زمستان ۹۷، سال بیست و هشتم، شماره ۱۱۰، صفحه ۲۶۷ تا ۲۷۲

بررسی تأثیر آب‌های زیرزمینی بر روی هزینه‌های تولید و عملیات معدنکاری در معادن روباز، مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه

ایوب نیکخواه[1] و محمد تاجی[2*]

[1]کارشناسی ارشد، گروه تحقیقاتی مهندسی انفجار، تهران، ایران

[2]استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۲۰/ ۰۳/ ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۲۶/ ۱۲/ ۱۳۹۶

چکیده

در معادن روباز استخراج ماده معدنی با حداقل قیمت و کیفیت مطلوب مهم‌ترین هدف معدنکاری است. معدن مس سرچشمه همانند معادن روباز دیگر جهان از وجود آب زیرزمینی مستثنی نیست. در این مقاله تأثیر آب زیرزمینی بر روی هزینه‌های تولید و فرایند معدنکاری مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور پارامتر سنگ‌شکنی ویژه (S_{cr})، معرفی، اندازه‌گیری و استفاده شد. برای ارزیابی عملیات معدنکاری در شرایط خشک و مرطوب پایگاه داده در دو بخش هزینه‌های تولید و عملیات معدنکاری دو انفجار، چال‌های با قطر ۶ اینچ ایجاد شد. اختلاف دو شرایط متفاوت معدنکاری در افزایش هزینه‌های تولید و کاهش عملکرد تولید مشاهده می‌شود. به‌طوری که هزینه‌های شامل حفاری، انفجار، مجموع حفاری و انفجار و بارگیری به ترتیب برابر با ۸۳/۳۳، ۴۵۰، ۲۶۶/۶۷ و ۲۰۰ درصد در شرایط معدنکاری مرطوب نسبت به شرایط خشک افزایش داشته است. هزینه سنگ‌شکنی به خاطر مقدار خردشدگی تقریباً مشابه در دو شرایط، یکسان بود. همچنین شرایط معدنکاری مرطوب کاهش عملکرد تولید معدن مس سرچشمه را در پی داشته است. به‌طوری که عملکرد تولید در بخش‌های شامل بارگیری ویژه و شاخص عملیات واحد معدنکاری ویژه به ترتیب ۳۳/۳۴ و ۱۹۸/۸۵ درصد نسبت به شرایط خشک کاهش داشته است. به منظور عدم استفاده از مواد منفجره ضد آب، بهبود شاخص عملیات معدنکاری و کاهش هزینه‌های تولید پروژه تعیین مدل آب زیرزمینی معدن مس سرچشمه امر ضروری است. با زهکشی آب زیرزمینی در معادن روباز، عملیات معدنکاری مطلوب با هزینه کمتر همراه با توسعه پایدار فراهم خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: آب زیرزمینی، عملیات انفجار، شرایط معدنکاری، هزینه‌های تولید، معدن مس سرچشمه.

***نویسنده مسئول:** محمد تاجی

E-mail: MohammadTaji@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

ارزیابی عملیات معدنکاری در معادن روباز به دلیل گسترده بودن این فرایند اهمیت خاصی دارد که نتیجه آن تولید مواد اولیه با کیفیت و قیمت مطلوب است. به‌طور کلی بهره‌وری به دلیل کاهش زمان حرکت و جابه‌جایی کل واحدهای عملیاتی افزایش می‌یابد (Mercer and Hagan, 1978). حضور آب، باعث افزایش هزینه‌های حفاری و انفجار می‌شود و استفاده از مواد منفجره ضد آب را ضروری می‌کند. همچنین فشار آب پشت دیواره‌های معدن، باعث ناپایداری این دیواره‌ها می‌شود. از طرفی شرایط مرطوب معدن، فرسودگی و استهلاک زود هنگام تجهیزات را به دنبال دارد (Connelly and Gibson., 1985).

برخورد با سطح آب زیرزمینی (محلی یا منطقه‌ای) نتیجه طبیعی عمیق شدن یک معدن است و پیامد برخورد با سطح آب زیرزمینی ورود آب به داخل کاواک معدن است که در بهترین حالت یک مزاحمت و در بدترین حالت یک خطر است (Morton and Mekerk, 1993).

مشکلات ناشی از حضور آب در عملیات معدنکاری باعث بالا رفتن هزینه‌های آتشباری، کاهش راندمان ماشین‌آلات و نیروی انسانی، افزایش آمار حوادث، مشکلات الکتریکی و غیره می‌شود. بنابراین زهکشی عمقی آب زیرزمینی می‌تواند کمک مؤثری به کاهش مشکلات ذکر شده و صرفه‌جویی عمده در هزینه‌های آتشباری کند (سیاووش حقیقی و همکاران، ۱۳۸۵؛ کریمی‌نسب و حجت، ۱۳۸۵؛ بخشی و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه یکی از مشکلات معادن روباز از جمله گل‌گهرسیرجان ورود آب‌های زیرزمینی به داخل پیت معدنی است که کلیه فعالیت‌های معدنکاری و نیز مدیریت زهکشی را با مشکل مواجه کرده است (نعمتی پریدری، ۱۳۹۰). یکی از عوامل مؤثر بر پایداری شیب پله‌ها در معادن روباز زهکشی آب‌های زیرزمینی است. گالری‌های زهکشی یکی از راهکارهای کنترل سطح آب‌های زیرزمینی است (Hoek et al., 2000). در فرایند معدنکاری اگر سیستم زهکشی آب زیرزمینی متوقف شود، احتمال بازگشت آب به سطح اولیه قبل از معدنکاری وجود دارد (Henton, 1981; Norton, 1983; Naugle and Atkinson, 1993; Vandersluis et al., 1995; Shevenell, 2000; Doulati Ardejani et al., 2003; Doulati Ardejani and Singh, 2004).

آب در محیط معدن روباز می‌تواند مسائل عملیاتی مهمی برای فعالیت‌های معدنکاری ایجاد کند و منجر به افزایش هزینه‌های معدنکاری شود (Fortin, 2015). هجوم آب‌های زیرزمینی به داخل محدوده معدن یکی از پیامدهای عمیق شدن معادن و گسترش آنها به زیر سطح آب زیرزمینی است که مشکلات زیادی را برای معدنکاری ایجاد کرده است و هزینه‌های هنگفتی به معادن تحمیل می‌کند (صحرایی، ۱۳۹۶). عملیات معدنکاری در زیر سطح آب زیرزمینی موجب پیامدهای عملیاتی، اقتصادی و ایمنی می‌شود (Bahrami et al., 2014; Liang et al., 2017).

۲- نقش آب زیرزمینی در معدنکاری

وجود آب زیرزمینی در معدن شرایط معدنکاری مرطوب را خلق می‌کند که به‌صورت منفی بر عملیات‌های معدنکاری تأثیر می‌گذارد. این اثرات شامل هزینه‌های افزایش یافته برای عملیات حفاری و انفجاری به دلیل چال‌های مرطوب، کارآیی پایین برای کامیون‌ها به دلیل باربری سنگ معدن مرطوب و در نتیجه مصرف سوخت دیزلی بالا و هزینه‌های نگهداری افزایش یافته مرتبط با لاستیک‌ها و تجهیزات می‌شود. هزینه‌های تجمعی سالیانه متحمل شده در شرایط معدنکاری مرطوب برای معدن مس هایلندولی (Highland Valley) بیش از ۸ میلیون دلار در هر سال تخمین زده شده است. در جدول ۱ هزینه‌های تجمعی به علت شرایط معدنکاری مرطوب آورده شده است (Fortin, 2015). همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، رطوبت سنگ معدن تأثیر مستقیم بر بهره‌وری نوار نقاله دارد. به‌طوری که در معدن قوبردا بلانکا (Quebrada Blanca) بین اوت ۲۰۱۴ تا ژانویه ۲۰۱۵، رطوبت سنگ معدن بالاتر از ۲ درصد، بهره‌وری نوار نقاله را تا ۱۰۰ درصد کاهش داده است (Fortin, 2015). همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، سرمایه‌گذاری در زهکشی معدن می‌تواند قابل توجه باشد، اما مزایای ایجاد شده نیز می‌تواند قابل توجه باشد (Beal, 2011).

Archive of SID

www.SID.ir

اکثر معادن روباز در بعضی نقاط در مدت طول عمر معدن با مقداری آب مواجه می‌شوند، که به‌طور کلی برای فعالیت‌های عملیاتی معدن مضر است. شکل ۲ مسائلی عملیاتی را نشان می‌دهد که معمولاً به وجود آب زیرزمینی در معادن روباز مرتبط هستند. این اثرات عملیاتی می‌توانند نتایج مالی قابل توجهی برای یک معدن روباز داشته باشند (Beal, 2011).

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهد می‌شود، شرایط معدنکاری مرطوب اثرات عملیاتی شامل موارد زیر دارد: ۱) ریزش برخی چال‌های انفجاری که نیاز به حفاری مجدد دارند و در غیر این صورت عملیات انفجار به‌صورت ناقص اجرا می‌شود که نتیجه آن خردشدگی نامطلوب و ایجاد پاشنه در کف پله است. همچنین به دلیل وجود آب در چال‌ها بایستی از مواد منفجره ضد آب استفاده کرد که در افزایش قمیت تمام شده محصول تولیدی نسبت به شرایط خشک چال‌های انفجاری نقش بسزایی خواهد داشت؛ ۲) حمل ماده معدنی و باطله مرطوب؛ ۳) کارآیی پایین بارگیری و باربری؛ ۴) از دست دادن موقت دسترسی به برخی نقاط پیت معدن در اثر کاهش ایمنی (پایداری شیب دیواره‌های معدن و پله‌ها) (Beale and Read, 2013). همچنین در شرایط معدنکاری مرطوب به علت انفجار ناقص و مجدد، ترقیق ماده معدنی و باطله افزایش می‌یابد. مشکلات ایجاد شده در اثر وجود آب‌های زیرزمینی در معدن سطحی می‌تواند به شرح زیر باشد (Ngah et al., 1984):

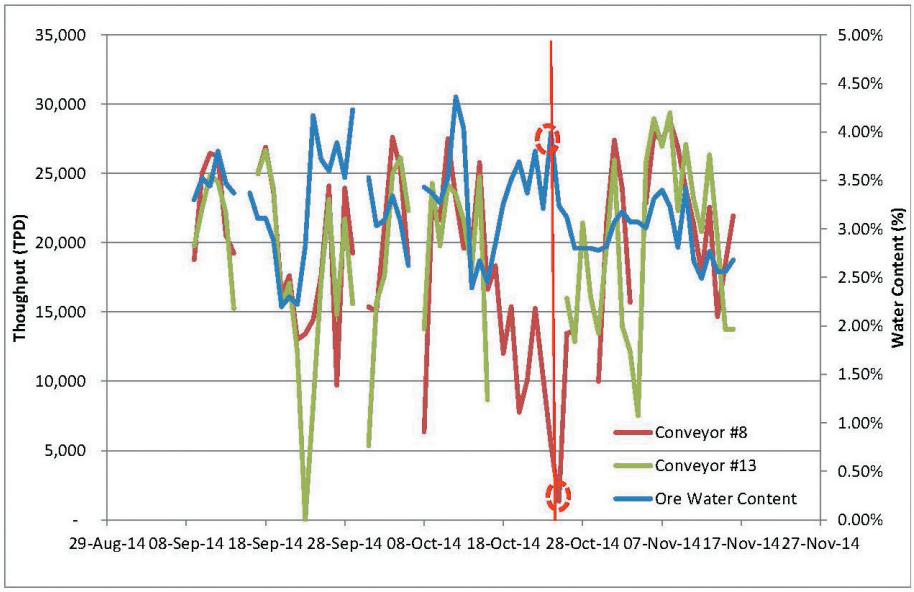
۱) نیاز به زهکشی پیت معدن.

۲) نیاز احتمالی برای یک کارخانه تصفیه شیمیایی.

۳) کاهش پایداری شیب.

۴) افزایش هزینه‌ها.

شرایط معدنکاری مرطوب نیز روند خوردگی را تسریع می‌بخشد، که منجر به افزایش قابل توجه هزینه‌ها به علت تعمیر و نگهداری، تعمیرات و نوسازی ماشین‌آلات می‌شود. علاوه بر تأثیر نامطلوب ممکن بر پایداری شیب‌های استخراجی و رسوبات سطحی، آب زیرزمینی هزینه‌های کلی شرکت‌های معدنکاری سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شرایط معدنکاری خشک از آنفو در عملیات انفجار استفاده می‌شود؛ در صورتی که به علت شرایط معدنکاری مرطوب به اجبار باید از مواد منفجره ضد ژله‌ای یا مواد منفجره اسلاری آلومنیومی استفاده کرد و هزینه‌های انفجار افزایش می‌یابد. هزینه‌های نسبی هر سه ماده منفجره آنفو، ژله‌ای و اسلاری آلومنیومی به ترتیب برابر با ۰/۸۱، ۱/۲۸ و ۱/۲۲ پوند بر کیلوگرم است (Ngah et al., 1984).

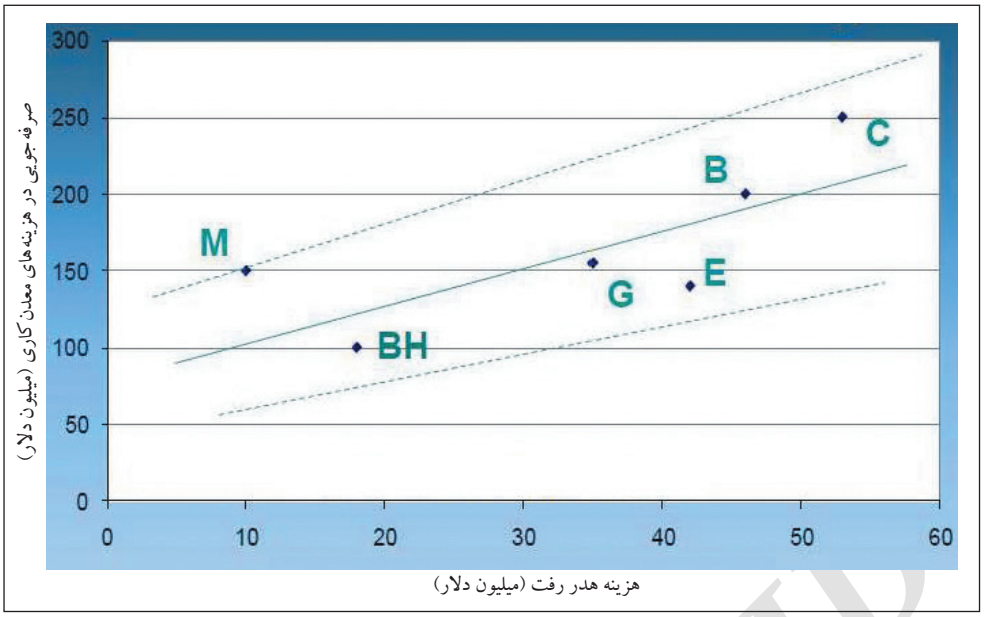


شکل ۱- ارتباط بین ماده معدنی مرطوب و بهره‌وری نوار نقاله در معدن قوبردا بلانکا (Fortin, 2015).

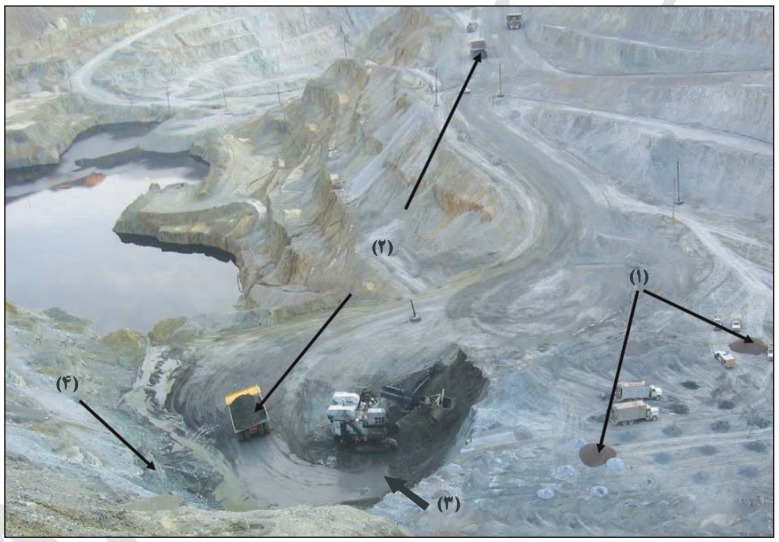
جدول ۱- خلاصه‌ای از هزینه‌های تجمعی معدنکاری مرطوب برای معدن مس هایلندولی (Fortin, 2015).

نوع هزینه معدنکاری مرطوب	هزینه (دلار کانادا)
بهره‌وری کامیون‌ها	۳۳۷۰۷۵۲
حفاری مجدد چال‌های انفجاری	۱۷۰۰۰۰
سوخت اضافی برای کامیون	۹۰۰۰۰۰
پمپاژ	۲۴۳۰۰۰
لاستیک کامیون‌ها	۱۶۰۱۰۰۰
تعمیر و نگهداری تجهیزات و خرابی‌ها	۲۰۰۰۰۰۰
کل برآورد	۸۲۸۲۳۵۲

www.SID.ir



شکل ۲- مزایای نسبی از زهکشی برای پوش‌بک‌های مختلف در معادن روباز بزرگ (Beale, 2011).



شکل ۳- اثرات نمونه از آب زیرزمینی در ایجاد شرایط عملیات معدنکاری مرطوب در معادن روباز (Beale and Read, 2013). برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

در معادن سنگ آهن در Knob Lake در کبک کانادا، رطوبت اضافی ۲ درصد در سنگ معدن هزینه حمل و نقل را به ازای هر تن ۱۲ سنت افزایش داد (Stubbins and Munro, 1965). وجود آب زیاد در چال‌های تولیدی یکی از عوامل ایجاد پاشنه بعد از عملیات انفجار در معدن مس میدوک است (حسن‌زاده و خوشرو، ۱۳۹۳).

معدن مس سرچشمه همانند دیگر معادن روباز جهان از وجود آب زیرزمینی مستثنی نیست. به همین منظور تأثیر آب زیرزمینی بر روی هزینه‌های تولید و فرایند معدنکاری معدن مس سرچشمه هدف اصلی این پژوهش است که در ادامه بررسی می‌شود.

۳- تعیین هزینه‌ها و شاخص‌های عملیات معدنکاری

در این بخش هزینه حفاری، انفجار، بارگیری و سنگ‌شکنی به ازای یک تن سنگ خرد شده بر حسب دلار بر تن مشخص می‌شود. که در ادامه به ترتیب نحوه محاسبه هزینه‌ها در بخش‌های مختلف آورده شده است.

– **هزینه‌های بخش حفاری:** هزینه هر متر مکعب حفاری سنگ با استفاده از رابطه ۱ بر حسب دلار بر تن محاسبه شده است (غیاثی، ۱۳۹۲):

$$Drilling\ \cos t = \frac{[(O_o)\times(H_b+0.28)]}{V} \quad (۱)$$

که در آن O_o کل هزینه عملیاتی و هزینه مالکیت هر متر طول(دلار بر متر)، H_b ارتفاع پله(متر)، B بردن (متر) و V_o کل حجم سنگ بلوک (متر مکعب) است.

– **هزینه‌های بخش انفجار:** هزینه انفجار که واحد آن دلار بر تن است با استفاده از رابطه ۲ بر حسب دلار بر تن محاسبه شده است:

$$\text{هزینه انفجار هر تن سنگ} = \frac{\text{هزینه انفجار کل بلوک}}{\text{تناژ بلوک انفجاری}} \quad (۲)$$

– **هزینه‌های بخش بارگیری:** برای محاسبه هزینه بارگیری که واحد آن دلار به ازای یک تن سنگ است از رابطه ۳ شده است (غیاثی، ۱۳۹۲):

$$l_c = \frac{T_{lc}+P_{lc}}{H_1}+l_{ec} \quad (۳)$$

که در آن l_c هزینه یک ساعت بارگیری دستگاه بارگیری بر حسب دلار بر ساعت، T_{lc} هزینه تعمیر و نگهداری و قطعات مصرفی دستگاه بارگیری در یک سال بر حسب

www.SID.ir

دلار، P_{lc} هزینه نیروی انسانی شاول در یک سال بر حسب دلار، H_{cl} کل ساعت کارکرد دستگاه بارگیری در سال بر حسب ساعت، I_{ec} هزینه انرژی یک ساعت کار دستگاه بارگیری بر حسب دلار بر ساعت است. در نهایت هزینه بارگیری یک تن سنگ خرد شده ناشی از عملیات انفجار، طبق رابطه ۴ به دست می‌آید (غیاثی، ۱۳۹۲):

$$L_c = \frac{l_c}{T_l} \quad (۴$$

که در آن T_l تولید دستگاه بارگیری بر حسب تن بر ساعت و L_c هزینه بارگیری یک تن سنگ خرد شده ناشی از عملیات انفجار بر حسب دلار بر تن است.

– **هزینه‌های بخش سنگ‌شکنی:** برای مشخص کردن هزینه سنگ‌شکنی که واحد آن دلار به ازای یک تن سنگ است از رابطه ۵ استفاده می‌شود.

$$C_{cost}=2.5\times C_{ecost} \quad (۵$$

که در آن C_{ecost} هزینه انرژی مصرفی سنگ‌شکنی بر حسب دلار بر تن و C_{cost} هزینه سنگ‌شکنی یک تن سنگ خردشده ناشی از عملیات انفجار بر حسب دلار بر تن است.

۳– ۱. تعیین شاخص‌های عملیات معدنکاری

شاخص‌های عملیات معدنکاری در عملیات انفجار به‌صورت زیر مورد مطالعه قرار گرفته است (Taji et al., 2012):

– **بارگیری ویژه:** بارگیری ویژه (S_{lj})، بارگیری ویژه jامین بلوک انفجاری بر حسب ساعت بر متر مکعب است که از تقسیم کل زمان در دسترس ماشین آلات بارگیری jامین بلوک انفجاری بر حسب ساعت به کل حجم jامین بلوک انفجاری بر حسب متر مکعب به دست می‌آید.

– **سنگ‌شکنی ویژه:** سنگ‌شکنی ویژه (Scr_j)، سنگ‌شکنی ویژه jامین بلوک انفجاری بر حسب کیلو وات بر متر مکعب است که از تقسیم کل انرژی مصرفی jامین بلوک انفجاری بر حسب کیلووات به کل تناژ سنگ ورودی به سنگ‌شکن jامین بلوک انفجاری بر حسب متر مکعب به دست می‌آید. وزن مخصوص برجا و وزن مخصوص سنگ خردشده ناشی از عملیات انفجار سنگ مس معدن به ترتیب ۲/۵۷ و ۱/۸ تن بر مکعب است.

– **شاخص عملیات واحد معدنکاری ویژه:** این شاخص بیانگر عملیات معدنکاری در بلوک انفجاری بر حسب($(kg.hr.kw)/m^{11}$) مورد نظر بوده است و با استفاده از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$Suo_j=10^5\times Sc_j\times Sd_j\times Sl_j\times Scr_j \qquad j=1,2,\ldots..m \quad (۶$$

که در آن Sc_j خرج ویژه jامین بلوک انفجاری بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، Sd_j حفاری ویژه jامین بلوک انفجاری بر حسب متر بر مکعب، Sl_j بارگیری ویژه jامین بلوک انفجاری بر حسب متر مکعب و Scr_j سنگ‌شکنی ویژه jامین بلوک انفجاری بر حسب کیلو وات بر مترمکعب است.

۴– مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه

معدن مس سرچشمه یکی از مهم‌ترین معادن مس– مولیبدن پورفیری جهان است. این معدن در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب غرب رفسنجان و در ارتفاع ۲۶۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد و ذخیره آن با عیار حد ۰/۲۵ درصد و عیار متوسط ۰/۶۰ درصد ۱۷۶۳میلیارد تن است. در طرح توسعه معدن، استخراج سالیانه ۲۵ میلیون تن ماده معدنی و ۳۵ میلیون تن باطله تعیین شده است. ارتفاع پله‌های معدن مس سرچشمه ۱۲/۵ متر و عرض پله‌ها ۸/۷۵ متر است. همچنین به‌طور دوره‌ای و تناوبی به ازای هر ۴ پله، یک پله عریض با عرض ۲۳/۷۵ متر جایگذاری می‌شود. شیب نهایی دیواره معدن در حال حاضر برابر ۳۴ تا ۳۶ درجه است. عرض جاده‌های معدن ۳۰ متر و شیب آنها ۸ درصد است و حفاری چال‌های انفجاری با قطرهای ۶، ۹، ۹/۵ و ۱۰ اینچ انجام می‌شود. شبکه حفاری مورد استفاده در معدن با توجه به جنس ماده معدنی یا باطله شبکه‌های حفاری ۵×۶، ۵/۵×۶/۵، ۷×۶، ۸×۷، ۸/۵×۷، ۹×۷، ۹×۷/۵، ۹/۵×۷ و ۱۰×۷/۵ متر طراحی می‌شود. اضافه حفاری ۲/۵ متر و میانگین طول چال‌های تولیدی ۱۵متر است (مجتمع مس سرچشمه، ۱۳۹۴الف).

در معدن مس سرچشمه از سیستم آغازش نانل (Nonel) و فتیله انفجاری کرتکس (Cordtex) جهت آغازش انفجارهای تولیدی و همچنین از بوسترهای پنولیت، بوسترهای مخصوص نانل و امولایت‌های فشنگی بسته به قطر چال با قطرهای مختلف به عنوان پرایمر (Primer) و در موارد مورد نیاز از امولایت فشنگی به عنوان بوستر (Booster) استفاده می‌شود. در الگوی‌های انفجاری خشک از آنفو و یا ترکیبی از آنفو با امولان و در الگوی‌های تر فقط از امولان به عنوان خرج اصلی استفاده می‌شود (مجتمع مس سرچشمه، ۱۳۹۴ب).

در حال حاضر در معدن مس سرچشمه، ۲ عدد شاول ۱۵ متر مکعبی، ۴ عدد شاول ۱۲ مترمکعبی، ۶ عدد شاول ۷/۵ متر مکعبی، سایر بیل‌های کوچک، ۶ عدد کامیون ۲۲۰ تنی، ۴۰ عدد کامیون ۱۳۶ تنی، ۴۰ عدد کامیون ۱۰۰ تنی و تعدادی کامیون‌های ۶۰ تنی و ۳۵ تنی مشغول به کار هستند. سنگ‌شکن اولیه موجود در معدن مس سرچشمه از نوع ژیراتوری و مدل آن ۲۲۶۰–۱۵۲۴ میلی‌متر است (مجتمع مس سرچشمه، ۱۳۹۴پ).

۴– ۱. تأثیر آب زیرزمینی بر روی عملیات معدنکاری مس سرچشمه

به منظور ارزیابی شرایط معدنکاری خشک و مرطوب، پایگاه داده در بخش هزینه‌های تولید و عملکرد تولید با چال‌های تولیدی به قطر ۱۵۲ میلی‌متر در بخش خشک و مرطوب به ترتیب در افق‌های ۲۴۵۰ و ۲۳۳۷/۵ حفر و نتیجه در پایگاه داده ثبت شد (جدول ۲).

جدول ۲– پایگاه داده برداشت شده مربوط شرایط عملیات معدنکاری خشک و مرطوب.

پارامتر	واحد	شرایط عملیات معدنکاری	
		خشک (چال‌های تولید خشک است)	مرطوب (چال‌های تولید آبدار است)
قطر چال‌های تولیدی	(اینچ)	۶	۶
مواد منفجره مصرفی	–	آنفو	امولان
حجم بلوک انفجاری	(متر مکعب)	۲۰۴۷۵/۱۰	۵۶۷۰/۰۴
حفاری ویژه	(متر مکعب)	۰/۰۲۹	۰/۰۵۴
خرج ویژه	(کیلوگرم بر متر مکعب)	۰/۲۹۳	۰/۳۵۲
خردشدگی سنگ ناشی از عملیات انفجار	–	دو انفجار مورد بررسی دارای مقدار خردشدگی تقریباً یکسان هستند	
هزینه حفاری	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۰/۰۶	۰/۱۱
هزینه انفجار	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۰/۰۶	۰/۳۳
مجموع هزینه حفاری و انفجار	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۰/۱۲	۰/۴۴
تناژ بارگیری دستگاه بارگیری	(تن بر ساعت)	۵۳۳/۵۹	۴۷۶/۳۴

Archive of SID
www.SID.ir

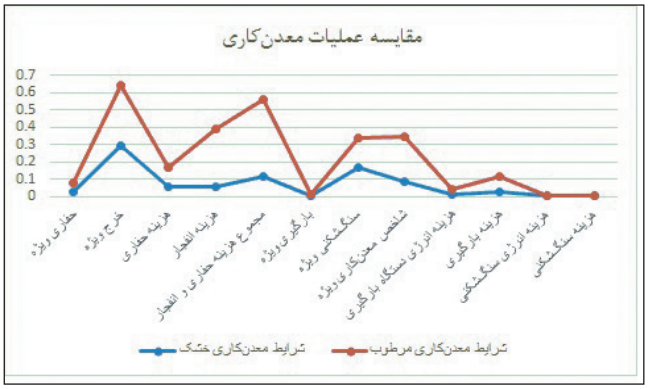
ادامه جدول ۲

پارامتر	واحد	شرایط عملیات معدنکاری	
		خشک (چال‌های تولید خشک است)	مرطوب (چال‌های تولید آبدار است)
بارگیری ویژه	(ساعت بر متر مکعب)	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸
سنگ‌شکنی ویژه	(کیلو وات بر متر مکعب)	۰/۱۷۱	۰/۱۷۱
شاخص عملیات واحد معدن‌کاری ویژه	$(kg.hr.kw/m^{11})$	۰/۸۷	۲/۶۰
هزینه انرژی دستگاه بارگیری	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۰/۰۱	۰/۰۳
هزینه بارگیری	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۰/۰۳	۰/۰۹
هزینه انرژی سنگ‌شکنی	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
هزینه سنگ‌شکنی	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴

در جدول ۳، به‌طور روشن تفاوت دو شرایط متفاوت معدنکاری در افزایش هزینه‌های تولید و کاهش عملکرد تولید مشاهده می‌شود. به‌طوری که هزینه‌های تولید شامل هزینه حفاری، هزینه انفجار، مجموع هزینه حفاری و انفجار و هزینه بارگیری به ترتیب برابر با ۸۳/۳۳، ۴۵۰، ۲۶۶/۶۷ و ۲۰۰ درصد در شرایط معدنکاری مرطوب نسبت به شرایط خشک افزایش داشته است. هزینه سنگ‌شکنی به علت مقدار خردشدگی تقریباً مشابه در هر دو شرایط یکسان بوده است. همچنین شرایط معدنکاری مرطوب کاهش عملکرد تولید معدن مس سرچشمه را در پی داشته است. به‌طوری که عملکرد تولید در بخش‌های شامل بارگیری ویژه و شاخص عملیات واحد معدنکاری ویژه به ترتیب برابر با ۳۳/۳۴ و ۱۹۸/۸۵ درصد نسبت به شرایط خشک کاهش داشته است. در شکل ۴، مقایسه شرایط عملیات معدنکاری خشک و مرطوب در معدن مس سرچشمه آورد شده است.

جدول ۳- مقایسه تأثیر شرایط معدنکاری خشک و مرطوب بر روی هزینه‌های تولید و عملیات معدنکاری مس سرچشمه.

پارامتر	واحد	افزایش هزینه‌ها و کاهش کارآیی عملیات تولید در شرایط معدنکاری مرطوب نسبت به خشک (درصد)	توضیحات
حفاری ویژه	(متر مکعب)	۸۶/۲۰۶ افزایش	به علت حفاری مجدد چال‌های ریزشی
خرج ویژه	(کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۰/۱۳ افزایش	به علت انفجار مجدد
هزینه حفاری	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۸۳/۳۳ افزایش	به علت حفاری مجدد چال‌های ریزشی
هزینه انفجار	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۴۵۰ افزایش	به علت انفجار مجدد
مجموع هزینه حفاری و انفجار	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۲۶۶/۶۷ افزایش	به علت حفاری و انفجار مجدد چال‌های ریزشی
تناژ بارگیری دستگاه بارگیری	(تن بر ساعت)	۱۱/۹۶ کاهش	به علت شرایط معدنکاری مرطوب
بارگیری ویژه	(ساعت بر متر مکعب)	۳۳/۳۴ کاهش	به علت شرایط معدنکاری مرطوب
سنگ‌شکنی ویژه	(کیلو وات بر متر مکعب)	صفر	به علت مقدار خردشدگی یکسان
شاخص عملیات واحد معدنکاری ویژه	$(kg.hr.kw/m^{11})$	۱۹۸/۸۵ کاهش	به علت شرایط معدنکاری مرطوب
هزینه انرژی دستگاه بارگیری	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۲۰۰ افزایش	به علت شرایط معدنکاری مرطوب
هزینه بارگیری	دلار بر تن (دلار آمریکا)	۲۰۰ افزایش	به علت شرایط معدنکاری مرطوب
هزینه انرژی سنگ‌شکنی	دلار بر تن (دلار آمریکا)	صفر	به علت مقدار خردشدگی تقریباً مشابه
هزینه سنگ‌شکنی	دلار بر تن (دلار آمریکا)	صفر	به علت مقدار خردشدگی تقریباً مشابه



شکل ۴- مقایسه شرایط عملیات معدنکاری خشک و مرطوب در معدن مس سرچشمه.

Archive of SID
www.SID.ir

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر آب زیرزمینی بر روی هزینه‌های تولید و عملیات معدنکاری مس سرچشمه بررسی شد. به منظور مقایسه هزینه‌های تولید و عملیات معدنکاری در شرایط خشک و مرطوب در دو انفجار با چال‌های تولیدی به قطر ۱۵۲ میلی‌متر در بخش خشک و مرطوب به ترتیب در افق‌های ۲۴۵۰ و ۲۳۳۷/۵ حفر و نتیجه در پایگاه داده ثبت شد. به‌طوری که هزینه‌های تولیدی شامل هزینه حفاری، هزینه انفجار، مجموع هزینه حفاری و انفجار، هزینه بارگیری به ترتیب برابر با ۸۳/۳۳، ۴۵۰، ۲۶۶/۶۷ و ۲۰۰ درصد در شرایط معدنکاری مرطوب نسبت به شرایط خشک افزایش داشته است و هزینه سنگ‌شکنی به علت مقدار خردشدگی تقریباً مشابه در هر دو شرایط، یکسان بوده است. عملکرد تولید شامل بارگیری ویژه و شاخص عملیات واحد معدنکاری ویژه به ترتیب برابر با ۳۳/۳۴ و ۱۹۸/۸۵ درصد در شرایط معدنکاری مرطوب نسبت به شرایط خشک کاهش داشته است. در اکثر معادن روباز بزرگ فعال و در حال بهره‌برداری ایران آب زیرزمینی وجود دارد. اغلب معادن برای غلبه بر این مشکل در عملیات انفجار از ماده منفجره ضد آب استفاده می‌کنند. جهت کاهش هزینه تولید هر تن سنگ استخراجی بایستی تعیین مدل آب زیرزمینی و نوع زهکشی مطالعه شود تا با عدم استفاده از مواد منفجره ضد آب، هزینه هنگفت عملیات معدنکاری مرطوب کاهش یابد و آن هزینه صرف طرح‌های توسعه‌ای شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از شرکت ملی صنایع مس ایران قدردانی به عمل می‌آورند.

کتابنگاری

بخشی، ا.، غلام‌نژاد، ج. و فاتحی، ج.، ۱۳۹۳- روش‌های زهکشی در معادن روباز و تأثیر آن بر پایداری دیواره معادن روباز مطالعه موردی: بررسی اثر زهکشی بر پایدارسازی دیواره های نهایی معدن گل گهر. فصلنامه پژوهشی پژوهشگر گل گهر، شماره ۱۴.

حسن‌زاده، م. و خوشرو، س. ح.، ۱۳۹۳- عوامل ایجاد پاشنه و راه‌های کاهش آن در معدن میدوک. پنجمین کنفرانس مهندسی معدن ۲۴-۲۲ مهرماه، مصلی امام خمینی تهران.

سیاووش حقیقی، م.، زارع، م. و مکنونی گیلانی، س.، ۱۳۸۵- بررسی راهکارهای مختلف جایگزینی چاه بهره‌برداری در معدن سنگ آهن گل گهر. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی ایران.

صحرایی، ح.، ۱۳۹۶- محدودیت‌های تهیه و اجرای طرح‌های زهکشی در معادن روباز. چهارمین کنفرانس معادن روباز ۲۷-۲۴ مهرماه ۱۳۹۶، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

غیاثی، م.، ۱۳۹۲- بررسی اقتصادی تأثیر میزان خردایش ناشی از انفجار بر هزینه‌های تولید معدن شماره یک گل گهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

کریمی‌نسب، س. و حجت، آ.، ۱۳۸۵- پایدارسازی شیب با زهکشی زیرسطحی. انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

مجتمع مس سرچشمه، ۱۳۹۴الف- گزارش طرح توسعه معدن مس سرچشمه، معدن مس سرچشمه.

مجتمع مس سرچشمه، ۱۳۹۴ب- گزارش واحد حفاری و انفجار معدن مس سرچشمه، مهندسی معدن مس سرچشمه.

مجتمع مس سرچشمه، ۱۳۹۴پ- گزارش واحد مهندسی پروژه معدن مس سرچشمه، مهندسی معدن مس سرچشمه.

نعمتی پریدری، م.، ۱۳۹۰- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی محدوده معدنی سنگ آهن گل گهر سیرجان (معدن شماره ۱) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

References

Bahrami, S., Doulati Ardejani, F., Aslani, S. and Baafi, E., 2014- Numerical modelling of the groundwater inflow to an advancing open pit mine: Kolahdarvazeh pit, Central Iran.

Beale, G. and Read, J., 2013- Guide line S for Evaluating Water in Pit Slope Stability. CSIRO Publishing.

Beale, G., 2011- Water and Pit Slopes – How much do we understand. Keynote speaker presentation. International Slope Stability Conference, Vancouver, BC.

Connelly, R. J. and Gibson, J., 1985- Dewatering of the open pits at Letlhakane and Orapa diamond mines, Botswana. International Journal of Mine Water; (4): 41-25.

Doulati Ardejani, F. and Singh, R. N., 2004- Assessment of groundwater rebound in backfilled open cut mines using The finite element method. Journal of the Rock Mechanics and Tunnelling Techniques, 10 (1).1-16.

Doulati Ardejani, F., Singh, R. N., Baafi, E. Y. and Porter, I., 2003- A finite element model to: 2. Simulate groundwater rebound problems in backfilled open cut mines. Journal of the International Mine Water Association (IMWA), 22 (1).39-44.

Fortin, S., 2015- Open Pit Mining and The Cost of Water Potential Opportunities Towards Sustainable Mining. SIMON FRASER UNIVERSITY.

Henton, M. P., 1981- The Problem of Water Table Rebound after Mining Activity and its Effect on Ground and Surface Water Quality. (17).111-116.

Hoek, E., Read, J., Karzulovic, A. and Chen, Z. Y., 2000- Rock slopes in Civil and Mining Engineering. Proceedings of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, GeoEng2000, 19-24 November, Melbourne.

Liang, Z., Ren, T. and Ningbo, W., 2017- Groundwater impact of open cut coal mine and an assessment methodology: A case study in NSW. Int J Min Sci Technolgy, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.008.

Mercer, J. K. and Hagan, T. N., 1978- Progress towards optimum blasting. A key to increased productivity and profitability. 11th CMMC, Hong Kong.

Morton, K. L. and Mekerk, F. A., 1993- A phased approach to mine dewatering. Mine Water and the environment, (12).27-34.

Naugle, G. D. and Atkinson, L. C., 1993- Estimating the rate of post-mining filling of pit lakes. Mining Engineering, 45(4).402-404.

Ngah, S. A., Reed, S. M. and Singh, R. N., 1984- Groundwater problems in Surface mining in the united kingdom. International Journal of Mine Water, 3 (1). 1 - 12.

Norton, P. J., 1983- A study of groundwater control in British surface mining, Ph.D. Thesis, Nottingham University, 460p.

Shevenell, L., 2000- Analytical method for predicting filling rates of mining pit lakes: example from the Getchell Mine, Nevada. Mining Engineering, 52(3).53-60.

Stubbins, J. B. and Munro, P., 1965- Open-pit mine dewatering Knob Lake. The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin.

Taji, M., Ataei, M., Goshtasbi, K., and Osanloo, M., 2012- A New Approach for Open Pit Mine Blasting Evaluation. Journal of Vibration and Control; (12): 1738-1752.

Vandersluis, G. D., Straskraba, V. and Effner, S. A., 1995- Hydrogeological and geochemical aspects of lakes forming in abandoned open pit mines. Proceedings Hydro-Geo Consultants, Inc. 165 South Union Boulevard, Suite 400, Lakewood, Colorado 80228, 162-177.

Archive of SID
www.SID.ir

The effect of the underground water on production costs and mining operation in open-pit mines, case study: Sarcheshmeh copper mine

A. Nikkhah[1] and M. Taji[2*]

[1]M.Sc., Explosion Engineering Research Group, Tehran, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Islamic Azad University, Shahrood Branch, Shahrood, Iran

Received: 2017 June 10 Accepted: 2018 March 17

Abstract

In open pit mines, the extraction of ore rock with minimum price and good quality is the most important mining goal. Sarcheshmeh copper mine is not excluded from the existence of underground water, like other open-pit mines. In this paper, the impact of underground water on production costs and mining process has been investigated. For this purpose, the parameter specific crushing(S_{cr}), measured and used. To evaluate mining operation in dry and wet conditions of database in two parts of production costs and mining operations of two blasts, holes with diameter of 6 inches were created. The difference of two different conditions of mining in increasing production costs and reducing production performance is observed such that the costs including drilling cost, blast cost, total drilling and blast costs, loading cost are increased respectively, equal to 83.33, 450, 266.67 and 200 percent in wet mining conditions compared with dry conditions. Rock crushing cost due to crushing amount is almost similar in both conditions. Also, wet mining conditions cause reducing the production yield of Sarcheshmeh copper mine such that production performance in sections including special loading and index specific mining operations unit has been decreased respectively, equal to 33.34 and 198.85 percent compared to dry conditions. In order not to use waterproof explosives, improvement of mining operations index and reduction of project production costs, it is necessary to determine the model of underground water of Sarcheshmeh copper mine. Desirable mining operation will be provided with lower cost with sustainable development by drainage of underground water in open pit mines.

Keywords: Underground water, Blast operations, Mining conditions, Production costs, Sarcheshmeh Copper Mine

For Persian Version see pages 267 to 272

*Corresponding author: A. Taji; E-mail: MohammadTaji@yahoo.com.com

Archive of SID

www.SID.ir