پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال چهارم، شماره ۱۳، زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۸۸-۶۳

فناوری گاز کردن زیرزمینی زغال سنگ (UCG) راهبردی در جهت بهبود اقتصاد انرژی کشور

سید محمد اسماعیل جلالی[۱]، مریم امامی[۲]، مهدی نجفی[۳]، فاطمه قریب بلوک[۴]
حسن محمدی[۵]، احمد رمضان‌زاده[۶]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

چکیده:

با وجود اینکه ایران از نظر برخورداری از منابع زغال‌سنگ در جایگاه دوازدهم جهان قرار دارد اما این منبع عظیم انرژی، تنها یک درصد در سبد انرژی کشور سهم دارد. در ایران، اقتصاد انرژی تحت تاثیر ذخایر نفت و گاز طبیعی قرار دارد و این موضوع سبب شده به منابع دیگر انرژی که سودآوری کلانی دارند، توجه چندانی نشود. فناوری نوین گاز کردن زیرزمینی زغال‌سنگ (UCG) روشی برای تبدیل زغال‌سنگ به گاز در زیرزمین است که سبب افزایش بازیابی لایه‌های زغال‌سنگ با ضخامت‌های متغیر و در اعماق زیاد خواهد شد. با تزریق گاز سنتزی حاصل از فناوری UCG به شبکه گازی کشور، سبب افزایش امکان بهره‌برداری از ظرفیت صادراتی گاز کشور خواهد شد. انتظار می‌رود با بهره‌گیری از فناوری UCG در ایران در جهت تحقق اهداف اسناد بالادستی کشور و اوامر ابلاغی مقام معظم رهبری در حوزه نفت و گاز، گام بلندی برداشت.

طبقه‌بندی *JEL*: *O13,Q32,Q42*

واژه‌های کلیدی: گاز کردن زیرزمینی زغال سنگ، انرژی، فناوری‌های نوین، اقتصاد

۱- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود
jalalisme@gmail.com
۲- کارشناسی ارشد مهندسی معدن، شرکت مهندسین مشاور پی، سازه، معدن (نویسنده مسئول)
emami.maryam20@gmail.com
۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد
mehdinajafi1362@gmail.com
۴- کارشناسی ارشد مهندسی معدن، شرکت مهندسین مشاور پی، سازه، معدن
fatemehgharib@gmail.com
۵- عضو هیئت علمی گروه معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
hmohamadi7@gmail.com
۶- استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود
aramezanzadeh@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

با توجه به نیاز روز افزون به منابع انرژی، تدوین راهبردی جامع برای بهره‌برداری بهتر از انرژی ضرورت دارد. با توجه به پیاده‌سازی قانون هدفمندی یارانه‌ها در ایران، فناوری‌های نوینی که با هزینه‌های کمتر، انرژی ارزان و همچنین پاک را تولید کنند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. سیاست‌های انرژی کشور نیز بر اساس اسناد بالادستی بر پایه کاهش وابستگی به نفت تدوین شده است. با وجود ذخایر عظیم زغال‌سنگ در کشور بهره‌برداری از این منابع عظیم انرژی با استفاده از فناوری‌های جدید در تامین بخشی از تقاضای انرژی و همچنین افزایش پتانسیل آن در جهت صادرات نقش مهمی دارد.

زغال‌سنگ به عنوان یکی از قدیمی‌ترین سوخت‌های فسیلی، از گذشته تا به حال، جایگاه ویژه‌ای در تامین انرژی در سطح جهان داشته است. اما در ایران به سبب وجود نفت و گاز کمتر به این ذخیره ارزشمند توجه شده است. در چند سال اخیر با توجه به مشکلاتی که در کشور در زمینه تامین انرژی وجود داشته، استفاده از منابع دیگر انرژی به خصوص زغال‌سنگ اهمیت یافته است. ایران از نظر میزان ذخایر زغال‌سنگ، در رتبه ۱۲ جهان قرار دارد (*www.nationmaster.com*) و حدود ۱/۲ درصد ذخایر زغال‌سنگ دنیا در ایران قرار دارد اما از لحاظ میزان تولید زغال‌سنگ در جایگاه ۴۴ جهان قرار دارد (*www.eia.gov*) که نشان‌دهنده بی‌توجهی به ذخایر زغال‌سنگ است.

روش‌های مرسوم استخراج زغال‌سنگ، برای استخراج لایه‌های زغال‌سنگ واقع در اعماق زیاد و دارای ضخامت متغیر، اقتصادی نیست و فقط می‌توان ۵ درصد ذخایر زغال‌سنگ دنیا را با این روش‌ها استخراج کرد، اما با استفاده از فناوری *UCG* می‌توان قسمت قابل توجهی از این نوع ذخایر را مورد بهره‌برداری قرار داد (کواچ ،۲۰۰۹). فناوری *UCG* به دلیل افزایش بازیابی لایه‌های زغال‌سنگ با ضخامت‌های متغیر و در

1- Countries Compared by Energy, International Statistics ,2015
2- Country Analysis Brief Overview, Overview Data for Iran, 2013
3- Underground Coal Gasification
4- Couch, G. R, 2009

Archive of SID

www.SID.ir

اعماق زیاد، مورد توجه بسیاری از بهره برداران قرار گرفته است. در ایران بخش زیادی از ذخایر زغال‌سنگ در عمق واقع شده و یا دارای ضخامت کمی هستند که برای استحصال و استفاده از این منابع، فناوری *UCG* می‌تواند به عنوان بهترین گزینه مطرح باشد. با استفاده از این روش، بهره‌برداری از بسیاری از ذخایر زغال‌سنگ ایران توجیه اقتصادی پیدا خواهد کرد (نجفی و همکاران۱۳۹۳).

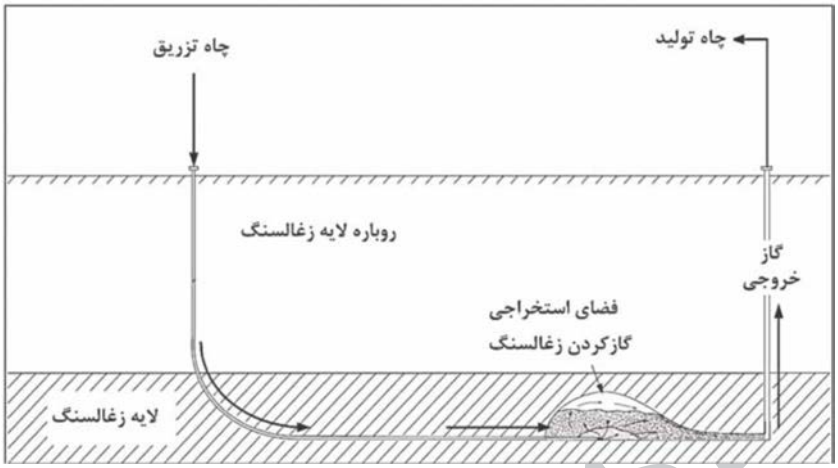
فناوری *UCG*، روشی نوین برای بهره‌برداری از انرژی زغال‌سنگ است که بر پایه آن نیروگاه‌های تولید برق احداث می‌شود. در فرآیند *UCG*، لایه‌های زغال‌سنگ بدون نیاز به عملیات معدن‌کاری سنتی، به صورت برجا در زیرزمین به گاز سنتزی تبدیل می‌شوند (جلالی و همکاران،۱۳۹۲؛ نجفی و همکاران، ۱۳۹۳). همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود، در فرآیند *UCG* ابتدا چاه‌های تزریق و تولید تا رسیدن به لایه زغال‌سنگ حفاری و به یکدیگر متصل می‌شوند. سپس اکسیدان (مشتمل بر ترکیبی از هوا و اکسیژن و بخارآب) به داخل چاه تزریق ارسال می‌شود تا باعث سوختن زغال‌سنگ و تبدیل آن به گاز شود. بر اثر احتراق، علاوه بر گرما، منواکسید کربن و بعضی گازهای ترکیبی تولید می‌شود. گازهای ترکیبی از فضای استخراجی ایجاد شده در لایه زغال‌سنگ به داخل چاه تولید منتقل شده و سپس، به سطح زمین هدایت می‌شوند(لطفی آزاد و همکاران،۱۳۹۱؛ نجفی و همکاران،۱۳۹۲).

در این مقاله به ضرورت توجه به فناوری *UCG* به عنوان راهبردی جدید در زمینه به کارگیری فناوری‌های نوین برای بهره‌برداری از منابع عظیم زغال‌سنگ در کشور و بهبود وضعیت اقتصاد انرژی پرداخته شده است.

1- Injection Well
2- Production Well
3- Cavity

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱)- فرآیند کلی در روش *UCG* (ساری[1] و همکاران،۲۰۰٤)

۲- ضرورت به کارگیری فناوری *UCG* در ایران

با بهره‌گیری از فناوری *UCG* علاوه بر امکان بهره‌برداری از کانسارهای زغال‌سنگ واقع در اعماق زیاد و امکان استحصال لایه‌هایی با ضخامت کم، تسهیلات دیگری را نیز می‌توان فراهم کرد. در این بخش به مهم‌ترین آن‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۱- ایجاد تنوع در سبد انرژی کشور

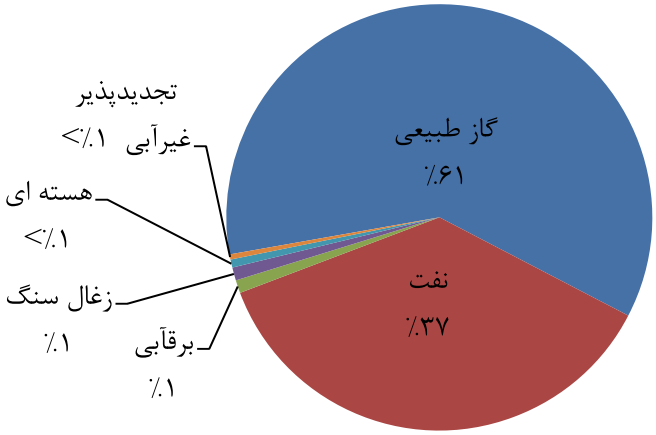
در حال حاضر در حدود ۹۸ درصد از انرژی مورد نیاز ایران از منابع نفت و گاز تامین می‌شود. مقایسه بین سبد انرژی جهان و ایران نشانگر اتکای بیش از حد ایران به منابع نفت و گاز در قیاس با سایر کشورها است. مقایسه مقدار سرانه مصرف انرژی در ایران به تفکیک حامل‌های انرژی با مقادیر جهانی نشان می‌دهد، سرانه مصرف گاز طبیعی و نفت خام و فرآورده های نفتی به ترتیب ۶/۰ و ۱/۶ برابر متوسط مصرف سرانه جهانی است. به نحوی که سایر منابع انرژی اعم از منابع زغال‌سنگ، تنها ۱/۵ درصد از سبد انرژی ایران را

1- Sury,2004

Archive of SID

www.SID.ir

دربر گرفته است (*www.eia.gov*) (**شکل ۱**). بر اساس اعلام ترازنامه انرژی، مصرف سرانه زغال‌سنگ در ایران بسیار پایین‌تر از متوسط جهانی است (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱).



نمودار (۱)- سهم منابع انرژی در سبد مصرفی انرژی در ایران در سال ۲۰۱۲ (*www.eia.gov*)

دلایل گوناگونی برای شکل‌گیری این وابستگی صرف به نفت و گاز در ایران وجود دارد. از مهم‌ترین این دلایل، جایگاه ایران به عنوان رتبه چهارم در منابع نفت و رتبه دوم در ذخایر گاز جهان (*www.eia.gov*) است. از طرف دیگر در قرن اخیر با توسعه‌ی تصاعدی صنایع جهان و وابستگی این صنایع به نفت و گاز و رشد پایدار تقاضای جهانی برای این دو منبع ارزشمند انرژی و در نتیجه رشد چشمگیر قیمت آن در دهه های اخیر، چنان جذابیتی برای استفاده از این دو منبع انرژی به وجود آمده است که کشورهای دارنده نفت و گاز از جمله ایران طی ۵۰ سال گذشته تمامی تلاش خود را برای اکتشاف، استخراج و صدور نفت و گاز معطوف کرده‌اند. این رویکرد تا حد زیادی سبب مهجور ماندن سایر منابع

1- *Country Analysis Brief, Iran*, 2014
2- *Country Analysis Brief Overview*, 2014

Archive of SID

www.SID.ir

انرژی در ایران شده است. اگرچه طی دهه اخیر این رویکرد تا حد زیادی در حال تغییر است به هر حال طرح تحول اقتصادی و طرح هدفمند کردن یارانه‌ها به ویژه طرح اصلاح قیمت حامل‌های انرژی، توجه بیشتر به سایر منابع انرژی در ایران را اجتناب‌ناپذیر خواهد کرد.

اگر تاکنون نفت و گاز به عنوان یک منبع فوق‌العاده ارزان در اختیار صنایع و مصارف خانگی قرار داشت، پس از اجرای طرح تحول اقتصادی دیگر ممکن است نتوان نفت و گاز را به عنوان منابع ارزان انرژی در کشور تلقی کرد. با نزدیک شدن قیمت داخلی نفت و گاز به قیمت‌های جهانی به ویژه قیمت‌های کشورهای همسایه، سایر منابع انرژی از جمله زغال‌سنگ نیز قابلیت رقابت با نفت و گاز در سبد انرژی ایران را پیدا کرده‌اند (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱).

۲-۲- آمایش سرزمین

ایران به دلیل شرایط متنوع زمین‌شناسی دارای کانسارهای متنوع زغال‌سنگ است. قسمت عمده منابع زغالی ایران در پنج ناحیه کرمان ـ نایبند (طبس)، البرز، شمال شرق خراسان، کاشان- اصفهان و ناحیه مراغه (آذربایجان) واقع شده است (*www.ngdir.ir*).

در مناطقی که بیشتر زغال‌سنگ‌های کشور در آن‌ها واقع شده‌اند، نفت و گاز طبیعی وجود ندارد. گازرسانی به این مناطق، هزینه‌ی بسیاری را در بر دارد. برای مثال در شهرستان طبس که یکی از بزرگ‌ترین ذخایر زغال‌سنگ ایران در آن واقع است، فاصله بسیار دور از مرکز دریافت گاز که پالایشگاه شهید هاشمی نژاد است، موجب شده اجرای پروژه گازرسانی با مشکلات و هزینه بسیاری همراه باشد.

در حال حاضر بسیاری از شهرها و روستاها در مناطق طبس، کرمان و سیستان و بلوچستان، خطوط انتقال گاز وجود ندارد و مردم این مناطق از این نعمت محروم هستند. متاسفانه با وجود ذخایر عظیم زغال‌سنگ در مناطق طبس و کرمان، گاز مورد نیاز برای

Archive of SID

www.SID.ir

نیروگاه‌های برق نیز از سایر مناطق کشور تامین می‌شود. در ایران حتی یک نیروگاه برق زغال‌سوز وجود ندارد. نیروگاه حرارتی طبس با ظرفیت ۶۵۰ مگاوات که به عنوان اولین نیروگاه زغال‌سوز کشور به شمار می‌آید بر اساس برنامه‌ی پیش بینی شده، قرار بود تا سال ۱۳۹۱ به بهره‌برداری برسد اما به دلایل مختلف روند اجرای آن به کندی پیش می‌رود و تاکنون (شهریور۹۳) به بهره‌برداری نرسیده است. در مناطق طبس و کرمان، تاسیس نیروگاه‌های تولید برق که از منابع غنی زغال‌سنگ استفاده کند، احتمالا مقرون به صرفه‌تر از این است که هزینه‌های سنگین برای انتقال خطوط گاز طبیعی صرف شود.

با استفاده از انرژی برق به جای گاز در این مناطق، می‌توان از مزایای این انرژی همچون، قابلیت انتقال آسان، پاک بودن و خطرات پایین در حوادث طبیعی استفاده کرد. البته باید توجه داشت که برای تامین سوخت نیروگاه‌های زغال سوز باید ابتدا زغال‌سنگ استخراج شود و به محل نیروگاه حمل شود اما با احداث راکتور *UCG* بسیاری از هزینه‌های استخراج زغال‌سنگ به روش سنتی، کاهش می‌یابد.

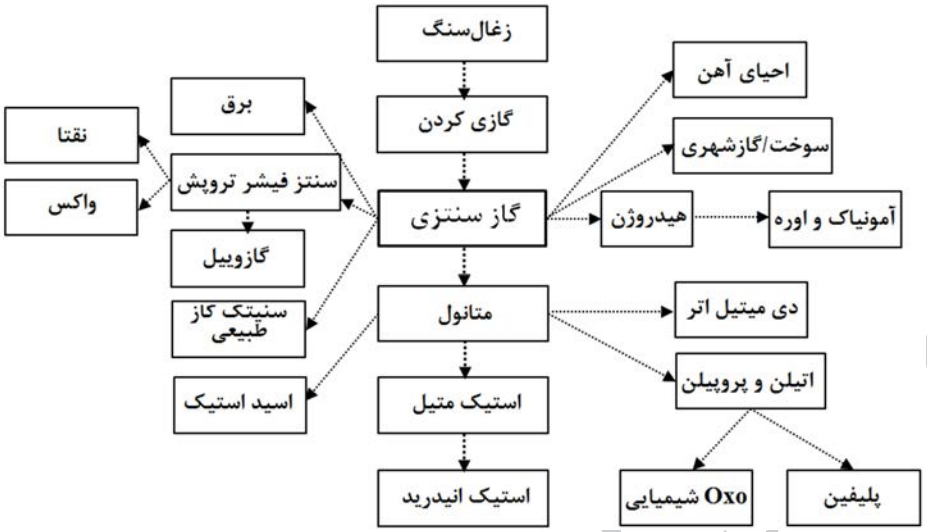
۲-۳- قابلیت تولید محصولات متنوع

گازکردن زیرزمینی زغال‌سنگ یکی از فناوری‌های پاک برای تولید گاز سنتزی از زغال‌سنگ برجا است. گاز سنتزی برای تولید برق، تولید مواد شیمیایی، سوخت‌های مایع و سوخت هیدروژنی استفاده می‌شود (جلالی و همکاران،۲۰۱۴). عمده مصارف و فرآورده‌های حاصل از گاز سنتزی در شکل (۲) نشان داده شده است.

1- Jalali (2014)

Archive of SID

www.SID.ir

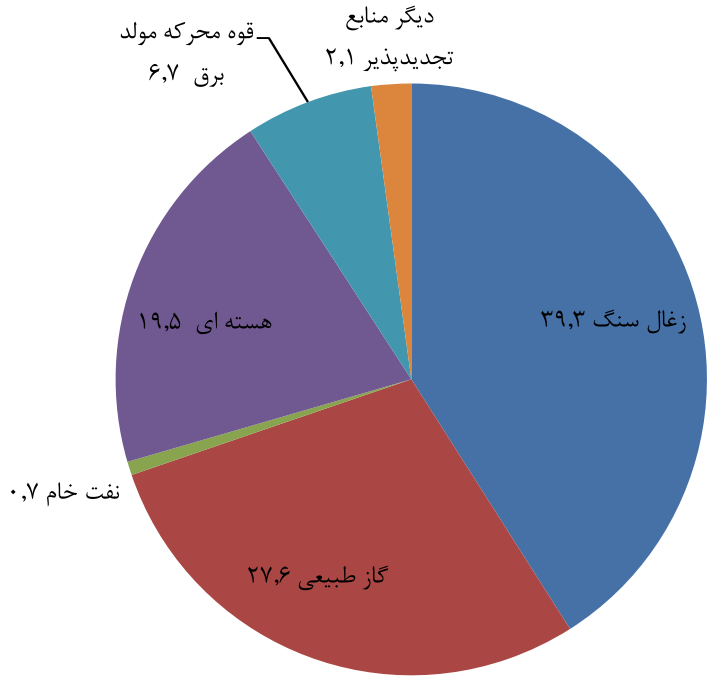


شکل (۲)- کاربردهای گاز سنتزی حاصل از فرآیند *UCG* (کواچ،۲۰۰۹)

الف) تولید برق: زغال‌سنگ پس از نفت خام و گاز طبیعی بیشترین سهم را در میان حامل‌های اولیه انرژی جهان به خود اختصاص داده است. اهمیت این حامل انرژی در تولید برق، بیش‌تر دیده می‌شود تا جایی که زغال‌سنگ اصلی‌ترین منبع انرژی نیروگاه‌های برق است و حدود ۴۰ درصد از برق جهان در سال ۲۰۱۳ با استفاده از آن تولید شده است (نمودار (۲)) (*www.eia.gov*).

Archive of SID

www.SID.ir



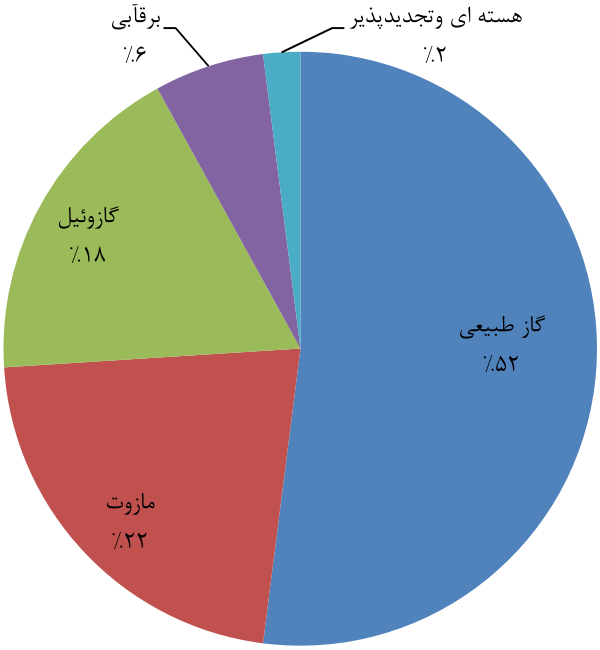
نمودار (۳)- سهم انواع منابع اولیه انرژی در تولید برق در سطح دنیا در سال ۲۰۱۳ (*www.eia.gov*) ۱

بررسی وضعیت تولید برق در ایران نشان می‌دهد که یکی از زمینه‌های آسیب‌پذیری کشور، وابستگی بالای شبکه برق سراسری به گاز طبیعی و نفت خام است. در سال ۹۲ با وجود بهره‌برداری از انرژی هسته‌ای در نیروگاه اتمی بوشهر، ۹۲ درصد از برق کشور با استفاده از گاز طبیعی، گازوییل و مازوت تولید شده است (نمودار (۳)).

1- *Monthly Energy Review*, 2014

Archive

www.SID.ir



نمودار (٤)- سبد تولید برق ایران در سال ۱۳۹۲

(http://ayaronline.ir)

با فرض استفاده از ذخایر قطعی زغال‌سنگ، امکان بهره‌برداری از حداقل ۴ تا ۶ هزار مگاوات نیروگاه زغال‌سنگ‌سوز در کشور وجود دارد و این میزان با احتساب ذخایر احتمالی می‌تواند به ۵۰ هزار مگاوات افزایش یابد. در نتیجه ضروری است نسبت به تنوع بخشی به سبد تولید برق کشور با هدف کاهش وابستگی به نفت و گاز اقدام شود تا بتوان کشور را از مزایای اقتصادی آن بهره‌مند کرد (*http://ayaronline.ir*).

ب) تولید مواد شیمیایی: گاز سنتزی که از فرایند *UCG* به دست می‌آید به مخلوط‌های گازی اطلاق می‌شود که محتوی منوکسیدکربن و هیدروژن به نسبت‌های مختلف باشد. هیدروژن و منوکسیدکربن دو ماده مهم در صنایع شیمیایی محسوب شده و دارای مصارف فراوانی هستند. منوکسیدکربن در تولید رنگ‌ها، پلاستیک‌ها، فوم‌ها،

Archive

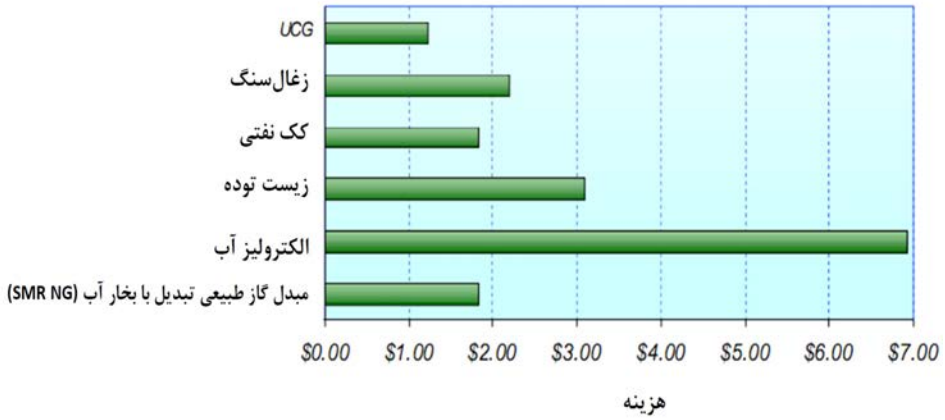
www.SID.ir

حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، اسیدها و ... به کار می‌رود. از جمله مصارف هیدروژن نیز می‌توان به تولید آمونیاک، هیدروژناسیون و هیدروکراکینگ اشاره نمود(*http://vista.ir*). بنابراین گاز سنتزی مادهٔ اولیه بسیار با ارزشی برای تولید مواد شیمیایی متنوع است. عمده موارد مصرف گاز سنتزی زیرا می‌توان در فرآیندهای تهیه‌ی متانول، تهیه‌ی اتیلن گلایکول، واکنش‌های هیدروفرمیل‌دار کردن، سنتز فیشر- تروپش، احیای سنگ آهن مشاهده کرد. از جمله دیگر مصارف گاز سنتزی، می‌توان به تهیه الکل‌های سنگین، دی‌متیل اتر، استرها، کتون‌ها و انواع هیدروکربورها اشاره کرد (*www.cloob.com*).

پ) تولید هیدروژن: یکی از حامل‌های انرژی که باید مورد توجه جدی قرار گیرد، هیدروژن است. هیدروژن امروزه کاربرد گسترده‌ای در پیل‌های سوختی دارد. در حال حاضر بیشتر فرآیندهای تولید هیدروژن بر پایه سوخت‌های فسیلی است. اگر چه سوخت‌های فسیلی منابع تجدیدناپذیر هستند ولی ۵ تا ۲۰ سال دیگر از منابع اصلی تولید هیدروژن به شمار خواهند رفت و پیش بینی می‌شود حداقل تا ۵۰ سال دیگر این وضعیت ادامه داشته باشد(جلالی و همکاران، ۱۳۹۲). استفاده از گاز سنتزی حاصل از فرایند *UCG* یکی از راه‌های تولید هیدروژن است. در شکل ۶ هزینه تولید هیدروژن از روش‌های مختلف نشان داده شده است (*www.uk.reuters.com*). با توجه به شکل روشن است تولید هیدروژن از زغال‌سنگ و به خصوص گازکردن زیرزمینی زغال‌سنگ دارای هزینه پایین‌تری نسبت به روش‌های دیگر است و تولید هیدروژن از این روش مقرون به صرفه خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (۵)- مقایسه هزینه تولید هیدروژن با روش‌های مختلف (*www.uk.reuters.com*)

۲-٤- افزایش سطح رقابت و چانه زنی منطقه‌ای برای صادرات گاز

بر اساس مطالعات اکتشافی انجام شده، میزان کل ذخایر قابل استحصال گاز طبیعی ایران به ۳۳/۷۸ تریلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۳ رسیده است. بنابراین آمار، ایران با این میزان ذخیره گاز طبیعی در رتبه دوم جهان قرار دارد(*www.eia.gov*). با این که ایران از لحاظ ذخایر گازی دارای رتبه دوم جهان و رتبه سوم در تولید گاز در جهان است، کمتر از یک درصد از تجارت جهانی گاز طبیعی را در سال ۲۰۱۲ به خود اختصاص داده و دارای رتبه ۴۳ در صادرات گاز است. بنابراین در تعیین قیمت جهانی گاز نیز نقشی ندارد (*www.eia.gov*).

عمده مصرف گاز طبیعی ایران در بخش داخلی است و ایران به عنوان یک کشور مصرف کننده گاز محسوب می‌شود. طبق آمار با این که ایران سومین تولیدکننده گاز جهان است، در مصرف نیز سومین مصرف کننده‌ی بزرگ گاز جهان (*http://www.yjc.ir*) و در مقایسه با میزان صادرات، دارای واردات مقادیر قابل توجهی

1- *Country Analysis Brief Overview*, 2014

Archive of SID

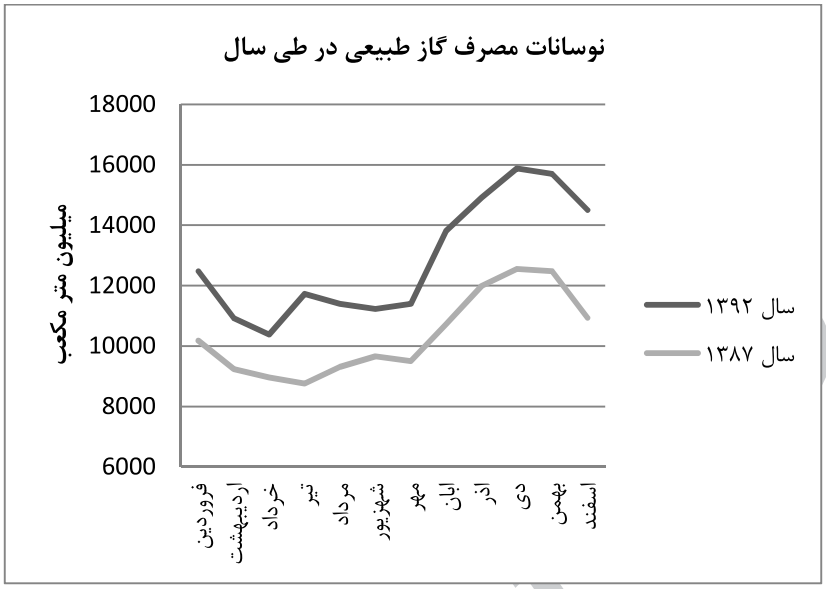
www.SID.ir

گاز از کشورهای همسایه (ترکمنستان و آذربایجان) است (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱). طبق آمار تا سال ۱۳۹۰ واردات گاز ایران بیشتر از صادرات آن بوده است. ولی در سال ۱۳۹۱ در پی قطع مکرر گاز وارداتی از ترکمنستان در روزهای سرد سال، واردات گاز کاهش چشمگیر داشته است و به حدود ۴/۷ میلیارد مترمکعب رسیده است. این درحالی است که صادرات ایران در این سال، ۹/۳ میلیارد مترمکعب بوده است (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱). خالص صادرات گاز ایران در سال ۲۰۱۳ بالغ بر ۴/۳ میلیارد مترمکعب بوده است. کل رقم صادرات گاز در جهان طی سال ۲۰۱۳ نیز ۷۱۰ میلیارد مترمکعب اعلام شده است که سهم ایران به عنوان دارنده بزرگترین ذخایر گازی جهان تنها ۰/۶ درصد بوده است (*http://mobile.tasnimnews.com*). این درحالی است که کشورهای همسایه نظیر پاکستان و هند نیز برای کاهش واردات گاز طبیعی از ایران بر اساس یک برنامه‌ریزی راهبردی دقیق به دنبال تولید گازسنتزی حاصل از فرایند *UCG* هستند. بدیهی است افزایش ظرفیت تولید گاز در این کشورها و خود کفایی آن‌ها در زمینه تامین انرژی، بر وضعیت صادرات گاز ایران تاثیر منفی خواهد گذاشت.

مشکل اساسی در صادرات گاز ایران را می‌توان در نوسانات شدید مصرف گاز در ایران جستجو نمود. در ایران میانگین دما بین ۱۰- درجه تا ۵۰+ درجه سانتیگراد در ماه‌های سرد و گرم سال متغیر است (آذین و فراش، ۱۳۹۰). به این ترتیب مصرف گاز با نوسانات فصلی شدیدی روبرو است. نمودار (۶) نوسانات مصرف گاز طی ماه‌های مختلف در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ و رشد نسبی آن در این سال‌ها را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (٦)- وضعیت نوسانات فصلی و رشد مصرف گاز طی ماه های مختلف سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ در ایران (ترازنامه هیدروکربوری کشور سال ۱۳۸۷و *www.tavanir.org.ir*)

با توجه به مطالب بیان شده یکی از راه حل‌های مناسب برای مهار نوسانات مصرف، افزایش ظرفیت تولید گاز است. تزریق گاز سنتزی حاصل از بکارگیری فناوری *UCG* به شبکه‌ی انتقال گاز کشور به خصوص در فصول سرد می‌تواند در جهت کاهش واردات کمک موثری باشد. افزایش ظرفیت گاز تولیدی کشور، تامین پایدار سوخت برای مصارف داخلی کشور را در پی خواهد داشت و میان عرضه و تقاضا در فصل‌های گرم و سرد توازن ایجاد خواهد کرد. کاهش هزینه‌های صنعت با توجه به مزایای استفاده از گاز، کاهش هزینه تنظیم رگولاتورهای گاز در مراکز صنعتی در اثر تغییر فشار گاز در فصول زمستان و تابستان و رفع خطراتی نظیر کاهش عرضه، مشکلات فنی پالایشگاه‌ها و مشکلات فنی خطوط لوله انتقال که تامین و عرضه گاز را تهدید می‌کند، از دیگر مزایای افزایش ظرفیت گاز تولیدی در کشور از طریق بهره‌برداری از فناوری *UCG* است.

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۵- کاهش اثرات زیست محیطی

پیامدهای زیست محیطی صنعت زغال‌سنگ، از نظر مشکلات استخراج و تبعات معدنکاری آن و عواقب مصرف زغال‌سنگ بر طبیعت، حادتر از سایر سوخت‌های فسیلی است. به همین دلیل، قوانین و استانداردهای بالای معدنکاری زغال‌سنگ سلامت نیروی انسانی و جلوگیری از تخریب اکوسیستم منطقه معدنی را مدنظر دارند. سوزاندن زغال-سنگ نیز لطمات جبران ناپذیری بر محیط زیست وارد می‌کند که تولید دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسیدگوگرد، اکسیدهای نیتروژن و فلزات سمی از آن جمله‌اند. مهمترین پیامدهای منفی مصرف زغال‌سنگ را می‌توان تولید گازهای سولفوره دانست که عامل ایجاد باران‌های اسیدی است، از این‌رو استخراج بسیاری از معادن به ویژه کانسارهای پرگوگرد به دلیل تمهیدات محیط زیست با مشکلات حقوقی فراوانی مواجه‌اند و لازمه رسیدن به استانداردها و تحقق قوانین تولید و مصرف زغال‌سنگ، صرف هزینه‌های جانبی فراوان است که کاهش مطلوبیت اقتصادی معدنکاری زغال‌سنگ را در پی داشته است و می‌تواند باعث رکود این صنعت شود (ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷).

یکی از راه‌های استفاده بهینه از زغال‌سنگ با حداقل آلودگی، تبدیل برجای آن به گاز است که به صورت زیرزمینی و بدون استخراج زغال از معدن و یا با حداقل استخراج صورت می‌گیرد. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است میزان آلودگی هوا در نیروگاه‌هایی که از روش *UCG* استفاده می‌کنند در مقایسه با نیروگاه‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند بسیار کمتر است. این روش دارای مزایای زیر از دیدگاه زیست محیطی است (بارتن ،۲۰۰۶):

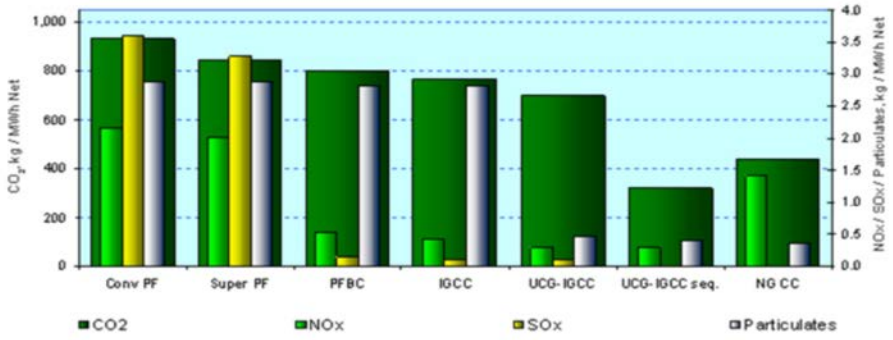
- ✓ به دلیل عدم حمل و نقل زغال‌سنگ و باطله همراه آن، اثرات محلی در ارتباط با روبرداری زغال‌سنگ و انبار زغال‌سنگ کاهش می‌یابد.
- ✓ مشکل شستشوی زغال‌سنگ و دفع آلاینده‌ها و ذرات در سایت‌های معدنی رفع می‌شود.

1- Burton (2006)

Archive of SID

www.SID.ir

- ✓ انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۵ درصد کاهش می‌یابد و گازهای اکسیدهای نیتروژن (***NOx***) و اکسیدهای کربن (***COx***) حذف می‌شود.
- ✓ تخریب سطح زمین و نشست در مقایسه با معدن‌کاری زغال‌سنگ و عملیات استخراج نفت و گاز کاهش چشمگیر خواهد داشت.
- ✓ انتشار متان نسبت به معدن‌کاری مرسوم بسیار کمتر خواهد شد.
- ✓ خطر آلودگی آب‌های سطحی که در معدن‌کاری زغال رایج است، کاهش می‌یابد.
- ✓ به دلیل محدودشدن باطله‌های جامد در زیرزمین، مشکل تمیزکاری و بازسازی محیط رفع خواهد شد.



Conv PF: Conversion by Pressurized Fluidized
Super PF: Super Pressurized Fluidized
PFBC: Pressurized Fluidized Bed Combustion
IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle
UCG-IGCC: Underground Coal Gasification- Integrated Gasification Combined Cycle
$UCG\text{-}IGCC_{seq}$: UCG-IGCC (CO_2 capture and sequestration processes)
NG CC: Natural Gas Combined Cycles

نمودار (۷)- مقایسه میزان آلودگی هوا ناشی از نیروگاه‌های با سوخت فسیلی و مجموعه‌های *UCG* در سال ۲۰۱۲ (*www.ergoexergy.com*)

www.SID.ir

۲-٦- جایگزین کردن روش‌های با فناوری بالا به جای روش‌های سنتی

زغال‌سنگ یکی از با ارزش‌ترین مواد معدنی انرژی‌زا در جهان امروز است که از نظر ذخیره بیشترین حجم را در دنیا داراست (اسماعیل‌نیا و همکاران، ۱۳۸۹). اما مقایسه رشد تولید زغال‌سنگ در سال ۲۰۱۲ با متوسط نرخ رشد سالانه ده ساله اخیر، بیانگر روند نزولی در رشد تولید این حامل انرژی است. از مهم‌ترین دلایل این امر، هزینه بالای استخراج زغال‌سنگ و حمل آن، کاهش قیمت گاز طبیعی، چالش‌های زیست محیطی و عدم توانایی در کنترل انتشار گازهای گلخانه ای است (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱).

از دیگر مشکلاتی که در راه معدنکاری زغال‌سنگ وجود دارد، خطرات و حوادث غیر قابل پیش بینی است که از دیرباز تا کنون در معادن قربانی می‌گیرد. معدنکاری به خصوص کار در معادن زغال‌سنگ جز کارهای سخت و زیان آور است. سازمان جهانی بهداشت کار، در سال ۲۰۱۲ این شغل را مجددا جزو مشاغل پر مخاطره، خطرناک و زیان آور قرار داده است (*www3.irna.ir*). به همین دلیل، پژوهشگران و محققان در پی یافتن راهی برای استحصال انرژی از ذخایر زغال‌سنگ بدون استخراج آن از زیر زمین بوده‌اند. فناوری *UCG* راه حلی است که این امکان را فراهم آورده‌است و علاقه‌مندی کشورهای مختلف جهان نسبت به پیاده سازی آن در حال افزایش است.

در ایران به دلیل ضخامت کم لایه‌های زغال و شکستگی‌های موجود، برخی مواقع معدنکاران ناچار به استفاده از روش‌های سنتی می‌شوند که این امر راندمان را کاهش و مخاطرات را افزایش می‌دهد. در روش معدنکاری سنتی سهم نیروی انسانی در استخراج زغال‌سنگ حدود ۷۰ درصد است که این مهمترین عامل آسیب‌های جدی معدنکاران در زمان وقوع حادثه است (*www3.irna.ir*).

در حال حاضر در بیشتر معادن ایران روش‌های معدنکاری سنتی رایج است، یعنی کارگر در بدترین شرایط کاری با پیکور کار استخراج را انجام می‌دهد. تنها معدن مکانیزه، معدن طبس است که مدتی با مشکلاتی در مورد ماشین‌آلات مواجه بوده است. به هر حال، در حال حاضر در ایران از فناوری روز دنیا در بخش‌های اکتشاف، استخراج و فرآوری

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده نمی‌شود. در معدنکاری روز دنیا در خصوص زغال‌سنگ، به ازای هر نفر در هر شیفت، حدود ۹۵ تن زغال‌سنگ تولید می‌شود که این رقم در ایران در بهترین شرایط حدود یک تن به ازای هر نفر در هر شیفت است. در آمریکا به ازای هر نفر در هر ساعت، حدود ۶ تن زغال‌سنگ تولید می‌شود که این رقم در ایران کمتر از ۰/۰۳ تن است. البته معادن ایران نسبت به معادن دیگر دنیا، در وضعیت بدتری قرار دارند چون لایه‌های زغال‌سنگ ایران اغلب شیب‌دار است. ضخامت لایه‌ها نیز یکنواخت نیست و کم و زیاد می‌شود (عطایی، ۱۳۹۱).

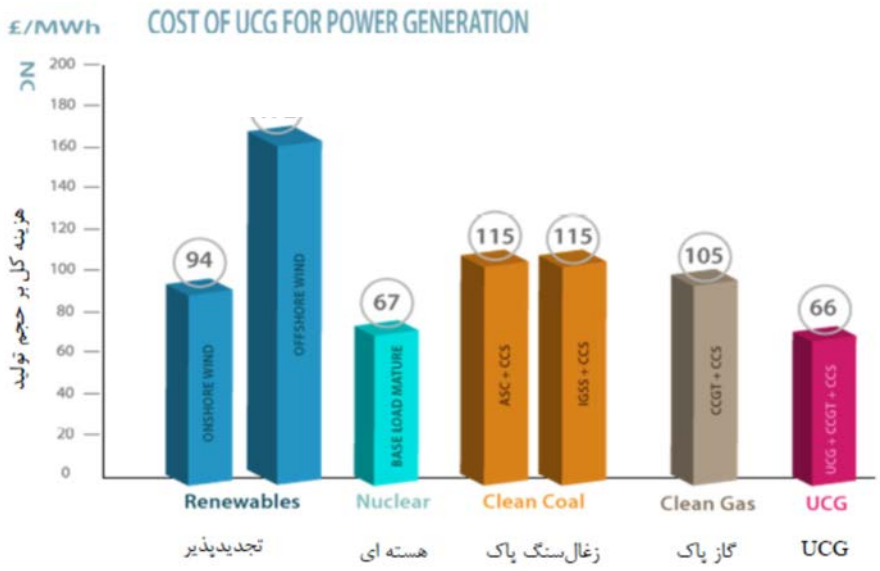
با این اوصاف در مقابل مشکلات و خطراتی که در معدنکاری زغال‌سنگ به روش سنتی روباز و یا زیرزمینی وجود دارد استفاده از فناوری *UCG* که روشی پیشرفته است، بسیاری از مشکلات را حل خواهد کرد. این روش بهره‌برداری از زغال‌سنگ، علاوه بر مزایای محیط زیستی و کاهش خطرات برای معدنکاران، از روش‌های دیگر استخراج زغال‌سنگ، اقتصادی‌تر است. مزایای این روش به شرح زیر است:

صرف هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی پایین‌تر نسبت به معدن‌کاری سنتی به منظور استخراج زغال‌سنگ و تبدیل آن به برق و سوخت مایع (نمودار (۸))

- ✓ استفاده از گاز ترکیبی تولیدی در فرآیندهای صنعتی مختلف از جمله تولیدات شیمیایی
- ✓ انتقال گاز سنتزی تولید شده به طور مستقیم به مصرف کننده و حذف نیاز به جاده و ریل
- ✓ شرایط ایمنی و بهداشتی مناسب (عدم حضور معدنچی در زیرزمین)
- ✓ پالایش آسان‌تر گاز به علت باقی ماندن خاکستر زغال‌سنگ در زیرزمین
- ✓ تولید گازهای گلخانه‌ای کمتر و امکان جداسازی و ذخیره سازی زیرزمینی دی اکسید کربن

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۸)- هزینه تولید برق با استفاده از فناوری *UCG* در مقایسه با سایر روش‌ها در سال ۲۰۱۰ (*www.ucgassociation.org*)

۲-۷- کارآفرینی و اشتغال‌زایی

ایجاد زیرساخت‌های نوین معدن‌کاری (همچون *UCG*)، علاوه بر ایجاد اشتغال، مزایای اقتصادی و سودآوری کلانی را در پی خواهد داشت. این فناوری با بکار گرفتن ظرفیت‌های نیروی انسانی در مشاغل مختلف به صورت مستقیم و غیر مستقیم و با توجه به قابلیت‌های بالقوه معدنی به خصوص در مناطق محروم در جهت کاهش مشکل بیکاری و پیامدهای آن بسیار موثر خواهد بود. با ورود صنعت *UCG* به ایران، همچنین بازارکار مهمی برای فارغ التحصیلان دانشگاهی بیکار در بخش‌های تخصصی ایجاد خواهد شد که در خصوص کاهش نرخ فرار مغزها نیز ممکن است گام موثری به شمار آید.

Archive of SID

www.SID.ir

۳- بررسی ظرفیت‌های قانونی استفاده از *UCG* با توجه به قوانین مادر

ورود فناوری *UCG* به ایران، راهبردی برای دستیابی به برخی از اهداف متعالی نظام است که با توجه به اسناد بالادستی اهتمام برای دستیابی به این فناوری، ضروری به نظر می‌رسد.

۳-۱- قانون برنامه پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران

تولید انرژی پاک با استفاده از گاز کردن زیرزمینی زغال‌سنگ راهکاری برای اجرای بخش‌هایی از قانون برنامه پنجم توسعه و نیز دست آویزی برای بهره‌برداری از ظرفیت‌های پیش بینی شده در این قانون خواهد بود که برخی از مواد آن در زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

✓ فناوری ***UCG*** می‌تواند به علت «ایجاد اشتغال پایدار، توسعه کارآفرینی و مشاغل نو و ایجاد زمینه مساعد برای صادرات انرژی غیر نفتی» از حمایت دولت و معافیت‌های مالیات و عوارض طبق ماده ۸۰ قانون برنامه پنجم توسعه برخوردار باشد.

✓ با استفاده از فناوری ***UCG*** امکان تولید برق و «ایجاد تنوع در عرضه انرژی کشور» وجود دارد و مطابق ماده۱۳۳ قانون برنامه پنجم، «شرکت توانیر و شرکت‌های وابسته و تابعه وزارت نیرو اجازه دارند نسبت به انعقاد قراردادهای بلندمدت خرید تضمینی برق تولیدی اقدام نمایند.» این ظرفیت قانونی می‌تواند، موجب علاقه‌مندی بخش خصوصی برای ورود به عرصه تولید برق از طریق ***UCG*** شود.

✓ سرمایه‌گذاری در ***UCG***، سرمایه‌گذاری در صنایع نوین محسوب می‌شود و دولت طبق ماده ۱۵۱ قانون برنامه پنجم، سیاست‌هایی برای «حمایت از صنایع نوین» به ویژه اعطای تسهیلات درنظر گرفته است.

✓ روش ***UCG*** راه حلی مناسب برای کاهش اثرات مخرب زیست محیطی نسبت به روش‌های سنتی است و بنابراین بر اساس ماده ۱۹۲ قانون برنامه پنجم که اشعار می‌دارد

Archive of SID

www.SID.ir

طرح‌ها باید «براساس ضوابط مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست» تدوین شوند، می‌تواند باعث کاهش عوامل آلوده کننده شود.

✓ استفاده از ***UCG*** با کاهش انتشار ذرات و گازهای آلاینده و گازهای گلخانه‌ای برای تحقق اهداف ماده ۱۹۳ قانون برنامه پنجم مبنی بر «کاهش آلودگی هوا تا حد استانداردهای جهانی (کنترل و کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای)» زمینه مناسبی را فراهم خواهد آورد.

✓ به علت مزایای بیان شده در استفاده از فناوری ***UCG*** و هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی کمتر نسبت به روش‌های سنتی، این فناوری سبب «رشد تولید ناخالص داخلی و کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی و ایجاد اشتغال» خواهد شد. تحقق این اهداف در ماده ۲۳۴ از وظایف دولت است و فناوری ***UCG*** کمک موثری به دولت در این راستا خواهد بود.

۳-۲- سند چشم انداز ۲۰ ساله [۱]

از جمله سیاست‌های کلی برنامه چهارم توسعه جمهوری اسلامی ایران که در سند چشم انداز پیش بینی شده، "کسب فناوری، به ویژه فناوری‌های نو" است. بکارگیری فناوری *UCG*، در واقع استفاده از فناوری‌های بالا به جای روش‌های سنتی است که هم سو با تحقق اهداف این سند خواهد بود.

در مقوله آمایش سرزمینی در سند چشم انداز به «کارآیی و بازدهی اقتصادی»، «حفاظت محیط زیست و احیای منابع طبیعی»، «تسهیل و تنظیم روابط درونی و بیرونی اقتصاد کشور» و «رفع محرومیت‌ها، خصوصاً در مناطق روستایی کشور» اشاره شده است. بر این اساس، استفاده از ذخایر زغال‌سنگ با روش *UCG* در مناطق کرمان و طبس، سبب رفع محرومیت در روستاهای این مناطق خواهد شد. در این مناطق می‌توان از گاز سنتزی، نیروگاه‌های تولید برق تاسیس کرد. برق، انرژی فوق العاده پاکی است که فاقد اثرات

۱-رهبر معظم انقلاب اسلامی در در تاریخ ۱۳ آبان ۱۳۸۲ با ابلاغ سند نهایی چشم انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران به سران سه قوه و رییس مجمع تشخیص مصلحت نظام، افق روشن ایران را در ۱۴۰۴ هجری شمسی ترسیم کردند.

Archive of SID

www.SID.ir

مخرب زیست محیطی است. علاوه بر این، مزیت ارزان بودن این منبع انرژی، سبب رونق اقتصادی این مناطق خواهد شد.

با توجه به سند چشم انداز ۲۰ ساله کشور «فراهم نمودن زمینه های لازم برای تحقق رقابت‌پذیری کالاها و خدمات کشور در سطح بازارهای داخلی و خارجی و ایجاد ساز و کارهای مناسب برای رفع موانع توسعه صادرات غیر نفتی» در آینده ایران ضروری است. استفاده از فناوری *UCG* سبب تولید گاز سنتزی با قیمت نازل‌تر خواهد شد که در صورت استفاده در تامین انرژی برای صنایع تولیدی سبب کاهش قیمت نهایی محصولات، کالاها و خدمات خواهد شد و به طور غیر مستقیم زمینه‌های صادرات غیر نفتی را فراهم می‌آورد.

بر طبق این سند، سبد جدیدی از انرژی با «به کارگیری دانش فنی و سرمایه انسانی و فناوری های نوین« در ایران ایجاد خواهد شد و از این طریق می‌توان در جهت «تبدیل درآمد نفت و گاز با دارایی‌های مولد به منظور پایدار سازی فرآیند توسعه و تخصیص و بهره برداری بهینه از منابع» حرکت کرد.

سرمایه‌گذاری در فناوری *UCG* به جای صرف هزینه‌های عظیم برای استخراج زغال‌سنگ، سبب «رشد بهره‌وری عوامل تولید» خواهد شد به این ترتیب که با به کارگیری انرژی، سرمایه و نیروی کار حداقلی، بازدهی حداکثری از زغال‌سنگ به دست خواهد آمد. همچنین «گسترش فعالیت‌های اقتصادی در زمینه‌ی صنعت و معدن» که از دیگر آرمان‌های سند چشم انداز است از طریق پیاده‌سازی کارگاه‌های استخراج *UCG* محقق می‌شود.

۳-۳- نقشه جامع علمی کشور

نقشه جامع علمی کشور مجموعه‌ای، هماهنگ و پویا از اهداف، سیاست‌ها، ساختارها، الزامات برنامه‌ریزی تحول راهبردی علم، فناوری و نوآوری مبتنی بر ارزش‌های اسلامی ایرانی و آینده‌نگر برای دستیابی به اهداف چشم‌انداز بیست ساله کشور است. این سند با تاکید مقام معظم رهبری به عنوان مهم‌ترین نیاز کشور در جهت دستیابی به سطوح بالای

Archive of SID

www.SID.ir

دانش روز و جهش علمی، پس از مدت ۴ سال تلاش متخصصین، در تاریخ ۱۴ دی ۱۳۸۹ در شورای عالی انقلاب فرهنگی، تصویب شد. پس از تصویب سند توسط رییس جمهور وقت و رییس شورای عالی انقلاب فرهنگی در تاریخ ۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۰ به تمام دستگاه‌ها ابلاغ شد.

از جمله اهداف کلان نظام علم و فناوری کشور که در نقشه جامع علمی کشور آورده شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

* «دستیابی به توسعه علوم و فناوری‌های نوین و نافع، متناسب با اولویت‌ها و نیازها و مزیت‌های نسبی کشور، انتشار و به کارگیری آن‌ها در نهادهای مختلف آموزشی و صنعتی و خدماتی»

* «افزایش سهم تولید محصولات و خدمات مبتی بر دانش و فناوری داخلی به بیش از ۵۰ درصد تولید ناخالص داخلی کشور»

اکتشاف و استخراج مواد معدنی از جمله اولویت‌های نقشه جامع علمی کشور است و از جمله راهبردهای کلان مطرح شده در آن، جهت دادن به چرخه علم و فناوری و نوآوری برای ایفای نقش موثرتر در اقتصاد است. همانطور که در بخش‌های قبل به تفصیل آورده شده است فناوری *UCG* روشی برای استفاده بهینه از ذخایر زغال‌سنگ است و بکارگیری آن، برای بهره‌برداری از ذخایر عظیم زغال‌سنگ کشور، با صرفه اقتصادی همراه است. قابلیت تولید محصولات متنوع از جمله برق، هیدروژن و مواد شیمیایی از جمله مزیت‌های این روش است که با ورود این دانش و فناوری به ایران، تولید ناخالص داخلی افزایش قابل توجه خواهد داشت و راه رسیدن به اهداف نقشه جامع علمی کشور هموارتر خواهد شد.

٤- جمع‌بندی

در مقابل مشکلات متعدد استخراج زغال‌سنگ، روش گاز کردن زیرزمینی زغال‌سنگ با کاهش هزینه در استفاده بهینه از منابع زغال‌سنگ، کاهش قابل توجه در آلودگی

Archive of SID

www.SID.ir

محیط زیست و تخریب سطح زمین، جایگاه ویژه‌ای در سراسر جهان دارد. با بـه کـارگیری فناوری نوین *UCG* در ایران، از طریق افزایش ظرفیت تولید گاز کشور و تولید برق از گـاز سنتزی حاصل از *UCG* می‌توان اقتصاد انـرژی کشـور را بهبـود بخشـید و در جهـت تحقـق اهداف اسناد بالادستی کشور و اوامر ابلاغی مقام معظـم رهبری در حوزه نفت و گاز، گام بلندی برداشت. فناوری *UCG* سبب تنوع بخشـی به سبد سوخت کشـور و امنیـت انـرژی در کشور خواهد شد و می‌توان زمینـه صـادرات گـاز و سـایر محصـولات بـه اقصـی نقـاط جهـان را فراهم خواهد کرد.

٦- منابع

الف) فارسی

۱- آذین، رضا و داود فراش (۱۳۹۰)، «نقش ذخیره سازی زیر زمینی در تعدیل زنجیره عرضه گاز طبیعی»، اولین کنفرانس مجازی ذخیره سازی زیرزمینی مواد هیدروکربوری.

۲- اسماعیل‌نیا، علی‌اصغر و عباس حمزه خانی (۱۳۸۹)، «بررسی اقتصادی استفاده از زغال-سنگ برای تولید برق در ایران»، *مجله اقتصاد انرژی*، شماره ۱۳۲-۱۳۱.

۳- جلالی، سید محمد اسماعیل، مهدی نجفی و رضا خالوکاکایی (۱۳۹۲)، «امکان‌سنجی کاربرد روش گازکردن زیرزمینی زغال‌سنگ (UCG) برای تولید برق، مطالعه موردی: منطقه زغالی تخت»، *مجله نظام مهندسی معدن*، شماره ۱۹

۴- جلالی، سید محمد اسماعیل، مهدی نجفی و رضا خالوکاکایی (۱۳۹۲)، «امکان‌سنجی تولید هیدروژن از کانسارهای زغال‌سنگ ایران»، پژوهشکده دانشجویی دانشگاه صنعتی شاهرود.

۵- عطایی، محمد (۱۳۹۱)، «زغال سنگ قربانی نفت و گاز»، *روزنامه دنیای اقتصاد*، شماره ۲۸۵۰، مورخ ۱۶/۱۱/۱۳۹۱.

Archive of SID

www.SID.ir

۶- گروه مدیریت انرژی (۱۳۸۸)، ترازنامه هیدروکربوری کشور سال ۱۳۸۷، مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی.

۷- لطفی آزاد، علی اصغر، سید محمد اسماعیل جلالی و احمد رمضان زاده (۱۳۹۱)، «تدوین پارامترهای طراحی فرآیند گاز کردن زیر زمینی زغالسنگ (UCG)»، اولین کنگره ملی زغال سنگ.

۸- معاونت امور برق و انرژی (۱۳۹۲)، ترازنامه انرژی سال *۱۳۹۱*.

۹- معاونت امور برق و انرژی (۱۳۸۸)، ترازنامه انرژی سال *۱۳۸۷*.

۱۰ - نجفی، مهدی؛ سید محمد اسماعیل جلالی و رضا خالوکاکایی (۱۳۹۳)، «برآورد توزیع دما در ازراف پهنه های استخراجی در روش گاز کردن زیرزمینی زغال سنگ (UCG) »، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن*.

۱۱- نجفی، مهدی، سید محمد اسماعیل جلالی و رضا خالوکاکایی (۱۳۹۳)، «برآورد عرض مناسب فضای استخراجی در روش تبدیل به گاز کردن زیرزمینی زغال‌سنگ (UCG)»، مقالات آماده انتشار، پذیرفته شده در نشریه *مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی*.

۱۲- نجفی، مهدی، سید محمد اسماعیل جلالی، رضا خالوکاکایی و علی اصغر لطفی آزاد (۱۳۹۲)، «انتخاب لایه امید بخش برای استخراج به روش گاز کردن زیرزمینی زغال سنگ (UCG)، مطالعه موردی منطقه زغالی مزینوی طبس»، *فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست*، سال هفتم، شماره ۲۵.

ب) انگلیسی

1- Burton, E.; J. Friedmann & R. Upadhye (2006), "Best Practices in Underground Coal Gasification", *Lawrence Livermore National Laboratory,* Livermore, CA.

2- Couch, G. R (2009), *Underground Coal Gasification.* IEA Clean Coal Center, International Energy Agency.

3- Jalali, Seyed Mohammad Esmaiel; M. Najafi and R. Khalokakaei (2014), "Ranking of coal seams for Underground Coal Gasification (UCG) in Mazino Coal Deposit, Tabas Coal Field, Iran", *Geology and Mining Research Journal*.

Archive of SID

www.SID.ir

4- Sury, Martin; White Matthew, Jenny Kirton and Peter Carr (2004), "Review of Environmental Issues of Underground Coal Gasification", Report No. COAL R272 DTI/Pub, URN, 1880/04 APENDIX G.
5- www.nationmaster.com
6- www.eia.gov
7- www.ngdir.ir
8- http://nigc-nigtc.ir
9- http://ayaronline.ir
10- http://vista.ir
11- www.cloob.com
12- www.uk.reuters.com
13- www.yjc.ir
14- http://mobile.tasnimnews.com
15- www.tavanir.org.ir
16- www.ergoexergy.com
17- www.eghtesadonline.com
18- www3.irna.ir
19- www.ucgassociation.org

Archive of SID

www.SID.ir