

## پیامدهای توسعه گاز رُسی بر بازار جهانی انرژی

سید روح الله رضوی<sup>۱</sup>

دانشجوی دکتری مدیریت قراردادهای بین‌المللی نفتی، دانشگاه امام صادق (ع)

### چکیده:

انقلاب گاز رُسی در ایالات متحده آمریکا نااطمینانی‌های زیادی در بازار جهانی گاز ایجاد کرده است. در حال حاضر تنها تولیدکننده گاز رُسی در جهان کشور آمریکاست. اگر این فناوری قابلیت تکثیر و انتقال به سایر نقاط جهان را داشته باشد و بتواند بر چالش‌های پیش رو برای توسعه غلبه نماید، آنگاه در آینده نه چندان دور گاز ارزان در اختیار مصرف‌کنندگان گاز خواهد بود. پیش‌بینی می‌شود در صورت توسعه مناسب حوزه‌های گاز رُسی، تولید این گاز سهم ۲۰ درصدی در تأمین گاز جهان داشته باشد. در حال حاضر در سه حوزه فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی چالش‌هایی جدی برای توسعه گاز رُسی وجود دارد. در بخش فنی، محدودیت دسترسی سایر کشورها به فناوری‌های توسعه گاز رُسی، نیاز به حفاری چاه‌های بسیار زیاد، ضریب بازیافت پایین این ذخایر، محدودیت دسترسی به آب و تراکم بالای جمعیت در مناطق قابل استحصال، پیش روی این حوزه قرار دارد. در بخش اقتصادی نیز هزینه بالای تولید و نااطمینانی به قیمت‌های آینده گاز طبیعی از مهمترین چالش‌هاست. در بخش محیط‌زیستی نیز افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب‌های زیرزمینی به جهت عملیات شکست هیدرولیکی با مواد شیمیایی، افزایش احتمال زمین‌لرزه، آلودگی آب با فرآوری شده به مواد رادیو اکتیو و احتمال نشست گاز رُسی به هوا و حوزه‌های آبی از چالش‌های محیط‌زیستی است.

کلمات کلیدی: گاز رُسی، گاز طبیعی، بازار جهانی گاز

### ۱- مقدمه

چهار گروه گاز رُسی<sup>۱</sup>، مخازن فشرده گاز<sup>۲</sup>، گاز متان لایه‌های زغال سنگی<sup>۳</sup> و هیدرات‌های گازی<sup>۴</sup> تقسیم

کاهش تدریجی ذخایر نفت و گاز مخازن متعارف و افزایش قیمت نفت خام و گاز طبیعی، توجه شرکت‌ها و دولت‌ها را به مخازن غیرمتعارف نفت و گاز معطوف کرده است. مخازن غیرمتعارف گاز به

۱. از آنجا که کلمه شیل گاز و گاز شیل هر دو با زبان فارسی سازگاری ندارند از کلمه گاز رُسی به جای Shale Gas در تمام این متن استفاده شده است.

2. Tight Gas  
3. Coal-bed Methane  
4. Gas Hydrate

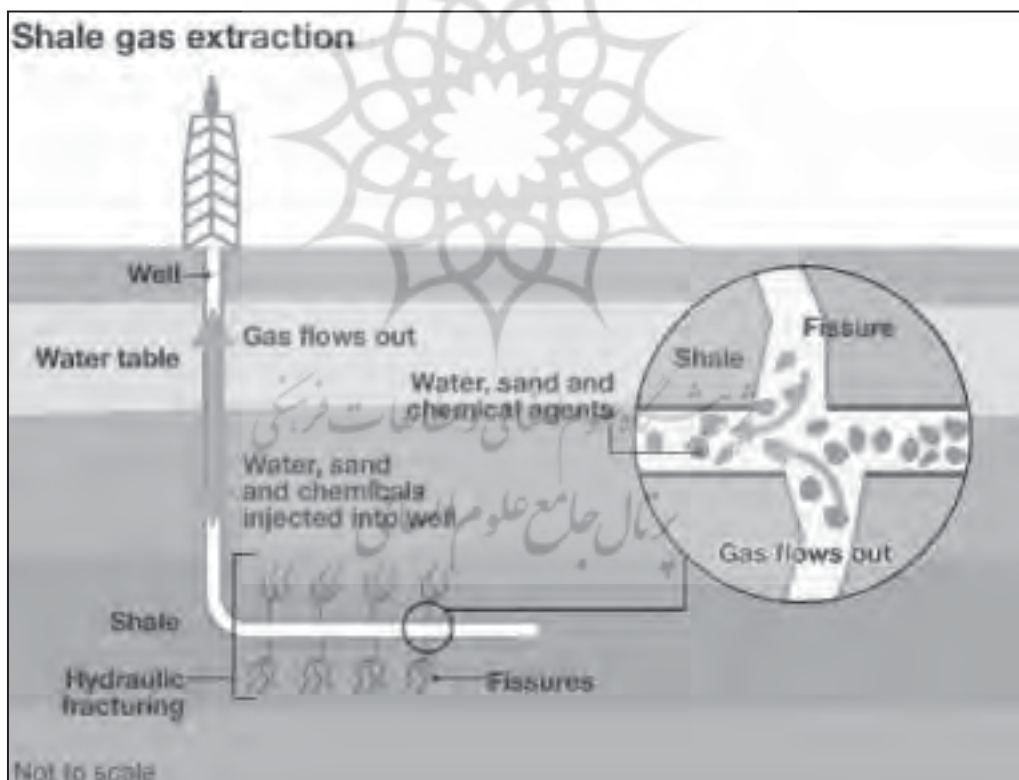
فشرده شده به صورت ورقه‌های نازک، تشکیل شده است. گاز رُسی، گاز طبیعی حاصل از سنگ رسوبی است که مهاجرت نکرده و در داخل خود سنگ باقیمانده است و در این مخازن بر خلاف مخازن مرسوم سنگ منشأ، سنگ مخزن و پوش سنگ<sup>۲</sup> یکی است (همبلین<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶). در این مخازن گاز به صورت آزاد در فضای خالی سنگ و به صورت جذب شده بر روی مواد آلی و معدنی به ویژه رس‌ها و یا محلول در کروژن<sup>۴</sup> و بیتومن<sup>۵</sup> وجود دارد (کرتیس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲).

برای استخراج گاز رُسی ابتدا یک چاه عمودی جهت رسیدن به لایه سنگ رُسی حفر می‌شود.

می‌شوند. در این گزارش گاز رُسی که ۶۲ درصد ذخایر گازی قابل برداشت را تشکیل می‌دهد مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

تا سال ۲۰۰۷ این باور در بازار گاز وجود داشت که با توجه به رشد تقاضای گاز طبیعی، تجارت گاز طبیعی مایع شده (LNG) توسعه قابل ملاحظه‌ای خواهد یافت تا حدی که رونق بازار تک محموله‌ای گاز با بازار تک محموله‌ای نفت در دهه آتی مقایسه می‌شد. اما پس از بحران مالی سال ۲۰۰۸ و گسترش تولید گازهای غیرمعارف به ویژه گاز رُسی، بازی در بازار جهانی گاز طبیعی تغییر کرد.

شیل<sup>۱</sup> نوعی سنگ رسوبی است که از رس



شکل ۱: فرآیند استخراج گاز رُسی

2. Caps Rock
3. Hamblin
4. Kerogen
5. Bitumen
6. Curtis

1. Shale

عمق این لایه از سطح زمین حدود ۶۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ فوت (۱۸۰۰-۴۲۰۰ متر) است. در عمق مطلوب، از فناوری حفاری افقی<sup>۱</sup> برای حفاری مخزن استفاده می‌شود. طول حفاری افقی در حدود ۵۰۰۰ فوت و یا بیشتر است. بر روی چاه افقی سوراخ‌هایی با فواصل معین تعبیه شده است و در نهایت با استفاده از فناوری شکاف هیدرولیکی<sup>۲</sup>، مخلوطی از آب (۹۴/۵٪)، شن (۵٪) و مواد شیمیایی مختلف (کمتر از ۰/۵٪) با فشار بسیار بالا (در حدود ۵۰۰۰ psi) به درون چاه پمپ می‌شود تا با ایجاد شکاف در لایه‌های رسوبی، گاز طبیعی محبوس در آن آزاد و به سمت چاه و تأسیسات جمع‌آوری سرچاهی جریان یابد.

در چند دهه اخیر نیز در بخش‌های شرقی آمریکا به صورت محدود از منابع گاز رُسی برداشت شده است. برداشت وسیع از این منابع به دلایل فنی و اقتصادی تا سال‌های اخیر، امکان‌پذیر نبود اما با پیشرفت‌های فنی در زمینه حفاری افقی و شکست هیدرولیک چند مرحله‌ای، کاهش هزینه‌های آن و همچنین افزایش چشم‌گیر قیمت منابع انرژی فسیلی، تولید از مخازن گاز رُسی، توجیه فنی و اقتصادی پیدا کرد.

ایالات متحده آمریکا از دهه ۱۹۸۰ سرمایه‌گذاری گسترده‌ای برای پژوهش در خصوص گازهای رُسی انجام داد و در اواخر دهه ۱۹۹۰ نیز تولید از این منابع را آغاز کرد و در حال حاضر تنها کشوری است که به طور گسترده از این منابع برداشت می‌کند. در حال حاضر ۴۷ حوزه<sup>۳</sup> گاز رُسی در ۳۲ کشور جهان

کشف شده است (بویر<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش پس از بررسی وضعیت ذخایر و تولید گاز رُسی در نقاط مختلف جهان، چالش‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی توسعه گاز رُسی ارائه می‌شود. در ادامه پیامدهای توسعه گاز رُسی برای بازار جهانی انرژی تبیین، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌شود.

## ۲- وضعیت ذخایر و تولید گاز رُسی در جهان

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۲، حجم ذخایر قابل استحصال گازهای نامتعارف ۳۳۱ تریلیون مترمکعب بوده است. حجم گازهای رُسی، مخازن فشرده گاز و گاز متان لایه‌های زغال‌سنگ به ترتیب ۲۰۸، ۷۶ و ۴۷ تریلیون مترمکعب برآورد می‌شود. مخازن گازهای رُسی ۶۲ درصد ذخایر گازهای نامتعارف را تشکیل می‌دهند.

البته اطلاعات و آمار در خصوص میزان گاز درجا و ذخایر قابل استحصال گاز رُسی بسیار نامطمئن و متفاوت است. در برخی منابع ذخایر قابل استحصال گاز رُسی تا بیش از دو برابر این مقدار نیز برآورد شده است (بویر و همکاران، ۲۰۱۱). البته از سوی دیگر برخی کشورها تخمین‌های ذخایر خود را به طور جدی کاهش داده‌اند؛ برای مثال لهستان در مارس ۲۰۱۲ حجم ذخایر قابل استحصال خود را از ۵۳۰۰ میلیارد مترمکعب به ۳۴۶ تا ۷۶۸ میلیارد مترمکعب کاهش داد. به عبارتی پیش‌بینی اولیه را حدود ۹۰ درصد کاهش داد (استیونس، ۲۰۱۲). این نااطمینانی در بازار گاز موجب می‌شود تا سرمایه‌گذاران برای حضور در این بازار با احتیاط بیشتری تصمیم‌گیری نمایند.

1. Horizontal drilling

2. Hydraulic fracturing

۳. به مناطقی که گاز سنگی وجود دارد play گفته می‌شود. این حوزه‌ها به دلیل گستردگی جغرافیایی زیاد با عنوان میدان شناخته نمی‌شود. در زبان فارسی معادل مناسبی برای این کلمه یافت نشد. در این متن از لفظ «حوزه» استفاده شده است.

4. Boyer

جدول ۱: حجم ذخایر گازی قابل برداشت متعارف و غیر متعارف

غیر مرسوم			کل		
متان زغال سنگی	گاز رُسی	گاز سخت	غیر مرسوم	مرسوم	
۲۰	۱۲	۱۰	۴۳	۱۳۱	شرق اروپا/ اورآسیا
-	۴	۸	۱۲	۱۲۵	خاورمیانه
۱۶	۵۷	۲۰	۹۳	۳۵	آسیا/ پاسفیک
۹	۵۶	۱۲	۷۷	۴۵	OECD آمریکا
۰	۳۰	۷	۳۷	۳۷	آفریقا
-	۳۳	۱۵	۴۸	۲۳	امریکای لاتین
۲	۱۶	۳	۲۱	۲۴	OECD اروپا
۴۷	۲۰۸	۷۶	۳۳۱	۴۲۱	جهان

منبع: EIA (2012)

در جدول فوق سهم مناطق جهان از ذخایر گازی متعارف، نامتعارف و گاز رُسی نشان داده شده است. بر اساس این جدول در حالی که سهم آسیای میانه و خاورمیانه از ذخایر گازی متعارف بیش از ۶۰ درصد است اما سهم این دو منطقه از ذخایر گاز رُسی به ترتیب ۵/۵ و ۲ درصد است که نشان می‌دهد در صورت توسعه حوزه‌های گاز رُسی از اهمیت ژئوپلیتیکی این مناطق به طور قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود و بازیگران جدید بازار جهانی گاز نقش بسیار مهمی در این بازار خواهند داشت.

جدول ۲: سهم مناطق مختلف جهان از ذخایر گازی (درصد)

منطقه جغرافیایی	گاز متعارف	گاز نامتعارف	گاز رُسی
اروپای شرقی و اوراسیا	۳۱	۱۳	۵/۵
خاورمیانه	۳۰	۴	۲
آسیا-اقیانوسیه	۸	۲۸	۲۷/۵
کشورهای آمریکایی OECD	۱۱	۲۳	۲۷
آفریقا	۹	۱۱	۱۴/۵
امریکای لاتین	۵/۵	۱۴/۵	۱۶
کشورهای اروپایی OECD	۵/۵	۶/۵	۷/۵

در حال حاضر تولید گاز رُسی در جهان ۱۴۵ میلیارد مترمکعب در سال است که از سه حوزه گاز رُسی آمریکا برداشت می‌شود. بر اساس پیش‌بینی IEA در صورت رفع چالش‌های موجود، حجم تولید گاز رُسی تا سال ۲۰۲۰ به ۴۷۵ میلیارد مترمکعب و تا

۲۰۳۵ به ۹۷۵ میلیارد مترمکعب خواهد رسید که ۲۰ درصد تولید گاز جهان خواهد بود. در ادامه وضعیت ذخایر گازی آمریکا، اروپا و هند و چین به صورت مختصر بررسی می‌شود.

## ۲-۱- آمریکا

مراتب دشوارتر از آمریکا خواهد بود. دلایل این امر را می‌توان مسائلی همچون محدودیت دانش فنی زمین‌شناسی، چالش‌های قانونی عملیاتی و اقتصادی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، دشواری حفاری در مناطق متراکم و پرجمعیت و عدم وجود زنجیره عرضه صنعت‌های خدماتی برشمرد.

حجم ذخایر گاز رُسی قابل استحصال آمریکا حدود ۲۴ تریلیون مترمکعب برآورد می‌شود که سه برابر ذخایر گازی متعارف این کشور است. تولید گاز رُسی از کمتر از یک درصد تولید گاز آمریکا در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۲۰ درصد تولید در سال ۲۰۱۰ (۱۴۵ میلیارد مترمکعب) رسیده است. آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی کرده است تا سال ۲۰۳۵ بیش از ۴۶ درصد عرضه گاز آمریکا از این ذخایر تأمین شود. گرچه ۲۰ سال است که تولید گاز رُسی آغاز شده اما این روند از سال ۲۰۰۶ شدت گرفت و دولت آمریکا با همکاری مؤسسات تحقیقاتی و شرکت‌های خدماتی آمریکا مبالغ زیادی را صرف تحقیق و توسعه در مورد ساختارهایی با نفوذپذیری پایین کرد و نتایج آن را رایگان در اختیار شرکت‌های عملیاتی قرار داد.<sup>۱</sup>

## ۲-۲- اروپا

## ۲-۳- چین و هند

کشورهای هندوستان و چین دو مصرف‌کننده بزرگ انرژی در آسیا، به طور جدی به دنبال توسعه گاز رُسی بوده و تحقیقات گسترده‌ای را در این زمینه انجام داده‌اند. هندی‌ها مدعی شده‌اند که با توسعه فناوری‌های جدید استخراج گاز می‌توانند نیاز به گاز طبیعی خود را از منابع داخلی مرتفع نمایند. بنابر اعلام اداره اطلاعات انرژی آمریکا (EIA)، ذخایر گاز رُسی چین حدود ۱۲۷۵ فوت مکعب (۳۶ تریلیون مترمکعب) برآورد می‌شود. در مارس ۲۰۱۲ اداره انرژی ملی چین هدف خود را تولید ۶/۵ میلیارد متر مکعب گاز رُسی در سال ۲۰۱۵ و ۶۰ تا ۱۰۰ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۲۰ اعلام کرد. البته در برخی مطالعات ارقام بیش از ۱۰ میلیارد مترمکعب در سال قابل دستیابی نیست (گوا، ۲۰۱۲).

کشورهای لهستان و فرانسه بیشترین حجم ذخایر گاز رُسی اروپا را در اختیار دارند. بر اساس پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی در حالت خوشبینانه تولید گاز رُسی اروپا تا سال ۲۰۳۵ به ۸۰ میلیارد مترمکعب در سال خواهد رسید که می‌تواند صرفاً کاهش تولید میادین گازی موجود اروپا را جبران کند و از وابستگی بیشتر اروپا به گاز روسیه و کشورهای حاشیه خلیج فارس جلوگیری نماید.

## ۳- چالش‌های توسعه ذخایر گاز رُسی

## ۳-۱- چالش‌های فنی

توسعه حوزه‌های گاز رُسی، به حفاری بسیار بیشتری در مقایسه با منابع گازی متعارف نیاز دارد. حجم گاز درجا در یک کیلومتر مربع از ذخایر گازهای متعارف بین ۲ تا ۵ میلیارد مترمکعب و حجم گاز درجا در یک کیلومتر مربع از حوزه‌های گاز رُسی

۱. از اینجا می‌توان سیاستی برای تحقیق و توسعه در صنعت نفت ایران استخراج کرد. در برخی از زمینه‌ها که محل حضور شرکت‌های خصوصی است و کیفیت مورد نیاز کشور تأمین نمی‌شود دولت هزینه تحقیق و توسعه آن را تقبل کند و نتایج را بین شرکت‌ها منتشر کند.

این نظر هزینه تولید از این منابع ۲/۵ برابر منابع گاز متعارف است. در حوزه بارنت به مساحت ۱۳۰۰۰ کیلومتر مربع، ۸۹۶۰ چاه، یعنی در هر ۱۲ کیلومتر مربع یک چاه، حفر شده است. برخی ادعا می‌کنند ۱۵ درصد چاه‌های حوزه بارنت که در سال ۲۰۰۳ حفر شده بودند بعد از ۵ سال تخلیه شدند. البته فناوری شکست هیدرولیکی در حال پیشرفت است (استونس، ۲۰۱۰). علاوه بر این نرخ نهایی بازیافت این میادین بسیار کمتر از میادین متعارف گازی و بین ۸ تا ۳۰ درصد است.

این روش نیازمند تزریق مقدار زیادی آب است. تأمین این حجم از آب در بسیاری از مناطق جهان مانند چین چالش برانگیز است. در جدول زیر آب مورد نیاز برای استخراج گاز در مخازن گازهای متعارف و نامتعارف مقایسه شده است.

جدول ۳: مقدار آب مورد نیاز برای استخراج گاز (مترمکعب آب به ازای هر تراژول<sup>۴</sup> انرژی)

مصرف آب		
پالایش	تولید	
		گاز طبیعی
	۰/۰۰۱ - ۰/۰۱	گاز مرسوم
	۰/۰۰۵ - ۰/۰۵	گاز مرسوم با تحریک شکاف
	۰/۱ - ۱	گاز سخت
	۲ - ۱۰۰	گاز رُسی
		نفت
	۰/۰۱ - ۵۰	نفت مرسوم
	۰/۰۵ - ۵۰	نفت با تحریک شکافها
	۵ - ۱۰۰	گاز سخت سبک

توسعه این ذخایر نیازمند استفاده گسترده از حفاری

بین ۰/۲ تا ۳/۲ میلیارد مترمکعب است. به جهت همین پراکندگی، نیازمند حفر چاه‌های بیشتری برای رسیدن تولید به سطح پلاتو می‌باشد. برای درک بهتر موضوع تولید می‌توان تولید گاز رُسی از چاه حوزه مارسلوس<sup>۱</sup> آمریکا را با دبی چاه‌های میدان پارس جنوبی ایران مقایسه کرد. دبی چاه گاز رُسی حوزه آمریکا در بیشترین حالت و پیش از کاهش فشار حدود ۱۰۰ هزار مترمکعب در روز بوده است که حدود ۴ درصد دبی چاه‌های میدان پارس جنوبی است.

این چاه‌ها سریع‌تر تخلیه می‌شوند و نمودار<sup>۲</sup> تخلیه آن‌ها زود به اوج می‌رسد و با نرخ کاهش شدیدی مواجه می‌شود. پیش‌بینی می‌شود برای رسیدن به اهداف تولید گاز از حوزه‌های نامتعارف بیش از یک میلیون چاه تا سال ۲۰۳۵ بایستی حفر گردد. کشور چین در این بازه زمانی بایستی بیش از ۳۰۰ هزار حلقه چاه حفر نماید. برای این منظور ضروری است تا سالانه ۲۰۰۰ چاه در سال‌های ابتدایی و ۲۰۰۰۰ چاه در سال‌های نزدیک به ۲۰۳۵ حفر کند. تأمین دکل حفاری و سایر تجهیزات برای این منظور یکی از ابهامات جدی توسعه گاز رُسی است.

گرچه در مطالعات میدانی آمارهای متفاوتی ارائه می‌شود اما تجربه منطقه بارنت<sup>۳</sup> نشان می‌دهد چاه‌ها در سال اول و دوم ۳۹ درصد، سال اول تا سوم ۵۰ درصد، سال اول تا دهم ۹۵ درصد تخلیه شده‌اند. بنابراین عمر این چاه‌ها ۸ تا ۱۲ سال است. در حالی که چاه‌های گاز مرسوم ۳۰ تا ۴۰ سال عمر می‌کنند. به همین دلیل سرمایه‌گذاری زیادی برای تولید از این منابع نیاز است و صرفاً از

1. Marcellus
2. Profile
3. Barnett

۴. هر تراژول انرژی معادل ۱۶۳ بشکه نفت خام است.

عرضه‌کننده‌های کوچک را مهیا کرده است. تعداد زیاد شرکت‌های کوچک در صنعت نفت سبب شده است تا ریسک‌پذیری صنعت نفت و گاز آمریکا افزایش یابد. دولت آمریکا نیز از سال ۱۹۸۲ از طریق مؤسسه تکنولوژی گاز، مبالغ زیادی صرف تحقیق و توسعه برداشت از ساختارهای با نفوذپذیری پایین کرده است.

در حالی که هیچ یک از شرایط فوق در اروپا فراهم نیست. اطلاعات زمین‌شناسی در خصوص حوزه‌های گاز رُسی اروپا بسیار کم است. این حوزه‌ها نیز در عمق بیشتر و با حجم ذخیره کمتری هستند. تراکم جمعیت در اروپای غربی در بهترین مناطق ۱۵ بار بیشتر از آمریکا است و این مسأله واگذاری حوزه‌های وسیع برای حفاری‌های فراوان حوزه‌های گاز رُسی را مشکل می‌کند. کمبود تجهیزات حفاری از دیگر چالش‌های اروپاست. همچنین در اروپا سازمان‌های غیردولتی و فعالان زیست‌محیطی به طور جدی با این گونه فعالیت‌ها مبارزه می‌کنند (استیونس، ۲۰۱۲).

در کشور چین مسائلی کمتری وجود دارد. چین که منابع گاز رُسی زیادی دارد سعی می‌کند تا با همکاری فناوری‌های فناورانه شرکت‌های آمریکایی توان توسعه خود را افزایش دهد. آمریکایی‌ها موافقت کرده‌اند تا این فناوری‌ها را در اختیار چینی‌ها قرار دهند. قیمت پایین گاز هم محدودیت دیگری برای توسعه گاز رُسی در چین است. در چین به دلیل حفاری بسیار محدود، اطلاعات دقیق زمین‌شناسی از ساختار زمین‌شناسی چین وجود ندارد و از این جهت برآوردها بسیار نامطمئن است. در این کشور به جای شرکت‌های خصوصی، شرکت‌های ملی در نفت و گاز فعال هستند. بنابراین سرعت توسعه گاز رُسی در چین کمتر از آمریکا خواهد بود.

دو عامل عدم دسترسی به آب کافی در حوضه‌های رسوبی شمالی و جنوبی چین و مشکل تملک زمین

افقی است که وابسته به توسعه حفاری با لوله مغزی سیار<sup>۱</sup> است. حدود ۱۷۰۰ دستگاه حفاری با این فناوری در جهان وجود دارد که بیش از نیمی از آن در شمال آمریکا است و سایر نقاط جهان برای دسترسی به این فناوری با محدودیت روبرو هستند. زمین‌شناسی لایه‌های گاز نامتعارف در نقاط مختلف به شدت متفاوت است. بنابراین اثر یادگیری چین کار کاهش<sup>۲</sup> می‌یابد. این موضوع یکی از چالش‌های اساسی توسعه گاز رُسی است که حتی اگر چالش‌های فنی و زیست‌محیطی در منطقه «الف» مرتفع شوند نمی‌توان گفت این نتایج در منطقه «ب» نیز تکرار خواهد شد.

چالش‌های فنی سایر مناطق به مراتب بیش از آمریکا است. در ادامه دو منطقه فعال در این حوزه، یعنی چالش‌های پیشروی اروپای غربی و چین، به طور مختصر بررسی می‌شود.

میان آمریکا و اروپای غربی تفاوت‌های اساسی وجود دارد و این تفاوت‌ها سبب می‌شود آنچه در آمریکا رخ می‌دهد در پنج تا ده سال آینده در اروپای غربی ممکن نباشد. زیرا در آمریکا ذخایر بزرگی وجود دارد، اطلاعات مغزه‌برداری<sup>۳</sup> فراوانی وجود دارد که احتمال موفقیت اکتشاف را افزایش داده است، شکست هیدرولیکی از قانون حفظ محیط‌زیست آن استثنا شده است، مالکیت خصوصی سبب شده مالکیت گاز رُسی به صاحبان زمین منتقل شود و دسترسی آسان به خطوط لوله امکان حضور

۱. Coil tube drilling در این روش چاه با لوله‌های انعطاف‌پذیر و نیتروژن مایع حفر می‌شود در حالی که چاه در حال تولید است. این واحدها به راحتی جابه‌جا می‌شوند برخلاف حفاری مرسوم که تعداد زیادی لوله به هم پیچ می‌شوند و نیاز به مقدار زیادی گل حفاری دارند و به سختی جابه‌جا می‌شوند.

2. Learning By Doing

3. Core Data

جدول ۴: هزینه تولید گاز سر چاه (دلار برای هر میلیون BTU)

گاز رُسی	گاز متعارف	
۳-۷	۳-۷	آمریکا
۵-۱۰	۵-۹	اروپا
۴-۸	۴-۸	چین
---	۳-۷ و ۰-۲	روسیه
	۰-۲	قطر

منبع: IEA (2012)

از طرف دیگر IEA هزینه تولید گاز رُسی حوزه بارنت<sup>۲</sup> آمریکا را ۳ دلار در هر میلیون BTU پیش‌بینی کرده است که می‌تواند تا ۲/۵ دلار نیز بهینه شود. EIA میانگین قیمت سرچاهی در سال ۲۰۱۱ گاز رُسی را ۳/۹۵ دلار به ازای هر هزار فوت مکعب برآورد کرده بود که در فوریه ۲۰۱۲ به ۲/۴۶ دلار کاهش داد.

### ۳-۳- چالش‌های زیست محیطی

چالش‌های زیست‌محیطی یکی از چالش‌های جدی پیش روی توسعه گاز رُسی است. گروهی از محققین بر این باورند که با توسعه گاز رُسی، از آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از زغال‌سنگ کاسته خواهد شد، چرا که انتشار گازهای آلاینده گاز رُسی نسبت به زغال‌سنگ کمتر است. لذا گاز رُسی یک انرژی ایمن و پاک است که می‌تواند کشورها را به سمت یک اقتصاد کم کربن پیش برد (FOE, 2012).

اما یک سری نگرانی‌های زیست‌محیطی از توسعه گاز رُسی این خوش‌بینی را با ابهامات و سؤالات جدی روبرو کرده است. در ادامه به مهمترین موارد آن اشاره می‌شود:

استخراج گاز رُسی نیازمند انرژی بیشتری در مقایسه با مخازن گازی متعارف است لذا توسعه آن می‌تواند

به دلیل تراکم جمعیتی، سبب شده است هزینه حفاری و شکست هیدرولیکی در چین افزایش یابد. محدود بودن خدمات صنعتی در چین و عدم دسترسی به خط لوله نیز توسعه گاز رُسی را کندتر کرده است. تنگناهای غیرعملیاتی مثل انگیزه‌های مالی، دسترسی به بازار و مدیریت دعاوی حقوق معدنی نیز از دیگر مشکلات توسعه است. البته به نگرانی‌های زیست‌محیطی در چین کمتر توجه می‌شود (گوا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲).

### ۲-۳- چالش‌های اقتصادی

مهمترین چالش اقتصادی توسعه ذخایر گاز رُسی، نگرانی از کاهش قیمت گاز طبیعی در بازارهای منطقه‌ای و جهانی است. از آنجا که حاشیه سود تولید گاز رُسی به مراتب کمتر از گاز مخازن متعارف است، توسعه گاز رُسی شدیداً به نوسانات قیمت و هزینه حساس است. نوسانات هزینه تولید گاز رُسی از دیگر چالش‌های اقتصادی پیش روی تولید گاز رُسی است. گاهی در یک حوزه هزینه بهره‌برداری از دو چاه تا چندین برابر با یکدیگر متفاوت است (استیونس، ۲۰۱۲).

بر اساس پیش‌بینی‌های گاز پروم<sup>۲</sup> هزینه‌های سرچاهی تولید گاز رُسی بین ۲/۵۴ تا ۴/۲۵ دلار به ازای هر میلیون BTU تغییر می‌کند. در این محاسبات هزینه‌های انتقال به بازار محاسبه نشده است. در حالی که تولید از ذخایر گاز مرسوم سیبری بین ۵۷ سنت تا ۱/۳۱ دلار در هر میلیون BTU هزینه دارد. البته باید به این نکته توجه کرد که گاز رُسی یکی از چالش‌های اساسی روسیه است و توسعه آن سود شرکت‌های روسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ لذا گاز پروم با پایین نشان دادن این پیش‌بینی‌ها، بیشتر منتفع می‌شود.

1. Goa  
2. Gazprom

3. Barnett



احتمالی آب در دو منطقه پاپلیون<sup>۵</sup> و یولینگ<sup>۶</sup> که صدها چاه گاز در آن‌ها حفر شده است، انجام داده است. این آژانس دریافت که نمونه آب منطقه، حاوی مقادیری از متانی است که مشخصات آن با گازی که از چاه‌های این حوزه استخراج می‌شود، یکسان است. این نشان‌دهنده آن است که این آلودگی به احتمال زیاد ناشی از توسعه گاز رُسی در منطقه است.

علاوه بر این آبی که برای شکافت هیدرولیکی به مخازن گاز رُسی تزریق می‌شود حاوی میزان اندکی مواد شیمیایی است که موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی خواهد شد. شکستن یک سنگ رُسی حاوی گاز، حدود ۴ میلیون گالن (تقریباً ۱۵ میلیون لیتر) آب نیاز دارد. اگر میزان مواد شیمیایی آن نیز ۰/۵ درصد مایع مورد استفاده باشد، آنگاه برای هر عملیات شکست، ۲۰۰۰۰ گالن (۷۵۰۰۰ لیتر) از مواد شیمیایی نیز وارد زمین خواهد شد. اگر ۶ چاه برای هر عملیات حفاری و در هر چاه هم دو بار عملیات شکافت صورت بگیرد، مقدار ماده شیمیایی وارد شده در کل، حدود یک میلیون لیتر خواهد شد. اگر هم بنا بر فرآوری آب برگشتی باشد، باز هم این تردید وجود دارد که ظرفیت لازم برای این کار وجود دارد یا خیر؟ این مواد شیمیایی بسیار برای سلامتی انسان زیان‌بار است. آثار این مواد شیمیایی بدین صورت است:

۲۵٪ از مواد شیمیایی آب تزریقی سرطان‌زا است.

۳۷٪ سیستم غدد درون ریز بدن را تخریب می‌کند.

۴۵٪-۴۰٪ بر روی سیستم اعصاب، ایمنی و قلبی-

عروقی بدن تأثیر می‌گذارد.

بیش از ۷۵٪ می‌توانند بر پوست، چشم و سیستم

تفنی تأثیر بگذارند.

از طرف دیگر آب بازیافتی از عملیات شکست ممکن

موجب انتشار بیشتر دی‌اکسیدکربن شود. مطالعات مختلف درباره مقایسه انتشار آلودگی‌های عملیات استخراج گاز رُسی با برداشت زغال‌سنگ به نتایج مختلفی رسیده‌اند. در تحقیقی که دانشمندان دانشگاه کرنل<sup>۱</sup> انجام دادند به این نتیجه رسیدند که آثار سوء زیست‌محیطی گاز رُسی در مقایسه با زغال‌سنگ حداقل ۲۰ درصد و در یک دوره ۲۰ ساله شاید بیش از دو برابر باشد. اما دانشمندان لابراتور فناوری انرژی آمریکا<sup>۲</sup> دریافتند که گازهای مخازن غیرمرسوم، در یک دوره ۱۰۰ ساله، ۵۴٪ گاز گلخانه‌ای کمتری از زغال‌سنگ انتشار می‌دهند و در یک دوره ۲۰ ساله ۵۰٪ آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند. مطالعات بعدی که بر فروض این دو مطالعه بنا شده بودند، به این نتیجه رسیده‌اند که آلودگی ایجاد شده به مطالعه دانشگاه کرنل نزدیک‌تر بوده است و مشاهدات تجربی نیز نشان داد که در یک فعالیت عملی ۴٪ گاز رُسی استخراج شده در اتمسفر منتشر می‌شود که نتیجه‌ای مانند نتایج مطالعه دانشگاه کرنل را به بار خواهد آورد (FOE, 2012).

تولید گازهای گلخانه‌ای: اگر تولید گاز رُسی عملیاتی شود، اهداف کشورها در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، قابل دسترس نخواهد بود. حتی در شرایطی که سیستم‌های جذب و ذخیره‌سازی<sup>۳</sup> (CCS) کربن فعال باشد، باز هم این سؤال مطرح است که آیا ظرفیت کافی برای برای جذب این مقدار گاز گلخانه‌ای وجود دارد یا خیر. نکته دیگر این است که خود فناوری CCS با ناطمینانی‌های بسیاری مواجه است.

آلودگی آب‌های زیرزمینی: اخیراً آژانس حمایت از محیط‌زیست آمریکا<sup>۴</sup> تحقیقی درباره آلودگی‌های

1. Cornell University

2. US National Energy Technology Laboratory (NETL)

3. Carbon Capture & Storage

4. US Environmental Protection Agency (EPA)

5. Pavillion

6. Wyoming

نفتی و همچنین شرکت‌های خدماتی، سرمایه‌گذاری زیادی برای توسعه آن نموده‌اند. به طوری که در سال ۲۰۱۰ حدود ۳۶ درصد از سرمایه‌گذاری جهان در بخش بالادستی در مخازن نامتعارف بوده است و پیش‌بینی می‌شود سهم آن تا ۴۴ درصد تا سال ۲۰۳۵ افزایش یابد (IEA, 2012). کاهش هزینه تولید این مخازن با رشد فناوری، توجیه‌پذیری اقتصادی این مخازن با افزایش قیمت‌های نفت و گاز و تأمین امنیت عرضه را می‌توان از مهمترین دلایل توسعه این مخازن دانست.

#### ۴- پیامدهای توسعه گاز رُسی برای بازار نفت و گاز

در جدول ۵ میزان سهم مصرف‌کنندگان بزرگ از ذخایر گاز رُسی ارائه شده است.

است حاوی موادی از سنگ‌های اطرافش باشد که دارای فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو و غیره هستند و نیاز به تصفیه و دفع مناسب دارد. به عنوان مثال در مقاله‌ای که در نیویورک تایمز به چاپ رسیده است، بیان شده که از ۲۴۰ چاهی که در پنسیلوانیا و ویرجینیای غربی حفر شده است، حداقل ۲۱۶ حلقه چاه بیش از ۱۰۰ بار بیش از میزان استاندارد EPA و حداقل ۱۵ حلقه آن هزاران بار بیش از EPA آلودگی دارند. افزایش احتمال زمین لرزه را یکی دیگر از آثار سوء توسعه حوزه‌های گاز رُسی می‌دانند. مهمترین دلیل آن تزریق حجم زیادی آب و ایجاد شکاف و ترک‌های فراوان در زیرزمین است.

با وجود تمام چالش‌هایی که پیش روی توسعه گاز رُسی قرار دارد، دولت‌ها و شرکت‌های بین‌المللی

جدول ۵: مقایسه سهم مصرف گاز طبیعی و سهم ذخایر گازی

سهم از ذخایر گاز رُسی	سهم از ذخایر گاز متعارف	سهم از مصرف گاز طبیعی ۲۰۳۵	سهم از مصرف گاز طبیعی جهان ۲۰۲۰	سهم از مصرف گاز طبیعی جهان ۲۰۱۰	
۲۷/۵	۸	۲۸	۲۳	۱۷/۵	آسیا- اقیانوسیه
۷/۵	۵/۵	۱۳/۵	۱۶	۱۷/۵	کشورهای اروپایی OECD
۲۷	۱۱	۲۱	۲۳	۲۶	کشورهای آمریکایی OECD

منبع: EIA (2012)

با سهم ۲۸ درصدی از مصرف گاز جهان در سال ۲۰۳۵، سهم ۲۷/۵ درصدی از ذخایر گاز رُسی را دارد. همین نکته برای آمریکای شمالی نیز صادق است و آمریکای شمالی را به صادرکننده بزرگ گاز تبدیل خواهد کرد.

بنابراین توسعه گاز رُسی تا حدود زیادی اقتصاد سیاسی ناهمگون نفت و گاز تفاوت مراکز عمده مصرف و تولید را متأثر خواهد کرد و می‌تواند گام مهمی در راستای سیاست متنوع‌سازی مبادی واردات باشد.

همانطور که مشاهده می‌کنید در حالی که منطقه آسیا اقیانوسیه سهم حدود ۱۷/۵ درصدی از مصرف را در سال ۲۰۱۰ دارد، اما سهمش از ذخایر گاز متعارف حدود ۸ درصد است که نشان‌دهنده وابستگی این منطقه به گاز سایر مناطق است. با توجه به روند رشد سریع مصرف در منطقه شرق و جنوب شرق این وابستگی افزایش نیز خواهد یافت. اما با نگاهی به سهم این منطقه از ذخایر گاز رُسی روشن می‌شود که با توسعه این ذخایر، تعادل نسبی میان حوزه مصرف و تولید ایجاد خواهد شد. این منطقه

نداشت، از جمله این موارد است. این شرایط هم‌اکنون در بازار گاز ایجاد شده است. مهمترین پیامد این وضعیت جنگ قیمت<sup>۶</sup> است. در چنین شرایطی اگر عرضه‌کنندگان گاز بازار را به صورت صحیح مدیریت نکنند، کاهش شدید قیمت‌های گاز تا سطح هزینه تولید صورت خواهد گرفت و با توجه به بازار منطقه‌ای گاز طبیعی برخی کشورهای تولیدکننده گاز حاضر خواهند بود برای بهره‌برداری از حجم عظیم سرمایه‌گذاری خود، گاز طبیعی را با حداقل قیمت ممکن به دست مصرف‌کننده برسانند. توسعه گاز رُسی موجب خواهد شد تا سهم صادرکنندگان فعلی بازار که سرمایه‌گذاری‌های زیادی برای حفظ و ارتقاء سهم خود در بازار انجام داده‌اند، کاهش یابد. روسیه و قطر که به ترتیب بزرگترین صادرکنندگان خط لوله و میعانات گازی هستند، به شدت از تولید گاز رُسی در سال‌های آتی متضرر خواهند شد.

پیش‌بینی می‌شود با توسعه گاز رُسی، آمریکا به یکی از بزرگترین صادرکنندگان گاز طبیعی در جهان تبدیل شود. در این صورت اروپای غربی ترجیح خواهد داد تا گاز خود را از پایانه‌های LNG آمریکا تأمین نماید و تا حد ممکن وابستگی خود به روسیه و خلیج فارس کاهش دهد.

با توجه افزایش تولید گاز در دو بازار شرق آسیا و آمریکای شمالی، قطر با یک مازاد ظرفیت گاز جدی روبروست. ایران می‌تواند از این موقعیت بهترین بهره را ببرد و با خرید گاز قطر از مسیر خط لوله بخش عمده نیازهای تزریق به مخازن نفتی و صنعتی را تأمین نماید.

در حال حاضر بازار گاز طبیعی به یک بازار خریدار تبدیل شده است. از این رو حضور ایران در

مسأله خودکفایی انرژی آمریکا، یکی دیگر از پیامدهای توسعه ذخایر گاز رُسی است. خودکفایی انرژی برای آمریکا ابزار قدرتمندی برای تضعیف سلاح نفت در خلیج فارس، روسیه و ونزوئلا خواهد بود.

از ظرفیت ۷۱ میلیون تن LNG که بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ وارد مدار تولید شد، ۲۶ درصد برای تأمین نیاز وارداتی آمریکا طراحی شده بود. در نیمه دوم سال ۲۰۱۰ دو واحد LNG قطر (قطر گاز ۱۴ و راس گاز ۲۳) با ظرفیت ۲۳ میلیون تن وارد مدار تولید شدند. بخش عمده این دو واحد برای عرضه گاز به بازار آمریکا طراحی شده بود. این مازاد ظرفیت در خطوط لوله انتقال گاز نیز وجود دارد. در سال ۲۰۱۱ حدود ۹۰ درصد از ظرفیت ۴/۵ تریلیون فوت مکعبی تأسیسات گازی‌سازی مجدد<sup>۳</sup> LNG در پایانه‌های وارداتی آمریکا خالی بوده است. وود مکنزی<sup>۴</sup> نیز پیش‌بینی‌های خود در خصوص بازار LNG سال ۲۰۲۰ را حدود ۲۸ درصد کاهش داده است.

بنابر آمار و اطلاعاتی که ارائه شد، عارضه قدیمی بازار نفت (مازاد ظرفیت) در بازار گاز طبیعی نیز در حال مشاهده است. یکی از مهمترین دلایل مازاد ظرفیت در بازار نفت و گاز، رفتار گله‌ای<sup>۵</sup> است. توسعه واحدهای LNG و خطوط لوله انتقال گاز به تقلید از یکدیگر رفتاری گله‌ای است که به کرات شبیه این رفتار در بازار نفت مشاهده شده است. ظرفیت‌سازی تولید نفت در نیمه دوم دهه ۱۹۷۰ میلادی و اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی در کشورهای حاشیه خلیج فارس به تقلید از یکدیگر که نتیجه‌ای جز ظرفیت مازاد در نیمه دوم دهه ۱۹۸۰ میلادی و کاهش قیمت نفت تا سطح ۸ دلار برای هر بشکه

1. QatarGas IV
2. RasGas III
3. Regasification Unit
4. Wood Mackenzie
5. Herd Mentality

6. Price War

این انرژی‌ها جایگزین انرژی‌های فسیلی معرفی می‌شدند. اما نه تنها چنین اتفاقی نیفتاد، بلکه سهم سوخت‌های فسیلی افزایش نیز یافت. لذا با توجه به تأثیر توسعه گاز رُسی بر راهبردهای کلان صنایع نفت و گاز کشور و بررسی صحت و سقم مطالعات موجود این حوزه، ضروری است مطالعه دقیق و جامعی از سوی وزارت نفت در این خصوص انجام پذیرد.

یکی از نکات برجسته در توسعه فناوری گاز رُسی، همکاری مناسب دپارتمان انرژی آمریکا با مؤسسات تحقیقاتی و شرکت‌های خدماتی این کشور بود. در این همکاری به جای تولید یک دانش فناوری لوکس و پرستیژی که صرفاً جنبه تبلیغاتی داشته باشد، به دنبال پاسخگویی به نیاز صنعت با توجه به بازار گاز آمریکا بودند. مطالعه این نمونه می‌تواند دلالت‌های خوبی برای وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران داشته باشد.

با توجه به مزاد ظرفیت موجود در بازار گاز و اهمیت مدیریت عرضه گاز، اوپک‌گازی می‌تواند نقش جدی‌تری در مدیریت عرضه و حفظ قیمت گاز در سطح بالاتر داشته باشد. البته از سوی دیگر با افزایش عرضه گاز در کشورهای مصرف‌کننده، عملاً از اهمیت کشورهای تولیدکننده فعلی به دلیل کاهش سهم این کشورها از بازار گاز صادراتی کاسته خواهد شد که نتیجه آن تضعیف اوپک‌گازی خواهد بود. نااطمینانی سرمایه‌گذاران از بازار گاز، بر عرضه آتی گاز متعارف تأثیر خواهد داشت. اگر توسعه گاز رُسی ادامه پیدا کند و در سایر نقاط جهان تکرار شود، مسأله‌ای نیست. اما اگر ذخایر گاز رُسی پتانسیل لازم برای عرضه کافی و بادوام گاز ارزان را به بازار نداشته باشند، آنگاه با توجه به زمان‌بری بالای پروژه‌های بالادستی، در پنج تا ده سال آینده بازار با کمبود شدید گاز روبرو خواهد شد.

این بازار تنها باعث افزایش بیشتر عرضه و کاهش بیشتر قیمت گاز می‌شود. لذا به نظر می‌رسد برنامه‌ریزی برای ترکیب بهینه مصرف داخلی گاز تولیدی از پارس جنوبی باید در اولویت قرار گیرد. تزریق گاز به میادین نفتی، صنایع پتروشیمی و سایر صنایع انرژی‌بر می‌تواند از اولویت‌های کشور برای مصرف گاز باشد.

با توجه به مزاد ظرفیت موجود در بازار گاز و احتمال استمرار آن، طرح‌های توسعه LNG پارس جنوبی بایستی مورد بازنگری قرار گیرد.

شرکت‌های آمریکایی به طور جدی در چین برای توسعه حوزه‌های گاز رُسی فعالیت می‌نمایند. از نظر اقتصادی با توجه به شرایط رکودی حاکم بر اقتصاد جهانی، اقتصاد رو به رشد شرق آسیا، بازار خوبی برای شرکت‌های آمریکایی است. اما علاوه بر این، چین یکی از واردکنندگان گاز از روسیه است و برنامه‌ریزی کرده که تا سال ۲۰۳۰، سالانه ۷۰ میلیارد مترمکعب گاز از این کشور وارد کند. با توسعه گاز رُسی در چین بخش عمده‌ای از این واردات کاهش خواهد یافت.

هند یکی از طرف‌های ایران در خط لوله صلح است. بنابر ادعای مسئولین این کشور، با توسعه گاز رُسی، هند از واردات گاز بی‌نیاز خواهد شد. این مسأله هم در راستای منافع اقتصادی هند و هم در جهت فشارهای آمریکا به ایران است. با این اوصاف نمی‌توان برای توسعه خط لوله ایران پاکستان به هند و چین برنامه‌ریزی کرد و ارزیابی‌های فنی این خط لوله نیاز به بازنگری جدی دارد.

در بازار انرژی و به ویژه بازار نفت و گاز، توسعه تبلیغات برای انرژی‌های جایگزین سابقه زیادی دارد. برای مثال پس از شوک اول و دوم نفتی مباحث انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی هسته‌ای به صورت بسیار برجسته در بازار نفت و گاز مطرح و

به یکدیگر نزدیک کند و تأثیر عمده‌ای بر ژئوپلیتیک انرژی جهانی داشته باشد.

با توجه به مازاد ظرفیت عرضه گاز که در جهان وجود دارد، احتمال جنگ قیمت بین صادرکنندگان عمده گاز طبیعی وجود دارد. در این صورت قیمت تا سطح هزینه تولید گاز رُسی کاهش خواهد یافت. در این شرایط کشورهای عمده تولیدکننده گاز از جمله ایران بایستی به دنبال مصرف داخلی برای گاز تولیدی خود باشند و حضور در بازارهای صادرات گاز را به آینده مناسب‌تر واگذار نمایند. از این رو به نظر می‌رسد طرح‌های توسعه واحدهای LNG در کشور و همچنین خط لوله صلح نیاز به بازنگری و مطالعه مجدد دارد.

اما در حال حاضر در سه حوزه فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی چالش‌های جدی برای توسعه گاز رُسی وجود دارد. در بخش فنی، محدودیت دسترسی سایر کشورها به فناوری‌های توسعه گاز رُسی، نیاز به حفاری چاه‌های بسیار زیاد، ضریب بازیافت پایین این ذخایر، محدودیت دسترسی به آب و تراکم بالای جمعیت، موانعی را پیش روی این حوزه قرار داده است.

در بخش اقتصادی نیز هزینه بالای تولید و نااطمینانی به قیمت‌های آینده گاز طبیعی، از مهمترین چالش‌هاست. در بخش محیط‌زیستی نیز افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب‌های زیرزمینی به جهت عملیات شکست هیدرولیکی با مواد شیمیایی، افزایش احتمال زمین لرزه، آلودگی آب بازفرآوری شده به مواد رادیواکتیو و احتمال نشت گاز رُسی به هوا و حوزه‌های آبی، از چالش‌های محیط‌زیستی است.

با این وجود در صورتی که سرمایه‌گذاران بتوانند بر این چالش‌ها غلبه کنند، آنگاه تولید گاز رُسی تا

هر چند توسعه گاز رُسی، سیاست تنوع‌بخشی به مبدأ واردات گاز طبیعی را برای کشورهای مصرف‌کننده محقق می‌کند اما با سیاست تنوع‌بخشی به منابع انرژی سازگاری ندارد. اگر توسعه گاز رُسی استفاده از زغال‌سنگ و تجدیدپذیرها را کاهش دهد، آنگاه در حقیقت سیاست تنوع‌بخشی منابع انرژی خنثی شده و سبب وابستگی بیشتر به ذخایر هیدروکربوری می‌شود.

توسعه گاز رُسی به معنای مصرف بیشتر انرژی‌های فسیلی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. این مسأله چطور قابل حل است؟

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های گاز رُسی تأثیر منفی بر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد داشت و رشد تولید آن‌ها را کند خواهد کرد. پیل استیونس در مقاله خود می‌گوید:

«در جهانی که انرژی‌های ارزان مانند گاز وجود دارد، چه کسی حاضر است هزینه‌های گزافی برای دستیابی به انرژی‌هایی که آلودگی کمتری دارد، انجام دهند.» (FOE, 2012)

## ۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

حجم ذخایر قابل استحصال گاز رُسی در جهان حدود ۲۰۸ تریلیون متر مکعب برآورد می‌شود که معادل ۵۰ درصد حجم ذخایر گاز مرسوم است. در حال حاضر تنها تولیدکننده تجاری گاز رُسی آمریکا است. این کشور در سال ۲۰۱۰ حدود ۱۴۵ میلیارد مترمکعب گاز رُسی تولید کرده که بیش از ۲۰ درصد از گاز طبیعی آمریکا را شامل می‌شود. فعالیت‌های جدی برای توسعه حوزه‌های گاز رُسی در سایر نقاط جهان مانند چین، اروپای شرقی و غربی و هند آغاز شده است. توسعه این ذخایر می‌تواند مراکز عمده مصرف و تولید گاز طبیعی را

- 5- Hamblin, A. P. (2006) The "Shale Gas" concept in Canada: a preliminary inventory of possibilities, Open File 5384. Geological Survey of Canada. 108 pp.
- 6- International Energy Agency (2012), Golden Rules for a Golden Age of Gas
- 7- KPMG GLOBAL ENERGY INSTITUTE (2011), Shale Gas – A Global Perspective, UK
8. Kuuskraa, V., Stevens, S., Van Leeuwen, T., and K. Moodhe (2011), World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States, ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, INC. Arlington, VA USA
- 9- Kuuskraa, V. (2009), Worldwide Gas Shale and Unconventional Gas: a Status Report, American Clean Skies Foundation and RPSA Report.
- 10- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Shale Gas and the Outlook for U.S., Natural Gas Markets and Global Gas Resources, Richard Newell, Administrator, June 21, 2011, Paris, France
- 11- Stevens, P. (2010), The 'Shale Gas Revolution': Hype and Reality, Chatham House Report, September.
- 12- Stevens, P. (2012), The 'Shale Gas Revolution': Developments and Changes, Chatham House briefing paper, August.
- 13- Howard Gruenspecht (2012), 'The U.S. Natural Gas Market in Focus, Current and Projected Supply and Demand Conditions', Netherlands: Amsterdam
- 14- U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2012.
- 15- FACTS Global Energy (2011), Unconventional Gas and Implications for the LNG Market, Advance Summit paper from the 2011 Pacific Energy Summit, Indonesia: Jakarta

سال ۲۰۳۵ به بیش از ۹۷۴ میلیارد مترمکعب در سال خواهد رسید که حدود ۲۰ درصد تقاضای گاز جهان را پاسخگو خواهد بود.

لذا می‌توان این‌گونه جمع‌بندی کرد که با وجود نااطمینانی‌های زیادی که در خصوص توسعه گاز رُسی وجود دارد، با توجه به افزایش قیمت انرژی، کاهش هزینه‌های تولید و اهمیت امنیت عرضه انرژی، عزم جدی برای توسعه آن از سوی کشورهای مصرف‌کننده گاز وجود دارد.

شاید مهمترین چالشی که گاز رُسی به ویژه در کشورهای توسعه‌یافته با آن روبروست، نگرانی‌های زیست‌محیطی است. تاریخچه بازار انرژی در خصوص زغال‌سنگ و انرژی هسته‌ای نشان می‌دهد در حالی که آلودگی‌های این دو منبع انرژی به مراتب بیش از گاز طبیعی است، اما در حال حاضر در کشورهای اروپای غربی و آمریکا سهم این دو منبع به مراتب بیش از گاز طبیعی است. برای مثال در آمریکا سهم زغال‌سنگ و انرژی هسته‌ای در تأمین برق به ترتیب ۴۹ و ۲۷ درصد و سهم گاز طبیعی ۱۹ درصد است. سهم زغال‌سنگ در تأمین برق اروپا حدود ۳۷ درصد است که ۷ درصد بیشتر از سهم گاز است. با توجه به تجارب قبلی بازار انرژی، به نظر می‌رسد باز هم امنیت عرضه انرژی بر نگرانی‌های محیط زیستی فائق آید.

## منابع

- 1- Boyrer, C., Clark, B., Jochen, C., Miller, C., (2011), Shale gas: A Global Resource, Oilfield Review, Vol. 23, No. 3.
- 2- Curtis J. B. (2002), Fractured Shale-Gas Systems, AAPG Bulletin 86 (11) pp 1921-1938.
- 3- Friends of the Earth (FOE, 2012), Shale gas: energy solution or fracking hell?, UK.
- 4- Gao, F. (2012), 'Will There Be a Shale Gas Revolution in China by 2020?', NG 61, Oxford Institute for Energy Studies, April.