Journal of Economic Modeling Research
Print ISSN: 2228 - 6454
Online ISSN: 2538 - 4163
Homepage: https://jemr.khu.ac.ir/

The Long-term Electricity Planning in Iran under the Paris Agreement

Hossein Hafezi[1] | **Siab Mamipour**[2*]

1.MSc of energy economics, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran.
E-mail: hhafezi@khu.ac.ir (0000-0001-5310-9243)

2.Corresponding Author, Associate Professor, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: s.mamipoor@khu.ac.ir (0000-0001-5406-4913)

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received in revised form:

Accepted: 16 Dec. 2021

Keywords:
Climate Change, Paris Agreement, Energy Subsidy, Renewable Potential, MESSAGE Model, ARDL Model.

JEL:
C53, C61, Q21, Q47.

ABSTRACT

Climate change has emerged as a significant global challenge, with its impact increasing rapidly in recent decades. The consumption of fossil fuels, which leads to the emission of greenhouse gases like CO_2, is a major contributor to climate change. Iran, ranked as the sixth most polluted country in the world, emitted a staggering 745 million tons of CO_2 in 2020. Notably, the power plants sector in Iran accounts for roughly 30% of its total carbon emissions. As a result, the main objective of this paper is to engage in long-term planning for electricity supply and demand in Iran, aiming to reduce carbon emissions in line with the country's obligations under the Paris Agreement. To achieve this goal, we utilized the MESSAGE model to design an electricity generation system that takes into account the potential of renewable sources from 2021 to 2050. Additionally, the ARDL model was employed to estimate electricity demand under various scenarios, including subsidy reforms. These predictions were then incorporated into the long-term planning process for Iran's electricity supply system. The findings of the ARDL model highlight that the subsidy reform strategy leads to a 10% decrease in electricity demand throughout the planning period, indicating effective control over the demand side. On the other hand, the MESSAGE model's findings reveal that Iran's ability to fulfill its responsibilities under the Paris Agreement heavily relies on the utilization of renewable potentials across different regions in power supply planning. While carbon dioxide emissions in Iran's electrical sector are not expected to be reduced in the near future (2020 to 2030). However, in the long term (2040 to 2050), significant reductions in CO_2 emissions can be achieved. According to the findings, if the electricity system in Iran is designed in accordance with a chosen scenario that incorporates green technologies and subsidy reforms, the share of renewable technologies can increase from 6% in 2020 to 15%, 50%, and 78% in 2030, 2040, and 2050, respectively. Consequently, carbon emissions in the power generation sector can be reduced by 20% and 54% in 2040 and 2050, respectively, compared to 2020 levels.

Cite this article: Hafezi, Hossein., & Mamipour, Siab. (2022). The Long-term Electricity Planning in Iran under the Paris Agreement. *Journal of Economic Modeling Research*, 13 (49), 153-201. DOI: 0000000000000000000

Publisher: Kharazmi University
DOI: 000000000000000000000000000
Journal of Economic Modeling Research, Vol, 13, No. 49, 2022, pp. 153-201.

Journal of Economic Modeling Research
Print ISSN: 2228 - 6454
Online ISSN: 2538 - 4163
Homepage: https://jemr.khu.ac.ir/
Kharazmi University

برنامه‌ریزی بلندمدت برق در ایران در چارچوب توافقنامه پاریس

حسین حافظی[1] | سیاب ممی پور*[2]

۱. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، گروه آموزشی اقتصاد انرژی و منابع، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی

رایانامه: hhafezi@khu.ac.ir (شناسه ارکید 0000-0001-5310-9243)

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه آموزشی اقتصاد انرژی و منابع، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی.

رایانامه: s.mamipoor@khu.ac.ir (شناسه ارکید 0000-0001-5310-9243)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۱/۱۹

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش :
۱۴۰۲/۰۸/۰۷

واژه‌های کلیدی:
تغییرات اقلیمی، توافق‌نامه پاریس، یارانه انرژی، پتانسیل‌های تجدید پذیر، مدل MESSAGE، مدل ARDL.

طبقه‌بندی JEL:
C53, C61, Q21, Q47.

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی در چند دهه اخیر که به‌صورت چشمگیری افزایش‌یافته است، مسئله تغییرات اقلیمی است. از مهم‌ترین علل ایجاد تغییرات اقلیمی می‌توان به انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه CO_2 ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی اشاره کرد. ایران با انتشار ۷۴۵ میلیون تن CO_2 در سال ۲۰۲۰ رتبه ششم آلوده‌کننده کشور جهان قرار دارد. بر اساس گزارش ترازنامه انرژی حدود ۳۰ درصد از کل انتشار کربن ایران متعلق به بخش نیروگاه‌های تولیدکننده برق می‌باشد. ازاین‌رو، هدف اصلی این مطالعه، برنامه‌ریزی بلندمدت عرضه و تقاضای برق جهت کاهش میزان انتشار کربن مطابق تعهدات ایران در قالب توافقنامه پاریس است. برای این منظور، در سمت عرضه برق، از مدل MESSAGE جهت برنامه‌ریزی سیستم تولید برق با در نظر گرفتن پتانسیل‌های تجدیدپذیر در طی دوره ۲۰۲۱–۲۰۵۰ استفاده‌شده است و در سمت تقاضای برق، با استفاده از مدل ARDL مقادیر تقاضای برق تحت سناریوهای اصلاح یارانه قیمتی، پیش‌بینی‌شده و در برنامه‌ریزی بلندمدت سیستم عرضه برق کشور مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج حاصل از مدل ARDL نشان می‌دهد که اصلاح کامل یارانه قیمت برق منجر به کاهش ۱۰ درصدی تقاضای برق در طول دوره برنامه‌ریزی می‌شود. لذا سیاست اصلاح یارانه می‌تواند در کنترل سمت تقاضا

تا حدودی مؤثر باشد. نتایج حاصل از مدل MESSAGE حاکی از آن است که استفاده از پتانسیل‌های تجدیدپذیر شناسایی‌شده در استان‌های مختلف در برنامه‌ریزی سمت عرضه برق، تأثیر بسزایی در دستیابی ایران به تعهدات خود مطابق توافقنامه پاریس دارد. بااین‌حال، انتشار CO_2 در بخش برق ایران در کوتاه‌مدت قابل‌کنترل نیست و میزان انتشار دی‌اکسید کربن تا ۱۰ سال آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۰) نه‌تنها کاهش نمی‌یابد بلکه میزان انتشار آن افزایش می‌یابد. اما در بلندمدت (یعنی بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۴۰)، انتشار CO_2 به میزان چشمگیری قابل‌کنترل است. نتایج نشان می‌دهد در صورت برنامه‌ریزی سیستم برق کشور مطابق با سناریو منتخب (تکنولوژی‌های سبز همراه با اصلاح یارانه قیمت برق)، سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند از ۶٪ در سال ۲۰۲۰ به ترتیب به ۱۵٪، ۵۰٪ و ۷۸٪ در سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ افزایش یابد. بنابراین، انتشار کربن در بخش تولید برق در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۲۰ می‌تواند به ترتیب ۲۰٪ و ۵۴٪ کاهش یابد.

استناد: حافظی، حسین و ممی پور، سیاب (۱۴۰۱). برنامه‌ریزی بلندمدت برق در ایران در چارچوب توافقنامه پاریس. *تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۱۳ (۴۹)، ۱۵۳-۲۰۱. DOI: 0000000000000000000000

ناشر: دانشگاه خوارزمی.

۱. مقدمه

مصرف سوخت‌ها فسیلی در طی دهه‌های گذشته مدام در حال افزایش بوده است و میزان انتشار کربن در جهان همواره روند صعودی را طی می‌کند (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۰). چنین الگوی مصرفی در جهان با ایجاد تغییرات اقلیمی شدید، آثار و پیامدهای مخربی را به همراه خواهد داشت. از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات اقلیمی می‌توان به افزایش گرمایش جهانی و در پی آن بالا آمدن سطح آب دریاها در اثر ذوب یخچال‌ها در قطبین اشاره کرد (هیئت بین دولتی تغییر اقلیم[۱]، ۲۰۱۳). بر اساس گزارش سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا[۲] تغییر دما و گرمایش جهانی در ۴۰ سال گذشته روندی کاملاً صعودی را طی کرده است به‌طوری‌که نرخ رشد دمای جهانی از صفر درجه سلسیوس[۳] در سال ۱۸۸۰ به ۱ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۰ رسیده است (سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا، ۲۰۲۰). روند تغییر دما و گرمایش جهانی تهدیدی جدی برای سلامت کل زمین است؛ لذا کنترل تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌ها و مسائلی است که در قرن حاضر پیش روی همه کشورهای جهان قرارگرفته است (باربر[۴]، ۱۹۹۷). ازاین‌رو، توافقات بین‌المللی جهت تغییر این الگوی مصرف و کاهش انتشار آلاینده‌ها بسیار ضروری و حیاتی است (نصیر و همکاران[۵]، ۲۰۲۱؛ لامبورگ[۶]، ۲۰۲۰؛ گوپتا[۷]، ۲۰۱۷؛ تامازیان و رائو[۸]، ۲۰۱۰). کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییر آب‌وهوا (UNFCCC[9]) یک معاهده بین‌المللی برای

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change
[2] NASA
[۳] درجه سِلسیوس نام قدیمی درجه سانتی گراد می‌باشد که در زبان سوئدی به آن Celsius و با مخفف C° یا سانتی‌گراد شناخته می‌شود یکای سنجش دما معرفی می‌شود.
[4] Barbier
[5] Nasir et al
[6] Lomborg
[7] Gupta
[8] Tamazian and Rao
[9] United Nations Framework Convention on Climate Change

همکاری بین‌المللی است که با این تغییرات آب و هوایی مبارزه می‌کند (آری و ساری[۱]، ۲۰۱۷). پس از ناکامی پروتکل کیوتو[۲] در دستیابی به اهداف تعیین‌شده، در راستای کاهش آلودگی ناشی از گازهای گلخانه‌ای و جلوگیری از پیامدهای وخیم تغییرات اقلیمی، در تاریخ ۱۲ دسامبر ۲۰۱۵، توافقنامه تغییرات اقلیمی پاریس توسط ۱۹۶ کشور شکل گرفت. این توافقنامه از ۴ نوامبر ۲۰۱۶ لازم‌الاجرا شد (لیو و همکاران[۳]، ۲۰۲۰). توافق‌نامه پاریس باهدف جلوگیری از افزایش دمای زمین بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد در قرن جاری و تلاش در جهت محدودیت افزایش دما به زیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به سطح آن پیش از صنعتی شدن، تهیه و تدوین شد (لیبو و همکاران[۴]، ۲۰۲۲؛ ژانگ و همکاران[۵]، ۲۰۲۰؛ هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۱۸). بر اساس مفاد توافقنامه پاریس مقررشده است که با استفاده از ابزارهای تشویقی و تسهیلی از قبیل تأمین منابع مالی، توسعه و انتقال فناوری، ظرفیت‌سازی و از طریق مشارکت تمامی کشورها در برنامه جهانی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، هدف این توافقنامه محقق شود (باجاج و تاکور[۶]، ۲۰۲۲). در این توافقنامه بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی تمامی کشورها (شامل مجموع کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه) تأکید شده است (یاکوبوتا و همکاران[۷]، ۲۰۲۲).

ایران به‌عنوان یک کشور متکی بر سوخت‌های فسیلی، سهم قابل‌توجهی در مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها به خود اختصاص داده است و مطابق توافقنامه پاریس متعهد به کاهش ۴ الی ۱۲ درصدی در انتشار کربن در بازه زمانی ۲۰۳۰-۲۰۲۰ نسبت به سال پایه ۲۰۱۰ است. البته سناریو کاهش انتشار ۱۲ درصدی منوط به لغو تحریم‌های ظالمانه علیه ایران و ارائه کمک‌های مهندسی-

[1] Ari and Sari

[۲] برای مطالعه بیشتر در خصوص پروتکل کیوتو، به پیش بهار و همکاران(۱۳۹۸) مراجعه شود.

[3] Liu et al

[4] Libo et al.

[5] Zhang et al.

[6] Bajaj and Thakur

[7] Iacobuta

اقتصادی به ایران است (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۲۰۱۶). بر اساس گزارش سازمان Berkeley Earth، دمای ایران در سال ۲۰۲۰ معادل ۲+ درجه سلسیوس بوده است. طبق پیش‌بینی‌ها در صورت تداوم روند فعلی، تا پایان سال ۲۱۰۰ میزان دمای ایران به چیزی حدود ۴+ درجه سلسیوس خواهد رسید (هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۲۱). لذا جهت مقابله با پیامدهای وخیم تغییرات اقلیمی ازجمله افزایش دمای ایران، لازم است اقدامات عملی جهت دستیابی به تعهدات ایران ذیل توافق‌نامه پاریس صورت گیرد.

یکی از مهم‌ترین دلایل تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی انتشار آلایندگی‌ها به‌ویژه انتشار دی‌اکسید کربن است. بر اساس گزارش اطلس جهانی کربن[۱] مطابق جدول (۱)، ایران در سال ۲۰۲۰ با میزان انتشار ۷۴۵ میلیون تن CO_2 رتبه ششم بیشترین میزان انتشار کربن جهان را به خود اختصاص داده است. سرعت انتشار کربن در ایران بالاست به‌طوری‌که در طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۰، میزان انتشار ۱.۵ برابر شده است[۲].

جدول (۱). رتبه‌بندی کشورها بر اساس میزان انتشار CO_2 برحسب میلیون تن

Rank	Country	MtCO2
1	China	10668
2	Unites States of America	4713
3	India	2442
4	Russia	1577
5	Japan	1031
6	**Iran**	**745**
7	Germany	644
8	Saudi Arabi	626
9	South Korea	598
10	Indonesia	590

منبع: اندرو و پیترز[۳]، ۲۰۲۲)

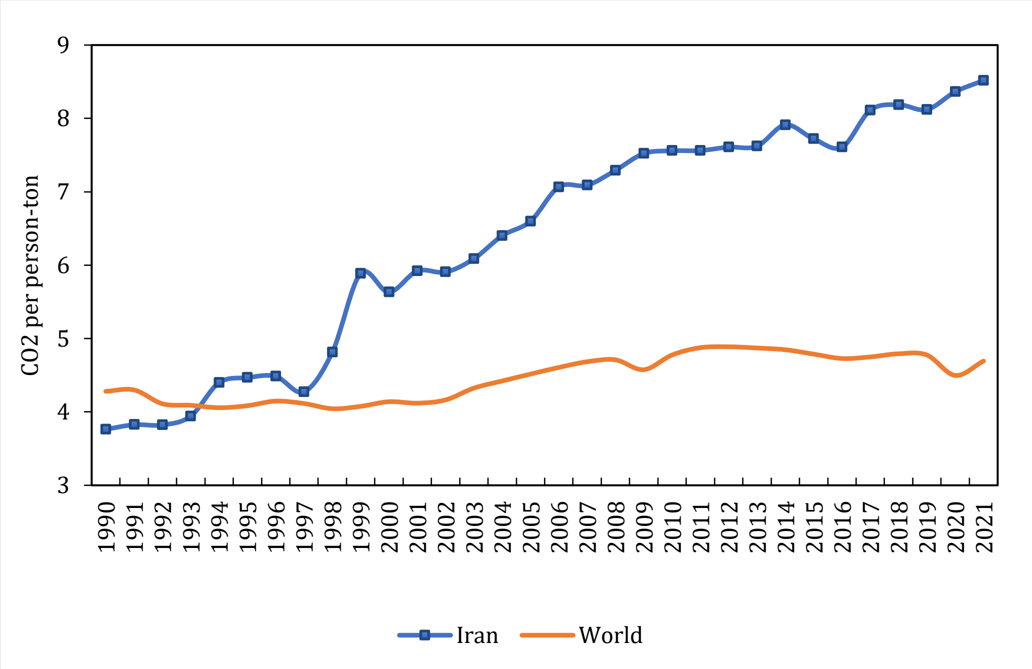
[1] Globalcarbonatlas.org

[۲] میزان انتشار کربن ایران در سال ۲۰۱۰، معادل ۴۹۸/۶ میلیون تن CO_2 بوده است (آژانس بین المللی انرژی، ۲۰۱۰).

[3] Andrew and Peters

بخش عمده‌ای از کربن منتشرشده در جهان ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است. طی سال‌های گذشته مصرف سوخت‌های فسیلی روندی صعودی داشته و همچنان این رشد دیده می‌شود. بر اساس گزارش داده‌های دنیای ما[1] (۲۰۲۱)، مصرف سرانه انرژی در جهان معادل ۲۰ مگاوات ساعت می‌باشد که در بین حامل‌های انرژی به ترتیب نفت با بیش از ۶ مگاوات ساعت در رتبه نخست، زغال‌سنگ با بیش از ۵/۶ مگاوات ساعت در رتبه دوم و گاز با ۵ مگاوات ساعت در رتبه سوم قرار دارد. همچنین بر اساس همین گزارش میزان مصرف سرانه ایران بیش از ۴۱ مگاوات ساعت می‌باشد که به ترتیب گاز با ۲۶/۸ مگاوات ساعت در رده نخست و نفت با ۱۳ مگاوات ساعت در رتبه دوم قرار دارد. همچنین قابل‌ذکر است با افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، میزان انتشار کربن نیز افزایش می‌یابد. مطابق نمودار(۱)، میزان انتشار سرانه کربن جهان در سال ۲۰۲۱ معادل ۴/۷ تن به ازای هر نفر است که این میزان برای کشور ایران در سال ۲۰۲۱ برابر ۸/۵۲ تن (یعنی حدود دو برابر میانگین جهانی) به ازای هر نفر می‌باشد.

[1] Ourworldindata.org



نمودار (۱). انتشار سرانه دی‌اکسید کربن ناشی از سوخت‌های فسیلی ایران و جهان برحسب تن

(منبع: **دنیای ما، ۲۰۲۱**)

اصلاح یارانه سوخت‌های فسیلی به‌عنوان یکی از سیاست‌های کلیدی برای مبارزه با تغییرات آب و هوایی، کاهش مصرف انرژی، کنترل میزان انتشار دی‌اکسید کربن و کمک به دستیابی به اهداف توافقنامه پاریس در چارچوب کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوایی می‌باشد (کادی و همکاران[1]، ۲۰۱۵؛ آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۵؛ کنوانسیون سازمان ملل درباره چارچوب تغییر اقلیم در سازمان ملل، ۲۰۱۸؛ بورنیکس و چاتی[2]، ۲۰۱۴). بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، میزان یارانه انرژی ایران در سال ۲۰۲۰ معادل ۲۹/۶ میلیارد دلار تخمین زده‌شده که از این لحاظ ایران در رتبه نخست کشورهای جهان قرار دارد. از کل یارانه انرژی

[1] Coady et al
[2] Burniaux and Chateau

پرداختی ایران ۱۲/۴۸ میلیارد دلار سهم برق، ۱۲/۱۸ میلیارد دلار سهم گاز و ۴/۹۷ میلیارد دلار سهم یارانه پرداختی نفت بوده است. این میزان یارانه پرداختی توسط ایران منجر به بروز مشکلات زیادی در مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی (شامل تغییرات اقلیمی، انتشار کربن و ...) شده است. بدیهی است پرداخت یارانه انرژی توسط دولت زمینه تشویق مصرف بی‌رویه انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کند (لین و لی[1]، ۲۰۱۲؛ رنشلر و بازیلیان[2]، ۲۰۱۷؛ لی و سان[3]، ۲۰۱۸). یکی از موارد مصرف بی‌رویه ایران مربوط به برق است که در سبد یارانه ایران نیز بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است (قربانی و همکاران، ۲۰۲۰).

همچنین بر اساس جریان انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور در سال ۱۳۹۹ ملاحظه می‌شود بیش از ۹۸ درصد انتشار دی‌اکسید کربن کشور ناشی از احتراق گاز طبیعی و نفت خام می‌باشد به‌طوری‌که حدود ۶۸ درصد در بخش مصرف انرژی و ۳۲ درصد در بخش تولید و یا عرضه انرژی صورت می‌گیرد که شامل دو بخش پالایشگاه و نیروگاه است. بخش نیروگاهی کشور با سهم ۳۰ درصدی از کل انتشار کربن کشور، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۸). پرداخت انرژی ارزان‌قیمت به واحدهای تولیدی، همراه با مدیریت نامناسب، ناکارایی‌ها و موارد دیگر مانع حرکت به سمت ابداع، تغییر فناوری، توانمندسازی و نوآوری بنگاه‌ها شده است (صندوق بین‌المللی پول، ۲۰۱۵).

بر اساس آمار مربوط به یارانه انرژی جهان، بررسی و مقایسه مصرف سرانه انرژی ایران به‌عنوان کشوری با بیشترین یارانه انرژی با میانگین جهانی مصرف سرانه انرژی حاوی نکات جالبی است. بر اساس گزارش داده‌های دنیای ما، میانگین مصرف سرانه برق جهان معادل ۳/۳ مگاوات ساعت و

[1] Lin and Li
[2] Rentschler and Bazilian
[3] Li and Sun

میزان مصرف سرانه برق ایران برابر با ۴ مگاوات ساعت است. چنین اختلافی در مصرف سرانه ایران و میانگین جهانی نتیجه‌ای به‌جز پرداخت یارانه انرژی نیست. البته باید به سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد عرضه برق کشور توجه کرد. چراکه بخشی از کاهش میزان انتشار CO_2 میانگین جهانی در مقایسه با انتشار کربن ایران مربوط به استفاده و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که با توجه به حجم بالای پرداخت یارانه انرژی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران در مقایسه با میانگین جهانی بسیار ناچیز است. سهم انرژی‌های تجدید پذیر از کل سبد عرضه برق ایران ۶ درصد می‌باشد درصورتی‌که همین سهم در سبد مصرف سرانه برق جهانی معادل ۲۹ درصد می‌باشد (توانیر، ۱۳۹۹).

البته در موضوع اصلاح یارانه انرژی در بخش برق باید به این نکته توجه داشت که چه سهمی از یارانه متعلق به خود دولت و چه سهمی متعلق به بخش خصوصی است. بر اساس گزارش ترازنامه انرژی (۱۳۹۹) کل ظرفیت اسمی بخش نیروگاهی ایران معادل ۸۵۳۷۶/۶ مگاوات می‌باشد که بخش خصوصی با سهم ۴۹ درصدی حدوداً ۴۱۹۶۷ مگاوات را به خود اختصاص داده است. همچنین کل تولید ناویژه برق ایران در سال ۱۳۹۹ معادل ۳۴۲۴۶۰/۶ گیگاوات ساعت بوده که سهم بخش خصوصی معادل ۱۹۷۵۸۳/۸ گیگاوات ساعت می‌باشد یعنی حدوداً سهمی معادل ۵۷/۷ درصدی از کل سبد تولید ناویژه برق کشور متعلق به بخش خصوصی است. همچنین بر اساس همین گزارش، مصرف سوخت‌های فسیلی مورداستفاده در بخش نیروگاهی کل کشور به تفکیک بخش دولتی و بخش خصوصی برحسب نوع حامل انرژی(نفت گاز، نفت کوره، گاز طبیعی، گاز کک و گاز کوره بلند) ارائه‌شده است.

مطابق گزارش مذکور در سال ۱۳۹۹ کل مصرف نفت گاز، نفت کوره، گاز طبیعی، گاز کک و گاز کوره بلند در بخش نیروگاهی کشور به ترتیب معادل ۱۰۱۸۷/۸ میلیون لیتر، ۵۸۹۱/۲ میلیون لیتر، ۶۷۳۱۸/۱ میلیون مترمکعب، ۱۸۶/۴ میلیون مترمکعب و ۲۷۶۱/۳ میلیون مترمکعب می‌باشد که

سهم بخش خصوصی به ترتیب معادل ۷۸/۷ درصد نفت گاز، ۹ درصد نفت کوره و ۶۲/۲ درصد گاز طبیعی است. لذا مقایسه فوق میان میزان تولید برق حاصل از نیروگاه‌های بخش خصوصی و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی این بخش و کل برق تولیدی کشور لزوم اصلاح یارانه را آشکارتر می‌نماید.

بنا بر مطالب فوق مطالعه حاضر به دنبال یافتن پاسخ مناسب برای سؤالات زیر می‌باشد.

۱- چه پتانسیل‌های تجدیدپذیر در استان‌های مختلف وجود دارد و چگونه می‌توان از این پتانسیل‌ها در برنامه‌ریزی بلندمدت تولید برق در ایران استفاده کرد؟
۲- اصلاح یارانه انرژی در بخش برق تا چه میزان می‌تواند تقاضای برق در ایران را تغییر دهد؟
۳- استفاده از پتانسیل‌های تجدیدپذیر و اصلاح یارانه برق تا چه میزان می‌توان در کنترل انتشار دی‌اکسید کربن در چارچوب توافقنامه پاریس مؤثر باشد؟

این مطالعه در شش بخش نگارش شده است. بعد از مقدمه، در بخش دوم مطالعات تجربی موردبررسی قرارگرفته است. بخش سوم و چهارم به ترتیب به روش‌شناسی و معرفی سناریوها و داده‌ها می‌پردازد. در بخش پنجم نتایج حاصل از برآورد مدل طرف تقاضا و مدل طرف عرضه به تفکیک ارائه می‌گردد. درنهایت، بخش ششم به نتایج حاصل از مطالعه و پیشنهادها اختصاص‌یافته است.

۲. پیشینه تحقیق

بررسی مطالعات تجربی در زمینه دستیابی به اهداف کاهش انتشار کربن نشان می‌دهد که اصلاح یارانه سوخت‌های فسیلی و توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر نقش پررنگی در دستیابی به تعهدات کشورها مطابق توافق‌نامه پاریس و پروتکل کیوتو دارد (جهانگیر پور و زیبایی، ۱۳۹۹؛ پیش بهار و

همکاران، ۱۳۹۸؛ چپلیف[1] و ون در منسبروگه[2]، ۲۰۱۹). در توافق‌نامه پاریس کشورهای عضو، برنامه‌های ملی برای دستیابی به اهداف توافق‌نامه پاریس بکار گرفته‌اند (هندایانی[3] و همکاران، ۲۰۲۲؛ جیانگ[4] و همکاران، ۲۰۲۲). این توافق‌نامه برای دستیابی به اهداف مدنظر خود، دارای یک معیار بررسی قانونی الزام‌آور می‌باشد که طی آن تعهدات کشورها تحت عنوان مشارکت‌های ملی تعیین‌شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (سلمان[5] و همکاران، ۲۰۲۰).

بدیهی است برای به حداقل رساندن میزان انتشار دی‌اکسید کربن و دستیابی به اهداف انتشار گازهای گلخانه‌ای، به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و سرمایه‌گذاری در توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر نیاز هست (مرشد[6] و همکاران، ۲۰۲۱؛ مگان-تیان و پان-مائو[7]، ۲۰۲۱؛ لیو[8] و همکاران، ۲۰۲۰؛ الگنایبت[9] و همکاران، ۲۰۱۹). لذا مطالعات در حوزه بررسی امکان دستیابی ایران به تعهدات خود مطابق توافق‌نامه پاریس ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که راهکار مناسب، توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، بهبود کارایی نیروگاه‌های سوخت فسیلی و جلوگیری از سوزاندن گازهای همراه است (جنگ‌آور و همکاران،۱۳۹۷؛ قدک ساز و صبوحی، ۲۰۲۰). یافته‌های حاصل از مطالعه نجاتی و همکاران(۱۳۹۸) نشان می‌دهد که کاهش انتشار کربن مطابق توافق‌نامه پاریس موجب کاهش تولید در بخش‌های مختلف اقتصاد و افزایش قیمت محصولات در بخش صنعت و کشاورزی می‌شود.

برخی مطالعات نقش اصلاح یارانه قیمت حامل‌های انرژی را در میزان کاهش انتشار کربن کشور و به دنبال آن کنترل افزایش میانگین دمای زمین و همچنین تأثیر این سیاست‌ها بر متغیرهای اقتصادی

[1] Maksym Chepeliev
[2] Dominique van der Mensbrugghe
[3] Handayani
[4] Jiang
[5] Salman
[6] Murshed
[7] Megan-Tian and Pan-Mao
[8] Liu
[9] Algunaibet

موردبررسی قراردادند (حق‌شناس و همکاران، ۲۰۲۲). یافته‌های حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که واقعی کردن قیمت حامل‌های انرژی و پرداخت یارانه انرژی تجدیدپذیر نقش اساسی در افزایش کارایی نیروگاه‌های سوخت فسیلی، توسعه ظرفیت نیروگاهی کشور علی‌الخصوص تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و کاهش میزان انتشار کربن دارد (منظور و آریان پور، ۲۰۱۷؛ ازدمیر[1] و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین دیگر یافته‌ها نشان می‌دهد مالیات کربن به‌صورت جداگانه یک استراتژی مؤثر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نخواهد بود. اما استفاده از این ابزار در کنار سیاست پرداخت یارانه به انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند اقدامی مؤثر باشد (ین[2] و همکاران، ۲۰۱۸؛ آریان پور و شفیعی، ۲۰۱۵).

مطالعات بخش برق نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در سناریوهای مختلف، تسریع در اصلاح قیمت انرژی دارای آثار فنی–اقتصادی و محیط‌زیستی قابل‌توجه و مفید است. اگرچه با حذف یارانه‌ها، حساسیت مصرف‌کننده به قیمت افزایش می‌یابد اما این واکنش در طول زمان متفاوت است. لذا هرچه زودتر یارانه حذف شود اثر بیشتری روی کنترل تقاضای برق خواهد داشت (آریان پور و همکاران، ۲۰۲۲a؛ آریان پور و همکاران، ۲۰۲۲b). مطالعات پیرامون بررسی اصلاح یارانه برق در کشورهای مختلف حائز نتایج جالبی است. نتایج این مطالعات در کشور ایران نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت کاهش یارانه بخش برق باعث می‌شود تورم افزایش و رشد اقتصادی کاهش پیداکرده و تراز تجاری کشور با کسری مواجه شود (صانعی و سعادت، ۱۳۹۲). نتایج مطالعه گلان[3] (۲۰۱۸) برای کشور کویت نشان می‌دهد که میزان انتشار کربن ۰/۵ درصد کاهش و تولید ناخالص داخلی ۰/۴ درصد افزایش می‌یابد. الدوبیان[4] و قاسم[5] (۲۰۲۱) نشان می‌دهد که اصلاحات یارانه انرژی در کشور عربستان علاوه بر سودآوری ۳/۳ میلیارد دلاری برای این کشور، نقش بسیار پررنگی در کاهش

[1] Ozge Ozdemir
[2] Guangzhi Yin
[3] Ayele Gelan
[4] Mohammad Aldubyan
[5] Anwar Gasim

مصرف بنزین و برق دارد. نتایج حاصل از مطالعه جیا[1] و لین[2] (۲۰۲۱) در کشور چین نشان می‌دهد که حذف یارانه انرژی تأثیر مثبتی بر عملکرد اقتصادی خواهد داشت اما تأثیری منفی بر ساختار صنعتی و رفاه اجتماعی دارد. همچنین موجب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. همچنین رامیرز[3] و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند سیاست اصلاح یارانه انرژی در کشور مکزیک می‌تواند رفاه مصرف‌کنندگان کالاهای انرژی را افزایش دهد.

مطالعات تجربی متعددی در زمینه برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی و بررسی امکان دستیابی به تعهدات کشورها مطابق توافق‌نامه پاریس صورت گرفته است. بررسی این مطالعات نشان می‌دهد توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر در کنار اصلاح یارانه انرژی می‌تواند راه‌حل مناسبی جهت دستیابی ایران به تعهدات خود مطابق توافق‌نامه پاریس باشد. لذا نوآوری این مطالعه در نظر گرفتن پتانسیل‌های تجدیدپذیر به‌صورت استانی در کنار اصلاح یارانه برق است. در این مطالعه ۳۶۹ تکنولوژی تجدیدپذیر در سطح استانی و ۲۰ تکنولوژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی در سطح ملی تعریف‌شده است. لذا با توجه به این‌که منطق مدل برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی بر حداقل سازی کل هزینه‌ها اعم از هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه سوخت، هزینه تعمیرات و نگهداری و هزینه انتقال و توزیع است، با تعریف تکنولوژی‌ها به‌صورت استانی امکان از بین رفتن بخش زیادی از پتانسیل‌های تجدیدپذیر به دلیل داشتن هزینه بالا، منتفی است.

۳. روش‌شناسی

در این مطالعه از ارتباط بین مدل‌های سمت تقاضای انرژی (ARDL) و یک مدل برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی (MESSAGE) استفاده‌شده است. مدل ARDL با استفاده از متغیرهای توضیحی پیش‌بینی‌شده، تقاضای برق را برای سال‌های آینده پیش‌بینی می‌کند. برای برآورد تقاضای برق در

[1] Zhijie Jia
[2] Boqiang Lin
[3] Jose Carlos Ramirez

حالت اصلاح یارانه به مدل تقاضای برق نیاز داریم تا مقادیر تقاضا را بعد از اصلاح یارانه بتوانیم پیش‌بینی کنیم تقاضای برق برآورد شده به‌صورت برون‌زا به مدل برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی (MESSAGE) وارد می‌شود تا ترکیب بهینه تولید برق در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۵۰ به دست آید.

۳-۱. مدل طرف تقاضا

در مطالعات تجربی، تأثیر اصلاح یارانه بر تقاضای انرژی معمولاً با استفاده از مدل‌های تعادل عمومی محاسبه پذیر (CGE)، مدل داده ستانده و مدل‌های اقتصادسنجی موردبررسی قرارگرفته است. در این مطالعه، تابع تقاضای برق به‌وسیله مدل خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی ($ARDL$[1]) به‌عنوان یک مدل اقتصادسنجی که زیرمجموعه‌ای از الگوهای سری زمانی است، برآورد می‌شود. مدل $ARDL$ نخستین بار توسط پسران و همکاران (۲۰۰۱) توسعه داده شد. این مدل در زمینه تقاضای حامل‌های انرژی به‌ویژه برق مورداستفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل که منجر به استفاده گسترده از آن شده، توانایی استفاده هم‌زمان از متغیرهای مانا و نامانا است. همچنین مدل ARDL علاوه بر ضرایب کوتاه‌مدت، با ارائه تخمین بلندمدت و اثبات این رابطه، امکان پیش‌بینی بلندمدت را برای پژوهشگر فراهم می‌کند (آدام و بکو[2]، ۲۰۱۲).

معمولاً مدل‌سازی تقاضای برق بر اساس تئوری تقاضای سنتی است که تقاضا برای یک محصول را به‌عنوان تابعی از قیمت، درآمد و جمعیت مشخص می‌کند. اما در برخی مطالعات سعی شده تا اثر تغییرات دما به‌عنوان یک متغیر توضیحی بر تغییرات تقاضای برق در نظر گرفته شود (امودی و همکاران[3]، ۲۰۱۸؛ واین[4]، ۲۰۱۲). در این مطالعه، معادله تقاضای برق به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تقاضای برق می‌پردازد؛ بنابراین معادله تقاضای برق ایران علاوه بر قیمت واقعی برق، تولید

---

[1] Autoregressive Distributed Lags
[2] Adom & Bekoe
[3] Nnaemeka Vincent Emodi, Taha Chaiechi and ABM Rabiul Alam Beg
[4] Vine

ناخالص داخلی واقعی و جمعیت، اثر تغییر دمای سالیانه کشور نیز به نمایندگی اثر تغییر اقلیم به‌عنوان متغیر توضیحی در مدل لحاظ شده است (همانند مطالعات زایر و ابراهیم[1]، ۱۹۹۶؛ هور[2] و همکاران، ۲۰۰۵؛ کایتز،[3] ۲۰۲۰؛ آریسوی و ازترک،[4] ۲۰۱۴ و ادام و بکو، ۲۰۱۲).

$$lnEC_t=\alpha + \beta_1 lnEP_t + \beta_2 lnGDP_t + \beta_3 lnPOP_t + \beta_4 lnTemp_t + \varepsilon_t \qquad (۱)$$

به‌طوری‌که در معادله فوق EC_t مصرف برق، EP_t قیمت واقعی برق، GDP_t تولید ناخالص داخلی واقعی، POP_t جمعیت ایران و $Temp_t$ تغییرات دما است. به دلیل اختلاف در واحد اندازه-گیری متغیرهای موجود در مدل، از لگاریتم طبیعی(ln) آن‌ها استفاده‌شده است تا خالص از واحد شوند و ضرایب به‌صورت کشش قابل تفسیر باشند. β_1، β_2،β_3 و β_4 به ترتیب بیانگر کشش‌های تقاضای برق نسبت به متغیرهای قیمت، درآمد، جمعیت و تغییرات دما هستند. بنابراین شکل کلی مدل ARDL به‌صورت زیر است:

$$\Delta\, ln\, EC_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i\, \Delta\, ln\, EC_{t-i} + \sum_{i=0}^{q1} \beta_i\, \Delta\, ln\, EP_{t-i} + \sum_{i=0}^{q2} \gamma_i\, \Delta\, ln\, GDP_{t-i} + \sum_{i=0}^{q3} \delta_i\, \Delta\, ln\, POP_{t-i} + \sum_{i=0}^{q4} \theta_i\, \Delta\, ln\, Temp_{t-i} + \varphi_1\, ln\, EC_{t-1} + \varphi_2\, ln\, EP_{t-1} + \varphi_3\, ln\, GDP_{t-1} + \varphi_4\, ln\, POP_{t-1} + \varphi_5\, ln\, Temp_{t-1} + e_t \qquad (۲)$$

قسمت اول معادله که دارای ضرایب α_i،β_i،γ_i،δ_i و θ_i می‌باشند، بیانگر ضرایب کوتاه‌مدت مدل و قسمت دوم معادله، پارامترهای φ_1، φ_2، φ_3، φ_4 و φ_5 نمایانگر ضرایب بلندمدت هستند و وقفه‌های بهینه q_1 و q_2 و q_3 و q_4 و p توسط معیارهای اطلاعاتی مانند AIC و SBC تعیین می‌شود. باید توجه داشت، برای بررسی وجود رابطه بلندمدت بین متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی

1 Zayer & Ibrahim
2 Hor
3 Kayetz
4 Arisoy & Ozturk

از آزمون باند استفاده می‌شود (پسران و همکاران، ۲۰۰۱). فرضیه صفر این آزمون به‌صورت زیر است:

$$H_0: \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4 = \varphi_5 = 0 \quad (۳)$$

اگر آماره F بزرگ‌تر از میزان کران بالایی باشد، فرضیه صفر رد خواهد شد و رابطه بلندمدت وجود خواهد داشت و اگر کوچک‌تر از کران پایین باشد فرضیه صفر رد نخواهد شد و اگر بین دو کران باشد، آزمون بی‌نتیجه خواهد شد (پسران و همکاران، ۲۰۰۱).

قبل از برآورد مدل ابتدا باید مانایی متغیرها بررسی شود. آزمون مانایی متغیرها از الزامات مهم در برآوردهای معادلات اقتصادی با داده‌های سری زمانی است (پسران و همکاران، ۲۰۰۱). نامانا بودن سری‌های زمانی (داشتن ریشه واحد) منجر به رگرسیون کاذب می‌شود. بنابراین مطابق با نظریه هم‌جمعی نوین، ضروری می‌باشد تا نسبت به مانایی یا نامانایی متغیرها اقدام گردد که متداول‌ترین روش برای سنجش مانایی متغیرها، آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته[1](ADF) می‌باشد. در آزمون ریشه واحد، فرضیه صفر یعنی وجود ریشه واحد در مقابل عدم وجود ریشه واحد را آزمون می‌کند.

هدف این مطالعه برآورد و بررسی تابع تقاضای برق در بلندمدت و پیش‌بینی آن برای ۳۰ سال آینده یعنی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ است. ازاین‌رو، ابتدا لازم است تابع تقاضای برق ارائه‌شده در معادله (۲) با استفاده از داده‌های تاریخی ۱۹۸۰-۲۰۲۰ برآورد شود تا بعد از برآورد پارامترهای مدل، بتوان مقادیر تقاضای برق در آینده را با توجه به مقادیر پیش‌بینی‌شده‌ی متغیرهای توضیحی، پیش‌بینی کرد. برای پیش‌بینی متغیرهای توضیحی یعنی تولید ناخالص داخلی، جمعیت و تغییرات دما، از پیش‌بینی منابع معتبر بین‌المللی استفاده‌شده است که در جدول (۲) اشاره‌شده است و متغیر توضیحی قیمت برق

[1] Augmented Dickey–Fuller

به‌عنوان متغیر سناریو بر اساس هزینه تمام‌شده تولید برق و سناریوهای یارانه‌ای در نظر گرفته‌شده است. درنهایت با جاگذاری مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیرهای توضیحی در تابع تقاضای برق برآورد شده، مقدار تقاضای برق تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی‌شده است.

۳-۲. مدل طرف عرضه

مدل MESSAGE یکی از پرکاربردترین مدل‌های برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی است. این مدل مبتنی بر سیستم مرجع انرژی[۱] است و در موسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی ([۲]یاسا) توسعه پیدا کرد. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA[3]) آخرین نسخه مدل را از موسسه مذکور دریافت و با افزودن واسط کاربری، استفاده از این مدل را ساده‌تر کرده و آن را در اختیار کشورهای عضو قرارداد (آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، ۲۰۰۷). تابع هدف مدل MESSAGE کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم انرژی است که درنتیجه آرایش (ترکیب) بهینه تکنولوژی‌ها در سمت عرضه را ارائه می‌کند (شراتنهولزر[۴]، ۱۹۸۱). حل مسئله در مدل MESSAGE به بهینه‌سازی یک تابع هدف تحت قیود و محدودیت‌های مختلف و مشخص می‌انجامد. مجموعه محدودیت‌ها موجب شکل‌گیری فضای امکان‌پذیر تولید برای سیستم عرضه انرژی می‌شود. مهم‌ترین محدودیت‌های مدل عبارت‌اند از: ۱) قیود مربوط به‌ضرورت تأمین تقاضای انرژی، ۲) قیود مربوط به شبکه انتقال و توزیع، ۳) قیود مربوط به سطوح فرآورش و تبدیل، ۴) محدودیت‌های محیط زیستی(مالیات بر کربن و یارانه انرژی)، ۵) محدودیت‌های فنی فنّاوری‌های انرژی و ۶) محدودیت منابع طبیعی و اقتصادی موردنیاز جهت توسعه سیستم عرضه.

---

[۱] سیستم مرجع انرژی جریان انواع حامل‌های انرژی اولیه، ثانویه و نهایی برای تأمین تقاضا را منعکس می‌نماید. بدین ترتیب مراحل استخراج، فرآوری، تبدیل و ذخیره، انتقال و توزیع و مصرف در آخرین وسایل و تجهیزات در آن نشان داده می‌شود(منظور و همکاران، ۱۳۹۳).

[2] International Institute for Applied System Analysis (IIASA)
[3] International Atomic Energy Agency
[4] Schrattenholzer

محدودیت‌های فوق یک مجموعه امکان‌پذیر تولید برای سیستم عرضه انرژی ایجاد می‌کنند. اما برای یافتن بهترین نقطه کارکرد در این منطقه امکان‌پذیر باید معیار خاصی در نظر گرفت. معمولاً هزینه‌های کل سیستم را به‌عنوان معیار در نظر می‌گیرند و با حداقل کردن کل هزینه‌ها، بهترین نقطه کارکرد سیستم عرضه انرژی را به دست می‌آورند. بدین ترتیب تابع هدف مدل عرضه انرژی شامل کل هزینه‌های سیستم خواهد بود. هزینه‌های مذکور باید برای تمام سطوح، تکنولوژی‌ها، مناطق و زمان‌های مختلف محاسبه‌شده و به یک سال پایه تنزیل داده شوند. در این صورت، مجموع ارزش حال کل هزینه‌های سیستم، تابع هدف مدل را شکل خواهد داد. با حداقل کردن تابع هدف مذکور، با توجه به محدودیت‌های سیستم عرضه انرژی، وضعیت بهینه به دست می‌آید[1].

در این مدل سطوح تقاضای انرژی به‌صورت متغیر برون‌زا به مدل داده می‌شود. مهم‌ترین ورودی‌های مدل را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم‌بندی کرد:

- اطلاعات اقتصادی شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری، هزینه سوخت و زیست‌محیطی
- اطلاعات فنی شامل بازده، طول عمر، زمان احداث، مصرف داخلی، ضریب ظرفیت و پخش مواد آلاینده به‌وسیله تکنولوژی‌ها
- قیود شامل قیود روی ظرفیت (قیود قیمتی) و قیود روی ظرفیت (قیود فعالیتی)

۳-۳. تعریف سناریوها

در این مطالعه، سعی شده است هم در سمت عرضه و هم در سمت تقاضا، سناریوهای اصلاحی در جهت کاهش انتشار آلاینده‌ها در صنعت برق کشور طراحی و موردمطالعه قرار گیرد. در سمت

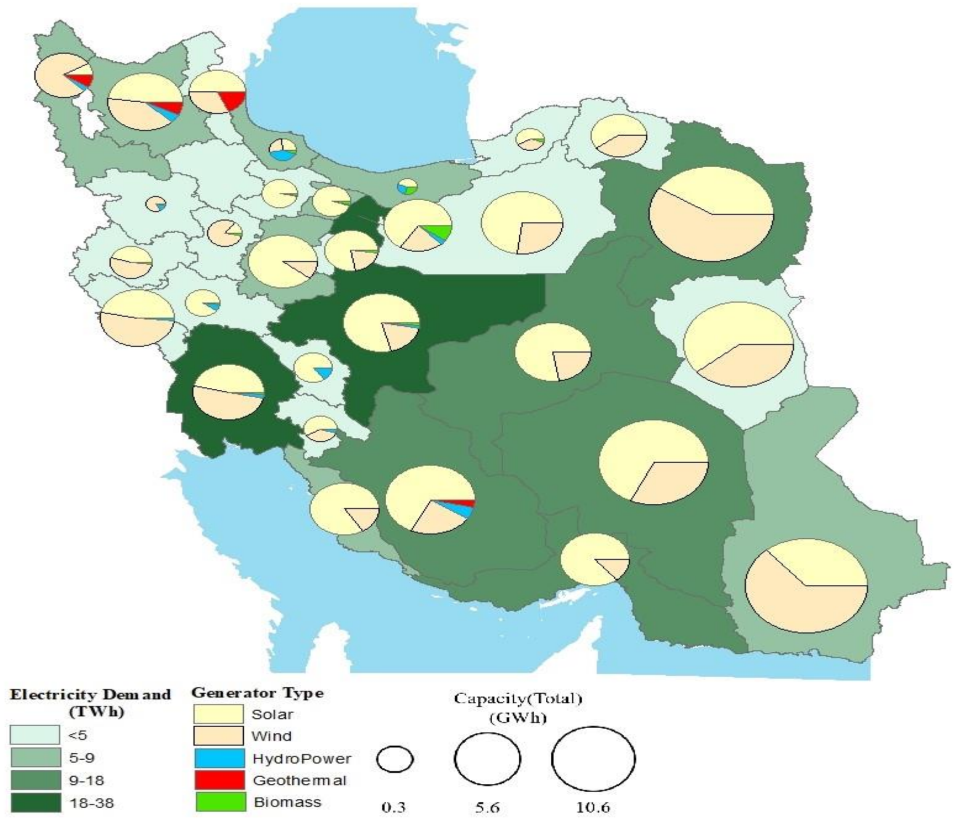
---

[1] برای مطالعه بیشتر در خصوص تابع هدف و قیود مدل MESSAGE به مطالعه منظور و آریان پور(۲۰۱۸) مراجعه شود.

عرضه، استفاده از پتانسیل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر موردتوجه قرارگرفته و برای برنامه‌ریزی دقیق‌تر عرضه برق، پتانسیل‌های تجدیدپذیرها به تفکیک استانی در نظر گرفته‌شده است. در سمت تقاضا، سناریوهای اصلاح یارانه قیمت در دو حالت تداوم روند یارانه‌ای گذشته و حذف تدریجی یارانه قیمت برق در نظر گرفته‌شده است.

- **سناریوی اصلاحی در سمت عرضه**

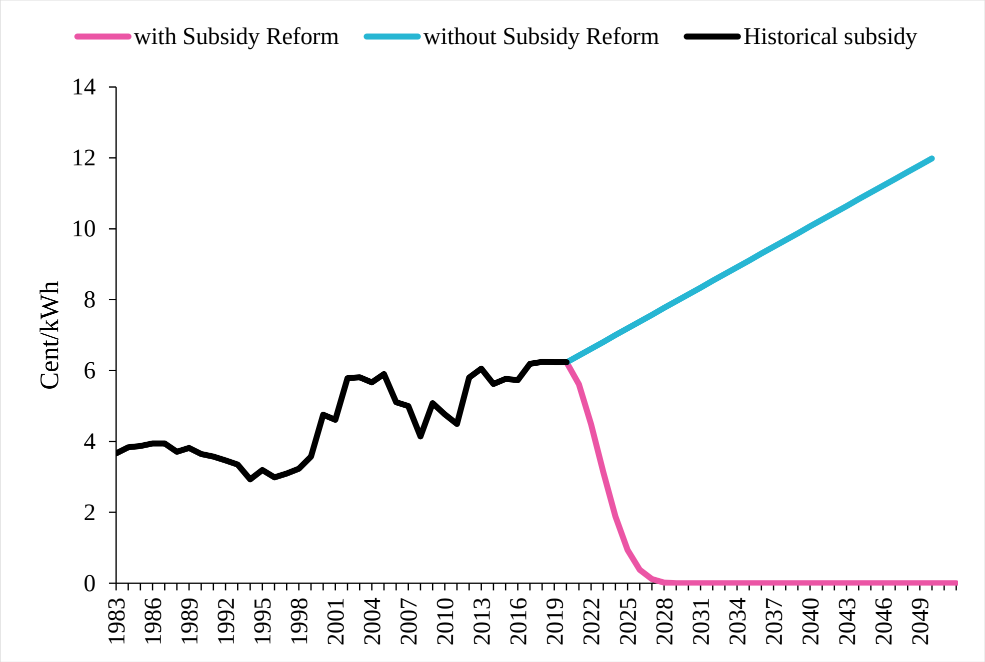
در خصوص استفاده از ظرفیت تجدیدپذیرها در سناریوهای موردبررسی، از گزارش پتانسیل سنجی سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) استفاده‌شده است. بر اساس گزارش ساتبا در سال ۱۳۹۹ کل برق تولیدشده حاصل از تکنولوژی‌های تجدیدپذیر ایران معادل ۹۰۳ مگاوات ساعت بوده است. بر اساس گزارش توانیر، کل برق مصرفی ایران در سال ۱۳۹۹ معادل ۲۸۷ تراوات ساعت بوده است. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل سبد عرضه برق کشور بسیار ناچیز و رقمی نزدیک به ۰/۰۰۰۳ درصد می‌باشد (تکنولوژی‌های برق-آبی بزرگ در نظر گرفته نشده است). با محاسبه ظرفیت برق-آبی بزرگ این میزان به ۶ درصد می‌رسد. بر اساس گزارش پتانسیل سنجی استانی ساتبا، کل ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر ایران معادل ۱۰۹ گیگاوات ساعت (یعنی ۱۲۱ برابر ظرفیت فعلی) است. در صورت استفاده از کل پتانسیل موجود در کشور علاوه بر توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، سهم تکنولوژی‌های مبتنی بر سوخت فسیلی به میزان چشمگیری کاهش و انتشار کربن نیز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کم خواهد شد. در نمودار (۲) مصرف برق و کل پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر به تفکیک استان‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS گزارش‌شده است. در این مطالعه، همه پتانسیل‌های تجدیدپذیر به تفکیک استانی در برنامه‌ریزی بلندمدت عرضه برق در نظر گرفته‌شده است.



نمودار ۲. پتانسیل‌های تجدیدپذیر و مصرف برق به تفکیک استان‌های ایران

- **سناریوهای اصلاحی سمت تقاضا**

در این مطالعه، دو سناریو (i) تداوم یارانه قیمتی گذشته (without Subsidy Reform) و (ii) حذف تدریجی یارانه برق (with Subsidy Reform)، در نظر گرفته‌شده است. سناریو ادامه روند گذشته به پیش‌بینی تقاضای برق تا سال ۲۰۵۰ با فرض تداوم روند فعلی قیمت برق و بدون اصلاح یارانه می‌پردازد و سناریو اصلاح یارانه به پیش‌بینی تقاضای برق تا سال ۲۰۵۰ با فرض اصلاح کامل یارانه برق در بازه زمانی ده‌ساله (۲۰۳۰-۲۰۲۰) می‌پردازد (نمودار ۳).



نمودار ۳. سناریوی اصلاح یارانه قیمت برق در افق مطالعه

بنابراین در این مطالعه دو سناریو اصلاحی به شرح زیر موردبررسی قرارگرفته است:

i. سناریو تکنولوژی سبز[1] بدون اصلاح یارانه برق

ii. سناریو تکنولوژی سبز با اصلاح یارانه برق

۴. داده‌ها

۴-۱. داده‌های سمت تقاضا

در این مطالعه برای برآورد مدل سمت تقاضا از داده‌های سری زمانی کل تقاضای برق، تولید ناخالص داخلی واقعی، جمعیت، قیمت واقعی برق و میانگین دمای سالیانه کشور در طی دوره زمانی

---

[1] اصطلاحاً به تکنولوژی‌هایی اطلاق می‌گردد که انتشار کربن کمتری نسبت به تکنولوژی‌های مبتنی بر سوخت فسیلی دارند. منظور تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای می‌باشد.

۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ استفاده‌شده است. بعد از برآورد تابع تقاضای برق با استفاده از روش ARDL، مقادیر پیش‌بینی متغیرهای توضیحی یعنی جمعیت، تولید ناخالص داخلی واقعی و میانگین دمای سالیانه کشور در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ از منابع و مراجع آماری معتبر ملی و بین‌المللی استفاده‌شده است.

جدول ۲. متغیرهای مورداستفاده در پژوهش

بازه زمانی	نام متغیر	منبع (سال)
مقادیر تاریخی (۱۹۸۰-۲۰۲۰)	مصرف برق ایران	ترازنامه انرژی(۲۰۲۰)
	میانگین دمای سالیانه ایران	بانک جهانی (۲۰۲۰)
	قیمت اسمی برق	توانیر (۲۰۲۰)
	شاخص قیمت‌ها بر پایه ۱۳۹۵	بانک مرکزی (۲۰۲۰)
	جمعیت	بانک جهانی (۲۰۲۰)
	تولید ناخالص داخلی بر پایه ۲۰۱۵	صندوق بین‌المللی پول (۲۰۲۰)
مقادیر پیش‌بینی (۲۰۲۱-۲۰۵۰)	پیش‌بینی تولید ناخالص داخلی	موسسه PWC (۲۰۲۱)
	پیش‌بینی جمعیت	پژوهشکده آمار (۲۰۲۱)
	پیش‌بینی دما	سازمان Berkeley Earth (۲۰۲۱)

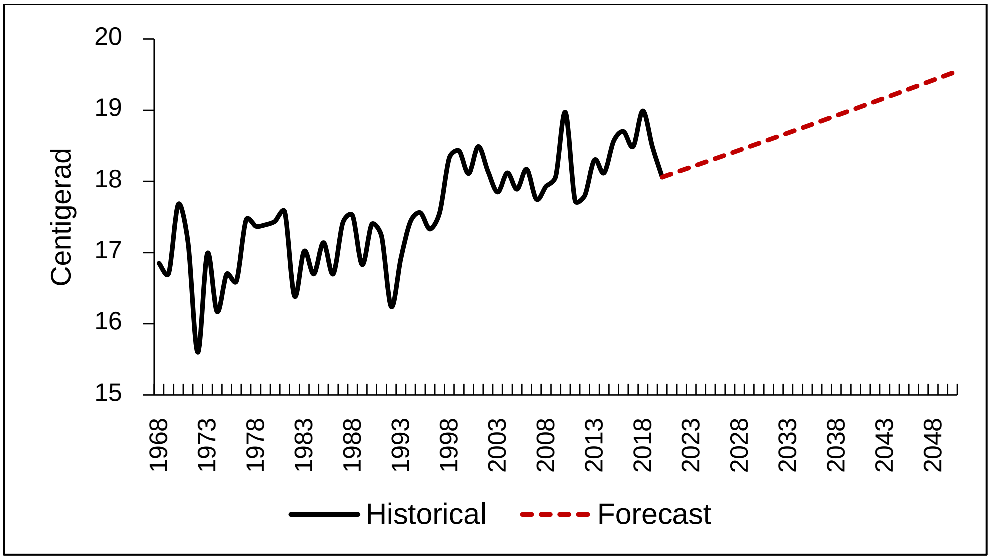
بر اساس گزارش بانک جهانی میانگین دمای سالیانه ایران با نرخ رشد ۰/۲۶٪ سالیانه از ۱۷/۴ درجه سلسیوس در سال ۱۹۸۰ به ۱۸ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۰ رسیده است که نشان از افزایش قابل‌توجه دما در ایران در ۵ دهه گذشته دارد. جمعیت ایران با نرخ رشد سالیانه ۲٪ از ۳۹ میلیون نفر در سال ابتدایی به ۸۴ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ رسیده است. بر اساس گزارش ترازنامه انرژی، تقاضای برق ایران با نرخ رشدی معادل ۷٪ سالیانه از ۱۷ تراوات ساعت در سال ۱۹۸۰ به ۲۸۷ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۰ رسیده است که روند کاملاً صعودی را نشان می‌دهد. مطابق گزارش صندوق بین‌المللی پول تولید ناخالص داخلی واقعی ایران برحسب سال ۲۰۱۵ از ۱۴۹/۵ میلیارد دلار در سال ۱۹۸۰ به ۴۱۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ رسیده است میانگین نرخ رشد آن ۲/۵٪ به‌صورت سالیانه می‌باشد.

جدول ۳. آمار توصیفی متغیرها (۲۰۲۰-۱۹۸۰)

متغیرها	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	نسبت ۲۰۲۰ به ۱۹۸۰	متوسط نرخ رشد سالیانه
EC	تراوات ساعت	۱۱۵/۶	۲۸۷/۴	۱۶/۹	۱۷/۰۴	۷٪
EP	ریال/ کیلووات ساعت	۸۷۱/۱۵	۵۵۵۸	۴۳۷	۰/۳۶	-۲/۵٪
GDP	میلیارد دلار	۲۸۰/۷	۴۵۲/۹	۱۴۱/۸	۲/۷۴	۲/۵٪
POP	میلیون نفر	۶۴/۲	۸۴	۳۹	۲/۱۷	۲٪
Temp	درجه سانتی‌گراد	۱۷/۷۵	۱۸/۹۹	۱۶/۲	۱/۰۳	۰/۲۶٪

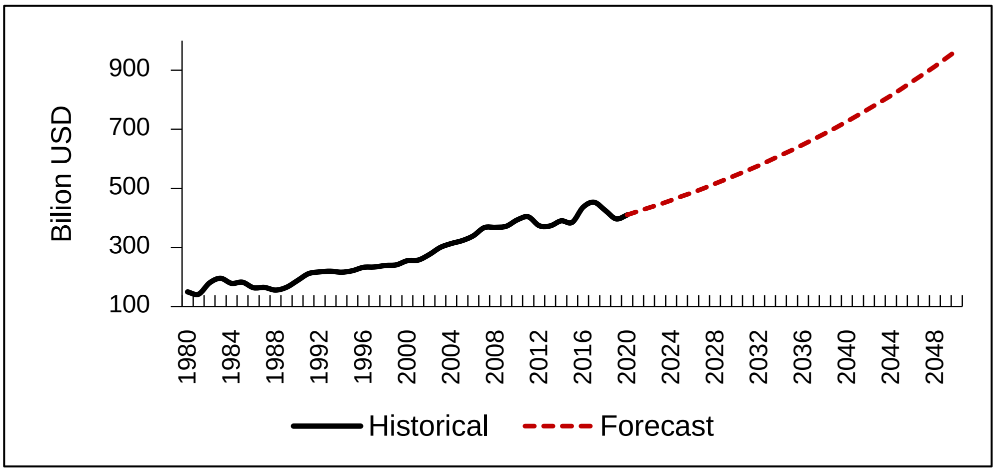
منبع: یافته‌های تحقیق

این مطالعه برای افزایش در دقت پیش‌بینی تقاضای برق ایران از پیش‌بینی برخی منابع بین‌المللی معتبر استفاده می‌کند. در گام نخست پیش‌بینی مقادیر متغیرهای دما، جمعیت و تولید ناخالص داخلی حقیقی توسط منابع بین‌المللی معتبر جمع‌آوری می‌شود. در گام دوم متغیر قیمت حقیقی برق طی دو سناریو با فرض تداوم وضعیت فعلی (پرداخت یارانه) و سناریو اصلاح یارانه پیش‌بینی می‌شود. درنهایت مقادیر پیش‌بینی‌ها را در مدل پایه‌ای تخمین زده‌شده (مدل ARDL)، جاگذاری شده و مقادیر آینده تقاضای برق کل کشور پیش‌بینی می‌گردد. روند مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیرهای توضیحی دما، تولید ناخالص داخلی و جمعیت مطابق در نمودارهای ۴، ۵ و ۶ نشان داده‌شده است. بر اساس گزارش سازمان *Berkeley Earth* (۲۰۲۱)، با فرض تداوم روند فعلی تغییرات میانگین دمای سالیانه کشور (رشد سالیانه ۰/۲۶ درصدی) دمای ایران از ۱۸ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۰ به ۲۰ درجه سلسیوس در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید (نمودار ۴).



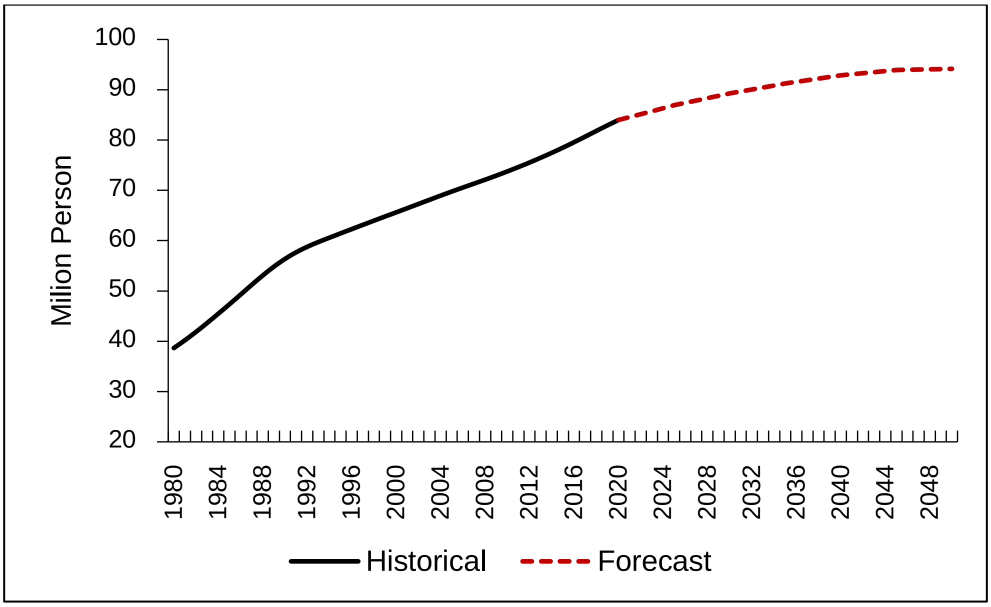
نمودار(۴) روند میانگین تغییرات دمای سالیانه در طی دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۵۰ (منبع:Berkeley Earth, 2021)

بر اساس پیش‌بینی گزارش *PWC* (۲۰۲۱) تولید ناخالص واقعی ایران از ۴۱۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ به ۹۶۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. این سازمان میانگین رشد تولید ناخالص داخلی حقیقی ایران را ۳ درصد سالیانه پیش‌بینی کرده است (نمودار ۵).



نمودار(۵) روند تولید ناخالص داخلی واقعی در طی دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۵۰ (منبع: PWC, 2021)

مطابق گزارش پژوهشکده آمار (۲۰۲۱) جمعیت ایران از ۸۴ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ به ۹۴ میلیون نفر در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. این پیش‌بینی مطابق با سناریو تثبیت باروری کل (۲/۱فرزند) است (نمودار ۶).



نمودار(۶) روند جمعیت در طی دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۵۰ (منبع: پژوهشکده آمار، ۲۰۲۰)

۴-۲. داده‌های سمت عرضه

به‌طورکلی سیستم مرجع انرژی برای تولید برق شامل منابع، تکنولوژی‌های تولید برق، انتقال و توزیع برق و تقاضای برق می‌باشد. در زیر برخی از داده‌های مورداستفاده در مدل سمت عرضه گزارش‌شده است.

- **منابع**

منابع مورداستفاده در تولید برق به دودسته سوخت‌های فسیلی (نفت کوره، گاز طبیعی، نفت گاز و زغال‌سنگ) و غیر فسیلی (برق-آبی، خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی، زیست‌توده و هسته‌ای)

تقسیم می‌شوند. قیمت سوخت‌های فسیلی مورداستفاده جهت تولید برق در جدول ۴ گزارش‌شده است. در این مطالعه فرض شده است متوسط نرخ رشد سالیانه قیمت‌ها، ۱/۱ درصد خواهد بود.

جدول ۴. قیمت سوخت‌های فسیلی در سال پایه و نرخ رشد سالیانه آن‌ها در افق زمانی مطالعه

سوخت فسیلی	قیمت (واحد)	متوسط نرخ رشد سالیانه (درصد)
نفت کوره	۳۱/۳۲(Cent/Liter)	۱/۱
گاز طبیعی	۱۱/۲۶ (Cent/m^3)	۱/۱
گازوئیل	۴۱/۵۳ (Cent/Liter)	۱/۱
زغال‌سنگ	۳۸/۹ ($/ton)	۱/۱

منبع(آریان پور و همکاران، ۲۰۲۲).

- **تکنولوژی‌های تولید برق**

فناوری‌های تولید برق عبارت‌اند از: نیروگاه‌های فسیلی(دیزلی، گازی، بخاری، سیکل ترکیبی و زغال‌سنگ سوز)، تکنولوژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی: سولار فتوولتائیک و سولار حرارتی[1]، توربین بادی[2]، زمین‌گرمایی، زیست‌توده، برق-آبی[3]) و نیروگاه هسته‌ای. اطلاعات فنی و اقتصادی این تکنولوژی‌ها در جدول ۵ گزارش‌شده است.

[1] Solar Photovoltaic & Concentrated solar power
[2] Wind Turbine
[3] Hydropower technology

جدول ۵. اطلاعات فنی و اقتصادی تکنولوژی‌های تولیدکننده برق

تکنولوژی (نیروگاه)	هزینه سرمایه‌گذاری ($/Kw)	هزینه ثابت ($/Kw)	هزینه متغیر ($/Kwyr)	ضریب ظرفیت %	عمر مفید Year	زمان احداث Year
هسته‌ای	۴۷۰۴	۶۹	۴	۸۵	۴۰	۷
بخاری	۱۱۰۰	۹	۴	۷۵	۳۰	۵
بخاری معمولی	۹۰۰	۹	۴	۷۶	۳۰	۵
موتور گازسوز(DG)	۸۰۰	۸	۴۴	۸۰	۱۰	۱
توربین گازی	۵۵۰	۴/۴	۵/۶	۷۰	۱۲	۲
توربین گازی معمولی	۵۵۰	۴/۵	۵/۵۷	۶۹	۱۲	۲
سیکل ترکیبی	۷۶۰	۴	۴	۷۳	۳۰	۵
سیکل ترکیبی معمولی	۷۶۰	۵	۳/۶	۷۳	۳۰	۵
گازوئیل سوز	۵۵۰	۸	۳۸	۷۵	۱۰	۲
خورشیدی	۱۰۶۱	۹/۶	–	۱۹/۳	۲۵	۱
بادی	۱۴۴۶	۴۸	–	۴۰	۲۵	۱
زمین‌گرمایی	۵۲۵۰	۸۴	۹/۶	۷۵	۲۵	۶
خورشیدی متمرکز	۷۰۰۰	۶۴	–	۴۰	۳۰	۲
برق-آبی	۱۵۴۰	۱۰/۸	–	۲۰	۵۰	۸
لند فیل	۲۳۵۲	۲۰	۱۴/۸	۸۰	۲۰	۳
پیرولیز	۲۳۵۲	۲۰	۱۴/۸	۸۰	۲۰	۳

منبع: (IRENA, 2020; NREL, 2020); IEA, 2017 .

- **انتقال و توزیع برق**

هزینه انتقال و توزیع برق و میزان اتلاف شبکه برحسب درصد نیز به‌عنوان ورودی در مدل در نظر گرفته‌شده است. هزینه انتقال و توزیع تکنولوژی‌های تجدیدپذیر به ازای فاصله از شبکه برق و ظرفیت هر تکنولوژی در هر استان به‌طور جداگانه در مدل لحاظ شده است. اما هزینه متغیر انتقال و توزیع برق برای نیروگاه‌های تجدیدناپذیر به ترتیب معادل ۶۶/۹ و ۷۱/۲۵ دلار به ازای هر کیلووات سال در نظر گرفته‌شده است. میزان اتلاف شبکه انتقال و توزیع برق در افق زمانی مطالعه در جدول ۶ گزارش‌شده است.

جدول ۶. درصد اتلاف در شبکه انتقال و توزیع برق

سال	اتلاف شبکه توزیع (درصد)	اتلاف شبکه انتقال (درصد)
۲۰۲۰	۱۴	۴
۲۰۲۵	۱۲	۳
۲۰۳۰	۱۰	۳
۲۰۳۵	۹	۳
۲۰۴۰	۸	۲
۲۰۴۵	۸	۲
۲۰۵۰	۸	۲

منبع(IRENA, 2020; IEA, 2017; NREL, 2020).

- **تقاضای برق**

در این مطالعه تقاضای برق طی دو سناریو توسط مدل ARDL پیش‌بینی و به‌صورت متغیر برونزا در مدل MESSAGE داده‌شده است. با توجه به نوسانات تقاضای برق در طول سال در این مدل از مفهوم نواحی باری استفاده می‌شود. لذا این مطالعه ۳۶ ناحیه باری شامل ۱۲ ناحیه باری به‌صورت ماهیانه و ۳ ناحیه باری به‌صورت روزانه (پایه، میانی و پیک) را در نظر گرفته است.

۵. نتایج مدل

۵-۱. پیش‌بینی تقاضای برق با استفاده از مدل ARDL

در این مطالعه، جهت پیش‌بینی بلندمدت تقاضای برق از مدل ARDL استفاده‌شده است. در این مدل، تابع تقاضای برق بر اساس اطلاعات تاریخی (۱۹۸۰-۲۰۲۰) برآورد شده سپس بر اساس مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیرهای توضیحی، تقاضای برق در آینده برای افق زمانی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌شود. برای پیش‌بینی متغیرهای مستقل مدل مذکور، از پیش‌بینی منابع معتبر بین‌المللی برای جمعیت، تولید ناخالص داخلی و میانگین دمای سالیانه کشور استفاده‌شده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، قیمت برق طی دو سناریو تداوم روند گذشته و اصلاح یارانه، درنظر گرفته‌شده است. نحوه محاسبه قیمت برق، تفاضل هزینه تمام‌شده برق از میزان یارانه پرداختی به ازای هر کیلووات ساعت می‌باشد. در سناریو تداوم روند گذشته، پرداخت یارانه مطابق سال‌های گذشته تداوم‌یافته و روندی صعودی را طی خواهد کرد و در سناریو اصلاح یارانه برق، کل یارانه پرداختی به‌صورت تدریجی و در طی ده سال (۲۰۲۱-۲۰۳۰) به‌طور کامل اصلاح و در سال ۲۰۵۰-۲۰۳۰ قیمت برق بدون یارانه یا به عبارتی بر اساس هزینه تمام‌شده محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است هزینه تمام‌شده برق در هرسال از مدل سمت عرضه (مدل *MESSAGE*) محاسبه‌شده است.

آزمون مانایی از الزامات مهم در برآورد معادلات اقتصادی با داده‌های سری زمانی است. لذا قبل از برآورد مدل، لازم است ابتدا مانایی متغیرها مورد آزمون قرار گیرد. برای استفاده از مدل $ARDL$ همه متغیرها باید در سطح و یا با یک‌بار تفاضل گیری، مانا شوند. نتایج حاصل از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته (ADF) نشان می‌دهد متغیرهای $lnEC_t$ و $lnTemp_t$ در سطح مانا هستند درحالی‌که سایر متغیرها در سطح مانا نبوده اما با یک‌بار تفاضل گیری مانا می‌شوند. پس شروط اولیه جهت برآورد مدل $ARDL$ فراهم است. در مرحله بعد معادله شماره (۲) در بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۰

برآورد شده و با توجه به محدودیت حجم نمونه، از معیار شوارتز بیزین جهت تعیین مدل بهینه استفاده‌شده است. مدل بهینه برآورد شده ARDL(1,0,1,0,4) می‌باشد. بر اساس نتایج مدل تحقیق در جدول ۷ می‌توان گفت که علامت تمامی ضرایب تخمین زده‌شده، مطابق با انتظارات تئوریک است. این بدین معنی است که قیمت واقعی برق دارای تأثیر منفی بر مقدار کل تقاضای برق می‌باشد که تأییدکننده قانون تقاضا است. همچنین تولید ناخالص داخلی(درآمد) واقعی، جمعیت و دما اثر مثبتی بر تقاضای برق داشته است. معیار خوبی برازش مدل(R^2) نشان‌دهنده آن است که ۹۹ درصد تغییرات متغیر وابسته (تقاضای برق) توسط متغیرهای توضیحی (قیمت برق، تولید ناخالص داخلی واقعی، جمعیت و دما) توضیح داده می‌شود و این مدل برای پیش‌بینی مقادیر آینده تقاضای برق، مدل مناسبی محسوب می‌شود.

جدول ۷. برآورد کشش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیرهای مؤثر بر تقاضای برق با استفاده از مدل ARDL

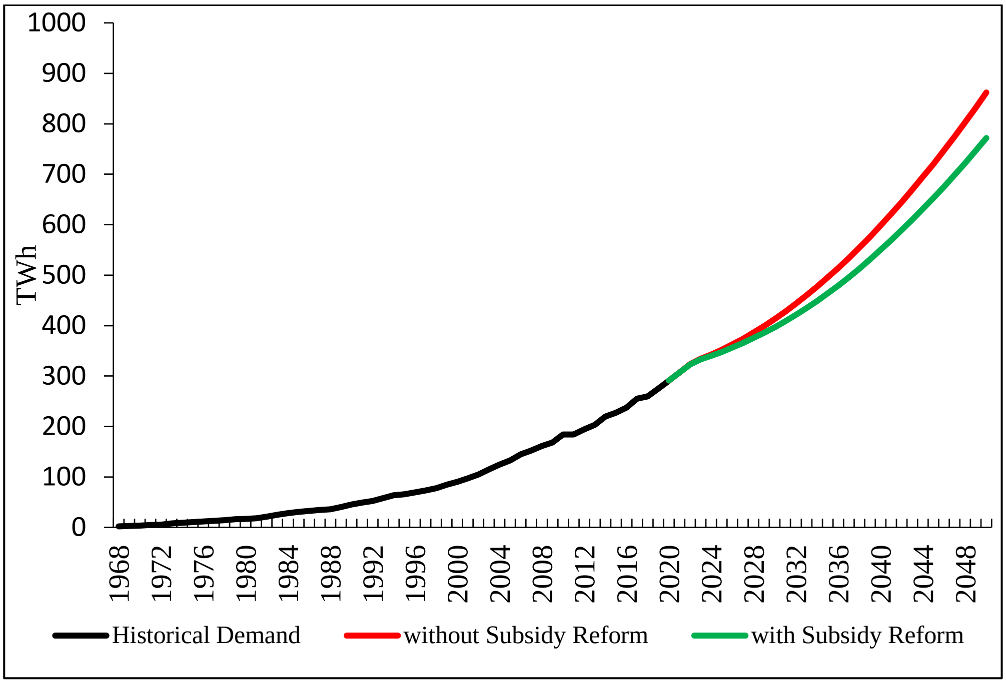
متغیرها	ضرایب کوتاه‌مدت	ضرایب بلندمدت
کشش قیمتی	-0.011	*** -0.09
کشش درآمدی	** 0.18	** 0.54
کشش جمعیتی	* 0.23	**1.82
کشش دما	** 0.09	** 4.83
ضریب تصحیح خطا	*** -0.12	--
R^2 تعدیل‌یافته	0.99	
آزمون باند	F-Statistic = 105.86 F[I(0)] = 2.56 F[I(1)] = 3.49	
آزمون عدم وجود خودهمبستگی	2.35 (Prob = 0.11)	
آزمون همسانی واریانس	1.07 (Prob = 0.41)	
آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها	2.5 (Prob = 0.28)	
آزمون RESET رمزی	Prob = 0.93	

*، **، *** به ترتیب نشانگر معنی‌داری ضرایب در سطوح ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪ است.

نتایج حاصل از مدل *ARDL* نشان می‌دهد که کشش و حساسیت مصرف‌کنندگان به تغییرات قیمت برق نسبت به تغییرات درآمد، دما و جمعیت کمتر است و برق یک کالای کم‌کشش محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که افزایش ۱۰٪ قیمت برق، در کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب منجر به کاهش مصرف برق به‌اندازه ۰/۱ و ۰/۹ درصد می‌شود. بنابراین اصلاح یارانه قیمتی یا افزایش قیمت برق تأثیر قابل‌توجهی بر کنترل مصرف برق نخواهد داشت و سیاست‌های غیرقیمتی در سمت تقاضا همانند بهبود تکنولوژی و افزایش بهره‌وری سیستم‌های مصرف‌کننده برق موردنیاز است. همچنین نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد برق یک کالای نرمال ضروری محسوب می‌شود و با افزایش درآمد واقعی، مصرف برق با کشش درآمدی کوچک‌تر از یک، افزایش می‌یابد. درحالی‌که نتایج کشش‌های جمعیتی و دما نشان می‌دهد که مصرف برق در بلندمدت به‌طور چشمگیری تحت تأثیر تغییرات این دو متغیر است به‌طوری‌که با افزایش ۱٪ جمعیت و دما به ترتیب مصرف برق به میزان ۱/۸ و ۴/۸ درصد افزایش می‌یابد. آزمون‌های تشخیص همانند آزمون‌های عدم خودهمبستگی، همسانی واریانس، نرمال بودن توزیع جملات خطا و عدم تورش تصریح مدل نشان می‌دهد که همه این فروض برقرار بوده و ضرایب برآورد شده از خصوصیات مطلوب برخوردار هستند. همچنین نتایج آزمون باند، وجود رابطه بلندمدت را تائید می‌کند و این مدل برای پیش‌بینی بلندمدت مناسب می‌باشد.

در نمودار ۷، کل تقاضای برق ایران در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۱ طی دو سناریو بدون اصلاح و با اصلاح یارانه برق پیش‌بینی‌شده است. مطابق سناریو بدون اصلاح یارانه، کل تقاضای برق ایران از ۲۸۷ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۰ به ترتیب به ۴۱۳ تراوات ساعت در سال ۲۰۳۰ و ۸۶۲ تراوات ساعت در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. همچنین مطابق سناریو اصلاح یارانه، کل تقاضای برق در سال ۲۰۳۰ به ۳۹۷ تراوات ساعت و در سال ۲۰۵۰ به ۷۷۲ تراوات ساعت خواهد رسید. از مقایسه سناریوهای مذکور می‌توان دریافت که در سناریو اصلاح یارانه قیمت برق مقدار تقاضا در سال‌های

۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۴٪ و ۱۰٪ کمتر از سناریو بدون اصلاح یارانه است. درواقع، مطابق کشش قیمتی بلندمدت برق (کاهش حدود یک‌درصدی مصرف برق درازای افزایش ۱۰ درصد در قیمت برق) و نمودار ۳ می‌توان استدلال کرد در سناریوی اصلاح یارانه، قیمت برق در سال ۲۰۵۰ نسبت به سناریوی بدون اصلاح یارانه برق، بیش از ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد؛ ازاین‌رو، این افزایش منجر به کاهش ۱۰ درصدی مصرف برق خواهد شد.

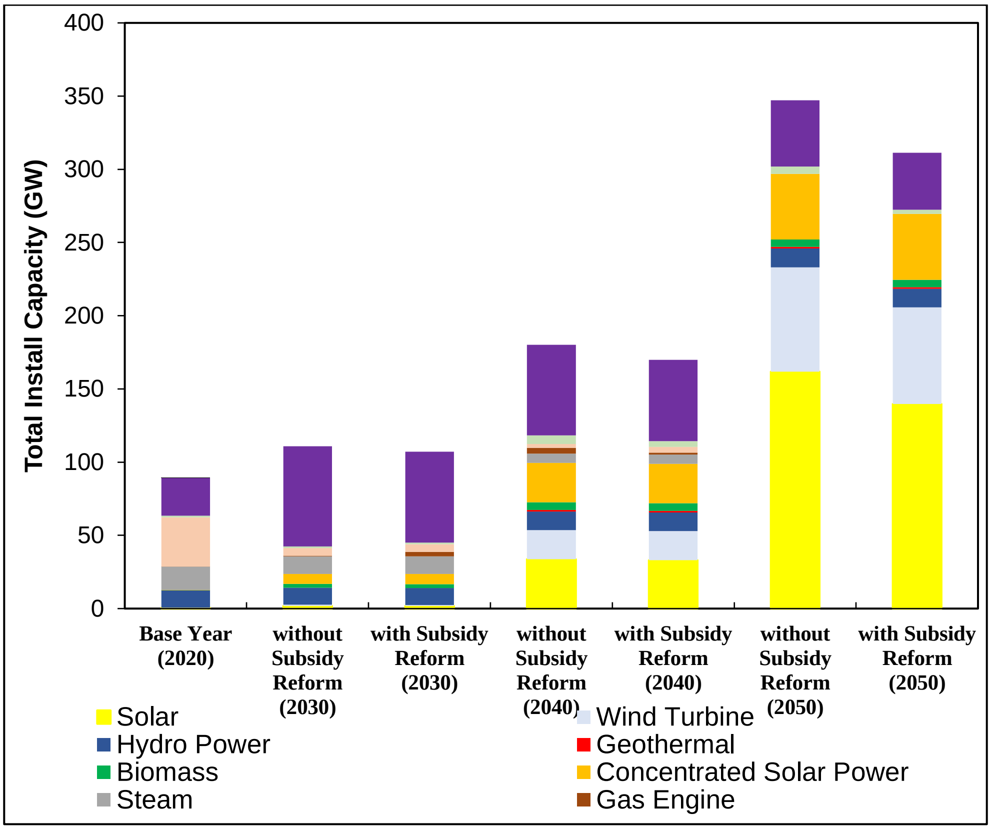


نمودار ۷. مقادیر تاریخی و پیش‌بینی‌شده کل تقاضای برق ایران برحسب تراوات ساعت

۵-۲. نتایج حاصل از مدل MESSAGE

بعد از برآورد تقاضای برق با استفاده از مدل ARDL، این متغیر به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل MESSAGE مورداستفاده قرار می‌گیرد. در ادامه نتایج حاصل از مدل‌سازی سمت عرضه ارائه می‌گردد.

۵-۲-۱. ظرفیت



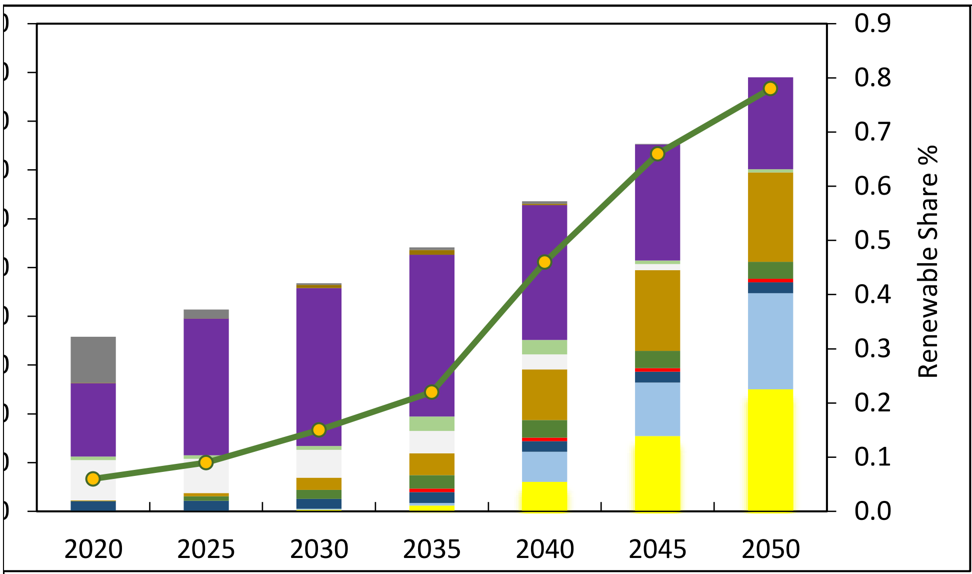
نمودار ۸. کل ظرفیت نصب‌شده طی سناریوهای مختلف در افق مطالعه

۵-۲-۲. تولید برق

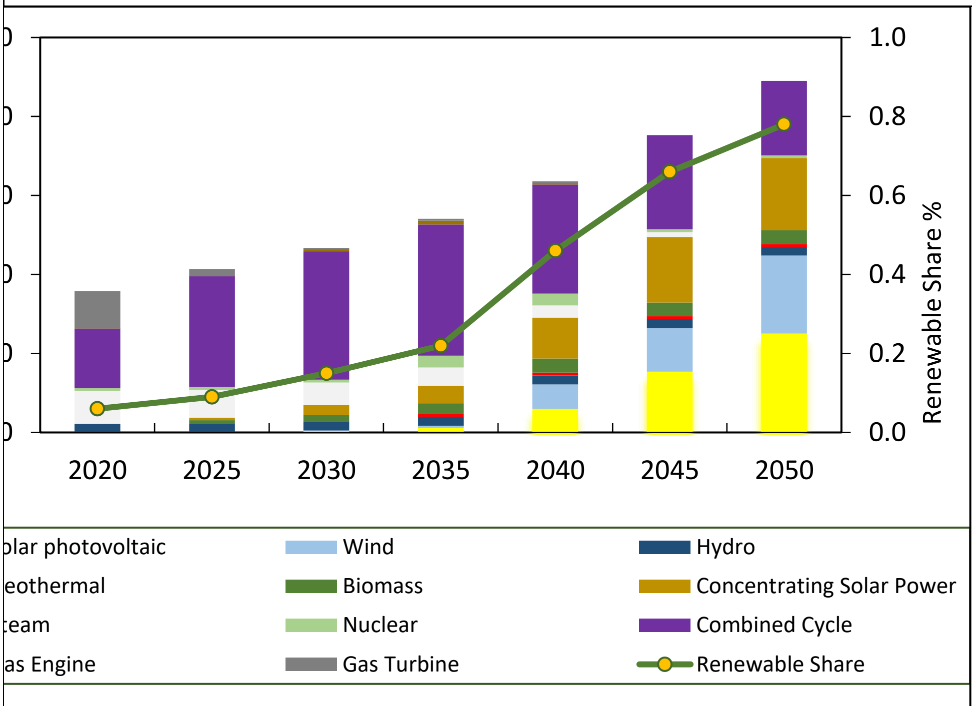
نمودار ۹ تولید برق توسط انواع تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را طی دو سناریو بدون اصلاح یارانه و با اصلاح یارانه قیمت برق، به تفکیک نمایش می‌دهد. در سناریو بدون اصلاح یارانه، کل تولید برق از ۳۵۸ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۰ به ۹۹۱ تراوات ساعت در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. نتایج نشان می‌دهد که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از ۶ درصد در سال ۲۰۲۰ مطابق سناریو اصلاح یارانه می‌تواند به ترتیب به ۹ درصد در سال ۲۰۲۵، ۱۴ درصد در سال ۲۰۳۰، ۲۱

درصد در سال ۲۰۳۵، ۴۳ درصد در سال ۲۰۴۰، ۶۵ درصد در سال ۲۰۴۵ و درنهایت به ۷۷ درصد در سال ۲۰۵۰ برسد. همان‌طور که از این نمودار مشاهده می‌شود، در صورت استفاده از پتانسیل‌های تجدیدپذیر در برنامه‌ریزی بلندمدت عرضه برق، سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر در بازه ۲۰۲۰-۲۰۳۵ به‌تدریج و با شیب ملایم افزایش می‌یابد ولی این سهم در طی دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۵۰، به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. در تحلیل این نتایج می‌توان به این نکته اشاره کرد که اولاً ساخت و بهره‌برداری از این تکنولوژی‌ها زمان‌بر بوده و ثانیاً استفاده از این تکنولوژی‌های در سال‌های ابتدایی با هزینه بیشتری همراه خواهد بود درحالی‌که با گذر زمان و بهبود تکنولوژی، هزینه بهره-برداری از این تکنولوژی‌ها کاهش می‌یابد. ازاین‌رو، در ۱۰ سال پایانی افق برنامه‌ریزی، استفاده از تکنولوژی‌های سولار و بادی نسبت به سایر تکنولوژی‌ها از هزینه تولید پایین‌تری برخوردار بوده و بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهند. شایان‌ذکر است که برخلاف منابع سوخت‌های فسیلی که برای استخراج و تصفیه آن‌ها باید هزینه تعریف کرد، هزینه منابع سولار و بادی صفر می‌باشد؛ زیرا این منابع به‌صورت رایگان در دسترس قرار دارند و فقط هزینه‌های سرمایه‌گذاری و انتقال این تکنولوژی‌ها محاسبه می‌شود.

نتایج حاصل از سناریوی با اصلاح یارانه نشان می‌دهد که کل برق تولیدی ایران در سال ۲۰۵۰ معادل ۸۹۰ تراوات ساعت خواهد بود. همچنین کل تولید برق حاصل از منابع تجدیدپذیر در این سناریو به ترتیب از ۲۲ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۰ می‌تواند به ۶۹۵ تراوات ساعت در سال ۲۰۵۰ برسد. نکته حائز اهمیت، سهم بسیار ناچیز انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۳۰ مطابق هر دو سناریو است؛ به‌طوری‌که مطابق سناریو بدون اصلاح یارانه و سناریو با اصلاح یارانه، سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۳۰ به ترتیب معادل ۱۴٪ و ۱۵٪ می‌باشد که سهم بسیار ناچیزی است. با توجه به یافته‌های حاصل از مطالعه می‌توان بیان کرد که تا سال ۲۰۳۰ ایران توفیق چندانی در تحقق تعهدات پاریس نخواهد داشت.



الف) سناریو بدون اصلاح یارانه

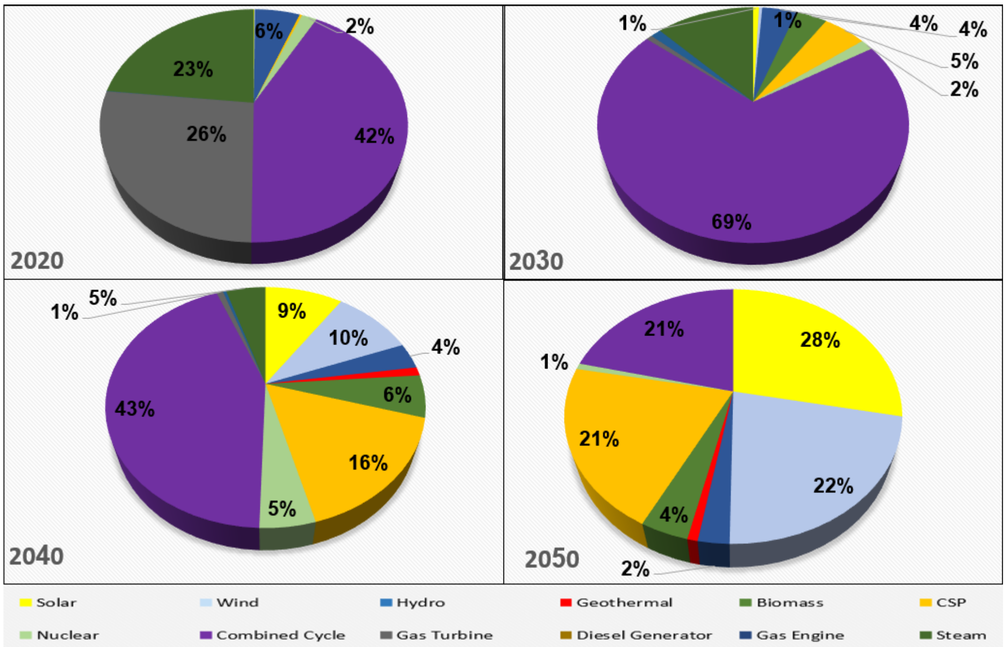


ب) سناریو با اصلاح یارانه

نمودار ۹. تولید برق کشور به تفکیک حامل انرژی و سهم انرژی‌های تجدید پذیر

۵-۲-۳. ترکیب تولید برق

در نمودار ۱۰ ترکیب تولید ناویژه برق طی دو سناریو بدون اصلاح یارانه و با اصلاح یارانه نمایش داده‌شده است. در سناریو بدون اصلاح یارانه، سهم سولار فتوولتاییک و سولار حرارتی در پایان دوره به ترتیب ۲۹ و ۱۸ درصد خواهد بود. با توسعه تکنولوژی‌های بادی، این فناوری ۲۲ درصد از کل سبد عرضه برق کشور در سال ۲۰۵۰ را به خود اختصاص خواهد داد. در سناریو اصلاح یارانه، سهم تکنولوژی سولار فتوولتاییک و سولار حرارتی در سال ۲۰۵۰ به ترتیب معادل ۲۸ و ۲۱ درصد از سبد عرضه برق کشور خواهد بود. از دیگر نکات قابل‌توجه روند نزولی سهم تکنولوژی برق‌آبی طی هر دو سناریو از ۶ درصد در سال ۲۰۲۰ به ۲ درصد در سال ۲۰۵۰ خواهد بود که با توجه به تغییرات اقلیمی و بحران کم‌آبی در کشور می‌تواند قابل‌قبول باشد. آنچه از نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان استنباط کرد این است که سیاست استفاده حداکثری از پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور با و یا بدون سیاست اصلاح قیمت سوخت‌های فسیلی می‌تواند عاملی مهم در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و افزایش چشمگیر سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در آرایش بهینه تکنولوژی‌های عرضه برق کشور باشد.

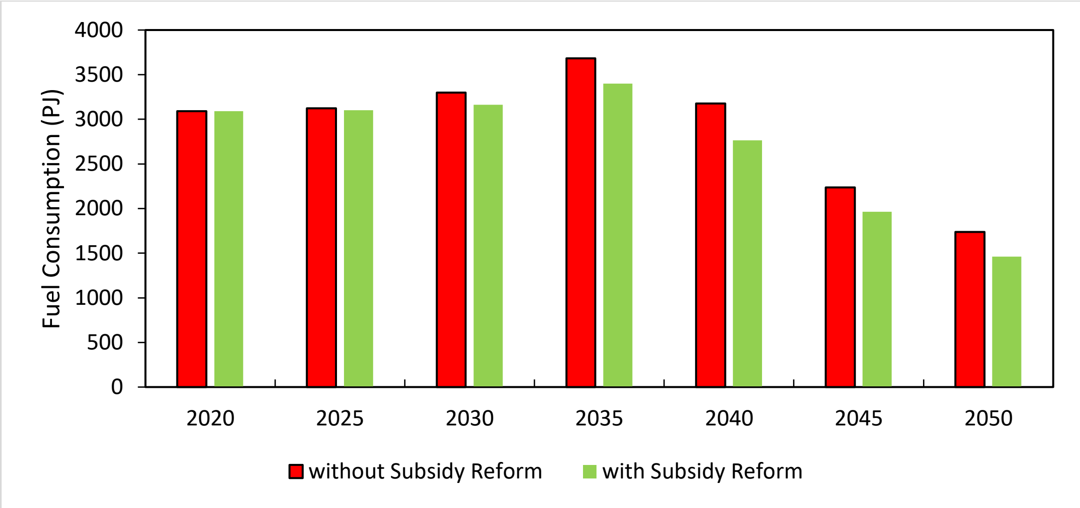


نمودار ۱۰. سهم تکنولوژی‌های تولیدکننده برق مطابق سناریو با اصلاح یارانه قیمت برق

۵-۲-۴. مصرف سوخت‌های فسیلی

نمودار ۱۱ روند کلی مصرف سوخت‌های فسیلی بخش نیروگاهی را نمایش می‌دهد. در این نمودار مطابق هر دو سناریو، با توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، مصرف سوخت‌های فسیلی به میزان چشم‌گیری کاهش‌یافته و به‌تبع آن، سهم تکنولوژی‌های فسیلی از سبد عرضه برق کشور کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد سهم تکنولوژی‌های فسیلی در سال پایانی (۲۰۵۰) در مقایسه با سال ابتدایی (۲۰۲۰) تحت سناریوهای با اصلاح یارانه و بدون اصلاح یارانه به ترتیب ۴۷٪ و ۴۴٪ کاهش می‌یابد. همان‌طور که از نمودار ۱۱ ملاحظه می‌شود طی هر دو سناریو مصرف سوخت‌های فسیلی ابتدا روندی صعودی را طی کرده و پس‌ازآن روند نزولی آن شروع می‌شود. از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به ظرفیت‌های از پیش نصب‌شده، زمان‌بر بودن هزینه سرمایه‌گذاری و نصب ظرفیت و بهره‌برداری تکنولوژی‌های تجدیدپذیر اشاره کرد. رشد مصرف سوخت‌های فسیلی در

سناریو اصلاح یارانه کمتر از سناریو جایگزین می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که اصلاح کامل یارانه برق موجب کاهش بیشتر مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین مانع افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در بازه پانزده‌ساله ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۵ نسبت به دیگر سناریوها است.



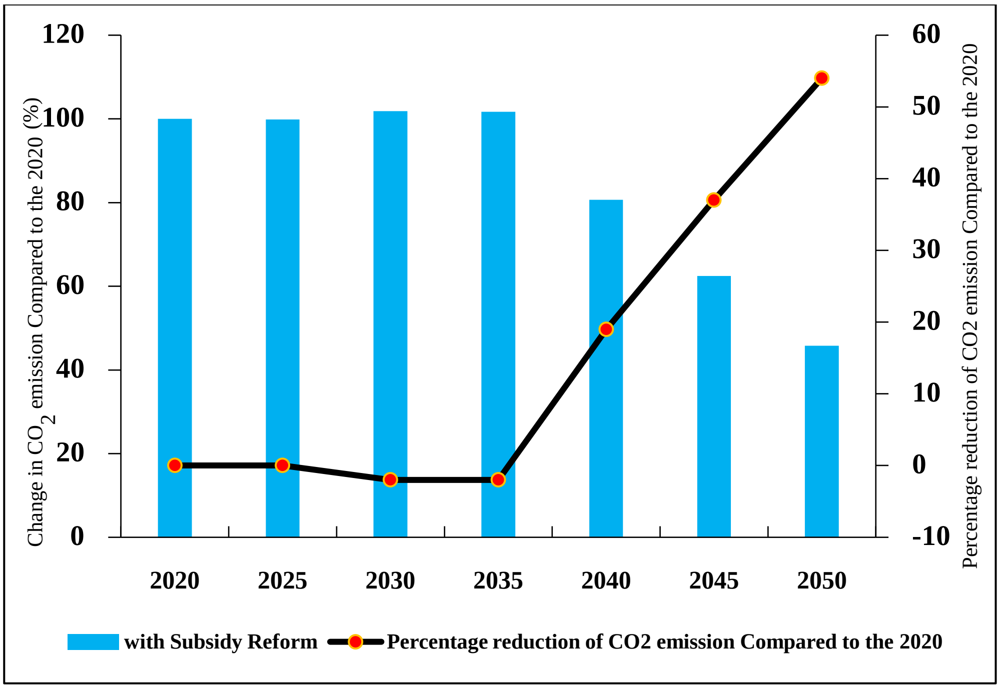
نمودار ۱۱. مصرف سوخت‌های فسیلی طی سناریوهای بدون اصلاح و با اصلاح یارانه قیمت برق

۵-۲-۵. انتشار کربن

بین مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار کربن، رابطه‌ای مستقیم برقرار است. به‌طوری‌که با افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی انتشار کربن افزایش می‌یابد و بالعکس. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه مصرف سوخت‌های فسیلی به دنبال توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، کاهش خواهد یافت. لذا نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که میزان انتشار کربن در بخش نیروگاهی مطابق سناریو بدون اصلاح یارانه از ۲۲۳/۵ میلیون تن CO_2 در سال ۲۰۲۰ به ۱۱۸/۵ میلیون تن CO_2 در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. به‌طور میانگین میزان انتشار کربن در سال انتهایی دوره نسبت به ابتدای دوره، ۴۷ درصد کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس نتایج سناریو حذف یارانه برق، انتشار کربن از ۲۲۳/۵ میلیون تن CO_2 در سال ۲۰۲۰ به ۱۰۲/۸ میلیون تن CO_2 در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. لذا میزان انتشار کربن

در انتهای دوره در مقایسه با ابتدای دوره می‌تواند ۵۴ درصد کاهش یابد. از مهم‌ترین دلایل کاهش انتشار کربن می‌توان به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و اصلاح یارانه قیمت برق اشاره کرد.

نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که روند استفاده از پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار سیاست‌های قیمت برق طی سناریوهای مختلف تأثیر قابل‌توجهی بر میزان انتشار CO_2 بخش برق دارد. در نمودار ۱۲ میزان درصد تغییر انتشار کربن نسبت به سال پایه (یعنی ۲۰۲۰) گزارش‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تا سال ۲۰۳۰ هیچ‌گونه کاهشی در میزان انتشار کربن مطابق با توافق‌نامه پاریس صورت نمی‌گیرد. برای دستیابی به تعهدات ایران ذیل توافق‌نامه مذکور به استفاده حداکثری از همه پتانسیل‌های انرژی‌های تجدید پذیر نیاز داریم. در سال ۲۰۵۰ مطابق سناریوی اصلاح یارانه، میزان انتشار کربن نسبت به سال ۲۰۲۰ به میزان قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصل از مدل می‌توان این‌گونه استنباط کرد که ایران با فرض توسعه حداکثری پتانسیل‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۴۵ و ۲۰۵۰ می‌تواند به تعهدات خود مطابق با توافق‌نامه اقلیمی پاریس عمل نماید. البته باید توجه داشت که سیاست اصلاح یارانه قیمت برق نسبت به سناریوهای جایگزین منجر به کاهش بیشتر انتشار کربن خواهد شد.



نمودار ۱۲. درصد تغییرات انتشار کربن نسبت به سال پایه (۲۰۲۰)

۶. نتیجه‌گیری

این مطالعه با استفاده از ارتباط بین دو مدل طرف تقاضا (ARDL) و سمت عرضه (MESSAGE)، تأثیر توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر تحت سناریوهای با اصلاح و بدون اصلاح یارانه قیمت برق بر میزان انتشار کربن ایران را موردبررسی قرار داده است. نتایج مدل تقاضا نشان می‌دهد که مطابق سناریو بدون اصلاح یارانه، تقاضای برق در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب معادل ۴۱۳ و ۸۶۲ تراوات ساعت خواهد بود درصورتی‌که در سناریو اصلاح یارانه، تقاضای برق در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۴ و ۱۰ درصد کمتر از تقاضای برق در حالت سناریو بدون اصلاح یارانه است. از طرفی با توجه به نقش دما به‌عنوان نماینده اثرات تغییرات اقلیمی بر تقاضای برق می‌توان این‌گونه استنباط کرد توسعه حداکثری تکنولوژی‌های تجدیدپذیر امری ضروری است. مطابق مدل سمت عرضه (MESSAGE) در سال ۲۰۲۰

(سال پایه) سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر از کل سبد عرضه برق کشور ۶ درصد است که این سهم نیز متعلق به تکنولوژی برق‌آبی می‌باشد. یافته‌های حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۳۰ به‌عنوان سال هدف توافق‌نامه پاریس معادل ۱۵ درصد از کل سبد عرضه برق کشور می‌باشد که سهم بسیار ناچیزی است. لذا طی هیچ‌یک از سناریوها در سال ۲۰۳۰ امکان دستیابی ایران به تعهدات خود مطابق توافق‌نامه پاریس وجود ندارد. درحالی‌که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل سبد عرضه برق کشور در نیمه دوم افق برنامه‌ریزی یعنی ۲۰۳۵-۲۰۵۰ افزایش‌یافته و تحت سناریوهای اصلاح و عدم اصلاح یارانه‌ها، می‌تواند در سال ۲۰۵۰ به ترتیب به ۷۸ و ۷۷ درصد برسد. مقایسه میزان انتشار کربن در انتهای دوره (۲۰۵۰) نسبت به ابتدای دوره (۲۰۲۰) نشان می‌دهد انتشار کربن در سناریوی بدون اصلاح یارانه، ۴۴٪ و در سناریوی با اصلاح یارانه، ۵۴٪ کاهش می‌یابد. بنابراین اصلاح یارانه قیمت برق در کنار توسعه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند در بلندمدت، مصرف سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن میزان انتشار کربن را به میزان بیشتری کاهش دهد. در شرایط فعلی تأمین برق به دلیل سهولت دسترسی به حامل‌های انرژی فسیلی، عمدتاً بر مبنای استفاده از گاز طبیعی و توسعه نیروگاه‌های متمرکز و بزرگ بوده است. تداوم وضعیت فعلی در صورت بروز اختلال در تأمین گاز طبیعی، امنیت عرضه انرژی در کل کشور را می‌تواند به مخاطره اندازد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تعهدات ایران در چارچوب توافقنامه پاریس، هرچند در کوتاه‌مدت قابل تحقق نیست ولی به برنامه‌ریزان توصیه می‌شود ضمن اصلاح یارانه قیمتی برق، استفاده حداکثری از پتانسیل‌های تجدیدپذیر در برنامه‌ریزی بلندمدت عرضه برق کشور را موردتوجه قرار دهند.

۷. تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر وحید آریان‌پور بابت راهنمایی‌ها و همکاری مؤثرشان در بخش مدل‌سازی تحقیق و همچنین از داوران محترم به‌پاس نظرات ارزشمندشان در راستای ارتقای سطح کیفی مقاله، تقدیر و تشکر نمایند.

References

Adom, P. K., & Bekoe, W. (2012). Conditional dynamic forecast of electrical energy consumption requirements in Ghana by 2020: A comparison of ARDL and PAM. *Energy*, 44(1), 367-38.

Aldubyan, M., & Gasim, A. (2021). Energy price reform in Saudi Arabia: Modeling the economic and environmental impacts and understanding the demand response. *Energy Policy*, 148, 111941.

Algunaibet, I.M., Pozo, C., Galan-Martin, A., Guillen-Gosalbez, G., (2019). Quantifying the cost of leaving the Paris Agreement via the integration of life cycle assessment, energy systems modeling and monetization. *Appl. Energy*, 242, 588–601.

Al-Zayer, J. and Al-Ibrahim, A.A. (1996). Modelling the Impact of Temperature on Electricity Consumption in the Eastern Province of Saudi Arabia, *Journal of Forecasting*, 15(2): 97-106.

Andrew, Robbie M., & Peters, Glen P. (2022). The Global Carbon Project's fossil CO2 emissions dataset (2022v27) [Data set]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7215364

Arisoy, I., & Ozturk, I. (2014). Estimating industrial and residential electricity demand in Turkey: A time varying parameter approach. *Energy*, *66*, 959-964.

Ari, I., Sari, R., 2017. Differentiation of developed and developing countries for the Paris Agreement. *Energy Strateg. Rev.* 18, 175–182.

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 energy subsidy removal through integrated energy systems modelling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *158*, 112116.

Aryanpur, V., & Shafiei, E. (2015). Optimal deployment of renewable electricity technologies in Iran and implications for emissions reductions. *Energy*, 91, 882 - 893.

Bajaj, P., Thakur, S., (2022). Carbon dioxide capture and sequestration to achieve Paris climate targets. *Clim. Change*, 215–233.

Barbier, E.B., (1997). Introduction to the environmental Kuznets curve special issue, environment and development. Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment? *World Dev.* 20, 481–486.

Burniaux, J.M. and Chateau, J., (2014). Greenhouse gases mitigation potential and economic efficiency of phasing-out fossil fuel subsidies. *International Economics*, 140, 71-88.

Chepeliev, M., & van der Mensbrugghe, D. (2020). Global fossil-fuel subsidy reform and Paris Agreement. *Energy Economics*, *85*, 104598.

Coady, D., Parry, I., Sears L., Shang, B., (2015). How Large are Global Energy Subsidies? *IMF Working Paper* WP/15/105. http://www.imf.org/external/pubs/cat/longres.aspx?sk=42940.0

Emodi, N. V., Chaiechi, T., & Alam Beg, A. R. (2018). The impact of climate change on electricity demand in Australia. *Energy & Environment*, 29(7), 1263-1297.

Gelan, A. (2018). Economic and environmental impacts of electricity subsidy reform in Kuwait: A general equilibrium analysis. *Energy Policy*, 112, 381-398.

Ghadaksaz, H., & Saboohi, Y. (2020). Energy supply transformation pathways in Iran to reduce GHG emissions in line with the Paris Agreement. *Energy Strategy Reviews*, 32, 100541.

Ghorbani, N., Aghahosseini, A., Breyer, C., (2020). Assessment of a cost-optimal power system fully based on renewable energy for Iran by 2050 – achieving zero greenhouse gas emissions and overcoming the water crisis. *Renew. Energy*, 146, 125–148.

Gupta, K., (2017). Do economic and social factors influence the financial performance of alternative energy firms? *Energy Econ*. 65, 172–182.

Hafezi, H., & Delfan, M. (2022). Long-Term Forecasting of Iran's Electricity Demand (A Scenario-Based Approach Using a Combined ARDL and ARIMA Approach). *Iranian Energy Economics*, *11*(44), 41-71. doi: 10.22054/jiee.2022.70675.1959. (in Persian)

Haghshenas, M., Moayedfar, R., Sharifi, A., & Farahmand, S. (2022). Economic-environmental consequences of reforming fossil fuel subsidies using RICE model in the MENA region countries by 2100 horizon. *Iranian Journal of Economic Studies*, 10(2), 411-439.

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. *Appl. Energy*, 311, 118580.

Hor, C. L., Watson, S. J., & Majithia, S. (2005). Analyzing the impact of weather variables on monthly electricity demand. *IEEE transactions on power systems*, 20(4), 2078-2085.

Iacobuţă, G.I., Brandi, C., Dzebo, A., Duron, S.D.E., (2022). Aligning climate and sustainable development finance through an SDG lens. The role of development assistance in implementing the Paris Agreement. *Global Environ. Change*, 74, 102509.

IEA, (2022). International Energy Agency: world total final consumption by source, 1971-2020, https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-total-final-consumption-by-source-1971-2020,

IEA, (2022). International Energy Agency: fossil-fuel subsidies database. OECD/IEA. http://www.worldenergyoutlook.org/resources/energysubsidies/

IAEA (2007). International Atomic Energy Agency: model for energy supply strategy alternative and their general environmental impacts, User manual. Vienna.

IAEA (2007). International Atomic Energy Agency: User's Manual of MESSAGE. Austria.

IMF (2015). International Monetary Fund: Energy Subsidies Template. http://www.imf.org/external/np/fad/subsidies

IPCC (2013). Climate change 2013: the physical science basis. Geneva: Inter govern-mental Panel on Climate Change.

IPCC (2018a). An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5◦C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. In: The Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. Global Warming of 1.5◦C.

IPCC. (2021). Climate change, the physical science basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, A.N. Pirani and S.L. Connors (eds.)]. IPCC, Switzerland, 25.

IPRC (2015). Islamic Parliament Research Center: Expert Opinion on the Paris Agreement Bill, 10 (1): 1-4. (in Persian)

Jahangirpour, D., & Zibaei, M. (2020). The Role of Agriculture and Renewable Energy in Meeting the Goals of the Paris Agreement; Case Study: Selected Countries of MENA Region. *Quarterly Energy Economics Review*, 16(65), 81-101. (in Persian)

Jangavar, H., Noorollahi, Y., & Yousefi, H. (2019). Investigate the feasibility of realizing the goals of reducing greenhouse gas emissions by generating electricity from renewable sources in Iran. *Journal of Renewable and New Energy*, 6(2), 62-70. (in Persian)

Jia, Z., & Lin, B. (2021). The impact of removing cross subsidies in electric power industry in China: Welfare, economy, and CO2 emission. *Energy Policy*, 148, 111994.

Jiang, H.D., Purohit, P., Liang, Q.M., Dong, K., Liu, L.J., (2022). The cost-benefit comparisons of China's and India's NDCs based on carbon marginal abatement cost curves. *Energy Econ.* 109, 105946.

Kaytez, F. (2020). A hybrid approach based on autoregressive integrated moving average and least-square support vector machine for long-term forecasting of net electricity consumption. *Energy*, 197, 117-200.

Lenssen, N., G. Schmidt, J. Hansen, M. Menne, A. Persin, R. Ruedy, and D. Zyss, (2019). Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124 (12), 6307-6326.

Li, J., Sun, C., (2018). Towards a low carbon economy by removing fossil fuel subsidies? *China Econ. Rev*. 50, 17–33.

Libo, W.U., Zhou, Y., Qian, H., (2022). Global actions under the Paris agreement: tracing the carbon leakage flow and pursuing countermeasures. *Energy Econ*. 106, 105804.

Lin, B., Li, A., (2012). Impacts of removing fossil fuel subsidies on China: how large and how to mitigate? *Energy*, 44 (1), 741–749.

Liu, W., Mckibbin, W.J., Morris, A.C., Wilcoxen, P.J., (2020). Global economic and environmental outcomes of the Paris Agreement. *Energy Econ*., 90, 104838.

Lomborg, B., (2020). Welfare in the 21st century: increasing development, reducing inequality, the impact of climate change, and the cost of climate policies. Technol.

Lomborg, B. (2020). Welfare in the 21st century: Increasing development, reducing inequality, the impact of climate change, and the cost of climate policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 156, 119981.

Megan-Tian, H., Pan-Mao, Z., (2021). Achieving Paris agreement temperature goals requires carbon neutrality by middle century with far-reaching transitions in the whole society. *Adv. Clim. Chang.* Res. 12, 281–286.

Manzoor, D., & Aryanpur, V. (2018). A Review of Electricity Generation Trends: Deviation from Optimal Scenario. *Economic Growth and Development Research*, 8(30), 67-82. (in Persian)

Murshed, M., Ahmed, R., Kumpamool, C., Bassim, M., & Elheddad, M. (2021). The effects of regional trade integration and renewable energy transition on environmental quality: Evidence from South Asian neighbors. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 4154-4170.

Nasir, M.A., Canh, N.P., Le, T.N.L., (2021a). Environmental degradation & role of financialisation, economic development, industrialisation and trade liberalisation. *J. Environ. Manag*. 277, 111471.

Nejati, M., Salehi, N., & Kavyani Pour, N. (2019). Investigating the economic Impacts of the Paris Climate Change Agreement on the Iranian Economy. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(1), 1076-1091. (in Persian)

Özdemir, Ö., Hobbs, B. F., van Hout, M., & Koutstaal, P. R. (2020). Capacity vs energy subsidies for promoting renewable investment: Benefits and costs for the EU power market. *Energy Policy*, *137*, 111166.

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, *16*(3), 289-326.

Pishbahar, E., Sani, F., & Ghahremanzadeh, M. (2019). Analyzing the Impact of Kyoto Protocol and Paris Agreement on CO2 Emissions: Using DiD and PSM Methods. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 33(3), 221-237. (in Persian)

Ramírez, J. C., Ortiz-Arango, F., & Rosellón, J. (2021). Impact of Mexico's energy reform on consumer welfare. *Utilities Policy*, 70, 101191.

Rentschler, J., Bazilian, M., (2017). Reforming fossil fuel subsidies: drivers, barriers and the state of progress. Clim. Pol. 17 (7), 891–914.

Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2021). Energy. Published online at Ourworldindata.org. Retrieved from: 'https:// ourworldindata.org/energy' [Online Resource].

Salman, M., Long, X., Wang, G., & Zha, D. (2022). Paris climate agreement and global environmental efficiency: new evidence from fuzzy regression discontinuity design. *Energy Policy*, 168, 113128.

Sanei, B., & Saadat, R. (2014). The impact of dwindling of electricity subsidy on certain macroeconomic indices, affecting on the production and welfare of households in Iran, *Trend of Economic Research*, 20(63-64), 59-86. (in Persian)

Schrattenholzer, L. (1981). The energy supply model MESSAGE. *International Institute for Applied System Analusis, Research Report*, 81–31(December).

Tamazian, A., Rao, B.B., (2010). Do economic, financial and institutional developments matter for environmental degradation? Evidence from transitional economies. *Energy Econ*. 32, 137–145.

Tavanir. (2020). Detailed Statistics of Iran's Electricity Industry, Specially for Strategic Management. Tehran. (In Persian).

Tavanir. (2021). Energy Balance of 2019. Tehran: Amini, F., Saber Fattahi, L., Soleimanpour, P., Gol Ghahramani, N., Shafizadeh, M., Tavanpour, M., Farmad, M., Goudarzirad, R., & Rezapour, K (In Persian).

Tavanir. (2022). Energy Balance of 2020. Tehran: Amini, F., Saber Fattahi, L., Soleimanpour, P., Ghaemi, M., Shafizadeh, M., Tavanpour, M., Goudarzirad, R (In Persian).

UNFCCC (2018a). United Nations Framework Convention on Climate Change: Paris Agreement – Status of Ratification. http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php

Vine, E. (2012). Adaptation of California's electricity sector to climate change. *Climatic Change*, 111(1), 75-99.

Yin, G., Zhou, L., Duan, M., He, W., & Zhang, P. (2018). Impacts of carbon pricing and renewable electricity subsidy on direct cost of electricity generation: A case study of China's provincial power sector. *Journal of Cleaner Production*, *205*, 375-387.

Zhang, S., Yang, F., Liu, C., Chen, X., Tan, X., Zhou, Y., ... & Jiang, W. (2020). Study on global industrialization and industry emission to achieve the 2 C goal based on MESSAGE model and LMDI approach. *Energies*, 13(4), 825.