فصلنامه روند، سال بیست و دوم، شماره ۷۲، زمستان۱۳۹۴، صفحات ۱۵۴-۱۲۹

# صنعت نفت و گاز شیل: فرصت یا تهدید

دکتر محمد نادعلی ،* سمیرا نصیری **

## چکیده

توسعه صنعت نفت و گاز شیل و نقش آن در تأمین امنیت انرژی جهان در سال‌های اخیر، توجه بسیاری را به این صنعت معطوف کرده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد ذخایر نفت و گاز شیل حدود ۹۲ درصد به مجموع ذخایر اثبات شده نفت و گاز جهان افزوده‌اند. استفاده از فناوری‌های نوین علاوه بر ایجاد امکان بهره‌برداری از منابع جدید، میزان استحصال از منابع موجود را بهبود بخشیده که این امر به افزایش عرضه نفت و گاز نامتعارف از ذخایر جهانی آن منجر شده است. توسعه صنعت نفت و گاز شیل همراه با ایجاد فرصت‌هایی همچون افزایش ذخایر نفت و گاز، بالابردن امنیت انرژی، خلق فرصت‌های جدید شغلی و توسعه فناوری‌های حوزه انرژی، چالش‌های جدی نیز به دنبال دارد. توسعه این صنعت که با کاهش قیمت جهانی نفت و نوسانات قیمت آن به طور گسترده‌ای در دنیا احساس شد، چالش‌هایی مانند تغییر آرایش قدرت بازیگران حوزه انرژی، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش دسترسی به منابع آب شیرین و افزایش احتمال وقوع زلزله را در پی دارد. در این مقاله با معرفی صنعت نفت و گاز شیل به بررسی تهدیدها و فرصت‌های گسترش این صنعت پیشرو پرداخته شده است.

**واژگان کلیدی:** نفت شیل، گاز شیل، نفت نامتعارف، امنیت انرژی، ذخایر انرژی.

**طبقه‌بندی JEL:** Q41 , Q33 , Q53 .

* پژوهشگر بانک مرکزی mohammadnadali@yahoo.com

** پژوهشگر دایره نیرو، اداره بررسی‌ها و سیاست‌های اقتصادی بانک مرکزی sa.nasiri@cbi.ir

**۱. مقدمه**

صنعت نفت متکی بر جریان پایدار اکتشاف و نوآوری در روش‌های نوین استخراج و کشف مناطق جدید نفتی است. به‌طور متناوب، فناوری‌های جدید زمینه‌های تازه‌ای را برای کشف میادین جدید نفتی خلق می‌کنند. روش‌ها و فناوری‌های نوین به استخراج بهتر و بیشتر از منابع نفتی منجر شده که این امر در نهایت سبب فزونی عرضه نسبت به تقاضا در بازار جهانی نفت می‌شود. تولیدکنندگان جدید نفت نیازمند قیمت‌های مناسب (متناسب با میزان هزینه‌های تولید خود) در بازار هستند؛ اما وجود مازاد عرضه، قیمت نفت در بازارهای جهانی را کاهش می‌دهد. گسترش سریع تولید نفت شیل[1] در ایالات متحده آمریکا در سال‌های اخیر، نمونه بارزی از همین پدیده است. روند افزایش بهای نفت خام از دهه ۲۰۰۰ به این سوی و رسیدن قیمت آن به بیش از ۱۰۰ دلار در هر بشکه، باعث شد که بهره‌برداری از منابع نفت و گاز شیل رونق بگیرد؛ چرا که هزینه‌های تولید نفت شیل بالاتر از هزینه‌های استخراج سنتی نفت در مناطقی همچون غرب تگزاس، شبه جزیره عربستان و خاورمیانه است.[2]

در بسیاری از کشورهای جهان، نفت و گاز شیل[3] به‌عنوان بخشی از نفت نامتعارف[4] فرصتی برای ارتقای امنیت انرژی در صورت کاهش عرضه سوخت‌های فسیلی به وجود آورده‌اند. در حال حاضر به شیل‌های نفتی و گازی توجه نسبتاً زیادی می‌شود، چون به عنوان سوخت فسیلی، ممکن است در آینده جایگزین ذخایر متعارف نفت و گاز (که انتظار اتمام آن می‌رود) شوند. برخی از تحلیل‌گران پیش‌بینی می‌کنند صنعت نفت و گاز شیل در سطح جهان توسعه و گسترش یافته و سهم بزرگی از عرضه حامل‌های انرژی را در آینده به خود اختصاص خواهند داد. این امر به تغییر آرایش خریداران و

---

1. Shale Oil
2. Vanderbruck .(2015).
3. Shale Oil/Gas
۴. Unconventional Oil به انواعی از نفت خام گفته می‌شود که با روش‌های غیرمرسوم استخراج می‌شوند. بسیاری از صنایع و دولت‌ها در حال سرمایه‌گذاری بر روی استخراج این نوع از نفت هستند که دلیل اصلی آن کاهش منابع نفت متعارف در سراسر جهان است. نفت فوق سنگین، ماسه‌های نفتی و نفت شیل از انواع نفت‌های نامتعارف هستند.

فروشندگان نفت در جهان منجر شده و باعث رقابت بیشتر میان این دسته از تولیدکنندگان با تولیدکنندگان سنتی آن خواهد شد که در نتیجه این رقابت، قیمت جهانی نفت و گاز تعیین خواهد شد. هرچند که تولیدکنندگان سنتی نفت خام از هزینه‌های پایین‌تر سرمایه‌گذاری و استخراج نفت و گاز برخوردارند، در مقابل، تولیدکنندگان شیل نیز مجهز به فناوری‌های مدرنی هستند که توان تولید آنان را افزایش می‌دهد.

براساس اطلاعات منتشرشده توسط اداره انرژی آمریکا، ذخایر شناخته شده نفت شیل حدود ۲۰ درصد به ذخایر اثبات‌شده نفت خام جهان و ذخایر گاز شیل حدود ۱۱۰ درصد به ذخایر اثبات‌شده گاز جهان افزوده‌اند، اما دولت‌ها و افراد فعال در این حوزه باید به فرصت‌ها و چالش‌های کلیدی این صنعت توجه کرده و سعی در مدیریت آن نمایند. بر همین اساس هدف این مقاله، بررسی فرصت‌ها و تهدیدهای توسعه صنعت نفت و گاز شیل است. در این مقاله ابتدا به معرفی نفت و گاز شیل و تاریخچه آن پرداخته شده، سپس، فنون و روش‌های استخراج آن بررسی شده و سرانجام، فرصت‌ها و تهدیدهای اصلی این صنعت بررسی می‌شود.

## ۲. نفت شیل

### ۲-۱. تعریف

نفت شیل، ماده ارگانیک نهان در پلمه سنگ‌های رسی (سنگ نفت‌زا) لایه‌های زیرزمینی است. از فرآوری این ماده ارگانیک جامد، هیدروکربنی به نام نفت شیل به‌دست می‌آید. نفت شیل را نباید با نفت خام استحصال شده از میدان‌های نفتی (سنتی) اشتباه کرد. اگرچه نفت شیل یک جایگزین برای نفت خام معمولی است. با این حال، استخراج نفت از سنگ نفت، پرهزینه‌تر از تولید نفت خام متعارف هم از نظر مالی و هم به لحاظ اثرات زیست محیطی آن است.[۱] بیشتر منابع نفت شیل در ایالت کلرادو[۲] آمریکا واقع شده که کارشناسان میزان آن را حدود ۳/۳ تریلیون تن برآورد می‌کنند.

---

۱. ره‌شهر .(۱۳۹۲)، ص ۵.

2. Colorado

### ۲-۲. تاریخچه

نخستین مجوز صادرشده برای بهره‌برداری از نفت شیل با عنوان "مجوز سلطنتی شماره ۳۰۳ بریتانیا" در سال ۱۶۸۴ به بکر و سرل[1] اعطا شد. استخراج نفت شیل با فناوری نوین در سال ۱۸۳۷ در ناحیه اوتن[2] فرانسه صورت گرفت و در پی آن استحصال نفت شیل در اسکاتلند، آلمان و کشورهای دیگر جهان آغاز شد. عملیات بهره‌برداری از نفت شیل در قرن نوزدهم بر تولید کروژن متمرکز بود.[3] پیش از آغاز جنگ جهانی اول، صنعت نفت شیل اروپایی به گونه‌ای سریع رو به توسعه و گسترش نهاد که دسترسی محدود به منابع نفتی سنتی (هیدروکربورهای فسیلی) و تولید انبوه اتومبیل‌های سواری و کامیون که به شدت مصرف بنزین را افزایش می‌دادند، در آن نقش تعیین‌کننده‌ای داشت. اگرچه صنایع نفت شیل در چین و استونی پس از پایان جنگ جهانی دوم نیز به کار خود ادامه دادند، اما بسیاری از کشورها طرح‌های استحصال نفت شیل خود را به علت هزینه‌های زیاد تولید و دسترسی آسان به نفت خام سنتی ارزان‌تر رها کردند. در پی شوک دوم نفتی در سال ۱۹۷۳، تولید جهانی نفت شیل به بالاترین میزان خود، یعنی ۴۶ میلیون تن در سال ۱۹۸۰ رسید، اما به سبب دسترسی آسان و ارزان به نفت خام سنتی در سال‌های منتهی به سال ۲۰۰۰، تولید آن به ۱۶ میلیون تن در سال کاهش یافت.

احیای دوباره این صنعت از حدود یک دهه پیش آغاز شد؛ زمانی‌که قیمت‌های بالای گاز طبیعی، فعالان در بخش نفت و گاز بالادست را به آزمودن تکنیک‌های جدید برای استخراج هیدروکربن از منابع شناخته‌شده سازندهای شیل با نفوذپذیری فوق‌العاده کم، تشویق کرد. فناوری شکاف هیدرولیکی مخصوص منابع شیل، به منظور افزایش نفوذپذیری در منابع نفت و گاز، با حفاری افقی ترکیب شد تا تولید منابع نفت و گاز در سازندهای شیل به لحاظ فنی و تجاری امکان‌پذیر شود. درحالی‌که این روش در ابتدا با هدف استخراج منابع گاز طبیعی توسعه یافته بود، اما نشان داد که برای استخراج نفت و میعانات دیگر از شیل نیز موفق بوده و این‌گونه انقلاب نفت شیل آغاز شد.[4]

---

1. Beker and Serle
2. Autun

۳. رهشهر. پیشین، ص ۸.

4. Cane. (2009), P 56.

از سال ۲۰۰۸ به این سوی، صنعت نفت شیل در کشورهای برزیل، چین، استونی و تا حدودی آلمان و روسیه گسترش پیدا کرده است. کشورهای دیگر نیز با آغاز ارزیابی و برآورد ذخایر نفت شیل خود و یا برپایی کارخانه‌های تجربی، وارد عرصه تولید نفت شیل شده‌اند. برخی از کشورها تولید نفت خود را مرحله‌بندی کرده و هر کدام نفت شیل تولیدی خود را به مصارف ویژه‌ای اختصاص داده‌اند. بدین‌سان، گروه کشورهای استونی، برزیل و چین به منظور تولید نفت، گروه کشورهای استونی، چین و آلمان برای تولید برق و گروه کشورهای استونی، آلمان و چین به منظور تولید سیمان، به بهره‌برداری از منابع شیل روی آورده‌اند.

سال ۲۰۱۰ نقطه عطف کلیدی برای تولید نفت شیل در آمریکا بود. رشد ملایم اقتصادی[1]، تقاضای گاز را کاهش داد و افزایش تولید گاز، موجب کاهش سوددهی سرمایه‌گذاری حفاری در مقایسه با دوره اوج فعالیت در دو سال قبل شد. با کاهش قیمت گاز، تولیدکنندگان به سمت تولید از منابع غنی میعانات تمایل پیدا کردند که این مسأله عمدتاً به این دلیل بود که قیمت نفت به شدت قیمت گاز کاهش پیدا نکرده بود؛ در نتیجه، تولید نفت خام آمریکا پس از چهار دهه کاهش از دوره اوج در سال ۱۹۷۰، شروع به افزایش کرد. افزایش تولید نفت نه تنها واردات نفت خام خارجی را کاهش داد، بلکه افزایش ظرفیت پالایش در آمریکا را نیز تضمین نمود.

قیمت بالای نفت در سال‌های اخیر، بهره‌برداری از منابع نفت شیل را که به‌طور کلی هزینه استخراجی بیش از منابع سنتی دارند، مقرون به صرفه کرده است. روش‌های نوین استخراج نیز به کمک این صنعت آمده و موجب کاهش بیشتر در هزینه‌های استخراج یا کارایی بیشتر در بهره‌وری از چاه‌ها شده، از این رو تولید نفت شیل از منابع شیل در دنیا رو به گسترش است.

### ۲-۳. روش‌های استخراج و فرآوری نفت شیل

**الف) روش معدن کاوی:** فناوری‌های استخراج شیل هر روزه در حال پیشرفت‌اند. از روش‌های مرسوم استخراج نفت شیل می‌توان به معدن کاوی سطحی[2] که یکی از رایج‌ترین شیوه‌های بهره‌برداری است،

1. Moderate Economic Growth
2. Surface Mining

اشاره نمود که به صورت سر باز انجام می‌شود. روش دیگر، معدن کاوی لایه‌ای[1] است. در هر دو شیوه، پوشش رویی برای بازکردن معدن برداشته می‌شود و استحصال معدن هنگامی بهتر انجام می‌شود که ذخیره کانی در لایه سطحی معدن قرار گرفته باشد. در صورتی که کانی شیل در ژرفای زمین قرار داشته باشد، از برداشتن پوشش رویی معدن خودداری شده و به جای آن از ایجاد تونل‌های افقی و عمودی و نصب ستون استفاده می‌شود. بیشترین میزان استخراج و برداشت از منابع شیل بر روی زمین انجام می‌گیرد، این در حالی است که فناوری‌هایی برای فرآوری شیل در زیر زمین نیز وجود دارد.[2]

**ب) روش فرآوری درجا:**[3] کروژن موجود در شیل‌های نفتی می‌تواند در یک فرآیند شیمیایی همراه با حرارت به نفت تبدیل شود که در این فرآیند، شیل تا دمای ۵۰۰-۴۵۰ درجه سانتیگراد بدون حضور هوا حرارت داده می‌شود، در این فرآیند کروژن به نفت تبدیل شده و جدا می‌شود. فرآوری درجا دارای خاصیت حرارت‌دهی کانی شیل در زیر زمین است؛ زیرا با استفاده از این نوع تکنولوژی، نفت بیشتری در مقایسه با روش فرآوری روی زمین[4] از ناحیه مورد بهره‌برداری به‌دست می‌آید. بیشتر شرکت‌های فعال در این زمینه اقدام به صدور مجوزهای فرآوری درجا کرده‌اند، زیرا استحصال نفت در ژرفای معدن، با این روش مقرون به‌صرفه‌تر است. مقدار نفتی که می‌توان از این طریق استخراج کرد از حدود ۴ تا بیش از ۵۰ درصد وزن سنگ متغیر است، یعنی به طور متوسط بین ۱۰ تا ۱۵۰ گالن نفت در هر تن سنگ یا ۳۸۰ تا ۵۷۰ لیتر در هر هزار کیلوگرم. از شیل‌های نفتی مرغوب به طور میانگین در حدود ۱۳۰ لیتر نفت از هر تن سنگ با این روش به‌دست می‌آید.

**ج) روش فرک بی‌اچ‌دی:**[5] بسیاری از فعالان در حوزه خدمات نفتی سرمایه‌گذاری بسیاری را برای یافتن فناوری‌هایی که به لحاظ هزینه، نظارت هوشمند و روش اکتشاف کارآمدتر باشند، انجام داده‌اند.

---

1. Stripe Mining

۲. ره شهر، پیشین، ص ۱۰.

3. In-Situ
4. Ex-Situ
5. Frac BHD

مثلاً شرکت رکون تکنولوژی[۱] روشی را با نام "فرک بی‌اچ‌دی" ثبت کرده که در آن هزینه استخراج نفت شیل از طریق حفاری‌های افقی به شدت کاهش یافته است. این روش شامل مجموعه‌ای از سیستم‌های خودکار است که به افزایش تولید و بهره‌وری منجر می‌شود. سیستم‌های کنترل هوشمند، نیاز به نیروی کار را کاهش داده و به خرابی کمتر و بهبود عملکرد چاه‌های نفت و گاز موجود منجر شده‌اند.[۲]

**د) روش‌های‌وی:**[۳] شرکت شلومبرگر روش دیگری به نام "های‌وی" دارد، که شامل استفاده از مخلوط الیاف (فیبر) با شن (سنگریزه) در زمان انفجار در منابع نفت و گاز شیل است. ترکیب الیاف و شن موجب می‌شود تا کانال‌های ایجاد شده در چاه‌های نفت و گاز شیل پس از انفجار باز باقی مانده و نیاز به انفجار مجدد آنها نباشد.[۴] شرکت بیکر هاگز، فناوری موجود برای پایین فرستادن توپ‌های پلاستیکی از لوله استخراج را برای باز نگه‌داشتن راه‌های استخراج (همانند روش شرکت شلومبرگر) تکامل بخشید. این روش مشکلات مربوط به بالا کشیدن توپ‌ها و بازیابی چاه‌ها را بر طرف کرده است.

**ه) روش شکست سریع:**[۵] روش شرکت هالی‌بورتون[۶] به نام "شکست سریع" نیاز به آب برای استخراج نفت از داخل صخره‌ها را به نصف کاهش داده و بسیار سریع‌تر از روش‌هایی است که امروزه به‌طور وسیع در این صنعت استفاده می‌شود. این شرکت از سیستم پمپاژ آب زمین‌های محلی به جای آب شیرین استفاده می‌کند که دیگر نیاز به حمل آب با تانکر یا از طریق لوله‌کشی به محل وجود ندارد. نیاز کمتر به آب به کاهش تعداد تانکرهای حمل آب به محل این چاه‌ها منجر شده و خطرات کاهش سطح آب موجود و اثرات زیست‌محیطی در منطقه را تقلیل داده است.[۷]

---

1. Recon Technology
2. Vandebruck. (2015).
3. HIWAY
4. Vandebruck. (2015).
5. RapidFrac
6. Halliburton
7. Vandebruck. (2015).

**و) روش شکست برودتی:**[1] شرکت کانادایی گس فرک،[2] استفاده از آب در فرآیند استخراج را به صورت کامل حذف کرده است. این شرکت از ژلی بر پایه پروپان برای این کار استفاده می‌کند. دانشکده معدن کلرادو در حال توسعه روش "شکست برودتی" است. این روش از طریق شکافتن صخره‌ها و سنگریزه‌ها در تماس با نیتروژن مایع صورت می‌پذیرد. همچنین، برخی از استخراج‌کنندگان نفت و گاز شیل هزینه‌های خود را با بهره‌گیری از انرژی گاز و انرژی خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی (برای شکافتن صخره‌ها و تخلیه نفت آنها) کاهش داده‌اند.[3]

### ۲-۴. تولید و میزان ذخایر نفت شیل

ذخایر نفت شیل نیز همانند نفت خام (فسیلی)، کم و بیش در تمام نقاط جهان پراکنده‌اند، با این تفاوت که برخی از ذخیره‌ها در ژرفای زمین قرار داشته و استخراج و بهره‌برداری از آنها در شرایط و فناوری کنونی مقرون به صرفه نیست. استحصال نفت شیل از ذخایر عمده آن، به لحاظ تراکم و انباشت مواد موجود و با استفاده از فناوری‌های پیشرفته کنونی صرفه اقتصادی دارد. از آنجا که فناوری این صنعت به صورت پیوسته در حال پیشرفت است، بنابراین، برنامه‌ریزان تنها می‌توانند میزان کروژن موجود قابل استحصال از این ذخایر را ملاک محاسبه قرار دهند.

بر اساس آخرین آمارهای منتشر شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی، روسیه با حدود ۷۵ میلیارد بشکه، رتبه نخست ذخایر نفتی شیل را داشته و پس از آن، آمریکا با ۵۸ میلیارد بشکه ذخایر نفت شیل دومین دارنده این گونه ذخایر در دنیاست. حجم کل ذخایر نفت شیل جهان، ۳۴۵ میلیارد بشکه برآورد شده است. جدول ۱، ۱۰ کشور دارای بیشترین ذخایر نفت شیل جهان را نشان می‌دهد.

---

1. Cryogenic Fracturing
2. GasFrac
3. Vandebruck .(2015).

***جدول ۱. ده کشور دارای بیشترین میزان ذخایر نفت شیل و میزان ذخایر اثبات شده نفت متعارف آنها***

| رتبه | کشور | میزان ذخایر نفت شیل (میلیارد بشکه) | میزان ذخایر اثبات شده نفت **متعارف** (میلیارد بشکه) |
|---|---|---|---|
| ۱ | روسیه | ۷۵ | ۱۰۳ |
| ۲ | آمریکا | ۵۸ | ۴۸ |
| ۳ | چین | ۳۲ | ۱۸ |
| ۴ | آرژانتین | ۲۷ | ۲ |
| ۵ | لیبی | ۲۶ | ۴۸ |
| ۶ | استرالیا | ۱۸ | ۴ |
| ۷ | ونزوئلا | ۱۳ | ۲۹۸ |
| ۸ | مکزیک | ۱۳ | ۱۱ |
| ۹ | پاکستان | ۹ | – |
| ۱۰ | کانادا | ۹ | ۱۷۳ |
| | جمع کل جهان | ۳۴۵ | ۱۷۰۰ |

مأخذ: آژانس بین‌المللی انرژی .(۲۰۱۴).

روند تولید نفت نامتعارف (که بخش عمده‌ای از آن را نفت شیل تشکیل می‌دهد) در دنیا با استفاده از فناوری‌های نوین در سالیان گذشته همواره صعودی بوده است. جدول ۲، میزان تولید نفت نامتعارف و عرضه جهانی نفت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۲ نیز مشخص است، سهم تولید نفت نامتعارف از تولید نفت در حال افزایش است؛ به طوری‌که از ۴/۶ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۵/۴ درصد در سال ۲۰۱۴ رسیده و برآورد می‌شود که در سال ۲۰۱۵ به ۵/۷ درصد برسد. یعنی در شش سال حدود یک واحد درصد سهم نفت شیل از تولید جهانی نفت افزایش یافته است.

***جدول ۲. تولید نفت متعارف و نامتعارف در جهان*** *(میلیون بشکه در روز)*

| سال | ۲۰۱۰ | ۲۰۱۱ | ۲۰۱۲ | ۲۰۱۳ | ۲۰۱۴ | ۲۰۱۵* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **تولید نفت نامتعارف** | ۳/۸ | ۴/۱ | ۴/۳ | ۴/۵ | ۴/۷ | ۵/۰ |
| **تولید نفت متعارف** | ۸۱/۸ | ۸۳/۵ | ۸۵/۳ | ۸۵/۷ | ۸۷/۷ | ۸۷/۶ |
| **درصد** | ۴/۶ | ۴/۹ | ۵/۰ | ۵/۲ | ۵/۴ | ۵/۷ |

مأخذ: اوپک[1] و اداره اطلاعات انرژی آمریکا[2]

* اعداد برای سال ۲۰۱۵، برآوردی است.

1. OPEC Monthly Oil Report.
2. Annual Energy Outlook 2015 with Projection to 2040.

پیش‌بینی می‌شود که تولید نفت شیل در جهان با رشد زیادی مواجه شده و در سال ۲۰۲۰ بـه حـدود ۹ میلیون بشکه در روز برسد. براساس این برآورد، در این سال نفت شیل، ۹ درصد از کل عرضـه نفـت جهـان را تأمین خواهد کرد.[1] بر اساس برآوردهای صورت گرفته، تولید نفت شیل در آمریکای شمالی پـس از سـال ۲۰۲۰ با افت مواجه خواهد شد، این در حالی است که جهش بعدی تولید از منابع شـیل پـس از سـال ۲۰۲۰ خواهـد بود؛ چرا که تولید از منابع شیل، به نقاط دیگر جهـان و بـه طـور خـاص کشـورهای روسـیه و چـین گسـترش می‌یابد و این کشورها نیز نفت شیل تولید خواهند کرد. برآورد می‌شود که تولید این دو کشـور از منـابع یادشـده در سال ۲۰۳۰، به ترتیب به ۴/۱ و ۵/۰ میلیون بشکه در روز برسد.

### ۲-۵. حداقل قیمت اقتصادی برای تولید نفت شیل

نفت شیل امروزه گسترش چشمگیری یافته است؛ به‌طوری‌که روزانه حـدود ۵ میلیـون بشـکه از ایـن ماده در جهان تولید می‌شود و سهمی حدود ۵ درصد از عرضه کل نفت خام جهان را دارد. با توجه به اهمیت برنامه تولید نفت شیل برای خودکفایی آمریکا، دانستن اینکه این برنامه بـا چـه کـف قیمتـی می‌تواند به حیات خود ادامه دهد، ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس پیش‌بینی تحلیل‌گران این حوزه، با توجه به اینکه چند سالی از شروع این پروژه‌ها گذشته و زیرساخت‌ها و امکانات این دو پروژه توسعه یافته است، برآورد می‌شود که هزینه‌های اولیه کاهش یافته، بنابراین، آسـتانه تحمـل کـاهش قیمـت نفت در این پروژه‌ها افزایش یافته است. از آنجا که نفت شیل از منابع مختلف حاصل می‌شود، هزینـه تمام شده آن بسته به چاه و مکان آن متفاوت است؛ اما همان طور که در جدول ۳ پـیش‌بینـی نقطـه سربه‌سر تولید از سوی مؤسسات بین‌المللی و نیز چند نمونه از میـادین بـزرگ نامتعـارف آورده شـده است، قیمت حدود ۸۰-۷۰ دلار برای اکثر این منابع سودآور است.[2]

---

1. Previous.

۲. روزنامه واشنگتن پست و مجله اکونومیست نیز حداقل قیمت حدود ۸۰-۷۰ دلار برای هر بشکه نفت خام نامتعـارف را برآورد کرده‌اند.

***جدول ۳. نقطه سربه‌سر تولید هربشکه نفت خام نامتعارف***

| منبع | حداقل قیمت (دلار) |
|---|---|
| شرکت هالی بارتن (HAL)[1] | ۸۰ |
| مؤسسه گروه ساش گلدمن[2] | ۷۵ |
| بانک داتچ[3] | ۷۰ |
| آژانس بین‌المللی انرژی | ۶۰ |
| شرکت راند[4] | ۷۰ |
| شرکت IHS | ۷۰ |
| مؤسسه سیتی گروپ[5] | ۶۰ |
| بلومبرگ | ۷۰ |
| شرکت استانفورد برنستین[6] | ۷۵ |
| **میادین نفتی تولیدکنندگان نفت شیل** | **حداقل قیمت** (دلار) |
| ایگل فورد[7] | ۶۸ |
| بیکن[8] | ۶۷ |
| پرمیان[9] | ۶۵ |
| کانا وودفورد[10] | ۱۰۰ |
| آنادارکو[11] | ۷۹ |

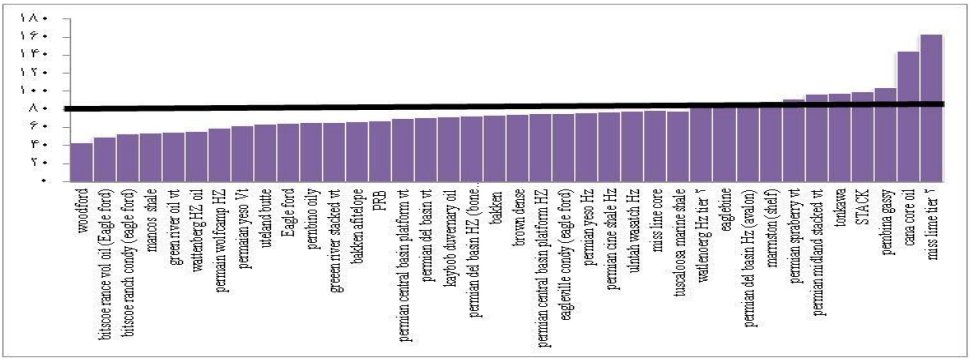
مأخذ: وال استریت ژورنال، رویترز و بلومبرگ.

بررسی‌ها نشان می‌دهد هزینه تولید هر بشکه نفت خام نامتعارف به میدان نفتی آن بسیار وابسته بوده، بنابراین، نقطه سربه‌سر تولید در میادین مختلف بسیار متنوع است (نمودار۱). در نمودار ۱، نقطه سربه‌سر تولید هر بشکه نفت خام نامتعارف از میادین نفتی آمریکا (که بیش از ۶۰ درصد از تولید نفت

1. Halliburton co.(HAL)
2. Goldman Sash Group Inc
3. Deutsche Bank AG
4. RAND Corporation
5. Citigroup Inc
6. Stanford c. Bernstein & co
7. Eagle Ford
8. Bakken
9. Permain
10. Cana Woodford
11. Anadarko

نامتعارف جهان را دارد) در سال ۲۰۱۴ نمایش داده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، نقطه سربه‌سر تولید هر بشکه نفت خام نامتعارف در آمریکا در دامنه ۴۰ تا ۱۸۰ دلار است.

***نمودار ۱. نقطه سربه‌سر تولید هر بشکه نفت خام نامتعارف از میادین نفتی آمریکا در سال ۲۰۱۴*** *(دلار به ازای هر بشکه)*




مأخذ: گروه انرژی‌های نوین بلومبرگ.

## ۳. گاز شیل

### ۳-۱. تعریف

گاز شیل، از گونه‌های گاز طبیعی (غیر فسیلی) است که در فرآیند تشکیل زمین‌شناختی دیرینه در میان لایه‌های رسی زمین به دام افتاده است. متان موجود در این گروه از سنگ‌ها را می‌توان به‌وسیله حرارت دادن (تقطیر) و یا ایجاد شکاف هیدرولیکی، از دل آنها استخراج کرد. انسان از مدت‌ها پیش به وجود گاز در صخره‌های شیل پی‌برده بود؛ اما از آنجا که این صخره‌ها بر خلاف میادین معمولی گاز، حالت متخلخل و شبکه موئینه ندارند، بنابراین، استخراج گاز به راحتی از آنها قابل انجام نیست، این اکتشاف تا سال‌ها قابل بهره‌برداری نبود؛ اما پیشرفت علم و ابداع روش‌های نوین استخراج امروزه بهره‌برداری از این صخره‌ها را ممکن ساخته است. براساس فناوری جدید با فشار آب یا شن، دهانه ذخایر گازی باز می‌شود و امکان جریان گاز فراهم می‌شود. در همین حال، برای استخراج تجاری متان باید چاه‌های متعددی به‌دلیل فشار پایین گاز حفر نمود.

### ۳-۲. تاریخچه

برای نخستین بار، گاز شیل در سال ۱۸۲۱ در فردنیا،[1] واقع در نیویورک که ذخیره آن در عمق کمتری از زمین مدفون بود، بهره‌برداری شد. در دهه ۱۹۳۰، حفاری افقی چاه‌های نفت و گاز ابداع شد، اما بهره‌برداری از منابع گاز شیل در مقیاس صنعتی تا سال‌های دهه ۱۹۷۰ به‌رغم تحقیق بسیار تحقق پیدا نکرد. در دهه‌های اخیر و با توجه به روند کاهش ذخایر گاز طبیعی در آمریکا و ابداع فناوری‌های جدید، دولت این کشور در زمینه انرژی‌های جایگزین، از جمله گاز شیل سرمایه‌گذاری بسیاری کرده است.[2] جورج پی. میچل[3] که به پدر فناوری حفاری افقی در بهره‌برداری تجاری از منابع گاز شیل شهرت یافته، توانست برای استحصال این گاز در سال ۱۹۹۸، از فرآیندی موسوم به شکست مولکولی آب[4] استفاده نماید. از آن پس، در ایالات متحده آمریکا، دستیابی به گاز شیل به عنوان حامل انرژی کمکی کارآمد، امکان‌پذیر شد. تحقق این دستاورد بزرگ موجب شد که کشورهای دیگر نیز نسبت به بهره‌برداری از ذخایر گاز شیل تشویق شوند. به نظر آژانس بین‌المللی انرژی، بهره‌برداری از ذخایر گازی شیل می‌تواند ظرفیت بازیافت منابع گازی جهان را تا حدود ۱۱۰ درصد افزایش دهد. بر اساس آمار منتشرشده توسط اداره اطلاعات انرژی آمریکا در سال ۲۰۰۰، گاز تولیدی از منابع شیل تنها محدود به یک درصد از تولید گاز طبیعی آمریکا بود، اما این رقم در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۲۰ درصد افزایش یافته و طبق پیش‌بینی اداره اطلاعات انرژی آمریکا، تا سال ۲۰۳۵، سهم گاز شیل تولیدی از کل گاز طبیعی آمریکا به ۴۶ درصد افزایش خواهد یافت. کشور چین نیز منابع عظیمی از گاز شیل دارد و به گمان بعضی کارشناسان، ذخایر گازی چین را می‌توان در زمره بزرگترین منابع شیل جهان قرار داد.

---

1. Fredonia

۲. ره شهر، پیشین، ص ۱۶.

3 .George P.Mitchell

4. Slick Water Fractioning

### ۳-۳. روش استخراج و فرآوری گاز شیل

کانی گاز شیل، به علت نفوذناپذیری اجازه نمی‌دهد که محلول کافی به داخل چاه حفر شده جریان پیدا کند و به همین دلیل اغلب کانی‌های شیل از ویژگی‌های تجاری بی‌بهره‌اند. از آنجا که ماتریس نفوذپذیری ذخایر خام شیل پایین است، بنابراین، تولید گاز در مقیاس تجاری مستلزم ایجاد شکاف‌های گسترده در معدن، برای افزایش قابلیت نفوذپذیری است. گاز شیل برای سال‌های متمادی از طریق شکافتن فیزیکی معادن تولید شده است، اما رونق یافتن تولید گاز شیل در سال‌های اخیر با استفاده از فناوری‌های نوین (شکست هیدرولیکی) و با ایجاد شکاف‌های مصنوعی پیرامون دهلیز چاه‌ها، عملیاتی شده است.

### ۳-۴. تولید و میزان ذخایر گاز شیل

گزارش آژانس بین‌المللی انرژی با عنوان "قواعدی طلایی برای عصر طلایی گاز" نشان می‌دهد که گاز طبیعی وارد یک عصر طلایی خواهد شد؛ اگر منابع نامتعارف شامل گاز فشرده، گاز شیل و متان بستر زغال‌سنگ، به صورت سودآور و با رعایت مسائل زیست‌محیطی تولید شوند. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، به دلیل بهبود فناوری‌های بالادستی صنعت نفت، تولید گاز از منابع نامتعارف در آمریکای شمالی افزایش یافته و در نقاط دیگر جهان نیز همین روند طی خواهد شد. تولید گاز از این منابع، موجب تنوع منابع تأمین انرژی شده و امنیت انرژی جهان را افزایش خواهد داد. بر اساس برآوردهای این گزارش، ذخایر باقیمانده نامتعارف گاز طبیعی که به لحاظ فنی قابل برداشت هستند، ۷۲۹۹ تریلیون فوت مکعب و ذخایر گاز طبیعی متعارف در جهان حدود ۶۶۰۶ تریلیون فوت مکعب برآورد می‌شود. چین با داشتن ۱۱۱۵ میلیارد فوت مکعب، بیشترین ذخایر گاز شیل در جهان را دارد. رتبه دوم هم با ۸۰۲ تریلیون فوت مکعب در اختیار آرژانتین قرار دارد. آمریکا در ذخایر گازی شیل پس از الجزایر در رتبه چهارم قرار گرفته است. جدول ۴، ده کشور دارای بیشترین میزان ذخیره گاز شیل را نشان می‌دهد.

***جدول ۴. ده کشور دارای بیشترین میزان ذخایر گاز شیل و میزان ذخایر اثبات شده گاز طبیعی آنها***

| رتبه | کشور | میزان ذخایر گاز شیل (تریلیون فوت مکعب) | میزان ذخایر اثبات شده گاز طبیعی (تریلیون فوت مکعب) |
|---|---|---|---|
| ۱ | چین | ۱۱۱۵ | ۱۲۲ |
| ۲ | آرژانتین | ۸۰۲ | ۱۲ |
| ۳ | الجزیره | ۷۰۷ | ۱۵۹ |
| ۴ | آمریکا | ۶۶۵ | ۷۲ |
| ۵ | کانادا | ۵۷۳ | ۳۴۵ |
| ۶ | مکزیک | ۵۴۵ | ۱۲ |
| ۷ | استرالیا | ۴۳۷ | ۱۳۲ |
| ۸ | آفریقای جنوبی | ۳۹۰ | - |
| ۹ | روسیه | ۲۸۷ | ۱۱۵۳ |
| ۱۰ | برزیل | ۲۴۵ | ۱۶ |
| | جمع کل جهان | ۷۲۹۹ | ۶۶۰۶ |

مأخذ: آژانس بین المللی انرژی.(۲۰۱۴).

پیش‌بینی می‌شود که با افزایش تولید گاز شیل در جهان، در سال ۲۰۳۰ روزانه ۷۴ میلیارد فوت مکعب گاز از منابع شیل تولید شود که این میزان ۳۷ درصد تولید گاز جهان را تأمین خواهد کرد. مرکز اصلی این افزایش تولید، آمریکای شمالی خواهد بود. برآورد می‌شود که تولید گاز در این قاره در سال ۲۰۳۰ به حدود ۵۴ میلیارد فوت مکعب در روز برسد. رشد تولید از منابع شیل، افت تولید از منابع متعارف گاز را جبران خواهد کرد. چنانکه پیش‌بینی می‌شود، آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۷ به صادرکننده گاز تبدیل شود، اما این برآوردها نشان می‌دهد که تولید گاز شیل در اروپا چندان افزایش نخواهد یافت و به حدود ۴/۲ میلیارد فوت مکعب در روز در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. این میزان، کاهش تولید گاز از منابع متعارف را جبران نخواهد کرد و موجب می‌شود واردات گاز اروپا تا سال یادشده، ۴۸ درصد افزایش یابد. برخلاف اروپا، پیش‌بینی می‌شود که چین به خوبی ذخایر گاز شیل خود را توسعه دهد. برآورد می‌شود که این کشور در سال ۲۰۳۰، حدود شش میلیارد فوت مکعب گاز از منابع شیل تولید خواهد کرد و ۲۰ درصد تولید گاز این کشور از منابع شیل خواهد بود.

### ۴. فرصت‌های توسعه صنعت نفت و گاز شیل

با توسعه صنعت نفت و گاز شیل فرصت‌های جدیدی خلق شده است. فرصت‌هایی که در نهایت به تولید و اشتغال بیشتر، گسترش فناوری‌های نوین و امنیت انرژی منجر خواهد شد. در این بخش به‌طور خلاصه فرصت‌های توسعه این صنعت بررسی می‌شود.

#### ۴-۱. افزایش امنیت انرژی

براساس پیش‌بینی‌های انجام شده و با در نظر گرفتن ذخایر متعارف نفتی در ابتدای قرن بیست و یکم انتظار می‌رفت، ذخایر نفتی حدود ۴۰ کشور از تولیدکنندگان کنونی نفت و گاز سنتی مانند آمریکا، مکزیک، آذربایجان، نروژ، روسیه، برزیل و چین تا سال ۲۰۳۰ خاتمه یافته[1] و در پی آن نگرانی‌های جدی در زمینه تأمین امنیت انرژی این کشورها به وجود آید؛ اما با کشف منابع نامتعارف نفتی و سرمایه‌گذاری گسترده برای ارتقای فناوری تولید از این منابع، به لحاظ فنی حجم ذخایر نفتی قابل برداشت افزایش قابل توجهی یافته است. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد ذخایر نفت شیل حدود ۲۰ درصد به ذخایر اثبات شده نفت خام جهان و ذخایر گاز شیل حدود ۱۱۰ درصد به ذخایر اثبات شده گاز جهان افزوده‌اند. این امر موجب آرامش خاطر در مصرف‌کنندگان و سیاستگذاران این حوزه شده و نگرانی آنان را بابت پایان یافتن سوخت‌های فسیلی جهان کاهش داده است.

#### ۴-۲. افزایش تولید، ایجاد اشتغال و گسترش فناوری‌های نوین استخراج

رشد و توسعه صنعت شیل موجب افزایش اشتغال شده است. این صنعت با وجود پیوندهای پسین و پشین بی‌شمار، نه تنها به رشد دانش در این زمینه کمک کرده بلکه موجب جذب تعداد نیروی‌کار بسیار در این صنعت شده است. نیاز این صنعت به استفاده از فناوری‌های نوین موجب جذب نیروی تحصیلکرده شده که این امر به خصوص در کشورهایی مشهود است که در گذشته منابع نفت و گاز سنتی نداشته و امروزه به کمک فناوری‌های نوین به تولیدکنندگان سوخت نامتعارف در دنیا تبدیل شده‌اند. در مناطقی که این صنعت رشد یافته شهرهای جدید ایجاد شده و شهرک‌های کوچک با

1. BP Statistical Review of World Energy .(2014).

سرعت بسیار زیاد توسعه یافته‌اند. رستوران‌داران، معلمان، کارگران شهری و صاحبان مشاغل دیگر به این مناطق رفته‌اند و دیگر به شهرهای قدیمی خود باز نگشته‌اند. رشد این صنعت در آینده نیز سبب مهاجرت افراد در جستجوی کار بسیاری به این مناطق خواهد شد. روی دیگر سکه آن است که در صورت توقف تولید یا به سبب وقوع ورشکستگی صاحبان این صنایع آثار آن فراتر از مشاغل فعال در بخش نفت خواهد بود.

## ۵. تهدیدهای توسعه صنعت نفت و گاز شیل

صنعت نفت و گاز شیل با توسعه خود علاوه بر خلق فرصت به ایجاد تهدیدها و چالش‌هایی نیز منجر شده است. چالش‌های زیست‌محیطی، دسترسی به منابع آب شیرین، افزایش ایجاد مخاطرات طبیعی و نظایر آن چالش‌های کلیدی توسعه این صنعت است که در ادامه بررسی خواهند شد.

### ۵-۱. افزایش آلودگی‌های زیست محیطی

تولید نفت و گاز شیل موجب ایجاد نگرانی‌های زیست‌محیطی شده است. البته با توجه به تفاوت فرآیند تولید نفت شیل، اثرات زیست‌محیطی آن نیز متفاوت از روش‌های مرسوم سنتی است. یکی از اصلی‌ترین راه‌های استخراج نفت و گاز شیل، حرارت دادن سنگ و استفاده از فرآیند تقطیر است. در نتیجه حرارت دادن سنگ مخزن، مقادیر زیادی از گازهای آلاینده تولید می‌شود که این امر موجب آلودگی هوا می‌شود. اصلی‌ترین این گازها عبارتند از: اکسیدهای سولفور و نیتروژن، دی‌اکسید کربن، ذرات معلق و بخارات آب. راه‌هایی برای کنترل این آلودگی پیش‌بینی شده است؛ از آن جمله می‌توان به استفاده از فناوری‌های تصفیه گاز که در نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها به کار می‌روند، اشاره کرد. راه‌حل دیگر که برای دفع دی‌اکسیدکربن پیشنهاد شده، تزریق آن به مخازن نفتی برای ازدیاد برداشت است. تأسیسات تولید نفت شیل، همچنین زمین‌های زیادی را به کار می‌گیرند که در این زمین‌ها حجم انبوهی از خاکستر شیل و پسماندهای ناشی از فرآیند تولید نفت شیل انباشته می‌شوند که باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهند حجم نهایی ضایعات، به دلیل انجام فرآیندهای پالایش، بیش از حجم مواد استخراج شده است، بنابراین، امکان بازگرداندن آنها به طور

کامل به داخل زمین وجود ندارد، در نتیجه، الزاماً بخشی از آن در روی سطح باقی می‌ماند. این ضایعات شامل سولفات، فلزات سنگین و مواد دیگر سمی است. از سوی دیگر، از آنجا که در فرآیند استخراج میلیون‌ها لیتر آب مصرف می‌شود، در نتیجه، به همراه آب صدها هزار لیتر از مواد شیمیایی نیز به خاک تزریق می‌شود. در این فرآیند، تنها ۵۰ تا ۷۰ درصد از حجم آب آلوده قابل بازیافت و ذخیره شدن در حوضچه‌های سطح زمین است که توسط تانکرها برداشت می‌شود. باقیمانده آب مصرف شده در زیر زمین مدفون می‌ماند و می‌تواند موجب آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی شود. در هر صورت پسماندهای ناشی از بهره‌برداری با ایجاد بوهای زننده و فلزات سنگین، می‌توانند منابع آب سطحی را نیز آلوده سازند.[1] این موارد، بخشی از آلودگی‌های ناشی از تولید نفت و گاز از شیل هستند. آلودگی‌های دیگری نیز در اثر تولید نفت و گاز از شیل به وجود می‌آیند که هر چند مستقیماً مرتبط با تولید از شیل نیستند، به دلیل گسترش فعالیت‌های تولید از شیل، افزایش یافته‌اند. به عنوان مثال، کمیسیون کیفیت محیط‌زیست تگزاس در گزارشی، به وجود غلظت بالای بنزین در تأسیسات گاز متعلق به یکی از شرکت‌ها در این ایالت اشاره کرده است. تولید گازهای ناشی از فعالیت تجهیزاتی همچون موتورهای دیزل و آلودگی‌های ناشی از فوران احتمالی چاه‌ها نیز از عوامل دیگری هستند که گفته می‌شود، چشم‌انداز زیست‌محیطی تولید نفت و گاز از شیل را تیره ساخته‌اند و ممکن است در آینده و با اعتراض گروه‌های حامی محیط‌زیست، تولید از این منابع با موانع بیشتری مواجه شود.

### ۵-۲. افزایش زمین لرزه

فارغ از مباحث مربوط به آلودگی ناخواسته، شکست هیدرولیکی نتایج منفی دیگری نیز برای محیط‌زیست به همراه دارد. بر اساس برآوردهای سازمان زمین‌شناسی آمریکا، شکست هیدرولیکی موجب ایجاد زمین‌لرزه‌های کوچک می‌شود که البته کوچک‌تر از آن هستند که به لحاظ ایمنی موجب نگرانی باشند. گذشته از فرآیند شکست هیدرولیکی، دور ریختن پسماند ناشی از عملیات نیز ممکن است موجب ایجاد زمین‌لرزه شود. عمل تزریق سیالات در فرآیند شکست هیدرولیکی، موجب ایجاد

1. Griswol. (2012).

زمین‌لرزه‌هایی آنچنان بزرگ می‌شود که این زمین‌لرزه‌ها حس می‌شوند و ممکن است موجب ایجاد خسارت شوند. گزارش آژانس بین‌المللی انرژی نیز برآوردی مشابه از تأثیر تولید از منابع شیل بر ایجاد زمین‌لرزه دارد. بر اساس این گزارش، فرآیند شکست هیدرولیکی موجب ایجاد گسل‌هایی در سازندهای عمیق زمین و ایجاد ارتعاشات می‌شود. این ارتعاشات که توسط مهندسان نفت برای رصد فرآیند انجام عملیات به کار گرفته می‌شود، عموماً کوچکتر از آن هستند که در سطح زمین حس شوند. ارتعاشات بزرگ زمانی رخ می‌دهند که چاه یا گسل، دچار تلاقی می‌شوند و گسلی را که پیشتر وجود داشته است، دوباره فعال می‌کنند. سازمان زمین‌شناسی آمریکا در سال ۲۰۱۱، گزارشی از ایجاد زمین‌لرزه در اکلاهاما منتشر کرد. در این گزارش گفته شده است که با فاصله‌ای کوتاه پس از آغاز شکست هیدرولیکی، زمین‌لرزه‌های کوچکی آغاز شدند. بیش از ۵۰ زمین‌لرزه شناسایی شد که ۴۳ مورد از آنها به اندازه‌ای بزرگ بودند که محل آنها قابل شناسایی بود. اغلب این زمین‌لرزه‌ها، در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته پس از پایان عملیات شکست هیدرولیکی روی دادند. بروز زمین‌لرزه و مشکلات دیگر زیست‌محیطی موجب شده است موانعی بر سر توسعه منابع شیل به وجود آید. برای مثال، پس از آنکه زمین‌لرزه‌هایی در بلک پول در شمال غربی انگلستان به وجود آمد، این کشور که بزرگترین مصرف‌کننده گاز اروپا به شمار می‌رود، در ماه می سال ۲۰۱۱ فرآیند شکست هیدرولیکی برای تولید گاز شیل را ممنوع اعلام کرد. این ممنوعیت مدتی پیش لغو شد، اما شرکت‌ها موظف شدند تحت قوانین نظارتی سختی فعالیت خود را ادامه دهند.

### ۵-۳. ایجاد تنش در دسترسی به منابع آب شیرین

استخراج نفت و گاز طبیعی از ذخایر شیل ضمن ایجاد خطرات زیست محیطی، نیازمند وجود مقادیر زیادی آب در نزدیکی محل استخراج است. بخش اصلی آب برای تزریق به داخل صخره‌ها و سنگریزه‌ها استفاده می‌شود تا هیدورکربن موجود در لابه‌لای صخره‌ها به سطح صخره آمده و قابل استخراج شود. این در حالی است که منابع نفت و گاز شیل لزوماً در محل‌هایی قرار ندارند که دسترسی آسان به آب فراوان مقدور باشد. برای مثال، در کشورهای چین، هند، آفریقای جنوبی و مکزیک مقادیر بسیار زیادی

از نفت و گاز شیل وجود دارد، اما منابع آبی در این مناطق ناچیز است. همچنین، نزدیک به ۳۸ درصد از مناطقی که ذخایر در آنجا واقع شده‌اند، یا مناطق خشکی هستند یا به طور معناداری مشکل تأمین آب دارند؛ ضمن آنکه ۳۸۶ میلیون نفر نیز در این مناطق زندگی می‌کنند. این عوامل چالش‌های اجتماعی، زیست محیطی و مالی قابل توجهی را بر سر راه دسترسی به آب قرار داده و می‌تواند محدودیت جدی برای توسعه صنعت شیل ایجاد کند.[1]

مؤسسه منابع جهان[2] در گزارشی رشته قنات‌هایی در جهان را که دچار مشکل آب هستند، بررسی نموده تا با شناسایی مناطق حساس، ۱۱ کشوری را که استخراج نفت و گاز شیل در آنها با احتمال زیاد با چالش آب مواجه خواهد شد، مشخص کند. در این مناطق، سیاست‌های دولت در زمینه توسعه صنعت شیل می‌بایست منطبق بر تضمین امنیت آب و حفاظت از محیط زیست باشد. جدول ۵، به اختصار یافته‌های مؤسسه منابع جهان را در خصوص وضعیت آب در ۲۰ کشوری را که دارای بیشترین ذخایر نفت و یا گاز شیل هستند، نشان می‌دهد.

1. Regig, Tianyiluo, N.Proctor .(2015).
2. World Resources Institute (WRI)

***جدول ۵. کشورهایی با ذخایر بالای نفت و گاز شیل در دنیا***

| رتبه در ذخایر گاز شیل | رتبه در ذخایر نفت شیل | کشور | میانگین مواجه با تنش آبی در مناطق نفت و گاز شیل |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۳ | چین | بالا |
| ۲ | ۴ | آرژانتین | کم و متوسط |
| ۳ | ۱۳ | الجزایر | کم و استفاده اندک آب |
| ۴ | ۱۰ | کانادا | کم و متوسط |
| ۵ | ۲ | آمریکا | متوسط و بالا |
| ۶ | ۸ | مکزیک | بالا |
| ۷ | ۶ | استرالیا | کم |
| ۸ | - | آفریقای جنوبی | بالا |
| ۹ | ۱ | روسیه | کم |
| ۱۰ | ۱۴ | برزیل | کم |
| ۱۱ | ۷ | ونزوئلا | کم |
| ۱۲ | ۲۰ | هلند | کم و متوسط |
| ۱۳ | - | فرانسه | کم و متوسط |
| ۱۴ | - | اکراین | کم و متوسط |
| ۱۵ | ۵ | لیبی | کم و استفاده اندک آب |
| ۱۶ | ۹ | پاکستان | خیلی بالا |
| ۱۷ | ۱۶ | مصر | کم و استفاده اندک آب |
| ۱۸ | ۱۷ | هند | بالا |
| ۱۹ | ۱۸ | پاراگوئه | متوسط و بالا |
| ۲۰ | ۱۲ | کلمبیا | کم |
| - | ۱۱ | اندونزی | کم |
| - | ۱۵ | ترکیه | متوسط و بالا |
| - | ۱۹ | مغولستان | خیلی بالا |

مأخذ: مؤسسه منابع جهان .(۲۰۱۴).

- هشت کشور از ۲۰ کشور با بیشترین ذخایر نفت شیل در معرض خطر خشکسالی و یا تنش آبی قرار دارند (شامل چین، لیبی، مکزیک، پاکستان، الجزایر، مصر، هند و مغولستان).
- هشت کشور از ۲۰ کشوری که بیشترین ذخایر گاز شیل جهان را دارند، در معرض خطر خشکسالی و یا تنش آبی قرار دارند (این کشورها عبارتند از: چین، الجزایر، مکزیک، آفریقای جنوبی، لیبی، پاکستان، مصر و هند).

بنابراین، شرکت‌های بین‌المللی در حال توسعه شیل، به احتمال زیاد با چالش جدی در دسترسی به آب شیرین در بسیاری از نقاط جهان مواجه خواهند شد. چنین چالش‌های مهمی، تعامل راهبردی مدیریت پایدار آب در سطوح محلی و منطقه‌ای را با دشواری مواجه می‌سازد که خود این امر می‌تواند مانعی جدی در برابر توسعه استخراج از منابع نفت و گاز شیل در جهان محسوب شود.

### ۶. اقتصاد سیاسی توسعه صنعت نفت و گاز شیل

از دیر باز کشورهای صنعتی که با رشد تدریجی تقاضای انرژی به‌ویژه انرژی‌های فسیلی و محدودیت رو به اتمام بودن ذخایر هیدروکربوری مواجه بودند، برای تأمین انرژی مورد نیاز خود اقدام به واردات نفت، گاز و فرآورده‌های نفتی از تولیدکنندگان اصلی و سنتی (روسیه، خاورمیانه و شمال و غرب آفریقا) می‌کردند؛ اما در پی وقوع شوک نفتی ابتدای دهه ۷۰ میلادی و بروز تنش‌های سیاسی و ریسک‌های ژئوپلتیکی و افزایش ناگهانی قیمت نفت و تحمل هزینه‌های فراوان توسط مصرف‌کنندگان، اقتصادهای صنعتی اقدام به بازنگری در راهبردهای انرژی خود کردند. در چنین شرایطی راهبردهای مختلفی از قبیل مدیریت تقاضا، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های جایگزین مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش تولید نفت و گاز از ذخایر داخلی، سرمایه‌گذاری برای توسعه میادین و افزایش تولید نفت و گاز در کشورهای دیگر دارنده ذخایر قابل توجه، به منظور کاهش وابستگی به منابع نفت تولیدکنندگان سنتی از سوی اقتصادهای صنعتی در دستور کار قرار گرفت.[1] این موضوع سبب توسعه صنایعی مانند صنعت شیل شد.

بر اساس آمارهای موجود، تاکنون حدود ۴۰ درصد از ذخایر متعارف نفت جهان، بهره‌برداری شده است. میزان ذخایر متعارف باقیمانده حدود ۱۷۰۰ میلیارد بشکه بوده که ۴۸ درصد آن در منطقه خاورمیانه قرار دارد. آمریکای جنوبی و آمریکای لاتین، آمریکای شمالی، اروپا و اوراسیا، آفریقا و آسیا پاسفیک نیز به ترتیب با ۱۹، ۱۳/۸، ۹/۱، ۷/۵ و ۲/۵ درصد ذخایر متعارف جهان در جایگاه‌های بعدی قرار دارند.

1. Verastr .(2012), P 16.

با در نظر گرفتن منابع نامتعارف، ترتیب و آرایش ذخایر نفت جهان دستخوش تغییراتی خواهد شد؛ به طوری‌که از مجموع ۱/۹ هزار میلیارد بشکه ذخایر نفتی جهان، قاره آمریکا با بیش از ۶۸۳ میلیارد بشکه (۳۴ درصد) در رتبه دوم جهان و درست پس از خاورمیانه (۴۰ درصد) قرار خواهد گرفت. اروپای شرقی و اوراسیا (۲۳ درصد)، آفریقا (۱۵ درصد) و آسیا پاسفیک (۳/۰ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

کارشناسان بر این باورند که در صورت ادامه روند سرمایه‌گذاری در زمینه توسعه و بهره‌برداری از منابع نفتی نامتعارف، حوزه آمریکای شمالی که در حال حاضر به لحاظ تولید در مقایسه با مناطق دیگر پیشگام است، به قطب تولید نفت جهان تبدیل خواهد شد. بی‌شک افزایش میزان ذخایر نفت کشورهایی مانند آمریکا، کانادا، استرالیا، چین، کشورهای اروپایی و برزیل در کنار روسیه و خاورمیانه تغییراتی اساسی در ترکیب بازیگران اصلی بازار جهانی نفت و موازنه کنونی قدرت تولیدکنندگان سنتی نظیر اوپک و روسیه در مقابل اقتصادهای توسعه‌یافته مصرف‌کننده و اقتصادهای نوظهور به وجود خواهد آورد که آثار و پیامدهای ژئوپلتیکی بسیاری در پی خواهد داشت.

در رتبه‌بندی جدید ذخایر نفت، موقعیت ویژه آمریکا به‌عنوان برترین اقتصاد جهان تا سال ۲۰۳۵، دومین اقتصاد جهان در افق ۲۰۵۰ و یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی جهان در آینده که در پی انقلاب نفت‌های نامتعارف، از منابع نفتی قابل برداشت قابل ملاحظه‌ای در آینده برخوردار خواهد شد، تأثیر به‌سزایی در تأمین امنیت انرژی این کشور خواهد داشت. همچنین، با نگاهی به ترکیب مناطق برتر دارای ذخایر نفتی جهان، به‌روشنی مشخص می‌شود که زیرمجموعه حوزه آتلانتیک یا کشورهای متمایل به آمریکا، حدود نیمی از ذخایر نفت جهان را در اختیار دارند. بنابراین، انقلاب منابع نفتی نامتعارف می‌تواند با تأمین بخش قابل توجهی از نفت خام مورد نیاز کشورها به ایفای نقش تعیین‌کننده آمریکا و هم‌پیمانانش در مدیریت بازار جهانی نفت خام و ساز و کار حاکم بر آن در دهه‌های آتی بیانجامد.[۱]

۱. قاسمیان .(۱۳۹۲)، ص ۱۶.

اهمیت تغییر موازنه قدرت در بازار جهانی نفت هنگامی بیشتر می‌شود که به انحصار فعلی دانش فنی به‌منظور توسعه و بهره‌برداری از منابع نفتی نامتعارف توسط شرکت‌های آمریکایی توجه ویژه شود. بنابراین، توسعه منابع نفتی نامتعارف در حوزه آتلانتیک و کشورهای هم سو با ایالات متحده آمریکا با آهنگ سریع‌تری رشد خواهد کرد و کشورهایی مانند استرالیا، کانادا و عربستان که هم‌سویی بیشتری با مواضع آمریکا دارند، در مقایسه با روسیه و چین و کشورهای دیگر مستقل راه آسان‌تری برای توسعه و بهره‌برداری از منابع نامتعارف خود در پیش دارند. این عوامل مخاطرات ژئوپلتیک در جهان را افزایش خواهد داد و کشورهای سنتی تولیدکننده نفت خام را در معرض رقابت شدید قرار خواهد داد. در مقابل، مشتریان نفتی با عرضه‌کنندگان بیشتری روبه‌رو خواهند شد و امکان تنوع در سبد نفتی خود خواهند داشت. هرچند که این امر سبب امنیت بیشتر عرضه انرژی در جهان خواهد شد، اما تولیدکنندگان سنتی نفت را در معرض خطر از دست دادن بازار و مشتریان خود قرار داده و آنان را به رقابت با یکدیگر برای حفظ بازار و یافتن مشتریان جدید سوق خواهد داد.

**۷. نتیجه‌گیری و ارائه توصیه‌های سیاستی**

نیاز روز افزون به انرژی در جهان، تمایل کشورها به سرمایه‌گذاری در انرژی‌های جایگزین را افزایش داده است. در همین راستا، توسعه صنعت نفت و گاز شیل و رقابت آن با منابع سنتی، توجه بسیاری از فعالان و کارشناسان حوزه نفت را در دهه اخیر به سمت این صنعت معطوف کرده است. افزایش منابع نفت و گاز جهان با کشف و امکان بهره‌برداری از منابع نامتعارف به افزایش اطمینان نسبت به تأمین امنیت انرژی جهان منجر شده است، اما از سوی دیگر، امکان برداشت از این منابع سبب تغییر در آرایش قدرت بازیگران حوزه انرژی در جهان شده، به گونه‌ای که قدرت تولیدکنندگان سنتی مانند اوپک بر بازار جهانی نفت و گاز و نقش تعیین‌کننده آنها در تعیین قیمت جهانی کاهش یافته و رقابت در میان اعضا برای حفظ بازارها و یافتن مشتریان جدید شدت یافته است. آمریکا از بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی جهان با تولید نفت و گاز شیل علاوه بر تأمین نیاز داخلی خود در آینده قادر به صادرات محصولات نفتی خواهد بود و چین یکی دیگر از بزرگترین مصرف‌کنندگان محصولات نفتی، اصلی‌ترین دارنده ذخایر گاز شیل در جهان به شمار می‌رود که همین امر به تغییر چینش

تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی‌های فسیلی در دنیا منجر خواهد شد که می‌تواند مخاطرات ژئوپلتیکی به همراه داشته باشد.

از سوی دیگر، گسترش این صنعت با چالش‌های جدی نظیر آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش دسترسی به منابع آب شیرین و افزایش احتمال وقوع زلزله همراه است که این عوامل گسترش این صنعت را با تردیدهایی همراه ساخته است. محدودیت دسترسی به آب شیرین می‌تواند به مانعی جدی برای توسعه سریع صنعت شیل تبدیل شود. استفاده از اطلاعات نقشه چاه‌ها و قنات‌های در معرض خطر کمبود آب که توسط سازمان منابع جهانی تهیه شده، برای ارزیابی میزان آب در دسترس این صنعت، به ذینفعان در سراسر جهان کمک می‌کند تا از این طریق ریسک تجاری ناشی گسترش کسب و کار خود را کاهش داده و تعامل مناسبی با متقاضیان دیگر آب در این مناطق داشته باشند.

ایران، به‌عنوان یکی از کشورهای تولیدکننده نفت می‌بایست نگاه عمیق و منطقی به جریان شیل در دنیا داشته باشد تا بتواند بر این اساس، جریان آینده انرژی در دنیا را به درستی پیش‌بینی کرده و برای آن برنامه‌ریزی نماید. در این مقاله تلاش شد تا با معرفی صنعت نفت و گاز شیل، فرصت‌ها و چالش‌های پیش‌روی این صنعت مورد بحث قرار گیرد تا اطلاعات جامعی را در اختیار سیاستگذاران و فعالان این حوزه قرار گیرد.

## منابع

- گروه بین‌المللی ره شهر .(پاییز ۱۳۹۲). چالش فراروی ایران در عرصه انرژی: توسعه بهره‌برداری از منابع نفت و گاز شیل. شماره ۱۴۲.
- قاسمیان، سلیمان .(۱۳۹۲). انقلاب منابع نفتی نامتعارف و تغییر الگوی ژئوپلتیک نفت. ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز. شماره ۱۰۳.
- BP Statistical Review of World Energy. (2014).
- Cane, R.F. (2009). The Origin & Information of Oil Shale. In The Fu Yen, Chilingar , George v. Oil Shale , Amsterdam: Elsevier .p. 56.
- Frank Verastr .(2012). The Role of Unconventional Oil and Gas: A New Paradigm for Energy. Center of Stategic and International Studies.
- Griswold, Eliza .(2012). The Fracturing of Pennsylvania. New York Times.
- IEA .(2014). World Energy Outlook.
- IEA .(June 2013). Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources.
- IEA .(April 2015). Annual Energy Outlook 2015 with Projection to 2040.
- Louw, S.j, Addison, j. Seaton, ed. (2009). Studies of the Scottish Oil Shale Industry. Vol.1 History of the Industry, Working Conditions, and Mineralogy of Scottish and Green River Formation Shales, Final Report of Energy (PDF), Institute of Medicine.
- Moody, Richard .(2007). UK Oil and Gas Shales- Definitions and Distribution in Time and Space. History of Hydrocarbon Use in The UK, Weymouth: Geological Society of Londen.
- OPEC .(June 2015). Monthly Oil Report.
- OPEC .(April 2013). Monthly Oil Report.
- Paul Regig, Tianyiluo, and Jonathan N.Proctor .(2015). Global Shale Gas Development: Water Availability and Business Risks. World Resources Institute (WRI).
- Vanderbruck, Tobias. (2015). Current Oil Prices Opportunities. Available at: www.oil-price.net.