

ORIGINAL ARTICLE

Optimal Electricity Generation Planning in Iran Aimed at Achieving the Objectives of the Seventh Development Plan and the Knowledge-Based Production Leap Act

Mohammad Sayadi¹ , Hossein Hafezi², Mohammad Jafari³ and Habib Soheyl Ahmadi⁴

1. Associate Professor of Economics, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran.

2. PhD Student of Natural Resource Economics, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran.

3. Associate Professor of Economics, Faculty of Economics, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran.

4. Assistant Professor of Economics, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Correspondence:

Mohammad Sayadi

Email: m.sayadi@khu.ac.ir

Received: 28 Aug 2025

Revised: 22 Oct 2025

Accepted: 27 Nov 2025

How to cite:

Khodadadpour, M. (2025). Legal Nature of Investment in Special Tourism Zones Regarding Their Feasibility of Public-Private Partnership Contract Implementation, Industrial Economics Researches, 9 (32), 88-114.

(DOI: [10.30473/jier.2026.75617.1511](https://doi.org/10.30473/jier.2026.75617.1511))

ABSTRACT

In recent years, Iran has faced multiple challenges in the electricity sector, including insufficient expansion of the transmission and distribution network, a very limited share of renewable technologies, high subsidies allocated to fossil fuels, and the rapid growth of electricity demand. The Seventh Five-Year Development Plan of Iran and the Knowledge-Based Production Leap Act, as the most important upstream policy and legislative frameworks for the country's energy sector, place a strong emphasis on expanding renewable and nuclear power generation capacities by 2028. The present study aims to examine the feasibility of achieving the objectives set forth in these policy frameworks by applying the MESSAGE model for electricity generation planning in Iran. The findings indicate that if the targets of the Plan and the Act are realized, the total installed capacity by the final year of the study will reach 112,050 MW, of which more than 19,000 MW will come from renewable technologies. In other words, the share of renewables in the country's electricity supply mix will increase from 0.5% in the base year to more than 17% by the end of the study period. Moreover, the results concerning Iran's optimal electricity generation mix within the time horizon of the Seventh Development Plan reveal that total electricity generation in 2024, 2026, and 2028 will amount to 495 TWh, 498 TWh, and 543 TWh, respectively, with renewables contributing around 18% to the supply mix. Additional findings demonstrate that the share of fossil-based technologies will decline from 89% in 2024 to approximately 76% in 2028. The study also shows that fossil fuel consumption in Iran's power sector will amount to 3,744 PJ, 3,441 PJ, and 3,472 PJ in 2024, 2026, and 2028, respectively. Correspondingly, carbon emissions will follow a similar trend, standing at 210, 193, and 195 grams of carbon per petajoule of fossil fuel consumption over the same period.

KEY WORDS: MESSAGE model; Renewable energy; Electricity generation; Seventh Development Plan; Knowledge-Based Production Leap Act

JEL Classification: C61; Q41; Q42; Q48; L52



«مقاله پژوهشی»

برنامه‌ریزی تولید بهینه برق در ایران با هدف دستیابی به اهداف سند برنامه هفتم توسعه و قانون جهش تولید دانش‌بنیان

محمد صیادی^۱، حسین حافظی^۲، محمد جعفری^۳، حبیب سهیل احمدی^۴

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی امکان تحقق اهداف این سند برنامه و همچنین قانون جهش تولید دانش‌بنیان به برنامه‌ریزی بخش نیروگاهی کشور با استفاده از مدل MESSAGE پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که با تحقق اهداف سند و قانون جهش تولید، کل ظرفیت نصب شده در سال انتهایی مطالعه، معادل ۱۱۲،۰۵۰ مگاوات می‌باشد که از این میزان سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر بیش از ۱۹ هزار مگاوات است. به عبارتی سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد عرضه برق کشور از ۰/۵ درصد در سال پایه به بیش از ۱۷ درصد در سال پایانی می‌رسد. یافته‌های حاصل از مدل پیرامون سبد بهینه تولید برق ایران در افق سند برنامه هفتم توسعه نشان می‌دهد کل تولید برق ایران در بازه زمانی ۲۰۲۴، ۲۰۲۶ و ۲۰۲۸ به ترتیب معادل ۴۹۵ تراوات ساعت، ۴۹۸ تراوات ساعت و ۵۴۳ تراوات ساعت خواهد بود؛ که از این میزان سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد عرضه برق کشور ۱۸ درصد می‌باشد. دیگر یافته‌های حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که سهم تکنولوژی‌های فسیلی از ۸۹ درصد در سال ۲۰۲۴، به حدود ۷۶ درصد در سال ۲۰۲۸ رسیده است. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش نیروگاهی ایران به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۴، ۲۰۲۶ و ۲۰۲۸ معادل ۳،۷۴۴ پتا ژول، ۳،۴۴۱ و ۳،۴۷۲ پتا ژول می‌باشد. از طرفی مطابق همین روند مصرف انتشار کربن نیز در بازه زمانی مذکور به ترتیب معادل ۲۱۰، ۱۹۳ و ۱۹۵ گرم کربن به ازای یک پتا ژول مصرف سوخت فسیلی است. بنابراین، تحقق اهداف سند برنامه هفتم توسعه مستلزم تدوین سیاست‌های یکپارچه در حوزه تنوع‌بخشی به سبد انرژی، ارتقای بهره‌وری و حمایت مؤثر از فناوری‌های دانش‌بنیان در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر منطبق بر قانون جهش تولید است.

واژه‌های کلیدی

مدل MESSAGE، انرژی تجدیدپذیر، تولید برق، برنامه هفتم توسعه، قانون جهش تولید دانش‌بنیان

JEL Classification: C61; Q41; Q42; Q48; L52

۱. دانشیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۲. دانشجوی دکتری اقتصاد منابع طبیعی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳. دانشیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد، پژوهشگاه اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران.
۴. استادیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: محمد صیادی

رایانامه: m.sayadi@khu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶

استناد به این مقاله: صیادی، محمد، حافظی، حسین، جعفری، محمد و سهیل احمدی، حبیب (۱۴۰۴)، برنامه‌ریزی تولید بهینه برق در ایران با هدف دستیابی به اهداف سند برنامه هفتم توسعه و قانون جهش تولید دانش‌بنیان، فصلنامه پژوهش‌های اقتصاد صنعتی، ۹(۳۲)، ۸۸-۱۱۴

DOI: 10.30473/jier.2026.75617.1511





متناب مانند انرژی باد و خورشید وجود دارد (IEA، ۲۰۲۱؛ و حافظی و ممی پور (۱۴۰۱)).

انتظار می‌رود، مصرف برق به دلیل افزایش استفاده از برق در مصرف‌کنندگان نهایی و تغییر در نحوه تولید برق افزایش یابد (AEMO، ۲۰۲۳). هرچند استفاده از این منابع در شبکه برق به دلیل رفتار متناب آن‌ها، ممکن است عملکرد عادی شبکه را دچار اختلال کند (لوند^۶، ۲۰۰۷)، اما ترویج تولید و مصرف انرژی تجدیدپذیر در درجه اول برای کاهش تغییرات آب و هوایی بسیار مهم است (آکادیری و آدبایو^۵، ۲۰۲۲؛ هی^۶ و همکاران، ۲۰۲۲؛ حبیب و همکاران^۷، ۲۰۲۲). با این حال، ابعاد زیست‌محیطی تنها عامل ضروری در انتقال از انرژی غیر تجدیدپذیر به انرژی تجدیدپذیر نیست. پیامدهای ژئوپلیتیک نیز می‌تواند بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر بگذارد. پیامدهای ژئوپلیتیکی فعلی، مانند جنگ اوکراین که منجر به بحران انرژی در اتحادیه اروپا شد، اهمیت تولید و مصرف انرژی تجدیدپذیر را برجسته می‌کند (کوزمکو^۸ و همکاران، ۲۰۲۲؛ ذاکری^۹ و همکاران، ۲۰۲۲)؛ بنابراین، تجزیه و تحلیل این دو جنبه از نظر تولید و مصرف انرژی تجدیدپذیر بسیار مهم است.

از طرف دیگر تکنولوژی‌های تولید برق مبتنی بر سوخت‌های غیر فسیلی نیز اهمیت ویژه‌ای دارند. به طوری که برق هسته‌ای چه از لحاظ قیمت، چه از لحاظ نوسان و عدم اطمینان و همچنین از نظر میزان انتشار کربن اهمیت بالایی دارد. از جنبه امنیت انرژی و همچنین امنیت ملی نیز داشتن علم تولید برق هسته‌ای برای کشور امنیت به بار می‌آورد همان‌طور که جمهوری اسلامی ایران طی سالیان اخیر بدان پرداخته است.

افزون بر این، بررسی وضعیت صنعت برق در ایران طی ۵ سال اخیر نشان می‌دهد صنعت مذکور دچار دو مشکل عمده شده است. الف) رشد تقاضای بسیار بالاتر از میانگین جهانی و مسائل مربوط به بهره‌وری، مدیریت مصرف و سواد انرژی و ب) مشکل تولید برق که شامل مسئله

۱. مقدمه

روند افزایش مصرف و تولید برق و سهم بالای تکنولوژی‌های مبتنی بر مصرف سوخت‌های فسیلی منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و در نهایت به عنوان یکی از مهم‌ترین علل گرمایش زمین محسوب می‌گردد (ابوالقاسمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ محنت‌فر و حسین‌نیا چافجیری، ۱۴۰۳). نگرانی کشورهای توسعه‌یافته صنعتی در مورد تغییرات آب و هوایی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین نیاز کشورها به مصرف سوخت‌های فسیلی به منظور تأمین انرژی مورد نیاز خود در کنار به مخاطره افتادن سلامت انسان‌ها، زمینه‌ساز اجماع کشورهای جهانی جهت تصویب توافق‌نامه اقلیمی پاریس ۲۰۱۵ شد (وومیک و همکاران^۱، ۲۰۲۳). انتقال به سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر برای رسیدگی به اهداف آب و هوایی بسیار مهم است، اما همچنین مشکلات جدیدی را ایجاد می‌کند. علاوه بر این، تغییرات جدید در زندگی مدرن منجر به نیاز اساسی به منابع انرژی قابل اعتماد شده است (آشنا و حسن‌آبادی، ۱۳۹۹). در میان انواع انرژی موجود، برق به‌طور عمیق در جنبه‌های مختلف زندگی مدرن ریشه دارد، جایی که جامعه آن را به‌عنوان یک حق غیرقابل انکار می‌داند (نورالهی و همکاران، ۱۴۰۳؛ منجذب و همکاران، ۱۴۰۴). در نتیجه، قابلیت اطمینان آن اخیراً توجه زیادی را جلب کرده است (کومار^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). در طول چند دهه گذشته، به دلیل گرم شدن کره زمین، منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای منابع انرژی الکتریکی سنتی ظاهر شده‌اند (جنگ‌آور و همکاران، ۱۳۹۸؛ نل و کوپر^۳، ۲۰۰۹). به طور خاص، برای دستیابی به اهداف توافق‌نامه پاریس که به دنبال مقابله با افزایش دمای متوسط جهانی به پایین‌تر از ۲ درجه سانتی‌گراد و به طور ایده‌آل پایین‌تر از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد از سطوح پیش از صنعتی است، نیاز به تغییر به سمت منابع انرژی

⁶ He

⁷ Habiba

⁸ Kuzemko

⁹ Zakeri

¹ Voumik

² Kumar

³ Nel & Cooper.

⁴ Lund

⁵ Akadiri & Adebayo

قرار گرفته است. دوم، پژوهش حاضر با تمرکز بر دوره زمانی کوتاه‌مدت و منطبق بر افق سیاستی ۱۴۰۷، به تحلیل پویایی گذار از ترکیب فسیلی به تجدیدپذیر در چارچوب محدودیت‌های واقعی سرمایه‌گذاری، تأمین سوخت و هزینه‌های اجتماعی می‌پردازد و بدین ترتیب، شکاف میان اهداف برنامه‌ای و ظرفیت اجرایی را به صورت کمی نمایان می‌سازد. سوم، این مطالعه ضمن ترکیب داده‌های رسمی ملی با داده‌های بین‌المللی (IEA, IRENA, Our World in Data)، در دسته‌اندک مطالعاتی قرار دارد که سناریوهای هم‌زمان تحقق اهداف تجدیدپذیر و هسته‌ای را در سطح نیروگاهی ایران شبیه‌سازی کرده و آثار آن بر مصرف سوخت‌های فسیلی، انتشار کربن و در رفع ناترازی برق را تحلیل می‌کند. بدین ترتیب، پژوهش حاضر می‌تواند به عنوان یک چارچوب تجربی و سیاست‌محور برای سنجش فاصله میان سیاست‌های مصوب و توان فنی-صادی تحقق آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

سازمان‌دهی این تحقیق بدین صورت است که پس از مقدمه، در بخش دوم برنامه‌ریزی انرژی در ایران شامل توضیح مسئله و اهداف از دیدگاه برنامه هفتم توسعه ایراد خواهد شد. در بخش سوم مطالعات تجربی داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحت عنوان پدیده شیشه‌ای گزارش می‌شود. در بخش چهارم و پنجم به ترتیب به معرفی روش تحقیق و داده‌ها اختصاص یافته است. بخش ششم به تجزیه و تحلیل یافته‌ها اختصاص یافته و در آخرین بخش به جمع‌بندی یافته‌ها پرداخته خواهد شد.

۲. برنامه‌ریزی انرژی در ایران

بر اساس پایگاه داده‌ای جهان ما در داده‌ها^{۱۱} در سال ۲۰۲۳ و مطابق نمودار ۱، کل عرضه برق ایران در سال ۲۰۲۳ معادل ۳۶۳ تراوات ساعت بوده است که به ترتیب ۳۱۴ تراوات ساعت از نیروگاه‌های گازی، ۲۵ تراوات ساعت از نیروگاه‌های مبتنی بر فرآورده‌های نفتی، ۱۴ تراوات ساعت از نیروگاه‌های برق‌آبی، ۱/۲۵ تراوات ساعت از نیروگاه

افزایش ظرفیت نیروگاهی، تأمین سوخت نیروگاه‌های مبتنی بر سوخت فسیلی، سهم تقریباً صفر درصدی تجدیدپذیرها در سبد عرضه برق کشور. البته نباید فراموش کرد نتیجه چنین رشد تصاعدی در کنار سهم ناچیز تکنولوژی‌های غیر فسیلی (تجدیدپذیر، برق آبی و هسته‌ای) باعث شده ایران از لحاظ میزان انتشار کربن در رتبه هفتم و بالاتر از کشورهای صنعتی مانند آلمان و فرانسه قرار گیرد (اطلس جهانی کربن^{۱۰}، ۲۰۲۳).

بر اساس گزارش اطلس جهانی کربن در سال ۲۰۲۳، میزان انتشار کربن ایران معادل ۶۹۱ میلیون تن کربن دی اکسید بوده که باعث شده ایران در رتبه ششم میان کشورهای با بیشترین میزان انتشار کربن قرار بگیرد.

جدول ۱. میزان انتشار کربن ده کشور نخست جهان در سال

۲۰۲۳

رتبه	کشور	میلیون تن دی‌اکسید کربن
۱	چین	۱۱۳۹۷
۲	ایالات متحده آمریکا	۵۰۵۷
۳	هند	۲۸۳۰
۴	روسیه	۱۶۵۲
۵	ژاپن	۱۰۵۴
۶	اندونزی	۷۲۹
۷	ایران	۶۹۱
۸	آلمان	۶۶۶
۹	عربستان	۶۶۳
۱۰	کره جنوبی	۶۰۱

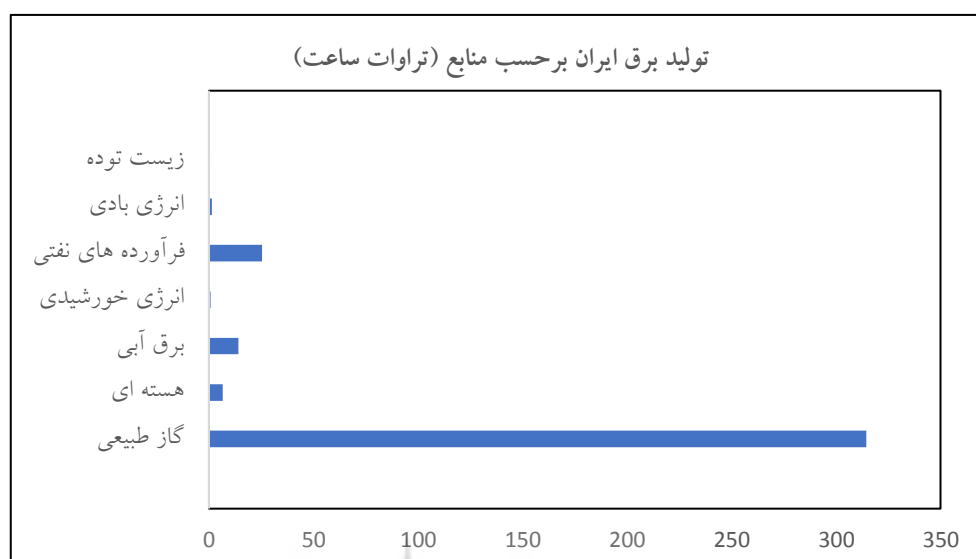
(منبع: اطلس جهانی کربن، ۲۰۲۳).

بنابراین مطالعه حاضر بر اساس سند برنامه هفتم توسعه کشور اقدام به برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت انرژی در بخش برق با هدف افزایش ظرفیت نیروگاه هسته‌ای و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر نموده است. نوآوری این پژوهش در سه بُعد قابل تبیین است. نخست، این تحقیق از مدل بهینه‌سازی MESSAGE نه صرفاً برای برآورد فنی ظرفیت نیروگاهی، بلکه به منظور ارزیابی تحقق‌پذیری اهداف اسناد بالادستی کشور شامل برنامه هفتم توسعه و قانون جهش تولید دانش بنیان بهره گرفته است. این موضوع پیش‌تر در ادبیات انرژی ایران کمتر مورد توجه

¹¹ Our world in data

¹⁰ Global Atlas Carbon

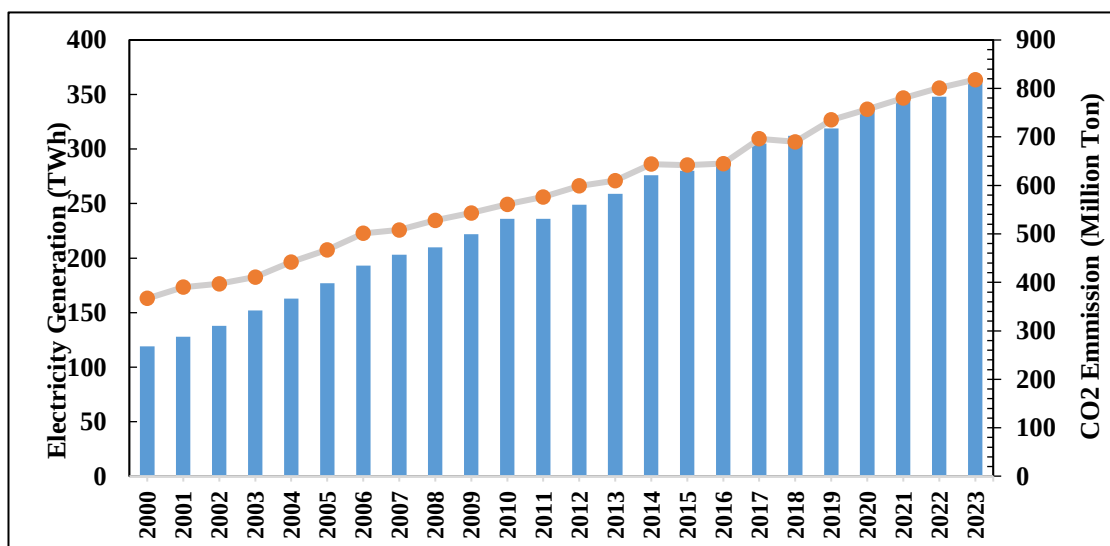
بادی و حدود ۱ تراوات ساعت از نیروگاه خورشیدی استحصال شده است.



نمودار ۱. کل تولید برق ایران برحسب منابع در سال ۲۰۲۳
(منبع: پایگاه داده ای جهان ما در داده ها، ۲۰۲۳).

در سال ۱۴۰۲ کل ظرفیت اسمی نیروگاهی کشور معادل ۹۳۳۵۱ مگاوات بوده که از این میزان سهم انرژی های تجدیدپذیر حدوداً معادل ۱۰۳۶ مگاوات و سهم نیروگاه هسته ای بوشهر ۱۰۲۰ مگاوات بوده است. به طور کلی در سال ۱۴۰۲ مجموع تولید برق ایران معادل ۳۷۹ تراوات ساعت بوده که از این میزان سهم تکنولوژی های مبتنی بر سوخت های فسیلی حدود ۹۳ درصد و سهم نیروگاه های غیر فسیلی و واردات برق حدوداً ۷ درصد بوده است. از طرفی مطابق این گزارش تلفات شبکه انتقال و توزیع نیز معادل ۱۱/۶ درصد در نظر گرفته شده است.

همچنین می توان ادعا نمود که نتیجه چنین ترکیبی در بخش نیروگاهی کشور رشد فزاینده انتشار کربن می باشد. یافته های حاصل از گزارش داده های دنیای ما (۲۰۲۳) نشان می دهد کل تولید برق ایران از ۱۱۹ تراوات ساعت در سال ۲۰۰۰ به ۳۶۳ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۳ رسیده است. دیگر یافته های حاصل از این گزارش بیان می نماید که میزان انتشار کربن دی اکسید در همین بازه زمانی به ترتیب از ۳۶۷ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۸۱۸ میلیون تن در سال ۲۰۲۳ رسیده است.



نمودار ۲. تولید برق و انتشار کربن دی‌اکسید ایران از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۳

(منبع: داده‌های دنیای ما، ۲۰۲۳).

به نظر می‌رسد جهت مقابله با ناترازی برق کشور، تقویت امنیت انرژی، مقابله با پیامدهای تغییرات اقلیمی و همچنین ایجاد فرصت کسب درآمد از سوخت‌های فسیلی (صادرات به جای مصرف داخلی علی‌الخصوص گاز طبیعی)، کشور نیاز مبرم به افزایش تولید برق با افزایش سهم انرژی‌های غیر فسیلی علی‌الخصوص بادی، خورشیدی و هسته‌ای دارد (موسوی و شریفی، ۱۴۰۳).

توجه جدی و گسترده به برنامه‌ریزی انرژی در جهان را می‌توان به افزایش قیمت نفت در دهه ۱۹۷۰ میلادی نسبت داد. بحران نفتی و وابستگی زیاد کشورها به‌ویژه کشورهای توسعه‌یافته به سوخت‌های فسیلی نظیر نفت و

گاز طبیعی، توجه به سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی را دوچندان نمود. همچنین توجه به امنیت انرژی کشورها، شکل‌گیری بازارهای انرژی و تبادلات منطقه‌ای انرژی، متنوع‌سازی منابع انرژی به‌ویژه استفاده از منابع تجدیدپذیر و نو و چالش‌های جهانی ناشی از انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و گازهای گلخانه‌ای در جهان، متخصصین و سیاست‌گذاران حوزه انرژی را به این مهم واداشته است که با دقت و اهمیت بیشتر به مسئله برنامه‌ریزی انرژی بپردازند. با گذشت زمان و مطرح گردیدن مفاهیم مربوط به توسعه پایدار، برنامه‌ریزی انرژی در سطوح ملی و بین‌المللی، جایگاه و اهداف خود را در راستای توسعه پایدار یعنی ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و نهادی قرار داده است (منظور و ماجد، ۱۳۹۰؛ صفاری و همکاران، ۱۳۹۵).

طبق تعریف هوگ و هابس^۱ (۱۹۹۳)، برنامه‌ریزی انرژی یکپارچه منابع انرژی، فرایند یافتن ترکیب بهینه منابع عرضه و تعدیل مصرف در سمت تقاضا به منظور برآورده کردن نیازهای انرژی در سطح یک منطقه یا کشور است. در سال‌های اخیر، به دلایل زیست‌محیطی و آشکار شدن مضرات ناشی از سوخته‌های فسیلی و تأثیرات منفی آن‌ها بر روی چرخه‌های اکولوژیکی، انگیزه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و غیر آلاینده محیط‌زیست نظیر باد، خورشید و آب‌های جاری افزایش و از این رو در برنامه‌ریزی انرژی استفاده از منابع تجدیدپذیر اهمیت ویژه‌ای یافته است (دهقانی و همکاران، ۱۴۰۰). برنامه‌ریزی انرژی فرآیندی مستمر و سیستماتیک به منظور برقراری تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی در یک چارچوب سیاستی مشخص و دستیابی به مجموعه‌ای از راه‌حل‌های مناسب برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در آینده است. استمرار

¹ Hoog & Hobbs

تلفات و توسعه انرژی های تجدیدپذیر طی برنامه های هفت گانه توسعه حکایت دارد.

جدول ۲. محورهای اصلی برنامه های توسعه در صنعت برق

برنامه توسعه	دوره زمانی	محور اصلی برنامه ریزی در صنعت برق
اول	۱۳۶۸-۱۳۷۲	بازسازی زیرساخت های آسیب دیده از جنگ؛ افزایش ظرفیت تولید و توسعه شبکه انتقال
دوم	۱۳۷۴-۱۳۷۸	توسعه کمی ظرفیت تولید؛ کاهش تلفات شبکه؛ توسعه شبکه های انتقال و توزیع
سوم	۱۳۷۹-۱۳۸۳	شروع خصوصی سازی؛ تفکیک ساختاری (تولید، انتقال، توزیع)؛ جذب سرمایه بخش غیردولتی
چهارم	۱۳۸۴-۱۳۸۸	افزایش رانندگی تولید؛ توسعه نیروگاه های سیکل ترکیبی؛ کاهش شدت مصرف انرژی
پنجم	۱۳۹۰-۱۳۹۴	توسعه انرژی های تجدیدپذیر؛ بهبود بهره وری انرژی؛ توسعه بازار برق
ششم	۱۳۹۶-۱۴۰۰	کاهش تلفات شبکه؛ هوشمندسازی شبکه؛ تولید پراکنده؛ تقویت صادرات برق
هفتم	۱۴۰۱-۱۴۰۵	تاب آوری شبکه برق؛ ارتقاء بهره وری و دیجیتالی سازی؛ توسعه انرژی های پاک؛ کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی؛ اصلاح نظام قیمت گذاری

منبع: یافته های تحقیق

همچنین مطابق ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش بنیان در راستای توسعه صنایع دانش بنیان مرتبط با انرژی های تجدیدپذیر و توسعه بازار برای این صنایع و تولید برق پاک در محل مصرف، صنایع با قدرت مصرف بیشتر از یک مگاوات موظفند معادل یک درصد (۱٪) از برق مورد نیاز سالانه خود را از طریق احداث نیروگاه های تجدیدپذیر تأمین نمایند و این میزان در پایان سال پنجم حداقل به پنج درصد (۵٪) برسد (مرکز پژوهش های مجلس، ۱۴۰۱). آنچه در این مطالعه پیرامون برنامه هفتم توسعه ایران مدنظر و مورد بررسی قرار می گیرد، اهداف و برنامه های مشخص شده در بخش انرژی و به طور مشخص بخش تولید برق می باشد. مطابق برنامه هفتم توسعه و به شرح جدول ذیل، اهداف زیر برای صنعت برق کشور تعیین گردیده است. همچنین لازم به ذکر است مطالعه حاضر در تلاش است سهم صنایع را در پایان برنامه پنج ساله از صفر درصد در سال پایه، به یک درصد در سال اول و حداقل ۵ درصد در سال انتهایی برساند.

فرآیند برنامه ریزی انرژی به خصوص در سطح ملی، لزوم وجود نهادی حرفه ای و متمرکز را برای امر برنامه ریزی انرژی در کشور ضروری می سازد که علاوه بر داشتن قابلیت های تخصصی در مدل سازی و برنامه ریزی انرژی و امکان بهره گیری از شبکه های متخصصین، امکان مشارکت و هماهنگی تمام ذینفعان و سیاست گذاران را در فرآیند برنامه ریزی فراهم سازد تا علاوه بر صحت و کیفیت نتایج، برنامه تدوین شده ضمانت اجرایی داشته باشد و در هماهنگی کامل با نهادهای ذینفع در کشور اجرا شود. همچنین بتواند نقش سیاست پژوهی و مشاوره به سیاست گذاران در خصوص مسائل انرژی را ایفا کند و در زمینه مدیریت دانش و انتشار و اشاعه برنامه ریزی انرژی در کشور فعال باشد.

در کشور، نیز قوانین و اسناد بالادستی مانند سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف، قانون جهش تولید دانش بنیان، سند ملی راهبرد انرژی کشور تا افق ۱۴۱۴، سند چشم انداز وزارت نیرو ۱۴۰۴ و برنامه های مختلف توسعه به صورت مستقیم به لزوم برنامه ریزی و سیاست گذاری متمرکز و هماهنگ دولت در بحث انرژی و تدوین و استقرار طرح و برنامه های جامع انرژی کشور پرداخته است. این اسناد و قوانین به همراه سایر قوانین و اسناد بالادستی مانند چشم انداز صنعت نفت و گاز ایران در افق ۱۴۱۴، سیاست های کلی نظام در بخش انرژی، سیاست های کلی اقتصاد مقاومتی و ... بر بهینه سازی عرضه و مصرف انرژی و کاهش شدت انرژی، ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور، رعایت مسائل زیست محیطی، تلاش برای افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر و توسعه تبادلات انرژی با کشورهای منطقه و تقویت نقش ژئوپلیتیک کشور اشاره دارند که تحقق آن مستلزم برنامه ریزی یکپارچه انرژی در کشور با رویکرد توسعه پایدار می باشد. همچنین بر لزوم هماهنگی در تدوین برنامه ها و تصمیمات در سطح وزارت نیرو و نفت و در هماهنگی با شورای عالی انرژی تأکید شده است (مرکز مطالعات سیاست گذاری و برنامه ریزی انرژی (۱۳۹۵)). در جدول ۲ به طور خلاصه، محورهای اصلی برنامه های توسعه کشور در صنعت برق قابل مشاهده است. روند کلی محورها نیز از بازسازی شبکه، افزایش کمی ظرفیت تولید، خصوصی سازی، افزایش رانندگی، کاهش

دیگری به دنبال بهینه سازی انتقال از مرجع فعلی به یک سال هدف (مدت طولانی) است (فرناندز^۱ و همکاران، ۲۰۲۵).

قنبرزاده و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازها علاوه بر رفع عدم قطعیت‌ها و کاهش هزینه‌های بهینه‌سازی و بهره‌وری، می‌توانند قابلیت اطمینان سیستم قدرت را افزایش داده و بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم آنان در شبکه تولید برق تأکید دارند. برخی دیگر از مطالعات بهینه‌سازی برای یک استراتژی تأمین برق درازمدت با انرژی تجدیدپذیر برای امنیت برق و پایداری مالی و زیست‌محیطی را یک ضرورت معرفی می‌کنند (خان^۲ و همکاران، ۲۰۲۵؛ نور^۳ و همکاران، ۲۰۲۴). به عنوان مثال کازته^۴ و همکاران (۲۰۲۳) با هدف یافتن تعادل بین تقاضای برق و سناریوهای عرضه برق پایدار و بهینه منطقه تاوسا با کمترین هزینه برای توسعه شمال در مالی با استفاده از مدل MESSAGE برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ به ارزیابی مطالعه خود پرداختند. این مطالعه در پی به دست آوردن کمترین هزینه برق و عرضه برق تحت تقاضای برق پیش‌بینی شده توسط سناریوی مرجع (RS) و دو سناریوی جایگزین (سناریوی پایین، LS؛ سناریوی بالا، HS)، می‌باشد. نتیجه به دست آمده از بهینه‌سازی استراتژی مدیریت انرژی نشان می‌دهد که تولید نهایی برق ۱/۰۲ برابر بیشتر از تقاضای برق است و افزایش سالانه تولید برق معادل ۱۳/۸٪، ۳۳/۱۰٪ و ۵۶/۱۲٪ در سناریوهای مختلف است. همچنین مدل بیان می‌کند تکنولوژی برق‌آبی در فصل گرما به عنوان منتخب مدل و توسعه تجدیدپذیرها علی‌الخصوص خورشیدی در اولویت می‌باشد. همچنین هدف مطالعه فرناندز و همکاران (۲۰۲۵) نیز مدل سازی و تجزیه و تحلیل انتقال انرژی‌های تجدیدپذیر مالی تا سال ۲۰۵۰ با رویکردهای ثابت و بلند مدت است. پلتفرم تجزیه و تحلیل انتشار کم (LEAP) برای توسعه پنج مدل سیستم ملی انرژی مالی از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰

جدول ۳. اهداف بخش تولید برق کشور در قالب سند برنامه هفتم توسعه

ردیف	عنوان	واحد	هدف پایان سند
۱	کل ظرفیت نامی منصوبه	مگاوات	۱۳۴۴۸۵
۲	ظرفیت منصوبه تجدیدپذیر	مگاوات	۱۲۰۰۰
۳	ظرفیت منصوبه هسته‌ای	مگاوات	۳۰۰۰
۴	تولید برق	میلیون کیلووات ساعت	۴۸۹۲۹۵
۵	تولید برق تجدیدپذیر	میلیون کیلووات ساعت	۲۱۰۰۰
۶	تلفات انتقال و توزیع	درصد	۱۰
۷	مجموع صادرات و واردات برق	میلیون کیلووات ساعت	۲۰۰۰۰
۸	حداکثر توان تولید برق در اوج بار	مگاوات	۸۷۱۴۰
۹	میانگین بهره‌وری نیروگاه‌های موجود	درصد	۴۴
۱۰	میانگین بهره‌وری نیروگاه‌های جدید	درصد	۵۵ (در حد استاندارد)

منبع: مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۱

۳. پیشینه پژوهش

بررسی مطالعات تجربی صورت گرفته با موضوع مقاله حاضر نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات پیرامون تولید برق در حوزه‌های امنیت انرژی، برابری عرضه و تقاضا، ارائه برنامه بلندمدت انرژی، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش انتشار کربن می‌باشد. لذا برنامه ریزی سیستم‌های انرژی آینده که سهم قابل توجهی از انرژی‌های تجدیدپذیر را شامل می‌شود، به عنوان یک راه حل برای امنیت انرژی و مسائل زیست محیطی اهمیت بیشتری دارد (سعید و همکاران، ۱۴۰۲). در مدل سازی سیستم انرژی از پایین به بالا، دو رویکرد اصلی وجود دارد: یکی بر بهینه سازی ترکیب انرژی برای یک سال هدف خاص (مستقیم) تمرکز دارد، در حالی که

³ Noor

⁴ Kante

¹ Fernande

² Khan

برای کشورهای حوزه ASEAN، رن^۴ و همکاران (۲۰۲۴) برای چین، وامبوی^۵ و همکاران (۲۰۲۲) برای کنیا، چالیک اوغلو و کوکسال^۶ (۲۰۲۳) برای ترکیه، ژانگ^۷ و همکاران (۲۰۲۱) برای چین را بر شمرد. برخی مطالعات دیگر ضمن تأکید بر توسعه متوسط تکنولوژی های تجدیدپذیر (برق آبی، باد و خورشیدی) در کنار ساخت نیروگاه های جدید زغال سنگ سوز، ضمن تأمین انرژی مورد نیاز کشور اهداف کاهش انتشار کربن را دنبال می کنند (پوپوف^۸ و همکاران، ۲۰۱۵). از این دست مطالعات اوزاوا^۹ و همکاران (۲۰۲۲) سناریوهای مختلفی

با تمرکز اصلی بر بخش انرژی و استفاده شد. موسیبا^۱ و همکاران (۲۰۲۵) طی پژوهش خود با استفاده از ابزار مالیات بر کربن و تأکید بر افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر هدف دستیابی به انتشار صفر کربن در کشور لهستان را پیگیری کردند. همچنین آکپائو^۲ و همکاران (۲۰۲۴) نیازهای انرژی آینده بنین را در حالی که قصد کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و شناسایی استراتژی های جایگزین برای غلبه بر موانع برای تصویب انرژی پاک را با استفاده از تکنیک LEAP پیش بینی کرده است. دیگر مطالعات مشابه با هدف کاهش انتشار کربن و یا به صفر رساندن آن می توان هاندایانی^۳ و همکاران (۲۰۲۲)

را برای سیستم های انرژی آینده ژاپن برای دستیابی به انتشار گازهای خالص صفر CO₂ تا سال ۲۰۵۰ با مارکال بررسی کرد. برای دستیابی به بی طرفی کربن تا سال ۲۰۵۰، ژاپن باید تا سال ۲۰۴۰ تولید برق خود را به طور کامل از بین ببرد. این بدان معنی است که دوباره باید بخش انرژی دفعین شده را هدایت کند و در صورت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در صنعت، فناوری های حذف CO₂ ضروری خواهند بود. برخی دیگر در مقالاتشان به اهمیت وجود نیروگاه هسته ای جهت تأمین برق مورد نیاز پرداختند. از جمله روح و کیم^{۲۶} (۲۰۱۶) در مطالعه ای به پیش بینی آگاهانه تقاضای برق با در نظر گرفتن مجموعه ای از معیارها از جمله به حداقل رساندن هزینه های سیستماتیک تحت مجموعه ای از محدودیت های ناشی از استفاده از این فناوری، ارزیابی کرده اند. از جمله مطالعات مشابه به دنبال این هستند که برق مورد نیاز کشور با هزینه کم تأمین شود و در سیستم برنامه ریزی خود تأکیدی بر سهم تجدیدپذیرها ندارند مانند مطالعه کیچونگ^{۲۷} و همکاران (۲۰۱۵). به طور مشابه رکا^{۲۸} (۲۰۱۱) و هاینون^{۲۹} (۲۰۱۰) در مطالعه خود برای بهینه سازی گسترش و بهره برداری از سیستم قدرت برای تأمین نیازهای انرژی آینده با کمترین هزینه با استفاده از ترکیبی مناسب از فناوری ها و منابع در کشورهای جمهوری چک و سوریه با استفاده از مدل MESSAGE به برنامه ریزی بلندمدت انرژی پرداختند. برخلاف مطالعات مذکور، واتس و مارتینز^{۳۰} (۲۰۱۰) در برنامه ریزی بلندمدت برق کشور شیلی، با استفاده از مدل MESSAGE به این نتیجه رسیدند که با استفاده از منابع آب جاری در بخش جنوبی کشور، نیروگاه اتمی و اثر متناوب انرژی سبز می توان عرضه پایدار برق را تضمین و میزان انتشار کربن را کنترل نمود. از طرفی گوانجیائو و همکاران^{۳۱} (۲۰۲۵) به مطالعه تقاضای برق و برنامه ریزی عرضه برق با توجه به هدف انتشار صفر کربن پرداختند. یافته های این مطالعه حاکی از تأکید بر توسعه تکنولوژی تولید برق هسته ای در کنار توسعه حداکثری منابع تجدیدپذیر بود. ملیک اوغلو^{۳۲} (۲۰۲۵) در پژوهشی بر مسئله بازیافت زباله و استفاده از زیست توده برای تولید برق تأکید داشته است. یافته های حاصل از بررسی این مقاله بیان می کند که تولید MSW ترکیه در سال ۲۰۳۲ به ۳۶٫۲ میلیون تن برسد و از سوختن این MSW تا ۱۶٫۸ TWh برق به ارزش ۲٫۱ میلیارد دلار آمریکا (بر اساس قیمت های عمده فروشی صنعتی ژوئن ۲۰۲۴) تولید شود. انتشار گازهای گلخانه ای در سراسر کشور از طریق سوزاندن زباله های پساب برای تولید برق می تواند در سال ۲۰۳۲ به ۱۹٫۷ میلیون تن دی اکسید کربن برسد. یافته های حاصل از این دست مطالعات می

⁹ Oza

²⁶ Roh & Kim.

²⁷ Kichonge

²⁸ Recka.

²⁹ Hainoun.

³⁰ Watts & Martinez.

³¹ Guangxiao

³² Melihoglu

¹ Musibau

² Akpahou

³ Handayani

⁴ Ren

⁵ Wambui

⁶ Calikoglu & Koksai.

⁷ Zhang

⁸ Popov

تواند به تکامل ساختار انرژی و اصلاح مسیر انتقال کم‌کربن کمک کرده و توسعه برق پایدار را فراهم نماید. همچنین لازم به ذکر است آریان پور و همکاران (۲۰۲۲a) به برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی ایران در بخش برق با تأکید بر توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر طی سناریو سه‌گانه پرداختند. از طرفی آریان پور و همکاران (۲۰۲۲b) طی مقاله گذشته‌نگر^{۳۳} خود به بررسی این نکته پرداختند که اگر در گذشته اصلاح یارانه انرژی در بخش برق رخ می‌داد، ترکیب بهینه بخش نیروگاهی کشور ایران، میزان انتشار کربن و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی به چه شکل می‌بود.

جدول ۴. مطالعات تجربی مورد بررسی قرار گرفته

نویسندگان و سال	عنوان مقاله	روش‌شناسی پژوهش	نتایج و یافته‌های اصلی
سعید و همکاران (۱۴۰۲)	کاهش سهم تولید برق از سوخت‌های فسیلی با جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق پرباران	ENERGY PLAN	برنامه ریزی سیستم های انرژی آینده که سهم قابل توجهی از انرژی های تجدید پذیر را شامل می شود، به عنوان یک راه حل برای امنیت انرژی و مسائل زیست محیطی اهمیت بیشتری دارد
قنبرزاده و همکاران (۲۰۲۵)	بررسی چالش‌های قابلیت اطمینان در برنامه‌ریزی ظرفیت تولید با نفوذ بالای انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازها	مروری بر مطالعات و مدل‌های برنامه‌ریزی ظرفیت	استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازها باعث کاهش هزینه، افزایش قابلیت اطمینان و توسعه انرژی‌های پاک می‌شود.
فرناندز و همکاران (2025)	پیش‌بینی تولید برق و انتشار کربن مالزی تا سال ۲۰۵۰	مدل سازی سیستم انرژی با پلتفرم LEAP در بازه ۲۰۲۰-۲۰۵۰	افزایش تدریجی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند انتشار کربن را تا سال ۲۰۵۰ به میزان قابل توجهی کاهش دهد.
کاتنه و همکاران (2023)	بهینه‌سازی بلندمدت تولید برق آبی و خورشیدی در منطقه تاووسا، مالی	مدل سازی با مدل MESSAGE برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵	توسعه نیروگاه‌های برق آبی و خورشیدی با حداقل هزینه موجب پوشش تقاضای پیش‌بینی‌شده و پایداری شبکه می‌شود.
موسیا و همکاران (2025)	مسیرهای رسیدن به انتشار صفر کربن در لهستان با نقش مالیات بر کربن	تحلیل اقتصادسنجی و مدل سازی سناریوهای سیاستی	اعمال مالیات بر کربن و گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به کاهش قابل ملاحظه انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود.
آکپائو و همکاران (2024)	مدل سازی بلندمدت تقاضای انرژی و ارزیابی موانع انرژی‌های تجدیدپذیر در بنین	رویکرد ترکیبی-LEAP-MCDM	شناسایی و رتبه‌بندی موانع پذیرش انرژی پاک و ارائه راهکارهای سیاستی برای گسترش آن‌ها.
هان‌دایانی و همکاران (2022)	مسیرهای کشورهای ASEAN برای دستیابی به انتشار صفر در بخش برق تا ۲۰۵۰	مدل سازی سناریو با LEAP	کشورهای ASEAN با توسعه تجدیدپذیرها می‌توانند تا ۲۰۵۰ انتشار خالص صفر را محقق کنند.
چالیک اوغلو و کوکسال (2023)	مسیر دستیابی به انتشار صفر در ترکیه	مدل سازی با MESSAGE و تحلیل سناریو	توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و بادی نقش اصلی در کاهش انتشار بخش برق دارد.
اوزاوا و همکاران (2022)	مسیر دستیابی ژاپن به بی‌طرفی کربن تا ۲۰۵۰	مدل سازی با مدل MARKAL	حذف کامل تولید برق فسیلی تا ۲۰۴۰ و نیاز به فناوری‌های جذب CO ₂ برای صنعت.

روح و کیم (2016)	برنامه ریزی بلندمدت انرژی در کره با مدل MESSAGE	مدل سازی بهینه سازی انرژی	تأکید بر نقش نیروگاه های هسته ای در تأمین برق پایدار با هزینه پایین.
کیچونگ و همکاران (2015)	مدل سازی گزینه های تأمین انرژی در تانزانیا	مدل سازی انرژی با MESSAGE	تمرکز بر کم هزینه ترین ترکیب تولید برق بدون تأکید ویژه بر تجدیدپذیرها.
رکا (2011)	بهینه سازی سیستم برق جمهوری چک	مدل سازی بلندمدت با MESSAGE	ارائه ترکیب بهینه فناوری ها برای تأمین برق پایدار با کمترین هزینه.
هاینون و همکاران (2010)	استراتژی بهینه تأمین انرژی سوریه با مدل MESSAGE	مدل سازی بهینه سازی انرژی	دستیابی به ترکیب بهینه منابع انرژی و کاهش وابستگی به سوخت فسیلی.
واتس و مارتینز (2010)	برنامه ریزی برق شیلی با مدل MESSAGE	مدل سازی سیستم برق	استفاده از نیروگاه های آبی، هسته ای و تجدیدپذیر برای تضمین عرضه پایدار برق.
ملیک اوغلو (2025)	ارزیابی فنی-اقتصادی تولید برق از زیاله در ترکیه	تحلیل تکنو-اقتصادی و محیط زیستی	تولید ۱۶۸ تراوات ساعت برق از پسماند شهری تا ۲۰۳۲ و کاهش ۱۹,۷ میلیون تن CO ₂
آریان پور و همکاران (2022a)	اصلاح یارانه انرژی و مسیر کربن زدایی در بخش برق ایران	مدل سازی یکپارچه سیستم انرژی	اصلاح یارانه ها موجب افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر و کاهش انتشار می شود.
آریان پور و همکاران (2022b)	تحلیل گذشته نگر حذف یارانه انرژی در ایران	مدل سازی یکپارچه انرژی	حذف یارانه در گذشته می توانست ساختار نیروگاهی ایران را کم کربن تر کند.
گوآنجیانو و همکاران (2025)	پیش بینی تقاضای برق و برنامه ریزی عرضه با هدف انتشار صفر	مدل سازی با MESSAGE	توسعه همزمان نیروگاه های هسته ای و تجدیدپذیر برای دستیابی به انتشار صفر کربن.

منبع: یافته های تحقیق

بررسی پیشینه تحقیق نشان می دهد که تمرکز مطالعات تجربی صورت گرفته بر برنامه ریزی بلندمدت انرژی بوده و دستیابی به اهداف بخش برق (میزان تولید و همچنین ترکیب بهینه عرضه با هدف افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر به میزان مدنظر تحت قانون برنامه هفتم توسعه تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین با توجه به قیود مدل (محدودیت در ایجاد و حرکت به سمت نیروگاه های جدیدالتأسیس در کوتاه مدت) و همچنین سهم بالای انرژی های تجدیدناپذیر در سبد برق کشور، عمده نتایج مطالعات موردبررسی بر این نکته تأکید دارند که افزایش تولید برق حاصل انرژی های تجدیدپذیر طی ۵ سال تقریباً ناشدنی است. بنابراین می توان وجه تمایز مطالعه حاضر را این گونه بیان نمود که این مقاله در نظر دارد طی برنامه ریزی کوتاه مدت تولید برق مطابق با اسناد برنامه هفتم توسعه و همچنین قانون جهش تولید، امکان رفع ناترازی و دستیابی به اهداف دو سند فوق الذکر را بررسی نموده و آثار محیط زیستی از نظر کاهش مصرف سوخت های فسیلی و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را ارزیابی نماید. همچنین همان طور که اشاره شد، سند برنامه پنج ساله هفتم توسعه ایران و قانون جهش تولید دانش بنیان به عنوان مهم ترین سند و قانون بالادستی انرژی ایران، تأکید ویژه ای بر افزایش ظرفیت بخش نیروگاهی تجدیدپذیر و هسته ای تا افق ۲۰۲۸ نموده است. بر این اساس، با توجه به نقش مهمی که توسعه انرژی های تجدیدپذیر در رفع ناترازی انرژی و کاهش انتشار کربن می تواند ایفا کند، هدف اصلی این تحقیق ارزیابی چگونگی امکان تحقق اهداف این سند برنامه و همچنین قانون جهش تولید دانش بنیان به برنامه ریزی بخش نیروگاهی کشور با استفاده از مدل MESSAGE است.

۴. روش شناسی

چروش شناسی مطالعه حاضر از دو قسمت تشکیل شده است. بخش عرضه و بخش تقاضا. بخش عرضه شامل مدل برنامه‌ریزی انرژی MESSAGE می‌باشد و در بخش تقاضا، تقاضای برق پیش‌بینی شده در مطالعه حافظی و ممی پور (۱۴۰۱) به صورت برون‌زا در مطالعه حاضر استفاده می‌شود.

۱-۴. سمت عرضه

مسیج^{۳۴} یک مدل بهینه‌سازی مهندسی سیستم است که برای برنامه‌ریزی سیستم قدرت میان‌مدت و بلندمدت، سیاست در مورد تجزیه و تحلیل انرژی و توسعه آینده‌نگر سناریوها استفاده می‌شود. این مدل کل هزینه سیستم را تحت مجموعه‌ای از محدودیت‌هایی که مربوط به رضایت از تقاضای انرژی مفید پیش‌بینی شده، ظرفیت تجهیزات، توازن جریان انرژی، در دسترس بودن منابع، محدودیت در واردات و صادرات فرم‌های انرژی، مقررات زیست‌محیطی، محدودیت‌های ظرفیت و فعالیت و غیره است، به حداقل می‌رساند. این برنامه یک برنامه گسترش ظرفیت برای واحدهای تولیدی، طرحی برای صادرات و واردات اشکال مختلف انرژی، پیش‌بینی نیازهای سرمایه‌گذاری در سیستم انرژی، ارزیابی انتشار آلاینده‌ها و زباله‌ها و غیره را تعیین می‌کند.

در این روش مدل‌سازی سیستم، یک روش سیستم‌های تعاملی انجام می‌شود که در آن بازخورد بین مدل‌ها اجازه می‌دهد تا ثابت بودن تعادل MESSAGE و تقاضای پیش‌بینی شده تأیید شود (د لوسنا و همکاران^{۳۵}، ۲۰۱۰).

مدل MESSAGE به عنوان یک مدل برنامه‌نویسی خطی و مخلوط (LP & MIP) طراحی شده است. در برنامه‌های LP، تابع هدف و محدودیت‌ها تابع خطی متغیرهای تصمیم‌گیری هستند. MIP که در روش مدل‌سازی MESSAGE استفاده می‌شود به دلیل ارزش‌های صحیح در الزامات بهترین راه‌حل ممکن توسط متغیرهای تصمیم‌گیری خاص است. مدل MESSAGE یک مدل LP پویا از سیستم انرژی جهانی است. عملکرد هدف که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد، به حداقل رساندن کل هزینه‌های تأمین انرژی از آغاز تا پایان افق برنامه‌ریزی است. فرآیند یافتن حداقل مقدار در MESSAGE در رابطه ۱ بیان می‌شود (نیاسپو^{۳۶}، ۲۰۱۸).

$$\min \sum_q \sum_{t=1}^{nT} [d_t^o \Delta_t X_{qt} * i_{qt} + d_t^c \Delta_t Y_{qt} * O_{qt}] \quad \text{رابطه (۱)}$$

معادله (۲) محدودیت تعادل بین عرضه و تقاضا برق تابع هدف است (نیاسپو، ۲۰۱۸).

$$\sum_{q \in Pe} N_{qt} X_{qt} \geq \sum_{q \in Ce} X_{qt} + D_{et} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مدل مسیج از مؤلفه‌های زیر تشکیل شده است (IAEA, 2007).

- فایل‌های ذخیره‌سازی داده MESSAGE برای ذخیره‌سازی داده‌های ورودی آماده‌سازی پایگاه داده: پایگاه داده فناوری (tdb)، پایگاه داده برنامه (adb)، پایگاه داده محلی (ldb) و پایگاه داده به‌روزرسانی (upd)
- MXG (تولید ماتریس) - برنامه تولید ماتریس از پایگاه داده برای تولید ماتریس مدل که توسط Select Solver در برنامه بهینه‌سازی حل می‌شود، استفاده می‌کند.
- MXG (تولید ماتریس) - برنامه تولید ماتریس از پایگاه داده برای تولید ماتریس مدل که توسط Select Solver در برنامه بهینه‌سازی حل می‌شود، استفاده می‌کند.
- CAP (برنامه محاسبه) - برنامه‌ای برای پردازش پس از راه‌حل برای استخراج قسمت‌های منتخب راه‌حل (تولید اطلاعات برای جداول و نمودارها).

شکل ۱ جریان کنترل و اطلاعات بین این اجزای را در اجرای برنامه MESSAGE نشان می‌دهد.

³⁴ Model for Energy Supply Strategy Alternative and their General Environmental Impact

³⁵ De Lucena

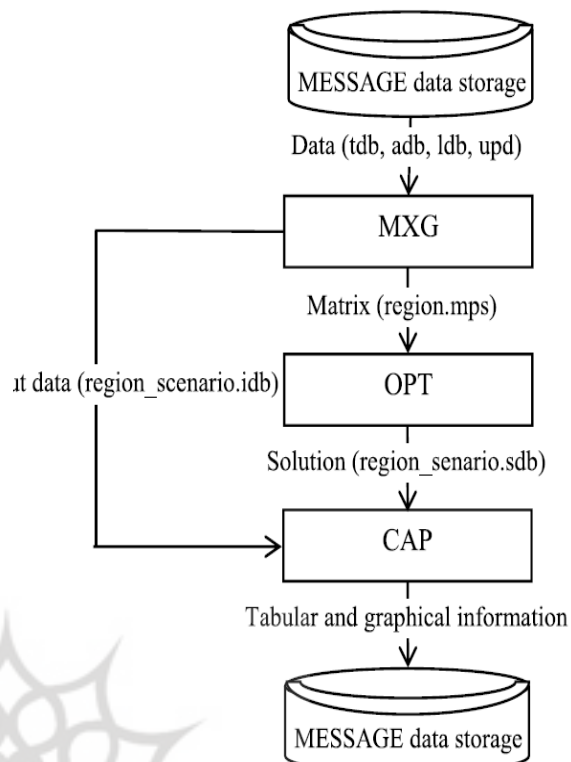
³⁶ Nyasapoh

شکل ۱. ارتباط متقابل بین اجزای MESSAGE

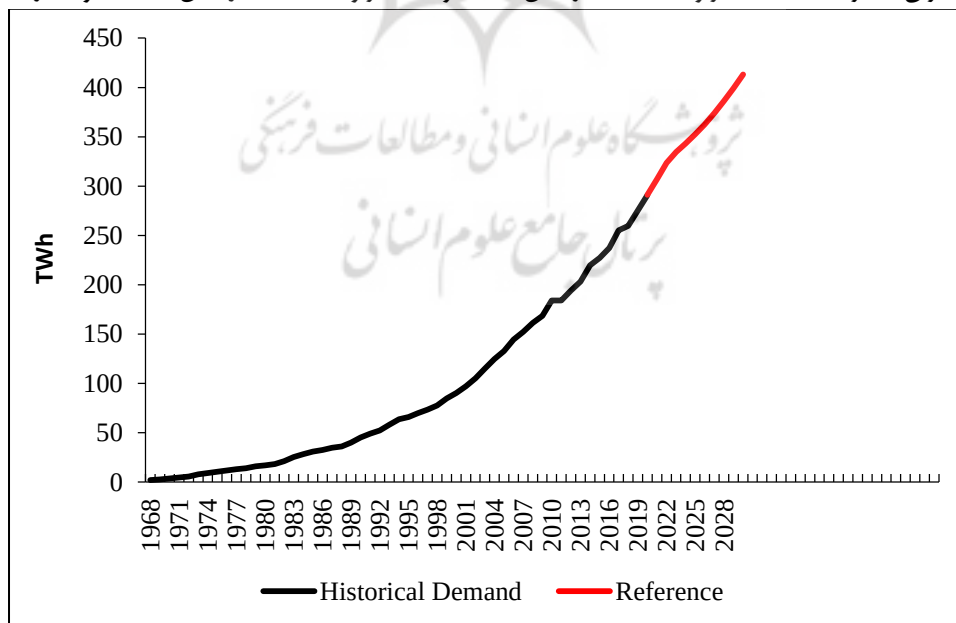
منبع: کانتِه ۳۷ و همکاران (۲۰۲۳)

۲-۴. سمت تقاضا

یافته‌های حاصل از مطالعه حافظی و ممی پور (۱۴۰۱) مطابق نمودار ذیل نشان می‌دهد مصرف برق ایران از ۴۵ تراوات ساعت در سال ۱۹۹۰ به بیش از ۲۹۰ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۰ رسیده است. مطالعه مذکور با استفاده از داده‌های پیش‌بینی‌شده توسط مراکز معتبر و با



به‌کارگیری رهیافت خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی (ARDL) به پیش‌بینی برق اقدام نمود. همچنین یافته‌های حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که تقاضای برق ایران تا پایان سال ۲۰۲۳ به حدود ۳۳۵ تراوات ساعت رسیده است. یافته‌های حاصل از پیش‌بینی تقاضای برق این مطالعه نیز نشان می‌دهد که تحت سناریو تداوم پرداخت یارانه به مصرف برق، کل تقاضای برق ایران به ترتیب به ۳۸۶ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۸ و ۴۱۳ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۳ خواهد رسید.



نمودار ۳. روند مصرف برق از سال ۱۹۶۸ و پیش‌بینی تقاضای برق تا سال ۲۰۳۰ (منبع: حافظی و ممی پور، ۱۴۰۱).

۵. داده‌ها

از آنجایی که تمرکز اصلی این مقاله بر سمت عرضه است، بنابراین در این بخش تنها داده‌های بخش عرضه ارائه خواهد شد.

جدول ۵. داده‌های تکنولوژی‌های غیر فسیلی مورد استفاده در تحقیق

نوع نیروگاه	ضریب ظرفیت (%)	هزینه سرمایه‌گذاری (دلار/کیلووات)	هزینه مالی ساخت (دلار/کیلووات)	هزینه ثابت بهره‌برداری و نگهداری (دلار/کیلووات ساعت سالیانه)	هزینه متغیر بهره‌برداری و نگهداری (دلار/کیلووات ساعت سالیانه)	هزینه اتصال به شبکه (دلار/کیلووات)	عمر اقتصادی (سال)
خورشیدی	۳۲	۱۴۸۳	۵۱	۲۴	۰	۶۵	۲۵
خورشیدی متمرکز (CSP)	۶۷	۷۹۱۲	۴۶۵	۷۴٫۶	۴	۱۰۰	۲۵
بادی	۴۷	۵۴۹۳	۵۳۹	۹۱	۰	۱۰۹۰	۲۵
برق آبی	۳۳	۳۲۴۱	۱۹۶	۹۲	۰	۰	۳۰
زیست توده (بیومس)	۶۰	۵۵۲۸	۵۹۸	۱۶۴	۵	۱۰۰	۲۰
زمین گرمایی	۹۰	۷۲۱۳	۲۳۵۴	۱۲۱	۰	۱۰۰	۲۵
هسته ای	۹۳	۶۴۷۱	۱۱۲۱	۱۲۶	۱/۹	۱۰۰	۲۵

منبع: (IRENA, 2023؛ NREL, 2023)

جدول ۶. اطلاعات فنی - اقتصادی تکنولوژی‌های مبتنی بر سوخت‌های فسیلی

تکنولوژی	هزینه سرمایه‌گذاری (\$/Kw)	هزینه ثابت (\$/Kw)	هزینه متغیر (\$/Kwyr)	ضریب ظرفیت %	عمر مفید Year	زمان احداث Year
نیروگاه بخاری	۱۱۰۰	۹	۴	۷۵	۳۰	۵
نیروگاه بخاری معمولی	۹۰۰	۹	۴	۷۶	۳۰	۵
نیروگاه موتور گازسوز تولید پراکنده (DG)	۸۰۰	۸	۴۴	۸۰	۱۰	۱
نیروگاه توربین گازی	۵۵۰	۴/۴	۵/۶	۷۰	۱۲	۲
نیروگاه توربین گازی معمولی	۵۵۰	۴/۵	۵/۵۷	۶۹	۱۲	۲
نیروگاه سیکل ترکیبی	۷۶۰	۴	۴	۷۳	۳۰	۵
نیروگاه سیکل ترکیبی معمولی	۷۶۰	۵	۳/۶	۷۳	۳۰	۵
نیروگاه گازوئیل سوز	۵۵۰	۸	۳۸	۷۵	۱۰	۲

منبع: (NREL, 2023)

همچنین در این مطالعه میزان تلفات شبکه انتقال و توزیع برحسب گزارش توانیر (۱۴۰۳)، معادل ۱۱/۶ درصد در سال پایه و ۱۰ درصد در بازه زمانی مطالعه قرار گرفت.

▪ منابع

منابع مورد استفاده در تولید برق به دودسته سوخت‌های فسیلی (نفت کوره، گاز طبیعی و نفت گاز و زغال سنگ) و غیر فسیلی (برق-آبی، خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، زیست توده و هسته‌ای) تقسیم می‌شوند.

▪ نواحی بار

مطالعه حاضر در بخش Load Region، هر روز به سه قسمت بار عادی (کم باری)، میان باری و اوج بار تقسیم می‌نماید. همچنین طول سال را شامل ۱۲ ماه در نظر گرفته است.

▪ مصرف سوخت‌های فسیلی

قیمت سوخت‌های فسیلی مورد استفاده جهت تولید برق در جدول ۶ گزارش شده است. در این مطالعه فرض شده است متوسط نرخ رشد سالیانه قیمت‌ها، ۱/۱ درصد خواهد بود.

جدول ۶. قیمت سوخت‌های فسیلی در سال پایه و میانگین نرخ رشد سالیانه

ردیف	سوخت فسیلی	قیمت (Cent/Liter)	متوسط نرخ رشد سالیانه (درصد)
۱	نفت کوره	۳۱/۳۲	۱/۱
۲	گاز طبیعی	۱۱/۲۶	
۳	گازوئیل	۳۸/۹	

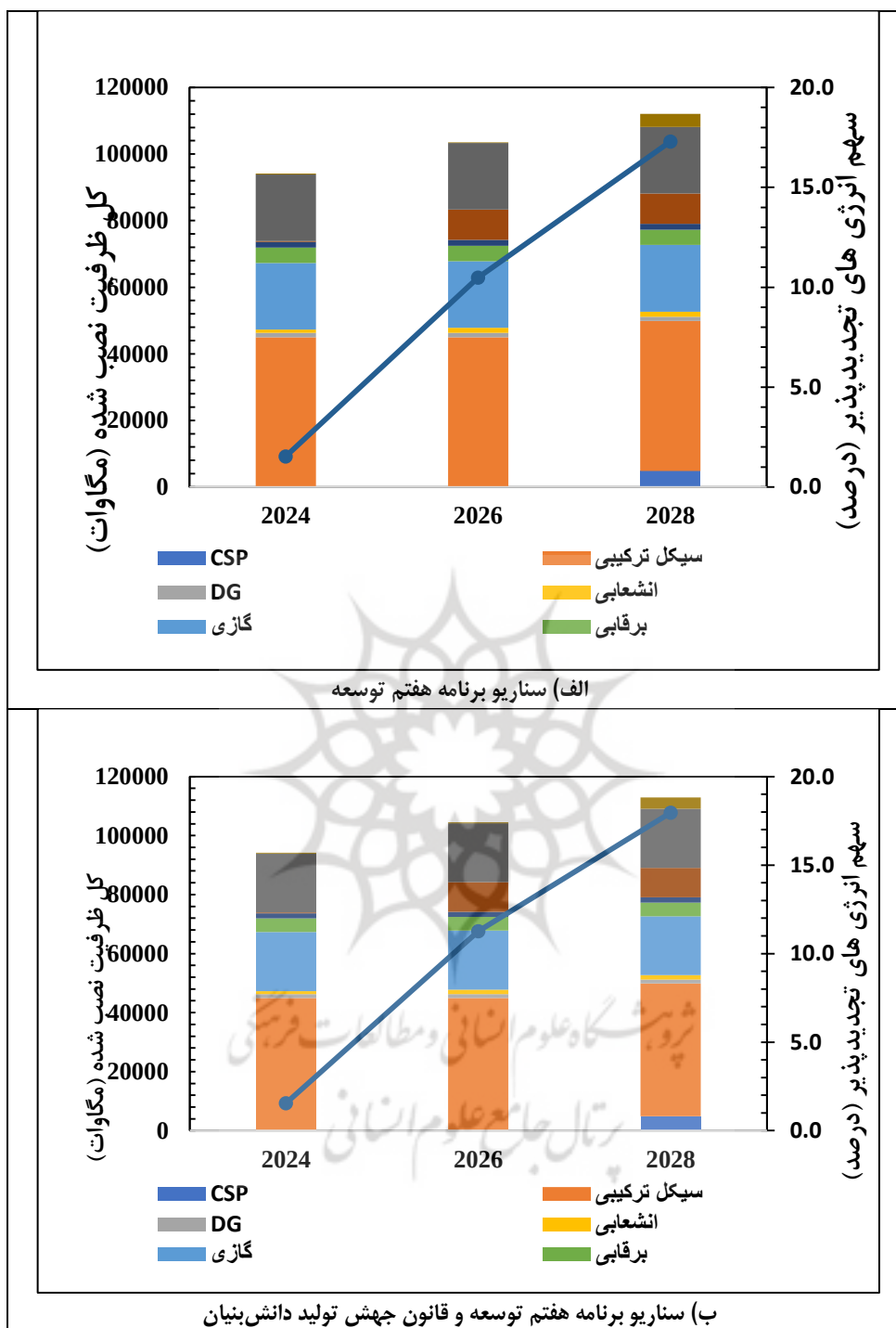
منبع (آریان پور و همکاران، ۲۰۲۲).

۵. یافته های تحقیق

مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های در دسترس به بررسی دو سناریو می‌پردازد. سناریو نخست برنامه‌ریزی مطابق اهداف سند برنامه هفتم توسعه می‌باشد و سناریو دوم با در نظر گرفتن تأمین سهم ۱ الی ۵ درصدی صنایع از برق مصرفی خود مطابق قانون جهش تولید دانش‌بنیان از منابع تجدیدپذیر می‌باشد. از آنجایی که مدل مسیح یک مدل برنامه‌ریزی انرژی است که نحوه عملکرد آن بر مبنای حداقل سازی کل هزینه‌های تولید می‌باشد، لذا ضمن بررسی داده‌های در اختیار مدل، آرایشی از نیروگاه‌های تولیدکننده برق را ترسیم می‌کند که در مقایسه با سایر ترکیب‌ها، کمترین هزینه را به دنبال داشته باشد. همچنین در مدل مورد استفاده، قیود مدنظر برنامه هفتم توسعه اعم از ظرفیت موردنظر، سهم تکنولوژی‌ها وارد شده تا مدل ضمن برخورداری از دید کلی نسبت به چارچوب اهداف سند برنامه هفتم توسعه، اقدام به برنامه‌ریزی تولید نماید. کل یافته‌های حاصل از مدل مذکور طی چهار دسته‌بندی در قالب کل ظرفیت نصب‌شده، آرایش نیروگاه‌های تولیدکننده برق، سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، فسیلی، هسته‌ای و برق‌آبی از ترکیب نیروگاهی، مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان انتشار کربن ارائه می‌شود.

۱-۵. کل ظرفیت نصب‌شده

بر اساس یافته‌های حاصل از مطالعه و مطابق نمودار زیر، کل ظرفیت نصب‌شده تکنولوژی‌های تولیدکننده برق ایران از ۹۴،۱۱۶ مگاوات در سال ۲۰۲۴، به ترتیب به ۱۰۳،۵۲۵ مگاوات در سال ۲۰۲۶ و ۱۱۲،۰۵۰ مگاوات در سال ۲۰۲۸ رسیده است. این در حالی است که مطابق یافته‌های حاصل از گزارش توانیر و مطابق با گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۴۰۳)، کل ظرفیت نصب شده بخش نیروگاهی ایران در سال ۱۴۰۳، معادل ۹۲ هزار مگاوات بوده است. همچنین مطابق پیش‌بینی سند برنامه هفتم توسعه باید کل ظرفیت نصب‌شده به حدوداً ۱۲۴ هزار مگاوات می‌رسید که یافته‌های حاصل از این مطالعه نشان دادند امکان دستیابی به هدف مذکور در بازه زمانی ۱۴۰۳-۱۴۰۷ وجود نداشته و هدف مذکور محقق نخواهد شد ولی با رشدی حدوداً ۲۰/۵ درصدی، گام بسیار بزرگی در رفع ناترازی برق و عدم وابستگی به واردات انرژی برداشته خواهد شد.



نمودار ۴. کل ظرفیت نصب‌شده تکنولوژی‌های تولیدکننده برق ایران در افق مطالعه (منبع: یافته‌های حاصل از مطالعه).

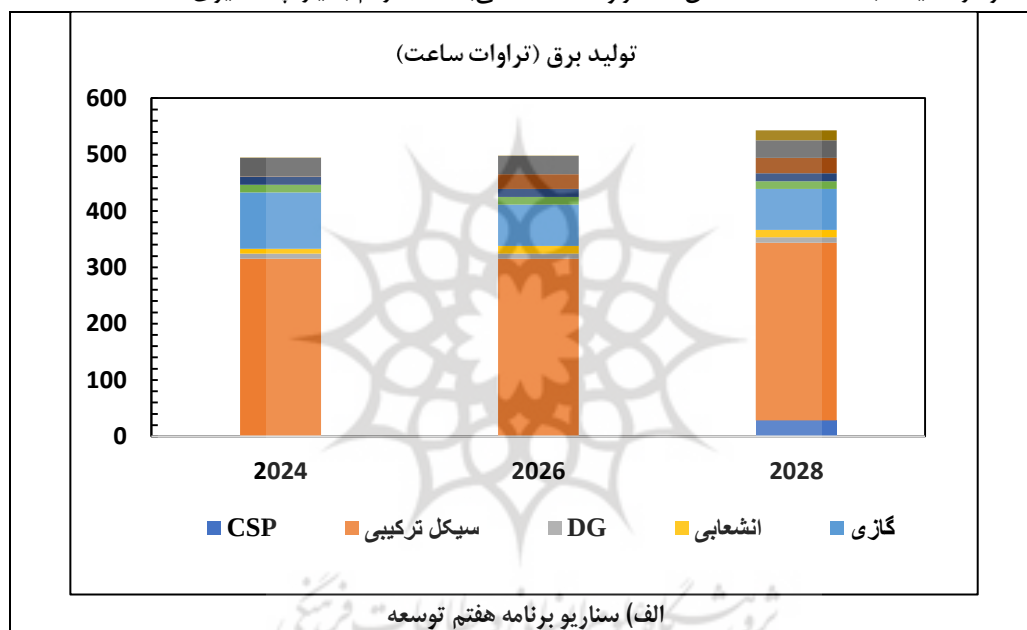
مطابق یافته‌های حاصل از نمودار فوق، کل ظرفیت نصب‌شده انرژی‌های تجدیدپذیر در سال پایانی مطالعه، برابر ۱۸ درصد از کل ظرفیت و معادل ۱۹,۳۷۷ مگاوات بوده که با توجه به هدف ۱۲,۰۰۰ مگاواتی سند برنامه هفتم توسعه، پیشرفت چشمگیری داشته است. دیگر یافته‌های حاصل از مطالعه حاکی از عدم تحقق هدف مربوط به نصب ۳,۰۰۰ مگاوات ظرفیت

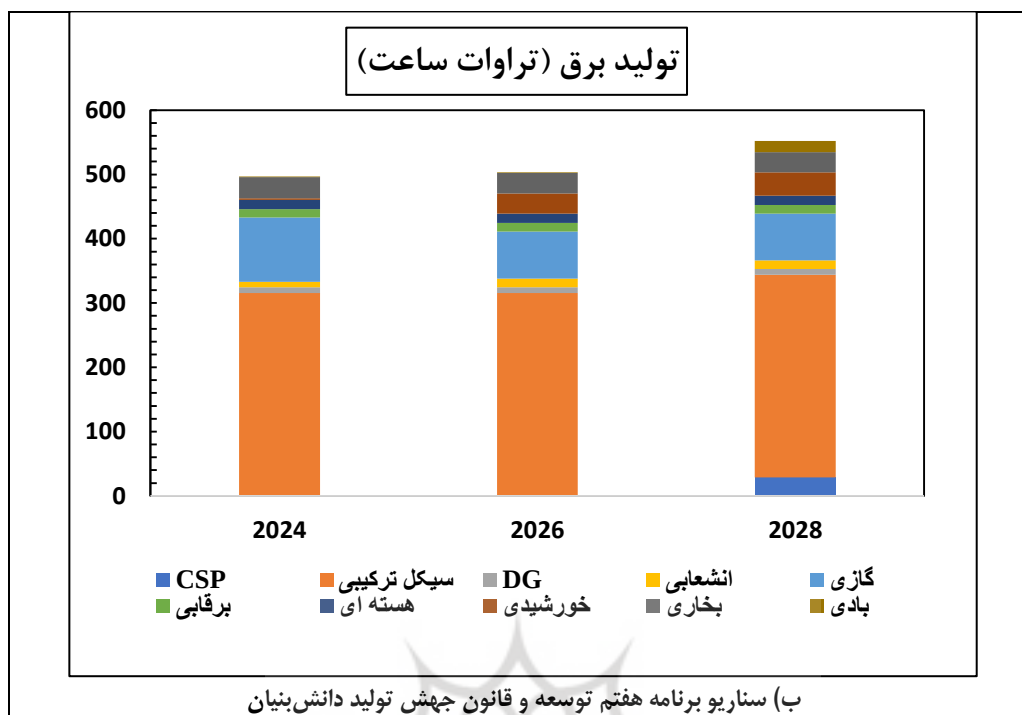
برق هسته‌ای است. نتایج حاصل از بررسی کل ظرفیت نصب شده به تفکیک سناریوهای برنامه هفتم توسعه و قانون جهش تولید دانش بنیان نشان می‌دهد که در صورت وقوع سناریو دوم، کل ظرفیت نصب شده به ترتیب معادل ۰/۰۳ درصد در سال ۲۰۲۴، ۰/۹ درصد در سال ۲۰۲۶ و ۰/۸ درصد در سال ۲۰۲۸ کمتر خواهد شد.

همچنین سهم تکنولوژی های تجدیدپذیر ۰/۱ درصد در سال ۲۰۲۴، ۰/۸ درصد در سال ۲۰۲۶ و ۰/۷ درصد در سال ۲۰۲۸ کمتر خواهد بود.

۲-۵. آرایش بهینه نیروگاهی کشور

یافته‌های حاصل از مدل پیرامون سبد بهینه تولید برق ایران در افق سند برنامه هفتم توسعه نشان می‌دهد کل تولید برق ایران در بازه زمانی ۲۰۲۴، ۲۰۲۶ و ۲۰۲۸ به ترتیب معادل ۴۹۵ تراوات ساعت، ۴۹۸ تراوات ساعت و ۵۴۳ تراوات ساعت خواهد بود. یافته‌های حاصل از کل تولید برق در سال پایانی مطالعه در مقایسه با اهداف سند برنامه هفتم گواه بر آن است که میزان برق تولید شده در سال پایانی مطالعه حاضر مطابق با پیش‌بینی تقاضا برق بوده بنابراین مازاد تولید برق پیش‌بینی شده مطالعه حاضر در مقایسه با اهداف سند، معادل ۶۳ تراوات ساعت می‌باشد که رقم بسیار چشمگیری است.

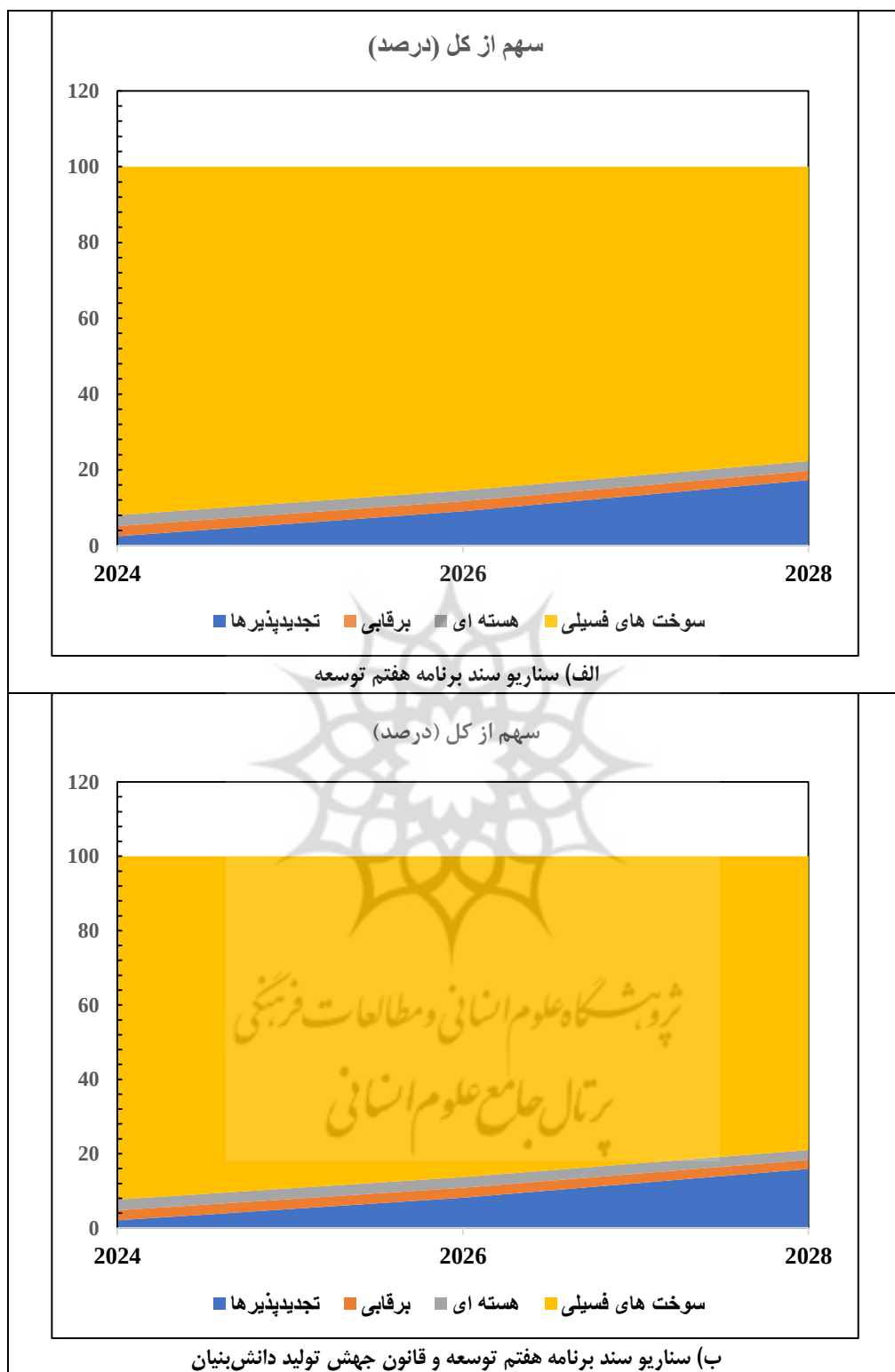




نمودار ۵. ترکیب نیروگاهی تولید برق ایران برحسب تراوات ساعت (منبع: یافته‌های حاصل از مطالعه).

دیگر یافته‌های حاصل از مطالعه در بخش تولید برق، مربوط به سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، فسیلی، برقابی و هسته‌ای است. مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۵، سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر از ۰/۵ درصد در سال ۲۰۲۳، به ترتیب به ۲ درصد، ۸ درصد و ۱۷ درصد در سال‌های ۲۰۲۴، ۲۰۲۶ و ۲۰۲۸ رسیده که رقم بسیار قابل توجهی است. عمده بخش این سهم متعلق به نیروگاه خورشیدی شامل صفحات خورشیدی، نیروگاه خورشیدی متمرکز و همچنین صفحات خورشیدی پشت‌بامی یا اصطلاحاً انشعابی است. کل تولید برق هر یک از این تکنولوژی‌ها در سال ۲۰۲۴ به ترتیب معادل صفر، ۹ تراوات ساعت و ۱ تراوات ساعت می‌باشد که به ترتیب به ۰، ۱۳ تراوات ساعت و ۲۶ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۶ و ۲۹ تراوات ساعت، ۱۳ تراوات ساعت و ۲۷ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۷ رسیده است. از طرفی کل تولید برق حاصل از نیروگاه بادی به ترتیب معادل ۱ تراوات ساعت در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۶ و همچنین ۱۷ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۸ می‌باشد. این افزایش در سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، علاوه بر افزایش امنیت انرژی ایران و ایجاد تنوع در سبد تولید برق، موجب کاهش مصرف سوخت فسیلی در نیروگاه‌های فسیلی و همچنین کاهش انتشار کربن خواهد شد.

نکته دیگر که از یافته‌های مدل قابل استنباط است کل تولید برق توسط نیروگاه‌های برقابی است. در افق مطالعه تولید برق از نیروگاه مذکور ثابت و معادل ۱۳ تراوات ساعت بوده که با توجه به بحران کم‌آبی در کنار هزینه‌های سرمایه‌گذاری در زمینه ایجاد سد و همچنین افزایش ظرفیت تکنولوژی‌های قدیمی، عدم رشد آن منطقی به نظر می‌رسد. از طرفی برق حاصل از تکنولوژی هسته‌ای نیز در افق مطالعه ثابت و معادل ۱۴ تراوات ساعت در نظر گرفته شده است. دیگر نتایج مدل گواه بر آن است که سهم سوخت‌های فسیلی از بیش از ۹۵ درصد در سال ۲۰۲۳، به ترتیب به ۸۹ درصد در سال ۲۰۲۴، ۸۳ درصد در سال ۲۰۲۶ و ۷۶ درصد در سال ۲۰۲۸ رسیده است.



نمودار ۶. سهم تکنولوژی های مختلف از سبد نیروگاهی کشور برحسب درصد (منبع: یافته های حاصل از مطالعه)

مقایسه با سناریو اول به ترتیب در سال ۲۰۲۴ معادل ۰/۴

درصد، در سال ۲۰۲۶ معادل ۱ درصد و در سال ۲۰۲۸

معادل ۱/۶ درصد بیشتر خواهد بود. همچنین لازم به ذکر

دیگر یافته های حاصل از مقایسه دو سناریو فوق الذکر

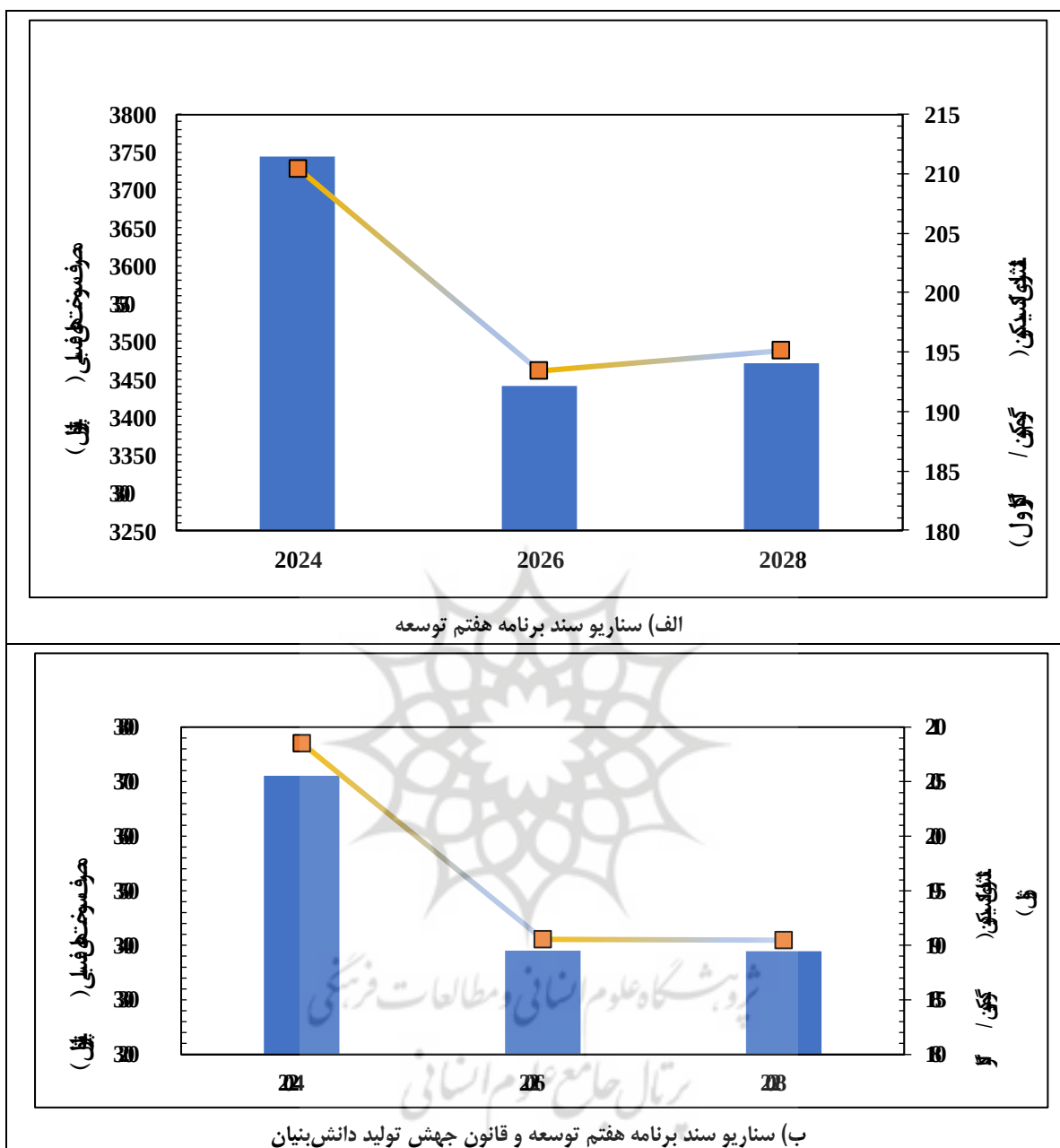
حاکی از آن است که کل تولید برق مطابق سناریو دوم در

است سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سناریو دوم نسبت به سناریو اول در سال ۲۰۲۴ برابر بوده اما در سال‌های ۲۰۲۶ و ۲۰۲۸ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر یک درصد بیشتر خواهد شد.

۳-۵. مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان انتشار کربن

بخش سوم نتایج به میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان انتشار کربن اختصاص دارد. یافته‌های حاصل از مطالعه در این بخش نشان می‌دهد که مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش نیروگاهی ایران به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۴، ۲۰۲۶ و ۲۰۲۸ معادل ۳،۷۴۴ پتا ژول، ۳،۴۴۱ و ۳،۴۷۲ پتا ژول می‌باشد. از طرفی مطابق همین روند مصرف میزان انتشار کربن نیز در بازه زمانی مذکور به ترتیب معادل ۲۱۰، ۱۹۳ و ۱۹۵ گرم کربن به ازای یک پتا

ژول مصرف سوخت فسیلی است. نکته قابل تأمل در این مطالعه این است در سال ۲۰۲۸ ضمن افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن میزان انتشار کربن ناشی از آن نسبت به دوره زمانی ۲۰۲۶ بیشتر شده که می‌توان این‌گونه استنباط کرد که در سال ۲۰۲۸ علی‌رغم افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش سهم تکنولوژی‌های مبتنی بر سوخت فسیلی، لذا حدود ۶ درصد برق کشور توسط نیروگاه‌های فسیلی کوچک خارج از شبکه نیروگاهی کشور و یا توسط مازوت سوزی تأمین شده که در این نمودار ترسیم نشده است. یافته‌های حاصل از مطالعه مطابق نمودار ۵ میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در افق مطالعه و همچنین میزان انتشار کربن ناشی از آن را ترسیم کرده است.



سخت های فسیلی و همچنین انتشار کربن نیز کمتر باشد. لذا نتایج مدل مذکور نشان می دهد که مصرف

نمودار ۷. مصرف سوخت های فسیلی و میزان انتشار کربن در افق مطالعه (منبع: یافته های حاصل از مطالعه).

سخت های فسیلی در سناریو دوم نسبت به سناریو اول به ترتیب در سال های ۲۰۲۴، ۲۰۲۶ و ۲۰۲۸ برابر ۰/۴۷ درصد، ۱/۰۳ درصد و ۲/۵ درصد کمتر خواهد شد. همچنین میزان تفاوت انتشار کربن دی اکسید نیز در سناریو دوم نسبت به سناریو اول به ترتیب معادل ۰/۹

یافته های حاصل از مدل بیانگر آن است که همانطور که در قسمت قبل نیز اشاره شد، طی سناریو دوم سهم انرژی های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۶ و سال ۲۰۲۸ به ترتیب یک درصد بیشتر از سهم انرژی های تجدیدپذیر در سال های مذکور خواهد بود. فلذا انتظار می رود میزان مصرف

درصد سال ۲۰۲۴، ۱/۵ درصد در سال ۲۰۲۶ و ۲/۴ درصد در سال ۲۰۲۸ خواهد بود.

۶. جمع بندی و پیشنهادها

هدف اصلی این تحقیق بررسی امکان تحقق اهداف این سند برنامه و همچنین قانون جهش تولید دانش‌بنیان در برنامه‌ریزی بخش نیروگاهی کشور با استفاده از مدل MESSAGE اختصاص داشت.

یافته‌های حاصل از مطالعه ضمن تأکید بر مصرف برق پیش‌بینی شده که به صورت برون‌زا در مدل MESSAGE وارد شده است، گواه بر این واقعیت است که میزان تولید برق ایران و همچنین ظرفیت نصب‌شده تکنولوژی‌های تولید برق باید افزایش یابند. سند برنامه هفتم توسعه طی مطالعاتی، اقدام به تعیین اهداف بخش‌های مختلف برق اعم از مصرف، تولید و عرضه نموده است. مطالعه حاضر ضمن استفاده از پیش‌بینی تقاضای برق توسط مقاله حافظی و ممی پور (۱۴۰۱)، نسبت به سیاست‌ها و اهداف برنامه پیرامون افزایش بهره‌وری برق، افزایش کارایی نیروگاه‌های فسیلی و همچنین کاهش تقاضا و دیگر سیاست‌های خارج از برنامه مانند اصلاح یارانه انرژی، اعمال مالیات بر انتشار کربن و ... اظهار نظر نموده است و با توجه به تداوم شرایط فعلی به برنامه‌ریزی تولید برق در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۲۸ (مطابق افق زمانی سند برنامه هفتم توسعه (۱۴۰۳-۱۴۰۷)) اقدام نموده است. یافته‌های حاصل از این مطالعه ضمن تأکید بر افزایش سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، بیش از ظرفیت برنامه هفتم در این مطالعه از تکنولوژی‌های تجدیدپذیر علی‌الخصوص خورشیدی بهره‌برداری شده در صورتی که اهداف مربوط به برق هسته‌ای به دلیل هزینه‌های بسیار بالا و زمان‌بر بودن ساخت و تکمیل آن، محقق نشده است. دیگر نکته‌ی مثبت یافته‌های مطالعه حاضر مربوط به تولید برق ناشی از برقابی است که در تمام بازه زمانی مطالعه ثابت در نظر گرفته شده است که با محدودیت‌ها و بحران کم‌آبی ایران مطابقت دارد. در انتها لازم به ذکر است یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر ضمن تأیید امکان تحقق دستیابی به

اهداف سند برنامه هفتم توسعه، بر ایجاد تنوع در سبد تولید برق کشور با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های فراوان کشور مطابق با گزارش ساتبا در سال ۱۳۹۹ تأکید دارد.

این مطالعه با محدودیت‌هایی در مدلسازی همراه بوده است که می‌تواند مبنایی برای بسط آن توسط سایر محققین در نظر گرفته شود. در این تحقیق، محدودیت‌های تأمین مالی اعم از تأمین مالی داخلی و خارجی در نظر گرفته نشده است. همچنین به جهت تمرکز مدل‌های MESSAGE روی سمت عرضه، درون‌زا کردن بخش تقاضا نیز می‌تواند به تدقیق بیشتر نتایج کمک نماید. علاوه بر این، طراحی و پیاده‌سازی سناریوهای مالیات-یارانه و سایر سیاست‌های حمایتی می‌تواند به توسعه این تحقیق کمک نماید.

۷. تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر وحید آریان پور و جناب آقای دکتر سیاب ممی پور بابت آموزش مدل‌سازی و نرم‌افزار برنامه‌ریزی انرژی MESSAGE تقدیر و تشکر نمایند.

تعارض منافع

در پژوهش حاضر تعارض منافع وجود ندارد.

در دسترس بودن داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر از مراکز و منابع مهم آماری بین‌المللی و داخلی گردآوری شده است که درون متن نیز بدان اشاره شده است. فلذا در صورت درخواست نشریه در قالب فایل اکسل قابل دسترسی خواهد بود.

تعامل نویسنده

تمام نویسندگان در طراحی پژوهش، تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند.

References

Aboulghasemi, M., Yousefi, H., & Mousavi Rineh, S. M. (2019). *Carbon footprint and its calculation methods with an emphasis on electricity generation from fossil and renewable sources*. **Renewable and New Energy**, 6(2), 31–41. [In Persian]

AEMO. 2023 Wholesale Electricity Market Electricity Statement of Opportunities (WEM ESoo). Australian Energy Market Operator; 2023. https://aemo.com.au/media/files/electricity/wem/planning_and_forecasting/esoo/2023/2023-wholesale-electricity-market-electricity-statement-of-opportunities-wem-esoo.pdf?la=en. [Accessed 3 February 2025]. 73.

Ahmadi, S., Nejadaini, H., Asvad, M., & Abdous, M. (2024). *Reducing the share of electricity generation from fossil fuels by substituting renewable energy in high-precipitation regions*. **Sustainable Energy Systems Quarterly**, 2(3), 299–312. [In Persian]

Akadiri, S. S., & Adebayo, T. S. (2022). RETRACTED ARTICLE: Asymmetric nexus among financial globalization, non-renewable energy, renewable energy use, economic growth, and carbon emissions: impact on environmental sustainability targets in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(11), 16311–16323.

Akpahou, R., Mensah, L. D., Quansah, D. A., & Kemausuor, F. (2024). Long-term energy demand modeling and optimal evaluation of solutions to renewable energy deployment barriers in Benin: A LEAP-MCDM approach. *Energy Reports*, 12, 1888–1904, 2352–4847 <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.07.055>.

Aryanpur, V., Fattahi, M., Mamipour, S., Ghahremani, M., Gallachóir, B. Ó., Bazilian, M. D., & Glynn, J. (2022a). How energy subsidy reform can drive the Iranian power sector towards a low-carbon future. *Energy Policy*, 169, 113190.

Aryanpur, V., Ghahremani, M., Mamipour, S., Fattahi, M., Gallachóir, B. Ó., Bazilian, M. D., & Glynn, J. (2022b). Ex-post analysis of

منبع مقاله

مقاله حاضر برگرفته از فعالیت تحقیقاتی محققین در راستای بررسی و سنجش مهم ترین سند بالادستی کشور می باشد.

شفاف سازی

در تدوین این مقاله از هوش مصنوعی و یا سایر فناوری های مشابه استفاده نشده است.

- use help to curb carbon emissions?. Renewable Energy, 193, 1082-1093.
- Hafezi, H., & Mamipour, S. (2022). The Long-term Electricity Planning in Iran under the Paris Agreement. *Journal of Economic Modeling Research*, 13(49), 153-201.
- Hainoun, A., Aldin, M. S., & Almoustafa, S. (2010). Formulating an optimal long-term energy supply strategy for Syria using MESSAGE model. *Energy policy*, 38(4), 1701-1714.
- Handayani, K., Anugrah, P., Goembira, F., Overland, I., Suryadi, B., & Swandaru, A. (2022). Moving beyond the NDCs: ASEAN pathways to a net-zero emissions power sector in 2050. *Applied Energy*, 311(118580), 0306–2619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118580>
- He, Y., Li, X., Huang, P., & Wang, J. (2022). Exploring the road toward environmental sustainability: natural resources, renewable energy consumption, economic growth, and greenhouse gas emissions. *Sustainability*, 14(3), 1579.
- Hoog, D. T., & Hobbs, B. F. (1993). 'An integrated resource planning model considering customer value, emissions, and regional economic impacts', *Energy*, 18(11), 1153-1160. IEA. Net zero by 2050. Psrid. IEA; 2021. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> Licence:CCBY4.0. 2 July 24.
- IAEA, 2007. MESSAGE user manual.
- IEA, Empowering Cities for a Net Zero Future, IEA, Paris, (2021). <https://www.iea.org/reports/empowering-cities-for-a-net-zero-future>, Licence: CC BY 4.0.
- IEA. Renewables 2023. Paris: IEA; 2024. Licence: CC BY 4.0, <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>. 2 July 4.
- IEA. World energy outlook 2023. Paris: IEA; 2023. Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A), <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. 2 July 4.
- IRENA. World energy transitions outlook 2023. IRENA; 2023. <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>. 2 July 4.
- Jangavar, H., Nourollahi, Y., & Yousefi, H. (2019). *Feasibility study of achieving greenhouse gas emission reduction targets energy subsidy removal through integrated energy systems modelling*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 158, 112116.
- Ashena, M., & Hosseinabadi, S. (2020). *Assessment of factors affecting changes in carbon dioxide emissions in Iran with emphasis on the role of urbanization: Decomposition analysis approach*. *Geography and Environmental Hazards Quarterly*, (34), 145–163. [In Persian]
- Calikoglu, U., & Aydinalp Koksall, M. (2023). A pathway to achieve the net zero emissions target for the public electricity and heat production sector: A case study for Türkiye. *Energy Policy*, 179, Article 113653. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113653>.
- Dehghani, A., Ghaed, E., & Ahmadi Shadmehri, M. T. (2021). *An investigation of the impact of different types of renewable energy sources on electricity generation in Iran*. Renewable and New Energy, 8(1), 41–47. [In Persian]
- De Lucena, A. F. P., Schaeffer, R., & Szklo, A. S. (2010). Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system. *Global Environmental Change*, 20(2), 342-350.
- Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024) – with major processing by Our World in Data. “Total electricity generation – Ember and Energy Institute” [dataset]. Ember, “Yearly Electricity Data”; Energy Institute, “Statistical Review of World Energy” [original data]. Retrieved March 11, 2025 from <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-generation>.
- Fernandez, M. I., Go, Y. I., Früh, W. G., & Wong, D. M. (2025). Projection of electricity generation profiles and carbon emissions towards 2050: A Malaysia context. *Energy for Sustainable Development*, 85, 101681.
- Ghanbarzadeh, T., Habibi, D., & Aziz, A. (2025). Addressing reliability challenges in generation capacity planning under high penetration of renewable energy resources and storage solutions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 212, 115461.
- Habiba, U. M. M. E., Xinbang, C., & Anwar, A. (2022). Do green technology innovations, financial development, and renewable energy

- incineration till 2032. *Next Sustainability*, 5, 100092.
- Mehnatfar, U. and Hossein Nia Chafjiri, S. (2024). The effect of intensity of renewable and non-renewable energy on the economic growth of industrialized countries. *Journal of Industrial Economics researches*, 8(30), 25-40. doi: 10.30473/jier.2025.72511.1466 [In Persian]
- Monjazebeh, M., ghanbari, S. and Movahedi, A. (2025). The Estimation of Gap Consumption of Domestic Electricity Power in High Consumption Provinces. *Journal of Industrial Economics researches*, 9(31), 93-112. doi: 10.30473/jier.2025.58798.1257 [In Persian]
- Mousavi, S. M., & Sharifi, R. (2024). Payesh-e shakhsh-e kolān-e bakhsh-e bargh (1): Sāl 1402 [Monitoring macro indicators of the electricity sector (1): Year 1402]. Majles Research Center of the Islamic Republic of Iran. [In Persian]
- Musibau, H., Gold, K. L., Abdulrasheed, Z., & Muili, H. A. (2025). Poland's net-zero pathways: Moderating role of carbon tax and renewable energy on electricity generation through a novel multivariate quantile-on-quantile regression approach. *Journal of Environmental Management*, 380, 124848.
- Nel, W. P., & Cooper, C. J. (2009). Implications of fossil fuel constraints on economic growth and global warming. *Energy Policy*, 37(1), 166-180.
- Noor, M., Khan, D., Khan, A., & Rasheed, N. (2024). The impact of renewable and non-renewable energy on sustainable development in South Asia. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6), 14621-14638.
- Nourelahi M, Babaki R, elyaspour B. The Effect of Electricity Consumption on Gross Domestic Product and Carbon Dioxide Emissions in Iran. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research* 2024; 10 (3) : 4 URL: <http://epprjournal.ir/article-1-1101-fa.html> [In Persian]
- Nyasapoh, M. A. (2018). Modelling energy supply options for long-term electricity generation-a case study of Ghana power system (Doctoral dissertation, University of Ghana).
- Ozawa, A., Tsani, T., & Kudoh, Y. (2022). Japan's pathways to achieve carbon neutrality through electricity generation from renewable energy sources in Iran. *Renewable and New Energy*, 6(2), 62-70. [In Persian]
- Kanté, M., Deng, S., Li, Y., & Coulibaly, S. (2023). Long-term optimization of hydro & solar power electricity generation in the Taoussa area of Mali using the MESSAGE model. *Energy Reports*, 9, 252-265.
- Khan, K. A., Hamid, A., Sharif, A., Syed, Q. R., & Anwar, A. (2025). Impact of adaptation technologies and green energy on environmental quality: Evidence from G8 economies. *Gondwana Research*, 139, 230-242.
- Kichonge, B., John, G. R., & Mkilaha, I. S. (2015). Modelling energy supply options for electricity generations in Tanzania. *Journal of Energy in Southern Africa*, 26(3), 41-57.
- Kumar, T. B., Sekhar, O. C., Ramamoorthy, M., & Lalitha, S. V. N. L. (2016). Evaluation of power capacity availability at load bus in a composite power system. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4(4), 1324-1331.
- Kuzemko, C., Blondeel, M., Dupont, C., & Brisbois, M. C. (2022). Russia's war on Ukraine, European energy policy responses & implications for sustainable transformations. *Energy Research & Social Science*, 93, 102842.
- Li, G., Yang, Y., Liu, Z., He, Z., & Li, C. (2025). Electricity demand forecasting and power supply planning under carbon neutral targets. *ENERGY REPORTS*, 13, 2740-2751.
- Lund, H. (2007). Renewable energy strategies for sustainable development. *energy*, 32(6), 912-919.
- Majles Research Center. (2022). Qānun-e jahesh-e toolid-e dānesh-bonyān [Law on the leap of knowledge-based production]. Majles Research Center of the Islamic Republic of Iran. [In Persian]
- Manzour, D., & Majed, V. (2011). A prologue on energy planning methodology. *Iranian Journal of Energy*, 14(3), 79-100. <http://necjournals.ir/article-1-267-fa.html> [In Persian]
- Melikoglu, M. (2025). Forecasting of municipal solid waste generation in Türkiye and techno-economic-environmental assessment of electricity generation via

- Watts, D., & Martinez, V. J. (2010, May). Energy planning using MESSAGE: The effect of large energy blocks in the Chilean system. In Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology. IEEE.
- Zakeri, B., Paulavets, K., Barreto-Gomez, L., Echeverri, L. G., Pachauri, S., Boza-Kiss, B., ... & Pouya, S. (2022). Pandemic, war, and global energy transitions. *Energies*, 15(17), 6114.
- Zhang, R., Zhang, J., Long, Y., Wu, W., Liu, J., & Jiang, Y. (2021). Long-term implications of electric vehicle penetration in urban decarbonization scenarios: An integrated land use–transport–energy model. *Sustainable Cities and Society*, 68, 102800.
- by 2050 – Scenario analysis using an energy modeling methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, Article 112943. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112943>
- Popov, N., Ilijovski, I., & Popovski, V. (2015). Planning of Energy Demand and Supply in Macedonia Using the MAED and MESSAGE Model.
- Rečka, L. (2011). Electricity system optimization: A case of the Czech electricity system–application of model MESSAGE. Proceedings of the 5th International Days of Statistics and Economics.
- Ren, Z., Zhang, S., Liu, H., Huang, R., Wang, H., & Pu, L. (2024). The feasibility and policy engagements in achieving net zero emission in China's power sector by 2050: A LEAP-REP model analysis. *Energy Conversion and Management*, 304(118230), 0196–8904. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118230>
- Roh, Myung Sub, Kim, Hee Won, (2017). Long term energy plan for Korea using MESSAGE for energy optimization, I.J.o.E.R.T. (IJERT). <https://www.ijert.org/research/long-term-energy-plan-for-korea-usingmessage-for-energy-optimization-IJERTV6IS080220.pdf>.
- Saffari, B., Nasr-Esfahani, R., & Mansouri, N. (2016). *Optimal sustainable energy supply planning using goal programming model: A case study of Isfahan County*. *Economic Research Quarterly*, 51(2), 413–435. <https://doi.org/10.22059/jte.2016.58459> [In Persian]
- Voumik, L. C., Islam, M. A., Ray, S., Mohamed Yusop, N. Y., & Ridzuan, A. R. (2023). CO2 emissions from renewable and non-renewable electricity generation sources in the G7 countries: static and dynamic panel assessment. *Energies*, 16(3), 1044.
- Wambui, V., Njoka, F., Muguthu, J., & Ndwali, P. (2022). Scenario analysis of electricity pathways in Kenya using Low Emissions Analysis Platform and the Next Energy Modeling system for optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168 (112871). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112871>, 1364–0321.