(مقاله پژوهشی)

بررسی تأثیر پارامترهای فنی روش گاززدایی گمانه‌های متقاطع بر میزان گاز خروجی (مطالعه موردی: معدن شماره یک زغال‌سنگ پرورده طبس)

علی حسینی[1]، مهدی نجفی*[1]، امین حسین‌مرشدی[1]

[1]- دانشکده‌ی مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

(دریافت: شهریور ۱۴۰۰، پذیرش: دی ۱۴۰۰)

چکیده

انتشار زیاد گاز متان از محدوده کارگاه استخراج فعال و همچنین از لایه‌های بالا و پایین لایه استخراجی می‌تواند بر ایمنی و بهره‌وری معادن زیرزمینی زغال‌سنگ اثرگذار باشد. ازآنجاکه تهویه به‌تنهایی ممکن است برای کنترل سطح گاز متان در محیط استخراج جبهه کار طولانی کافی نباشد، استفاده از گزینه‌های استاندارد کنترل متان مانند گاززدایی لازم است انجام شود. استفاده از روش‌های مختلف گاززدایی می‌تواند منجر به کاهش انتشار متان به محیط کاری استخراج و پایین آمدن خطر انفجار و نهایتاً افزایش ایمنی و تولید شود. در معدن زغال‌سنگ شماره یک پرورده طبس، گاززدایی با روش گمانه‌های متقاطع صورت می‌پذیرد. این روش با حفر گمانه‌هایی از راهرو بالایی در لایه‌های بالای لایه زغال‌سنگ در حال استخراج و در ایستگاه‌هایی با فواصل متفاوت در طول پهنه استخراجی صورت می‌گیرد. هدف اصلی این تحقیق تعیین مقادیر مناسب پارامترهای مختلف گمانه‌های گاززدایی به‌منظور افزایش راندمان گاززدایی است. پارامترهای موردبررسی شامل طول گمانه‌های گاززدایی، زاویه گمانه‌ها نسبت به محور راهرو بالایی و زاویه گمانه‌ها نسبت به کف راهرو یا افق می‌باشند. بر این اساس تحلیل داده‌های عملیاتی حاصل از گاززدایی از پهنه E4 نشان داده است که با افزایش شیب پهنه زاویه گمانه‌های گاززدایی نسبت به محور راهرو بالایی را باید کمتر در نظر گرفت همچنین به‌طورمعمول دبی گاز خروجی ایستگاه‌های گاززدایی در فاصله بین ۱۵ تا ۲۵ متری از لبه کارگاه شروع به افزایش می‌کند درنتیجه طول گمانه‌های گاززدایی را نباید بیشتر از ۴۵ متر در نظر گرفت.

کلمات کلیدی

زغال‌سنگ، جبهه‌کار طولانی، گاززدایی، گمانه‌های متقاطع

* عهده‌دار مکاتبات: mehdinajafi@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

متان به‌عنوان گازی بی‌رنگ، بی‌بو و قابل اشتعال است که ۱۷ درصد از گازهای گلخانه‌ای موجود در جو را تشکیل می‌دهد. معادن زیرزمینی زغال‌سنگ به‌عنوان یکی از منابع اصلی انتشار متان شناخته می‌شوند [۱]. انتشار و دفع متان عمدتاً به دلیل استخراج زیرزمینی زغال‌سنگ است. متان آزادشده در هنگام استخراج زغال‌سنگ شرایط کاری ناامنی را در بسیاری از معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در سراسر جهان ایجاد می‌کند که منجر به تلفات انسانی و کاهش تولید می‌شود. انتشار متان از لایه‌های بالا و پایین لایه در حال استخراج یکی از خطرات عمده در استخراج معادن زیرزمینی زغال‌سنگ است. در اثر تخریب لایه‌های بالایی لایه در حال استخراج و شکستگی سقف و بهم ریختگی ساختار گاز متان آزادشده از درون ترک‌ها و شکستگی‌ها حرکت می‌کند و به منطقه استخراجی راه می‌یابد. دلیل این امر این است که همیشه هوای پرفشار به سمت هوای کم‌فشار حرکت می‌کند. مقدار متان در هوا و دمای آن تأثیر زیادی درحرکت آن دارد. فشار گاز با دمای بالا بیشتر از فشار گاز با دمای پایین است. درنتیجه گازی که در تخریب وجود دارد به دلیل گرم بودن و دمای بالا فشار زیادی نسبت به هوای تهویه دارد، بنابراین به سمت منطقه کاری و راهرو بالایی حرکت می‌کند. برای جلوگیری از ورود به منطقه کاری یا کاهش میزان ورود گاز لازم است زهکشی متان در این محدوده صورت گیرد. کنترل متان در معادن زغال‌سنگ زیرزمینی به دو روش صورت می‌گیرد:

- تهویه به‌تنهایی[۱]
- تهویه و گاززدایی[۲] توأمان

گاززدایی از لایه‌های بالا و پایین لایه استخراجی یکی از مؤثرترین رویکردها برای کنترل خطرات متان است، زیرا باعث کاهش انتشار متان به محیط کاری می‌شود. تخلیه متان از لایه‌ها و منطقه تخریب و پمپاژ گاز به سطح از طریق خطوط لوله با استفاده از فشار ایجادشده توسط پمپ‌های ایستگاه گاززدایی به‌عنوان کارآمدترین و مؤثرترین روش تخلیه متان اثبات شده است [۲].

روش‌های گاززدایی به دودسته گاززدایی قبل از معدنکاری[۳] و گاززدایی هم‌زمان با معدنکاری[۴] تقسیم می‌شوند. این روش‌ها هم از سطح و هم از زیرزمین برای گاززدایی به کار گرفته می‌شوند. یکی از روش‌های مفید مورداستفاده در گاززدایی، روش گاززدایی با گمانه‌های متقاطع[۵] است این روش جز روش‌های گاززدایی هم‌زمان با معدنکاری و در زیرزمین بکار گرفته می‌شود و یکی از پرکاربردترین روش‌های گاززدایی درروش جبهه‌کار طولانی در دنیاست. این روش شامل حفر گمانه‌ها از راهرو بالایی[۶] تا منطقه بدون تنش در لایه‌های سقف و کف یک لایه زغال‌سنگ در حال کار است [۳-۵]. برای جلوگیری از ورود متان به فضای کاری یا کاهش میزان ورود گاز لازم است گاززدایی در این محدوده صورت گیرد و این امر نیازمند این است که ناحیه دفع متان[۷] مشخص شود. بعد از مشخص کردن این ناحیه می‌توان پارامترهای گمانه‌های گاززدایی را مشخص نمود. این پارامترها شامل فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی، زاویه گمانه‌های گاززدایی نسبت به افق، زاویه نسبت به محور طولی راهرو بالایی و طول گمانه‌های گاززدایی است. ازاین‌رو تعیین مناسب پارامترهای گمانه‌های گاززدایی می‌تواند اهمیت بسزایی در افزایش ایمنی، کاهش توقفات تولید، کاهش هزینه‌های کلی حفر گمانه‌ها، کاهش فرسودگی تجهیزات، فرسودگی نیروی انسانی و نهایتاً افزایش راندمان گاززدایی داشته باشد.

تاکنون تحقیقات کمی در زمینه‌های مختلف گاززدایی درروش استخراج جبهه‌کار طولانی با روش گاززدایی با گمانه-های متقاطع انجام شده است، تعیین پارامترهای مناسب گمانه‌های گاززدایی می‌تواند اهمیت بسزایی در افزایش راندمان گاززدایی داشته باشد. به‌طور مختصر به بعضی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه در ادامه بیان شده است.

ثقفی و همکاران یک روش جدید برای شناسایی ناحیه انتشار گاز در یک معدن زیرزمینی در حوضه‌ی سیدنی، استرالیا ارائه دادند. در این عملیات، کلیه لایه‌های زغال‌سنگ در زیر لایه اصلی برای استخراج قرار دارند. آن‌ها با اندازه‌گیری ترکیب ایزوتوپی کربن و مولکولی گاز دفع شده از مغزه‌های زغال‌سنگ حاصل از حفاری اکتشافی و گاز جمع‌آوری‌شده از تخریب، منبع گاز و محدوده انتشار در لایه‌های زیر لایه در حال کار را تعیین کردند [۶].

ژانگ و همکاران ثابت کردند با افزایش فاصله از کارگاه استخراج غلظت گاز در تخریب افزایش می‌یابد. آن‌ها دریافتند هنگامی‌که فاصله از کارگاه کمتر از ۱۵۰ متر باشد، تغییر غلظت گاز نسبتاً پایدار خواهد بود. به‌عنوان‌مثال، هنگامی‌که فاصله از کارگاه تا محل قرارگیری حس‌گر اندازه‌گیری ۱۰ متر، ۵۰ متر، ۱۰۰ متر و ۱۵۰ متر

باشد، میانگین غلظت به ترتیب ۲/۶، ۳/۹، ۴/۱ و ۵/۹ درصد خواهد بود؛ اما اگر فاصله بیش از ۱۵۰ متر باشد، غلظت گاز به‌شدت افزایش می‌یابد. اگر فاصله از کارگاه ۱۷۰ متر باشد، غلظت گاز به ۱۰/۵۵ درصد می‌رسد. وقتی فاصله خیلی بیشتر از ۲۰۰ متر باشد، حتی بیش از ۱۶/۹ درصد است. نتیجه مشاهدات آن‌ها نشان داده است که یک منبع بزرگ گاز در تخریب وجود دارد و هر چه فاصله از کارگاه تا نقاط مشاهده بیشتر باشد، غلظت گاز بالاتر می‌رود [۷]. لی و همکاران با استفاده یک آزمون میدانی و مدل‌سازی عددی نشان دادند که بین ارتفاع قرار دهانه گمانه گاززدایی و قوانین تخریب درروش جبهه‌کار طولانی ارتباط وجود دارد و با تعیین ارتفاع مناسب قرارگیری دهانه گمانه گاززدایی می‌توان راندمان گاززدایی را بهبود بخشید [۸]. شین و همکاران نشان دادند گمانه‌هایی که نزدیک به راهرو بالایی حفر می‌شوند دارای غلظت گاز بالاتری نسبت به گمانه‌هایی هستند که در فاصله دورتر از راهرو بالایی حفر شده‌اند [۹]. در مطالعه‌ای دیگر شین و همکاران نشان دادند که گمانه‌ها با انتهای دهانه پایین واقع در ناحیه زیر منطقه شکستگی (۲۰ متر بالاتر از سقف)، می‌توانند متان بیشتری از آن‌هایی که در منطقه بالای ناحیه شکستگی (۷۰ متر بالای سقف) قرار دارند و آن‌هایی که در منطقه تخریب قرار دارند (۲ متر بالاتر از سقف) تخلیه کنند [۱۰]. همان‌طور که مشخص است تحلیل داده‌های عملیاتی گمانه‌های گاززدایی متقاطع در تحقیقات پیشین موردبررسی قرار نگرفته است.

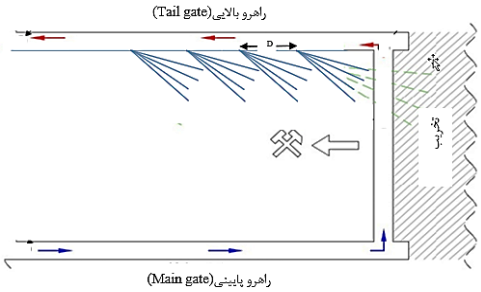
بر این اساس هدف اصلی این تحقیق تعیین مقادیر پارامترهای گمانه‌های گاززدایی متقاطع از قبیل طول گمانه، شیب گمانه، زاویه گمانه نسبت به راهرو بالایی و همچنین فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی بر اساس نتایج عملیاتی به‌منظور افزایش میزان گاز خروجی از هر ایستگاه است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طول گمانه‌های گاززدایی

امروزه استفاده از روش جبهه کار طولانی مکانیزه به دلیل نرخ تولید بالای زغال‌سنگ، در تمام معادن جهان گسترش یافته است. در بیشتر موارد، به دلیل ورود میزان گاز زیاد به محیط کاری، از روش گاززدایی با گمانه‌های متقاطع همزمان با عملیات استخراج استفاده می‌شود. نحوه‌ی حفر گمانه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. معمولاً این گمانه‌ها از راهروهای اطراف پهنه به سمت لایه‌های بالا و پایین پهنه با زوایا و طول‌های متفاوت حفر می‌شوند [۱۱، ۱۲]. گمانه‌های متقاطع به‌طورکلی از طریق لایه‌های سنگی متعدد به سمت لایه‌های حاوی متان حفر می‌شوند. بر اساس نوع حفاری، سه نوع حفاری گمانه متقاطع وجود دارد:

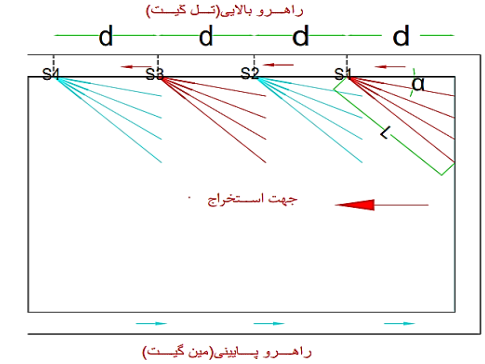
- گمانه‌ها می‌توانند از طریق راهرو بالایی و پایینی[۸] به داخل لایه زغال در حال استخراج حفر شود.
- گمانه‌ها می‌توانند از طریق راهرو بالایی و پایینی به داخل لایه‌های سقف حفر شود.
- گمانه‌ها می‌توانند از طریق راهرو بالایی و پایینی به داخل لایه‌های کف حفر شود.



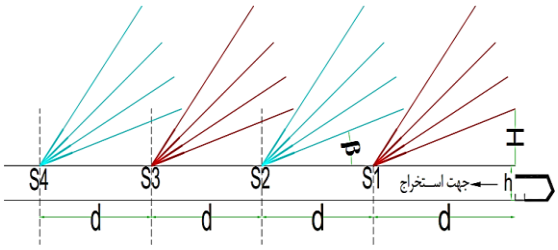
شکل ۱- روش گاززدایی گمانه‌های متقاطع و آرایش گمانه‌ها [۵]

پارامترهای فنی گمانه‌ها درروش گاززدایی با گمانه‌های متقاطع در شکل‌های ۲ تا ۴ و جدول ۱ نشان شده است که در این تحقیق به تأثیر هر یک از این پارمتراها به‌طور مجزا بر میزان گاز خروجی از گمانه‌ها و ایستگاه‌های گاززدایی پرداخته می‌شود. برای تعیین پارامترهای گمانه‌های گاززدایی درروش گاززدایی گمانه‌های متقاطع در ابتدا باید ناحیه دفع متان مشخص شود. شکل ۵ ناحیه دفع متان در بخشی از پهنه E4 معدن شماره یک مکانیزه طبس با شیب ۱۰ درجه را نشان می‌دهد [۱۳]. در طول استخراج کارگاه، نفوذپذیری اطراف پهنه استخراجی به دلیل کاهش تنش و آسیب‌دیدگی زغال‌سنگ بسیار افزایش می‌یابد؛ بنابراین، گاز منتشرشده از لایه‌های بالا و پایین لایه در حال استخراج به کارگاه منتقل می‌شود [۱۴- ۱۷]. درجه انتشار گاز در اطراف یک پهنه در شکل ۶ نشان داده شده است که مربوط به فاصله تا لایه استخراجی و مشخصات زمین‌شناسی است [۱۸]. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر چه ارتفاع ناحیه دفع متان بالاتر می‌رود درجه انتشار گاز به منطقه تخریب کمتر می‌شود. این موضوع هم در مورد لایه‌های بالای لایه در حال استخراج در سقف و هم در مورد لایه‌های زیر لایه در حال استخراج صدق می‌کند. برای گاززدایی از لایه‌های زغال‌سنگ مجاور (لایه‌های

بالا و پایین لایه در حال استخراج)، لازم است مرزهای منطقه دفع متان درروش استخراج جبهه کار طولانی تعیین شود. انتهای گمانه‌های گاززدایی باید در این منطقه قرار گیرند. هنگام گاززدایی از لایه‌های مجاور، تعیین منطقه دفع متان ناشی از استخراج ضروری است. گمانه‌های گاززدایی باید به‌گونه‌ای قرار بگیرند که در ناحیه کاهش تنش قرار داشته باشند. تعیین ناحیه دفع متان می‌تواند کمک شایانی به طراحی الگوی گمانه‌های گاززدایی درروش گاززدایی با گمانه-های متقاطع نماید. عرض و شیب پهنه پارامترهای بسیار مهم در تعیین ناحیه دفع متان در یک کارگاه استخراج جبهه کار طولانی هستند. هر چه عرض پهنه بزرگ‌تر باشد ارتفاع ناحیه دفع بالاتر می‌رود. همچنین هر چه شیب پهنه بیشتر باشد این ناحیه بیشتر به سمت راهرو بالایی تمایل پیدا می‌کند [۱۹].



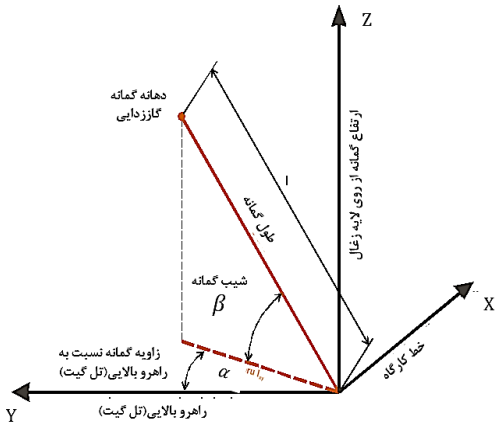
شکل ۲- طول گمانه (L)، زاویه گمانه نسبت به راهرو بالایی (α)، فاصله ایستگاه‌های گاززدایی (d)



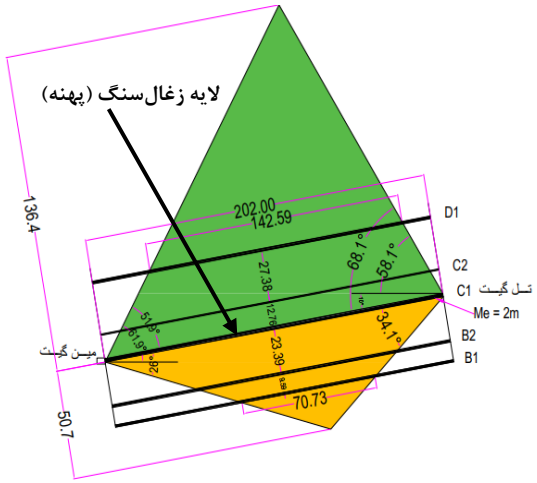
شکل ۳- ارتفاع گمانه از روی لایه زغال (H)، زاویه گمانه نسبت به کف تونل (شیب گمانه) β

جدول ۱- پارامترهای فنی گمانه‌های گاززدایی

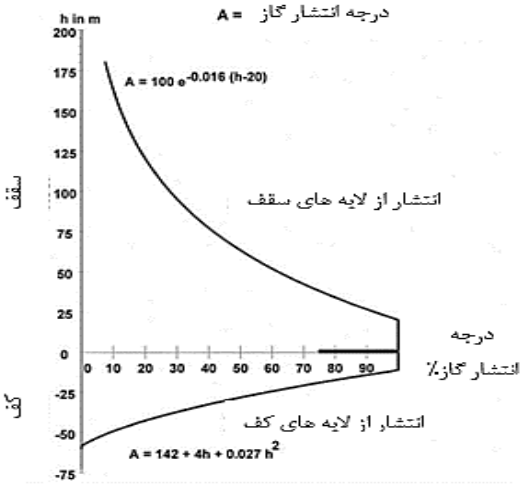
پارامتر	نشانه
ایستگاه‌های گاززدایی	S1, S2,
فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی	d
زاویه گمانه گاززدایی نسبت به کف تونل	β
زاویه گمانه گاززدایی نسبت به محور راهرو بالایی (T.G)	α
ارتفاع گمانه‌ها از بالای لایه زغال‌سنگ	H
طول گمانه	L



شکل ۴- پارامترهای گمانه‌های گاززدایی



شکل ۵- ناحیه دفع متان در بخشی از پهنه E4 [۱۳]

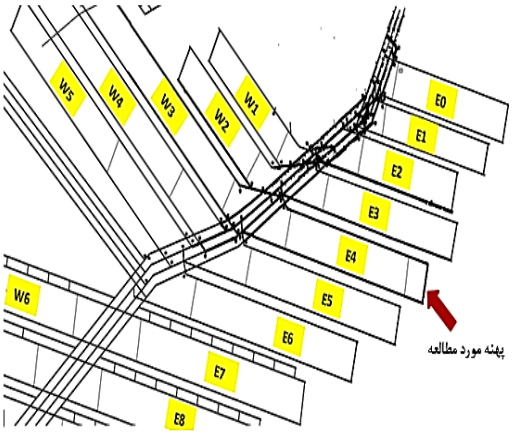


شکل ۶- درجه انتشار متان در اطراف پهنه یک جبهه کار طولانی [۱۸]

۲-۲- منطقه موردمطالعه

معدن شماره یک مکانیزه زغال‌سنگ پروده طبس در استان خراسان جنوبی در ۷۵ کیلومتری شهر طبس واقع

شده است. روش استخراج مورداستفاده جبهه‌کار طولانی و سیستم تهویه مورداستفاده در این معدن از نوع U است. در این سیستم هوا از طریق راهرو پایینی وارد و پس از عبور از کارگاه از راهرو بالایی خارج می‌شود. در معدن یک پروده طبس تاکنون هفت پهنه E0, E1, E2, E3, W0, W1, W2 استخراج شده است (شکل۷) و در حال حاضر پهنه هشتم E4 در حال استخراج است. با توجه به افزایش عمق و به دنبال آن افزایش میزان گاز، گاززدایی از پهنه E3 در این معدن شروع‌شده و در حال حاضر پهنه E4 در حال استخراج و گاززدایی است. روش گاززدایی مورداستفاده در معدن مکانیزه شماره یک طبس روش گاززدایی با گمانه-های متقاطع است.



شکل ۷- نقشه معدن یک زغال‌سنگ پروده طبس [۲۰]

مشخصات و اطلاعات فنی کارگاه E3 و E4 در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات پهنه E3 و E4

مشخصات	E3	E4
طول پهنه (متر)	۱۲۳۵	۱۳۲۱
عرض پهنه (متر)	۱۹۷ تا ۲۰۷	۲۰۱ تا ۲۱۱
شیب پهنه (درجه)	۱۵ تا ۲۰	۱۰ تا ۲۰
ارتفاع معدنکاری (متر)	۲٫۷ تا ۱٫۱	۲٫۷ تا ۱٫۱
متوسط عمق پهنه (متر)	۳۸۰	۴۸۵

لایه‌های زغالی که در معدن طبس وجود دارد به ترتیب از پایین به بالا شامل B1, B2,C1,C2 و D است. لایه C1 باضخامت ۱٫۷ تا ۲٫۱ متر در حال استخراج است. لایه B2 در زیر لایه C1 و لایه C2 در بالای لایه C1 مهم‌ترین منابع انتشار متان به منطقه تخریب و سپس به محیط کاری در معدن هستند (شکل۸).

شکل ۸- لایه‌های زغالی معدن یک زغال‌سنگ پروده طبس [۲۰]

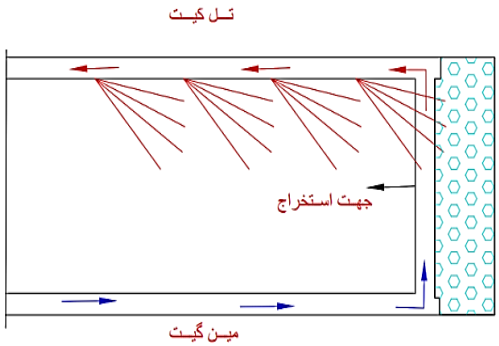
۲-۳- جمع‌آوری داده‌ها

برای تعیین مقادیر مناسب پارامترهای گمانه‌های گاززدایی متقاطع، داده‌های حاصل از ۶۷ ایستگاه گاززدایی که شامل ۲۸۰ گمانه گاززدایی حفرشده در پهنه E3 و ۶۸ ایستگاه که شامل ۱۵۲ گمانه گاززدایی در پهنه E4 بود جمع‌آوری شده است. این داده‌ها شامل طول گمانه‌ها، زاویه نسبت به محور راهرو بالایی، شیب گمانه، فاصله بین ایستگاه‌ها و میزان گاز خروجی از هر ایستگاه و گمانه برحسب مترمکعب بر دقیقه است.

۳- نتایج و بحث

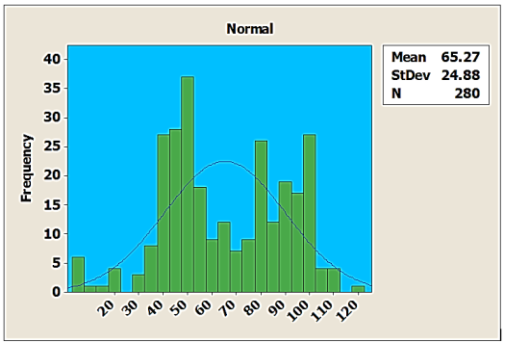
۳-۱- طول گمانه‌های گاززدایی

درروش گاززدایی با گمانه‌های متقاطع درروش جبهه کار طولانی با سیستم تهویه U، گمانه‌های گاززدایی از راهرو بالایی حفر می‌شوند و پس از عبور از کارگاه استخراج از محل حفر این گمانه‌ها از بین می‌روند. نمونه‌ای از نحوه‌ی قرارگیری گمانه‌های گاززدایی در یک کارگاه استخراج جبهه‌کار طولانی تهویه شده توسط سیستم U در شکل ۹ ارایه شده است. در این روش تعیین طول مناسب گمانه‌های گاززدایی یکی از پارامترهای بسیار مهم است. طول گمانه‌های به شرایط زمین‌شناسی و درزه و شکستگی‌های موجود بستگی دارد. بسته به شرایط زمین‌شناسی و ساختاری اگر طول گمانه‌های گاززدایی بیش‌ازحد زیاد باشد ممکن است بعضی از گمانه‌ها در اثر شرایط ساختاری و تنش‌های وارده منجر به تولید گاز نشده و از دور خارج شوند.



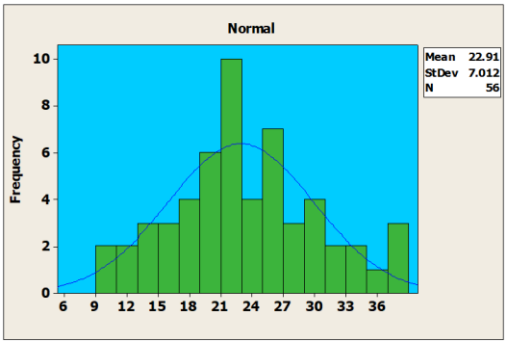
شکل ۹- روش گاززدایی با گمانه‌های متقاطع در سیستمU [۵]

در طول پهنه E3 ۲۸۰ گمانه گاززدایی در ۶۷ ایستگاه که از این تعداد ۱۱ ایستگاه به‌صورت آزمایشی و ۵۶ ایستگاه به‌منظور گاززدایی بود حفر شده است. متوسط طول گمانه‌ها در این پهنه ۶۵٫۲۷ متر، ماکزیمم طول گمانه گاززدایی که در این پهنه حفرشده ۱۲۰ متر و فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی ۱۸ الی ۲۲ متر بوده است (شکل ۱۰).



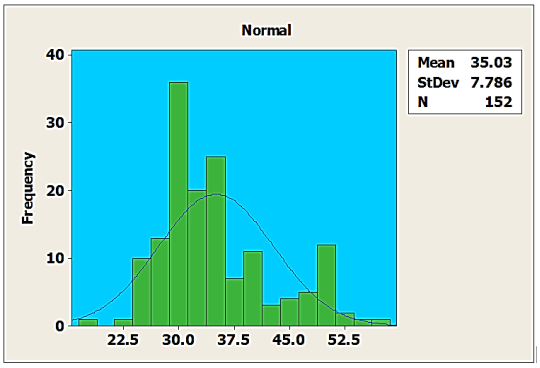
شکل ۱۰- هیستوگرام طول گمانه‌های گاززدایی (متر) در کارگاه E3

همان‌طور که در شکل ۱۱ و جدول ۳ نشان داده شده است با بررسی وضعیت زمان شروع دبی گاز در ایستگاه‌های گاززدایی در کارگاه E3 می‌توان به این نتیجه رسید که به‌طور متوسط دبی هر ایستگاه در فاصله بین ۱۷ تا ۲۷ متری از لبه کارگاه شروع به افزایش می‌کند و در فاصله دورتر از آن ایستگاه‌ها دارای دبی بسیار کم یا فاقد دبی هستند.



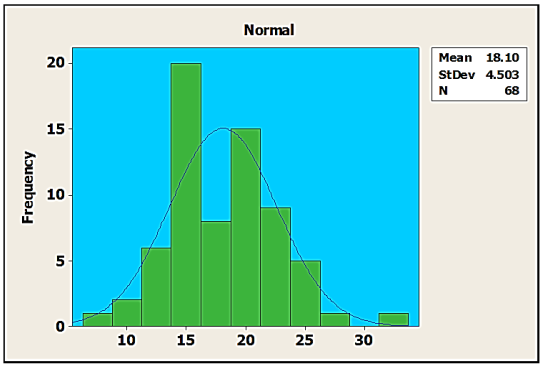
شکل ۱۱- هیستوگرام فاصله لبه کارگاه استخراج تا ایستگاه در هنگام شروع دبی (متر) در پهنه E3

در ۷۳۰ متری ابتدای پهنه E4 ۱۵۲ گمانه گاززدایی در ۶۸ ایستگاه گاززدایی حفرشده و متوسط طول گمانه‌ها در این پهنه ۳۵ متر است. ماکزیمم طول گمانه گاززدایی که در این پهنه حفرشده ۵۷ متر و فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی ۹ الی ۲۲ متر بود. هیستوگرام فراوانی طول گمانه‌های پهنه E4 در شکل۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- هیستوگرام طول گمانه‌های گاززدایی (متر) در کارگاه E4

بررسی وضعیت زمان شروع دبی گاز در ایستگاه‌های گاززدایی در کارگاه E4 نیز صورت گرفت و در شکل۱۳ و جدول۳ مشاهده می‌شود که به‌طور متوسط دبی هر ایستگاه در فاصله بین ۱۵ تا ۲۲ متری از لبه کارگاه شروع به افزایش می‌کند و در فاصله دورتر از آن دبی ایستگاه‌ها بسیار کم یا فاقد دبی هستند.



شکل ۱۳- هیستوگرام فاصله لبه کارگاه استخراج تا ایستگاه در هنگام شروع دبی (متر) در پهنه E4

با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ و نیز اطلاعات بیان شده در جدول ۳ که مربوط به زمان شروع دبی در ایستگاه‌های گاززدایی در پهنه E3 و E4 است می‌توان دریافت که فراوانی ایستگاه‌ها در فاصله (d) حدوداً ۱۵ تا ۲۵ متری از لبه کارگاه که شروع به دبی می‌نمایند بیشتر است. بر این اساس با توجه به شیب گمانه، زاویه گمانه نسبت به محور راهرو بالایی و محل قرارگیری دهانه گمانه گاززدایی در

بالایی کارگاه استخراج و همچنین همپوشانی گمانه‌های یک ایستگاه با ایستگاه ماقبل خود پیشنهاد می‌شود طول گمانه باید ۳۵ تا ۴۵ متر باشد. بر این اساس با درنظرگرفتن منطقه دفع متان و فاصله قرارگیری ایستگاه از آن، حفر گمانه‌های با طول بیش از ۴۵ متر تأثیری در میزان افزایش دبی خروجی گاز از ایستگاه ندارد.

جدول ۳- جدول فراوانی فاصله ایستگاه‌های گاززدایی تا لبه کارگاه استخراج در هنگام شروع دبی در پهنه E3 و E4

	فاصله ایستگاه‌ها (متر)	تعداد ایستگاه	درصد فراوانی	فراوانی تجمعی	درصد فراوانی تجمعی
E3	۹ تا ۱۶	۷	۱۲٫۵۰	۷	۱۲٫۵۰
	۱۷ تا ۲۵	۳۱	۵۵٫۳۶	۳۸	۶۷٫۸۶
	۲۶ تا ۳۸	۱۸	۳۲٫۱۴	۵۶	۱۰۰
E4	۸ تا ۱۴	۱۵	۲۲٫۰۵	۱۵	۲۲٫۰۵۹
	۱۵ تا ۲۲	۴۲	۶۱٫۷۶	۵۷	۸۳٫۸۲
	۲۳ تا ۳۲	۱۱	۱۶٫۱۷	۶۸	۱۰۰

۳-۲- زاویه گمانه‌ها نسبت به کف تونل (شیب گمانه)

زاویه گمانه‌ها نسبت به کف راهرو یا افق در اصل همان شیب گمانه است. طول گمانه و ارتفاع گمانه از روی لایه زغال‌سنگ رابطه مستقیم با شیب گمانه دارند؛ یعنی هرچقدر شیب گمانه کمتر باشد طول گمانه تا رسیدن به ارتفاع موردنظر در بالای لایه زغال‌سنگ بیشتر خواهد شد و بالعکس هر چه شیب گمانه بیشتر باشد طول گمانه تا رسیدن به ارتفاع موردنظر در بالای لایه زغال‌سنگ کمتر خواهد بود. بین نواحی ایجادشده بعد از شروع استخراج پهنه و ناحیه دفع متان ارتباط مستقیم وجود دارد هر چه ارتفاع تخریب و ارتفاع ناحیه شکست در پهنه استخراجی بیشتر باشد ارتفاع گمانه‌ها از روی لایه استخراجی را می‌توان بالاتر در نظر گرفت. به‌طورکلی می‌توان گفت انتهای گمانه‌های گاززدایی باید حدوداً بین ناحیه تخریب و بخش ابتدایی ناحیه شکستگی قرار گیرند تا میزان گاز خروجی از گمانه‌های گاززدایی مطلوب باشد.

ناحیه تخریب تقریباً ۲ تا ۸ برابر ضخامت لایه زغال‌سنگ در حال استخراج است و ناحیه شکسته شده که در بالای ناحیه تخریب قرار دارد حدوداً ۲۸ تا ۴۸ برابر ضخامت لایه استخراجی است (شکل۱۴)[۲۱].

ارتفاع ناحیه تخریب و شکستگی را می‌توان از روابط (۱) و (۲) زیر به دست آورد [۲۲]:

$$h_{im} = \frac{100h}{C1h + C2} \quad (۱)$$

$$h_{fr} = \frac{100h}{C3h + C4} \quad (۲)$$

h_{im}: ارتفاع متوسط ناحیه تخریب

h_{fr}: ارتفاع متوسط ناحیه شکستگی

C1: ضریب سنگ‌شناسی لایه برای سنگ‌های نرم و ضعیف با مقاومت فشاری کمتر از ۲۰ مگا پاسکال ۶٫۲ است.

C2: ضریب سنگ‌شناسی لایه برای سنگ‌های نرم و ضعیف با مقاومت فشاری کمتر از ۲۰ مگا پاسکال ۳۲ است.

C3: ضریب سنگ‌شناسی لایه برای سنگ‌های نرم و ضعیف با مقاومت فشاری کمتر از ۲۰ مگا پاسکال ۳٫۱ است.

C4: ضریب سنگ‌شناسی لایه برای سنگ‌های نرم و ضعیف با مقاومت فشاری کمتر از ۲۰ مگا پاسکال ۵ است.

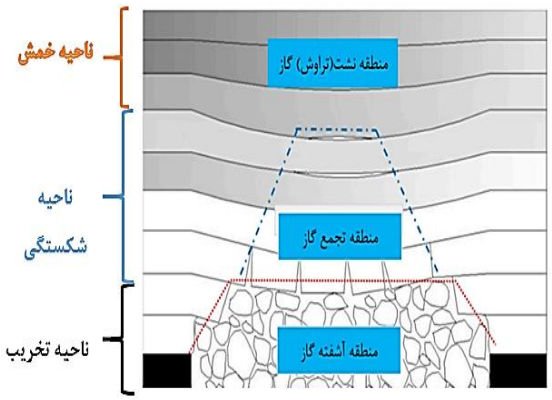
ازآنجاکه توزیع شکستگی‌ها روی تجمع گاز تأثیر دارد طبق قوانین تخریب سقف سه منطقه در ناحیه تخریب وجود دارد [۶]:

- ناحیه آشفتگی گاز[۹]
- ناحیه تجمع گاز[۱۰]
- ناحیه تراوش یا نشت گاز[۱۱]

همان‌طور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود برای ناحیه آشفته گاز در قسمت تخریب تا حد زیادی شکستگی ایجادشده و گاز در تخریب جمع می‌شود.

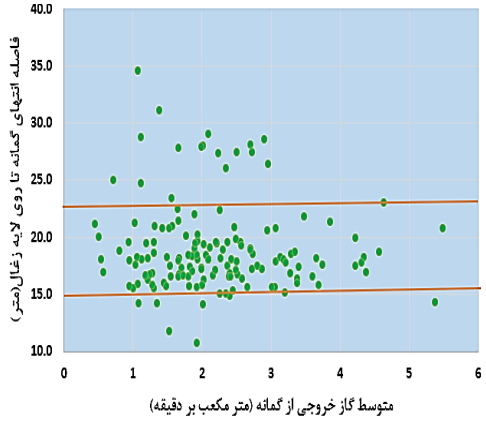
ناحیه تجمع گاز در ناحیه شکستگی قرار دارد، لایه‌های بالا در این منطقه عمدتاً دست‌نخورده باقی می‌مانند. در فرآیند جدایش لایه‌ها در درجه اول ترک‌های کششی شکل می‌گیرند و نفوذپذیری لایه‌ها در این منطقه افزایش می‌یابد. در منطقه تراوش گاز عمدتاً در ناحیه خمش قرار دارد. لایه‌های این ناحیه به‌طور کامل نشست پیدا نمی‌کنند و کمی دچار خمش می‌شوند و حاوی ترک‌های ریز هستند. حرکت گاز در این منطقه عمدتاً نشتی است و میزان گاز بسیار اندک است.

همان‌طور که بیان گردید ستون چینه‌شناسی سنگ‌های بالای لایه زغال‌سنگ در معدن طبس تناوبی از آرژیل، سیلت و ماسه‌سنگ است بر این اساس ارتفاع نواحی تخریب و شکسته شده در پهنه‌های E3 و E4 معدن زغال‌سنگ طبس به ترتیب ۱۵٫۹ و ۳۲ متر محاسبه شده است.



شکل ۱۴- توزیع گاز در مناطق مختلف منطقه تخریب [۶]

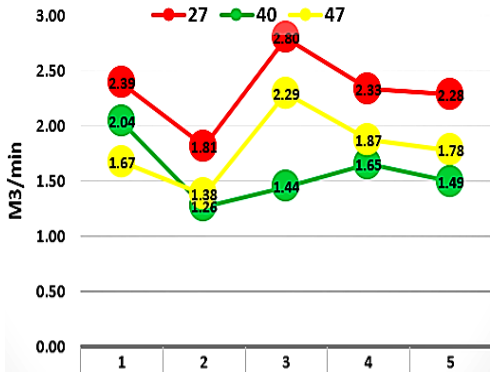
برای تعیین ارتفاع مناسب گمانه‌های گاززدایی داده‌های حاصل از ۱۵۲ گمانه در کارگاه E4 شامل متوسط گاز خروجی از هر گمانه و ارتفاع گمانه از بالای لایه زغال‌سنگ بررسی شده است. بررسی‌ها نشان داد گمانه‌هایی که انتهای دهانه آن‌ها در ارتفاع‌های بین ۱۵ تا ۲۲ متر از بالای لایه زغال‌سنگ واقع شده‌اند در بعضی مواقع میزان گاز خروجی از آن‌ها بیشتر از گمانه‌هایی بوده که در ارتفاع کمتر یا بالاتر از این محدوده حفر شده‌اند (شکل۱۵). با توجه به محاسبات صورت گرفته در مورد ارتفاع ناحیه تخریب و شکستگی در پهنه E3 و E4 می‌توان دریافت که محل قرارگیری دهانه گمانه‌های گاززدایی باید در بالای منطقه تخریب و بخش ابتدایی ناحیه شکستگی واقع شود تا میزان گاز خروجی از گمانه قابل‌توجه باشد.



شکل ۱۵- تأثیر ارتفاع گمانه‌ها از روی لایه زغال‌سنگ بر میزان گاز خروجی در پهنه E4

۳-۳- زاویه گمانه‌ها نسبت به راهرو بالایی

یکی از پارامترهای گمانه‌های گاززدایی زاویه گمانه‌ها نسبت به محور راهرو بالایی است. یکی از موارد تأثیرگذار در تعیین این زاویه شیب لایه استخراجی است. هر چه شیب لایه‌ی استخراجی بیشتر باشد تمایل مرز ناحیه دفع متان به سمت راهرو بالایی بیشتر است و ازآنجاکه متان گازی سبک‌تر از هوا به سمت قسمت‌های بالای کارگاه استخراج حرکت می‌کند یعنی نزدیک راهرو بالایی تجمع پیدا می‌کند. قبلاً بیان گردید که تعیین زاویه گمانه‌های گاززدایی با توجه به ناحیه دفع متان صورت می‌گیرد. در شکل ۱۶ متوسط میزان گاز خروجی برحسب مترمکعب بر دقیقه از ۱۵ گمانه گاززدایی با زوایای ۲۷، ۴۰ و ۴۷ درجه نسبت به محور راهرو بالایی نشان داده شده است. این گمانه‌ها در محدوده‌ای ۱۰۰ متری از کارگاه E4 در ۵ ایستگاه گاززدایی حفر شده‌اند و شیب پهنه در این محدوده بین ۱۵ تا۲۰ درجه است. همان‌طور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود گمانه‌هایی که با زاویه ۲۷ درجه نسبت به محور راهرو بالایی حفر شده‌اند دارای گاز خروجی بیشتری نسبت به گمانه‌هایی هستند که با زاویه ۴۰ و ۴۷ درجه حفر شده‌اند. این موضوع تأثیر شیب پهنه و مرز ناحیه دفع متان بر میزان گاز خروجی نشان می‌دهد که هرچه شیب پهنه بیشتر باشد مرز ناحیه دفع متان بیشتر به سمت راهرو بالایی تمایل پیدا می‌کند و زاویه گمانه‌های گاززدایی را باید نزدیک‌تر به محور راهرو بالایی در نظر گرفت. مینیمم، ماکزیمم، متوسط گاز خروجی از گمانه‌ها با زوایای مختلف و مقدار واریانس آن‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۶- متوسط میزان گاز خروجی از گمانه‌ها با زوایای مختلف

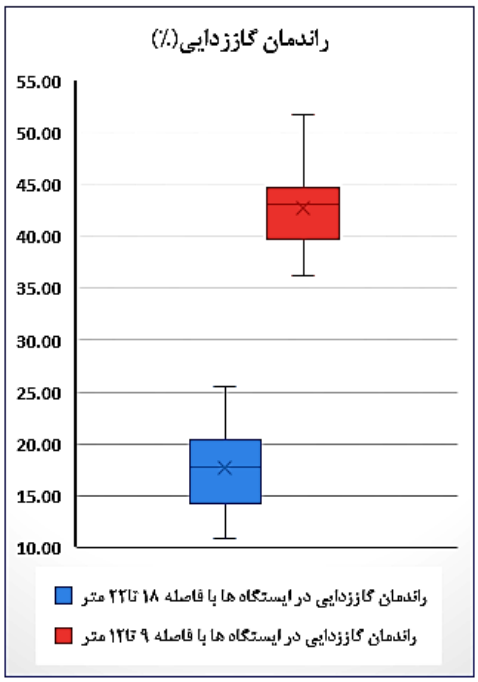
جدول ۴- مقادیر مینیمم، ماکزیمم، متوسط گاز خروجی از گمانه‌ها (مترمکعب بر دقیقه) و مقدار واریانس آن‌ها

زاویه چال نسبت به محور راهرو بالایی	مینیمم	ماکزیمم	متوسط	واریانس
۲۷	۱٫۸۱	۲٫۸۰	۲٫۳۲	۰٫۱۲
۴۰	۱٫۲۶	۲٫۰۴	۱٫۵۸	۰٫۰۹
۴۷	۱٫۳۸	۲٫۲۹	۱٫۸۰	۰٫۱۱

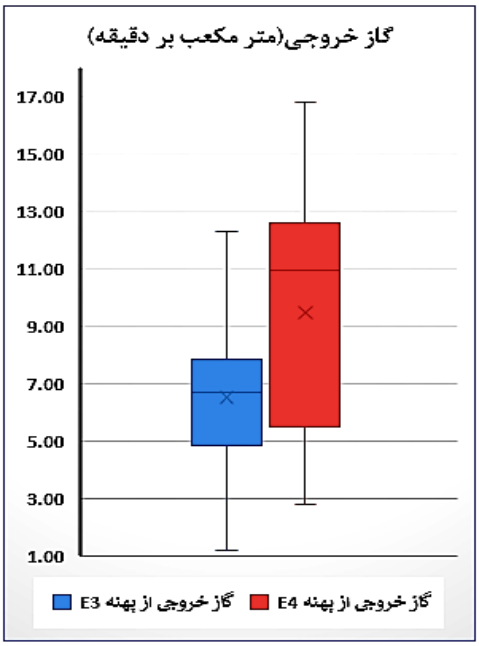
۴-۳- فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی

یکی از پارامترهای بسیار مهم در طراحی گمانه‌های گاززدایی متقاطع، فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی است. این فاصله تأثیر مستقیم در تعیین طول گمانه‌ها دارد. در معدن زغال‌سنگ طبس طراحی‌های اولیه صورت گرفته توسط یک شرکت لهستانی در پهنه E3 فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی برابر ۱۸ متر در نظر گرفته شده است [۲۳] و این پهنه اولین پهنه در معدن یک مکانیزه طبس است که گاززدایی در آن صورت گرفته است. در این پهنه ۱۱ ایستگاه گاززدایی به‌صورت آزمایشی و ۵۶ ایستگاه دیگر به‌منظور گاززدایی که متوسط تعداد گمانه‌ها در هر ایستگاه ۴ گمانه بود ایجاد شده است. تعداد کل ایستگاه‌های گاززدایی در پهنه E3، ۶۷ ایستگاه و تعداد کل گمانه‌های حفرشده در این پهنه ۲۸۰ و طول متوسط گمانه‌ها ۶۵٫۲۷ متر بوده است. نتایج میدانی نشان داده است راندمان گاززدایی در کارگاه E3 پایین و بین ۱۵ تا ۲۵ درصد بوده است. در پهنه E4 در ۷۳۰ متری ابتدایی شروع استخراج پهنه در ۱۱ ایستگاه اول فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی ۱۸ تا ۲۲ متر در نظر گرفته شده است؛ اما با توجه به راندمان پایین گاززدایی، مدیریت معدن تصمیم گرفته است که فاصله ایستگاه‌ها به نصف کاهش و این فاصله بین ۹ تا ۱۲ متر در نظرگرفته شود. بر این اساس تعداد ایستگاه بافاصله بین ۹ تا ۱۲ متر ۵۷ ایستگاه و مجموع ایستگاه‌های گاززدایی در ۷۳۰ متری ابتدایی پهنه E4 ۶۸ ایستگاه گاززدایی لحاظ شده است. ذکر این نکته ضروری است که در ایستگاه‌ها بافاصله ۱۸ تا ۲۲ متری تعداد گمانه‌ها در هر ایستگاه ۴ گمانه بود؛ و در ایستگاه‌های ۹ تا ۱۲ متری تعداد گمانه‌ها در هر ایستگاه ۲ گمانه بوده است. زمانی که فاصله بین ایستگاه‌ها ۱۸ تا ۲۲ متر است، مینیم، ماکزیمم و متوسط راندمان گاززدایی به ترتیب ۱۰٫۷، ۲۵٫۵ و ۱۷٫۵ درصد حاصل شده است. این در حالی است که زمانی که فاصله ایستگاه‌ها به نصف کاهش یافته، مینیم، ماکزیمم و متوسط راندمان گاززدایی به ترتیب به ۳۶٫۲، ۵۷٫۷ و ۴۲٫۷ درصد رسیده است (شکل۱۷).

علاوه بر این میزان گاز خروجی در ۴۲ هفته ابتدایی گاززدایی پهنه‌های E3 و E4 بررسی گردید که مطابق شکل ۱۸ مینیمم، ماکزیمم و متوسط گاز خروجی در پهنه E3 به ترتیب ۱٫۲، ۱۲٫۳ و ۶٫۵ مترمکعب بر دقیقه، درحالی‌که در پهنه E4 این مقادیر به ترتیب ۲٫۸، ۱۶٫۸ و ۹٫۴ مترمکعب بر دقیقه تحلیل شده است (شکل۱۸).



شکل ۱۷- تأثیر فاصله ایستگاه‌ها بر راندمان گاززدایی در پهنه E4



شکل ۱۸- تأثیر فاصله ایستگاه‌ها بر میزان گاز خروجی در پهنه E3 و E4 در ۴۲ هفته شروع ابتدایی هر پهنه

۴- نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های گاززدایی در حین استخراج روش گاززدایی با گمانه‌های متقاطع است. این روش شامل

گمانه‌هایی است که از داخل راهرو بالایی به ناحیه بدون تنش در بالای کارگاه استخراج حفر می‌شوند. برای طراحی گمانه‌های گاززدایی متقاطع باید پارامترهایی از قبیل طول، قطر، زاویه گمانه‌ها نسبت به محور راهرو بالایی، شیب گمانه‌ها و فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی مدنظر قرار داد. این مطالعه موردی بر روی پهنه‌های E3 و E4 معدن شماره یک مکانیزه زغال‌سنگ پروده طبس انجام شد. بر اساس داده‌های عملیاتی حاصل از گاززدایی پهنه E3 و E4 پارامترهای مناسب برای گاززدایی تعیین شد و نتایج و پیشنهادهای لازم به شرح ذیل است:

برای طراحی پارامترهای گمانه‌های گاززدایی شامل طول، شیب و زاویه گمانه نسبت به راهرو بالایی، ابتدا باید ناحیه دفع متان را مشخص نمود.

ازآنجاکه شکل ناحیه دفع متان از ناحیه تخریب پیروی می‌کند. دو عامل بسیار مؤثر در رابطه با این موضوع شیب لایه‌ی استخراجی و عرض پهنه هستند. هرچه شیب لایه زیادتر باشد مرز ناحیه دفع متان بیشتر به سمت راهرو بالایی تمایل پیدا می‌کند. درنتیجه زاویه گمانه‌های گاززدایی را نسبت به محور بالایی باید کمتر در نظر گرفت.

دبی ایستگاه‌ها در فاصله حدوداً ۱۵ تا ۲۵ متری از لبه کارگاه شروع به افزایش می‌کند. بر این اساس با توجه به شیب گمانه، زاویه گمانه نسبت به محور راهرو بالایی و محل قرارگیری دهانه گمانه گاززدایی در بالایی کارگاه استخراج و همچنین همپوشانی گمانه‌های یک ایستگاه با ایستگاه ماقبل خود نتیجه می‌شود طول گمانه باید ۳۵ تا ۴۵ متر باشد.

زمانی که فاصله بین ایستگاه‌های گاززدایی بین ۹ تا ۱۲ متر باشد بالاترین راندمان گاززدایی حاصل می‌شود.

با توجه به خصوصیات تخریب پذیری لایه‌های بالای لایه زغال‌سنگ استخراجی در معدن یک زغال‌سنگ پروده طبس که ارتفاع تخریب تا ۱۵ متر و ارتفاع ناحیه شکست حدود ۳۲ متر محاسبه شد. بررسی‌های میدانی نشان داد گمانه‌هایی که انتهای دهانه آن‌ها در ارتفاع‌های بین ۱۵ تا ۲۲ متر از بالای لایه زغال‌سنگ واقع شده‌اند در بعضی مواقع میزان گاز خروجی از آن‌ها بیشتر از گمانه‌هایی بوده که در ارتفاع کمتر یا بالاتر از این محدوده حفر شده‌اند. بر این اساس ارتفاع نهایی گمانه‌ها از روی لایه زغال‌سنگ باید بین ۱۵ تا ۲۲ متر باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی ستاد توسعه فناوری‌های فتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت انجام شده است.

مراجع

[1] Dingqi, Li. (2016). A new technology for the drilling of long boreholes for gas drainage in a soft coal seam. Journal of Petroleum Science and Engineering, 137: 107-112.

[2] Krause, E. and Skiba. J. (2014). Formation of methane hazard in longwall coal mines with increasingly higher production capacity. International Journal of Mining Science and Technology. 24, 403

[3] Szlazak, Justyna., Borowski, Marek., Obracaj, Dariusz., Swolkien, Justyna. and Korzec, Marek. (2014). Comparison of methane drainage methods use in polish coal mine. Arch. Min. Sci. Vol. 59, No 3, pp. 655–675.

[4] Borowski, M. and Kuczera, Z. (2018). Comparison of Methane Control Methods in Polish and Vietnamese Coal Mines. E3S Web of Conferences. 35, 01004.https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183501004

[5] Szlazak, Justyna., Borowski, Marek., Obracaj, Dariusz., Swolkien, Justyna. and Korzec, Marek. (2014). Selected issues related to methane hazard in hard coal mines. AGH university of science and technology press. Krakow. Poland. pp 102-105.

[6] Saghafi, A. and Pinetown, K, L. (2015). A new method to determine the depth of the de-stressed gas-emitting zone in the underburden of a longwall coal mine. International Journal of Coal Geology. (152): 156–164.

[7] Zhang, Y., Zhang, Xibin., Li, Ch. and Liu, Ch. (2011). Methane moving law with long gas extraction holes in goaf. First International Symposium on Mine Safety Science and Engineering, Procedia Engineering 26. 357 – 365.

[8] Li, T., Wu, B. and Lei, B. (2019). Study on the Optimization of a Gas Drainage Borehole Drainage Horizon Based the Evolution Characteristics of Mining Fracture. Energies. 12, 4499.

[9] Qin, J., Qingdong, Q. and Guo, H. (2017). CFD simulations for longwall gas drainage design optimization. International Journal of Mining Science and Technology. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.012

[10] Qin, Zo., Yuan, Li., Guo, Hu. and Qu, Qi. (2015). Investigation of longwall goaf gas flows and borehole drainage performance by CFD simulation. International Journal of Coal Geology. (150-151): 51–63.

[11] Wang, K. and Xue, S. (2008). Gas drainage practices and challenges in coal mines of China. Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 178-185.

[12] Swolkien, Nikodem. (2015). "Utilizing of Methane from Polish Hard Coal Mines". Journal of Energy and Power Engineering 9. 149-160

[13] Hosseini, A. and Najafi M. (2021). Determination of Methane Desorption Zone for the design of drainage boreholes Pattern (Case Study: E4 Panel of Tabas Mechanized Coal Mine, Iran). The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin. pp. 61-75, doi.10.17794/rgn.2021.1.6

[14] Karacan CÖ., Ruiz FA, Cotè M. and Phipps S. (2011). Coal mine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction. International Journal of Coal Geology 86:121-156. doi: 10.1016/j.coal. 02.009.

[15] Whittles, DN., Lowndes, IS., Kingman, SW., Yates, C. and Jobling, S. (2007). The stability of methane capture boreholes around a long wall coal panel. International Journal of Coal Geology. 71:313-328

[16] Campoli, A., Cervik, J. and Schatzel, S. (1983). Control of Longwall Gob Gas with Cross-Measure Boreholes. (Upper Kittanning Coalbed)-RI 8841.

[17] Lunarzewski, LW. (1998). Gas emission prediction and recovery in underground coal mines. International Journal of Coal Geology. 35:117-145.

[18] Noack, K. (1998). Control of gas emissions in underground coal mines. International Journal of Coal Geology. 35:57-82.

[19] Szlazak, N. and Swolkien, J. (2016). The effectiveness of the methane drainage of rock mass with a U ventilation system. Arch. Min. Sci. 61(3), 617-634.

[20] Anon. (2005). Basic Design of Tabas Coal Mine Project", Report-Mining. Vol 1 of 5.

[21] S, S. Peng. (2006). Longwall mining". Jhon Wielly & Sons, New York. PP.337-386

[22] Ataei, M. (2006). Underground mining. university of Shahrood). 411-509(In Persian)

[23] Technical project of methane drainage for E3 Longwall in C1 seam Tabas Parvadeh Coal Company TPCCO) – Mine No. 1, (2017): Becker mining systems group of companies.

[1] Ventilation air methane (VAM)
[2] Methane drainage
[3] Pre drainage
[4] Post drainage
[5] Cross measure boreholes
[6] Tail gate
[7] Methane desorption zone (MDZ)
[8] Main gate
[9] Gas turbulence area
[10] Gas accumulation area
[11] Gas seepage area