فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۷ (۱۳۹۰)، شماره ۲: ۱۷۶-۱۶۷
www.appliedgeology.ir
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد زاهدان

اولویت‌بندی بهره‌برداری از مناطق مستعد زهکشی گاز متان در حوضه زغالی البرز شرقی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

حسن محمدی[۱]، حمید آقاجانی*[۲] و مهدی نجفی[۲]

۱) گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، hmohammadi7@gmail.com
۲) گروه اکتشاف و ژئوفیزیک، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، haghajani@shahroodut.ac.ir
*) عهده‌دار مکاتبات

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۵ ؛ تاریخ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۶/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۵ ؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۶/۳۰

چکیده

کلیه‌ی لایه‌های زغال‌سنگ حاوی گاز هستند. گاز زغال‌سنگ حاوی مقدار قابل توجهی متان (CH_4) و مقدار کمی هیدروکربن‌های سنگین‌تر از متان مانند دی‌اکسیدکربن (CO_2)، مونواکسیدکربن (CO)، سولفید هیدروژن (H_2S) و غیره است. زهکشی گاز متان از لایه زغال‌سنگ (Coal Bed Methane, CBM) که گاززدایی زغال‌سنگ نیز نامیده می‌شود به عمل انتقال و بیرون کشیدن گاز موجود در لایه‌های زغال‌سنگی و لایه‌های متصل به آن از طریق چاه، گمانه و خطوط لوله گفته می‌شود. از آنجا که پارامترهای زیادی از جمله پارامترهای زمین‌شناسی، بر انتخاب محل و اجرای یک پروژه موثر هستند، بنابراین هدف اصلی این تحقیق اولویت‌بندی بهره‌برداری مناطق مستعد زهکشی گاز متان در حوضه زغالی البرز شرقی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(Analytic Hierarchy Process, AHP) بر اساس این پارامترها است. از این‌رو با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در حوضه زغالی البرز شرقی، ۵ منطقه زغالی انتخاب شد. سپس به منظور اولویت‌بندی بهره‌برداری با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، معیارهای توان گازدهی لایه، میزان ذخیره، فاصله تا خط لوله سراسری گاز، متوسط درصد مواد مضر، متوسط درصد مواد فرار و متان محتوی انتخاب گردید. به این ترتیب، منطقه پشکلات، به عنوان گزینه‌ای مناسب از نظر قابلیت بهره‌برداری انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: زهکشی گاز متان از لایه زغال‌سنگ (CBM) ، حوضه زغالی البرز شرقی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، گاز محتوی.

۱- مقدّمه

سازند زهکشی گاز متان یا متان‌زدایی، روشی جدید نیست. زهکشی متان که گاززدایی زغال‌سنگ نیز نامیده می‌شود به عمل انتقال و بیرون کشیدن گاز موجود در لایه‌های زغال‌سنگ و لایه‌های متصل به آن از طریق چاه، گمانه و خطوط لوله (Gerald et al. 1992) گفته می‌شود. گاز متان موجود در لایه‌های زغال‌سنگ (CBM) منبع انرژی کم کربن و تمیزی است که به عنوان سوخت برای مصارف مسکونی، صنعتی و تجاری، تولید الکتریسیته و همچنین سوخت وسایل نقلیه به کار می‌رود (Solomon 2006). در حال حاضر CBM تحت عنوان گاز لایه زغال‌سنگ (Coal Seam Gas, CSG) یا گاز طبیعی لایه

زغال‌سنگ (Coal Seam Natural Gas, CSNG) تعریف می‌شود. این روش سبب بازیابی گاز متان موجود در لایه‌های زغال‌سنگی که در اثر استخراج سنتی هدر می‌رود، می‌گردد (**شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی ۱۳۵٦ و ۱۳٦٤**). این روش خطرات ناشی از معدن‌کاری زیرزمینی زغال‌سنگ و هزینه‌های تهویه هوای معدن را کاهش داده و اثرات مخرب زیست محیطی استخراج زغال سنگ مانند انتشارگازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب‌های سطحی و غیره را از بین می‌برد. زهکشی گاز متان ابتدا از قاره اروپا آغاز شد. اولین فعالیت در این زمینه در سال ۱۷۳۰ میلادی در انگلستان و برای بیرون کشیدن متان از لایه‌های زغال‌سنگ انجام شد (Diamond 1994). در اواخر دهه ۱۸۰۰، استفاده از گمانه‌های تقاطعی به منظور متان‌زدایی از لایه‌های دربرگیرنده زغال‌سنگ در ولز شمالی (North Wales) موفقیت آمیز بود. اولین موفقیت در زمینه اجرای سیستم کنترل، نصب و حفاری گمانه‌های قائم در سال ۱۹٤۳ و اولین استفاده موفقیت آمیز از گمانه‌های تقاطعی در مقیاس بزرگ، در اواخر دهه ۱۹٤۰ در منطقه زغالی روهر (Ruhr) آلمان حاصل شده است (Venter & Stassen 1953). اوایل دهه ۱۹۰۰، در کشور آمریکا، امکان استفاده از گمانه‌های قائم و افقی پیش از معدن‌کاری برای متان‌زدایی، مورد بررسی قرار گرفت. اولین گمانه قائم در سال ۱۹۰۵ در آمریکا، به منظور حذف گاز از طبقات زیرین لایه زغال پترسبورگ در ویرجینای غربی حفاری شد. در سال ۱۹٤۲ بر روی همین لایه زغالی تعداد ۲۲ حلقه گمانه‌ی دیگر حفاری شد که تولید گاز متان از این گمانه‌ها تا سال ۱۹۸٤، معادل ۳٤ میلیون مترمکعب گزارش شد. سال ۱۹۵۲ در آمریکا، اولین گمانه قائم به منظور حذف مستقیم گازها از داخل لایه زغال‌سنگ، در معدنی در پنسیلوانیای شرقی طراحی شد (Diamond 1994). در حال حاضر بسیاری از کشورها مطالعاتی را در این زمینه آغاز نموده و درصدد بهره‌برداری و تولید انرژی از منابع متان موجود در لایه‌های زغال‌سنگ هستند. تاکنون بیش از ۳۵ کشور اکتشافاتی را در رابطه با گاز زغال‌سنگ انجام داده و بیش از ۱۳ کشور نیز در حال استحصال گاز از معادن زغال سنگ هستند. از این میان چهار کشور ایالات متحده، انگلستان، استرالیا و کانادا در حال تولید تجاری گاز زغال و دو کشور چین و هند نیز در شرف رسیدن به مرحله ی تولید تجاری این گاز هستند. اخیراً اسکاتلند نیز اقدام به تولید و فروش مقداری گاز به صورت پایلوت نموده است (Hennings 2009). همچنین پروژه‌های عملیاتی زیادی در رابطه با ارزیابی جامع زهکشی گاز متان در دنیا صورت گرفته است (Yao et al. 2008, Yao et al. 2009, Ayers 2002).

در ایران منابع زغالی بسیاری وجود دارد که بعضی از آن‌ها برای متان‌زدایی مستعد می‌باشند. از طرفی به دلیل روند رو به رشد و افزایش نیاز کشور به انرژی و اهمیت یافتن منابع جایگزین برای نفت و گاز متعارف، ضروری است که به امکان‌سنجی و اولویت‌بندی استحصال این منبع بالقوه انرژی در کشور پرداخته شود. این تحقیق برای استفاده از فناوری نوین CBM و اولویت‌بندی مناطق مستعد گازکشی در حوضه‌های زغالی کشور، موضوع جدیدی بوده که در ایران تاکنون تحقیقی در این زمینه انجام نشده است.

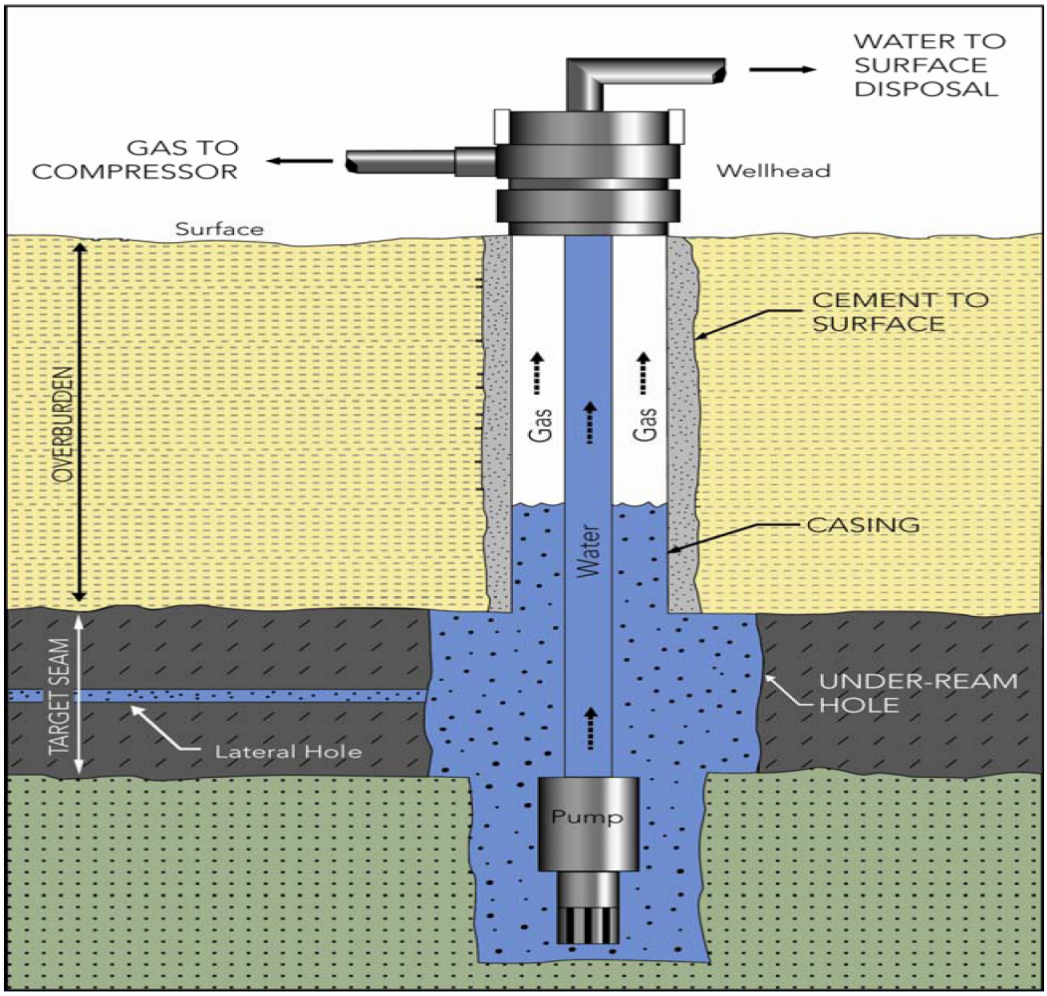
بیشتر تحقیقات انجام شده در کشور در رابطه با گاز متان معادن زغال‌سنگ بوده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به گاز زغال و روش‌های کاهش آن (گاززدایی) در معدن پرورده طبس (توکلی و سرشکی ۱۳۸۵) و نیز تکنیک‌های گاززدایی از معادن زغال‌سنگ (دگازاژ) (قوام آبادی و موسوی نسب ۱۳۸۲) اشاره نمود.

در بررسی‌های مذکور، بیشتر به گردآوری مطلب در مورد گاز زغال در معادن زغالسنگ طبس و کرمان پرداخته شده و هیچ گونه پیشنهادی برای اولویت‌بندی استحصال گاز متان در این مناطق ارائه نشده است. علاوه بر این در طراحی معدن زغال‌سنگ طبس که اولین معدن مکانیزه کشور است به دلیل گازخیزی بالای، در طراحی آن معدن عملیات متان‌زدایی از داخل معدن در نظر گرفته شده است، ولی از سطح زمین عملیات گازکشی پیش از عملیات استخراج انجام نمی‌شود (Anon 2005).

در این تحقیق، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای معیارهای زیادی که می‌تواند در انتخاب اولویت‌بندی بهره‌برداری از مناطق مستعد در یک حوضه زغالی تاثیر گذار باشند استفاده گردید. بنابراین ابتدا به تشریح فرآیند CBM و روش‌های متان‌زدایی پرداخته شده و سپس به اولویت‌بندی بهره‌برداری مناطق مستعد پرداخته می‌شود.

۲- فرآیند CBM

در فرآیند CBM، گاز زغال‌سنگ عموماً از نواحی معدن‌کاری نشده توسط آب‌کشی از گمانه حفر شده یا در اثر مکش گاز موجود در گمانه (لایه‌های بالای سطح آب ایستابی)، استخراج می‌شود. گاز متان را می‌توان توسط گمانه‌های حفر شده قبل از معدن‌کاری بازیابی کرد. وقتی گمانه‌ی زهکشی متان یا فضای معدنی در لایه‌ای حفر شود، یک فضای کم فشار در لایه ایجاد و گاز از محل حبس یا جذب شده در آن آزاد می‌گردد و به سمت گمانه حرکت می‌کند (Gerald et al. 1992, Crosdale et al. 1998). شمای کلی گمانه CBM در تصویر ۱ ارائه شده است. در گمانه‌های این فرآیند نیز همانند روش‌های مرسوم حفر گمانه، عملیات جداره‌گذاری و سیمانکاری دیواره اجرا می‌گردد.



تصویر ۱- شمایی از گمانه‌های CBM (Youngson et al. 2007).

به منظور جلوگیری از کاهش نفوذپذیری ناشی از سیمانه‌کاری دیواره، که ممکن است سبب بسته شدن کلیت‌های (سیستم شکستگی‌های ریز در سطح زغال‌سنگ) سطح زغال‌سنگ گردد باید در تهیه دوغ آب سیمان دقت شود.

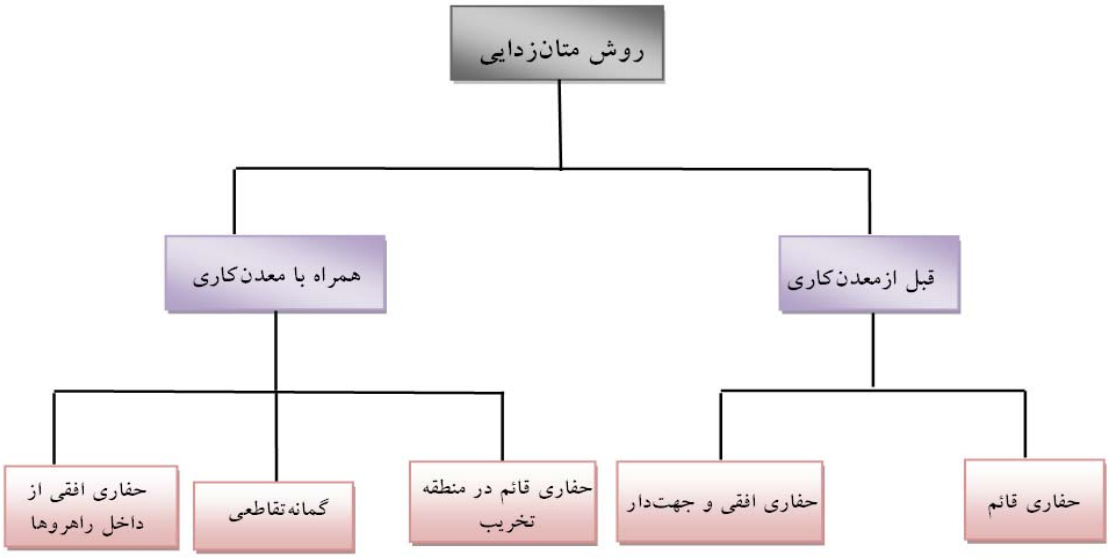
علاوه بر روش CBM، متان‌زدایی از داخل معدن (Coal Mine Methane, CMM) و روش بهبود یافته متان‌زدایی از داخل لایه زغال‌سنگ (Enhanced Coal Bed Methane, ECBM) نیز وجود دارد که از زیرمجموعه‌های CBM هستند. در روش CMM، همزمان با عملیات استخراج زغال‌سنگ، گاز متان توسط گمانه‌های عمودی، افقی و جهت‌دار از داخل لایه زهکشی می‌شود. در روش ECBM، با تزریق دی‌اکسیدکربن به داخل لایه و در اثر فعل و انفعالات شیمیایی انجام شده در آن، گاز متان آزاد شده و سپس عمل زهکشی انجام می‌شود (Youngson et al. 2007, Fox 2009, Robert 2002).

۳- روش‌های متان‌زدایی

تفاوت ساختارهای زمین‌شناسی و شرایط معدن‌کاری متفاوت در سراسر دنیا منجر به استفاده از روش‌های مختلف زهکشی گاز متان شده است. زهکشی گاز متان به دو صورت کلی متان‌زدایی پیش از معدن‌کاری (Pre-Drainage) و متان‌زدایی همراه با معدن‌کاری (Post-Drainage) قابل انجام است.

هر یک از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند. در انجام پروژه متان‌زدایی باید با بررسی کلیه پارامترهای موثر و بررسی فنی و اقتصادی یکی از روش‌های متان‌زدایی یا مجموعه‌ای از این روش‌ها را به صورت ترکیب با یکدیگر مورد بررسی قرار داد. متان‌زدایی، با توجه به عمق لایه زغال‌سنگ و کیفیت گاز مورد تقاضا، به وسیله گمانه قائم (Vertical Well)، گمانه افقی (Horizontal Well)، گمانه قائم در منطقه تخریبی (Gob Well) و گمانه تقاطعی (Cross-Measure Borehole) قابل انجام است (تصویر ۲).

در یک معدن یا یک منطقه، بسته به شرایط ساختاری و زمین‌شناسی، میزان گازخیزی، تجهیزات و سایر پارامترهای تاثیرگذار در متان زدایی، ممکن است از یک یا ترکیبی از روش‌های مختلف با یکدیگر استفاده شود.



تصویر ۲- روش‌های زهکشی گاز متان (United Nations Reports-ECE Energy Series 2010)

۴- پارامترهای موثر در روش CBM

در هنگام تجزیه مواد گیاهی و تبدیل آن‌ها به انواع زغال‌سنگ، مقدار زیادی گاز متان و گازهای دیگر تشکیل می‌شود. بیشتر این گازها در لایه‌های زغال‌سنگ محبوس و مقداری نیز در سنگ‌های درون‌گیر جمع می‌شوند. زغال‌سنگ از دو نوع حفره میکروسکوپی (کمتر از ۲ نانومتر) و ماکروسکوپی (بیشتر از ۵۰ نانومتر) تشکیل شده است. تجمع متان در زغال‌سنگ به دو صورت است (توکلی و سرشکی ۱۳۸۵):

۱- به صورت جذب سطحی بر روی حفره‌ها و سطوح میکروسکوپی زغال‌سنگ.

مکانیزم نگهداری گاز درون زغال‌سنگ به صورت جذب سطحی، به خلل و فرج میکروسکوپی بستگی دارد، زیرا حدود ۸۵ درصد از خلل و فرج در سطح زغال‌سنگ به‌صورت میکروسکوپی است.

۲- به صورت گاز آزاد

تجمع گاز متان در سطح زغال‌سنگ به صورت گاز آزاد به مراتب کمتر از جذب سطحی است. معمولاً بیش از ۹۵ درصد از گاز زغال‌سنگ به صورت جذب سطحی به شکل لایه‌های تک مولکولی بر روی سطح زغال‌سنگ و کمتر از ۵ درصد به صورت گاز آزاد است.

زمین‌شناسی در مراحل مختلف معدن‌کاری اهمیت ویژه‌ای دارد. پارامترهای زمین‌شناسی در یک پروژه، از جمله پارامترهای مهمی هستند که درصورت نادیده گرفتن خسارات جبران ناپذیری به پروژه تحمیل می‌شود و حتی سبب تعطیلی آن خواهد شد. در جدول ۱ مهم‌ترین پارامترهای زمین‌شناسی موثر در فرآیند متان‌زدایی ارائه شده است.

جدول ۱- معیارهای زمین‌شناسی مورد انتظار در اجرای فرآیند متان‌زدایی از زغال‌سنگ روبرت (Robert 2002)

پارامترهای زمین‌شناسی	مشخصات مناسب
ضخامت لایه	لایه با ضخامت بالا
عمق لایه	زغال‌سنگ‌های کم عمق
یکنواختی لایه	لایه زغال‌سنگ یکنواخت
گستردش زغال‌سنگ	محدوده وسیع
ویژگی‌های کمربالا و کمرپائین لایه	سنگ‌های سقف و کف با دانه‌بندی مناسب
مقدار تمرکز گاز	گاز محتوی بالا (بالای ۳ تن بر مترمکعب)
ترکیبات گاز	حاوی متان بالا
وضعیت نفوذپذیری	نفوذپذیری بالا (بالای ۵ میلی دارسی)
کیفیت زغال‌سنگ (رتبه)	زغال‌سنگ‌های آنتراسیت و بیتومینه

۵- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط ساتی (Saaty 1980) مطرح شد. از آن زمان تاکنون توسط وی و دیگران باید در رشته‌های مختلف به کار رفته است (Saaty 1980, 1994, 2008). کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر سه اصل ایجاد یک ساختار مناسب برای مسئله، برقراری برتری‌ها از طریق ماتریس مقایسه زوجی و برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها استوار است. برای به دست آوردن گزینه مناسب در روش تحلیل سلسله مراتبی، باید مراحل ساختن سلسله مراتب، محاسبه وزن و سازگاری سیستم را به ترتیب انجام داد.

۵-۲- محاسبه وزن

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مرتبط به آن در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها به صورت نسبی محاسبه می‌گردد. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه که وزن مطلق است، مشخص می‌شود. در این مقایسه‌ها تصمیم گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده نمی‌کنند یعنی اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالات کاملاً برتر، خیلی برتر، برتر، کمی برتر و بدون برتری (اهمیت یکسان) است. این قضاوت‌ها به صورت مقادیر عددی و کمّی بین ۱ تا ۹ در جدول ۲ آورده شده است (Saaty 1980).

جدول۲- مقادیر برتری‌ها برای مقایسه‌های زوجی بین پارامترها (Saaty 1980)

مرتبه برتری	کاملاً برتر	خیلی برتر	برتر	کمی برتر	بدون برتری	ترجیحات بین فواصل فوق
مقدار عددی	۹	۷	۵	۳	۱	۲، ٤، ٦ و ۸

پس از ایجاد و تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، وزن هر گزینه محاسبه خواهد شد. به عبارت دیگر با استفاده از مقایسه‌های زوجی که در ماتریس مقایسه زوجی بیان شده است، وزن نهایی هر گزینه محاسبه خواهد شد. برای محاسبه وزن هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی (وزن نسبی)، روش‌های متنوعی پیشنهاد شده است. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش‌های حداقل مربعات معمولی، میانگین حسابی، حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه و روش‌های تقریبی اشاره کرد.

در روش میانگین حسابی، برای محاسبه وزن ابتدا مقادیر هر کدام از ستون‌ها با هم جمع شد. در مرحله دوم، هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی به جمع ستون خودش تقسیم شد تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالایز شود. در مرحله سوم، میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالایز شده محاسبه شد. به طور کلی مقدار وزن نهایی هرگزینه از رابطه (۱) محاسبه خواهد شد:

$$\sum_{i}^{j} a_i w_{ij} = w_i \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی (۱)

w_i: وزن نهایی گزینه iام.

a_j: ضریب اهمیت معیار jام.

W_{ij}: میزان وزن گزینه i ام نسبت به معیار jام می‌باشد.

۵-۳- سازگاری سیستم

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، کنترل سازگاری تصمیم است، به عبارت دیگر در این فرایند می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نموده و در مورد خوب، بد و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. برای محاسبه نرخ ناسازگاری باید مراحل زیر انجام شود (Saaty 1980).

۱- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی A

۲- مشخص کردن بردار وزن W

۳- آیا بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس A (λ_{max}) مشخص است؟ اگر مشخص است به مرحله ٤ بروید و در صورتی‌که مشخص نیست به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

- با ضرب بردار W در ماتریس A تخمین مناسبی از λ_{max} w بدست آورید: $AW = \lambda_{max} w$

- با تقسیم مقادیر بدست آمده برای λ_{max} w بر W مربوطه، تخمین‌هایی از (λ_{max}) را محاسبه نمائید.

- مقدار متوسط (λ_{max}) را پیدا کنید.

٤- مقدار شاخص سازگاری از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۲)$$

۵- نرخ ناسازگاری از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \qquad (۳)$$

که در آن:

n	۱	۲	۳	٤	۵	٦	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R.	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤۵	۱/٤۵

در صورتی‌که نرخ ناسازگاری سیستم بیشتر از ۰/۱ باشد، تصمیم‌گیرنده باید در قضاوت‌های خود تجدید نظر نماید.

۶- مشخصات مناطق زغالی حوضه البرز شرقی

حوضه زغالی البرز شرقی در رشته کوه‌های البرز واقع شده است. ارتفاع این منطقه از سطح دریا حدود ۲۰۰۰ تا ۲۸۰۰ متر متغیر است. آب و هوای منطقه کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم و معتدل است. این حوضه شامل دو منطقه عمده‌ی زغالی طزره (که دربرگیرنده معادن پشکلات، کلاریز، رزمجا و ممدویه است) و منطقه قشلاق و اولنگ (که در برگیرنده معادن متعددی از جمله رضی، ملچ آرام، جوزچال، کشکک و غیره است)

۶-۱- اولویت‌بندی بهره‌برداری از مناطق زغالی مستعد زهکشی گاز متان با روش تحلیل سلسله مراتبی

به منظور اولویت‌بندی بهره‌برداری مناطق مستعد زهکشی گاز متان در

حوضه زغالی البرز شرقی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ۵ منطقه زغالی کلاریز، پشکلات، رضی، ملچ آرام فوقانی و رزمجا انتخاب شدند. با توجه به منابع موجود در زمینه متان‌زدایی و همچنین مطالعات انجام شده پیرامون مناطق زغالی حوضه البرز شرقی، در مجموع ۷ پارامتر مهم توان گازدهی لایه، میزان ذخیره، توپوگرافی سطح زمین، موقعیت نسبت به خط لوله سراسری گاز، درصد متوسط مواد فرار، مقدار متوسط گاز متان و درصد مواد مضر در ترکیبات گازی، برای اولویت‌بندی استفاده شدند. پارامترهای نهایی مربوط به ۵ منطقه زغالی در جدول ۳ ارائه شده است. به منظور اولویت‌بندی بهره‌برداری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، در انتخاب معیارها یکسری از عوامل به صورت زیر در نظر گرفته شدند:

– میزان گازخیزی لایه‌های دربرگیرنده زغال‌سنگ کم و ویژگی‌های کمربالا و کمرپائین یکسان است، بنابراین از انتخاب آن‌ها به عنوان یک معیار صرف‌نظر شده است.

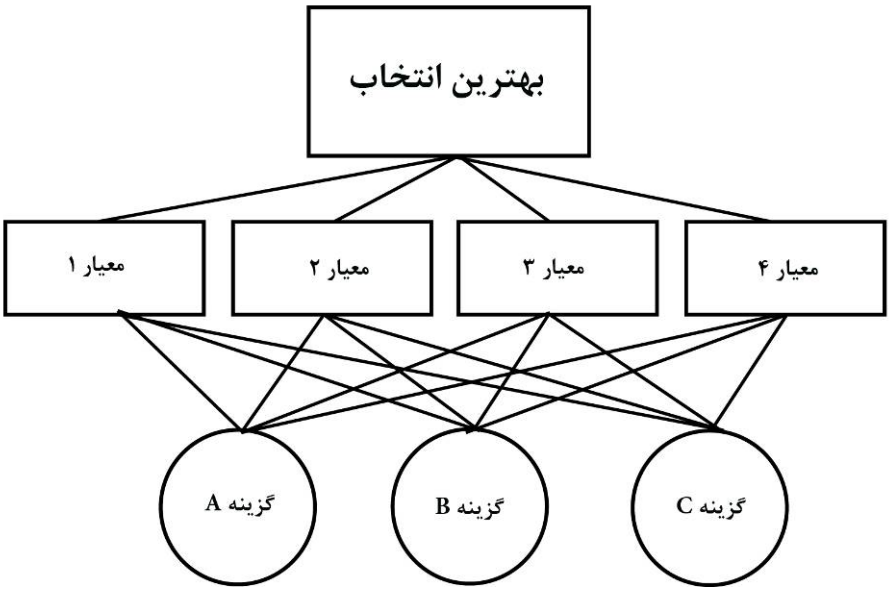
– رتبه (Mark) (کیفیت) زغال‌سنگ در مناطق انتخاب شده همه از نوع کک شو و گازی چرب است، بنابراین به عنوان یک معیار انتخاب نشده است.

– در تمام مناطق زغالی این حوضه، فعالیت‌های معدن‌کاری در حال انجام است و کلیه زیرساخت‌های لازم از نظر راه دسترسی و جاده در این مناطق ایجاد شده است، بنابراین فاصله منطقه تا جاده آسفالته لحاظ نشده است.

– نفوذپذیری زغال‌سنگ‌های این حوضه نامشخص بوده، بنابراین به عنوان یک معیار مورد استفاده قرار نگرفته است.

– توان گازدهی لایه برای تمام مناطق زغالی در عمق ۵۰۰ متری محاسبه شده است.

– به منظور اهمیت بیشتر مفهوم گازخیزی، از توان گازدهی لایه به عنوان یک معیار استفاده شده است. توان گازدهی لایه برابر با مقدار گاز حاصل از یک مترمربع از سطح لایه است. از این‌رو به منظور محاسبه توان گازدهی لایه، ابتدا توان لایه (مقدار زغال‌سنگ تولید شده از یک مترمربع سطح لایه) محاسبه شد. سپس با ضرب توان لایه در میزان گازخیزی و چگالی لایه، توان گازدهی آن محاسبه شد. در مناطق زغالی حوضه البرز شرقی، لایه‌های زغالی متعددی وجود دارد که در محاسبه توان لایه، مجموع ضخامت این لایه‌ها برای هر کدام از مناطق در نظر گرفته شده است. بعد از تشکیل ماتریس پارامترهای نهایی مربوط به ۵ منطقه زغالی، ماتریس مقایسه زوجی هر کدام از گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها (جدول ٤) تشکیل شد. در جدول ۵ مقادیر نرمال شده درجه اهمیت و در ستون آخر ماتریس وزن هر کدام از گزینه‌ها که به روش میانگین حسابی محاسبه شدند آورده شده است. برای محاسبه وزن در روش میانگین حسابی، ابتدا مقادیر هر کدام از ستون‌ها با هم جمع شد. در مرحله دوم، هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی، به جمع ستون خودش تقسیم شد تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالایز شود. در مرحله سوم، میانگین وزن عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالایز شده محاسبه شد. ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر، مطابق جدول ٦ تشکیل شد.



تصویر ۳– ساختن سلسله مراتب (قدسی پور ۱۳۸۹)

جدول۳- پارامترهای فنی مربوط به مناطق زغالی انتخاب شده برای ارزیابی (گزارشات داخلی شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی ۱۳۷۲-۱۳۵٤)

معیارها	منطقه زغالی				
	کلاریز (A)	پشکلات (B)	رضی (C)	ملج آرام فوقانی (D)	رزمجا (E)
توان گازدهی لایه (C1) (m^3/m^2)	۷۲	۳۵۷	۳۱۷	۲۳۵	۳۱۵
ذخیره (میلیون تن) (C2)	۸/۳۰۵	۲۰/۹٤۵	۲/۲۷۵	٤/۲٦	۱۱/۱۱
توپوگرافی و شرایط سطح زمین (C3)	پوشش گیاهی کم و نسبتاً هموار	کوهستانی و کم درخت	جنگلی و پوشیده از درخت	کوهستانی با پوشش گیاهی به صورت تک درخت و در بعضی مناطق جنگلی	بدون پوشش جنگلی و نیز دارای دره‌های وسیع در منطقه
موقعیت نسبت به خط لوله سراسری گاز (C4)	مناسب	نسبتاً خوب	به دلیل جنگلی بودن زیاد مناسب نیست	به دلیل جنگلی بودن زیاد مناسب نیست	موقعیت خوب و به راحتی گاز قابل انتقال است.
درصد متوسط مواد فرار (C5)	۲٤	۳۸/۵	۳۰	۲۸	۲۵
درصد متان محتوی (C6)	٦٤	۵۰	۵۳	۵٦	۵٤
درصد مواد مضر در ترکیبات گازی (C7)	۱۰/۵	۱۰/۸	٦/۷	۲۱	۱۵/۷

جدول ٤- تهیه و محاسبه مقادیر ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارهای هفت گانه مورد نیاز

الف- معیار توان گازدهی لایه

	A	B	C	D	E
A	۱	۰/۱٤۲	۰/۱٦٦	۰/۵	۰/۳۳
B	۷	۱	۲	۳	۲
C	٦	۰/۵	۱	۳	۱
D	۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۵
E	۳	۰/۵	۱	۲	۱

ب- معیار ذخیره

	A	B	C	D	E
A	۱	۰/۳۳	٤	۲	۰/۵
B	۳	۱	۸	٤	۲
C	۰/۲۵	۰/۱۲۵	۱	۰/۳۳	۰/۱٦٦
D	۰/۵	۰/۲۵	۳	۱	۰/۳۳
E	۲	۰/۵	٦	۳	۱

ج- معیار توپوگرافی و شرایط سطح زمین

	A	B	C	D	E
A	۱	۲	۵	۵	۵
B	۰/۲۵	۱	۳	۳	۳
C	۰/۲	۰/۳۳	۱	۱	۱
D	۰/۲	۰/۳۳	۱	۱	۱
E	۰/۲	۰/۳۳	۱	۱	۱

د- معیار فاصله نسبت به خط لوله سراسری انتقال گاز

	A	B	C	D	E
A	۱	۲	۳	۳	۰/۳۳
B	۰/۵	۱	۳	۳	۰/۲۵
C	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۰/۲۵
D	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۰/۵
E	۳	٤	٤	۲	۱

ه- معیار متوسط مواد فرار

	A	B	C	D	E
A	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵	۱
B	۳	۱	۲	۲	۳
C	۲	۰/۵	۱	۱	۲
D	۲	۰/۵	۱	۱	۲
E	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵	۱

و- معیار متوسط متان محتوی

	A	B	C	D	E
A	۱	٤	۳	۲	۲
B	۰/۲۵	۱	۱	۰/۵	۰/۳۳
C	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱
D	۰/۵	۲	۱	۱	۱
E	۰/۵	۳	۱	۱	۱

ز- معیار متوسط مواد مضر در ترکیبات گازی

	A	B	C	D	E
A	۱	۱	۰/۳۳	۵	٤
B	۱	۱	۰/۳۳	۵	۳
C	۳	۳	۱	۸	٦
D	۰/۲	۰/۲	۰/۱۲۵	۱	۰/۳۳
E	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۱٦٦	۳	۱

جدول ٥- مقادیر نرمالایز شده ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر کدام از معیارها (نرمالایز شده جدول ٤)

ب- معیار توان گازدهی لایه

	A	B	C	D	E	وزن
A	٠/٠٥٣	٠/٠٥٨	٠/٠٣٧	٠/٠٥٣	٠/٠٦٩	٠/٠٥٤
B	٠/٣٦٨	٠/٤٠٤	٠/٤٤٤	٠/٣١٦	٠/٤١٤	٠/٣٨٩
C	٠/٣١٦	٠/٢٠٢	٠/٢٢٢	٠/٣١٦	٠/٢٠٧	٠/٢٥٣
D	٠/١٠٥	٠/١٣٥	٠/٠٧٤	٠/١٠٥	٠/١٠٣	٠/١٠٥
E	٠/١٥٨	٠/٢٠٢	٠/٢٢٢	٠/٢١١	٠/٢٠٧	/٢٠٠

الف- معیار ذخیره

	A	B	C	D	E	وزن
A	٠/١٤٨	٠/١٥١	٠/١٨٢	٠/١٩٤	٠/١٢٥	٠/١٦
B	٠/٤٤٤	٠/٤٥٣	٠/٣٦٤	٠/٣٨٧	٠/٥	٠/٤٣
C	٠/٠٣٧	٠/٠٥٧	٠/٠٤٥	٠/٠٣٢	٠/٠٤٢	٠/٠٤٣
D	٠/٠٧٤	٠/١١٣	٠/١٣٦	٠/٠٩٧	٠/٠٨٣	٠/١٠١
E	٠/٢٩٦	٠/٢٢٦	٠/٢٧٣	٠/٢٩	٠/٢٥	٠/٢٦٧

د- معیار توپوگرافی و شرایط سطح زمین

	A	B	C	D	E	وزن
A	٠/٤٧٦	٠/٥	٠/٤٥٥	٠/٤٥٥	٠/٤٥٥	٠/٤٦٨
B	٠/٢٣٨	٠/٢٥	٠/٢٧٣	٠/٢٧٣	٠/٢٧٣	٠/٢٦١
C	٠/٠٩٥	٠/٠٨٣	٠/٠٩١	٠/٠٩١	٠/٠٩١	٠/٠٩
D	٠/٠٩٥	٠/٠٨٣	٠/٠٩١	٠/٠٩١	٠/٠٩١	٠/٠٩
E	٠/٠٩٥	٠/٠٨٣	٠/٠٩١	٠/٠٩١	٠/٠٩١	٠/٠٩

ج- معیار فاصله نسبت به خط لوله سراسری انتقال گاز

	A	B	C	D	E	وزن
A	٠/١٩٤	٠/٢٦١	٠/٢٥	٠/٣	٠/١٤٣	٠/٢٢٩
B	٠/٠٩٧	٠/١٣	٠/٢٥	٠/٣	٠/١٠٧	٠/١٧٧
C	٠/٠٦٥	٠/٠٤٣	٠/٠٨٣	٠/١	٠/١٠٧	٠/٠٨٠
D	٠/٠٦٥	٠/٠٤٣	٠/٠٨٣	٠/١	٠/٢١٤	٠/١٠١
E	٠/٥٨١	٠/٥٢٢	٠/٣٣٣	٠/٢	٠/٤٢٩	٠/٤١٣

ه- معیار متوسط مواد فرار

	A	B	C	D	E	وزن
A	٠/١١١	٠/١٢٥	٠/١	٠/١	٠/١١١	٠/١٠٩
B	٠/٣٣٣	٠/٣٧٥	٠/٤	٠/٤	٠/٣٣٣	٠/٣٦٨
C	٠/٢٢٢	٠/١٨٨	٠/٢	٠/٢	٠/٢٢٢	٠/٢٠٦
D	٠/٢٢٢	٠/١٨٨	٠/٢	٠/٢	٠/٢٢٢	٠/٢٠٦
E	٠/١١١	٠/١٢٥	٠/١	٠/١	٠/١١١	٠/١٠٩

و- معیار متوسط متان محتوی

	A	B	C	D	E	وزن
A	٠/٣٨٧	٠/٣٦٤	٠/٤٢٩	٠/٣٦٤	٠/٣٧٥	٠/٣٨٤
B	٠/٠٩٧	٠/٠٩١	٠/١٤٣	٠/٠٩١	٠/٠٦٣	٠/٠٩٧
C	٠/١٢٩	٠/٠٩١	٠/١٤٣	٠/١٨٢	٠/١٨٨	٠/١٤٦
D	٠/١٩٤	٠/١٨٢	٠/١٤٣	٠/١٨٢	٠/١٨٨	٠/١٧٨
E	٠/١٩٤	٠/٢٧٣	٠/١٤٣	٠/١٨٢	٠/١٨٨	٠/١٩٦

ز- معیار متوسط مواد مضر در ترکیبات گازی

	A	B	C	D	E	وزن
A	٠/١٨٣	٠/١٨١	٠/١٧٠	٠/٢٢٧	٠/٢٧٩	٠/٢٠٨
B	٠/١٨٣	٠/١٨٣	٠/١٧٠	٠/٢٢٧	٠/٢٠٩	٠/١٩٤
C	٠/٥٥٠	٠/٥٤٢	٠/٥١١	٠/٣٦٤	٠/٤١٩	٠/٤٧٧
D	٠/٠٣٧	٠/٠٣٦	٠/٠٦٤	٠/٠٤٥	٠/٠٢٣	٠/٠٤١
E	٠/٠٤٦	٠/٠٦٠	٠/٠٨٥	٠/١٣٦	٠/٠٧٠	٠/٠٧٩

جدول ٦- ماتریس ضرایب مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	١	٢	۴	۴	٨	٧	۵
C2	٠/۵	١	۵	۴	۶	۶	٣
C3	٠/٢۵	٠/٢	١	٠/٣٣	۴	٣	٠/۵
C4	٠/٢۵	٠/٢۵	٣	١	۴	۵	٢
C5	٠/١٢۵	٠/١۶۶	٠/٢۵	٠/٢۵	١	٠/۵	٠/١۶۶
C6	٠/١۴٢	٠/١۶۶	٠/٣٣	٠/٢	٢	١	٠/٣٣
C7	٠/٢	٠/٣٣	٢	٠/۵	۶	٣	١

در جدول ۷ ، مقادیر بی بعد شده درجه اهمیت و در ستون آخر ماتریس وزن هر کدام از معیار ها که توسط روش میانگین حسابی محاسبه شده، آورده شده است. در تشکیل ماتریس های مقایسه زوجی، بر اساس نظرسنجی یک شورای شش نفره و بررسی منابع موجود، درجه اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری تعیین شد. در نظرسنجی، بر اساس مطالعات انجام شده بر روی منابع معتبر، بیشتر پارامترهایی که می‌توانند در گازگشی از لایه زغال‌سنگ تاثیر داشته باشند، انتخاب شدند. برای امتیازدهی و اولویت‌بندی این گزینه‌ها، پرسش نامه‌ای تهیه و از صاحب نظران در این زمینه نظر سنجی شد. در این نظرسنجی از صاحب نظران خواسته شد به هر یک از این معیارها بر حسب اهمیت در فرآیند متان‌زدایی، امتیاز ۱ تا ۹ دهند. در نهایت برای امتیازدهی معیارها نسبت به یکدیگر، نظرسنجی انجام شد. بعد از نظر سنجی، پارامترهایی که از نظر صاحب نظران با اهمیت نبودند حذف شدند. پس از بررسی‌های انجام شده، در نهایت ۷ معیار برای این پژوهش انتخاب شدند. میزان ناسازگاری برای کلیه‌ی ماتریس‌ها کمتر از ۰/۱ محاسبه شد. برای محاسبه وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها، ابتدا ماتریس وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به هریک از معیارها تشکیل شد. این ماتریس با توجه به ستون آخر ماتریس‌های جدول ۵ به صورت جدول ۸ تهیه شد. با ضرب ماتریس جدول ۸ در ستون آخر ماتریس جدول ۷، وزن نهایی هر گزینه بدست آمد. به عنوان نمونه وزن گزینه A به صورت زیر محاسبه شد. وزن نهایی هر گزینه، بر اساس محاسبات انجام شده، در جدول ۹ آورده شده است.

A= ۰/۰۵٤×۰/۳۵۵+۰/۱٦×۰/۲٦۲+۰/٤٦۸×۰/۰۷٦+۰/۲۲۹×۰/۱۳۵+۰/۱۰۹×۰/۰۲۸+۰/۳۸٤×۰/۰۳۹+۰/۲۰۸×۰/۱۰۵ = ۰/۱٦۷

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی نرمالایز شده معیارها نسبت به یکدیگر (نرمالایز شده جدول ٦)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	وزن گزینه
C1	۰/٤۰۵	۰/٤۸٦	۰/۲۵۷	۰/۳۸۹	۰/۲۵۸	۰/۲۷۵	۰/٤۱۷	۰/۳۵۵
C2	۰/۲۰۳	۰/۲٤۳	۰/۳۲۱	۰/۳۸۹	۰/۱۹٤	۰/۲۳۵	۰/۲۵۰	۰/۲٦۲
C3	۰/۱۰۱	۰/۰٤۹	۰/۰٦٤	۰/۰۳۲	۰/۱۲۹	۰/۱۱۸	۰/۰٤۲	۰/۰۷٦
C4	۰/۱۰۱	۰/۰٦۱	۰/۱۹۳	۰/۰۹۷	۰/۱۲۹	۰/۱۹٦	۰/۱٦۷	۰/۱۳۵
C5	۰/۰۵۱	۰/۰٤۰	۰/۰۱٦	۰/۰۲٤	۰/۰۳۲	۰/۰۲۰	۰/۰۱٤	۰/۰۲۸
C6	۰/۰۵۸	۰/۰٤۰	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۰/۰٦۵	۰/۰۳۹	۰/۰۲۸	۰/۰۳۹
C7	۰/۰۸۱	۰/۰۸۱	۰/۱۲۸	۰/۰٤۹	۰/۱۹٤	۰/۱۱۸	۰/۰۸۳	۰/۱۰۵

جدول ۸- تهیه و محاسبه مقادیر ماتریس وزن نهایی گزینه های مختلف نسبت به هر یک از معیارهای هفت‌گانه

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A	۰/۰٥٤	۰/۱٦	۰/٤٦۸	۰/۲۲۹	۰/۱۰۹	۰/۳۸٤	۰/۲۰۸
B	۰/۳۸۹	۰/٤۳	۰/۲٦۱	۰/۱۷۷	۰/۳٦۸	۰/۰۹۷	۰/۱۹٤
C	۰/۲۵۳	۰/۰٤۳	۰/۰۹	۰/۰۸۰	۰/۲۰٦	۰/۱٤٦	۰/٤۷۷
D	۰/۱۰۵	۰/۱۰۱	۰/۰۹	۰/۱۰۱	۰/۲۰٦	۰/۱۷۸	۰/۰٤۱
E	/۲۰۰	۰/۲٦۷	۰/۰۹	۰/٤۱۳	۰/۱۰۹	۰/۱۹٦	۰/۰۷۹

جدول ۹- مقادیر وزن نهایی گزینه‌های انتخابی

منطقه زغالی	کلاریز (A)	پشکلات (B)	رضی (C)	ملج آرام فوقانی (D)	رزمجا (E)
وزن نهایی	۰/۱٦۷	۰/۳۲۹	۰/۲۳۵	۰/۱۰۱	۰/۲۲۳

بر اساس جدول ۹ منطقه زغالی پشکلات وزن نهایی بیشتری نسبت به سایر موارد دارد. همچنین این منطقه از نظر انجام عملیات زهکشی گاز متان در اولویت نخست قرار دارد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، برای اولین بار امکان سنجی و اولویت‌بندی بهره‌برداری از فناوری CBM در ایران بررسی شده است. در این تحقیق حوضه

زغالی البرز شرقی که دارای ذخایر معدنی زیادی است، برای اولویت‌بندی بهره‌برداری از مناطق مستعد زهکشی گاز متان (CBM) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انتخاب شده است. برای این منظور اطلاعات ۵ منطقه زغالی این حوضه مورد ارزیابی جامع قرار گرفت. بر اساس مطالعات انجام شده، ۷ معیار وارد ماتریس تصمیم گیری شدند.

در ادامه، برای تعیین درجه اهمیت گزینه‌ها نسبت به معیارها و معیارها نسبت به یکدیگر، از شورای شش نفره نظرسنجی و منابع موجود استفاده شد. بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی به منظور انتخاب گزینه برتر، از نظر قابلیت بهره‌برداری گازکشی، به ترتیب مناطق زغالی پشکلات، رضی، رزمجا، کلاریز و ملچ آرام فوقانی در اولویت بهره‌برداری هستند.

مراجع

توکلی، م.، سرشکی، ف.، ۱۳۸۵، "گاز زغال و روش‌های کاهش آن (گازززدایی) در معدن پرورده طبس"، *پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن: ٦٦٤-٦٥٣.*

قوام آبادی، ع.، موسوی نسب، س. م.، ۱۳۸۲، " تکنیک‌های گازززدایی از زغال در معادن (دگازاژ). *پنجمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن: ۵۷-۴۹.*

قدسی پور، ح.،۱۳۸۹، " فرایند تحلیل سلسله مراتبی"، *دانشگاه صنعتی امیرکبیر: ۲۳٦-۱.*

شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳٥٤، "گزارش زمین‌شناسی منطقه کلاریز"، *شرکت ملی ذوب آهن ایران، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی: ١٦٤-١.*

شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳٥٦، "نتایج تحقیقات اکتشافی منطقه پشکلات"، *شرکت ملی ذوب آهن ایران، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی: ۱۸۳-۱.*

شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳٦٤، "نتایج اکتشافات تفضیلی بخش زغال‌دار رضی منطقه اولنگ"، *وزارت معادن و فلزات، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی: ۱۷۸- ۱.*

شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳۷۲، "نتایج اکتشافات تفضیلی بخش زغال‌دار منطقه اولنگ، ملچ آرام فوقانی"، *وزارت معادن و فلزات، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی: ۲٤٥-۱.*

Anon, A., 2005, "Basic design of tabas coal mine project", *Report-Mining. Vol. (1–5).*

Ayers, J. R., 2002, "Coal bed gas system, resources and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins", *AAPG Bulletin Vol. 86 (11): 1853–1890.*

Crosdale, P. J., Beamish, B. B. & Valix, M., 1998, "Coalbed methane sorption related to coal composition", *International Journal of Coal Geology, Vol. 35: 147-158.*

Diamond, W. P., 1994, "Methane control for underground coal mines", *United State Department of the Interior Mission Statement, Bruce Babbitt, Secretary, 41 pp.*

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

Gerald, L. Finger & Michael, A., Trevits, P., 1992, "Methane drainage", *In: Hartman, H. L. (ed.), Handbook of Mining Engineering, Inc. Littleton Colorado. Society for Mining, Metallurgy and Exploration*: 896-937.

Hennings, S., 2009, "Coal gas overview", C*oal gas drilling and completions, Norwest Corporation, 17 pp.*

Robert, M., 2002, "Coal bed methane (CBM) and mine methane (CMM) in North America where and why", *Norwest Mine Services, (www.ipec.utulsa.edu).*

Saaty, T. L., 1980, "The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation", *McGraw-Hill, New York, 287 pp.*

Saaty, T. L., 1994, "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *Interfaces, Vol. 24 (6): 19–43.*

Saaty, T. L., 2008, "Decision making with the analytic hierarchy process", *Int. J. Services Sciences, Vol. 1 (1): 83-93.*

Solomon, G., 2006, "A major alternative energy opportunity", *Eden Energy Ltd, 46 pp.*

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

United Nations Reports (ECE Energy Series), 2010, "Best practice guidance for effective methane drainage and use in coal mines", *ECE Energy Series No.31, United Nations Publication, New York and Geneva, 92 pp.*

Venter, J., & Stassen, P., 1953, "Drainage and utilization of firedamp", *Bureau of Mines, Washington, D.C. USA, 22 pp.*

Yao, Y., Liu, D., Tang, D., Huang, W., Tang, S. & Che, Y., 2008, "A comprehensive model for evaluating coal bed methane reservoirs in China", *Acta Geologica Sinica, Vol. 82 (6): 1253–1270.*

Yao, Y., Liu, D., Tang, D., Tang, S., Che, Y. & Huang, W., 2009, "Preliminary evaluation of the coal bed methane production potential and its geological controls in the Weibei Coalfield, Southeastern Ordos Basin, China", *International Journal of Coal Geology, Vol. 78: 1-15.*

Youngson, D., Stefanovski, Z. & Anna Michniewicz, A., 2007, "Coal bed methane, CBM sector overview", *Fox-Davies Capital Limited, (www.fox-davies.com), 30 pp.*