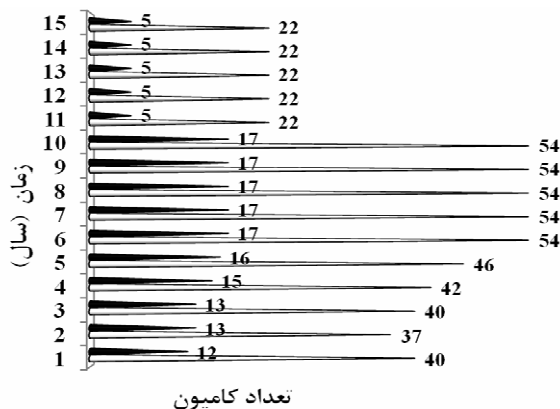
جدول ۶: مشخصات سیستم نوارنقاله برای حمل سنگ آهن

| نوارنقاله | موقعیت | ارتفاع بالابری (m) | تخلیه به | سال شروع به کار | مدت زمان کار | ظرفیت (t/h) | طول (m) | عرض نوار (cm) | سرعت (m/s) | قدرت مورد نیاز (kW) |
|-----------|------------|--------------------|------------|-----------------|--------------|-------------|---------|---------------|------------|---------------------|
| -۶۳۵O | درون کاواک | ۹۵ | -۷۳۰O | اول | ۱۵ سال | ۱۸۸۰ | ۳۵۰ | ۷۰ | ۴ | ۵۷۰ |
| -۵۴۵O | درون کاواک | ۹۰ | -۶۳۵O | ششم | ۱۰ سال | ۱۷۱۰ | ۳۳۰ | ۷۰ | ۳/۷ | ۴۹۵ |
| -۴۸۵O | درون کاواک | ۶۰ | -۵۴۵O | یازدهم | ۵ سال | ۱۶۰۰ | ۲۲۰ | ۷۰ | ۳/۵ | ۳۱۰ |
| -۷۳۰O | خارج کاواک | ۱۰ | کانه‌آرایی | اول | ۱۵ سال | ۱۸۸۰ | ۳۰۰ | ۷۰ | ۴ | ۱۲۰ |

جدول ۷: مشخصات سیستم نوارنقاله برای حمل مواد باطله

| نوارنقاله | موقعیت نسبت به کاواک | ارتفاع بالابری (m) | تخلیه به | سال شروع به کار | مدت زمان کار | ظرفیت (t/h) | طول (m) | عرض نوار (cm) | سرعت (m/s) | قدرت مورد نیاز (kW) |
|-----------|----------------------|--------------------|-----------|-----------------|--------------|-------------|---------|---------------|------------|---------------------|
| -۶۳۵W | داخل | ۹۵ | -۷۳۰W | اول | ۱۵ سال | ۵۱۵۰ | ۳۵۴ | ۱۳۷ | ۴/۸ | ۱۶۳۵ |
| -۵۴۵W | داخل | ۹۰ | -۶۳۵W | ششم | ۱۰ سال | ۵۱۵۰ | ۳۳۵ | ۱۳۷ | ۴/۸ | ۱۵۱۵ |
| -۷۳۰W | بیرون | ۵۰ | -۷۸۵W | اول | ۱۵ سال | ۵۱۵۰ | ۶۰۰ | ۱۳۷ | ۴/۸ | ۱۱۶۵ |
| -۷۸۵W | بیرون | ۰ | پخش کننده | اول | ۱۵ سال | ۵۱۵۰ | ۱۲۰۰ | ۱۳۷ | ۴/۸ | ۹۷۵ |

آب زیرزمینی در منطقه گهرزمین بالا بوده و کاواک تقریباً در عمق ۴۵ متری به سطح این آبها می‌رسد و چون روباره از دانه‌بندی ریزی تشکیل شده و حداقل تا عمق ۹۵ متری سطح زمین فقط روباره وجود دارد؛ احداث و نگهداری راه‌های حمل و استفاده از سیستم حمل کامیونی بسیار مشکل است؛ بنابراین هرچه تعداد کامیون در سیستم حمل مواد در این معدن، بیش‌تر باشد، مشکلات بیش‌تری را در پی خواهد داشت. تعداد کل کامیون مورد نیاز برای دو سیستم شاول-کامیون و سنگ‌شکنی درون کاواک در شکل ۴ برای سال‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. تعداد کامیون در سیستم شاول-کامیون به ۵۴ عدد می‌رسد که این تعداد نیاز به احداث جاده‌های طولی زیادی خواهد داشت در صورتی که سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک حداکثر ۱۷ کامیون نیاز دارد که ناوگانی کوچک‌تر از یک سوم ناوگان کامیون در سیستم شاول-کامیون خواهد بود.



■ سیستم شاول-کامیون □ سیستم سنگ شکن درون کاواک

شکل ۴: مقایسه تعداد کامیون در دو سیستم شاول-کامیون و سنگ‌شکنی درون کاواک

در سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک، نیاز به جاده‌های معدنی عریض و طولانی از کف تا دهانه‌ی کاواک نیست و جاده‌های معدنی فقط از جبهه‌کارها تا سنگ‌شکن درون کاواک ادامه خواهند داشت. علاوه بر این بیرون از کاواک نیز، نیاز به احداث مسیرهای حمل برای کامیون نمی‌باشد؛ بنابراین با این کاهش حجم جاده سازی و به تبع از آن، کاهش عملیات نگهداری و آب‌پاشی راه‌های معدنی، بسیاری از هزینه‌های حمل مواد حذف خواهد شد. در شکل ۵ مسافت‌های حمل برای کامیون‌ها در

جدول ۸: تعداد شاول و کامیون مورد نیاز در سیستم سنگ‌شکنی نیمه متحرک برای مواد باطله

| زمان | موقعیت سنگ شکن | میزان تولید هر کامیون (t/h) | تعداد کامیون مورد نیاز | تعداد شاول مورد نیاز |
|-----------|----------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|
| سال ۱ | پله ۱۶۳۵ | ۵۴۷/۸ | ۹ | ۲/۵ |
| سال ۲ | | ۴۹۹ | ۱۰/۲ | ۲/۸ |
| سال ۳ | | ۵۳۰ | ۹/۸ | ۲/۹ |
| سال ۴ | | ۴۹۹ | ۱۱/۱ | ۲/۹ |
| سال ۵ | | ۴۷۱ | ۱۱/۷ | ۲/۹ |
| سال ۶-۱۰ | پله ۱۵۴۵ | ۴۰۳/۲ | ۱۳/۵ | ۳ |
| سال ۱۱-۱۵ | | ۴۱۳/۱ | ۱/۳ | ۰/۳ |

۶- بررسی فنی و اقتصادی

۶-۱- مقایسه فنی دو سیستم شاول-کامیون و سنگ‌شکن درون کاواک

سیستم‌های معدن‌کاری بایستی از نظر فنی و اقتصادی برای هر معدن بررسی و مقایسه شوند. با مقایسه فنی و اقتصادی این امکان به وجود می‌آید که سیستم بهینه از میان طرح‌های مورد نظر انتخاب گردد.

سیستم‌های حمل با کامیون و نوار نسبت به هم دارای مزایا و معایبی هستند؛ مثلاً: در حمل با کامیون حدود ۶۰ درصد از انرژی سوخت صرف حرکت خود کامیون می‌شود و فقط ۴۰ درصد از آن به انتقال مواد کمک می‌کند؛ اما در سیستم نوارنقاله فقط ۲۰ درصد از انرژی صرف حرکت نوار شده و ۸۰ درصد از آن به انتقال مواد کمک می‌کند [۴]. مهم‌ترین مزیت سیستم کامیونی نسبت به سیستم نواری انعطاف‌پذیری زیاد این سیستم می‌باشد؛ البته سیستم سنگ‌شکنی نیمه متحرک درون کاواک با استفاده از کامیون، انعطاف‌پذیری لازم را برای استفاده از نوارنقاله در عملیات معدن‌کاری به وجود می‌آورد.

استفاده از کامیون در این معدن برای حمل مواد با توجه به مسافت‌های زیاد و در پی آن الزام به استفاده از ناوگان بزرگ کامیونی، دارای مشکلات اجرایی بسیار زیادی است؛ زیرا سطح

اتوماسیون زیاد، می‌تواند بهره‌وری را بیش از پیش بالا برده و از هزینه‌های معدن‌کاری بکاهد.

۶-۲- مقایسه اقتصادی دو سیستم شاول-کامیون و سنگ‌شکن درون کاواک

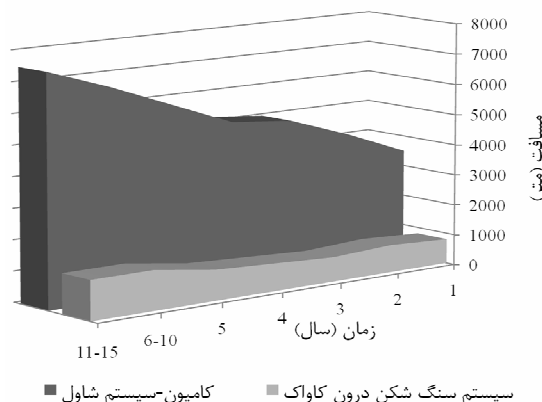
برای بررسی و مقایسه اقتصادی دو سیستم حمل طراحی شده از روش ارزش خالص فعلی استفاده شد؛ البته به دلیل یکسان بودن میزان تولید در دو سیستم، میزان درآمد در هر دو، یکسان است و به این دلیل فقط هزینه‌ها (سرمایه‌ای و عملیاتی) در محاسبات اقتصادی دخالت داده شدند. بدین منظور ابتدا جریان نقدی هزینه‌های ماشین‌آلات و عملیات دو سیستم در طی ۱۵ سال به صورت جداگانه بررسی و محاسبه شد و سپس با توجه به نرخ تنزیل، همه‌ی هزینه‌ها به هزینه سال صفر تبدیل شده و ارزش خالص فعلی هزینه‌ها محاسبه گردید. به منظور تحلیل سالانه هزینه‌ها و انتخاب روش مناسب، محاسبات و جداول مقایسه‌ای به صورت نمودارهای ستونی و خطی ترسیم شده که در قسمت‌های بعدی شرح داده می‌شود.

محاسبات براساس ۱۰ درصد تورم سالانه و ۱۸ درصد نرخ تنزیل پایه‌گذاری شد. در محاسبه هزینه‌ها عمر اقتصادی تجهیزات نیز لحاظ شده است به طوری که برای کامیون‌ها ۳۰ هزار ساعت کار مفید و برای سنگ‌شکن‌ها عمر مفید بیش از ۱۵ سال در نظر گرفته شد و سیستم نوارنقاله نیز در دوره‌ی ۱۵ ساله‌ی مورد نظر، نیازی به تعویض نخواهد داشت.

طراحی سیستم شاول-کامیون به صورت دو شیفت در روز انجام شد. برای مقایسه بهتر بین دو سیستم حمل با کامیون و حمل با نوار، سیستم شاول-کامیون به صورت سه شیفت در روز نیز طراحی شده [محاسبات طراحی این سیستم همانند طرح دو شیفت در روز انجام شد] و هزینه‌های آن محاسبه گردید. هزینه‌های سیستم حمل با کامیون در دو و سه شیفت کاری و هزینه‌های سیستم حمل نوار و سنگ شکن درون کاواک در شکل ۶ نشان داده شده است. در این نمودار میزان سرمایه‌گذاری در سال صفر و هزینه‌های عملیاتی در سال‌های مختلف به صورت ستونی مشخص شده است. علاوه بر این هزینه‌های خالص فعلی هر سیستم نیز در هر سال به صورت خطی نمایش داده شده است.

هزینه‌های حمل و خرید یک تن سنگ آهن در سیستم شاول-کامیون (دوشیفت) و سیستم سنگ شکنی نیمه متحرک داخل کاواک در شکل ۷ مقایسه شده است. در این شکل هزینه دو سیستم حمل با کامیون و حمل با نوار به ازای حمل

سال‌های مختلف در دو سیستم شاول-کامیون و سنگ‌شکنی درون کاواک مقایسه شده است.

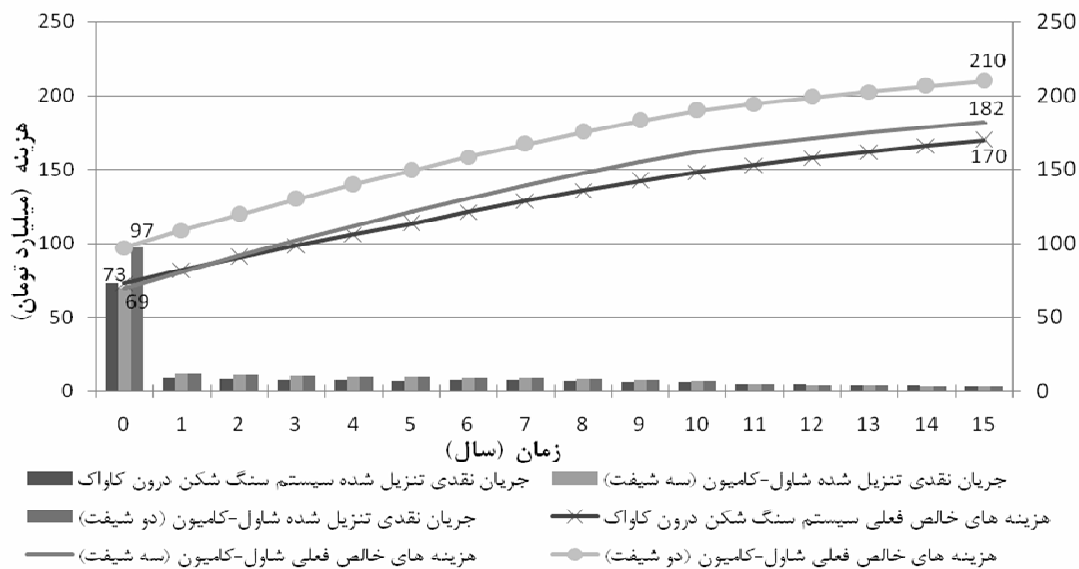


شکل ۵: مقایسه مسافت‌های حمل کامیون در دو سیستم شاول-کامیون و سنگ‌شکنی درون کاواک

زیاد شدن عمق کاواک که در پایان سال پانزدهم به افق ۱۴۵۵ می‌رسد و عمقی معادل ۲۷۵ متر از سطح زمین را دارد؛ میزان جاده‌های مورد نیاز داخل کاواک را بیش از ۳ کیلومتر خواهد کرد که احداث و نگهداری این جاده‌ها با وجود آب‌های درون کاواک مشکل خواهد بود. از طرف دیگر مسیر نوارنقاله که حداکثر در داخل کاواک ۱۰۰۰ متر طول دارد تقریباً یک سوم مسیر جاده‌های معدنی داخل کاواک است با این تفاوت که نوارنقاله به راحتی می‌تواند در هر شرایط آب‌وهوایی و محیطی به خوبی کارکرده و بهره‌وری مورد نظر را داشته باشد. اما با تغییر شرایط آب و هوایی مثلاً: بارندگی‌های زیاد، آب گرفتگی مسیرها، بادهای شدید و ایجاد گرد و غبار، مه گرفتگی و ... عملیات کامیون‌ها دچار مشکل می‌شود؛ بنابراین با وجود بارندگی نسبتاً زیاد در برخی از فصول سال در این منطقه -که در سال ۱۳۸۴ نیز بر اثر بارندگی سیلاب‌هایی در اطراف کاواک به وجود آمده و مشکلات فراوانی را به بار آورد و نیز ازدیاد آب‌های زیرزمینی، پیش‌بینی می‌شود اجرای سیستم حمل با کامیون در معدن گهرزمین بسیار مشکل و حتی در فصولی از سال غیر ممکن باشد.

در سیستم حمل با کامیون به پرسنل زیادی نیاز است و در عملیاتی که نیروی انسانی دخالت زیادی دارد بهره‌وری کاهش یافته و امکان اتوماسیون عملیات نیز مقدور نمی‌باشد؛ از طرف دیگر سیستم حمل با نوارنقاله و استفاده از سنگ‌شکن درون کاواک با کاهش نیروی انسانی (حدود ۹۰ درصد [۴]) نسبت به سیستم حمل با کامیون به دلیل مکانیزاسیون و قابلیت

هر تن مواد اعم از باطله و ماده معدنی نیز نشان داده شده است.

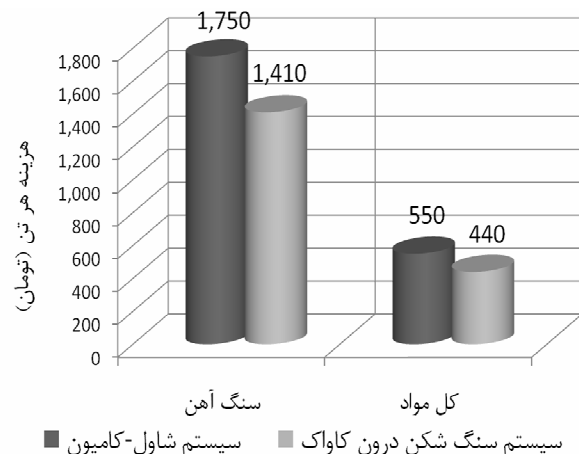


شکل ۶: نمودار هزینه‌های خالص فعلی سیستم‌های حمل طراحی شده

بودن سطح آب زیرزمینی در معدن گهرزمین کارایی سیستم حمل نواری را نسبت به سیستم شاول-کامیون بیش‌تر می‌کند. حمل با نوار و استفاده از سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک در این معدن حدود ۲۰ درصد نسبت به سیستم شاول-کامیون (دو شیفت) ارزان‌تر است. اگر چه میزان سرمایه‌گذاری سیستم شاول-کامیون در سه شیفت کاری از میزان سرمایه‌گذاری سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک کم‌تر است؛ اما از سال سوم به دلیل کم بودن هزینه‌های عملیاتی سیستم نوارنقاله، هزینه‌های کلی سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک کم‌تر می‌شود.

میزان تولید معدن هر چه بیش‌تر باشد کاهش هزینه‌های عملیاتی سیستم سنگ‌شکنی درون کاواک نسبت به سیستم شاول-کامیون بیش‌تر می‌شود. با کاهش هزینه‌های معدن‌کاری در معادنی مانند معدن مورد مطالعه، حد روباز-زیرزمینی تغییر کرده و حد نهایی کاواک افزایش می‌یابد. با افزایش عمر معدن، هزینه‌های معدن‌کاری ناشی از سیستم سنگ‌شکنی نیمه متحرک به دلیل زیاد بودن عمر اقتصادی سیستم حمل با نوارنقاله نسبت به حمل با کامیون (بیش از سه برابر [۶]) کاهش بیش‌تری می‌یابد.

تشکر و قدردانی



شکل ۷: هزینه دو سیستم حمل با کامیون و حمل نوار به ازای هر تن استخراجی

۶- نتیجه

سیستم سنگ‌شکن نیمه متحرک و حمل با نوارنقاله مناسب‌ترین سیستم معدن‌کاری در معدن گهرزمین است. کاهش ناوگان کامیونی و کوتاه شدن کل مسیر حمل مواد توسط نوارنقاله از دلایل بهبود عملیات سیستم سنگ‌شکنی نیمه متحرک درون کاواک است که این عوامل به دلیل بالا

بدین وسیله از زحمات جناب آقای دکتر فرهاد صمیمی
تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Handbook*"; SME, Colorado, 2nd Edition; pp. 1343-1351.
- [5] Koehler. F; (2003); "*In-pit crushing system the future mining option*"; *mine planning and equipment selection*; pp. 371-376.
- [6] تهامی کوهبنانی، مهدی؛ (۱۳۸۵)؛ **طراحی سیستم بهینه ترابری در معدن گل گهر ۳**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.
- [7] Fruchtbaum. J; (1988); "*Bulk material handling handbook*"; Van nostrand Reinhold.
- [1] Schroder. D; (2003); "*The use of in-pit crushing and conveying methods to significantly reduce transportation cost by track*"; Bali international convention centre; pp.1-12.
- [2] ThyssenKrupp Technologies Company; In-pit crushing and conveying; www.ThyssenKrupp.com
- [3] Acres Davy consultants (ADC); (2003); "*Gol-E-Gohar Mine Area 3- prefeasibility study*".
- [4] Frizzel. E.M & Martin. T.W; (1992); "*In-pit crushing and conveying, mining Engineering*

پی‌نوشت‌ها

¹ - Chuquicamata

² - Highland valley

³ - O نشان دهنده ماده‌ی معدنی (Ore) است.

⁴ - W نشان دهنده مواد باطله (Waste) است.

