

چشم‌انداز نفت ایالات متحده آمریکا،
منابع و مصارف، پیشرفت‌های فنی
و سرمایه‌گذاری

کد موضوعی: ۳۱۰

شماره مسلسل: ۱۲۸۸۰

اسفندماه ۱۳۹۱

دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن

به نام خدا

فهرست مطالب

چکیده	۱
مقدمه	۱
۱. پیش‌بینی مصرف انواع انرژی اولیه ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵	۲
۲. پیش‌بینی روند شدت و سرانه مصرف انرژی ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵	۵
۳. بررسی روند تولید و مصرف نفت خام ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۲۰۳۵-۲۰۰۵	۶
۴. کشورهای عمده صادرکننده نفت به ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۱	۱۱
۵. منابع تولید نفت ایالات متحده طی سال‌های ۲۰۳۵-۲۰۱۰	۱۳
۶. منابع غیرمتعارف نفتی و گازی	۱۵
۷. بررسی وضعیت ذخایر «نفت شیل» و برداشت از آنها در جهان	۲۳
۸. ذخایر «گاز رُسی» و وضعیت کنونی برداشت از آنها در کشورهای مختلف جهان	۲۶
نتیجه‌گیری	۳۲
منابع و مأخذ	۳۲



چشم‌انداز نفت ایالات متحده آمریکا، منابع و مصارف، پیشرفت‌های فنی و سرمایه‌گذاری

چکیده

آخرین برآوردهای منتشر شده توسط اداره انرژی ایالات متحده آمریکا^۱ نشان می‌دهد که تولید و مصرف نفت این کشور در سال ۲۰۳۵ به ترتیب حدود ۱۲/۸۵ و ۲۰/۸ میلیون بشکه در روز خواهد بود. این کشور در حال حاضر حدود ۴۹ درصد از نفت مصرفی خود را از طریق واردات تأمین می‌کند، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد این عدد در سال ۲۰۳۵ به ۳۶ درصد کاهش می‌یابد. جایگزینی نفت با دیگر حامل‌های انرژی از جمله گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر و برداشت از ذخایر غیرمتعارف نفتی از جمله عوامل اصلی کاهش واردات نفت این کشور در سال‌های آینده به‌شمار می‌روند. لازم به ذکر است که در سال‌های اخیر با افزایش قیمت انرژی و استفاده از انرژی‌های نو، امکان افزایش تأمین انرژی برای این کشور با استفاده از ذخایر غیرمتعارف^۲ به‌وجود آمده است. ذخایر «گاز رُسی»^۳ و «نفت شیل»^۴ از جمله مهمترین و بزرگ‌ترین ذخایر غیرمتعارف انرژی جهان هستند که با افزایش قیمت نفت، برداشت از این ذخایر نیز اقتصادی شده است. این گزارش به بررسی تولید و مصرف انواع حامل‌های انرژی (به‌خصوص نفت) در ایالات متحده آمریکا پرداخته و در پایان درباره مخازن نفتی غیرمتعارف در این کشور بحث کرده است.

مقدمه

امروزه منابع فسیلی مهمترین منابع تأمین انرژی به‌شمار می‌روند، به‌طوری که نفت خام ۳۵ درصد و گاز طبیعی ۲۱ درصد انرژی دنیا را تأمین می‌کند.^۵ ایالات متحده آمریکا بزرگ‌ترین مصرف‌کننده و سومین تولیدکننده نفت خام دنیاست و در سال‌های اخیر با انجام اقدامات مختلف، سعی کرده است تا میزان وابستگی خود به واردات نفت را کاهش دهد، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و گاز

1. Energy Information Administration (EIA)
2. Unconventional Reserves
3. Gas Shale
4. Oil Shale
5. International Energy Agency (IEA)

طبیعی به جای نفت، کاهش شدت و مصرف سرانه انرژی و برداشت از ذخایر غیرمتعارف نفتی، از جمله اقداماتی است که اگرچه مصرف نفت را کاهش و تولید داخلی آن را افزایش خواهد داد، اما برای حذف واردات نفت خام از سبد انرژی آمریکا کافی نیست. این گزارش به دنبال روشن کردن این موضوع است که وضعیت تولید و مصرف انرژی‌های فسیلی و ذخایر غیرمتعارف این کشور چگونه است.

۱. پیش‌بینی مصرف انواع انرژی اولیه^۱ ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵

کل مصرف انرژی اولیه ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۰، حدود $98/2$ Quadrillion^۲ BTU^۳ بوده است، که با ۱۰ درصد رشد به 107 QBTU در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید، اما سهم سوخت‌های فسیلی از کل انرژی اولیه مصرفی ایالات متحده در سال ۲۰۱۰، به میزان ۸۳ درصد بوده که در اثر افزایش مصرف سوخت‌های زیستی^۴، به ۷۷ درصد در سال ۲۰۳۵ کاهش خواهد یافت.^۵ در نمودار ۱ (صفحه بعد) سهم انواع سوخت‌های فسیلی و غیرفسیلی از مصرف انرژی اولیه در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۳۵ با یکدیگر مقایسه شده است.

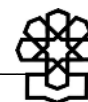
۱. انرژی اولیه نوعی از انرژی قابل دسترس در طبیعت است که از آن برای فرآیندهای تبدیل و تغییر استفاده می‌کنند. انرژی اولیه می‌تواند تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر باشد.

۲. بی‌تی‌یو (BTU)، (British Thermal Unit) واحد گرمایی انگلستان، مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای $54/253$ گرم آب به میزان یک درجه فارنهایت است و معادل ۲۵۲ کالری می‌باشد.

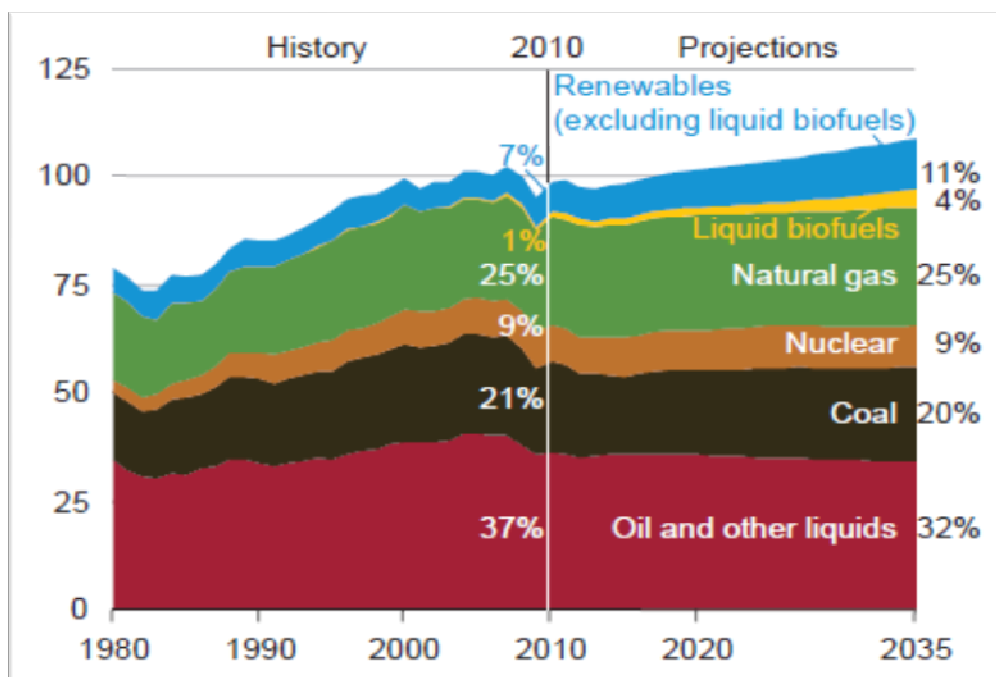
۳. کوادرلیون معادل 10^{15} ، که پس از این در متن به اختصار Q نشان داده شده است.

4. Biofuel

5. Annual Energy Outlook 2012 (AEO, 2012)



نمودار ۱. پیش‌بینی مصرف انواع انرژی اولیه ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵



Source: AEO, 2012.

همان‌طور که نمودار ۱ نشان می‌دهد بیشترین شیب مصرف (که معادل با نرخ رشد آن است) به انرژی‌های تجدیدپذیر مربوط می‌شود. میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به‌علاوه سوخت‌های زیستی با رشد سالیانه ۲/۸ درصد از ۶/۷۲ QBTU در سال ۲۰۱۰ به ۱۱/۲۸ QBTU در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید و سهم آن از کل مصرف انرژی اولیه از ۷ درصد به ۱۱ درصد افزایش خواهد یافت. انرژی‌های تجدیدپذیر مانند برق آبی، زمین‌گرمایی، ضایعات شهری جامد، زیست‌توده،^۱ انرژی خورشیدی و بادی در بخش‌های مختلف خانگی، تجاری، صنعتی و تولید برق استفاده می‌شوند. در کنار اینها، استفاده از اتانول نیز به‌عنوان یک سوخت تجدیدپذیر برای مخلوط کردن با بنزین گسترش پیدا کرده و با رشد متوسط سالیانه ۲۷ درصد به ۱/۲۲ QBTU در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید.

علاوه بر سوخت‌های تجدیدپذیر، مصرف گاز طبیعی نیز با نرخ برابر با نرخ رشد مصرف انرژی اولیه، افزایش پیدا خواهد کرد، به‌طوری که سهم ۲۵ درصدی آن از مصرف انرژی اولیه طی دوره قابل پیش‌بینی ثابت خواهد ماند. براساس پیش‌بینی‌ها، مصرف گاز طبیعی با رشد سالیانه ۰/۴ درصد از ۲۴/۱ تریلیون فوت‌مکعب در سال ۲۰۱۰ به ۲۶/۵ تریلیون فوت‌مکعب در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید. سهم زیادی از این افزایش تقاضا مربوط به بخش تولید برق خواهد بود، به‌طوری که براساس پیش‌بینی‌ها، استفاده از گاز طبیعی برای تولید الکتریسیته از ۷/۴ تریلیون فوت‌مکعب در

سال ۲۰۱۰ به ۸/۹۱ تریلیون فوت‌مکعب در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید.^۱ پس از انرژی‌های تجدیدپذیر و گاز طبیعی، سوخت هسته‌ای نیز با نرخ رشد سالانه ۰/۴ درصدی در سال، سهم ۹ درصدی خود از مصرف انرژی اولیه را حفظ خواهد کرد.

مصرف زغال‌سنگ طی دوره بررسی شده کاهش خواهد یافت، به طوری که سهم زغال‌سنگ از مصرف انرژی اولیه از ۲۱ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۲۰ درصد در سال ۲۰۳۵ کاهش خواهد یافت، که دلیل آن پایین بودن نرخ رشد مصرف این حامل انرژی نسبت به دیگر حامل‌های انرژی در ایالات متحده آمریکا است. میزان مصرف زغال‌سنگ در این کشور با نرخ رشد سالانه ۰/۱ درصد از ۲۰/۸ QBTU در سال ۲۰۱۰ به ۲۲/۱ QBTU در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید.

جدول ۱. پیش‌بینی مصرف انواع حامل‌های انرژی در ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵

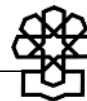
(Quadrillion BTU (10¹⁵BTU))

سال	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰	۲۰۳۵	نرخ رشد سالانه (درصد)
LPG	۲/۷۵	۲/۷۳	۲/۷۵	۲/۵۱	۲/۷۴	۲/۸۶	۲/۸۸	۲/۸۶	-۰/۲۰
اتانول ۸۵ (درصد)	ناچیز	ناچیز	ناچیز	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۳	۰/۷۲	۱/۲۲	۲۷/۰۰
نفت	۳۴/۵	۳۳/۸۴	۳۳/۹۷	۳۴/۲۱	۳۳/۵	۳۳/۴۱	۳۳/۴	۳۳/۶۲	-۰/۴
گاز طبیعی	۲۴/۷۱	۲۵/۱	۲۵/۸	۲۶	۲۶/۰۷	۲۶/۱۴	۲۶/۷۲	۲۷/۲۶	۰/۴۰
زغال‌سنگ	۲۰/۷۶	۲۰/۶	۱۹/۴۶	۱۷/۸	۱۸/۷۳	۲۰/۰۲	۲۰/۵۹	۲۱/۱۵	۰/۱۰
سوخت هسته‌ای	۸/۴۴	۸/۲۲	۸/۵	۸/۶۸	۹/۲۸	۹/۶	۹/۵۶	۹/۲۸	۰/۴۰
تجدیدپذیر	۶/۷۲	۷/۵۲	۷/۱۳	۷/۹۲	۸/۵۷	۹/۳۸	۱۰/۲۱	۱۱/۲۸	۲/۸۰
واردات برق	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴	-۲/۹۰
کل	۹۸/۱۶	۹۸/۳۵	۹۷/۹۳	۹۷/۴۳	۹۹/۳۲	۱۰۱/۹۹	۱۰۴/۳۲	۱۰۶/۹۳	

Source: EIA.

طبق نمودار ۱ برخلاف دیگر حامل‌های انرژی، مصرف نفت و فرآورده‌های آن، تا سال ۲۰۳۵ شیب نزولی را طی خواهد کرد، به طوری که سهم آن از مصرف انرژی اولیه ایالات متحده از ۳۷ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۳۲ درصد در سال ۲۰۳۵ کاهش خواهد یافت. مصرف این حامل انرژی با نرخ کاهشی متوسط ۰/۴- درصد در سال، از ۳۴/۵ QBTU به ۳۳/۶۲ QBTU در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید. همان‌طور که اشاره شد از دلایل مهم این کاهش، افزایش مصرف سوخت‌های

۱. بخشی از این رشد مربوط به جایگزینی ۳ گیگاوات از ظرفیت نیروگاهی برپایه زغال‌سنگ با سوخت گاز طبیعی، در دوره پیش‌بینی شده است.

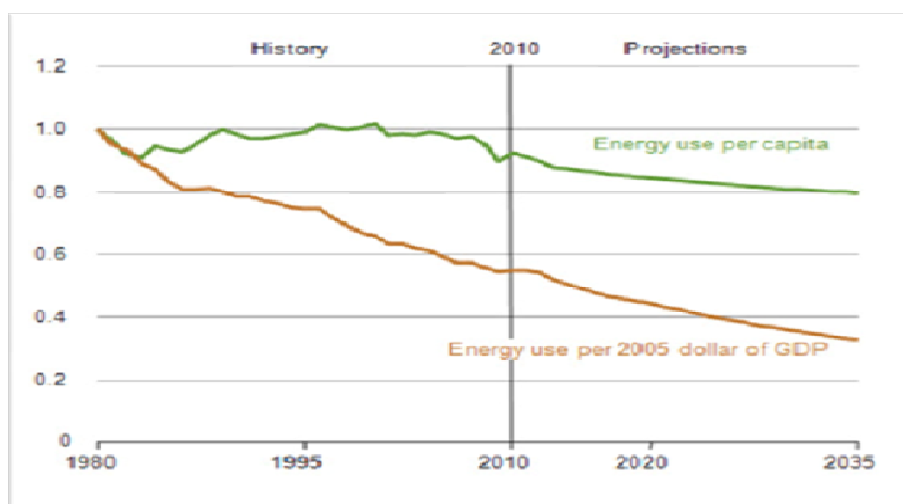


تجدیدپذیر و گاز طبیعی است. دلایل کاهش مصرف نفت و فرآورده‌های آن در ادامه به‌طور مفصل‌تر بحث شده است.

۲. پیش‌بینی روند شدت و سرانه مصرف انرژی ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵

جمعیت هر کشوری به‌دلیل تأثیر آن بر تقاضای سفر، مسکن، کالاهای مصرفی و خدمات، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان مصرف انرژی آن کشور دارد. مصرف سرانه انرژی آمریکا طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۷ تقریباً ثابت و از سال ۲۰۰۷ رو به کاهش بوده است. پیش‌بینی می‌شود این کاهش به‌دلیل تأثیر بهبود وضعیت اقتصادی و پیشرفت در بازدهی انرژی ادامه پیدا کند. براساس پیش‌بینی‌ها، کل جمعیت آمریکا طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۵، با ۲۵ درصد رشد، از ۳۱۳ میلیون نفر در سال ۲۰۱۱ به ۳۹۰ میلیون نفر در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید. لذا اگر قرار بود مصرف سرانه انرژی در این کشور طی ۱۵ سال آینده ثابت باشد، با این رشد جمعیت، مقدار مصرف انرژی آن نیز با ۲۵ درصد رشد مواجه می‌شد، اما نرخ رشد مصرف انرژی اولیه این کشور در ۱۵ سال آینده فقط ۱۰ درصد پیش‌بینی شده است، لذا مصرف سرانه انرژی ایالات متحده طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۵، سالیانه حدود ۰/۵ درصد کاهش خواهد داشت.^۱ نمودار ۲ روند نزولی مصرف سرانه انرژی ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۸۰، را ۲۰۳۵ نشان می‌دهد.

نمودار ۲. پیش‌بینی مصرف سرانه و شدت مصرف انرژی^۲ ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵



Source: AEO, 2012.

1. Annual Energy Outlook 2012, (AEO 2012).

۲. شدت مصرف انرژی = میزان انرژی مصرف شده / تولید ناخالص داخلی

علاوه بر شاخص مصرف سرانه، شاخص مهم دیگری به نام شدت انرژی نیز بر میزان مصرف انرژی در یک کشور اثرگذار است. شدت مصرف انرژی بیانگر میزان انرژی مصرف شده در برابر هر واحد ارزش تولید به دست آمده است و به عوامل مختلفی بستگی دارد.

جدول ۲. پیش‌بینی تغییرات شدت انرژی ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵

(دلار پایه سال ۲۰۰۵/هزار بی تی یو)

شرح	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰	۲۰۳۵
شدت انرژی	۷/۴۶	۷/۵	۷/۳۸	۷/۲۶	۷	۶/۷۹	۶/۵۸	۵/۹۳	۵/۳۲	۴/۸	۴/۳۶

Source: EIA.

همان‌طور که در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود در دوره پیش‌بینی شده، شدت مصرف انرژی کاهش ۴۱/۵ درصدی را تجربه خواهد کرد. بخش اعظم این کاهش، به دلیل انتقال سیستم فعالیت اقتصادی از بخش‌های تولیدی به بخش‌های خدماتی است.^۱ عوامل دیگری که کاهش شدت انرژی طی این سال‌ها را تشدید می‌کنند عبارتند از: افزایش قیمت انرژی، استفاده از صنایع با شدت انرژی کمتر در بخش تولید و انتخاب سیاست‌هایی که بازدهی انرژی را ارتقا دهند. یکی از تبعات مهم کاهش مصرف سرانه و شدت انرژی، کاهش رشد مصرف انرژی و به تبع آن کاهش رشد مصرف نفت در سال‌های آینده است. ضمن اینکه ایالات متحده آمریکا اقداماتی جهت تنوع‌بخشی به سبد انرژی خود نیز انجام داده که تأثیر بیشتری در کاهش رشد مصرف نفت دارد. در ادامه برخی از این اقدامات به اختصار بررسی شده است.

۳. بررسی روند تولید و مصرف نفت خام ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۳۵

به همراه رشد اقتصادی، افزایش بازدهی مصرف انرژی، رشد تولید داخلی نفت و ادامه روند استفاده از مایعات غیرنفتی، سهم واردات نفت در تأمین انرژی اولیه ایالات متحده آمریکا کاهش خواهد یافت. براساس گزارش اداره انرژی آمریکا، واردات نفت که در سال ۲۰۰۵ حدود ۶۰ درصد از مصرف نفت در این کشور را به خود اختصاص داده بود که در سال ۲۰۱۰ به ۴۹ درصد کاهش یافته و طبق پیش‌بینی‌ها، سهم آن از کل مصرف نفت آمریکا به ۳۶ درصد در سال ۲۰۳۵ کاهش

۱. بخش خدمات در ازای ارزش افزوده برابر، انرژی کمتری نسبت به بخش‌های تولیدی مصرف می‌کنند. با افزایش ارزش افزوده حاصله از بخش خدمات در ایالات متحده، سهم بخش صنعت از ۳۰ درصد در سال ۱۹۹۱ به ۲۲ درصد در سال ۲۰۱۰ کاهش یافته و براساس پیش‌بینی‌ها، طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۵ بین ۲۲/۱ و ۲۲/۴ درصد نوسان خواهد داشت و پس از آن با شیئی ملایم به ۲۰/۷ درصد در سال ۲۰۳۵ کاهش خواهد یافت.



خواهد یافت. یکی از مهمترین دلایل کاهش وابستگی ایالات متحده به واردات نفت خام، افزایش تولید داخلی آن است.^۱ جدول ۳ میزان تولید نفت خام در سال‌های گذشته و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۳۵ را نشان می‌دهد. تولید نفت خام آمریکا از ۸/۲ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۰۵ به ۹/۷ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۱۰ افزایش یافته است و در بیست سال آینده توسعه چشمگیر مخازن نفتی به هم فشرده^۲ در کنار توسعه رو به رشد منابع دریایی خلیج مکزیک، تولید داخلی نفت آمریکا را به ۱۲/۸۵ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۳۵ خواهد رساند.

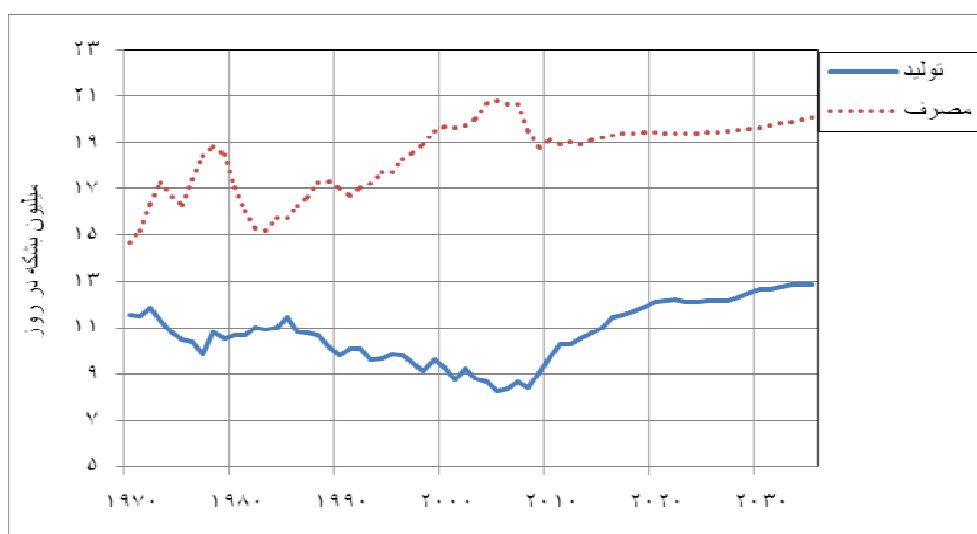
جدول ۳. پیش‌بینی میزان تولید و مصرف نفت و سوخت‌های

فسیلی مایع در ایالات متحده آمریکا (میلیون بشکه در روز)

سال	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰	۲۰۳۵
تولید	۹/۷۰	۱۰/۲۸	۱۰/۳۱	۱۰/۵۱	۱۰/۷۶	۱۱/۰۰	۱۲/۱۱	۱۲/۱۶	۱۲/۶۷	۱۲/۸۵
مصرف	۱۹/۱۵	۱۸/۹۳	۱۹/۰۴	۱۸/۹۴	۱۹/۱۱	۱۹/۲۰	۱۹/۴۵	۱۹/۴۶	۱۹/۶۸	۲۰/۰۸

Source: Ibid.

نمودار ۳. مقایسه میزان تولید و مصرف نفت ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۳۵



Source: Ibid.

همان‌طور که گفته شد نرخ رشد مصرف نفت تا سال ۲۰۳۵ کاهش پیدا خواهد کرد. مطابق نمودار ۳ مصرف نفت از سال ۱۹۸۳ تا سال ۲۰۰۵ با شیب تندی افزایش یافته، به طوری که طی ۱۷ سال از ۱۵/۲۳ به ۲۰/۸۰ میلیون بشکه در روز رسید، اما از سال ۲۰۰۵ با کاهش مواجه شده و به

1. AEO, 2012.

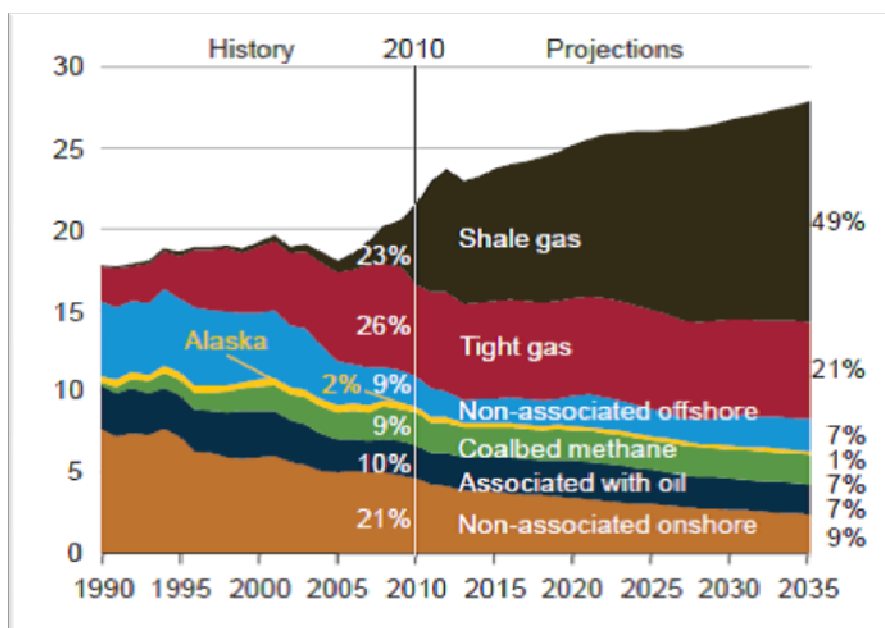
2. Tight Oil

۱۹/۱۵ میلیون بشکه در روز رسیده است و پس از آن نیز پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۵ با ۴/۸ درصد رشد به ۲۰/۰۸ میلیون بشکه در روز افزایش یابد. از جمله دلایل کاهش نرخ رشد مصرف نفت طی دوره قابل پیش‌بینی، علاوه بر کاهش مصرف سرانه و شدت مصرف انرژی می‌توان به افزایش مصرف گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش تولید برق و بخش حمل‌ونقل اشاره کرد. در ادامه میزان مصرف گاز طبیعی، انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش تولید برق و دلایل افزایش مصرف آنها بررسی شده است.

استفاده از گاز طبیعی در ایالات متحده در سال‌های اخیر افزایش یافته است، به طوری که پیش‌بینی شده است مصرف آن از ۲۴/۱ تریلیون فوت‌مکعب در سال ۲۰۱۰ به ۲۶/۶ تریلیون فوت‌مکعب در سال ۲۰۳۵ افزایش یابد. یکی از عوامل اصلی آن، رشد تولید گاز طبیعی با استفاده از پیشرفت‌های اخیر فناوری و حفاری در شیل‌های گازی با غلظت بالا است که ارزش حرارتی بیشتری در مقایسه با گاز طبیعی خشک دارد.

نمودار ۴. پیش‌بینی میزان برداشت گاز طبیعی از منابع مختلف

در ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۳۵ (تریلیون فوت‌مکعب)



Source: AEO, 2012.

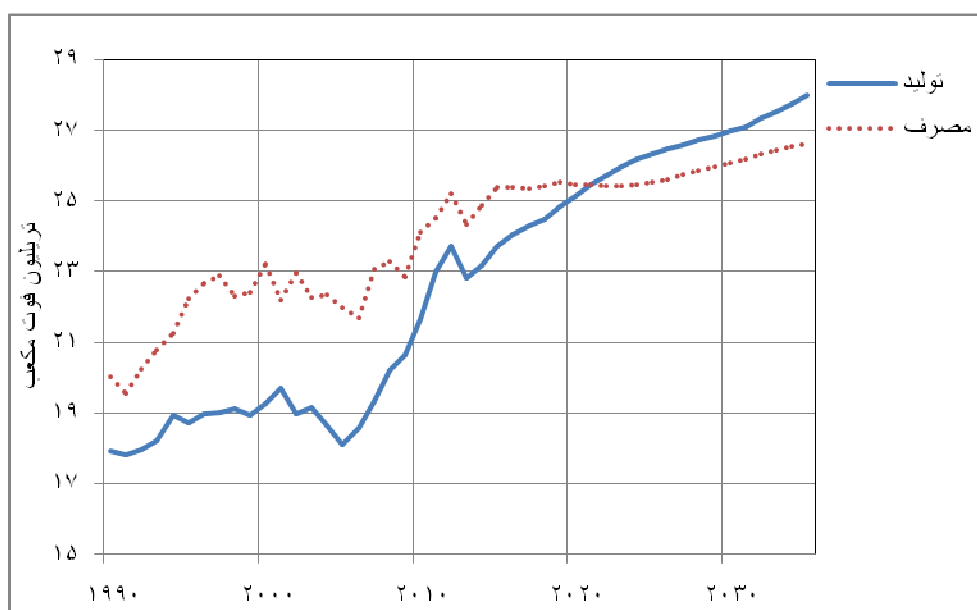
نمودار بالا نشان می‌دهد که تولید گاز طبیعی تا سال ۲۰۳۵ افزایش می‌یابد و دلیل عمده آن نیز افزایش تولید از شیل‌های گازی است. تولید گاز طبیعی از این‌گونه منابع از ۵ تریلیون فوت‌مکعب در



سال ۲۰۱۰ (۲۳ درصد کل تولید گاز خشک در آمریکا) به ۱۳/۶ تریلیون فوت مکعب در سال ۲۰۳۵ (۴۹ درصد کل تولید گاز خشک آمریکا) افزایش خواهد یافت.

تولید بالای گاز طبیعی، قیمت نسبی پایین در مقایسه با دیگر بازارهای جهانی، خط لوله‌های وارداتی به این کشور را کاهش و خط لوله‌های صادراتی را افزایش داده است.

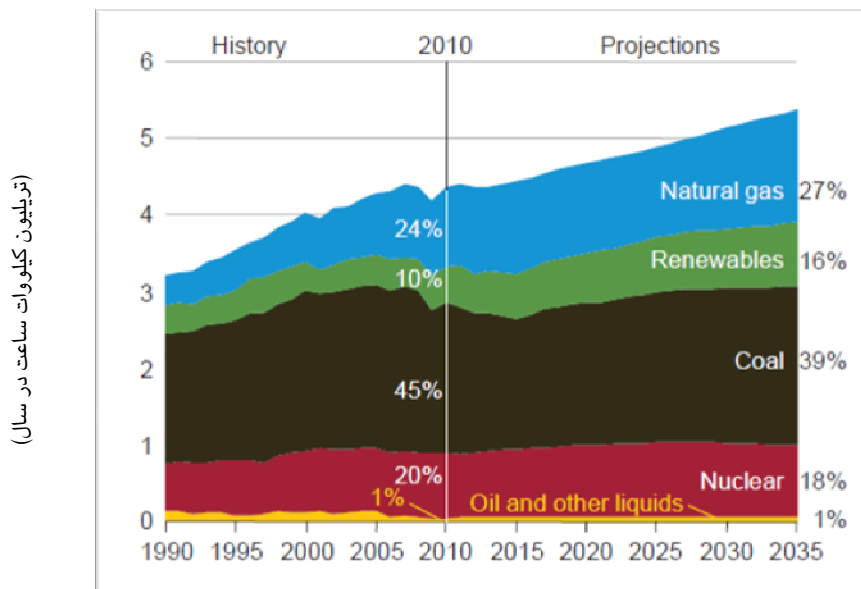
نمودار ۵. مقایسه میزان تولید و مصرف گاز طبیعی ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۳۵



Source: EIA.

همان‌طور که در نمودار ۵ دیده می‌شود همراه با افزایش تولید گاز طبیعی در ایالات متحده، مصرف این حامل انرژی نیز افزایش می‌یابد. اما شیب تولید گاز طبیعی از شیب مصرف آن بیشتر است و لذا این کشور در سال ۲۰۲۱ تبدیل به صادرکننده گاز طبیعی خواهد شد. یکی از بخش‌های عمده مصرف‌کننده گاز طبیعی در ایالات متحده آمریکا، بخش تولید برق است. پیش‌بینی می‌شود سهم گاز طبیعی در تولید برق از ۲۴ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۲۷ درصد در سال ۲۰۳۵ افزایش یابد.

نمودار ۶. مقایسه سهم حامل‌های انرژی مختلف در تولید برق تا سال ۲۰۳۵



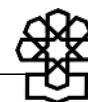
Source: AEO, 2012.

همان‌طور که در نمودار ۶ مشاهده می‌شود، استفاده از سوخت‌های هسته‌ای و زغال‌سنگ به‌عنوان انرژی اولیه در تولید برق کاهش و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و گاز طبیعی در تولید برق افزایش یافته است.

پیش‌تر ذکر شد که رشد مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر یکی دیگر از عوامل کاهش نرخ رشد مصرف نفت در این کشور است. به‌عنوان مثال استفاده از سلول‌های فتوولتائیک و توربین‌های بادی و انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق به‌ترتیب سالیانه حدود ۱۶/۴، ۲/۸ و ۴/۵ درصد رشد خواهد داشت و همان‌طور که در نمودار ۶ دیده می‌شود سهم کل انرژی‌های تجدیدپذیر از تولید برق از ۱۰ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۱۶ درصد در سال ۲۰۳۵ افزایش خواهد یافت. لازم به‌ذکر است که طی دو دهه اخیر علاوه بر بخش تولید برق، استفاده از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر از قبیل انرژی بادی، خورشیدی، زیست‌توده،^۱ زمین‌گرمایی، سوخت‌های زیستی (نظیر اتانول) در بخش‌های صنعتی، تجاری، خانگی و حمل‌ونقل نیز رشد چشمگیری داشته است و پیش‌بینی می‌شود در دو دهه آینده نیز مصرف انواع انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یابد. به‌عنوان مثال استفاده از اتانول در شبکه حمل‌ونقل ایالات متحده با ۲۷ درصد رشد سالیانه، از ۲ تریلیون بی‌تی‌یو در سال ۲۰۱۱ به ۸۰۰ تریلیون بی‌تی‌یو در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید. همچنین سهم زیست‌توده در تأمین انرژی بخش صنعت در این کشور از ۷/۷ درصد در سال ۲۰۱۱ به ۱۳/۵ درصد در سال ۲۰۳۵ افزایش یابد.^۲

1. Biomass

2. EIA



با توجه به مطالبی که گفته شد، ایالات متحده تلاش می‌کند سهم واردات نفت از عرضه انرژی اولیه خود را تا حد امکان کاهش دهد و تاکنون نیز از میزان وابستگی خود به واردات نفت کاسته است. اما همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد با انجام تمام اقدامات پیش‌بینی شده، این کشور تنها خواهد توانست سهم واردات نفت خود را از ۴۹ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۳۶ درصد در سال ۲۰۳۵ برساند. بنابراین حداقل تا سال ۲۰۳۵ از واردات نفت بی‌نیاز نخواهد شد.

۴. کشورهای عمده صادرکننده نفت به ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۱

آمریکا بیش از ۸۰ درصد نفت خود را از کشورهای آنگولا، عراق، نیجریه، عربستان سعودی، ونزوئلا، کانادا، کلمبیا و مکزیک وارد می‌کند. در سال ۲۰۱۱ کانادا و عربستان سعودی به ترتیب ۲۴ و ۱۳ درصد نفت آمریکا را تأمین کرده‌اند، در جدول ۴ جزئیات مربوط به واردات نفت آمریکا طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۱ ارائه شده است.

جدول ۴. واردات نفت خام ایالات متحده آمریکا از کشورهای مختلف طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۱

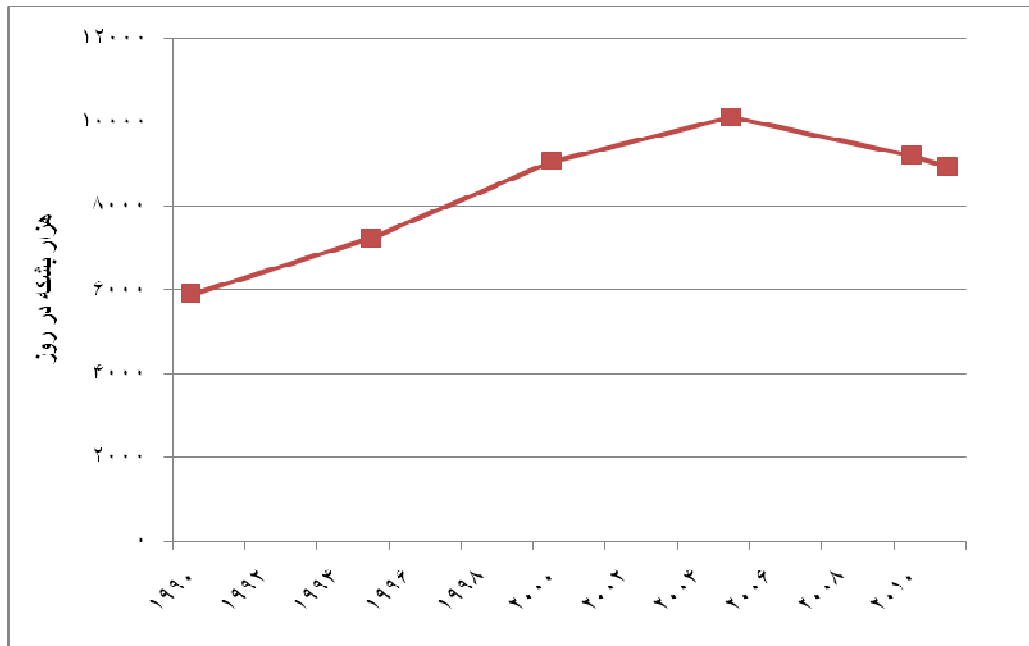
(هزار بشکه در روز)

سال	کل	اوپک	آنگولا	عراق	نیجریه	عربستان سعودی	ونزوئلا	غیراوپک	کانادا	کلمبیا	مکزیک
۱۹۹۰	۵۸۹۴	۳۵۱۴	۲۳۶	۵۱۴	۷۸۴	۱۱۹۵	۶۶۶	۲۳۸۰	۶۴۳	۱۴۰	۶۸۹
۱۹۹۵	۷۲۳۰	۳۵۷۰	۳۶۰	۰	۶۲۱	۱۲۶۰	۱۱۵۱	۳۶۶۰	۱۰۴۰	۲۰۷	۱۰۲۷
۲۰۰۰	۹۰۷۱	۴۵۴۴	۲۹۵	۶۲۰	۸۷۵	۱۵۲۳	۱۲۲۳	۴۵۲۶	۱۳۴۸	۳۱۸	۱۳۱۳
۲۰۰۵	۱۰۱۲۶	۴۸۱۶	۴۵۶	۵۲۷	۱۰۷۷	۱۴۴۵	۱۲۴۱	۵۳۱۰	۱۶۳۳	۱۵۶	۱۵۵۶
۲۰۱۰	۹۲۱۳	۴۵۵۳	۳۸۳	۴۱۵	۹۸۳	۱۰۸۲	۹۱۲	۴۶۶۱	۱۹۷۰	۳۳۸	۱۱۵۲
۲۰۱۱	۸۹۳۵	۴۲۰۹	۳۳۵	۴۵۹	۷۶۷	۱۱۸۶	۸۶۸	۴۷۲۷	۲۲۲۵	۳۹۷	۱۱۰۲

Source: Ibid.

در حال حاضر ایالات متحده آمریکا حدود ۶۰ درصد نفت وارداتی خود را از کشورهای عضو اوپک وارد می‌کند. مطابق نمودار ۷، طی سال‌های ۲۰۰۵ - ۲۰۱۱، علاوه بر اینکه نقش واردات در تأمین انرژی اولیه مصرفی آمریکا کم‌رنگ شده است، با افزایش تولید داخلی نفت این کشور میزان واردات نفت آن کشور نیز کاهش یافته است. به طوری که مقدار آن از ۱۰/۱۲ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۰۵ به ۸/۹۳ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۱۱ رسیده است.

نمودار ۷. روند واردات نفت ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۱

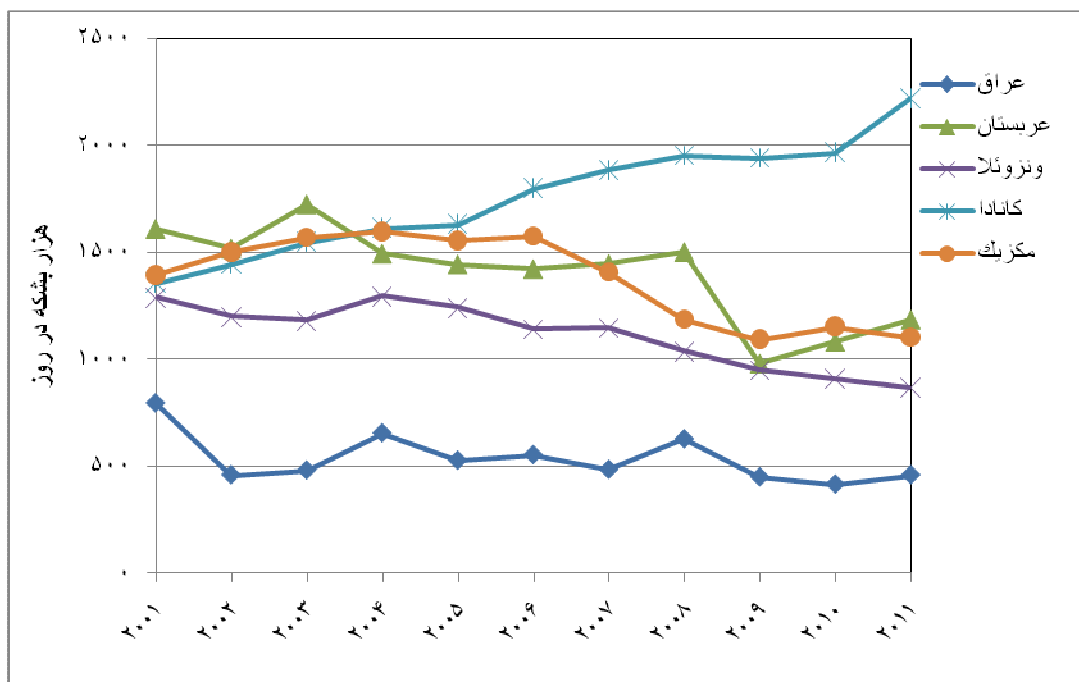


Source: IEA.

لازم به ذکر است که ایالات متحده علاوه بر کاهش واردات نفت خود، سعی بر آن داشته است که سهم کشورهای عضو اوپک را نیز در واردات نفت خود کاهش دهد و به سهم کشورهای غیراوپک بیافزاید. به طوری که این کشور در سال ۲۰۱۱ نسبت به سال ۲۰۱۰، واردات نفت از اوپک و خلیج فارس را به ترتیب ۳۴۴ و ۱۵۵ هزار بشکه در روز کاهش داده، در حالی که در مدت مشابه، واردات از کشورهای غیراوپک را حدود ۷۰ هزار بشکه افزایش داده است. در سال‌های اخیر نقش کشور کانادا در واردات نفت ایالات متحده بسیار پررنگ شده است. به طور مثال، واردات نفت ایالات متحده از این کشور از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۱۱، علیرغم کاهش میزان کل واردات نفت، حدود ۶۰۰ هزار بشکه افزایش داشته، اما واردات نفت از کشور عربستان از سال ۲۰۰۵ - ۲۰۱۰ حدود ۵۰۰ هزار بشکه کاهش داشته و فقط در سال ۲۰۱۱، نسبت به سال ۲۰۱۰ حدود ۱۰۰ هزار بشکه افزایش داشته است. نمودار ۸ روند واردات نفت ایالات متحده آمریکا طی ده سال گذشته، از پنج کشور صادرکننده عمده به این کشور را نشان می‌دهد.



نمودار ۸. روند صادرات نفت پنج کشور صادرکننده عمده نفت به آمریکا طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۱



Source: Ibid.

در نمودار ۸ مشاهده می‌شود که ایالات متحده آمریکا میزان واردات نفت از کشورهای مختلف عضو اوپک را کاهش داده و در این میان فقط واردات نفت آن از کشور کانادا افزایش پیدا کرده است.

۵. منابع تولید نفت ایالات متحده طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۵

پیش‌تر ذکر شد ایالات متحده آمریکا تولید نفت داخلی خود را افزایش داده است و سعی دارد سهم واردات نفت را به حداقل ممکن برساند، اما در این میان باید دید که چگونه و از چه منابعی می‌تواند تولید داخلی خود را افزایش دهد. جدول ۵ منابع عمده تأمین‌کننده نفت ایالات متحده را طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۵ و پیش‌بینی میزان تولید از این منابع را نشان می‌دهد.

جدول ۵. پیش‌بینی تولید نفت ایالات متحده از منابع مختلف تا سال ۲۰۳۵

(میلیون بشکه در روز)

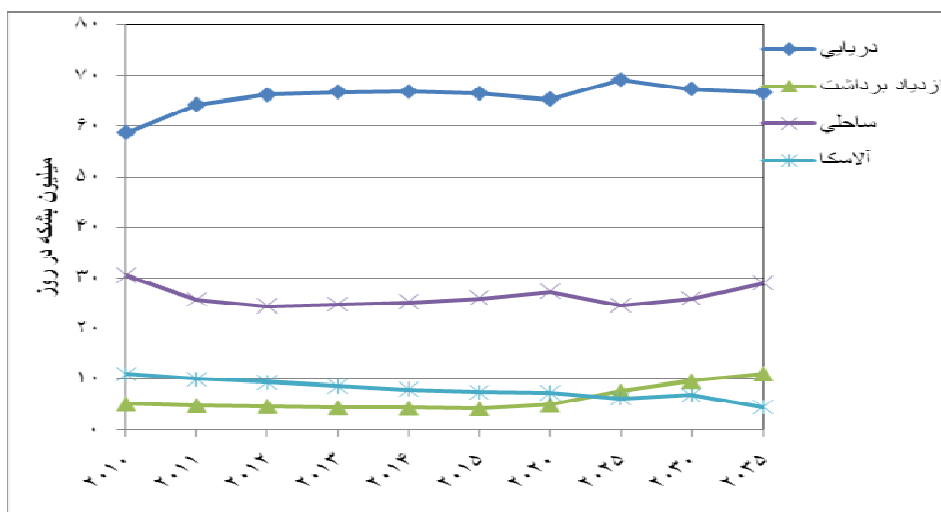
تولید	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰	۲۰۳۵
دریایی ^(۱)	۳/۲۱	۳/۵۸	۳/۸	۳/۹۴	۴/۰۱	۴/۰۹	۴/۳۸	۴/۴۳	۴/۲۹	۳/۹۹
مخازن نفتی فشرده ^(۲)	۰/۳۷	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۲	۱/۲۹	۱/۳۲	۱/۲۳
ازدیاد برداشت ^(۳)	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۶۶
ساحلی ^(۴)	۱/۶۷	۱/۴۳	۱/۴	۱/۴۶	۱/۵۱	۱/۶	۱/۸۳	۱/۵۷	۱/۶۵	۱/۷۴
آلاسکا ^(۵)	۰/۶	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۴	۰/۴۴	۰/۲۷
منابع دیگر	۲/۵۵	۲/۷۵	۲/۸۱	۲/۸۱	۲/۸۴	۲/۸۶	۲/۸۵	۲/۶۶	۲/۳۶	۲/۱
کل	۵/۴۷	۵/۵۷	۵/۷۴	۵/۹	۶	۶/۱۵	۶/۷	۶/۴	۶/۳۷	۵/۹۹

Source: Ibid.

- (1) Onshore
- (2) Tight Oil
- (3) Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery
- (4) Offshore
- (5) Alaska

عمده‌ترین منبع تأمین نفت ایالات متحده آمریکا، منابع دریایی آن هستند که در حال حاضر حدود ۵۸ درصد تولید داخلی آمریکا را تشکیل می‌دهد و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد سهم این منابع تا سال ۲۰۳۵ به حدود ۶۷ درصد افزایش یابد. یکی دیگر از منابع مهم نفتی ایالات متحده که حدود ۳۰ درصد تولید داخلی نفت آن را تشکیل می‌دهد، منابع ساحلی هستند. همان‌طور که در نمودار ۸ نیز مشاهده می‌شود برداشت نفت از منابع ساحلی روند تقریباً ثابتی را تا سال ۲۰۳۵ طی خواهد کرد و سهم این منابع از تولید نفت ایالات متحده تقریباً ثابت خواهد ماند.

نمودار ۹. پیش‌بینی روند تولید نفت از منابع مختلف ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۵



Source: Ibid.



یکی دیگر از منابع تولید نفت در ایالات متحده، استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت با استفاده از تزریق گاز دی‌اکسیدکربن است که در سال ۲۰۱۱، حدود ۵ درصد از کل تولید نفت آمریکا را به خود اختصاص داده است. همان‌طور که در نمودار نیز دیده می‌شود، ازدیاد برداشت از منابع نفتی با استفاده از تزریق دی‌اکسیدکربن، طی ۲۵ سال آینده روند رو به رشدی خواهد داشت، به طوری که سهم آن از تولید داخلی نفت ایالات متحده به ۱۱ درصد در سال ۲۰۳۵ افزایش خواهد یافت.

یکی از اقدامات مختلفی که ایالات متحده آمریکا برای افزایش تولید داخلی نفت خود انجام داده است، برداشت نفت از شیل‌های نفتی است که با افزایش قیمت نفت، برداشت از این مخازن اقتصادی شده است. اداره انرژی آمریکا پیش‌بینی کرده است که برداشت نفت از شیل‌های نفتی، ۲ درصد از کل تولید نفت داخلی این کشور در سال ۲۰۳۵ را تأمین خواهد کرد.

به دلیل اهمیت خاصی که منابع غیرمتعارف نفت و گاز در تأمین انرژی آینده جهان و به خصوص ایالات متحده آمریکا دارد، قسمت بعد درباره «شیل نفتی» و «گاز رُسی»، تاریخچه پیدایش و روش‌های استخراج هر یک از آنها و نیز ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی برداشت از این ذخایر مورد توجه قرار می‌گیرد.

۶. منابع غیرمتعارف نفتی و گازی

طی سال‌های اخیر کشف و بهره‌برداری از منابع هیدروکربوری غیرمتعارف به‌عنوان یک منبع جدید انرژی مورد توجه قرار گرفته است. در مخازن گازی متعارف،^۱ سنگ مخزن دارای فضاهای بزرگ و پیوسته‌ای است که حرکت سیال در درون سنگ مخزن و همچنین به درون چاه را ممکن می‌سازند، اما در مخازن گازی نامتعارف^۲ تراوایی^۳ سنگ مخزن به حدی پایین است که دسترسی به گاز را دشوار می‌کند.^۴ مخازن نفتی نامتعارف،^۵ شیل‌های نفتی سنگ منشأ غنی از منابع آلی هستند که به اندازه کافی عمر کرده‌اند اما هیچگاه در عمق و دمای مناسب برای تبدیل شدن به نفت خام^۶

1. Conventional Gas Reservoirs
2. Unconventional Gas Reservoirs
3. Permeability

(تراوایی، توانایی محیط متخلخل (دارای خلل و فرج) برای انتقال سیال است، واحد آن داریسی (Darcy) است که نام یک دانشمند فرانسوی می‌باشد).

۴. مسعود نعمتی و محسن کرمانشاه، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۹۵، آبان‌ماه ۱۳۹۱، اقدامات صورت گرفته جهت توسعه شیل‌های گازی در ایران و جهان.

5. Un Conventional Oil Reservoirs
6. Crude oil

قرار نگرفته‌اند. (در حقیقت شیل‌های نفتی سنگ‌های منشأ نابالغ^۱ هستند). در کل در مخازن نامتعارف برخلاف مخازن مرسوم، سنگ منشأ^۲، سنگ مخزن^۳ و پوش سنگ^۴ یکی است.^۵

۱-۶. «نفت شیل»

«نفت شیل»، لفظی کلی است برای آن دسته از سنگ‌های رسوبی دانه‌ریز به‌کار برده می‌شود که به اندازه کافی مواد آلی غنی (کروژن)^۶ در آنها وجود داشته باشد. «نفت شیل» نه سنگ است و نه نفت، بلکه خاک آهک‌داری است که شامل ترکیباتی مانند کروژن می‌باشد. زمانی که این ماده تا دمای بالا حرارت داده می‌شود، ماده نفت مانند از آن به‌دست می‌آید که می‌توان آن را استفاده کرد. کروژن درون «نفت شیل» می‌تواند در طی فرآیند موسوم به پیرولیز^۷ به نفت تبدیل شود. در جریان گرما کافت «نفت شیل»، آن را ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد بدون هوا حرارت می‌دهند، تا کروژن درون آن تبدیل به نفت شود. «نفت شیل» بین دوره‌های کامبرین^۸ و ترشیاری^۹ در قسمت‌های مختلف زمین به‌طور نامنظم پراکنده شده است. «نفت شیل» و زغال‌سنگ تفاوت ظاهری چندانی با یکدیگر ندارند و فقط در نسبت اتمی H و C با یکدیگر متفاوتند.^{۱۰}

1. Sub-mature Source Rock

(سنگ منشأ بالقوه یا نابالغ، سنگ‌های رسوبی نابالغی گفته می‌شود که توانایی تولید هیدروکربن را در صورت رسیدن به درجه بلوغ دارد).

2. Reservoir Rock

(سنگ مخزن، انباشته شدن مواد هیدروکربنی در سنگ‌هایی که توانایی نگهداری و انتقال سیال را داشته باشد، این سنگ‌ها را سنگ مخزن می‌نامند).

3. Cap rock

(پوش سنگ، سنگ‌های ناتروا که از خروج نفت و گاز از داخل سنگ مخزن جلوگیری می‌کند).

4. Source Rock

(سنگ منشأ، سنگ دانه‌ریز غنی از مواد آلی که توانایی تولید هیدروکربن دارد)

5. Hamblin, A.P. (2006) The "Shalegas" Concept in Canada: a Preliminary inventory of Possibilities, Open File 5384. Geological Survey of Canada. 108 PP. (همیلین)

6. Kerogen

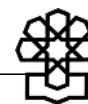
(کروژن به مواد آلی موجود در شیل‌های نفتی اطلاق می‌شود که با بالا رفتن دما، نفت تولید می‌کند این مواد آلی پراکنده در سنگ‌های رسوبی در حلال‌های آلی غیرقابل حل هستند. نسبت توانایی سنگ منشأ برای تولید نفت به وسیله کیفیت (بالا یا پایین بودن درصد هیدروژن) و کمیت (مقدار کربن آلی) کروژن مشخص می‌شود.

7. Proylis (پیرولیز یا گرماکافت؛ فرآیندی است که طی آن مواد در اثر گرما تجزیه شده و به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شوند)

8. Cambrian (اولین دوره زمانی زمین‌شناسی، در مرحله پیدایش زیست)

9. Tertiary (دوره زمین‌شناسی عهد حاضر)

۱۰. هادی هزاره‌ای و عبدالرضا مقدسی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵۰، مهرماه ۱۳۸۷، بررسی روش‌های جدید استخراج و تولید نفت از سنگ‌های نفتی.



۲-۶. «گاز رُسی»

«گاز رُسی» (شیل گازدار)، گاز طبیعی حاصل از سنگ رسوبی است که مهاجرت نکرده و در داخل سنگ باقی مانده است. 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 و بیتومن^۱ وجود دارد. استفاده از ذخایر نامتعارف هیدروکربوری نیازمند پیشرفت تکنولوژی و صرف هزینه بیشتری نسبت به ذخایر متعارف است، به همین دلیل تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

۳-۶. مروری بر استفاده از «نفت شیل» و «گاز رُسی»

در دوران باستان از «نفت شیل» نیز همانند زغال سنگ به طور مستقیم استفاده می‌شد.^۲ استفاده مجدد از «نفت شیل» به سال ۱۸۵۰ در اسکاتلند برمی‌گردد. بین سال‌های ۱۸۸۱ - ۱۹۵۵ حدود ۱ تا ۴ میلیون تن «نفت شیل» از معادن اسکاتلند استخراج می‌شد، سپس تولید آن کاهش یافت و در سال ۱۹۶۲ متوقف شد. ایالات متحده آمریکا اولین کشوری است که بهره‌برداری از «نفت شیل» را در مقیاس وسیع آغاز کرد. تا قبل از سال ۱۹۰۰ که با کشفیات گسترده‌ای در زمینه «نفت شیل» همراه بود، هیچ‌گونه کار جدی در استفاده از این منابع انجام نشد و فقط منابع مذکور به عنوان منبع سوخت اضطراری برای استفاده نیروی دریایی به کار می‌رفت. با به کار افتادن اتومبیل و کامیون، تقاضا برای «نفت شیل» به عنوان سوخت افزایش یافت و شرکت‌های زیادی برای بهره‌برداری از منابع «نفت شیل» در گرین ریور^۳ تأسیس شد. محصولات رایجی که از شیل تا آن زمان به دست آمده بود عبارتند از: پارافین، مازوت، نفت چراغ، روغن‌های روان‌کننده، گریس و سولفات آمونیم. پیش از بحران نفت در دهه ۱۹۷۰ که آمریکا را به واردکننده نفت تبدیل کرد، تلاش برای استفاده از منابع «نفت شیل» رو به افزایش بود، اما بعد از گذر از بحران و پایین آمدن دوباره قیمت نفت، تقاضا برای «نفت شیل» دوباره کاهش یافت. در اواخر سال ۲۰۰۵، جرج بوش رئیس‌جمهور آمریکا، اجازه استخراج «نفت شیل» را تحت مالکیت مقامات فدرال در ایالت کلرادو قرار داد. مقامات فدرال در حال حاضر مالک ۷۲ درصد «نفت شیل» شناخته شده آمریکا هستند.^۴

ایالات متحده آمریکا از دهه ۱۹۸۰ سرمایه‌گذاری گسترده‌ای برای پژوهش در خصوص

۱. (به بخشی از مواد آلی پراکنده در سنگ‌های رسوبی که در حلال‌های آلی قابل حل هستند) Bitumen.

۲. مسعود نعمتی و محسن کرمانشاه، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۹۵، آبان‌ماه ۱۳۹۱، اقدامات صورت گرفته جهت توسعه شیل‌های گازی در ایران و جهان.

۳. Green River

۴. هادی هزاره‌ای و عبدالرضا مقدسی، اکتشاف و تولید، شماره ۵۰، مهرماه ۱۳۸۷، بررسی روش‌های جدید استخراج و تولید نفت از سنگ‌های نفتی.

گازهای رُسی انجام داد و در اواخر دهه ۱۹۹۰ نیز تولید از این منابع را آغاز کرد، در حال حاضر تنها تولیدکننده «گاز رُسی» در دنیا کشور آمریکاست. این درحالی است که در سال ۲۰۰۰ «گاز رُسی» سهمی کمتر از یک درصد در تولید گاز آمریکا داشت. با اینکه مدت ۲۰ سال می‌باشد که در آمریکا تولید «گاز رُسی» آغاز شده است، اما این روند از سال ۲۰۰۶ رونق بیشتری یافت و دولت آمریکا با همکاری مؤسسات تحقیقاتی و شرکت‌های آمریکا مبالغ زیادی را صرف تحقیق و توسعه در مورد ساختارهایی با نفوذپذیری پایین کرده و نتایج آن را به‌طور رایگان در اختیار شرکت‌های عملیاتی قرار داده است. مقدار «گاز رُسی» در سال ۲۰۱۰ به ۲۰ درصد افزایش یافت.^۱ در حال حاضر ۲۳ درصد تولید گاز آمریکا را منابع «گاز رُسی» شامل می‌شود. براساس پیش‌بینی دپارتمان انرژی آمریکا (EIA)، در سال ۲۰۳۵ نزدیک به نیمی از تولید گاز طبیعی در آمریکا از محل گاز شیل خواهد بود. اگر فناوری‌های مربوط به شیل نفتی و «گاز رُسی» قابلیت تکثیر و انتقال به سایر نقاط جهان را داشته باشد و بتواند بر چالش‌های پیش‌رو برای توسعه غلبه کند، آنگاه در آینده‌ای نه چندان دور نفت و گاز ارزان‌تر در اختیار مصرف‌کنندگان خواهد بود.

۴-۶. روش‌های استخراج «نفت شیل» و «گاز رُسی»

۴-۶-۱. استخراج «نفت شیل»

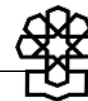
«نفت شیل» به دو صورت معادن سطحی^۲ و معادن درجا^۳ استخراج می‌شود و بعد از عملیات حفاری، شیل نفتی به تأسیسات تقطیر^۴ انتقال می‌یابد.

معادن سطحی: در این روش «نفت شیل» را به‌صورت سنتی از زمین استخراج می‌کنند و پس از انتقال به تأسیسات ویژه فرآیند، آن را تا دمای ۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند. در این ساختمان‌ها «نفت شیل» را با هیدروژن غنی کرده و نفت حاصل را از مواد زائد جدا می‌کنند. در فناوری جدید «نفت شیل» را کمتر حرارت می‌دهند که به‌وسیله اضافه کردن کریستال قیر انجام می‌گیرد. پس از پالایش، شیل باقیمانده را به محل اولیه برده و در آنجا رها می‌کنند. پیشرفت‌ها و آزمایش‌های بیشتری در این‌باره مورد نیاز است تا این روش در مقیاس اقتصادی به‌کار گرفته شود.

معادن درجا: در این روش از فرآیند درجا استفاده می‌شود که شامل حرارت دادن «نفت شیل» در درون زمین با استفاده از حرارت‌دهنده‌های الکتریکی است که درون چاه‌های عمیق، قرار

۱. شرکت مهندسی و ساخت تأسیسات دریایی (گزارش پیامدهای توسعه «گاز رُسی» برای بازار جهانی انرژی)، دی‌ماه ۲۰۱۳.

2. Surface Mining
3. Insitu Mining
4. Retoring



می‌گیرند. حجمی از «نفت شیل» طی یک دوره دو تا سه ساله حرارت داده می‌شود تا درجه حرارت آن به ۶۵۰-۷۰۰ درجه فارنهایت برسد در این دما، نفت از سنگ خود جدا می‌شود. سپس به وسیله چاه‌های نفت آن را استخراج می‌کنند. جهت جلوگیری از اختلاط نفت آزاد شده با سفره‌های آب زیرزمینی شرکت نفت شل^۱ روش جدیدی ارائه می‌کند که در آن از تکنولوژی سردسازی استفاده می‌شود. در این روش، سد یخی بزرگی درون زمین به وجود می‌آید که مانع اختلاط نفت با سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. روش شل هنوز در مقیاس تجاری استفاده نمی‌شود، اما توسط وزارت انرژی ایالات متحده به عنوان یک تکنولوژی خوش‌آئینه مورد نظر قرار گرفته است. روش جایگزینی که کمپانی فورس‌برگ^۲ برای حرارت‌دهی پیشنهاد می‌کند استفاده از رآکتور اتمی به جای حرارت‌دهنده‌های الکتریکی است که باعث کمتر شدن هزینه‌ها و تولید کمتر گازهای گلخانه‌ای می‌شود. این باور وجود دارد که روش مذکور در مقایسه با روش حفاری سطحی از نظر اقتصادی به صرفه‌تر و از نظر زیست‌محیطی نیز به دو جهت اساسی (کنترل آب‌های زیرزمینی حین تولید و جلوگیری از ایجاد مشکلات محیطی زیرسطحی) ایمن‌تر است.^۳

۲-۴-۶. استخراج «گاز رُسی»

به دلیل تراوایی بسیار پایین سنگ مخزن، نرخ طبیعی تولید در چاه‌های مخازن «شیل گازی» بسیار پایین است و مقرون به صرفه نیست. برای افزایش تولید از دو روش حفاری افقی^۴ و شکست هیدرولیک^۵ استفاده می‌شود. این تکنیک‌ها در نیمه اول قرن بیستم ابداع شده و در عملیات شکست هیدرولیکی، آب به همراه مواد شیمیایی خاص و ماسه ویژه^۶ برای کاهش اصطکاک با فشار زیاد به درون چاه تزریق می‌شود، تا با ایجاد شکاف در لایه‌های رسوبی، گاز طبیعی محبوس در آن آزاد و به سمت چاه و تأسیسات جمع‌آوری سرچاهی جریان یابد.^۷

1. Shell Oil Company

(این شرکت نفتی تابع ایالات متحده آمریکا و یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های صنعت نفت در جهان است، یک شرکت نفت چندملیتی با ریشه انگلیسی و هلندی می‌باشد).

2. Forsberg Company

۳. هادی هزاره‌ای و عبدالراضا مقدسی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵، بررسی روش‌های جدید استخراج و تولید نفت از سنگ‌های نفتی.

4. Horizontal Drilling

5. Hydraulic Fracturing

6. Proppant

۷. مسعود نعمتی و محسن کرمانشاه، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۹۵، آبان‌ماه ۱۳۹۱، اقدامات صورت گرفته جهت توسعه شیل‌های گازی در ایران و جهان.

۵-۶. ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی «نفت شیل» و «گاز رُسی»

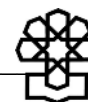
۱-۵-۶. ملاحظات اقتصادی «نفت شیل»

بحث استفاده یا عدم استفاده از «نفت شیل» رابطه تنگاتنگی با قیمت نفت دارد. در صورتی که قیمت هر بشکه نفت کمتر از ۴۰ دلار آمریکا باشد، هزینه تولید نفت حاصل از «نفت شیل» قابل مقایسه با نفت خام نیست و لذا برداشت از این ذخایر غیرمعارف اقتصادی نخواهد بود. اگر قیمت نفت بیشتر از ۴۰ دلار به‌ازای هر بشکه باشد، آنگاه شرکت‌های نفتی شروع به بهره‌برداری از «نفت شیل» خواهند کرد.^۱ با افزایش قیمت نفت در سال‌های اخیر استفاده از «نفت شیل» نیز افزایش یافته است. به‌طور کلی «نفت شیلی» که باید استخراج، انتقال، پالایش و تجزیه شود، حداقل ۴۰ درصد انرژی تولیدی را به‌خود اختصاص می‌دهد. آب نیز به‌منظور اضافه کردن هیدروژن به نفت قبل از انتقال به پالایشگاه مورد نیاز است. سه بشکه آب برای تولید هر بشکه نفت لازم است که در روش درجا این مقدار کاهش می‌یابد.^۲

همان‌طوری که پیش‌تر بیان شد، بزرگ‌ترین ذخیره «نفت شیل» آمریکا در منطقه‌ای در غرب کلرادو یعنی ذخایر «گرین ریور» قرار دارد که منطقه‌ای خشک و بدون آب اضافی (به‌منظور اضافه کردن هیدروژن آب به نفت قبل از انتقال به پالایشگاه) است. «استونی» دارای عظیم‌ترین حوضه‌های «نفت شیل» می‌باشد که به‌طور اقتصادی مورد اکتشاف قرار گرفته است. از سال ۱۹۱۶ تاکنون ۸۷۶ میلیون تن «نفت شیل» از آن استخراج شده است. در طول دهه‌های اخیر که فعالیت اقتصادی استونی افزایش یافته است استخراج از معادن «نفت شیل» نیز افزایش چشمگیری داشته، البته این امر باعث آلودگی زیست‌محیطی نیز شده است. در سال ۲۰۰۵ شرکت شل اعلام کرد که تکنولوژی استخراج درجای این شرکت در قیمت بالای ۳۰ دلار به‌ازای هر بشکه نفت قابل استفاده است. اندازه بحرانی برای ماندگاری «نفت شیل» برابر است با: نسبت انرژی استفاده شده برای تولید نفت به انرژی بازگشتی که به آن EROEI^۲ می‌گویند. برای نمونه «نفت شیل» مقدار کمی EROEI دارد. شرکت شل این نسبت را به میزان سه به یک برای «نفت شیل» گزارش داده که انرژی معادل یک بشکه نفت استفاده شده برای تولید سه بشکه است. همچنین این شرکت در روش جدید خود از حرارت الکتریکی برای ایجاد حرارت ۵۰۰ درجه فارنهایت (۲۴۶°C) زمانی که هنوز نفت درون زمین است استفاده می‌کند این روش معادل نسبت ۵ به ۱ برای استخراج نفت است. مهم‌ترین علل استفاده

۱. هادی هزاره‌ای و عبدالرضا مقدسی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵۰، مهرماه ۱۳۸۷، بررسی روش‌های جدید استخراج و تولید نفت از سنگ‌های نفتی.

۲. همان.



نکردن گسترده از «نفت شیل» عبارتند از:^۱

- پالایش «نفت شیل» با توجه به سنگین‌تر بودن آن در مقایسه با نفت خام، سخت‌تر و پرهزینه‌تر است.

- فراوانی نفت خام در مقایسه با «نفت شیل» باعث شد تا استفاده از نفت خام ترجیح داده شود. البته با کاهش ذخایر نفت خام پیش‌بینی می‌شود تمایل به استفاده از «نفت شیل» افزایش یابد.

- ارزش حرارتی کم «نفت شیل» در مقایسه با نفت خام.

۲-۵-۶. ملاحظات زیست‌محیطی «نفت شیل»

فرآیند پالایش باعث تولید خاکستر و سنگ‌های زائد سرطان‌زا می‌شود، که باید آنها را از بین برد. حدود ۳۰ درصد «نفت شیل» پس از فرآیند منبسط شده که باید دور ریخته شود. انرژی مورد نیاز برای نقل و انتقال، خرد کردن و حرارت دادن مواد و سپس اضافه کردن هیدروژن بسیار زیاد است. همچنین دورریز مطمئن زباله‌ها با وجود حجم بسیار زیاد، هزینه‌بر می‌باشد. این مسائل به همراه هزینه‌های بالای حفظ محیط زیست به این معناست که بهره‌برداری از «نفت شیل» فقط زمانی دارای صرفه اقتصادی است که قیمت نفت بالا باشد و ثابت بماند، اگرچه فرآیند درجا، خصوصاً در روش جدید آن، هزینه‌های خاص زیست‌محیطی را همراه دارد، اما مشکلات زیست‌محیطی با انجام آن کاهش می‌یابد.^۲

۳-۵-۶. ملاحظات اقتصادی «گاز رُسی»

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 مخازن متعارف است، از طرف دیگر توسعه استفاده از «گاز رُسی» شدیداً به نوسانات قیمت و هزینه حساس است. گاهی در یک حوزه هزینه بهره‌برداری از دو چاه تا چندین برابر با یکدیگر متفاوت است.^۳ براساس پیش‌بینی‌های گاز پروم^۴ هزینه‌های سرچاهی تولید «گاز رُسی» بین ۲/۵۴ تا ۴/۲۵ دلار به‌ازای هر میلیون بی‌تی‌یو تغییر می‌کند. در این محاسبات هزینه‌های انتقال به بازار محاسبه نشده است. درحالی که تولید از ذخایر گاز مرسوم سیبری بین ۵۷ سنت تا ۱/۳۱ دلار در هر میلیون بی‌تی‌یو هزینه دارد. البته باید به این نکته توجه کرد که «گاز رُسی» یکی از چالش‌های

۱. همان.

۲. همان.

3. Stevens, P. (2012), The "Shal Gas Revolution": Developments and Changes, Chatham House Briefing Paper, August (2012, استیونس)

۴. شرکت نفت و گاز پروم در بین شرکت‌های گازی، به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده گاز طبیعی و در اختیار داشتن بزرگ‌ترین شبکه انتقال گاز در جهان، جایگاه ویژه‌ای دارد (Gazprom)

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.^۱ از طرف دیگر IEA^۲ هزینه تولید «گاز رُسی» حوزه بارنت^۳ 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 به‌ازای هر هزار فوت‌مکعب برآورد کرده بود که در فوریه ۲۰۱۲ به ۲/۴۶ دلار کاهش داد. مقدار آب مورد نیاز برای تولید «گاز رُسی» ۲ تا ۱۰۰ مترمکعب به‌ازای هر تراژول^۴ انرژی است.

جدول ۶. هزینه تولید گاز سرچاه

(دلار برای هر میلیون BTU)

گاز متعارف	«گاز رُسی»	
۳-۷	۳-۷	آمریکا
۵-۹	۵-۱۰	اروپا
۴-۸	۴-۸	چین
۰-۲ و ۳-۷	۲/۵۴ - ۴/۲۵	روسیه

Source: EIA, 2012.

۴-۵-۶. ملاحظات زیست‌محیطی «گاز رُسی»

چالش‌های زیست‌محیطی یکی از چالش‌های جدی پیش روی توسعه «گاز رُسی» است. گروهی از محققین بر این باورند که با توسعه «گاز رُسی»، آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از زغال‌سنگ کاسته خواهد شد، زیرا 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 کم‌کربن پیش برد.^۵ اما برخی نگرانی‌های زیست‌محیطی از توسعه «گاز رُسی» وجود دارد که به شرح زیر است:

- استخراج «گاز رُسی» نیازمند مصرف انرژی بیشتری در مقایسه با مخازن گازی متعارف است، لذا توسعه آن می‌تواند موجب انتشار بیشتر دی‌اکسیدکربن شود و آثار منفی زیر را داشته باشد:
- تولید و انتشار گاز گلخانه‌ای.
- آلودگی آب‌های زیرزمینی.

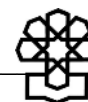
۱. شرکت مهندسی و ساخت تأسیسات دریایی (پیامدهای توسعه، گاز رُسی برای بازار جهانی انرژی)، دی‌ماه ۱۳۹۱.

2. International Energy Agency (آژانس بین‌المللی انرژی)

3. Barnett

۴. هر تراژول معادل ۱۶۳ بشکه نفت خام است.

5. Friends of the Earth (FOE, 2012), Shale Gas: Energy Solution or Fracking Hell?, UK.



- آب بازیافتی از عملیات شکست حاوی موادی از سنگ‌های اطراف آن است که دارای فلزات سنگین، مواد رادیواکتیویته و غیره هستند و نیاز به تصفیه و دفع مناسب دارد.

- افزایش احتمال زمین‌لرزه یکی دیگر از آثار سوءتوسعه حوزه‌های «گاز رُسی» می‌باشد، که مهمترین دلیل آن تزریق حجم زیادی آب و ایجاد شکاف و ترک‌های فراوان در زیرزمین می‌شود.

۷. بررسی وضعیت ذخایر «نفت شیل» و برداشت از آنها در جهان

تخمین ذخایر مربوط به «نفت شیل» به دلایل زیر بسیار پیچیده است:

- مقدار کروژن موجود در ذخایر «نفت شیل» مختلف به‌طور چشمگیری متفاوت است.
 - برخی از کشورها خبر از وجود ذخایر کروژن را می‌دهند، اما میزان قابل بهره‌برداری آن را محاسبه نمی‌کنند.
 - ذخایر به مقدار منابعی اطلاق می‌شود که صرفه اقتصادی داشته باشد و بتوان آن را با استفاده از تکنولوژی روز استخراج کرد.
 - تکنولوژی‌های بهره‌برداری از «نفت شیل» هنوز درحال توسعه هستند، بنابراین، میزان ذخایر قابل استخراج را می‌توان حدس زد. کل نفت شیل جهان حدوداً ۲/۶ تا ۲/۸ تریلیون بشکه، برابر ۴۱۱ گیگاتن تخمین زده شده است.^۱ که همه آن قابل بازیافت نیست.
- جدول ۷ میزان ذخایر «نفت شیل»، کروژن و حجم ذخایر احتمالی در نقاط مختلف جهان و خاورمیانه را نشان می‌دهد.

جدول ۷. میزان ذخایر «نفت شیل»، کروژن و ذخایر احتمالی کروژن (میلیون تن)

مکان	ذخایر «نفت شیل»	ذخایر کروژن	ذخایر احتمالی کروژن
آفریقا	۱۲۳۷۳	۵۰۰	۵۹۰۰
آسیا	۲۰۵۷۰	۱۱۰۰	-
استرالیا	۳۲۴۰۰	۱۷۲۵	۳۶۹۸۵
اروپا	۴۱۸۰	۳۰۰	۶۵۰۰
خاورمیانه	۳۵۳۶۰	۴۶۰۰	۲۴۶۰۰
آمریکای شمالی	۳۳۴۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰
آمریکای جنوبی	-	۴۰۰	۹۶۰۰

مأخذ: مجله اکتشاف و تولید، شماره ۵۰ مهرماه ۱۳۸۷.

۱. هادی هزاره‌ای و عبدالرضا مقدسی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵۰، مهرماه ۱۳۸۷، بررسی روش‌های جدید استخراج و تولید نفت از سنگ‌های نفتی.

میزان تولید «نفت شیل» در طول تاریخ سیر یکسانی نداشته است و همواره با توجه به شرایط سیاسی - اقتصادی با افزایش یا کاهش مواجه بوده است. طبق آمار فقط در ۳۳ کشور جهان این منابع از لحاظ اقتصادی قابل استخراج هستند که بزرگ‌ترین ذخایر شیل نفتی جهان در ایالات متحده آمریکا قرار دارد. مجموع این منابع در کشورهای آمریکا، برزیل و روسیه ۸۶ درصد منابع «نفت شیل» دنیا را تشکیل می‌دهد. جزئیات بیشتر مربوط به این‌گونه منابع در مناطق مختلف دنیا به شرح زیر است:^۱

آفریقا

قسمت اعظم ذخایر «نفت شیل» این قاره در مورکو (۲۶۰ میلیون تن) و جنوب آفریقا (۷۳ میلیون تن) است.

آسیا

قسمت عمده ذخایر «نفت شیل» در چین (۲۶۰۰ میلیون تن)، تایلند (۱۸/۶ میلیارد تن) و ترکیه (۱/۶ میلیارد تن) قرار دارد. چین در حال حاضر ۶۰,۰۰۰ تن «نفت شیل» در سال تولید می‌کند.

استرالیا

استرالیا جزء معدود مناطقی است که در حال تولید کروژن از «نفت شیل» بوده و بین سال‌های ۲۰۰۱ - ۲۰۰۳ به میزان ۷۰۰,۰۰۰ بشکه نفت از این‌گونه منابع تولید کرده است.

اروپا

بیشتر ذخایر «نفت شیل» این قاره در آلبانی (۶ میلیارد تن)، استونی (۱/۵ میلیارد تن) و اوکراین (۲/۷ میلیارد تن) قرار دارد. استونی در حال حاضر «نفت شیل» تولید می‌کند. حدود ۸۰ درصد از «نفت شیل» تولید شده در استونی برای تولید برق نیروگاه‌های حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خاورمیانه

عمده ذخایر «نفت شیل» این منطقه در فلسطین اشغالی (اسرائیل) (۱۵/۴ میلیارد تن) و اردن (۴۰ میلیارد تن) واقع شده است. «نفت شیل» موجود در کشور اردن دارای کیفیت بسیار بالایی است.

۱. هادی هزاره‌ای و عبدالرضا مقدسی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵۰، مهرماه ۱۳۸۷، بررسی روش‌های جدید استخراج و تولید نفت از سنگ‌های نفتی.



آمریکای شمالی

ایالات متحده آمریکا با ۲/۸ تا ۳/۳ تریلیون تن ذخایر «نفت شیل»، صاحب بزرگ‌ترین ذخایر «نفت شیل» جهان است. ذخایر «نفت شیل» در آمریکا ۶۲ درصد ذخایر جهان را تشکیل می‌دهد. مقادیر «نفت شیل» آمریکا ۱/۵ تا ۱/۸ تریلیون بشکه نفت تخمین زده شده است که همه آن قابل استفاده نیست. نصف این مقدار تقریباً سه برابر ذخایر ثابت شده عربستان سعودی است. در آمریکا دو منبع عمده وجود دارد: منابع شرق آمریکا موسوم به «می سی سی پی» دونین^۱ با مساحتی بالغ بر ۲۵۰,۰۰۰ مایل مربع (۶۵۰,۰۰۰ کیلومترمربع) و منابع غرب در گرین ریور کلرادو در اوتا و مینگ از غنی‌ترین منابع «نفت شیل» در سطح جهان هستند.

آمریکای جنوبی

برزیل درحال حاضر مقادیر کمی «نفت شیل» تولید می‌کند. تولید آن در سال ۲۰۰۰ در حدود ۲۰۰,۰۰۰ تن بوده است.

در جدول ۸ بزرگ‌ترین مخازن شیل‌های نفتی در کشورهای مختلف دنیا را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، بزرگ‌ترین منابع نفتی روسیه مذکور عمدتاً در سیبری غربی وجود دارد.

جدول ۸. بزرگ‌ترین مخازن شیل‌های نفتی دنیا

کشور	مخزن	دوره زمین‌شناسی	منابع شیل نفتی درجا (میلیون تن)	منابع شیل نفتی درجا (میلیون بشکه)
آمریکا	Green River Formation	ترشیری	۲۱۳,۰۰۰	۱,۴۶۶,۰۰۰
آمریکا	Phosphoria Formation	پرمین	۳۵,۷۵۵	۲۵۰,۰۰۰
آمریکا	Western Devonian	دونین	۲۷,۰۰۰	۱۸۹,۰۰۰
آمریکا	Heath Formation	کربونیفر زیرین	۲۵,۵۷۸	۱۸۰,۰۰۰
روسیه	Olenyok Basin	کامبرین	۲۴,۰۰۰	۱۶۷,۷۱۵
کنگو	Congo	-	۱۴,۳۱۰	۱۰۰,۰۰۰
برزیل	Irati Formation	پرمین	۱۱,۴۴۸	۸۰,۰۰۰
ایتالیا	Sicily	-	۹,۰۱۵	۶۳,۰۰۰
مراکش	Tarfaya	کرتاسه	۶,۴۴۸	۴۲,۱۴۵
روسیه	Volga Basian	-	۴,۵۰۰	۳۱,۴۴۷
روسیه	Baltik Ohl Shale Basian, St. Petersburg	اردوئیسین	۳,۶۰۰	۱۵۷,۲۵
روسیه	Vychegodsk Basian	ژوراسیک	۲,۸۰۰	۱۹,۵۸۰

1. Devonian-mississippian shale (دونین: یکی از دوره‌های زمین‌شناسی)

کشور	مخزن	دوره زمین‌شناسی	منابع شیل نفتی درجا (میلیون تن)	منابع شیل نفتی درجا (میلیون بشکه)
اردن	Wadi Maghar	کرتاسه	۲,۱۴۹	۱۴,۰۰۹
استونی	Dictyonema Shale	اردوئیسین	۱,۹۰۰	۱۲,۳۸۶
مراکش	Timahdit	کرتاسه	۱,۷۱۹	۱۱,۲۳۶
کانادا	Collingwood Shale	اردوئیسین	۱,۷۱۷	۱۲,۳۰۰
ایتالیا	Italy	تریاس	۱,۴۳۱	۱۰,۰۰۰

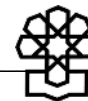
مأخذ: ترازنامه هیدروکربوری، ۱۳۸۹، صفحه ۳۸.

۸. ذخایر «گاز رُسی» و وضعیت کنونی برداشت از آنها در کشورهای مختلف جهان

درحال حاضر ۴۷ حوزه^۱ «گاز رُسی» در ۳۲ کشور جهان کشف شده است.^۲ براساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی آذر سال ۲۰۱۳، میزان ذخایر قابل استحصال گاز نامتعارف ۳۳۱ تریلیون مترمکعب بوده است. میزان گازهای رُسی، مخازن فشرده گاز و گاز متان لایه‌های زغال‌سنگ به‌ترتیب ۲۰۸، ۷۶ و ۴۷ تریلیون مترمکعب برآورد می‌شود. مخازن گازهای رُسی ۶۲ درصد ذخایر گازهای نامتعارف و معادل ۵۰ درصد مقدار ذخایر گاز مرسوم می‌باشد. البته اطلاعات و آمار درخصوص 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 برآورد شده است.^۴ ازسوی دیگر برخی کشورها تخمین ذخایر خود را به‌طور جدی کاهش داده‌اند.

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

2. Boyrer, C., Clark, B., Jochen, C., (2011), Shall Gas: A Global Resource, Oilfield Review, Vol.23, No, 3. (بویر و همکاران، ۲۰۱۱).
 3. International Energy Agency (IEA)
 4. Boyer, C. Clark, B., Jachen, C., (2011), Shall Gas: A Global Resource, Oilfield Review, VOL. 23, No, 30.



جدول ۹. میزان ذخایر گازی نامتعارف قابل برداشت

منطقه جغرافیایی	میزان ذخایر مرسوم	میزان ذخایر «گاز رُسی»	کل ذخایر غیر مرسوم
اروپای شرقی / اوراسیا	۱۳۱	۱۲	۴۳
خاورمیانه	۱۲۵	۴	۱۲
آسیا پاسفیک	۳۵	۵۷	۹۳
کشورهای آمریکایی عضو OECD	۴۵	۵۶	۷۷
آفریقا	۳۷	۳۰	۳۷
آمریکای لاتین	۲۳	۳۳	۴۸
کشورهای اروپایی عضو OECD	۲۴	۱۶	۲۱
جهان	۴۲۱	۲۰۸	۳۳۱

Source: EIA, (2012).

در جدول فوق سهم مناطق جهان از ذخایر گازی متعارف، نامتعارف و «گاز رُسی» نشان داده شده است. براساس این جدول درحالی که سهم آسیای میانه و خاورمیانه از ذخایر گازی ۶۰ درصد است، اما سهم این دو منطقه از ذخایر «گاز رُسی» به ترتیب ۵/۵ و ۲ درصد است. در صورت توسعه حوزه «گاز رُسی»، از اهمیت ژئوپلیتیکی این مناطق به طور چشمگیری کاسته می‌شود و بازیگران جدید بازار جهانی گاز نقش بسیار مهمی در این بازار خواهند داشت.

جدول ۱۰. سهم مناطق مختلف جهان از ذخایر گازی (درصد)

منطقه جغرافیایی	گاز متعارف	گاز غیر متعارف	«گاز رُسی»
اروپای شرقی / 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
آمریکای لاتین	۵/۵	۱۴/۵	۱۶
کشورهای اروپایی OECD	۵/۵	۶/۵	۷/۵
جهان	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

Source: Ibid.

در حال حاضر تولید «گاز رُسی» در جهان ۱۴۵ میلیارد مترمکعب در سال است که از سه حوزه «گاز رُسی» آمریکا برداشت می‌شود. براساس پیش‌بینی IEA در صورت رفع چالش‌های موجود، میزان تولید «گاز رُسی» تا سال ۲۰۲۰ به ۴۷۵ میلیارد مترمکعب و تا سال ۲۰۳۵ به ۹۷۵

میلیارد مترمکعب خواهد رسید که ۲۰ درصد تولید جهان خواهد بود. در ادامه وضعیت ذخایر گازی آمریکا، اروپا، هند و چین و همچنین تأثیرات توسعه حوضه‌های «گاز رُسی» بر روی کشورهای صادرکننده عمده گاز طبیعی به صورت مختصر بررسی می‌شود.

در جدول زیر میزان سهم مصرف‌کنندگان بزرگ ذخایر «گاز رُسی» ارائه شده است.

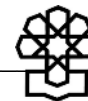
جدول ۱۱. مقایسه سهم مصرف گاز طبیعی و سهم ذخایر گازی (درصد)

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

Source: EIA, 2012.

سهم منطقه آسیا - اقیانوسیه از مصرف گاز طبیعی جهان تا سال ۲۰۱۰ در حدود ۱۷/۵ درصد می‌باشد. همان‌طور که در جدول بالا آمده است، 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 نیز افزایش 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 با سهم ۲۸ درصدی از مصرف گاز جهان در سال ۲۰۳۵، دارای سهم ۲۷/۵ درصدی از ذخایر «گاز رُسی» است. همین نکته برای آمریکای شمالی با داشتن سهم مصرف ۱۳/۵ تا سال ۲۰۳۵ و همچنین سهم ۲۷ درصدی از ذخایر «گاز رُسی» صادق است. پیش‌بینی می‌شود با توسعه «گاز رُسی»، آمریکا به یکی از بزرگ‌ترین صادرکنندگان گاز طبیعی جهان تبدیل شود. در این صورت اروپای غربی ترجیح خواهد داد تا گاز خود را از پایانه‌های LNG آمریکا تأمین نماید.^۱ توسعه «گاز رُسی» موجب خواهد شد تا سهم صادرکنندگان فعلی بازار که از سرمایه‌گذاری‌های زیادی برای حفظ و ارتقای سهم خود در بازار انجام داده‌اند، کاهش یابد. روسیه و قطر که بزرگ‌ترین خط لوله و میعانات گازی هستند، به شدت از تولید «گاز رُسی» در سال‌های آتی متضرر خواهند شد.

1. EIA, 2012.



با توجه به افزایش تولید گاز در دو بازار شرق آسیا و آمریکای شمالی، قطر با یک مازاد ظرفیت گاز، به طور جدی روبرو است.

ایران می‌تواند با افزایش توان اجرایی خود برای توسعه و بهره‌برداری از فازهای در دست اجرای خود از این موقعیت بهترین بهره را ببرد و به ظرفیت تولید قطر نزدیک شود. لازم به ذکر است که قطر فقط فرصت این را دارد که یک صادرکننده گاز باشد، درحالی که ایران می‌تواند به همراه صادرات، عمده نیازهای داخلی (صنعتی) و تزریق به مخازن نفتی را تأمین کند.

جدول ۱۲. ذخایر قابل برداشت (فنی) «گاز رُسی»، ۳۲ کشور جهان (تریلیون مترمکعب)

کشورهای دارنده ذخایر	ذخایر «گاز رُسی»	کشورهای دارنده ذخایر	ذخایر «گاز رُسی»
اروپا	۱۹/۲۸	مکزیک	
فرانسه		آفریقا	۵/۰۹۷
آلمان	۱۳/۷۳	جنوب آفریقا	۰/۲۳
هلند	۸/۲۱۱	لیبی	۰/۴۸۱
نروژ	۰/۵۱	تونس	۲/۳۵
انگلیس	۶/۵۴	الجزایر	۰/۵۶۶
دانمارک	۰/۱۹	مورکو	۰/۶۵
سوئد		آمریکای جنوبی	۱/۱۶۰
لهستان	۰/۳۱۱	ونزوئلا	۵/۳۰
ترکیه	۰/۵۴	کلمبیا	۰/۴۲
اوکراین	۲۱/۹۲	آرژانتین	۱/۱۹
لیتوانی	۶/۳۹۹	برزیل	۰/۰۶
بقیه	۱/۸۱	شیلی	۰/۵۴
	۰/۵۹	اروگوئه	
ایالات متحده آمریکا		پاراگوئه	۲۴/۴۱
کانادا	۱/۳۶	بولیوی	۱۰/۹۹
کل مناطق فوق	۱۸۷/۵۱	کل مناطق فوق	۱۸۷/۵۱

Source: Ibid.

با توجه به جدول فوق ایالات متحده آمریکا بزرگ‌ترین دارنده ذخایر «گاز رُسی» است. بعضی کشورها میزان تخمینی منابع خود را کاهش دادند^۱ به طور مثال لهستان ۵۳۰۰ میلیارد مترمکعب را به ۳۴۶ تا ۶۷۸ میلیارد مترمکعب کاهش داد.^۲ درحال حاضر تنها تولیدکننده تجاری «گاز رُسی» آمریکاست.

1. EIA, 2011 (Analysis and Projections).

2. Stevens, P. (2012), The "Shale Gas Revolution": Developments and Changee, Chatham House Briefing Paper, August.

آمریکا

میزان ذخایر «گاز رُسی» قابل استحصال آمریکا حدود ۲۴ تریلیون مترمکعب برآورد می‌شود که سه برابر ذخایر گازی متعارف این کشور است و بالاترین سهم را در رشد تولید گاز آمریکا دارد. تولید «گاز رُسی» از کمتر از یک درصد تولید گاز آمریکا در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۲۰ درصد در سال ۲۰۱۰ (۱۴۵ میلیارد مترمکعب) رسیده است. آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی کرده است تا سال ۲۰۳۵ بیش از ۶۶ درصد عرضه گاز آمریکا از این ذخایر تأمین می‌شود.

اروپا

کشورهای لهستان و فرانسه بیشترین مقدار ذخایر «گاز رُسی» اروپا را در اختیار دارند. براساس پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی در حالت خوشبینانه، تولید «گاز رُسی» اروپا تا سال ۲۰۳۵ به ۸۰ میلیارد مترمکعب در سال خواهد رسید و 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 کند. در هر صورت توسعه «گاز رُسی» در اروپا به مراتب دشوارتر از آمریکا خواهد بود.

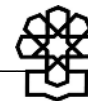
چین و هند

کشورهای هندوستان و چین دو مصرف‌کننده بزرگ انرژی در آسیا، به‌طور 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 برطرف کنند.

بنابر اعلام اداره بین‌المللی انرژی آمریکا (EIA)، ذخایر «گاز رُسی» چین حدود ۱۲۷۵ فوت‌مکعب (۳۶ تریلیون مترمکعب) برآورد می‌شود. در مارس ۲۰۱۲ اداره انرژی ملی چین هدف خود را تولید ۶/۵ میلیارد مترمکعب «گاز رُسی» در سال ۲۰۱۵ و ۶۰ تا ۱۰۰ میلیارد مترمکعب در سال ۲۰۲۰ اعلام کرد. البته در برخی ارقام بیش از ۱۰ میلیارد مترمکعب در سال قابل دستیابی نیست.^۱

شرکت‌های آمریکایی به‌طور جدی در چین برای توسعه حوزه‌های «گاز رُسی» فعالیت می‌کنند. از نظر اقتصادی با توجه به شرایط رکودی حاکم بر اقتصاد جهانی، اقتصاد رو به رشد شرق آسیا،

1. Gao, f. (2012), "Will There Be Ashale – Gas Revolution in China by 2020?", NG 61 Oxford Institute For Energy Studies, April (۲۰۱۲، گوا).



بازار خوبی برای شرکت‌های آمریکایی است. اما علاوه بر این، چین یکی از واردکنندگان گاز از روسیه است و برنامه‌ریزی کرده که تا سال ۲۰۲۰، سالانه ۷۰ میلیارد مترمکعب گاز از این کشور وارد کند.^۱ با توسعه «گاز رُسی» در چین بخش عمده‌ای از این واردات کاهش خواهد یافت.

با وجود همه چالش‌هایی که پیش‌روی توسعه مخازن نامتعارف قرار دارد، دولت‌ها و شرکت‌های بین‌المللی نفتی و همچنین شرکت‌های خدماتی، سرمایه‌گذاری زیادی برای توسعه آن کرده‌اند. 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 سال ۲۰۳۵ تا ۴۴ درصد افزایش یابد.^۲ کاهش هزینه تولید این مخازن به همراه رشد فناوری، توجیه‌پذیری اقتصادی این مخازن با افزایش قیمت‌های نفت و گاز و همچنین تأمین امنیت عرضه را می‌توان از مهمترین دلایل توسعه این مخازن دانست.

طبیعتاً استفاده از نفت خام برای تولید انرژی برای مدت طولانی ادامه نخواهد داشت. از طرفی با بالا رفتن قیمت نفت در بازارهای جهانی، نیاز به استفاده از سایر منابع شدیداً احساس می‌شود. استفاده از «نفت شیل» فقط زمانی امکان‌پذیر است که: اولاً قیمت نفت بالا باشد، ثانیاً تکنولوژی استخراج و پالایش آن نیز در دسترس باشد که بنا به آنچه گفته شد تقریباً هر دوی این شرایط ایجاد شده است. نفت شیل می‌تواند یک منبع تولید انرژی و درآمد تازه برای کشورهای دارای این منبع باشد.

بنابراین توسعه «نفت شیل» و «گاز رُسی» تا حدود زیادی اقتصاد سیاسی ناهمگون نفت و گاز و تفاوت عمده مراکز تولید و مصرف را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند گام مهمی در راستای سیاست متنوع‌سازی واردات آشکار کند.

در بازار انرژی و به‌ویژه 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 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» و دیگر ذخایر نامتعارف بر راهبردهای کلان صنایع نفت و گاز کشور و بررسی و صحت و سقم مطالعات موجود در این حوضه، ضروری است مطالعه دقیق و جامعی از سوی دستگاه‌های مرتبط انجام پذیرد.

۱. شرکت مهندسی و ساخت تأسیسات دریایی (پیامدهای توسعه «گاز رُسی» برای بازار جهانی انرژی)، دی‌ماه ۱۳۹۱.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب گفته شده، ایالات متحده آمریکا سعی دارد سهم واردات نفت از عرضه انرژی اولیه خود را تا حد امکان کاهش دهد تا بدین وسیله از وابستگی خود به واردات نفت بکاهد. از جمله اقداماتی که این کشور در راستای کاهش وابستگی خود به واردات نفت انجام داده است می‌توان به کاهش مصرف انرژی و به تبع آن کاهش مصرف نفت، جایگزینی دیگر حامل‌های انرژی نظیر گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر به جای نفت، افزایش تولید داخلی نفت و برداشت از ذخایر غیرمتعارف نفتی و گازی اشاره کرد. اما بنابر پیش‌بینی‌های صورت گرفته، این کشور حداقل تا سال ۲۰۳۵ از واردات نفت بی‌نیاز نخواهد شد. بنابراین ایالات متحده آمریکا پس از افزایش قیمت جهانی نفت به فکر استفاده از ذخایر غیرمتعارف نفتی و گازی خود افتاده است.

به طوری که در حال حاضر تنها تولیدکننده تجاری «گاز رُسی» ایالات متحده آمریکاست. این کشور به این نتیجه رسیده است که بهترین ابزار برای رسیدن به خودکفایی انرژی، توسعه منابع غیرمتعارف «نفت شیل» و «گاز رُسی» است.

منابع و مأخذ

۱. هزاره‌ای هادی و عبدالرضا مقدسی. بررسی روش‌های جدید استخراج و تولید نفت از سنگ‌های نفتی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵۰، مهرماه ۱۳۸۷ (نشریه فنی تخصصی شرکت ملی نفت ایران).
۲. سازمان زمین‌شناسی ایران.
۳. ترانزنامه هیدروکربوری، ۱۳۸۹.
۴. شرکت مهندسی و ساخت تأسیسات دریایی (پیامدهای توسعه گاز رسی برای بازار جهانی انرژی) دی‌ماه ۱۳۹۱.
۵. نعمتی مسعود و محسن کرمانشاه. ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۹۵، آبان‌ماه ۱۳۹۱، اقدامات صورت گرفته جهت توسعه شیل‌های گازی در ایران و جهان.
۶. کتاب راهنمای جامع مهندسی نفت، زمین‌شناسی نفت، اکتشاف، حفاری، تولید مؤلفان دکتر ولی احمدسجادیان، مهندس محمود خلیفه، مهندس امیررضا محمد محمدی (شرکت ملی نفت ایران، مدیریت توسعه منابع انسانی)، چاپ اول، ۱۳۹۰.
۷. ژنوشیمی آلی از فیتوپلانکتون تا تولید نفت، مؤلفین دکتر محمدرضا کمالی، مهندس بیوک قربانی، چاپ اول، تابستان ۱۳۸۵.
۸. زمین‌شناسی نفت دکتر محمدرضا رضایی، چاپ دوم، زمستان ۱۳۸۴.
9. U.S Energy Information Administration (EIA), Analysis & Projections, World Shale Gas Resources: An Initial Assessment oof Iqregions Outside the United States, April, 2011.



-
10. USGS, Geology and Resources of Some World Oil- Shale Deposits.
 11. U.S. Energy Information Administration (EIA).
 12. International Energy Agency (2012), Golden Age of Gas.
 13. Annual Energy Outlook, 2012.



مرکز پژوهش‌ها
مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۱۲۸۸۰

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: چشم‌انداز نفت ایالات متحده آمریکا، منابع و مصارف، پیشرفت‌های فنی و سرمایه‌گذاری

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه انرژی)

تهیه و تدوین‌کنندگان: سیده‌مریم موسوی، مهدخت متین

ناظران علمی: محمدرضا محمدخانی، فریدون اسعدی

مقاضی: روبرت بیگریان (نماینده محترم مجلس شورای اسلامی)

ویراستار ادبی: فرزاد جعفری

واژه‌های کلیدی: —

تاریخ انتشار: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰