Research Paper
Iran's Energy Supply Scenarios

***Reza Hafezi[1], Hamidreza Afzali[2], Hassan Zohoor[3,4]**

1. Assistant Professor, Department of Science & Technology Futures Studies Research, National Research Institute for Science Policy, Tehran, Iran.
2. Deputy of Department, Department of Foresight & Policy Research, Niroo Research Institute, Tehran, Iran
3. Professor, Center of Excellence in Design, Robotics, and Automation, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
4. Professor, The Academy of Sciences (Islamic Republic of Iran), Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Hafezi, R., Afzali, H., & Zohoor, H. (2021). [Iran's Energy Supply Scenarios (Persian)]. *Journal Strategic Studies of Public Policy, 11*(38), 204-233.

CC BY NC

Received: 04 Feb 2020
Accepted: 19 Sep 2020
Available Online: 01 May 2021

Keywords:
Foresight, Energy Policy, Supply and demand, Scenario planning, Iran

ABSTRACT

Energy is central to economic wellbeing and raising living standards and serves as the foundation of economic growth. Iran owns large fossil fuel resources and the potential for exploiting renewables; however, to maintain its bargaining power in the global energy markets, Iran needs to investigate, and in some cases, follow energy system transformations. This research reviewed mega-trends in the energy industries and market. We aimed to develop alternative scenarios for Iran's energy supply futures. The obtained results indicated that in the mid-term, natural gas will play the main role in the power generation industry. Renewable energies might widely replace fossil fuel-based power generation share. Moreover, compared with western countries, environmental concerns attract less attention among experts and policymakers. Energy management meets not only addresses "what" to change, but also brings insight about "how" to manage the desired changes. Consequently, energy management requires a multi-aspect approach. As a process aimed to manage changes, energy management needs to evaluate arising risks, limitations (especially associated with access to resources, e.g., money, time, knowledge, etc.), and emerging opportunities due to alternations in the energy systems.

*** Corresponding Author:**
Reza Hafezi
Address: Department of Science & Technology Futures Studies Research, National Research Institute for Science Policy, Tehran, Iran.
E-mail: hafezi@nrisp.ac.ir

مقاله پژوهشی
سناریوهای آینده تأمین انرژی ایران

*رضا حافظی[۱]، حمیدرضا افضلی[۲]، حسن ظهور[۳،۴]

۱. استادیار، گروه مطالعات آینده علم و فناوری، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، تهران، ایران.
۲. معاون گروه، گروه آینده‌نگاری و سیاست‌پژوهی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران.
۳. استاد، قطب علمی طراحی رباتیک و اتوماسیون، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
۴. استاد، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۵ بهمن ۱۳۹۸
تاریخ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۳۹۹
تاریخ انتشار: ۱۳ اردیبهشت ۱۴۰۰

چکیده

انرژی، نقشی محوری در توسعه اقتصادی و ارتقای کیفیت زندگی ایفا می‌کند. با تلاش کشورها در کاهش گازهای آلاینده، متنوع‌سازی روش‌های تأمین، توسعه خصوصی‌سازی از یکسو و از سوی دیگر افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی و درنتیجه رشد تقاضا برای منابع مدرن و پاک انرژی نیاز است کشورها خود را برای گذار از روش‌های مرسوم تأمین انرژی، چه در قالب منابع و چه از منظر ساختارها آماده کنند. این پژوهش در محدوده پژوهشگاه نیرو انجام شده و با گردآوری کلان‌روندهای جهانی و وضعیت تأمین انرژی ایران سناریوهای تأمین انرژی ایران در افق ۱۴۲۰ را توسعه داده است. سناریوها مبتنی بر نظر خبرگان توسعه یافتند. نتایج نشان دادند که از منظر خبرگان مشارکت‌کننده، مسائل زیست‌محیطی در ایران نسبت به روند جهانی توجه کمتری به خود جلب خواهد کرد و نیز دسترسی به منابع گاز طبیعی سهم بالای این حامل انرژی در تولید برق را نشان داد که توسعه این وابستگی می‌تواند امنیت تأمین برق کشور و نیز توان خصوصی‌سازی صنعت برق را محدود کند؛ بنابراین در آینده نزدیک نمی‌توان شاهد تغییر شگرفی در روش‌های تأمین انرژی کشور بود و به موجب لختی متأثر از دسترسی به انرژی ارزان‌گذر به سمت آینده مطلوب نیازمند مدیریت گسترده گذار و تعهد ساختاریافته خواهد بود.

کلیدواژه‌ها:
آینده‌نگاری، سیاست‌گذاری انرژی، عرضه و تقاضا، سناریونگاری، ایران

* **نویسنده مسئول:**
رضا حافظی
نشانی: تهران، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، گروه مطالعات آینده علم و فناوری.
پست الکترونیکی: hafezi@nrisp.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های گذشته روش‌های برنامه‌ریزی سنتی که بیشتر بر پایه پیش‌بینی‌های قطعی[1] استوار بود، اغلب به موفقیت سازمان‌ها منجر می‌شد، اما در سال‌های اخیر بسیاری از پیش‌بینی‌ها با شکست روبه‌رو شدند (Hafezi, Akhavan et al. 2019) (نظیر غافلگیری بازار جهانی و بحران اقتصادی سال ۲۰۰۸).

مشکل از اینجا نشأت می‌گرفت که مدل‌های پیش‌بینی موجود با تعمیم گذشته، به تصویرسازی از آینده می‌پرداختند (Hafezi, 2019). با این پیش‌فرض، تغییرات اساسی به وجود آمده در محیط مسئله مورد غفلت واقع شده و مفروضات گذشته به آینده تعمیم داده می‌شوند.

وجود تغییرات غیرمنتظره و ناپیوستگی رفتار برخی مؤلفه‌های مسئله به علت وجود عدم قطعیت در فضاهای پیچیده، پیش‌بینی‌های قطعی بلندمدت را نادقیق و نامعتبر می‌سازد.

به منظور آمادگی در برابر تغییرات محیطی، طراحی سناریو جایگزین تکنیک‌های پیش‌بینی و برنامه‌ریزی سنتی شده است (Alipour, Hafezi et al. 2017, Hafezi, Akhavan et al. 2017).

برخلاف روش‌های سنتی پیش‌بینی سناریوها بر عدم قطعیت‌های محیط مسئله، به منظور درک و کنترل متمرکزند. برنامه‌ریزی سناریو، تکنیکی است که با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های محیطی، چندین چشم‌انداز متفاوت از آینده را ارائه می‌دهد (Hafezi, Akhavan et al. 2017).

با پیچیده‌تر شدن شرایط بازار جهانی و درهم تنیدگی رشد اقتصادی کشورها و مصرف انرژی، پژوهشگران متعددی به مطالعه روندهای محتمل آینده انرژی روی آوردند (Alipour, Hafezi et al. 2018, Hafezi, Akhavan et al. 2019).

از این میان، کیپین (Keepin, 1984) در مقاله‌ای به ارزیابی یکی از نخستین سناریوهای جامع حوزه انرژی می‌پردازد. این سناریوها توسط مؤسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی[2] واقع در لاکسنبورگ (در کشور اتریش) و در پی تحریم نفتی سال ۱۹۷۳ و در طی بیش از هفت سال و با به‌کارگیری حدود ۲۲۵ نفر ـ سال و با هزینه‌ای بالغ بر ۶/۵ میلیون دلار انجام شد.

شاید بتوان خاستگاه نگرانی‌ها در مورد آینده انرژی و مباحث امنیت انرژی را همین دوره دانست، زمانی که عبارت «معضل انرژی[3]» وارد ادبیات بین‌المللی شد و تاکنون به قوت خود باقی است. این گزارش تحت عنوان «انرژی در جهان متناهی» و در دو جلد به چاپ رسید.

پاراجولی و همکاران (Parajuli, Hussong et al. 2015) در مقاله‌ای به طراحی سناریوهای ممکن برای آینده بخش برق عربستان سعودی پرداختند. در این مقاله ترکیب‌های محتملی برای آینده بخش برق این کشور مفروض و در قالب سه سناریو ارائه شدند.

این سه سناریو از وجوه فناورانه ـ اقتصادی و زیست‌محیطی ارزیابی شدند. بخش نیرو در ایالات متحده با توجه به اکتشافات اخیر در حوزه منابع

1. Exact

2. International Institute for Applied System Analysis (IIASA)
3. The Energy Problem

غیرمتعارف و به‌خصوص گاز شیل، تغییرات شگرفی را شاهد بوده است.

پس از جنگ جهانی دوم، این دگردیسی در گزینش پرتفوی تولید برق بزرگ‌ترین تغییر به حساب می‌آید. علاوه بر موارد یادشده، در سال‌های اخیر سناریونگاری در حوزه انرژی بسیار مورد توجه بوده است.

به عنوان نمونه، در زیر برخی از حوزه‌ها خلاصه‌سازی شده‌اند: ارزیابی منابع انرژی و برنامه‌ریزی (عرضه و تقاضا) (Kalashnikov, Gu-lidov et al. 2011, Limanond, Jomnonkwao et al. 2011, Byers, Gasparatos et al. 2015)، تحلیل فرصت‌ها و روش‌های مختلف تأمین انرژی (Ghanadan and Koomey, 2005)، تحلیل منابع انرژی در سطح ملی (Di, Rui et al. 2011, Amer, 2013, Amer, Daim et al. 2016) و ... .

از آنجا که رویکرد پژوهش حاضر شناسایی آینده‌های بدیل از طریق تولید سناریوهای محتمل است، مناسب است که مروری مختصر بر چارچوب نظری این روش داشته باشیم. در ادامه ابعاد نظری سناریونگاری به اختصار تشریح می‌شود.

بردفیلد و همکاران (۲۰۰۵) (Bradfield, Wright et al. 2005) در دنبال کردن سیر تاریخی توسعه سناریو پس از پدید آمدن ایده نگارش سناریو توسط هرمن خان در مؤسسه رند[4] به دو مکتب ایجادشده در دو کشور انگلیسی‌زبان با دو رویکرد متفاوت از هم رسیدند.

مکتب اول که توسط مؤسسه شل[5] توسعه یافت به «منطق شهودی» مرتبط بوده و با عنوان جی ـ بی ـ اِن شهرت یافت و هم‌اکنون نیز در آمریکا و بسیاری از دیگر کشورها به‌کار می‌رود.

مکتب دوم توسط اولاف هلمر و تِد گوردون بر اساس «روندهای اصلاح‌شده احتمالی[6]» پیشنهاد شد. مکتب دوم بر پایه دو روش آینده‌پژوهی تحلیل تأثیرات روند[7] و تحلیل تأثیرات متقابل[8] بنا نهاده شد و برخلاف رویکرد مکتب اول، کمیت‌گرا بوده است.

۱. روش‌شناسی پژوهش

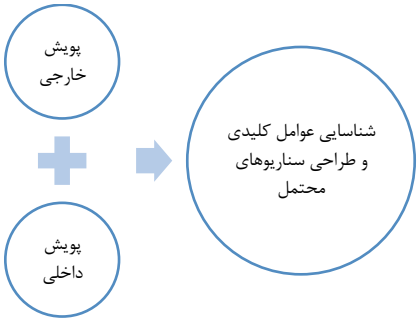
در پژوهش حاضر به منظور بهره‌مندی از نقاط قوت هر دو رویکرد کیفی و کمّی و نیز پوشش نواقص آن‌ها، ترکیبی از دو رویکرد کیفی و کمّی پیشنهاد شده است.

به اعتقاد بسیاری از صاحب‌نظران، این دو روش بیش از آنچه به نظر می‌رسد به یکدیگر نیاز دارند، اما چون داده‌های کیفی اغلب از واژه‌ها و داده‌های کمّی از اعداد تشکیل می‌شود و از سوی دیگر، چون پژوهش کیفی معمولاً استقرایی و برای شروع کار مستلزم فرضیه نیست، در حالی که پژوهش‌های کمّی نیازمند فرضیه‌اند، بسیاری از پژوهشگران معمولاً پژوهش کمّی را برتر و عملی‌تر از پژوهش کیفی می‌دانند.

مدل مفهومی پیشنهادی در سه فاز طراحی شد که فازهای اول و دوم با گردآوری داده و اطلاعات (کیفی) ورودی فاز سوم را فراهم می‌آورند. تصویر شماره ۱ به صورت شماتیک نحوه تعامل فازهای مختلف پروژه را به تصویر می‌کشد.

فاز اول، تحت عنوان پویش خارجی، در تلاش

4. RAND
5. SHELL
6. Probabilistic Modified Trends
7. Trend Impact Analysis
8. Cross Impact Analysis



تصویر ۱. تعامل فازهای مختلف پروژه فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان

است با تحلیل و جمع‌بندی گزارش‌های بین‌المللی حوزه انرژی که توسط سازمان‌های معتبر فعال در سطح منتشرشده تصویری از روندهای بین‌المللی در حوزه انرژی ارائه دهد.

فاز دوم، با عنوان پویش داخلی، مروری بر وضعیت منابع انرژی در ایران ارائه می‌دهد که با توجه به در دسترس نبودن آمار داخلی درخصوص برخی منابع تأمین انرژی، اطلاعات ارائه‌شده در این فاز از مراجع بین‌المللی برداشت شده‌اند.

البته در این فاز تلاش شد تا با بررسی برخی مقالات علمی ـ پژوهشی منتخب نگاه متخصصین و پژوهشگران درخصوص نحوه تأمین انرژی ایران در سال‌های آینده منعکس شود. خروجی دو فاز ابتدایی ورودی فاز سوم خواهد بود. این فاز به تولید سناریوهای محتمل در روش‌های تأمین انرژی ایران در افق ۱۴۲۰ می‌پردازد.

یافته‌های پویش خارجی و داخلی در قالب عوامل مؤثر بر روش‌های تأمین انرژی شالوده سناریوهای محتمل را شکل می‌دهد. موارد خام استخراج‌شده در قالب فهرستی به خبرگان ارائه‌شده و ایشان بر مبنای تجربیات و نظر خبرگی به پالایش، تصحیح و ارزش‌گذاری عوامل پرداختند.

در گام نخست، جمعی از خبرگان انتخاب (روش گلوله برفی) و به صورت مصاحبه لیست طراحی‌شده پالایش شد. سپس ارائه سمینار عمومی درخصوص سناریونگاری ترتیب داده شد تا اذهان نسبت به نحوه عملکرد روش‌های تولید سناریو آماده شود.

در مرحله بعد، پرسش‌نامه طراحی‌شده به منظور دریافت نظرات خبرگان فعال در صنعت انرژی کشور و برخی محققین ایرانی خارج از کشور توزیع و پس از جمع‌آوری نظر خبرگان سناریوهای محتمل پیش روی ایران در تأمین انرژی طراحی شدند. جزئیات نحوه تولید سناریوها در بخش بعد به تفصیل بحث خواهد شد.

از مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش دسترسی به منابع داخلی داده کمّی بروز و نیز جلب مشارکت متخصصین بوده است. مورد اول علی‌رغم تلاش‌ها با استناد به پایگاه‌های داده بین‌المللی مرتفع شد.

برای فائق آمدن بر مورد دوم، جلسات هم‌اندیشی و سمینارهایی برای آشنایی بیشتر متخصصین با مبانی نظری برگزار شد و نیز گروه پژوهش از حمایت ریاست پژوهشگاه نیرو، به عنوان محدوده مطالعه، برخوردار بوده‌اند.

۱.۱. نتایج و خروجی‌ها

بررسی وضعیت کنونی و دورنمای انرژی در گزارش‌های بین‌المللی:

در این بخش چکیده گزارش‌های مؤسسات معتبر بین‌المللی ارائه می‌شود. از آنجا که بخشی از اطلاعات ارائه‌شده بین مراجع مطالعه شده مشترک بوده، از ارجاع در متن خودداری می‌کنیم. گزارش‌های هر

سال در پایان سال میلادی و ابتدای سال بعد منتشر می‌شوند. گزارش سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ مبنای مطالعات پویش خارجی قرار گرفت و مستندات مرتبط با مؤسسات زیر جمع‌آوری و بررسی شدند[۹]:

آژانس بین‌المللی انرژی، اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، بریتیش پترولیوم، اگزون موبیل، اوپک، اتحادیه بین‌المللی گاز طبیعی، شِل و بلومبرگ ـ برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل متحد.

در ادامه چکیده، یافته‌ها ارائه می‌شود. مبنای مطالعه گزارش‌های آژانس بین‌المللی انرژی بوده که در صورت نیاز جزئیات تکمیلی به آن اضافه شده است.

پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی انرژی تا سال ۲۰۴۰ نسبت به روند چند سال گذشته حدود ۳۷ درصد رشد را تجربه کند، اما نکته اینجاست که نسبت به گذشته، رشد جمعیت و انبساط اقتصادی جهان حساسیت کمتری به انرژی نشان می‌دهد، یعنی ارتباط این دو پارامتر با تقاضای انرژی کمتر خواهد شد.

در مناطقی همچون اروپا، آمریکای شمالی، ژاپن و کره میزان تقاضای انرژی به ثبات خواهد رسید، در عوض تقاضای انرژی در باقی کشورهای آسیایی (حدود ۶۰ درصد از کل)، کشورهای آفریقایی، خاورمیانه و آمریکای لاتین افزایش چشم‌گیری خواهد داشت.

۹. تنها محدودیت موجود دسترسی به اطلاعات و گزارش‌ها بوده است. همه گزارش‌ها در فضای اینترنت در دسترس نبودند و درنتیجه مجموعه اسناد قابل دانلود به عنوان مجموعه نهایی برگزیده شد. با توجه به اشتراک نسبی بین اطلاعات مندرج می‌توان مدعی شد که مجموعه نهایی دربرگیرنده حجم قابل قبولی از داده‌ها و اطلاعات است.

• تصمیم‌گیری‌ها در جهت سرمایه‌گذاری بیشتر متأثر از دیدگاه سیاست‌گذاران است تا بازار رقابتی.

• ۷۰ درصد کل منابع و صنایع نفت و گاز طبیعی در جهان در اختیار بخش دولتی است.

• بخش دولتی مدیریت و کنترل حدود نیمی از کل ظرفیت نیروگاهی جهان را در اختیار دارد.

در حوزه صنایع نفت و گاز طبیعی، برای تأمین تقاضای پیش‌بینی‌شده انرژی در سال ۲۰۳۰ سرمایه‌گذاری متوسط سالانه حدود ۹۰۰ میلیارد دلاری در بخش بالادستی نفت و گاز مورد نیاز خواهد بود، اما همین مسئله هم عدم قطعیت‌هایی دارد:

• احتمال کاهش تولید نفت آمریکا در اوایل دهه ۲۰۲۰،

• دشوار بودن انتقال و تکرار تجربه ایالات متحده در استخراج نفت تایت[۱۰] در کشورهای دیگر،

• عدم قطعیت درخصوص چشم‌انداز میزان استخراج ماسه نفتی[۱۱] در کانادا،

• تحریم روسیه که امکان دسترسی این کشور به فناوری مناسب و با کارایی بالا را محدود کرده است و از همه مهم‌تر، چالش‌های سیاسی و امنیتی در عراق.

در میان سوخت‌های فسیلی گاز طبیعی بیشترین رشد را در بازار خواهد داشت (از بُعد تقاضا بیش از ۵۰ درصد رشد تقاضا تا سال ۲۰۴۰ را شاهد خواهیم بود). واردات گاز طبیعی در حال افزایش است و سهم آسیا و اروپا همچنان بالاست.

10. Tight Oil
11. Oil Sands

چالش اصلی در راه صادرات گاز طبیعی، تأمین امنیت انرژی و پایداری عرضه است که با توجه به توسعه سه برابری ایستگاه‌های مایع‌سازی به نظر می‌رسد این معضل رفع و رجوع شود (با توسعه صادرات ال‌ان‌جی).

انرژی هسته‌ای برای بسیاری از کشورها از اهمیت بسزایی برخوردار است، اما با وقوع زلزله ژاپن و پیامدهای فاجعه هسته‌ای، آینده این نوع از انرژی عدم قطعیت بالایی پیداکرده است.

اگرچه اروپایی‌ها برای کاهش سهم انرژی هسته‌ای از سبد تأمین انرژی خود برنامه‌ریزی کرده‌اند، اما رابطه مستقیم توسعه انرژی هسته‌ای و شاخص امنیت انرژی در دولت‌ها به توسعه این انرژی ترغیب کرده است. به علاوه، انرژی هسته‌ای جزء معدود منابع انرژی است که می‌تواند منجر به کاهش چشم‌گیری در انتشار گاز گلخانه‌ای شود.

با توجه به نیاز به پای‌بندی نسبت به تعهدات زیست‌محیطی و کاهش دی‌اکسیدکربن انتظار می‌رود که افزایش تقاضا برای زغال‌سنگ نسبت به سایر انواع تأمین‌کننده‌ها رشد ملایم‌تری را دنبال کند.

پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد با توجه به سیاست‌های اتخاذشده رشد تقاضای زغال‌سنگ تا ۲۰۴۰ حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش داشته باشد. تخمین زده می‌شود که در افق ۲۰۴۰ سهم زغال‌سنگ از تولید برق در خارج از قاره آسیا به کمتر از ۱۵ درصد برسد. در آسیا، بُعد مسافت و توانایی انتقال و توزیع منابع انرژی از اهمیت برخوردار است؛ بنابراین زغال‌سنگ بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

در افق ۲۰۴۰، پیش‌بینی می‌شود از هریک دلار سرمایه‌گذاری در تولید برق ۶۰ سنت آن روی انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد بود. در آینده هزینه توسعه فناوری تجدیدپذیر با کاهش چشم‌گیری روبه‌رو خواهد بود.

در فتوولتائیک خورشیدی، بین ۴۰ تا ۷۰ درصد کاهش هزینه خواهیم داشت و نیروی بادی ساحلی، ۱۰ تا ۲۵ درصد کاهش در هزینه را تجربه خواهد کرد.

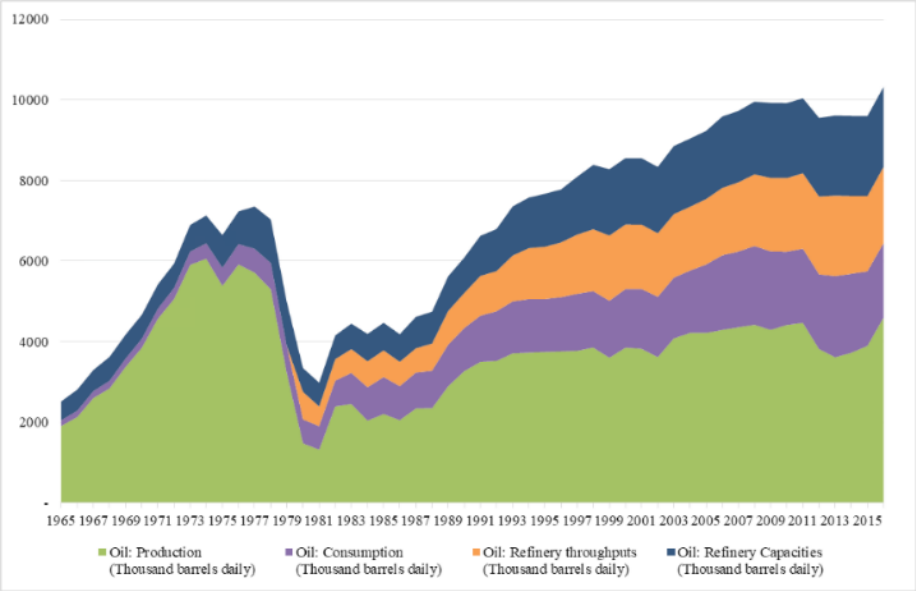
گزارش‌های مرتبط با سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی نشان می‌دهد که بیشترین رشد سرمایه‌گذاری از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است. بیشترین رقم سرمایه‌گذاری به صورت مطلق مربوط به استخراج و انتقال سوخت‌های فسیلی بوده است که در سال‌های اخیر و به موجب اُفت شدید قیمت نفت کاهشی حدود ۵ تا ۸ درصدی را تجربه کرده است.

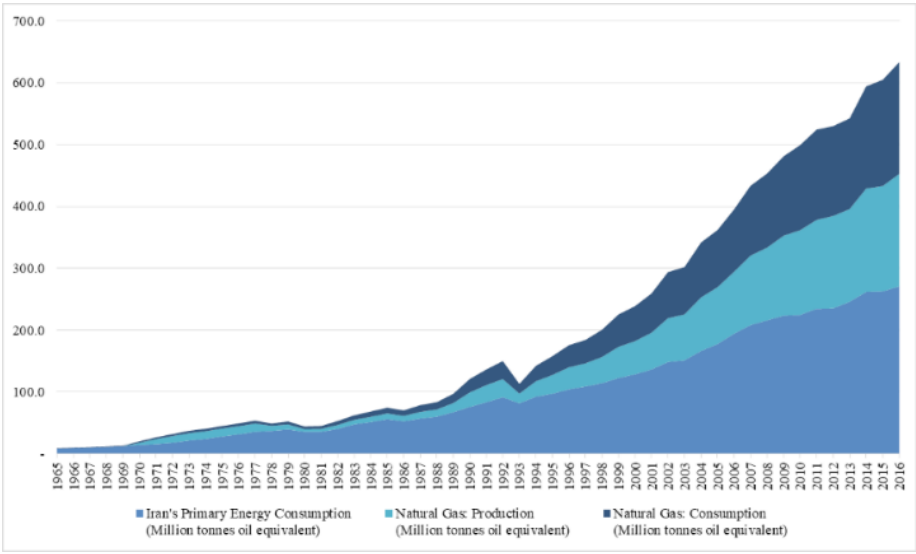
پیش‌بینی می‌شود در طول دوره بیست ساله از ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵ به طور متوسط سالانه حدود دو هزار میلیارد دلار سرمایه‌گذاری جهت تأمین انرژی تخصیص خواهد یافت.

این در حالی است که سرمایه‌گذاری متوسط سالانه برای افزایش کارایی / عملکرد سیستم‌های انرژی به حدود ۵۵۰ میلیارد دلار افزایش خواهد یافت. (آیا در کشور ما حدود ۲۵ درصد از کل سرمایه‌گذاری در بالادستی صنایع انرژی در ارتقای بهره‌وری سرمایه‌گذاری می‌شود؟) در ادامه وضعیت جمهوری اسلامی ایران از منظر سبد تأمین انرژی بررسی خواهد شد.

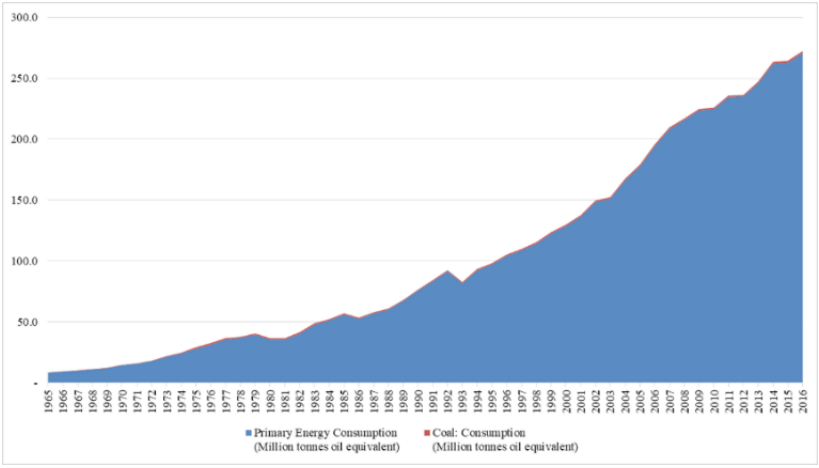
۲.۱. بررسی وضعیت منابع انرژی در ایران

در ادامه مروری بر وضعیت منابع تأمین انرژی در ایران خواهیم داشت. نمودارهای ارائه‌شده ناظر





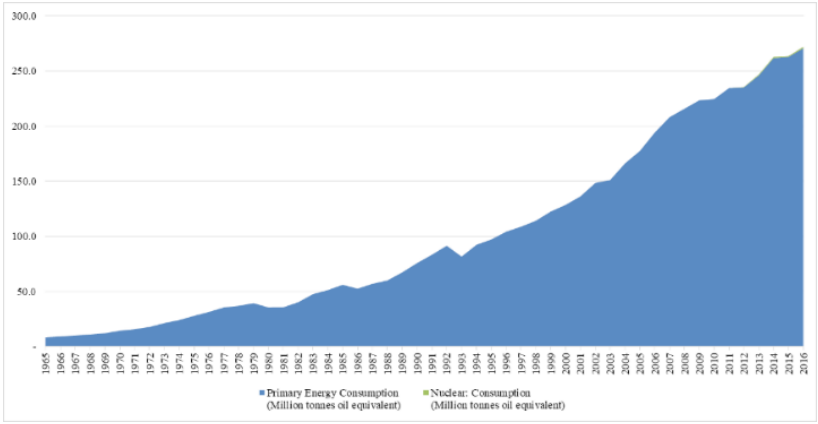
تصویر ۲. روند تولید و مصرف نفت (تصویر بالا) (هزار بشکه در روز) گاز طبیعی (تصویر پایین) در ایران (میلیون تن معادل نفت) از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ (مصرف انرژی اولیه ایران، حجم تولید گاز طبیعی و میزان مصرف گاز طبیعی به ترتیب از پایین به بالا در نمودار نمایش داده شده است)



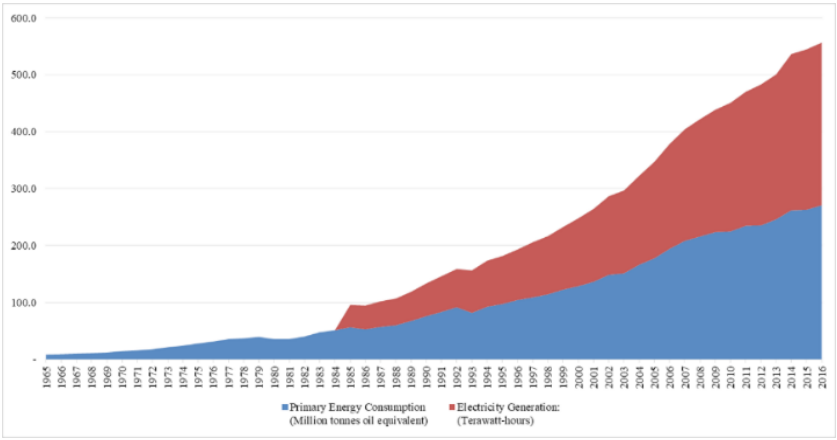
تصویر ۳. روند مصرف زغال‌سنگ در ایران از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ (میلیون تن معادل نفت) (مصرف انرژی اولیه ایران و میزان مصرف زغال‌سنگ به ترتیب از پایین به بالا در نمودار نمایش داده شده است)

به منابع انرژی بوده و بازه زمانی ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ را شامل می‌شوند. برای قابل مقایسه بودن آمار و اطلاعات ارائه‌شده تلاش شده است یکپارچگی در منابع داده و بازه زمانی بررسی رعایت شود.

همان‌طور که در تصویر شماره ۲ مشاهده می‌شود میزان تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تقریباً



تصویر ۴. روند مصرف انرژی هسته‌ای در ایران از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ (میلیون تن معادل نفت) (مصرف انرژی اولیه ایران و میزان مصرف انرژی هسته‌ای به ترتیب از پایین به بالا در نمودار نمایش داده شده است)



تصویر ۵. روند تولید الکتریسیته در ایران از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ (تراوات ـ ساعت) (مصرف انرژی اولیه ایران و میزان تولید الکتریسیته به ترتیب از پایین به بالا در نمودار نمایش داده شده است. به تفاوت واحد دو گراف دقت شود)

با هم برابری می‌کند. اگرچه حدود نیمی از مصرف انرژی داخل کشور توسط گاز طبیعی تأمین می‌شود، لیکن ظرفیت صادرات گاز طبیعی ازدست‌رفته است.

از سال حدود ۱۹۹۵ شاهد سرمایه‌گذاری و افزایش حجم تولید گاز طبیعی بوده‌ایم که تقریباً هم‌زمان با توسعه صنایع انرژی بر در کشور بوده است.

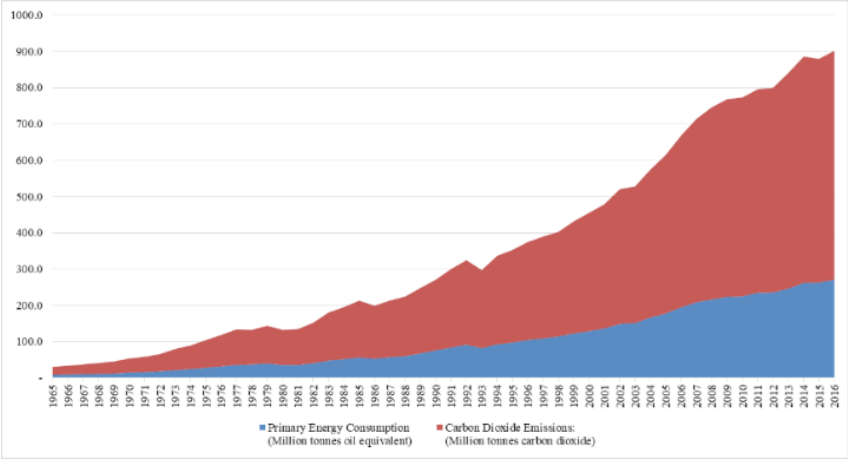
آمار و اطلاعات حاکی از آن است که شدت مصرف انرژی در ایران با متوسط بین‌المللی فاصله داشته و در صورت تحقق برنامه‌های توسعه میادین گازی (به‌خصوص میدان مشترک پارس جنوبی با قطر) و تعدیل شدت مصرف انرژی می‌توان شاهد افزایش توان کشور در صادرات گاز طبیعی بود.

در حال حاضر، ایران دومین دارنده منابع اثبات‌شده گاز طبیعی جهان است، اما در عوض سهم ناچیزی از بازار جهانی گاز طبیعی را به خود تخصیص داده است.

همان‌طور که در بخش پویش خارجی نیز اشاره شد، تحولات پیش روی بازار جهانی گاز طبیعی، یعنی احتمال قیمت‌گذاری جهانی و روند رو به رشد صادرات گاز از طریق محموله‌های ال‌ان‌جی برنامه‌ریزی درخصوص نحوه ورود به بازار را با چالش روبه‌رو خواهد کرد.

با استناد به تصویر شماره ۳، سهم زغال‌سنگ از تأمین انرژی در ایران بسیار اندک است، در حالی که در سطح جهانی و به صورت کلان می‌توان ادعا کرد سهم نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ هرکدام حدود ۳۰ درصد بوده و ۱۰ درصد به سایر منابع انرژی اختصاص دارد.

علت پیروی نکردن ایران از این الگو در دسترس بودن منابع غنی نفت و گاز طبیعی است. این موضوع می‌تواند در سال‌های آینده به عنوان برگ برنده ظاهر شود، زیرا با اهمیت پیدا کردن کاهش گازهای آلاینده، به‌خصوص دی‌اکسیدکربن سهم اندک ایران



تصویر ۶. روند مصرف انرژی و انتشار گاز دی‌اکسید کربن در ایران از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ (میلیون تن معادل نفت) (مصرف انرژی اولیه ایران و میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به ترتیب از پایین به بالا در نمودار نمایش داده شده است)

از مصرف زغال‌سنگ به تحقق تعهدات کمک خواهد کرد.

از سوی دیگر، سیاست متنوع‌سازی روش‌های تأمین انرژی به عنوان یکی از اصول تأمین امنیت انرژی داخل مطرح‌شده که این جنبه نیز باید در برنامه‌ریزی مدیران لحاظ شود.

با توجه به ویژگی‌های فنی و قابلیت‌های زغال‌سنگ در تأمین الکتریسیته شبکه برق‌رسانی کشورها سهم این منبع انرژی در تأمین انرژی کشورها (به‌خصوص الکتریسیته) در آینده در سطح قابل ملاحظه‌ای حفظ خواهد شد.

در ادامه سهم انرژی هسته‌ای از تأمین مصرف انرژی اولیه ایران نمایش داده شده است (تصویر شماره ۴) که نشان می‌دهد، مشابه زغال‌سنگ، این منبع انرژی نیز در تأمین انرژی کشور سهم چندانی نداشته و از حدود سال ۲۰۱۱ وارد چرخه تأمین انرژی شده است.

علی‌رغم برنامه‌های اعلام‌شده توسط کشورهای عضو اتحادیه اروپا مبنی بر کاهش سهم انرژی هسته‌ای در تأمین انرژی، در سال‌های آینده شاهد روند رو به رشد بهره‌برداری از تأسیسات هسته‌ای در جهان خواهیم بود که کشورهای چین و هند سهم بسزایی در این رشد خواهند داشت.

سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه‌های گذشته در ایران رشد قابل ملاحظه‌ای داشته که بیشتر آن توسط منابع برق‌آبی تأمین شده است (به تصویر شماره ۵ رجوع کنید).

توسعه سدسازی از اوایل دهه ۱۳۷۰ و تأسیس نیروگاه‌های برق‌آبی در افزایش توان تولید الکتریسیته کشور سهم قابل توجهی داشته است. توجه شود که تصویر شماره ۵ گراف زیرین روند مصرف انرژی اولیه ایران در واحد میلیون تن معادل نفت را نشان

جدول ۱. میانگین نظر خبرگان درخصوص عوامل تأثیرگذار بر آینده تأمین انرژی در ایران ۱۴۲۰

نیروها	ردیف	عوامل	اهمیت / تأثیرگذاری	کنترل / تأثیرپذیری	عدم قطعیت
اجتماعی	۱	اشتغال‌زایی (مشترک با سازمانی)	۶/۳۷۵	۶/۷۵	۳
	۲	پذیرش عمومی	۴/۸۷۵	۶/۱۲۵	۴/۱۲۵
	۳	ایمنی و مباحث مرتبط با بهداشت و ایمنی	۵/۱۲۵	۸	۳/۶۲۵
فناوری	۴	کاهش شدت مصرف در مصرف‌کننده نهایی (مشترک با سازمانی)	۸	۵/۷۵	۶
	۵	قابلیت اطمینان	۶/۸۷۵	۷/۳۷۵	۴/۵
	۶	توسعه فناوری‌های تولید پراکنده (مشترک با سازمانی)	۷/۱۲۵	۸	۴/۵
	۷	خدمات (پس از فروش، شفافیت اطلاعات و ...)	۶/۲۵	۷/۶۲۵	۳/۲۵
	۸	ریسک فناوری (چرخه عمر، ازکارافتادگی و ...)	۷/۶۲۵	۶/۷۵	۵/۳۷۵
اقتصادی	۹	افزایش قیمت حامل‌های انرژی	۷/۸۷۵	۶/۲۵	۶/۵
	۱۰	افزایش تقاضای انرژی در داخل کشور (رشد جمعیت و ...)	۷/۸۷۵	۶	۴/۸۷۵
	۱۱	هزینه‌های عملیاتی (مشترک با فناوری)	۷/۳۷۵	۶/۲۵	۴/۵
	۱۲	هزینه‌های زیست‌محیطی (مشترک با زیست‌محیطی)	۶/۸۷۵	۶/۷۵	۴/۵
	۱۳	سرمایه‌گذاری (حساسیت به سرمایه اولیه)	۹	۶/۶۲۵	۴/۸۷۵
	۱۴	سرمایه‌گذاری خارجی (مشترک با سیاسی)	۹/۲۵	۶/۸۷۵	۸/۵
	۱۵	ریسک سرمایه‌گذاری	۸/۷۵	۶/۵	۷/۸۷۵
	۱۶	دوره بازگشت سرمایه	۷/۸۷۵	۵/۸۷۵	۶/۲۵
زیست محیطی	۱۷	تعهدات زیست‌محیطی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن	۷/۶۲۵	۷	۴/۱۲۵
	۱۸	استفاده از خاک (مشترک با اجتماعی)	۶/۶۲۵	۶/۶۲۵	۳/۶۲۵
سیاسی	۱۹	ادامه / تشدید تحریم‌ها	۹/۵	۵/۳۷۵	۸/۳۷۵
	۲۰	امکان وقوع تقابل نظامی	۹/۲۵	۶/۱۲۵	۸
	۲۱	ثبات سیاسی (داخل)	۸/۳۷۵	۶/۶۲۵	۷/۸۷۵

نیروها	ردیف	عوامل	اهمیت / تأثیرگذاری	کنترل / تأثیرپذیری	عدم قطعیت
سازمانی (داخلی)	۲۲	برنامه‌ریزی برای افزایش حجم صادرات گاز طبیعی (احیای سهم ایران)	۸/۸۷۵	۷/۸۷۵	۶/۲۵
	۲۳	توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر	۸/۶۲۵	۸/۲۵	۵
	۲۴	توسعه / توقف توسعه صنایع انرژی‌بر در کشور	۷	۷/۵	۵/۸۷۵
	۲۵	تمرکز بر سیاست خصوصی‌سازی	۷/۱۲۵	۷/۱۲۵	۵/۶۲۵
	۲۶	امکان‌پذیری (تولید و ارائه خدمات) = دانش بومی (مشترک با فناوری)	۷	۶/۶۲۵	۴/۷۵
	۲۷	حرکت به سمت اقتصاد دانش‌بنیان (مشترک با اقتصادی)	۶/۸۷۵	۷/۱۲۵	۴/۱۲۵
	۲۸	توسعه زنجیره ارزش ملی انرژی	۷/۱۲۵	۷/۶۲۵	۵

می‌دهد و نمودار بالاتر میزان تولید برق در واحد تراوات ـ ساعت را به تصویر کشیده است؛ بنابراین عرض دو گراف با یکدیگر قابل مقایسه نخواهند بود.

نظر به افزایش توجه بین‌المللی به مسائل زیست‌محیطی و معاهدات مرتبط با آنکه در سال‌های اخیر به امضای کشورها رسیده است، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در کشور را به ازای مصرف انرژی اولیه در مقیاس میلیون تن در شکل زیر نمایش داده شده است.

همان‌طور که در تصویر شماره ۶ نمایش داده شده، نسبت تولید گاز دی اکسید کربن به مصرف انرژی در ایران افزایش یافته است. ادامه روند کنونی در سال‌های آینده می‌تواند تبعاتی برای صنایع انرژی کشور به همراه داشته باشد. مقصود از تبعات جریمه‌های پیش‌بینی‌شده در قالب طرح‌های حفاظت از محیط‌زیست و کاهش دو درجه دمای هوای زمین است که به امضای دولت‌ها رسیده است.

به عنوان جمع‌بندی و از زاویه دید تأمین انرژی در ایران، در دهه‌های اخیر بار اصلی تأمین انرژی در کشور بر دوش سوخت‌های فسیلی بوده که به معنای سهم بیشتر نفت و گاز طبیعی است.

اگرچه تولید الکتریسیته از طریق منابع انرژی‌های تجدیدپذیر رشد قابل توجهی در سه دهه اخیر داشته است، اما هنوز سهم گاز طبیعی از تولید الکتریسیته قابل ملاحظه بوده و به عنوان نمونه وقوع چالش‌های کلیدی در تولید گاز طبیعی صنعت نیرو کشور را با بحران مواجه می‌کند.

از آنجا که تصاویر گویاتر از متن بوده و ایده اصلی محقق را به شکل صحیح‌تری منتقل می‌کنند، در این بخش تلاش کردیم وضعیت تأمین انرژی در ایران را در قالب سلسله‌ای از نمودارها به تصویر بکشیم

علاوه بر مواردی که در این بخش به بحث گذاشته شد، می‌توان به نحوه توزیع برق در سطح کشور و توسعه این شبکه، سطوح فناوری در دسترس، عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی مؤثر نیز اشاره کرد که از

جدول ۲. مشخصه‌های آماری وجوه سه‌گانه مطالعه عوامل مؤثر بر آینده تأمین انرژی ایران ۱۴۲۰

	میانگین	میانه	انحراف معیار
اثرگذاری	۷/۵	۷/۵	۱/۲۱
اثرپذیری	۶/۸۳	۶/۷۵	۰/۷۴
عدم قطعیت	۵/۳۸	۴/۹۳	۱/۵۷

آنجا که به موضوع این پروژه به طور مستقیم مرتبط نیست، از اطناب سخن می‌پرهیزیم و تأثیر عوامل یادشده و سایر عوامل کلیدی را در طراحی ساختمان سناریوهای محتمل پیش‌روی ایران (بخش بعدی) مطالعه خواهیم کرد.

طراحی سناریوهای محتمل تأمین انرژی ایران:

به منظور برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در زمینه روش‌های تأمین انرژی ایران در افق ۱۴۲۰ ابتدا باید عوامل شکل‌دهنده به آینده ایران شناسایی و سپس نحوه تعامل این عوامل با یکدیگر مطالعه شود.

تحلیل رفتار عوامل سناریوهای محتمل، آینده ایران در حوزه انرژی را شکل خواهد داد. حال بر اساس تصویری که آینده‌های محتمل ایجاد کرده‌اند و ترجیح سیاست‌گذاران می‌توان درخصوص روش‌های تأمین انرژی ایران و نحوه سیاست‌گذاری پیرامون آن اظهارنظر کرد.

تاکنون روندهای اساسی بازار انرژی استخراج و مطالعه شدند. سیاست کشورهای منتخب برای نیل به اهداف مطلوبشان لیست شدند. از منظر داخلی اسناد بالادستی مطالعه و سهم هریک از منابع انرژی در سبد تأمین انرژی ایران بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ ارزیابی شد.

در ادامه و بر اساس یافته‌های بخش‌های قبل و نیز بررسی مقالات مرتبط با موضوع پژوهش، عوامل مؤثر بر آینده تأمین انرژی ایران طبقه‌بندی و پالایش می‌شوند. از میان این عوامل عدم قطعیت‌های کلیدی شناسایی و بر اساس جهت‌گیری آن‌ها آینده‌های محتمل شکل خواهند گرفت.

جدول ۳. مشخصه‌های آماری وجوه سه‌گانه مطالعه عوامل مؤثر بر آینده تأمین انرژی ایران ۱۴۲۰

عنوان / شاخص‌ها	عدم قطعیت کلیدی	پیشران	توصیفی	حذف
اثرگذاری	↑	↑	↑	↑
اثرپذیری	↓	↑	↓↑	↓↑
عدم قطعیت	↑	↑	↓	↓↑

جدول ۴. نتایج دسته‌بندی عوامل مؤثر بر آینده روش‌های تأمین انرژی ایران ۱۴۲۰

نیروها	ردیف	عوامل	عدم قطعیت اصلی	توصیفی	خنثی
	۱	اشتغال‌زایی (مشترک با سازمانی)			*
اجتماعی	۲	پذیرش عمومی			*
	۳	ایمنی و مباحث مرتبط با ایمنی و بهداشت			*
	۴	کاهش شدت مصرف در مصرف‌کننده نهایی (مشترک با سازمانی)		*	
	۵	قابلیت اطمینان		*	
فناوری	۶	توسعه فناوری‌های تولید پراکنده (مشترک با سازمانی)		*	
	۷	خدمات (پس از فروش، شفافیت اطلاعات و ...)			*
	۸	ریسک فناوری (چرخه عمر، ازکارافتادگی و ...)		*	
	۹	افزایش قیمت حامل‌های انرژی		*	
	۱۰	افزایش تقاضای انرژی در داخل کشور (رشد جمعیت و ...)		*	
	۱۱	هزینه‌های عملیاتی (مشترک با فناوری)		*	
	۱۲	هزینه‌های زیست‌محیطی (مشترک با زیست‌محیطی)		*	
اقتصادی	۱۳	سرمایه‌گذاری (حساسیت به سرمایه اولیه)		*	
	۱۴	سرمایه‌گذاری خارجی (مشترک با سیاسی)	*		
	۱۵	ریسک سرمایه‌گذاری	*		
	۱۶	دوره بازگشت سرمایه		*	
زیست محیطی	۱۷	تعهدات زیست‌محیطی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن		*	
	۱۸	استفاده از خاک (مشترک با اجتماعی)			*
	۱۹	ادامه / تشدید تحریم‌ها	*		
سیاسی	۲۰	امکان وقوع تقابل نظامی	*		
	۲۱	ثبات سیاسی (داخل)	*		

نیروها	ردیف	عوامل	عدم قطعیت اصلی	توصیفی	خنثی
سازمانی (داخلی)	۲۲	برنامه‌ریزی برای افزایش حجم صادرات گاز طبیعی (احیا سهم ایران)		*	
	۲۳	توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر		*	
	۲۴	توسعه / توقف توسعه صنایع انرژی بر در کشور		*	
	۲۵	تمرکز بر سیاست خصوصی‌سازی		*	
	۲۶	تجربه / امکان‌پذیری (تولید و ارائه خدمات) = دانش بومی (مشترک با فناوری)		*	
	۲۷	حرکت به سمت اقتصاد دانش‌بنیان (مشترک با اقتصادی)		*	
	۲۸	توسعه زنجیره ارزش ملی انرژی		*	

طبقه‌بندی عوامل مؤثر بر اساس استاندارد STEEP ارائه‌شده که هریک از حروف در عنوان این شیوه نماینده دسته خاصی از عوامل به شرح: اجتماعی (S)، فناورانه (T)، اقتصادی (E)، زیست‌محیطی (E) و سیاسی (P) است.

با توجه به اهمیت عوامل از جنس سیاست‌گذاری موارد مرتبط با سیاست‌های کلان دولتی (ملی، وزارتخانه‌ها و ...) از عوامل سازمانی تفکیک‌شده و به صورت جداگانه بررسی می‌شوند[۱۲].

همان‌طور که از عنوان هریک مشخص است، یکی تمرکز بیشتری بر عوامل سیاسی و تصمیمات کلان دارد و دیگری به سیاست‌گذاری و شرایط درونی مدیریت تحول دلالت دارد. عوامل احصا شده و خلاصه نتایج پرسش‌نامه‌ها در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود رفتار همه عوامل، از نظر خبرگان، مشابه یکدیگر نیست. به طور معمول برای پالایش و تعیین نوع متغیرها از روش تحلیل اثرات متقابل[۱۳] استفاده می‌شود که دو محور اصلی دارد: اثرگذاری و اثرپذیری.

در پژوهش حاضر، در نظر گرفتن محور سوم، یعنی عدم قطعیت نیز پیشنهاد شده است. در روش سنتی، عاملی که بیشترین اثرگذاری و کمترین اثرپذیری را دارا بوده به عنوان محور سناریو، یعنی «عدم قطعیت کلیدی» انتخاب می‌شود، در حالی که الزاماً این‌چنین نیست.

با توجه به تغییرات اعمال‌شده نحوه دسته‌بندی عوامل نیز تغییر خواهد کرد. در رویکرد حاضر عوامل با میزان اثرگذاری و عدم قطعیت بالا به عنوان عدم قطعیت‌های اصلی معرفی می‌شوند. در این میان آن دسته از عوامل با درجه اثرپذیری پایین‌تر عدم قطعیت بیشتری دارند و به عنوان ستون‌های اصلی سناریوها در نظر گرفته می‌شوند. در مقابل عوامل با میزان اثرپذیری بیشتر، پیشران معرفی شده‌اند.

۱۲. بنابراین مدل استاندارد به صورت STEEP-O تغییر می‌یابد.

13. Cross Impact Analysis

جدول ۵. آلترناتیوهای ممکن برای عدم قطعیت‌های اصلی مسئله

آلترناتیوها / عدم قطعیت‌های اصلی	آلترناتیو ۱	آلترناتیو ۲	آلترناتیو ۳
تشدید تحریم‌ها	ادامه می‌یابد	متوقف می‌شود	
وقوع تقابل نظامی	بلی	خیر	
سرمایه‌گذاری خارجی	جذب نمی‌شود (لااقل در سطح لازم)	جذب / تسهیل می‌شود	
ریسک سرمایه‌گذاری	بالا	متوسط	پایین
ثبات سیاسی داخل	وجود ندارد	وجود دارد	

سیاست‌گذاران با تغییر سایر عوامل می‌توانند در مسیر این عوامل تغییراتی ایجاد کنند، اما هنوز ایده مشخصی در مورد روند آینده این عوامل وجود ندارد، بدین معنا که از نظر خبرگان میزان عدم قطعیت آن‌ها بالاست.

در مقابل این عوامل، عواملی وجود دارند که میزان اثرگذاری آن‌ها بسیار پایین است. این عوامل ، عوامل خنثی لقب گرفته و از آنجا که تأثیری بر روال حل مسئله ندارند، از مسئله حذف خواهند شد.

به این نکته توجه فرمایید که روش‌شناسی حاضر به موجب نظام‌مند بودن قابلیت تکرارپذیری دارد و از الگو و اصول آن می‌توان با داده ورودی جدید استفاده کرد. از این رو که خروجی پژوهش‌های این‌چنین تا حد زیادی به نظر خبرگان وابسته است، توصیه می‌شود تعداد مشارکت‌کنندگان افزایش یابد تا میانگین نتایج در تکرارها به همگرایی برسد.

دسته سوم عوامل توصیفی هستند. عواملی که اگرچه اثرگذاری بالایی دارند، اما از درجه عدم قطعیت پایینی (از نظر خبرگان) برخوردارند. ساختار اصلی سناریوها با استفاده از عوامل با عدم قطعیت بالا چارچوب‌بندی می‌شود و از عوامل توصیفی برای افزودن جزئیات بیشتر استفاده خواهد شد. برای تعیین حدود بالا یا پایین مشخصه‌های آماری وجوه سه‌گانه بررسی شدند. نتایج در جدول شماره ۲ ارائه شد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود میانه و میانگین تا حد زیادی به یکدیگر نزدیک‌اند که خبر از نزدیک نرمال بودن پراکندگی داده‌ها دارد. با بررسی مشخصه‌های آماری و مشاوره مجری محترم بنا شد بازه ۵/۵ تا ۷/۵ به عنوان بازه متوسط، اعداد با مقدار بیش از کران بالای این بازه به عنوان بازه بالا و اعداد کوچک‌تر از کران پایین این بازه مشخص‌کننده بازه پایین در نظر گرفته شده است.

با این الگو می‌توانیم تعیین کنیم که یک عامل، عدم قطعیت کلیدی است، پیشران است، توصیفی است و یا باید از سبد مطالعه حذف شود (عامل خنثی). جدول شماره ۳ خلاصه‌ای از نحوه طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

عوامل با درجه عدم قطعیت کلیدی بر نیروهایی دلالت دارند که بر سیستم مورد بررسی اثر می‌گذارند،

	A A1	A A2	B B1	B B2	C C1	C C2	D D1	D D2	D	E E1	E E2
A. تحریم											
-A1 تشدید تحریم‌ها			2	0	3	-2	3	1	-2	2	-1
-A2 متوقف شدن تحریم‌ها			-3	3	-2	3	-1	1	2	0	1
B. ورود به نزاع نظامی											
-B1 محتمل است	3	-1			3	-3	3	3	-3	2	-2
-B2 خیر/محتمل نیست	1	2			1	2	1	3	2	-2	2
C. سرمایه‌گذاری خارجی											
-C1 محدود بودن/ عدم جذب سرمایه	1	-1	0	-1			2	3	-2	2	-1
-C2 جذب سرمایه خارجی	-1	2	-3	3			-2	1	3	-2	2
D. ریسک سرمایه‌گذاری											
-D1 بالا	0	-1	0	0	3	-2				1	0
-D2 متوسط	0	0	0	0	1	1				0	0
-D3 پایین	-1	1	-1	1	-2	3				0	1
E. ثبات سیاسی داخل											
-E1 ثبات پایین و تغییر دوره‌ای سیاست‌ها	2	-2	1	0	2	-1	2	3	-2		
-E2 با ثبات	-1	2	-1	2	0	1	0	1	1		

جدول ۶. ارزش‌گذاری نهایی ماتریس مقایسات زوجی، مورد استفاده در روش تحلیل بالانس اثرات متقابل، توسط خبرگان

در عین حال اثرپذیری بسیار پایینی دارند (از کنترل تصمیم‌گیرنده خارج هستند) و به طور هم‌زمان پیش‌بینی رفتار آینده آن‌ها بسیار دشوار است.

عوامل طبقه‌بندی‌شده ذیل پیشران‌ها رفتاری مشابه عدم قطعیت‌ها دارند، با این تفاوت که می‌توان آن‌ها را تا حد زیادی کنترل کرد و تحت تأثیر اقدامات تصمیم‌گیرنده هستند.

عوامل پیشران جزئیات بیشتری از سیستم به دست می‌دهند، زیرا تا حدی قابل بررسی و تغییر هستند و این تغییرات را در سیستم مورد بررسی بازتاب می‌دهند (اثرگذاری بالا)، اما مسئله اصلی در مواجهه با آن‌ها درجه بالای عدم قطعیت / پیش‌بینی‌ناپذیری آن‌هاست.

جهت توصیف فضای سناریو و در اختیار گذاشتن شاخص‌هایی از آینده‌های مختلف، به متغیرهای توصیفی نیازمندیم. متغیرهای توصیفی آن دسته از متغیرهای اثرگذار بر سیستم هستند (عضو سیستم و به عنوان متغیری که رفتار سیستم را تخمین می‌زنند) که رفتار آینده آن‌ها از عدم قطعیت کمی برخوردار است و بسته به جهت‌گیری متغیرهای عدم قطعیت و پیشران‌ها قابل پیش‌بینی است. متغیرهایی که در سیستم مورد بررسی نقش کمرنگی دارند نیز از معادله قابل حذف هستند.

عدم قطعیت‌های کلیدی و پیشران‌ها شالوده سناریوهای محتمل را فراهم می‌آورند. به موجب ماهیت متفاوتشان، از این پس این دو عامل را ادغام کرده و تحت عنوان عدم قطعیت‌های اصلی مسئله می‌نامیم.

با عنایت به نحوه توزیع آماری اعلام‌شده در بالا و

جدول ۷. سناریوهای سازگار بر اساس ورودی‌های خبرگان و پردازش نرم‌افزار سناریو ویزارد

سناریوی شماره ۳	سناریوی شماره ۲	سناریوی شماره ۱
تشدید تحریم‌ها		توقف تحریم‌ها
احتمال وقوع نزاع در منطقه (نظامی)		حکمفرمایی صلح نسبی در منطقه و عدم ورود ایران به نزاع نظامی
عدم موفقیت در جذب سرمایه خارجی		جذب سرمایه خارجی
ریسک بالا در سرمایه‌گذاری	ریسک سرمایه‌گذاری نسبی (متوسط)	ریسک پایین سرمایه‌گذاری
ثبات اندک نظام سیاسی داخلب و تغییرات ادواری سیاست‌های انرژی		ثبات نسبی در نظام سیاسی کشور و ثبات سیاست‌گذاری

نیز جدول شماره ۳، عوامل را بر مبنای نظر خبرگان دسته‌بندی می‌کنیم. نتیجه این کار در جدول شماره ۴ به نمایش درآمده است.

با توجه به جدول، پنج عامل به عنوان عدم قطعیت اصلی معرفی و پنج عامل از فضای مسئله حذف شدند. برای ادامه کار و ساخت سناریوها از روش‌شناسی سناریو ویزارد[14] که قابلیت پیاده‌سازی از طریق نرم‌افزاری با همین نام را دارد استفاده می‌کنیم.

اصول روش بدین صورت است که در ابتدا آلترناتیوهای ممکن برای عدم قطعیت‌های اصلی شناسایی شده و از خبرگان خواسته می‌شود تا جدول مقایسات زوجی متناظر با آن را تکمیل کنند.

تجزیه و تحلیل مقایسات زوجی کمک می‌کند تا اهمیت نسبی تعداد زیادی از گزینه‌های محتمل را به دست آورید. این ابزار، به‌ویژه زمانی مؤثر است که داده‌های عینی برای تصمیم‌گیری در دسترس نباشد.

در این پژوهش، روش‌شناسی مبتنی بر این ابزار انتخاب شد، زیرا زمانی که تعداد خبرگان اندک باشد این روش قابلیت جامعیت و تعمیم‌پذیر بودن نتایج را افزایش می‌دهد.

با استناد به جدول شماره ۴ آلترناتیوهای عدم قطعیت‌های اصلی به شرح جدول شماره ۵ خواهند بود.

بر اساس نظر خبرگان، عدم قطعیت‌های برنامه‌ریزی برای تأمین انرژی ایران در افق ۱۴۲۰ بیشتر متأثر از نیروهای خارجی خواهند بود که بیشتر ناظر بر نحوه تنظیم روابط خارجی ایران است.

با توجه به این نکته که این عوامل از کنترل و اعمال نظر سیاست‌گذاران حوزه انرژی کشور خارج است، ایشان می‌بایست با شناخت آینده‌های بدیل و محتمل، راهبردهای پابرجا برای نیل به چشم‌انداز مطلوب اتخاذ کنند.

به صورت نظری ۴۸[15] سناریو از ترکیب‌های

14. Scenario Wizard

۱۵. ۴۸=۲×۲×۲×۳×۲×۲ که نتیجه حاصل‌ضرب تعداد آلترناتیوهای متناظر با عدم قطعیت‌های اصلی است.

ممکن آلترناتیوهای عدم قطعیت‌های شناسایی‌شده قابل تولید است، لیکن تمامی این سناریوها منطق سازگاری ندارند. بدین صورت که ممکن است برخی از این ترکیب‌ها احتمال وقوع بسیار ناچیزی داشته باشند یا اساساً وقوع آن‌ها دور از منطق باشد.

روش‌شناسی سناریو ویزارد از ابزار تجزیه و تحلیل مقایسات زوجی برای شناسایی سازگاری یا عدم سازگاری ترکیب‌های ممکن استفاده می‌کند و از آن میان سناریوهای محتمل را لیست و تصویری باورپذیر از آینده‌های پیشِ رو ارائه می‌دهد.

رویکرد مورد استفاده در این پژوهش تحلیل بالانس اثرات متقابل[16] بوده و برای تسهیل از نرم‌افزار سناریو ویزارد برای این منظور استفاده شده است (Weimer-Jehle, 2013).

تحلیل بالانس اثرات متقابل روشی برای فهم شبکه اثرات است و سناریو ویزارد ابزاری است که قضاوت‌های کیفیِ کمّی‌شده را دریافت و سناریوهای مناسب‌تر را ارائه می‌دهد.

از این روش و ابزار پیش از این در پژوهش‌های بین‌المللی مطالعات آینده و مدیریت در حوزه‌های مختلفی استفاده شده که به عنوان نمونه می‌توان به موضوعات مدیریت آب (Schütze, Robleto et al. 2011)، تغییرات زیست‌محیطی (Schweizer and Kriegler, 2012)، سلامت (Weimer-Jehle, Deuschle et al. 2012)، توسعه اقتصادی اجتماعی (Schweizer and O'Neill, 2014) و تغییرات آب‌وهوایی (Schweizer and Kurniawan, 2016) اشاره کرد.

برای ورود به بخش شناسایی سناریوهای محتمل از خبرگان خواسته شد تا میزان اثرگذاری عدم قطعیت‌های کلیدی را روی یکدیگر ارزیابی کنند.

همان‌طور که اشاره شد مبانی این اقدام روش تحلیل بالانس اثرات متقابل بوده است (برای مطالعه بیشتر در این خصوص رجوع شود به: Weimer-Jehle 2006, Weimer-Jehle 2009, Weimer-Jehle 2013)). ماتریس تشکیل‌شده به عنوان ورودی در مرحله بعد به بررسی میزان سازگاری بین سناریوها کمک خواهد کرد.

ماتریس نهایی به شرح زیر است. در جدول شماره ۶، که خروجی نرم‌افزار سناریو ویزارد است، عدد ۳+ به معنای اثرگذاری حداکثری همسو و ۳- به معنای تأثیر حداکثری در خلاف جهت هم است. عدد صفر نیز بیان می‌کند که دو عدم قطعیت مورد بررسی، اثری بر یکدیگر ندارند. سایر اعداد صحیح بین نقاط عطف بررسی‌شده شرایط بینابینی را توصیف می‌کنند.

در این پژوهش نمره ناسازگاری[17] و همچنین امتیاز مجموع تأثیرات[18] مربوط به هر ۱۴۵۸ مورد استخراج شد تا سناریوهای مناسب‌تر اولویت‌بندی شوند.

در این پژوهش از مجموع پنج عامل با عدم قطعیت کلیدی، که توسط خبرگان تعیین و ارزش‌گذاری شدند، ۴۸ سناریو قابل تولید است که بر پایه روش تحلیل بالانس اثرات متقابل و با استفاده از نرم‌افزار

16. CIB: Cross-Impact Bilanzanalyse

۱۷. ارزش ناسازگاری یک توصیف‌گر از تفریق نمره تأثیر یک حالتِ انتخاب‌شده برای یک توصیف‌گر، از بیشینه امتیاز تأثیر بالانس اثرات آن توصیف‌گر به دست می‌آید. به عبارت دیگر، اگر با انتخاب حالتی جایگزین برای یک توصیف‌گر، نمره تأثیرات بزرگ‌تری به دست آید، نمره اثرات یک توصیف‌گر منفی و آن توصیف‌گر در یک سناریوی خاص ناسازگار تلقی می‌شود.

۱۸. جمع امتیاز تأثیر همه حالات انتخاب‌شده برای یک سناریو است. امتیاز مجموع تأثیرات سنجه‌ای عمومی (Global Measure) برای باورکردنی بودن یک سناریو است.

سناریو ویزارد به دسته محدودتری از سناریوهای سازگار تقلیل یافتند.

اگرچه پیش‌تر نیز ذکر شد، اشاره می‌شود که به صورت سنتی در شناسایی عوامل کلیدی دو سنجه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که در این پژوهش ارتقا یافته و سنجه سوم درجه عدم قطعیت نیز در روال پژوهش لحاظ شده است.

این مورد برای جلوگیری از افزایش غیرضروری فضای مسئله به‌کار گرفته شده است. با استناد به ادبیات موضوع سناریونگاری، سناریوها بر پایه عوامل غیرقطعی بنا می‌شوند. جدول شماره ۷، خروجی نرم‌افزار را به تصویر می‌کشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، خروجی شبیه‌سازی نرم‌افزار سناریو ویزارد بر اساس نظر خبرگان سه سناریو با درجه سازگاری قابل قبول است. سناریوهای شماره و و سه در چهار محور مشابه یکدیگر رفتار می‌کنند و تنها از منظر ریسک سرمایه‌گذاری دو آلترناتیو بالا و متوسط را گزینش کرده‌اند.

بنابراین دو جریان سناریویی مستقل خواهیم داشت. یکی نماینده سناریوی شماره یک و دیگری نماینده دو سناریوی شماره دو و سه. با توجه به آرای خبرگان، عوامل آینده‌ساز و غیرقطعی صنایع انرژی در ایران غالباً ماهیت سیاسی پیدا کرده و از دید خبرگان رویکردهای بالادستی در سیاست‌گذاری و تعیین رفتار آینده سیاسی کشور بر نحوه مدیریت مطلوب و تعیین روش‌های تأمین انرژی ایران در افق ۱۴۲۰ مؤثر خواهد بود.

جریان سناریویی اول (مشتمل بر سناریوی شماره یک) بر تعامل با بازار جهانی (به معنی نیاز متقابل)، رفع تحریم‌ها، ثبات سیاسی داخل و امکان سرمایه‌گذاری خارجی تمرکز دارد، حال آنکه جریان سناریویی دیگر (مشتمل بر سناریوهای شماره دو و سه) شرایطی را ترسیم می‌کند که تعاملات ایران با دنیای بیرونی کاهش یافته و سیاست‌های اقتصادی کشور بر تأمین مالی داخل و استفاده از مزیت‌های رقابتی صادرات انرژی در تقویت صنایع داخلی متمرکز است. روایت دقیق‌تر به همراه جزئیات از سناریوهای ترسیم‌شده در پیوست شماره ۱ ارائه شده است.

همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، پژوهش‌هایی با محوریت سناریونگاری در صنایع انرژی منتشر شده‌اند که نمونه‌هایی از آن‌ها به مطالعه آینده‌های محتمل انرژی ایران پرداخته‌اند، اما تأمین انرژی و طراحی سبد انرژی کشور تا حد زیادی مغفول مانده و در عوض بسیاری از پژوهشگران بخش مشخصی از سیستم‌های انرژی را هدف قرار داده‌اند (به عنوان نمونه: (Alizadeh, Lund et al. 2016, Shahinza-deh, Fathi et al. 2016, Alipour, Hafezi et al. 2017, Heidari, Aslani et al. 2017, Kachoee, Salimi et al. 2018, Hafezi, Akhavan et al. 2019)).

بخش نتیجه‌گیری و جمع‌بندی بر اساس یافته‌های منتج از روش‌شناسی نیز روایات سناریوها (پیوست شماره ۱) و دانش ضمنی به وجود آمده در پژوهش طی مصاحبه‌های انجام‌شده، تنظیم شد.

۲. بحث و نتیجه‌گیری

مهم‌ترین یافته حاصل از شناسایی سناریوهای محتمل، اهمیت مسائل سیاسی در حوزه‌های تصمیم‌گیری کلان تأمین انرژی ایران در افق ۱۴۲۰ از منظر خبرگان است.

فارغ از اهمیت بسزای موضوعات فناورانه و ... عوامل آینده‌ساز احصاشده بر مبنای نظر خبرگان

عوامل مرتبط با تعاملات سیاسی و نیز اقتصادی (درخصوص سرمایه‌گذاری‌ها) را غیرقطعی‌ترین عوامل معرفی شدند.

به علاوه عوامل زیست‌محیطی در افق بررسی حذف شده و در واقع به زبان ساده‌تر، این موضوعات با توجه به چالش‌های پیش روی کشور در برنامه‌ریزی تعیین‌کننده‌نیستند.

اگر بخواهیم بخش طبقه‌بندی عوامل را جمع‌بندی کنیم، از نگاه خبرگان از میان تمام عوامل پیش‌فرض، که نتیجه مطالعات و تحلیل مقالات و اسناد بوده است، عوامل کلان سیاسی و اقتصادی از درجه اهمیت و عدم قطعیت بالاتری برخوردار بوده است.

از نگاه خبرگان عوامل متناظر بر چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در تعیین نحوه تأمین انرژی کشور طی حدود بیست سال آینده دغدغه کلیدی سیاست‌گذاران و مطالبه شهروندان نخواهد بود.

در عوض، مسائل مرتبط با ارتقای سطح امنیت انرژی مورد توجه قرار خواهد گرفت. در این میان، هجده عامل مهم تلقی شدند، اما در صورت تعیین نحوه جهت‌گیری عوامل با عدم قطعیت بالا نحوه چرخش و رفتار عوامل هجده‌گانه نیز قابل پیش‌بینی خواهد بود.

به طور کلان، سیاست‌گذاران انرژی کشور باید خود را برای دو وضعیت کلی در آینده آماده کنند. نخست شرایط تشدید تحریم، وجود تنش در منطقه و ادامه ناامنی در کشورهای همسایه و نیز عدم حضور مؤثر سرمایه‌گذاران خارجی و بخش خصوصی است که احتمالاً به تغییرات در رئوس شبکه سیاست‌گذاری انرژی منجر خواهد شد، که مترادف عدم ثبات سیاسی تلقی می‌شود.

از منظر دیگر با کنترل امنیت منطقه، کاهش تنش‌ها و انحلال مفاد تحریم علیه ایران، شرایط برای جذب سرمایه‌گذاران فراهم می‌شود. البته این رخداد نتیجه مهاجرت ایران از اقتصاد دولتی / متمرکز انرژی به سمت اقتصاد آزاد انرژی است.

ثبات در سطوح عالی مدیران و تداوم سیاست‌های کلان انرژی، در مقابل تغییرات گاه و بیگاه ناشی از تغییر مدیران عالی و تصویب قوانین حمایتی می‌تواند منجر به کاهش سطح ریسک شده و درنتیجه رغبت سرمایه‌گذاری در تولید و تأمین انرژی را در ایران افزایش دهد.

در شرایط تحریم توسعه منابع داخلی، تمرکز بر متنوع سازی با اولویت اقتصادی بودن، افزایش قیمت حامل‌های انرژی و حفظ و ارتقای سطح فناوری مدیوم ـ تک[19] سیاست کلیدی دولت خواهد بود.

در این شرایط دولت برنامه‌های افزایش قیمت را با دو هدف، تشویق به ارتقای سطح کارایی در مصرف‌کننده نهایی و ترغیب بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری تولید انرژی به اجرا درخواهد آورد.

در این سناریو تأکید بر بهره‌برداری از منابع داخلی، پایدار و مقرون‌به‌صرفه است. با فشار تحریم‌ها و کاهش سطح صادرات نفتی کشور از منابع غنی سوخت‌های فسیلی به عنوان عامل تقویت اقتصادی کشور بهره‌برداری می‌شود.

طبیعتاً در این شرایط تحقق تعهدات زیست‌محیطی به شکل ایده‌آل امکان‌پذیر نخواهد بود. توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای یک راه‌حل ممکن برای پای‌بند بودن به تعهدات کاهش انتشار آلاینده‌ها

19. Medium-Tech

خواهد بود.

در سناریوی دیگر، با کاهش و توقف فشارهای سیاسی ـ اقتصادی خارجی و تقویت نقش ایران در بازار جهانی انرژی موجی از سرمایه‌گذاری خارجی به کشور سرازیر خواهد شد، هرچند شرایط سال‌های اخیر تحرکاتی برخلاف جهت این رخداد را رقم زده است، اما تغییرات قیمت انرژی ممکن است موجب غیراقتصادی شدن تولید انرژی مدرن برای برخی فناوری‌ها شده و درنتیجه موجب گسترش بازار جهانی ایران خواهد شد.

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این سناریو ارتقای سطح فناوری استخراج و تولید انرژی است. جهت افزایش سهم بازار صادرات نفت و گاز طبیعی دولت به دنبال تشویق به تأمین انرژی داخل توسط بخش خصوصی است.

از این طریق امکان افزایش صادرات گاز طبیعی بیش از پیش امکان‌پذیر است. هرچند حضور در بازار جهانی گاز طبیعی نیازمند فراهم آوردن شرایط دیگری نیز است (ازجمله توسعه فناوری انتقال گاز مایع و...). برای تسهیل در متنوع سازی روش‌های تأمین انرژی و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی تغییر پارادایم مدیریت بخش کلان انرژی و مهاجرت به اقتصاد آزاد توصیه می‌شود.

هرچند دولت می‌تواند با افزایش نسبی قیمت حامل‌های انرژی و تخصیص یارانه به بخش خصوصی در تأمین انرژی تجدیدپذیر شرایط را جهت تداوم تصدی‌گری دولتی انرژی فراهم آورد.

در این سناریو افزایش رضایت عمومی و کمک به حل چالش اشتغال از اولویت‌های برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران خواهد بود. حفظ و تثبیت ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای اقدامی در جهت ارتقای سطح امنیت تأمین انرژی در افق ۱۴۲۰ برای کشور محسوب می‌شود. در این دوران ثبات سیاسی و تحقق سیاست‌های کلان انرژی از عوامل حیاتی در موفقیت نیل به سناریوی مطلوب خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

اصول اخلاقی تماماً در این مقاله رعایت شده است.

حامی مالی

این پروژه با حمایت پژوهشگاه نیرو و ذیل گروه آینده‌نگاری و سیاست‌پژوهی به اجرا رسید.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی: همه نویسندگان. روش‌شناسی، تحلیل، تحقیق و بررسی: رضا حافظی؛ اعتبارسنجی: رضا حافظی و حسن ظهور؛ تدوین پیش‌نویس: رضا حافظی و حمیدرضا افضلی؛ نظارت و مدیریت پروژه: حمیدرضا افضلی و حسن ظهور.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

پیوست شماره ۱

روایت سناریوها

در روایت سناریوها دو بخش اصلی لحاظ شده است. بخش فرضیه‌ها[1] که به شرایط اصلی سناریو برمی‌گردد و نیز بخش توصیف که در تلاش است با استناد به متغیرهای توصیفی طبقه‌بندی‌شده در جداول شماره ۴-۵ جزئیات بیشتری به سناریو بیافزاید.

جهت ارائه روایتی روان، این دو بخش در هم ادغام شدند، به گونه‌ای که در ابتدا فرضیات سناریو طبق تصویر شماره ۱۱ ارائه شده و سپس با بهره‌گیری از عوامل توصیفی جزئیات بیشتر به سناریوها اضافه خواهند شد.

جریان سناریویی اول: آسمان آبی[2]

این جریان به سناریوی شماره ۱ برمی‌گردد. این سناریو شرایطی را ترسیم می‌کند که ثبات سیاسی در سیاست خارجی و سیاست کلان انرژی، به‌خصوص در زمینه اقتصادی و دیپلماتیک وجود دارد.

آرامش نسبی حاکم بر منطقه شرایط مبادلات سوخت‌های فسیلی از مبدأ خاورمیانه را پایدار کرده و قیمت جهانی سوخت به ثبات نسبی رسیده است. ادامه پیشبرد برجام و کاهش تحریم‌ها علیه ایران شرایط را برای حضور پررنگ‌تر ایران در بازار جهانی انرژی فراهم می‌آورد.

در این شرایط با کاهش ریسک سرمایه‌گذاری بستر حضور سرمایه‌گذاران خارجی فراهم خواهد آمد. صنایع مرتبط با انرژی به سرمایه اولیه حساس بوده و محدوده زمانی بازگشت سرمایه آن‌ها بیش از سایرین است. از سوی دیگر نیاز به ارتقای سطح فناوری به صورت خاص در صنعت نفت و گاز طبیعی با افزایش قابلیت اطمینان، تعدیل هزینه‌های عملیاتی (نتیجه افزایش کارایی) پتانسیل صادرات ایران را افزایش خواهد داد.

اگرچه کنترل نرخ رشد جمعیت در سال‌های آینده افزایش قابل توجهی در تقاضای انرژی داخلی را به همراه نخواهد داشت، اما دولت با تقویت صنایع انرژی‌بر به عنوان مزیت رقابتی در سطح ملی به دنبال تحقق رشد تولید ناخالص ملی خواهد بود.

این اقدام ریسک متعهد ماندن به تعهدات زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد. در راستای پاسخ به این چالش، راهبرد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های تولید پراکنده انرژی در دستور کار قرار خواهند گرفت.

از دیگر راهبردهای مؤثر، در کنار ارتقای فناوری تولید و توزیع، کاهش شدت مصرف انرژی در مصرف‌کننده نهایی خواهد بود. نزدیک شدن شاخص شدت مصرف از یکسو به کاهش آلایندگی خواهد انجامید که هم‌جهت با نگرانی‌های زیست‌محیطی و معاهدات بین‌المللی مرتبط است و از سوی دیگر در بلندمدت سبب افزایش توان صادرات و قدرت چانه‌زنی ایران در بازار جهانی انرژی خواهد شد.

درآمد بیشتر از صادرات انرژی مترادف با سرریزشدن سرمایه (چه به صورت مستقیم و چه

۱. بخش فرضیه‌ها به بررسی و مرور عواملی که توسط خبرگان به عنوان عدم قطعیت‌های کلیدی شناسایی شد، برمی‌گردد. این دسته از عوامل، شرایط کلی سناریوی آینده محتمل را تصویر می‌کنند.

۲. در توسعه سناریوها همواره تلاش می‌شود شرایط و چارچوب اصلی در قالب یک اسم بیان شود. این اسم برای نشان دادن رویکرد و در برخی موارد تفاوت بین سناریوهاست. هدف اصلی ایجاد تصویری کلان از فضای سناریوهاست.

به صورت غیرمستقیم و از طریق یارانه) در توسعه فناوری‌های نوین تولید انرژی پاک است.

در اقدامی تقویت‌کننده، افزایش قیمت حامل‌های انرژی در کوتاه‌مدت قابل پیش‌بینی است. این امر هم طرف مصرف را به ارتقای سطح فناوری و کاهش شدت مصرف انرژی تشویق خواهد کرد و هم طرح‌های اقتصادی مرتبط با تولید و توزیع انرژی پاک را توجیه‌پذیر می‌کند.

دولت برای تحقق سیاست ملی اقتصاد غیرنفتی، توسعه اقتصاد دانش‌بنیان مبتنی بر دانش بومی را در دستور کار خود قرار داده است. از زاویه دید توسعه صنایع انرژی، این سیاست به معنای به‌کارگیری نیروی متخصص بومی و فراهم آوردن شرایط خصوصی‌سازی است.

اگرچه این امر به توسعه و تکمیل زنجیره ارزش ملی در صنایع انرژی منجر خواهد شد، بدون حمایت از سوی قانون‌گذار بی‌نتیجه می‌ماند. از الزامات قانونی این سیاست، کاهش سلطه دولت بر تولید و توزیع انرژی لااقل برای انرژی‌های فناورمحور است. گذار به اقتصاد آزاد انرژی برای ساختار مدیریت انرژی موجود یک دگرگونی تلقی شده و زمان‌بر خواهد بود.

به طور خلاصه، این سناریو شرایطی را رقم خواهد زد که توسعه منابع جایگزین سوخت‌های فسیلی برای ایران یک سیاست کلان خواهد بود. توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر با توجه به اقلیم ایران در افق بررسی به انرژی‌های بادی و خورشیدی محدود خواهد شد.

پیش‌بینی می‌شود توسعه تولید برق از منابع برق‌آبی با توجه به چالش‌های بحران آب با تأمل بیشتری پیگیری شود و هنوز این نحوه تولید سهم بالایی از تولید برق را به دوش خواهد کشید.

کشور به دنبال ارتقای سطح امنیت انرژی است که یکی از راه‌های تحقق آن متنوع‌سازی منابع تأمین انرژی است؛ بنابراین افزایش سهم نیروگاه‌های اتمی در سال‌های پیش‌رو قابل پیش‌بینی است.

تنها محدودیت بازدارنده در این مورد، فشارهای سیاسی بیرونی و محورهای طرح موردتوافق بین ایران و کشورهای ۵+۱ خواهد بود. از این بابت که خصوصی‌سازی و اقتصاد باز یکی از رویکردهای تغییر در مدیریت سیستم‌های انرژی کشور است، تشویق و تقویت بخش خصوصی در تولید و توزیع انرژی از سوی دولت پیگیری می‌شود.

توسعه تولید پراکنده هم این امر را تسهیل می‌کند و هم موجب ارتقای شبکه توزیع و سطح امنیت انرژی ایران خواهد شد.

جریان سناریویی دوم: پاییز بارانی

این جریان سناریوهای شماره دو و سه را بررسی می‌کند و برخلاف جریان نخست، شرایطی را توصیف می‌کند که ایران از لحاظ مبادلات خارجی و حضور در بازار جهانی انرژی محدود شده است. مطمئناً راهکارهای بهینه برای مدیریت سیستم‌های انرژی در چنین شرایطی متفاوت از جریان سناریویی اول است.

هدف در این پژوهش، معرفی چشم‌انداز مطلوب آینده مدیریت انرژی ایران نیست، بلکه بناست از نگاه خبرگان آینده‌های ممکن را شناسایی کرده و برای هریک الگوی کلان روش‌های تأمین انرژی را تبیین کند.

جریان سناریویی دوم که با عنوان «پاییز بارانی» معرفی شد، شرایطی را مفروض دارد که در آن تحریم‌های سیاسی اقتصادی علیه ایران تشدید شده و درصدد کاهش توان رقابت ایران در بازار جهانی انرژی است.

هرچند کاهش سهم بازار ایران به صفر در کوتاه‌مدت منطقی به نظر نمی‌رسد و برای کشورهای مشتری نفت خام ایران هزینه هنگفتی خواهد داشت، اما برنامه‌های توسعه بازار ایران ناموفق خواهند ماند.

در سال‌های اخیر و با توجه به میزان قابل توجه منابع گاز طبیعی اثبات‌شده و توان فنی کشور در استخراج آن، ایران به دنبال احیای سهم خود از بازار جهانی گاز طبیعی بوده است. با تشدید تحریم‌ها پیش‌بینی می‌شود کشور از منابع انرژی ارزان برای توسعه صنایع انرژی‌بر به عنوان مزیت رقابتی ملی در عرصه اقتصاد استفاده کند.

در این سناریو شرایط منطقه غیرقطعی تصویر شده و مناقشات بین دولت‌ها حتی چهره جدی‌تری به خود خواهد گرفت. عدم موفقیت در کنترل و مدیریت تحریم‌ها ثبات سیاسی داخلی را نیز با چالش روبه‌رو کرده و به‌تبع آن سیاست کلان انرژی کشور پیشرفت برنامه‌ریزی‌شده را تجربه نخواهد کرد.

علت این واقعه تعارض در راهبردها درنتیجه تغییرات و نوسانات در سطوح عالی مدیریت انرژی است. محدود شدن توان معامله‌گری ایران در عرصه جهانی، ناامنی منطقه و احتمال وقوع تغییرات بنیادی در تیم مدیریت انرژی ایران ریسک سرمایه‌گذاری را افزایش داده که عامل منفی در جذب سرمایه خارجی خواهد بود.

با توجه به فناوری در دسترس کشور و با توجه به سرمایه‌گذاری ناکافی برای بهبود قابلیت‌ها و سطح فناوری در دوران تحریم راهبرد توانمندسازی نیروی انسانی بومی برای دست‌یابی به دانش بومی ارتقای فناوری به زودی از سوی وزیران ذی‌ربط مورد توجه قرار خواهد گرفت.

این موضوع به تقویت اقتصاد دانش‌بنیان و توسعه زنجیره ارزش ملی کمک شایانی خواهد کرد. البته تحقق اهداف در راستای اقتصاد دانش‌بنیان نیازمند قانون‌گذاری در مسیر خصوصی‌سازی و تشویق بخش خصوصی برای حضور فعال در عرصه انرژی کشور است.

توسعه اقتصاد آزاد نیازمند تسهیل ورود بخش خصوصی، کاهش سهم تصدی‌گری دولت در مدیریت انرژی کشور، خصوصاً در بخش‌های تولید و توزیع است. با افزایش ریسک سرمایه‌گذاری و طول زمانی بازگشت سرمایه حساسیت تأمین انرژی کشور به سرمایه اولیه افزایش‌یافته و به صورت هم‌ارز ترغیب بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری کاری دشوارتر خواهد بود.

می‌توان پیش‌بینی کرد که دولت برای پوشش هزینه‌های توسعه و نگهداری و نیز توجیه اقتصادی بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری به افزایش قیمت حامل‌های انرژی مبادرت خواهد ورزید و در حوزه عرضه نیز یارانه به بخش خصوصی تعلق خواهد گرفت.

با تغییر رویکرد مصرف انرژی به عنوان محرک صنایع در کشور ایران شاهد افزایش تقاضای انرژی خواهد بود. اگرچه کاهش شدت مصرف انرژی یک چالش برای ایران محسوب می‌شود، اما عقب‌ماندگی فناوری پیشرفت را محدود خواهد کرد.

دولت در تلاش است با افزایش قیمت حامل‌های انرژی مصرف‌کننده نهایی را به کاهش شدت مصرف و کنترل مصرف سوق دهد. تمرکز بر سوخت‌های فسیلی در توسعه صنایع موجبات افزایش هزینه‌های زیست‌محیطی و عدم تأمین نیازهای مورد توافق ذیل تعهدات متناظر را فراهم می‌آورد.

بهره‌برداری از توانایی اقلیمی کشور در تولید انرژی

پاک و توسعه تولید انرژی بادی و خورشیدی می‌تواند به تعدیل هزینه‌های زیست‌محیطی کمک کند.

در انتها اضافه می‌شود، امنیت انرژی با توجه به ناامنی منطقه، در آینده یک چالش کلیدی خواهد بود. در این سناریو پیش‌بینی می‌شود توسعه نیروگاه‌های اتمی در دستور کار قرار گیرد تا توان مقابله با نوسانات تولید گاز طبیعی که طبق برخی تخمین‌ها ممکن است عرضه گاز را در کمتر از ده سال آینده با مشکلاتی مواجه کند، افزایش یابد.

از سوی دیگر متنوع‌سازی روش‌های تأمین خود هم‌راستا با افزایش امنیت انرژی است و نیز با پاسخ به بخشی از تقاضای انرژی داخل، توان استراتژیک کشور در دسترسی به منابع ارزان‌قیمت سوخت‌های فسیلی را به شکل چشم‌گیری ارتقا می‌دهد.

در این سناریو توسعه منابع تجدیدپذیر به موجب توجیه‌پذیری اقتصادی محدود در مقابل سوخت‌های فسیلی نسبت به سناریوی نخست نرخ رشد کمتری خواهد داشت و به مناطقی که دسترسی قابل توجهی به ظرفیت تولید انرژی پاک دارند، محدود می‌شود. در میان منابع تولید انرژی پاک، نیروگاه‌های برق‌آبی کماکان سهم عمده تولید برق پاک را بر دوش خواهند داشت.

References

Alipour, M., Hafezi, R., Amer, M., & Akhavan, A. N. (2017). A new hybrid fuzzy cognitive map-based scenario planning approach for Iran's oil production pathways in the post–sanction period. *Energy, 135*, 851-64. [DOI:10.1016/j.energy.2017.06.069]

Alipour, M., Hafezi, R., Ervural, B., Kaviani, M. A., & Kabak, Ö. (2018). Long-term policy evaluation: Application of a new robust decision framework for Iran's energy exports security. *Energy, 157*, 914-31. [DOI:10.1016/j.energy.2018.05.176]

Alizadeh, R., Lund, P. D., Beynaghi, A., Abolghasemi, M., & Maknoon, R. (2016). An integrated scenario-based robust planning approach for foresight and strategic management with application to energy industry. *Technological Forecasting and Social Change, 104*, 162-71. [DOI:10.1016/j.techfore.2015.11.030]

Amer, M. (2013). Extending technology roadmap through fuzzy cognitive map-based scenarios: the case of the wind energy sector of Pakistan [PhD dissertation]. Portland: Portland State University. [DOI:10.1016/j.techfore.2015.11.030]

Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2016). Technology roadmap through fuzzy cognitive map-based scenarios: The case of wind energy sector of a developing country. *Technology Analysis & Strategic Management, 28*(2), 131-55. [DOI:10.1080/09537325.2015.1073250]

Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., & Van Der Heijden, K. (2005). The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures, 37*(8), 795-812. [DOI:10.1016/j.futures.2005.01.003]

Byers, E. A., Gasparatos, A., & Serrenho, A. C. (2015). A framework for the exergy analysis of future transport pathways: Application for the United Kingdom transport system 2010–2050. *Energy, 88*, 849-862. [DOI:10.1016/j.energy.2015.07.021]

Di, W., Rui, N., & Hai-Ying, S. (2011). Scenario analysis of China's primary energy demand and CO_2 emissions based on IPAT model. *Energy Procedia, 5*, 365-9. [DOI:10.1016/j.egypro.2011.03.062]

Ghanadan, R., & Koomey, J. G. (2005). Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California." *Energy Policy, 33*(9), 1117-42. [DOI:10.1016/j.enpol.2003.11.011]

Hafezi, R. (2019). How Artificial Intelligence Can Improve Understanding in Challenging Chaotic Environments. *World Futures Review, 12*(2), 219-228. [DOI:10.20944/preprints201907.0338.v1]

Hafezi, R., Akhavan, A. N., & Pakseresht, S. (2017). Projecting plausible futures for Iranian oil and gas industries: Analyzing of historical strategies. *Journal of Natural Gas Science and Engineering, 39*, 15-27. [DOI:10.1016/j.jngse.2016.12.028]

Hafezi, R., Akhavan, A. N., Pakseresht, S., & Wood, D. A. (2019). A Layered Uncertainties Scenario Synthesizing (LUSS) model applied to evaluate multiple potential long-run outcomes for Iran's natural gas exports. *Energy, 169*, 646-659. [DOI:10.1016/j.energy.2018.12.093]

Hafezi, R., Akhavan, A. N., Zamani, M., Pakseresht, S., & Shamshirband, S. (2019). Developing a data mining based model to extract predictor factors in energy systems: Application of global natural gas demand. *Energies, 12*(21), 4124. [DOI:10.20944/preprints201906.0202.v1]

Heidari, A., Aslani, A., & Hajinezhad, A. (2017). Scenario planning of electricity supply system: Case of Iran. *Journal of Science and Technology Policy Management*, *8*(3), 299-330. [DOI:10.1108/JSTPM-05-2017-0024]

Kachoee, M. S., Salimi, M., & Amidpour, M. (2018). The long-term scenario and greenhouse gas effects cost-benefit analysis of Iran's electricity sector. *Energy, 143*, 585-96. [DOI:10.1016/j.energy.2017.11.049]

Kalashnikov, V., Gulidov, R., & Ognev, A. (2011). Energy sector of the Russian Far East: Current status and scenarios for the future. *Energy Policy, 39*(11), 6760-80. [DOI:10.1016/j.enpol.2009.09.035]

Keepin, B. (1984). A technical appraisal of the IIASA energy scenarios. *Policy Sciences, 17*(3), 199-276. [DOI:10.1007/BF00138708]

Limanond, T., Jomnonkwao, S., & Srikaew, A. (2011). Projection of future transport energy demand of Thailand. *Energy policy, 39*(5), 2754-63. [DOI:10.1016/j.enpol.2011.02.045]

Parajuli, R., Hussong, C., Ntoka, C., Charisoulis, G., Tulucan, T., & Sperling, K. (2015). Beyond oil and gas: Possible future scenarios for the electricity sector in Saudi Arabia. *International Journal of Sustainable Energy, 34*(2), 71-92. [DOI:10.1080/14786451.2013.821991]

Schütze, M., Robleto, G., León, C., & Rodriguez, I. (2011). *Modelling and scenario building of urban water and wastewater systems - Addressing water shortage in Lima*. Paper presented at the 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Brazil, 10-15 September 2011. http://www.lima-water.de/documents/schuetzee-tal_portoalegre2011.pdf

Schweizer, V. J., & Kriegler, E. (2012).Improving environmental change research with systematic techniques for qualitative scenarios. *Environmental Research Letters, 7*(4), 044011. [DOI:10.1088/1748-9326/7/4/044011]

Schweizer, V. J., & Kurniawan, J. H. (2016). Systematically linking qualitative elements of scenarios across levels, scales, and sectors. *Environmental Modelling & Software*, *79*, 322-33. [DOI:10.1016/j.envsoft.2015.12.014]

Schweizer, V. J., & O'Neill, B. C. (2014). Systematic construction of global socioeconomic pathways using internally consistent element combinations. *Climatic Change, 122*(3), 431-45. [DOI:10.1007/s10584-013-0908-z]

Shahinzadeh, H., Fathi, S. H., & Hasanalizadeh-Khosroshahi, A. (2016). *Long-term energy planning in IRAN using LEAP scenario: Using combined heat and power (CHP). Proceedings of the Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG)* (pp.32-7). Mashhad: IEEE. [DOI:10.1109/ICREDG.2016.7875915]

Weimer-Jehle, W. (2006). Cross-impact balances: A system-theoretical approach to cross-impact analysis. *Technological Forecasting and Social Change, 73*(4), 334-61. [DOI:10.1016/j.techfore.2005.06.005]

Weimer-Jehle, W. (2009). Properties of cross-impact balance analysis. *arXiv preprint arXiv*:0912.5352. https://arxiv.org/abs/0912.5352

Weimer-Jehle, W. (2013). "ScenarioWizard 4.1-Constructing Consistent Scenarios Using Cross-Impact Balance Analysis". Stuttgart Research Center for Interdisciplinary Risk and Innovation Studies.Germany: University of Stuttgart Stuttgart.

Weimer-Jehle, W., Deuschle, J., & Rehaag, R. (2012). "Familial and societal causes of juvenile obesity-A qualitative model on obesity development and prevention in socially disadvantaged children and adolescents. *Journal of Public Health*, *20*(2), *111*-24. [DOI:10.1007/s10389-011-0473-8]