

الْحَمْدُ لِلَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

ارائه سیستم طبقه‌بندی برای ارزیابی گازخیزی در معادن زغال سنگ

نگارنده:

محمد حسین حبیبی

اساتید راهنما

دکتر فرهنگ سرشکی

دکتر محمد عطائی

مهر ۱۴۰۰

تقدیم بہ پدر و مادر

اولین و ہمیشگی ترین معلمانم، آنان کہ بی وقفہ تکیہ گاہی محکم و حامی
بی منت ہستند؛ مہربانانی کہ در تمام عرصہ های زندگی با ایثار و
فداکاری، ہموارہ بر کوتاہی و درشتی من، قلم عفو کشیدہ و کریمانہ از کنار
غفلت ہایم گذشتہ اند.

شکر و قدردانی

سپاس یگانه خالق را که با قلم به برترین آفریدگانش آنچه را نمی دانست آموخت (الرحمن، ۳، ۴؛ العلق، ۴، ۵) و قسم خورد بر قلم و آنچه به سببش می نگارند (القلم، ۱)؛ که این أعظم نعمت های الهی های است که انسان بدان راه یافته است. و سلام و درود بر سرور کائنات و فخر موجودات و رحمت عالمیان و صفوت آدمیان و تتمه دور زمان محمد مصطفی (ص) و اهل بیت ایشان، طاهران معصوم (ع)، آنان که وجودمان وامدار وجودشان است.

در ابتدا تقدیر می کنم از همه معلمان و اساتیدم از دبستان تا امروز، که کم آموختم از آنچه بسیار آموختند.

برای به ثمر رسیدن این رساله عمری گران صرف و راهی طولانی پیموده شد که طی آن بدون اساتیدم امری محال بود؛ پس بر حسب وظیفه و از باب (من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عز و جل)، از اساتید فرهیخته، معلمان اخالق و علم، جناب آقای پروفیسور فرهنگ سرشکی و جناب آقای پروفیسور محمد عطایی که در کمال سعه صدر و با حسن خلق همواره راهنما و همراهی ثابت قدم بودند از صمیم قلب سپاسگزاری نموده، سالمی مستمر و توفیق روزافزون ایشان را آرزومندم.

از خانواده ام، پدر و مادر و برادرم دلیل اول و آخر تمام تالش هایم بی نهایت ممنونم که همیشه ملجأ خستگی ها و مشوقانی مشتاق بوده و هستند.

در انتها از مجموعه دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک که صمیمانه همچون دوستی دیرینه در کنارم هستند؛ تشکر ویژه می کنم.

اینجانب محمدحسین حبیبی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن - گرایش استخراج دانشکده مهندسی معدن، نفت ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارائه سیستم طبقه بندی برای ارزیابی گازخیزی در معادن زغال سنگ تحت راهنمایی استاد فرهنگ سرشکی و استاد محمد عطایی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامههای رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

شناخت عوامل موثر بر گازخیزی از لایه‌های زغال‌سنگ، در جهت افزایش ایمنی کارگاه‌های زیرزمینی، جلوگیری از وقوع انفجار گاز متان، خودسوزی و ایجاد حریق، ریزش کارگاه استخراج، استفاده اقتصادی گاز متان حاصل از زغال‌سنگ، کاهش هزینه‌های سیستم تهویه و کاهش اثرات مخرب زیست محیطی، امری لازم و ضروری است. در راستای اجرایی شدن سیستم‌های گاززدایی در معادن زغال‌سنگ، این تحقیق ارائه می‌شود تا نخست عواملی که بر گازخیزی گاز متان متصاعد شده از لایه‌های زغال‌سنگ تاثیر دارند؛ شناسایی شود و در مرحله بعدی با تعیین میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری هر یک از عوامل موثر بر گازخیزی، روابط بین هریک از پارامترها مشخص شود. در نهایت با تعیین وزن تاثیرگذاری هر پارامتر بر گازخیزی گاز متان متصاعد شده از لایه‌های زغال‌سنگ، شاخصی به منظور ارزیابی گازخیزی لایه زغال‌سنگ تعیین گردد. با مطالعات صورت گرفته شده؛ تعداد چهارده پارامتر موثر بر فرآیند گازخیزی شناسایی شد. جهت تعیین میزان تاثیرگذاری پارامترها، از روش **Fuzzy DEMATEL** استفاده شده است. بر این مبنا، از نظرات کارشناسان و خبرگان فعال در حیطه معدن‌کاری زغال‌سنگ استفاده شده است. پس از جمع‌آوری جداول نظرسنجی از خبرگان، تعداد ده پرسش‌نامه مورد تایید قرار گرفت. نظرات اعمال شده در جداول نظرسنجی با استفاده از اعداد فازی تبدیل به ماتریس‌های اولیه شدند که در نهایت با اعمال روش **Fuzzy DEMATEL** وزن تاثیرگذاری هریک از پارامترهای موثر بر فرآیند گازخیزی مشخص گردید. در ادامه جهت محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی براساس وزن پارامترها، به هریک از پارامترهای موثر بر گازخیزی، براساس میزان تاثیرگذاری بر فرآیند گازخیزی، امتیازی اختصاص داده شد. این امتیاز برحسب میزان تاثیرگذاری هر پارامتر بر گازخیزی است. با مشخص شدن وزن هر پارامتر و امتیاز متناظر با بازه کمی آن، شاخص ارزیابی گازخیزی محاسبه می‌گردد. شاخص ارزیابی گازخیزی به دست آمده بیانگر شدت گازخیزی تحت شرایط خاصی از یک پروژه خاص با مشخصات فنی از لایه زغال‌سنگ و یا یک معدن می‌باشد. هرچه، مقدار این شاخص بیشتر و به صد نزدیک‌تر باشد؛ بدان معنی است که میزان گازخیزی گاز متان در پروژه، به قدری بالا است که نیاز به انجام فرآیند گاززدایی دارد. برای این منظور با طبقه‌بندی این شاخص، گازخیزی زغال‌سنگ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: زغال‌سنگ، گازخیزی، طبقه‌بندی، روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی ، **Fuzzy DEMATEL**

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات پژوهش ۱

- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۱-۲ بیان مسئله ۳
- ۱-۳ اهمیت و ضرورت مسئله ۵
- ۱-۴ پیشینه تحقیق ۷
- ۱-۵ روش تحقیق ۱۲
- ۱-۶ اهداف پژوهش ۱۴
- ۱-۷ ساختار تحقیق ۱۴

فصل ۲ بررسی پارامترهای مرتبط با فرآیند گازخیزی ۱۷

- ۲-۱ مقدمه ۱۸
- ۲-۲ - گازهای موجود در زغال سنگ ۱۸
- ۲-۳ نحوه تولید گاز متان در زغال سنگ ۱۹
- ۲-۴ طبقه بندی زغال سنگ‌ها از نظر تصاعد گاز ۲۱
- ۲-۵ جریان گاز و نشر آن از زغال سنگ ۲۲
- ۲-۶ عوامل موثر بر گازخیزی گاز متان متصاعد شده از لایه زغال سنگ ۲۴
- ۲-۶-۱ شرایط کانی‌شناسی، زمین‌شناسی لایه‌های زغال سنگ ۲۴
- ۲-۶-۱-۱ نوع و درجه زغال‌شدگی همراه با تاثیر ماسرال‌های زغال ۲۴
- ۲-۶-۱-۲ رطوبت و آب‌های زیرزمینی ۲۷

- ۲۸.....۲-۶-۱-۳ درصد خاکستر زغال و درصد حضور سایرکانی‌های همراه
- ۲۹.....۲-۶-۱-۴ ارزش حرارتی زغال سنگ
- ۳۰.....۲-۶-۱-۵ گسل
- ۳۰.....۲-۶-۲ پارامترهای فیزیکی لایه زغال سنگ
- ۳۰.....۲-۶-۲-۱ ضخامت لایه زغال سنگ
- ۳۲.....۲-۶-۲-۲ عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره
- ۳۵.....۲-۶-۲-۳ شرایط ناپیوستگی‌ها در لایه زغال سنگ
- ۳۷.....۲-۶-۲-۴ نفوذپذیری
- ۳۸.....۲-۶-۳ شرایط معدنکاری زغال سنگ
- ۳۸.....۲-۶-۳-۱ طول و عرض پهنه استخراجی و تعداد ورودی‌ها
- ۳۹.....۲-۶-۳-۲ سرعت ناوزنجیری
- ۴۰.....۲-۶-۳-۳ میزان ذخیره زغال سنگ و تولید روزانه معدن

فصل ۳ روش ایجاد سیستم طبقه‌بندی

- ۴۱
- ۴۲.....۳-۱ مقدمه
- ۴۳.....۳-۲ روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری (DEMATEL)
- ۴۵.....۳-۲-۱ گام اول: جمع‌آوری نظرات کارشناسان
- ۴۶.....۳-۲-۲ گام دوم: تبدیل جدول نظرسنجی به ماتریس فازی
- ۴۷.....۳-۲-۳ گام سوم: محاسبه ماتریس میانگین نظرات
- ۴۷.....۳-۲-۴ گام چهارم: نرمال کردن ماتریس میانگین
- ۴۸.....۳-۲-۵ گام پنجم: محاسبه ماتریس روابط کلی
- ۴۸.....۳-۲-۶ گام ششم: غیرفازی کردن ماتریس روابط کلی
- ۴۹.....۳-۲-۷ گام هفتم: تعیین معیارهای اثرگذار و اثرپذیر (روابط بین معیارها)

۵۰..... ۳-۲-۸ گام هشتم : رسم نمودار علی

۵۰..... ۳-۲-۹ گام نهم : محاسبه وزن هر معیار

۵۱..... ۳-۳ محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی

۵۳ فصل ۴ ارائه سیستم طبقه بندی

۵۴..... ۴-۱ مقدمه

۵۴..... ۴-۲ تعیین پارامترهای موثر

۵۵..... ۴-۳ ساختار روش Fuzzy DEMATEL اجرا شده بر پارامترهای موثر بر گازخیزی

۵۸..... ۴-۴ استفاده از روش Fuzzy DEMATEL برای تمام پارامترها

۶۶..... ۴-۴-۱ بررسی تاثیر پارامترها بر یکدیگر

۷۸..... ۴-۴-۲ تعیین وزن نهایی پارامترهای موثر بر گازخیزی

۸۰..... ۴-۵ سیستم طبقه بندی ارزیابی گازخیزی زغال سنگ

۸۱..... ۴-۵-۱ دسته بندی معیارهای موثر بر گاززدایی

۸۹..... ۴-۵-۲ تعیین شاخص ارزیابی گازخیزی

۹۱ فصل ۵ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۹۲..... ۵-۱ مقدمه

۹۲..... ۵-۲ نتیجه گیری

۹۲..... ۵-۲-۱ تحقیق و بررسی معیارهای موثر بر گازخیزی

۹۳..... ۵-۲-۲ تاثیر گذاری هر معیار بر شدت گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه زغال سنگ

۵-۲-۳ تعیین روابط حاکم بر پارامترهای موثر بر گازخیزی، به منظور شناسایی پارامترهای

کلیدی جهت اعمال تغییر در مقادیر آنها جهت کاهش یا افزایش میزان گازخیزی

۹۴..... لایه زغال سنگ

۵-۲-۴ محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی لایه زغال سنگ در معادن زیرزمینی زغال سنگ با

توجه به وزن تاثیر گذاری هر پارامتر و مقادیر آن. ۹۵.....

۵-۳ پیشنهادات ۹۶

مراجع ۹۸

پیوست ۱۰۶

فرم های نظرسنجی استفاده شده در این پژوهش ۱۰۶

فهرست جداول

جدول ۱-۲ خاکستر زغال سنگ در برخی از کارگاه‌های UCG	۲۹
جدول ۱-۳ ماتریس نظر سنجی تاثیر گذاری هر پارامتر بر سایر معیارها (برای مثال)	۴۵
جدول ۲-۳ اعداد فازی مثلثی متانظر با متغیرهای زبانی برای تبدیل شدت اثر گذاری	۴۶
جدول ۱-۴ ماتریس نظر سنجی تاثیر گذاری هر پارامتر بر سایر پارامترهای موثر بر گازخیزی گاز متان از لایه‌های زغال سنگ	۵۷
جدول ۲-۴ - ماتریس میانگین نظرات	۵۸
جدول ۳-۴ - ادامه ماتریس میانگین نظرات	۵۹
جدول ۴-۴ - ادامه ماتریس میانگین نظرات	۶۰
جدول ۵-۴ - ماتریس میانگین نظرات نرمال شده	۶۰
جدول ۶-۴ - ادامه ماتریس میانگین نظرات نرمال شده	۶۱
جدول ۷-۴ - ادامه ماتریس میانگین نظرات نرمال شده	۶۲
جدول ۸-۴ - ماتریس روابط کلی	۶۳
جدول ۹-۴ - ادامه ماتریس روابط کلی	۶۴
جدول ۱۰-۴ - ادامه ماتریس روابط کلی	۶۵
جدول ۱۱-۴ - ماتریس روابط کلی قطعی	۶۶
جدول ۱۲-۴ جدول مقادیر تاثیر گذاری ، تاثیر پذیری، ارتباط و برتری پارامترهای موثر بر گازخیزی.....	۶۷
جدول ۱۳-۴ - جدول بررسی پارامترهای موثر بر گازخیزی از نظر تغییر پذیری	۷۵
جدول ۱۴-۴ - ادامه جدول بررسی پارامترهای موثر بر گازخیزی از نظر تغییر پذیری	۷۶
جدول ۱۵-۴ نحوه ایجاد تغییر در پارامترهای موثر بر گازخیزی	۷۶
جدول ۱۶-۴ - پارامترهای موثر بر گازخیزی که قابل تغییر هستند. به ترتیب اولویت تغییر پذیری	۷۷
جدول ۱۷-۴ جدول وزن نهایی پارامترهای موثر بر گازخیزی	۷۹
جدول ۱۸-۴ بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی	۸۲
جدول ۱۹-۴ ادامه جدول ۴-۱۸ بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی	۸۳
جدول ۲۰-۴ ادامه جدول ۴-۱۹ بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی	۸۴
جدول ۲۱-۴ ادامه جدول ۴-۲۰ بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی	۸۵
جدول ۲۲-۴ جدول امتیاز دهی بر حسب مقادیر هر پارامتر با توجه به دسته‌بندی تعریف شده برای هر یک از پارامترهای موثر بر گازخیزی	۸۷
جدول ۲۳-۴ ادامه جدول ۴-۲۲ جدول امتیاز دهی بر حسب مقادیر هر پارامتر با توجه به دسته‌بندی تعریف شده برای هر یک از پارامترهای موثر بر گازخیزی	۸۸

جدول ۴-۲۴	بندی شاخص ارزیابی گازخیزی همراه با ارزیابی امکان انجام فرآیند گاززدایی	۸۹
جدول ۵-۱	شدت تاثیرگذاری پارامترهای موثر بر گازخیزی	۹۴
جدول ۵-۲	جدول پارامترهای موثر بر گازخیزی قابل تغییر به ترتیب اولویت تغییر پذیری	۹۵
جدول ۵-۳	جدول دسته بندی شاخص ارزیابی گازخیزی	۹۶
جدول ۵-۴	جدول نظرسنجی کارشناس ۱	۱۰۶
جدول ۵-۵	جدول نظر سنجی کارشناس ۲	۱۰۷
جدول ۵-۶	جدول نظرسنجی کارشناس ۳	۱۰۷
جدول ۵-۷	جدول نظرسنجی کارشناس ۴	۱۰۸
جدول ۵-۸	جدول نظرسنجی کارشناس ۵	۱۰۹
جدول ۵-۹	جدول نظرسنجی کارشناس ۶	۱۰۹
جدول ۵-۱۰	جدول نظرسنجی کارشناس ۷	۱۱۰
جدول ۵-۱۱	جدول نظرسنجی کارشناس ۸	۱۱۰
جدول ۵-۱۲	جدول نظرسنجی کارشناس ۹	۱۱۱
جدول ۵-۱۳	جدول نظرسنجی کارشناس ۱۰	۱۱۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ سلسه مراحل ارائه سیستم طبقه بندی ارزیابی گازخیزی ۱۴
- شکل ۲-۱ طرز قرارگیری گاز در سطوح لایه‌های زغالی ۲۰
- شکل ۲-۲ تغییرات تدریجی خواص فیزیکی و شیمیایی زغال سنگ در مراحل مختلف ۲۶
- شکل ۲-۳ رابطه مقدار خاکستر زغال سنگ و ارزش حرارتی گازهای تولید شده ۲۹
- شکل ۲-۴ رابطه ضخامت لایه زغال و انتشار متان ۳۱
- شکل ۲-۵ ارتباط ارتفاع روباره و انتشار گاز متان ۳۳
- شکل ۲-۶ ارتباط عمق لایه زغال و نرخ انتشار متان ۳۴
- شکل ۲-۷ تاثیر عمق بر نفوذپذیری لایه‌های زغال سنگ ۳۵
- شکل ۲-۸ حرکت گاز متان از داخل کلیت‌ها و سطح زغال سنگ ۳۶
- شکل ۲-۹ ارتباط عرض پنل و انتشار متان ۳۸
- شکل ۲-۱۰ ارتباط تولید زغال و میزان انتشار گاز متان ۴۰
- شکل ۳-۱ مراحل روش Fuzzy DEMATEL ۴۴
- شکل ۳-۲ توابع عضویت متغیرهای فازی ۴۶
- شکل ۳-۳ نمودار علی ۵۰
- شکل ۴-۱ ترتیب نزولی شاخص اثرگذاری هر پارامتر بر سایر پارامترهای موثر بر گازخیزی (R) ۶۹
- شکل ۴-۲ ترتیب نزولی شاخص تاثیرپذیری هر پارامتر از سایر پارامترهای موثر بر گازخیزی (C) ۷۰
- شکل ۴-۳ ترتیب نزولی شاخص برتری (درجه اهمیت) پارامترهای موثر بر گازخیزی (R+C) ۷۱
- شکل ۴-۴ ترتیب نزولی مقدار ارتباط پارامترهای موثر بر گازخیزی (R-C) ۷۲
- شکل ۴-۵ نمودار مقایسه مقادیر برتری با ارتباط هر پارامتر موثر بر گازخیزی ۷۳
- شکل ۴-۶ نمودار مقایسه میزان تاثیرگذاری (آبی) با تاثیر پذیری (قرمز) پارامترهای موثر بر گازخیزی ۷۳
- شکل ۴-۷ نمودار علی پارامترهای موثر بر گازخیزی ۷۴
- شکل ۴-۸ نمودار میله ای مقدار وزن نهایی پارامترهای موثر بر گازخیزی ۸۰

فصل ۱: کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

در قرن حاضر باگسترش معدن کاری زیرزمینی زغال سنگ و لزوم استحصال انرژی سوختی و حرارتی این ماده معدنی پرارزش و پرکاربرد در صنایع گوناگون، می بایست از توقف فرایند تولید زغال سنگ جلوگیری شود؛ این امر جز بارعایت نکات ایمنی و لازم الاجرا قوانین و مقررات مربوطه محقق نمی شود. اما متأسفانه هرساله در سراسر جهان و به خصوص در کشور ایران شاهد بروز حوادث جبران ناپذیری هستیم که توقف تولید یا کاهش تولید زغال سنگ را به وجود می آورند. عمده عوامل خطرآفرین در معدن کاری زیرزمینی زغال سنگ، نشت و تجمع گاز زغال است که خود حاوی بیش از نود درصد متان است. متان مهمترین گاز آلاینده در معادن زغال سنگ محسوب می شود. اگرچه این گاز در زغال سنگ یا سایر سنگ های کربن دار یافت می شود اما در بعضی از معادن غیر زغال سنگ نیز وجود دارد. بیشترین آمار تلفات جانی در معادن، مربوط به گاز متان است. بنابراین انجام مطالعات سیستماتیک برای تعیین شدت جریان ورودی گاز متان به داخل فضاهای معدنی زیرزمینی، از اهمیت زیادی برخوردار است. ازسویی شیوه های کنترل این گاز، جهت ایمن سازی عملیات معدنی در زیرزمین بایستی مدنظر قرار گیرد. به ویژه هنگامی که انتظار می رود، حجم زیادی از گاز متان به داخل فضاهای معدنی وارد شود. تهویه معمول ترین و پرکاربردترین شیوه برای کاهش غلظت گاز متان در معادن زیرزمینی می باشد. اما از آنجا که میزان تصاعد گاز متان بستگی به سرعت تولید و عمق معدن دارد، انتظار می رود که با افزایش عوامل مذکور به هوای بسیار بیشتری جهت تهویه نیاز باشد. لذا ممکن است تهویه به تنهایی برای رقیق کردن گاز متان کافی نباشد. بنابراین بایستی عملیات استخراج متوقف شود یا سرعت آن کاهش یابد. (Hartman, Mutmansky et al. 1997) از آنجا که، کاهش سرعت استخراج باعث کم شدن تولید می شود؛ بایستی تکنیک هایی به کار گرفته شود تا علاوه بر از بین بردن خطرات ناشی از گاز متان منتشر شده در فضای معدن، باعث توقف تولید یا کاهش سرعت تولید ذغال سنگ نشود. امروزه موثرترین عمل کرد در قبال گاز متان منتشر شده در شبکه زیرزمینی معدن، استفاده از روش های گاززدایی گاز متان است؛ که به طور کلی شامل سه دسته می شود.

۱- روش‌های گاززدایی قبل از شروع معدن‌کاری

۲- روش‌های گاززدایی در حین انجام معدن‌کاری

۳- روش‌های گاززدایی بعد از اتمام معدن‌کاری

استفاده از روش‌های گاززدایی گازمتان ارتباط مستقیمی با میزان گازخیزی گاز متان متصاعد شده از لایه زغال‌سنگ دارد. پس بنابراین جهت انجام فرآیند گاززدایی، حتماً شناخت و ارزیابی گازخیزی گاز متصاعد شده از لایه زغال‌سنگ امری لازم و ضروری است. فرآیند گازخیزی گاز متصاعد شده از لایه زغال‌سنگ، خود بسته به عوامل متعددی از جمله شرایط زمین‌شناسی و تکنونیک لایه‌های زغال، شرایط و متغیرهای فیزیکی لایه زغال، شرایط و پارامترهای فنی معدنکاری دارد. بنابراین جهت اجرا و استفاده از روش‌های گاززدایی گاز متان، از لایه‌های زغال‌سنگی که در حال استخراج هستند و یا لایه‌های زغال‌سنگی که شرایط فنی-اقتصادی معدنکاری ندارند؛ بایستی عوامل تاثیر گذار بر میزان گازخیزی گاز متصاعد شده از لایه زغال‌سنگ که بیان شد؛ مورد بررسی قرار گردد تا با شناسایی و ارزیابی دقیقی از شیوه گازخیزی گاز متان، مناسب‌ترین روش گاززدایی تعیین و اجرا گردد. بدین ترتیب در این پایان‌نامه به بررسی عوامل موثر در روش‌های گازخیزی جهت ارائه یک سیستم طبقه‌بندی به منظور ارزیابی گازخیزی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ، پرداخته شده است.

در این فصل کلیاتی از مسأله، اهمیت و ضرورت انجام تحقیق، پیشینه تحقیق، روش انجام تحقیق، هدف از انجام پژوهش بیان شده است؛ در انتها نیز به ساختار کلی پایان‌نامه پرداخته شده است.

۲-۱ بیان مسئله

انفجار گاز متان از خطرات بالقوه در معادن زغال‌سنگ است که هر سال تلفات جانی زیادی در معادن زغال‌سنگ سراسر دنیا به همراه دارد. (Chen, Qi et al. 2012) (Su 2004) توجه به حجم بالای گاز آزاد شده در بعضی از لایه‌های زغال‌سنگ، تهویه معدن به تنهایی نمی‌تواند محیطی ایمن برای استخراج

زغال سنگ ایجاد کند؛ بنابراین متان زدایی قبل از استخراج یا حین استخراج امری ضروری است. (Yanbin 2008) از سوی دیگر، افزایش تقاضای انرژی و کاهش سریع منابع آن در جهان، باعث شده است تا تولید انرژی از مخازن هیدروکربنی غیرمتعارف (مانند مخازن زغال سنگ) از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. (Chen 2011) افزایش قیمت گاز در دهه های اخیر نیز از دیگر عوامل تاثیرگذار در جلب توجه کشورهای توسعه یافته برای گاززدایی از مخازن زغال سنگ بوده است. در حال حاضر نیز گاز متان به عنوان سوختی پاک نسبت به منابع انرژی هیدروکربنی مطرح است؛ بنابراین تولید گاز از نظر زیست محیطی نیز، نسبت به نفت و زغال سنگ برتری دارد. از این رو، اکتشاف و زهکشی متان از مخازن زغال سنگ از چندین دهه پیش در برخی از کشورها (به ویژه در ایالات متحده و استرالیا) شروع شده است. (Crosdale 1998) متان زدایی به عمل اکتشاف، استخراج، انتقال و بیرون کشیدن گاز موجود در لایه های زغالی و لایه های اطراف آن از طریق چاه و خطوط لوله انتقال گفته می شود. (Fox 2009) (Rezaee 2019) گاز متان موجود در لایه های زغال سنگ در روش های سنتی استخراج زغال سنگ، هدر می رود که با استفاده از روش های گاززدایی می توان آن را بازیابی کرد. با این کار، علاوه بر کاهش خطرات ناشی از استخراج زیرزمینی زغال سنگ، می توان هزینه های مربوط به تهویه معدن را کاهش داد و اثرات مخرب زیست محیطی استخراج زغال سنگ (مانند انتشار گازهای گلخانه ای و آلودگی آب های سطحی) را نیز از بین برد. (Yousefi 2017) در زمان تولید گاز و آگیری از لایه های زغال سنگ، خواص پتروفیزیکی آن با تغییر فشار داخل خلل و فرج تغییر می کند، به نحوی که بر خلاف مخازن هیدروکربنی متعارف، تا مدت زمانی با افزایش تولید، میزان تولید آب کمتر می شود و همچنین تولید گاز متان افزایش می یابد. بنابراین تولید موثر گاز از لایه های زغالی به پایش تغییرات تخلخل، نفوذپذیری، تراکم پذیری زغال سنگ و سایر عوامل موثر، در طول زمان تولید نیاز دارد. (Yanbin 2008)

شناخت عوامل موثر بر گازخیزی از لایه های زغال سنگ، در جهت افزایش ایمنی کارگاه های زیرزمینی، تولید و استفاده اقتصادی گاز متان حاصل از زغال سنگ، کاهش هزینه های سیستم تهویه و کاهش اثرات

مخرب زیست محیطی، امری لازم و ضروری است. بدین منظور در راستای اجرایی شدن سیستم‌های گاززدایی در معادن زغال سنگ، این تحقیق ارائه می‌شود تا نخست عواملی که بر گازخیزی گاز متان متساعد شده از لایه‌های زغال سنگ تاثیر دارند؛ شناسایی گردند و در مرحله بعدی با تعیین میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری هر یک از عوامل موثر بر گازخیزی، شاخصی از گازخیزی گاز متان متساعد شده از لایه‌های زغال سنگ تعیین گردد تا با استفاده از آن یک سیستم طبقه‌بندی جهت ارزیابی گازخیزی ارائه شود. که با بهرگیری از آن، فرایند زهکشی گاز منتشر شده از لایه‌های زغال سنگ، جهت انتخاب و انجام روش‌های گاززدایی مربوطه آسان شود.

۳-۱ اهمیت و ضرورت مسئله

ضرورت استحصال گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال سنگ، از چندین جنبه مورد توجه است. نخست به دلیل قابلیت انفجار گاز متان متساعد شده از لایه‌های زغال سنگ در حال استخراج، که در صورت تجمع و اختلاط با هوای معدن در غلظت‌های ۵ تا ۱۶ درصد به شدت قابل انفجار بوده و خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری در حیطه معدن‌کاری زیرزمینی، ایجاد می‌کند؛ تحقیق و توسعه روش‌های زهکشی متان حائز اهمیت است. در نتیجه حذف این گاز به شدت خطر آفرین، از فضای معدن‌کاری امری ضروری است. از طرفی جلوگیری از انتشار گاز زغال، شاید در کوتاه مدت سبب افزایش ایمنی و عدم انتشار متان از لایه زغال شود؛ اما خود سبب تجمع حجم بیش‌از اندازه گاز متان درون لایه شده و با انفجار ناگهانی آن، خسارت‌های گسترده‌تری رخ می‌دهد. پس، بهترین گزینه جهت افزایش ایمنی معدن‌کاری زیرزمینی زغال سنگ، حذف گاز زغال (حاوی بیش از ۹۰ درصد متان) است. استفاده از سیستم‌های تهویه و مکش گاز متان از فضاهای معدن، مستلزم هزینه‌های همیشگی و بالایی است. همچنین تجمع گاز متان در فضاهای تخریب شده معادن زغال سنگ خود منبع مهمی از متان تجمع شده هستند که با وجود سیستم‌های تهویه نیز قابل تخلیه نمی‌باشند. حتی در صورت تخلیه گاز متان با سیستم تهویه و رهاسازی در هوای آزاد، باعث

بروز مشکلات زیست محیطی بیش‌تری می‌شود؛ چرا که گاز متان یک گاز گلخانه‌های است که تأثیری در حدود ۲۰ برابر گاز دی‌اکسید کربن بر محیط زیست زمین دارد. از سویی، در سال‌های اخیر با افزایش هزینه‌های حامل‌های انرژی، به خصوص گاز طبیعی، استحصال گاز متان و مصرف آن در صنایع، بسیار حائز اهمیت شده است. به همین منظور یکی از منابع قابل توجه گاز مصرفی، متان موجود در لایه‌های زغال‌سنگ است که با زهکشی و مصرف آن در صنایع گوناگون باعث سودآوری بالایی می‌شود. در نهایت ضروری و لازم الاجرا است تا گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال‌سنگ در مرحله اول به منظور افزایش ایمنی معدن‌کاری، تخلیه و جمع‌آوری گردد و سپس جهت مصارف متعدد در صنایع مورد استفاده قرار گیرد و از ورود آن به هوای آزاد نیز جلوگیری شود.

در حالی که مطالعات زیادی در جهان بر روی فرایندهای گاززدایی شده است و همچنین در دهه‌های اخیر در کشور ایران این تکنولوژی مورد بررسی قرار گرفته است؛ بازهم شاهد بروز حوادث زیاد ناشی از تجمع گاز متان در معادن زغال‌سنگ هستیم. از سویی با وجود مطالعات موردی و کیفی، انجام شده؛ فقط تعداد انگشت شماری از کارگاه‌های استخراجی معادن زغال‌سنگ در ایران به سیستم زهکشی گاز زغال (گاز متان) مجهز شده‌اند. برای آن‌که کارگاه‌های استخراج زغال‌سنگ در اکثر معادن زغال‌سنگ به سیستم‌های گاززدایی مجهز شوند؛ لازم است تا در مرحله اول مسئله گازخیزی به طور مفصل مورد بررسی قرار گیرد تا عوامل موثر بر آن شناسایی شود و با ایجاد یک سیستم طبقه‌بندی مهندسی، فرایند گازخیزی لایه زغال‌سنگ، مورد ارزیابی قرار گیرد. که با استفاده از آن، در فرایندهای بعدی، انجام فرایند گاززدایی آسان‌تر گردد. بدین صورت که، جهت انتخاب و انجام روش‌های گاززدایی مربوطه، با مشخص بودن شاخص ارزیابی گازخیزی و موقعیت قرارگیری لایه زغال‌سنگ مدنظر در سیستم طبقه‌بندی ارائه شده؛ انتخاب و اجرای روش گاززدایی مناسب جهت خروج گاز متان منتشر شده در معدن، میسر گردد.

۴-۱ پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، تحقیقات ارزنده‌ای در خصوص گازخیزی معادن زغال‌سنگ انجام شده است که در ادامه برخی از آن‌ها به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرد. لاوباک و همکاران، ویژگی‌ها و منشأ کلیت‌های زغال‌سنگ را به عنوان مهم‌ترین پارامتر اثرگذار در گاززدایی متان مورد ارزیابی قرار دادند. (Thakkar 2006) لاکسمینرایانا و کراسدال نیز نقش نوع زغال‌سنگ و رتبه بندی آن بر ویژگی‌های جذب متان در لایه زغال‌سنگ حوضه زغالی بوهن (واقع در استرالیا) را بررسی کردند. (Kannan 2008) در پژوهشی دیگر، کاراکان به پیشبینی عملکرد تولید چاه تهویه در گاززدایی متان پرداخته است و با استفاده از محاسبات هوشمند، بهینه‌سازی کنترل متان را در معدنی که به روش جبهه‌کار بلند استخراج می‌شوند، انجام داد. (Karacan 2009) گنتزیز نیز به تجزیه و تحلیل ثبات چال‌های زهکشی متان در محدوده بریتیش کلمبیا (واقع در کانادا) پرداخت. در این پژوهش، پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی، وضعیت تنش‌های منطقه و مشخصات مکانیکی لایه‌ها به عنوان عوامل اثرگذار در متان‌زدایی در نظر گرفته شده است (Gentzis 2009) حمزه و همکاران نیز عوامل موثر بر میزان گاز متان در زهکشی‌های مربوط به بخش چک در بالای حوضه سیلسیا (واقع در جمهوری چک) را مورد ارزیابی قرار دادند (Hemza 2009) سانگ و همکاران به بررسی اثرگذاری پارامترهای زمین‌شناسی بر میزان تولید گاز متان در معادن زغال‌سنگ پرداختند (Sang 2009) هانگ و همکاران، مکان بهینه چال‌های سطحی برای گاززدایی متان در مناطق معدنی را بررسی کردند. این محققان، پارامترهای مرتبط با چالزنی، الگوی حفاری و مشخصات چال‌ها را به عنوان مهمترین پارامترهای فرآیند گاززدایی در نظر گرفته و به بهینه‌سازی مکان مناسب حفاری چال‌های زهکشی متان پرداختند (Huang 201) کاراکان و همکاران به بررسی گاززدایی متان از معادن زغال‌سنگ پرداخته و مطالعات پیشین را با دیدگاه ایمنی و کاهش گازهای گلخانه‌ای مضر مورد ارزیابی قرار دادند (Karacan 2011) پائول و چاترجی نیز با تعیین جهت تنش در جهت‌یافتگی کلیت‌ها، اقدام به اکتشاف منابع متان در یک معدن

زغال‌سنگ واقع در هند کردند (Paul 2011) همچنین کایم و همکاران یک مطالعه عددی در مورد بهینه‌سازی الگوهای گاززدایی برای تولید متان در یک معدن زغال‌سنگ در چین انجام دادند. این پژوهشگران با استفاده از پارامترهایی مانند عمق، ضخامت لایه زغال‌سنگ، اشباع آب، تخلخل شکستگی‌ها، محتوای گاز و فاصله‌داری کلیت‌ها به بهینه‌سازی فرآیند گاززدایی پرداختند (Keim 2011) ليو و همکاران نیز تاثیر شرایط زمین‌شناسی بر توزیع گاز متان و اقدامات کنترلی را مورد تحلیل قرار دادند (Liu 2011) مور نیز مروری بر گاز متان لایه‌های زغالی داشته و پارامترهای اثرگذار در تولید و حجم آن را مورد بررسی قرار داده است (Moore 2012) جین و همکاران با در نظر گرفتن معیارهای اثرگذار بر فرآیند گاززدایی متان، به بهینه‌سازی شاخص‌های ارزیابی متان‌زدایی در یک حوضه زغالی واقع در چین پرداختند که شامل شرایط زمین‌شناسی، شرایط منبع گاز، عمق لایه زغال، نفوذپذیری لایه، گرادیان فشار منبع و درجه گازخیزی است (Jin 2012). رودریگز و همکاران، سیستم کلیت زغال‌سنگ را با رویکردی جدید و نگرشی بر فرآیند گاززدایی متان مورد مطالعه قرار دادند (Rodrigues 2014) کاراکان و همکاران، به شبیه‌سازی ذخیره زغال‌سنگ با تحقق ویژگی‌های زمین‌آماري برای هماهنگ‌سازی تولید همزمان چند ساله گاز متان پرداختند. این پژوهشگران در قالب یک مطالعه موردی، حوضه ایلینویز (واقع در ایندیانای ایالات متحده) را بررسی کردند و الگوی مناسب آرایش چال‌ها را برای افزایش کارایی گاززدایی متان مورد تحلیل قرار دادند. (Karacan 2014) همچنین گانگ و همکاران در پژوهشی دیگر، رویکردی نوین در مدلسازی گاززدایی متان ارائه کردند که ویژگی‌های شکستگی‌های گسسته مورد بررسی قرار گرفته و شبیه‌سازی ژئوشیمیایی در این خصوص انجام شده است (Gong 2014) ژانگ و همکاران نیز یک مدل تحلیلی از پایداری چال‌های زغال‌سنگ ارائه کردند که بر مبنای تعادل حد بلوک و با توجه به توزیع نامنظم کلیت‌ها بود (Zhang 2015) تانگ و همکاران مشخصات و مکانیزم‌های کنترل تغییر نفوذپذیری گاززدایی متان را در مراحل مختلف تولید گاز بررسی کردند. این پژوهشگران با در نظر گرفتن پارامترهای مختلفی، اثرگذاری آن‌ها را در فرآیند گاززدایی تحلیل کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که قابلیت کنترل تغییر

نفوذپذیری در مراحل مختلف تولید بر اساس پنج معیار تنوع روند نفوذپذیری، مکانیزم کنترل، انرژی سیستم، ترکیبات حالت فاز و عملکرد تولید گاز متان به دست می‌آید (Tang 2015). ژائو و همکاران نیز شاخص‌های تولید بالا و عوامل کلیدی در تولید گاز متان از معادن زغال‌سنگ را مورد ارزیابی قرار دادند. این شاخص‌ها شامل عمق لایه، ضخامت، فشار داخلی منبع گاز، محتوای گاز، نفوذپذیری و شکستگی هیدرولیکی است (Zhao 2015). در مطالعه‌ای دیگر، ژین و همکاران با استفاده از پارامترهای تاثیرگذار در فرآیند گاززدایی متان، به طراحی الگوی چال و بهینه‌سازی گسترش آن‌ها پرداختند. این پژوهشگران با در نظر گرفتن ساختار فرآیند گاززدایی، عمق و ضخامت لایه، ساختار سنگ‌شناسی سقف و کف، محتوای گاز و شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، اقدام به طراحی بهینه الگوی چال‌های زهکشی گاز متان کردند (Xin 2016). همچنین لی و ژانگ به بهینه‌سازی نوع چال زهکشی گاز متان بر اساس هزینه‌های فنی واحد پرداختند و پارامترهای اثرگذار بر میزان گاز تولید شده را بررسی کردند (Li 2016) ژو و همکاران نیز طراحی بهینه‌سازی شبیه‌سازی شبکه انتقال گاز متان از معدن را بر اساس پارامترهای مختلف فنی و مهندسی انجام دادند. (Zhou 2017) با توجه به مطالب فوق، مشخص است که تاکنون در خصوص ارزیابی و سطح بندی عوامل اثرگذار بر فرآیند گازخیزی، پژوهش‌چندانی انجام نگرفته است. بنابراین ضرورت انجام تحقیق در این خصوص بسیار روشن است.

مسئله ایجاد سیستم‌های گاززدایی و استحصال گاز متان از لایه‌های ذغال سنگ در کشور ایران از سال ۱۳۸۵ با مطالعه توکلی و سرشکی برروی گاز زغال و روش‌های کاهش آن (گاز زدایی) در معدن پرورده طبس این روش پیش‌نهاد شد [۹۰] و بعد از آن مطالعات بیش‌تری به منظور بررسی روش‌های گاززدایی، گازخیزی لایه‌های زغال‌سنگ و بررسی‌های موردی پارامترهای گاززدایی انجام شده است. از بین تمامی تحقیقات صورت گرفته آن دسته از تحقیقاتی که برروی مسئله بررسی عوامل و پارامترهای گازخیزی زغال‌سنگ، بررسی روش‌های گاززدایی، دسته بندی پارامترهای موثر بر گازخیزی و گاززدایی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ، صورت گرفته‌اند؛ بررسی و گزارش می‌گردد.

در سال ۱۳۹۱ (نجفی، جلالی، کاکایی و سرشکی) منطقه زغالی مزی‌نوی طبس را به منظور امکان‌سنجی استحصال انرژی از منابع زغال‌سنگ با استفاده از فناوری پیشرفته گاز کردن زیرزمینی زغال‌سنگ (UCG)، بررسی کردند [۹۱]. در سال ۱۳۹۲ زارعی درمیان؛ جوانشیر گیو و سرشکی و شبانی در معادن زغال‌سنگ طبس استفاده از اکسیدکننده معکوس با دو سیستم کاتالیستی و حرارتی را پیش‌نهاد کردند [۹۲]. در سال ۱۳۹۳ حیدری؛ جلالی و سرشکی و رمضانزاده به بررسی نشت گاز از کارگاه استخراج UCG با استفاده از مدل سازی عددی پرداختند. آن‌ها با شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری فضای اطراف و بالای کارگاه استخراجی را به ۷ طبقه تقسیم کردند و با توجه به تخلخل و نفوذپذیری‌های متفاوت، فرایند گازخیزی در لایه‌های زغالی را بررسی کردند [۹۳]. در مطالعه بعدی سال ۱۳۹۳ نجفی، جلالی و کاکایی به برآورد عرض مناسب فضای استخراجی در روش تبدیل به گاز کردن زیرزمینی زغال‌سنگ، پرداختند. آن‌ها با بررسی شش مجموعه UCG که به روش منبع احتراق قابل کنترل پسر و اجرا می‌شد؛ عوامل موثر بر عرض فضای استخراج را شناسایی کردند و یک رابطه تجربی جدید با کاربرد رگرسیون چندمتغیره غیر خطی برای ارتباط عرض فضای استخراجی و نرخ گاززدایی تعریف کردند [۹۴]. در سال ۱۳۹۴ قنبری تیلیمی و سرشکی در مجموعه معادن زغال‌سنگ البرز شرقی در معدن رضی، به امکان‌سنجی انجام عملیات گاززدایی پرداختند. بدین ترتیب که با استفاده از سیستم تحلیل سلسله مراتبی فازی روش مناسب برای گاززدایی انتخاب شده و از لحاظ اقتصادی و فنی مورد بررسی و پیشنهاد قرار گرفت [۹۵]. در سال ۱۳۹۵ سلیمی و باغبانان به بررسی تأثیر توزیع مجدد تنش در کنترل میزان گازخیزی لایه‌های زغال به روش عددی، در معدن مکانیزه زغال‌سنگ طبس پرداختند. آن‌ها دریافتند که تغییرات فشار منفذی در امتداد کارگاه استخراج تا فاصله حدود ۴ متری جلوی سینه کار ادامه دارد و پس از آن تغییر فشار منفذی با آهنگ کند شونده متوقف می‌شود. همچنین تغییرات فشار منفذی از قانون کلین‌کنبرگ که بیانگر وابستگی نفوذپذیری به فشار سیال گاز است، تبعیت می‌کند که میزان حجم گاز آزاد شده مطابق با ایزوترم جذب به کار رفته، تابع تغییرات فشار منفذی سیال گازی است [۹۶]. در سال ۱۳۹۵ صفاری، سرشکی و واعظیان به بررسی

تاثیر ماسرال‌ها در نفوذپذیری زغال‌سنگ‌های معادن پرورده و طزره پرداختند که به نتایج قابل ملاحظه‌ای دست یافتند. آن‌ها دریافتند که با افزایش درصد حضور ویتروینایت و اینرتینایت (ماسرال‌های زغال‌سنگ) نفوذپذیری زغال‌سنگ افزایش می‌یابد و با حضور ترکیبات ثانویه، نفوذپذیری زغال‌سنگ کاهش می‌یابد [۹۷]. در مطالعه بعدی سال ۱۳۹۵ سیفی و خادمی با تهیه و تولید نقشه‌های گازخیزی بر پایه اطلاعات اکتشافی در منطقه زغالی طبس، لایه‌های دارای پتانسیل بالای گازخیز را شناسایی کردند [۹۸]. در سال ۱۳۹۶ طاهری و سرشکی جریان گاز متان در منافذ زغال‌سنگ را به منظور عملیات گاززدایی و اعتبارسنجی آن در معدن زغال‌سنگ پرورده طبس، مدل‌سازی کردند که خواص فیزیکی لایه زغال‌سنگ و پارامترهای موثر بر گاززدایی معرفی شدند [۹۹]. در مطالعه بعدی سال ۱۳۹۶ جوکار، سرشکی و نجفی در مقیاس تجاری، به بررسی میزان گسترش فضای استخراجی در روش گازکردن زیرزمینی زغال‌سنگ UCG به روش منبع احتراق قابل کنترل پسرو CRIP پرداختند. این پژوهش، پارامترهای موثر بر فرایند تجاری سازی گاززدایی از معادن را مشخص نموده و با انجام موردی در لایه K10 معدن تخت از مجموعه معادن زغال‌سنگ البرز شرقی، نتایج به دست آمده را صحت‌سنجی نموده است [۱۰۰]. از دیگر مطالعات سال ۱۳۹۶ می‌توان به پژوهش شاکری و نجفی در معدن زغال‌سنگ طبس اشاره کرد که عوامل موثر در انتخاب سیستم گاززدایی را بررسی کرده‌اند و با توجه به وجود شرایطهای متفاوت، برای هر یک از شرایط، سیستم‌های گاززدایی مناسبی معرفی کردند [۱۰۱]. از مطالعات قابل توجه در زمینه شناسایی عوامل موثر در فرایند گاززدایی، می‌توان به مطالعه جعفرپور و نجفی در سال ۱۳۹۸ اشاره کرد که معیارهای اثرگذار بر متان‌زدایی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ را با مدل‌سازی ساختاری تفسیری، مشخص و ارزیابی کرده است [۱۰۲]. در مطالعه بعدی سال ۱۳۹۸ توسط باقرزاده و نجفی با روش‌های مدل‌سازی عددی آرایش مناسب گمانه‌های زهکشی گاز متان در معدن زغال‌سنگ طبس، پیش‌نهاد شده است [۱۰۳].

مشخص گردید که مطالعات موردی و پراکنده کمی، در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ در زمینه استحصال گاز متان از لایه‌های زغالی در کشور ایران صورت گرفته است که بیش‌تر به صورت بررسی‌های کیفی صورت

پذیرفته است. اما با این حال، عدم وجود یک سیستم طبقه‌بندی مرجع و یک الگوریتم اجرایی دقیق باتوجه به کمی سازی و مشخص نمودن روابط موثر بر فرایند گازخیزی از لایه‌های زغال‌سنگ، سبب شده تا از تکنولوژی سودآور زهکشی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگی، به خوبی در کشور ایران استفاده نگردد. به همین منظور پژوهش پیش‌رو با هدف ایجاد یک سیستم طبقه‌بندی جهت ارزیابی فرآیند گازخیزی گاز متان متصاعد شده از لایه‌های زغال‌سنگ، ارائه می‌گردد.

۵-۱ روش تحقیق

نشر گاز متان از لایه‌های زغال سنگ در معادن یک مسئله سیستماتیک است. بدین صورت که از ابتدای تشکیل گاز متان تا موقع رها سازی آن در فضا‌های میکروسکوپی ناپیوستگی‌ها و فضای استخراجی ایجاد شده در معادن (کارگاه‌ها و تونل‌های معدن) به چندین عوامل گوناگونی بستگی دارد. در واقع چندین معیار در گازخیزی گاز متان متصاعد شده از زغال‌سنگ دخالت دارند که هریک از آن‌ها نیز با یکدیگر در تعامل هستند. بنابراین جهت رسیدن به یک سیستم طبقه‌بندی، در ابتدا بایستی معیارهای تاثیر گذار بر گازخیزی مشخص شود و در مرحله بعد اثرگذاری هریک از آن‌ها بر دیگری و میزان تاثیری که بر مسئله گازخیزی دارند؛ مشخص گردد. در مرحله بعدی وزن نهایی اثرگذاری معیارها، بایستی محاسبه شود تا با استفاده از وزن اختصاص یافته به هر یک از معیارها، براساس میزان امتیاز آن معیار که باتوجه به مقدار کمی و عددی آن تعیین می‌شود؛ شاخص ارزیابی گازخیزی زغال‌سنگ محاسبه گردد. با محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی، لایه زغال‌سنگ از نظر شدت گازخیزی و پتانسیل انجام فرآیند گازخیزی دسته‌بندی می‌شود. مراحل انجام و روش استفاده شده در هریک از مرحله‌ها به ترتیب به شرح زیر است:

۱- معیارهای موثر بر گازخیزی براساس مطالعات کتابخانه‌ای و تحقیقات پیشین سایر محققین تعیین می‌گردد.

۲- تعیین میزان اثرگذاری، اثرپذیری و وزن معیارهای تعیین شده در مرحله قبل با استفاده از روش

DEMATEL فازی، که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار بر اساس مقایسه زوجی است؛ تعیین می‌شود.

۳- اختصاص وزن مشخصی به هر یک از معیارها براساس امتیاز معیار می‌باشد که با توجه به رده‌بندی ارائه شده انجام می‌گیرد. بدین صورت که میزان مشخصی از وزن کل پارامتر به هریک از بازه‌ها اختصاص داده می‌شود.

۴- محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی با استفاده از رابطه زیر:

$$CBMEI = \sum_{i=1}^n a_i \frac{P_i}{P_{Max_i}} \quad \text{رابطه ۱-۱}$$

CBMEI معرف شاخص ارزیابی گازخیزی.

a_i معرف ضریب وزنی پارامتر i ام که براساس وزن محاسبه شده هریک از پارامترها در مرحله قبل است.

P_i امتیاز پارامتر i ام که از جدول کلاسه‌بندی معیارهای موثر بر گازخیزی به دست می‌آید.

P_{Max_i} حداکثر امتیاز هر پارامتر در جدول کلاسه‌بندی معیارها است.

برای یک معدن خاص، جهت تعیین شاخص ارزیابی گازخیزی آن، باتوجه به مقدار کمی مشخص هر پارامتر که بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی مشخص می‌شود و امتیاز متناظر با آن که از جدول کلاسه‌بندی پارامترهای موثر بر گازخیزی که در این تحقیق ارائه شده است؛ همراه با وزن تاثیرگذاری هرپارامتر که در این پژوهش به‌دست آمده است؛ محاسبه و شاخص ارزیابی گازخیزی معدن یا لایه زغال‌سنگ تعیین می‌گردد.



شکل ۱-۱ سلسه مراحل ارائه سیستم طبقه بندی ارزیابی گازخیزی

۱-۶ اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک سیستم طبقه‌بندی برای ارزیابی گازخیزی در معادن زغال سنگ است که در این راستا، به موارد زیر پرداخته شده است:

- ۱- تحقیق و بررسی معیارهای موثر بر گازخیزی لایه‌های زغال سنگ
- ۲- تعیین میزان تاثیرگذاری هر معیار بر شدت گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه زغال سنگ
- ۳- تعیین روابط حاکم بر پارامترهای موثر بر گازخیزی، به منظور شناسایی پارامترهای کلیدی جهت اعمال تغییر در مقادیر آنها جهت کاهش یا افزایش میزان گازخیزی لایه زغال سنگ
- ۴- محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی لایه زغال سنگ در معادن زیرزمینی زغال سنگ با توجه به وزن تاثیرگذاری هر پارامتر و مقادیر آن.

۷-۱ ساختار تحقیق

در **فصل اول** که فصل جاری می‌باشد به کلیات پژوهش پیش‌رو پرداخته شده است. به طوری که پس از بیان مسئله، اهمیت و ضرورت مسئله، پیشینه تحقیق، روش انجام تحقیق، اهداف پژوهش و ساختار تحقیق تشریح شده است.

در **فصل دوم** با عنوان بررسی پارامترهای مرتبط با فرآیند گازخیزی به طور مفصل به موضوع گازخیزی گازمتان از لایه‌های زغال‌سنگ پرداخته شده است که در قسمت پایانی آن، پارامترهای موثر بر میزان گاز متان متصاعد شده از لایه زغال‌سنگ تعیین شده است.

در **فصل سوم** روش به‌کارگرفته شده جهت انجام تحقیق شرح داده شده است.

در **فصل چهارم** سیستم طبقه‌بندی برای ارزیابی گازخیزی لایه‌های زغال‌سنگ ارائه شده است.

در **فصل پنجم** نتایج حاصل از این تحقیق و نیز پیشنهادهایی ارائه شده است.

و در آخر نیز در بخش پیوست فرم‌های نظر سنجی انجام شده ارائه می‌گردد و پس از آن، مراجعی که در این تحقیق استفاده شده است؛ معرفی می‌گردد.

فصل ۲ بررسی پارامترهای مرتبط با فرآیند گاز خنثی

۱-۲ مقدمه

گاز متان موجود در لایه‌های زغال سنگ یکی از منابع مهم هیدروکربنی غیرمتعارف در دنیا است. متان در مراحل مختلف فرآیند تشکیل زغال، تولید و در فشار بالا جذب سطح زغال سنگ می‌گردد. از اوایل قرن هجدهم میلادی که در انگلستان معدن کاری زغال سنگ از اعماق زمین شروع شد؛ انفجار این گاز به عنوان یکی از مخاطرات مهم معدنکاری زیرزمینی زغال سنگ مطرح شد. خطر انفجار متان با افزایش عمق معدن و در پی آن افزایش درجه بلوغ زغال سنگ، افزایش می‌یابد. (Ojha 2011) بیش از ۹۰ درصد گاز موجود در لایه زغال را گاز متان تشکیل می‌دهد. (Jenkins 2008) مقدار گاز متان موجود در لایه زغال سنگ به طیف گسترده‌ای از فاکتورها بستگی دارد که در این فصل به آن‌ها پرداخته شده است.

۲-۲ - گازهای موجود در زغال سنگ

ظرفیت زغال سنگ در ذخیره سازی و توانایی آن در رهایش گاز، دو عامل مهم در جذب و ذخیره به وسیله زغال سنگ گاز است. میزان گاز موجود در زغال سنگ به مقدار گاز تولیدی در حین فرآیند تشکیل زغال، فعالیت‌های بیوژنتیکی و رسوبات محل و فعالیت‌های بیوژنتیکی ثانویه بستگی دارد. علاوه بر این، میزان ذخیره سازی و حرکت گاز در زغال به خصوصیات منبع اولیه زغال سنگ وابسته است. توانایی زغال سنگ در ذخیره سازی گاز به بسیاری از خصوصیات درونی و بیرونی از جمله نوع زغال سنگ، درجه زغال شدگی، تخلخل، نوع گاز، رطوبت، تنش و خصوصیات کانی شناسی (ماسرال‌های زغال) آن بستگی دارد. به طور معمول گاز به چهار طریق در زغال ذخیره می‌شود. (Black 2011)

الف - جذب میکروسکوپی و یا جذب بر سطوح خارجی زغال

ب- جذب درون سطوح مولکولی زغال

ج- گازهای آزاد در حفره‌ها و ریز درزه‌های زغال

د- گازهای محلول در آب‌های زیرزمینی مجاور توده‌های زغالی

بسته به فرآیند تشکیل، زغال‌سنگ‌ها گازهایی با ترکیبات مختلف دارند. با توجه به اینکه منشأ اصلی زغال‌سنگ بقایای گیاهان و موجودات زنده است، لذا بخش عمده‌ای از مواد فرار و گاز موجود در زغال‌سنگ را گاز متان تشکیل می‌دهد. متان گازی است بی‌رنگ و بی‌بو که چگالی آن نسبت به هوا 0.554 و بنابراین از هوا سبک‌تر است. همچنین گازهایی از قبیل H_2S ، SO_2 و یا هیدروکربن‌های معطر به میزان مختلفی در گاز زغال یافت می‌شوند. گاز متان به صورت مایع و یا جامد در لایه‌های زغال‌سنگ یافت می‌شود و ممکن است به صورت خالص یا همراه با دی‌اکسید کربن به صورت رسوبات کربناته رسوب کند. گاز دی‌اکسید کربن، بدون رنگ و بدون بو است و اندکی طعم اسیدی دارد. همچنین به طور قابل توجهی سنگین‌تر از هوا است. این گاز در اثر اکسیداسیون زغال تشکیل می‌شود. دی‌اکسید کربن در لایه‌های سنگی نیز بعضی اوقات به صورت تقریباً خالص و گاه به صورت ترکیبی با درصدی از ازت همراه است. غالباً این گاز "گاز سنگ" نامیده می‌شود.

۲-۳ نحوه تولید گاز متان در زغال‌سنگ

تحقیقات نشان می‌دهد ۱ کیلوگرم زغال بین ۲۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ متر مربع سطح دارد (Jolly 1968) که این سطح می‌تواند تا ۲۵ متر مکعب بر تن گاز جذب کند. (Creedy 1991) مقدار گاز در زغال بستگی به ساختار خلل و فرج، نفوذپذیری، رطوبت و دمای آن دارد و در صورتی که فشار به آن وارد آید از آن خارج می‌شود. مکانیزم نگهداری گاز در درون زغال به صورت جذب سطحی است و بستگی زیاد به خلل و فرج میکروسکوپی دارد زیرا حدود ۸۵٪ از خلل و فرج به این صورت می‌باشند. وقتی در حین معدنکاری فشار بر روی لایه کم شود گازهای جذب شده بر روی لایه از قسمتی که فشار بیشتر است به قسمتی که فشار کمتر است مهاجرت می‌کنند تا زمانی که فشار به تعادل برسد. می‌توان با کنترل کردن فشار در درون لایه، گازها را به محل مورد نظر هدایت کرد. (توکلی و سرشکی-۱۳۸۵)



شکل ۱-۲ طرز قرارگیری گاز در سطوح لایه‌های زغالی (توکلی و سرشکی-۱۳۸۵)

گاز متان در طول فرآیند تشکیل زغال سنگ تولید می‌شود. در مراحل اولیه فرآیند زغالی شدن، مقدار زیادی گاز کربن دی اکسید تولید می‌شود. در مراحل بعدی مقدار اندکی گاز نیتروژن و مقدار بسیار زیادی گاز متان تولید می‌شود، به طور متوسط از هر کیلوگرم زغال در مرحله آنتراسیت حدود ۱۵۰ تا بیش از ۲۰۰۰ لیتر گاز متان تولید می‌شود. (Dallegge) گاز متان در لایه زغال سنگ در طول فرآیند زغال شدگی به دو طرق تولید می‌شود:

- از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی

- تاثیر حرارت بر مواد غنی از هیدروژن

در مراحل اولیه تشکیل زغال سنگ جایی که ارتفاع روباره کمتر از ۱۰ متر است؛ گاز متان از طریق تجزیه مواد آلی در دماهای ۵۰ الی ۸۰ درجه سانتی گراد تولید می‌شود. با تداوم عمل رسوب گذاری، فشار و حرارت افزایش یافته و تاثیر حرارت بر مواد غنی از هیدروژن (هیدروکربن‌ها) باعث تولید گاز متان می‌شود. در این مرحله، متان در دمای ۸۰ الی ۱۵۰ درجه سانتی گراد تشکیل می‌شود. (Singh 1999)

۲-۴ طبقه بندی زغال سنگ‌ها از نظر تصاعد گاز

به دلیل مراحل و شرایط تشکیل مختلف زغال سنگ‌ها، میزان و نحوه قرارگیری این مواد و گازها در زغال سنگ‌ها نیز متفاوت است. بنابراین، شناخت مناسب و علمی میزان، ترکیب و مشخصات گازهای موجود در زغال سنگ‌های یک معدن، اهمیت بسیار زیادی در طراحی سیستم تهویه و بهبود ایمنی در معدن دارد. مهم ترین مرحله برای شناسایی و محاسبه میزان گازخیزی معادن زغال سنگ در مرحله اکتشاف و قبل از آماده سازی معدن است. میزان گازدهی لایه‌های زغالی به صورت حجم گازهای متصاعد شده به ازای هر تن زغال، بر حسب مترمکعب بیان می شود. زغال سنگ‌ها، بر مبنای حجم گازهای متصاعد شده به چهار طبقه اصلی تقسیم بندی می شوند:

۱-۳-۲ - معادن طبقه یک

میزان گازدهی این نوع از زغال سنگ‌ها کمتر از ۵ مترمکعب به ازای هر تن زغال سنگ است.

۲-۳-۲ - معادن طبقه دو

در این زغال سنگ‌ها میزان گازخیزی بین ۵ تا ۱۰ مترمکعب به ازای هر تن زغال سنگ است.

۳-۳-۲ - معادن طبقه سه

میزان گازدهی این نوع از زغال سنگ‌ها ۱۰ تا ۱۵ مترمکعب به ازای هر تن زغال سنگ است.

۴-۳-۲ - معادن ماوراء طبقه

میزان گازدهی این معادن بیش از ۱۵ مترمکعب به ازای هر تن زغال سنگ است.

معادن طبقه دو و سه از شرایط بحرانی تری نسبت به معادن طبقه یک دارند و لذا عملیات گاز زدایی در

این معادن بیشتر از سایر معادن مورد نیاز و ضروری است. (مدنی ۱۳۸۹)

۵-۲ جریان گاز و نشر آن از زغال سنگ

جریان گاز در لایه‌های زغال سنگ در دو مرحله انجام می شود:

الف- جریان از میان درزها و ترک‌های زغال (کلیت‌ها)

ب- جریان از درون ماتریکس زغال سنگ

مولکول‌های ساطع شده از ماتریکس زغال سنگ، موجب افزایش غلظت گاز می شوند و گازهای منتشر شده از ریزترک‌ها و درزها، فشار گاز را افزایش می دهند؛ که در واقع از قانون دارسی تبعیت می کنند. گازهای آزاد شده از ماتریکس زغال، نسبت به گازهای آزاد شده از دیواره‌های متخلخل آن، سازوکار پیچیده تری دارند. گازهای موجود در درزها و ریز درزهای زغال، نسبت به گازهایی که از ماتریکس زغال آزاد می شوند، با سرعت بیشتری رها می شوند. با توجه به اینکه بیشترین حجم از گاز زغال در خلل و فرج‌های میکروسکوپی آن ذخیره می شود، انتشار گاز در زغال سنگ‌های با نفوذپذیری پایین، نرخ رهایش محدودتری دارد. گامسون و بیمیش در سال ۱۹۹۲، چهار مدل برای انتشار گاز از لایه‌های زغالی به شرح ذیل ارائه کردند. (Gamson 1992)

الف - انتشار گاز در سطوح کوچک مقیاس و ریز خلل و فرج‌های ماتریکس زغال

ب- انتشار غیرخطی گاز از قسمت‌های باز، ریزترک‌های کانی سازی نشده و حفره‌های موجود در ماتریکس زغال

پ- انتشار خطی و یا جریان گاز از ریزترک‌ها و یا حفره‌های نیمه باز که تنها بخشی از آنها مسدود شده است

ت - جریان خطی گاز در سطوح بزرگتر مانند حفره‌های بزرگ مقیاس

علاوه بر این، لایه‌های زغال ممکن است حاوی حجم زیادی از آب باشند. بخشی از این آب‌ها، تحت فشار

هیدرو استاتیک ناشی از گازهای محبوس در خلل و فرج زغال قرار دارند. در حقیقت، این دسته از گازها به هنگام خروج از حفره‌های موجود در ماتریکس زغال به دام افتاده اند. آبکشی از چنین لایه‌هایی، موجب کاهش فشار هیدرو استاتیک می‌شود و به گازهای موجود در ماتریکس زغال اجازه انتشار می‌دهند. دوترتی و کراکان در سال ۲۰۱۰ سه مرحله مجزا برای تولید گاز از لایه‌های زغالی به شرح زیر ارائه دادند. (Dougherty 2010)

مرحله اول

تولید آب و کاهش فشار مخزن

در این مرحله همراه با جریان آب همواره حجم بسیار اندکی هم از گاز جریان می‌یابد.

مرحله دوم

کاهش تولید آب و افزایش آهنگ تولید گاز

تغییر در آهنگ تولید آب، که به دلیل نفوذپذیری به عنوان تابعی از اشباع شدگی می‌باشد؛ قابل کنترل است. افزایش تولید گاز در این مرحله، تحت عنوان شیب منفی شناخته می‌شود. نقطه ای که در آن حداکثر مقدار گاز تولید می‌شود. معرف پایان این مرحله و آغاز مرحله سوم است.

مرحله سوم

در این مرحله، زغال به مرحله بلوغ می‌رسد و تولید گاز کاهش می‌یابد. جریان سیال تک فازی است (فقط گاز) و مقدار بسیار اندکی آب هم وجود دارد. طبق اظهار نظر بسیاری از محققان، در این مرحله، چرخه تولید گاز تا زمانی که فشار مخزن به فشار نقطه انتشار بحرانی گاز برسد، به طور پیوسته کاهش می‌یابد.

۲-۶ عوامل موثر بر گازخیزی گاز متان متصاعد شده از لایه

زغال سنگ

ظرفیت ذخیره گاز زغال سنگ و توانایی زغال سنگ برای حرکت گاز در آن از طریق سیستم تخلخل، پارامتر تاثیرگذاری بر ذخیره گاز در لایه زغال سنگ و انتشار گاز در طول مدت زمان عملیات معدن کاری زغال سنگ می باشد. گاز ذخیره شده در زغال سنگ، معمولاً به دلیل نشت، کمتر از مقدار گاز تولید شده در حین فرایند تشکیل زغال سنگ می باشد. عواملی نظیر نوع و درجه زغال شدگی، ساختار تخلخل ها، میزان رطوبت، تنش و حضور کانی ها در سیستم درزه ها و ... بر توانایی لایه زغال سنگ به منظور ذخیره گاز تاثیر می گذارد. (Saghafi 2007) گاز متان در لایه زغال سنگ عمدتاً به صورت جذب شده در سطح لایه زغال سنگ ذخیره می شود. بنابراین قبل از جریان گاز متان به داخل کارگاه استخراج، گاز متان باید از سطح لایه زغال سنگ دفع شود. (Rychlicki 2002) برای آن که گاز متان از ماتریس زغال سنگ به درون شکاف های طبیعی انتشار یابد، نیازمند کاهش فشار می باشد. (Black 2011) با عملیات استخراج زغال سنگ، وضعیت تنش های منطقه برهم می خورد و میزان شکستگی های لایه زغال سنگ افزایش می یابد؛ از آنجایی که شکستگی ها باعث به وجود آمدن ناحیه کم فشار می شوند و حرکت سیالات نیز از نقاط پرفشار به سمت نقاط کم فشار می باشد؛ در نتیجه گاز متان جذب شده در سطح زغال سنگ به سمت این شکستگی ها و سیستم درزه ها حرکت می کند و سپس به درون کارگاه استخراج انتشار می یابد. (Rychlicki 2002)

۲-۶-۱ شرایط کانی شناسی، زمین شناسی لایه های زغال سنگ

۲-۶-۱-۱ نوع و درجه زغال شدگی همراه با تاثیر ماسرال های زغال

مقدار گاز در هر لایه زغالی، به ظرفیت ذخیره ذاتی زغال سنگ و شرایط فیزیکی لایه زغال سنگ بستگی دارد. ظرفیت ذخیره زغال سنگ اصولاً تابع رتبه آن است. رتبه زغال سنگ تاثیر زیادی بر میزان گاز محتوی لایه زغال سنگ دارد. رتبه های خاصی از زغال سنگ برای متان زدایی مناسب اند. اکثر پروژه های متان زدایی،

گاز متان را از زغال‌های بیتومینه تولید می‌کنند. ولی تولید متان از زغال‌سنگ‌های آنتراسیت هم ممکن است. تولید متان تابعی از ماسرال‌ها (موجودات آلی میکروسکوپی) و نیز فرآیندهای حرارتی است. با افزایش فشار و حرارت، رتبه زغال‌سنگ به سمت تولید و ذخیره بیشتر متان پیش می‌رود. هر یک از ماسرال‌ها قادرند حجم‌های متفاوت متان را جذب کنند و با افزایش رتبه زغال‌سنگ، متان ذخیره شده در آن بیشتر می‌شود. مواد آلی با گذر از مراحل مختلف زغال‌شدگی، بالغ می‌شوند و تحت تغییرات فیزیکی و شیمیایی قرار می‌گیرد. درجه تغییر یا دگرگونی که در زغال‌سنگ ایجاد می‌شود به عنوان رتبه زغال‌سنگ شناخته می‌شود. رتبه زغال‌سنگ با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف شامل میزان کربن، میزان رطوبت، بازتاب ویتروینیت و انرژی مخصوص تعیین می‌شود. زغال‌سنگ‌های با رتبه پایین، معمولاً نرم و ترد، با رطوبت بالا و محتوای کربن و همچنین گاز پایین است. درحالی که زغال‌سنگ با رتبه بالا سخت‌تر، با جلالی شیشه‌ای سیاه، رطوبت کم و میزان کربن و گاز زیاد است. تفاوت در رتبه زغال‌سنگ، یکی از پارامترهای مهم ذخیره گاز در لایه زغال‌سنگ است. (Black 2011) رتبه زغال‌سنگ معمولاً با افزایش عمق، افزایش می‌یابد. بیشتر عملیات استخراج زغال‌سنگ به روش جبهه‌کار طولانی در لایه‌های زغال‌سنگ بیتومینه اجرا می‌شود. این نوع زغال‌سنگ‌ها معمولاً گازخیزی و نفوذپذیری نسبتاً بالایی دارند و مقدار گاز بیشتری، از این نوع زغال‌سنگ به درون کارگاه استخراج منتشر می‌شود. (Karacan 2008, Karacan 2011) از سویی با افزایش رتبه زغال‌سنگ، ظرفیت جذب گاز زغال‌سنگ نیز بیشتر می‌شود. (Karacan 2008, Haijiao 2016)

زغال‌سنگ، سنگی است مرطوب که از نظر وزنی پنجاه درصد و از نظر حجمی هفتاد درصد آن از مواد کربنی تشکیل شده است. (Rice 1993) این سنگ از پیت (یعنی تجمع رسوبات آلی منشا گرفته از گیاهان)، در طی تدفین و سپری کردن مراحل زغالی شدن تشکیل می‌شود. زغالی شدن با نرخ‌ها و در محیط‌های مختلف رخ می‌دهد. آغازکننده مرحله زغالی شدن، تجزیه بیوشیمیایی مواد آلی است. (Hessley 1986) با افزایش عمق تدفین، دما و فشار زیاد شده و باعث ادامه تغییرات فیزیکوشیمیایی در زغال می‌شود و در نهایت، زغال با درجات بلوغ مختلف را به وجود می‌آورد که عبارت‌اند از: لیگنیت (زغال قهوه‌ای)، ساب

بیتومینه (زغال نیمه قیری)، بیتومینه (زغال قیری) و در نهایت آنتراسیت. این تغییرات با زمان زمین‌شناسی نیز در ارتباط است. (Rice 1993, Dalla Torre 1997) لیگنیت و زغال سنگ‌های قهوه‌ای اغلب در اعماق کم (کمتر از ۳۰۰ متر) قرار داشته و با ماسه‌های ضعیف سیمانه شده و معمولاً نفوذپذیری زیادی دارند. این نوع زغال سنگ‌ها با مخاطرات زمین‌شناسی کمتری روبرو بوده و به راحتی مشتعل می‌شوند. آنتراسیت‌ها معمولاً در عمق بیشتر قرار داشته و با مخاطرات و پدیده‌های زمین‌شناسی مانند گسل‌ها و نفوذ سنگ‌های آذرین روبرو هستند. (Couch 2009) نفوذپذیری آنتراسیت کمتر از زغال سنگ با درجه‌ی پایین‌تر است.



شکل ۲-۲ تغییرات تدریجی خواص فیزیکی و شیمیایی زغال سنگ در مراحل مختلف (Couch 2009)

زغال سنگ با درجه پایین‌تر مانند لیگنیت، نیمه بیتومینه و بیتومینه با مواد فرار بیشتر، نسبت به آن‌هایی که درجه بالاتری دارند برای گاز کردن زیرزمینی مناسب‌تر هستند. (Couch 2009) این امر به دلیل نفوذپذیری ذاتی این نوع زغال سنگ‌ها و افزایش نفوذپذیری آن‌ها در اثر حرارت است. لیگنیت و بیتومینه در اثر حرارت و خشک شدن، افزایش حجم پیدا کرده و نفوذپذیری آن‌ها تقریباً دوبرابر می‌شود؛ (Thorsness 1980) در نتیجه افزایش نفوذپذیری نیز، میزان گازخیزی گاز متان از زغال سنگ هم افزایش می‌یابد.

زغال سنگ‌های نام برده شده از اجزای آلی زیر میکروسکوپی به نام ماسرال تشکیل شده است. ماسرال‌ها بخش با ارزش تشکیل دهنده زغال هستند که شامل سه گروه لیپتینایت، انترتینایت و ویتترینایت هستند. خواص زغال سنگ از جمله کک شوندگی و نفوذپذیری تابعی از نوع و میزان ماسرال‌های تشکیل دهنده زغال است. (Cui 2006) آنچه قابل توجه است؛ آن است که نفوذپذیری زغال سنگ با افزایش درصد حضور ماسرال ویتترینایت افزایش می‌یابد که به دنبال آن میزان گازخیزی زغال نیز افزایش می‌یابد. (سرشکی، واعظیان و صفاری، ۱۳۹۵) در واقع زغال سنگ‌هایی که دارای درصد بیشتری از ماسرال ویتترینایت هستند؛ دارای تخلخل ریزتری هستند که باعث می‌شود ظرفیت جذب سطحی گاز بیشتری داشته باشند. همچنین این گروه از ماسرال‌ها نرخ انتشار گاز آرام‌تری نسبت به زغال سنگ‌های غنی از اینرتینایت، که عمدتاً دارای تخلخ‌های بزرگ و پتانسیل تولید گاز کم و ظرفیت جذب گاز پایین می‌باشد؛ دارند. در زغال سنگ‌های غنی از ویتترینایت با افزایش رتبه زغال سنگ، دفع گاز سریع‌تر اتفاق می‌افتد و این ممکن است به خاطر افزایش شکستگی‌های ریز در گروه‌های ویتترینایتی باشد. (Hildenbrand 2006)

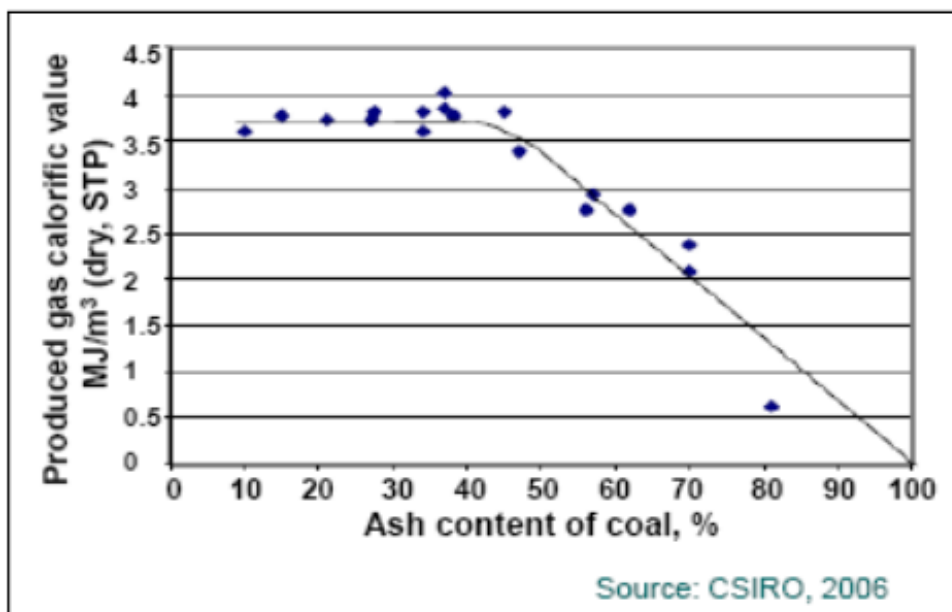
۲-۶-۱-۲-۲ رطوبت و آب‌های زیرزمینی

بلک در سال ۲۰۱۱ در بررسی عوامل موثر بر زهکشی گاز متان از لایه زغال سنگ، نشان داد حضور رطوبت تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر ظرفیت جذب گاز زغال سنگ دارد. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان رطوبت زغال سنگ، ظرفیت جذب گاز آن‌ها کاهش می‌یابد و زمانی که هیچ رطوبتی در زغال سنگ وجود نداشته باشد، ظرفیت جذب گاز زغال سنگ حداکثر می‌شود. زیرا رطوبت موجود در زغال سنگ، حجم زیادی از حفرات را اشغال کرده و مانع از ذخیره گاز متان می‌شود. (Crosdale 2008) از سویی با توجه به آزمایش‌های انجام شده در CSIRO نتیجه می‌شود که با افزایش نفوذ آب به درون لایه زغال از طبقات دربرگیرنده، ارزش حرارتی گازهای تولید شده کاهش می‌یابد. بنابراین، انتخاب لایه‌ی زغالی با مقدار رطوبت کمتر و دور از سفره‌های آب زیرزمینی، در امر گاززدایی گاز متان از لایه زغال سنگ، مناسب‌تر است. از طرف دیگر، پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهند که سفره‌های آب

زیرزمینی که به کارگاه‌های زهکشی گاز متان، نزدیک‌تر هستند؛ بیشتر در معرض آلودگی هستند. (Irwin 2009) از مهم‌ترین اثر آب در فرآیند گاززدایی، کاهش کیفیت گاز سنتزی می‌باشد. کیفیت گاز و آغاز فرایندهای متاثر از آب درون سازندها و نفوذپذیری زیاد سازند است. حضور آب زیاد در نزدیکی نقطه‌ی آغاز فرآیند گاززدایی باعث اختلال در فرآیند می‌شود. (Oliver 1989)

۳-۱-۶-۲ درصد خاکستر زغال و درصد حضور سایرکانی‌های همراه

با افزایش میزان خاکستر در زغال سنگ، ظرفیت جذب گاز لایه زغال سنگ و حجم لانگمویر کاهش می‌یابد. حضور خاکستر در زغال سنگ باعث کاهش در حجم خلل و فرج موجود در زغال سنگ شده و در نتیجه جذب گاز زغال سنگ کاهش می‌یابد. اگر میزان خاکستر به اندازه ۱/۵ الی ۵۴ درصد باشد، با افزایش هر ۱ درصد در میزان خاکستر، جذب گاز به اندازه ۰/۳۸ متر مکعب بر تن کاهش می‌یابد. (Busch 2004, Mastalerz 2004) وجود مقدار اندکی ناخالصی و مواد معدنی در زغال سنگ، به ویژه زغال سنگ با درجه‌ی پایین تر، ممکن است مانند کاتالیست عمل کرده و باعث بهبود سینتیک واکنش‌های شیمیایی طی فرآیند گازکردن لایه زغال شود. (Sathaiah 2010) ولی همان طور که در شکل ۳-۲ دیده می‌شود؛ اگر مقدار خاکستر موجود در زغال سنگ (در این جا زغال سنگ بیتومینه با مواد فرار زیاد، مدنظر است). بیشتر از ۴۰ درصد باشد؛ ارزش حرارتی گازهای تولید شده به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد (Irwin 2009) به عنوان نمونه، خاکستر زغال سنگ در برخی از کارگاه‌های استخراج گاز متان منتشر شده از لایه زغال سنگ، در جدول ۲-۱ آورده شده است.



شکل ۲-۳ رابطه مقدار خاکستر زغال سنگ و ارزش حرارتی گازهای تولید شده. (Irwin 2009)

جدول ۲-۱ خاکستر زغال سنگ در برخی از کارگاه های UCG (Irwin 2009)

ردیف	نام کارگاه استخراجی	کشور	خاکستر زغال سنگ (درصد)
۱	Lisichansk	روسیه	۱/۶ تا ۶
۲	Abinsk Yuzhno	روسیه	۴ تا ۱۰
۳	El Tremedal	اسپانیا	۱۴
۴	Podmoskovnaya	روسیه	۲۷ تا ۶۰

از سویی وجود گوگرد در زغال سنگ سبب کاهش ارزش حرارتی آن می شود. از این رو پیش بینی می شود لایه های زغالی که گوگرد کمتری دارند؛ قابلیت بیشتری برای انجام عمل گاززدایی داشته باشند. زغال سنگ های آنتراسیت حدود ۰/۵ - ۲/۵ درصد، بیتومینه ۰/۵ تا ۶، ساب بیتومینه ۰/۳ تا ۱/۵ و لیگنیت ۰/۳ تا ۲/۵ درصد گوگرد دارند. (یزدی ۱۳۸۲)

۲-۶-۱-۴ ارزش حرارتی زغال سنگ

مقدار حرارت تولیدی از سوختن واحد جرم زغال سنگ را ارزش حرارتی می نامند. میزان ارزش حرارتی

زغال سنگ ارتباط مستقیم با درصد کربن دارد. میزان خاکستر زغال سنگ و یا گازهای مانند نیتروژن، اکسیژن و میزان رطوبت سبب کاهش مقدار ارزش حرارتی می شود. (یزدی ۱۳۸۲) روشن است که با افزایش ارزش حرارتی زغال سنگ به دلیل پایین بودن ناخالصی ها، گاز محتوی آن نیز افزایش یافته و امکان استحصال گاز متان بیشتری از این نوع زغال سنگ ها وجود دارد.

۵-۶-۱-۲ گسل

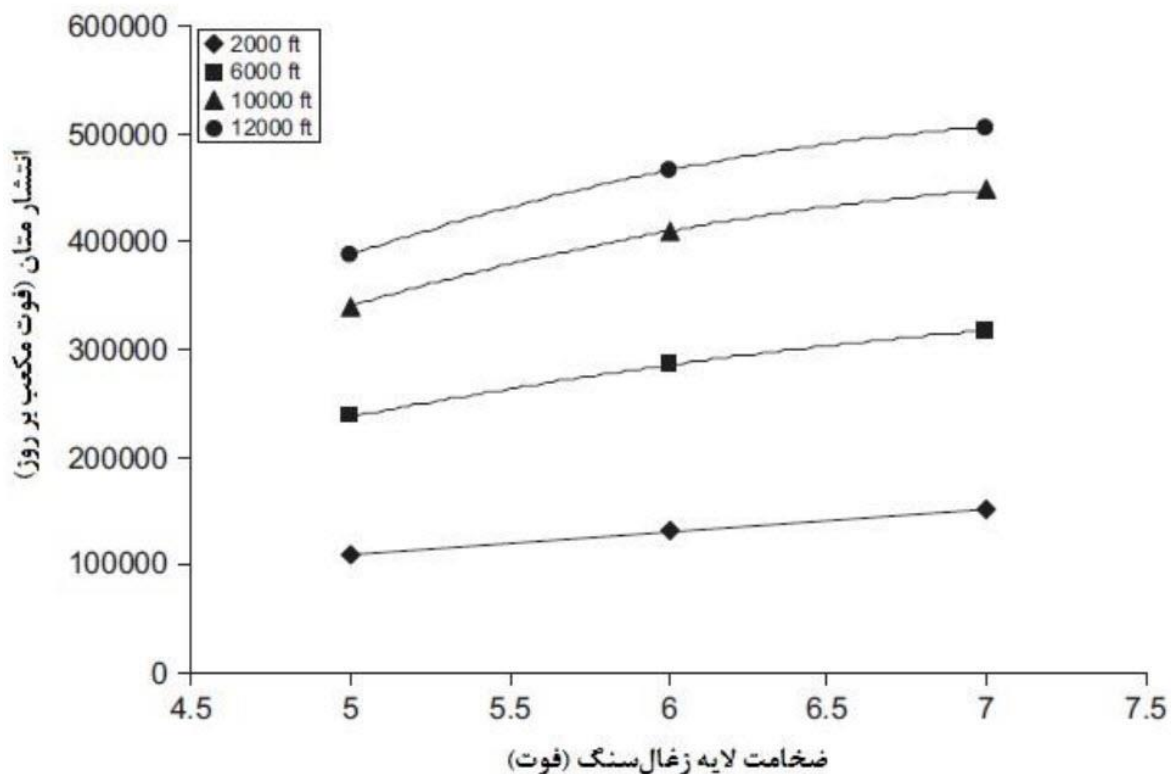
یکی از دلایل نشت گازهای تولید شده، وجود شکستگی های فراوان در روباره و یا خود لایه های زغال سنگ است. گسل ها مانند مجرا عمل می کنند و باعث نشت گاز و ایجاد مخاطرات زیست محیطی می شود. تراکم گسل ها نباید بیش از یک گسل در هر ۳۰ متر باشد. گسل هایی که به سطح زمین راه دارند؛ ممکن است مسیری را برای نشت گاز به وجود آورند. گمانه هایی که به وسیله گسل ها قطع شده اند؛ ممکن است غیرقابل استفاده باشند؛ زیرا باعث افزایش نفوذپذیری می شوند. اگر سطح گسل با مواد پرکننده نفوذناپذیر پر شده باشد؛ نفوذپذیری آن کاهش می یابد. ولی اگر نفوذپذیری زیادی داشته باشد، گازهای تولید شده از طریق این گسل ها به بیرون نشت می کنند. (Oliver 1989)

۲-۶-۲ پارامترهای فیزیکی لایه زغال سنگ

۱-۲-۶-۲ ضخامت لایه زغال سنگ

کاراکان در سال ۲۰۰۸ در ارزیابی پارامترهای موثر بر پیش بینی نرخ انتشار گاز متان در طول معدنکاری زغال سنگ به روش جبهه کار طولانی، نشان داد که نرخ انتشار متان به صورت خطی، با افزایش ضخامت لایه زغال سنگ افزایش می یابد. همانطوری که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است؛ معدنکاری با راهروهای طولانی تر در زغال سنگ های ضخیم تر، باعث انتشار بیشتر گاز متان می شود. حجم متان ذخیره شده در لایه های زغال سنگ ضخیم تر است و در نتیجه متان بیشتری در حین معدن کاری لایه های ضخیم

زغال سنگ انتشار می یابد. (Karacan 2008)



شکل ۴-۲ رابطه ضخامت لایه زغال و انتشار متان (Karacan 2008)

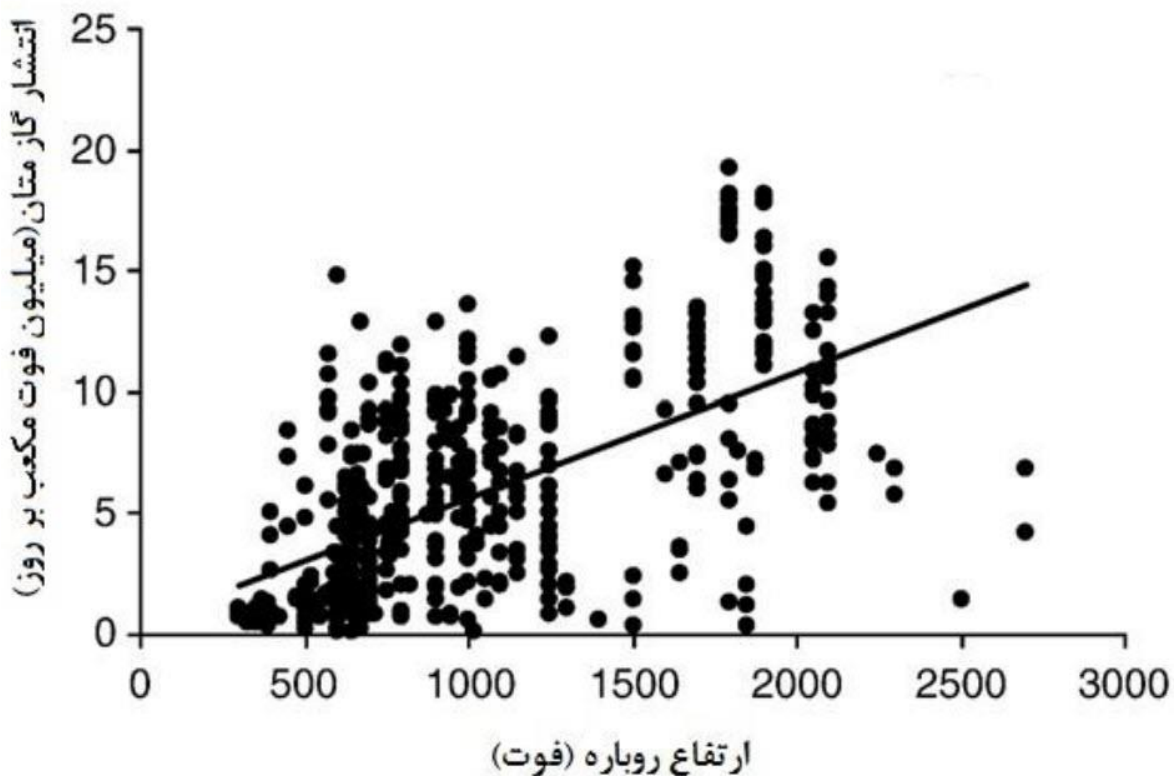
بیدونگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ در بررسی ملاحظات زمین‌شناسی در پیش‌بینی گاز متان لایه زغال سنگ، به این نتیجه رسیدند که ضخامت لایه زغال سنگ همبستگی مثبتی با میزان گاز موجود در لایه زغال سنگ دارد. (Cai 2011) هایجیافو و همکاران در سال ۲۰۱۶ در ارزیابی پتانسیل استخراج گاز متان لایه زغال سنگ حوضه جانگار در شمال غربی چین، به این نتیجه رسیدند که در شرایط برابر بودن عمق لایه زغال سنگ و میزان گازخیزی، لایه‌های ضخیم‌تر زغال سنگ، پتانسیل بالاتری برای تشکیل منابع گاز متان دارند. (Haijiao 2016) به طور کلی لایه‌های ضخیم‌تر زغال سنگ، گاز متان بیشتری را به ناحیه تخریب هدایت می‌کنند. از طرفی دیگر، مقداری از زغال سنگ که در معادن زغال سنگ با لایه‌های ضخیم، به واسطه نگهداری سقف، استخراج نمی‌شود؛ که در نتیجه باعث انتشار گاز متان بیشتری در ناحیه تخریب می‌شود. (Karacan 2008)

با افزایش ضخامت لایه زغال سنگ طولی از گمانه زهکشی که در داخل لایه قرار می گیرد؛ افزایش می یابد. براساس میزان گاز زهکشی از لایه زغال سنگ افزایش خواهد یافت. مطالعات بلک روی ۵۳ گمانه زهکشی گاز متان نشان داده است که با افزایش ضخامت لایه زغال سنگ، تولید به شدت افزایش یافته است. (Black 2011) از سویی، نقش ارتفاع لایه زغال سنگ را می توان به افزایش زون تخریب در سقف لایه نیز مرتبط دانست که با افزایش ارتفاع لایه، ارتفاع تخریب افزایش یافته و درزه و شکستگی ها در سقف افزایش می یابد. (Peng 2006) در نتیجه با افزایش ارتفاع لایه از ترکیب سیستم های گاززدایی مختلف می توان استفاده نمود و چگالی گمانه های حفاری شده در داخل لایه بایستی افزایش یابد؛ که منجر به انتشار بیشتر گاز متان می گردد.

۲-۶-۲-۲ عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره

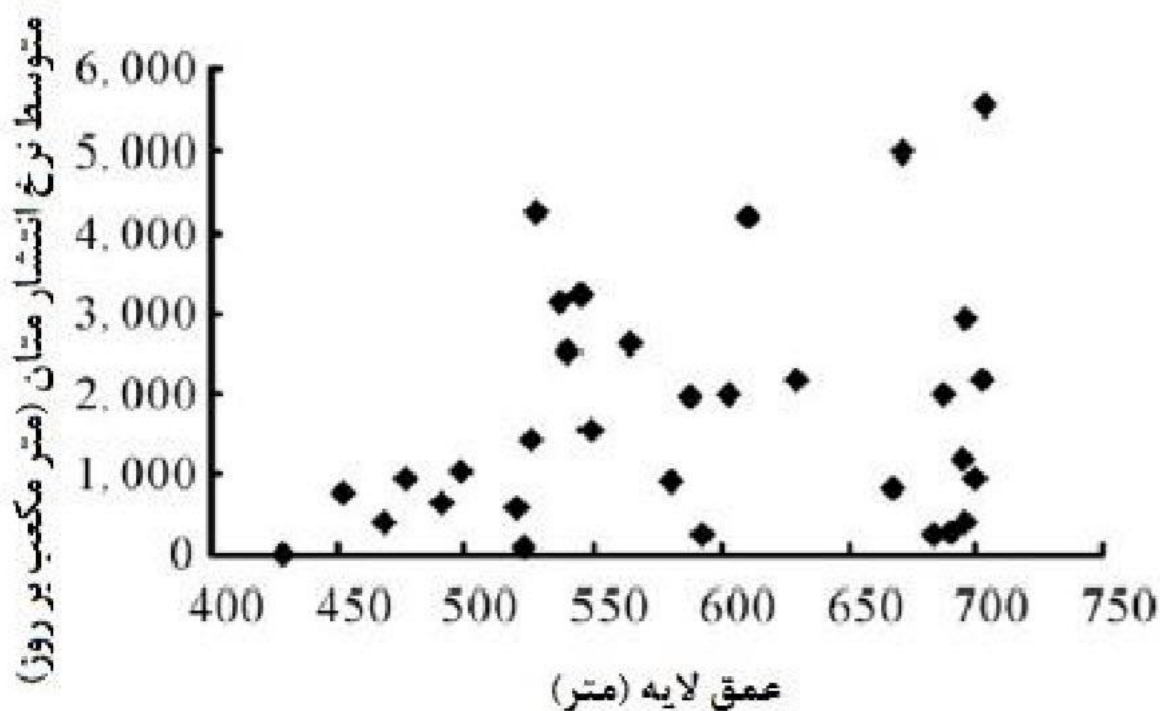
کاراکان و همکاران در بررسی گاز متان لایه زغال سنگ به منظور افزایش معدنکاری و کاهش انتشار گازهای گلخانه های، به این نتیجه رسیدند که عمق لایه زغال سنگ یا ارتفاع روباره به دو صورت بر روی انتشار گاز متان تاثیر می گذارد. اول، برای زغال سنگ هایی با رتبه یکسان، میزان گازخیزی اساساً با افزایش عمق، افزایش می یابد. دوم، ارتفاع روباره بر میزان برهم خوردگی لایه های بالایی تاثیر می گذارد و میزان این تاثیرگذاری به عرض پهنه در حال استخراج بستگی دارد. اگر عرض پهنه بیشتر از ارتفاع روباره باشد (نسبت عرض پهنه به ارتفاع بیش از ۲)، حالت بیش بحرانی اتفاق می افتد که در این حالت، میزان تخریب در لایه های بالایی خیلی بیشتر از حالتی است که عرض پهنه کمتر از ارتفاع روباره باشد. تخریب کامل در پهنه های بیش بحرانی باعث ایجاد نواحی شکسته شده حجیم تری در لایه های بالایی می شود. علاوه بر مفاهیم کنترل زمین، این شرایط ممکن است به طور بالقوه ای بر روی مخازن گاز متان و مجراهای نفوذپذیر موجود در لایه های بالایی تاثیر گذاشته و باعث انتشار بیشتر گاز متان از لایه های بالایی شود. با مطالعه کاراکان در سال ۲۰۰۸ میلادی بر روی زمینه پیش بینی و مدل سازی گاز متان منتشر شده در سیستم تهویه معادن زغال سنگ جبهه کار طولانی ایالات متحده، رابطه بین ارتفاع روباره و انتشار گاز متان مشخص

شد. (Karacan 2008) همانطور که در شکل ۵-۲ مشخص است؛ ارتباط مستقیمی بین انتشار گاز متان و ارتفاع روباره وجود دارد.



شکل ۵-۲ ارتباط ارتفاع روباره و انتشار گاز متان (Karacan 2008)

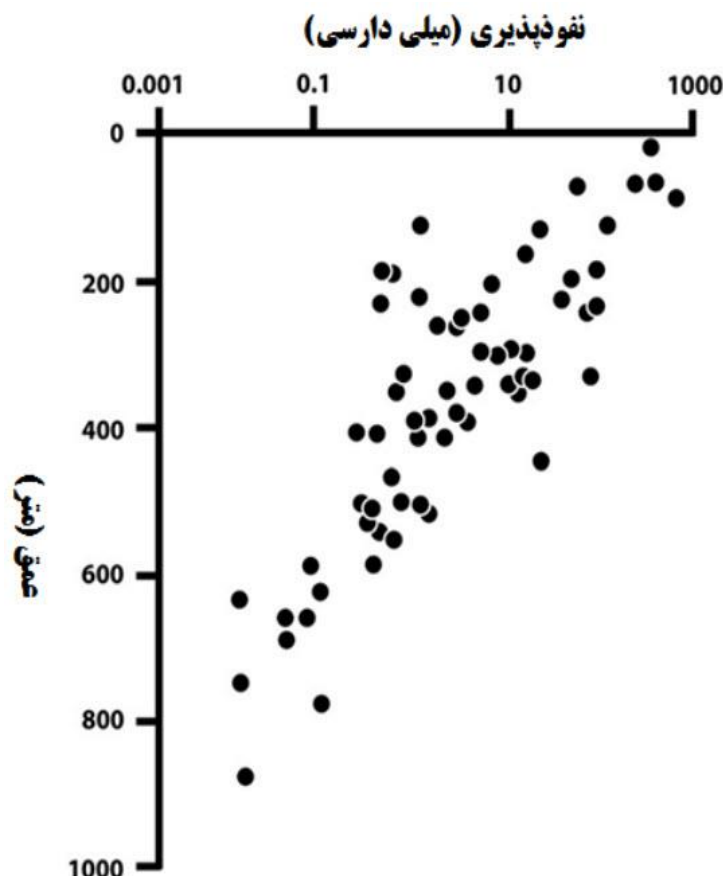
یوان در سال ۲۰۱۱ در بررسی روش‌های کنترل گاز متان لایه زغال سنگ در چین، به این نتیجه رسید که با افزایش عمق معدن کاری زغال، میزان انتشار متان در معادن افزایش یافته و به دنبال آن، احتمال وقوع انفجار گاز متان نیز بیشتر می‌شود. (Yuan 2011) یومین و همکاران در سال ۲۰۱۲ در بررسی فاکتورهای موثر بر استخراج گاز متان لایه زغال سنگ به این نتیجه رسیدند که، چاه‌های تولیدی گاز متان که در لایه‌های عمیق زغال سنگ حفر می‌شوند؛ گاز متان بیشتری را در مقایسه با گمانه‌های حفر شده، در لایه کم عمق زغال سنگ تولید می‌کنند. نتایج بررسی آن‌ها در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.



شکل ۶-۲ ارتباط عمق لایه زغال و نرخ انتشار متان (Yumin 2012)

به طور کلی با افزایش عمق روباره، میزان گازخیزی محتوی لایه زغال سنگ افزایش یافته و در عین حال نفوذپذیری آن، کاهش می‌یابد. (Moore 2012) از این رو می‌توان بیان کرد که لایه‌های زغال سنگی 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 طرفی دیگر، مسائل ناپایداری گمانه بیش‌تر می‌شود که می‌تواند بازدهی کل گمانه را کاهش دهد. (Paul 2011,

Liu 2014)

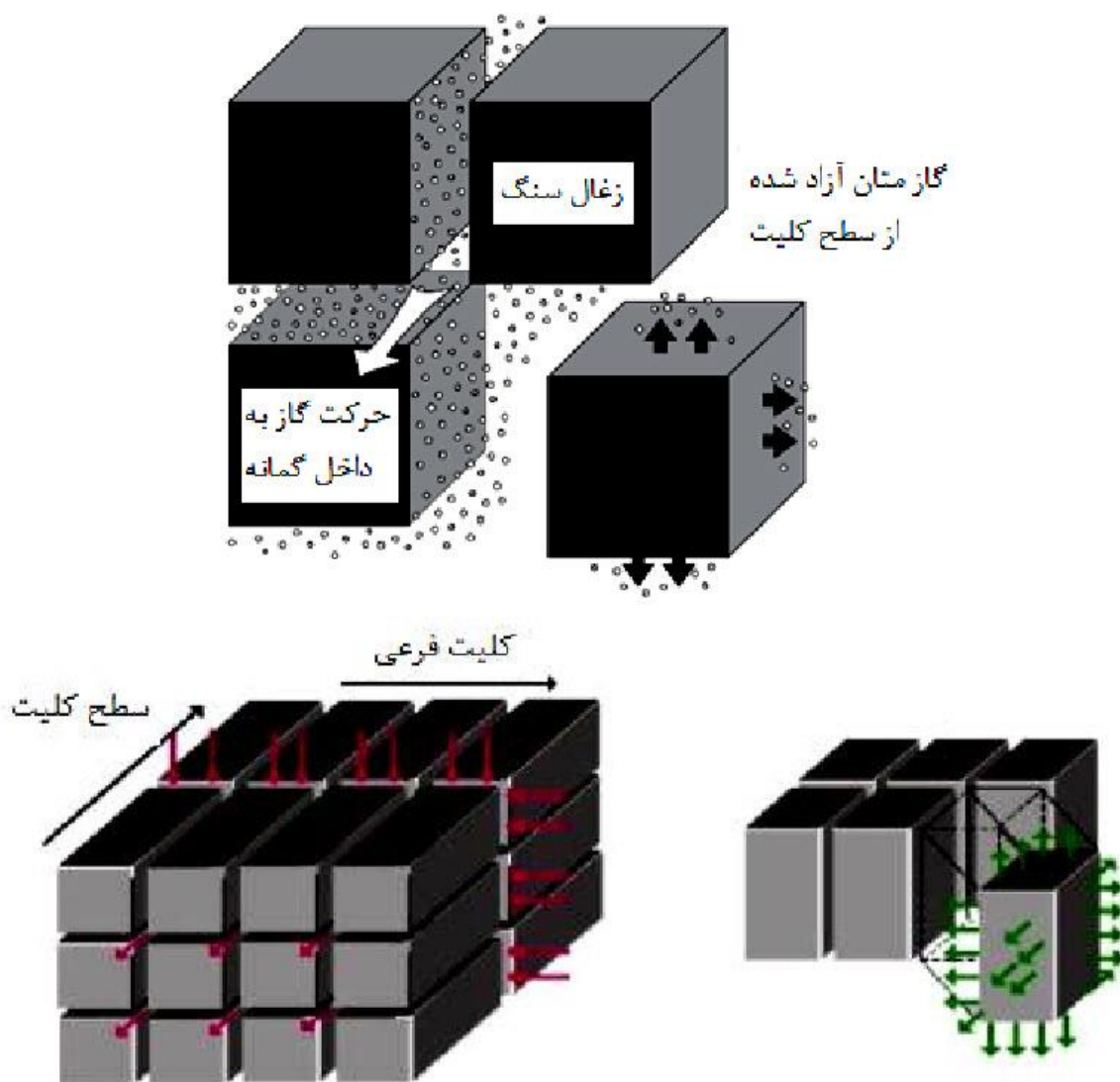


شکل ۷-۲ تاثیر عمق بر نفوذپذیری لایه‌های زغال‌سنگ (Moore 2012)

۲-۶-۲-۳ شرایط ناپیوستگی‌ها در لایه زغال‌سنگ

شکستگی‌ها و سیستم کلیت‌ها منابع اصلی گاز متان در لایه زغال‌سنگ هستند. سیستم شکستگی‌های قائم طبیعی در لایه‌های بیتومینه، کلیت نامیده می‌شود. طول این شکستگی‌ها کمتر از یک متر و فراوانی آن‌ها بین ۵ تا ۲۰ درزه در هر متر است. این ناپیوستگی‌ها معمولاً حالت قائم دارند و امتداد آن‌ها در دو جهت عمود بر هم است که معمولاً به دو بخش تقسیم می‌شود. صفحات شکستگی اصلی که ممتدتر هستند و صفحات لایه بندی که زغال‌سنگ را قطع می‌کنند؛ ممکن است در فواصل بزرگتری گسترش یابند. کلیت‌های فرعی معمولاً کوتاه هستند و ممکن است دارای انحنا باشند و شکستگی‌های غیر پیوسته‌ای که به طور متناوب به کلیت‌های اصلی ختم می‌شوند؛ باشند. جهت کلیت‌های زغال‌سنگ نیز در بازدهی گاز کشی مؤثر است. کلیت‌های اصلی و فرعی، نفوذپذیری جهت دار را فراهم می‌کنند به این معنی که جریان

گاز در جهت موازی کلیت‌های اصلی بیشتر است.



شکل ۸-۲ حرکت گاز متان از داخل کلیت‌ها و سطح زغال سنگ

گاز متان به صورت آزاد در شکستگی‌ها و شبکه کلیت‌ها و یا به صورت جذب شده در سطح زغال سنگ وجود دارد. حجم منافذ موجود در لایه زغال سنگ بسیار کم می‌باشد و مقدار متان موجود در تخلخل به صورت گاز آزاد در مقایسه با گاز جذب شده بسیار کمتر است. با افزایش تخلخل، میانگین انتشار گاز متان کاهش می‌یابد؛ زیرا هنگامی که تخلخل در یک حجم ثابت از ذخیره افزایش می‌یابد، قسمتی از حجم زغال سنگ، که دارای ظرفیت بالای جذب گاز متان بوده است، با شکستگی‌هایی که ظرفیت ذخیره متان

کم دارند، جایگزین می‌شود. (Black 2011)

سیستم کلیت لایه‌های زغال سنگ بر روی گاز کشی قائم گمانه‌هایی که از سطح زمین حفر می‌شوند؛ تاثیر دارد. گمانه‌های قائم در لایه زغال سنگ با توسعه مناسب کلیت‌های اصلی و فرعی، گاز را با نرخ بالاتری از شکستگی‌های جهت یافته در جهات کلیت‌های اصلی نسبت به شکستگی‌های در جهت موازی با جهات کلیت‌های فرعی، جمع خواهد کرد. تفاوت در نفوذپذیری کلیت‌های اصلی و فرعی در زغال سنگ‌های بلوکی بارزتر است. در زغال سنگ‌های دارای خاصیت خودسوزی که کلیت‌های اصلی و فرعی تقریباً دارای ویژگی‌های یکسانی هستند، لایه زغال سنگ از نظر نفوذپذیری رفتار ناهمسانگردی از خود نشان می‌دهد. (Howard/L. 1992)

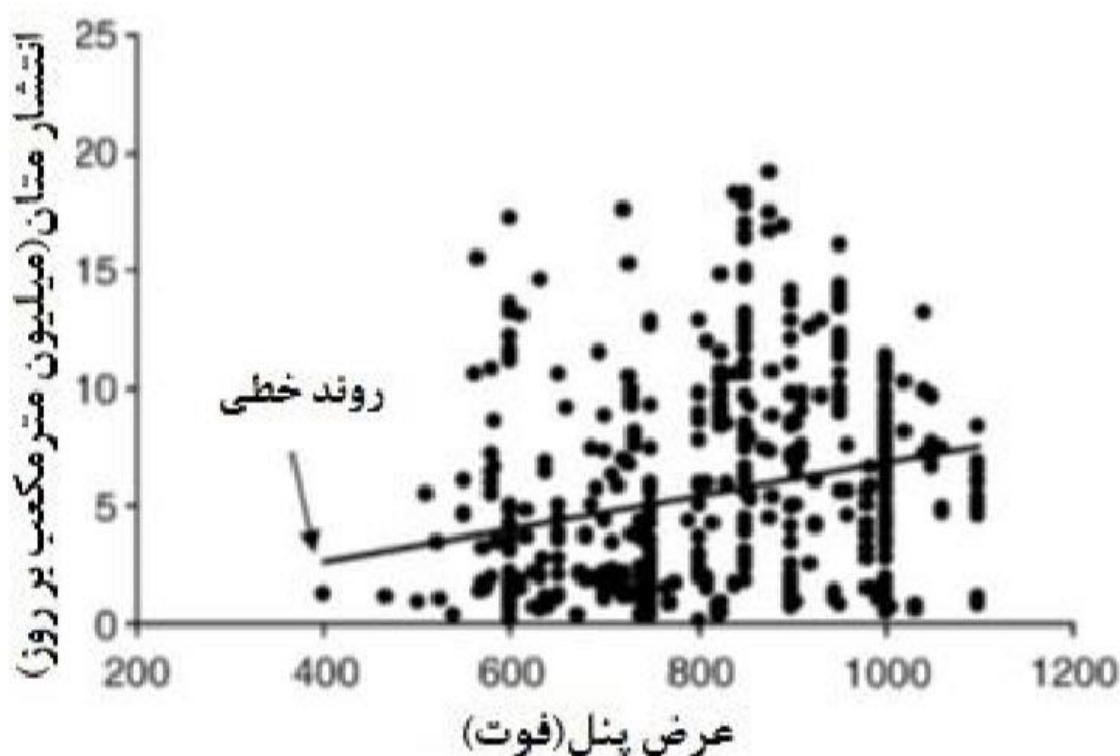
۴-۲-۶ نفوذپذیری

ساره‌وسیس و همکاران در سال ۲۰۱۶ در مطالعه‌ای که به منظور ارائه یک مدل برای تولید گاز متان لایه زغال سنگ انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که نفوذپذیری لایه زغال سنگ یکی از عوامل تاثیرگذار در پروژه‌های استخراج گاز متان از لایه زغال سنگ است که به طور مستقیم با میزان تولید گاز در ارتباط است. نفوذپذیری لایه زغال سنگ، به درجه بلوغ، سیستم درزه‌ها و میزان بازشدگی درزه‌ها بستگی دارد. (Sarhosis 2016) تخلخل نقش مهمی را در تعیین میزان گاز آزاد موجود در لایه زغال سنگ ایفا می‌کند. با افزایش رتبه زغال سنگ، حجم منافذ بزرگ و به دنبال آن تخلخل کاهش می‌یابد (Aihua 2013) بیشتر گازهای موجود در لایه زغال سنگ از میان شکستگی‌های بزرگ و کوچک و سیستم درزه‌ها، که نمادی از نفوذپذیری است؛ انتشار می‌یابد. (Freij 2012) در واقع شبکه شکستگی‌ها، مجرای را برای جریان گاز متان موجود در لایه زغال سنگ ایجاد می‌کند. میزان بالای گاز موجود در لایه زغال سنگ به تنهایی، دلیلی بر انتشار گاز به درون چاه‌های تولید گاز متان نیست؛ بلکه نفوذپذیری یا تخلخل موثر نیز یک عامل مهم در میزان گاز متان به دست آمده از یک گمانه تولیدی است. (Yumin 2012)

۲-۶-۳ شرایط معدنکاری زغال سنگ

۲-۶-۳-۱ طول و عرض پهنه استخراجی و تعداد ورودی‌ها

ابعاد پهنه با تاثیرگذاری بر میزان نشست و میزان تخریب لایه‌های بالایی در حال استخراج، بر میزان انتشار گاز متان از سینه کار و لایه‌های بالایی تاثیر می‌گذارد. اگرچه افزایش ابعاد پهنه باعث افزایش تولید زغال سنگ می‌شود ولی از سوی دیگر باعث افزایش انتشار گاز متان نیز می‌گردد. ارتباط بین انتشار متان در سیستم تهویه معدن و عرض پهنه را نشان می‌دهد. (Karacan 2011)



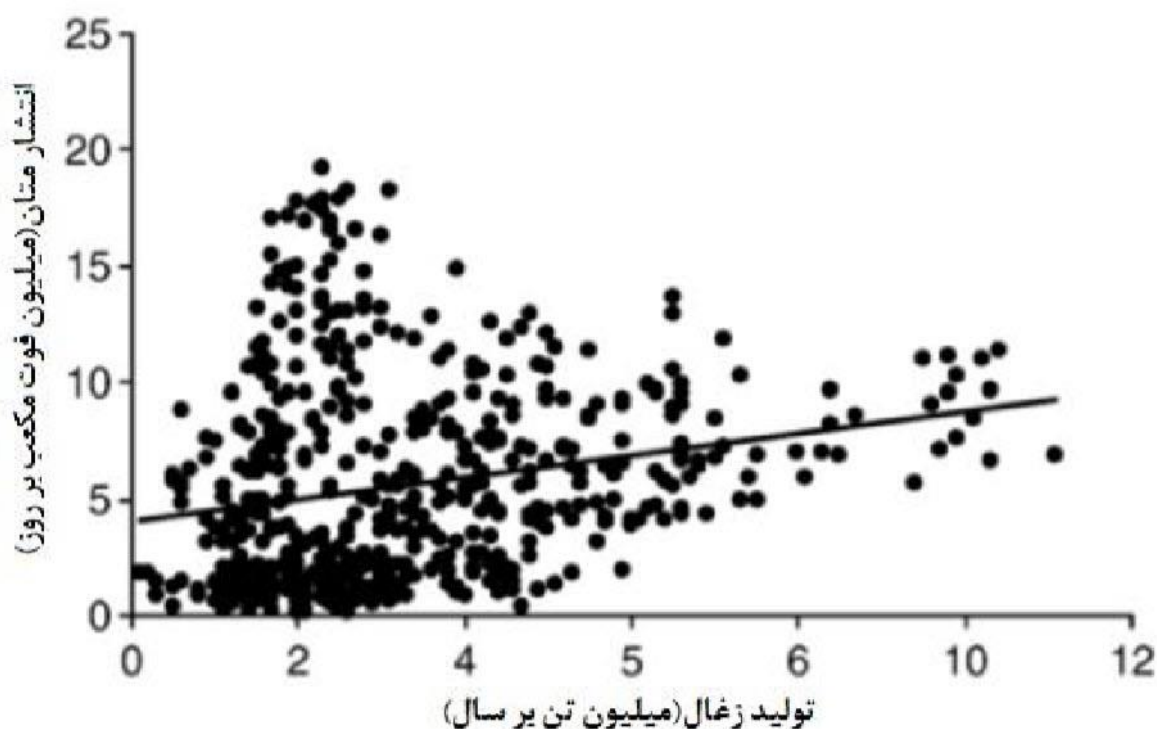
شکل ۲-۹ ارتباط عرض پنل و انتشار متان (Karacan 2011)

عمق برش، مقدار پیشروی در لایه زغال سنگ که با هر بار عبور شیر، ایجاد می‌شود. به‌طور کلی هرچه عمق برش بیشتر باشد، با هر بار چرخش درام شیر، میزان زغال سنگ بیشتری تولید می‌شود و در پی آن میزان انتشار گاز متان افزایش می‌یابد. سرعت چرخش کله حفاری و نرخ بارگذاری شیر نیز بر میزان انتشار گاز متان مؤثر هستند؛ به این صورت که، اگر سرعت چرخش درام در مقایسه با سرعت شیر بیشتر باشد،

زغال سنگ دانه ریزتری تولید می شود که به دنبال آن میزان انتشار گاز متان نیز افزایش می یابد. به طور خلاصه، عمق و ارتفاع برش دستگاه شیرر که بر میزان گاز آزاد شده در حین عملیات استخراج اثر گذار است؛ با افزایش آن ها، سرعت پیشروی عملیات استخراجی افزایش می یابد. سرعت پیشروی استخراج بر تعداد گمانه های منطقه تخریب و فاصله آن ها اثر گذار است. به طوری که با افزایش میزان پیشروی استخراجی، سرعت رشد و گسترش شکستگی ها افزایش می یابد و انتظار می رود گاز استحصالی از گمانه های منطقه تخریب افزایش یابد. (Karacan 2011)

۲-۳-۶-۲ سرعت ناوزنجیری

افزایش سرعت ناوزنجیری نشان دهنده میزان تولید بالا و سرعت زیاد عملیات استخراجی است که می تواند خود عاملی برای انتشار زیاد گاز متان در محیط معدن باشد. نقاله و استیج لودر، بخشی از سیستم باربری زغال سنگ استخراج شده هستند که وظیفه اصلی آن ها، انتقال زغال سنگ از جبهه کار به روی نوار نقاله می باشد. ظرفیت این سیستم باید بالا باشد و به سرعت کار کند تا یک تولید پیوسته را تضمین نماید. سرعت این سیستم بسیار مهم می باشد؛ به این دلیل که بتواند؛ زغال سنگ استخراج شده را از سینه کار، به سرعت انتقال دهد. اکثر پارامترهای عملیاتی که بر میزان انتشار گاز متان تاثیر می گذارند؛ با میزان تولید زغال سنگ نیز ارتباط دارند، تجربه نشان داده است که انتشار گاز متان ارتباط مستقیمی با میزان تولید زغال سنگ دارد. استخراج بیشتر زغال سنگ باعث انتشار هرچه بیشتر گاز متان می شود. همان طور که در شکل ۱۰-۲ قابل ملاحظه است؛ ارتباط میان میزان تولید زغال سنگ و نرخ انتشار متان در سیستم تهویه معدن نشان داده شده است. (Karacan 2011)



شکل ۱۰-۲ ارتباط تولید زغال و میزان انتشار گاز متان (Karacan 2011)

۳-۶-۲ میزان ذخیره زغال سنگ و تولید روزانه معدن

میران ذخیره ماده معدنی ارتباط مستقیمی با مدت زمان اجرای عملیات معدنکاری دارد. بدین صورت که هرچه ذخیره زغال سنگ بیشتری موجود باشد؛ فرصت استخراج آن نیز بیشتر است. در واقع خود میزان ذخیره زغال سنگ به طور مستقیم بر گازخیزی لایه زغالی تاثیر ندارد؛ بلکه به طور غیر مستقیم و از طریق زمان بر روند گازخیزی لایه موثر است. بدین صورت که با افزایش طول عمر معدنکاری و مدت زمان فعالیت بیشتر معدن، مقدار گاز متان بیشتری هم همراه با استخراج ماده معدنی، تولید می گردد. از سویی با افزایش میزان ذخیره، به گونه ای باعث افزایش سینه کارهای استخراجی و کارگاه های طراحی شده نیز، می گردد؛ که خود باعث افزایش حجم تولید بیش تری از زغال و همچنین باعث افزایش سطح تماس لایه زغال سنگ با هوای داخل معدن می شود که در نتیجه افزایش میزان گازخیزی گاز متان را در پی خواهد داشت.

فصل ۳ روش ایجاد سیستم طبقه‌بندی

۱-۳ مقدمه

با شناختی که از مسئله گازخیزی، گاز متان متساعد شده از لایه‌های زغال‌سنگ در فصل قبل به‌دست آمد؛ اجرای پروژه‌های گاززدایی متان در معادن زغال‌سنگ همچنان یکی از چالش‌زا ترین مسائلی است که مهندسين و صنعتگران این حوزه با آن مواجه هستند. از سویی برخلاف مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته شده بر روی عوامل و چگونگی نشر گاز متان در لایه‌های زغال، هنوز ارتباط معنی‌دار و دقیقی بین پارامترهای این مسئله مشخص نیست تا به وسیله آن ارزیابی صحیحی از مسئله گازخیزی وجود داشته باشد. از علت‌های اساسی که باعث شده است تا سیستم‌های گاززدایی راندمان قابل قبولی نداشته باشند و بعضاً بهینه نباشند؛ آن است که ارزیابی درستی از مسئله گازخیزی در دست نیست و همچنین، سیستم گاززدایی گاز متان که ارتباط مستقیم و نزدیکی با شیوه گازخیزی لایه زغال‌سنگ دارد؛ پارامترهای آن‌ها تحت تاثیر یک‌دیگر هستند. بنابراین جهت بهره‌مندی از یک سیستم یک‌پارچه گاززدایی بهینه لازم است تا به طور سیستماتیک به فرآیند گازخیزی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ، توجه شود.

در این پژوهش با شناسایی پارامتر و عوامل تاثیر گذار در فرآیند گازخیزی، اقدام به طبقه‌بندی سیستماتیک آن شده است که در نهایت ارزیابی دقیقی از گازخیزی لایه زغال‌سنگ هدف، انجام می‌شود؛ تا با استفاده از آن، روش گاززدایی بهینه مناسب تعیین گردد.

مهم ترین مرحله در ارائه سیستم طبقه بندی و ارزیابی جامع با تعداد مشخصی پارامتر، تعیین وزن اثرگذاری هر پارامتر بر پدیده اصلی است. از آنجایی که کلیه سیستم‌های طبقه بندی مهندسی، همواره بر اساس تعدادی پارامتر مرکب و در ارتباط با هم ارائه می شوند، تأثیر توأم هر یک از پارامترها، ارزیابی پدیده نهایی را دشوار می سازد؛ لذا تعیین وزن هر پارامتر، همواره دغدغه اصلی در ارائه سیستم‌های طبقه‌بندی مهندسی بوده است. جهت رفع این مشکل، در این تحقیق از روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری (DEMATEL) که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بر اساس مقایسه زوجی است؛ استفاده شده است.

۳-۲ روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم گیری (DEMATEL)

روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم گیری یا DEMATEL از جمله روش های تصمیم گیری چند معیاره بر اساس مقایسه های زوجی است که بین سال های ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ توسط فونتلا^۱ و گابوس^۲ طی برنامه علوم بشر موسسه بتل مموریال^۳ در پروژه اجرا شده مرکز تحقیقاتی ژنو^۴، توسعه یافته است. (Fontela E. 1972, Gabus A. 1973, Fontela E. 1974, Fontela E. 1976) این روش ابزاری علمی و مفید به خصوص برای نمایش ساختار پیچیده روابط علت و معلولی به وسیله نمودار و یا ماتریس است که در آن با استفاده از نظرات خبرگان، عناصر یک سیستم و وابستگی آن ها ساختاری نظام مند پیدا می کنند. در این روش با به کارگیری اصول نظریه گراف، ساختار سلسله مراتبی از عوامل موجود در سیستم همراه با روابط تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل عناصر مذکور به صورت کمی محاسبه می شود. بر این اساس ارتباط بین عناصر مختلف توسط گراف های جهت دار^۵ تعیین می شود. این گراف های جهت دار رابطه میان عناصر یک سیستم را به تصویر می کشند به طوری که اعداد روی آن ها، بیانگر شدت تأثیر یک عنصر بر عنصر دیگر است (ج ۱۳۸۹، Falatoonitoosi E. 2013, L 2009, W. 2008) از برتری های این روش نسبت به سایر روش های تصمیم گیری بر پایه مقایسه های زوجی، پذیرش بازخورد^۶ روابط است. یعنی در ساختار سلسله مراتبی حاصل، هر عنصر می تواند بر کلیه عناصر هم سطح، سطح بالاتر یا سطح پایین تر از خود تأثیر گذاشته و به صورت متقابل از تک تک آن ها تأثیر بپذیرد.

بر اساس بررسی انجام شده در ارتباط با ۱۰۸۱ مقاله منتشر شده در سال های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ درباره استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره در حالت قطعی و فازی، مشخص شده است که روش DEMATEL قطعی در ۳۰ مقاله یعنی ۲/۷۸٪ و حالت فازی آن در ۹ مقاله یعنی ۰/۸۳٪ استفاده شده

¹ Fontela

² Gabus

³ Battelle Memorial Institute

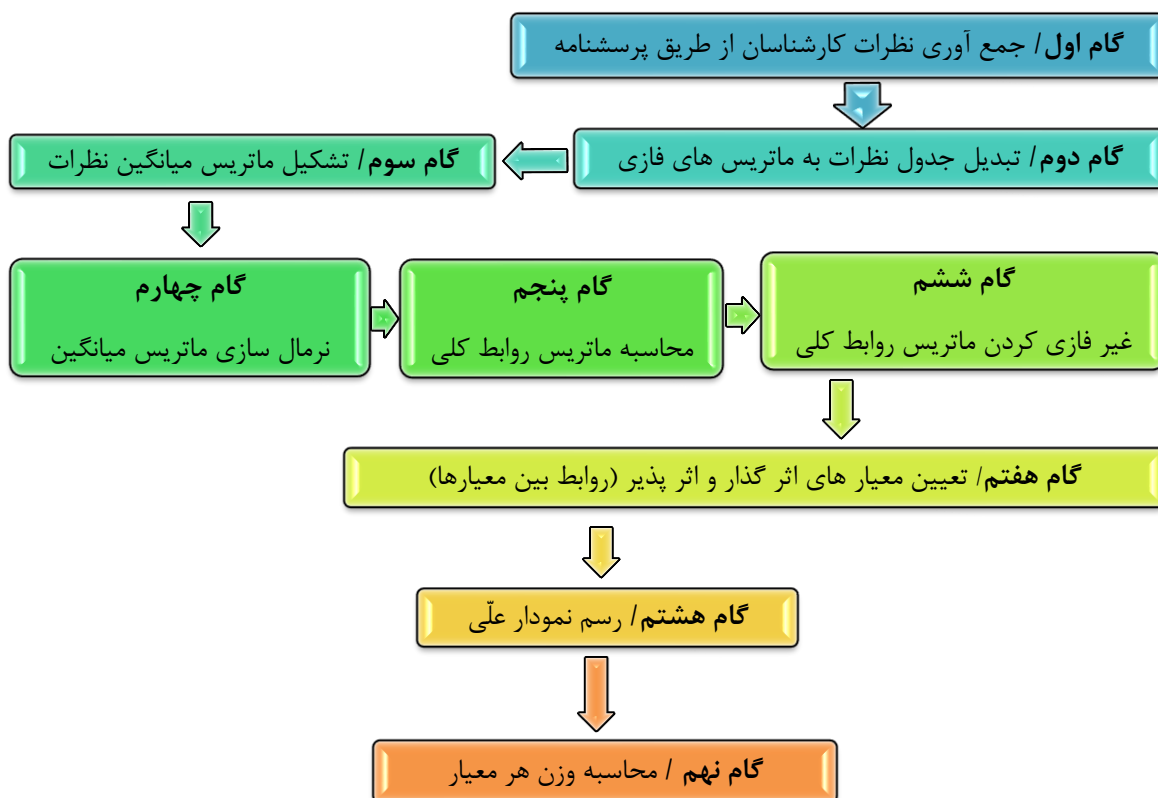
⁴ Geneva Research Center

⁵ Diagraph

⁶ Feedback

است. (Mardani A. 2015)

روش DEMATEL هم به صورت قطعی و هم به صورت فازی قابل استفاده است. با توجه به این که در این پژوهش از حالت فازی آن استفاده شده است، در ادامه مطابق با مراحل ذکر شده در شکل ۱-۳، نحوه اجرای روش DEMATEL در حالت فازی تشریح می‌شود (Jassbi J. 2011, Suo W. L. 2013, Sangaiah A. K. 2017)



شکل ۱-۳ مراحل روش Fuzzy DEMATEL

۱-۲-۳ گام اول: جمع آوری نظرات کارشناسان

برای تعیین شدت اثرگذاری پارامترها بر روی یکدیگر از نظرات کارشناسان و خبرگان فعال در حوزه تخصصی پژوهش، استفاده شده است. بدین صورت که یک ماتریس $n \times n$ بر اساس معیارهای مشخص شده، تشکیل می‌گردد. سپس کارشناس بر اساس نظریات و تجربه خود میزان اثرگذاری هر معیار بر سایر پارامترها را با استفاده از گزینه‌های کیفی، تعیین می‌نماید. به عنوان مثال در جدول ۱-۳، یک نمونه از ماتریس نظرسنجی نشان داده شده است. کارشناس برای اعمال نظر خود در هر سلول بر اساس اعداد معرف درجه تاثیرگذاری که در پایین جدول شرح داده شده است؛ نظر خود را اعمال می‌کند. بدین ترتیب که برای سلول (درایه) ۳۲، میزان اثرگذاری پارامتر سطر سوم بر پارامتر متناظر با ستون دوم را مشخص می‌کند. برای سایر درایه‌ها نیز، به همین شیوه اعداد معرف تعیین می‌شوند.

جدول ۱-۳ ماتریس نظر سنجی تاثیر گذاری هر پارامتر بر سایر معیارها (برای مثال)

ماتریس نظر سنجی تاثیر گذاری هر پارامتر بر سایر معیارها									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	0								
P2		0							
P3			0						
P4				0					
P5					0				
P6						0			
P7							0		
P8								0	
P9									0
برای تکمیل ماتریس از اعداد زیر استفاده نمایید.									
0	1	2	3	4					
عدم وجود تاثیر (NO)	تاثیر بسیار کم (VL)	تاثیر کم (L)	تاثیر زیاد (H)	تاثیر بسیار زیاد (VH)					

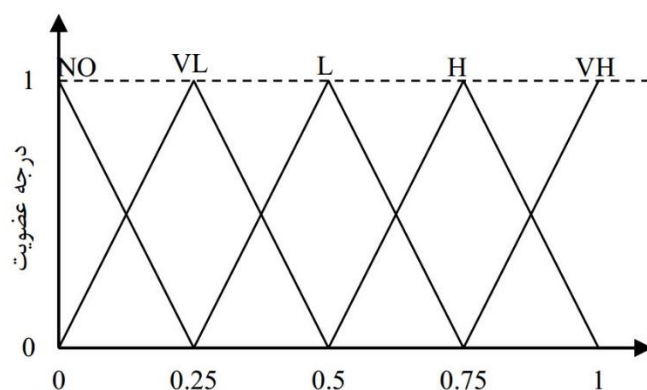
همان‌طور که در جدول ۳-۱ مشخص است؛ تمامی درایه‌های قطر اصلی برابر صفر می‌باشد. یعنی هر پارامتر میزان تاثیری که بر روی خودش دارد برابر صفر است. این امر از جهت فنی و علمی نیز کاملاً صحیح می‌باشد. به عنوان مثال، در بررسی پارامتر ضخامت لایه که از پارامترهای موثر بر فرآیند گازخیزی است؛ کاملاً مشهود است که این پارامتر تاثیری بر روی خودش ندارد.

۳-۲-۲ گام دوم: تبدیل جدول نظرسنجی به ماتریس فازی

در این حالت برای تعیین شدت اثرگذاری پارامترها بر روی یکدیگر در ماتریس‌های نظرسنجی از اعداد فازی استفاده می‌شود. معمول‌ترین روش در این حالت استفاده از اعداد فازی مثلثی است. رایج‌ترین اعداد فازی، مثلثی که به متغیرهای زبانی تخصیص داده می‌شود مطابق با جدول ۳-۲ و شکل ۳-۲ است.

جدول ۳-۲ اعداد فازی مثلثی متناظر با متغیرهای زبانی برای تبدیل شدت اثر گذاری (عطایی ۱۳۸۹)

کد معرف در نظر سنجی	متغیر زبانی	عدد فازی
۰	عدم وجود تاثیر (NO)	(۰, ۰, ۰/۲۵)
۱	تاثیر بسیار کم (VL)	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)
۲	تاثیر کم (L)	(۰/۲۵, ۰/۵, ۰/۷۵)
۳	تاثیر زیاد (H)	(۰/۵, ۰/۷۵, ۱)
۴	تاثیر بسیار زیاد (VH)	(۰/۷۵, ۱, ۱)



شکل ۳-۲ توابع عضویت متغیرهای فازی (عطایی ۱۳۸۹)

بنابراین هر کارشناس، یک ماتریس $n \times n$ غیر منفی $\tilde{X}^k$ را (به عنوان ماتریس اولیه روابط مستقیم) به وجود می‌آورد که در آن، k بیان‌کننده شماره کارشناس است. درایه های این ماتریس به صورت $x_{ij}^k = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ است که در آن l اولین، m دومین و u سومین عضو نشانگر حد پایین، حد وسط و حد بالای عدد فازی مثلثی است. این درایه به معنای تأثیر پارامتر i بر روی پارامتر j بر اساس نظر کارشناس k ام است. (Mohammadi, Ataei et al. 2018)

۳-۲-۳ گام سوم : محاسبه ماتریس میانگین نظرات

ماتریس میانگین روابط مستقیم $\tilde{A}$ از طریق میانگین گیری از تمام ماتریس های کارشناسان و بر اساس رابطه (۳-۱) در این مرحله محاسبه می‌شود (Mohammadi, Ataei et al. 2018):

$$\tilde{A} = \frac{(\tilde{Z}^1 \oplus \tilde{Z}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{X}^n)}{n} \quad (۱-۳)$$

۳-۲-۴ گام چهارم : نرمال کردن ماتریس میانگین

ماتریس نرمال شده روابط مستقیم $\tilde{D}$ از طریق نرمال کردن ماتریس میانگین مرحله قبل به صورت رابطه (۳-۲) تعیین می‌شود:

$$\tilde{D} = \frac{\tilde{A}}{r} \quad (۲-۳)$$

که در آن r به صورت رابطه (۳-۳) محاسبه می‌شود:

$$r = \max[\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n u_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n u_{ij}], i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (۳-۳)$$

اگر هر عضو ماتریس نرمال شده را به صورت $\tilde{d}_{ij} = (\tilde{l}_{ij}, \tilde{m}_{ij}, \tilde{u}_{ij})$ در نظر بگیریم، می‌توان سه ماتریس قطعی را به صورت زیر از آن استخراج کرد که به صورت ماتریس‌های حد پایین، حد وسط و حد بالا هستند (Mohammadi, Ataei et al. 2018):

$$D_l = \begin{bmatrix} 0 & l'_{12} & \cdots & l'_{1n} \\ l'_{21} & 0 & \cdots & l'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l'_{n1} & l'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}; D_m = \begin{bmatrix} 0 & m'_{12} & \cdots & m'_{1n} \\ m'_{21} & 0 & \cdots & m'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m'_{n1} & m'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}; D_u = \begin{bmatrix} 0 & u'_{12} & \cdots & u'_{1n} \\ u'_{21} & 0 & \cdots & u'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u'_{n1} & u'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

۳-۲-۵ گام پنجم : محاسبه ماتریس روابط کلی

پس از تعیین ماتریس نرمال شده روابط مستقیم، ماتریس روابط کلی از طریق رابطه (۳-۴) قابل محاسبه

است که در آن I ماتریس یکه است (Mohammadi, Ataei et al. 2018):

$$\tilde{T} = \tilde{D}(I - \tilde{D})^{-1} \quad (۴-۳)$$

اعضای ماتریس $\tilde{T}$ به صورت $t_{ij} = (\hat{l}_{ij}, \hat{m}_{ij}, \hat{u}_{ij})$ هستند. بنابراین بر اساس شرایط قطعی، هریک

از ماتریس‌های قطعی ماتریس روابط کلی به صورت زیر و به طور جداگانه محاسبه می‌شوند و پس از آن با

ادغام آن‌ها با یکدیگر ماتریس فازی روابط مستقیم حاصل می‌شود.

$$T_l = [\hat{l}_{ij}] = D_l(I - D_l)^{-1} \quad (۵-۳)$$

$$T_m = [\hat{m}_{ij}] = D_m(I - D_m)^{-1} \quad (۶-۳)$$

$$T_u = [\hat{u}_{ij}] = D_u(I - D_u)^{-1} \quad (۷-۳)$$

۳-۲-۶ گام ششم : غیرفازی کردن ماتریس روابط کلی

برای غیرفازی کردن مقادیر فازی می‌توان از روش بهترین عملکرد غیر فازی^۱ به صورت رابطه (۳-۸)

استفاده کرد. (Mohammadi, Ataei et al. 2018)

$$BNP = l + \frac{(u-l)+(m-l)}{3} \quad (۸-۳)$$

¹ Best Non-fuzzy Performance (BNP)

۷-۲-۳ گام هفتم: تعیین معیارهای اثرگذار و اثرپذیر (روابط بین معیارها)

مقادیر جمع سطر و ستونی درایه های ماتریس غیر فازی شده، به صورت زیر است:

$$[\tilde{r}]_{n \times 1} = (\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5-3)$$

$$[\tilde{c}]_{1 \times n} = (\sum_{i=1}^n l_{ij}, \sum_{i=1}^n m_{ij}, \sum_{i=1}^n u_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6-3)$$

در حقیقت $[\tilde{r}]_{n \times 1}$ (که یک ماتریس ستونی است) شامل مجموع درایه های واقع بر هر سطر ماتریس $\tilde{T}$ و نشان دهنده تأثیر کلی (هر دو نوع تأثیر مستقیم و غیرمستقیم) پارامتر واقع در سطر بر روی دیگر پارامترها است. به همین صورت، $[\tilde{c}]_{1 \times n}$ (که یک ماتریس سطری است) حاوی مجموع درایه های واقع بر روی هر ستون ماتریس $\tilde{T}$ و نشان دهنده تأثیر کلی (هر دو نوع تأثیر مستقیم و غیرمستقیم) گرفته شده از دیگر پارامترها توسط پارامتر واقع در ستون است. بر این اساس $\tilde{r}_i$ بیانگر تأثیر کلی پارامتر i ام بر روی دیگر پارامترها و $\tilde{c}_j$ بیانگر مقدار تأثیر کلی گرفته شده توسط پارامتر j ام از دیگر پارامترها است. بنابراین زمانی که $j=i$ است مقدار $(\tilde{r}_i + \tilde{c}_j)$ شاخصی است که مجموع تأثیر گذاشته و گرفته شده توسط پارامتر i را نشان میدهد. به عبارت دیگر $(\tilde{r}_i + \tilde{c}_j)$ نشان دهنده درجه اهمیت (مجموع تأثیر گذاشته شده و گرفته شده) است که پارامتر i در سیستم دارد و هرچه مقدار آن برای پارامتری بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. این مقدار را برتری^۱ می نامند. مقدار $(\tilde{r}_i - \tilde{c}_j)$ نشان دهنده تأثیر خالصی است که پارامتر i در سیستم به اشتراک گذاشته و با آن در تعامل است. اگر مقدار $(\tilde{r}_i - \tilde{c}_j)$ مثبت باشد، پارامتر i به عنوان تأثیرگذار قطعی و یک متغیر علت است. زمانی که این مقدار منفی باشد، متغیر به عنوان یک تأثیرپذیر قطعی و معلول است. این مقدار ارتباط^۲ نامیده می شود. (Mohammadi, Ataei et al. 2018).

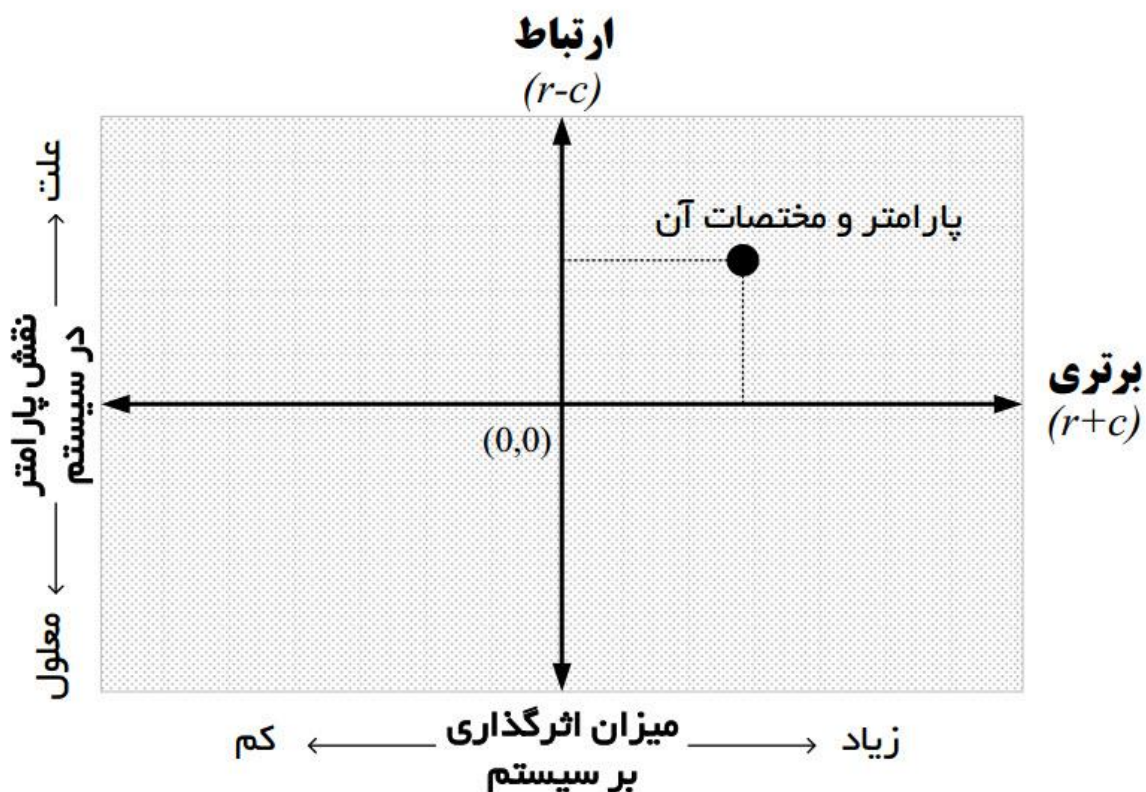
(2018)

¹ Prominence

² Relation

۸-۲-۳ گام هشتم : رسم نمودار علی

نمودار علی^۱ در یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود که در آن محور طولی مقدار برتری ($r_i + c_j$) و محور عرضی بر اساس مقدار رابطه ($r_i + c_j$) است؛ بنابراین موقعیت هر عامل با نقطه‌ای به مختصات ($r + c, r - c$) در دستگاه معین می‌شود. نمونه‌ای از این نمودار در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود. به دلیل مشخص شدن پارامترها در این نمودار از جنبه علت و معلولی، آن را نمودار علی می‌نامند.



شکل ۳-۳ نمودار علی

۹-۲-۳ گام نهم : محاسبه وزن هر معیار

جهت تعیین وزن هر پارامتر با استفاده از رابطه‌ای که سانگایا و همکاران و همچنین رحیم‌دل و باقرپور،

ارائه کردند؛ وزن هر پارامتر، محاسبه می‌گردد. (Sangaiah AK 2015, Sangaiah, Gopal et al. 2017,)

¹ Casual diagram

Rahimdel and Bagherpour 2018) از این رابطه وزن هر پارامتر به صورت یک عدد فازی مورد محاسبه قرار می گیرد که با استفاده از رابطه ۳-۸ به صورت مطلق و غیرفازی محاسبه خواهد شد. (Mohammadi, Ataei et al. 2018)

$$\widetilde{W}_i = \left(\frac{l_{\widetilde{R}_i} + l_{\widetilde{C}_i}}{\sum_{i=1}^n l_{\widetilde{R}_i} + \sum_{i=1}^n l_{\widetilde{C}_i}}, \frac{m_{\widetilde{R}_i} + m_{\widetilde{C}_i}}{\sum_{i=1}^n m_{\widetilde{R}_i} + \sum_{i=1}^n m_{\widetilde{C}_i}}, \frac{u_{\widetilde{R}_i} + u_{\widetilde{C}_i}}{\sum_{i=1}^n u_{\widetilde{R}_i} + \sum_{i=1}^n u_{\widetilde{C}_i}} \right) \quad (9-3)$$

۳-۳ محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی

پس از به دست آوردن وزن هریک از پارامترهای موثر بر گازخیزی بایستی براساس وزن به دست آمده یک اندیس به صورت کمی معرفی شود تا معرف تاثیرگذاری تمامی پارامترهای در نظر گرفته شده باشد. اندیس ارزیابی گازخیزی زغال سنگ را تحت عنوان ($CBM P_i$) از طریق رابطه زیر می توان محاسبه نمود.

$$CBM P_i = \sum_{i=1}^n a_i \frac{P_i}{P_{Max_i}} \quad (11-3)$$

که در این رابطه، $CBM P_i$ معرف شاخص ارزیابی گازخیزی، a_i معرف ضریب وزنی پارامتر i ام که براساس وزن محاسبه شده هریک از پارامترها که توسط روش فازی DEMATEL به دست آمده است؛ می باشد. P_i امتیاز پارامتر i ام که از جدول کلاسه بندی معیارهای موثر بر گازخیزی به دست می آید. و P_{Max_i} حداکثر امتیاز هر پارامتر در جدول کلاسه بندی معیارها است. حداقل مقدار $CBM P_i$ برابر با صفر و حداکثر مقدار برای آن عدد ۱۰۰ می باشد.

فصل ۲۴ ارائه سیستم طبقه بندی

۴-۱ مقدمه

در این فصل با تعیین پارامترهای موثر بر فرآیند گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال‌سنگ، با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان حیطه زغال‌سنگ، به روش فازی دی‌متل، روابط و تاثیرات هر پارامتر موثر بر گازخیزی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. این امر جهت تعیین وزن هر معیار اثرگذار بر گازخیزی زغال‌سنگ انجام می‌شود تا در مرحله بعدی با استفاده از آن، شاخص ارزیابی گازخیزی تعیین شود. در مرحله بعدی، جهت تعیین شاخص ارزیابی گازخیزی، یک دسته‌بندی از معیارهای اثرگذار معرفی می‌گردد تا با استفاده از امتیاز هر معیار که از فهرست طبقه‌بندی پارامترهای موثر بر گازخیزی، به‌دست می‌آید؛ و وزن اثرگذار هریک از پارامترها که در مرحله قبل محاسبه شده است؛ شاخص ارزیابی گازخیزی زغال‌سنگ محاسبه گردد.

۴-۲ تعیین پارامترهای موثر

انتخاب پارامترهای مهم و ترکیب این پارامترها در کنار هم یکی از مهم‌ترین مراحل به شمار می‌رود. در این پژوهش از ۱۴ پارامتر استفاده شده است؛ که در فصل دوم به آن‌ها اشاره شد. به گونه‌ای این پارامترها انتخاب شده‌اند که تمامی پارامترهای موثر فرآیند گازخیزی مورد بررسی قرار بگیرد.

پارامترها به شرح زیر هستند:

P₁ : نوع زغال‌سنگ (درجه زغال شدگی)

P₂ : نوع و درصد حضور ماسرال

P₃ : میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی

P₄ : درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی‌ها از جمله پیریت ، گوگرد و

P₅ : میزان ارزش و درجه حرارتی زغال‌سنگ

P₆: گسل خوردگی و درصد حضور آن‌ها در لایه

P₇: مقدار گاز محتوی لایه

P₈: ضخامت لایه زغال سنگ

P₉: عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره

P₁₀: فرآوانی ناپیوستگی‌ها و میزان بازشدگی و آرایش قرار گیری کلیت‌ها

P₁₁: نفوذپذیری لایه زغال سنگ

P₁₂: ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه کار)

P₁₃: توان تولید (سرعت ناوزنجیری-سرعت پیشروی و استخراج)

P₁₄: میزان تولید دوره‌ای و مقدار ذخیره کل

۳-۴ ساختار روش Fuzzy DEMATEL اجرا شده بر پارامترهای موثر بر گازخیزی

به منظور رسیدن به وزن هر پارامتر موثر بر فرآیند گازخیزی از روش Fuzzy DEMATEL استفاده می‌گردد. در این راستا روش Fuzzy DEMATEL با هدف تعیین ساختار و شبکه مسئله و همچنین تعیین ارتباطات داخلی به کار برده شده است. در مرحله بعد بر اساس روش Fuzzy DEMATEL وزن تاثیرگذاری هریک از پارامترها محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد با بازه‌بندی هریک از پارامترها که در فصل قبل شرح داده شد؛ شاخص ارزیابی گازخیزی زغال سنگ (CBM P_i) در غالب یک سیستم طبقه بندی جهت ارزیابی کیفی و کمی قابلیت انجام عملیات گاززدایی از لایه زغال سنگ ارائه می‌گردد.

هریک از مراحل عنوان شده در ادامه تشریح شده است. از آنجایی که توسعه مدل کیفی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره صورت گرفته است؛ بنابراین برای دریافت نظرات

کارشناسان از پرسشنامه‌هایی استفاده شده است. گروه کارشناسان و خبرگان مورد استفاده در این پژوهش شامل اساتید دانشگاهی و خبرگان صنعتی شاغل در معادن زغال‌سنگ ایران می‌باشد. پس از دریافت پرسشنامه‌ها و بررسی آن‌ها در نهایت از ۱۰ پرسشنامه برای تحلیل‌ها استفاده شده است. ۱۰ پرسشنامه مورد استفاده قرار گرفته در پیوست ۱ درج شده است.

جدول ۴-۱ ماتریس نظرسنجی تاثیر گذاري هر پارامتر بر ساير پارامترهاي موثر بر گازخيزي گاز متان از لايه‌هاي زغال‌سنگ

ماتریس نظرسنجی تاثیر گذاری هر پارامتر بر سایر پارامترهای موثر بر گازخیزی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	0													
P2		0												
P3			0											
P4				0										
P5					0									
P6						0								
P7							0							
P8								0						
P9									0					
P10										0				
P11											0			
P12												0		
P13													0	
P14														0
برای تکمیل ماتریس از اعداد زیر استفاده نمایید.														
	0		1		2		3		4					
	عدم وجود تاثیر (NO)		تاثیر بسیار کم (VL)		تاثیر کم (L)		تاثیر زیاد (H)		تاثیر بسیار زیاد (VH)					

۴-۴ استفاده از روش Fuzzy DEMATEL برای تمام پارامترها

در این قسمت کارشناسان شدت اثرگذاری تمامی پارامترها بر یکدیگر را بر اساس جدول ۳-۲ تعیین کردند و در نهایت با تبدیل نظرات کارشناسان به حالت فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی (شکل ۳-۲)، ماتریس نظرات فازی برای هریک از خبرگان تشکیل گردید. در آخر با استفاده از رابطه ۱-۳، میانگین نظرات کارشناسان به صورت ماتریس میانگین نظرات طبق جداول ۲-۴ تا ۴-۴ محاسبه و گزارش می‌گردد.

جدول ۴-۲ - ماتریس میانگین نظرات

	P1			P2			P3		
P1	0.00000	0.00000	0.25000	0.57500	0.80000	0.90000	0.27500	0.42500	0.62500
P2	0.47500	0.70000	0.87500	0.00000	0.00000	0.25000	0.02500	0.10000	0.35000
P3	0.17500	0.32500	0.55000	0.05000	0.20000	0.45000	0.00000	0.00000	0.25000
P4	0.27500	0.47500	0.72500	0.25000	0.42500	0.65000	0.07500	0.20000	0.45000
P5	0.40000	0.62500	0.80000	0.42500	0.65000	0.85000	0.22500	0.37500	0.60000
P6	0.20000	0.35000	0.57500	0.12500	0.25000	0.47500	0.27500	0.50000	0.75000
P7	0.50000	0.72500	0.90000	0.45000	0.70000	0.85000	0.25000	0.47500	0.72500
P8	0.17500	0.32500	0.57500	0.07500	0.22500	0.47500	0.12500	0.30000	0.55000
P9	0.27500	0.45000	0.70000	0.07500	0.15000	0.40000	0.15000	0.40000	0.65000
P10	0.10000	0.17500	0.42500	0.10000	0.15000	0.37500	0.37500	0.57500	0.77500
P11	0.37500	0.55000	0.77500	0.12500	0.22500	0.47500	0.25000	0.45000	0.65000
P12	0.12500	0.22500	0.47500	0.10000	0.20000	0.45000	0.00000	0.10000	0.35000
P13	0.15000	0.22500	0.45000	0.02500	0.10000	0.35000	0.07500	0.17500	0.42500
P14	0.07500	0.12500	0.37500	0.07500	0.15000	0.40000	0.07500	0.17500	0.42500
	P4			P5			P6		
P1	0.45000	0.67500	0.87500	0.62500	0.87500	0.95000	0.10000	0.20000	0.45000
P2	0.27500	0.47500	0.70000	0.47500	0.70000	0.85000	0.05000	0.12500	0.37500
P3	0.17500	0.35000	0.57500	0.32500	0.50000	0.67500	0.15000	0.32500	0.55000
P4	0.00000	0.00000	0.25000	0.55000	0.77500	0.90000	0.07500	0.15000	0.40000
P5	0.32500	0.50000	0.70000	0.00000	0.00000	0.25000	0.05000	0.12500	0.37500
P6	0.25000	0.45000	0.70000	0.05000	0.12500	0.37500	0.00000	0.00000	0.25000
P7	0.42500	0.65000	0.87500	0.35000	0.57500	0.80000	0.32500	0.50000	0.70000
P8	0.32500	0.50000	0.70000	0.00000	0.10000	0.35000	0.17500	0.37500	0.62500
P9	0.32500	0.55000	0.75000	0.15000	0.30000	0.52500	0.15000	0.37500	0.62500
P10	0.35000	0.55000	0.72500	0.10000	0.22500	0.47500	0.40000	0.62500	0.80000
P11	0.25000	0.45000	0.67500	0.15000	0.27500	0.50000	0.20000	0.32500	0.52500
P12	0.05000	0.12500	0.37500	0.05000	0.12500	0.37500	0.17500	0.30000	0.52500
P13	0.07500	0.15000	0.40000	0.05000	0.10000	0.35000	0.10000	0.20000	0.45000
P14	0.05000	0.15000	0.40000	0.05000	0.10000	0.35000	0.10000	0.20000	0.45000

جدول ۳-۴- ادامه ماتریس میانگین نظرات

	P7			P8			P9		
P1	0.57500	0.80000	0.90000	0.17500	0.30000	0.52500	0.17500	0.32500	0.57500
P2	0.50000	0.72500	0.85000	0.05000	0.12500	0.37500	0.10000	0.17500	0.40000
P3	0.30000	0.47500	0.70000	0.07500	0.12500	0.35000	0.10000	0.17500	0.42500
P4	0.42500	0.65000	0.82500	0.22500	0.37500	0.60000	0.15000	0.25000	0.47500
P5	0.35000	0.57500	0.77500	0.12500	0.22500	0.45000	0.10000	0.17500	0.42500
P6	0.45000	0.67500	0.82500	0.17500	0.35000	0.60000	0.07500	0.25000	0.50000
P7	0.00000	0.00000	0.25000	0.37500	0.55000	0.72500	0.35000	0.52500	0.70000
P8	0.45000	0.65000	0.80000	0.00000	0.00000	0.25000	0.02500	0.10000	0.35000
P9	0.35000	0.52500	0.72500	0.07500	0.22500	0.45000	0.00000	0.00000	0.25000
P10	0.45000	0.65000	0.75000	0.02500	0.15000	0.40000	0.07500	0.20000	0.45000
P11	0.52500	0.72500	0.82500	0.22500	0.40000	0.62500	0.27500	0.42500	0.65000
P12	0.30000	0.47500	0.67500	0.17500	0.30000	0.52500	0.12500	0.27500	0.52500
P13	0.25000	0.42500	0.67500	0.17500	0.27500	0.47500	0.07500	0.20000	0.45000
P14	0.22500	0.40000	0.65000	0.15000	0.25000	0.47500	0.10000	0.20000	0.45000
	P10			P11			P12		
P1	0.25000	0.47500	0.72500	0.40000	0.62500	0.82500	0.10000	0.22500	0.47500
P2	0.07500	0.20000	0.45000	0.22500	0.40000	0.62500	0.07500	0.17500	0.42500
P3	0.25000	0.42500	0.65000	0.20000	0.42500	0.67500	0.25000	0.47500	0.72500
P4	0.35000	0.50000	0.65000	0.32500	0.50000	0.72500	0.12500	0.30000	0.55000
P5	0.05000	0.15000	0.40000	0.05000	0.15000	0.40000	0.20000	0.35000	0.60000
P6	0.42500	0.65000	0.82500	0.30000	0.52500	0.75000	0.55000	0.80000	0.95000
P7	0.47500	0.67500	0.77500	0.45000	0.65000	0.77500	0.42500	0.65000	0.85000
P8	0.15000	0.32500	0.57500	0.32500	0.52500	0.72500	0.60000	0.82500	0.90000
P9	0.15000	0.37500	0.62500	0.32500	0.52500	0.77500	0.55000	0.77500	0.90000
P10	0.00000	0.00000	0.25000	0.55000	0.77500	0.87500	0.47500	0.72500	0.90000
P11	0.35000	0.55000	0.70000	0.00000	0.00000	0.25000	0.25000	0.47500	0.72500
P12	0.12500	0.25000	0.47500	0.05000	0.17500	0.42500	0.00000	0.00000	0.25000
P13	0.07500	0.20000	0.45000	0.05000	0.17500	0.42500	0.40000	0.55000	0.67500
P14	0.10000	0.22500	0.47500	0.02500	0.12500	0.37500	0.40000	0.57500	0.72500

جدول ۴-۴- ادامه ماتریس میانگین نظرات

	P13			P14		
P1	0.12500	0.22500	0.47500	0.12500	0.25000	0.50000
P2	0.07500	0.17500	0.42500	0.07500	0.17500	0.42500
P3	0.30000	0.50000	0.70000	0.27500	0.47500	0.67500
P4	0.22500	0.42500	0.67500	0.27500	0.50000	0.72500
P5	0.25000	0.40000	0.62500	0.10000	0.22500	0.47500
P6	0.42500	0.65000	0.85000	0.25000	0.42500	0.67500
P7	0.37500	0.60000	0.82500	0.30000	0.52500	0.77500
P8	0.62500	0.85000	0.90000	0.60000	0.82500	0.90000
P9	0.52500	0.75000	0.87500	0.27500	0.42500	0.65000
P10	0.40000	0.62500	0.85000	0.30000	0.52500	0.77500
P11	0.25000	0.45000	0.70000	0.07500	0.25000	0.50000
P12	0.55000	0.77500	0.85000	0.55000	0.77500	0.90000
P13	0.00000	0.00000	0.25000	0.52500	0.72500	0.85000
P14	0.47500	0.65000	0.77500	0.00000	0.00000	0.25000

سپس براساس رابطه ۳-۲ ماتریس میانگین نظرات نرمال شده به صورت جداول ۴-۵ تا ۴-۷ محاسبه و گزارش می‌گردد.

جدول ۴-۵- ماتریس میانگین نظرات نرمال شده

	P1			P2			P3		
P1	0.00000	0.00000	0.01070	0.02460	0.03422	0.03850	0.01176	0.01818	0.02674
P2	0.02032	0.02995	0.03743	0.00000	0.00000	0.01070	0.00107	0.00428	0.01497
P3	0.00749	0.01390	0.02353	0.00214	0.00856	0.01925	0.00000	0.00000	0.01070
P4	0.01176	0.02032	0.03102	0.01070	0.01818	0.02781	0.00321	0.00856	0.01925
P5	0.01711	0.02674	0.03422	0.01818	0.02781	0.03636	0.00963	0.01604	0.02567
P6	0.00856	0.01497	0.02460	0.00535	0.01070	0.02032	0.01176	0.02139	0.03209
P7	0.02139	0.03102	0.03850	0.01925	0.02995	0.03636	0.01070	0.02032	0.03102
P8	0.00749	0.01390	0.02460	0.00321	0.00963	0.02032	0.00535	0.01283	0.02353
P9	0.01176	0.01925	0.02995	0.00321	0.00642	0.01711	0.00642	0.01711	0.02781
P10	0.00428	0.00749	0.01818	0.00428	0.00642	0.01604	0.01604	0.02460	0.03316
P11	0.01604	0.02353	0.03316	0.00535	0.00963	0.02032	0.01070	0.01925	0.02781
P12	0.00535	0.00963	0.02032	0.00428	0.00856	0.01925	0.00000	0.00428	0.01497
P13	0.00642	0.00963	0.01925	0.00107	0.00428	0.01497	0.00321	0.00749	0.01818
P14	0.00321	0.00535	0.01604	0.00321	0.00642	0.01711	0.00321	0.00749	0.01818

جدول ۴-۶ - ادامه ماتریس میانگین نظرات نرمال شده

	P4			P5			P6		
P1	0.01925	0.02888	0.03743	0.02674	0.03743	0.04064	0.00428	0.00856	0.01925
P2	0.01176	0.02032	0.02995	0.02032	0.02995	0.03636	0.00214	0.00535	0.01604
P3	0.00749	0.01497	0.02460	0.01390	0.02139	0.02888	0.00642	0.01390	0.02353
P4	0.00000	0.00000	0.01070	0.02353	0.03316	0.03850	0.00321	0.00642	0.01711
P5	0.01390	0.02139	0.02995	0.00000	0.00000	0.01070	0.00214	0.00535	0.01604
P6	0.01070	0.01925	0.02995	0.00214	0.00535	0.01604	0.00000	0.00000	0.01070
P7	0.01818	0.02781	0.03743	0.01497	0.02460	0.03422	0.01390	0.02139	0.02995
P8	0.01390	0.02139	0.02995	0.00000	0.00428	0.01497	0.00749	0.01604	0.02674
P9	0.01390	0.02353	0.03209	0.00642	0.01283	0.02246	0.00642	0.01604	0.02674
P10	0.01497	0.02353	0.03102	0.00428	0.00963	0.02032	0.01711	0.02674	0.03422
P11	0.01070	0.01925	0.02888	0.00642	0.01176	0.02139	0.00856	0.01390	0.02246
P12	0.00214	0.00535	0.01604	0.00214	0.00535	0.01604	0.00749	0.01283	0.02246
P13	0.00321	0.00642	0.01711	0.00214	0.00428	0.01497	0.00428	0.00856	0.01925
P14	0.00214	0.00642	0.01711	0.00214	0.00428	0.01497	0.00428	0.00856	0.01925

	P7			P8			P9		
P1	0.02460	0.03422	0.03850	0.00749	0.01283	0.02246	0.00749	0.01390	0.02460
P2	0.02139	0.03102	0.03636	0.00214	0.00535	0.01604	0.00428	0.00749	0.01711
P3	0.01283	0.02032	0.02995	0.00321	0.00535	0.01497	0.00428	0.00749	0.01818
P4	0.01818	0.02781	0.03529	0.00963	0.01604	0.02567	0.00642	0.01070	0.02032
P5	0.01497	0.02460	0.03316	0.00535	0.00963	0.01925	0.00428	0.00749	0.01818
P6	0.01925	0.02888	0.03529	0.00749	0.01497	0.02567	0.00321	0.01070	0.02139
P7	0.00000	0.00000	0.01070	0.01604	0.02353	0.03102	0.01497	0.02246	0.02995
P8	0.01925	0.02781	0.03422	0.00000	0.00000	0.01070	0.00107	0.00428	0.01497
P9	0.01497	0.02246	0.03102	0.00321	0.00963	0.01925	0.00000	0.00000	0.01070
P10	0.01925	0.02781	0.03209	0.00107	0.00642	0.01711	0.00321	0.00856	0.01925
P11	0.02246	0.03102	0.03529	0.00963	0.01711	0.02674	0.01176	0.01818	0.02781
P12	0.01283	0.02032	0.02888	0.00749	0.01283	0.02246	0.00535	0.01176	0.02246
P13	0.01070	0.01818	0.02888	0.00749	0.01176	0.02032	0.00321	0.00856	0.01925
P14	0.00963	0.01711	0.02781	0.00642	0.01070	0.02032	0.00428	0.00856	0.01925

جدول ۷-۴- ادامه ماتریس میانگین نظرات نرمال شده

	P10			P11			P12		
P1	0.01070	0.02032	0.03102	0.01711	0.02674	0.03529	0.00428	0.00963	0.02032
P2	0.00321	0.00856	0.01925	0.00963	0.01711	0.02674	0.00321	0.00749	0.01818
P3	0.01070	0.01818	0.02781	0.00856	0.01818	0.02888	0.01070	0.02032	0.03102
P4	0.01497	0.02139	0.02781	0.01390	0.02139	0.03102	0.00535	0.01283	0.02353
P5	0.00214	0.00642	0.01711	0.00214	0.00642	0.01711	0.00856	0.01497	0.02567
P6	0.01818	0.02781	0.03529	0.01283	0.02246	0.03209	0.02353	0.03422	0.04064
P7	0.02032	0.02888	0.03316	0.01925	0.02781	0.03316	0.01818	0.02781	0.03636
P8	0.00642	0.01390	0.02460	0.01390	0.02246	0.03102	0.02567	0.03529	0.03850
P9	0.00642	0.01604	0.02674	0.01390	0.02246	0.03316	0.02353	0.03316	0.03850
P10	0.00000	0.00000	0.01070	0.02353	0.03316	0.03743	0.02032	0.03102	0.03850
P11	0.01497	0.02353	0.02995	0.00000	0.00000	0.01070	0.01070	0.02032	0.03102
P12	0.00535	0.01070	0.02032	0.00214	0.00749	0.01818	0.00000	0.00000	0.01070
P13	0.00321	0.00856	0.01925	0.00214	0.00749	0.01818	0.01711	0.02353	0.02888
P14	0.00428	0.00963	0.02032	0.00107	0.00535	0.01604	0.01711	0.02460	0.03102

	P13			P14		
P1	0.00535	0.00963	0.02032	0.00535	0.01070	0.02139
P2	0.00321	0.00749	0.01818	0.00321	0.00749	0.01818
P3	0.01283	0.02139	0.02995	0.01176	0.02032	0.02888
P4	0.00963	0.01818	0.02888	0.01176	0.02139	0.03102
P5	0.01070	0.01711	0.02674	0.00428	0.00963	0.02032
P6	0.01818	0.02781	0.03636	0.01070	0.01818	0.02888
P7	0.01604	0.02567	0.03529	0.01283	0.02246	0.03316
P8	0.02674	0.03636	0.03850	0.02567	0.03529	0.03850
P9	0.02246	0.03209	0.03743	0.01176	0.01818	0.02781
P10	0.01711	0.02674	0.03636	0.01283	0.02246	0.03316
P11	0.01070	0.01925	0.02995	0.00321	0.01070	0.02139
P12	0.02353	0.03316	0.03636	0.02353	0.03316	0.03850
P13	0.00000	0.00000	0.01070	0.02246	0.03102	0.03636
P14	0.02032	0.02781	0.03316	0.00000	0.00000	0.01070

ماتریس روابط کلی پارامترهای موثر بر گازخیزی لایه بر اساس رابطه ۳-۴ محاسبه و در جداول ۴-۸ تا

۴-۱۰ گزارش شده است.

جدول ۸-۴- ماتریس روابط کلی

	P1			P2			P3		
	L	m	u	L	m	u	L	m	u
P1	0.00265	0.00676	0.02702	0.02627	0.03894	0.05216	0.01308	0.02267	0.04065
P2	0.02177	0.03406	0.05025	0.00169	0.00447	0.02275	0.00213	0.00783	0.02667
P3	0.00880	0.01809	0.03704	0.00329	0.01222	0.03126	0.00096	0.00360	0.02300
P4	0.01362	0.02543	0.04574	0.01223	0.02259	0.04092	0.00451	0.01278	0.03255
P5	0.01851	0.03084	0.04745	0.01934	0.03134	0.04802	0.01036	0.01899	0.03722
P6	0.01022	0.02003	0.03988	0.00663	0.01487	0.03375	0.01287	0.02547	0.04575
P7	0.02372	0.03751	0.05604	0.02104	0.03519	0.05178	0.01235	0.02571	0.04677
P8	0.00911	0.01871	0.03907	0.00447	0.01366	0.03313	0.00635	0.01672	0.03657
P9	0.01333	0.02407	0.04482	0.00455	0.01073	0.03051	0.00742	0.02107	0.04126
P10	0.00621	0.01286	0.03318	0.00560	0.01062	0.02911	0.01713	0.02855	0.04633
P11	0.01768	0.02831	0.04760	0.00686	0.01405	0.03339	0.01189	0.02333	0.04096
P12	0.00638	0.01294	0.03233	0.00505	0.01125	0.02979	0.00075	0.00719	0.02598
P13	0.00724	0.01243	0.03049	0.00184	0.00679	0.02498	0.00377	0.00988	0.02838
P14	0.00407	0.00819	0.02723	0.00381	0.00863	0.02684	0.00371	0.00972	0.02819

	P4			P5			P6		
	L	m	u	L	m	u	L	m	u
P1	0.02136	0.03483	0.05336	0.02873	0.04275	0.05504	0.00556	0.01267	0.03236
P2	0.01331	0.02476	0.04323	0.02179	0.03399	0.04837	0.00296	0.00819	0.02673
P3	0.00876	0.01924	0.03837	0.01489	0.02489	0.04109	0.00729	0.01697	0.03493
P4	0.00195	0.00563	0.02611	0.02486	0.03729	0.05176	0.00437	0.01019	0.02958
P5	0.01525	0.02561	0.04348	0.00178	0.00481	0.02363	0.00294	0.00824	0.02714
P6	0.01231	0.02447	0.04550	0.00368	0.01019	0.03031	0.00138	0.00442	0.02415
P7	0.02063	0.03478	0.05544	0.01725	0.03084	0.05054	0.01540	0.02619	0.04476
P8	0.01523	0.02600	0.04457	0.00145	0.00877	0.02847	0.00867	0.01980	0.03910
P9	0.01530	0.02835	0.04725	0.00788	0.01739	0.03634	0.00750	0.01977	0.03946
P10	0.01650	0.02839	0.04588	0.00587	0.01417	0.03386	0.01824	0.03037	0.04664
P11	0.01255	0.02460	0.04396	0.00812	0.01662	0.03510	0.00976	0.01783	0.03502
P12	0.00318	0.00894	0.02851	0.00293	0.00818	0.02702	0.00821	0.01545	0.03276
P13	0.00406	0.00946	0.02872	0.00286	0.00683	0.02532	0.00495	0.01095	0.02897
P14	0.00295	0.00927	0.02852	0.00277	0.00665	0.02514	0.00492	0.01084	0.02883

جدول ۹-۴-ادامه ماتریس روابط کلی

	P7			P8			P9		
	L	m	u	L	m	u	L	m	u
P1	0.04202	0.04202	0.05698	0.00883	0.01688	0.03517	0.00873	0.01759	0.03691
P2	0.03639	0.03639	0.05149	0.00318	0.00852	0.02671	0.00520	0.01036	0.02747
P3	0.02625	0.02625	0.04610	0.00415	0.00862	0.02627	0.00505	0.01040	0.02911
P4	0.03469	0.03469	0.05276	0.01071	0.01955	0.03763	0.00742	0.01399	0.03207
P5	0.03034	0.03034	0.04893	0.00627	0.01260	0.03009	0.00509	0.01026	0.02876
P6	0.03611	0.03611	0.05363	0.00872	0.01888	0.03835	0.00430	0.01433	0.03383
P7	0.01069	0.01069	0.03270	0.01747	0.02811	0.04537	0.01620	0.02659	0.04391
P8	0.03473	0.03473	0.05165	0.00143	0.00417	0.02306	0.00221	0.00799	0.02697
P9	0.02965	0.02965	0.04912	0.00449	0.01358	0.03185	0.00105	0.00362	0.02302
P10	0.03495	0.03495	0.04990	0.00253	0.01065	0.02968	0.00442	0.01231	0.03139
P11	0.03784	0.03784	0.05273	0.01075	0.02071	0.03870	0.01272	0.02140	0.03942
P12	0.02506	0.02506	0.04332	0.00830	0.01547	0.03244	0.00596	0.01406	0.03212
P13	0.02228	0.02228	0.04231	0.00819	0.01405	0.02970	0.00378	0.01063	0.02837
P14	0.02101	0.02101	0.04106	0.00707	0.01287	0.02953	0.00477	0.01050	0.02819

	P10			P11			P12		
	L	m	u	L	m	u	L	m	u
P1	0.01248	0.02555	0.04559	0.01906	0.03243	0.05090	0.00665	0.01657	0.03793
P2	0.00452	0.01259	0.03152	0.01100	0.02127	0.03966	0.00465	0.01217	0.03247
P3	0.01178	0.02208	0.04055	0.00975	0.02231	0.04234	0.01241	0.02563	0.04627
P4	0.01627	0.02577	0.04156	0.01552	0.02632	0.04564	0.00757	0.01917	0.04017
P5	0.00338	0.01047	0.02981	0.00360	0.01098	0.03077	0.00998	0.01962	0.04024
P6	0.01967	0.03268	0.04983	0.01455	0.02794	0.04767	0.02571	0.04083	0.05805
P7	0.02227	0.03500	0.04989	0.02166	0.03479	0.05112	0.02129	0.03628	0.05628
P8	0.00804	0.01891	0.03864	0.01529	0.02728	0.04560	0.02787	0.04161	0.05498
P9	0.00793	0.02101	0.04119	0.01528	0.02746	0.04825	0.02544	0.03934	0.05543
P10	0.00197	0.00563	0.02529	0.02498	0.03794	0.05212	0.02258	0.03762	0.05542
P11	0.01651	0.02831	0.04390	0.00204	0.00588	0.02604	0.01298	0.02687	0.04767
P12	0.00627	0.01402	0.03190	0.00317	0.01109	0.03049	0.00192	0.00529	0.02495
P13	0.00406	0.01152	0.03013	0.00300	0.01059	0.02969	0.01842	0.02750	0.04184
P14	0.00501	0.01235	0.03095	0.00190	0.00837	0.02744	0.01835	0.02832	0.04370

جدول ۱۰-۴- ادامه ماتریس روابط کلی

	P113			P114		
	L	m	u	L	m	u
P1	0.00782	0.01676	0.03820	0.00727	0.01676	0.03792
P2	0.00474	0.01232	0.03272	0.00439	0.01165	0.03171
P3	0.01461	0.02687	0.04551	0.01324	0.02514	0.04344
P4	0.01184	0.02452	0.04562	0.01344	0.02674	0.04654
P5	0.01221	0.02193	0.04159	0.00578	0.01432	0.03455
P6	0.02065	0.03493	0.05425	0.01302	0.02493	0.04596
P7	0.01939	0.03453	0.05562	0.01564	0.03031	0.05223
P8	0.02916	0.04304	0.05535	0.02789	0.04144	0.05440
P9	0.02461	0.03866	0.05474	0.01388	0.02456	0.04435
P10	0.01959	0.03376	0.05367	0.01498	0.02876	0.04943
P11	0.01304	0.02600	0.04691	0.00531	0.01695	0.03758
P12	0.02508	0.03771	0.05028	0.02489	0.03722	0.05149
P13	0.00176	0.00478	0.02425	0.02361	0.03449	0.04851
P14	0.02159	0.03163	0.04603	0.00154	0.00421	0.02331

در نهایت ماتریس روابط کلی فازی با استفاده از روش BNP که در فصل قبل شرح داده شده است؛ به

ماتریس روابط کلی قطعی تبدیل می‌گردد و در جدول ۱۱-۴ ارائه شده است.

جدول ۱۱-۴- ماتریس روابط کلی قطعی

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7
P1	0.01214	0.03912	0.02547	0.03652	0.04217	0.01686	0.04701
P2	0.03536	0.00963	0.01221	0.02710	0.03472	0.01263	0.04142
P3	0.02131	0.01559	0.00919	0.02212	0.02696	0.01973	0.03286
P4	0.02826	0.02525	0.01662	0.01123	0.03797	0.01471	0.04071
P5	0.03227	0.03290	0.02219	0.02811	0.01007	0.01277	0.03653
P6	0.02338	0.01841	0.02803	0.02743	0.01473	0.00998	0.04195
P7	0.03909	0.03600	0.02828	0.03695	0.03288	0.02878	0.01803
P8	0.02230	0.01708	0.01988	0.02860	0.01290	0.02252	0.04037
P9	0.02741	0.01526	0.02325	0.03030	0.02054	0.02224	0.03614
P10	0.01742	0.01511	0.03067	0.03025	0.01797	0.03175	0.03993
P11	0.03120	0.01810	0.02540	0.02704	0.01994	0.02087	0.04280
P12	0.01721	0.01536	0.01131	0.01355	0.01271	0.01881	0.03115
P13	0.01672	0.01120	0.01401	0.01408	0.01167	0.01496	0.02896
P14	0.01316	0.01310	0.01387	0.01358	0.01152	0.01486	0.02769
	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
P1	0.02029	0.02108	0.02787	0.03413	0.02038	0.02093	0.02065
P2	0.01280	0.01434	0.01621	0.02398	0.01643	0.01659	0.01592
P3	0.01301	0.01485	0.02480	0.02480	0.02810	0.02900	0.02727
P4	0.02263	0.01783	0.02787	0.02916	0.02230	0.02733	0.02890
P5	0.01632	0.01470	0.01456	0.01512	0.02328	0.02524	0.01822
P6	0.02199	0.01749	0.03406	0.03005	0.04153	0.03661	0.02797
P7	0.03032	0.02890	0.03572	0.03586	0.03795	0.03651	0.03273
P8	0.00955	0.01239	0.02186	0.02939	0.04149	0.04252	0.04124
P9	0.01664	0.00923	0.02337	0.03033	0.04007	0.03934	0.02760
P10	0.01429	0.01604	0.01096	0.03835	0.03854	0.03567	0.03106
P11	0.02339	0.02452	0.02958	0.01132	0.02917	0.02865	0.01995
P12	0.01874	0.01738	0.01740	0.01492	0.01072	0.03769	0.03787
P13	0.01732	0.01426	0.01524	0.01443	0.02925	0.01027	0.03554
P14	0.01649	0.01449	0.01610	0.01257	0.03012	0.03308	0.00969

۴-۴-۱ بررسی تاثیر پارامترها بر یکدیگر

با استفاده از ماتریس روابط کلی قطعی، بردارهای تاثیر گذاری، تاثیر پذیری، برتری و ارتباط محاسبه و در

جدول ۱۲-۴ گزارش گردیده است.

جدول ۱۲-۴ جدول مقادیر تاثیر گذاری ، تاثیر پذیری، ارتباط و برتری پارامترهای موثر بر گازخیزی

پارامتر	R	C	R+C	R-C
P1	0.38463342	0.337222817	0.721856239	0.04741
P2	0.28934526	0.28212578	0.571471036	0.00722
P3	0.3096021	0.280373686	0.589975786	0.02923
P4	0.35076572	0.346864421	0.697630139	0.0039
P5	0.30228499	0.306737164	0.609022157	-0.0045
P6	0.37360622	0.261494229	0.635100454	0.11211
P7	0.45800666	0.50556285	0.963569509	-0.0476
P8	0.36209287	0.253768504	0.615861374	0.10832
P9	0.36172512	0.237494956	0.599220077	0.12423
P10	0.36800903	0.315605518	0.683614552	0.0524
P11	0.35191937	0.344387481	0.696306848	0.00753
P12	0.2747953	0.409347659	0.684142956	-0.1346
P13	0.24789386	0.419428885	0.667322743	-0.1715
P14	0.24032659	0.37459256	0.614919151	-0.1343

جدول ۴-۱۴ جدول ترتیبی تاثیر گذاری،تاثیر پذیری، برتری و ارتباط پارامترهای موثر بر گازخیزی

جدول ترتیبی از کمترین به بیشترین مقادیر تاثیر گذاری،تاثیر پذیری، ارتباط و برتری							
R-C پارامتر		R+C پارامتر		C پارامتر		R پارامتر	
P13	-0.17154	P2	0.571471	P9	0.237495	P14	0.240327
P12	-0.13455	P3	0.589976	P8	0.253769	P13	0.247894
P14	-0.13427	P9	0.59922	P6	0.261494	P12	0.274795
P7	-0.04756	P5	0.609022	P3	0.280374	P2	0.289345
P5	-0.00445	P14	0.614919	P2	0.282126	P5	0.302285
P4	0.003901	P8	0.615861	P5	0.306737	P3	0.309602
P2	0.007219	P6	0.6351	P10	0.315606	P4	0.350766
P11	0.007532	P13	0.667323	P1	0.337223	P11	0.351919
P3	0.029228	P10	0.683615	P11	0.344387	P9	0.361725
P1	0.047411	P12	0.684143	P4	0.346864	P8	0.362093
P10	0.052404	P11	0.696307	P14	0.374593	P10	0.368009
P8	0.108324	P4	0.69763	P12	0.409348	P6	0.373606
P6	0.112112	P1	0.721856	P13	0.419429	P1	0.384633
P9	0.12423	P7	0.96357	P7	0.505563	P7	0.458007

با توجه به جدول ترتیبی مقادیر تاثیر گذاری (R) ، تاثیر پذیری (C) ، برتری (R+C) و ارتباط (R-C) که از

ماتریس قطعی حاصل از نظرات خبرگان بر حسب روش فازی دی متل، محاسبه شده است؛ بیشترین و

کمترین میزان تاثیر گذاری، تاثیر پذیری، برتری و ارتباط به شرح زیر است:

✓ بیشترین تاثیر گذاری بر سایر پارامترها، مربوط به پارامتر P7 یعنی مقدار گاز محتوی می باشد. پس از آن نوع زغال سنگ و درجه زغال شدگی بیشترین تاثیر را بر روی سایر پارامترها دارد. کمترین تاثیر گذاری مربوط به پارامتر p14 یعنی میزان تولید دوره ای و مقدار ذخیره کل لایه زغال سنگ است. ترتیب تاثیر گذاری سایر پارامترهای موثر بر گاز خیزی بر یکدیگر، در شکل ۱-۴ به صورت ترتیبی از بیشترین اثر گذاری به کمترین اثر گذاری، آمده است.

✓ بیشترین تاثیر پذیری مربوط می شود به پارامتر پارامتر P7 یعنی مقدار گاز محتوی می باشد. پس از آن بیشترین تاثیر پذیری مربوط به p13 که معرف توان تولید است. همچنین کمترین میزان تاثیر پذیری مربوط به پارامتر p9 یعنی عمق قرار گیری لایه و ضخامت روباره و پارامتر p8 که معرف ضخامت لایه می باشد؛ است. ترتیب تاثیر پذیری سایر پارامترهای موثر بر گاز خیزی در شکل ۲-۴ به صورت ترتیبی از بیشترین تاثیر پذیری به کمترین تاثیر پذیری، قابل مشاهده است.

✓ بیشترین مقدار برتری یعنی بالاترین درجه اهمیت که بیانگر میزان تاثیر گذاشته بر سایر پارامترهای دیگر و تاثیر گرفته شده از سایر پارامترهای دیگر است؛ مربوط به پارامتر P7 یعنی مقدار گاز محتوی می باشد. کمترین این مقدار مربوط به پارامتر p2 یعنی نوع و درصد حضور ماسرال ها می باشد. درجه اهمیت سایر پارامترها نیز در شکل ۳-۴ به ترتیب بیشترین درجه اهمیت (مقدار R+C) به کمترین درجه اهمیت آمده است.

✓ بیشترین مقدار ارتباط برای هر پارامتر در سیستم، مربوط به پارامتر p9 که معرف عمق قرار گیری لایه زغال سنگ و ضخامت روباره آن است؛ می باشد. در واقع این پارامتر در سیستم به عنوان یک پارامتر تاثیر گذار قطعی و یک متغییر علت شناخته شده است. کمترین میزان آن هم مربوط به پارامتر P13 توان تولید می باشد؛ که بیانگر تاثیر پذیری بالای این پارامتر از کل سیستم است. به طوری که به عنوان یک پارامتر تاثیر پذیر قطعی و معلول شناخته می شود. مابقی تاثیر گذاری

پارامترها (مقدار R-C) در شکل ۴-۴ به ترتیب نزولی آمده است.

بررسی دقیق‌تر نحوه تعامل پارامترها بایکدیگر توسط نمودار علی (برتری-ارتباط) که در شکل ۴-۷ قابل ملاحظه است؛ میسر می‌شود. در شکل‌های ۱-۴ تا ۴-۴ و جداول ۱۳-۴ ، ۱۴-۴ و ۱۷-۴ ، پارامترهای با دو رنگ آبی و زرد از یکدیگر تفکیک شده‌اند. پارامترهای آبی رنگ معرف پارامترهای قابل تغییر و پارامترهای زرد رنگ معرف پارامترهای غیر قابل تغییر هستند.

۱	• P7 - مقدار گاز محتوی
۲	• P1 - نوع زغالسنگ (درجه زغال شدگی)
۳	• P6 - گسل خوردگی و درصد حضور آن ها در لایه
۴	• P10 - فراوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها
۵	• P8 - ضخامت لایه زغالسنگ
۶	• P9 - عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره
۷	• P11 - نفوذپذیری لایه زغالسنگ
۸	• P4 - درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی ها از جمله پریت، گوگرد و...
۹	• P3 - میزان رطوبت و آب های زیرزمینی
۱۰	• P5 - میزان ارزش و درجه حرارتی زغالسنگ
۱۱	• P2 - نوع و درصد حضور ماسرال
۱۲	• P12 - ابعاد پهنه استخراجی
۱۳	• P13 - توان تولید
۱۴	• P14 - میزان تولید دوره ای و مقدار ذخیره کل

شکل ۴-۱ ترتیب نزولی شاخص اثرگذاری هر پارامتر بر سایر پارامترهای موثر بر گازخیزی (R)

• P7- مقدار گاز محتوی	۱
• P13- توان تولید	۲
• P12- ابعاد پهنه استخراجی	۳
• P14- میزان تولید دوره ای و مقدار ذخیره کل	۴
• P4- درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی ها از جمله پریت، گوگرد و...	۵
• P11- نفوذپذیری لایه زغالسنگ	۶
• P1- نوع زغالسنگ (درجه زغال شدگی)	۷
• P10- فراوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها	۸
• P5- میزان ارزش و درجه حرارتی زغالسنگ	۹
• P2- نوع و درصد حضور ماسرال	۱۰
• P3- میزان رطوبت و آب های زیرزمینی	۱۱
• P6- گسل خوردگی و درصد حضور آن ها در لایه	۱۲
• P8- ضخامت لایه زغالسنگ	۱۳
• P9- عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره	۱۴

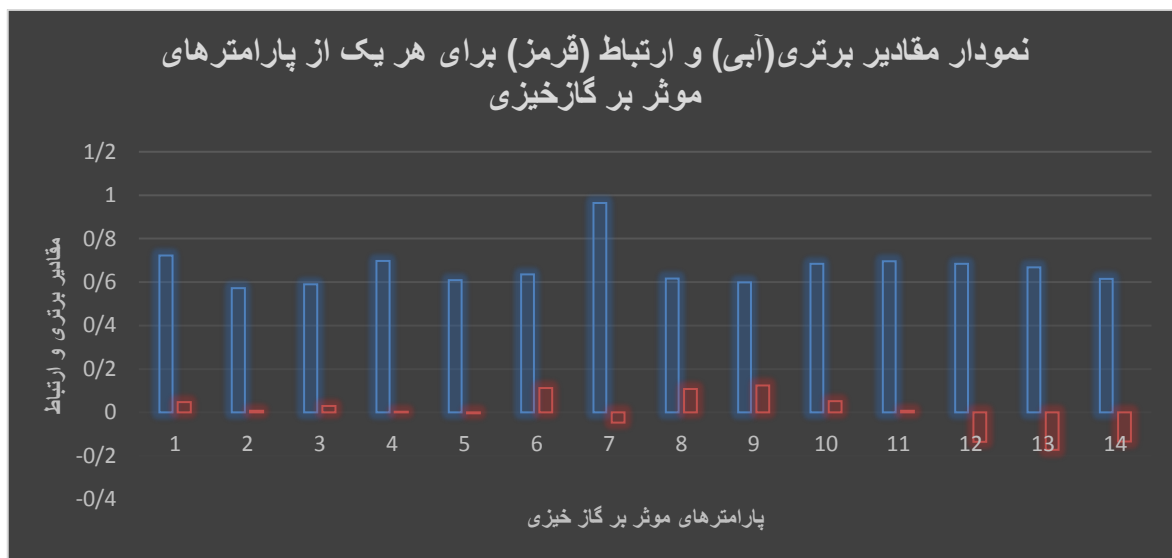
شکل ۲-۴ ترتیب نزولی شاخص تاثیرپذیری هر پارامتر از سایر پارامترهای موثر بر گازخیزی (C)

• P7- مقدار گاز محتوی	۱
• P1- نوع زغالسنگ (درجه زغال شدگی)	۲
• P4- درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی ها از جمله پریت، گوگرد و...	۳
• P11- نفوذپذیری لایه زغالسنگ	۴
• P12- ابعاد پهنه استخراجی	۵
• P10- فراوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها	۶
• P13- توان تولید	۷
• P6- گسل خوردگی و درصد حضور آن ها در لایه	۸
• P8- ضخامت لایه زغالسنگ	۹
• P14- میزان تولید دوره ای و مقدار ذخیره کل	۱۰
• P5- میزان ارزش و درجه حرارتی زغالسنگ	۱۱
• P9- عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره	۱۲
• P3- میزان رطوبت و آب های زیرزمینی	۱۳
• P2- نوع و درصد حضور ماسرال	۱۴

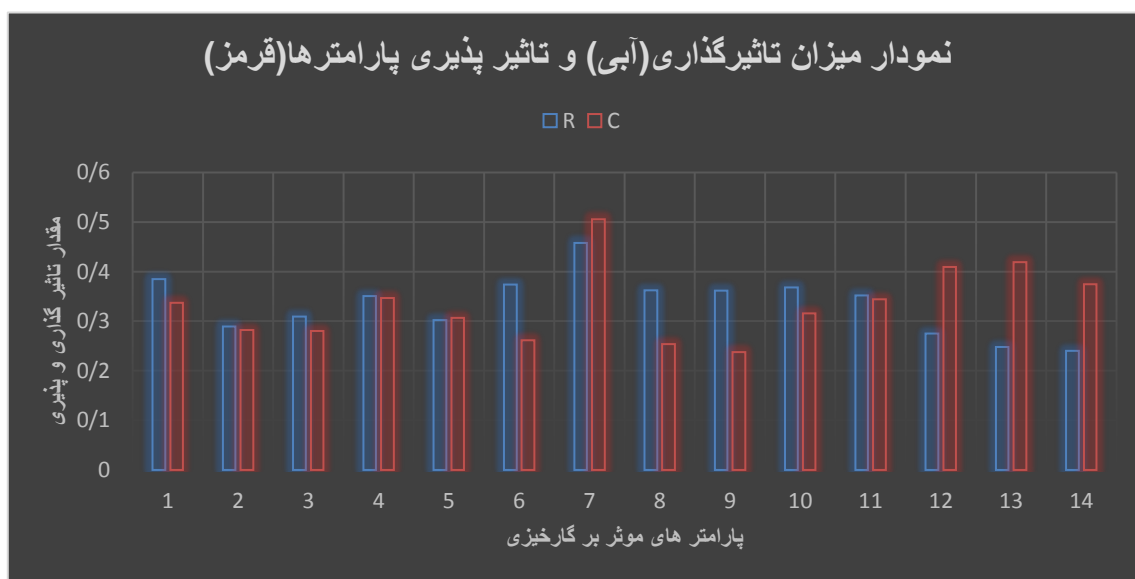
شکل ۳-۴ ترتیب نزولی شاخص برتری (درجه اهمیت) پارامترهای موثر بر گازخیزی (R+C)

• P9- عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره	۱
• P6- گسل خوردگی و درصد حضور آن ها در لایه	۲
• P8- ضخامت لایه زغالسنگ	۳
• P10- فراوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها	۴
• P1- نوع زغالسنگ (درجه زغال شدگی)	۵
• P3- میزان رطوبت و آب های زیرزمینی	۶
• P11- نفوذپذیری لایه زغالسنگ	۷
• P2- نوع و درصد حضور ماسرال	۸
• P4- درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی ها از جمله پیریت، گوگرد و...	۹
• P5- میزان ارزش و درجه حرارتی زغالسنگ	۱۰
• P7- مقدار گاز محتوی	۱۱
• P14- میزان تولید دوره ای و مقدار ذخیره کل	۱۲
• P12- ابعاد پهنه استخراجی	۱۳
• P13- توان تولید	۱۴

شکل ۴-۴ ترتیب نزولی مقدار ارتباط پارامترهای موثر بر گازخیزی (R-C)

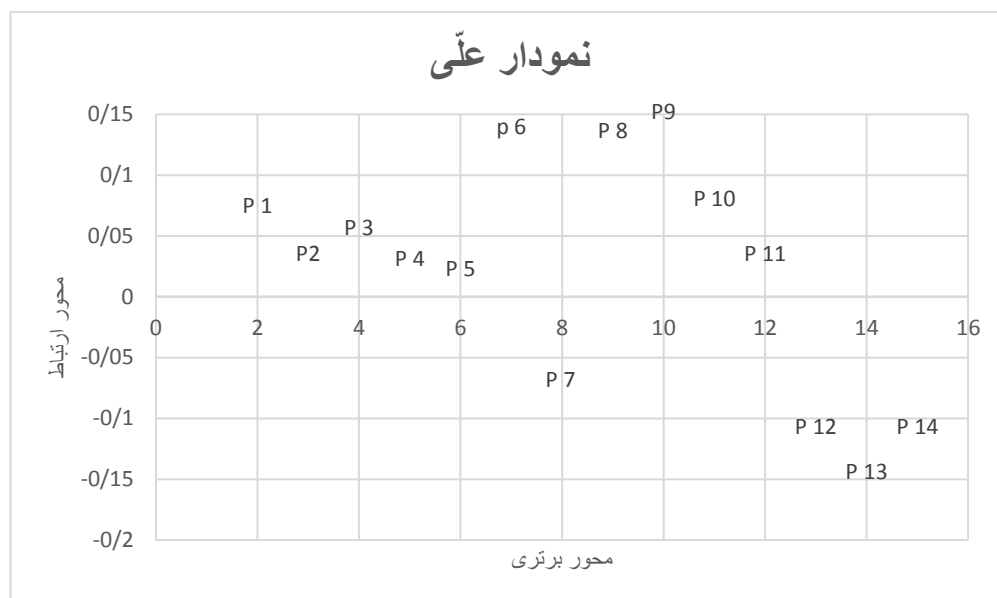


شکل ۴-۵ نمودار مقایسه مقادیر برتری با ارتباط هر پارامتر موثر بر گازخیزی



شکل ۴-۶ نمودار مقایسه میزان تاثیرگذاری (آبی) با تاثیر پذیری (قرمز) پارامترهای موثر بر گازخیزی

با توجه به نمودار شکل ۴-۶ میزان مشارکت هر پارامتر و نوع تعامل آن (تاثیرگذاری یا تاثیرپذیری) در ارتباط با سایر پارامترها مشخص است. بیشترین تاثیرگذاری و تاثیرپذیری در تعامل با سایر پارامترها، اختصاص دارد به پارامتر P7 که معرف مقدار گاز محتوی می‌باشد.



شکل ۴-۷ نمودار علی پارامترهای موثر بر گازخیزی

برای تعیین نوع تعامل پارامترها بایکدیگر از نمودار علی (برتری-ارتباط) که در شکل ۴-۷ قابل ملاحظه است؛ استفاده می‌شود. با توجه به قرار گیری موقعیت پارامترها در فضای منفی محور ارتباط (R-C) مشخص می‌گردد که پارامترهای P5، P7، P12، P13 و P14 به عنوان پارامترهای تاثیرپذیر قطعی و از نوع معلول هستند. از میان آن‌ها بیش‌ترین تاثیر پذیری قطعی به ترتیب مربوط به P13، P14، P12، P7 و P5 است. نحوه تعامل سایر پارامترها با یکدیگر به صورت تاثیرگذاری قطعی و از نوع علت است. در واقع آن دسته از پارامترهایی که در سیستم، تاثیرپذیری قطعی دارند؛ به طریقی از سایر پارامترهای سیستم نیز تاثیر گرفته و رفتار مستقلی در سیستم ندارند. اما برعکس این پارامترها، دسته‌ای از پارامترها وجود دارد که به طور مستقل و با میزان مشارکت کمتری با سایر پارامترها بر سیستم تاثیرگذار هستند؛ که همان پارامترهایی با مقادیر مثبت (R-C) هستند.

شناخت نحوه تاثیر گذاری هر پارامتر در مسئله گازخیزی لایه‌های زغال‌سنگ هنگامی ملموس می‌شود که یک پروژه گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال‌سنگ در فضاهای زیرزمینی، مورد بررسی قرار گیرد. در مواجهه با حل مسئله گازخیزی و بررسی روش‌های کاهش گاز منتشر شده در فضاهای زیرزمینی و یا افزایش گاز منتشر شده از لایه زغال‌سنگ به منظور زهکشی گاز متان و مصارف آن در

صنعت، شناخت چگونگی رفتار هر پارامتر در زمینه گازخیزی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ اهمیت می‌یابد. در واقع با مشخص بودن رفتار هر پارامتر، تصمیم‌گیری و تعیین راه‌حل برای کاهش یا افزایش میزان گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال‌سنگ، متناسب با هدف نهایی پروژه، آسان‌تر و سریع‌تر خواهد بود. راه‌کارها و دستورالعمل‌های زیادی در خصوص افزایش یا کاهش گازخیزی گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ وجود دارد که بررسی آن‌ها موضوع این پژوهش نیست. در واقع، در این بخش هدف شناسایی و تعیین پارامترهایی است که با ایجاد تغییر در میزان آن‌ها در کل مسئله گازخیزی، باعث نتایج ملموس و قابل‌توجهی می‌گردد. بدین جهت در مرحله اول، پارامترهای موثر بر گازخیزی لایه‌های زغال‌سنگ از نظر تغییرپذیری در مقدار، مورد بررسی قرار می‌گیرند؛ به طوری که، شامل دو دسته قابل تغییر پذیر و غیرقابل تغییر پذیر می‌شوند. پارامترهای غیر قابل تغییر پذیر همان پارامترهایی هستند که منشاء طبیعی دارند و به هیچ شیوه‌ای نمی‌توان آن‌ها را تغییر داد. در مقابل پارامترهایی نیز هستند که با ایجاد تغییرات فیزیکی و یا شیمیایی در لایه زغال، می‌توان مقادیر هر کدام از آن‌ها را تغییر داد. در جدول ۴-۱۳ و ۴-۱۴ پارامترهای موثر بر گازخیزی از نظر تغییرپذیری دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۴-۱۳- جدول بررسی پارامترهای موثر بر گازخیزی از نظر تغییر پذیری

نماد	پارامتر	وضعیت تغییر پذیری
P1	نوع زغال‌سنگ (درجه زغال شدگی)	غیرقابل تغییر پذیری
P2	نوع و درصد حضور ماسرال	غیرقابل تغییر پذیری
P3	میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی	قابل تغییر
P4	درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی‌ها از جمله پریت، گوگرد و ...	غیرقابل تغییر پذیری
P5	میزان ارزش و درجه حرارتی زغال سنگ	غیرقابل تغییر پذیری
P6	گسل خوردگی و درصد حضور آن‌ها در لایه	غیرقابل تغییر پذیری
P7	مقدار گاز محتوی	قابل تغییر
P8	ضخامت لایه زغال سنگ	غیرقابل تغییر پذیری
P9	عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره	غیرقابل تغییر پذیری

جدول ۱۴-۴- ادامه جدول بررسی پارامترهای موثر بر گازخیزی از نظر تغییر پذیری

نماد	پارامتر	وضعیت تغییر پذیری
P10	فرآوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها	قابل تغییر
P11	نفوذپذیری	قابل تغییر
P12	ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه کار)	قابل تغییر
P13	توان تولید	قابل تغییر
P14	میزان تولید دوره ای و ذخیره کل	قابل تغییر

همچنین به طور خلاصه شیوه ایجاد تغییر در هر پارامتر در جدول ۴-۱۵ آمده است. دستورالعمل های فنی زیادی در خصوص چگونگی ایجاد تغییر در هریک از پارامترهای ذکر شده در جدول ۴-۱۵ وجود دارد که بررسی آن ها موضوع این پژوهش نیست و از شرح آن ها صرف نظر شده است.

جدول ۱۵-۴ نحوه ایجاد تغییر در پارامترهای موثر بر گازخیزی

نماد	پارامتر	نحوه ایجاد تغییر
P3	میزان رطوبت و آب های زیرزمینی	تغییر در میزان آب و رطوبت لایه
P7	مقدار گاز محتوی	تغییر در میزان فشار هوای مقابل سطوح آزاد لایه
P10	فرآوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها	افزایش و ایجاد شکستگی و ناپیوستگی در لایه
P11	نفوذپذیری	افزایش و ایجاد شکستگی و ناپیوستگی در لایه
P12	ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه کار)	متناسب با مسئله، طراح استخراج تعیین می کند.
P13	توان تولید	متناسب با مسئله، طراح استخراج تعیین می کند.
P14	میزان تولید دوره ای و ذخیره کل	متناسب با مسئله، طراح استخراج تعیین می کند.

مسئله بسیار مهم در خصوص اعمال تغییر در هریک از پارامترهای موثر بر گازخیزی آن است که، با تغییر کدام پارامتر، بیشترین میزان تغییر در گازخیزی لایه زغال سنگ پدید می‌آید؟ تا با اعمال تغییرات و دستورالعمل‌های فنی در خصوص آن پارامتر خاص، باعث افزایش یا کاهش می‌زان گازخیزی گاز متان از لایه زغال سنگ شد. برای پاسخ به این سوال بسیار مهم نخست بایستی وزن اثرگذاری هر پارامتر بر گازخیزی مشخص شود. سپس با توجه به وزن به دست آمده، پارامترهایی به منظور تغییر انتخاب شوند که تاثیرگذاری بیش‌تری بر روی سایر پارامترهای دیگر دارند. یعنی پارامترهایی که شاخص تاثیر گذاری کلی (R) و ارتباط (R-C) آن‌ها بیش‌ترین مقدار است. این پارامترها براساس پژوهش صورت گرفته شده؛ در شکل‌های ۴-۱ و ۴-۴ به ترتیب نزولی (از بیش‌ترین مقدار تا کمترین مقدار شاخص) قابل مشاهده هستند. با بررسی پارامترها و حذف پارامترهای غیر قابل تغییر، پارامترهای قابل تغییری که تاثیرگذار قطعی هستند؛ جهت تغییر اولویت دارند. یعنی پارامترهایی که مقدار (R-C) آن‌ها مثبت است. با توجه به مطالب ذکر شده؛ در جدول زیر پارامترهای موثر بر گازخیزی، جهت تغییر معرفی شده‌اند.

جدول ۴-۱۶- پارامترهای موثر بر گازخیزی که قابل تغییر هستند. به ترتیب اولویت تغییرپذیری

پارامترهای موثر بر گازخیزی که قابل تغییر هستند. به ترتیب اولویت تغییرپذیری گزارش شده‌اند.		
ردیف	نماد پارامتر	پارامتر
1	P10	فراوانی ناپیوستگی‌ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت‌ها
2	P11	نفوذپذیری
3	P3	میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی
4	P7	مقدار گاز محتوی
5	P12	ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه‌کار)
6	P13	توان تولید
7	P14	میزان تولید دوره‌ای و ذخیره کل

در بررسی راه کارها و دستورالعمل های فنی جهت تغییر هریک از پارامترهای قابل تغییر، توجه به مولفه ها و شرایط اقتصادی و اجرایی، بسیار حائز اهمیت است. به عنوان مثال، به منظور کاهش میزان گازخیزی یک لایه زغالی در یک معدن زیرزمینی، کنترل و کاهش پارامتر P7 یعنی مقدار گاز محتوی لایه زغال سنگ که بیشترین تاثیر گذاری در تعامل با سایر پارامترها و بیشترین وزن تاثیر گذاری بر کل سیستم را دارد؛ استفاده از فشار هوای زیاد در سینه کارها جهت جلوگیری از ورود گاز متان به کارگاه استخراج است. اما این امر خود مستلزم هزینه های زیاد تامین هوای فشرده در حجم زیاد است. همچنین ایجاد چنین شرایط کاری برای نیروی انسانی حاضر در کارگاه استخراج باعث بروز مشکلات پزشکی می شود. پس بنابراین، نمی توان فقط اجرای یک روش برای کاهش یا افزایش گازخیزی در معادن زیرزمینی زغال سنگ را در دستور کار معدن کاری قرار داد. استفاده از هر روش کاهش یا افزایش گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه های زغال سنگ در معادن زیرزمینی زغال، خود مستلزم بررسی های فنی-اقتصادی دقیق منحصر به فرد (یعنی بسته به شرایط خاص هر پروژه) است.

۲-۴-۴ تعیین وزن نهایی پارامترهای موثر بر گازخیزی

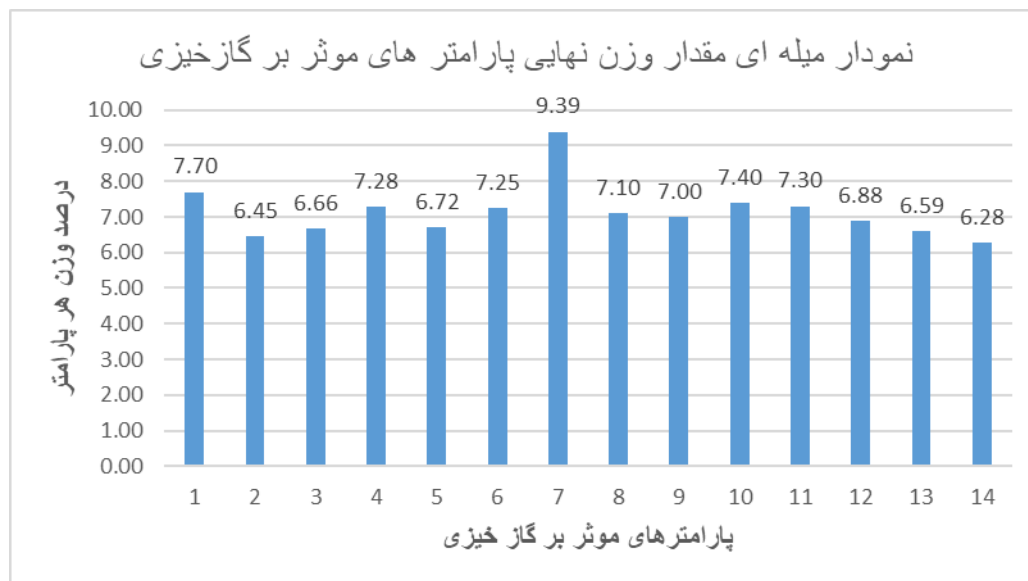
در انتها با استفاده از رابطه ۳-۹ وزن نهایی هریک از پارامترها که بر میزان گازخیزی گاز متان از لایه زغال سنگ موثر هستند؛ محاسبه شده و در جدول ۱۷-۴ گزارش شده است.

جدول ۱۷-۴ جدول وزن نهایی پارامترهای موثر بر گازخیزی

پارامتر	وزن نهایی فازی			وزن نهایی قطعی	درصد وزن نهایی هر پارامتر
	u	m	L		
P1	0.0757	0.0786	0.0827	0.0770	7.70
P2	0.0686	0.0588	0.0663	0.0645	6.45
P3	0.0708	0.0615	0.0674	0.0666	6.66
P4	0.0736	0.0755	0.0756	0.0728	7.28
P5	0.0699	0.0637	0.0679	0.0672	6.72
P6	0.0757	0.0672	0.0780	0.0725	7.25
P7	0.0817	0.1052	0.0948	0.0939	9.39
P8	0.0738	0.0654	0.0787	0.0710	7.10
P9	0.0749	0.0624	0.0758	0.0700	7.00
P10	0.0745	0.0747	0.0796	0.0740	7.40
P11	0.0737	0.0761	0.0756	0.0730	7.30
P12	0.0674	0.0745	0.0644	0.0688	6.88
P13	0.0653	0.0719	0.0605	0.0659	6.59
P14	0.0649	0.0645	0.0591	0.0628	6.28
مجموع			1.00	100.00	

پارامترهای موثر بر گازخیزی، مرتب شده بر اساس
بیشترین وزن تا کمترین وزن موثر بر گازخیزی

ردیف	نماد پارامتر	پارامتر	درصد وزن
1	P7	مقدار گاز محتوی	9.39
2	P1	نوع زغال سنگ (درجه زغال شدگی)	7.70
3	P10	فرآوانی ناپیوستگی ها و میزان باز شدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها	7.40
4	P11	نفوذپذیری	7.30
5	P4	درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی ها از جمله پریت، گوگرد و ...	7.28
6	P6	گسل خوردگی و درصد حضور آن ها در لایه	7.25
7	P8	ضخامت لایه زغال سنگ	7.10
8	P9	عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره	7.00
9	P12	ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه کار)	6.88
10	P5	میزان ارزش و درجه حرارتی زغال سنگ	6.72
11	P3	میزان رطوبت و آب های زیرزمینی	6.66
12	P13	توان تولید	6.59
13	P2	نوع و درصد حضور ماسرال	6.45
14	P14	میزان تولید دوره ای و ذخیره کل	6.28



شکل ۸-۴ نمودار میله ای مقدار وزن نهایی پارامترهای موثر بر گازخیزی

با توجه به مقادیر وزن تاثیرگذاری پارامترهای موثر بر گازخیزی که در جدول ۴-۱۷ و شکل ۸-۴ قابل مشاهده است؛ بیشترین تاثیری که یک معیار بر گازخیزی گاز متان متصاعد شده از لایه زغال سنگ دارد؛ مربوط به پارامتر P7 یعنی مقدار گاز محتوی است. کمترین تاثیرگذاری بر گازخیزی نیز، مربوط به پارامتر P14 یعنی میزان تولید دوره‌ای و ذخیره کل می‌باشد. در واقع پارامتری که بیشترین وزن را دارد؛ بر فرآیند گازخیزی بیشترین تاثیر را دارد. از وزن به دست آمده برای هریک از پارامترها، در محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی زغال سنگ استفاده می‌شود.

۴-۵ سیستم طبقه‌بندی ارزیابی گازخیزی زغال سنگ

جهت محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی زغال سنگ و ارائه سیستم طبقه‌بندی ارزیابی گازخیزی زغال سنگ، علاوه بر وزن اثرگذار هر پارامتر بر گازخیزی، نیاز است تا امتیاز هر کدام از پارامترهای موثر، بر اساس مقدار کمی منحصر به فرد خودشان، مشخص باشد. بنابر این نخست یک کلاسه‌بندی از پارامترها و امتیازهای تعلق گرفته شده به آن‌ها ارائه می‌گردد؛ تا با استفاده از آن و وزن اثرگذاری هر پارامتر که توسط روش دی‌متل فازی محاسبه می‌شود؛

شاخص ارزیابی گازخیزی محاسبه و طبقه‌بندی شود.

۴-۵-۱ دسته‌بندی معیارهای موثر بر گاززدایی

به‌منظور محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی که براساس رابطه ۳-۱۱ به‌دست می‌آید؛ نیازمند تخصیص امتیاز به هر پارامتر، متناظر با مقدار مشخص آن، می‌باشد. بنابراین نیاز است تا با بررسی هر پارامتر، بازه‌هایی از مقادیر مختلف آن، تعریف گردد؛ تا براساس قرارگیری مقدار هر پارامتر در بازه متناظر با خودش، امتیاز مربوطه برای آن پارامتر لحاظ گردد. با توجه به بررسی‌های مفصل هرپارامتر که در فصل ۲ شرح داده شده است و جداول ۴-۱۸ تا ۴-۲۱ که رابطه هر یک از پارامترهای موثر بر گازخیزی گاز متان از لایه زغال‌سنگ را بر اساس مطالعات و تحقیقات محققین پیشین نشان می‌دهد، برای هریک از پارامترهای موثر بر گازخیزی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است؛ فهرست رده‌بندی و امتیاز دهی برای هریک از آن‌ها تعریف شده است.

بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال سنگ				نماد معرف پارامتر
پارامترهای مورد بررسی	نوع رابطه	رابطه کیفی با میزان گازخیزی گاز متان	تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده	
نوع زغال سنگ (درجه زغال شدگی)	مستقیم	با افزایش درجه زغال شدگی میزان گازخیزی افزایش می‌یابد.	- در صفحه ۲۳ این پژوهش تحت عنوان نوع و درجه زغال شدگی همراه با تاثیر ماسرال‌های زغال ، کاملاً شرح داده شده است. (Black 2011) (Karacan 2008, Karacan 2011) (Karacan 2008, Haijiao 2016). (Couch 2009)	P1
نوع و درصد حضور ماسرال	بستگی به حضور ماسرال ویتروینایت از نوع مستقیم	با افزایش درصد حضور ماسرال ویتروینایت، مقدار گاز محتوی و گازخیزی زغال سنگ افزایش می‌یابد.	- در صفحه ۲۳ این پژوهش تحت عنوان نوع و درجه زغال شدگی همراه با تاثیر ماسرال‌های زغال ، کاملاً شرح داده شده است. (سرشکی، واعظیان و صفاری ۱۳۹۵) (Hildenbrand 2006)	P2
میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی (درصدی از مقدار رطوبت)	عکس	با افزایش رطوبت و آب‌های زیرزمینی از گازخیزی زغال سنگ کاسته می‌شود.	در صفحه ۲۶ از این پژوهش تحت عنوان رطوبت و آب‌های زیرزمینی ، کاملاً شرح داده شده است. (قنبری تیلیمی ۱۳۹۴) (Crosdale 2008) (Irwin 2009) (Oliver 1989).	P3

نماد معرف پارامتر	بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال سنگ			
	پارامترهای مورد بررسی	نوع رابطه	رابطه کیفی با میزان گازخیزی گاز متان	تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده
P4	درصد خاکستر	عکس	با افزایش میزان خاکستر و سایر کانی‌های همراه زغال سنگ، از گازخیزی آن کاسته می‌شود.	در صفحه ۲۷ از این پژوهش تحت عنوان درصد خاکستر زغال و درصد حضور سایر کانی‌های همراه، کاملاً شرح داده شده است. (صفاری ۱۳۹۲) (Busch 2004, Mastalerz 2004) (Irwin 2009)
P5	میزان ارزش و درجه حرارتی زغال سنگ (برحسب درصدی از کربن)	مستقیم	با افزایش ارزش حرارتی زغال سنگ، گازخیزی آن نیز افزایش می‌یابد.	زغال سنگ از منشا تا اثرات زیست محیطی (یزدی ۱۳۸۲)
P6	وجود گسل در لایه	مستقیم	با افزایش گسل خوردگی لایه، میزان گازخیزی لایه نیز افزایش می‌یابد.	در صفحه ۲۹ از این پژوهش تحت عنوان گسل، کاملاً شرح داده شده است. (قنبری تیلیمی ۱۳۹۹۴) (Oliver 1989)
P7	مقدار گاز محتوی لایه (برحسب متر مکعب بر تن)	مستقیم	با افزایش میزان گاز محتوی لایه زغال سنگ، گازخیزی از آن نیز، افزایش می‌یابد.	- امکان‌سنجی انجام عملیات گاززدایی در معادن زغال سنگ البرزشرقی، مطالعه موردی معدن رضی (قنبری تیلیمی ۱۳۹۲) - ارزیابی معیارهای اثرگذاری بر متان زدایی معادن زیرزمینی زغال سنگ با مدل‌سازی ساختاری تفسیری (جعفرپور ۱۳۹۸)

نماد معرف پارامتر	بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال سنگ			
	پارامترهای مورد بررسی	نوع رابطه	رابطه کیفی با میزان گازخیزی گاز متان	تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده
P8	ضخامت لایه زغال سنگ (بر حسب متر)	مستقیم	با افزایش ضخامت لایه زغال سنگ، نرخ انتشار گاز متان از لایه نیز افزایش می‌یابد	در صفحه ۲۹ از این پژوهش تحت عنوان ضخامت لایه زغال سنگ، کاملاً شرح داده شده است. (Karacan 2008) (Cai 2011) (Haijiao 2016) (Black 2011) (Peng 2006)
P9	عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره (متر)	مستقیم	با افزایش عمق قرارگیری لایه و افزایش ضخامت روباره، گاز متان بیشتری از لایه منتشر می‌شود.	در صفحه ۳۱ از این پژوهش تحت عنوان عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره، کاملاً شرح داده شده است. (Karacan 2008). (Yuan 2011). (Moore 2012).
P10	فرآوانی ناپیوستگی‌ها و میزان بازشدگی و آرایش قرار گیری کلیت‌ها	بسته به نوع آرایش موازی یا منقطع از نوع مستقیم	به طور کلی با افزایش ناپیوستگی، گازخیزی افزایش می‌یابد. اما با آرایش منقطع، نسبت به آرایش موازی، گازخیزی بیش‌تر افزایش می‌یابد.	در صفحه ۳۴ از این پژوهش با عنوان شرایط ناپیوستگی‌ها در لایه زغال سنگ، کاملاً شرح داده شده است. (Howard/L. 1992).

جدول ۲۱-۴ ادامه جدول ۴-۲۰ بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی

نماد معرف پارامتر	بررسی کیفی پارامترهای موثر بر گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال سنگ			
	پارامترهای مورد بررسی	نوع رابطه	رابطه کیفی با میزان گازخیزی گاز متان	تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده
P11	نفوذپذیری لایه زغال سنگ (برحسب میلی داری)	مستقیم	با افزایش نفوذپذیری، گازخیزی گاز متان از لایه زغال سنگ نیز افزایش می‌یابد.	در صفحه ۳۶ از این پژوهش با عنوان نفوذپذیری، کاملاً شرح داده شده است. (قنبری تیلمی ۱۳۹۴) (Sarhosis 2016)
P12	ابعاد پهنه استخراجی (برحسب عرض پنل فوت)	مستقیم	با افزایش ابعاد کارگاه استخراجی، گازخیزی نیز افزایش می‌یابد.	در صفحه ۳۷ از این پژوهش با عنوان طول و عرض پهنه استخراجی و تعداد ورودی‌ها، کاملاً شرح داده شده است. (Karacan 2011)
P13	توان تولید (برحسب تولید روزانه زغال - تن)	مستقیم	توان تولید بیش‌تر مساوی با گازخیزی بیش‌تر است.	در صفحه ۳۸ از این پژوهش با عنوان سرعت ناوزنجیری، کاملاً شرح داده شده است. (Karacan 2011)
P14	مقدار ذخیره کل (برحسب میلیون تن)	مستقیم	با افزایش ذخیره، مقدار گاز محتوی و حجم گاز قابل انتشار افزایش می‌یابد.	در صفحه ۳۹ از این پژوهش با عنوان میزان ذخیره زغال سنگ و تولید روزانه معدن، کاملاً شرح داده شده است.

ترکیب مقادیر هریک از پارامترها و بازه‌های اختصاص یافته شده برای هر پارامتر، اصطلاحاً فهرست رده‌بندی نامیده می‌شود. در عمل، مقادیر پارامترها از این نوع جداول دسته‌بندی انتخاب می‌شوند. در این پژوهش، برای تعیین میزان امتیاز هر پارامتر که در فرآیند محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی دخالت دارد؛ (سهمی که هر پارامتر با توجه به وزن تاثیر گذاریش در پدیده نهایی (در این جا گازخیزی) دارد). ۶ بازه از مقادیر کمی برای هر پارامتر در نظر گرفته شده است. مقدار هر پارامتر به طور خاص با استفاده از روش‌های میدانی مرسوم به سادگی قابل محاسبه است؛ بنابراین از شرح آن در این جا خودداری می‌گردد. امتیاز صفر برای "سهم بسیار کم" و بیشترین مقدار رده‌بندی برای "سهم بسیار زیاد" پارامترها تعیین شده است. بنابراین مقدار بالاتر به بازه‌هایی از پارامترها اختصاص می‌یابند که در خصوص گازخیزی زغال سنگ سهم بیش‌تری دارند. نحوه امتیاز دهی و بازه‌بندی بین مقادیر کمی پارامترها نیز براساس مطالب شرح داده شده در فصل ۲ است که حاصل نتایج پژوهش محققان قبلی است.

جدول ۲۲-۴ جدول امتیاز دهی بر حسب مقادیر هر پارامتر با توجه به دسته‌بندی تعریف شده برای هر یک از پارامترهای موثر بر گازخیزی

نماد معرف پارامتر	پارامترهای مورد بررسی	امتیاز اختصاص داده شده به هریک از بازه های مقادیر پارامترها					
		۰	۱	۲	۳	۴	۵
P1	نوع زغال سنگ (درجه زغال شدگی)	---	لیگنیت	ساب بیتومینه	بیتومینه	نیمه آنتراسیت	آنتراسیت
P2	نوع و درصد حضور ماسرال	لیپتینایت	اینرتینایت (۵۰-۰)	اینرتینایت (۱۰۰-۵۰)	ویترینایت (۳۰-۰)	ویترینایت (۵۰-۳۰)	ویترینایت (۱۰۰-۵۰)
P3	میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی (درصدی از مقدار رطوبت)	بیش از ۲۴	۱۲-۲۴	۷-۱۲	۵-۷	۳-۵	کمتر از ۳
P4	درصد خاکستر	بیش از ۶۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۱۰-۲۰	۵-۱۰	کمتر از ۵
P5	میزان ارزش و درجه حرارتی زغال سنگ (بر حسب درصدی از کربن)	کمتر از ۱۰	۲۰-۱۰	۴۰-۲۰	۶۰-۴۰	۸۰-۶۰	بیش از ۸۰
P6	وجود گسل در لایه	---	---	ناموجود	کمتر از ۲ عدد	بیش از ۲	گسل‌های بزرگ با ریزش‌های بزرگ
P7	مقدار گاز محتوی لایه (بر حسب متر مکعب بر تن)	کمتر از ۵	۱۰-۵	۱۵-۱۰	۲۰-۱۵	۲۵-۲۰	بیش از ۲۵
P8	ضخامت لایه زغال سنگ (بر حسب متر)	---	کمتر از ۱/۲	۱/۲ - ۲/۴	۲/۴ - ۳/۲	۵ - ۳/۲	بیش از ۵

جدول ۲۳-۴ ادامه جدول ۲۲-۴ جدول امتیاز دهی بر حسب مقادیر هر پارامتر با توجه به دسته‌بندی تعریف شده برای هر یک از پارامترهای موثر بر گازخیزی

نماد معرف	پارامترهای مورد بررسی	امتیاز اختصاص داده شده به هریک از بازه های مقادیر پارامترها					
		۰	۱	۲	۳	۴	۵
P9	عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره (متر)	بیش از ۱۲۵۰	۱۲۵۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۷۵۰	۷۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۲۵۰	۲۵۰-۵۰
P10	فرآوانی ناپیوستگی‌ها و میزان بازشدگی و آرایش قرار گیری کلیت‌ها (برحسب درصد)	آرایش موازی ۳۰ - ۰	آرایش موازی ۶۰ - ۳۰ /	آرایش موازی ۱۰۰ - ۶۰ /	آرایش موازی منقطع / ۰- ۳۰	آرایش موازی منقطع / ۳۰ ۶۰-	آرایش موازی منقطع / ۶۰ ۱۰۰ -
P11	نفوذپذیری لایه زغال سنگ (برحسب میلی داری)	کمتر از ۰/۱	۱-۰/۱	۱-۳	۱۰-۳	۳۰-۱۰	بیش از ۳۰
P12	ابعاد پهنه استخراجی (برحسب عرض پنل فوت)	کمتر از ۴۰۰	۵۰۰-۴۰۰	۶۰۰-۵۰۰	۸۰۰-۶۰۰	۹۰۰-۸۰۰	بیش از ۹۰۰
P13	توان تولید (برحسب تولید روزانه زغال - تن)	۰	۱-۰	۵-۱	۸-۵	۱۰-۸	بیش از ۱۰
P14	مقدار ذخیره کل (برحسب میلیون تن)	۰-۰/۵	۱-۰/۵	۲-۱	۳-۲	۴-۳	بیش از ۴

۲-۵-۴ تعیین شاخص ارزیابی گازخیزی

اندیس ارزیابی گازخیزی زغال سنگ را تحت عنوان (CBMEI)^۱ از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$CBMEI = \sum_{i=1}^n a_i \frac{P_i}{P_{Max_i}} \quad (۱-۴)$$

که در این رابطه، CBMEI معرف شاخص ارزیابی گازخیزی، a_i معرف ضریب وزنی پارامتر i ام که براساس وزن محاسبه شده هریک از پارامترها که توسط روش فازی DEMATEL به دست آمده است (جدول ۴-۱۷)؛ می‌باشد. P_i امتیاز پارامتر i ام که از جدول کلاسه‌بندی معیارهای موثر بر گازخیزی به دست می‌آید؛ و P_{Max_i} حداکثر امتیاز هر پارامتر در جدول کلاسه‌بندی معیارها است (جداول ۴-۲۲ و ۴-۲۳). حداقل مقدار CBMEI برابر با صفر و حداکثر مقدار برای آن عدد ۱۰۰ می‌باشد.

پس از تعیین شاخص CBMEI، بر اساس مقدار به دست آمده برای هر معدن می‌توان شاخص ارزیابی گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه‌های زغال سنگ را تعیین کرد؛ که برای این منظور می‌توان از جدول ۴-۲۴ استفاده کرد.

جدول ۴-۲۴ جدول دسته بندی شاخص ارزیابی گازخیزی همراه با ارزیابی امکان انجام فرآیند گاززدایی

دسته‌بندی کیفی شاخص ارزیابی گازخیزی گاز متان از لایه‌های زغال سنگ						
بسیار شدید		بسیار زیاد		زیاد		متوسط
ضعیف		بسیار ضعیف				
۱۰۰	CBMEI	۶۶	CBMEI	۳۳	CBMEI	۰
نیاز به گاززدایی			عدم نیاز به گاززدایی			

^۱ - Coal Bed Methane Evaluation Index (CBMEI)

فصل ۵ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۱-۵ مقدمه

هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک سیستم طبقه‌بندی برای ارزیابی گازخیزی در معادن زغال‌سنگ است که در این راستا، به موارد زیر پرداخته شده است که در ادامه نتایج هر یک شرح داده می‌شود.

- ۱- تحقیق و بررسی معیارهای موثر بر گازخیزی لایه‌های زغال‌سنگ
- ۲- تعیین میزان تاثیرگذاری هر معیار بر شدت گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه زغال‌سنگ
- ۳- تعیین روابط حاکم بر پارامترهای موثر بر گازخیزی، به‌منظور شناسایی پارامترهای کلیدی جهت اعمال تغییر در مقادیر آنها جهت کاهش یا افزایش میزان گازخیزی لایه زغال‌سنگ
- ۴- محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی لایه زغال‌سنگ در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با توجه به وزن تاثیر گذاری هر پارامتر و مقادیر آن.

۲-۵ نتیجه گیری

۱-۲-۵ تحقیق و بررسی معیارهای موثر بر گازخیزی

براساس مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته شده که به طور مفصل در فصل ۲ شرح داده شده است؛ تعداد ۱۴ پارامتر موثر بر گازخیزی زغال‌سنگ شناسایی و مورد تحقیق قرار گرفته است.

پارامترها به شرح زیر هستند:

P₁: نوع زغال‌سنگ (درجه زغال شدگی)

P₂: نوع و درصد حضور ماسرال

P₃: میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی

P₄ : درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانیها از جمله پیریت ، گوگرد و... .

P₅ : میزان ارزش و درجه حرارتی زغال سنگ

P₆ : گسل خوردگی و درصد حضور آن ها در لایه

P₇ : مقدار گاز محتوی لایه

P₈ : ضخامت لایه زغال سنگ

P₉ : عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره

P₁₀ : فراوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرار گیری کلیت ها

P₁₁ : نفوذپذیری لایه زغال سنگ

P₁₂ : ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه کار)

P₁₃ : توان تولید (سرعت ناوزنجیری-سرعت پیشروی و استخراج)

P₁₄ : میزان تولید دوره ای و مقدار ذخیره کل

۲-۲-۵ تاثیرگذاری هر معیار بر شدت گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه زغال سنگ

وزن نهایی پارامتر های موثر بر گازخیزی بر اساس نظرات خبرگان به شیوه روش تصمیم گیری چندمعیاره فازی محاسبه شد. براین اساس پارامتری که بیشترین وزن اثرگذاری بر گازخیزی دارد بدین معنا می باشد که بیشترین تاثیر گذاری را بر شدت گاز متان منتشر شده از زغال سنگ را دارد. پارامترهای موثر بر گازخیزی در جدول ۱-۵ به ترتیب بیشترین تاثیرگذاری تا کمترین تاثیرگذاری آمده است.

پارامترهای موثر بر گازخیزی، مرتب شده بر اساس بیشترین وزن تا کمترین وزن موثر بر گازخیزی			
ردیف	نماد پارامتر	پارامتر	درصد وزن
1	P7	مقدار گاز محتوی	9.39
2	P1	نوع زغال سنگ (درجه زغال شدگی)	7.70
3	P10	فرآوانی ناپیوستگی ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت ها	7.40
4	P11	نفوذپذیری	7.30
5	P4	درصد خاکستر و درصد حضور سایر کانی ها از جمله پریت، گوگرد و ...	7.28
6	P6	گسل خوردگی و درصد حضور آن ها در لایه	7.25
7	P8	ضخامت لایه زغال سنگ	7.10
8	P9	عمق قرارگیری لایه و ضخامت روباره	7.00
9	P12	ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه کار)	6.88
10	P5	میزان ارزش و درجه حرارتی زغال سنگ	6.72
11	P3	میزان رطوبت و آب های زیرزمینی	6.66
12	P13	توان تولید	6.59
13	P2	نوع و درصد حضور ماسرال	6.45
14	P14	میزان تولید دوره ای و ذخیره کل	6.28

۳-۲-۵ تعیین روابط حاکم بر پارامترهای موثر بر گازخیزی، به منظور شناسایی پارامترهای کلیدی جهت اعمال تغییر در مقادیر آنها جهت کاهش یا افزایش میزان گازخیزی لایه زغال سنگ

براساس شاخص های تاثیرگذاری بر روی سایر پارامترها، شاخص تاثیرپذیری پارامترها از سایر پارامترها، شاخص تعیین میزان تعامل هر پارامتر با کل سیستم و شاخص تاثیر گذاری و تاثیرپذیری قطعی که در روش دی متل فازی بررسی شده اند؛ گروهی از پارامترهای موثر بر گازخیزی جهت تغییر در مقادیر آنها با هدف کاهش یا افزایش گازخیزی لایه زغال سنگ، ارائه گردیده اند. در جدول ۵-۱ این پارامترها گزارش شده اند.

جدول ۲-۵- جدول پارامترهای موثر بر گازخیزی قابل تغییر به ترتیب اولویت تغییر پذیری

پارامترهای موثر بر گازخیزی که قابل تغییر هستند. به ترتیب اولویت تغییر پذیری گزارش شده‌اند.		
ردیف	نماد پارامتر	پارامتر
1	P10	فرآوانی ناپیوستگی‌ها و میزان بازشدگی و آرایش قرارگیری کلیت‌ها
2	P11	نفوذپذیری
3	P3	میزان رطوبت و آب‌های زیرزمینی
4	P7	مقدار گاز محتوی
5	P12	ابعاد پهنه استخراجی (طول و عرض جبهه‌کار)
6	P13	توان تولید
7	P14	میزان تولید دوره‌ای و ذخیره کل

ترتیب اولویت‌بندی بین پارامترها بر اساس میزان وزن تاثیرگذاری هر پارامتر در گازخیزی و همچنین میزان شاخص‌های تاثیرگذاری هر پارامتر بر سایر پارامترها و شاخص تاثیرگذاری و تاثیرپذیری قطعی، است.

۴-۲-۵ محاسبه شاخص ارزیابی گازخیزی لایه زغال سنگ در معادن زیرزمینی زغال سنگ با توجه به وزن تاثیر گذاری هر پارامتر و مقادیر آن.

بر اساس وزن به‌دست آمده برای هر پارامتر توسط روش دی‌متل فازی، شاخص ارزیابی گازخیزی (CBMEI)^۱ به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد.

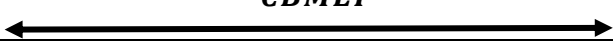
$$CBMEI = \sum_{i=1}^n a_i \frac{P_i}{P_{Max_i}} \quad (۴-۱)$$

که در این رابطه، CBMEI معرف شاخص ارزیابی گازخیزی، a_i معرف ضریب وزنی پارامتر i ام که براساس وزن محاسبه شده هریک از پارامترها که توسط روش فازی DEMATEL به‌دست آمده است (جدول ۴-۱۷)؛ می‌باشد. P_i امتیاز پارامتر i ام که از جدول کلاسه‌بندی معیارهای موثر بر گازخیزی به دست می‌آید؛ و P_{Max_i} حداکثر امتیاز هر پارامتر در جدول کلاسه‌بندی معیارها است (جداول ۴-۲۲ و ۴-۲۳). حداقل مقدار CBMEI برابر با صفر و حداکثر مقدار برای آن عدد ۱۰۰ می‌باشد.

¹ - Coal Bed Methane Evaluation Index (CBMEI)

پس از تعیین شاخص CBMEI ، بر اساس مقدار به دست آمده برای هر معدن می توان شاخص ارزیابی گازخیزی گاز متان منتشر شده از لایه های زغال سنگ را تعیین کرد؛ که برای این منظور می توان از جدول ۳-۵ استفاده کرد.

جدول ۳-۵ جدول دسته بندی شاخص ارزیابی گازخیزی

دسته بندی کیفی شاخص ارزیابی گازخیزی گاز متان از لایه های زغال سنگ						
بسیار شدید		بسیار زیاد		زیاد		متوسط
بسیار ضعیف		ضعیف		بسیار ضعیف		بسیار ضعیف
۱۰۰	CBMEI	۶۶	CBMEI	۳۳	CBMEI	۰
نیاز به گاززدایی					عدم نیاز به گاززدایی	

۳-۵ پیشنهادات

جهت تکمیل نتایج به دست آمده از این پژوهش پیشنهاد می گردد؛ موضوعات زیر مورد تحقیق و پژوهش قرار بگیرند.

- ۱- تطابق مدل های عددی از نشر گاز متان در معادن زیرزمینی زغال سنگ ولایه های زغالی
 - ۲- بهینه سازی شاخص ارزیابی گازخیزی به منظور افزایش یا کاهش میزان گاز منتشر شده در فضاهای زیرزمینی
 - ۳- در نظر گرفتن پارامترهای فنی سیستم های گاززدایی در تعیین شاخص ارزیابی گازخیزی در گمانه های زهکشی گاز متان
 - ۴- تعیین راه کارهای عملیاتی و علمی جهت زهکشی گاز متان
 - ۵- طراحی و اجرای یک سیستم پایش هوشمند گازخیزی در معادن زیرزمینی زغال سنگ
- امید است در آینده با توجه به مطالب این پژوهش و تکمیل آن، مسئله گازخیزی گاز متان در معادن

زیرزمینی زغال سنگ حل شود و دیگر شاهد حوادث و خسارت های جانی و مالی نباشیم.

مراجع

مراجع فارسی

- باقرزاده ع، نجفی م و فاتحی مرجی م، ۱۳۹۸، طراحی آرایش مناسب گمانه‌های زهکشی گازمتان در معدن زغال‌سنگ طبس با استفاده از نرم‌افزار Comsol Multiphysics، دانشگاه یزد
- توکلی م و سرشکی ف، ۱۳۸۵، گاز زغال و روش‌های کاهش آن (گاز زدایی) در معدن پرورده طبس، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، اصفهان
- جوکار ا، نجفی م و سرشکی ف، ۱۳۹۶، شبیه سازی عددی فرآیند گازی کردن زیرزمینی زغالسنگ (UCG) با هدف تعیین پارامترهای عملیاتی در مقیاس تجاری، مطالعه موردی؛ لایه K10 منطقه تخت، جعفرپور ا و نجفی م، ۱۳۹۶، ارزیابی معیارهای اثرگذار برمتان زدایی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با مدلسازی ساختاری تفسیری
- حیدری ع، جلالی س، سرشکی ف و رمضانزاده ا، ۱۳۹۳، بررسی نشت گاز از کارگاه استخراج UCG با استفاده از مدل سازی عددی، پنجمین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، تهران
- زارعی درمیان م ا، جوانشیر گیو م، سرشکی ف و شبانی ع، ۱۳۹۲، بازیابی گاز متان در معدن ۱ مکانیزه پرورده طبس و قابلیت‌های نوین زهکشی CH₄، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، بیرجند.
- سرشکی ف، واعظیان ا و صفاری ا، ۱۳۹۵، تاثیر ماسرال‌ها در نفوذپذیری زغال‌سنگ‌های معادن پرورده و طزره در معدن پرورده طبس، مجله علمی-پژوهشی پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب شناسی، دوره ۳۲، شماره ۲، شماره پیاپی ۶۳.
- سلیمی م، باغبانان ع، هاشم الحسینی ح و منصوری اصفهانی م، بررسی تاثیر توزیع مجدد تنش در کنترل میزان گازخیزی لایه‌های زغالی به روش عددی؛ مطالعه موردی معدن مکانیزه زغال‌سنگ طبس،

سیفی م، خادمی و منجری، ۱۳۹۵، پیشبینی پتانسیل انتشار گاز متان در معدن زغال سنگ طبس،

دانشگاه تربیت مدرس

شاکری م ر و نجفی م، ۱۳۹۶، عوامل موثر در انتخاب سیستم گاززدایی در معدن زغال سنگ طبس،

نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، دانشگاه یزد

صفاری ا، ۱۳۹۲، ارائه یک سیستم طبقه بندی مهندسی برای ارزیابی خطر خودسوزی زغال در معادن

زغال سنگ، دانشگاه صنعتی شاهرود

طاهری ع و سرشکی ف، ۱۳۹۶، مدلس سازی جریان گازمتان در منافذ زغال سنگ به منظور عملیات

گاززدایی و اعتبارسنجی آن، مطالعه موردی: معدن زغال سنگ پرورده طبس، دانشگاه صنعتی شاهرود

عطایی م، ۱۳۸۹، تصمیم گیری چند معیاره فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، چاپ اول

قنبری ت و سرشکی ف، ۱۳۹۴، امکان سنجی انجام عملیات گاززدایی در معادن زغال سنگ البرز شرقی،

مطالعه موردی: معدن رضی، دانشگاه صنعتی شاهرود

مدنی ح، ۱۳۸۹، تهویه در معادن، مرکز نشر دانشگاهی، ص ۵۷۴.

مؤمنی و قیومی ف، (۱۳۹۱)، "تحلیل های آماری با استفاده از SPSS"، چاپ هفتم، انتشارات گنج

شایگان

نجفی م، جلالی س م ا، خالوکاکایی ر و سرشکی ف، ۱۳۹۱، امکان سنجی استحصال انرژی از منابع

زغال سنگ با استفاده از فناوری پیشرفته گاز کردن زیرزمینی زغال سنگ (UCG)، مطالعه موردی: منطقه

زغالی مزینوی طبس، دومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران

نجفی م، جلالی س م ا، خالوکاکایی ر، ۱۳۹۳، برآورد عرض مناسب فضای استخراجی در روش تبدیل به

گاز کردن زیرزمینی زغال سنگ

مراجع انگلیسی

- Aihua, L. X., f. Wang, k. (2013). "Investigation of coalbed methane potential in low-rank coal reservoirs Free and soluble gas contents." Fuel **112**.
- Black, J. (2011). Factors Affecting The Drainage Of Gas From Coal And Methods To Improve Drainage Effectiveness. Ph.D, University Of Wollongong.
- Busch, A. G., Y. Kroos, B (2004). "Methane and carbon dioxide adsorption/diffusion experiments on coal: upscaling and modelling." International Journal of Coal Geology **60**: 168-151.
- Cai, Y. L., D. Qiu, Y. (2011). "Geological controls on prediction of coalbed methane of No. 3 coal seam in Southern Qinshui Basin, North China." International Journal of Coal Geology **88**: 112-101.
- Chen, H., H. Qi, R. Long and M. Zhang (2012). "Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors." Safety Science **50(4)**: 745-750.
- Chen, K. C., Irawan, S., Sum, C. W., and Tunio, S. Q. (2011). "Preliminary study on gas storage capacity and gas-in-place for CBM potential in Balingian coalfield, Sarawak Malaysia." In National Postgraduate Conference (NPC): 12-11.
- Couch, G. R. (2009). " Underground coal gasification. IEA Clean Coal Center." International Energy Agency, London, UK: 113-113.
- Creedy, D. P. (1991). "An introduction to geological aspects of methane occurrence and control in bri2sh deep coal mines." Quarterly Journal of Engineering Geology **24**: 220-209.
- Crosdale, E. e. a. (2008). "Influence of moisture content and temperature on methane adsorption isotherm analysis for coals from a low-rank, biogenically-sourced gas reservoir." International Journal of Coal Geology **76**.
- Crosdale, P. J., Beamish, B. B., and Valix, M. (1998). "Coalbed methane sorption related to coal composition." International Journal of Coal Geology **35**: 147-158.
- Cui, X. a. R. B. (2006). " Controls of coal fabric on coalbed gas production and compositional shift in both field production and canister desorption tests." SPE Journal **11**: 119-111.
- Dalla Torre, M., R.F. Mählmann, and W.G. Ernst, (1997). " Experimental study on the pressure dependence of vitrinite maturation." Geochimica Cosmochimica Acta **11**: 2928-2921.
- Dallegge, T. C. "Coal-Bed Methane Gas-In-Place Resource Estimates Using Sorption Isotherms and Estimates Using Sorption Isotherms and from the Ferron Sandstone Member of the Mancos Shale." Utah: U.S. Geological Survey ,Denver, Colorado.
- Dougherty, H. N., Karacan, C. Ö (2010). "Methane drainage and degasification – general concepts, NIOSH Short Course – Control of Methane Gas in Underground Mining Operations." Sudbury, Ontario, Canada.

Falatoonitoosi E., L. Z., Sorooshian S., and Salimi M (2013). "Decision-making trial and evaluation laboratory." Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology **5**(13): 3480-3476.

Fontela E., a. G. A. (1972). "World Problems an Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL." Battelle Geneva Research Centre, Switzerland, Geneva.

Fontela E., a. G. A. (1974). "DEMATEL, innovative methods, Report no. 2," Structural analysis of the world problematique. Battelle Geneva Research Institute."

Fontela E., a. G. A. (1976). "The DEMATEL observer", Battelle Institute, Geneva Research Center."

Fox, D. (2009). "Coal bed natural gas development." Natural Resource Specialist **406**: 233-236.

Freij, A. (2012). "Opportunities and challenges to coal bed methane production in Australia." Journal of Petroleum Science and Engineering **89-88**: 4-1.

Gabus A., a. F. E. (1973). "Perceptions of the world problematique: communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility (DEMATEL Report no.1)", Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland."

Gamson, P. D., Beamish, B. B. (1992). "Coal type, microstructure and gas flow behaviour of Bowen Basin coals, Symposium on Coalbed Methane Research and Development in Australia, Coalseam Gas Research Institute." James Cook University, Townsville **4**: 64-43.

Gentzis, T. (2009). "Stability analysis of a horizontal coalbed methane well in the Rocky Mountain Front Ranges of southeast British Columbia, Canada." International Journal of Coal Geology **77**(3-4): 328-327.

Gong, B., Zhang ,Y., Fan, Y., and Qin, G (2014). "'A novel approach to model enhanced coal bed methane recovery with discrete fracture characterizations in a geochemical simulator'." Journal of Petroleum Science and Engineering **124**: 198-208.

Haijiao, F. D., T. Hao, X "Geological characteristics and CBM exploration potential evaluation: A case study in the middle of the southern Junggar Basin, NW China." Journal of Natural Gas Science and Engineering **30**: 570-557.

Hartman, H. L., j. M. Mutmanský and V. j. Ramani. 1977 " .Mine ventilation and air conditioning." John Wiley & Sons INC. **60-70**.

Hemza, P., Sivek, M., and 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**(1-2): 29-39.

Hessley, R. K., J.W. Reasonerand, and J.T. Riley (1986). "Coal Science: John Wiley and Sons." New York: 269.

Hildenbrand, A. Krooss, B.M . Busch, A. and Gaschnitz, R.(2006) " Evolution of methane sorption capacity of coal seams as a function of burial history — a case study from the Campine Basin, NE Belgium" , international journal of Coal Geology,Volume66, issue 3, 179-203

Howard/L., H. (1992). "Methane Drainage. In: Gerald/ L. Finger and Michael/A., Trevits." Handbook of Mining Engineering,Littleton Colorado. Society for Mining, Metallurgy and Exploration.: 937-896.

Huang, H., Shuxun, S. A. N. G., Liangcai, F. A. N. G., Guojun, L. I., Hongjie, X. U., and Bo, R. E. N (201). "Optimum location of surface wells for remote pressure relief coalbed methane drainage in mining areas." Mining Science and Technology (China) **20**(2): 230-237.

Irwin, M. W., Bowen, B. H., Gotham, B. J. (2009). Indiana coal report 2009, Indiana Center for Coal Technology Research: 10-15.

Jassbi J., M. F .,and Nasrollahzadeh H. (2011). "A Fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map." Expert systems with Applications **38**(5): 5973-5967.

Jenkins, C. B., C M (2008). "Coalbed- and Shale-Gas Reservoirs." Journal of Petroleum Technology: 99-92.

Jin, X., Li, J., Yang, Z., and Zhang, P. (2012). "The Optimization of the Coalbed Methane Assessment Indexes in the High Abundance Coalbed Methane Enrichment Area in the Case of the Southern Part of the Qinshui Basin, China." Procedia Earth and Planetary Science **3**: 175-182.

Jolly , D., Morriss , L.H and Hinsley,F.B (1968). "An inves2ga2on into the rela2onship engineer." **127**: 548-539.

Kannan, G., Haq, A. N., Sasikumar, P., and Arunachalam, S (2008). "Analysis and selection of green suppliers using interpretative structural modeling and analytic hierarchy process." International Journal of Management and Decision Making **9**: 163-182.

Karacan, C. Ö. (2008). "Evaluation of the relative importance of coalbed reservoir parameters for prediction of methane inflow rates during mining of longwall development entries." Computers & Geosciences **34**: 1114-1093.

Karacan, C. Ö. (2008). "Modeling and prediction of ventilation methane emissions of U.S.longwall mines using supervised artificial neural networks." International Journal of Coal Geology **73**: 387-371.

Karacan, C. Ö. (2009). "Forecasting gob gas venthole production performances using intelligent computing methods for optimum methane control in longwall coal mines." International Journal of Coal Geology **79**(4): 131-144.

Karacan, C. Ö., Drobniak, A., and Mastalerz, M (2014). "Coal bed reservoir simulation with geostatistical property realizations for simultaneous multi-well production history matching: a case study from Illinois Basin, Indiana ,USA." International Journal of Coal Geology **131**: 71-89.

Karacan, C. Ö., Ruiz, F. A., 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**(2-3): 121-156.

Keim, S. A., Luxbacher, K. D., and Karmis, M (2011). "“A numerical study on optimization of multilateral horizontal wellbore patterns for coalbed methane production in Southern Shanxi Province, China ”. .”International Journal of Coal Geology **86**(4): 306-317.

L, T. M. (2009). "A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach." Expert systems with applications **36**(4): 7738-7748.

Li, S., and Zhang, B" .(۲۰۱۶) .Research of Coalbed Methane Development Well-Type Optimization Method Based on Unit Technical Cost." Sustainability **8**: 843.

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." Trans Tech Publications. **962**: 28-21.

Liu, H., Yu, F., Yin, R., and Liu, R (2011). "Effects of Geologic Condition to Mine Gas Distribution and Control Measures." Procedia Earth and Planetary Science **3**: 355-363.

Mardani A., J. A., and Zavadskas E. K (2015). "Fuzzy multiple criteria decisionmaking techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014 ".Expert Systems with Applications **42**(8): 4148-4126.

Mastalerz ,A. G., Y. Kroos, B (2004). "Carbon dioxide and methane sorption in high volatile bituminous coals from Indiana, USA." International Journal of Coal Geology **60**(1): 55-43.

Mohammadi, S., M. Ataei and R. Kakaie (2018). "Assessment of the Importance of Parameters Affecting Roof Strata Cavability in Mechanized Longwall Mining." Geotechnical and Geological Engineering **36**(4): 2667-2682.

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

Ojha, K. K., B. Mandal, A" .(१०११) Coal Bed Methane in India: Difficulties and Prospects." International Journal of Chemical Engineering and Applications **2**: 260-256.

Oliver, R., and Covell, J. (1989). "Handbook for selection and characterization of potential UCG sites. Western Research Institute." Laramie, USA: 33-31.

Paul, S., and 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.

Peng, S. S. (2006). "Longwall mining. second edition, Morgantown." WV: 621. Rahimdel, M. J. and R. Bagherpour (2018). "Haulage system selection for open pit mines using fuzzy MCDM and the view on energy saving." Neural Computing and Applications **29**(6): 187-199.

Rezaee, M. J., Yousefi, S., and Hayati, J (2019). "Root barriers management in development of renewable energy resources in Iran: An interpretative structural modeling approach." Energy Policy **129**: 292-306.

Rice, D .D. (1993).Composition and origins of coalbed gas, Composition and origins of coalbed gas, chapter 7 of book: Hydrocarbon from coal, Study in Geology, v. 38, p. 159-184.

Rodrigues, C. F., Laiginhas, C., Fernandes, M., De Sousa, M. L., and Dinis, M. A. P . 20214" .The coal cleat system: A new approach to its study." Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering **6**(3): 208-218.

Rychlicki, S. T., K (2002). "World Coal Bed Methane Projects." European Coal Conference, Kraków.

Saghafi, D. F., M 2007 "CO2 Storage And Gas Diffusivity Properties of Coals from Sydney Basin, Australia." International Journal of Coal Geology **70**: 254-240.

Sang, S. X., Liu, H. H., Li, Y. M., Li, M. X., and Li, L (2009). "Geological controls over coal-bed methane well production in southern Qinshui basin." Procedia Earth and Planetary Science **1**: 917-922.

Sangaiah A. K., G. J., Basu A., and Subramaniam P. R (2017). "An integrated fuzzy DEMATEL, TOPSIS, and ELECTRE approach for evaluating knowledge transfer effectiveness with reference to GSD project outcome." Neural Computing and Applications **28**(1): 123-111.

Sangaiah, A. K., J. Gopal, A. Basu and P. R. Subramaniam (2017). "An integrated fuzzy DEMATEL, TOPSIS, and ELECTRE approach for evaluating knowledge transfer effectiveness with reference to GSD project outcome." Neural Computing and Applications **28**(1): 111-123.

Sangaiah AK, S. P., Zheng X (2015). "A combined fuzzy DEMATEL and fuzzy TOPSIS approach for evaluating GSD project outcome factors." Neural Comput Appl **26 (5)**: 1025-1040.

Sarhosis, V. J., A. Thomas, H (2016). "Economic modelling for coal bed methane production and electricity generation from deep virgin coal seams." Energy **107**.

Sathaiah, p., Chandra, S. J., and Prasad, V. N (2010). "Underground coal gasification, only solution of future deep seated coal deposits." National seminar on underground coal gasification Hyderabad, India: 179-172.

Singh, A. S., B. (1999). "Methane Gas: An Unconventional Energy resource." Indian Academy of Science

Su, X., Liu, X., Song, Y ., and Zhao, M. (2004). "The classification of coal bed methane reservoirs." Acta Geologica Sinica)English edition) **78(3)**: 662-666.

Suo W. L., F. B., and Fan Z. P. (2013). "Extension of the DEMATEL method in an uncertain linguistic environment." Soft Computing **16(3)**: 483-471.

Tang, D. Z., Deng, C. M., Meng, Y. J., Li, Z. P., Xu, H., Tao, S., and Li, S. (2015). "Characteristics and control mechanisms of coalbed permeability change in various gas production stages." Petroleum Science **12** 691-684.

Thakkar, J ., Deshmukh, S. G., Gupta, A. D., and Shankar, R (2006). "'Development of a balanced scorecard: an integrated approach of interpretive structural modeling (ISM) and analytic network process (ANP)." International Journal of Productivity and Performance Management **56(1)**: 25-59.

Thorsness, C., Hill, R. W., and Stephens, D. R (1980). "Preliminary results from an in-situ coal gasification experiment using explosive fracturing. Lawrence Livermore Laboratory." California, USA: 66.

W., W. W. (2008). "Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach." Expert Systems with Applications **35(3)**: 828-835.

Xin, Z. H. A. O., JIANG, B., Qiang, X. U., Jiegang, L. I. U., Yue, Z. H. A. O., and Piaopiao, D. U. A. N. (2016). "'Well pattern design and optimal deployment for coalbed methane development." Petroleum Exploration and Development **43**: 96-89.

Yanbin, Y., Dameng, L., Dazhen, T., Wenhui, H., Shuheng, T., and Yao, C. (2008). "A comprehensive model for evaluating coalbed methane reservoirs in China." Acta Geologica Sinica)English edition) **82(6)**: 1253-1270.

Yanbin, Y., Dameng, L., Dazhen, T., Wenhui, H., Shuheng, T., and Yao, C. (2008). "A comprehensive model for evaluating coalbed methane reservoirs in China." Acta Geologica Sinica)English edition) **82(6)**: 1253-1270.

Yousefi, S., Hayati, J., and Yousefi, S. (2017). "Identification and Management of the Main Challenges in Saffron Industry in Iran." Journal of Industrial Strategic Management)PAJOUHESHGAR(**2**: 114-197.

Yuan, L. (2011). "Theories and techniques of coal bed methane control in China." Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering **3**: 351-343.

Yumin, L. D., T. Haohan, L (2012). "Production characteristics and the key factors in high-rank coalbed methane fields: A case study on the Fanzhuang Block, Southern Qinshui Basin, China." International Journal of Coal Geology **97**: 108-193.

Zhang, L., Yan, X., Yang, X., and Zhao, X. (2015). "An analytical model of coal wellbore stability based on block limit equilibrium considering irregular distribution of cleats." International Journal of Coal Geology **152**: 147-158.

Zhao, J., Tang, D., Xu, H., Lv, Y., and Tao, S (2015). "High production indexes and the key factors in coalbed methane production: A case in the Hancheng block, southeastern Ordos Basin, China." Journal of Petroleum Science and Engineering **130**: 67-55.

Zhou, J., Liang, G., Deng, T., and Zhou, S. (2017). "Optimization design of coalbed methane pipeline network-coupled wellbore/reservoir simulation." Advances in Mechanical Engineering **9**: 8-7.

پیوست

فرم های نظرسنجی استفاده شده در این پژوهش

جدول ۴-۵ جدول نظرسنجی کارشناس ۱

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارامترهای سایر بر پارامتر هر گذاری تاثیر نظرسنجی ماتریس های	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	0	4	4	3	4	0	4	0	0	2	2	0	0	0
P2	4	0	0	3	4	0	4	0	0	1	1	0	0	0
P3	3	0	0	3	4	2	3	0	0	3	3	3	4	4
P4	3	0	0	0	4	0	4	0	0	4	3	2	2	2
P5	4	3	3	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	2	3	3	0	0	4	3	2	4	4	4	2	1
P7	4	4	3	3	3	4	0	4	3	4	4	3	3	3
P8	1	1	0	2	1	1	4	0	0	3	2	4	4	4
P9	3	2	1	1	0	2	3	0	0	3	3	3	3	3
P10	0	0	3	3	0	4	4	1	1	0	4	4	3	3
P11	3	0	2	2	0	4	4	4	4	4	0	3	3	2
P12	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	0	4	4
P13	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	4	0	4
P14	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	4	4	0

جدول ۵-۵ جدول نظر سنجی کارشناس ۲

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارافهای سایر بر پاراف هر گذاری تأثیر نظرسنجی مائیس های														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	۰	۴	۱	۴	۴	۳	۴	۰	۱	۲	۴	۰	۰	۰
P2	۴	۰	۰	۴	۴	۰	۴	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰
P3	۳	۱	۰	۴	۴	۱	۳	۰	۰	۰	۱	۱	۳	۲
P4	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۴	۰	۰	۰	۲	۰	۲	۱
P5	۴	۳	۰	۳	۰	۰	۴	۰	۰	۰	۱	۰	۳	۱
P6	۱	۱	۳	۲	۰	۰	۴	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۳
P7	۳	۳	۳	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۴	۳
P8	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۱	۳	۴	۴	۴
P9	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۳	۱	۰	۱	۳	۴	۴	۳
P10	۰	۰	۴	۳	۲	۱	۴	۰	۰	۰	۴	۳	۳	۲
P11	۰	۰	۳	۲	۰	۰	۴	۰	۰	۲	۰	۳	۳	۱
P12	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۴
P13	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۴
P14	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۴	۰

جدول ۵-۶ جدول نظر سنجی کارشناس ۳

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارافهای سایر بر پاراف هر گذاری تأثیر نظرسنجی مائیس های														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	۰	۴	۳	۲	۲	۱	۲	۰	۳	۲	۳	۱	۰	۰
P2	۳	۰	۱	۳	۴	۱	۲	۰	۴	۱	۳	۱	۰	۰
P3	۱	۱	۰	۰	۱	۴	۰	۰	۳	۴	۳	۲	۲	۲
P4	۲	۴	۱	۰	۳	۲	۱	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۱
P5	۲	۴	۳	۳	۰	۲	۲	۱	۳	۲	۳	۱	۰	۰
P6	۲	۱	۱	۱	۱	۰	۴	۰	۲	۳	۱	۳	۳	۳
P7	۳	۳	۱	۲	۲	۳	۰	۲	۴	۴	۳	۳	۳	۳
P8	۱	۱	۰	۱	۱	۲	۰	۰	۰	۱	۱	۳	۴	۴
P9	۳	۰	۲	۱	۱	۲	۰	۰	۰	۲	۰	۳	۳	۳
P10	۲	۰	۳	۰	۲	۴	۱	۱	۲	۰	۳	۳	۳	۳
P11	۳	۳	۴	۱	۳	۳	۰	۱	۲	۲	۰	۱	۳	۲
P12	۰	۰	۱	۰	۲	۴	۱	۳	۲	۳	۲	۰	۱	۴
P13	۰	۰	۲	۰	۲	۳	۳	۴	۲	۳	۲	۴	۰	۴
P14	۰	۰	۲	۱	۲	۳	۲	۴	۳	۳	۲	۴	۴	۰

جدول ۷-۵ جدول نظرسنجی کارشناس ۴

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارافین های سایر بر پارافین هر گذاری تاثیر نظرسنجی مایس های	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	۰	۴	۳	۳	۴	۰	۴	۰	۰	۲	۲	۱	۱	۲
P2	۲	۰	۰	۱	۴	۲	۴	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰
P3	۰	۰	۰	۱	۴	۱	۳	۰	۰	۲	۲	۳	۰	۰
P4	۲	۳	۲	۰	۴	۰	۳	۰	۰	۱	۰	۲	۱	۴
P5	۲	۴	۲	۳	۰	۰	۲	۰	۰	۱	۰	۳	۳	۲
P6	۴	۰	۲	۲	۰	۰	۳	۰	۰	۲	۳	۴	۴	۰
P7	۴	۲	۲	۴	۲	۳	۰	۴	۳	۴	۴	۲	۲	۳
P8	۰	۰	۲	۴	۰	۲	۴	۰	۰	۲	۴	۴	۴	۴
P9	۳	۰	۱	۳	۱	۲	۳	۱	۰	۱	۳	۴	۴	۰
P10	۰	۰	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۰	۴	۳	۳	۳
P11	۴	۰	۲	۲	۱	۱	۴	۲	۳	۴	۰	۳	۳	۲
P12	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۴	۲	۱	۱	۲	۰	۴	۳
P13	۰	۱	۱	۲	۰	۱	۲	۰	۱	۱	۲	۰	۰	۳
P14	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۲	۰	۰	۱	۰	۲	۳	۰

جدول ۵-۸ جدول نظرسنجی کارشناس ۵

لایه از متان گاز گازخوی بر موثر پارافوهای سایر بر پارافو هر گذاری تاثیر نظرسنجی مائیس های	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	۰	۲	۰	۳	۴	۱	۴	۱	۱	۳	۴	۲	۳	۲
P2	۳	۰	۰	۳	۳	۰	۴	۰	۰	۱	۴	۳	۳	۱
P3	۱	۲	۰	۳	۳	۲	۴	۰	۰	۳	۲	۳	۴	۴
P4	۱	۲	۳	۰	۳	۱	۲	۳	۱	۰	۳	۱	۳	۳
P5	۲	۳	۴	۰	۰	۲	۳	۴	۲	۱	۰	۳	۴	۰
P6	۰	۴	۳	۳	۰	۰	۳	۲	۱	۴	۳	۴	۴	۳
P7	۳	۴	۳	۳	۴	۲	۰	۴	۴	۴	۴	۳	۲	۱
P8	۲	۲	۳	۳	۱	۳	۴	۰	۰	۳	۴	۴	۴	۴
P9	۳	۰	۱	۲	۳	۳	۴	۱	۰	۱	۳	۴	۴	۰
P10	۲	۴	۳	۲	۱	۳	۴	۱	۰	۰	۴	۳	۳	۱
P11	۳	۲	۴	۳	۴	۰	۴	۰	۰	۱	۰	۳	۳	۰
P12	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۴	۰	۲	۰	۰	۰	۴	۳
P13	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴
P14	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۵-۹ جدول نظرسنجی کارشناس ۶

لایه از متان گاز گازخوی بر موثر پارافوهای سایر بر پارافو هر گذاری تاثیر نظرسنجی مائیس های	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	0	0	0	0	2	0	0	4	3	3	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	3
P3	1	1	0	1	0	0	0	4	0	3	0	0	1	1
P4	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	0	0	0	2
P5	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	2	3	3	0	2	1	0	0	0	3	0	0
P7	4	4	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
P8	3	3	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P9	2	2	3	4	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0
P12	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول ۵-۱۰ جدول نظرسنجی کارشناس ۷

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارامترهای سایر پارامتر هر گذاری تاثیر نظرسنجی مآویس های														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	۰	۴	۰	۴	۴	۰	۴	۱	۳	۱	۳	۰	۰	۰
P2	۳	۰	۰	۳	۲	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
P3	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۲	۲
P4	۳	۳	۰	۰	۴	۰	۴	۱	۰	۰	۲	۰	۰	۰
P5	۲	۲	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۰	۱	۳	۲	۲
P6	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۳	۱	۴	۳	۳
P7	۲	۲	۰	۲	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۴	۳	۳
P8	۰	۰	۲	۰	۰	۲	۲	۰	۲	۰	۰	۴	۴	۴
P9	۰	۰	۲	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۳	۱	۴	۴	۴
P10	۰	۰	۲	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۳	۴	۴	۳
P11	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
P12	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۴
P13	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰
P14	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۴	۰

جدول ۵-۱۱ جدول نظرسنجی کارشناس ۸

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارامترهای سایر پارامتر هر گذاری تاثیر نظرسنجی مآویس های														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	۰	۴	۴	۳	۳	۳	۰	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۳
P2	۴	۰	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲
P3	۴	۲	۰	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
P4	۳	۱	۱	۰	۲	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۲	۲	۲
P5	۳	۱	۱	۲	۰	۱	۳	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۲
P6	۳	۲	۲	۳	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
P7	۰	۱	۱	۳	۳	۱	۰	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۲
P8	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۲	۰	۱	۲	۲	۲	۲	۲
P9	۲	۲	۱	۴	۲	۱	۱	۱	۰	۲	۲	۲	۱	۱
P10	۳	۲	۱	۴	۲	۱	۱	۲	۲	۰	۱	۱	۱	۱
P11	۳	۲	۱	۴	۱	۱	۲	۲	۲	۱	۰	۱	۱	۱
P12	۳	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۰	۲	۲
P13	۳	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۰	۳
P14	۳	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۳	۰

جدول ۵-۱۲ جدول نظرسنجی کارشناس ۹

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارافهای سایر بر پاراف هر گذاری تاثیر نظرسنجی مایوس های														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	۰	۳	۲	۲	۴	۰	۳	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱
P2	۲	۰	۰	۰	۳	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
P3	۰	۰	۰	۱	۳	۱	۲	۰	۰	۱	۲	۲	۰	۰
P4	۲	۳	۱	۰	۳	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۳
P5	۲	۳	۲	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۲
P6	۳	۰	۱	۱	۰	۰	۲	۰	۰	۲	۲	۳	۳	۰
P7	۳	۱	۱	۳	۲	۳	۰	۳	۲	۴	۴	۳	۳	۱
P8	۰	۰	۱	۳	۰	۱	۳	۰	۰	۱	۳	۴	۴	۴
P9	۲	۰	۱	۳	۱	۲	۳	۱	۰	۱	۳	۴	۴	۰
P10	۰	۰	۳	۱	۰	۳	۴	۰	۰	۰	۴	۲	۲	۲
P11	۳	۰	۱	۱	۰	۰	۴	۲	۳	۴	۰	۱	۱	۱
P12	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۳
P13	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳
P14	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۵-۱۳ جدول نظرسنجی کارشناس ۱۰

لایه از متان گاز خنثی بر موثر پارافهای سایر بر پاراف هر گذاری تاثیر نظرسنجی مایوس های														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1	0	3	0	3	4	0	3	3	0	0	3	2	2	2
P2	3	0	1	1	3	0	4	0	0	0	2	1	1	1
P3	0	1	0	0	0	0	3	0	3	0	1	1	3	3
P4	3	1	0	0	4	0	3	4	3	4	3	2	2	2
P5	4	3	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	4	3	1	4	3	3	3	3
P7	3	4	3	3	1	4	0	3	4	4	4	2	2	2
P8	3	0	0	4	0	3	3	0	0	0	2	4	4	3
P9	0	0	3	3	0	1	4	0	0	1	3	3	3	3
P10	0	0	0	4	0	4	4	0	1	0	4	4	3	3
P11	3	2	1	3	0	4	4	2	3	4	0	1	1	1
P12	2	1	1	2	0	3	2	4	3	4	1	0	4	4
P13	2	1	3	2	0	3	2	4	3	2	1	4	0	4
P14	2	1	3	2	0	3	2	3	3	3	1	4	4	0

Abstract

Recognizing the factors affecting gas emissions from coal layers, in order to increase the safety of underground workshops, prevent the occurrence of methane gas explosion, self-immolation and fire, collapse of the extraction workshop, economic use of methane gas from coal, cost reduction Ventilation systems and mitigation of harmful environmental effects are necessary. In order to implement degassing systems in coal mines, this research is presented to first affect the factors that affect the gas emission of methane emitted from coal layers; Identify and in the next step, determine the relationship between each of the parameters by determining the impact and effectiveness of each of the factors affecting gas emissions. Finally, by determining the weight of the effect of each parameter on the gas emission of methane emitted from the coal layers, an indicator should be determined to assess the gas emissions of the coal layer. With studies; Fourteen parameters affecting the gasification process were identified. Fuzzy DEMATEL method was used to determine the effect of the parameters. Based on this, the opinions of experts and experts active in the field of coal mining have been used. After collecting survey tables from experts, ten questionnaires were approved. The comments applied in the survey tables were converted into primary matrices using fuzzy numbers, which were finally determined by applying the Fuzzy DEMATEL method to the weight of the impact of each of the parameters affecting the gasification process. Then, in order to calculate the gasification evaluation index based on the weight of the parameters, a point was assigned to each of the parameters affecting the gasification, based on the impact on the gasification process. This score is based on the impact of each parameter on gas consumption. By determining the weight of each parameter and the score corresponding to its quantitative range, the gasification evaluation index is calculated. The gasification index obtained indicates the intensity of gasification under certain conditions of a particular project with technical specifications of the coal layer or a mine. The higher the value of this index, the closer it is to 100; This means that the methane gas emission rate in the project is so high that it needs to be degassed. For this purpose, by classifying this index, coal gasification is evaluated.

Keywords

Coal, gasification, classification, fuzzy multi-criteria decision making method, Fuzzy DEMATEL



Shahrood University of
Technology

School of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

Master's thesis in order to obtain a master's degree

Provide a classification system to evaluate gas emissions in coal mines

By : Mohammad Husayn Habibi

Supervisor:
Prof. Farhang Sereshki
Prof. Mohammad Ataei

October 2021