

آینده‌پژوهی انرژی‌های نو در جهان به منظور تحلیل و ارائه راهبردهای مناسب جهت ارتقاء امنیت انرژی ایران

محمد شیرجیان^۱

حمیدرضا سراج^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۱

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶

چکیده

امروزه ارتقاء تکنولوژی انرژی‌های نو، اهمیت یافتن ملاحظات زیست‌محیطی، تحریک اقتصاد، ایجاد صنایع و مشاغل جدید، منجر به این مساله شده است که کشورهای صنعتی و در حال توسعه، گسترش سهم این منابع انرژی را در برنامه‌های توسعه‌ای خود قرار دهند. در این میان کشور ایران به عنوان دارنده بیشترین مجموع ذخایر نفت و گاز جهان، باید نسبت به تحولات حوزه انرژی و افزایش نفوذ انرژی‌های نو در بازار بیش از سایر کشورها حساسیت داشته باشد؛ تا با طراحی یک برنامه جامع و اتخاذ راهبردهای مناسب، در صدد ارتقاء امنیت انرژی و متعاقباً امنیت ملی کشور برآید.

بنابراین در این پژوهش تلاش شده است تا با تکیه بر اصول علم آینده‌پژوهی، استفاده از ابزار برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو و به کار بستن روش جی‌بی‌ان، به مقوله آینده انرژی‌های تجدیدپذیر و نو در بازار جهانی انرژی و ارائه راهکارهای مناسب در راستای ارتقاء امنیت انرژی کشور پرداخته شود. روش جی‌بی‌ان با تولید و توسعه ماتریس سناریو، از تقابل دو عدم قطعیت بسیار مهم درباره یک موضوع مشخص، چندین چارچوب باورشدنی اما چالش برانگیز برای آن موضوع بدست می‌دهد. بدین منظور سه سناریو مختلف طراحی شده‌اند؛ در سناریو اول نیروهای بازار و توسعه فناوری، در سناریو دوم سیاست‌های اعمال شده برای مبارزه با تغییرات اقلیمی و در سناریو سوم رقابت‌ها و تنش‌های ژئوپلیتیک به عنوان محرک‌های اصلی بازار انرژی در نظر گرفته می‌شوند. در انتها نیز راهکارهای ارتقاء امنیت انرژی کشور در فضای هر یک از این سناریوها و منطبق بر سند ملی راهبردی انرژی پیشنهاد شده‌اند؛ همچنین به منظور افزایش کارایی راهبردها، افق کوتاه‌مدت و بلندمدت برای اعمال آن‌ها در نظر گرفته می‌شود.

واژگان کلیدی: امنیت انرژی، آینده‌پژوهی، انرژی‌های تجدیدپذیر، برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو.

^۱ دکتری مدیریت قراردادهای بین‌المللی نفت و گاز، دانشکده معارف اسلامی و اقتصاد، دانشگاه امام صادق (ع)، تهران، ایران.

(mhm.shiri@gmail.com)

^۲ کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران. نویسنده مسئول.

(hr.seraaj@gmail.com)

۱. مقدمه

بررسی روند رشد و توسعه اقتصادی-اجتماعی کشورها، حکایت از نقش غیرقابل انکار منابع انرژی به عنوان موتور محرک این فرآیند دارد؛ به نحوی که توسعه پایدار این کشورها نیازمند دسترسی مداوم به منابع انرژی قابل اطمینان، مقرون به صرفه و پاک می‌باشد (محمدنژاد و همکاران^۱، ۲۰۱۱). بدین منظور جهان از نیم قرن پیش شاهد رشد سریع تقاضا برای انرژی بوده که عمدتاً به‌وسیله سوخت فسیلی برآورده شده‌اند؛ اما انتظار می‌رود شرایط آینده بازار انرژی به گونه دیگری رقم بخورد. ظهور روندهای جدید مانند ظهور تکنولوژی‌های جدید بنیادی و چالش‌های بزرگتر زیست‌محیطی، منجر به ارتقاء چشم‌انداز جایگاه انرژی‌های نو در سید انرژی شده و عدم قطعیت‌ها در بازار انرژی جهانی را پررنگ‌تر کرده است (ملکی، ۱۳۹۵).

از طرف دیگر همزمان با تحول بازارها و گسترش زیرساخت انرژی، بحث امنیت انرژی و ابعاد مختلف اقتصادی، سیاسی و اجتماعی آن از جایگاه مهمی در ملاحظات امنیت ملی کشورها برخوردار است. در این میان کشور ایران به عنوان دارنده بیشترین مجموع ذخایر نفت و گاز جهان، باید نسبت به تحولات حوزه انرژی و افزایش نفوذ انرژی‌های نو در بازار بیش از سایر کشورها حساسیت داشته باشد؛ تا با طراحی یک برنامه جامع و اتخاذ راهبردهای مناسب، در صدد ارتقاء امنیت انرژی و متعاقباً امنیت ملی کشور برآید. به طور کلی برای طراحی یک برنامه پایدار باید عدم قطعیت‌ها را شناسایی و مدیریت نمود، زیرا همه عدم قطعیت‌ها را نمی‌توان از آینده حذف نمود. نادیده گرفتن عدم قطعیت‌ها موجب عدم توانایی سازمان برای اقدام اصلاحی و رسیدن به یک موقعیت پایدار می‌شود (منظور، ۱۳۹۷). همچنین نادیده گرفتن عدم قطعیت‌ها می‌تواند موجب از دست دادن شانس‌ها و فرصت‌های آینده و نهایتاً منجر به ایجاد یک برنامه ناپایدار گردد.

بدین منظور در این پژوهش با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های آینده بازار انرژی، به طراحی سه سناریو نسبت به آینده‌پژوهی انرژی‌های نو در جهان اقدام شده است؛ و در ادامه راهبردهایی مناسب جهت ارتقاء امنیت انرژی ایران در قالب سند راهبردی انرژی کشور ارائه و تحلیل شده‌اند.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در بخش پیش رو، هدف اصلی ارائه تعاریف مهم در حوزه پژوهش و ایجاد چارچوب فکری مناسب برای ادامه مسیر تحقیق می‌باشد. بدین منظور ابتدا روند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان بررسی شده است. پس از آن با تبیین نظریه‌های امنیت انرژی، به معرفی ابعاد، شاخص‌ها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر پرداخته شده است؛ تا در فصول آینده راه‌گشای اتخاذ راهبردهای مناسب به منظور ارتقاء امنیت انرژی کشور در فضای سناریوهای آینده‌پژوهی باشد.

از طرف دیگر، یکی از اصول اولیه هر پژوهشی بررسی تحقیقات صورت گرفته پیشین پیرامون موضوع مورد مطالعه است. به این ترتیب می‌توان از تجربیات و نتایج کسب شده پژوهشگران بهره برد و امکان تجربه خطاها

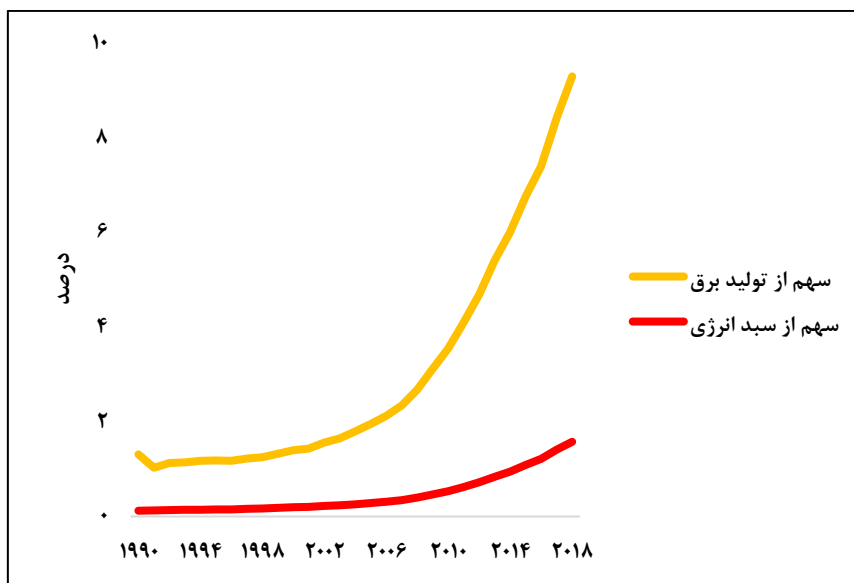
¹ Mohammadnejad, et.al

و مشکلات محتمل مشابه را به حداقل رساند. در همین راستا در ادامه، اهداف و نتایج برخی گزارش‌ها و مقالات معتبر چاپ شده در حوزه پژوهش، تحلیل و بررسی شده‌اند.

۲-۱. روند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان

انرژی تجدیدپذیر یا برگشت‌پذیر به انواعی از انرژی گفته می‌شود که منبع تولید آن، بر خلاف انرژی‌های تجدیدناپذیر (فسیلی)، قابلیت آن را دارد که توسط طبیعت در یک بازه زمانی کوتاه مجدداً به وجود آید؛ یا به عبارتی پس از مصرف به راحتی جایگزین شود (فیروز، ۱۳۹۰). این انرژی را می‌توان به طور مستقیم از خورشید گرفت مانند انرژی حرارتی خورشیدی، فوتوشیمیایی و فوتوالکتریک. یا به طور غیر مستقیم از خورشید نشات گرفته می‌شود مانند بادی، برق آبی و بیومس؛ یا بر اثر تحرکات طبیعی و مکانیزم‌های محیط‌زیستی مانند زمین‌گرایی یا انرژی امواج به وجود می‌آید. در این میان بهره‌برداری از منابعی مانند بیومس و برق آبی قدمتی طولانی دارند؛ در حالی که منابع بادی و خورشیدی اخیراً جایگاه خود را در سبد تامین انرژی مناطق مختلف پیدا کرده‌اند (انرژی‌های نو). از این نوع انرژی بیش از سه دهه است که در تمام جهان مورد توجه قرار گرفته و تمامی کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، گسترش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی ملی را در برنامه‌های توسعه‌ای خود قرار داده‌اند. همچنین نگرانی درباره تغییرات زیست‌محیطی در کنار افزایش قیمت روزافزان نفت و بازگشت ناپذیر بودن آن، باعث رشد روزافزون و وضع قوانینی می‌شود که بهره‌برداری و تجاری‌سازی منابع تجدیدپذیر را تشویق می‌کنند.

انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن می‌توانند در چهار بخش مختلف جایگزین مناسبی برای انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای باشند؛ تولید برق، گرمایش و سرمایش، سوخت مورد نیاز بخش حمل و نقل و خدمات تامین انرژی مناطق روستایی یا دور از شبکه. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کاربردهای دیگر مانند آب‌شیرین‌کن (به ویژه استفاده از انرژی خورشیدی برای آب شیرین‌کن در مناطق خشک) و همچنین صنعت و معدن که نیازمند انرژی زیادی است و اغلب در مکان‌هایی دور از شبکه قرار دارد، رواج یافته است. تاثیر تمامی این پیشرفت‌ها بر میزان مشاغل بخش انرژی‌های تجدیدپذیر بسته به کشور و فناوری متفاوت است اما در کل جهان تعداد افراد شاغل در صنایع مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر رو به افزایش است. در همین راستا شکل (۱) نشان دهنده رشد سریع جایگاه انرژی‌های نو (بادی، خورشیدی و زمین‌گرایی) در ترکیب انرژی جهانی است (BP, 2019).



شکل (۱) روند توسعه منابع انرژی در سبد انرژی (BP, 2019)

۲-۲. امنیت انرژی

تعریف استاندارد امنیت انرژی در میان بحران‌های نفت دهه ۱۹۷۰ شکل گرفت و همچنان به عنوان یک زیربنای مفهومی مطرح می‌شود: "دسترسی به ذخایر انرژی ایمن، کافی، قابل اطمینان و با قیمت مناسب". همچنین به تعریف فوق باید افزود که برای تولیدکنندگان، امنیت انرژی به معنای تداوم تقاضا و دسترسی به بازار می‌باشد؛ ولی امنیت انرژی از دیدگاه مصرف‌کنندگان به معنای آن است که اولاً دسترسی آسان و بدون احتمال خطر منابع نفت و گاز جهانی وجود داشته باشد. ثانیاً این منابع بصورت منطقی دارای تنوع و گوناگونی از لحاظ منطقه جغرافیایی منابع و همچنین مسیرهای انتقال داشته باشند و ثالثاً جریان انرژی عموماً از نقاطی تامین گردند که احتمال ثبات و عدم تغییر در حکومت‌های آنان در درازمدت و طولانی وجود دارد (مختشمی، ۱۳۹۱). امروزه می‌توان گفت که امنیت انرژی سه مفهوم اساسی زنجیره تحولات انرژی در جهان را در بر می‌گیرد: قیمت، تداوم و محیط زیست. قیمت هر کالا مشخص‌کننده روند تقاضا و عرضه آن کالا در بازارهای مختلف است و فراز و نشیب در قیمت انرژی باعث تغییرات شگرف در اقتصاد جهانی، بودجه هر خانوار، هزینه‌های کارخانه و بی‌ثباتی، آسیب‌پذیری و یا شکوفایی کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده می‌شود. از طرف دیگر مانند هر کالای اقتصادی، منابع انرژی کمیاب‌اند و همچنان در حال کمیاب‌تر شدن در طول زمان هستند؛ به خصوص منابع انرژی پایان‌پذیر همچون نفت، گاز و زغال سنگ که به نظر می‌رسد ذخایر آن بدون هیچ‌گونه تردیدی رو به افول هستند. این مساله خود باعث رقابت در بازار و بالا رفتن قیمت‌های این گونه انرژی‌های می‌شود. در مجموع از آنجایی که قیمت تعادلی در بازارهای با رقابت کامل میسر است؛ بنابراین قیمت می‌تواند شاخصی از امنیت عرضه یا تقاضا باشد.

هر متقاضی دریافت انرژی برای آنکه امکان برنامه ریزی برای آینده را داشته باشد، لاجرم به جریان مداوم و درازمدت انرژی نیاز دارد و نهایتاً با تلاش برای یافتن روش‌های با بازدهی بیشتر و مصرف کمتر، گامی در جهت توسعه پایدار در جامعه برمی‌دارد. از طرف دیگر امنیت انرژی برای تولیدکنندگان در آن است که به یک بازار مداوم همراه با رشد منطقی برای توسعه جامعه خود در آینده دسترسی داشته باشند. زیرا اکثر تولیدکنندگان انرژی از گروه اقتصادهای تک محصولی هستند که به فروش انرژی عمیقاً وابسته‌اند و هرگونه احتمال کم شدن تقاضا و یا توجه به کشورهای توسعه یافته به انرژی‌های جایگزین به معنای ایجاد مانع در توسعه اجتماعی و رشد اقتصادی این کشورهاست.

مهم‌ترین موضوع در بحث امنیت انرژی، پیدا کردن مدلی است که بتوان با آن پایداری و تداوم را در توسعه درازمدت جستجو کرد. تغییرات اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ارتباط عمیقی با تقاضای انرژی‌های فسیلی دارد. در واقع تغییرات اقلیمی و امنیت عرضه و تقاضای انرژی دو روی یک سکه هستند و برای هر دو مشکل باید راه حل‌های یکسانی به کار برد. مطمئناً یک همپوشانی مفهومی بین امنیت انرژی و محیط زیست وجود دارد و نه تنها هر دو با گذر از یک اقتصاد جهانی مبتنی بر سوخت فسیلی و پرکربن در ارتباط هستند، بلکه باید با کمبودهای اساسی نیز مقابله کنند: کمبود انرژی فسیلی ارزان قیمت و با دسترسی آسان یا کاهش تولید کربن در جو زمین. بنابراین چالش انرژی و تغییرات اقلیمی هر دو می‌توانند از کاهش تقاضا و همچنین اقدامات عرضه‌ای که علاوه بر افزایش دسترسی پذیری منابع انرژی موجب کاهش تولید کربن می‌شوند (مانند فناوری انرژی کم کربن)، بهره بگیرند. امروزه دستیابی به فناوری‌هایی به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، از جمله سیاست‌های آرمانی هر کشور است؛ بنابراین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در کل انرژی‌های قابل عرضه رو به افزایش است. بی تردید با توجه اصولی به این پیشنهادات ویژه و ارائه راه حل برد-برد نهایی در یک رویکرد هم افزا می‌توان با حرکت به سمت یک اقتصاد بدون کربن، هوشمندانه به مقابله با مسائل امنیت و زیست‌محیطی پرداخت (بهجت، ۱۳۹۴).

این مفاهیم نشان می‌دهد که امنیت انرژی یک مفهوم چند بعدی است و بر اساس این ابعاد چندگانه که در آن تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران با یکدیگر مشارکت دارند، یک امنیت انرژی پایدار قابل حصول‌تر است.

۲-۲-۱. ابعاد اصلی امنیت انرژی

امنیت انرژی شامل ۴ بعد اصلی شامل قابلیت دستیابی^۱، دسترسی‌پذیری^۲، قابل تحمل بودن^۳ و مقبولیت^۴ می‌باشد که برای سیاست‌گذاری در این حوزه باید توجه ویژه‌ای به آن‌ها داشت؛ و هر کدام به صورت زیر تعریف می‌شوند (sovacool, 2011):

1 Availability

2 Accessibility

3 Affordability

4 Acceptability

• قابلیت دستیابی

این مفهوم به عناصری اشاره دارد که با وضعیت فناوری انرژی در ارتباط هستند و میزان دستیابی به منابع انرژی را تعیین می‌کند. قابلیت دستیابی به خصوص برای منابع فسیلی به کار می‌رود؛ از آن جهت که خاصیت پایان پذیری این منابع به معنای آن است که بازیابی آن‌ها آنچنان آهسته و کند صورت می‌گیرد که می‌توان تصور کرد طبیعت تنها یکبار آن‌ها را عرضه کرده و بشریت تنها یکبار می‌تواند از آن‌ها استفاده نماید. ذخائر انرژی‌های پایان پذیر در صورت مصرف بی رویه کاهش پیدا می‌کنند و قابلیت دستیابی آن‌ها کاهش پیدا می‌کند.

• دسترس پذیری

این عنصر با ماهیت ژئوپلیتیکی انرژی و میزان ذخایر در ارتباط است. با توجه به فاصله بسیار مابین تولید و مصرف ذخائر هیدروکربوری، دسترس‌پذیری جریان مداوم انرژی حائز اهمیت است؛ به عبارت دیگر این ویژگی بیان می‌کند که حامل‌های انرژی راحت و با امنیت در دسترس باشند.

• قابل تحمل بودن

انرژی کالایی است که در بازارهای رقابتی و انحصاری عرضه می‌گردد و متقاضیان بر اساس حرکت بر روی منحنی تقاضا برای بالا بردن مطلوبیت خود به دنبال خرید آن هستند. بنابراین به انرژی می‌توان نگاه اقتصادی داشت؛ در واقع این ویژگی بعد اقتصادی امنیت انرژی را بیان می‌کند و قیمت‌های انرژی مربوط می‌شود.

• قابل قبول بودن

از آنجایی که انرژی با محیط زیست و محیط اجتماعی در تعامل است، بنابراین این مفهوم بیشتر به تعامل انرژی با ایمنی زندگی انسان و جنبه‌های زیست محیطی تامین انرژی می‌پردازد (بهجت، ۱۳۹۴).

۲-۲-۲. شاخص‌های امنیت انرژی

شاخص‌های امنیت انرژی می‌بایست انعکاسی از آسیب‌پذیری سیستم‌های انرژی باشد که مراحل اولیه ارزیابی شناسایی شده‌اند. این شاخص‌ها را می‌توان از شاخص‌هایی که در ادبیات فرآوانی انرژی وجود دارد یا شاخص‌هایی که با هدف یک ارزیابی خاص شناسایی شده‌اند، انتخاب کرد. انتخاب شاخص‌ها می‌بایست بر این اساس که شاخص‌ها تا چه حد یک ریسک خاص یا آسیب‌پذیری سیستم حیاتی انرژی را نشان می‌دهند، تعیین شوند. با این وجود یک شاخص به ندرت معیار مستقیم ریسک یا ظرفیت انعطاف‌پذیری است. شاخص، نشانه کمی و نشانه‌ای از پیچیدگی و پویایی سیستم انرژی است. به عنوان یک معیار، دمای بدن یک شاخص سلامت انسان است؛ به عنوان یک نشانه دقیقاً به دلایل طبیعی یا مقدار بیماری اشاره نمی‌کند. با این وجود در کستره زیادی استفاده می‌شود و به میزان زیادی قابل اطمینان است؛ به ویژه زمانی که همراه با مشاهدات دیگر استفاده

شود. شاخص‌های امنیت انرژی نیز همینطور هستند. یک شاخص ممکن است نشانه وجود چندین ریسک باشد؛ برای مثال وابستگی زیاد ممکن است انعکاسی از احتمال توقف عمدی عرضه، جدال با کشورهای ترانزیتی، عملیات خرابکارانه در خطوط انتقال یا نوسانات قیمت باشد. به همین ترتیب یک آسیب‌پذیری می‌تواند در چندین شاخص انعکاس یابد. تجزیه و تحلیل امنیت انرژی در سناریوهای انرژی آینده معمولاً با استفاده از ۹ شاخص با اهمیت این حوزه صورت می‌گیرد که هر کدام در ادامه به تفصیل توضیح داده شده‌اند (Kruyt, 2009).

• تخمین‌های منبع^۱

مقدار واقعی موجودی و یا قابلیت دستیابی داشتن به منابع انرژی و همچنین ذخائر باقیمانده برای امنیت انرژی، از اهمیت فراوانی برخوردار است. در عین حال عدم قطعیت، نااطمینانی و ریسک از موارد ذاتی انرژی‌های پایان‌پذیر است. در این زمینه علیرغم پژوهش‌های متعدد، واقعا نمی‌توان گفت که چه مقدار منابع انرژی و در چه نقاطی از جهان وجود دارد؛ همچنین به قطعیت نمی‌توان گفت که آیا این منابع قابل دسترسی هستند یا خیر. بصورت کلی آمار و ارقام مربوط به ذخائر در سطح بین‌المللی تنها به‌وسیله چند نهاد ارائه می‌گردد. یکی از آنها مرکز زمین‌شناسی ایالات متحده است^۲ که آخرین گزارش آن در مورد بررسی مقدار نفت و گاز جهان نشان می‌دهد که در ۳۰ سال آینده ۲۰ درصد به منابع نفتی و ۱۴ درصد به منابع گازی که از لحاظ فنی قابل استخراج هستند اضافه می‌شود. این پیش بینی دارای پیامدهایی برای قیمت نفت، سیاستگذاری و امنیت انرژی خواهد بود.

• نسبت ذخیره به تولید^۳

نسبت ذخیره به تولید یکی دیگر از شاخص‌های امنیت انرژی است؛ این شاخص نشان دهنده مقدار زمان و یا سال‌هایی است که یک منبع با حفظ تولید فعلی می‌تواند عرضه‌ای مطمئن را ارائه نماید. اما روشن است که هم مقدار ذخائر در طول زمان متغیر است و هم مقدار تولید، بنابراین شاخص نسبت این دو نیز با تغییر زمان دینامیک خواهد بود.

• شاخص تنوع

تنوع در نوع انرژی و موقعیت جغرافیایی یکی از ابزارهای مقابله با ریسک‌های عرضه و آسیب‌پذیری سیستم‌های حیاتی انرژی است. در مطالعات انجام شده این حوزه، معمولاً سه صفت را برای شاخص تنوع در نظر می‌گیرند:

¹ Resource Estimates

² US Geological Survey

³ Reserves to Production Ratio (R/P)

گوناگونی^۱، توازن^۲ و ناهمسانی^۳. گوناگونی تعداد اقلام و انواع را در نظر می‌گیرد مانند اینکه چند نوع حامل انرژی در سبد تامین انرژی یک منطقه وجود دارد. توازن به الگوی تقسیم مقدار کل به گروه‌های مختلف اختصاص دارد. مانند اینکه هر حامل انرژی چه سهمی از سبد انرژی اولیه را در اختیار دارد. همچنین ناهمسانی اختلاف میان گروه‌ها را که به طبیعت و درجه تفاوت مابین آنها بستگی دارد را نشان می‌دهد. متنوع کردن مناطق جغرافیایی تولیدکننده نفت (با وجود هزینه تولید بالاتر نسبت به خاورمیانه) و تدوین راهبردهای افزایش سهم انرژی‌های غیرفسیلی، مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، در همین راستا صورت می‌گیرد.

• ثبات سیاسی

منابع انرژی اغلب در نقاط حساسی از جهان قرار دارند؛ به همین دلیل ریسک‌های متعددی در زمینه عرضه، تقاضا و همچنین بازار انرژی همراه با جریان تولید، انتقال و مصرف است. همچنین موقعیت سیاسی در کشورهای تولیدکننده انرژی از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین با توجه به اینکه تولید عمده انرژی جهانی در اختیار شرکت‌های دولتی تولید و عرضه‌کننده انرژی قرار دارد و ثبات سیاسی در کشورها می‌تواند شاخص مناسبی برای امنیت درازمدت عرضه باشد.

• قیمت انرژی

قیمت هر کالا مشخص کننده روند تقاضا و عرضه آن کالا در بازارهای مختلف است و قیمت تعادلی در بازارهای با رقابت کامل میسر است. بنابراین قیمت می‌تواند شاخصی از امنیت عرضه و یا تقاضا باشد. در منابع پایان‌پذیر قیمت بیان کننده کمیابی و پایان‌پذیری مخزن نیز می‌تواند باشد. در حال حاضر قیمت نفت نقش تعیین کننده‌ای در قیمت تمام حامل‌های انرژی دارد و متغیری کلیدی در امنیت انرژی است.

• سهم منابع انرژی پاک

در حال حاضر تولید و استفاده از سوخت‌های با تولید کربن زیاد، به دلیل ایجاد تأثیرات مخرب در محیط زیست با محدودیت‌هایی مواجه شده است؛ بنابراین استفاده از سوخت‌های با تولید گاز کربن کمتر شاخصی برای مقبولیت است که در بخش قبل درباره آن بحث شد. این شاخص می‌تواند با استفاده از سهم انرژی‌های تجدیدپذیر یا هسته‌ای در سبد انرژی اولیه هر کشور محاسبه شود. همچنین محتوای کربن سوخت یا به عبارت دیگر نسبت کربن به انرژی آزاد شده نیز می‌تواند شاخصی در این زمینه باشد.

¹ Variety

² Balance

³ Disparity

• سیالیت یا نقد شوندگی بازار

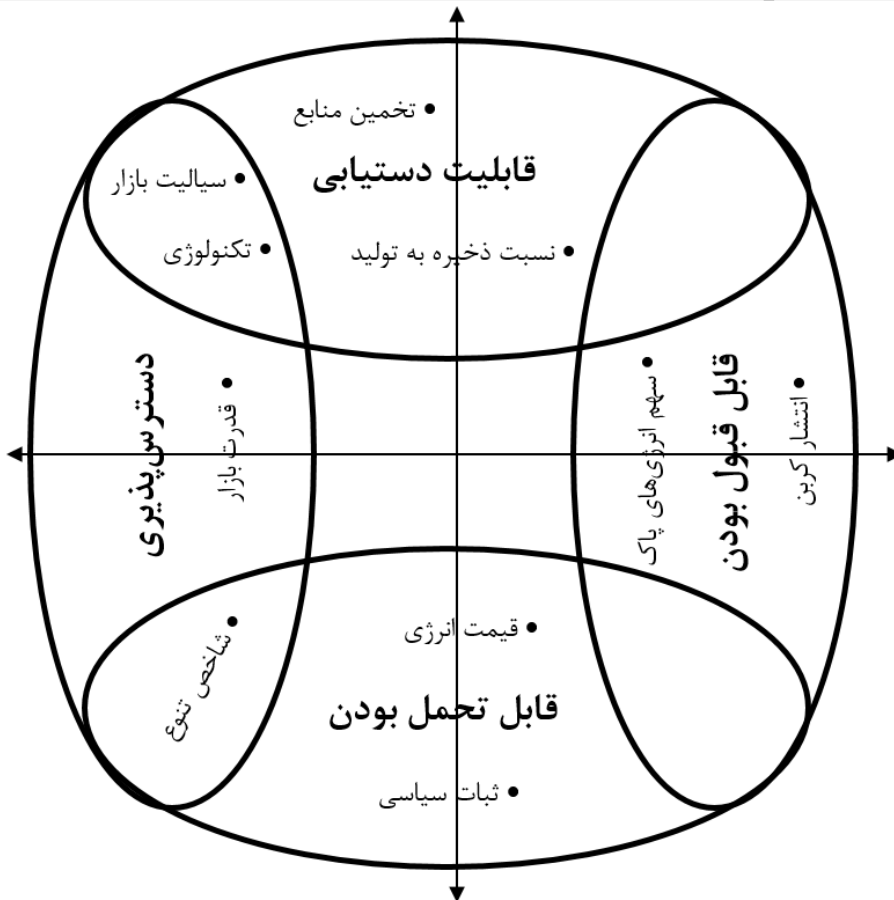
نقدینگی یک مفهوم گسترده است اما می‌توان آن را به توانایی تبادل کالا به صورت سریع و با کمترین هزینه بدون تغییر در قیمت تعبیر نمود. حوادثی که برای نقدینگی در جریان معاملات اتفاق می‌افتد و ریسک تاخیر در معاملات، فوریت تصمیم‌گیری و داشتن نقدینگی را بیشتر نشان می‌دهد. هر چقدر بازار سیالیت بیشتری داشته باشد، خریداران و فروشندگان سود بیشتری می‌برند. اگر کشوری که خواهان خرید انرژی است دارای نقدینگی لازم برای دخالت در معاملات در زمان مقرر نباشد، نمی‌تواند به راحتی تغییری در بخش عرضه‌کنندگان بدهد.

بنابراین آنچه گفته شد، سیالیت بازار در اینجا یعنی توانایی بازار برای غلبه بر نوسانات عرضه و تقاضا انرژی؛ در نتیجه این شاخص ظرفیتهای بازار انرژی هر کشور و یا منطقه را نشان می‌دهد که در مواقعی که قیمت عرضه و تقاضا دارای فراز و نشیب هستند، وارد عمل شده و در جهت امنیت انرژی اقداماتی را انجام دهند. سیالیت بازار به صورت تابعی نمایی از نسبت مصرف یک سوخت به مجموع کل سوخت‌های در دسترس بازار تعریف می‌شود؛ همچنین این مفهوم با کشش قیمت نیز در ارتباط است. اگر این ضریب کوچکتر از یک باشد یعنی کشش ناپذیری قیمت، ثبات بالا و سیالیت بالای بازار؛ اما اگر این ضریب بزرگتر از یک باشد قیمت کشش پذیر و سیالیت بازار کم است.

• شاخص تقاضا

آنچه که تاکنون بحث شده است، بیشتر شاخص‌هایی برای امنیت عرضه بود. در بخش تقاضا نیز شاخص‌هایی مطرح است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به شدت انرژی اشاره کرد. این شاخص نشان‌دهنده وابستگی هر واحد رشد اقتصادی به مصرف انرژی می‌باشد. با توجه به این شاخص حساسیت اقتصاد هر کشور به قیمت انرژی و سوخت مشخص می‌شود. همچنین مقدار سرانه مصرف نفت خام نیز یکی دیگر از شاخص‌های بخش تقاضاست. شاخص‌هایی از جمله حساسیت بخش‌های مختلف جامعه که از انرژی استفاده می‌نمایند نیز در همینجا می‌تواند مورد بحث قرار گیرد. به عنوان مثال سهم نفت مصرفی در حمل و نقل؛ زیرا بخش حمل و نقل دارای تقاضا غیرکششی در مورد نفت است که اکثراً نمی‌تواند از انرژی‌های جایگزین استفاده نماید. در انتها شکل (۲) به صورت خلاصه ارتباط شاخص‌های ذکر شده با ابعاد امنیت انرژی را نشان می‌دهد (کرویت^۱، ۲۰۰۹).

¹ Kruyt



شکل (۲) ارتباط مفهومی شاخص‌ها و ابعاد امنیت انرژی

Source: Kruyt, 2009

۳-۲. پیشینه پژوهش

در حال حاضر پژوهش‌های مختلفی با استفاده از ابزار "برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو" در حوزه آینده‌پژوهی انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و جهان انجام شده است؛ که هر کدام به محوریت عدم قطعیت‌های مورد نظر در منطقه مورد مطالعه نویسنده می‌باشد. بدین منظور سازمان جهانی انرژی^۱ (۲۰۱۷)، در زمینه تدوین سناریو برای آینده بازار انرژی در کشورهای توسعه یافته اقدام کرده است. شاخص‌ها و روندهای کلیدی موجود در این گزارش شامل سطح فعالیت‌های اقتصادی، تغییرات جمعیتی، قیمت انرژی و نرخ افزایش بهره‌وری فناوری‌های کنونی است. هدف این سناریوها ارائه تصویری از وضعیت امنیت انرژی، محیط زیست و توسعه اقتصادی در

^۱ World Energy Organization

سال ۲۰۳۵ می‌باشد. از طرف دیگر الصالح^۱ (۲۰۰۹)، با تکیه بر روش دلفی از نظر ۳۵ نفر متخصصین با پیش زمینه‌های گوناگون و با تکیه بر مفهوم متنوع سازی سبد انرژی، به توسعه مجموعه‌هایی از سناریو برای انرژی‌های تجدیدپذیر و برای کشور عربستان سعودی پرداخته است. این مقاله به روش دلفی و رویکرد سناریو نویسی اکتشافی به پیش‌بینی وضعیت انرژی عربستان سعودی در سال ۲۰۵۰ پرداخته است. در سه مرحله روند اجرای روش دلفی، سه عاملی که نامطمئن‌ترین و مهم‌ترین عوامل در ارتباط با آینده تجدیدپذیرها در عربستان بودند به شرح زیر شناسایی شدند: موجودیت سوخت فسیلی در عربستان، فعالیت‌ها در زمینه حفاظت محیط-زیست و باور نسبت به تجدیدپذیرها.

شرکت نفتی BP از پیشگامان صنعت انرژی جهان، در گزارشی با محوریت موضوعاتی مانند مصرف انرژی، منابع تامین انرژی، سیاست‌های حمایتی از انرژی‌های تجدیدپذیر، رشد اقتصادی و رشد جمعیت به بررسی و ترسیم چشم‌انداز آینده انرژی جهان در سال ۲۰۳۰ پرداخته است. بنابراین این گزارش در سال ۲۰۳۰ مصرف انرژی اولیه ۳۹ درصد نسبت به ۲۰ سال گذشته خود افزایش خواهد داشت؛ در این میان رشد مصرف انرژی در کشورهای غیر OECD، ۶۸ درصد پیش‌بینی می‌شود. این در حالی است که سطح مصرف انرژی در کشورهای عضو OECD با وجود رشد درآمد، به دلیل کنترل جمعیت و اعمال سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و کنترل رشد جمعیت، تغییر چندانی نسبت به سال ۲۰۱۰ نخواهد داشت.

در همین راستا، فیروز (۱۳۹۰) در پژوهشی به مبحث آینده‌پژوهی انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران پرداخته و ابتدا وضعیت کنونی انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران از جمله انرژی بادی، خورشیدی، زمین‌گرمایی، آبی و هسته‌ای، پتانسیل‌های موجود و مسائل پیش رو مورد بررسی قرار گرفتند. سپس تلاش شده است تا با تکیه بر اطلاعات و تحقیقات انجام گرفته در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و با استفاده از ابزار برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو، به تعدادی از سناریوهای مطرح در این حوزه پرداخته شود. از جمله این سناریوها که در این پژوهش بررسی شده‌اند می‌توان به سناریوی کیک پرتقالی، مزرعه سبز، نقطه بحرانی و خواب خوش اشاره کرد که هر کدام از این سناریوها بیانگر حالات مختلف ترکیب انرژی‌های تجدیدپذیر و سوخت‌های فسیلی در سبد انرژی ایران می‌باشند. در نهایت نیز کاربرد این سناریوها در برنامه‌ریزی استراتژیک کشور بیان شدند.

بخش دیگری از مطالعات مربوط به حوزه پژوهش به تحلیل کمی و کیفی توسعه منابع تجدیدپذیر بر مسئله امنیت انرژی معطوف می‌شود. در همین راستا، جوئیل^۲ و همکارانش (۲۰۱۴) با ارائه چارچوبی برای تجمیع مدل‌های مختلف ارزیابی، اقدام به ارزیابی مسئله امنیت انرژی تحت سناریوهای مطرح شده حوزه انرژی در بلندمدت کردند. با توجه به تعریف امنیت انرژی به عنوان حالتی که آسیب‌پذیری حداقل برای حیات سیستم‌های انرژی در طول زمان رخ بدهد، چارچوب ارائه شده این آسیب‌پذیری را به عنوان ترکیبی از ریسک‌های وابسته به تجارت انرژی داخل منطقه‌ای و قابلیت ارتجاع منعکس شده در شدت انرژی و تنوع منابع و تکنولوژی‌های انرژی در نظر می‌گیرد.

¹ Al-saleh

² Jewell

در این پژوهش ۴۳ سناریوی تعریف شده توسط مدل MESSAGE در این چارچوب قرار می‌گیرند. این سناریوها شامل یک سناریوی پایه و ۴۲ سناریوی "کم‌کربن" بوده و بخشی از برنامه "ارزیابی جهانی انرژی ۱ (GEA)" می‌باشند که منظور از جهانی بودن این است که افزایش دما باید تا ۲ درجه سانتیگراد اتفاق بیفتد. با ارزیابی آسیب‌پذیری‌های سیستم‌های انرژی مطرح شده در سناریوها (هم سناریوهای موجود و هم جدید) در این مقاله آینده‌پژوهی انرژی در مسائل امنیت انرژی وابسته به سیاست صورت گرفته است. نهایتاً نتایج بررسی‌ها نشان داد سیستم‌های انرژی موجود در سناریوهای کم‌کربن، مبادلات کمتر و تنوع بیشتری نسبت به سناریوی پایه دارند. همچنین مشخص شد که مزایای امنیت انرژی حاصل از کاهش کربن، به خصوص در مقیاس جهانی، برای تمامی مناطق و کشورها برابر نیست.

همچنین فنینگر^۲ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مسائل امنیت انرژی، کاهش انتشار کربن و هزینه سه منبع تامین انرژی شامل انرژی‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های فسیلی (همراه یا بدون سیستم ذخیره و نگهداری دی اکسید کربن) و انرژی هسته‌ای برای سیستم انرژی بریتانیا (انگلیس، ویل و اسکاتلند) پرداختند. بدین منظور دو سوال مطرح شده است: ۱- با در نظر گرفتن چارچوب‌های مدل‌سازی با مقیاس یکسان، ترکیب‌های تکنولوژی‌های گوناگون تا چه میزان می‌توانند از منظر سه مسئله مورد بررسی تفاوت داشته باشند؟ ۲- هزینه و در دسترس بودن ذخیره‌سازی در شبکه چقدر می‌تواند هزینه کلی سیستم را تحت تاثیر قرار دهد و آیا این موضوع می‌تواند باعث ایجاد برتری برای برخی تکنولوژی‌ها نسبت به دیگری شود یا خیر؟ نتایج این تحقیقات نشان دادند که از میان طیف گسترده‌ای از ترکیب‌ها، هزینه کلی مشابه بوده و اجرای پیکربندی‌های مختلف به یک اندازه از نظر فنی و اقتصادی امکان‌پذیر هستند. با این حال سناریوهایی که از نظر اقتصادی بهترین عملکرد را دارند لزوماً از نظر فنی نیز بهترین نیستند. وجود ذخیره‌سازی شبکه‌ای با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به ظرفیت‌های مختلف ذخیره‌ساز نیز با تولید کم خود می‌تواند تا ۵۰٪ هزینه تسطیح شده برق را کاهش دهد. همچنین بریتانیا حتی در کمترین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌تواند به تولید بادی و خورشیدی داخلی خود تکیه کند به طوری که هزینه تسطیح شده تنها حدود ۱۰٪ بیشتر از مقدار میانگین ۰/۰۸۴ GBP/KWh در سهم بین ۵۰ تا ۷۰ درصدی خواهد شد.

در انتها نیز می‌توان به مطالعات مقایسه‌ای به منظور ارائه راهبردهای مدیریتی بخش انرژی کشور ارائه کرد. در این زمینه نیز چهارسوقی و همکارانش (۱۳۹۱) ضمن تبیین روش "برنامه‌ریزی سناریو"، به تجزیه و تحلیل رویکردی جدید در فرآیندهای برنامه‌ریزی سناریو به منظور ارزیابی "راهبردهای مدیریت انرژی کشور" پرداختند و مقوله‌هایی نظیر تبیین مسئله اصلی، شناسایی عدم قطعیت‌ها، ترکیب و ایجاد سناریوها و ارزیابی راهبردهای ذریبط را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، بهره‌گیری مناسب از انرژی به عنوان یک اصل مهم در سیاست‌های اقتصاد کلان جوامع معرفی گردیده و بیان شده که اگر ایران با کشورهای منتخب در خصوص مصرف انرژی مقایسه شود، مشاهده می‌گردد که به دلیل برنامه‌ریزی‌های منسجم و تدوین راهبردهای بخش انرژی، کارایی و بهره‌وری همه کشورها از ایران بیشتر بوده است.

¹ Global Energy Assessment

² pfenninger

همچنین یزدان‌پناه درو و همکارانش (۱۳۹۶)، با مقایسه ژئوپلیتیکی دو کشور ایران و ژاپن، تاثیر عوامل انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر سازوکارهای امنیت انرژی این کشورها مقایسه و ارزیابی کردند. طبق این پژوهش در ژاپن به منظور تامین منابع انرژی از کشورهای مطمئن و با حداقل قیمت، رویکرد بلندمدت امنیت انرژی به شرح زیر طرح‌ریزی شده است:

۱. تسهیل سرمایه‌گذاری جهانی در طرح‌های توسعه بالادستی صنعت نفت
۲. برپایی و گسترش بازارهای LNG در راستای آمادگی برای نوسانات قیمت نفت خام
۳. صادرات فناوری‌های مربوط به صرفه‌جویی و بهره‌وری انرژی ژاپن، در راستای کاهش وابستگی جهانی به نفت خام

همچنین ایران از نگرش ژئوپلیتیکی دو راهبرد را پیش رو دارد:

۱. حفظ متحدان آسیایی وابسته به انرژی با محوریت ژاپن، چین و کره جنوبی و محقق کردن بخشی از اهداف بلندمدت امنیتی خود به واسطه ژئوپلیتیک انرژی
۲. حرکت به سمت تولید پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر

۳. روش شناسی پژوهش

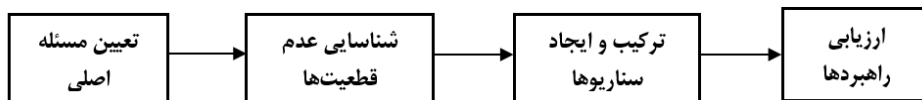
امروزه بازارهای انرژی از نظم خاصی تبعیت نمی‌کنند و سلايق تجاری، تبلیغاتی و سیاسی به جای برنامه‌ریزی مرکزی صنعت انرژی را هدایت می‌کند؛ میزان عدم قطعیت در محث آینده‌پژوهی انرژی به طور مداوم افزایش یافته است و این موضوع چه در سطح ملی و چه در سطح جهانی صدق می‌کند (ملکی، ۱۳۹۵). از طرف دیگر منابع تامین انرژی مختلف به عنوان یک عامل مهم در تمام جنبه‌های اقتصادی، علمی و سیاسی محسوب می‌شوند که تاثیرات زیست‌محیطی، پیشرفت داخلی و خارجی و پایایی سیستم‌های تولید انرژی در نتیجه انتخاب این منابع انرژی مختلف قابل چشم‌پوشی نمی‌باشد. این تاثیرات امروزه به دلیل تغییرات و عدم قطعیت، نیاز به مدیریت صحیح و تدوین استراتژی‌های کارا دارند. هرچه این تغییرات و عدم قطعیت‌ها بیشتر آشکار شوند تصمیمات منطقی‌تری در سطوح سازمانی، ملی و جهانی می‌توانند حاصل شوند. فنون برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو زمانی که محیط عدم قطعیت بالایی دارد به عنوان روشی برای تصور آینده‌های مختلف به میزان زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

اهمیت مسائل انرژی در هر کشور کاملاً جایگاه ویژه‌ای دارد؛ این اهمیت در کنار عدم قطعیتی که در بخش‌های قبل به عنوان عضوی جداناپذیر از انرژی مطرح شد باعث طرح موقعیتی می‌شود که کاربرد برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو را در تدوین استراتژی، تصمیم‌گیری، درک مشکلات و فرصت‌های آینده انرژی آشکار می‌کند. بنابراین در این پژوهش تلاش شده است تا بر تکیه بر اطلاعات و تحقیقات با ارزش انجام گرفته در مورد انرژی به خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و جهان، همچنین با استفاده از ابزار برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو، به طراحی سناریوهایی در راستای آینده‌پژوهی انرژی‌ها تجدیدپذیر و نو در جهان بپردازیم.

۳-۱. تبیین فرآیند برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو

فرآیند پردازش سناریو را می‌توان به سه مرحله مشخص و مجزا تفکیک کرد؛ خلق سناریو، بسط سناریو و ادغام سناریو در فرآیندهای تصمیم‌گیری (عطاران، ۱۳۹۲). خلق سناریو فرآیند تحلیل عدم قطعیت در محیط راهبردی و سازمان‌دهی آن در قالب تعداد معدودی سناریو سازگار است. زمانی که سناریوها تنظیم شدند، لازم است که ساختار رقابت و عملکرد شرکت در هر سناریو تحلیل شود. بسط سناریوها می‌تواند کیفی، کمی یا به هر دو صورت باشد و نتیجه آن درک عالی و عملکرد در هر سناریو است. قدم آخر، ادغام (گنجاندن) تحلیل سناریوها در انتخاب‌های راهبردی است. این فرآیند شامل درک این مطالب است که در هر یک از سناریوها، چه نوع راهبردی باید اجرا شود و چگونه انتخاب‌های راهبردی احتمال سناریوهای مختلف را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

برنامه‌ریزی سناریو، با شناسایی مسئله اصلی که موجد یک مشکل واقعی برای مدیریت است آغاز می‌شود. در این مرحله، حدود مسئله اصلی، مشتمل بر شناسایی مدیران درگیر مسئله و بعد زمانی مطالعه سناریو تعیین می‌شود. بعد زمانی سناریو، دوره‌ای است که استراتژیست‌ها نسبت به متغیرها و چگونگی کنش آن‌ها با شک و عدم اطمینان می‌نگرند. پس از تشخیص مسئله کانونی و حوزه تحلیل، باید نیروهای پیش‌رانه که رویدادهای آینده را تعیین می‌نمایند شناسایی نمود. اهمیت این گام در آن است که آینده، در اکنون ریشه دارد و از تعامل پیچیده بین بسیاری از تصمیمات و اقدامات انجام شده توسط افراد و سازمان‌های مختلف و تغییرات کوچک و بزرگ محیطی شکل می‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در فرآیند برنامه‌ریزی سناریو، مهم‌ترین گام شناسایی نیروهای پیش‌ران به عنوان متغیرهای غیر قطعی، مرتبط با مسئله کانونی است. شکل (۳) به طور خلاصه بررسی فرآیند برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو را نشان می‌دهد (چهارسوقی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل شماره (۳) فرآیند برنامه‌ریزی سناریو

۳-۲. طراحی سناریوها به روش جی‌بی‌ان

روش سناریونویسی جی‌بی‌ان، زائیده روش سناریونویسی شرکت نفتی شل است. یکی از روش‌هایی که جی‌بی‌ان برای منطقی کردن عدم قطعیت‌ها به کار می‌برد، تولید و توسعه ماتریس سناریو است. از تقابل دو عدم قطعیت بسیار مهم درباره یک موضوع مشخص، چندین چارچوب باورشدنی اما چالش برانگیز برای آن موضوع بدست می‌آید؛ که این سناریوها در سطوح ملی، منطقه‌ای و سازمانی کاربرد دارند. برای تدوین سناریو بر مبنای این روش، می‌بایست هفت گام پیموده شود که عبارتند از (اوگیلوی و همکاران^۲، ۲۰۰۴).

¹ GBN

² Ogilvy, et.al

- شناسایی موضوع یا تصمیم اصلی
- شناسایی عناصر کلیدی در محیط منطقه‌ای
- شناسایی پیشران‌های تغییر
- تحلیل و طبقه‌بندی نیروهای کلیدی محیطی بر اساس دو عامل اهمیت و عدم قطعیت
- منطقی‌دهی به سناریوها
- پر بار کردن سناریوها
- مضامین و نتایج

که در ادامه به تفصیل این هفت گام در پژوهش پرداخته خواهد شد.

۳-۲-۱. شناسایی موضوع یا تصمیم اصلی

این گام یافتن پاسخ به پرسش‌هایی است که طی آن دغدغه‌های تصمیم‌گیران به دست می‌آید. آنچه که تصمیم‌گیران می‌اندیشند و در آینده نزدیک اثری چشم‌گیر خواهد گذاشت، همچنین تصمیم‌هایی که باید اتخاذ شود و اثر بلندمدتی بر آینده خواهند داشت، نمونه‌هایی از این پرسش‌ها هستند.

در این پژوهش می‌توان دغدغه‌های سیاستگذاران کلان انرژی کشور را به دو دسته کلی تقسیم کرد: اول اینکه با توجه به تغییر الگوی بازار جهانی انرژی، افزایش نفوذ تجدیدپذیرها و تغییرات بنیادین در تکنولوژی انرژی، ترکیب عرضه و تقاضا در آینده به چه صورت خواهد بود. ثانياً متناسب با این تغییرات در ترکیب عرضه و تقاضای بازار انرژی، چه اقداماتی برای ارتقاء امنیت انرژی کشور باید انجام پذیرد؟

۳-۲-۲. شناسایی عناصر کلیدی در محیط منطقه‌ای

پس از شناسایی موضوعات و تصمیم‌های کلیدی، تهیه لیستی از عناصر کلیدی اثرگذار بر موفقیت یا شکست آن تصمیم گام دومی است که باید پیموده شود. در این گام به مسائلی مانند مشتریان، تامین‌کنندگان، رقبا و ... پرداخته می‌شود. یافتن پاسخ پرسش‌های زیر راه‌گشای این مرحله خواهد بود:

- تصمیم‌گیران در هنگام انتخاب گزینه‌های خود نیاز به دانستن چه نکاتی دارند؟
- چه چیزی به عنوان موفقیت یا شکست شناخته می‌شود؟
- چه ملاحظاتی نیاز است تا پی‌آمدهای مورد نظر به دست آید؟

از آنجایی که در این پژوهش موفقیت را می‌توان ارتقاء قدرت و نفوذ ایران در بازار جهانی انرژی و عرضه با قیمت معقول برای پاسخگویی به تقاضا تعریف کرد، بنابراین در قالب سناریوهای طراحی شده باید وضعیت عدم قطعیت‌های بازار بر مشتریان انرژی و منابع صادراتی ایران مشخص گردد. برای مثال در فضای هر سناریو چه تغییراتی بر تقاضای منابع نفت و گاز یا تکنولوژی انرژی اعمال خواهد شد. از طرف دیگر باید شناخت کاملی نسبت به ابعاد و شاخص‌های امنیت انرژی و تاثیر اتخاذ هر راهبرد بر این ابعاد و شاخص‌ها در فضای هر سناریو ایجاد شود.

۳-۲-۳. شناسایی پیشران‌های تغییر در افق سناریو

سناریوها در واقع راهی برای فهم پویایی شکل‌دهنده آینده است. به همین دلیل باید در زمان حال برای شناسایی نیروهای پیشران در آینده تلاش کرد. این نیروها به صورت کلی در چهار گروه قابل تفکیک هستند:

- پویایی اجتماعی شامل موضوعات جمعیت‌شناختی و کمی، ارزش‌ها و سبک زندگی
- موضوعات اقتصادی شامل روندهای اقتصاد کلان و نیروهای شکل‌دهنده آینده اقتصاد، نیروهای کاری و سازمانی
- موضوعات سیاسی شامل انتخابات در کشور، قانون‌گذاری، تنظیم مقررات و سیاست‌های انرژی
- موضوعات فناورانه که به طور مستقیم یا غیر مستقیم وجود دارند و یا موضوعاتی که به عنوان توانمندساز شناخته می‌شوند.

نیروهای پیشران این پژوهش برگرفته از مطالعات انجام شده توسط شورای جهانی انرژی که در طی آن با انجام یک دلفی تخصصی چندگانه از ۵۰۰۰ متخصص تهیه شده و همچنین شاخص‌های انرژی ارائه شده توسط سازمان بین‌المللی HELIO به منظور بررسی وضعیت ایران در حرکت به سمت توسعه پایدار می‌باشد (ثابت قدم، ۲۰۰۶)، (IEA, 2017). این نیروهای پیشران که به دلیل جامعیت بالا در اکثر مطالعات بین‌المللی دیگر نیز به کار رفته‌اند، به شرح زیر می‌باشند:

- بهره‌وری و رشد اقتصادی
- تقاضای جهانی انرژی
- حکمرانی جهانی بر بازار انرژی
- ابزارها برای اقدام و عمل
- تغییرات اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای
- پایداری زیست‌محیطی
- نوآوری و پیشرفت تکنولوژی انرژی

همچنین گام دیگر، مشخص نمودن چارچوب زمانی تحلیل است؛ چشم‌انداز آینده اقتصاد جهانی نشانگر افزایش قابل توجه تقاضای انرژی می‌باشد. افزایش جمعیت به تبع خود افزایش مصرف و تقاضای انرژی را به دنبال دارد؛ همچنین تقاضای فرآیندهای انرژی با توجه به تحولات سیاسی با محدودیت عرضه امن انرژی همراه است. علاوه بر این، رشد فرآیندهای تقاضای انرژی با موانعی از جمله عدم وجود منابع کافی و تاثیر منفی برخی از منابع فسیلی بر محیط زیست انسان شده است. این مساله منجر به ایجاد پیمان‌هایی در حوزه امنیت عرضه، تقاضا و آلایندگی زیست محیطی منابع در حوزه انرژی شده است. در نهایت از آنجایی که سال ۲۰۵۰ در بسیاری از مناسبات جهانی حوزه انرژی به عنوان سال هدف شناخته شده است، طبعاً در این دوره زمانی بخش انرژی با طیف گسترده‌ای فرصت‌ها و تهدیدهای استراتژیک مواجه است (ملکی، ۱۳۹۵). بنابراین، بازه گفته شده برای

چارچوب زمانی تحلیل انتخاب شده است؛ تا علاوه بر هدفمند بودن، پیچیدگی پژوهش خیلی دور از دسترس نباشد.

۳-۲-۴. رتبه‌بندی عوامل بر اساس اهمیت و عدم قطعیت

مرحله بعدی رتبه‌بندی عوامل کلیدی و روندهای پیشران بر پایه دو معیار است: نخست درجه اهمیت موفقیت موضوع اصلی، دیگری درجه عدم قطعیت دربرگیرنده آن روندها و عوامل است. نکته مهم، شناسایی دو تا سه شاخص یا روندی است که دارای بیشترین اهمیت یا بیشترین عدم قطعیت هستند. عوامل مشخص و از پیش تعیین شده در سناریوها پدیدآورنده تفاوت در سناریوها نیستند چراکه در تمامی سناریوها به شکل ثابت حضور خواهند داشت.

تودر بین نیروهای پیشران شناسایی شده در این پژوهش، می‌توان نحوه حکمرانی جهانی بر بازار انرژی را به عنوان با اهمیت‌ترین و کلیدی‌ترین متغیر شناسایی کرد؛ زیرا نوع تمرکز بر حاکمیت جهانی به صورت مستقیم بر سایر عدم قطعیت‌های این حوزه تاثیر خواهد گذاشت. به عبارت دیگر این متغییر تعیین می‌کند که محرک اصلی سیاستگذاری در این حوزه از چه عاملی نشات می‌گیرد. پس از آن پیشرفت تکنولوژی به خصوص در حوزه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر از جمله مسائلی است که می‌تواند آینده بازار انرژی و سایر عدم قطعیت‌ها را تحت شعاع خود قرار دهد. برای مثال کاهش $LCoE^1$ منابع خورشیدی فتوولتائیک مستقیماً بر تقاضای منابع فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تاثیرگذار خواهد بود.

همچنین پیشران دیگری که می‌تواند بر سایر عدم قطعیت‌ها تاثیرگذار باشد، بحث پایداری زیست‌محیطی است. توالی فجایع زیست‌محیطی و فشار افکار عمومی به خصوص در کشورهای توسعه یافته، مسئله‌ای است که می‌تواند نوع تمرکز بر حکمرانی جهانی را تغییر دهد. برای مثال تکرار آتش‌سوزی‌های گسترده استرالیا در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ می‌تواند حکمرانی جهانی را از تمرکز بر اقتصاد، بر تغییرات اقلیمی تغییر دهد. بنابراین موضوع پایداری زیست‌محیطی به‌عنوان یکی دیگر از با اهمیت‌ترین عوامل کلیدی و روندهای پیشران در این پژوهش شناسایی شده است.

۳-۲-۵. گزینش منطق سناریوها

نتایج گام پیش معین می‌کند که سناریوها حول چه محورهایی تغییر خواهند کرد؛ بنابراین تعیین صحیح محورها به عنوان گلوگاهی مهم در فرآیند تولید و توسعه سناریو شناخته می‌شود. هدف در انتها دستیابی به سناریوهای معدودی است که در تصمیم‌گیری‌های گوناگون اثرگذار خواهند بود. پیشران‌های سناریو باید انگشت‌شمار باشند تا نتیجه توسعه سناریوها حول آن‌ها دارای تفاوتی آشکار بوده و بتوان آن‌ها را به صورت دقیق و جزئی بیان کرد.

¹ Levelized Cost of Energy

دو منطق کلی که در نگارش سناریوها کاربرد دارند را می‌توان رویکرد استقرایی و رویکرد استنتاجی دانست؛ در روش استقرایی تحلیلگران تا رسیدن به اجماع با یکدیگر مباحثه می‌کنند در حالیکه در رویکرد استنتاجی با کمک روش‌های اولویت‌بندی، دو یا چند عدم اطمینان بسیار مهم انتخاب شده ماتریس حاصله از آن‌ها تشکیل می‌شود. در این روش تحلیلگران با مباحثه با یکدیگر به اولویت‌بندی و مرتب‌سازی عدم اطمینان‌های شناسایی شده می‌پردازند و دو یا سه عدم اطمینان بسیار کلیدی را که بسیار غیرقابل پیش‌بینی و مرتبط با موضوع اصلی است، مشخص می‌کنند.

با توجه به توضیحات ارائه شده، در این پژوهش تصمیم گرفته شد تا از روش استنتاجی به عنوان منطق سناریو استفاده شود؛ و سه متغیر کلیدی شامل نحوه حکمرانی جهانی بر بازار انرژی، توسعه تکنولوژی انرژی و سیاست‌های زیست‌محیطی به عنوان محورهای طراحی سناریو انتخاب شده‌اند. حکمرانی جهانی در این پژوهش می‌تواند با تمرکز بر توسعه اقتصادی، تغییرات اقلیمی یا رقابت‌های ژئوپلیتیک منطقه‌ای شکل گیرد. توسعه تکنولوژی نیز در هر سناریو می‌تواند پایدار یا متحول شده در افق تحلیل در نظر گرفته شود. همچنین سیاست‌گذاری زیست‌محیطی ممکن است با همکاری جهانی یا واگرایی منطقه‌ای اتخاذ شود؛ و در نامطلوب‌ترین حالت با اخلال جهانی در این حوزه مواجه شود.

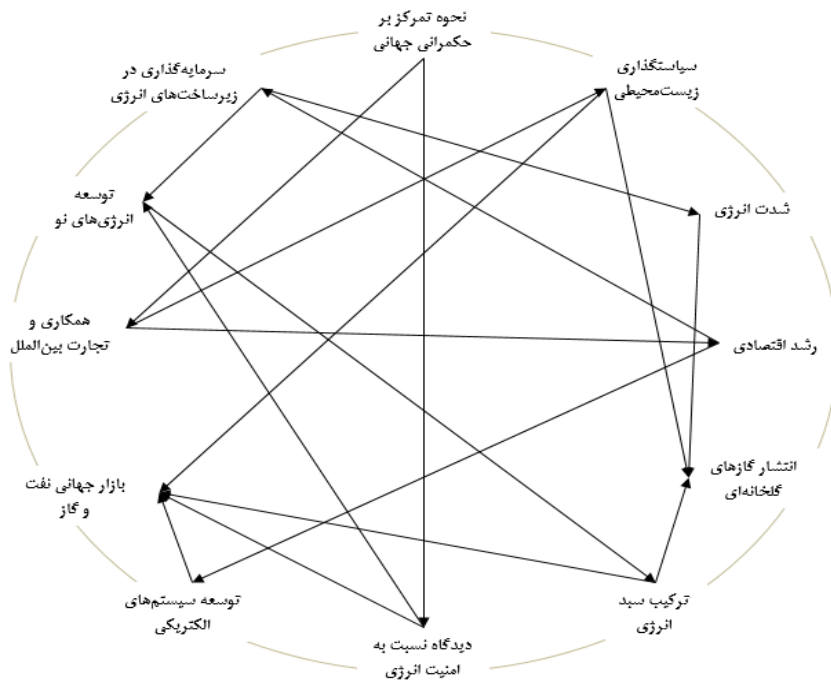
۳-۲-۶. پر بار کردن سناریوها

در حالی که مهم‌ترین نیروها مشخص‌کننده منطق جاری در سناریوها هستند، پر بار کردن خمیرمایه سناریوها با کمک استفاده از عوامل کلیدی و روندهای مهم شناسایی شده در گام‌های دو و سه میسر می‌شود. به هر عامل یا روند کلیدی باید در این سناریوها پرداخته شود؛ سپس با توجه به منطق سناریو، باید قسمت‌های جداگانه را با روایتی مناسب به هم مرتبط ساخت.

باید توجه داشت که تنها یک روش برای توسعه سناریو وجود ندارد، فرهنگ‌های گوناگون، ابزار تسهیل‌کننده مختلف و صنایع متفاوت هر کدام می‌توانند در چگونگی توسعه و پر بارسازی سناریوها اثرگذار باشد. اگرچه پایه و مایه اصلی سناریوها دو یا چند عامل بسیار کلیدی و غیر قابل پیش‌بینی در هر مرحله هستند، اما برای پر بار سازی سناریوها باید از دیدگاه عوامل اثرگذار محیطی نیز بهره‌برد. برای پر بار کردن سناریوها روش‌های گوناگونی پیشنهاد می‌شود: تفکر سیستمی برای عمق بخشیدن به سناریوها کارآیی دارد؛ از طرف دیگر توسعه داستانی برای طولانی کردن پایه سناریو و اضافه کردن آغاز، میانه و پایان داستان سناریو کارآمد است. همچنین کاراکترها نیز برای اضافه کردن شخصیت‌های فردی یا گروهی به سناریو و یا شخصی‌سازی آن‌ها کاربرد دارند.

در این پژوهش پس از مشخص شدن دیدگاه اصلی هر سناریو نسبت به مسائل محوری گفته شده در بخش گذشته، تاثیر فضای ایجاد شده در آن سناریو بر تمام عدم قطعیت‌ها مشخص می‌شود. به عبارت دیگر پس از مشخص شدن نحوه تمرکز بر حکمرانی جهانی، تاثیر این مساله بر تجارت بین‌الملل، حمایت از منابع داخلی و رشد اقتصادی مشخص خواهد شد. از طرف دیگر رشد اقتصادی میزان سرمایه‌گذاری در بهره‌وری انرژی و انرژی‌های نو را مشخص می‌کند. به همین منظور از آنجایی که مهم‌ترین مساله در بخش مرتبط ساختن عدم

قطعیتهای شناسایی شده به یکدیگر به وسیله منطق سناریو می‌باشد، در شکل (۴) نحوه ارتباط عوامل بررسی کلیدی بررسی شده در پژوهش با یکدیگر مشخص شده است.



شکل شماره (۴) نحوه تعامل عدم قطعیت های سناریوها

۳-۲-۷. مضامین و نتایج

پس از توسعه سناریوها بر اساس جزئیات مشابه، باید به مساله و تصمیم کلیدی شناسایی شده در گام نخست بازگشت. سپس مشخص کرد که با توجه به هر سناریو آن تصمیم و مساله چگونه به نظر می‌رسد؟ چه آسیب پذیری هایی در سناریوها مشخص شده است؟ آیا تصمیم یا راهبرد گزیده شده در تمام سناریوها یا تنها در یک یا دو تا از آن‌ها پابرجاست؟ اگر تصمیمی تنها در یک سناریو از میان چندین سناریو مناسب باشد، در این صورت آن تصمیم ریسک بالایی به همراه خواهد داشت؛ به ویژه اگر کنترل کمی بر احتمال وقوع آن سناریو وجود داشته باشد.

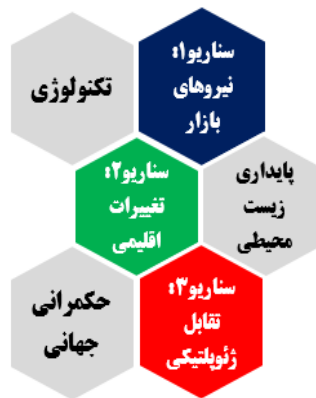
به عبارت دیگر در این مرحله وقت آن است پس از طراحی سه سناریو با توجه به محورهای کلیدی و نحوه ارتباط عدم قطعیت های آینده بازار انرژی، راهبردهای مناسب برای ارتقاء امنیت انرژی کشور در فضای هر سناریو اولویت بندی شوند. بدین منظور در این پژوهش سعی شده است راهبردهای پیشنهادی در قالب سند راهبردی انرژی کشور با اصلاح ایرادات وارده بر بندهای این سند به سیاستگذاران پیشنهاد شود.

۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

پس از هدف‌گذاری در راستای آینده‌پژوهی انرژی‌های نو در بازار جهانی انرژی به منظور ارائه راهکارهای ارتقاء امنیت انرژی ایران، تصمیم بر آن شد با ابزار برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو و روش جی‌بی‌ان، سناریوهای پژوهش طراحی شوند. بنابراین در این بخش سه سناریو مختلف که هر کدام منتج به الگوی متفاوتی برای آینده بازار انرژی جهانی می‌شوند، ارائه شده‌اند. باید توجه داشت که یقیناً آینده بازار انرژی جهانی در تطابق کامل با هیچ یک از این سناریوها نخواهد بود؛ بنابراین به دلیل عدم قطعیت زیاد در صنعت انرژی جهانی، این سناریوها عمدتاً برای نشان دادن فضای نتیجه احتمالی و اعمال راهبردهای مناسب به منظور ارتقاء امنیت انرژی ایران طراحی شده است.

به طور خلاصه می‌توان گفت در سناریو شماره ۱، نیروهای بازار و توسعه فناوری، در سناریو دوم سیاست‌های اعمال شده برای مبارزه با تغییرات اقلیمی و در سناریو شماره سه رقابت‌ها و تنش‌های ژئوپلیتیکی به عنوان محرک‌های اصلی بازار انرژی در نظر گرفته می‌شوند. شکل (۵) نشان‌دهنده محرک اصلی هر سناریو و مهم‌ترین متغیرهای صنعت انرژی در این پژوهش می‌باشد.

از طرف دیگر، در میان این سناریوها شباهت‌هایی نیز وجود دارد؛ به عنوان مثال اقتصاد جهانی تا سال ۲۰۵۰ بسیار بزرگتر از امروز است و بهره‌وری انرژی نیز قطعاً نسبت به حال حاضر بیشتر خواهد بود. همچنین تقاضای برق در کلیه سناریوها به دلیل توسعه سیستم‌های الکتریکی (به‌خصوص در بخش حمل‌ونقل) افزایش خواهد یافت. مجموعاً می‌توان گفت تعامل بین این متغیرها و مواضع ژئوپلیتیکی به عنوان عوامل کلیدی در این سناریوها عمل می‌کنند؛ که تا حدود زیادی سمت و سوی بازار انرژی جهانی در آینده را تعیین خواهند کرد. ادامه هر یک از این سناریوها مختصراً توضیح داده خواهند شد و پس از آن وضعیت مهم‌ترین متغیرهای بازار انرژی در هر یک از سناریوها به تفصیل بیان خواهند شد.



شکل شماره (۵) متغیرهای کلیدی به عنوان محرک اصلی سناریوها

۴-۱. سناریوهای طراحی شده

۴-۱-۱. سناریو اول؛ نیروهای بازار

در این سناریو، نظم جهانی، قوانین، هنجارها و نهادهایی که روابط بین بازیگران را در صحنه جهانی حاکم می‌کند، با همکاری و همزیستی مشخص می‌شوند و به ندرت از منازعات بزرگ و پایدار تاثیر می‌پذیرند. اگرچه در این سناریو بحران‌ها و منازعات سریالی پیش‌بینی شده است اما این رویدادها تا حد زیادی از نظر زمانی و مکانی محدود هستند. الگوهای متضاد حاکمیت جهانی برخی اختلافات را ایجاد می‌کنند. اما به طور کلی اصول رقابت بر بازار حاکم خواهد بود. تجارت جهانی ممکن است اختلالات دوره‌ای را تجربه کند اما شاهد سقوط‌های ناگهانی برگشت‌ناپذیر نخواهد بود. امنیت انرژی به علت اتکای کشورهای واردکننده انرژی به نفت و گاز، همچنان به عنوان مسئله‌ای جدی و مهم مورد توجه قرار خواهد گرفت و تضمین دسترسی به منابع انرژی، از جمله انرژی هسته‌ای و تجدیدپذیر، یک مسئله مهم سیاسی خواهد بود.

با وجود نیاز به مقابله چالش‌های تغییرات اقلیمی، در این سناریو همچنان واگرایی منطقه‌ای واقع در اتخاذ سیاست‌های کم کربن وجود خواهد داشت. اتحادیه اروپا به همراه چین به عنوان رهبران جهانی مبارزه با تغییرات اقلیمی ظاهر می‌شوند، در حالی که ایالات متحده در این زمینه منفعل عمل می‌کند و جاه‌طلبی‌های کاهش انتشار کربن این کشور با تغییرات رهبری سیاسی عملا از بین می‌رود. در این سناریو ملاحظات زیست‌محیطی و اقلیمی مورد توجه و تاثیر قرار می‌گیرند؛ اما لزوماً محقق نخواهند شد. اگر هیچ سیاست مشخصی برای دستیابی به این اهداف اعمال نشود یا اگر دستیابی به آن‌ها با هزینه‌های اقتصادی غیر قابل قبول همراه باشد، تصور نمی‌شود که اهداف تعیین شده برای کاهش انتشار CO₂ بین ۸۰ تا ۸۵ درصد نسبت به سطح ۱۹۹۰، تا سال ۲۰۵۰ محقق شود؛ بر اساس روند فعلی سیاست‌ها و تحولات بازار و فناوری، پیش‌بینی می‌شود میزان انتشار کربن اتحادیه اروپا ۶۰ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش یابد که اختلاف قابل توجهی با سطح تعیین شده دارد. نمونه دیگر هدفی است که هند برای نصب ۱۷۵ گیگاوات انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۲۲ تعیین کرده است؛ که این مورد نیز با توجه به سرعت فعلی افزایش ظرفیت تجدیدپذیر این کشور بعید است محقق شود. این سناریو تاکید زیادی بر توسعه پایدار بازار و تکنولوژی دارد. قیمت انرژی مصرف‌کننده نهایی سیگنال‌های مهمی را برای نحوه عملکرد بازار ارائه می‌دهد و هزینه‌های انرژی و فناوری تصمیمات سرمایه‌گذاری در بلند مدت را شکل می‌دهند. در سناریوی ۱ فرض بر این است که قیمت انرژی مصرف‌کننده نهایی با گذشت زمان به تدریج افزایش یابد؛ زیرا اکثر مناطق جریمه کربن را در قیمت نهایی لحاظ کرده و یارانه‌های انرژی تدریجاً حذف می‌شوند.

امروزه تجارت کربن در اتحادیه اروپا تصویب شده است و پیش‌بینی می‌شود طرح ملی تجارت کربن در چین تا سال ۲۰۲۲ اجرا شود. ضمناً در ایالات متحده نیز یک لایحه فراجناحی به منظور اعمال مالیات جدید بر کربن نیز در حال تصویب و اجرا است. پیشرفت فناوری با سرعت بسیار زیادی ادامه می‌یابد اما هیچ پیشرفت غیر منتظره‌ای پیش‌بینی نمی‌شود و فناوری‌های مختلف به همین صورت با یکدیگر همزیستی خواهند داشت (برای مثال در این سناریو فرض می‌شود پیشرفت غیرمنتظره‌ای در حوزه تکنولوژی ساخت پنل‌های خورشیدی که

منجر به تضعیف شدید جایگاه سوخت‌های فسیلی شود، حاصل نخواهد شد). سیاست‌هایی به منظور پشتیبانی از عوامل اولیه توسعه فناوری‌های جدید اعمال می‌شود اما در نهایت فقط فناوری‌هایی که رقابتی می‌شوند و یا به وضوح پتانسیل رقابت را نشان می‌دهند پایدار خواهند بود. تحول در سیستم‌های انرژی با سرعت بالا ادامه می‌یابد اما عمدتاً محدود به بخش تولید برق و حمل و نقل جاده‌ای خواهد بود.

تقاضای برق با سرعتی بسیار سریع‌تر از تقاضای کلی انرژی رشد می‌کند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ تقاضای جهانی برق ۸۰ درصد بیشتر از امروز باشد. همچنین مصرف برق در همه بخش‌ها (ساختمان، حمل و نقل و صنعت) رشد می‌کند و سهم برق در مجموع مصرف انرژی نهایی^۱ با سرعتی بیش از گذشته افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر سهم سوخت‌های فسیلی در کل تقاضای انرژی اولیه^۲ به تدریج کاهش می‌یابد و از ۸۱ درصد در سال ۲۰۱۸ به حدود ۶۷ درصد در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. زغال سنگ بیشترین کاهش سهم را تجربه خواهد کرد و به دنبال آن سهم نفت و گاز اندکی افزایش خواهد یافت. تمام منابع انرژی کم کربن سهم خود را در سبد انرژی افزایش می‌دهند و در این میان تجدیدپذیرها بیشترین افزایش سهم را کسب خواهند کرد. تغییر در ترکیب سبد انرژی جهانی تاثیر مشخصی بر انتشار CO₂ خواهد داشت به نحوی که اوج انتشار کربن در سال ۲۰۲۵ رخ خواهد داد و تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۰ درصد از میزان آن کاسته خواهد شد که البته این مقدار فاصله قابل توجهی با اهداف تعیین شده به منظور تاثیر بر تغییرات اقلیمی دارد. در انتها جدول (۱) به طور خلاصه وضعیت مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها به عنوان پیش‌فرض‌های توسعه سناریو را مشخص کرده است.

جدول شماره (۱) وضعیت مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها در سناریو ۱

| وضعیت | مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها |
|---|--|
| رشد سالیانه ۲/۸ درصدی GDP در کوتاه مدت؛ و ۲/۲ درصدی در بلندمدت | بهره‌وری و رشد اقتصادی |
| روند افزایشی در کوتاه مدت و شروع روند کاهشی از سال ۲۰۴۰ | تقاضای جهانی انرژی |
| حکمرانی جهانی با تمرکز بر اقتصاد بازارها | حکمرانی جهانی بر بازار انرژی ابزارها برای اقدام و عمل |
| افزایش و تثبیت میزان انتشار در کوتاه مدت؛ پس از آن شروع روند کاهشی با نرخ سالانه ۰/۷ درصد تا سال ۲۰۵۰ | انتشار گازهای گلخانه‌ای |
| واگرایی منطقه‌ای | سیاست‌گذاری زیست‌محیطی |
| توسعه پایدار- بدون پیشرفت غیرمنتظره | تکنولوژی انرژی |

۴-۱-۲. سناریو دوم؛ تغییرات اقلیمی

سناریوی ۲ به گونه‌ای طراحی شده است که تحولات مصرف انرژی در راستای اهداف توافقنامه پاریس باشد و گرم شدن کره زمین را تا زیر ۲ درجه محدود کند؛ همچنین میزان تجمعی انتشار کربن بین سال‌های ۲۰۱۸

¹ Total final consumption

² Total primary energy demand

و ۲۰۵۰ در حدود ۷۷۰ میلیون تن تعیین شده است. این میزان از انتشار کربن تنها در صورتی قابل دستیابی است که قوانین مشخص در زمینه تقاضای انرژی، سبد تامین انرژی و جذب کربن^۱ اعمال گردد. به طور کلی سه راه برای کربن زدایی از سیستم‌های انرژی وجود دارد: توسعه کاربرد سیستم‌های الکتریکی به جای مکانیکی، کاربرد سوخت‌های هیدروژنی و جذب کربن.

در عمل پیاده‌سازی هر سه این اقدامات جهت دستیابی به اهداف تعیین شده در زمینه انتشار کربن لازم خواهد بود. در مجموع این سناریو توجه ویژه‌ای نسبت به بهره‌وری انرژی و توسعه سیستم‌های الکتریکی دارد؛ از طرف دیگر نسبت به توسعه کاربرد فناوری جذب کربن زیاد خوش بین نیست. تا سال ۲۰۵۰ فرض بر این است که ظرفیت نصب شده جهانی جذب کربن به ۱/۵ میلیون تن می‌رسد که در مقایسه با عددی که تا امروز نصب شده است بسیار زیاد است اما در مقایسه با برخی سناریوهای کم کربن دیگر (مانند سناریوی آژانس بین‌المللی انرژی یا سناریو انجمن جهانی انرژی) عدد قابل توجهی نیست.

همانطور که گفته شد این سناریو به این فرض متکی است که یک فضای خوش‌بینانه ژئوپلیتیکی و منطقه‌ای از انتقال سریع‌تر و همکاری جهانی بیشتر در زمینه تغییرات اقلیمی پشتیبانی می‌کند و نظم جهانی با همکاری بیشتر هنجارها، نهادها، ارزش‌ها و اصول جهانی شکل می‌گیرد. تجارت بین‌الملل از طریق رژیم‌های تجارت آزاد جهانی و شبکه‌های زیرساختی یکپارچه‌تر منطقه‌ای ایجاد می‌شود که منجر به هم‌افزایی و ارتباطات تجاری بیشتر خواهد شد. همچنین توسعه فناوری در سطح جهانی بسیار زیاد خواهد بود که پیشرفت چشمگیر و سریع در انرژی‌های پاک و بهره‌وری انرژی را امکان‌پذیر می‌کند. مساله امنیت انرژی کمتر مورد توجه و دغدغه کشورها خواهد بود، زیرا علاوه بر کاهش نیاز به واردات سوخت، اعتماد متقابل کشورها به یکدیگر نیز افزایش خواهد یافت. البته لازم به ذکر است که این تغییر در سیستم‌های انرژی، چالش ژئوپلیتیکی جدیدی برای کشورها ایجاد کند که در آینده درباره آن بیشتر بحث خواهد شد.

در این سناریو سیاست‌های زیست‌محیطی به طور موثر اجرا می‌شود و فرض بر این است که همه مناطق جریمه کربن را در سطوح قابل توجهی بالاتر از نرخ فعلی اعمال می‌کنند. همچنین به منظور جذب سرمایه‌گذاری‌های در بخش فناوری‌های کم کربن، ملاحظات سیاسی جدیدی در بازاهای انرژی انجام خواهد گرفت. در این زمینه می‌توان به مواردی از جمله افزایش سهم تجدیدپذیرها در تولید برق، توسعه ساختمان‌های سبز، افزایش سهم برق در بخش حمل و نقل و به کارگیری فناوری جذب کربن در بخش تولید برق و صنایع اشاره کرد.

این سناریو در نگاه اول بسیار چالش برانگیز به نظر می‌رسد اما باید توجه داشت که اینجا تغییرات اقلیمی تنها محرک تغییر و تحول در سیستم‌های انرژی نیست. انگیزه برای توسعه تجدیدپذیرها از طیف وسیعی از عوامل مانند امنیت انرژی، کاهش آلاینده‌گی در سطح ملی، ایجاد صنایع جدید و بدست آوردن مزیت رقابتی، ایجاد شغل و تحریک اقتصاد سرچشمه می‌گیرد. این ملاحظات نسبت به سناریوی ۱ نقش موثرتری در این سناریو

^۱ Carbon capturing

دارند. این مساله که در سطح جهانی با استفاده از اجبار و ابزار تحریم لازم باشد تا برخی کشورها و مناطق را وادار به اتخاذ تدابیری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌کنند، دور از ذهن نیست. همچنین ممکن است محیط سیاسی به دلیل تبلیغات در زمینه تغییرات اقلیمی و تغییر در نظر افکار عمومی در این زمینه بی‌ثبات‌تر شود. احتمال دیگر این است که منابع زیست‌محیطی در بازه زمانی مورد نظر باعث تغییرات ناگهانی در راهبرد مصرف انرژی گشته و به عنوان محرک اصلی در این سناریو عمل می‌کند.

در این سناریو تقاضای جهانی انرژی اولیه به دلیل افزایش بهره‌وری انرژی کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر تقاضای برق بیش از ۷۰ درصد نسبت به امروز افزایش می‌یابد و سهم برق در مصرف انرژی نهایی تا سال ۲۰۵۰ دو برابر خواهد شد. مسیر انرژی جهانی با تغییرات اساسی همراه می‌شود، سهم سوخت‌های فسیلی به زیر ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و باعث می‌شود که انتشار CO₂ مربوط به تولید و مصرف انرژی بیش از ۴۰ درصد نسبت به سطح امروزی کاهش یابد. در انتها جدول (۲) به طور خلاصه وضعیت مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها در این سناریو را مشخص کرده است.

جدول شماره (۲) وضعیت مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها در سناریو ۲

| مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها | وضعیت |
|------------------------------|---|
| بهره‌وری و رشد اقتصادی | رشد سالیانه ۲/۵ درصدی GDP در کوتاه مدت؛ و ۲/۶ درصدی در بلندمدت |
| تقاضای جهانی انرژی | شروع روند کاهشی با نرخ ۰/۲ درصد سالانه در کوتاه مدت و سپس ۰/۶ درصد در بلندمدت |
| حکمرانی جهانی بر بازار انرژی | حکمرانی جهانی با تمرکز بر تغییرات اقلیمی |
| ابزارها برای اقدام و عمل | ترکیبی از دولت‌ها و بازارها |
| سیاست‌گذاری زیست‌محیطی | همکاری جهانی |
| انتشار گازهای گلخانه‌ای | شروع روند کاهشی در کوتاه مدت با نرخ میانگین سالانه ۳/۷ درصد تا ۲۰۵۰ |
| تکنولوژی انرژی | تحول تکنولوژیکی در زمینه بهره‌وری و انرژی‌های پاک |

۴-۱-۳. سناریو سوم؛ تقابل ژئوپلیتیکی

در سناریوی شماره ۳ فرض اصلی بر این است که تنش‌ها و عدم قطعیت‌های ژئوپلیتیکی که در حال حاضر در جهان وجود دارد، همچنان پا بر جا خواهد ماند و در برخی ابعاد نیز افزایش می‌یابد. بنابراین رقابتی دوباره برای برقراری توازن قدرت بین قدرت‌های اصلی جریان خواهد گرفت. در این میان ایدئولوژی‌های سیاسی تبعیض‌آمیز، انزواگرایانه، مرکانتیلیستی و ملی‌گرایانه مورد توجه بیشتری قرار خواهند گرفت. تجارت بین‌الملل به دلیل رشد سیستم حمایت از تولیدات داخلی^۱ مختل می‌شود و قراردادهای دو جانبه و انحصاری بر قراردادهای چندجانبه و مشترک ترجیح داده خواهند شد. تجارت و همکاری کمتر، به رشد اقتصادی صدمه می‌زند. همچنین

^۱ Protectionism

نابرابری اجتماعی در نتیجه بروز پیامدهای منفی مهاجرت و شهرنشینی افزایش خواهد یافت. اختلال ایجاد شده در اجماع جهانی علیه تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی، منجر به افزایش واگرایی منطقه‌ای در اعمال سیاست‌های زیست‌محیطی خواهد شد. از طرف دیگر سایر اهداف سیاست‌گذاری انرژی در اولویت بالاتری قرار می‌گیرند؛ برای مثال بهبود امنیت انرژی با تکیه بر محدودیت واردات و توسعه منابع انرژی داخلی.

این سناریو با وجود کمترین رشد اقتصادی، بیشترین رشد تقاضای انرژی را نسبت به سایر سناریوها پیش‌بینی می‌کند که عمدتاً ناشی از مسائلی از جمله عدم اعمال قوانین زیست‌محیطی، حذف نشدن یارانه‌های انرژی و سرمایه‌گذاری کمتر در حوزه بهره‌وری انرژی می‌شود. در نتیجه، این قضا با به نوبه خود موجب می‌شوند بهبود شدت انرژی نسبت به سناریوهای دیگر کمتر باشد. همچنین پیاده‌سازی فناوری‌های جدید نیز با اختلال مواجه می‌شود که منجر به مسائلی همچون هزینه بیشتر، بهره‌وری پایین‌تر، توانایی کمتر در یکپارچه‌سازی سیستم‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های تولید برق و عدم توسعه سیستم‌های الکتریکی در بخش حمل و نقل خواهد شد.

همانطور که پیشتر گفته شد، با توجه به مسئله امنیت انرژی در این سناریو، توسعه منابع انرژی داخلی با سرعت بیشتری انجام خواهد گرفت. سهم زغال‌سنگ در سناریوی ۳ نسبت به ۱ بیشتر خواهد بود؛ اگرچه همچنان توسعه در مقیاس بزرگ به دلیل ایجاد آلاینده‌گی محلی و قیمت رقابتی تجدیدپذیرها برای این منبع انرژی انتظار نمی‌رود. بنابراین روند توسعه منابع تجدیدپذیر در این سناریو نیز سریع خواهد بود زیرا آن‌ها در اکثر مناطق به عنوان منبع انرژی بالقوه باقی می‌مانند و همچنین آن‌ها به عنوان منبع انرژی داخلی محسوب می‌شوند که به کاهش واردات انرژی کمک می‌کنند. با این حال اختلال در اعمال قانون‌های حمایتی از تجدیدپذیرها، محدودیت‌های بیشتر در زمینه تجارت و تبادل فناوری و پایین آمدن رشد اقتصادی، سرعت افزایش ظرفیت این منابع را نسبت به سناریوهای قبلی کاهش می‌دهد. از طرف دیگر به دلیل عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی، گاز طبیعی جایگاه خود را در سبد انرژی بعضی مناطق به زغال‌سنگ واگذار می‌کند. تقاضای LNG به دلیل نگرانی‌های مربوط به امنیت عرضه، سیستم حمایت از منابع داخلی، اختلال در تجارت جهانی و هزینه نسبتاً بالای آن با کاهش روبرو خواهد شد. مصرف نفت نسبت به سایر سناریوها به دلایل مختلفی از جمله عدم توسعه سیستم‌های الکتریکی در بخش حمل و نقل، بهره‌وری پایین‌تر و یارانه انرژی بیشتر خواهد شد.

توسعه سیستم‌های الکتریکی در این سناریو کمتر از سایر سناریوها در نظر گرفته شده است و اما از آنجایی که تقاضای کل انرژی در این سناریو به طرز قابل توجهی بالاتر است، بنابراین مجموع تقاضای برق (بر حسب تراوات ساعت) در این سناریو با سناریوی ۲ تقریباً برابر خواهد بود. ترکیب سبد انرژی در این سناریو کمترین تغییر را نسبت به حال حاضر خواهد داشت به نحوی که تا سال ۲۰۵۰ سوخت‌های فسیلی هنوز هم بیش از ۷۵ درصد از تقاضای انرژی اولیه را شامل می‌شوند و روند انتشار کربن تا سال ۲۰۴۰ همچنان افزایشی خواهد بود. در انتها جدول (۳) به طور خلاصه وضعیت مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها در این سناریو را مشخص کرده است.

جدول شماره (۳) وضعیت مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها در سناریو ۳

| مهم‌ترین عدم قطعیت‌ها | وضعیت |
|------------------------------|---|
| بهره‌وری و رشد اقتصادی | رشد سالیانه ۲/۶ درصدی GDP در کوتاه مدت؛ و ۲ درصدی در بلندمدت |
| تقاضای جهانی انرژی | ادامه روند افزایشی تا سال ۲۰۵۰ با نرخ سالانه ۰/۸ درصد |
| حکمرانی جهانی بر بازار انرژی | حکمرانی جهانی با تمرکز بر رقابت‌های ژئوپلیتیکی - سیستم بین‌المللی گسسته |
| ابزارها برای اقدام و عمل | دولت‌ها |
| سیاست‌گذاری زیست‌محیطی | اخلال در سطح جهانی |
| تکنولوژی انرژی | تثبیت تکنولوژی در حوزه انرژی |
| انتشار گازهای گلخانه‌ای | حفظ روند افزایشی در کوتاه مدت؛ سپس تثبیت از اواخر دهه ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ |

۴-۲. ارزیابی سند ملی راهبردی انرژی کشور

مطابق هدف پژوهش، به منظور تحلیل و ارائه راهبردهای مناسب جهت ارتقاء امنیت انرژی ایران، باید ابتدا بررسی شود آیا راهبردهای موجود در سند ملی راهبردی انرژی کشور، بر اساس یک چارچوب سیاستی استاندارد طراحی شده‌اند یا خیر؟ بنابراین در این بخش ابتدا به تحلیل راهبردهای ارائه شده در سند ملی راهبردی انرژی کشور و تاثیر آن بر ابعاد و شاخص‌های مختلف امنیت انرژی پرداخته می‌شود. بدین منظور جدول ۴ تاثیر اتخاذ هر یک از راهبردهای ذکر شده در این سند را بر ابعاد و شاخص‌های امنیت انرژی کشور مشخص کرده است. این سند در ۳۰ صفحه منتشر شده است و هدف آن ارائه خطوط راهنمای کلان برای یک بازه ۳۰ ساله می‌باشد. این سند از سه بخش کلی شامل چالش‌ها، اهداف و راهبردها تشکیل شده است؛ که در این پژوهش به بخش راهبردها بیشتر توجه شده است. بخش راهبردها نیز خود به پنج بخش فرعی شامل راهبردهای کلی، راهبردهای نفت و گاز، برق، انرژی هسته‌ای و زغال سنگ تقسیم می‌شود (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۷).

جدول شماره (۴) سیاست‌های اصلی انرژی کشور در راستای ارتقاء امنیت انرژی

| ابعاد | شاخص‌ها | راهبردها مطابق سند ملی راهبردی انرژی |
|---|---|---|
| قابلیت دستیابی | - نسبت ذخیره به تولید - تخمین منابع | - اجرای طرح مطالعات جامع انرژی کشور با راهبری سازمان برنامه و بودجه - افزایش حداقل ۵ درصد به ضریب بازیافت میادین نفتی کشور از طریق به کارگیری روش‌های ازدیاد برداشت و تولید صیانتی - شناسایی و اکتشاف جامع زغال سنگ حرارتی کشور |
| بعد مرکب (قابلیت دستیابی و دسترس پذیری) | - تکنولوژی - شدت انرژی - سیالیت بازار | - کاهش ضایعات و تلفات در بخش تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی تا سطح استاندارد ملی - ارتقای فناوری در تجهیزات و فرآیندهای زنجیره انرژی - بهره‌گیری موثر از موقعیت و جغرافیای کشور برای خرید، فروش، معاوضه، فرآوری و ذخیره‌سازی نفت و گاز و برق در بازارهای داخلی و منطقه‌ای با رویکرد حداکثر سودآوری در تجارت حامل‌های انرژی با تاکید بر ارتقاء دیپلماسی انرژی |

| راهبردها مطابق سند ملی راهبردی انرژی | شاخص‌ها | ابعاد |
|---|---|--|
| <p>- ترویج و گسترش فرهنگ صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی و حمایت از توسعه شرکت‌های خدمات انرژی (ESCO)</p> <p>- حمایت از گسترش پژوهش‌های کاربردی، تولید دانش فنی و تجاری‌سازی فناوری‌های نوین</p> <p>- ارتقاء راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور در سطح متوسط کشورهای توسعه یافته</p> | | |
| <p>- توسعه صادرات کالا و تجهیزات دانش‌بنیان و خدمات فنی مهندسی بخش انرژی</p> <p>- افزایش ظرفیت و حفظ سهم تولید در اوپک و بازار جهانی با لحاظ تولید صیانتی از مخازن هیدروکربوری مابع کشور</p> <p>- ایجاد اطمینان در تقاضای فروش نفت خام با خرید یا مشارکت در پالایشگاه‌های خارج از کشور</p> <p>- اتخاذ تدابیر در حوزه دیپلماسی انرژی برای افزایش سهم ایران از تجارت جهانی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی</p> | <p>- قدرت بازار</p> | <p>دسترس پذیری</p> |
| <p>- گسترش اکتشاف نفت و گاز به عنوان پشتوانه تولید نفت و گاز کشور در پهنه سرزمین</p> <p>- گسترش فعالیت‌های اقتصادی در مناطق و سواحل و جزایر جنوبی با استفاده از ظرفیت‌های صنعت نفت و گاز.</p> <p>- استفاده بهینه همراه با فناوری جدید و سازگار با محیط‌زیست از زغال‌سنگ حرارتی در عرضه انرژی و تولید برق</p> | <p>- شاخص تنوع</p> | <p>بعد مرکب (دسترس پذیری و قابل تحمل بودن)</p> |
| <p>- استفاده از روش‌های مختلف تامین مالی داخلی و خارجی برای اجرای طرح‌های صنعت نفت و گاز و افزایش سهم مشارکت بخش غیر دولتی</p> <p>- واقعی کردن قیمت نسبی حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده حداکثر تا پایان پنج سال اول اجرای این سند و تداوم آن</p> <p>- تفکیک کامل وظایف حاکمیتی از تصدی‌گری و ایجاد ساختارهای مناسب برای ایفای وظایف حاکمیتی در بخش انرژی کشور به ویژه صنعت نفت با تاکید بر اعمال حق حاکمیت و مالکیت ملی بر منابع ذخایر و صیانت از آن</p> <p>- اصلاح ساختار سازمانی و همچنین قوانین و مقررات جاری بخش انرژی متناسب با استانداردها و شرایط روز با تاکید بر حداکثرسازی مبادلات تجاری، عملکرد بهینه اجرایی و توسعه‌ای در سطح بین‌الملل و افزایش جذابیت سرمایه‌گذاری</p> | <p>- قیمت انرژی</p> <p>- ثبات سیاسی</p> | <p>قابل تحمل بودن</p> |
| <p>- تجاری‌سازی فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و دوستدار محیط زیست</p> <p>- کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های ناشی از تولید، انتقال و مصرف انواع حامل‌های انرژی</p> <p>- افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک در ظرفیت تولید برق کشور</p> | <p>- سهم انرژی‌های پاک</p> <p>- انتشار کربن</p> | <p>قابل قبول بودن</p> |

۴-۳. راهبردهای پژوهش به منظور ارتقاء امنیت انرژی ایران

مطابق هدف پژوهش، به منظور تحلیل و ارائه راهبردهای مناسب جهت ارتقاء امنیت انرژی ایران، در این بخش سعی شده است با رفع ایرادات موجود در سند راهبردی انرژی کشور برنامه‌هایی در قالب بندهای موجود در این سند به منظور ارتقاء امنیت انرژی کشور پیشنهاد گردد. بدین منظور در جدول ۵ راهبردهای تاثیرگذار موجود در سند ملی راهبردی انرژی کشور بر امنیت انرژی کشور اصلاح و در ۱۷ بند آورده شده‌اند. سپس سعی شده است پیاده‌سازی این سیاست‌ها در چارچوب هر یک از سناریوهای طراحی شده در پژوهش بررسی شود. همچنین بحث تقدم و تاخر در پیاده‌سازی این راهبردها و افق زمانی اعمال این سیاست‌ها در این بخش مورد توجه قرار گرفته است.

جدول شماره (۵) راهبردهای قابل کاربرد در فضای هر سناریو

(✓✓✓ = حداکثر اولویت، ✓ = حداقل اولویت)

| سناریو ۳ | | سناریو ۲ | | سناریو ۱ | | سیاست‌های اصلی |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|--|
| بلند مدت | کوتاه مدت | بلند مدت | کوتاه مدت | بلند مدت | کوتاه مدت | |
| | ✓ | - | - | | ✓ | ۱. شناسایی و اکتشاف جامع زغال‌سنگ حرارتی کشور |
| ✓✓ | | - | - | ✓ | | ۲. افزایش حداقل ۵ درصد به ضریب بازیافت میدین نفتی کشور |
| - | - | | ✓✓ | ✓ | | ۳. بهره‌گیری از موقعیت ژئوپلیتیکی کشور برای معاملات انرژی در بازارهای بین‌المللی |
| | ✓✓ | ✓ | | | ✓✓ | ۴. ترویج و گسترش فرهنگ صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی |
| | ✓✓✓ | ✓✓ | | ✓✓ | | ۵. افزایش نسبت TFC به TPED جریان انرژی کشور از ۴۵ به حداقل ۶۰ درصد |
| ✓✓ | | ✓ | | ✓✓ | | ۶. حمایت از گسترش پژوهش‌های کاربردی، تولید |

| سناریو ۳ | | سناریو ۲ | | سناریو ۱ | | سیاست‌های اصلی |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|---|
| بلند مدت | کوتاه مدت | بلند مدت | کوتاه مدت | بلند مدت | کوتاه مدت | |
| | | | | | | دانش فنی و تجاری‌سازی فناوری‌های نوین |
| ✓✓ | | ✓ | | ✓ | | ۷. ارتقاء راندمان نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی به ترتیب ۳۹، ۳۵ و ۵۰ درصد |
| | ✓✓✓ | | ✓ | | ✓✓ | ۸. افزایش ظرفیت و بازپس‌گیری سهم ۱۲ درصدی کشور از سبد اوپک و بازار جهانی |
| ✓ | | ✓ | | ✓✓ | | ۹. جذب سرمایه به‌منظور تبدیل حداقل ۱۵ درصد از تولیدات گاز طبیعی به صورت LNG |
| ✓✓ | | - | - | ✓ | | ۱۰. گسترش اکتشاف نفت و گاز به عنوان پشتوانه تولید نفت و گاز کشور در پهنه سرزمین |
| - | - | ✓✓ | | ✓ | | ۱۱. گسترش فعالیت‌های اقتصادی در مناطق و سواحل و جزایر جنوبی |
| ✓ | | - | - | ✓ | | ۱۲. استفاده از زغال‌سنگ حرارتی در عرصه تولید برق کشور |
| | ✓ | | ✓✓✓ | | ✓✓ | ۱۳. واقعی کردن قیمت نسبی حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده |

| سناریو ۳ | | سناریو ۲ | | سناریو ۱ | | سیاست‌های اصلی |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|--|
| بلند مدت | کوتاه مدت | بلند مدت | کوتاه مدت | بلند مدت | کوتاه مدت | |
| - | - | ✓✓✓ | | ✓ | | ۱۴. اصلاح ساختار سازمانی و مقررات جاری بخش انرژی به منظور افزایش جذابیت سرمایه‌گذاری |
| - | - | ✓✓✓ | | ✓ | | ۱۵. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها |
| ✓ | | ✓✓ | | ✓ | | ۱۶. تجاری‌سازی فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر |
| ✓ | | ✓✓✓ | | ✓✓ | | ۱۷. رشد سالانه ۱۰ درصدی ظرفیت تجدیدپذیرها در تولید برق کشور |

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه بخش گسترده‌ای از پژوهش‌ها و سرمایه‌گذاری‌های حوزه انرژی در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، به مطالعه نحوه بهره‌برداری بهینه از منابع مختلف انرژی به منظور دسترسی پایدار، باثبات و با قیمت منطقی به انرژی اختصاص یافته است؛ که این مساله منجر به افزایش سهم چشم‌گیر انرژی‌های نو در سبد انرژی به-خصوص سیستم‌های تولید الکتریسیته شده است. بنابراین تغییرات گفته شده در الگوی تامین انرژی، منجر به بروز عدم قطعیت و ایجاد سناریوهای مختلف در آینده بازار جهانی انرژی می‌شود و چالش‌های جدی در جهت حفظ و ارتقاء امنیت انرژی ایران ایجاد خواهد کرد.

بدین منظور در این پژوهش با در نظر گرفتن سه سناریو به محوریت نیروهای بازار، تغییرات اقلیمی و منازعات ژئوپلیتیک، به آینده‌پژوهی سیستم‌های انرژی جهت ارائه راهبردهای ارتقاء امنیت انرژی ایران در فضای هر سناریو پرداخته شده است.

در سناریو اول با محوریت نیروهای بازار، نظم جهانی، قوانین، هنجارها و نهادهایی که روابط بین بازیگران را در صحنه جهانی حاکم می‌کند، با همکاری و همزیستی مشخص می‌شوند و به ندرت از منازعات بزرگ و پایدار تاثیر می‌پذیرند. این سناریو تاکید زیادی بر توسعه پایدار بازار و تکنولوژی دارد و هزینه‌های انرژی و فناوری

تصمیمات سرمایه‌گذاری در بلندمدت را شکل می‌دهند. همچنین امنیت انرژی به علت اتکای کشورهای واردکننده انرژی به نفت و گاز، همچنان به عنوان مسئله‌ای جدی و مهم مورد توجه قرار خواهد گرفت.

از طرف دیگر با وجود نیاز به مقابله چالش‌های تغییرات اقلیمی، در این سناریو همچنان واگرایی منطقه‌ای واقع در اتخاذ سیاست‌های کم کربن وجود خواهد داشت و بودجه خاصی در جهان برای کاهش کربن اختصاص نخواهد یافت. بنابراین اگر دستیابی به این سیاست‌ها با هزینه اقتصادی غیرقابل قبول همراه باشد، آمیدی به تحقق آن‌ها در فضای این سناریو نخواهد بود.

بنابراین با توجه به این الگوی در نظر گرفته شده برای بازار جهانی انرژی، انتظار می‌رود رشد تقاضا در مقایسه با روندهای فعلی و پیش از آن به دلیل بهبود شدت انرژی و توسعه فناوری کندتر شود؛ به نحوی که تقاضای انرژی در بلندمدت تا دهه ۲۰۴۰ روند افزایشی خود را حفظ کند و پس از آن تا سال ۲۰۵۰ در سطح ۲۰ درصد بالاتر از تقاضای سال ۲۰۱۸ تثبیت شود.

از طرف دیگر در فضای این سناریو تغییرات قابل توجهی در ترکیب سبد انرژی در راستای کاهش سهم سوخت‌های فسیلی از ۸۲ به ۶۷ درصد و رشد سهم تجدیدپذیرها در نظر گرفته شد. البته نفت با وجود کاهش سهم از ۳۲ به ۲۶ درصد در سال ۲۰۵۰، همچنان به عنوان بزرگترین منبع انرژی به‌شمار خواهد رفت. از بین منابع فسیلی، گاز طبیعی تنها منبعی خواهد بود که سهم خود را تا ۳۰ درصد در این سناریو افزایش خواهد داد. تغییر مهم دیگری که در بازار جهانی گاز صورت خواهد گرفت، افزایش سهم LNG به حدود ۲۰ درصد از تقاضای جهانی گاز طبیعی خواهد بود؛ که عمده این افزایش تقاضا مربوط به کشورهای شرق آسیا می‌شود.

در زمینه تجدیدپذیرها انتظار می‌رود سهم آن‌ها در سبد انرژی از ۱۹ درصد در سال ۲۰۱۸، به ۳۳ درصد تا ۲۰۵۰ برسد؛ که به دلیل کاهش LCOE منابع خورشیدی فتوولتائیک و بادی، عمده توسعه در این حوزه خواهد بود. این مسائل منجر می‌شود تا سال ۲۰۵۰ حدود یک سوم از تولید برق جهانی از منابع خورشیدی و بادی باشد.

با در نظر گرفتن چنین الگویی برای آینده بازار جهانی انرژی، مهم‌ترین راهبردهایی که در کوتاه مدت برای ارتقاء امنیت انرژی کشور پیشنهاد شده‌اند، مربوط به شاخص‌های قدرت بازار، شدت انرژی و قیمت انرژی خواهند بود. تقویت شاخص‌های ذکر شده، منجر به ارتقاء امنیت انرژی عمدتاً از بعد دسترس‌پذیری می‌شود. مطابق جدول ۵، از مهم‌ترین راهبردها در کوتاه‌مدت می‌توان به ترویج و گسترش فرهنگ صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی با توسعه ESCO، افزایش ظرفیت و بازپسگیری سهم کشور از سبد اوپک و بازار جهانی و واقعی کردن قیمت نسبی حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده اشاره کرد.

همچنین در بلندمدت پیشنهاد شده است تا عمده تمرکز سیاست‌گذاران کشور بر شاخص‌های تکنولوژی و ثبات سیاسی به منظور ارتقاء ابعاد قابلیت دستیابی و دسترس‌پذیری معطوف شود. در همین راستا، راهکارهای

پیشنهادی حمایت از گسترش پژوهش‌های کاربردی برای تولید دانش فنی، تجاری‌سازی فناوری‌های نوین و جذب سرمایه به‌منظور تبدیل حداقل ۱۵ درصدی از تولیدات گاز طبیعی کشور به‌صورت LNG می‌باشد.

سناریو ۲ پژوهش به‌گونه‌ای طراحی شده است که تحولات بازار انرژی در راستای اهداف توافقنامه پاریس باشد و انتشار کربن با نرخ میانگین سالانه ۳/۷ درصد از اواسط دهه ۲۰۲۰ کاسته شود. در این سناریو کاهش انتشار کربن سیستم‌های انرژی از طریق بهره‌وری انرژی و توسعه سیستم‌های الکتریکی حاصل می‌شود. همچنین این فرض حاکم است که یک فضای خوش‌بینانه ژئوپلیتیکی و منطقه‌ای از انتقال سریع‌تر و همکاری جهانی بیشتر در زمینه تغییرات اقلیمی پشتیبانی می‌کند و توسعه فناوری در سطحی خواهد بود که پیشرفت چشمگیر و سریع در انرژی‌های پاک و بهره‌وری انرژی را امکان‌پذیر می‌کند. از طرف دیگر مساله امنیت انرژی کمتر مورد توجه و دغدغه کشورها خواهد بود، زیرا علاوه بر کاهش نیاز به واردات سوخت، اعتماد متقابل کشورها به یکدیگر نیز افزایش خواهد یافت.

بنابراین با توجه به این الگوی در نظر گرفته شده برای سناریو ۲، انتظار می‌رود تقاضای انرژی در اواسط دهه ۲۰۲۰ به ماکزیمم خود رسیده و پس از آن با میانگین ۰/۶ درصد در سال از آن کاسته شود؛ به‌نحوی که تا سال ۲۰۵۰ در سطح ۱۰ درصد پائین‌تر از تقاضای سال ۲۰۱۸ تثبیت شود. لازم به ذکر است که در این سناریو توسعه سیستم‌های الکتریکی کلیدی‌ترین مولفه برای دستیابی به اهداف سناریو می‌باشد.

این مسائل منجر به رخ دادن تغییرات قابل توجهی در ترکیب سبد انرژی خواهد شد؛ به‌نحوی که سهم منابع فسیلی به زیر ۵۰ درصد در این پژوهش تقلیل می‌یابد. در همین راستا تقاضای نفت خام در این سناریو به حدود ۵۰ میلیون بشکه در روز تا سال ۲۰۵۰ خواهد رسید؛ که از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به کاهش تقاضای بخش حمل‌ونقل اشاره کرد. از طرف دیگر تقاضای گاز طبیعی که نقش حیاتی به‌منظور جایگزینی منابع زغال-سنگ بازی می‌کند، در اواسط دهه ۲۰۳۰ به اوج خود می‌رسد؛ اما با رقابتی شدن قیمت تجدیدپذیرها و سیاست‌گذاری در راستای اهداف زیست‌محیطی، به تدریج تقاضا برای گاز طبیعی کاهش می‌یابد.

در مورد تجدیدپذیرها به عنوان کلیدی‌ترین منابع تولید انرژی در سناریو دوم، انتظار می‌رود سهم آن‌ها در سبد انرژی تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۵۰ درصد برسد. در بین تجدیدپذیرها نیز عمده افزایش ظرفیت مربوط به منابع بادی و خورشیدی خواهد بود که سهم خود را از بین منابع تجدیدپذیر از ۱۰ درصد در سال ۲۰۱۸ به ۴۰ درصد در افق پژوهش افزایش می‌دهند.

با در نظر گرفتن چنین الگویی برای بازار جهانی انرژی، مهم‌ترین راهبردهایی که در کوتاه مدت برای ارتقاء امنیت انرژی کشور پیشنهاد شده‌اند، مربوط به شاخص‌های قیمت انرژی و سیالیت بازار خواهند بود. تقویت شاخص‌های ذکر شده منجر به ارتقاء امنیت انرژی از هر ۴ بعد خواهد شد. همچنین از مهم‌ترین راهبردها در کوتاه‌مدت می‌توان به بهره‌گیری از موقعیت ژئوپلیتیکی کشور برای معاملات انرژی در بازارهای بین‌المللی و واقعی کردن قیمت نسبی حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده اشاره کرد.

همچنین در بلندمدت پیشنهاد شده است تا عمده تمرکز سیاستگذاران کشور بر شاخص‌های سهم انرژی‌های پاک و ثبات سیاسی به منظور ارتقاء ابعاد قابل تحمل بودن و قابل قبول بودن معطوف شود. در همین راستا راهکارهای پیشنهادی افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک در تولید برق کشور و اصلاح ساختار سازمانی و مقررات جاری بخش انرژی به منظور افزایش جذابیت سرمایه‌گذاری اشاره کرد.

در انتها سناریو شماره ۳ پژوهش فرض اصلی را بر افزایش تنش‌های ژئوپلیتیک و ایجاد رقابت برای برقراری توازن بین قدرت‌های اصلی جهانی و منطقه‌ای قرار می‌دهد. در این راستا تجارت بین‌الملل مختل شده و قراردادهای دوجانبه و انحصاری بر قراردادهای چندجانبه و مشترک ترجیح داده خواهند شد؛ که این مساله بر رشد اقتصادی کشورها به خصوص در بلندمدت صدمه می‌زند. از طرف دیگر اجماع جهانی علیه تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی از بین می‌رود و سایر اهداف سیاستگذاری انرژی از جمله امنیت انرژی در اولویت قرار خواهند گرفت.

بنابراین با توجه به الگوی تشریح شده، در این سناریو بیشترین رشد تقاضای انرژی نسبت به سایر سناریوها پیش‌بینی می‌شود که عمدتاً ناشی از مسائلی مانند عدم اعمال قوانین زیست‌محیطی، حذف نشدن یارانه‌های انرژی و سرمایه‌گذاری کمتر در حوزه تکنولوژی و بهره‌وری انرژی می‌باشد. از طرف دیگر تغییر در ترکیب سبد انرژی به مراتب کمتر از دو سناریو دیگر خواهد بود؛ به نحوی که سهم سوخت‌های فسیلی همچنان در سطح ۷۳ درصد باقی خواهد ماند. بین سوخت‌های فسیلی، تقاضا برای زغال‌سنگ تا اوایل دهه ۲۰۳۰ روند افزایشی به خود خواهد گرفت؛ اما پس از آن با شروع روند کاهشی، سهم آن تا سال ۲۰۵۰ به ۲۰ درصد در سبد انرژی می‌رسد.

در این سناریو بازار جهانی نفت با افزایش تقاضا تا ۱۲۰ میلیون بشکه در روز روبرو خواهد شد، اما بی‌ثباتی و منازعات ژئوپلیتیک در خاورمیانه و آفریقای شمالی، عرضه نفت غیراوپک را افزایش خواهد داد. از طرف دیگر بازار جهانی گاز از منظر حجم تقاضا مشابه سناریو ۱ در نظر گرفته می‌شود؛ با این تفاوت که سرمایه‌گذاری و واردات بخش LNG کمتر از سناریو ۱ می‌باشد.

باتوجه به اهمیت مسئله امنیت انرژی، توسعه منابع تجدیدپذیر در این سناریو سریع پیش‌بینی می‌شود؛ زیرا این منابع به عنوان منابع داخلی محسوب می‌شوند و به کاهش واردات انرژی کمک می‌کنند. در نتیجه سهم این منابع تا سال ۲۰۵۰ به ۲۷ درصد از ترکیب سبد انرژی خواهد رسید. البته لازم به ذکر است در این سناریو سهم منابع خورشیدی و بادی بین تجدیدپذیرها، نسبت به دو سناریو دیگر کمتر در نظر گرفته شده است. در مجموع به دلیل افزایش تقاضای انرژی و ترکیب سبد انرژی، میزان انتشار کربن روند افزایشی خود را حفظ خواهد کرد؛ که این مسئله به تدریج اثرات منفی خود را بر تغییرات اقلیمی و اقتصاد جهانی بروز می‌دهد.

با در نظر گرفتن چنین الگویی برای بازار جهانی انرژی، مهم‌ترین راهبردهایی که در کوتاه مدت برای ارتقاء امنیت انرژی کشور پیشنهاد شده‌اند، مربوط به شاخص‌های شدت انرژی و قدرت بازار خواهند بود. در این راستا

از مهم‌ترین راهبردهای کوتاه مدت می‌توان به افزایش نسبت TFC به TPED جریان انرژی کشور از ۴۵ به حداقل ۶۰ درصد اشاره کرد. همچنین در بلندمدت پیشنهاد شده است تمرکز سیاستگذاران کشور بر شاخص‌های نسبت ذخیره به تولید و تنوع به منظور ارتقاء ابعاد قابلیت دستیابی و دسترس‌پذیری معطوف شود. در این راستا مهم‌ترین راهکارهای پیشنهادی، افزایش ضریب بازیافت میادین نفتی کشور و گسترش اکتشاف نفت و گاز به عنوان پستوانه تولید نفت و گاز کشور در پهنه سرزمین می‌باشند.

منابع و مأخذ

منابع فارسی

- بهجت، جودا (۱۳۹۴). *امنیت انرژی- رویکرد میان رشته‌ای*، (چاپ اول)، تهران، دانشگاه امام صادق (ع).
- چهارسوقی، سیدکال؛ رحمتی، مهرداد؛ معمارپور، مهدی و رجب‌زاده، علی (۱۳۹۱). آینده‌پژوهی در حوزه انرژی و ارزیابی راهبردهای مدیریت انرژی کشور با استفاده از برنامه‌ریزی سناریو، بهبود مدیریت، سال ششم، شماره ۴، ص ۳۳-۵.
- خاتمی‌نیا، علیرضا و ایوبی، سارا (۱۳۹۶). *تحلیل سناریوهای آینده انرژی جهان: موردکاوی انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در سبد انرژی ایران*، کنفرانس بین‌المللی مدیریت و مهندسی صنایع، تهران.
- دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی وزارت نیرو، (۱۳۹۷). *ترازنامه انرژی*، تهران.
- سازمان برنامه و بودجه کشور، (۱۳۹۷). *سند ملی راهبردی انرژی کشور*، تهران، انتشارات سازمان برنامه و بودجه کشور.
- ضرغامی، صادق و ذاکری، محمد (۱۳۹۶). *مطالعه تطبیقی راهبردهای کلان انرژی در ایران و کشورهای منتخب*، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، دوره ۷، شماره ۲۴، ص ۲۲۴-۲۰۱.
- طاهری، ابوالقاسم و سیفی، عبدالمجید (۱۳۹۳). *امنیت انرژی و نظریه مجموعه امنیتی منطقه*، فصلنامه سیاست‌پژوهی، سال اول، شماره ۱، ص ۱۵۱-۱۲۹.
- عطاران، هادی (۱۳۹۲). *تدوین راهبرد صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران با رویکرد سناریونویسی*، تهران، دانشگاه علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت نهادهای اقتصادی.
- فیروز، محمد (۱۳۹۰). *ایران و انرژی‌های تجدیدپذیر: بررسی آینده با روش برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو*، همایش ملی انرژی، تهران.
- محتشمی، مینا (۱۳۹۱). *سنجش و ارزیابی جامع امنیت انرژی برای کشورهای عضو اوپک و سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه بر اساس شاخص‌سازی ترکیبی*، مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی.
- ملکی، عباس (۱۳۹۵). *آینده‌پژوهی و انرژی*، (چاپ دوم)، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- منظور، داوود (۱۳۹۷). *آینده‌نگاری صنعت جهانی انرژی: رویکرد تحلیل سناریو*، چاپ اول، تهران، شرکت هزاره سوم اندیشه
- موسسه تحقیقاتی تدبیر اقتصاد، (۱۳۹۵). *امنیت انرژی و آینده بازار جهانی انرژی (سناریو پردازی بر مبنای استرژژی‌های بازیگران اصلی بازار جهانی انرژی)*، (چاپ اول)، تهران، موسسه تحقیقاتی تدبیر اقتصاد
- یزدان‌پناه، کیومرث؛ پوررستمی، ناهید؛ یوسفی، ریحانه و حسین‌زاده، محمدرضا (۱۳۹۶). *بررسی ارتقاء امنیت انرژی با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر: مقایسه ژئوپلیتیکی دو کشور ایران و ژاپن با الگوی مدیریت راهبردی، پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دوره ۴۹، شماره ۳، ۷۳۱-۷۱۳.

• منابع لاتین

- Al-saleh, Yasser, (2009), Renewable energy scenarios for major oil-producing nations: The case of Saudi Arabia, Futures, Vol.41.
- CEPSA, (2017), CEPSA energy outlook 2030
- Equinor ASA, (2019), Energy perspectives, Norway
- Gielen. D, Boshell. F, Saygin. D, Bazilian. M.D, Wagner. N, Gorini. R, (2019), The role of renewable energy in the global energy transformation, Energy Strategy Reviews, Vol.24.
- Jewell. J, Cherp. A, Riahi. K, (2014), Energy security under decarbonization scenarios: An assessment framework and evaluation under different technology and policy choices, Energy Policy, Vol.65.
- Kruyt. B, van vuuren. D.P, de vries. H.J.M, Groenenberg. H, (2009), Indicators for energy security, Energy policy, Vol.37
- Mohammadnejad. M, Ghazvini. M, Mahlia. T.M.I, Andriyana. A, (2011), A review on energy scenario and sustainable energy in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.15, No.9.
- Ogilvy. J, Schwartz. P, (2004), Plotting your scenarios, California, Global Business Network (GBN).
- Pfenninger. S, Keirstead, J, (2015), Renewables, nuclear, or fossil fuels? Scenarios for Great Britain's power system considering costs, emissions and energy security, Applied Energy, Vol.152
- Renewable Energy Policy Network for the 21st century-REN21, (2018), Renewables 2018 global status report, Paris.
- Sabetghadam. M, (2006), Energy and sustainable development in Iran, Sustainable Energy Watch-HELIO international.
- Ruehl. C, Gilijum. J, (2013), BP Energy Outlook 2030, Energy, Vol.45, No.2.
- Sovakool, Benjamin, (2011), conceptualizing and measuring energy security: a synthesized approach, Energy, Vol.36, No.8.