

تأثیر اکتشاف و استخراج پیشرفته‌ی ذخایر غیرمتعارف هیدروکربنی بر صنعت نفت در ده سال آینده

زهرا امیری*، شرکت نفت فلات قاره‌ی ایران • محمدجواد مصدق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

چکیده

پيامدهای اکتشاف و استخراج منابع نفت و گاز غیر متعارف با روش‌های پیشرفته‌ی بسیار مهم و پیچیده‌اند. این الزامات نه تنها فرصتی برای بازیگران عرصه‌ی انرژی و تولیدکنندگان است بلکه اثرات قابل توجهی نیز بر صنایع تولیدی پایین دستی و مصرف‌کنندگان دارد. منظور از مخازن نفت و گاز غیرمتعارف مخازنی است که با روش‌های حفاری عادی قابل بهره‌برداری نیستند. این مطالعه با روش بررسی کتابخانه‌ای و ارزیابی آمارها و جداول حوزه‌ی نفت در اغلب پایگاه داده‌های جهان انجام شده است. جهت انعکاس و بیان پتانسیل تغییرات شدید قیمت‌ها در بازار نفت با هدف برآورد تأثیر قیمت‌های گاز طبیعی و نفت، بازه‌ی وسیعی انتخاب شده است. بنابراین با در نظر گرفتن بازه‌ی قیمت ۸-۲۰ دلار برای هر میلیون بی‌تی‌یو گاز شیل و ۱۵۰-۵۰ دلار برای هر بشکه نفت خام برآوردها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۵ اثر اقتصادی مستقیم نفت و گاز غیرمتعارف بر اقتصاد آمریکای شمالی ۳۳۵-۷۰ میلیارد دلار در هر سال است. اثر غیرمستقیم نیز می‌تواند ۱۵۰-۳۰ میلیارد دلار باشد؛ در حالی که اثر اضافی^۱ القاء شده در اقتصاد نیز می‌تواند ۲۲۰-۴۵ میلیارد دلار باشد. بنابراین در سال ۲۰۲۵ اثر اقتصادی کل افزایش تولید گاز شیل و نفت شیل ۷۰۵-۱۴۵ میلیارد دلار برآورد می‌شود.

مقدمه

پس از اولین شوک جهانی قیمت نفت در دهه‌ی ۷۰ میلادی سیاست‌مداران حوزه‌ی انرژی در سراسر جهان مجبور به پیش‌بینی آینده‌ی بازار انرژی با توجه به روند روبه کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی شدند. از جمله روش‌های افزایش تولید، جستجوی منابع جدید برای سوخت‌های فسیلی و توسعه‌ی راه‌هایی برای دستیابی به آنهاست که چهل سال بعد، نتیجه‌ی این تلاش‌ها مشخص می‌شود. حفاری افقی و شکست هیدرولیکی^۲ فن‌آوری‌هایی برای دستیابی به ذخایر غیرمتعارف انرژی مانند گاز طبیعی و نفت شیل^۳ موجود در تشکیلات یا سازندهای سنگی هستند که امروزه به‌وفور استفاده می‌شوند. روش‌های جدید علاوه بر آنکه بهره‌برداری از مخازن جدید را آسان‌تر کرده، بهره‌برداری معادن نفتی که قبل از این مقرون به صرفه اقتصادی نبود را هم ممکن ساخته است.

عمده‌ی شرکت‌های انرژی آمریکای شمالی به‌ویژه غول‌های نفتی ایالات متحده‌ی آمریکا تا سال ۲۰۲۵ همچنان پیشگام تولید به روش‌های مذکور خواهند بود. اما

سایر شرکت‌ها که اخیراً در این راه گام برداشته‌اند به‌کندی مسیر را طی می‌کنند و سال‌ها طول می‌کشد تا به این روش‌های جدید دست یابند [۱۵]. در سطح جهانی دسترسی به این منابع غیرمتعارف نفت و گاز می‌تواند تا سال ۲۰۲۵ اثرات اقتصادی قابل توجهی داشته باشد. تولید نفت از طریق گاز شیل از همان ابتدا به‌عنوان روش متداول و رایج انجام می‌شد و نفت شیل بخشی از موجودی نفت آمریکای شمالی به حساب می‌آمد. به‌طور قطع این پیشرفت‌ها در دهه‌های آینده اثرگذار خواهد بود و به‌همین دلیل نیز به‌عنوان موضوع این گزارش انتخاب شده است. باید توجه داشت که این ذخایر تنها ذخایر غیرمتعارف موجود نیستند و ممکن است فن‌آوری‌های جدید و پیشرفته‌تر، آغاز انقلابی دیگر در عرصه‌ی سوخت‌های فسیلی باشد. در گزارش حاضر آثار اقتصادی روش‌های پیشرفته‌ی اکتشاف و استخراج نفت و گاز در پنج منطقه که تا سال ۲۰۲۵ امکان تولید نفت و گاز غیرمتعارف به مقدار زیاد را دارد بررسی خواهد شد. این پنج منطقه عبارتند

از: آمریکای شمالی، چین، آرژانتین، استرالیا و اروپا. برآوردها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۲۵ نفت و گاز غیرمتعارف این نواحی می‌تواند اثرات اقتصادی مستقیمی در حدود ۴۶۰-۹۵ میلیارد دلار بر جای بگذارد. لازم به‌ذکر است که در این فن‌آوری، منظور از اثر اقتصادی ارزش افزوده، GDP بخش نفت و گاز ناشی از افزایش بازدهی و خروجی حاصل از گاز شیل و نفت شیل است. منظور از اثر غیرمستقیم دقیقاً ارزش افزوده‌ی بخش‌های اقتصادی است که از افزایش خروجی یا بازدهی در بخش نفت و گاز بهره می‌برند و صنایع بالادستی (ارائه‌دهندگان تجهیزات حوزه‌ی نفتی) و پایین‌دستی (سازندگان مواد شیمیایی) را شامل می‌شود. منظور اثرات مشمول ارزش افزوده‌ی اقتصادی ناشی از افزایش درآمدهای خانگی افراد مربوط به آن بخش است که نمونه‌ی آنها کارکنان شرکت‌های نفت و گاز، تأمین‌کنندگان و وابستگان آنهاست.

بر اساس برآوردها بخش اعظم این مبالغ می‌تواند از آمریکای شمالی باشد؛ زیرا

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (zamiri1360@gmail.com)

صنایع آن از رشد نسبی مناسبی برخوردارند. همچنین عمده‌ی این مبلغ ناشی از استخراج منابع نفت غیرمتعارف است که تولید فزاینده‌ی آن در دهه‌های آتی به دلیل استفاده از این فن‌آوری حاصل می‌شود و این می‌تواند سودی بیشتر از گاز شیل داشته باشد. لازم به ذکر است که مخازن نفتی بیش از مخازن گازی از این منابع به دست می‌آیند.

علاوه بر بروز اثرات اقتصادی مستقیم، افزایش دسترسی به ذخایر غیرمتعارف می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم قابل توجه دیگری نیز داشته باشد. از جمله مزیت‌های دیگر آن هزینه‌های کم مواد ورودی صنایع پایین‌دستی مانند بخش‌های شیمیایی است که می‌تواند سبب افزایش بازدهی شود. اما استخراج نفت و گاز غیرمتعارف هم می‌تواند به دلیل موانع سیاسی، قانونی و ریسک‌های زیست‌محیطی محدود گردد. در نتیجه استفاده از پتانسیل کامل اثرات اقتصادی، به انتخاب کشورها و تصمیم‌گیرندگان در سال‌های آتی بستگی دارد.

در مقابل این منابع نوظهور، کشورها استفاده از این روش را عاملی برای اتکاء به توان داخلی دانسته و با استفاده از آن تلاش می‌کنند جایگاه خود را در عرصه‌ی بین‌المللی تغییر دهند. اما در مقابل، عموم شهروندان و رهبران نگران آسیب‌های بالقوه‌ای هستند که می‌تواند بر اکوسیستم و محیط زیست اثر بگذارد و همین امر برخی از کشورها را وادار کرده که کل این فرآیند را ممنوع کنند. همچنین نگرانی‌هایی وجود دارد که بر اساس آنها روش‌های غیرمتعارف مانع توسعه‌ی منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید و باد می‌شود. چراکه تولید سوخت فسیلی ارزان‌تر شده و استفاده از آن مقرون به‌صرفه‌تر می‌گردد. سیاست‌گزاران به‌زودی باید در مورد این مسأله‌ی مهم تصمیم بگیرند که چگونه می‌توان به بهترین شکل از منابع جدید سوخت‌های فسیلی بهره‌مند شد و در عین حال ریسک‌ها و نگرانی‌های مربوطه را نیز مدیریت کرد. در صورت استفاده ایمن و به‌صرفه‌ی ذخایر غیرمتعارف می‌توان الگوی در

حال رشد کمبود انرژی را برای دهه‌های آتی کنترل کرد.

۱- تعریف متغیرها

منظور از مخازن نفت و گاز غیرمتعارف مخازنی است که با روش‌های حفاری عادی قابل بهره‌برداری نیستند. در این مخازن، نفت یا گاز در خلل و فرج طبیعی سنگ‌ها (اغلب در شیل‌ها) قرار دارند یا توسط مواد ارگانیک مجاور جذب می‌شوند. در کنار گاز شیل و نفت شیل، ذخایر سوخت فسیلی غیرمتعارف شامل متان و رگه‌های زغال‌سنگ، ماسه‌سنگ فشرده و هیدرات‌های متان^۵ هم دیده می‌شوند. ذخایر تأییدشده‌ی متان و رگه‌های زغال‌سنگ در ایالت آلبرتا^۶ کانادا تقریباً معادل ۱۳ درصد ذخایر گاز شیل جهان برآورد می‌شود و طبق برآورد ذخایر هیدرات متان چندین برابر بیشتر از ذخایر گاز شیل است. لازم به ذکر است که پتانسیل هیدرات‌های گاز بسیار زیاد است اما توسعه‌ی عملی آنها چندان ممکن نیست و استخراج این مخازن تا به امروز با دشواری‌هایی همراه بوده است. اغلب مخازن هیدرات متان در بستر اقیانوس‌ها هستند و همین امر در بیشتر موارد استخراج آنها را پرهزینه کرده است. با کاهش قیمت گاز طبیعی به دلیل تولید گاز شیل در آمریکای شمالی، توسعه‌ی متان از رگه‌های زغال‌سنگ به‌کندی انجام شده است. بنابراین تأکید این گزارش تنها روی گاز شیل و گاز سبک است که بیشترین پتانسیل را برای توسعه‌ی موفق تا سال ۲۰۲۵ دارند و از این امر برای برآورد اثرات اقتصادی ذخایر غیرمتعارف استفاده می‌شود. اما فن‌آوری‌های جدید ممکن است منجر به پیشرفت‌های سریع‌تر در روند توسعه‌ی هیدرات‌های متان یا متان موجود در رگه‌های زغال‌سنگ شده و احتمالاً مسبب رخداد انقلاب انرژی بعدی گردد.

امروزه ایجاد شکست هیدرولیکی و حفاری افقی، فن‌آوری‌های اصلی مورد استفاده برای دسترسی به مخازن نفت و گاز غیرمتعارف هستند. در صورت استفاده همزمان از این فن‌آوری‌ها قادر به غلبه بر اغلب چالش‌های

استخراج گاز شیل و نفت شیل خواهیم بود. سنگ‌های شیل مملو از گاز و نفت معمولاً در اعماق زیر سطح قرار دارند و از این نظر در اعماق بیشتری نسبت به مخازن معمولی قرار گرفته‌اند (۳-۲ مایل). به دلیل نفوذپذیری کم شیل که مانع از جاری شدن نفت و گاز از سنگ می‌شود، آزاد کردن فشار لایه‌ی بالایی و پوش سنگ اطراف نیازمند فرآیند شکست سازند است. این روش نیازمند پمپ کردن حداکثر ۵ میلیون گالن سیال (که معمولاً سیال‌های پایه آبی و ترکیبی از افزودنی‌هاست) با فشار زیاد در شکاف سنگ‌هاست تا گاز یا نفت واقع در خلل و فرج آزاد شوند. حفاری افقی روشی است که در آن چاه تا عمق مناسب حفر شده و سپس به موازات سطح تا چند کیلومتر ادامه می‌یابد. حفاری افقی امکان استخراج نفت از چندین مخزن در امتداد مسیر حفاری را فراهم می‌کند و حفر آن بسیار به‌صرفه‌تر از حفاری‌های مکرر برای افزایش بهره‌برداری از لایه‌ی نفتی است (شکل-۱).

افزایش بازدهی بهره‌برداری از حوزه‌ی گازی و هر چاه نیازمند سرمایه‌گذاری زیاد جهت آزمایش‌ها و نیز داده‌های فراوان است و اغلب باید یک فرآیند آزمایش و خطا و حفر چند صد چاه آزمایشی در دستور کار باشد. به دلیل مشخصات خاص هر حوزه حدود ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ چاه برای شناخت کامل رفتار حوزه حفر می‌شود. این کار نیازمند سرمایه‌ای حدود ۱۰ میلیارد دلار است و افزایش تولید حوزه تا ظرفیت کامل به سال‌ها زمان نیاز دارد. در عین حال ساخت زیرساخت‌ها برای انتقال نفت یا گاز استخراج شده نیز از جمله فعالیت‌های لازم دیگر است.

۲- پتانسیل موجود برای تسریع عملیات

پتانسیل توسعه‌ی تسریع استخراج گاز شیل و نفت شیل سبک با توجه به اشتباهی سیری‌ناپذیر برای سوخت‌های فسیلی جهت رشد اقتصادی و رشد جمعیت و توسعه‌ی اقتصادی بسیار زیاد است. با افزایش جمعیت انبوه چین و هند می‌توان انتظار داشت که مصرف سرانه‌ی انرژی در این



کشورها از روند فعلی فراتر رود (شکل-۲). مصرف سرانه انرژی در سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۷۰ و پیش‌بینی انجام شده برای سال ۲۰۳۰ در مورد هند و چین حاکی از پیشرفت بسیار سریع فن‌آوری استخراج نفت و گاز غیرمتعارف و نشان‌دهنده پتانسیل موجود برای کاهش قابل‌توجه هزینه‌ها و افزایش تولید است. مثلاً شاید این امکان وجود داشته باشد که با استفاده از داده‌های مایکروسایز میک^۶ (یک روش لرزه‌نگاری برای شناخت الگوی شکستگی‌های لایه‌های زیرزمینی) و چاه‌پیمایی و با تهیه یک مدل صحیح از شکستگی‌ها، بهره‌وری حاصل از شکست سازند^۷ دو برابر شود. باید توجه داشت که این روش‌های مدل‌سازی می‌توانند زمان لازم برای درک رفتار حوزه را تا نصف زمان کنونی کاهش دهند و شرکت‌ها قادر به افزایش بیش از پیش تولید خواهند بود. تعویض ژنراتورهای دیزل پمپ‌های مورد نیاز این روش با ژنراتورهای گازی می‌تواند هزینه‌های سوخت جهت بهره‌برداری از چاه را کم کرده و تولید اکسیدنیتریک و آلانده‌های دی‌اکسید کربن را نیز تا ۸۰ درصد کاهش دهد. فن‌آوری‌های استفاده‌ی مجدد و تصفیه‌ی آب نیز می‌توانند نیاز آب شیرین را تا ۵۰ درصد کاهش داده و تا یک میلیون دلار در طول عمر چاه صرفه‌جویی ایجاد کنند. در سال‌های گذشته ایجاد شکستگی با آب برگشتی^۸ و تصفیه نشده سبب کاهش بیش از ۷۰ درصدی نیاز به تصفیه‌ی آب و هزینه‌ها شده است. در درازمدت، استفاده از سیالات غیرآبی مانند بخار، گازهای تبریدی یا نفت می‌تواند بهره‌وری در هر چاه را تا ۲۰ درصد افزایش داده و تولید در بخش‌های کم‌آب‌تر را آسان‌تر کند. در آمریکا و کانادا توسعه‌ی میدین نفت و گاز غیرمتعارف به‌روش بسیار پیشرفته‌ای انجام می‌شود که در کشورهای دیگر نیز این روند آغاز شده است. دولت چین برای استخراج ذخایر عظیم گاز شیل خود، در ژانویه‌ی ۲۰۱۳ حق اکتشاف آنها را در نوزده منطقه اعطا کرد و جهت در اختیار گرفتن دانش فنی مورد نیاز نیز موافقت‌نامه‌ای

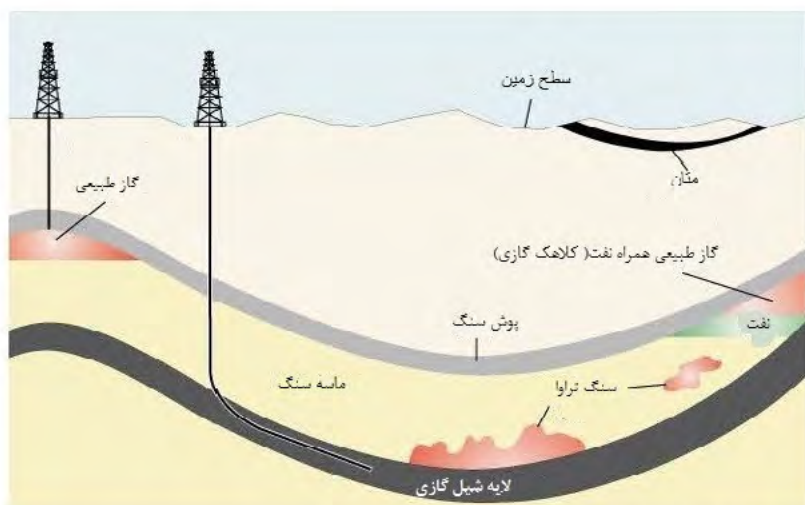
با دولت آمریکا امضاء نمود. دولت آرژانتین برای تشویق به توسعه، قیمت گاز طبیعی را تا دو برابر افزایش داد و بازیگران خارجی را دعوت کرد تا به اکتشاف ذخایر غیرمتعارف در واکا مورت^۹ کمک کنند. لازم به ذکر است که قبلاً نیز در آن مناطق زیرساخت‌هایی جهت روش‌های استخراج معمولی ایجاد شده بود. در روسیه که یکی از بزرگ‌ترین منابع بالقوه‌ی نفت و گاز غیرمتعارف دنیا را دارد، صنعت انرژی پروژه‌های اکتشافی بزرگی را آغاز کرده است. دولت انگلیس اجازه‌ی استفاده از شیوه‌ی شکست در لانکشاير^{۱۰} را صادر نمود (که البته این اقدام بعد از حرکات بلاکویی در سال ۲۰۱۲ متوقف شد) و آفریقای جنوبی و رومانی قانون ممنوعیت اکتشاف میدین شیل را لغو کردند. با توجه به اینکه به‌نظر می‌رسد این کشورها با جدیت پیگیر توسعه‌ی منابع مذکور هستند این امکان وجود دارد که اثر اقتصادی بالقوه‌ی آن بتواند حتی بیش از برآوردهای این گزارش باشد.

۳- اثر اقتصادی بالقوه در سال ۲۰۲۵

در بلندمدت نفت و گاز غیرمتعارف می‌تواند اثرات اقتصادی فراوانی بر بازار انرژی جهانی داشته باشد. بر اساس برآوردهای

فعلی تا سال ۲۰۲۵ اثرات اقتصادی سالیانه‌ی مستقیم بالقوه‌ی تولید برای پنج منطقه‌ی مورد مطالعه را ۴۶۰-۹۵ میلیارد دلار برآورد کرده‌ایم (جدول-۱). بخش اعظم این تأثیر اقتصادی مستقیم بالقوه می‌تواند در آمریکای شمالی باشد که در آنجا بخش اعظم ارزش افزوده از تولید نفت شیل حاصل می‌شود. خروجی سالیانه‌ی نفت شیل تا سال ۲۰۲۵ می‌تواند ۷-۵ برابر نرخ فعلی تولید افزایش یابد. در عوض مدتی است که حجم زیادی از گاز شیل در آمریکای شمالی تولید می‌شود و بنابراین رشد تولید آن آرام خواهد بود. همچنین از آنجا که قیمت‌های نفت به بازارهای جهانی بستگی دارد افزایش تولید بومی اثر کمتری روی قیمت‌ها دارد. مثلاً تولید گاز شیل باعث افت قیمت سوخت در آمریکای شمالی شده است.

طبق برآوردها از لحاظ فنی ذخایر قابل‌بهره‌برداری (ذخایر شناخته‌شده) گاز شیل ۲۲۰ تریلیون مترمکعب یعنی معادل ۱۳۵۰ میلیارد بشکه نفت برآورد می‌شود و ذخایر نفت غیرمتعارف معادل ۱۹۵ میلیارد بشکه نفت است. لازم به‌ذکر است که برآورد ذخایر قابل‌بهره‌برداری از لحاظ



منبع: اداره اطلاعات انرژی آمریکا؛ زمین‌شناسی ایالات متحده

گاز شیل در خلل و فرج‌ها و شکست‌های واقع در ۳-۲ مایلی زیر سطح قرار دارد و استخراج آن نیازمند حفاری افقی و شکست هیدرولیکی است



میلیارد مترمکعب در سال رسیده بود که بیش از یک چهارم تولید گاز طبیعی داخلی این کشور است و در حال حاضر تولید نفت شیل آن حدود ۱/۵ میلیون بشکه در روز یا تقریباً معادل ۲۰ درصد تولید کل نفت است. مدل چشم‌انداز انرژی خاص مؤسسه‌ی مک کینزی برای نفت و گاز غیرمتعارف نشان می‌دهد که تولید سالیانه‌ی گاز شیل به‌طور بالقوه می‌تواند به ۴۹۵ Bcm برسد و تولید نفت شیل می‌تواند در سال ۲۰۲۵ به ۱۰/۵-۶/۹ میلیون بشکه در روز بالغ گردد. لازم به‌ذکر است که انرژی بینش بخشی از راه‌حل‌های مک کینزی برای تهیه‌ی آنالیزهای تصمیم‌گیری است که بازیگران عرصه‌ی انرژی را قادر می‌کند تصمیماتی کلیدی در خصوص استراتژی، سرمایه و عملکرد اتخاذ کنند. همان‌طور که قبلاً گفته شد یکی از منابع اضافی ایجاد اثرات بالقوه‌ی ارزش افزودنی اقتصادی، ناشی از خروجی فزاینده‌ی صنایع انرژی‌محور مانند پتروشیمی است. این امر به‌ویژه در ایالات متحده مطرح است؛ زیرا این صنعت از افزایش دسترسی به گاز طبیعی ارزان بهره‌مند خواهد شد.

بر اساس تحقیقات انجام شده برای نگارش گزارش آتی مؤسسه‌ی جهانی مک کینزی در خصوص منابع اصلی رشد در اقتصاد آمریکا، انتظار می‌رود که در سال ۲۰۲۵ صنعت

میلادی دولت آمریکا را ترغیب کرد تا بودجه‌ی تحقیقات در زمینه‌ی اکتشاف گاز شیل را تأمین کند که این منجر به پیشرفت‌های زیادی در فن‌آوری از جمله روش‌های میکروسایز میک شد. دولت برای حفاری گاز شیل از طریق مشوق‌های مالیاتی، انتشار تحقیقات و پشتیبانی صنعتی را تشویق کرد. در ۱۹۹۱ دولت آمریکا از اولین پروژه‌ی حفاری افقی پشتیبانی کرد و در ۱۹۹۸ اولین شکستگی شیل در مقیاس تجاری در حوضه‌ی شیل برنت^{۱۱} در ایالت تگزاس انجام شد. ترکیب اولیه‌ی شکست هیدرولیکی و حفاری افقی در ۲۰۰۵ در حوضه‌ی برنت ادامه یافت.

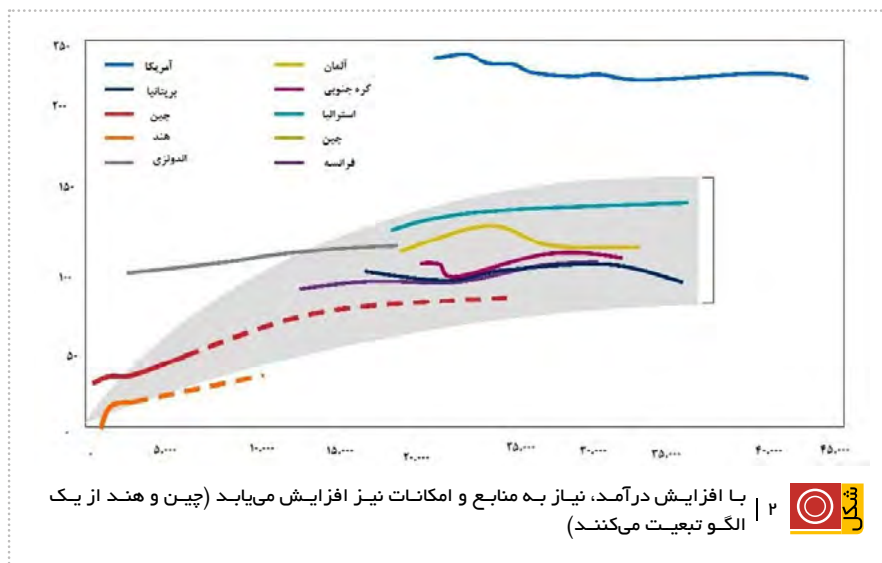
توسعه‌ی گاز و نفت غیرمتعارف در آمریکا از سابقه‌ی طولانی این کشور در امر اکتشاف نفت یعنی بیش از یک سده اسناد معتبر زمین‌شناسی بهره‌مند بود. همچنین از آنجا که در آمریکا هر مالک زمین می‌تواند حقوق معدنی خود را بدون تأیید دولت بفروشد، توسعه‌دهنده‌ها نسبتاً راحت‌تر می‌توانند سایت‌های چاه‌ها را در اختیار بگیرند. رشد کانادا در این زمینه با دولت آمریکا قابل‌مقایسه است و در حال حاضر به‌جز آمریکا، کانادا تنها کشوری است که گاز شیل یا نفت شیل را به مقدار زیادی تولید می‌کند.

تولید گاز شیل آمریکای شمالی قبلاً به ۳۵۰

فنی به‌کرات تغییر کرده؛ زیرا کشورها از ذخایر بالقوه‌ی خود استفاده کرده‌اند. در آمریکای شمالی ذخایر نفت و گاز به‌خوبی مستند شده‌اند و تولید در حوزه‌ها و میادین غیرمتعارف در حال انجام است. اما در سایر نقاط دنیا پیش‌بینی مقدار تولید بالقوه دشوار است و ممکن است به دنبال تغییرات در سیاست‌های ملی و تغییر در شناخت و درک، اعتبار تجاری حوزه‌ها تغییر کند. بنابراین به احتمال زیاد در سال‌های آتی برآورد ذخایر در اغلب کشورها تغییر خواهد کرد.

شماری از این برآوردها تا حد زیادی به فرضیات مربوط به سرعت توسعه و قیمت‌های آینده‌ی بازار وابسته‌اند. اگر این کشورها بتوانند بر چالش‌های قانونی، زیست‌محیطی، فنی و زیرساختی (مثلاً ساخت خط لوله) که معمولاً تولید را به تأخیر می‌اندازد غلبه کنند برآوردهای مربوط به مقدار تولید در مورد سرعت تولید کشورها می‌تواند محافظ کارانه تلقی شود. به‌علاوه، قیمت نفت در سال ۲۰۲۵ علاوه بر عرضه و تقاضا به عوامل متعدد دیگری نیز بستگی دارد. مثلاً می‌توان به عواملی مثل اقدامات کشورهای صادرکننده جهت تثبیت قیمت از طریق افزایش تولید یا بهره‌گیری از اهرم‌های ژئوپولیتیکی اشاره کرد.

علاوه بر اثرات مستقیم اقتصادی ایجاد شده در صنعت انرژی، اکتشاف پیشرفته‌ی نفت و گاز و استخراج آن می‌تواند اثرات اقتصادی غیرمستقیم نیز ایجاد کند که برآوردهای ما اثر آن در سال ۲۰۲۵ را سالیانه ۴۲۰-۸۵ میلیارد دلار نشان می‌دهد. در این گزارش تأکید بر برآوردهای مربوط به اثرات اقتصادی مستقیم استخراج این ذخایر است. به‌طور کلی مقدار این تأثیر بر افزایش خروجی صنایع دیگر حتی در آمریکا نیز برآورد نشده و مبنای کار در این خصوص، گزارش آتی مؤسسه‌ی جهانی مک کینزی است.



۳-۱- آمریکای شمالی (ایالات متحده و کانادا)

کاهش ذخایر گاز طبیعی در دهه‌ی ۷۰



پتروشیمی ۸۰-۶۰ میلیارد را به تولید ناخالص اضافه کند. این رقم ناشی از افزایش دسترسی به موجودی ارزان منابع طبیعی ناشی از گاز شیل است. به طور کلی بخش تولید می‌تواند بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار به تولید ناخالص اضافه کرده و میلیاردها دلار نیز ارزش افزوده‌ی اقتصادی داشته باشد. سایر صنایع نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرند؛ مثلاً در بخش حمل و نقل راه‌دور، شماری از شرکت‌ها به دنبال استفاده از گاز به‌عنوان سوخت کامیون‌ها هستند.

۳-۲- سایر نقاط جهان

برآوردها نشان می‌دهد که اغلب کشورها در کنار آمریکا و کانادا از ذخایر غیرمتعارف

قابل توجهی برخوردارند که می‌توانند با توسعه‌ی آنها رشد اقتصادی و مزایای اقتصادی مناسبی داشته باشند. اما اغلب کارشناسان بر این باورند که در سال ۲۰۲۵ این کشورها تولیدات محدودی خواهند داشت. سعی شده با در نظر گرفتن دیدگاه‌های مختلف متخصصان، طیفی از برآوردها در خصوص مقدار تولید و اثرات اقتصادی بیان گردد اما ممکن است کشورهای در نظر گرفته شده در برآوردها (مانند چین) و کشورهای در نظر گرفته نشده (مانند روسیه) رشد سریع‌تری از برآوردها داشته باشند. انتظار می‌رود که در ۲۰۲۵ تولیدکنندگان برتر خارج از آمریکای شمالی ۲۲۰-۷۰ Bcm گاز شیل و ۱/۷-۵/۵ میلیون بشکه در روز نفت

شیل تولید کنند. چین می‌تواند از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گاز شیل در این گروه باشد؛ در حالی که آرژانتین و استرالیا می‌توانند بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی نفت سبک باشند. گاز طبیعی برخلاف نفت خام کالایی نیست که در بازارهای جهانی آزادانه داد و ستد شود؛ چراکه قیمت آن به‌صورت منطقه‌ای تعیین می‌شود. بنابراین ضمن تبعیت از استانداردها، بر اساس برآورد قیمت جهانی نفت در سال ۲۰۲۵، جهت تبیین وضعیت مناطق مختلف، برای قیمت‌های گاز شیل از برآوردهای منطقه‌ای استفاده می‌کنیم. در ۲۰۲۵ قیمت‌های گاز شیل در چین و استرالیا برای هر میلیون بی‌تی‌یو ۱۰-۸ دلار برآورد می‌شود که از این



۱ | استفاده از روش‌های پیشرفته برای اکتشاف و استخراج نفت و گاز می‌تواند تا سال ۲۰۲۵ اثر اقتصادی مستقیمی به‌میزان ۴۶۰-۹۵ میلیارد دلار در سال داشته باشد (منبع: McKinsey Energy Insights; US Energy Information Administration; McKinsey Global Institute analysis)

مناطق و کاربردها	اثرات اقتصادی بالقوه‌ی کاربردهای تخمینی در سال ۲۰۲۵ (میلیارد در سال)	مخازن برآورد شده‌ی فعلی	افزایش تولید سالیانه برآورد شده‌ی بالقوه در سال ۲۰۲۵	قیمت مفروض در سال ۲۰۲۵
آمریکای شمالی - گاز شیل ۱	۱۰-۳۵	۷۱ تریلیون مترمکعب ذخیره؛ ۶۰ Tcm در آمریکا ۱۱ Tcm در کانادا	۱۴۵ میلیارد مترمکعب (bcm)	۸-۲ دلار برای هر میلیون بی‌تی‌یو (تقریباً ۲۸۰-۷۰ میلیون دلار در هر Bcm)
آمریکای شمالی - نفت شیل	۶۰-۳۰۰	۶۴ میلیارد بشکه ذخیره؛ ۵۷ میلیارد بشکه در آمریکا - ۷ میلیارد بشکه در کانادا	۵/۴-۹ میلیون بشکه روزانه	۱۵۰-۵۰ دلار برای هر بشکه
سایر نقاط جهان - گاز شیل	۱۵-۶۵	بیش از ۱۵۰ Tcm از ذخیره؛ ۳۶ Tcm - چین ۲۲ Tcm - آرژانتین	۷۰-۲۲۰ Bcm	قیمت‌گذاری منطقه‌ای (برای هر میلیون بی‌تی‌یو) - چین و استرالیا: ۱۰-۸ دلار - آرژانتین: ۸-۷ دلار - اروپا: ۱۱-۶ دلار
سایر نقاط جهان - نفت شیل	۱۰-۶۰	بیش از ۱۳۰ میلیارد بشکه از ذخیره ۲۴ میلیارد بشکه در روسیه ۱۳ میلیارد بشکه در آرژانتین	۱/۷-۵/۵ میلیون بشکه در روز	۱۵۰-۵۰ دلار برای هر بشکه
دیگر کاربردهای بالقوه (تخمین زده نشده)		برآوردهای بالقوه‌ی استفاده نشده شامل هیدرات متان و متان رگه‌ی زغال‌سنگ		
مجموع اثرات اقتصادی بالقوه‌ی ۲-	۹۵-۴۶۰			

۱- برآورد اثرات اقتصادی بالقوه‌ی محاسبه شده با خروجی ناخالص افزاینده از تولید سال ۲۰۲۵ قیمت‌ها و تبدیل آن به ارزش افزوده از طریق جداول مضرب GDP. ذخایر برآورد شده‌ی فعلی تنها برای اطلاعات بیشتر هستند.

۲- تنها ارزش افزوده‌ی مستقیم - اثرات القایی و غیرمستقیم و نیز مزیت‌های پایین‌دست می‌تواند این اثرات را دو برابر کند. نکته‌ی مهم اینست که اثر اقتصادی بالقوه جامع نیست و تنها شامل اثرات بالقوه در موارد حساب شده است. این شماره‌ها اغلب گرد شده‌اند.

نظر قیمت گاز شیل در رتبه‌ای پایین‌تر از گاز وارداتی قرار می‌گیرد. دولت آرژانتین الزام کرده که تمامی گازهای غیرمتعارف جدید باید با قیمت ۷/۵ دلار برای هر میلیون بی‌تی‌یو قیمت گذاری شود؛ در حالی که قیمت گذاری گاز طبیعی اروپا بسیار بیشتر است. بنابراین قیمت را ۶-۱۱ دلار برای هر میلیون بی‌تی‌یو در نظر می‌گیریم. در ۲۰۲۵ اثر اقتصادی مستقیم در این مناطق در مجموع ۱۲۵-۲۵ میلیارد دلار و اثر اقتصادی مضاعف غیرمستقیم آن ۲۵-۵ میلیارد دلار برآورد می‌شود.

۴- موانع و توانمندسازها

بهره‌برداری از ذخایر غیرمتعارف نفت و گاز نیازمند مجموعه‌ای از قابلیت‌ها و شرایط توانمندساز است. اگر سیاست‌گذاران و جوامع درباری نیاز به ذخایر غیرمتعارف همسو نباشند اثرات کل این منابع محقق نمی‌شود. انتقال کارگران و تجهیزات به سایت‌های حفاری نیازمند حجم زیادی آب (یا پیشرفت در فن‌آوری‌های شکست سازند که از سیالات دیگر استفاده می‌کنند) و جاده‌های مواصلاتی (که اغلب در نواحی صعب‌العبور هم هستند) است. چندین منطقه با پتانسیل زیاد مانند چین، استرالیا و آمریکای شمالی از کمبود آب رنج می‌برند. بنابراین تخصیص آب در این نواحی جهت ایجاد شکست هیدرولیکی دشوار است. استرالیا و چین برای دسترسی به حوزه‌های دوردست، زیرساخت‌های حمل و نقل محدودی دارند. ریسک‌های زیست‌محیطی شکست هیدرولیکی (شامل آلودگی احتمالی آب‌های زیرزمینی، آلودگی هوا توسط تجهیزات، آلاینده‌گی گازهای گلخانه‌ای ناشی از متان و افزایش استفاده از زمین‌ها) اغلب به‌عنوان دلایل مقاومت در برابر استفاده از ذخایر نامتعارف ذکر می‌شوند. فن‌آوری‌های حفاری افقی و شکست هیدرولیکی در اغلب نقاط خارج از آمریکای شمالی هنوز به‌اندازه‌ی کافی توسعه نیافته که اخیراً دولت چین با شناخت این چالش، یک تفاهم‌نامه‌ی همکاری مشترک با آمریکا امضاء کرده است. مانع بالقوه‌ی دیگر، دسترسی به

سرمایه است. آرژانتین بزرگ‌ترین مخازن غیرمتعارف دنیا را دارد، اما به‌علت وضعیت مالی این کشور، تأمین مالی پروژه‌های گاز و نفت غیرمتعارف برای شرکت‌های آرژانتینی دشوار است. خط‌مشی‌ها و سیاست‌های ملی انرژی می‌توانند هم به‌عنوان عاملی توانمندساز و هم به‌عنوان مانعی در این مسیر عمل کنند. دولت آمریکا با ارائه‌ی مشوق‌های مالیاتی به شرکت‌های مایل به سرمایه‌گذاری در استخراج و اکتشاف شیل به صنعت خود کمک کرده تا پیشگامی را حفظ کند. شماری از شرکت‌های انرژی روسی از دولت خود خواسته‌اند که مشوق‌های مالیاتی مشابه را برای اکتشاف این مخازن ارائه کند. ضمن اینکه بسیاری از کشورهای اروپایی از طریق تحمیل هزینه‌های فراوان و مقررات سخت‌گیرانه، موانع اقتصادی را به شرکت‌ها تحمیل می‌کنند. فرانسه و بلغارستان با ارائه‌ی مهلت‌های قانونی برای اکتشاف گاز شیل مانع ایجاد کرده‌اند؛ گرچه انگلیس و رومانی اخیراً این ممنوعیت‌ها را لغو نموده‌اند.

نتیجه‌گیری

■ کسب و کارهایی که در زنجیره‌ی ارزش انرژی مشارکت دارند (به‌ویژه شرکت‌های انرژی و خدمات حوزه‌ی نفت) می‌توانند در حوزه‌ی اکتشاف و استخراج نفت و گاز به شیوه‌های پیشرفته، به فرصت‌های جهانی متعددی دست یابند. آنها با استفاده از آخرین دانش فنی و بازیگران کلیدی این حوزه جایگاه مناسب و قدرتمندانه‌ای برای خود دست‌وپا کرده‌اند و در این بازارهای روبه‌رشد جای پای خود را محکم نموده‌اند. هم‌زمان تأمین‌کنندگان می‌توانند به‌دنبال سرمایه‌گذاری در روش‌های نوین در حال توسعه نیز باشند که این امر می‌تواند سبب بهبود بهره‌وری یا کوتاه شدن منحنی آموزش برای حوضه‌های در حال توسعه گردد. مثلاً متخصصان ساختمانی با استفاده از آب بازیافتی می‌توانند باعث بهبود قابل توجه در آمدزایی در مناطق کم‌آب دنیا مانند بخش‌هایی از چین و آفریقا شوند. این

بازیگران باید تحلیل‌گران داده‌های بزرگ را پرورش دهند تا بتوانند تحقیقات خود را بهبود بخشند. مثلاً شرکت شل مدت‌هاست با همکاری شرکت هیولت-پکارد^{۱۲} تا یک میلیون گیگا‌بایت داده‌های جغرافیایی برای هر چاه را با استفاده از سنسورهای پایش لرزه‌ای پیشرفته‌ی خود جمع‌آوری می‌کند و مجموعاً برای استفاده از این سنسورها در ۱۰ هزار چاه برنامه‌ریزی کرده است.

■ کسب و کارهای دیگر در زنجیره‌ی ارزش نفت و گاز غیرمتعارف می‌توانند رشد تقاضا برای محصولات و خدمات را پیش‌بینی کرده و براساس آن آماده شوند. علاوه بر تأمین‌کنندگان وسایل شکست هیدرولیکی و دکل‌های حفاری، حوضه‌ها و میادین جدید نیازمند سیمان برای لوله‌های جداری، فولاد برای خطوط لوله، سیستم‌های دفع آب و خدمات مشاوره‌ای زمین‌شناسی هستند. در ضمن، بازیگران پایین‌دستی مانند پتروشیمی‌ها می‌توانند در مورد مکان‌یابی ظرفیت‌های جدید برای پالایشگاه‌ها یا برنامه‌ریزی محصولات در مناطقی که گاز به‌اندازه‌ی کافی در دسترس است تصمیم‌گیری کنند و پیش‌بینی‌های لازم را انجام دهند. شرکت‌هایی مثل DOW, BASF و Methanex قبلاً برنامه‌هایی را برای تعیین ظرفیت‌های تولیدی جدید در آمریکا ارائه کرده‌اند تا از قیمت‌های ارزان گاز طبیعی بهره‌مند شوند.

■ کسب و کارهای مرتبط با صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر باید نگاه دقیقی به اثرات نفت و گاز غیرمتعارف بر توسعه‌ی انرژی‌های بادی و خورشیدی داشته باشند. تولید گاز شیل قبلاً به کاهش قیمت گاز طبیعی در آمریکا (از بیش از ۱۰ دلار برای هر میلیون بی‌تی‌یو در اواسط ۲۰۰۸ به کمتر از ۵ دلار در سال ۲۰۱۳) کمک کرده است. تغییر سوخت ژنراتورها از زغال‌سنگ به گاز سبب کاهش آلاینده‌های گلخانه‌ای می‌شود و در عین حال اضطراب برای توسعه‌ی منابع انرژی تجدیدپذیر را کاهش می‌دهد. اما باور بر اینست که توسعه‌ی بیشتر گاز طبیعی

به جای زغال سنگ برای تولید برق می تواند نیروگاه های به روزتری^{۱۳} ایجاد کند که این امر می تواند به خوبی تولید را اصلاح و نیروگاه های قدیمی تر^{۱۴} انعطاف ناپذیر را که معمولاً مبتنی بر زغال سنگ هستند تعویض نماید. این امر نیز در میان مدت می تواند شبکه ها را برای ظرفیت های تجدیدپذیر بیشتر آماده نماید تا در آنها از منابع متناوب مانند انرژی باد یا خورشید استفاده گردد.

■ سیاست گزاران و شهروندان باید جهت ارزیابی مزایا و معایب فن آوری های جدید استخراج نفت و گاز با هم همکاری کنند تا مشخص شود که آیا این فن آوری ها در مجموع برای جامعه مفید هستند یا خیر. هرچند هنوز هم ماهیت و مقدار در معرض بودن جوامع برای این فن آوری ها به طور جدی مورد بحث است. اکتشاف و استخراج، ریسک های زیست محیطی مثل آلودگی بالقوه ی آب های زیرزمینی، آلاینده های گلخانه ای و آلودگی هوا (ناشی از متان) را در پی دارد. فن آوری استخراج ذخایر غیرمتعارف نیازمند منابع زیادی است؛ مثلاً تا ۵ میلیون گالن آب در یک بار فرآیند شکست هیدرولیکی و صدها سفر کامیون ها به سایت در هر روز طی چند ماه نخست. اغلب این ریسک ها از طریق استفاده از فن آوری های جدید و خط مشی های زیست محیطی قوی، تا حد زیادی قابل تعدیل هستند. توسعه ی شیل هم زمان می تواند به نفع حوزه های حاوی ذخایر باشد و در این مناطق اشتغال و توسعه ی اقتصادی به وجود آورد. اگر سیاست گزاران این حوزه بر سر الویت اقتصادی، سیاسی و ملی استخراج ذخایر

غیرمتعارف توافق داشته باشند دولت ها می توانند پشتیبانی سیستماتیک مناسب را به عمل آورند. در مناطقی که هنوز وجود ذخایر اثبات نشده دولت ها می توانند با ارائه ی مشوق های مالیاتی برای استخراج و تحقیقات، به این روند کمک کنند. در اغلب کشورها تملیک زمین ها نیز مانعی جدی است که دولت ها می توانند جهت کاهش یا رفع این موانع کمک کنند. در اغلب کشورهای اروپایی تمامی ثروت معدنی موجود از ۱/۵ متری عمق زمین و پایین تر از آن متعلق به دولت است و این چیزی است که اشتیاق مالکان زمین ها برای اجازه ی دسترسی به این زمین ها را کم کرده و تمایل شرکت های اکتشافی برای مذاکره با دولت و همچنین اشتیاق دولت برای مذاکره با مالکان زمین ها را کاهش می دهد. دولت ها می توانند این وضعیت ها را تغییر دهند تا توسعه ی این پروژه ها تسریع گردد. اگر کشورهای غنی تر با استفاده از آخرین فن آوری های ایجاد زیرساخت های ضروری، تعدیل ریسک های زیست محیطی، سرمایه گذاری در تحقیقات و رفع موانع اداری، از توسعه ی نفت و گاز غیرمتعارف حمایت کنند می توانند پروژه های شیل خود را استارت بزنند و سود اقتصادی بیشتری نسبت به برآوردهای فعلی به دست آورند.

■ بیش از یک قرن است که دسترسی به منابع انرژی، محیط و فضای ژئوپلیتیکی در جهان ایجاد کرده است. با توسعه ی منابع محلی جدید انرژی توسط کشورها، امکان تغییر نقش کلیدی انرژی در تدوین رئوس سیاست های خارجی وجود دارد. شماری از تحلیل گران بر این باورند که افزایش تولید

نفت و گاز غیرمتعارف آمریکا می تواند بر روابط اقتصادی این کشور با صادرکنندگان انرژی در دنیا مؤثر بوده و بنابراین منجر به بازتعریف اولویت های سیاست خارجی آمریکا شود. به همین ترتیب اگر اروپا بتواند مخازن غیرمتعارف بزرگی را توسعه دهد یا منابع تأمین خود را با صادرات گاز طبیعی مایع از آمریکای شمالی و کشورهای دیگر متنوع کند، می تواند بر روابط اقتصادی و تجارت با روسیه تأثیرگذار باشد. هیچ کس نمی تواند به طور کامل الزامات ژئوپلیتیکی این دستاوردها را پیش بینی کند؛ چراکه متغیرهای زیادی بر آن مؤثرند. با توجه به این موارد، دولت ها، کسب و کارها و شهروندان باید پیش بینی کنند که تغییرات جریانات انرژی بین المللی چه آثاری بر سیاست خارجی کشورها دارد. آنها باید از پیش بینی نقطه ای^{۱۵} اجتناب کنند و در عوض سناریوهای مختلف را برای برنامه ریزی در آینده مدنظر قرار دهند.

به هنگام کار روی امکانات و چالش های وضع موجود تمامی ذی فنعان (شرکت های انرژی و تأمین کنندگان، کارآفرینان، دولت ها و سیاست گزاران) باید به این نکته توجه کنند که بروز یک انقلاب دیگر در تولید انرژی های غیرمتعارف می تواند یک گزینه باشد. درست همان طور که پتانسیل انرژی های غیرمتعارف فعلی بر اثر تغییرات و بهبودهای تدریجی فن آوری در طول سالیان ایجاد شده است. همچنین ممکن است اقدامات ضروری برای دسترسی به شیوه ی جدید ارزش آفرینی بعدی در حال انجام باشد.

پانویس ها

1. additional impact
2. Hydraulic fracturing
3. Light Tight Oil
4. Unconventional oil & Gas
5. Coal bed methane, tight sandstone and methane catharses (also known as meth-

- ane hydrates)
6. Productivity of fracturing
7. Micro seismic
8. untreated water
9. Vaca Muerta
10. Lancashire

11. Barnett Shale
12. Hewlett-Packard (HP)
13. peaker
14. baseload
15. point prediction