Archive of SID

بررسی و انتخاب ماشین آلات حفاری برای وضعیت فعلی و طرح توسعه معدن چادرملو

مهدی یاوری

عضو هیات علمی دانشکده معدن، متالورژی و نفت - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمد فاروق حسینی

دانشیار گروه مهندسی معدن – دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمدکاظم سلطانی‌زاده زارچی

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد استخراج معدن – دانشکده فنی - دانشگاه تهران

حسین کاظمی

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد اکتشاف معدن– دانشکده فنی - دانشگاه تهران

چکیده

نتایج بررسی عملکرد ماشین‌آلات چالزنی طرح فعلی معدن سنگ آهن چادرملو بر اساس سه ضریب دسترسی، بهره‌وری و راندمان نهایی نشان داد که در عمل ضریب دسترسی کمتر از مقدار اسمی و ضریب بهره‌وری بسیار بیشتر از مقدار اسمی است. به عبارت دیگر معدن چادرملو در شرایط حاضر با کمبود تعداد چالزن روبرو می‌باشد. برای تعیین تعداد مورد نیاز دستگاه چالزن ابتدا سرعت حفاری به دو روش رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی مدلسازی و مقایسه شد. سپس براساس نتایج پیش بینی سرعت حفاری به روش شبکه عصبی، رژیم کاری معدن و میزان تولید سالانه، تعداد چالزن لازم برای طرح فعلی برابر سه عدد تعیین شد. در ادامه اقدام به انتخاب نوع و تعداد چالزن برای طرح توسعه معدن گردید. با توجه به پارامترهای آتشباری و استاندارد آمریکا، تعداد پنج چالزن دورانی (با توان ٤٦٠ اسب بخار و مناسب برای حفر چال‌هایی

www.SID.ir

Archive of SID

با قطر ۹/۸۸ تا ۱۲/۲۵ اینچ) انتخاب شد. بنابراین لازم است برای وضعیت حال حاضر تعداد یک دستگاه چالزن به دو چالزن فعلی اضافه گردد و هنگام شروع عملیات طرح توسعه نیز به دو دستگاه جدید نیاز است.

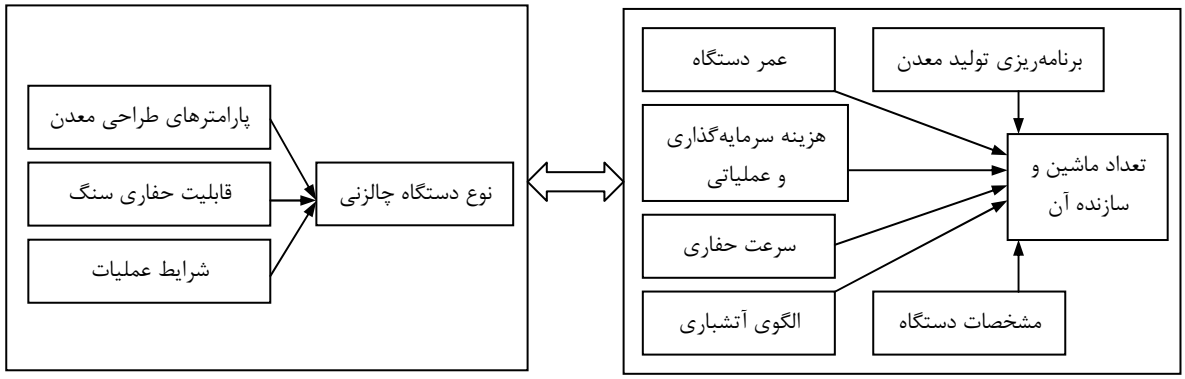
واژه‌های کلیدی: انتخاب چالزن، سرعت حفاری، رگرسیون چندمتغیره، شبکه عصبی، چادرملو، طرح توسعه

مقدمه

در معادن روباز اگر ماده معدنی یا باطله از سختی قابل توجهی برخوردار باشند و با ماشینهای بارگیری موجود نتوان آنها را استخراج کرد، جهت کاهش ابعاد و مقاومت توده‌سنگ از چالزنی و آتشباری استفاده می کنند. چالزنی و آتشباری در عملیات استخراج معادن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بهینه نمودن مراحل بعدی معدنکاری (بارگیری، حمل و سنگ‌شکنی) نیز به عملیات چالزنی و آتشباری بستگی دارد. به همین دلیل باید به طراحی بهینه عملیات چالزنی و انتخاب ماشین‌آلات مناسب آن توجه کافی مبذول گردد. شکل ۱ مراحل انتخاب بهینه نوع و تعداد دستگاه چالزن را نشان می‌دهد. در این مقاله ابتدا وضعیت ماشین‌آلات حفاری حال حاضر معدن آهن چادرملو بر اساس چند معیار کمی بررسی می‌شود. سپس نوع و تعداد ماشین‌آلات چالزنی لازم برای طرح توسعه معدن پیشنهاد می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: روند انتخاب دستگاه چالزن [۱].

معرفی معدن چادرملو

کانسار آهن چادرملو یکی از بزرگترین کانسارهای آهن ایران و خاورمیانه است که در فاصله ۱۸۰ کیلومتری شمال شرق شهر یزد و در منطقه آهن‌خیز بافق-ساغند در مختصات ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد [۲].

کانسار معدن چادرملو از چهار توده (سه توده شمالی و یک توده جنوبی) تشکیل شده است. براساس نتایج مطالعات اکتشافی سه بیرون‌زدگی شمالی که در عمق یکی شده‌اند حدود ۸۰ درصد ذخیره را در بر می‌گیرند. براساس آخرین ارزیابی‌های انجام شده، ذخیره معدن ۳۲۳ میلیون تن برآورد گردیده است[۳].

طراحی معدن توسط شرکت آلمانی .E.B.E بصورت روباز با مشخصات ارتفاع پله ۱۵ متر، عیار حد ۲۵ درصد، شیب نهایی پیت معدن ۵۵ درجه، تولید سالانه ۷/۲ و ٤/۷ میلیون تن ماده معدنی و باطله انجام گردیده است[۲].

تحلیل عملکرد ماشین آلات چالزنی حال حاضر معدن چادرملو

در حال حاضر معدن چادرملو دارای دو دستگاه چالزن اینگرسول-رند[1] (مدل HM-D-3-230-300) می‌باشد که حدود ده سال از شروع عملیات آنها می‌گذرد. عملکرد ماشین‌آلات چالزنی

www.SID.ir

Archive of SID

طرح موجود بر اساس سه ضریب زیر مورد بررسی قرار گرفت:

الف- ضریب دسترسی[۲]: در عمل امکان عملیات بی وقفه دستگاه چالزن در تمام لحظات عمر کاری وجود ندارد. معمولاً برای تعمیرات اساسی و تعویض قطعات فرسوده و از کار افتاده لازم است دستگاه زمان‌هایی را در تعمیرگاه به سر ببرد. این زمان در رابطه زیر درنظر گرفته می‌شود [٤]:

(۱)

$$R_a = \frac{T_t - T_{M\&R}}{T_t}$$

که در این رابطه R_a ضریب دسترسی، T_t تعداد روزهای کاری سال و $T_{M\&R}$ تعدادی از روزهای سال است که ماشین جهت تعمیرات و تعویض قطعات یدکی در تعمیرگاه به سر می‌برد.

ب- ضریب بهره‌وری[۳] **دستگاه**: در عمل تنها تعمیر و تعویض قطعات نیست که مانع ادامه عملیات ماشین می‌شود، بلکه عوامل دیگری نظیر شرایط جوی، جابه‌جایی ماشین، تعویض شیفت، زمان صرف غذای کارکنان، تأخیرات پرسنل و مشکلات فنی نیز باعث توقف می شوند. این ضریب با توجه به موارد ذکر شده برابر خواهد بود با [٤]:

(۲)

$$R_u = \frac{(T_t - T_{M\&R}) - T_l}{(T_t - T_{M\&R})}$$

در رابطه فوق R_u ضریب بهره‌وری و T_l تعداد روزهای تعطیل ناشی از عواملی غیر از مشکلات فنی دستگاه (مانند شرایط جوی، جابجایی، زمان توقف و...) می‌باشد.

ج- راندمان نهایی: از نسبت زمان مشغول به کار بودن دستگاه به کل زمان در سال، یا حاصلضرب ضریب دسترسی و بهره‌وری، راندمان نهایی دستگاه (R_o) محاسبه می‌گردد [٤]:

(۳)

$$R_o = R_a \times R_u$$

برای محاسبه ضرایب مذکور برای ماشین‌آلات چالزنی معدن چادرملو در مرحله اول فهرست اطلاعات عملیات چالزنی در یک دوره زمانی مشخص (از تاریخ ۷۹/٤/۱۸ لغایت ۸۰/٤/۱) جمع‌آوری شد. مرحله دوم کار، شامل استخراج اطلاعات مورد نیاز از این

www.SID.ir

Archive of SID

فرم‌ها و ثبت آن‌ها در کنار یکدیگر به صورت بانک اطلاعاتی بود. برای تحلیل عملکرد دستگاه‌های چالزنی ابتدا زمان‌های توقف در چهار گروه مطابق جدول ۱ دسته‌بندی گردید.

نتیجه تحلیل داده‌های بانک اطلاعاتی برحسب تعداد، زمان و درصد زمان‌های توقف در چهار گروه اصلی برای دو دستگاه چالزنی موجود در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱ : تقسیم‌بندی تعمیرات و تأخیرات چالزن‌ها (اقتباس از [۵]).

گروه اصلی	تعمیرات پیشگیرانه (PM)		تعمیرات پیش‌بینی شده (SR)		تعمیرات پیش‌بینی نشده (UR)		سایر توقف‌ها (AD)	
	نوع	کد	نوع	کد	نوع	کد	نوع	کد
زیرگروه	موتور	۷	سرویس دوره‌ای	۳۰	چرخ و متعلقات	۵	قطع برق	۲۱
	سرمته	۹			بدنه، شاسی، کابین	٦	آتشکاری	۲۲
	میله مته	۱۰			موتور	۷	جابه‌جایی	۲۳
	فیلتر روغن و گاز	۱۲			وسایل هیدرولیکی	۸	شرایط جوی	۲٤
					خرابی سرمته	۹	تاخیرات ثابت	۲۵
					خرابی میله مته	۱۰		
					لوازم برقی	۱۱		

www.SID.ir

Archive of SID

			فیلتر روغن و گاز ۱۲	

جدول ۲ : نتایج تحلیل داده‌های بانک اطلاعاتی

شماره دستگاه	چالزن یک			چالزن دو		
نوع تعمیرات	تعداد	مدت(ساعت)	درصد از کل زمان	تعداد	مدت(ساعت)	درصد از کل زمان
PM	۹	۲۱	۰/۲۵	۱۹	٤۹/۷۵	۰/۵۹
UR	٤۰۸	۲٦۹۱/٦۲	۳۲/۰٤	۳٥٦	۱۸۹٥/۹٥	۲۲/٥۷
AD	۱٤۳	۷٦۲/۱٥	۹/۰۷	۱۷٤	۸۹۰/٤۲	۱۰/٦
SR	۳۲	۳٦۰/٥۰	٤/۲۹	٦	۲۰	۰/۲٤
مجموع	٥۹۲	۳۸۳٥/۲۷	٤٥/٦٦	٥٥٥	۲۸٥٦/۱۲	۳٤

تعداد روزهای کاری در دوره مورد نظر برای دستگاه‌های چالزنی ۳۵۰ روز کاری می باشد. جدول ۳ رژیم کاری چالزنها در دوره زمانی مشخص شده را نشان می‌دهد. مقایسه ضرایب اجرایی و اسمی دستگاه‌های چالزنی در جدول ٤ نشان‌دهنده کاهش نسبتاً زیاد ضریب دسترسی (نشان‌دهنده زمان تعمیرات زیاد) و افزایش ضریب بهره‌وری (بیان‌کننده زمان بیکاری کم چالزن‌ها) می‌باشد. به عبارت دیگر معدن چادرملو در شرایط حاضر با کمبود تعداد چالزن روبرو است و این امر سبب افزایش تعمیرات اتفاقی و کاهش تعمیرات پیشگیرانه شده است. در عمل نیز مشاهده می‌شود که شیفت کاری دستگاه‌های چالزنی معدن چادرملو نسبت به شیفت کاری سیستم بارگیری و باربری تغییر کرده و به دو شیفت ۱۲ ساعته در هر روز تغییر یافته است. این

www.SID.ir

Archive of SID

دستگاه‌ها حتی روزهای تعطیل رسمی نیز به کار خود ادامه می‌دهند. ازاین رو نیاز به تعیین مجدد تعداد چالزن احساس می‌شود.

جدول ۳: رژیم کاری چالزنها در دوره زمانی تعیین شده

شماره چالزن	چالزن یک		چالزن دو	
	ساعت	درصد	ساعت	درصد
جمع ساعت فعال	۵۰۶۳/۰۵	۶۰/۲۷	۴۱۶۶/۳۸	۴۹/۶۰
جمع ساعت بیکاری	۴۸۰/۸۳	۵/۷۲	۳۹۸/۳۵	۴/۷۴
جمع ساعات ناشی از تعمیرات و تاخیرات	۲۸۵۶/۱۲	۳۴/۰۰	۳۸۳۵/۲۷	۴۵/۶۶

جدول٤: مقایسه ضریب عملکردی اجرائی و اسمی دستگاه های چالزن

شماره چالزن	چالزن یک		چالزن دو	
	اسمی(در صد)	اجرائی(در صد)	اسمی(در صد)	اجرائی(در صد)
ضریب دسترسی	۸۵	۶۶	۸۵	۵٤
ضریب بهره وری	۸۵	۹۱	۸۵	۹۱
راندمان نهایی	۷۲	۶۰	۷۲	۵۰

انتخاب ماشین‌آلات حفاری

در انتخاب ماشین چالزنی عوامل مختلفی مانند سرعت چالزن، راندمان، عمر ماشین، امکان سرویس به موقع و فراهم بودن قطعات یدکی مؤثرند. اصولاً

www.SID.ir

Archive of SID

برای تعیین نوع و تعداد ماشین های چالزن، لازم است که قبلاً الگوی چالزنی براساس مدل آتشباری طراحی گردد. در این میان انتخاب قطر چال‌های حفاری برای طراحان معدن بسیار مهم است. قطر چال‌های انفجاری یا قطر سرمته بر اساس الگوی حفاری و سرعت چالزنی انتخاب می شود. قطر چال در چالزنی یک پارامتر حساس در تعیین تولید ساعتی دستگاه می‌باشد. بعد از انتخاب قطر دستگاه چالزنی مهمترین خصوصیاتی که باید مورد بررسی قرار گیرد سرعت چالزن می باشد. معمولاً سرعت چالزنی از سوی سازندگان و براساس شرایط ایده‌آل بیان می گردد. اما در عمل سرعت چالزنی در زمانهای مختلف متغیر می‌باشد. به عبارت دیگر نسبت بین متراژ حفاری و زمان چالزنی ثابت نمی‌باشد زیرا سرعت چالزنی در هر لحظه تحت تأثیر عوامل متعددی مانند قدرت قابل دسترسی، سختی سنگ، ناپیوستگی‌های موجود در سنگ و مهارت متصدی دستگاه قرار دارد. با متوسط‌گیری یا مدلسازی سرعت چالزنی (با روش‌های آمار چند متغیره یا شبکه عصبی) با این فرض که تأخیرها و توقف‌های کاری کم و بیش در یک دوره تناوب تکرار می‌شوند، می‌توان سرعت چالزنی را پیش‌بینی کرد.

پیش بینی سرعت حفاری در معدن چادرملو

تعیین تعداد ماشین‌آلات حفاری لازم بر اساس زمان مورد نیاز حفاری انجام می‌گیرد. به این منظور می‌توان بر اساس داده‌های موجود (مدت زمان حفاری برای چال‌هایی که قبلاً حفر شده‌اند) یک مدل ساخت تا بتوان بر مبنای این مدل، سرعت حفاری (در ماده معدنی و باطله) را پیش بینی کرد. داده‌های در دسترس برای این منظور عبارت است از بانک اطلاعاتی ۱۱۸۸ چال آتشباری معدن چادرملو که در هر چال مجموع طول حفاری در ماده معدنی و مجموع طول حفاری در باطله مشخص می‌باشد. برای هر چال مدت زمان حفاری نیز اندازه‌گیری شده است. طول حفاری بیش از ۸۵ درصد چال ها بین ۱۸ تا ۱۸/۵ متر می‌باشد که حدود

www.SID.ir

Archive of SID

یک متر اضافه آن برای پر شدن احتمالی حفر می‌شود. مابقی چال‌ها دارای طول حفاری کمتر از ۱۸ متر می باشند که اغلب در کناره‌های پله‌ها و روی رمپ‌ها حفر می‌شوند. در این مقاله سرعت حفاری در سنگ‌های معدن چادرملو به دو روش آمار چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی مدلسازی و مقایسه گردیده است.

الف - رگرسیون چند متغیره

در بسیاری از موارد با متغیرهایی سر و کار داریم که تابعی از دو یا چند متغیر مستقل می باشند. رگرسیون چندمتغیره روشی جهت به دست آوردن روند تغییرات یک متغیر برحسب متغیرهای دیگر است. در این روش ارتباط بین پارامترهای مجهول با متغیرهای معلوم به وسیله یک مدل خطی بیان می‌شود. مدل فوق به صورت زیر می‌باشد [۷]:

$$(Y \mid x_1,...,x_p) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + ... + \beta_p x_p + e \quad (٤)$$

که Y یک متغیر وابسته، $x_1, x_2, ..., x_p$ متغیرهای تصادفی مستقل و e خطای تصادفی (مؤلفه بازماند) است.

مقادیر $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_p$ را ضرایب رگرسیون می‌نامند. این ضرایب مجهول هستند و به روش‌های مختلفی از جمله روش کمترین مربعات محاسبه می‌شوند.

جهت مدل کردن سرعت حفاری در معدن چادرملو به روش رگرسیون چندمتغیره از نرم افزار SPSS استفاده گردید که رابطه زیر بدست آمد:

$$T_{drill} = 0.109H_w + 0.232H_o - 0.872 \quad (٥)$$

که T_{drill} زمان حفاری به ساعت، H_w متراژ حفاری در باطله و H_o متراژ حفاری در کانسنگ می‌باشد. از آنجا که برنامه تولید سالانه معادن برحسب تناژ کانسنگ و باطله می باشد، رابطه مذکور برحسب تناژ باطله و ماده معدنی به صورت زیر تبدیل می شود:

$$T_{drill} = 1185.5M_w + 2167.7M_o - 0.872 \quad (٦)$$

در این رابطه M_w و M_o تناژ باطله و ماده معدنی برحسب میلیون تن می باشند. نتایج تخمین سرعت حفاری در باطله و ماده معدنی به روش

www.SID.ir

Archive of SID

رگرسیون چند متغیره در جدول ۹ آورده شده است.

ب- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه عصبی، یک سیستم دینامیک و غیرخطی است که از تعداد زیادی واحد پردازش (سلول عصبی یا نرون) و اتصالات بین این واحدهای پردازش تشکیل می‌شود. این شبکه‌ها توانایی یادگیری دارند و قادرند روابط (الگوهای) بین ورودی‌ها و خروجی(ها) را تشخیص دهند. پس از آموزش مناسب, می توان ورودی‌های جدید به شبکه عصبی ارائه نمود و خروجی را تخمین زد.

مدلسازی سرعت حفاری در معدن چادرملو به روش شبکه عصبی بر این اساس است که شبکه عصبی می‌تواند با مشاهده مثال‌های کافی، ارتباط بین طول حفاری (در ماده معدنی و باطله) و زمان حفاری را بیابد. به این منظور ابتدا به صورت تصادفی حدود هشتاد درصد از داده‌ها (۹۵۰ چال) برای آموزش و مابقی داده‌ها (۲۳۸ چال) جهت مرحله اعتبارسنجی انتخاب شد. پس از چندین سعی و خطا شبکه عصبی نهایی به صورت ۱-۱۰-۲ به دست آمد که دو سلول در لایه ورودی (برای دریافت طول حفاری در ماده معدنی و باطله) و یک سلول در لایه خروجی مدت زمان حفاری را پیش‌بینی خواهد نمود. مشخصات شبکه به کار رفته در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵ : مشخصات شبکه عصبی به کار رفته برای پیش بینی زمان حفاری چال‌های آتشباری

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
هندسه شبکه	۱-۱۰-۲	حداکثر تعداد اپوک‌های آموزش	۳۰
تابع انتقال	تانژانت هیپربولیک	روش تغییر مقیاس	روش مستقیم به

www.SID.ir

Archive of SID

سلول‌های لایه میانی		داده‌های ورودی	بازه [۱ ۱-]
تابع انتقال سلول‌های لایه خروجی	خطی	روش تغییر مقیاس داده‌های خروجی (قبل از آموزش)	روش مستقیم به بازه [۱ ۱-]
نوع تابع خطا	میانگین مربعات خطا(MSE)	تعداد داده‌های مجموعه آموزشی	۹۵۰
خطای مطلوب	۰/۱	تعداد داده‌های مجموعه اعتبارسنجی	۲۳۸

جدول ٦ آماره‌های ارزیابی تخمین‌های شبکه را برای مجموعه آموزش و مجموعه اعتبارسنجی نشان می‌هد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ضریب همبستگی داده‌های تخمینی و واقعی حدود ۸۵٪ می‌باشد که با توجه به ماهیت پراکنده داده‌ها قابل قبول می‌باشد. منظور از ماهیت پراکنده داده‌ها این است که حتی برای یک متراژ مشخص حفاری در کانسنگ و باطله (مانند ۱۸/۵ متر حفاری در کانسنگ و صفر متر حفاری در باطله), زمان حفاری عدد ثابتی نیست و از یک ساعت تا هشت ساعت طول می‌کشد, اما در مرحله پیش‌بینی برای چنین حالتی تنها یک عدد معین به عنوان زمان مورد نیاز برای حفاری چنین چال‌هائی ارائه می‌شود که در واقع برآیند همه زمان‌ها می‌باشد. این امر باعث می‌شود که ضریب همبستگی داده‌ها مقدار متوسطی شود. میانگین خطای مطلق بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده حدود ۰/٤۸ است. به عبارت دیگر اگر اختلاف بین زمان‌های پیش‌بینی شده و زمان‌های اندازه‌گیری شده (واقعی) در نظر گرفته شود، این اختلاف به طور متوسط برابر ۰/٤۸ ساعت (حدود نیم ساعت) می‌باشد.

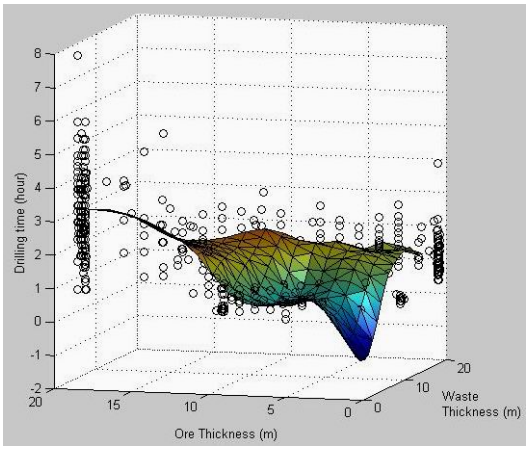
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦ : آماره‌های سنجش کیفیت تخمین های شبکه عصبی در پیش بینی زمان حفاری چال‌های آتشباری

ضریب همبستگی مقادیر واقعی و تخمینی (درصد)		میانگین اختلاف بین مقادیر واقعی و تخمینی	
مجموعه آموزش	مجموعه اعتبارسنجی	مجموعه آموزش	مجموعه اعتبارسنجی
۸۳	۸۵/۱	۰/٤۸۸	۰/٤۷۱

شکل ۲ داده‌ها و رویه برازش داده شده را به صورت سه بعدی نشان می‌دهد. محورهای افقی طول حفاری در کانسنگ و باطله و محور قائم زمان حفاری است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش طول کانسنگ در یک چال مدت زمان حفاری افزایش می‌یابد که به دلیل سخت‌تر بودن ماده معدنی نسبت به باطله است. همچنین تعداد زیادی نقطه که در راستای قائم در طول کانسنگ برابر ۱۸/۵ متر وجود دارند تغییر پذیری زمان حفاری را نشان می‌دهند. شبکه عصبی در این موارد میانگینی از مقادیر را پیش‌بینی کرده است. نکته بسیار جالب اینکه در اطراف مبداء مختصات هیچ نقطه‌ای به



عنوان داده آموزشی یا اعتبارسنجی وجود ندارد اما شبکه عصبی دریافته است که در این محدوده با توجه به الگوی تغییرات زمان حفاری، می‌بایستی زمان حفاری بسیار ناچیز باشد. این امر منطقی است زیرا برای صفر متر حفاری در کانسنگ و باطله زمان حفاری برابر صفر را انتظار داریم. در واقع شبکه عصبی در این محدوده عمل برونیابی را

www.SID.ir

Archive of SID

انجـام داده اسـت کـه نتیجـه آن معقـول است و نشان می‌دهد که الگوی داده هـا به درستی تشخیص داده شده است.

شکل۲ : رویه برازش داده شده به نقاط توسط شبکه عصبی. هر نقطه معرف یک چال می‌باشد.

در جدول ۷ نتایج تخمین سـرعت حفـاری بـا روش‌هـای رگرسـیون چندمتغیره و شبکه عصبی مقایسـه شـده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شـود بـه علت ماهیت غیرخطی و انعطاف‌پـذیری بیشتر روش شبکه عصبی، اخـتلاف بـین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعـی کمتر است و ایـن نشـان دهنـده قـدرت تعمیم بیشتر برای شـبکه عصـبی اسـت. بنابراین در ادامـه ایـن مطالعـه، از نتـایج روش شبکه عصبی استفاده گردید.

جدول ۷ : مقایسه نتایج تخمین سرعت حفاری در معدن چادرملو با روش‌های رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی

نوع روش	ضریب همبستگی مقادیر واقعی و تخمینی (درصد)	میانگین اختلاف بین مقادیر واقعی و تخمینی	سرعت حفاری (متر درساعت)	
			ماده معدنی	باطله
رگرسیون چندمتغیره	٪۸۲	۰/۵۱	۵/٤۱	۱٦/۱٦
شبکه عصبی	٪۸۵	۰/٤۷	۵/۵۲	۱۷/۵۷

تعیین تعداد دستگاه چالزنی برای طرح فعلی معدن

تعداد دستگاه چالزنی بـرای تولیـد کانسنگ و باطله از تقسیم تولیـد تعیـین شده برای معدن بر قابلیت بالفعل تولیـد یک دستگاه چالزن محاسبه می‌گردد[۹].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸ : پارامترهای آتشباری معدن چادرملو [۲].

پارامترهای آتشباری	ماده معدنی	باطله
وزن مخصوص (ton/m^3)	٤/٤	۲/۷
قطر چال (میلیمتر)	۲۵۰	۲۵۰
فاصله جناحی (متر)	۵	٦
فاصله ردیفی (متر)	٦	۷
ارتفاع پله (متر)	۱۵	۱۵
اضافه حفاری (متر)	۲/۵	۲/۵

برای انجام این محاسبات در معدن چادرملو مطابق پارامترهای آتشباری معدن (جدول ۸) تناژ متوسط سنگ حاصل از انفجار هر چال در ماده معدنی (m) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$m = 5 \times 6 \times 15(4.4) = 1980$$

(۷)

از آنجا که در طرح حاضر معدن چادرملو میزان تولید کانسنگ و باطله به ترتیب ۷/۲ و ٤/۲ میلیون تن در سال می‌باشد لذا تعداد چال مورد نیاز برای حفر در ماده معدنی (N_H) در یک سال برابر است با:

$$N_H = \frac{7200000}{1980} = 3636.4$$

(۸)

بر اساس تعداد چال محاسبه شده، متراژ چالزنی مورد نیاز در یک سال (T_d) برابر خواهد بود با:

$$T_d = 3636.4(17.5) = 63637$$

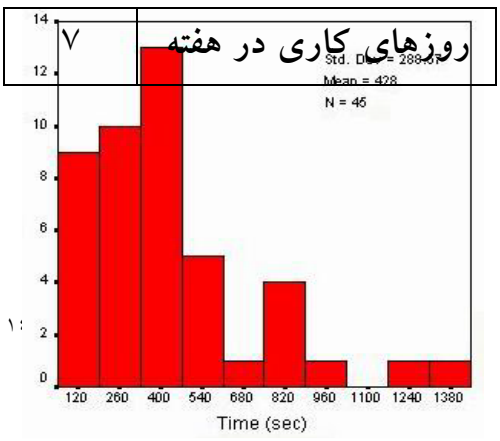
(۹)

طبق رژیم کاری معدن (جدول ۹) و متوسط سرعت حفاری چالزن در ماده معدنی به روش شبکه عصبی (جدول ۷) تعداد روزهای مورد نیاز برای چالزنی در یک سال (N_{day}) محاسبه می‌شود:

$$N_{day} = \frac{63637}{5.52 \times 21} \approx 549$$

(۱۰)

جدول ۹ : رژیم کاری معدن چادرملو [۲].



www.SID.ir

Archive of SID

روزهای سال		۳٦٥
تعداد روزهای تعطیل رسمی		۱۳
روزهای کاری در سال		۳٥۲
ساعات کاری در شیفت	شیفت ۱	۸/٥
	شیفت ۲	۸
	شیفت ۳	٤/٥

متوسط زمان جابه‌جایی دستگاه چالزن، برای جابه‌جایی از یک چال و استقرار بر روی چال بعدی مطابق زمان‌سنجی‌های انجام شده (شکل ۳) برابر ٤۲۸ ثانیه بدست آمد. بر این اساس متوسط تعداد روزهای مورد نیاز برای جابه‌جایی چالزن در یک سال (T_m) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T_m = \frac{3636.4(428)}{21\times 3600} = 20.6$$

(۱۱)

شکل ۳ : توزیع زمان جابه‌جایی چالزن بین چال‌ها

در پایان با در نظر گرفتن ضریب دسترسی اسمی چالزن (۸٥ درصد)، تعداد چالزن لازم (N_{drill}) برای حفاری در ماده معدنی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$N_{drill} = \frac{549}{352(0.85) - 20.6} = 1.97 \approx 2$$

(۱۲)

به همین ترتیب تعداد دستگاه‌های چالزنی لازم برای حفاری در باطله برابر یک عدد محاسبه گردید. بنابراین برای تامین ظرفیت معدنکاری فعلی به سه دستگاه چالزن نیاز می‌باشد.

تعیین نوع و تعداد دستگاه چالزنی برای طرح توسعه

طبق طرح توسعه معدن چادرملو میزان تولید کانسنگ و باطله از ۷/۲ و ٤/۷ میلیون تن در سال (در حال حاضر) به ۱۰ و ٦/٦ میلیون تن در سال افزایش می‌یابد. به گفته مسئولین معدن عملیات این طرح از سال ۱۳۸٤ شروع خواهد شد. انتخاب دستگاه چالزن برای طرح توسعه معدن در اولین مرحله وابسته به پارامترهای آتشباری می‌باشد. بر این اساس با توجه به پارامترهای آتشباری معدن چادرملو (جدول ۸) و بهره‌گیری از استاندارد آمریکا[٦] اقدام به انتخاب

www.SID.ir

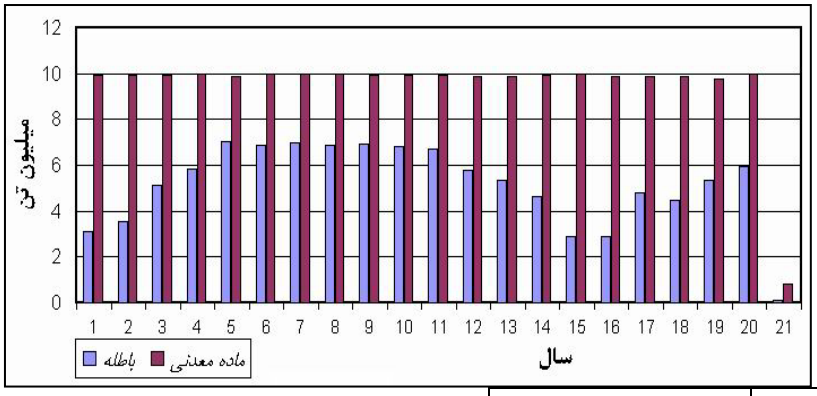
Archive of SID

دستگاه چـالزنی مناسـب بـا مشخصـاتی مطابق جدول ۱۰ گردید.

جدول ۱۰ : مشخصات چالزن انتخابی برای طرح توسعه معدن چادرملو

نوع چالزن	چالزن دورانی با قطر سرمته ۹/۸۸ تا ۱۲/۲۵ اینچ
توان (اسب بخار)	٤٦٠
هزینه سرمایه‌ای (دلار)	۱ ٦٥٠ ۰۰۰
هزینه عملیاتی (دلار بر ساعت)	۹٤/۹۲

پـس از مشـخص شـدن نـوع و سرعت دستگاه چالزن (جـدول ۱۰)، بـا بهره‌گیری از برنامه‌ریزی تولید ۲۱ سـاله انجام گرفته بـرای طـرح توسـعه معـدن (شکل ٤) و رژیم کاری معـدن (جـدول ۹) تعداد دستگاه مورد نیاز محاسبه شـد. این تعداد برای طرح توسـعه پـنج عـدد برای سال‌های مختلف تولید می‌باشد. به عبارت دیگر نسبت به سه چـالزن مـورد نیاز طرح فعلی، در طـرح توسـعه بـه دو چالزن جدید نیاز است.



شکل ٤ : برنامه تولید طرح توسعه معدن چادرملو (تهیه شده با نرم‌افزار Surpac).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

۱- با بررسی عملکرد دستگاه های چالزنی حال حاضر معدن چادرملو مشخص گردید که ضریب دسترسی واقعی از مقدار اسمی آن کمتر است ولی ضریب بهره‌وری آن‌ها از مقدار اسمی بسیار بیشتر است که بیان کننده کمبود تعداد چالزن برای شرایط فعلی می‌باشد. این امر سبب شده است که تعمیرات پیشگیرانه از دستور کار خارج و موجب افزایش تعمیرات اتفاقی گردد.

۲- برای پیش‌بینی سرعت حفاری تکنیک شبکه عصبی به علت غیرخطی بودن نتایج بهتری نسبت به رگرسیون چندمتغیره ارائه می‌کند.

۳- بر اساس نتایج مدلسازی سرعت حفاری، رژیم کاری معدن، میزان تولید سالانه و زمان‌سنجی‌های انجام شده، برای تامین نیازهای فعلی معدن به سه دستگاه چالزن نیاز می‌باشد. از این رو در شرایط حال حاضر یک دستگاه چالزن جدید می‌بایستی به تجهیزات فعلی اضافه شود.

٤- با توجه به برنامه‌ریزی تولید انجام گرفته برای طرح توسعه معدن و دیگر پارامترهای موثر، تعداد چالزن مورد نیاز برای طرح توسعه پنج عدد می‌باشد. در صورتی که یک دستگاه چالزن برای جبران کمبود تعداد چالزن‌ها در وضعیت فعلی تامین شود، هنگام شروع عملیات طرح توسعه به دو دستگاه چالزن جدید نیاز است.

مراجع

[1] Harder, A., Naoum, S., (1995). "Selection of open cast mine equipment using knowledge-base and genetic algorithm", Mine planing and equipment selection, pp. 409-413.

[۲] "مجموعه گزارش‌های طراحی معدن چادرملو"، (۱۳۷۰). شرکت EBE.

[۳] حسنی‌پاک, ع. (۱۳۷۹). "گزارش تعیین ذخیره مجدد معدن چادرملو".

www.SID.ir

Archive of SID

[٤] یـــاوری، م. (۱۳۷۳). "جـــزوه درس اصـــول اســـتخراج معـــدن"، دانشـــکده معدن،متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[5] Kennedy, B. A., (1990). "Surface mining", 2nd edition, SME

[6] "Mine and Mill Equipment Costs: An Estimators Guide", (1995). Western Mine Engineering Inc., USA.

[۷] حسنی‌پاک, ع.، شرف‌الدین, م.، (۱۳۸۰). "تحلیل داده‌هـای اکتشـافی"، انتشـارات دانشگاه تهران.

[8] Haykin, S., (1999). "Neural network: A comprehensive foundatison", Prentice Hall.

[۹] هارتمن، اچ. ال. ترجمه یاوری، م.، (۱۳۸۱). "اصول مهندسـی معـدن"، دانشـگاه صنایع و معادن، تهران.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Ingersoll-rand
2- Availability
3- Utilization

www.SID.ir