

واکاوی امنیت انرژی در ایران از منظر تنوع در سبد تولید برق



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شماره مسلسل: ۲۰۱۰۰
کد موضوعی: ۳۱۰



مرکز پژوهش‌های
مجلس شورای اسلامی

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۷/۱۸

عنوان گزارش:

واکاوی امنیت انرژی در ایران از منظر تنوع در سبد تولید برق

نوع گزارش: طرح/ لایحه ، نظارتی ، راهبردی

نام دفتر:

مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه برق و هسته‌ای)

تهیه و تدوین کنندگان:

علی فرهادی (عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی)،
رضا شریفی، سیده مریم موسوی

ناظران علمی:

حبیب‌الله ظفریان، ایمان رضانی

گرافیک و صفحه آرایی:

نفیسه حاجی صفری

ویراستار ادبی:

زهره عطاردی

واژه‌های کلیدی:

۱. امنیت انرژی
۲. سبد تولید برق
۳. شاخص تنوع

تاریخ شروع مطالعه:

۱۴۰۳/۱/۲۰



فهرست مطالب

چکیده.....	۶
خلاصه مدیریتی.....	۶
۱. مقدمه.....	۸
۲. اسناد بالادستی و سوابق قانونی مرتبط با امنیت انرژی.....	۱۰
۳. وضعیت سبب تولید برق در ایران و جهان.....	۱۱
۴. ارزیابی کمی تأثیر تنوع بر امنیت انرژی در ایران.....	۱۷
۵. مقایسه تطبیقی تنوع سبب تولید برق ایران با برخی کشورهای جهان.....	۱۹
۶. جمع بندی و پیشنهادها.....	۲۱
منابع و مآخذ.....	۲۲

فهرست شکل ها

شکل ۱. مهم ترین ابعاد امنیت انرژی.....	۹
شکل ۲. وضعیت سبب تولید برق کشور در شروع برنامه هفتم و هدف گذاری انتهای آن.....	۱۱
شکل ۳. نمودار میزان برق تولیدی از هریک از منابع انرژی در ایران از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۱
شکل ۴. نمودار میزان برق تولیدی از هریک از منابع انرژی در جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۲
شکل ۵. نمودار بزرگ ترین دارندگان ذخایر گاز طبیعی در جهان در سال ۲۰۲۱.....	۱۲
شکل ۶. نمودار سهم گاز طبیعی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۳
شکل ۷. نمودار بزرگ ترین دارندگان ذخایر نفت خام در جهان در سال ۲۰۲۱.....	۱۳
شکل ۸. نمودار سهم فراورده های نفتی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۴
شکل ۹. نمودار سهم زغال سنگ در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۴
شکل ۱۰. نمودار سهم انرژی برقابی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۵
شکل ۱۱. نمودار سهم انرژی های تجدیدپذیر (غیر برقابی) در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۶
شکل ۱۲. نمودار مقایسه سهم انرژی هسته ای در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱.....	۱۶
شکل ۱۳. نمودار شاخص تنوع سبب تولید برق ایران از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱.....	۱۸
شکل ۱۴. نمودار سهم هریک از منابع انرژی در رشد تولید برق بین سال های ۱۳۶۴ و ۱۴۰۱ در ایران و جهان.....	۱۹
شکل ۱۵. نمودار شاخص تنوع سبب تولید برق در کشورهای منتخب در سال ۱۴۰۱.....	۱۹
شکل ۱۶. نمودار سبب تولید برق کشورهای منتخب در سال ۱۴۰۱.....	۲۰
شکل ۱۷. وضعیت شاخص تنوع سبب تولید برق کشورهای جهان در سال ۱۴۰۱.....	۲۱



واکاوی امنیت انرژی در ایران از منظر تنوع در سبد تولید برق

چکیده



از مهم‌ترین ابعاد امنیت انرژی، تنوع منابع تولید برق است که به صورت افزایش سهم منابع مختلف انرژی در تولید برق و ایجاد توازن بین آنها برای کاهش تمرکز و وابستگی به یک منبع انرژی تعریف می‌شود. منابع انرژی اولیه برای تولید انرژی برق کشور شامل گاز طبیعی، فرآورده‌های نفتی، زغال سنگ، هسته‌ای، آبی و منابع تجدیدپذیر است. اما هم‌اکنون بیش از ۹۰ درصد از تولید برق کشور از طریق نیروگاه‌های حرارتی تولید می‌شود که عمده سوخت مصرفی آنها گاز طبیعی است. تکیه بالای تولید برق به گاز طبیعی و ازسویی ناترازی در تولید و تقاضای گاز در کشور منجر به ایجاد چالش در تأمین سوخت نیروگاه‌ها شده است. برای بررسی دقیق‌تر میزان تنوع سبد تولید برق کشور، در گزارش حاضر شاخص‌های کمی تنوع سبد تولید برق کشور، مورد محاسبه و تحلیل قرار گرفته که نتایج حاصل بیانگر وضعیت نامطلوب تنوع در سبد تولید برق کشور است. به طوری که ایران از نظر میزان تنوع سبد تولید برق در رتبه ۱۳۱ جهان قرار دارد. لذا پیش‌بینی رویکردهای توسعه نیروگاه‌های غیرحرارتی، به خصوص تجدیدپذیر، ضروری به نظر می‌رسد.

خلاصه مدیریتی



بیان / شرح مسئله

مفهوم امنیت انرژی یکی از موضوعات مهم در مقوله امنیت ملی است و مورد توجه بسیاری از سیاستگذاران جهان قرار گرفته است. مهم‌ترین ابعاد شاخص امنیت انرژی عبارتند از: استقلال از واردات انرژی، ذخیره‌سازی انرژی و تنوع در سبد تولید برق. ایران به دلیل دسترسی به منابع قابل توجه نفت و گاز، وابستگی اندکی به واردات انرژی داشته و در مورد ذخیره‌سازی انرژی نیز به دلیل عدم امکان پذیری ذخیره‌سازی قابل توجه برق به دلایل فنی، این موضوع در حوزه برق مطرح نیست. بنابراین تنوع در سبد تولید برق بیشترین تأثیر را بر میزان امنیت انرژی کشور از منظر تأمین برق دارد.

بیش از ۸۶ درصد از برق تولیدی در کشور وابسته به گاز طبیعی، حدود ۹ درصد وابسته به فرآورده‌های نفتی و کمتر از ۵ درصد مربوط به سایر منابع (برقابی، اتمی و تجدیدپذیر) بوده است. تکیه بالای تولید برق به گاز طبیعی و از طرفی ناترازی در تولید و تقاضای گاز به ایجاد چالش در تأمین سوخت نیروگاه‌ها به خصوص در فصل زمستان منجر شده که پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی بسیاری دارد.

ارزیابی دقیق تر وضعیت امنیت انرژی کشور از منظر تنوع سبب تولید برق، مستلزم محاسبه و تحلیل شاخص‌های کمی امنیت انرژی است. ارزیابی کمی سطح امنیت انرژی به کمک این شاخص‌ها، ابزاری کارآمد برای درک عمیق تر وضعیت، شناسایی نقاط قوت و ضعف و تصمیم‌گیری آگاهانه در جهت ارتقای آن ارائه می‌دهد. به همین دلیل در پژوهش حاضر، وضعیت ایران در تنوع سبب تولید برق از طریق محاسبه شاخص‌های کمی مربوطه مورد بررسی قرار گرفته است.

نقطه نظرات / یافته‌های کلیدی

تنوع به معنای بهره‌برداری از منابع متمایز انرژی در سبب تولید برق و ایجاد توازن میان آنها برای کاهش تمرکز و وابستگی به یک حامل انرژی تعریف می‌شود. شاخص برابری شانون-وینر یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها در زمینه کمی‌سازی میزان تنوع منابع تولید برق است. محاسبه شاخص تنوع سبب تولید برق برای ایران حاکی از آن است که روند کلی شاخص تنوع سبب تولید برق در چند دهه اخیر نزولی بوده و در چند سال گذشته نیز از محدوده قابل قبول به محدوده ضعیف سقوط کرده است. دلیل این وضعیت وابستگی زیاد به گاز طبیعی برای تولید برق بوده، چراکه سهم گاز طبیعی از تولید برق در ایران از ۳۵ درصد سال ۱۳۶۴ به حدود ۸۶ درصد در سال ۱۴۰۲ رسیده است. بررسی انجام شده نشان دهنده آن است که ۹۳ درصد از رشد تولید برق کشور در چهار دهه اخیر برعهده گاز طبیعی بوده و در حدود ۷ درصد باقی مانده توسط فرآورده‌های نفتی و انرژی هسته‌ای انجام شده است. انرژی‌های تجدیدپذیر و برقابی نیز در رشد تولید برق ایران نقش ناچیزی داشته‌اند که این موضوع نشان از عدم توازن در سبب تولید برق است. این در حالی است که هم‌اکنون در دنیا زغال سنگ ۳۵ درصد، گاز طبیعی ۲۳ درصد، انرژی برقابی ۱۵ درصد، انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۴ درصد، انرژی هسته‌ای ۹ درصد و سایر منابع انرژی ۴ درصد از کل تولید برق را برعهده دارند.

وضعیت ایران در تنوع سبب تولید برق در مقایسه با سایر کشورها مناسب نبوده و ایران از نظر میزان تنوع سبب تولید برق در رتبه ۱۳۱ جهان قرار دارد. در میان کشورهای مورد بررسی، کشور آمریکا بهترین تنوع را در سبب تولید برق داشته و شاخص تنوع سبب تولید برق در این کشور در محدوده عالی قرار دارد. آلمان، ترکیه، روسیه، انگلستان، فرانسه و چین در محدوده خوب، ایران و عربستان سعودی در محدوده ضعیف و قطر در محدوده بسیار ضعیف قرار دارد.

ایران دارای پتانسیل مناسبی در جهت افزایش ظرفیت تولید برق از محل منابع غیرفسیلی، به خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر بوده که این مسئله از سال‌های دور مورد توجه سیاستگذاران نیز قرار گرفته و در این راستا اسناد بالادستی، قوانین و مقررات مختلفی تدوین و تصویب شده است. از جمله اسناد بالادستی مربوطه که عمدتاً بر افزایش ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر تأکید دارند، می‌توان به سیاست‌های کلی نظام در زمینه انرژی، سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف و سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تا افق ۱۴۲۰ اشاره کرد. قانون برنامه هفتم پیشرفت نیز برای رسیدن به ظرفیت اسمی ۱۲۴ هزار مگاوات هدف‌گذاری کرده که از این مقدار، ۱۲ هزار مگاوات به نیروگاه‌های تجدیدپذیر و ۳ هزار مگاوات نیز به نیروگاه‌های هسته‌ای اختصاص یافته است. به عبارتی، برای اجرای هدف‌گذاری برنامه هفتم، باید بیش از ۴۰ درصد ظرفیت نیروگاه‌های جدید، به نیروگاه‌های غیرفسیلی اختصاص یابد که این امر تا حدی بر متنوع شدن سبب تولید برق کشور تأثیر خواهد داشت.

پیشنهاد راهکارهای تقنینی، نظارتی یا سیاستی

یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که در افزایش امنیت تأمین برق باید به آن توجه شود، تنوع‌بخشی به سبب تولید برق با هدف کاهش وابستگی به منبع انرژی واحد است. نبود یک برنامه جامع برای تخصیص سهم بهینه هر یک از حامل‌های انرژی در سبب تولید برق کشور منجر به تمرکز بیش از حد به گاز طبیعی شده، به نحوی که امنیت تأمین برق کشور با مخاطره جدی مواجه شده است. بنابراین ضروری است که به منظور



تعیین سهم بهینه هریک از حامل‌های انرژی در تولید برق کشور، با در نظر گرفتن مزیت‌های راهبردی کشور در این زمینه، یک نقشه راه جامع و کامل در بخش تولید برق تدوین شود.

با توجه به ظرفیت‌های کشور در تولید برق از منابع متنوع (همچون تجدیدپذیر، زغال سنگ و هسته‌ای)، پیشنهاد می‌شود به منظور تنوع بخشی به سبد تولید برق کشور، توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر، زغال سنگ سوز و هسته‌ای مورد توجه بیشتری قرار گیرند. از آنجاکه مهم‌ترین چالش در تنوع بخشی به سبد تولید برق کشور، تأمین منابع مالی لازم برای توسعه نیروگاه‌های بدون مصرف سوخت گاز و فراورده‌های نفتی است، پیشنهاد می‌شود جهت تسریع در تأمین مالی پروژه‌های مصوب شورای اقتصاد مبتنی بر ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید رقابت پذیر، از ظرفیت حساب بهینه‌سازی مصرف انرژی موضوع ماده (۴۶) قانون برنامه هفتم پیشرفت استفاده شود. مشوق دیگری که می‌توان برای توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر مورد توجه قرار داد، ارائه مجوز صادرات برق به نیروگاه‌های تجدیدپذیر بخش خصوصی است که این مسئله هم در جزء «۴» بند «ذ» ماده (۴۸) برنامه هفتم پیشرفت تکلیف شده است.

اجرای ماده (۱۰) قانون مانع زدایی از توسعه صنعت برق مبنی بر حذف تدریجی قیمت گذاری انرژی در طول زنجیره تولید، انتقال و توزیع برق و انتقال تمام یارانه‌ها به انتهای زنجیره نیز تأثیر بسزایی در بهبود اقتصاد صنعت برق و افزایش رقابت پذیری در بخش نیروگاهی دارد. گفتنی است، برنامه اجرایی این ماده در تاریخ ۱۴۰۳/۰۲/۰۹ به تصویب هیئت وزیران رسیده، اما تاکنون اجرایی نشده است.

۱. مقدمه

ظرفیت نامی نیروگاه‌های تولید برق کشور تا پایان سال ۱۴۰۲ به ۹۲,۳۵۱ مگاوات رسیده که بخش اعظمی از آن (حدود ۸۵ درصد) مربوط به نیروگاه‌های حرارتی بوده است. از آنجاکه نیروگاه‌های حرارتی اغلب از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌کنند، در حال حاضر بیش از ۸۶ درصد از برق تولیدی در کشور وابسته به گاز طبیعی، حدود ۹ درصد وابسته به فراورده‌های نفتی و کمتر از ۵ درصد مربوط به از سایر منابع (برقابی، اتمی و تجدیدپذیر) بوده است [۱]. تکیه بالای تولید برق به گاز طبیعی و از طرفی ناترازی در تولید و تقاضای گاز به ایجاد چالش در تأمین سوخت نیروگاه‌ها به خصوص در فصل زمستان منجر شده است. بخشی از کمبود گاز در فصل زمستان با سوزاندن سوخت مایع (گازوئیل و مازوت) در نیروگاه‌ها جبران می‌شود [۲]. استفاده از مازوت و گازوئیل به عنوان سوخت جایگزین نیروگاه‌ها با زیان‌هایی همراه است؛ چراکه به دلیل ارزش بالاتر گازوئیل و مازوت نسبت به گاز طبیعی منجر به عدم‌النتفع بالایی می‌شود. از طرفی، استفاده از سوخت‌های مایع، استهلاک تجهیزات نیروگاهی را افزایش داده و منجر به افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود و در نهایت آثار مخرب زیست‌محیطی را در پی دارد.

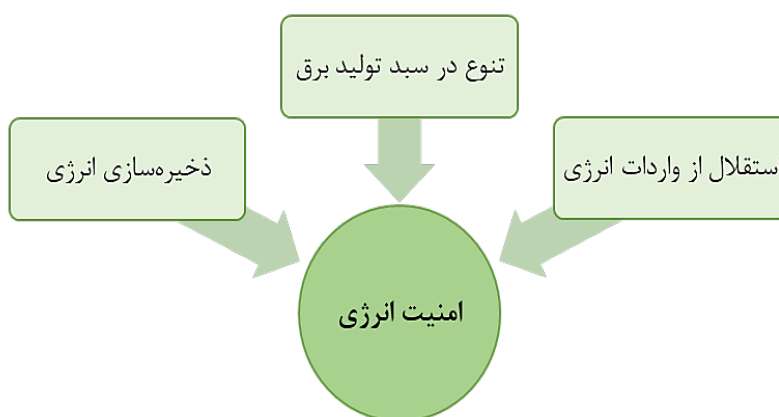
تنوع بخشی به سبد تولید برق علاوه بر کمک به حل ناترازی انرژی، عدم‌النتفع‌های استفاده از سوخت‌های مایع را کاهش می‌دهد، به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند و در نهایت، باعث افزایش امنیت تأمین انرژی کشور خواهد شد.

مفهوم امنیت انرژی یکی از موضوعات مهم در مقوله امنیت ملی است و مورد توجه بسیاری از سیاستگذاران جهان قرار گرفته و معنای عام آن مسئله پیچیده‌ای است که از جنبه‌های مختلف سیاسی، اجتماعی، محیط زیست و اقتصادی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. تاکنون تعاریف مختلفی از امنیت انرژی ارائه شده است. در یکی از جامع‌ترین تعاریف، امنیت انرژی این گونه معرفی می‌شود: «سیستم انرژی به دور از هر گونه تهدید، با عملکرد بهینه و پایدار در تمامی ابعاد».

شورای جهانی انرژی^۱ مهم‌ترین ابعاد شاخص امنیت انرژی را موارد زیر دانسته است (شکل ۱):

- **استقلال از واردات انرژی:** به عدم اتکای کشور به واردات حامل‌های مختلف انرژی و تنوع تأمین‌کنندگان آن اشاره دارد.
- **ذخیره‌سازی انرژی:** به توانایی کشور برای پاسخ‌گویی به تقاضا از طریق قابلیت‌های زیرساختی به‌منظور ذخیره‌سازی انرژی اشاره دارد.
- **تنوع در سبب تولید برق:** به معنای میزان تنوع منابع انرژی مورد استفاده در سبب تولید برق است.

شکل ۱. مهم‌ترین ابعاد امنیت انرژی



Source: Retrieved from the World Energy Council website.

گفتنی است در مورد بُعد اول امنیت انرژی (استقلال از واردات انرژی)، ایران به دلیل دسترسی به منابع قابل توجه نفت و گاز، وابستگی اندکی به واردات انرژی داشته و از این رو، در این بُعد وضعیت مناسبی دارد. در مورد ذخیره‌سازی انرژی نیز به دلیل عدم امکان پذیری ذخیره‌سازی قابل توجه برق به دلایل فنی، این موضوع در حوزه برق مطرح نیست. اما بُعد سوم (تنوع در سبب تولید برق) که یکی از مهم‌ترین ابعاد امنیت انرژی است، بیشترین تأثیر را بر میزان امنیت انرژی کشور از منظر تأمین برق دارد.

تنوع به معنای بهره‌برداری از منابع متمایز انرژی در سبب تولید برق و ایجاد توازن میان آنها برای کاهش تمرکز و وابستگی به یک حامل انرژی تعریف می‌شود. از مهم‌ترین مزایای در نظر گرفتن بُعد تنوع در سبب انرژی اولیه تولید برق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

■ تنوع، توانایی انطباق با شرایط متغیر را افزایش می‌دهد. به این دلیل که تنوع در سیستم می‌تواند به حفظ عملکردهایی کمک کند که ممکن است در شرایط عادی بی‌اهمیت تلقی شوند، اما با تغییر شرایط، مهم و ضروری گردند.

■ فناوری‌های جدید از دل فناوری‌های موجود سر بر می‌آورند. هنگامی که توسعه در مسیر یک فناوری خاص عمیق‌تر می‌شود، از سایر مسیرها غفلت خواهد شد. اگرچه این مسئله در شرایط عادی مشکل‌ساز نیست، اما وابستگی به یک فناوری خاص می‌تواند تغییر مسیر فناوری را دشوار یا حتی غیرممکن کند.

■ بسیاری از خطرات غیر قابل پیش‌بینی و ناشناخته هستند. تنوع می‌تواند به مقابله با این خطرات و یا سازگاری با آن کمک کند. ارزیابی دقیق‌تر وضعیت امنیت انرژی کشور از منظر تنوع سبب تولید برق، مستلزم محاسبه و تحلیل شاخص‌های کمی مربوطه است. از این رو در گزارش حاضر، پس از بررسی اسناد بالادستی و قوانین مرتبط با امنیت انرژی، وضعیت تنوع سبب تولید برق در ایران و جهان مورد مقایسه قرار گرفته و در نهایت، وضعیت امنیت انرژی در ایران از منظر تنوع در سبب تولید برق با بهره‌گیری از شاخص‌های کمی مورد واکاوی قرار گرفته است.

1. World Energy Council



لازم به ذکر است که برای تعیین سبد بهینه تولید برق، صرفاً شاخص تنوع تعیین کننده نیست؛ بلکه موارد دیگری همچون ظرفیت‌ها و مزیت‌های راهبردی هر کشور باید در تعیین سبد بهینه تولید برق مورد توجه قرار گیرند. بنابراین به دلیل ذخایر بالای نفت و گاز در کشور، استفاده از این منابع برای تولید برق جایگاه غیر قابل چشم‌پوشی خواهد داشت. اما در عین حال برای افزایش امنیت تأمین برق کشور، افزایش تنوع سبد تولید برق ضرورت دارد. از این رو، اگر چه گاز طبیعی از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی گزینه جذاب‌تری به نسبت زغال سنگ یا سوخت‌های مایع برای تولید برق به‌شمار می‌رود، اما تکیه بر یک منبع انرژی، امنیت تأمین برق کشور را به خطر انداخته و از این منظر با اشکالاتی همراه است.

۲. اسناد بالادستی و سوابق قانونی مرتبط با امنیت انرژی

ایران دارای پتانسیل مناسبی در جهت افزایش ظرفیت تولید برق از محل منابع غیر فسیلی، به خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر بوده که دستیابی به این مهم نیازمند سیاستگذاری و قانونگذاری مناسب است. این مسئله از سال‌های دور مورد توجه سیاستگذاران نیز قرار گرفته و در این راستا، اسناد بالادستی، قوانین و مقررات مختلفی تدوین و تصویب شده که در ادامه به برخی از اسناد بالادستی و قوانین مهم مرتبط با این مسئله اشاره شده است:

۱. در سال ۱۳۷۷ در بند «ب» سیاست‌های کلی نظام در زمینه انرژی، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای به منظور تنوع بخشی به سبد تولید برق کشور مورد توجه قرار گرفت. موارد ابلاغی به شرح زیر است:

■ ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت مسائل زیست‌محیطی و تلاش برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با اولویت انرژی‌های آبی.

■ تلاش برای کسب فناوری و دانش هسته‌ای و ایجاد نیروگاه‌های هسته‌ای به منظور تأمین سهمی از انرژی کشور و تربیت نیروهای متخصص.

■ گسترش فعالیت‌های پژوهشی و تحقیقاتی در امور انرژی‌های گداحت هسته‌ای و مشارکت و همکاری علمی و تخصصی در این زمینه.

■ تلاش برای کسب فناوری و دانش فنی انرژی‌های نو و ایجاد نیروگاه‌ها از قبیل بادی و خورشیدی و پیل‌های سوختی و زمین گرمایی در کشور.

۲. سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف، ابلاغی سال ۱۳۸۹، نیز بر «متنوع‌سازی منابع تولید برق و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین» تأکید کرده است.

۳. سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تا افق ۱۴۲۰، در سال ۱۳۹۹ توسط شورای عالی انرژی تصویب شد. در این سند به منظور افزایش ظرفیت تولید برق از منابع متنوع انرژی، هدف‌گذاری‌های کمی زیر انجام شده است:

■ افزایش ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر به ۶,۸۰۰ مگاوات تا سال ۱۴۰۵ و ۲۴,۸۰۰ مگاوات تا سال ۱۴۲۰،

■ افزایش ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای به ۳,۱۵۰ مگاوات تا سال ۱۴۰۶ و ۸,۴۰۰ مگاوات تا سال ۱۴۲۰،

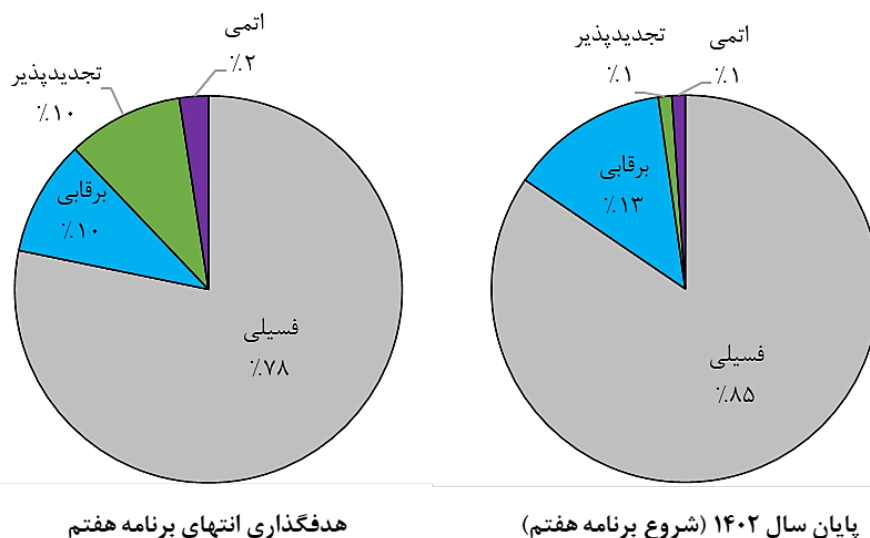
■ افزایش ظرفیت نیروگاه‌های زغال سنگی به ۶۵۰ مگاوات تا سال ۱۴۰۵ و ۵,۲۰۰ مگاوات تا سال ۱۴۲۰.

۴. در قانون برنامه ششم توسعه (مصوب سال ۱۳۹۶) دولت مکلف شده سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک را تا پایان برنامه به حداقل ۵ درصد ظرفیت برق کشور برساند.

۵. قانون برنامه هفتم پیشرفت (مصوب سال ۱۴۰۳)، برای رسیدن به ظرفیت اسمی ۱۲۴ هزار مگاوات هدف‌گذاری کرده است^۱ که از این مقدار، ۱۲ هزار مگاوات به نیروگاه‌های تجدیدپذیر و ۳ هزار مگاوات نیز به نیروگاه‌های هسته‌ای اختصاص یافته است. به عبارتی، برای اجرای هدف‌گذاری برنامه هفتم، باید بیش از ۴۰ درصد ظرفیت نیروگاه‌های جدید، به نیروگاه‌های غیر فسیلی اختصاص یابد. تحقق اهداف برنامه هفتم پیشرفت در این زمینه، تا حدی بر متنوع شدن سبد تولید برق کشور تأثیر خواهد داشت (شکل ۲).

۱. در انتهای سال ۱۴۰۲، کل ظرفیت منصوبه نیروگاهی ۹۲,۲۵۱ مگاوات بوده است.

شکل ۲. نمودار وضعیت سبد تولید برق کشور در شروع برنامه هفتم و هدف گذاری انتهای آن



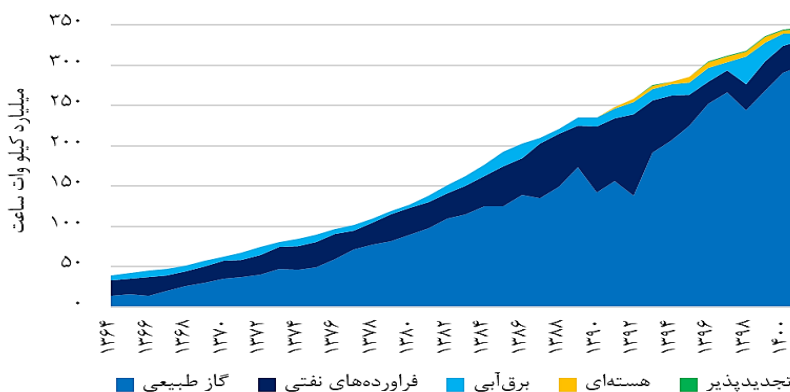
مأخذ: گردآوری نگارنده.

قوانین دیگری نیز تکالیفی در زمینه افزایش استفاده از منابع غیر فسیلی برای تولید برق وضع کرده‌اند که تمرکز اصلی آنها بر انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است. از جمله این قوانین می‌توان به قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی (مصوب سال ۱۳۸۹)، قانون هوای پاک (مصوب سال ۱۳۹۶) و قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق (مصوب سال ۱۴۰۱) اشاره کرد.

۳. وضعیت سبد تولید برق در ایران و جهان

در حال حاضر تولید برق در کشور از طریق منابعی مانند گاز طبیعی، فرآورده‌های نفتی، برقایی، انرژی هسته‌ای و تجدیدپذیر انجام می‌شود [۳]. میزان برق تولیدی از منابع مختلف در بازه زمانی سال‌های ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱ در ایران و جهان، به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده که در طی این سال‌ها حجم تولید برق در جهان در حدود ۳ برابر و در ایران ۹ برابر شده و این موضوع نشان‌دهنده شیب شدید افزایش تولید برق در ایران نسبت به جهان بوده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، منبع انرژی که عهده‌دار بخش اعظم افزایش تولید برق ایران در این سال‌ها بوده، گاز طبیعی است و سایر حامل‌ها نقش کمتری در این افزایش تولید داشته‌اند. رشد تولید برق در جهان نیز تا حدودی از منابع مختلف متوازن بوده که البته در این میان با ورود و توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید برق حاصل از آن رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است.

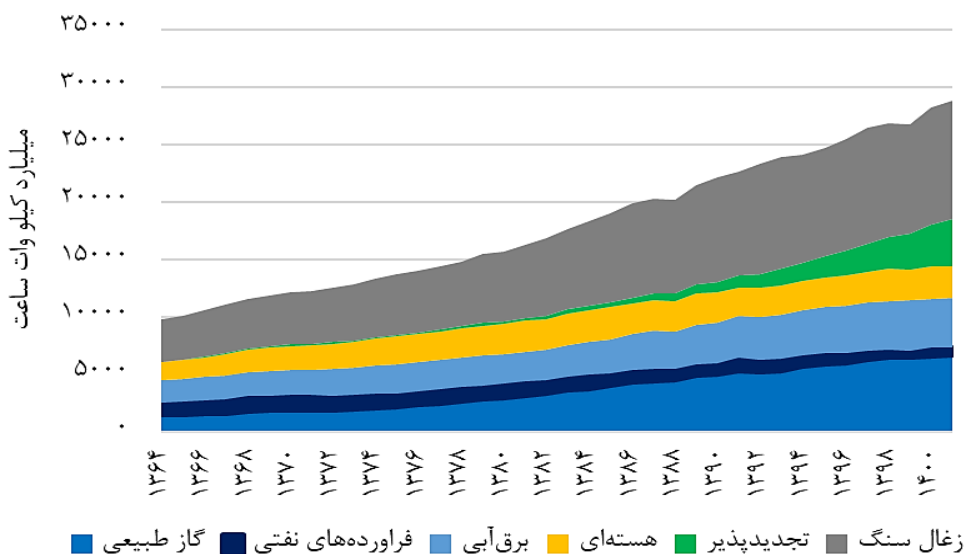
شکل ۳. نمودار میزان برق تولیدی از هر یک از منابع انرژی در ایران از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱



Source: Retrieved from Energy Information Administration, "Country Analysis Executive Summary: Iran", 2022.



شکل ۴. نمودار میزان برق تولیدی از هریک از منابع انرژی در جهان از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱



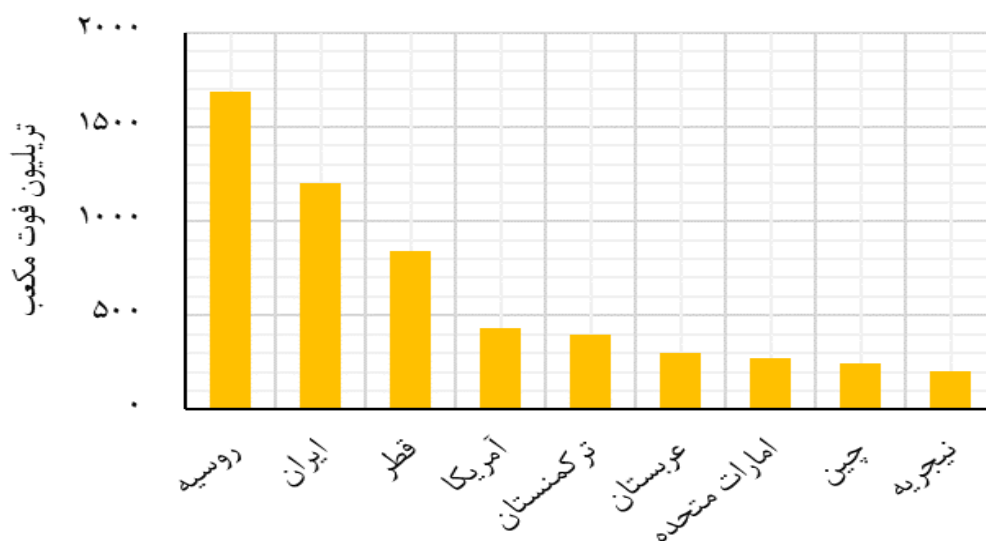
Source: Retrieved from Energy Information Administration.

در ادامه، وضعیت استفاده از منابع مذکور برای تولید برق، بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱. گاز طبیعی

در شکل ۵، بزرگ‌ترین دارندگان ذخایر گاز طبیعی در سال ۲۰۲۱ نشان داده شده است. ایران دومین دارنده ذخایر گاز در جهان بوده و در حدود ۱۷ درصد از ذخایر اثبات شده گاز دنیا را در اختیار دارد. از منظر تولید نیز ایران سومین تولیدکننده بزرگ گاز جهان در سال ۲۰۲۱ بوده است.

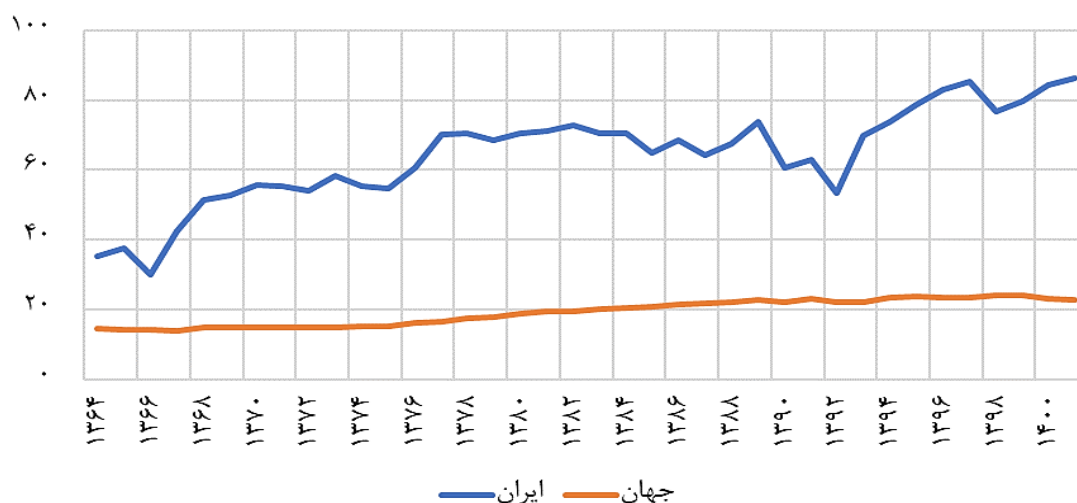
شکل ۵. نمودار بزرگ‌ترین دارندگان ذخایر گاز طبیعی در جهان در سال ۲۰۲۱



Source: U.S. Energy Information Administration (EIA).

در شکل ۶، روند تغییرات سهم گاز طبیعی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ ارائه شده است. طبق این شکل، در این سال‌ها سهم گاز طبیعی در تولید برق در ایران و جهان رو به افزایش بوده، اما شیب این افزایش در ایران، بسیار بیشتر از متوسط دنیا بوده است. سهم گاز طبیعی از تولید برق در ایران از ۳۵ درصد سال ۱۳۶۴ به حدود ۸۶ درصد در سال ۱۴۰۱ رسیده، این در حالی است که این شاخص برای متوسط دنیا از ۱۴ درصد به ۲۳ درصد رسیده است. در حال حاضر، جایگاه گاز در تولید برق در ایران اول و در جهان دوم است [۴]؛ که در این میان رتبه اول سهم حامل انرژی از تولید برق در دنیا متعلق به زغال سنگ است.

شکل ۶. نمودار سهم گاز طبیعی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱ (درصد)

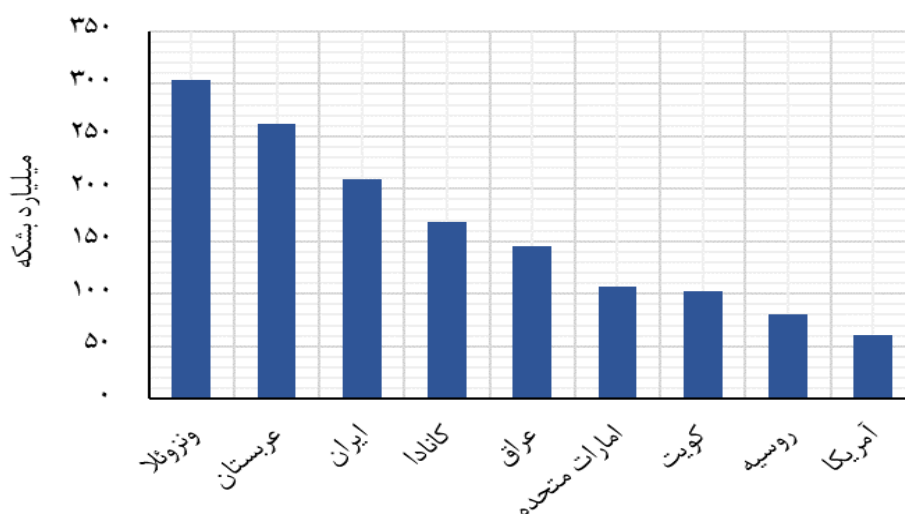


Source: Retrieved from Energy Institute "Statistical Review of World Energy Data", 2023.

۳-۲. فراورده‌های نفتی

طبق برآوردهای موجود، ایران حدود ۲۴ درصد از ذخایر اثبات شده نفت خاورمیانه و ۱۲ درصد از ذخایر جهانی نفت را به خود اختصاص داده [۵] و سومین دارنده ذخایر نفت است (شکل ۷).

شکل ۷. نمودار بزرگ‌ترین دارندگان ذخایر نفت خام در جهان در سال ۲۰۲۱

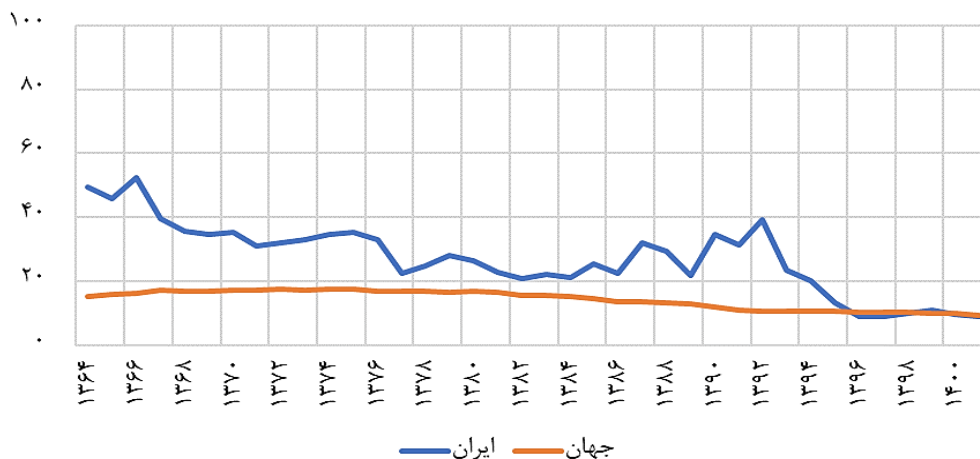


Source: U.S. Energy Information Administration (EIA).



در شکل ۸، روند تغییرات سهم فراورده‌های نفتی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱ ترسیم شده که در این بین روند سهم فراورده‌های نفتی در تولید برق در جهان و ایران تقریباً مشابه است. سهم فراورده‌های نفتی از تولید برق در ایران از حدود ۵۰ درصد در سال ۱۳۶۴ به حدود ۹ درصد در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته و در دنیا نیز از ۱۱ درصد به ۲ درصد رسیده است. در حال حاضر، جایگاه فراورده‌های نفتی در تولید برق در ایران دوم و در جهان ششم است [۴].

شکل ۸. نمودار سهم فراورده‌های نفتی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱ (درصد)

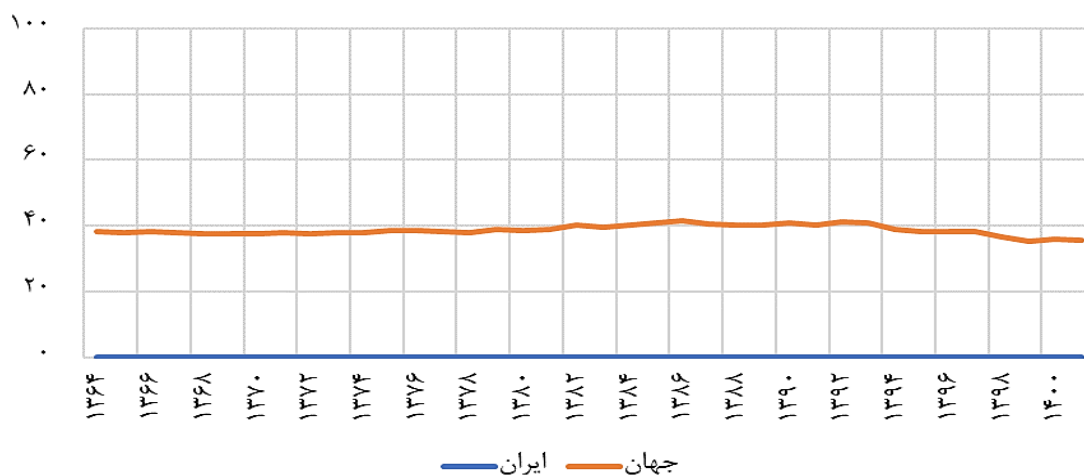


Source: Retrieved from Energy Institute "Statistical Review of World Energy Data", 2023.

۳-۳. زغال سنگ

در سال ۱۴۰۱، زغال سنگ با تولید ۳۵ درصد از کل برق تولیدی جهان در جایگاه اول قرار داشته است [۴]. برخلاف نفت و گاز، ایران از ذخایر غنی زغال سنگ برخوردار نیست. ایران سی‌امین دارنده ذخایر زغال سنگ در جهان بوده و حدود یک‌دهم درصد از ذخایر اثبات شده را در اختیار دارد.^۱ سهم تولید برق از زغال سنگ در ایران و جهان طی سال‌های مورد مطالعه به صورت شکل ۹ است. همان‌طور که مشخص است، سهم زغال سنگ در تولید برق کشور صفر بوده و مصرف زغال سنگ برای تولید برق در جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱ دارای روندی نسبتاً ثابت بوده، البته از سال ۱۳۹۳ روند کاهشی نامحسوسی را آغاز کرده و از ۴۱ درصد به ۳۵ درصد در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته است.

شکل ۹. نمودار سهم زغال سنگ در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱ (درصد)



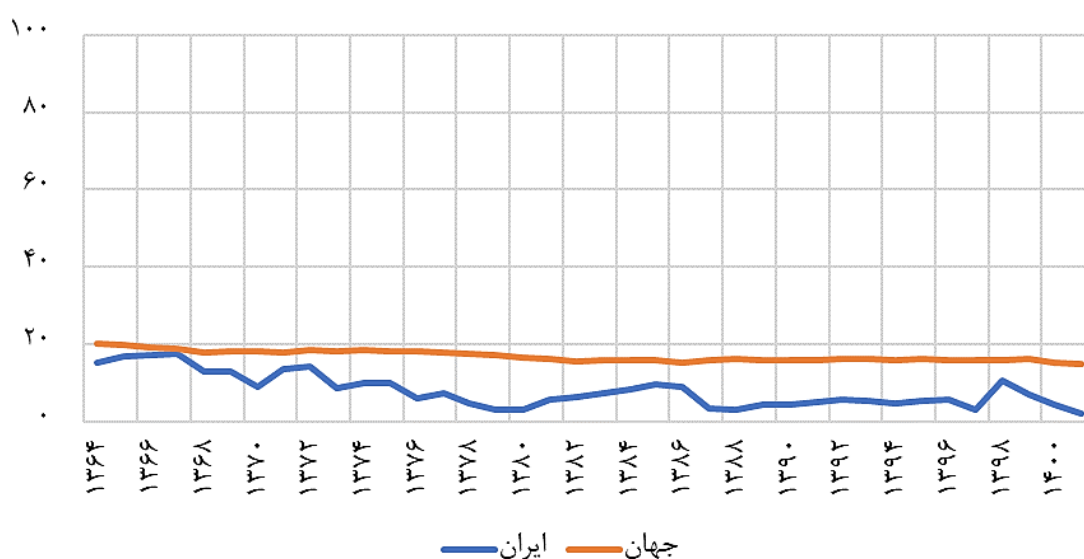
Source: Ibid.

1. The U.S. Energy Information Administration, 2021.

۳-۴. انرژی برقابی

نیروگاه‌های برقابی با تولید ۱۵ درصد از کل برق تولیدی جهان در جایگاه سوم تولید برق قرار دارند [۴]. در ایران حدود ۱۲ گیگاوات ظرفیت نیروگاه برقابی نصب شده وجود دارد که حدود ۱۳ درصد از کل ظرفیت نامی نیروگاه‌های کشور است. سهم برقابی در تولید برق کشور از سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۲ حدود ۱۴ تا ۱۵ درصد بوده است. با توسعه نیروگاه‌های حرارتی، در سال‌های اخیر سهم نیروگاه‌های برقابی از تولید برق بین ۳ تا ۷ درصد کاهش یافته است. سهم انرژی برقابی از تولید برق جهان نیز در این سال‌ها روند کاهشی داشته، به طوری که از ۲۰ درصد در سال ۱۳۶۴ به ۱۵ درصد در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته است.

شکل ۱۰. نمودار سهم انرژی برقابی در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ الی ۱۴۰۱ (درصد)



Source: Ibid.

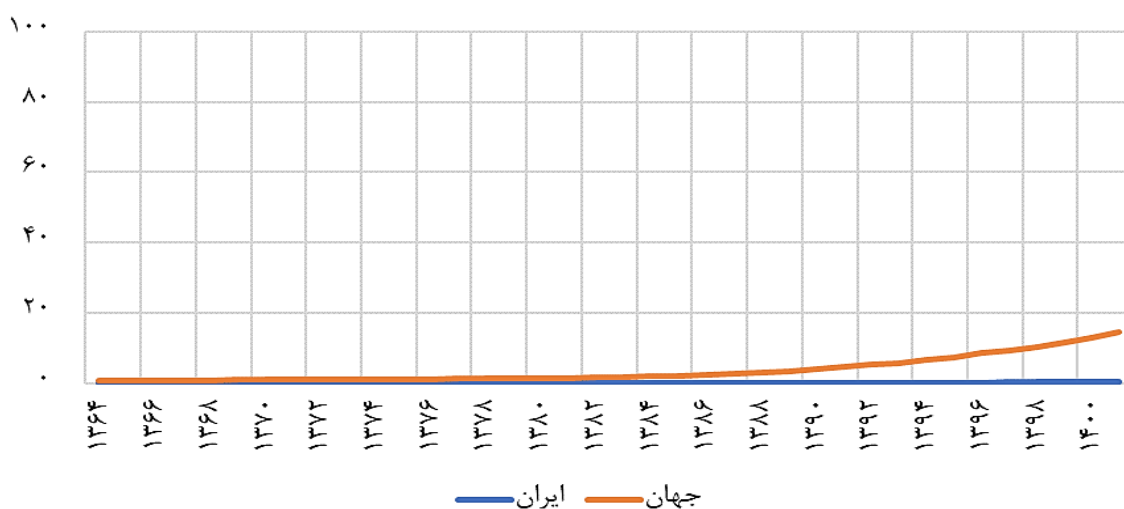
۳-۵. انرژی‌های تجدیدپذیر^۱

مجموع پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی و بادی در ایران معادل ۱۲۰ هزار مگاوات برآورد می‌شود [۶]. اما تا پایان سال ۱۴۰۲ تنها حدود ۱,۰۳۶ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر در کشور نصب شده که کمتر از ۱ درصد از کل پتانسیل برآورد شده است [۱]. در شکل ۱۱، سهم تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در طی سال‌های مورد مطالعه در ایران و جهان نشان داده شده و همان‌طور که مشخص است، تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان با شیب نسبتاً خوبی رو به افزایش بوده به نحوی که در سال ۱۴۰۱، انرژی‌های تجدیدپذیر با تولید ۱۴ درصد از کل برق تولیدی جهان در جایگاه چهارم قرار گرفته‌اند [۴]. اما سهم تجدیدپذیرها در تولید برق در ایران بسیار اندک بوده و با تولید کمتر از ۲ میلیارد کیلووات‌ساعت برق در سال ۱۴۰۱، حدود نیم درصد از کل برق تولیدی کشور را به خود اختصاص داده‌اند.

۱. اگرچه از نظر فنی انرژی برقابی یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر است، اما در ادبیات سیاستگذاری انرژی، این نوع انرژی از انرژی‌های تجدیدپذیر متمایز شده است. لذا منظور از انرژی‌های تجدیدپذیر، منابع انرژی تجدیدشونده غیر از برقابی بوده و عمدتاً شامل انرژی‌های خورشیدی و بادی می‌شود.



شکل ۱۱. نمودار سهم انرژی‌های تجدیدپذیر (غیربرقایی) در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ (درصد)

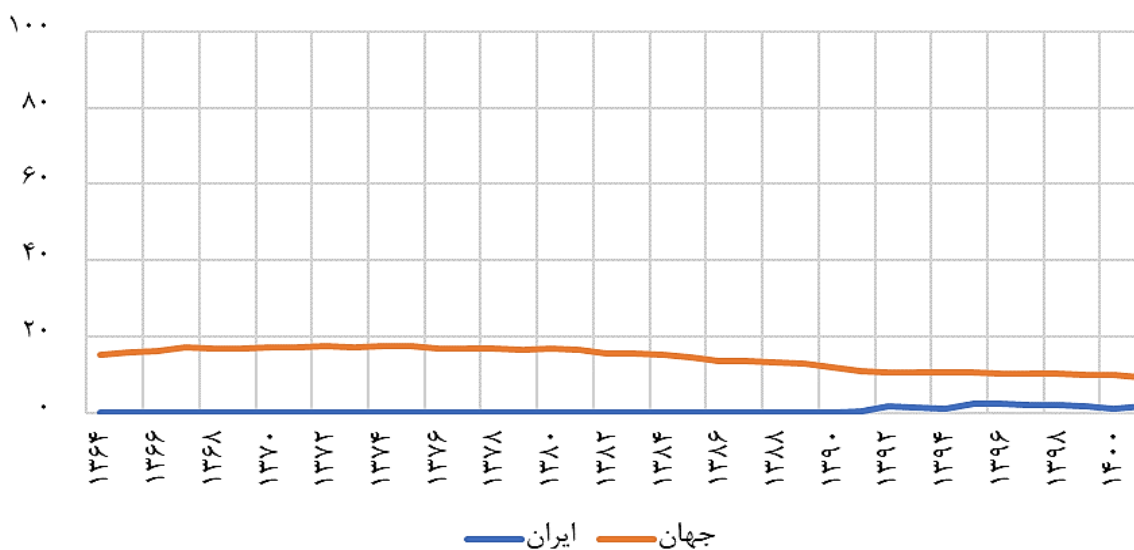


Source: Ibid.

۳-۶. انرژی هسته‌ای

ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای در جهان در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ با شتاب بالایی صورت گرفته است. اما وقوع حوادث هسته‌ای تری مایل آیلند^۱ (سال ۱۹۷۹) و چرنوبیل^۲ (سال ۱۹۸۶) و همچنین کاهش قیمت نفت، از تمایل کشورها به ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای بیشتر می‌کاهد. با این وجود، اغلب کشورهای دارای نیروگاه هسته‌ای، در سال‌های بعد میزان تولید برق هسته‌ای خود را در سطح تقریباً ثابتی نگاه داشته‌اند. در ایران نیز نیروگاه اتمی بوشهر به‌عنوان تنها نیروگاه هسته‌ای کشور با ظرفیت هزار مگاوات در حال فعالیت بوده و واحدهای جدیدی نیز در حال ساخت هستند. در سال‌های اخیر انرژی هسته‌ای حدود ۹ درصد از برق جهان را تأمین کرده و از این نظر، در رتبه پنجم بوده است (شکل ۱۲) [۴]. همچنین، سهم انرژی هسته‌ای از تولید برق در ایران حدود ۱,۸ درصد است.

شکل ۱۲. نمودار مقایسه سهم انرژی هسته‌ای در تولید برق ایران و جهان از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱



Source: Ibid.

1. Three Mile Island
2. Chernobyl

۴. ارزیابی کمی تأثیر تنوع بر امنیت انرژی در ایران

برای بررسی تأثیر تنوع منابع تولید برق بر امنیت انرژی در سال‌های اخیر، ارزیابی‌های کمی بر مبنای «شاخص‌های امنیت انرژی» ظهور کرده است. تعداد مطالعات انجام شده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ در زمینه «شاخص‌های امنیت انرژی» در سراسر جهان به‌طور متوسط چهار برابر بیشتر از دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ بوده است. مشاهدات فوق حاکی از تمرکز پژوهشگران به سمت گفتمان کمی سازی مبحث امنیت انرژی است [۷].

ارزیابی کمی سطح امنیت انرژی به کمک شاخص‌ها، ابزاری کارآمد برای درک عمیق‌تر وضعیت، شناسایی نقاط قوت و ضعف و تصمیم‌گیری آگاهانه در جهت ارتقای آن ارائه می‌دهد. از دلایل اهمیت ارزیابی کمی امنیت انرژی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

■ **قابلیت مقایسه:** شاخص‌های کمی امکان مقایسه وضعیت امنیت انرژی در طول زمان و بین مناطق مختلف یا با سایر کشورها را فراهم می‌کنند تا روندها را رصد کرده و اقدامات لازم را برای بهبود انجام داد.

■ **شفافیت و عینیت:** شاخص‌ها با ارائه اعداد و ارقام، ابزاری شفاف و عینی برای اندازه‌گیری امنیت انرژی ارائه می‌کنند؛ این امر حدس و گمان‌ها را کاهش داده و به تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌ها کمک خواهد کرد.

■ **اولویت‌بندی و تخصیص منابع:** شاخص‌ها با برجسته کردن نقاط ضعف، به سیاستگذاران کمک می‌کنند تا منابع را به‌طور مؤثرتر تخصیص دهند و بر روی مهم‌ترین چالش‌ها تمرکز کنند.

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی کمی ابعاد مختلف امنیت انرژی معرفی شده است. در زمینه بُعد تنوع منابع تولید برق (که یکی از مهم‌ترین ابعاد امنیت انرژی است) نیز شاخص‌های متعددی ارائه شده که از بین شاخص‌های موجود در این زمینه، پرکاربردترین شاخص، شاخص شانون-وینر^۱ است. این شاخص برای اندازه‌گیری تنوع گونه‌ها در یک اکوسیستم استفاده می‌شود که تنوع کل اکوسیستم را با در نظر گرفتن سهم گونه‌ها و نسبت‌های آنها بیان می‌کند. در بحث امنیت انرژی این شاخص به‌صورت زیر بازتعریف شده است:

$$SWI = - \sum_{i=1}^N p_i \ln(p_i)$$

شاخص تنوع شانون-وینر

سهم انرژی اولیه از کل انرژی اولیه

SWI

نوع انرژی اولیه

p_i

i

تعداد انواع انرژی اولیه

N

از آنجا که حداکثر مقدار شاخص تنوع شانون-وینر به تعداد گونه‌های آن وابسته است؛ با این حال، حداقل مقدار این شاخص مقدار صفر بوده و این در حالی است که تنوعی وجود نداشته باشد. لذا برای آنکه بتوان شاخص تنوع شانون-وینر را مورد ارزیابی قرار داد، می‌توان از شاخص برابری شانون-وینر^۲ استفاده کرد که از تقسیم شاخص تنوع شانون بر حداکثر تنوع به دست می‌آید.

$$E_{SWI} = \frac{SWI}{\ln(N)}$$

شاخص برابری شانون

شاخص تنوع شانون-وینر

E_{SWI}

SWI

تعداد انواع انرژی اولیه

N

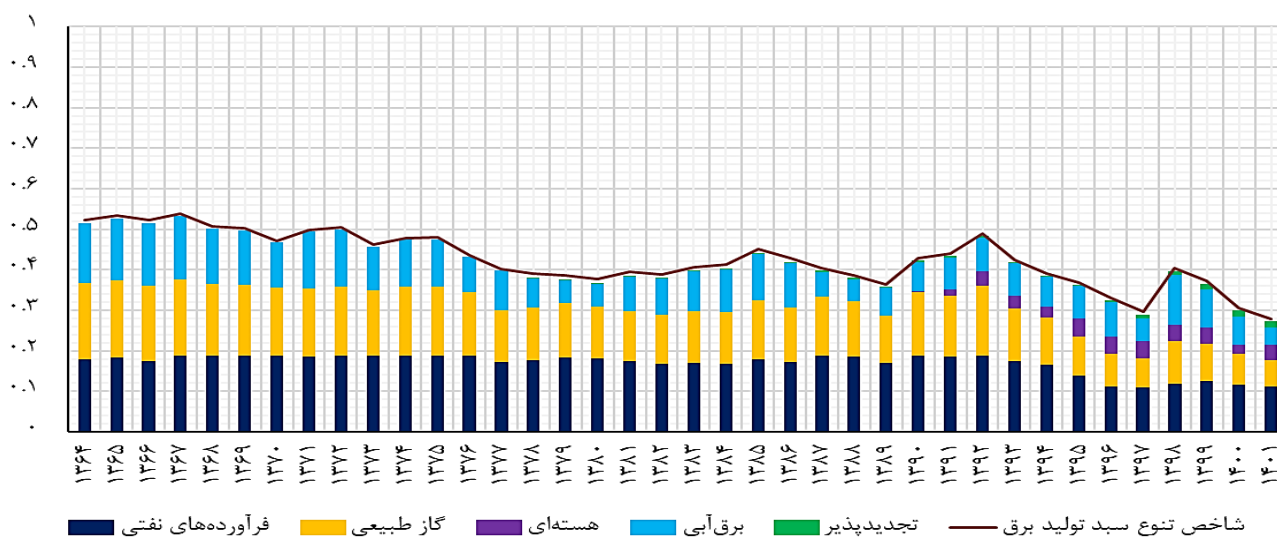
1. Shannon-Wiener Index (SWI)

2. Shannon-Wiener Equality Index (SWEI)



حداقل مقدار این شاخص صفر است که به معنای عدم تنوع بوده و حداکثر آن یک است که به معنای تنوع کامل و مطلوب است. محدوده شاخص برابری شانون-وینر در محدوده بسیار ضعیف (۰/۲-۰)، ضعیف (۰/۴-۰/۲)، قابل قبول (۰/۶-۰/۴)، خوب (۰/۸-۰/۶) و عالی (۱-۰/۸) قابل تقسیم‌بندی است. در ادامه با کمک این شاخص، میزان تنوع منابع تولید برق در ایران در طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ بررسی می‌شود. با محاسبه شاخص تنوع سبد تولید برق (شاخص برابری شانون-وینر) برای ایران، روند تغییرات این شاخص و همچنین سهم هر یک از منابع انرژی در آن، به صورت شکل ۱۳ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند کلی شاخص تنوع سبد تولید برق در سال‌های مورد مطالعه نزولی بوده و در سال‌های اخیر نیز از محدوده قابل قبول به محدوده ضعیف سقوط کرده است. در ابتدای سال‌های مورد مطالعه، سبد تولید برق کشور به سه منبع انرژی گاز طبیعی، فراورده‌های نفتی و برقابی متکی بوده که سهم هر یک در این سبد به ترتیب حدود ۳۵، ۴۹ و ۱۶ درصد بوده است، به عبارتی هیچ کدام از این منابع دارای سهم غالب نیست و توزیع سهم‌ها قابل قبول است. لذا هر چند در تعداد منابع انرژی در سبد تولید برق محدودیت بوده، اما توازن قابل قبولی بین آنها وجود داشته است. از این رو، شاخص در محدوده قابل قبول بوده است. در سال‌های بعد هر چند منابع جدید تجدیدپذیر و هسته‌ای به سبد تولید برق کشور اضافه شد، اما اولاً سهم آنها در تولید برق ناچیز و از سوی دیگر وضعیت وابستگی به منابع انرژی در تولید برق از حالت توازن خارج شد و سبد تولید برق کشور به سمت وابستگی زیاد به گاز طبیعی سوق یافت. به طوری که وابستگی به گاز طبیعی در سال ۱۴۰۱ به ۸۶ درصد و سایر منابع تولید برق (یعنی فراورده‌های نفتی، برقابی، هسته‌ای و تجدیدپذیر) به ۱۴ درصد رسید که بیانگر تمرکز بر یک منبع انرژی و عدم توازن بین منابع انرژی است (شکل ۱۳).

شکل ۱۳. نمودار شاخص تنوع سبد تولید برق ایران از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱



مأخذ: محاسبات تحقیق.

بهره‌برداری از ذخایر عظیم گاز در کشور منجر به ایجاد این ذهنیت در سیاستگذاران شد که باید از این مزیت راهبردی به‌نحو احسن استفاده کرد و در نتیجه این نگرش، بخش اعظم افزایش در تولید برق کشور متکی بر سوخت‌های فسیلی به‌ویژه گاز طبیعی شد. در دهه ۱۳۷۰ با توسعه و بهره‌برداری از میدان گازی پارس جنوبی اتکا به گاز در تمامی عرصه‌ها از جمله توسعه نیروگاه‌های گازی شدت بیشتری یافت و در کنار آن تحویل گاز بسیار ارزان به این دسته از نیروگاه‌ها منجر به سلب توان رقابتی در توسعه و ساخت سایر نیروگاه‌ها شد. با بررسی سهم هر یک از منابع انرژی در رشد تولید برق در این سال‌ها، جهت‌گیری مذکور کاملاً نمایان است.

از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۴۰۱، تولید برق کل جهان ۱۹۵ درصد و ایران ۷۹۰ درصد رشد داشته است [۸]. در شکل ۱۴، سهم هر یک از منابع انرژی در رشد تولید برق این سال‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به‌جز فراورده‌های نفتی، سهم تمامی منابع انرژی اولیه در سبد سوخت حاصل از این رشد تولید برق در جهان افزایشی بوده است. دلیل کاهش سهم فراورده‌های نفتی می‌تواند هزینه بالای تولید برق در چند دهه اخیر با افزایش قیمت جهانی نفت و تمایل به سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر باشد. زغال سنگ بین منابع انرژی در

رشد سبدهای تولید برق جهان پیشتر بوده است، گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر نیز سهم قابل توجهی داشته‌اند. اما در مورد ایران ۹۳ درصد از رشد تولید برق برعهده گاز طبیعی بوده و در حدود ۷ درصد باقی مانده بیشتر توسط فرآورده‌های نفتی و انرژی هسته‌ای انجام شده است. انرژی‌های تجدیدپذیر و برقی نیز در رشد تولید برق ایران نقش ناچیزی داشته‌اند که نشان از عدم توازن در سبدهای تولید برق است.

شکل ۱۴. نمودار سهم هر یک از منابع انرژی در رشد تولید برق بین سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۴۰۱ در ایران و جهان

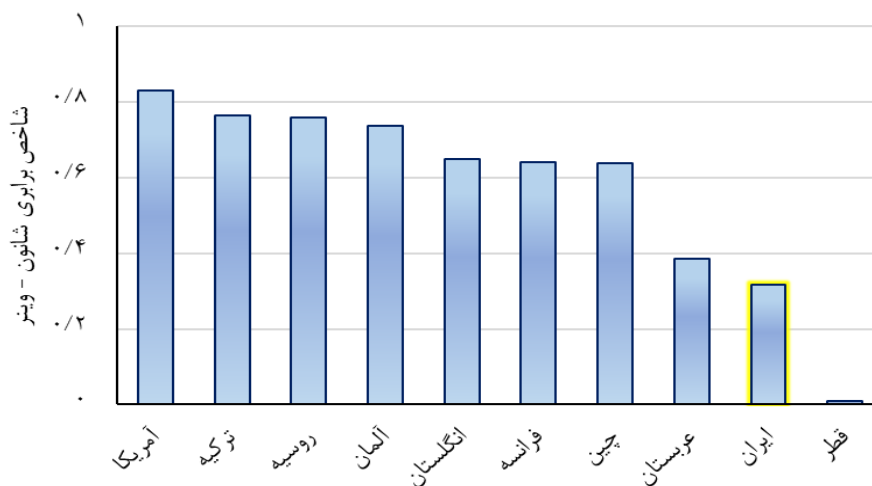


Source: Retrieved from Energy Institute "Statistical Review of World Energy Data", 2023.

۵. مقایسه تطبیقی تنوع سبدهای تولید برق ایران با برخی کشورهای جهان

این بخش به مقایسه تطبیقی بین ایران و کشورهای منتخب با استفاده از روش ارزیابی کمی شاخص تنوع سبدهای تولید برق (شانون-وینر) می‌پردازد. شکل ۱۵، مقدار این شاخص را در سال ۱۴۰۱ در برخی کشورهای منتخب نشان می‌دهد. در میان این کشورها، آمریکا بهترین تنوع را در سبدهای تولید برق داشته و شاخص تنوع سبدهای تولید برق در این کشور، در محدوده عالی قرار دارد. آلمان، ترکیه، روسیه، انگلستان، فرانسه و چین در محدوده خوب، ایران و عربستان سعودی در محدوده ضعیف و قطر در محدوده بسیار ضعیف قرار دارد.

شکل ۱۵. نمودار شاخص تنوع سبدهای تولید برق در کشورهای منتخب در سال ۱۴۰۱

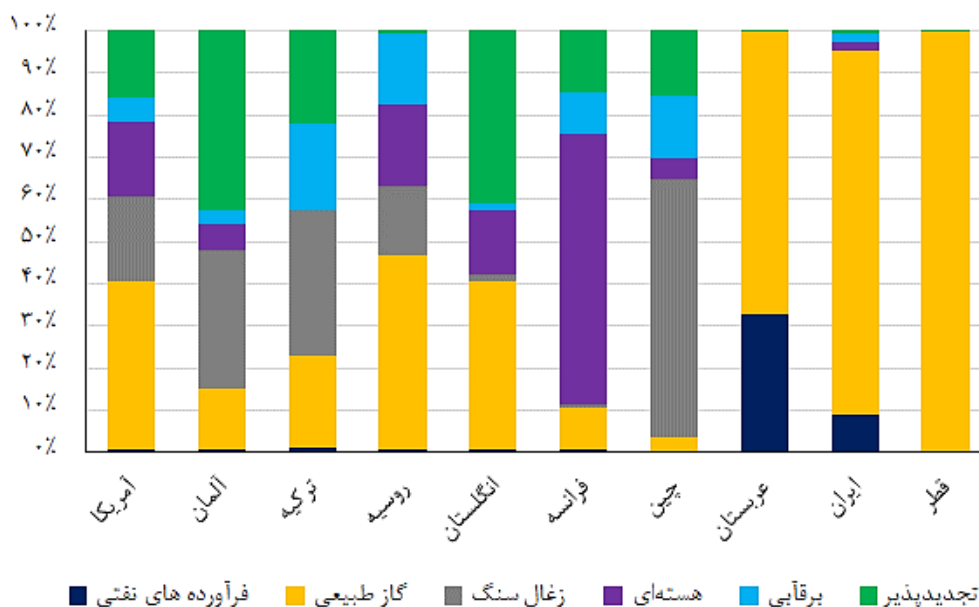


مأخذ: محاسبات تحقیق.



برای ارزیابی دلایل تفاوت در شاخص‌های تنوع در سبد تولید برق کشورهای منتخب، باید سبد تولید برق این کشورها مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۱۶). در تمامی کشورهای منتخب به جز ایران، عربستان سعودی و قطر، تنوع و توازن نسبی در سبد تولید برق قابل مشاهده است. هر چند در سبد تولید برق ایران، منابع انرژی اولیه برقایی و هسته‌ای نسبت به عربستان نقش بیشتری دارد، اما مجموع سهم هر سه منبع فوق‌الذکر در تولید برق کشور در سال ۱۴۰۱ در حدود ۴ درصد بوده که بسیار کم است و تأثیر محسوسی در بهبود وضعیت شاخص‌ها نداشته و در عمل نیز در صورت هرگونه اختلال در منابع انرژی اولیه اصلی تولید برق در ایران (گاز طبیعی)، تأمین برق با چالش‌هایی مواجه خواهد شد. از این رو، حتی با تنوع بالاتر ایران از نظر تعداد منابع انرژی اولیه با توجه به نامتوازن بودن توزیع سهم این منابع و تمرکز عمده بر یک منبع انرژی، وضعیت عربستان در تنوع از منظر شاخص‌های امنیت انرژی اندکی بهتر از وضعیت ایران است. سبد تولید برق آمریکا، به‌عنوان بهترین کشور از منظر تنوع، بر چهار منبع انرژی گاز طبیعی (حدود ۴۰ درصد)، زغال سنگ (حدود ۲۰ درصد)، انرژی هسته‌ای (حدود ۱۸ درصد) و انرژی‌های تجدیدپذیر (حدود ۱۵ درصد) وابسته بوده و سهم سایر منابع انرژی کمتر از ۷ درصد است. در مورد کشور قطر، به‌عنوان بدترین کشور از منظر تنوع، نیز به‌دلیل تمرکز بسیار زیاد بر گاز طبیعی برای تولید برق (بیش از ۹۹ درصد) شاخص تنوع سبد تولید برق در وضعیت بسیار نامناسبی قرار دارد.

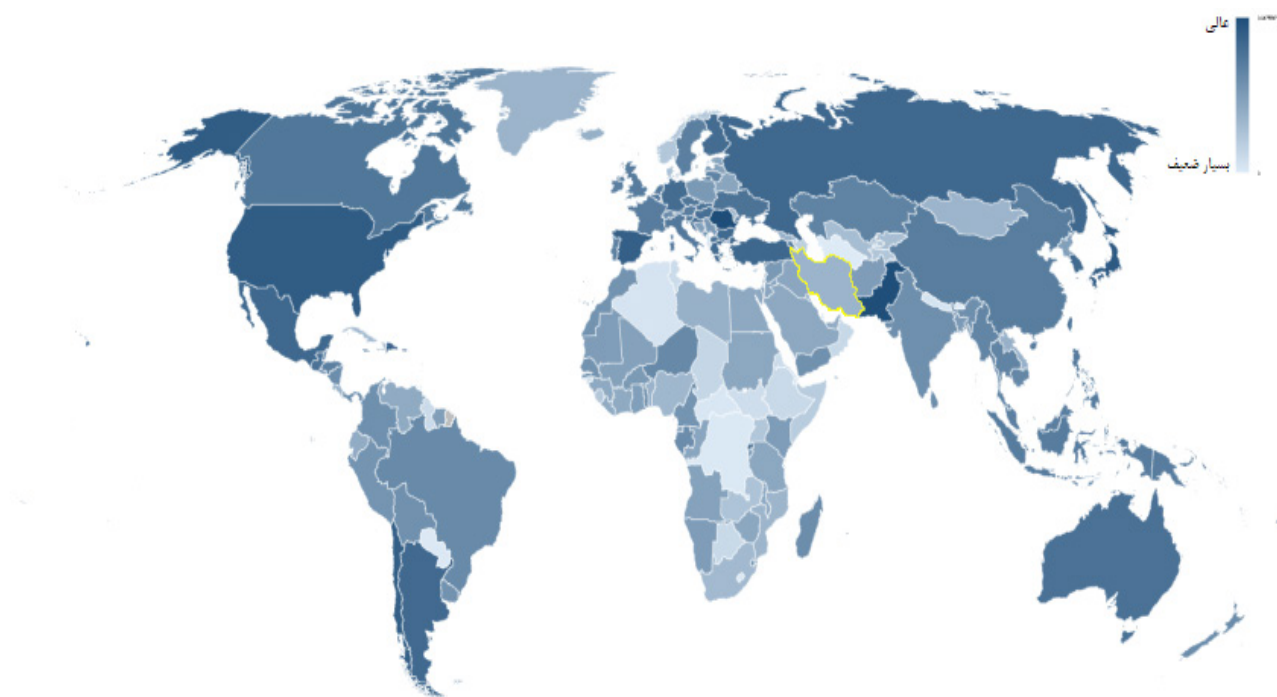
شکل ۱۶. نمودار سبد تولید برق کشورهای منتخب در سال ۱۴۰۱



Source: Retrieved from Energy Institute "Statistical Review of World Energy Data", 2023.

با بررسی وضعیت تنوع سبد تولید برق در بیش از ۲۰۰ کشور جهان و محاسبه شاخص برابری شانون-وینر، نتایج به‌صورت نقشه شکل ۱۷ قابل ارائه است. همان‌طور که قابل مشاهده است، کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی، از منظر تنوع سبد تولید برق از وضعیت مطلوبی برخوردارند و کشورهای آفریقایی بدترین وضعیت را در این زمینه دارند. در مقایسه با سایر کشورها، ایران نیز در این زمینه وضعیت مطلوبی ندارد و ایران از نظر میزان تنوع سبد تولید برق در رتبه ۱۳۱ جهان قرار دارد.

شکل ۱۷. وضعیت شاخص تنوع سبب تولید برق کشورهای جهان در سال ۱۴۰۱



مأخذ: محاسبات تحقیق.

۶. جمع‌بندی و پیشنهادها

یکی از مهم‌ترین چالش‌های بخش انرژی کشور، وابستگی بیش از اندازه تولید برق کشور به گاز طبیعی است که امنیت تأمین برق کشور را با مخاطراتی مواجه می‌کند. این مسئله لزوم تنوع‌بخشی به سبب تولید برق کشور را نشان می‌دهد. نتایج محاسبه شاخص کمی در ارزیابی تأثیر تنوع بر امنیت تولید برق در کشور، مؤید تنوع پایین در سبب سوخت تولید برق کشور است. به طوری که روند کلی در چند دهه گذشته نزولی بوده و در سال‌های اخیر نیز از محدوده قابل قبول به محدوده ضعیف سقوط کرده است. در مقایسه با سایر کشورهای جهان، ایران در زمینه تنوع سبب تولید برق وضعیت مطلوبی ندارد و از این نظر، در رتبه ۱۳۱ جهان قرار دارد. طبق بررسی‌های انجام شده، به رغم تولید بخشی از برق کشور از طریق نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای، بخش عمده برق کشور به وسیله نیروگاه‌های حرارتی (وابسته به گاز طبیعی) تولید می‌شود و این مسئله دلیل اصلی تنوع اندک سبب تولید برق در ایران است. اگرچه گاز طبیعی از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی گزینه جذاب‌تری به نسبت زغال سنگ یا سوخت‌های مایع برای تولید برق به شمار می‌رود، اما تکیه بر یک منبع انرژی، امنیت تأمین برق کشور را به خطر انداخته و از این منظر با اشکالاتی همراه است. البته باید این نکته را مدنظر قرار داد که برای تعیین سبب بهینه تولید برق، صرفاً شاخص تنوع تعیین‌کننده نیست. بلکه موارد دیگری همچون ظرفیت‌ها و مزیت‌های راهبردی هر کشور، باید در تعیین سبب بهینه تولید برق مورد توجه قرار گیرند. بنابراین به دلیل ذخایر بالای نفت و گاز در کشور، استفاده از این منابع برای تولید برق جایگاه غیرقابل چشم‌پوشی خواهد داشت. اما در عین حال به جهت افزایش امنیت تأمین برق کشور، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. مجموع پتانسیل توان انرژی تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی و بادی در کشور معادل ۱۲۰ هزار مگاوات برآورد می‌شود. اما هم‌اکنون تنها در حدود نیم درصد برق تولیدی کشور از نیروگاه‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود. لذا یکی از گزینه‌های اصلی برای تنوع‌بخشی به سبب تولید برق کشور، توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر، به خصوص بادی و خورشیدی است [۶].
۲. حدود ۳۵ درصد از برق تولیدی جهان از زغال سنگ است. با توجه به وجود منابع زغال سنگ در کشور، می‌توان به منظور تنوع‌بخشی به سبب تولید برق به ساخت نیروگاه‌های زغال سنگ‌سوز نیز توجه داشت. گفتنی است تاکنون از نیروگاه‌های زغال سنگ‌سوز برای تولید برق



در کشور استفاده نشده است.

۳. سهم تولید برق جهان از انرژی هسته‌ای در حدود ۱۰ درصد و در ایران حدود ۲ درصد است. در حال حاضر واحد اول نیروگاه اتمی بوشهر به‌عنوان تنها نیروگاه هسته‌ای کشور در حال فعالیت است و واحدهای دوم و سوم نیروگاه اتمی بوشهر در حال ساخت هستند. بنابراین گزینه دیگر برای افزایش تنوع سبد تولید برق، افزایش ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای از طریق تکمیل واحدهای جدید نیروگاه اتمی بوشهر است.

۴. مهم‌ترین چالش در تنوع‌بخشی به سبد تولید برق کشور، تأمین منابع مالی لازم برای توسعه نیروگاه‌های بدون مصرف سوخت گاز و فراورده‌های نفتی است. با توجه به تخصیص سوخت بسیار ارزان به نیروگاه‌های با سوخت گاز و فراورده‌های نفتی، برای اقتصادی شدن فعالیت سایر نیروگاه‌ها پیشنهاد می‌شود جهت تسریع و تأمین مالی پروژه‌های مصوب شورای اقتصاد^۱ مبتنی بر ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر، از ظرفیت حساب بهینه‌سازی مصرف انرژی موضوع ماده (۴۶) قانون برنامه هفتم پیشرفت استفاده شود. با استفاده از منابع حساب، تضمین در تسویه گواهی‌های سوخت صرفه‌جویی یا مصرف نشده بابت احداث نیروگاه تجدیدپذیر، هسته‌ای و زغال‌سنگ‌سوز امکان‌پذیر خواهد بود. مشوق دیگری که می‌توان برای توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر مورد توجه قرار داد، ارائه مجوز صادرات برق به نیروگاه‌های تجدیدپذیر بخش خصوصی بوده که این مسئله هم در جزء «۴» بند «د» ماده (۴۸) برنامه هفتم پیشرفت تکلیف شده است.

۵. راهکار دیگری که در زمینه متنوع کردن سبد تولید برق کشور ضروری است، اجرای ماده (۱۰) قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق مبنی بر حذف تدریجی قیمت‌گذاری انرژی در طول زنجیره تولید، انتقال و توزیع برق و انتقال تمام یارانه‌ها به انتهای زنجیره می‌باشد. گفتنی است، که برنامه اجرایی این حکم در تاریخ ۱۴۰۳/۰۲/۰۹ به تصویب هیئت وزیران رسیده، اما تاکنون اجرایی نشده است. اجرای این قانون تأثیر بسزایی در بهبود اقتصاد صنعت برق و افزایش رقابت‌پذیری در بخش نیروگاهی دارد.

۶. به‌طور کلی، تهیه و تدوین نقشه راهی به‌منظور مشخص کردن سهم بهینه هر یک از منابع انرژی (گاز طبیعی، فراورده‌های نفتی، زغال‌سنگ، تجدیدپذیر و هسته‌ای) در بخش تولید برق کشور با در نظر گرفتن ملاحظات خاص کشور (از جمله مزیت‌های راهبردی کشور در هر بخش) به‌منظور تنوع‌بخشی به سبد تولید برق کشور و پیش‌بینی الزامات مربوطه، همچون نحوه تأمین منابع مالی، لازم و ضروری است.

منابع و مآخذ

- [۱] وزارت نیرو، گزارش ماهانه آمار صنعت آب و برق، فروردین ۱۴۰۰ تا فروردین ۱۴۰۳.
- [۲] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، بررسی وضعیت تأمین برق در تابستان سال ۱۴۰۳.
- [۳] شرکت مادر تخصصی توانیر، آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی، سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲.
- [4] Energy Institute “ Statistical Review of World Energy Data”, 2023.
- [5] Energy Information Administration, “Country Analysis Executive Summary: Iran”, 2022.
- [۶] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، مسائل راهبردی بخش انرژی در برنامه هفتم توسعه (۷): توسعه انرژی تجدیدپذیر، ۱۴۰۲.
- [7] Strojny, J.; Krakowiak-Bal, A.; Knaga, J.; Kacorzyc, P. Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies* 2023, 16, 5042. <https://doi.org/10.3390/en16135042>.
- [۸] شرکت مادر تخصصی توانیر، ۵۶ سال صنعت برق ایران در آیین آمار، ۱۴۰۲.

گزیده سیاستی

محاسبه شاخص تنوع سبد تولید برق برای ایران حاکی از آن است که روند کلی شاخص تنوع سبد تولید برق در چند دهه اخیر نزولی بوده و در چند سال گذشته نیز از محدوده قابل قبول به محدوده ضعیف سقوط کرده است.



مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاسداران، روبروی پارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۵۸۵۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وبسایت: rc@majles.ir