نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره دوازدهم،شماره ۳۷، زمستان۱۳۹۶، صفحه۵۳ تا ۶۴
Vol. 12, No. 37, 2018, pp.53_64

عوامل مؤثر در انتخاب سیستم گاززدایی در معدن زغال‌سنگ طبس

مهدی نجفی[1*]؛ محمدرضا شاکری[2]

۱- استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد، **mehdinajafi@yazd.ac.ir**

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن دانشگاه یزد، **m.r.shakery73@gmail.com**

(دریافت۱۰ اسفند ۱۳۹۵، پذیرش ۲۲ آذر ۱۳۹۶)

چکیده

زهکشی متان که گاززدایی از لایه زغال‌سنگ نیز نامیده می‌شود به عمل انتقال و بیرون کشیدن گاز موجود در لایه‌های زغال‌سنگ و لایه‌های دربرگیرنده از طریق چاه، گمانه و خطوط لوله اطلاق می‌شود. گاززدایی از لایه‌های زغال‌سنگ پیش از استخراج و در حین عملیات استخراج انجام می‌پذیرد. این عملیات با حفر گمانه‌های قایم از سطح زمین به داخل لایه، گمانه‌های قایم به داخل منطقه تخریب، گمانه‌های افقی، گمانه‌های جهت‌دار و نیز گمانه‌های تقاطعی به داخل طبقات دربرگیرنده قابل انجام است. عواملی زیادی بر انتخاب نوع سیستم‌های گاززدایی، اثر گذار هستند که به دو دسته عوامل عملیاتی و خصوصیات لایه زغال‌سنگ تقسیم می‌شوند. این عوامل باعث می‌شوند در یک معدن یک روش یا ترکیبی از روش‌های گاززدایی استفاده شود. هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی و خصوصیات زغال‌سنگ بر سیستم گاززدایی در معدن زغال‌سنگ طبس است. برای این منظور تغییرات ضخامت لایه زغال‌سنگ، ارتفاع برش، عمق روباره، میزان استخراج زغال‌سنگ و مقدار متان استحصال شده با تهویه به بیرون معدن بر انتخاب سیستم گاززدایی بررسی شده است. بررسی‌های انجام شده با استفاده از نرم‌افزار کنترل و پیش بینی متان (MCP) نشان داده است که پارامتر ضخامت لایه و نیز میزان متان تهویه شده دوپارامتر مهمی هستند که بر تغییر نوع روش گاززدایی اثر دارند. علاوه بر این نتایج، بررسی‌های انجام شده نشان داده است که سیستم گاززدایی ترکیبی (HG یا VHG) از گمانه‌های قایم منطقه تخریب (G)،گمانه‌های افقی (H) و گمانه‌های عمودی (v) به بررسی تغییرات پارامتر مقدار متان تهویه شده حساسیت زیادی دارد و با تغییر این پارامتر احتمال انتخاب سیستم گاززداییHG کاهش و VHG افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی

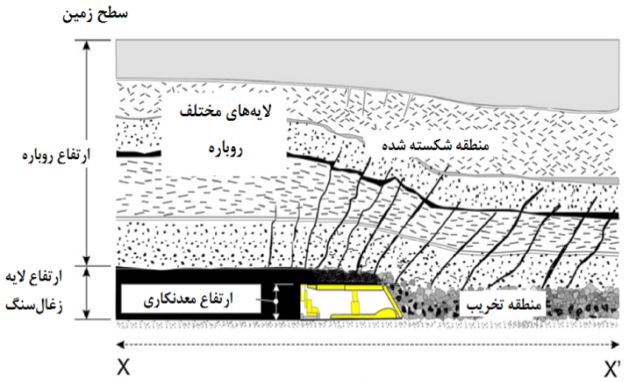
متان لایه‌های زغال‌سنگ، پارامترهای عملیاتی، ضخامت لایه، نرم‌افزار کنترل و پیش بینی متان (MCP)

*نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

یکی از موارد حامل انرژی در زغال‌سنگ، گاز متان موجود در لایه‌های زغالی است. همه لایه‌های زغال‌سنگ حاوی گاز متان هستند که مقدار آن از ۰/۰۳۱ تا بیش از ۲۵ مترمکعب بر تن تغییر می‌کند. حدود ۱۰ درصد گاز متان در سیستم درزه و شکاف‌های لایه زغال‌سنگ فشرده می‌شود، حدود ۵ درصد آن در آب محتوی زغال‌سنگ حل می‌شود و مابقی در ساختار میکروحفره‌های ماتریکس زغال‌سنگ به‌صورت شیمیایی جذب می‌شود [۱-۴]. متان موجود در لایه‌های زغال‌سنگ منبع انرژی کم کربن و تمیزسوزی است که به‌عنوان سوخت برای مصارف مسکونی، صنعتی و تجاری، تولید الکتریسیته و همچنین سوخت وسایل نقلیه می‌تواند به‌کار می‌رود.

یکی از مهم‌ترین مسایل موجود در معادن زغال‌سنگ، متان آزاد شده در اثر عملیات استخراج است که سبب حوادث مرگبار زیادی در سراسر دنیا شده است. از اصلی‌ترین عوامل افزایش بیش از حد متان آزاد شده می‌توان به افزایش تولید زیاد زغال‌سنگ، استخراج زغال‌سنگ از اعماق زیاد و استفاده از فناوری‌های پیشرفته استخراجی که زغال‌سنگ را زیاد خرد می‌کنند، اشاره کرد. در شکل ۱ روش جبهه‌کار بلند مکانیزه به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. در حین استخراج لایه زغال‌سنگ با روش مذکور گاز زیادی از سینه‌کار و زغال‌سنگ استخراج شده روی ناوزنجیری انتشار می‌یابد. علاوه بر این به‌دلیل تخریب سقف، شکستگی‌ها زیادی در سقف گسترش پیدا می‌کند که می‌تواند سبب ورود گاز متان از منطقه تخریب و طبقات کف و سقف به داخل محیط استخراجی شود.



شکل۱: شماتیک محیط استخراج جبهه کار بلند[۵]

انتشار گاز متان می‌تواند اثرات نامطلوبی بر ایمنی و بهره‌وری در معادن زیرزمینی زغال سنگ داشته باشد[۴]. به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب گاز متان، روش‌های زهکشی گاز متان از سالیان دور مورد استفاده گسترده قرار گرفته است. اولین تلاش‌ها در زمینه متان‌زدایی به سال ۱۷۳۰ میلادی در انگلستان برای بیرون کشیدن متان از لایه‌های زغال‌سنگ برمی‌گردد [۶]. در حال حاضر بیش از ۳۵ کشور تاکنون اکتشافاتی در رابطه با گاز زغال‌سنگ انجام داده و بیش از ۱۳ کشور نیز در حال استحصال گاز از معادن و لایه‌های زغال‌سنگ هستند. از میان چهار کشور ایالات متحده، انگلستان، استرالیا و کانادا در حال تولید تجاری گاز زغال و دو کشور چین و هند در شرف رسیدن به مرحله‌ی تولید تجاری این گاز هستند.

زهکشی متان که گاززدایی زغال‌سنگ[۱] (CBM) نیز نامیده می‌شود به عمل انتقال و بیرون کشیدن گاز موجود در لایه‌های زغالی و لایه‌های دربرگیرنده از طریق چاه، گمانه و خطوط لوله اتلاق می‌شود. فرآیند CBM بدین صورت است که گاز زغال عموماً از نواحی استخراج نشده توسط آب‌گیری و کاهش آب در گمانه حفر شده یا در اثر مکش گاز موجود در گمانه (لایه‌های بالای سطح آب ایستابی)، استخراج می‌کند. گاز متان می‌تواند از فضای استخراج توسط گمانه‌های حفر شده قبل از استخراج بازیابی شود. وقتی یک گمانه زهکشی متان یا یک بازکننده معدنی در لایه‌ای حفر می‌شود، یک فضای کم فشار در لایه ایجاد و گاز از محل حبس یا جذب شده در آن آزاد می‌گردد و به سمت گمانه یا بازکننده حرکت می‌کند. در حال حاضر CBM با عنوان گاز لایه زغال‌سنگ[۲] یا گاز طبیعی لایه زغال‌سنگ[۳] تعریف می‌شود. زهکشی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ می‌تواند پیش از عملیات استخراج و یا از داخل معدن[۴] انجام شود. نوع پیشرفته متان‌زدایی ECBM نام دارد که در آن با تزریق دی‌اکسیدکربن و نیتروزن به داخل لایه‌های زغالی، متان آن را استحصال می‌کنند[۴،۷].

هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر شرایط عملیاتی و پارامترهای زغال‌سنگ بر انتخاب نوع سیستم گاززدایی در معدن زغال‌سنگ طبس است یا به عبارتی دیگر در صورت تغییر شرایط عملیاتی و خصوصیات لایه زغال‌سنگ از کدام یک از روش‌های گاززدایی باید استفاده شود. بر این اساس ضمن تشریح انواع روش‌های گاززدایی به بررسی مزایا و معایب هر کدام از روش‌ها پرداخته شده و سپس پارامترهای اثر گذار

بر انتخاب سیستم گازززدایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار پیش‌بینی کنترل متان[5] (MCP) به بررسی عومل مؤثر در انتخاب نوع سیستم گازززدایی در معدن زغال‌سنگ طبس پرداخته شده است.

۲-پیشینه مطالعات

در زمینه بررسی پارامترهای موثر بر زهکشی گاز متان از داخل لایه‌های زغال‌سنگ مطالعات گوناگونی توسط محققان انجام شده است.

کاراکان[6] با استفاده از روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی به بررسی پارامترهای اثرگذار بر متان آزاد شده از لایه‌های زغال‌سنگ پرداخته است. نتایج بررسی‌های او نشان داده است که گاز محتوی و ضخامت لایه بیشترین تأثیر بر میزان گاز آزاد شده از لایه دارند[۸،۹]. کاراکان یک سیستم طبقه‌بندی برای انتخاب سیستم گازززدایی لایه معادن زغال‌سنگ آمریکا توسعه داد. این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری انتخاب سیستم گازززدایی هر معدن تحت شرایط مربوط به آن منطقه بررسی شود [۱۰]. بلک[7] ارتباط بین گاز تولیدی از گمانه‌های افقی زهکشی داخل لایه زغال‌سنگ، خصوصیات لایه و پارامترهای عملیاتی را بررسی کرد. نتایج بررسی‌های او نشان داده است که درجه اشباع و مدت زمان گازززدایی تأثیر به‌سزایی در میزان گاز تولیدی دارد [۱۱]. دای[8] و همکاران با استفاده از بردار ماشین پشتیبان به بررسی تأثیر پارامترهای زمین‌شناسی بر گاز محتوی لایه‌های زغال‌سنگ پرداخته‌اند [۱۲]. لیو[9] و همکاران با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به بررسی پارامترهای مختلف بر میزان تولید گاز از لایه‌های زغال‌سنگ پرداخته‌اند. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داده است که پارامترهای زمین‌شناسی دارای بیشترین وزن هستند[۱۳].

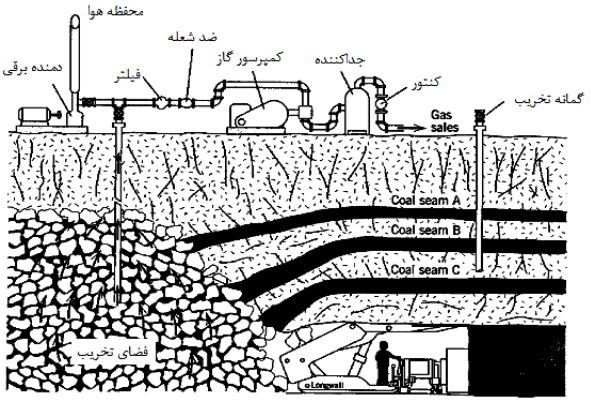
با توجه به بررسی‌های انجام شده روشن است که در زمینه مورد مطالعه تاکنون تحقیق مستقلی انجام نشده است.

۳- انواع روش‌های گازززدایی از لایه‌های زغال‌سنگ

گازززدایی از لایه‌های زغال‌سنگ پیش از استخراج و در حین عملیات استخراج قابل انجام است. به‌طورکلی انواع روش‌های گازززدایی از لایه‌های زغال‌سنگ به شرح زیر است.

۳-۱-گازززدایی با گمانه‌های قایم

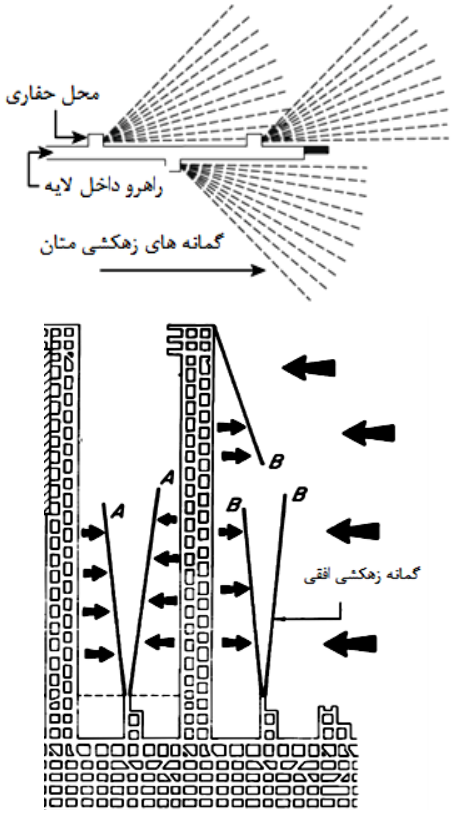
این گمانه‌ها به‌طور قایم تا سطح لایه زغال‌سنگ حفر می‌شوند. این گمانه‌ها با قطرهای مختلف قابل حفر هستند. با استفاده از این گمانه‌ها می‌توان گازززدایی از چندین لایه زغالی که روی هم قرار گرفته‌اند انجام داد. در شکل ۲ نمونه‌ای از گمانه‌های قایم منطقه تخریب[10] نشان داده شده است. در مواردی که نفوذپذیری لایه‌های زغال‌سنگ کم باشد از روش شکافت هیدرولیکی و آتشباری کنترل شده برای افزایش بازدهی گمانه‌های قایم استفاده می‌شود [۱۴].



شکل ۲ : گمانه قایم منطقه تخریب[۱۵]

۳-۲-گازززدایی با گمانه‌های افقی

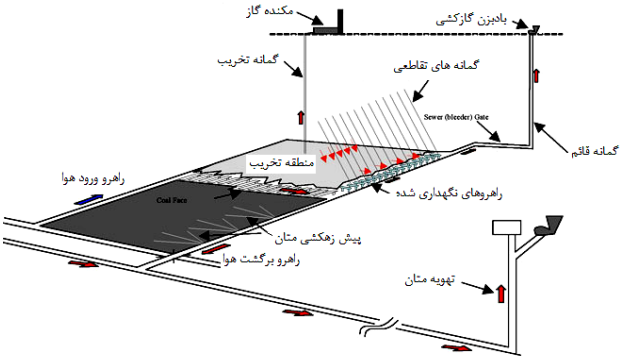
بیشتر معادن زیرزمینی از روش زهکشی متان با گمانه‌های افقی در حین آماده‌سازی معدن و همزمان با عملیات استخراج استفاده می‌کنند. یکی از برتری حفاری گمانه‌های افقی نسبت به گمانه‌های قایم این است که تمام طول گمانه در داخل لایه حفر می‌شود. دومین برتری این گمانه‌ها این است که می‌توانند به‌طور عمود بر کلیت‌ها (شکستگی‌های طبیعی سطح لایه زغال‌سنگ) حفاری و سبب افزایش زهکشی متان شوند [۶]. گمانه‌های افقی از داخل راهروها و میان‌برها به داخل لایه زغال‌سنگ و پهنه‌های استخراجی حفاری می‌شوند و طول‌های متفاوتی دارند. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که گمانه‌های با طول بین ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ متر بیشترین بازدهی را دارند[۱۱]. در شکل۳ نمونه‌ای از گمانه‌های افقی نشان داده شده است.



شکل ۳: نمونه‌ای از گمانه‌های افقی زهکشی گاز متان[۶]

۳-۳-گاززدایی با گمانه‌های جهت‌دار

این گمانه‌ها می‌توانند از سطح زمین به داخل لایه زغال‌سنگ حفاری شده و سپس در داخل لایه زغال‌سنگ ادامه یابند یا این‌که از داخل معدن به داخل سقف و کف لایه، لایه‌های زیرین یا بالایی یا منطقه تخریب به‌صورت تقاطعی حفاری شوند. با استفاده از گمانه‌های جهت‌دار از سطح زمین می‌توان از یک گمانه با داخل چندین لایه زغال‌سنگ که بر روی هم قرار گرفته‌اند عملیات گاززدایی را انجام داد. در شکل ۴ نمونه‌ای از گمانه‌های جهت‌دار که به داخل طبقات سقف در روش جبهه‌کار بلند حفاری شده، نشان داده شده است.



شکل ۴: متان‌زدایی از روش جبهه کاربلند توسط گمانه‌های جهت‌دار و سایر روش‌ها [۱۵]

۴-عوامل اثرگذار بر انتخاب سیستم گاززدایی

بر انتخاب نوع سیستم گاززدایی از معادن زغال‌سنگ عوامل زیادی اثرگذار هستند. این عوامل را می‌توان به دو دسته پارامترهای عملیاتی و خصوصیات لایه زغال‌سنگ تقسیم بندی کرد. چون در حین عملیات استخراج احتمال تغییر پارامترهای هندسی استخراج وجود دارد و از طرفی به‌دلیل عدم قطعیت خصوصیات لایه زغال‌سنگ، لازم است تغییر شرایط عملیاتی و خصوصیات لایه زغال‌سنگ بر انتخاب سیستم گاززدایی مورد مطالعه قرار گیرد.

۴-۱-خصوصیات مربوط به زغال‌سنگ

در عملیات متان‌زدایی آگاهی از میزان خصوصیات لایه زغال‌سنگ شامل ارتفاع روباره، ضخامت لایه، گازمحتوی لایه، گوگرد محتوی، ارزش حرارتی، خاکستر محتوی و رده زغال‌سنگ اهمیت زیادی دارد که در ادامه تأثیر این عوامل بررسی شده است.

۴-۱-۱-ضخامت لایه زغال‌سنگ

با افزایش ضخامت لایه زغال‌سنگ طولی از گمانه زهکشی که در داخل لایه قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد بر این اساس میزان گاز زهکشی از لایه زغال‌سنگ افزایش خواهد یافت. مطالعات بلک (Black) روی ۵۳ گمانه زهکشی گاز متان نشان داده است که با افزایش لایه زغال‌سنگ تولید به شدت افزایش یافته است [۱۱]. از طرفی دیگر نقش ارتفاع لایه زغال‌سنگ را می‌توان به افزایش زون تخریب در سقف لایه نیز مرتبط دانست که با افزایش ارتفاع لایه، ارتفاع تخریب افزایش یافته و درزه و شکستگی‌ها در سقف افزایش می‌یابد [۱۷]. پیش بینی می‌شود با افزایش ارتفاع لایه از ترکیب سیستم‌های گاززدایی مختلف می‌توان استفاده نمود و چگالی گمانه‌های حفاری شده در داخل لایه باید افزایش یابد.

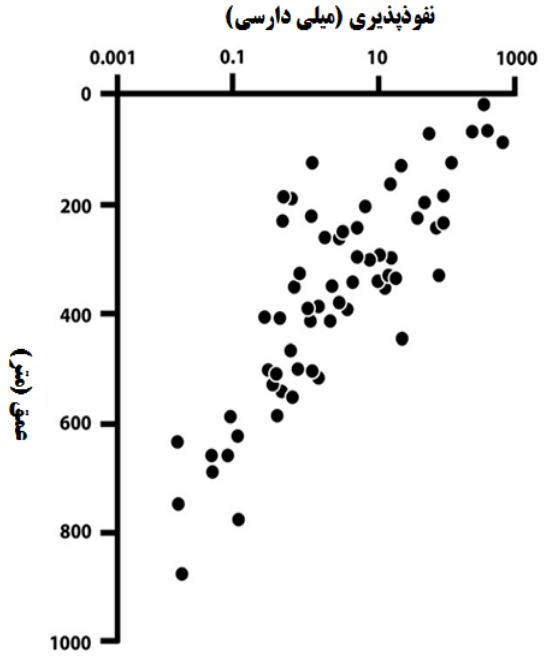
۴-۱-۲-عمق روباره

با افزایش عمق روباره میزان گاز محتوی لایه زغال‌سنگ افزایش و نفوذپذیری آن‌ها کاهش می‌یابد (شکل ۵) [۱۸]. از این‌رو می‌توان بیان کرد که لایه‌های زغال‌سنگی که در اعماق زیاد قرار گرفتند، گاز قابل استحصال بیشتری دارند. افزایش

عمق روباره از طرفی مانعی در اجرای اقتصادی روش‌های گاززدایی است زیرا هزینه‌های مرتبط با حفاری گمانه‌ها افزایش می‌یابد و از طرف دیگر مسایل ناپایداری چاه بیشتر می‌شود که می‌تواند بازدهی گمانه‌ها را کاهش دهد[۱۳،۱۹].

۴-۱-۳-گازمحتوی کلی لایه زغال‌سنگ

گاز محتوی برابر با میزان گاز بر واحد وزن زغال‌سنگ یا سنگ که واحد آن اغلب بر حسب فوت مکعب استاندارد بر تن یا مترمکعب بر تن است[۲۰]. گاز محتوی لایه زغالی با افزایش عمق، افزایش و نفوذپذیری آن کاهش می‌یابد.



شکل۵: تأثیر عمق بر نفوذپذیری لایه‌های زغال‌سنگ[۱۸]

۴-۱-۴-سولفور (گوگرد) محتوی

گوگرد در زغال‌سنگ سبب کاهش ارزش حرارتی آن می‌شود. از این‌رو پیش‌بینی می‌شود لایه‌های زغالی که گوگرد کمتری دارند قابلیت بیشتری برای گازگشی دارند. زغال‌سنگ‌های آنتراسیت حدود ۰/۵-۲/۵ درصد، بیتومینه ۰/۵-۶، ساب بیتومینه ۰/۳-۱/۵ و لیگنیت ۰/۳ تا ۲/۵ درصد گوگرد دارند [۲۱].

۴-۱-۵-ارزش حرارتی زغال‌سنگ

مقدار حرارت تولیدی از سوختن واحد جرم زغال‌سنگ را ارزش حرارتی می‌نامند. میزان ارزش حرارتی زغال‌سنگ ارتباط مستقیم با درصد کربن دارد. میزان خاکستر زغال‌سنگ و یا گازهائی مانند نیتروژن، اکسیژن و میزان رطوبت سبب کاهش مقدار ارزش حرارتی زغال سنگ می‌شوند [۲۱]. روشن است که با افزایش ارزش حرارتی زغال‌سنگ به‌دلیل پایین بودن ناخالصی‌ها، گازمحتوی آن افزایش یافته و امکان استحصال گاز متان بیشتری از این نوع زغال‌سنگ‌ها وجود دارد.

۴-۱-۶-خاکستر محتوی

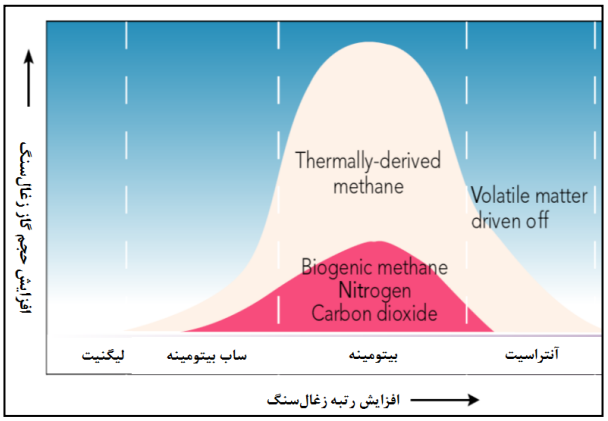
زغال‌سنگ‌ها حاوی مواد غیرآلی و مواد زایدی مثل رس‌ها، سولفیدها، سولفات‌ها، کربنات‌ها و غیره هستند که پس از سوزاندن زغال‌سنگ به صورت خاکستر برجای می‌مانند [۲۱]. با افزایش میزان خاکستر زغال‌سنگ، ظرفیت جذب آن کاهش می‌یابد[۲۲]. لایه‌های زغال‌سنگ که خاکستر محتوی آن کمتر از ۳۰ درصد است دارای قابلیت تولید بیشتر گاز هستند. خاکستر زغال‌سنگ به‌طور قابل توجهی بر گاز محتوی آن اثرگذار است [۲۳].

۴-۱-۷-رده زغال‌سنگ

در شکل ۶ مراحل تشکیل زغال‌سنگ و یا به‌عبارتی مراحل تغییرات تدریجی و برگشت‌ناپذیر خواص فیزیکی و شیمیایی زغال‌سنگ نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور روشن است که زغال‌سنگ با رده بیتومینه بیشترین مقدار گاز را دارد.

۴-۲-پارامترهای عملیاتی

پارامترهای عملیاتی که بر انتخاب سیستم زهکشی گاز متان اثر می‌گذارند شامل طول و عرض پهنه، ارتفاع برش، عمق برش، تعداد ورودی‌ها، مقدار متان استحصال شده با تهویه، سرعت ناوزنجیری و میزان تولید زغال‌سنگ است.



شکل ۶: تغییرات گازمحتوی لایه زغال‌سنگ با افزایش رده زغال‌سنگ [۲۴]

۴-۲-۱-طول و عرض پهنه و تعداد ورودی‌ها

با افزایش طول و عرض پهنه امکان استفاده از گمانه‌ها با طول بزرگ‌تر امکان‌پذیر می‌شود. از طرفی دیگر پهنه با عرض بزرگ‌تر سبب افزایش تخریب در سقف شده و مقدار گاز استحصالی از گمانه‌های تخریب افزایش خواهد یافت. هر چه تعداد ورودی‌های بین دو پهنه استخراجی بیشتر باشد مکان‌های مختلف برای زهکشی گاز وجود خواهد داشت و امکان اجرای زهکشی، همزمان با عملیات استخراج و پیش از آن بیشتر فراهم می‌شود [۲۵].

۴-۲-۲-عمق و ارتفاع برش

عمق و ارتفاع برش دستگاه شیرر بر میزان گاز آزاد شده در حین عملیات استخراج اثر گذار است. از این‌رو با افزایش دو عامل مذکور سرعت پیشروی عملیات استخراجی افزایش می‌یابد. سرعت پیشروی استخراج بر تعداد گمانه‌های منطقه تخریب و فاصله آن‌ها اثرگذار است [۷]. با افزایش میزان پیشروی استخراجی، سرعت رشد و گسترش شکستگی‌ها افزایش می‌یابد و انتظار می‌رود گاز استحصالی از گمانه‌های منطقه تخریب افزایش یابد.

۴-۲-۳-سرعت ناوزنجیری

افزایش سرعت ناوزنجیری نشان‌دهنده میزان تولید بالا و سرعت پیشروی زیاد عملیات استخراجی است و می‌تواند خود عاملی برای انتشار زیاد گاز در محیط معدن باشد. از این‌رو در معادنی که سرعت ناوزنجیری زیاد است لازم است از روش‌های گاززدایی استفاده شود.

۴-۲-۴-تولید روزانه زغال‌سنگ

با افزایش تولید روزانه زغال‌سنگ گاز زیادی از زغال‌سنگ آزاد می‌شود بنابراین باید از روش‌های مختلف گاززدایی استفاده شود.

۴-۲-۵-مقدار متان استحصال شده با تهویه

می‌توان پیش‌بینی کرد که با افزایش میزان تهویه گاز بیشتری از معدن خارج می‌شود از این‌رو در لایه‌های زغالی که میزان متان استحصال شده با تهویه زیاد است، نشان‌دهنده میزان گازخیزی بالای لایه بوده و لازم است از روش‌های مختلف گاززدایی استفاده شود.

۵-منطقه مورد مطالعه

معدن زغال‌سنگ طبس در ۸۵ کیلومتری شهرستان طبس قرار گرفته است. این معدن تنها معدن مکانیزه کشور است که به‌صورت جبهه‌کار بلند مکانیزه پسرو استخراج می‌شود. ابعاد پهنه‌های استخراجی ۲۲۰ متر و دارای طول ۱۲۰۰ متر است. ضخامت لایه استخراجی در حدود ۲/۵ تا ۳ متر است. گازخیری لایه‌های زغالی در منطقه طبس بالا است و از حدود ۱۰ مترمکعب بر تن در عمق ۱۰۰ متر به حدود ۲۰ مترمکعب در عمق ۶۰۰ متری می‌رسد و همین امر باعث شده است با افزایش عمق مشکلاتی در حین استخراج به‌وجود آید [۲۶]. به‌منظور مقابله با این موضوع در طرح پایه طبس عملیات زهکشی گاز متان از داخل لایه زغال‌سنگ در نظر گرفته شده است و به این صورت است که در حین حفر راهروها از داخل آن گمانه‌های افقی با طول حدود ۶۰ متر حفر خواهد شد. علاوه بر گمانه‌های افقی، از گمانه‌های جهت‌دار نیز به منظور گاززدایی از منطقه تخریب و لایه‌های B1 و B2 که در سقف و کف لایه C1 قرار گرفته و دارای مقدار گازمحتوی بالایی هستند، استفاده خواهد شد.

۵-۱-روش تحقیق

به‌منظور بررسی تأثیر شرایط عملیاتی و پارمترهای زغال‌سنگ بر انتخاب سیستم گاززدایی معدن زغال‌سنگ طبس از مجموعه نرم‌افزار پیش‌بینی کنترل متان (MCP) نسخه ۲ که توسط موسسه ایمنی و سلامتی کار آمریکا (NIOSH) تهیه شده، استفاده شده است.

در این نرم افزار مقادیر حداکثر و حداقل و متوسط برای هر پارامتر در نظر گرفته شده است. در صورتی‌که کاربر به یک پارامتر ورودی خاص دسترسی نداشته باشد، مقدار متوسط می‌تواند به‌عنوان یک نماینده تقریبی برای آن پارامتر وارد شود. یکی از مزایای استفاده از این نرم‌افزار توانایی انجام مطالعات حساسیت مقادیر پارامترهای ورودی‌های مختلف می‌باشد.

نرم افزار MCP شامل ۴ مدول اصلی است به شرح زیر است.

مدول۱: پیش‌بینی و اندازه گیری خواص مکانیک سنگی زغال سنگ

در این مدول با استفاده از اطلاعات مربوط به لاگ گاما و لاگ چگالی می‌توان مدول یانگ و مدول برشی لایه زغال‌سنگ را محاسبه کرد.

مدول۲: پیش‌بینی میزان انتشار تهویه در معدن

این مدول مبتنی بر شبکه عصبی[۱۱] (ANN) است و بر اساس اطلاعات تعداد زیادی از معادن جبهه‌کار بلند در آمریکا قادر است میزان گاز تهویه شده را پیش‌بینی کند. پایگاه داده ایجاد شده در این مدول بر اساس مشخصات لایه زغال‌سنگ، منطقه جغرافیایی و پارامترهای عملیاتی جبهه‌کار بلند است. مدل ANN با استفاده از یک روش پرسپترون[۱۲] چند لایه (MLP) ساخته و سپس آموزش داده می‌شود تا حداقل میانگین مربع خطا (MSE)[۱۳] و همبستگی بالا (R) بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش بینی شده برقرار شود.

مدول۳: پیش‌بینی عملکرد گمانه‌های منطقه تخریب

این مدول نیز بر اساس شبکه عصبی دو لایه با ۲۲ عنصر پردازش در لایه پنهان اول و ۱۶ عنصر پردازش در لایه پنهان دوم توسعه داده شده است و با استفاده از این مدول می‌توان کل نرخ گاز تولید شده و غلظت گاز متان را بر اساس موقعیت گمانه در پهنه و پارامترهای استخراجی معدن محاسبه کرد.

مدول۴: انتخاب سیستم گاززدایی

این مدل نیز مبتنی بر شبکه عصبی است و بر اساس مشخصات لایه‌ی زغال‌سنگ، منطقه جغرافیایی و پارامترهای عملیاتی جبهه‌کار بلند است. در این مدول پایگاه داده بر اساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۱۴] (PCA) تجزیه و تحلیل و در مدل‌سازی شبکه عصبی به‌کار گرفته می‌شود. پارامترهای ورودی شامل مشخصات لایه زغال‌سنگ و پارامترهای عملیاتی جبهه‌کار بلند هستند که در جدول ۱ نشان داده شده است. مدل ANN با استفاده از یک روش پرسپترون[۱۵] چند لایه ساخته و سپس آموزش داده می‌شود. صفحه نمایش خروجی این مدل احتمالی که برای هر یک از سیستم‌های گاززدایی محاسبه شده و این‌که آیا سیستم توصیه می‌شود یا نه را نشان می‌دهد. سیستم با بالاترین احتمال مثبت محاسبه شده در ستونی با برچسب «بهترین» پیشنهاد می‌شود. گزینه بهترین که در این مدل پیشنهاد می‌شود، انتخاب یک سیستم گاززدایی با بالاترین احتمال موفقیت در حذف متان از محیط معدن را نشان می‌دهد[۵].

در این تحقیق از مدول انتخاب سیستم گاززدایی به‌منظور هدف تحقیق استفاده شده است.

مدول انتخاب سیسیتم گاززدایی دارای چهار خروجی از انواع سیستم‌های گاززدایی است که برای هر مورد اطلاعات وارد شده، درصد احتمال استفاده از هر کدام از چهار سیستم گاززدایی زیر مشخص می‌شود:

N: معدن به گاززدایی نیاز ندارد.

G: ازگمانه‌های قایم در منطقه تخریب باید استفاده شود.

HG: ازترکیب گمانه‌های افقی و گمانه‌های قایم در منطقه تخریب باید استفاده شود.

VHG: از ترکیب گمانه‌های قایم، افقی و گمانه‌های قایم در منطقه تخریب (گاززدایی پیش از عملیات استخراج و در حین آن) باید استفاده شود.

بر اساس مشخصات معدن زغال‌سنگ طبس داده‌های ورودی به نرم‌افزار MCP در جدول ۱ بیان شده است.

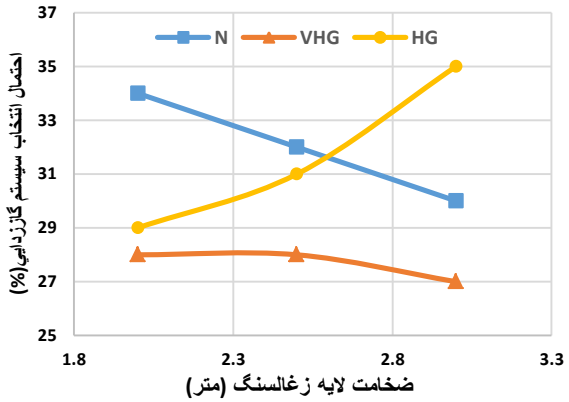
در این تحقیق بررسی تغییرات ضخامت لایه زغال‌سنگ، ارتفاع برش، عمق روباره، میزان استخراج زغال‌سنگ و مقدار متان استحصال شده با تهویه به بیرون معدن بر انتخاب سیستم گاززدایی مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است در هنگام بررسی تأثیر یک پارامتر سایر پارامترهای ثابت بوده است. نکته قابل توجه، نتایج درکل مدل‌های مورد بررسی نتایج نشان داده است که درصد به‌کارگیری جداگانه روش حفر گمانه‌های قایم در منطقه تخریب (G) صفر است از این‌رو در تمام نمودارها حذف شده است. علاوه بر این نتایج کل بررسی‌های نشان می‌دهد که معدن زغال‌سنگ طبس به گاززدایی نیاز دارد.

جدول۱: پارامترهای ورودی به نرم‌افزار MCP

پارامتر	واحد	مقدار	توضیحات
ضخامت لایه	متر	۳-۲/۵	متغییر در نظر گرفته شده است.
ارتفاع برش	متر	۱/۷	به صورت متغییر در نظر گرفته شده است.
عرض پهنه	متر	۲۲۰	-
طول پهنه	متر	۱۲۰۰	-
عمق روباره	متر	۶۰۰-۱۰۰	به صورت متغییر در نظر گرفته شده است.
تعداد راهروها	-	۲ تا ۳	-
عمق برش	متر	۰/۸	-
سرعت ناوزنجیری	متربر ثانیه	۱/۵	-
سرعت نوار باربری	متربر ثانیه	۳	-
گاز محتوی کل زغال‌سنگ	مترمکعب بر تن	۱۹/۸-۱۰	گاز محتوی با عمق تغییر می‌کند
گوگرد محتوی	درصد	۲-۱/۷۵	-
ارزش حرارتی زغال‌سنگ	کالری بر کیلوگرم	۵۵۳۰	-
خاکستر محتوی	درصد	۲۹	-
تولید روزانه زغال‌سنگ	تن بر روز	۴۰۰۰	به صورت متغییر در نظر گرفته شده است.
مقدار متان استحصال شده با تهویه به بیرون معدن	لیتر بر ثانیه	۵۰۰	به صورت متغییر در نظر گرفته شده است.

۵-۱-۱- بررسی ضخامت لایه زغال‌سنگ

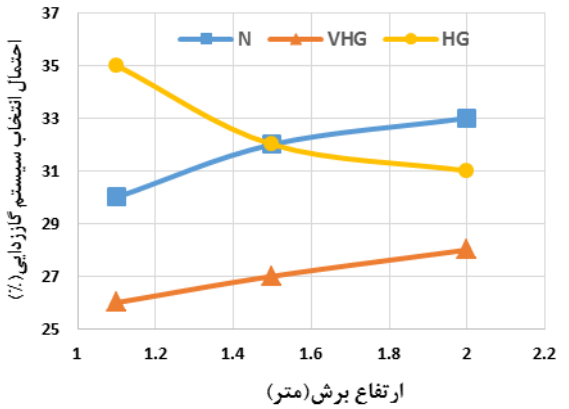
در شکل ۷ تأثیر ضخامت لایه زغال‌سنگ بر انتخاب نوع سیستم گاززدایی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷ می‌توان بیان کرد که با افزایش ضخامت لایه درصد احتمال استفاده از روش ترکیبی گمانه‌های افقی و نیز گمانه‌های منطقه تخریب (HG) افزایش می‌یابد. به‌عبارتی دیگر می‌توان بیان کرد که گاززدایی با استفاده از گمانه‌های افقی باید مدنظر بیشتری قرار گیرد. علاوه بر این می‌توان بیان کرد که درصد کلی استفاده از روش‌های گاززدایی نسبت به عدم گاززدایی مقدار بیشتری است و معدن به احتمال ۶۲ درصد نیاز به گاززدایی دارد.



شکل۷: اثر ضخامت لایه بر انتخاب سیستم گاززدایی

۵-۱-۲- بررسی ارتفاع برش

در شکل ۸ تأثیر ارتفاع برش دستگاه شیرر بر انتخاب نوع سیستم گاززدایی نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور می‌توان بیان کرد که با افزایش ارتفاع برش باید از گمانه‌های افقی، قایم و گمانه‌های منطقه تخریب استفاده نمود. در این مورد نقش گمانه‌های افقی و تقاطعی در داخل معدن بیش از پیش روشن می‌شود.

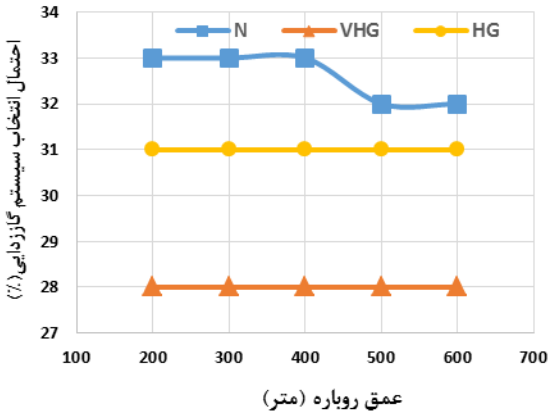


شکل۸: اثر ارتفاع برش بر انتخاب سیستم گاززدایی

۵-۱-۳- بررسی عمق روباره

در شکل ۹ تأثیر عمق روباره بر انتخاب نوع سیستم گاززدایی نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور روشن است

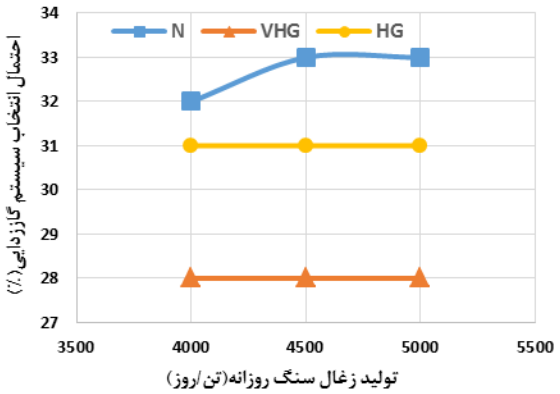
افزایش عمق روباره اثر چندانی بر تغییر نوع سیستم گاززدایی ندارد و با افزایش آن ثابت می‌ماند.



شکل۹: اثر عمق روباره بر انتخاب سیستم گاززدایی

۵-۱-۴- بررسی تولید روزانه زغال‌سنگ

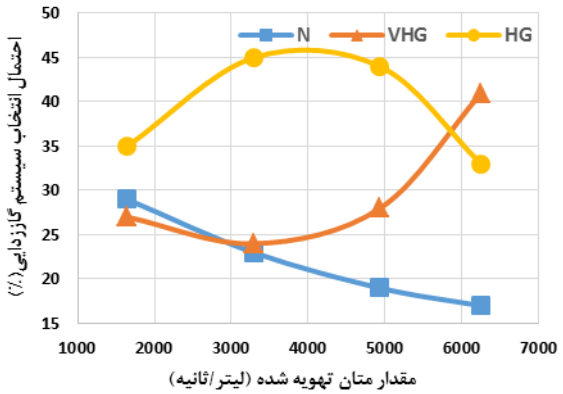
در شکل۱۰ تأثیر تولید روزانه زغال‌سنگ بر انتخاب نوع سیستم گاززدایی نشان داده شده است. بر اساس شکل می‌توان بیان کرد که تغییر در میزان تولید تولید روزانه سبب تغییر در سیستم گاززدایی نمی‌شود و درصد احتمال گمانه‌های افقی به همراه گمانه‌های قایم منطقه تخریب بیشتر از استفاده از گمانه‌های قایم است. به عبارتی دیگر زهکشی بیش از استخراج ضروی به‌نظر نمی‌رسد.



شکل۱۰: اثر تولید روزانه زغال‌سنگ بر انتخاب سیستم گاززدایی

۵-۱-۵-بررسی مقدار متان استحصال شده با تهویه

اثر مقدار متان استحصال شده با تهویه بر انتخاب سیستم گاززدایی در شکل۱۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور می‌توان بیان کرد که با افزایش قدرت دستگاه‌های تهویه شرایط ایمن فراهم‌تر می‌شود و عدم نیاز به سیستم گاززدایی احتمال بیشتری به خود می‌گیرد. نکته قابل توجه این است که با افزایش میزان متان استحصال شده درصد استفاده از روش ترکیبی گاززدایی افزایش می‌یابد.

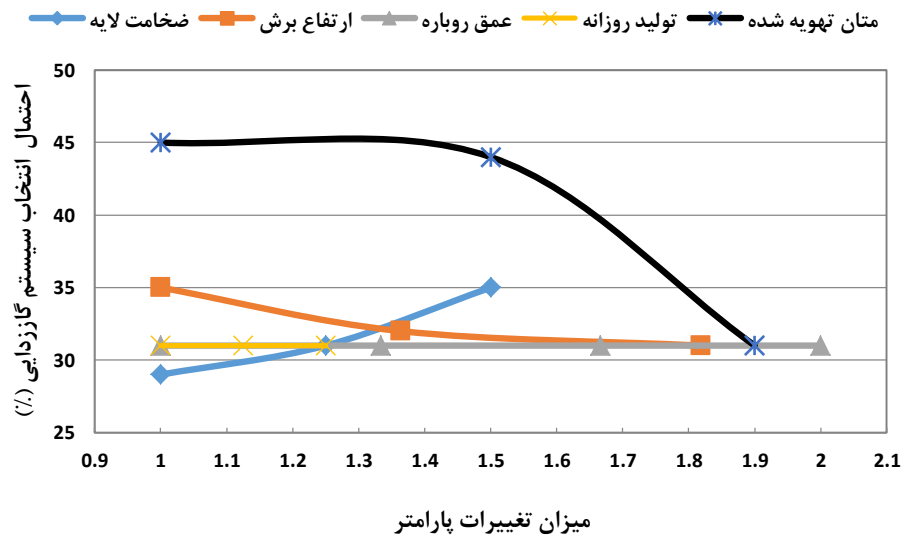


شکل۱۱: اثر مقدار متان استحصال شده با تهویه بر انتخاب سیستم گاززدایی

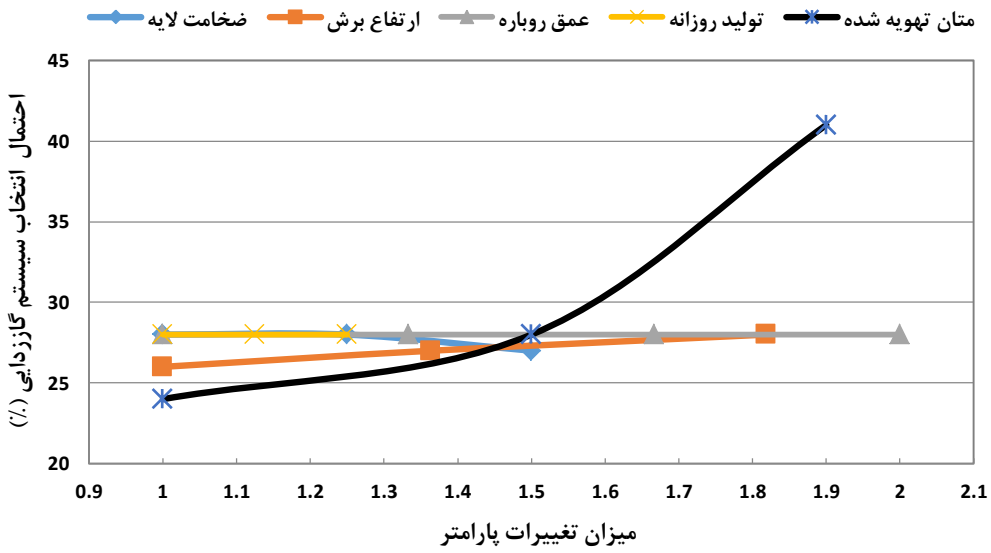
۶- بحث

چون تهویه به تنهایی ممکن است برای کنترل میزان متان در یک عملیات جبهه کار بلند کافی نباشد گمانه‌های قایم منطقه تخریب (G)،گمانه‌های افقی (H) و گمانه‌های عمودی (V) یا ترکیبی از این سیستم‌ها (HG یا VHG) حفر و به‌عنوان اقدامات تکمیلی در کنترل متان استفاده می‌شود. در اغلب موارد، در عملیات استخراج انتخاب سیستم گاززدایی بر اساس تجارب قبلی، بدون تجزیه و تحلیل عوامل مختلف که ممکن است این تصمیمات را تحت تأثیر قرار دهند، انجام می‌شود. بر این اساس در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار MCP به انتخاب نوع سیستم گاززدایی در معدن زغال‌سنگ طبس پرداخته شد. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، بررسی تغییر شرایط عملیاتی و خصوصیات لایه زغال‌سنگ بر سیستم زهکشی HG و VHG نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های مذکور می‌توان بیان کرد که پارامتر متان تهویه شده پارامتر بسیار مهمی است که بر نوع سیستم گاززدایی به شدت اثر گذار است به‌طوری که با افزایش آن زهکشی پیش از عملیات استخراج با حفر گمانه‌های قایم باید انجام شود. پارامتر دیگری که با توجه به شکل‌های فوق اثر بیشتری دارد ضخامت لایه است که با افزایش آن زهکشی با گمانه‌های افقی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.



شکل۱۲: بررسی تغییر شرایط عملیاتی و خصوصیات زغال‌سنگ بر سیستم زهکشی HG



شکل۱۳: بررسی تغییر شرایط عملیاتی و خصوصیات زغال‌سنگ بر سیستم زهکشی VHG

۷- نتیجه‌گیری

معادن فعال زغال‌سنگ با میزان گاز محتوی زیاد و عمق روباره زیاد نیاز به یک سیستم گاززدایی گسترده دارند. با توجه به بررسی‌های انجام شده روی معدن زغال‌سنگ طبس می‌توان بیان کرد که ضرورت استفاده از سیستم‌های گاززدایی در این معدن بالای ۶۰ درصد است ولی چون استخراج فقط از یک پهنه در این معدن انجام می‌شود سیستم گاززدایی HG دارای اولویت بیشتری نسبت به VHG است. این نکته را باید توجه داشت که گمانه‌های قایم منطقه تخریب نباید به تنهایی در معدن استفاده شوند زیرا احتمال انتخاب آن به تنهایی برابر با صفر است. به‌منظور گاززدایی از منطقه تخریب می‌توان از گمانه‌های قایم منطقه تخریب استفاده کرد و در صورتی‌که این مورد امکان‌پذیر نباشد می‌توان از داخل راهروها و با حفر گمانه‌های تقاطعی به داخل منطقه تخریب اقدام به گاززدایی کرد.

مراجع

[1] Sereshki, F. (2005). Improving coal mine safety by identifying factors that influence the sudden release of gases in outburst prone zones (Doctoral dissertation, University of Wollongong).

[2]Hamawand, I., Yusaf, T., & Hamawand, S. G. (2013). Coal seam gas and associated water: a review paper. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 550-560.

[3] Wilson, D. R., Lively, P., Sandarusi, J. A., Bowser, P., & Stanley, M. (1995). U.S. Patent No. 5,402,847. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[4] Thakur, P. (2014). Coal seam degasification. *Coal Bed Methane: From Prospect to Pipeline*, 155.

[5] Dougherty, H. N., & Karacan, C. Ö. (2011). A new methane control and prediction software suite for longwall mines. *Computers & geosciences*, *37*(9), 1490-1500.

[6] William P. D., 1994. Methane Control for Underground Coal Mines. United state Department of the interior Bruce Babbitt, Secretary, and Bureau of mines.

[7] Karacan, C. Ö., Ruiz, F. A., Cotè, M., & 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*(2), 121-156.

[8] Karacan, C. Ö., Ulery, J. P., & Goodman, G. V. R. (2008). A numerical evaluation on the effects of impermeable faults on degasification efficiency and methane emissions during underground coal mining. *International Journal of Coal Geology*, *75*(4), 195-203.

[9] Karacan, C.O, 2008. Modeling and prediction of ventilation methane emissions of U.S. longwall mines using supervised artificial neural networks, International Journal of Coal Geology, 73 (2008), pp. 371-387.

[10] Karacan, C. Ö. (2009). Degasification system selection for US longwall mines using an expert classification system. Computers & Geosciences, 35(3), 515-526.

[11] Black, D. J. (2011). Factors affecting the drainage of gas from coal and methods to improve drainage effectiveness.PhD thesis, University of Wollongong.

[12] Dai, L. C., Wen, G. C., Liu, Z., Yang, H. M., & Wang, B. (2013). Analysis of Geological Factors Affecting Coal Seam Gas Content and Prediction. In *Advanced Materials Research* (Vol. 634, pp. 3645-3649). Trans Tech Publications.

[13] Liu, B., Ao, W. H., Huang, W. H., Xu, Q. L., & Teng, J. (2014). Comprehensive Analysis of Factors Affecting Coalbed Methane Productivity: A Case Study of Southern Qinshui Basin. In *Advanced Materials Research*(Vol. 962, pp. 21-28). Trans Tech Publications.

[14] 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.

[15] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), (1999). Guidebook on Coalbed Methane Drainage for Underground Coal Mines. Cooperative Agreement No. CX824467-01-0 with The Pennsylvania State University by Jan M. Mutmansky.

[16] ECE ENERGY SERIES, (2010). Best Practice Guidance for Effective Methane Drainage and Use in Coal Mines. UNITED NATIONS PUBLICATION, ISBN 978-92-1-117018-4

[17] Peng, S. S. (2006). Longwall mining. second edition, Morgantown, WV.621 pp.

[18] Moore, T. A. (2012). Coalbed methane: a review. *International Journal of Coal Geology*, *101*, 36-81.

[19] Paul, S., & Chatterjee, R. (2011). Determination of in-situ stress direction from cleat orientation mapping for coal bed methane exploration in south-eastern part of Jharia coalfield, India. *International Journal of Coal Geology*, *87*(2), 87-96.

[20] Aminian, K., (2005). Evaluation of Coalbed Methane Reservoirs. Petroleum & Natural Gas Engineering Department West Virginia University.

[۲۱] محمد یزدی، "زغال‌سنگ (از منشاء تا اثرات زیست محیطی)"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲.

[22] Laxminarayana, C., & Crosdale, P. J. (1999). Role of coal type and rank on methane sorption characteristics of Bowen Basin, Australia coals. *International Journal of Coal Geology*, *40*(4), 309-325.

[23] Hemza, P., Sivek, M., & Jirásek, J. (2009). Factors influencing the methane content of coal beds of the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin, Czech Republic. *International Journal of Coal Geology*, *79*(1), 29-39.

[24] www.slb.com, 2003.

[25] Karacan, C. Ö., Diamond, W. P., Esterhuizen, G. S., & Schatzel, S. J. (2005). Numerical analysis of the impact of longwall panel width on methane emissions and performance of gob gas ventholes. In Proceedings of the 2005 International Coalbed Methane Symposium, Paper (Vol. 505).

[26] Anon, 2005. Basic Design of Tabas Coal Mine Project, Report-Mining. Vol 1 of 5.

پی‌نوشت

[1] Coalbed Methane
[2] Coal Seam Gas, CSG
[3] Coal Seam Natural Gas, CSNG
[4] Coal Mine Methane: CMM
[5] Methane Control Prediction: MCP
[6] Karacan
[7] Black
[8] Dai
[9] Liu
[10] Gob Gas Ventholes
[11] Artificial Neural Network
[12] Perceptron
[13] Mean Square Error
[14] Principle Component Analysis
[15] Perceptron