توسعه روشی جدید به منظور طراحی لنگه های زغالی در معادن اتاق و پایه

ابراهیم قاسمی[1]، کورش شهریار[2]، حمید هاشم الحسینی[3]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی معدن- استخراج، دانشگاه صنعتی شاهرود، Email: ebrahim۶۲.gh@gmail.com

۲- استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Email: k.shahriar@aut.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، Email: hamidh@iut.ac.ir

چکیده

طراحی لنگه در معادن زغال سنگ زیرزمینی یکی از گسترده ترین موضوع‌های تحقیقاتی در کشورهای تولید کننده زغال سنگ است. لنگه های به جا مانده با ابعاد نامناسب منجر به شکست لنگه در زمان عملیات بازیابی لنگه می‌شوند؛ زیرا بارهای پایه‌ای ناشی از عملیات بازیابی لنگه موجب افزایش بار وارد بر دانشیاری مجاور خط تخریب می شوند. شکست لنگه از مهم‌ترین خطرهای ژئوتکنیکی است که ممکن است موجب صدمه دیدن معدنکاران، تخریب تجهیزات و قطع تولید شود. در این مقاله روشی ساده برای طراحی لنگه در معادن اتاق و پایه ارائه شده است. این روش قادر است مقدار بارهای گوناگونی (اعم از بارهای توسعه ای و پایه ای) که ممکن است طی مراحل معدنکاری اتاق و پایه بر لنگه وارد شود، تخمین بزند. مزیت دیگر این روش کاهش خطر شکست لنگه است. در نهایت روش پیشنهادی برای طراحی لنگه در پانل اصلی معدن مرکزی زغال سنگ طبس به کار گرفته شده و براساس آن ابعاد بهینه لنگه ۱۱/۶×۱۱/۶ متر به‌دست آمده است.

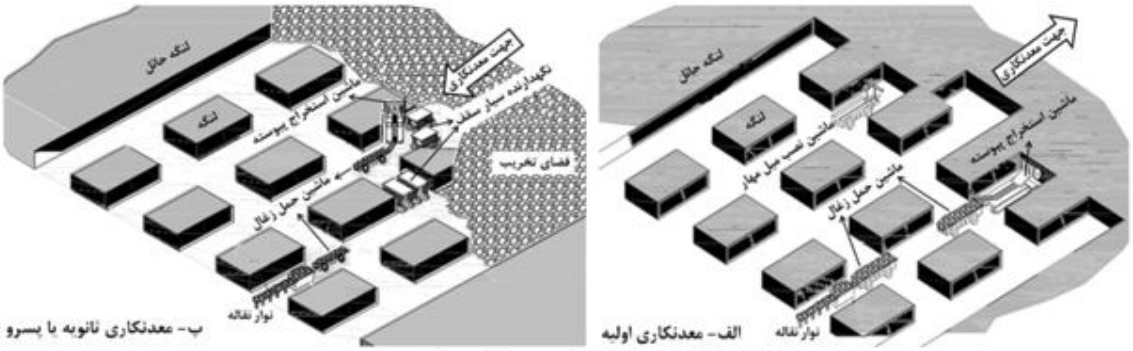
واژه های کلیدی: طراحی لنگه، معادن اتاق و پایه، شکست لنگه، بازیابی لنگه، بارهای پایه ای، معدن مرکزی طبس.

۱- مقدمه

لنگه های زغالی را می توان به صورت زغال برجایی که بین دو یا تعداد بیشتری حفریات زیرزمینی قرار گرفته تعریف کرد که کاربرد اصلی آنها نگهداری و حفاظت موقت یا دائم از اتاق ها و ورودی ها است [۱]. طراحی لنگه از مسائل بسیار مهم و پیچیده در زمینهٔ پایداری و کنترل زمین در معادن زیرزمینی، بخصوص، معادن اتاق و پایه است که در سالیان متمادی مورد توجه محققان در سرتاسر دنیا، بخصوص، در کشورهای تولید کننده زغال سنگ بوده است. علم طراحی لنگه در امریکا تقریباً به صد سال پیش باز می گردد [۲]. در ابتدا ابعاد لنگه براساس تجربه و با استفاده از روش های سعی و خطا و مشاهده موارد موفق تعیین می شد ولی با گذشت زمان راه‌های متنوع طراحی لنگه بر اساس تست های آزمایشگاهی، تست های تمام مقیاس لنگه و آنالیز معکوس، توسعه یافتند. برای مثال در سال ۱۹۸۰، بر اساس مطالعات آماری انجام شده در امریکا روش قدیمی طراحی لنگه معرفی شد که شامل سه مرحله زیر است[۲]:

- تخمین بار وارد بر لنگه با استفاده از نظریهٔ سطح تأثیر[۱]
- تخمین مقاومت لنگه با استفاده از فرمول های مقاومت لنگه
- محاسبه فاکتور ایمنی

همچنین بینیاوسکی[۲] در سال ۱۹۸۱ روشی گام به گام به منظور تعیین ابعاد لنگه های زغالی در معادن اتاق و پایه ارائه کردند که در این روش بار وارد بر لنگه همانند روش قدیمی با استفاده از نظریهٔ سطح تأثیر تخمین زده می شود [۳]. امروزه در اکثر معادن اتاق و پایه، لنگه های به جا مانده در مرحله اولیه معدنکاری به منظور افزایش بازیابی و بهره وری بیشتر از ذخیره، به صورت پسرو در عملیات جداگانه ای بازیابی می شوند که به آن عملیات بازیابی لنگه[۳]، معدنکاری ثانویه یا معدنکاری پسرو[۴] اطلاق می شود (شکل ۱). در چنین معادنی روش‌های قدیمی طراحی لنگه که در بالا ذکر شدند برای تعیین ابعاد لنگه ها مناسب نیستند زیرا این روش ها بارهای پایه ای[۵] ناشی از معدنکاری پسرو و ایجاد فضای تخریب را نادیده می‌گیرند. بارهای پایه ای، لنگه های مجاور خط تخریب را تحت تأثیر قرار می‌دهند و باری بیش از آنچه از طریق نظریهٔ سطح تأثیر تخمین زده می‌شود بر لنگه وارد می‌شود [۱ و ۴]. مطالعاتی که ون در مرو[۶] انجام داد افزایش بار روی لنگه های مجاور خط تخریب را در اثر معدنکاری پسرو تصدیق می‌کند [۵]. او با استفاده از روش رایانه‌ای دو بعدی عناصر مرزی بار واقعی وارد بر لنگه را در زمان بازیابی محاسبه و فاکتور ایمنی لنگه را در این حالت تخمین زد.



شکل (۱): مراحل گوناگون معدنکاری اتاق و پایه.

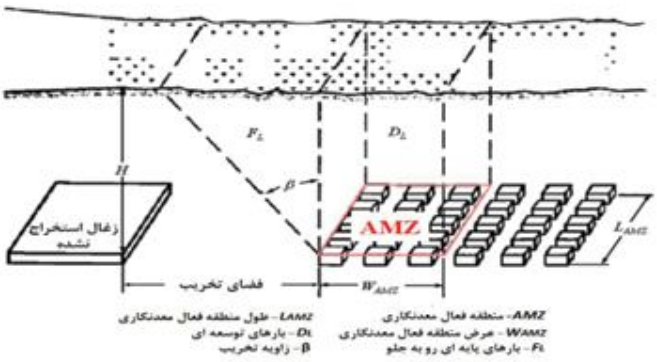
۱- Tributary area theory
۲- Bieniawski
۳- Pillar recovery operation
۴- Retreat mining
۵- Abutment loads

طراحی لنگه بدون در نظر گرفتن بارهای پایه‌ای ممکن است منجر به شکست لنگه در حین بازیابی لنگه شود. شکست لنگه ممکن است موجب ناتوانی جسمی و مرگ معدنکاران، تأخیر و قطع عملیات تولید و تخریب تجهیزات شود بنابراین جلوگیری از شکست لنگه عامل بحرانی در ایمن بودن عملیات بازیابی لنگه است. برای این منظور مرکز تحقیقات پیتسبورگ[۷] برنامه کامپیوتری آنالیز پایداری لنگه در زمان معدنکاری پسرو[۸] (ARMPS) را توسعه داد [۶]. برنامه ARMPS با در نظر گرفتن منطقه فعال معدنکاری[۹] (AMZ)، فاکتور پایداری لنگه ها را بر اساس تخمین کل بار وارد بر لنگه های موجود در این منطقه (اعم از بارهای توسعه ای[۱۰] و بارهای پایه ای) و همچنین تخمین کل ظرفیت باربری لنگه ها با استفاده از فرمول مقاومت لنگه مارک-بینیاوسکی[۱۱]، محاسبه می کند. منشأ فرمول های استفاده شده در ARMPS همان فرمول های ارائه شده در برنامه کامپیوتری آنالیز پایداری لنگه جبهه کار بلند[۱۲] (ALPS) است با این تفاوت که ARMPS به منظور تحلیل پایداری لنگه های زغالی در معادن اتاق و پایه به کار می رود در حالیکه ALPS برای تحلیل پایداری لنگه‌های زنجیره‌ای[۱۳] در معادن جبهه کار بلند استفاده می شود. به منظور اعتبار سنجی برنامه ARMPS بیش از ۲۵۰ مورد بازیابی لنگه در سرتاسر امریکا مورد بررسی قرار گرفتند[۶]. بررسی ها نشان دادند زمانی که نسبت عرض به ارتفاع لنگه بزرگ‌تر از ۴ باشد خطر شکست لنگه به شدت کاهش می-یابد. همچنین زمانی که عمق روباره کمتر از ۲۰۰ متر باشد حداقل فاکتور ایمنی مورد نیاز برای جلوگیری از شکست لنگه ۱/۵ است.

با توجه به مطالب ذکر شده، در ادامه روشی جدید به منظور طراحی لنگه‌های زغالی با سطح مقطع مربعی شکل ارائه می شود که علاوه بر در نظر گرفتن بارهای پایه‌ای در زمان معدنکاری پسرو، خطر شکست لنگه را نیز کاهش می-دهد. این روش برای طراحی لنگه در معادن اتاق و پایه که قرار است لنگه‌های به جا مانده در پانل پس از اتمام معدنکاری اولیه بازیابی شوند، کاربرد دارد. هدف از این روش طراحی لنگه های زغالی با ابعاد مناسب برای پذیرش همه شرایط بارگذاری قابل انتظار در فرایند معدنکاری اتاق و پایه است.

۲- روش

روش پیشنهادی در این مقاله همانند برنامه رایانه-ای ARMPS، تنها لنگه های موجود در AMZ را مد نظر قرار می دهد؛ زیرا این لنگه‌ها در معرض بیشترین بار قرار دارند و بنابراین عرض لنگه به‌دست آمده از طریق این روش مطلوب‌تر است. مطابق شکل ۲ منطقه فعال معدنکاری، ناحیه ای در جلوی فضای استخراج می باشد که عرضی معادل با ۵ برابر جذر عمق روباره دارد. انتخاب این عرض به این دلیل است که بر اساس اندازه گیری های صورت گرفته در حدود ۹۰ درصد از بارهای پایه ای رو به جلو[۱۴] در چنین محدوده ای وارد می شود[۶].



شکل (۲): طرحی شماتیک از منطقه فعال معدنکاری و بارهای پایه ای [۶].

روش پیشنهادی در این مقاله بر ۵ اصل استوار است:

۱- تخمین حداکثر بار وارد بر لنگه های موجود در AMZ(اعم از بارهای توسعه ای، پایه ای رو به جلو و جانبی[۱۵])

۶- Van Der Merwe
۷- Pittsburgh
۸- Analysis of Retreat Mining Pillar Stability
۹- Active Mining Zone
۱۰- Development loads
۱۱- Mark-Bieniawski
۱۲- Analysis of Longwall Pillar Stability
۱۳- Chain pillars
۱۴- Front abutment loads
۱۵- Side abutment loads

۲- تخمین ظرفیت باربری لنگه های موجود در AMZ
۳- انتخاب عامل ایمنی مناسب
۴- محاسبه عرض لنگه
۵- اصلاح عرض لنگه و تعیین عرض بهینه لنگه

این روش شامل ۱۲ گام است که در ادامه هر یک از این گام ها شرح داده می شود و شکل ۳ گام های گوناگون روش را نمایش می‌دهد. همچنین فهرست اصطلاحات به کار رفته در این روش در جدول ۱ آورده شده است.

گام ۱: جمع آوری داده های مورد نیاز

داده های مورد نیاز برای تعیین ابعاد بهینه لنگه بر اساس

۱- عمق روباره: ضخامت روباره موجود در بالای پانل استخراجی.
۲- ارتفاع معدنکاری(ارتفاع لنگه): ارتفاع معدنکاری لزوماً با ضخامت لایه زغال سنگ برابر نیست.
۳- عرض راهرو: در این روش عرض راهروها و میانبرها یکسان فرض شده است.
۴- مقاومت بر جای زغال سنگ
۵- وزن مخصوص روباره
۶- زاویه تخریب[16]: این زاویه تعیین می کند که چه میزانی از بار توسط فضای تخریب حمل می شود.

شکل (۳): روند طراحی لنگه بر اساس روش پیشنهادی

[16]- Abutment angle
[17]- Coal Mine Roof Rating (CMRR)

۷- عرض پانل: پانل‌ها بر اساس نسبت عرض به عمق (P/H) به دو دسته پانل‌های زیر بحرانی و فوق بحرانی تقسیم می شوند در صورتی که $P/H<2\tan\beta$ پانل زیر بحرانی، در غیر این صورت پانل فوق بحرانی است [۷].

۸- نرخ سقف معدن زغال سنگ[۱۷] (CMRR): از این شاخص به منظور ارزیابی کیفی سنگ سقف در معادن زغال سنگ استفاده می شود. نرخ سقف معدن زغال سنگ مقداری بین صفر تا ۱۰۰ دارد که براساس آن سنگ سقف به سه دسته ضعیف (CMRR<۴۵)، متوسط (۴۵<CMRR<۶۵) و قوی (CMRR>۶۵) تقسیم می شود [۸].

جدول (۱): فهرست اصطلاحات

نماد	توصیف (واحد)	نماد	توصیف (واحد)
H	عمق روباره (متر)	h	ارتفاع لنگه (متر)
B	عرض راهرو (متر)	P	عرض پانل (متر)
γ	وزن مخصوص روباره (کیلو نیوتن بر مترمکعب)	β	زاویه تخریب (درجه)
L_{AMZ}	طول AMZ (متر)	W_{AMZ}	عرض AMZ (متر)
D_L	بار توسعه ای (کیلو نیوتن)	F_L	حداکثر بار پایه ای رو به جلو (کیلو نیوتن)
W_{SG}	عرض فضای تخریب کناری (متر)	W_B	عرض لنگه حائل (متر)
S_L	بار پایه ای جانبی (کیلو نیوتن)	N_E	تعداد راهرو
N_P	تعداد لنگه های موجود در AMZ	S_1	مقاومت برجای زغال (مگاپاسکال)
S_P	مقاومت لنگه (مگاپاسکال)	T_{LC}	ظرفیت باربری AMZ
w	عرض لنگه (متر)	w_P	عرض بهینه لنگه (متر)
M_L	حداکثر بار وارد بر AMZ (کیلو نیوتن)	R	درصد انتقال بارهای جانبی (٪)
SF	فاکتور ایمنی	Δ	اختلاف عرض (متر)

گام۲: محاسبه ابعاد AMZ

طول و عرض AMZ به ترتیب از روابط (۱) و (۲) محاسبه می شوند:

$$L_{AMZ} = P - B \qquad (۱)$$

$$W_{AMZ} = 5\sqrt{H} \qquad (۲)$$

گام۳: محاسبه بارهای توسعه ای

بارهای توسعه ای ناشی از وزن روباره بالای AMZ هستند. بر اساس نظریهٔ سطح تأثیر بارهای توسعه‌ای وارد بر AMZ مطابق رابطه (۳) برابر است با:

$$D_L = \gamma H (P-B) \times (5\sqrt{H}) \qquad (۳)$$

گام۴: محاسبه بیشترین بار پایه ای رو به جلو

ایجاد فضای تخریب در زمان معدنکاری پسرو، بارهای پایه‌ای را موجب می‌شود. بارهای پایه‌ای با زغال استخراج نشده یا لنگه‌های مجاور فضای تخریب حمل می‌شوند. بیشترین بار پایه ای رو به جلو، بسته به اینکه پانل از نوع زیر بحرانی یا فوق بحرانی باشد متفاوت است و به ترتیب از روابط (۴) و (۵) محاسبه می شود [۹]:

$$F_L = 0.9\gamma\left[-\frac{L_{AMZ}^3}{24(\tan\beta)} + \frac{H L_{AMZ}^2}{4}\right] \qquad (۴)$$

$$F_L = 0.9\gamma\left[\frac{H^2 L_{AMZ}}{2}(\tan\beta) - \frac{H^3}{3}(\tan\beta)^2\right] \qquad (۵)$$

گام۵: محاسبه بارهای جانبی

وجود فضایی تخریب در مجاورت پانل استخراجی منشأ بارهای جانبی است. در مجاورت هر پانل استخراجی در نهایت دو فضای تخریب قرار می‌گیرد که بسته به نوع فضای تخریب کناری که از نوع زیربحرانی یا فوق بحرانی باشد بارهای جانبی به ترتیب از روابط (۶) و (۷) به‌دست می آیند [۱۰]:

$$S_L = \left(\frac{H W_{SG}}{2} - \frac{W_{SG}^2}{8(\tan\beta)}\right)\gamma \times W_{AMZ} \times R \qquad (۶)$$

$$S_L = \frac{H^2}{2}(\tan\beta)\gamma \times W_{AMZ} \times R \qquad (۷)$$

در هر دو حالت فاکتور R درصدی از کل بارهای پایه‌ای جانبی است که به لنگه های موجود در AMZ وارد می شود و طبق رابطه (۸) برابر است با [۱۰]:

$$R = \left(\frac{9.3\sqrt{H} - (W_B + (B/2))}{9.3\sqrt{H}} \right)^3 \qquad (۸)$$

گام۶: محاسبه بیشترین بار وارد بر AMZ

بیشترین بار وارد برAMZ، مجموع بارهای توسعه ای و پایه ای است که با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$M_L = D_L + F_L + S_L \qquad (۹)$$

گام ۷: در نظر گرفتن تعداد راهروی اولیه

در معادن اتاق و پایه حداقل تعداد راهروی مورد نیاز ۴ عدد است. یک راهرو برای جایگذاری نوار نقاله، یکی برای عبور هوای تمیز و دو راهرو برای برگشت هوا در طرفین پانل لازم است [۷]. در روش استخراج پیوسته (مکانیزه) این تعداد از

نظر اقتصادی و عملیاتی نامناسب است و باید حداقل تعداد ۵ راهرو در پانل مدنظر قرار گیرد که این تعداد در معادن با تولید بالا به ۷ راهرو در پانل نیز می رسد.

گام۸: محاسبه ظرفیت باربری لنگه های موجود در AMZ

ظرفیت باربری AMZ با استفاده از جمع ظرفیت باربری لنگه‌های موجود در آن محاسبه می شود. ظرفیت باربری هر لنگه از ضرب مقاومت در سطح باربری لنگه به‌دست می آید [۶]. تعداد لنگه های موجود در AMZ، مقاومت هر لنگه و ظرفیت باربری AMZ به ترتیب از روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) به‌دست می آیند:

$$N_P = \frac{W_{AMZ}}{(w+B)} \times (N_E - 1) \qquad (۱۰)$$

$$S_P = S_1(0.64 + 0.36(\frac{w}{h})) \qquad (۱۱)$$

$$T_{LC} = (N_P \times S_P \times w^2) \times 10^3 \qquad (۱۲)$$

گام۹: انتخاب فاکتور ایمنی مناسب

انتخاب فاکتور ایمنی مناسب جهت طراحی لنگه ممکن است بر اساس ارزیابی کارایی لنگه ها و یا بر اساس تجزیهٔ آماری موارد موجود (لنگه های پایدار و شکسته شده) انجام گیرد. بر اساس مطالعاتی که چس[۱۸] و همکارانش انجام دادند فاکتور ایمنی پیشنهادی برای پایداری لنگه‌های موجود درAMZ در جدول ۲ آورده شده است[۴]. این مقادیر از آنالیز ۲۵۰ مورد طراحی پانل در امریکا تعیین و همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود انتخاب فاکتور ایمنی مناسب علاوه بر عمق به مقدار نرخ سقف معدن زغال سنگ نیز وابسته است.

جدول (۲): فاکتور ایمنی پیشنهادی

کیفیت سقف بلاواسطه / عمق روباره (m)	سقف ضعیف و متوسط ($CMRR \leq ۶۵$)	سقف قوی ($CMRR > ۶۵$)
کمتر از ۲۰۰ متر	≥ ۱/۵	≥ ۱/۴
بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر	۱/۵ – [(H – ۲۰۰)/۳۳۳]	۱/۴ – [(H – ۲۰۰)/۳۳۳]
بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر	۰/۹	۰/۸

گام۱۰: محاسبه عرض لنگه

در این گام با قرار دادن فاکتور ایمنی در رابطه (۱۳) و حل آن، عرض لنگه بدست می آید:

$$T_{LC} = SF \times M_L \qquad (۱۳)$$

گام۱۱: اصلاح عرض لنگه به منظور کاهش خطر شکست لنگه

همانگونه که در قبل نیز اشاره شد یکی از راه‌های کاهش خطر شکست لنگه این است که نسبت عرض به ارتفاع لنگه حداقل ۴ انتخاب شود. در صورتی‌که نسبت عرض لنگه به‌دست آمده در مرحله قبل به ارتفاع معدنکاری کمتر از ۴ باشد عرض لنگه را آنقدر افزایش می‌دهیم تا این نسبت بزرگ‌تر یا مساوی ۴ شود. البته برای کنترل و پرهیز از افزایش بیش از حد عرض لنگه، درصد استخراج مد نظر قرار گرفته می‌شود. براساس تجربه، مناسب‌ترین درصد استخراج با توجه به اهداف اقتصادی در مرحله معدنکاری اولیه بین ۴۰ تا ۶۰ درصد است. لازم به ذکر است در هر بار تکرار در این مرحله ۰/۵ متر به عرض لنگه افزوده می شود.

گام۱۲: تعیین عرض بهینه لنگه

در این مرحله عرض به‌دست آمده از مرحله قبل را بر اساس عرض پانل اصلاح می کنیم یعنی عرض بهینه لنگه با توجه به تعداد لنگه در هر ردیف و عرض پانل تعیین می شود. برای این منظور ابتدا Δ (اختلاف عرض بین پانل و مجموع

با توجه به اهداف اقتصادی در مرحله معدنکاری اولیه بین ۴۰ تا ۶۰ درصد است. لازم به ذکر است در هر بار تکرار در این مرحله ۰/۵ متر به عرض لنگه افزوده می شود.

گام۱۲: تعیین عرض بهینه لنگه

در این مرحله عرض به‌دست آمده از مرحله قبل را بر اساس عرض پانل اصلاح می کنیم یعنی عرض بهینه لنگه با توجه به تعداد لنگه در هر ردیف و عرض پانل تعیین می شود. برای این منظور ابتدا Δ (اختلاف عرض بین پانل و مجموع یک ردیف از لنگه ها) با توجه به رابطه (۱۴) محاسبه می شود در صورتیکه $\Delta \leq (w+B)$ باشد عرض نهایی لنگه از رابطه (۱۵) تعیین می شود در غیر این صورت با توجه به مقدار Δ، به تعداد راهروها افزوده و محاسبات گام های ۸ به بعد دوباره تکرار می شود.

$$\Delta = L_{AMZ} - \left[(w+B)\times(N_E-1)\right] \qquad (۱۴)$$

$$w_p = w + \frac{\Delta}{(N_E-1)} \qquad (۱۵)$$

در ادامه ابعاد بهینه لنگه در پانل اصلی معدن مرکزی طبس با استفاده از این روش تعیین و نتایج به‌دست می‌آید و تجزیه و تحلیل می‌شود. این معدن اولین معدن مکانیزه در ایران است که به روش اتاق و پایه طراحی شده است. لنگه-های به جا مانده در این معدن قرار است در آینده پس از اتمام معدنکاری اولیه به صورت پسرو استخراج شوند. از اینرو طراحی مناسب لنگه در این معدن می تواند نقش زیادی بر ایمنی و بازیابی بیشتر ذخیره داشته باشد.

۳- مطالعه موردی: معدن مرکزی زغال سنگ طبس

معدن مورد مطالعه، معدن مکانیزه زغال سنگ مرکزی طبس است. این معدن در منطقه ای کویری در ۸۵ کیلومتری جنوب شهر طبس در استان یزد در نیمه شرقی کشور ایران واقع شده است. در این معدن لایه زغالی C۱ به روش اتاق و پایه به وسیله ماشین های استخراج پیوسته[۱۹] استخراج می‌شود. این لایه ضخامت حدوداً ۲ متر و شیب ۱ به ۵ (۱۱درجه) دارد. سنگ سقف بلاواسطه در این معدن، ضعیف (نرخ سقف معدن زغال سنگ برابر است با ۳۷) و شامل گل سنگ به ضخامت ۰/۱ تا ۰/۲ متر و سیلت استون/ماسه سنگ با ضخامت ۳ متر است. همچنین متوسط وزن مخصوص روباره ۲۵ کیلونیوتن بر متر مکعب می باشد. سنگ کف شامل ۱ تا ۱/۳ متر مادستون ضعیف است که در زیر آن مادستون قوی تر و سیلت استون/ماسه سنگ قرار دارد. مقاومت برجای زغال سنگ با استفاده از نتایج تست های مقاومت فشاری تک محوره زغال و رابطه گدی[۲۰] حدوداً ۶ مگا پاسکال برآورد شده است [۱۱].

طرح پیشنهادی معدن مرکزی شامل دو تونل دسترسی، پانل اصلی و پانل های شرقی و غربی در دو سمت پانل اصلی است که پانل اصلی مورد مطالعه در این مقاله است. بنابراین در ادامه تنها شاخص‌های مورد نیاز برای طراحی لنگه در این پانل به اختصار بیان می‌شود. عرض پانل اصلی این معدن ۸۵ متر و لنگه‌های به جای مانده در آن مربعی شکل با عرض ۱۵/۵ متر هستند. نسبت استخراج ۴۰ درصد، تعداد راهروها ۵، عرض راهروها و میانبرها ۴/۵ متر و متوسط عمق پانل ۸۵ متر است. به دلیل کف ضعیف ارتفاع لنگه با ضخامت لایه یکسان نیست و معادل ۲/۶ متر است [۱۱]. بر اساس مشاهده رفتار تخریب سنگ روباره در معدن شماره ۱ (در همسایگی معدن مرکزی) و مذاکرات صورت گرفته با دفتر فنی معدن زاویه تخریب در این معدن ۲۵ درجه است بنابراین این پانل یک پانل فوق بحرانی است ($P/H \geq 2\tan\beta$). با پیشرفت عملیات استخراج در پانل های شرقی و غربی این معدن در هر دو سمت پانل اصلی فضای تخریب ایجاد می شود. فضاهای تخریب فوق بحرانی و عرض

جدول (۴): شاخص‌های مورد نیاز برای طراحی لنگه در پانل اصلی معدن مرکزی

شاخص	مقدار	شاخص	مقدار
H	۸۵ متر	γ	۲۵ کیلو نیوتن بر متر مکعب
h	۲/۶ متر	β	۲۵ درجه
B	۴/۵ متر	P	۸۵ متر
S_1	۶ مگاپاسکال	$CMRR$	۳۷

[۱۸]- Chase
[۱۹]- Continuous miner
[۲۰]- Gaddy equation

لنگه حائل در هر سمت ۳۰ متر است. در جدول ۳ خلاصه ای از شاخص‌های مورد نیاز برای طراحی لنگه در پانل اصلی آورده شده است که در ادامه با استفاده از این اطلاعات و روش پیشنهادی طراحی لنگه، عرض بهینه لنگه تعیین و نتایج ارزیابی می شود.

۴- نتایج طراحی لنگه

خلاصه نتایج به‌دست آمده از روش پیشنهادی طراحی لنگه در جدول ۴ ارائه شده است. براساس شرایط پانل اصلی (عمق ۸۵ متری و سقف ضعیف)، مطابق جدول ۲ حداقل فاکتور ایمنی مناسب برای پایداری لنگه ها ۱/۵ است. همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌کنید بر اساس روش پیشنهادی تعداد راهرو ۶ و عرض بهینه لنگه ۱۱/۶ متر به‌دست آمده است. در مقایسه با طرح اصلی معدن، تعداد راهروها یک عدد افزایش یافته است که این افزایش در صورت مدیریت کارآمد می تواند منجر به افزایش نرخ تولید شود. همچنین عرض لنگه کاهش زیادی داشته است (حدوداً ۴ متر) که این امر موجب افزایش ۸ درصدی نرخ بازیابی می‌شود که این نشان می‌دهد طرح پیشنهادی در این مقاله نسبت به طرح اصلی معدن اقتصادی‌تر است. علاوه بر این براساس نتایج به‌دست آمده بارهای توسعه‌ای، بارهای پایه‌ای رو به جلو و بارهای پایه‌ای جانبی به ترتیب ۷۳٪، ۱۹٪ و ۸٪ از کل بار وارد بر AMZ را تشکیل می‌دهند. بارهای توسعه-ای بیشترین و بارهای پایه‌ای جانبی کمترین سهم را دارند. میزان ناچیز بارهای پایه‌ای جانبی مربوط به عرض زیاد لنگه‌های حائل[۲۱] است. به طور کلی بارهای پایه‌ای جانبی به لنگه‌های حائل و لنگه‌های موجود در AMZ منتقل می‌شود و هر چه لنگه‌های حائل عریض‌تر باشند بار بیشتری را حمل می‌کنند.

در آخر به منظور تأیید روش پیشنهادی، عرض بهینه لنگه و سایر شاخص‌های پانل اصلی به عنوان داده‌های ورودی به برنامه کامپیوتری ARMPS وارد و فاکتورهای پایداری قابل قبولی حاصل شد که این نتایج بیانگر ایمن بودن عملیات معدنکاری در هر دو مرحله اولیه و ثانویه براساس طرح پیشنهادی در این مقاله است [۹]. همچنین عرض بهینه لنگه در پانل اصلی معدن مرکزی با استفاده از نرم افزار FLAC۳D، ۱۱ متر به‌دست آمده است که این بیانگر آن است که خروجی روش ارائه شده در این مقاله مطابقت قابل قبولی با نتایج مدلسازی عددی دارد [۱۲].

جدول (۴): خلاصه نتایج طراحی لنگه در پانل اصلی معدن مرکزی.

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
L_{AMZ}	۸۰/۵ متر	W_{AMZ}	۴۶/۱ متر
D_L	$۷/۸۹\times۱۰^{۶}$ کیلو نیوتن	F_L	$۲/۰۵\times۱۰^{۶}$ کیلو نیوتن
S_L	$۰/۹۳\times۱۰^{۶}$ کیلو نیوتن	M_L	$۱۰/۸۷\times۱۰^{۶}$ کیلو نیوتن
N_E	۶	w_P	۱۱/۶ متر

۵- نتیجه گیری

طراحی لنگه یکی از بحرانی‌ترین مباحث در زمینه کنترل زمین در معادن زغال سنگ زیرزمینی است. در نظر نگرفتن بارهای پایه‌ای در مرحلهٔ طراحی لنگه ممکن است منجر به شکست لنگه و به بار آوردن خسارات جبران ناپذیری شود ، بخصوص، در معادنی که قرار است لنگه‌های به جا مانده پس از اتمام معدنکاری اولیه بازیابی شوند. انجام عملیات بازیابی لنگه و ایجاد فضای تخریب باعث به وجود آمدن بارهای پایه‌ای می‌شود. این بارها موجب بالا رفتن بار وارد بر لنگه‌های مجاور فضای تخریب می‌شوند. افزایش بار باعث کمتر شدن کارایی لنگه و ، در نهایت، شکست آنها می‌شود. روش ارائه شده در این مقاله روشی ساده و کارامد به منظور تعیین ابعاد بهینه لنگه در معادن اتاق و پایه است. این روش علاوه بر تخمین کلیه بارها، اعم از بارهای توسعه-ای و پایه‌ای، خطر شکست لنگه را نیز کاهش می‌دهد. خروجی به‌دست آمده از این روش را می‌توان به عنوان عرض بهینه لنگه که در مراحل اولیه و ثانویه معدنکاری اتاق و پایه پایدار است، در نظر گرفت.

[۲۱]- Barrier pillars

اگر چه روش ارائه شده در این مقاله و روش ARMPS در ساختار شباهت‌هایی به هم دارند اما تفاوت اصلی این دو روش در این است که در روش پیشنهادی، عرض بهینه لنگه خروجی اصلی روش است این در حالی است که در روش ARMPS عرض لنگه یکی از ورودی های اصلی روش است و با وارد کردن سایر شاخص‌ها مانند عمق روباره، عرض پانل و ... پایداری لنگه ها در مرحله اولیه و ثانویه معدنکاری اتاق و پایه ارزیابی می‌شود. به عبارتی دیگر در روش ARMPS، عرض لنگه پارامتری معلوم و در روش پیشنهادی عرض لنگه مجهول و خروجی روش است.

منابع

[1] Peng, S.S., 1978. "Coal Mine Ground Control". John Wiley & Sons, New York.

[2] Mark, C., 2006. "The evolution of intelligent coal pillar design: 1981-2006". Proceedings of the 25th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia University, USA, pp 325-334.

[3] Bieniawski, Z.T., 1981. "Improved design of coal pillars for U.S. mining conditions". Proceedings of the 1st International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia University, USA, pp 13-22.

[4] Chase, F., Mark, C., Heasley, K.A., 2002. "Deep cover pillar extraction in the U. S. coalfields". Proceedings of the 21st International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia University, USA, pp 69-80.

[5] Van Der Merwe, J.N., 1990. "The extraction safety factor concept in high-extraction coal mining". Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 90, pp 303-306.

[6] Mark, C., Chase, F., 1997. "Analysis of Retreat Mining Pillar Stability (ARMPS)". Paper in new technology for ground control in retreat mining, NIOSH IC 9446, pp 17-37.

[7] Stefanko, R., 1983. "Coal Mining Technology: Theory and Practice". Society of Mining Engineers (SME), New York.

[8] Mark, C., Molinda, G.M., 2005. "The Coal Mine Roof Rating (CMRR)-a decade of experience". International Journal of Coal Geology 64, pp 85-103.

[۹] ابراهیم قاسمی،(۱۳۸۸). **"ارزیابی ریسک های ژئوتکنیکی در معادن زغال سنگ زیرزمینی اتاق و پایه (مطالعه موردی: معدن مرکزی زغال سنگ طبس"**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[10] "ARMPS help", 2008. NIOSH, USA, Pittsburgh.

[11] "Central Mine Design Report", 2005. ADAM Consulting Engineers.

[۱۲] آناهیتا عاملی،(۱۳۸۸). **"طراحی ابعاد بهینه پایه در معدن زغال سنگ اتاق و پایه پروده طبس"**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.