تعیین طول بهینه کارگاه زغال سنگ در روش جبهه کار بلند مکانیزه پسرو

کاظم اورعی
استادیار

رضا میربهاء
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

پهنه های زغال سنگ، آنجا که شرایط زمین شناسی یا حدود مکانیکی آن اجازه می دهند، روز به روز ابعاد بیشتری پیدا می کنند. این افزایش اندازه تا جایی امکان پذیر است که از نظر مکانیك سنگی و اقتصادی توجیه پذیر باشد. با افزایش عرض بهینه یا طول کارگاه در یك پهنه جبهه کار بلند همراه با فروریزش [1]، فشارهای تکیه گاهی در لبه های پهنه و ورودی ها تا حدی افزایش یافته، سپس کاهش می یابند و از این پس فشار فقط در تقاطع های ورودی ها با کارگاه، اما با آهنگی کندتر از پیش زیاد می شود. اما چون این فشار فقط درون زغال سنگ و دیواره های ورودی هاست و روی سقف بلافصل وارد نمی آید، در ظرفیت نگهدارنده قدرتی نقشی ایفاء نمی کند و با افزایش طول کارگاه نیازی به انتخاب نگهدارنده های قدرتی قوی تر نیست. تنها مشکل خطر انفجار سنگ [2] و ناپایداری در تقاطع های کارگاه با ورودی ها، قبل از تسلیم سنگ ها است که در آغاز استخراج پهنه و قبل از فروریزش و رسیدن به حالت تعادل رخ می دهد.

با افزایش طول کارگاه، هزینه ها و تولید افزایش می یابند. اما تفاوت نسبت افزایش این دو محدودیتی اقتصادی در طول کارگاه پدید می آورد. از این رو به محاسبه طولی از کارگاه که در آن هزینه استخراج زغال سنگ حداقل است، می توان به طول بهینه کارگاه دست یافت.

Face Length Optimization in Mechanised Retreating Longwall Method

K. Oraee
Assistant Professor

Mr. R. Mirbaha
Student Graduate

Mining and Metallurgical Eng. Dept. Amirkabir University of Technology

Abstract

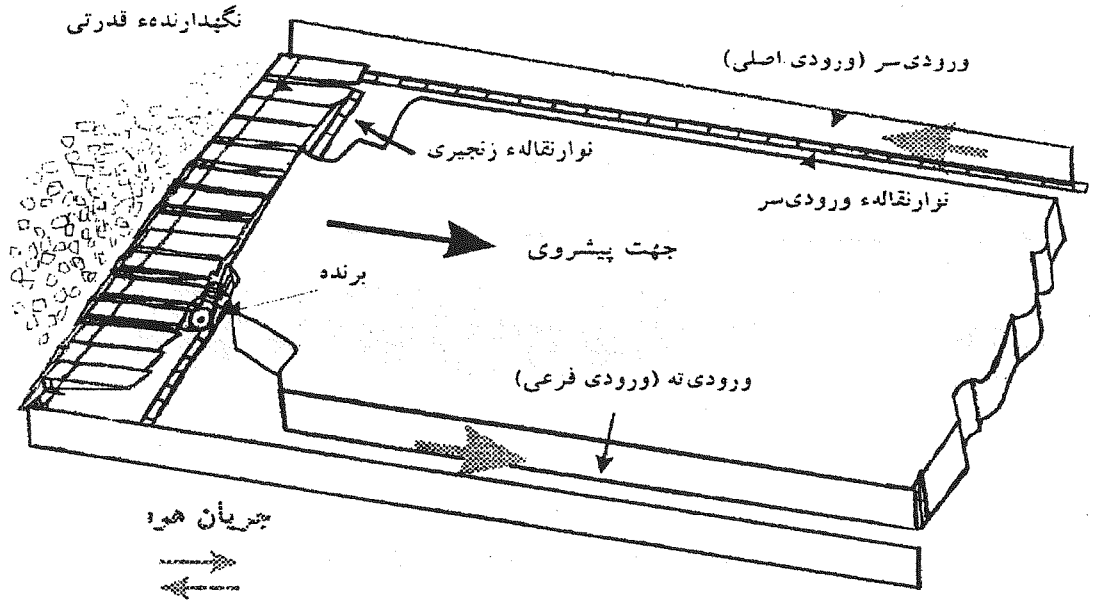
Longwall panels, where geologically possible, are becoming larger everyday. The increase in size is limited by rock mechanics and economic factors. In a caving longwall panel, as the face length increases, pressure exerted on the edges of the entries on both sides of the panel increases up to a limit and then decreases. From this point, only the pressure on the face ends increases, although more slowly. The induced stress lies within the mineral and hence only affects the sides of the adjacent roads and not the immediate roof. The capacity of the pow-

erd supports therefore need not increase with the face length. The only problem remains to be the possibility of rockbursts and the instability at the cross-sections with the face, before yielding of the rocks that occures at the start of coal outting and before caving is completed.

Total production costs increase with the face length but not proportionately. Unit costs therefore decrease with increases in face length and after a point they start to rise. The optimum face length, where unit production costs are at minimum, are calculated here.

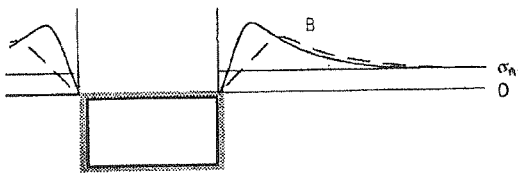
آشنایی با معدنکاری جبهه کار بلند[۳]

در شکل ۱ نمایی از یک پهنه جبهه کار بلند دیده می‌شود. هوا از ورودی سر یا ورودی اصلی که نوار نقاله‌ای در آن تعبیه شده تا زغال سنگ استخراج شده را از کارگاه خارج کند، وارد کارگاه شده و از طرف ورودی ته یا ورودی فرعی خارج می‌شود. ورودی‌ها اغلب با پیچ سنگ نگهداری می‌شوند و در طرف ورودی ته در نزدیک تقاطع کارگاه و ورودی از قاب‌های چوبی موقت برای افزایش پایداری سقف استفاده می‌کنند. ورودی ته اغلب ورودی سر پهنه استخراج شده قبلی بوده و از این رو دارای پایداری کمتری نسبت به ورودی سر که در مجاورت زغال سنگ دست نخورده واقع شده است، می‌باشد. افراد معمولاً در ورودی سر که ایمن‌تر است قرار می‌گیرند و از آنجا بر عملیات برش و پیشروی که به صورت تمام اتوماتیک انجام می‌پذیرد، نظارت می‌کنند. سقف کارگاه با نگهدارنده‌های قدرتی [۴] محافظت می‌شود. در پناه سقف یکپارچه فولادینی که از قرار گرفتن پهلو به پهلوی نگهدارنده‌های قدرتی پدید آمده است، نوار نقاله‌ای محکم و مقاوم موسوم به ناو زنجیری [۵] جلوی سینه کار قرار گرفته که در تمام طول آن گسترده شده است. روی این ناو زنجیری دستگاه برشی موسوم به برنده [۶] حرکت می‌کند که حدود ۶۰ تن وزن داشته و مقدار تولید تا ۱۷۰۰۰ تن بر شیفت می‌تواند داشته باشد. این برنده می‌تواند مجهز به خردکننده تکه‌های بزرگ زغال سنگ، جمع کننده گرد و خاک و افشانه‌های آب باشد. نگهدارنده‌های قدرتی نیز به این ناو زنجیری که می‌توان گفت تکیه‌گاه تمام ماشین‌آلات پهنه است وصل می‌باشند و هنگام پیشروی از آن به عنوان تکیه‌گاه استفاده می‌کنند. پره‌های [۷] این ناو زنجیری از طرف ورودی ته به سمت ورودی سر حرکت می‌کنند و محتوای زغال سنگ خود را در ناو زنجیری متحرک کوچک‌تری موسوم به ناو واسطه [۸] تخلیه می‌کنند. ناو واسطه هم بار خود را به نوار نقاله اصلی در ورودی سر تحویل می‌دهد. میزان زمان مفید در یک شیفت جبهه کار بلند، گاهی بیشتر از ۹۵٪ [۱] است.



شکل (۱) پهنه جبهه کار بلند پسرو

هر گاه حفره‌ای در سنگ حفر شود، وضعیت تعادل موجود به هم خورده، فشارهای قائم بر سقف حفره صفر شده و فشار اضافی به دیواره‌ها منتقل می‌شود (شکل ۲ ـ منحنی A)، به قسمت هایی از لایه که در آن فشار قائم بیش از فشار روباره است، نام تکیه گاه اطلاق می‌شود. اگر در سقف یا کف اصلی تسلیم رخ دهد، تکیه گاه پهن‌تر شده و حداکثر فشار تکیه گاهی نیز کاهش یافته و از دیواره‌ها دور می‌شود (شکل ۲ ـ منحنی B).

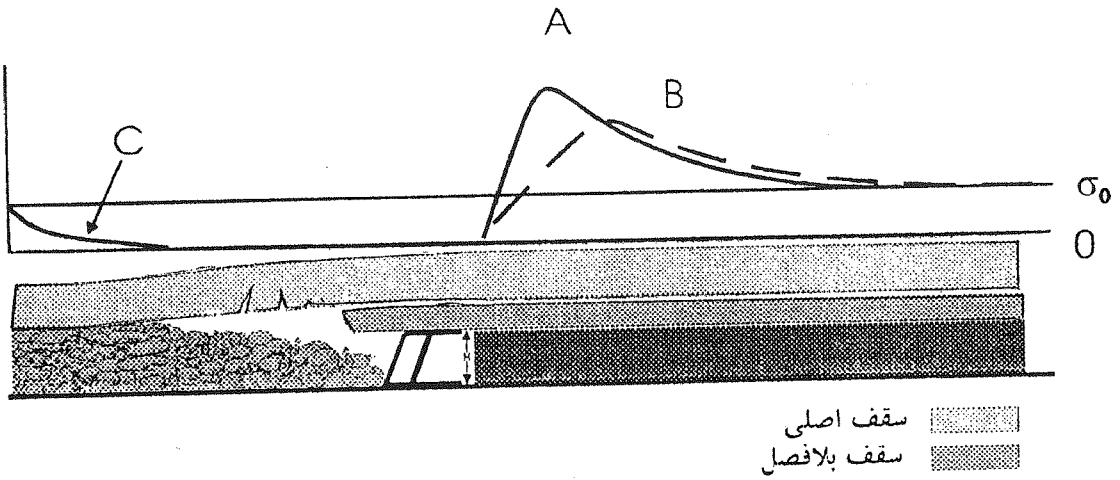


شکل (۲) وضعیت فشارهای تکیه گاهی در اطراف یك حفره

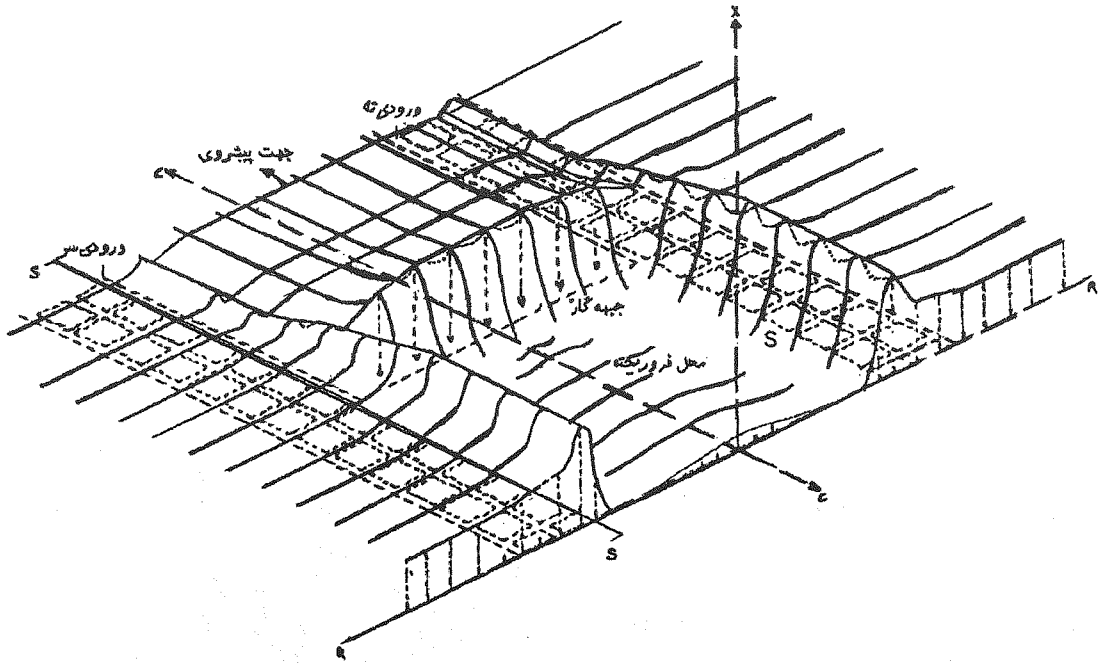
در پهنه جبهه کار بلند نیز وضعیت به همین صورت است (شکل ۳). فشار محل فرو ریزش نیز (منحنی C) با دور شدن از سینه کار به تدریج افزایش می‌یابد تا در نهایت با فشار روباره برابر می‌شود. هنگامی که فروریزش اتفاق می‌افتد، یعنی در شرایط معمول در پهنه جبهه کار بلند، فشار تکیه گاهی شکل منحنی B را دارد.

شکل ۴ تصویر جامع‌تری از فشارهای تکیه گاهی در پهنه جبهه کار بلند را به نمایش می‌گذارد. لازم به تذکر است که فشارهای تکیه گاهی بر دو نوع می‌باشند: پیشین و برین. نوع اولی در جلوی سینه کار و نوع دومی در لبه‌های پهنه ودیواره‌های ورودی‌ها پدید می‌آید.

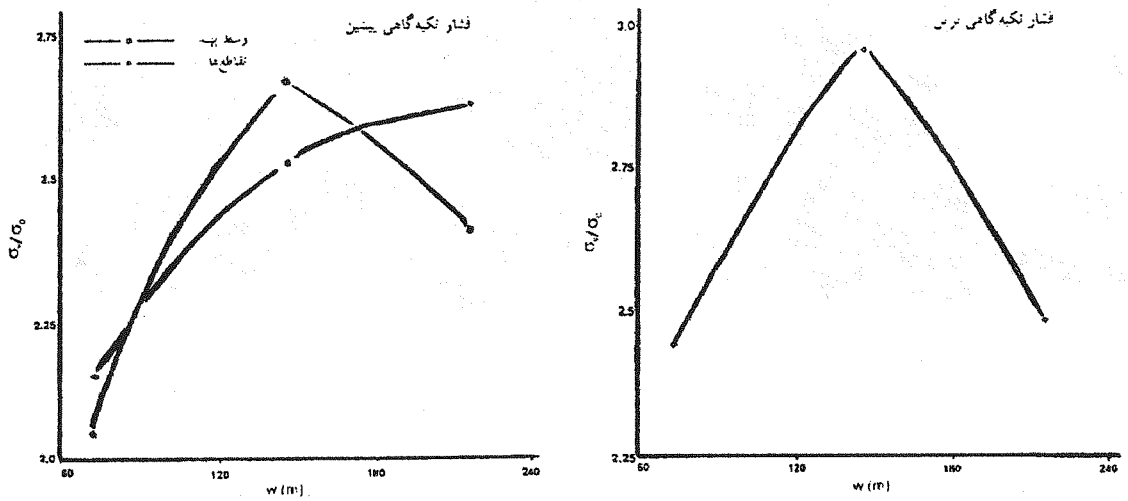
در شکل ۵ تغییرات فشار تکیه گاهی پیشین و برین با طول کارگاه دیده می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود، بعد از تجاوز طول کارگاه از حدود ۱۴۰ متر، فشار تکیه گاهی پیشین در وسط پهنه کاهش می‌یابد، اما در تقاطع‌های کارگاه با ورودی‌ها فقط از آهنگ افزایش آن کاسته می‌شود. محاسبات انجام شده [۲] نشان داده‌اند که این افزایش فشار در تقاطع‌ها فقط در تقاطع ورودی ته که در مجاورت پهنه استخراج شده‌ای باشد، روی می‌دهد ودر حالتی که پهنه تک افتاده باشد و در تقاطع ورودی سر، این فشار حتی کمتر از فشار بر وسط پهنه است. این بدان معنی است که در تقاطع ورودی ته با افزایش طول کارگاه تا قبل از تسلیم شدن زغال سنگ بر خطر انفجار سنگ و ناپایداری افزوده خواهد شد. مگر این که از روش‌های پیش گیرنده همچون تزریق آب به داخل زغال سنگ یا حفر چال‌های تنش زدا[9] استفاده شود.



شکال(۳) وضعیت فشارهای تکیه گاهی در پهنه جبهه کار بلند



شکل (۴) فشارهای تکیه گاهی پیشین و برین در پهنه جبهه کار بلند [۲]



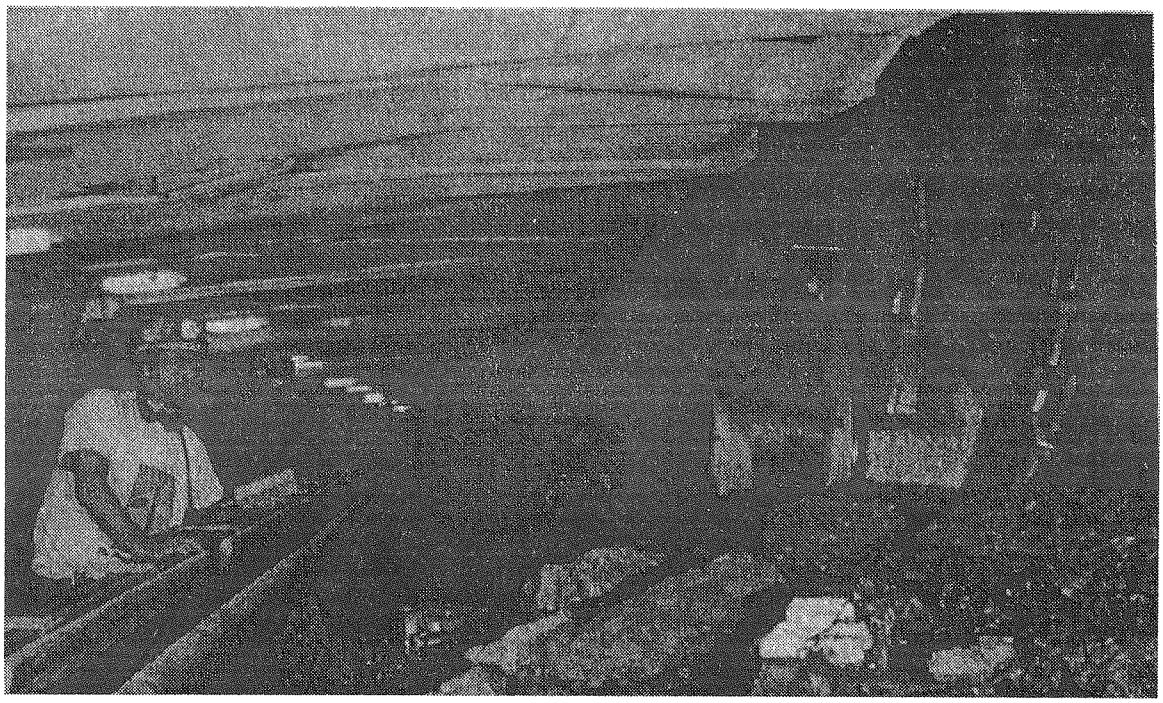
شکل (۵) تغییرات فشارهای تکیه گاهی پیشین و برین با طول کارگاه [۳]

فشار تکیه گاهی برین نیز پس از تجاوز طول کارگاه از حدود ۱۴۰ متر شروع به کاهش می نماید. در مجموع افزایش طول کارگاه از نظر مکانیک سنگی غیر از در تقاطع ورودی ته، نه تنها مشکلی ایجاد نمی نماید، بلکه سبب کاهش فشارهای تکیه گاهی و از این رو کاهش خطر انفجار سنگ نیز می شود. در تقاطع ورودی به دلیل تسلیم شدن زغال سنگ، همگرایی بیشتری وجود خواهد داشت که در این صورت بار اضافی را بر ورودی وارد خواهد کرد و به همین دلیل است که از قاب های موقت چوبی در آن تقاطع استفاده می شود.

در یک پهنه جبهه کار بلند، سقف کارگاه از نظر رفتاری به دو نوع تقسیم بندی می شود. آن که درست پس از پیشروی نگهدارنده و گاهی با تأخیر فرو می ریزد، سقف بلافصل نام داشته و آن که می شکند اما فرو نمی ریزد، سقف اصلی نام دارد. در شکل ۳ این دو نوع سقف دیده می شوند. این سقف ها می توانند چندین لایه را در بگیرند. ضخامت سقف بلافصل به ضریب تورم آن بستگی دارد و میان ۲ تا ۸ برابر ارتفاع استخراج است. دانستن خصوصیات این دو سقف برای انتخاب نگهدارنده های قدرتی ضروری است.

انتخاب ماشین آلات کارگاه جبهه کار بلند

مهم ترین ماشین آلات کارگاه جبهه کار بلند نگهدارنده قدرتی، برنده و ناو زنجیری اند و بیشترین هزینه کارگاه را نیز به خود اختصاص می دهند. در شکل ۶ تصویری از جبهه کار یک کارگاه جبهه کار بلند دیده می شود. برنده، ناو زنجیری و نگهدارنده های قدرتی در این تصویر دیده می شوند.



شکل (۶) تصویری از جبهه کار کارگاه جبهه کار بلند

در انتخاب نگهدارنده قدرتی عوامل مختلفی نقش دارند که شاید مهم ترین آنها باری است که نگهدارنده های قدرتی باید تحمل نمایند. ارتفاع استخراج، فاصله نگهدارنده نشده [۱۰]، سطح مقطع نگهدارنده، بارهای افقی و غیره از عوامل مهم دیگری هستند که در انتخاب نگهدارنده قدرتی مؤثرند. برای تعیین بار وارد بر نگهدارنده قدرتی روش های مختلفی وجود دارد که اساسی ترین آنها روش ویلسون است. با توجه به این که نگهدارنده قدرتی تنها باید وزن سقف بلافصل را تحمل نماید، ویلسون ارتفاع سقف بلافصل را با توجه به ضریب تورم سنگ سقف بلافصل تعیین کرده و براساس آن با در نظر گرفتن شیب لایه، شیب کارگاه و اصطکاک میان سقف بلافصل و سقف اصلی، بار وارد بر نگهدارنده قدرتی را تعیین می نماید. ارتفاع نگهدارنده قدرتی نیز باتوجه به ارتفاع استخراج، H، در شکل ۳ انتخاب می گردد. انتخاب نگهدارنده های قدرتی با سطح مقطع زیاد در لایه هایی که گاز زیاد داشته باشند، دارای اهمیت بسیار است تا هوای لازم برای تهویه کارگاه را بتوان از آن ها عبور داد.

برنده یکی از مهم ترین ماشین هایی است که در تعیین طول بهینه کارگاه مؤثر است. هر چه برنده قوی تر و سریع تر بوده و عمق برش بیشتری داشته باشد، تولید و

همان طور که دیده خواهد شد، طول بهینه کارگاه افزایش می یابند و هزینه استخراج بر تن کاهش پیدا می کند. البته برای انتخاب چنین برنده ای باید اطمینان داشت که گاز اضافی تولید شده بر اثر تولید بیشتر بتواند از کارگاه خارج شود، در غیر این صورت گاهی به دلیل گاز زیاد راه دیگری غیر از کاهش تولید و از این رو به کار انداختن برنده با ظرفیتی بسیار کمتر از توانایی اش وجود ندارد.

ناو زنجیری همانطور که گفته شد تکیه گاه تمام ماشین آلات کارگاه است و باید بتواند زغال سنگ استخراج شده را از کارگاه خارج کند. از این رو مهم ترین عامل در انتخاب ناو زنجیری ظرفیت آن است. ظرفیت ناو زنجیری امروزه یکی از مهم ترین عواملی است که تولید را محدود می کند. این ظرفیت برابر ۴/۵-۲/۷ کیلو تن بر ساعت است [۴]. قدرت موتورها، اصطکاک میان زنجیر و سینی های نوار نقاله و زغال سنگ و مقاومت زنجیر همگی از عوامل بازدارنده افزایش ظرفیت ناو زنجیری می باشند.

تعیین طول بهینه کارگاه از نظر اقتصادی

ملاکی که برای تعیین طول بهینه کارگاه در نظر گرفته شده، هزینه استخراج است که با به حداقل رسانیدن آن طول بهینه کارگاه به دست می آید. پس از محاسبه میزان تولید از یک کارگاه جبهه کار بلند، هزینه های استخراجی محاسبه شده و از تقسیم این دو بر یکدیگر تابع هزینه استخراج بر تن و بر حسب طول کارگاه به دست می آید.

تولید

برای به دست آوردن تابع تولید، باید نخست اثر گاز لایه را بر میزان تولید در نظر گرفت. تنها دو راه برای خارج کردن گاز از لایه وجود دارد. یکی گاززدایی و یکی تهویه. کارایی روش های گاززدایی خوب است و در صورت استفاده از چاه های قائم تا ۸۰٪ [۵] و در صورت استفاده از گمانه های افقی تا ۷۱٪ [۶] می رسد. با این حال اگر گاز لایه زیاد باشد و حجم هوای لازم برای رقیق کردن آن به حدی برسد که سبب تجاوز سرعت هوا از مقدار مجاز شود، کاهش تولید امری گریزناپذیر است. سرعت مجاز هوا در کارگاه ۴ متر بر ثانیه است [۷]، اما از سرعت های متجاوز از ۵ متر بر ثانیه نیز استفاده می شود، چرا که گاهی تا ۲۵۰۰ متر مکعب بر دقیقه هوا برای تهویه لازم است [۸].

نخست دبی هوای لازم برای رقیق کردن گاز آزاد شده به هنگام برش محاسبه می شود:

$$P_{max} = HV_a B_{max} \gamma_c$$

$$Q_{Gmax} = P_{max} q\eta_d$$

$$Q_0 = \frac{Q_{Gmax} sf_v}{P_d}$$

P_{max}= تولید برنده به هنگام کار کردن با ظرفیت کامل

H= ارتفاع استخراج

V_a= سرعت برش برنده

B_{max}= حداکثر عمق قابل برش توسط برنده

γ_c= وزن مخصوص زغال سنگ

Q_{Gmax}= گاز تولید شده هنگام کار کردن برنده با ظرفیت کامل

q= گاز آزاد شده از واحد وزن زغال سنگ

η_d= کارایی گازززدایی

Q_o= دبی هوای لازم برای رقیق کردن گاز آزاد شده

sf_v= ضریب اطمینان تهویه

P_d= درصد رقت مطلوب برای گاز (۱٪ برای متان)

حداکثر دبی هوای مجاز پهنه برابر است با:

$$Q_{max} = V_{a\,max} A_f$$

Q_{max} = حداکثر دبی هوای مجاز پهنه

$V_{a\,max}$= حداکثر سرعت مجاز هوا در کارگاه

A_f= سطح مقطع کارگاه

اگر حداکثر دبی هوای مجاز پهنه کمتر از دبی هوای لازم برای رقیق کردن گاز آزاد شده باشد، باید تولید را کاهش داد. برای کاهش تولید، یا از سرعت و یا ازعمق برش می توان کم کرد که کاهش عمق برش در معادن معمول تر است. عمق برش نهایی برابر است با:

$$B = \begin{cases} B_{max} & Q_0 < Q_{max} \\ \dfrac{V_{a\,max} A_f P_d}{qHV_a \gamma_c \eta_d sf_v} & Q_0 > Q_{max} \end{cases}$$

B= عمق برش نهایی

حال که عمق برش نهایی تعیین شده است، می توان تولید بر یک شیفت را محاسبه کرد.

تولید بر شیفت برابر است با:

$$P_{st} = P_p \cdot N_{PS}$$

که در آن:

$$P_P = wHB\gamma_c$$

$$N_{PS} = \frac{T_f}{T_P}$$

و T_f و T_P را می توان از روابط زیر به دست آورد:

$$T_f = T_s \eta_t$$

$$T_p = \left[\frac{1}{V_a} + \frac{1}{V_f}\right] w + T_t + T_h$$

T_f= زمان مفید در یک شیفت

T_s= زمان کل شیفت

η_t= درصد زمان مفید در یک شیفت

T_P= زمانی که طول می کشد تا برنده یک سفر کامل رفت و برگشت را انجام دهد.

V_a= سرعت برش برنده

V_f= سرعت تمیزکاری برنده

w = طول کارگاه

T_t= تأخیر در ورودی ته

T_h= تأخیر در ورودی سر

N_{ps}= دفعات رفت و برگشت در یک شیفت

P_P= تولید در یک سفر رفت و برگشت برنده

P_{st}= تولید در یک شیفت

هزینه ها

توابع به دست آمده برای هزینه های مختلف کارگاه برای یک شیفت کاری بر حسب دلار برای سه ماهه اول سال ۱۹۹۵ در زیر خلاصه شده اند. لازم به توضیح است که این هزینه ها یا به طور مستقیم و یا از بررسی آماری هزینه های داده شده در منابع [۹] و [۱۰] استخراج شده و به نمونه پهنه مورد نظر تعمیم داده شده اند.

از آوردن هزینه های برق به دلیل تفصیل خودداری شده است.

توابع به دست آمده برای هزینه های مختلف کارگاه بر حسب طول کارگاه (w) (دلار بر شیفت)

نوع هزینه	میزان هزینه برحسب طول کارگاه (w)
نگهدارنده قدرتی با ارتفاع کاری ۲ متر	$C_1 = 3 \cdot N_{ps} \cdot w$
ناو زنجیری	$C_2 = 626.9e^{0.005w}$
شلنگ ها و کابل ها	$C_3 = 24 + 1.166w$
نوار نقاله ورودی سر	$C_4 = 2.518L_p^{0.764}$
خدمات پهنه	$C_5 = 14.172 + 0.056L_p$
هزینه حفر ورودی ها و کارگاه	$C_6 = \frac{35.889A_e^{0.87} + 79.501A_e^{0.63} + 2.301A_e^{1.066}}{St}(2L_p + W)$
مواد مصرفی	$C_7 = 0.1377P_{st}$
حقوق	$C_8 = 2782.45$
برنده	$C_9 = 30 \cdot N_{ps}$
گازدایی	$C_{10} = 183.9 + 0.285P_{st}$
متفرقه	$C_{11} = 10\% \sum_{n=1}^{10} C_n$

w= طول کارگاه (متر)

L_P= طول پهنه (متر)

A_e= سطح مقطع ورودی ها (مترمربع)

St= تعداد شیفت های لازم برای استخراج کل پهنه

P_{st}= تولید بر شیفت

هزینه استخراج بر تن

جمع هزینه های استخراج یک پهنه جبهه کار بلند، C، بر حسب طول کار گاه، w، از این قرار است:

$$C = C_1 + C_2 + ... + C_{11} = \sum_{n=1}^{11} C_n$$

از تقسیم رابطه فوق بر رابطه تولید در یک شیفت، رابطه هزینه استخراج بر تن زغال سنگ استخراج شده، یا به عبارت دیگر مدل قیمت تمام شده بر حسب طول کارگاه به دست می‌آید:

تولید بر شیفت/ مجموع هزینه‌های یک شیفت پهنه = هزینه استخراج هر تن زغال سنگ

یا به عبارت دیگر:

$$C_T = \frac{C}{P_{st}} = \frac{\sum_{n=1}^{11} C_n}{P_{st}}$$

C_T= هزینه استخراج بر تن زغال سنگ

C= جمع هزینه‌های یک شیفت پهنه

P_{st}= تولید بر شیفت

مثال

با استفاده از طرح به دست آمده، طول بهینه یک کارگاه زغال‌سنگ نمونه با مشخصات زیر محاسبه می‌شود:

مشخصات عمومی پهنه

متغیر	اندازه
سطح مقطع ورودی‌ها، A_e	۱۲/۲ متر مربع
سطح مقطع کارگاه، A_f	۸ متر مربع
طول پهنه، L_p	۱۵۰۰ متر
طول ستون مرزی، L_{bp}	۵۰ متر
مدت زمان شیفت، T_s	۴۸۰ دقیقه
درصد زمان مفید شیفت، η_t	٪۸۰
ارتفاع استخراج، H	۲ متر
وزن مخصوص زغال‌سنگ، γ_c	۱/۲ تن بر متر مکعب
گازخیزی لایه، q	۰/۵ متر مکعب بر تن

مشخصات برنده

متغیر	اندازه
سرعت برش، V_a	۶ متر بر دقیقه
سرعت حرکت بدون بار، V_f	۱۴ متر بر دقیقه
زمان تأخیر در ورودی سر،	۴ دقیقه
زمان تأخیر در ورودی ته،	۶ دقیقه
حداکثر ضخامت برش، B_{max}	۰/۶۳ متر

مشخصات تهویه

متغیر	اندازه
درصد مجاز گاز متان و دی‌اکسید کربن در هوای کارگاه و ورودی‌ها، P_d	٪۰/۷۵
حداکثر سرعت مجاز هوا در کارگاه V_{amax}	۵/۱ متر بر ثانیه
کارایی گازززدایی، η_d	٪۷۱

عمق برش

$$B = \min \left(\begin{array}{l} \dfrac{5.1 \times 8 \times 1\%}{0.5 \times 2 \times \dfrac{6}{60} \times 1.2 \times 71\% \times 1} = 3.6 \\ B_{max} \end{array} \right) = 0.63 \quad m$$

پس پهنه احتیاجی به گازززدایی ندارد.

تولید بر شیفت

$$P_{st} = P_P \times N_{PS}$$

که در آن همان طور که قبلاً ذکر شد:

$$P_P = wHB\gamma_c$$

$$N_{PS} = \frac{T_f}{T_P}$$

$$T_f = T_S \eta_t$$

$$T_P = \left(\frac{1}{V_a} + \frac{1}{V_f}\right) w + T_t + T_h$$

تولید در یک سفر رفت و برگشت برنده

$$P_p = 2 \times 0.63 \times 1.2 \times w = 1.5w \quad \text{Tons}$$

زمان رفت و برگشت برنده

$$T_P = \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{14}\right) w + 6 + 4 = 0.238w + 10 \quad \text{min}$$

زمان مفید در یک شیفت

$$T_f = 480 \times 80\% = 384 \quad \text{min}$$

تعداد سفرهای برنده در یک شیفت

$$N_{PS} = \frac{384}{0.238w + 10}$$

تولید در یک شیفت

$$P_{st} = 1.5w \times \frac{384}{0.238w + 10} = \frac{580.6w}{0.238w + 10} \text{ Tons}$$

هزینه نگهدارنده قدرتی

$$C_1 = 3 \times \frac{384w}{0.238w + 10} = \frac{1152w}{0.238w + 10} \quad \$$$

هزینه ناو زنجیری

$$C_2 = 626.9e^{0.005w} \quad \$$$

هزینه شلنگ ها و کابل ها

$$C_3 = 24 + 1.166w \quad \$$$

هزینه نوار نقاله ورودی سر

$$C_4 = 2.518 \times 1500^{0.764} = 672 \quad \$$$

هزینه خدمات پهنه

$$C_5 = 14 + 0.056 \times 1500 = 98 \quad \$$$

هزینه حفر ورودی ها و کارگاه

$$C_6 = \frac{35.889A_e^{0.857} + 79.501A_e^{0.693} + 2.301A_e^{1.056}}{St} (2L_P + w)$$

که در آن:

$$St = \frac{rs}{p_{st}}$$

$$rs = H (L_p - L_{bp}) w\gamma_c$$

ذخیره پهنه:

$$rs = 2 (1500 - 50) w \times 1/2 = 3480w \quad \text{Tons}$$

تعداد شیفت های لازم برای استخراج پهنه

$$St = \frac{3480w}{\frac{580.6w}{0.238w + 10}} = 1.427w + 60$$

پس هزینه حفر ورودی ها و کارگاه برابر است با:

$$C_6 = \frac{(35.9)(12.2)^{0.857} + (79.5)(12.2)^{0.693} + (2.3)(12.2)^{1.056}}{1.427w + 60} (2)(1500) + w$$

$$= \frac{2365431 + 788.477w}{1.427w + 60} \quad \$$$

هزینه مواد مصرفی

$$C_7 = (0.1377) \frac{580.608w}{0.238w + 10} = \frac{79.95w}{0.238w + 10} \quad \$$$

حقوق

$$C_8 = 2782.5$$

هزینه برنده

$$C_9 = 30 \left(\frac{384}{0.238w + 10}\right) = \frac{11520}{0.238w + 10} \quad \$$$

همان طور که قبلاً ذکر شد ، هزینه گاززدایی برابر صفر است، یعنی:

$$C_{10} = 0$$

متفرقه

$$C_{11} = 10\% \sum_{n=1}^{10} C_n$$

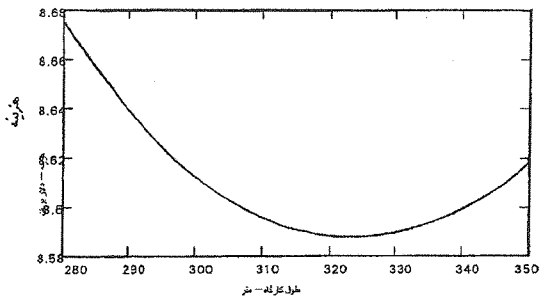
مجموع هزینه ها بر شیفت

$$C = \sum_{n=1}^{11} C_n \qquad \$$$

در نتیجه تابع قیمت تمام شده زغال سنگ از این قرار است:

$$C_T = \frac{C}{P_{st}} = \frac{\sum_{n=1}^{11} C_n}{\frac{580.6w}{0.238w + 10}} \quad \$/_{ton}$$

که مقادیر C_1 تا C_{11} در بالا به دست آمده اند. مقدار C_T در w=323 متر حداقل بوده و برابر ۸/۵۹ دلار بر تن است. این تابع در شکل ۷ رسم شده است. همان طور که ملاحظه می شود، برای پهنه ای با مشخصات بالا، طول بهینه کارگاه استخراج ۳۲۳ متر می باشد.



شکل (۷) هزینه استخراج بر تن بهینه جبهه کار بلند پسرو بر حسب طول کارگاه

نتیجه

در این مقاله نخست مشخص شد که مکانیک سنگ محدودیتی در افزایش طول کارگاه زغال سنگ در روش جبهه کار بلند پسرو پدید نمیاورد و سپس طرحی اقتصادی برای طول بهینه کارگاه ارائه شد. طرح به دست آمده برای یک پهنه نمونه به کار گرفته شد و با استفاده از آن طول بهینه کارگاه در آن به میزان ۳۲۳ متر به دست آمد. طرح ارائه شده به عنوان ابزار مفیدی می تواند طراحی را آسان تر و اقتصادی تر کند. این طرح که از قابلیت انعطاف پذیری زیادی برخوردار است و می توان آن را در شرایط مختلف معدن به کار برد، به طور خاص در پهنه چینی لایه های وسیع زغال سنگ که حداکثر بازیابی زغال سنگ و اقتصادی بودن روش کار مورد نیاز است، کاربرد زیادی خواهد داشت.

زیرنویسها

۱ ـ Caving

۲ ـ Rockburst

۳ ـ از این پس منظور از معدنکاری جبهه کار بلند، معدنکاری جبهه کار بلند مکانیزه پسرو می باشد.

۴ ـ Powered Supports

۵ ـ Arnmoured Face Conveyor

۶ ـ shearer

۷ ـ Flight or scraper bars

۸ ـ Stage Loader

۹ ـ Destressing boreholes

۱۰ ـ Prop Free Front

۱۱ ـ برای تعیین تعداد شیفت های لازم برای استخراج پهنه از روابط زیر استفاده می شود:

$$St = \frac{rs}{p_{st}}$$

$$rs = H\,(L_p - L_{bp})\,w\gamma_c$$

rs= ذخیره پهنه

Lbp= طول ستون مرزی

منابع

[1] Advances in face productivity, John chadwick, Mining Magazine, sep. 1995.

[2] Rock Mechanics For Underground Mining C 1985, 1992, B. H. G. Brady & E. T. Brown Chapman & Hall.

[3] Longwall Mining, Peng. Syd S. 1939 C 1984, John Wiley & Sons Inc.

[4] Longwalls aid productivity in Appalachian coal mining, Mining Engineering. Dec. 1995.

[5] Use of vertical wells for drainage of methane from longwall gobs, D. W. Hagwood et al, 2nd US Mine Ventilation Symposium, Reno, NV, 23-25 september 1985.

[6] Experience with cross-measure boreholes for gob gas control on retreating longwalls, J. Cervik et al., 2nd US Mine Ventilation Symposium, Reno. NV. 23-25 september 1985.

[۷] تهویه در معادن، حسن مدنی، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۶.

[8] Determining face methane liberation patterns during longwall mining, Andrew B. Cecala etal., Pittsburgh Research center, PA, USA, 2nd US Mine Ventilation Symposium, Reno, NV, 23-25 september 1985.

[9] Longwall Production And Face cost Evaluation With Particular Reference To Australian Coal Mining Industry, Arvind Misra, Journal of mines, Metals & Fuels, Jan-Feb 1994.

[10] Bureau of Mines Cost Estimating System Handbook, Bureau of Mines Information Circular, 1987.