Political Spatial Planning
8(2): 30-60, Spring 2026
Special Issue on
Governance

DOI: *10.48311/psp.2026.114339.0*

Analysis of Renewable Energy Capacity in Iran (Case: Wind and Solar Energy)

Qodrat Taheri*[1], Hashem Oraee Mirzamani[2], Leila Asiyabi Agdam[3], Ali Ahmad Beygi[4]

1. PhD in Financial Engineering, N.B.P Investment Development Holding and Senior Researcher, Nikapoosh Research Center, Tehran, Iran
2. Professor of Electrical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
3. Postdoctoral researcher, Development Economics, Al-Zahra University, Tehran, Iran
4. PhD in Political Economy, Nikaposh Research Center, Tehran, Iran

Received: 2025-11-15 **Accepted**: 2026-05-17

Extended abstract

Introduction

Development is a multi-dimensional flow that means the continuous improvement of the economic, social and cultural status of the society and the social order towards a better life, so that welfare is provided for the whole society and the costs of achieving it are minimal. Considering the necessity of achieving development and progress in the society, all economists and experts have worked on theorizing and smoothing the ways to achieve it. The development of the country cannot be achieved unless the economic activities are proportional to its relative advantages.

Iran is located in orbits between 25 and 40 degrees north latitude, in a region that has a favorable situation in terms of receiving solar energy among different regions of the world. The amount of solar radiation is estimated between 1800 and 2200 kilowatt hours per square meter per year. The number of consecutive cloudy days throughout the country is less than 5 days per year, and the air clarity is more than 60% in most places

* Corresponding author, Email: qtaheri150@gmail.com
[1] https://orcid.org/ORCID: 0009-0006-3670-5442
[2] https://orcid.org/ORCID: 0000-0002-1600-2030
[3] https://orcid.org/ORCID:0009-0001-2967-2949

Copyright© 2026. TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

(Haji Saqti, 1370). In addition, due to the fact that the amount of sunlight is more in the high places, the mountainous nature of the land, so that most of its parts have a height of more than 1000 meters above the sea level, has added to its desirability in using solar energy.

Method

In order to be able to compare provinces based on the intensity of sunlight and wind speed, solar radiation index and wind speed index have been calculated. In addition, the net present value has been used for the economic evaluation of the construction of solar power plants and wind farms in the provinces of the country.

20 years of wind and solar radiation data have been collected in the provinces of the country, to evaluate and compare the potential (wind and solar energy) of the provinces, a suitable index has been calculated, based on this, the overall average and maximum of the wind and solar energy index can be calculated

$$Index\ (x_i) = \frac{X_i}{k} \times 100$$

$$k = \max\ (x_i)$$

$$i = 1\ , 2\ , \dots , 31$$

Xi is the mean value of the i-th province. To make the average index, the 20-year period of the provinces, the maximum arithmetic mean of wind and solar radiation has been used, based on this provincial index, whose average (sun or wind) is the highest among the provinces of the country, the value of the index is 100. will be. In addition to calculating the wind energy index, the corresponding table by the American Energy Group was used to place the provinces in the wind power density classes, and the possible distribution of each province in the desired classes can be used.

Findings

Iran is located in a region that has many sunny days throughout the year and a minimum radiation of four kilowatt-hours per square meter per day, which is a favorable situation in the world, so the use of solar and wind energy is due to reasons such as easy access and ease of conversion into energy. electronic, compatibility with the environment, have the advantage. Limitation of fossil resources, high growth of energy consumption, dependence of the country's economy on oil revenues cause the country's development process to be affected by the lack of planning to replace renewable energies instead of fossil fuels. According to the geography of Iran and the existence of some vast plains, if the desert area is equipped with radiation energy receiving systems in the provinces that have high radiation energy, it can provide the energy needed by a part of the region and the platform for the export of electric energy to Some neighboring countries become

possible (URL3). The abundance of sunny days in Iran provides the basis for investing in renewable energy, the expansion of this industry can be the basis for a fundamental transformation in the country's energy economy, as well as the removal of pollution from metropolises. The availability of the radiation data of the centers of the provinces in 20 years and the average of this time series was calculated (Table 2), it is possible to form the spectrum of the provinces' enjoyment of the sun's radiant energy in an orderly manner, from the highest to the lowest, and according to the frequency of sunny days, it can be Provide investment.

Results

The National Development Fund also financially supports private sector activists in setting up renewable energy plants. Considering that the fuel of fossil power plants is oil and its derivatives, the price of produced electricity depends on the price of oil and its changes are large and affected by international events. Therefore, what was said regarding the price of electricity produced from renewable power plants is justified. Since the provinces have been examined for the establishment of wind farms and solar power plants and the seventh economic, social and cultural development plan of the country is being compiled, it is possible to equip the provinces according to the availability of wind and solar energy. According to the index of radiant energy availability, the provinces are introduced for the establishment of solar power plants in the following order: first year: Yazd, Sistan and Baluchistan, Fars, South Khorasan, Isfahan, Kerman, Chaharmahal and Bakhtiari; Second year: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Khuzestan, Bushehr, Qom, Hormozgan, Semnan and Ilam; Third year: Lorestan, Hamedan, Kurdistan, Razavi Khorasan, Qazvin, Tehran and Central; Fourth year: Alborz, West Azerbaijan, Zanjan, North Khorasan and Kermanshah; Fifth year: East Azerbaijan, Ardabil, Golestan, Mazandaran and Gilan. Also, for the establishment of wind farms in the provinces of the country during the seventh economic, social and cultural development program of the country, the provinces are proposed in the following order: first year: Ardabil, Sistan and Baluchistan, Qom, Hamadan, East Azerbaijan and Yazd; Second year: Kerman, Tehran, Bushehr, Chaharmahal and Bakhtiari, Markazi and Alborz; Third year: North Khorasan, Qazvin, Golestan, Zanjan, Ilam and Isfahan; Fourth year: Kermanshah, South Khorasan, Kurdistan, Semnan, Lorestan and Razavi Khorasan; Fifth year: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Khuzestan, West Azerbaijan, Fars, Hormozgan, Mazandaran and Gilan.

Keyword: Iran; Territorial Capabilities; Fossil Fuels; Renewable Energies; Wind and Solar Power

فصلنامه آمایش سیاسی فضا
دوره ۸، شماره ۲، بهار ۱۴۰۵
ویژه‌نامه کشورداری

تحلیل ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران (مورد: انرژی‌های بادی و خورشیدی)

قدرت طاهری[۱*]، هاشم اورعی میرزمانی[۲]، لیلا آسیابی اقدم[۳]، علی احمد بیگی[۴]

۱. دانش آموخته دکتری مهندسی مالی، هلدینگ توسعه سرمایه‌گذاری N.B.P و پژوهشگر ارشد مرکز تحقیقات نیکاپویش، تهران، ایران
۲. استاد برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۳. پژوهشگر پسادکتری، اقتصاد توسعه، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران
۴. دانش آموخته دکتری اقتصاد سیاسی، مرکز تحقیقات نیکاپویش، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴ **پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۲/۲۷

چکیده

در برنامه‌های سوم، چهارم، پنجم و ششم توسعه ایران، به انرژی‌های تجدیدپذیر توجه شده است و متولیان امر، برای پیگیری و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر تعیین شده‌اند. ایران در منطقه‌ای واقع شده است که در طول سال با تعداد روزهای آفتابی فراوان و حداقل تابش چهار کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، از وضعیت مناسبی برخوردار است. بر همین اساس، با جمع‌آوری داده‌های یک دوره ۲۰ ساله بیشینه وزش باد و تابش آفتاب در استان‌های کشور و استفاده از آن‌ها، توان بادی و خورشیدی استان‌های کشور محاسبه و ارزیابی اقتصادی استقرار مزارع بادی و نیروگاه‌های خورشیدی در استان‌ها انجام گرفته است. پژوهش از نوع توصیفی تحلیلی است و با روش کمی و کیفی و با بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای و اطلاعات آمارهای معتبر به تحلیل ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی و بادی در ایران می‌پردازد. برای ارزیابی و مقایسه ظرفیت انرژی بادی و خورشیدی استان‌ها، براساس شاخص‌ها می‌توان میانگین کلی و ماکزیمم شاخص انرژی بادی و خورشیدی را محاسبه کرد. در این چارچوب، استانی که میانگین انرژی خورشیدی یا بادی آن در بین استان‌های کشور بیشینه باشد، مقدار شاخص برای آن عدد ۱۰۰ خواهد بود. بررسی داده‌های ۲۰ ساله تابش خورشید و وزش باد نشان می‌دهد که در اغلب مناطق کشور، باد از دوام و سرعت مناسبی برای تولید برق برخوردار است. در حوزه انرژی خورشیدی نیز استان‌های یزد، سیستان و بلوچستان، فارس، خراسان جنوبی، اصفهان، کرمان و چهار محال و بختیاری با میانگین تابش بیش از ۴.۶ کیلووات ساعت بر متر مربع در اولویت نخست قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: ایران، قابلیت‌های سرزمینی، سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر، توان بادی و خورشیدی

* نویسندهٔ مسئول مقاله: E-mail: qtaheri150@gmail.com

۱. مقدمه

توسعه، فرآیندی چندبعدی است که به ارتقای وضعیت اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی یک جامعه و بهبود نظم اجتماعی در جهت دستیابی به کیفیت بهتر زندگی اشاره دارد. تحقق چنین فرآیندی مستلزم سامان یافتن فعالیت‌های اقتصادی هر کشور بر مبنای مزیت‌های نسبی آن است. از این رو، شناسایی مزیت‌ها و به‌کارگیری هدفمند آن‌ها در قالب سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری، شرط اساسی دستیابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود.

در این چارچوب، انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید، نقشی تعیین‌کننده در مسیر توسعه ایفا می‌کند. ایران به دلیل قرارگیری در عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و برخورداری از ارتفاع مناسب از سطح دریا، از شرایط اقلیمی نسبتاً مطلوبی برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی برخوردار است. میزان تابش سالانه خورشید در کشور بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع برآورد شده و تعداد روزهای ابری متوالی در اغلب مناطق، کمتر از پنج روز در سال گزارش شده است (Haji Saqti, 1991). افزون بر این، کوهستانی بودن سرزمین ایران به‌گونه‌ای که بخش عمده‌ای از آن در ارتفاعی بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد بر مزیت نسبی کشور در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی افزوده است (Gazaneh & Khalili Khosroshahi, 2014).

پراکنش مکانی بادهای پایدار در برخی استان‌های کشور نیز زمینه مناسبی برای توسعه انرژی بادی فراهم کرده است. سابقه تاریخی استفاده از انرژی باد در ایران، به‌ویژه از طریق آسیاب‌های بادی ایستاده در مناطق شرقی کشور، نشان‌دهنده ظرفیت بالقوه این منبع تجدیدپذیر است؛ ظرفیتی که شواهد تاریخی، قدمت آن را به پیش از اسلام و حتی حدود ۱۷۰۰ سال قبل از میلاد نسبت می‌دهند (Mushtaq Gohari, 2019).

بررسی داده‌های بلندمدت تابش خورشیدی نشان می‌دهد که استان‌های یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، فارس و هرمزگان از بالاترین ظرفیت انرژی خورشیدی در کشور برخوردار هستند. در این استان‌ها، میانگین تابش سالانه خورشید غالباً بیش از ۲۰۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع گزارش شده و ترکیب تعداد بالای روزهای آفتابی، پوشش ابری اندک و ارتفاع مناسب از سطح دریا، شرایط فنی مطلوبی را برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی فراهم ساخته است. از منظر قابلیت بالفعل‌شدن این مزیت‌ها، ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از این استان‌ها، وجود اراضی وسیع و کم‌کاربری، هزینه نسبتاً پایین تملک زمین و در موارد متعددی دسترسی مناسب به شبکه‌های انتقال برق، امکان توسعه اقتصادی نیروگاه‌های خورشیدی را تقویت می‌کند. با این حال، در برخی مناطق به‌ویژه استان‌هایی نظیر سیستان و بلوچستان و هرمزگان، محدودیت‌های زیرساختی و مالی می‌تواند سرعت بهره‌برداری را کاهش دهد، هر چند این محدودیت‌ها ماهیتی ساختاری و بازدارنده نداشته و با سیاست‌های حمایتی قابل رفع هستند.

با توجه به ناهمگنی فضایی و زمانی منابع انرژی تجدیدپذیر در کشور، صرف اتکا به مقادیر میانگین اقلیمی برای مقایسه استان‌ها کفایت نمی‌کند. از این رو، برای ارزیابی نظام‌مند و مقایسه‌پذیر استان‌های کشور از نظر ظرفیت انرژی

خورشیدی و بادی، تعریف یک شاخص ترکیبی چندمعیاره مبتنی بر داده‌های اقلیمی بلندمدت (حداقل ۲۰ ساله) ضروری است؛ شاخصی که به‌طور هم‌زمان پایداری زمانی منابع و قابلیت مقایسه مکانی استان‌ها را منعکس کند. در گام نخست تدوین این شاخص، متناسب با ماهیت، منبع انرژی و متغیرهای اقلیمی کلیدی انتخاب می‌شوند. در حوزه انرژی خورشیدی، این متغیرها شامل میانگین سالانه تابش خورشید (G)، تعداد روزهای آفتابی در سال (D_s) و ضریب تغییرات سالانه تابش (CV_G) است که به‌ترتیب شدت، تداوم و پایداری منبع خورشیدی را نشان می‌دهند. در بخش انرژی بادی نیز میانگین بلندمدت سرعت باد در ارتفاع استاندارد توربین‌ها (V)، فراوانی وقوع بادهای مؤثر با سرعت بیش از ۵ یا ۶ متر بر ثانیه (F_v) و ضریب تغییرات سرعت باد (CV_V) به‌عنوان شاخص‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند. استفاده از ضرایب تغییرات در هر دو منبع، این امکان را فراهم می‌کند تا ریسک ناشی از نوسانات اقلیمی و بی‌ثباتی منابع انرژی در فرآیند ارزیابی لحاظ شود و تحلیل‌ها صرفاً مبتنی بر مقادیر میانگین نباشد.

در این چارچوب، اقتصاد انرژی با فراهم‌سازی بستری تحلیلی برای مطالعه عرضه، تبدیل و مصرف منابع انرژی، نقش مهمی در ارزیابی جامع پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کند. مدل‌های سیستم انرژی، با بهره‌گیری از رویکردهای بین‌رشته‌ای شامل اقتصاد، مهندسی، تحقیق در عملیات و مدیریت، این امکان را ایجاد می‌کنند که داده‌های اقلیمی بلندمدت در قالب شاخص‌های ترکیبی فرموله شده و به‌عنوان مبنایی علمی برای مقایسه، رتبه‌بندی و اولویت‌بندی استان‌ها از نظر ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرند. چنین رویکردی، پیوندی منسجم میان تحلیل اقلیمی، امکان‌سنجی اقتصادی و تصمیم‌گیری سیاستی برقرار، و زمینه را برای طراحی سناریوهای واقع‌بینانه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح ملی فراهم می‌کند (Bhattacharyya, 2019).

با وجود افزایش جهانی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پیشرفت‌های قابل توجه فنی در این حوزه، توسعه این منابع در ایران با چالش‌هایی نظیر محدودیت‌های مالی، سیاست‌های حمایتی ناکافی و ناهمگونی فضایی ظرفیت‌ها مواجه است. از این رو، صرف برخورداری از منابع طبیعی لزوماً به معنای امکان بهره‌برداری اقتصادی نیست و لازم است بررسی شود که احداث نیروگاه‌های خورشیدی و مزارع بادی در استان‌های مختلف کشور تا چه اندازه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است.

علاوه بر این، سیاست‌های حمایتی دولت از جمله تعرفه خرید تضمینی برق و سطح سرمایه‌گذاری عمومی نقش مهمی در تعیین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور ایفا می‌کنند. تغییر در این سیاست‌ها می‌تواند مسیر توسعه انرژی‌های پاک را تسریع یا محدود کند؛ بنابراین، تحلیل پیامدهای این سیاست‌ها بر سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختار انرژی ملی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Aghaei & salman, 2024).

بر این اساس، پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های موجود در بازه زمانی ۲۰ ساله مربوط به بیشینه سرعت باد و

میزان تابش خورشید، به ظرفیت‌سنجی انرژی‌های بادی و خورشیدی در استان‌های ایران می‌پردازد. در این راستا، با به‌کارگیری مدل سیستم پویا، میزان تولید برق در افق ۲۰ ساله تحت سناریوهای مختلف سیاستی شبیه‌سازی شده و با لحاظ هزینه‌ها، تعرفه‌ها و درآمدها، سودآوری اقتصادی پروژه‌ها در سطح استان‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت نیز با مقایسه سناریوهای مختلف توسعه، مشخص می‌شود کدام سناریوی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بیشترین انطباق را با اهداف کلان توسعه‌ای کشور دارد.

۲. مبانی نظری

۲-۱. منابع انرژی و توسعه

منابع انرژی از ارکان اصلی توسعه پایدار محسوب می‌شوند و دسترسی به انرژی مناسب، زمینه‌ساز رشد اقتصادی، رفاه اجتماعی و امنیت ملی است. زمانی می‌توان از «انرژی پایدار» سخن گفت که تولید و مصرف انرژی در خدمت توسعه بلندمدت و متوازن اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قرار گیرد. بر این اساس، انرژی پایدار زیرساخت تحقق توسعه پایدار به شمار می‌رود.

در دهه‌های اخیر، کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه با هدف تنوع‌بخشی به منابع انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، توجه فزآینده‌ای به انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی‌های خورشیدی و بادی داشته‌اند. ایران نیز با برخورداری از حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال و ظرفیت بالای انرژی‌های بادی، زمین‌گرمایی، آبی و زیست‌توده، از موقعیت مناسبی برای بهره‌برداری از منابع انرژی پایدار برخوردار است.

مصرف انرژی همچنان یکی از عوامل اصلی تغییرات آب‌وهوایی و مسئول حدود ۶۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان است. با وجود افزایش دسترسی جهانی به برق از ۸۷ درصد در سال ۲۰۱۵ به ۹۱ درصد در سال ۲۰۲۱، تحقق هدف «دسترسی همگانی به انرژی مقرون به صرفه و پاک تا سال ۲۰۳۰» مستلزم افزایش چشمگیر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های خورشیدی، بادی و سایر انرژی‌های پاک است. برآوردها نشان می‌دهد برای دستیابی جهانی به برق تولیدشده از منابع تجدیدپذیر، بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ سالانه ۳۵ تا ۴۵ میلیارد دلار سرمایه مورد نیاز است. تحقق این هدف، علاوه بر تأمین مالی پایدار، نیازمند توسعه فناوری، بهبود بهره‌وری انرژی و اصلاح چارچوب‌های نظارتی است (United Nations, 2023).

در مجموع، انرژی موتور محرک فعالیت‌های اقتصادی و زیربنای توسعه جوامع است. تداوم اتکای جهان به سوخت‌های فسیلی نه‌تنها آینده زیست‌محیطی زمین را تهدید می‌کند، بلکه پایداری رشد اقتصادی را نیز به خطر می‌اندازد. بنابراین، توسعه نیروگاه‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر یک راه‌حل پایدار برای مقابله با چالش‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تضمین آینده‌ای متوازن و پایدار برای نسل‌های آینده است.

۲-۲. توجیه‌پذیری احداث نیروگاه‌های بادی و خورشیدی در ایران

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص ترکیبی ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر و تحلیل داده‌های اقلیمی بلندمدت نشان می‌دهد که توجیه‌پذیری اقتصادی احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در استان‌های ایران به‌طور معناداری تابعی از مزیت‌های طبیعی، شرایط زیرساختی و چارچوب‌های سیاستی و مالی است. در استان‌هایی نظیر یزد، کرمان، فارس، خراسان جنوبی و بخش‌هایی از سیستان و بلوچستان که از میزان بالای تابش خورشیدی، تعداد زیاد روزهای آفتابی و نوسانات اقلیمی نسبتاً پایین برخوردار هستند، هزینه تولید برق خورشیدی به‌طور محسوسی کاهش یافته و شاخص هزینه تولید هم‌سطح‌شده برق (LCOE) در بسیاری از موارد کمتر از هزینه تولید برق حرارتی برآورد می‌شود. این امر سبب می‌شود شاخص‌های اقتصادی نظیر ارزش خالص فعلی (NPV) و نرخ بازده داخلی (IRR) برای پروژه‌های خورشیدی در این استان‌ها به‌ویژه در مقیاس‌های متوسط و بزرگ مثبت و جذاب ارزیابی شوند.

در حوزه انرژی بادی نیز استان‌هایی مانند سیستان و بلوچستان، خراسان رضوی، قزوین، زنجان و اردبیل به‌دلیل میانگین بالای سرعت باد و فراوانی مناسب بادهای مؤثر، از ظرفیت اقتصادی بالاتری برخوردارند. در این استان‌ها، ظرفیت عملی توربین‌ها (Capacity Factor) افزایش یافته است و در نتیجه، درآمد سالانه پروژه نسبت به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری بهبود می‌یابد. با این حال، قابلیت بالفعل‌شدن این مزیت‌های اقتصادی در همه استان‌ها یکسان نیست. در برخی مناطق، به‌ویژه استان‌هایی نظیر سیستان و بلوچستان و هرمزگان، محدودیت‌های زیرساختی شبکه برق، دسترسی محدود به منابع مالی ارزان‌قیمت و ریسک‌های نهادی می‌تواند دوره بازگشت سرمایه را افزایش، و جذابیت کوتاه‌مدت پروژه‌ها را کاهش دهد. این محدودیت‌ها اگرچه مانع بنیادی محسوب نمی‌شوند، اما نقش سیاست‌های حمایتی دولت، نظیر تعرفه‌های خرید تضمینی پایدار، تسهیل دسترسی به منابع مالی و توسعه شبکه انتقال را در بهبود توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه‌ها برجسته می‌کند.

در مجموع، احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در استان‌هایی که هم‌زمان از ظرفیت اقلیمی بالا، نوسانات کمتر منابع، هزینه پایین‌تر زمین و دسترسی مناسب‌تر به زیرساخت‌های شبکه برخوردار هستند، از منظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. در مقابل، در استان‌هایی با ظرفیت اقلیمی متوسط یا محدودیت‌های زیرساختی، توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه‌ها بیش از هر چیز به طراحی بسته‌های سیاستی و مشوق‌های مالی وابسته است.

۲-۳. تأثیر تغییر سیاست‌های حمایتی بر سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی

سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی نسبت به تغییرات سیاست‌های حمایتی حساس است، به‌ویژه در اقتصاد ایران که با ریسک‌های ساختاری نظیر نوسانات ارزی، تورم، محدودیت‌های تأمین مالی و عدم قطعیت‌های نهادی مواجه است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های حمایتی، از طریق تأثیرگذاری مستقیم بر جریان درآمدی پروژه‌ها و کاهش

ریسک سرمایه‌گذاری، نقش تعیین‌کننده‌ای در سرعت و مقیاس توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کنند.

در سناریویی که تعرفه‌های خرید تضمینی برق تجدیدپذیر به‌صورت پایدار، بلندمدت و متناسب با هزینه سرمایه و ریسک‌های اقتصادی طراحی شوند، جذابیت سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های بادی و خورشیدی به‌طور معناداری افزایش می‌یابد. در این حالت، شاخص‌های اقتصادی پروژه‌ها از جمله ارزش خالص فعلی (NPV) و نرخ بازده داخلی (IRR) بهبود یافته و ورود سرمایه‌گذاران بخش خصوصی تسهیل می‌شود. پیامد این فرآیند، افزایش ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های تجدیدپذیر و در نتیجه، افزایش تدریجی اما پایدار سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور خواهد بود؛ به‌گونه‌ای که این سهم می‌تواند از وضعیت نمادین و محدود فعلی به یک مؤلفه اثرگذار در تأمین برق کشور تبدیل شود.

در مقابل، کاهش یا بی‌ثباتی در سیاست‌های حمایتی مانند تعدیل ناگهانی تعرفه‌ها، تأخیر در پرداخت‌ها یا کاهش سرمایه‌گذاری مستقیم دولت، منجر به افزایش ریسک ادراک‌شده پروژه‌ها و افت تمایل سرمایه‌گذاران می‌شود. در چنین شرایطی، بسیاری از پروژه‌های تجدیدپذیر به‌ویژه در استان‌هایی که با محدودیت‌های زیرساختی یا هزینه سرمایه بالاتر مواجه هستند، از توجیه اقتصادی خارج و توسعه ظرفیت جدید متوقف می‌شود. پیامد نهایی این وضعیت، رکود یا حتی کاهش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی و تداوم وابستگی به منابع فسیلی خواهد بود.

از منظر سیاست‌گذاری، سرمایه‌گذاری مستقیم دولت در توسعه زیرساخت‌های شبکه انتقال، کاهش هزینه تأمین مالی و حمایت هدفمند از استان‌های دارای مزیت اقلیمی اما ضعف زیرساختی، می‌تواند اثر سیاست‌های تعرفه‌ای را تقویت کند. ترکیب این ابزارها، به‌ویژه در قالب یک چارچوب پایدار و قابل پیش‌بینی، زمینه را برای تحقق سناریوی رشد شتابان انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم می‌سازد؛ سناریویی که نه‌تنها سهم این انرژی‌ها در سبد انرژی کشور را افزایش می‌دهد، بلکه به کاهش شدت انرژی، بهبود امنیت انرژی و کاهش آسیب‌پذیری اقتصاد در برابر شوک‌های خارجی نیز منجر می‌شود.

در مجموع، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی نه صرفاً تابع ظرفیت‌های طبیعی، بلکه بیش از هر چیز تابع کیفیت، پایداری و انسجام سیاست‌های حمایتی است.

۲-٤. تبیین مدل سیستم پویا در تحلیل سیاست‌های حمایتی و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر

مدل سیستم پویا یک چارچوب تحلیلی مبتنی بر پویایی‌های درون‌زا، بازخوردها و تأخیرهای زمانی است که برای مطالعه رفتار بلندمدت سیستم‌های پیچیده به‌کار می‌رود. در حوزه انرژی، این رویکرد امکان بررسی تعامل هم‌زمان میان سیاست‌های حمایتی، تصمیمات سرمایه‌گذاری، توسعه ظرفیت تولید و تغییرات سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور را فراهم می‌کند.

در این مدل، ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های بادی و خورشیدی به‌عنوان یک متغیر انباشتی در نظر گرفته می‌شود که تحت تأثیر جریان‌های ورودی و خروجی تغییر می‌کند. جریان ورودی عمدتاً شامل نرخ سرمایه‌گذاری جدید در انرژی‌های تجدیدپذیر است که خود تابعی از متغیرهایی نظیر تعرفه خرید تضمینی برق، میزان سرمایه‌گذاری دولتی، هزینه سرمایه، ریسک اقتصادی و جذابیت مالی پروژه‌ها است. در مقابل، جریان خروجی می‌تواند بیانگر استهلاک فنی، خروج نیروگاه‌ها از مدار یا کاهش ظرفیت مؤثر باشد.

سیاست‌های حمایتی در این چارچوب نقش متغیرهای کنترلی کلیدی را ایفا می‌کنند. افزایش تعرفه خرید تضمینی یا تزریق سرمایه‌گذاری دولتی، از طریق بهبود جریان نقدی پروژه‌ها و کاهش ریسک ادراک‌شده سرمایه‌گذاران، منجر به افزایش نرخ سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، ارتقای تدریجی ظرفیت نصب‌شده و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی می‌شود. این فرآیند با تأخیر زمانی همراه است و اثر سیاست‌ها بلافاصله در سهم انرژی مشاهده نمی‌شود و پس از چند دوره زمانی آشکار می‌شود.

مدل سیستم پویا امکان شناسایی حلقه‌های بازخورد را نیز فراهم می‌کند. افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند در بلندمدت منجر به کاهش هزینه‌های تولید از طریق یادگیری فناورانه و صرفه‌های مقیاس، بهبود امنیت انرژی و کاهش فشار بر منابع فسیلی شود. این پیامدها می‌توانند انگیزه سیاست‌گذار برای تداوم یا تقویت سیاست‌های حمایتی را افزایش داده و یک حلقه بازخورد تقویتی ایجاد کنند. در مقابل، بی‌ثباتی سیاست‌ها یا کاهش حمایت‌ها می‌تواند حلقه‌های بازخورد تضعیفی ایجاد، و مسیر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را کُند یا متوقف کند.

در مجموع، استفاده از مدل سیستم پویا این امکان را فراهم می‌کند تا تأثیر سناریوهای مختلف سیاستی از حمایت قوی و پایدار تا حمایت محدود یا ناپایدار، بر مسیر زمانی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و سهم آن‌ها در سبد انرژی به‌صورت یکپارچه و واقع‌بینانه تحلیل شود. این رویکرد، با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سیستم و وابستگی نتایج به تصمیمات گذشته، ابزار مناسبی برای پشتیبانی از سیاست‌گذاری بلندمدت در بخش انرژی محسوب می‌شود.

۳. روش پژوهش

پژوهش از نوع توصیفی تحلیلی است و با روش کمی و کیفی و با بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای و اطلاعات آمارهای معتبر به تحلیل ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی و بادی در ایران می‌پردازد. برای مقایسه استان‌ها براساس شدت تابش خورشید و سرعت وزش باد، شاخص تابش خورشید و شاخص سرعت باد محاسبه شده است. علاوه بر این، برای ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه‌های خورشیدی و مزارع بادی در استان‌های کشور از ارزش خالص فعلی (NPV) استفاده شده است. در این پژوهش، به‌منظور تحلیل اثر سیاست‌های حمایتی دولت بر توسعه ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر و سهم آن در سبد انرژی کشور، از رویکرد پویایی سیستم‌ها استفاده شده است. این رویکرد به‌دلیل توانایی

در مدل‌سازی بازخوردهای درون‌زا، تأخیرهای زمانی و رفتار غیرخطی سیستم انرژی، برای تحلیل بلندمدت سیاست‌های انرژی مناسب است. برای برآورد ظرفیت انرژی بادی، به جای اتکای صرف به میانگین بیشینه سرعت باد، از توزیع آماری Weibull به عنوان روش استاندارد برآورد توان بادی استفاده شده است. پارامترهای شکل (k) و مقیاس (c) توزیع Weibull براساس داده‌های ۲۰ ساله سرعت باد هر استان برآورد، و ضریب ظرفیت توربین‌های بادی از انتگرال‌گیری تابع توزیع توان استخراج شده است. شاخص نهایی انرژی بادی بر اساس توان مورد انتظار و نه میانگین خام سرعت باد محاسبه شده است.

۳-۱. شاخص تابش خورشید و سرعت وزش باد

با جمع‌آوری اطلاعات ۲۰ ساله وزش باد و تابش خورشید در استان‌های ایران، شاخص مناسب برای ارزیابی و مقایسه ظرفیت (انرژی بادی و خورشیدی) استان‌ها محاسبه شده است. بر این اساس می‌توان میانگین کلی و ماکزیمم شاخص انرژی بادی و خورشیدی را محاسبه کرد.

$$Index\ (x_i) = \frac{X_i}{k} \times 100 \qquad (1)$$
$$k = \max\ (x_i)$$
$$i = 1, 2, \dots, 31$$

X_i مقدار میانگین استان iام است. برای ایجاد شاخص میانگین، دوره ۲۰ ساله استان‌ها، از میانگین حسابی بیشینه وزش باد و تابش خورشید استفاده شده است. براساس این شاخص استانی که میانگین آن (خورشید یا باد) در بین استان‌های کشور بیشینه باشد، مقدار شاخص آن عدد ۱۰۰ خواهد بود.

۳-۲. ارزش خالص فعلی (NPV)

روش ارزش خالص فعلی (NPV) یکی از ساده‌ترین و دقیق‌ترین ابزارهای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها است. در این روش، تمام جریان‌های نقدی آینده (دریافت‌ها و پرداخت‌ها) به ارزش خالص فعلی (NPV) در زمان آغاز پروژه تبدیل می‌شوند. اگر هدف، مقایسه چند پروژه باشد، پروژه‌ای با بیشترین ارزش فعلی اقتصادی‌تر است؛ اما در حالتی که تنها هزینه‌ها بررسی شوند، پروژه‌ای با کمترین ارزش فعلی هزینه‌ها برتر خواهد بود. در واقع، ارزش فعلی نشان‌دهنده ارزش خالص فعلی (NPV) تفاوت بین جریان‌های ورودی و خروجی نقدی است و بیان می‌کند که پذیرش یک پروژه چه میزان ارزش فعلی برای سرمایه‌گذار ایجاد می‌کند. بنابراین، این روش مبنایی برای تصمیم‌گیری درباره سودآوری و بازدهی سرمایه‌گذاری‌ها به‌شمار می‌رود.

پیش‌بینی جریانات نقدی مورد توجه مدیران مالی است و دلیل این توجه در استفاده از جریان‌های نقدی در مدل

ارزشیابی سهام، ارزیابی ریسک است. برای پیش‌بینی جریان‌های نقدی، هزینه‌ها از درآمدهای پیش‌بینی شده کم و جریان نقدی خالص به‌دست می‌آید. خالص جریان نقدی با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

جریان‌های نقدی حاصل از فعالیت‌های عملیاتی + جریان‌های نقدی حاصل از تامین مالی + جریان‌های نقدی حاصل از سرمایه‌گذاری

$$NPV = \sum_{t=1}^{N} \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \qquad (2)$$

C_t= [1] جریان نقدی خالص C_0= [2] سرمایه‌گذاری اولیه r= [3] نرخ تنزیل

t= [4] دوره زمانی

۳-۳. سرمایه‌گذاری اولیه و میزان پول سرمایه‌گذار در شروع پروژه

تنزیل روشی است برای تخمین ارزش حال یا ارزش فعلی جریان وجوه نقدی که در زمان‌بندی مشخصی در آینده قابل دریافت است. برای استفاده از مفهوم ارزش زمانی پول از روش نرخ تنزیل استفاده می‌شود. برای انتقال پولی از آینده به امروز و محاسبه ارزش امروز آن، باید آن را تنزیل کرد.

ارزش خالص فعلی (NPV) مثبت نشان می‌دهد که درآمد پیش‌بینی شده یک سرمایه‌گذاری بیش از هرینه‌های پیش‌بینی شده (با ارزش فعلی پول) است. سرمایه‌گذاری با ارزش خالص فعلی (NPV) مثبت، سودآور و سرمایه‌گذاری با ارزش خالص فعلی (NPV) منفی، زیان‌آور است. اگر ارزش خالص فعلی (NPV) یک پیشنهاد بزرگ‌تر از صفر باشد، آن پیشنهاد باید پذیرفته و اگر کمتر یا مساوی با صفر باشد، باید رد شود. گرچه در احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر، ارزش خالص فعلی (NPV) به تنهایی برای انتخاب یک سرمایه‌گذاری کافی نیست و باید عوامل دیگری را مورد بررسی قرار داد، اما دستاوردهای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر ابعاد اقتصادی را متاثر می‌کند و ابعاد اجتماعی را در بر می‌گیرند (Tofigh, 2012).

برای تعیین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، از سناریونویسی استفاده و به مقوله آینده انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی در شرایط جاری به شرح ذیل است: در سناریو اول، با توجه به صرفه اقتصادی تولید انرژی‌های خورشیدی و بادی، هر دو نوع برق خورشیدی و برق بادی به صورت همزمان افزایش می‌یابد، به

1. Net cash flow
2. initial investment
3. Discount rate
4. Time Period

گونه‌ای که با ادامه شرایط جاری سهم تولید برق تجدیدپذیر در افق ۱۴۲۰ به مقدار ۱/۵ درصد می‌رسد. در سناریوی دوم، فرض می‌شود دولت برای توسعه انرژی تجدیدپذیر توسط بخش خصوصی، تعرفه خرید برق را دو برابر و سالیانه ۴۰۰ میلیون دلار در توسعه انرژی تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کند. در این سناریو، در افق ۱۴۲۰ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از سبد انرژی کشور به ۱۴ درصد می‌رسد. سناریوی سوم و چهارم نیز مشابه سناریوی دوم است با این تفاوت که میزان سرمایه‌گذاری دولت و بخش خصوصی در سناریوی سوم به یک میلیارد دلار و در سناریوی چهارم به یک میلیارد و هفتصد هزار دلار در سال افزایش پیدا می‌کند. در سناریوی سوم، در سال ۱۴۰۱ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر یک درصد و در سال‌های ۱۴۱۰ و سال پایانی یعنی ۱۴۲۰ نسبت مذکور به ترتیب ۱۲ و ۲۱ درصد خواهد بود. و بالاخره در سناریو چهارم نسبت انرژی‌های تجدیدپذیر از سبد انرژی کشور، در ابتدای دوره مورد مطالعه یک درصد، در سال ۱۴۱۰ این نسبت ۱۶ و در سال ۱۴۲۰ سال پایانی دوره مورد مطالعه، ۲۷ درصد خواهد بود.

با توجه به ارزیابی اقتصادی سناریوهای مختلف و موقعیت جغرافیایی مناسب کشور برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی بادی و خورشیدی، سناریوی چهارم انتخاب شده است.

لازم به ذکر است؛ با توجه به اینکه میزان تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، هزینه‌ها و تعرفه برق حاصل از انرژی‌های تجدیدپذیر غیراحتمالی (تقریبا مشخص) بوده، از نرخ تنزیل در این رابطه استفاده نشده است.

۳-٤. ریسک تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر

از آنجایی که انرژی‌های تجدیدپذیر ارتباط قابل توجهی با فعالیت‌های اقتصادی و انجام آن‌ها دارند، شناسایی ریسک‌های کشوری در رابطه با تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری است و با شناسایی ریسک‌های سیاسی، مالی و اقتصادی و راه‌های غلبه بر آن‌ها، می‌توان به‌صورت بهینه از این نوع انرژی‌ها بهره‌مند شد و برای پرداختن به هر کدام از ریسک‌های مذکور و مطالعه و بررسی شاخص‌های آن‌ها می‌توان از منابع بین‌المللی نظیر WDI[1] و ICRG[2] استفاده کرد.

در محاسبه توان تولیدی نیروگاه‌های خورشیدی، علاوه بر میزان تابش افقی، اثر زاویه نصب پنل‌ها، دمای محیط، تلفات سیستم و ضریب عملکرد لحاظ شده است. توان مؤثر تولیدی خورشیدی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$> P_{PV} = G_t \times A \times \eta \times PR >$$

در این معادله، G_t تابش اصلاح‌شده، η راندمان پنل و PR بیانگر تلفات ناشی از دما، مبدل، کابل‌ها و آلودگی سطح پنل‌ها است.

1. World Development Indicators
2. The International Country Risk Guide

٤. یافته‌های پژوهش

٤-١. انرژی خورشیدی در ایران

ایران با برخورداری از روزهای آفتابی قابل توجه و میانگین تابش بیش از ۴ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، از جایگاه مناسبی در جهان برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر برخوردار است. استفاده از انرژی‌های خورشیدی و بادی به دلیل دسترسی آسان، سهولت تبدیل به برق و سازگاری با محیطزیست، گزینه‌ای مطلوب برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شود. کمبود منابع فسیلی، رشد مصرف انرژی و وابستگی اقتصاد به درآمدهای نفتی، لزوم برنامه‌ریزی برای توسعه انرژی‌های پاک را دوچندان می‌کند.

براساس ویژگی‌های جغرافیایی، تجهیز بخش‌هایی از اراضی بیابانی کشور به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی، علاوه بر تأمین نیاز داخلی، امکان صادرات برق به کشورهای همسایه را نیز فراهم می‌کند. بررسی میانگین ۲۰ ساله تابش خورشیدی استان‌های ایران نشان می‌دهد که استان‌های یزد، سیستان و بلوچستان، فارس، خراسان جنوبی، اصفهان و کرمان با میانگین ۴.۷۹ تا ۴.۹ کیلووات ساعت بر متر مربع، بالاترین میزان تابش را دارند؛ در حالی که اردبیل، گیلان، گلستان و مازندران با حدود ۳.۱۱ تا ۳.۷۴ کمترین تابش را ثبت کرده‌اند.

تحلیل چهار سناریوی سبد انرژی تا سال ۱۴۲۰ نشان می‌دهد در صورت تداوم روند فعلی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تنها ۱.۵ درصد خواهد بود، اما در صورت افزایش تعرفه خرید برق و سرمایه‌گذاری سالانه دولت (۴۰۰ میلیون دلار یا بیشتر)، توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و بادی شتاب می‌گیرد و استان‌های با تابش و باد بیشتر سهم بالاتری خواهند داشت.

با در نظر گرفتن هزینه ساخت هر کیلووات خورشیدی (۶۰۰ دلار) و بادی (۸۵۰ دلار) و محاسبه ارزش خالص فعلی (NPV)، اجرای این پروژه‌ها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. لذا استان‌های شرقی و جنوب شرقی کشور بهترین گزینه برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی هستند و این طرح‌ها علاوه بر کاهش آلاینده‌های فسیلی، موجب اشتغال‌زایی، توسعه صنایع جانبی و رشد پایدار مناطق کمتر توسعه یافته می‌شوند.

نقشه ۱: شاخص تابش استان‌های کشور دوره ۱۳۹۷-۱۳۷۸

Source: Authors Calculations

جدول ۱: میانگین تابش خورشید در استان‌ها در ۱۳۹۸-۱۳۷۹ (کیلووات ساعت بر مترمربع)

ردیف	استان	میانگین	شاخص تابش
۱	یزد	۴/۹	۱۰۰
۲	سیستان و بلوچستان	۴/۸۷	۹۹/۳۹
۳	فارس	۴/۸۶	۹۹/۱۸
۴	خراسان جنوبی	۴/۸۵	۹۸/۹۸
۵	اصفهان	۴/۸۲	۹۸/۳۷
۶	کرمان	۴/۷۹	۹۷/۷۶
۷	چهارمحال و بختیاری	۴/۶۳	۹۴/۴۹
۸	کهگیلویه و بویر احمد	۴/۵۷	۹۳/۲۷
۹	خوزستان	۴/۵۴	۹۲/۶۵
۱۰	بوشهر	۴/۵۱	۹۲/۰۴
۱۱	هرمزگان	۴/۵۱	۹۲/۰۴
۱۲	قم	۴/۵۱	۹۲/۰۴

ردیف	استان	میانگین	شاخص تابش
۱۳	سمنان	۴/۴۹	۹۱/۶۳
۱۴	همدان	۴/۴۴	۹۰/۶۱
۱۵	ایلام	۴/۴۳	۹۰/۴۱
۱۶	لرستان	۴/۳۸	۸۹/۳۹
۱۷	کردستان	۴/۳۴	۸۸/۵۷
۱۸	خراسان رضوی	۴/۳	۸۷/۷۶
۱۹	مرکزی	۴/۳	۸۷/۷۶
۲۰	قزوین	۴/۲۹	۸۷/۵۵
۲۱	تهران	۴/۲۹	۸۷/۵۵
۲۲	البرز	۴/۲۳	۸۶/۳۳
۲۳	آذربایجان غربی	۴/۱۹	۸۵/۵۱
۲۴	آذربایجان شرقی	۴/۱۸	۸۵/۳۱
۲۵	زنجان	۴/۱۷	۸۵/۱۰
۲۶	خراسان شمالی	۴/۱۶	۸۴/۹۰
۲۷	کرمانشاه	۴/۱۶	۸۴/۹۰
۲۸	اردبیل	۳/۷۴	۷۶/۳۳
۲۹	گیلان	۳/۳۳	۶۷/۹۶
۳۰	گلستان	۳/۳۱	۶۷/۵۵
۳۱	مازندران	۳/۱۱	۶۳/۴۷

Source: Authors Calculations

با توجه به اطلاعات جدول ۲ و تعریف سناریوهای چهارگانه برای توان تولیدی نیروگاه‌های خورشیدی استان‌ها در دوره ۱۴۲۰-۱۴۰۱، می‌توان هر کدام از سناریوها را انتخاب و بر اساس آن برنامه‌ریزی کرد. با توجه به هدف‌گذاری سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی مصرفی کشور (حدود ۲۷ درصد) و از طرفی برخورداری کشور از قابلیت‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، سناریو چهارم (جدول ۲)، انتخاب شده است.

جدول ۲: توان تولیدی نیروگاه‌های خورشیدی استان‌ها از ۱۴۲۰-۱۴۰۱ (مگاوات)

سال	سناریوی ادامه شرایط جاری	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	قیمت واحد (دلار)
۱۴۰۰	۲۹۹	۳۰۳	۳۰۳	۳۰۳	۰/۰۶۹
۱۴۰۱	۳۱۷	۳۲۲	۳۲۲	۳۲۲	۰/۰۷۲
۱۴۰۲	۳۳۳	۶۴۶	۸۷۷	۱۱۰۷	۰/۰۷۲
۱۴۰۳	۳۴۶	۹۶۸	۱۴۲۹	۱۸۸۹	۰/۰۷۲
۱۴۰۴	۳۵۷	۱۲۸۷	۱۹۷۸	۲۶۶۹	۰/۰۷۲
۱۴۰۵	۳۶۵	۱۶۰۵	۲۵۲۶	۳۴۴۷	۰/۰۷۲
۱۴۰۶	۳۷۱	۱۹۲۱	۳۰۷۴	۴۲۲۵	۰/۰۷۶
۱۴۰۷	۳۷۳	۲۲۳۶	۳۶۲۰	۵۰۰۴	۰/۰۷۶
۱۴۰۸	۳۷۵	۲۵۵۲	۴۱۷۰	۵۷۸۵	۰/۰۷۶
۱۴۰۹	۳۷۷	۲۸۷۲	۴۷۲۳	۶۵۷۱	۰/۰۷۶
۱۴۱۰	۳۸۰	۳۱۹۳	۵۲۸۰	۷۳۶۱	۰/۰۷۶
۱۴۱۱	۳۸۲	۳۵۱۹	۵۸۴۱	۸۱۵۶	۰/۰۸۰
۱۴۱۲	۳۸۵	۳۸۴۷	۶۴۰۸	۸۹۵۷	۰/۰۸۰
۱۴۱۳	۳۸۸	۴۱۸۰	۶۹۸۰	۹۷۶۶	۰/۰۸۰
۱۴۱۴	۳۹۲	۴۵۱۷	۷۵۵۷	۱۰۵۸۱	۰/۰۸۰
۱۴۱۵	۳۹۵	۴۸۵۸	۸۱۴۱	۱۱۴۰۲	۰/۰۸۰
۱۴۱۶	۳۹۹	۵۲۰۲	۸۷۳۰	۱۲۲۲۸	۰/۰۸۴
۱۴۱۷	۴۰۳	۵۵۵۱	۹۳۲۶	۱۳۰۵۵	۰/۰۸۴
۱۴۱۸	۴۰۶	۵۹۰۳	۹۹۲۵	۱۳۸۷۴	۰/۰۸۴
۱۴۱۹	۴۱۰	۶۲۵۸	۱۰۵۲۷	۱۴۶۸۴	۰/۰۸۴
۱۴۲۰	۴۱۴	۶۶۱۷	۱۱۱۲۹	۱۵۴۸۶	۰/۰۸۴
کل	۷۸۶۷	۶۸۳۵۷	۱۱۲۸۶۶	۱۵۶۸۷۲	-

Source: Authors Calculations

جدول ۳: ارزش دلاری برق تولیدی نیروگاه‌های خورشیدی در استان‌ها از ۱۴۲۰-۱۴۰۱

سال	سناریوی ادامه شرایط جاری	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	ارزش خالص فعلی - سناریوی چهارم (دلار)
۱٤۰۰	۳۶۱۴۵۵۱۲	۳۶۶۲۹۰۶۴	۳۶۶۲۹۰۶۴	۳۶۶۲۹۰۶۴	-
۱٤۰۱	۴۰۲۳۷۵۷۱	۴۰۸۷۲۲۳۳	۴۰۸۷۲۲۳۳	۴۰۸۷۲۲۳۳	۳۷۱۵۶۵۷۵
۱٤۰۲	۴۲۲۶۸۴۸۹	۸۱۹۹۸۳۳۰	۱۱۱۳۱۹۷۱۵	۱۴۰۵۱۴۱۶۷	۱۱۶۱۲۷۴۱۱
۱٤۰۳	۴۳۹۱۸۶۱۰	۱۲۲۸۷۰۵۶۳	۱۸۱۳۸۶۴۰۰	۲۳۹۷۷۵۳۰۴	۱۸۰۱۴۶۷۳۴
۱٤۰٤	۴۵۳۱۴۸۶۷	۱۶۳۳۶۱۹۹۹	۲۵۱۰۷۲۲۸۷	۳۳۸۷۸۲۵۷۶	۲۳۱۳۹۳۰۵۸
۱٤۰۵	۴۶۳۳۰۳۲۶	۲۰۳۷۲۶۵۰۲	۳۲۰۶۳۱۲۴۲	۴۳۷۵۳۵۹۸۳	۲۷۱۶۷۵۴۲۱
۱٤۰٦	۴۹۴۴۶۵۱۶	۲۵۶۰۲۸۹۹۷	۴۰۹۶۹۹۷۰۷	۵۶۳۱۰۳۸۶۰	۳۱۷۸۵۷۴۴۹
۱٤۰۷	۴۹۷۱۳۰۷۴	۲۹۸۰۱۱۸۸۹	۴۸۲۴۷۰۰۵۲	۶۶۶۹۲۸۲۱۶	۳۴۲۲۳۹۶۲۸
۱٤۰۸	۴۹۹۷۹۶۳۳	۳۴۰۱۲۸۰۵۹	۵۵۵۷۷۳۵۱۳	۷۷۱۰۱۹۱۳۱	۳۵۹۶۸۶۱۱۵
۱٤۰۹	۵۰۲۴۶۱۹۱	۳۸۲۷۷۷۳۴۵	۶۲۹۴۷۶۸۱۱	۸۷۵۷۷۶۴۴۰	۳۷۱۴۱۴۷۰۳
۱٤۱۰	۵۰۶۴۶۰۲۸	۴۲۵۵۵۹۹۱۱	۷۰۳۷۱۳۲۲۶	۹۸۱۰۶۶۸۶۶	۳۷۸۲۴۳۷۴۷
۱٤۱۱	۵۳۴۵۸۲۱۵	۴۹۲۴۵۹۳۱۵	۸۱۷۴۰۶۸۹۴	۱۱۴۱۳۷۴۸۷۱	۴۰۰۰۴۴۹۲۹
۱٤۱۲	۵۳۸۷۸۰۴۴	۵۳۸۳۶۰۶۰۹	۸۹۶۷۵۴۵۵۸	۱۲۵۳۴۶۹۱۹۱	۳۹۹۳۹۳۹۱۳
۱٤۱۳	۵۴۲۹۷۸۷۳	۵۸۴۹۶۱۶۱۹	۹۷۶۸۰۱۹۳۸	۱۳۶۶۶۸۳۰۵۵	۳۹۵۸۷۹۳۹۹
۱٤۱٤	۵۴۸۵۷۶۴۵	۶۳۲۱۲۲۴۰۰	۱۰۵۷۵۴۹۰۳۲	۱۴۸۰۷۳۶۵۷۶	۳۸۹۹۲۴۲۲۰
۱٤۱۵	۵۵۲۷۷۴۷۴	۶۷۹۸۴۲۹۵۳	۱۱۳۹۲۷۵۷۲۷	۱۵۹۵۶۲۹۷۵۵	۳۸۱۹۸۱۰۷۷
۱٤۱٦	۵۸۶۲۹۱۰۸	۷۶۴۳۸۲۵۰۲	۱۲۸۲۷۸۷۲۴۴	۱۷۹۶۷۸۳۷۸۲	۳۹۱۰۳۲۵۰۲
۱٤۱۷	۵۹۲۱۶۸۶۸	۸۱۵۶۶۴۶۰۴	۱۳۷۰۳۶۳۵۵۵	۱۹۱۸۳۰۳۲۶۱	۳۷۹۵۲۶۰۷۳
۱٤۱۸	۵۹۶۵۷۶۸۹	۸۶۷۳۸۷۵۲۶	۱۴۵۸۳۸۰۶۸۷	۲۰۳۸۶۴۷۲۱۹	۳۶۶۶۶۸۶۲۲
۱٤۱۹	۶۰۲۴۵۴۴۹	۹۱۹۵۵۱۲۶۸	۱۵۴۶۸۳۸۶۳۹	۲۱۵۷۶۶۸۷۱۵	۳۵۲۷۹۶۰۷۷
۱٤۲۰	۶۰۸۳۳۲۰۹	۹۷۲۳۰۲۷۷۱	۱۶۳۵۲۹۶۵۹۰	۲۲۷۵۵۱۴۶۹۱	۳۳۸۲۴۰۷۵۹
کل	۱۰۷۴۵۹۸۳۸۹	۹۶۱۹۰۰۰۴۵۹	۱۵۹۰۴۴۹۹۱۱۳	۲۲۱۱۶۸۱۴۹۵۶	۶۴۰۱۴۲۸۴۱۲

Source: Authors Calculations

جدول ٤: ارزیابی اقتصادی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در استان‌های کشور از ۱۴۲۰-۱۴۰۱

ردیف	استان	متوسط برق تولیدی (مگاوات)	اعتبار مورد نیاز (هزار دلار)	درآمد (هزار دلار)	سود مورد انتظار (هزار دلار)
۱	یزد	۲۸۶	۱۷۱۶۳۲	۲۳۳۹۰۹	۶۲۲۷۸
۲	سیستان و بلوچستان	۲۸۴	۱۷۰۵۶۱	۲۳۲۴۵۰	۶۱۸۸۹
۳	فارس	۲۸۴	۱۷۰۱۸۱	۲۳۱۹۳۳	۶۱۷۵۱
۴	خراسان جنوبی	۲۸۳	۱۶۹۸۶۴	۲۳۱۵۰۰	۶۱۶۳۶
۵	اصفهان	۲۸۱	۱۶۸۷۸۸	۲۳۰۰۳۴	۶۱۲۴۶
۶	کرمان	۲۷۹	۱۶۷۵۸۰	۲۲۸۳۸۷	۶۰۸۰۷
۷	چهارمحال و بختیاری	۲۷۰	۱۶۱۹۵۴	۲۲۰۷۱۹	۵۸۷۶۶
۸	کهگیلویه و بویراحمد	۲۶۶	۱۵۹۸۲۶	۲۱۷۸۲۰	۵۷۹۹۴
۹	خوزستان	۲۶۵	۱۵۸۹۶۴	۲۱۶۶۴۶	۵۷۶۸۱
۱۰	بوشهر	۲۶۳	۱۵۷۹۹۵	۲۱۵۳۲۴	۵۷۳۲۹
۱۱	هرمزگان	۲۶۳	۱۵۷۸۴۱	۲۱۵۱۱۴	۵۷۲۷۳
۱۲	قم	۲۶۳	۱۵۷۶۸۱	۲۱۴۸۹۷	۵۷۲۱۶
۱۳	سمنان	۲۶۲	۱۵۷۰۷۸	۲۱۴۰۷۵	۵۶۹۹۷
۱۴	همدان	۲۵۹	۱۵۵۴۷۳	۲۱۱۸۸۷	۵۶۴۱۴
۱۵	ایلام	۲۵۸	۱۵۴۹۱۶	۲۱۱۱۲۸	۵۶۲۱۲
۱۶	لرستان	۲۵۶	۱۵۳۳۷۰	۲۰۹۰۲۲	۵۵۶۵۱
۱۷	کردستان	۲۵۳	۱۵۱۷۵۵	۲۰۶۸۲۰	۵۵۰۶۵
۱۸	خراسان رضوی	۲۵۱	۱۵۰۵۳۵	۲۰۵۱۵۸	۵۴۶۲۳
۱۹	مرکزی	۲۵۱	۱۵۰۳۹۲	۲۰۴۹۶۳	۵۴۵۷۱
۲۰	قزوین	۲۵۱	۱۵۰۳۰۷	۲۰۴۸۴۶	۵۴۵۴۰
۲۱	تهران	۲۵۰	۱۵۰۲۵۹	۲۰۴۷۸۱	۵۴۵۲۲
۲۲	البرز	۲۴۷	۱۴۷۹۱۳	۲۰۱۵۸۴	۵۳۶۷۱
۲۳	آذربایجان غربی	۲۴۴	۱۴۶۶۴۳	۱۹۹۸۵۴	۵۳۲۱۰
۲۴	آذربایجان شرقی	۲۴۴	۱۴۶۲۸۴	۱۹۹۳۶۴	۵۳۰۸۰
۲۵	زنجان	۲۴۳	۱۴۵۷۹۸	۱۹۸۷۰۲	۵۲۹۰۴
۲۶	خراسان شالی	۲۴۳	۱۴۵۷۱۳	۱۹۸۵۸۶	۵۲۸۷۳
۲۷	کرمانشاه	۲۴۳	۱۴۵۶۶۹	۱۹۸۵۲۶	۵۲۸۵۷
۲۸	اردبیل	۲۱۸	۱۳۰۸۸۰	۱۷۸۳۷۱	۴۷۴۹۱

ردیف	استان	متوسط برق تولیدی (مگاوات)	اعتبار مورد نیاز (هزار دلار)	درآمد (هزار دلار)	سود مورد انتظار (هزار دلار)
۲۹	گیلان	۱۹۴	۱۱۶۴۶۶	۱۵۸۷۲۶	۴۲۲۶۰
۳۰	گلستان	۱۹۳	۱۱۵۷۶۴	۱۵۷۷۶۹	۴۲۰۰۶
۳۱	مازندران	۱۸۲	۱۰۸۹۸۸	۱۴۸۵۳۵	۳۹۵۴۷

Source: Authors Calculations

بر اساس نتایج جدول ۴، استان‌های یزد، سیستان و بلوچستان، فارس، خراسان جنوبی، اصفهان و کرمان به دلیل تابش بالاتر و تولید برق بیشتر، بالاترین سود مورد انتظار را دارند. تمرکز سرمایه‌گذاری در این استان‌ها می‌تواند بازده اقتصادی طرح‌های خورشیدی را به‌طور معناداری افزایش دهد. این استان‌ها به‌طور متوسط قادر به تولید ۱۶۹۷ مگاوات برق خورشیدی هستند. با توجه به ظرفیت‌های اقتصادی و فنی ایران، در سال‌های آینده می‌توان استان‌های بیشتری را نیز به نیروگاه‌های خورشیدی مجهز کرد.

براساس اطلاعات جدول ۵، در سطح ملی، اجرای طرح‌های خورشیدی منجر به تولید حدود ۷۸۲۸ مگاوات برق، نیاز به حدود ۴.۶ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری اولیه دارد که می‌تواند درآمدی بالغ بر ۶.۴ میلیارد دلار در طول دوره بهره‌برداری را در پی داشته باشد. در مقایسه اقتصادی میان نیروگاه‌های خورشیدی و حرارتی، نشان می‌دهد که اگرچه هزینه اولیه ساخت نیروگاه‌های خورشیدی بیشتر است، اما با در نظر گرفتن افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی (گازوئیل، مازوت و...) و رایگان بودن انرژی خورشید، نیروگاه‌های خورشیدی در میان‌مدت (حدود ۵ سال) به مراتب سودآورتر و سازگارتر با محیط‌زیست خواهند بود.

جدول ۵: ارزیابی اقتصادی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در ایران از ۱۴۲۰–۱۴۰۱

عنوان	برق تولیدی (مگاوات)	اعتبار مورد نیاز (هزار دلار)	درآمد (هزار دلار)	سود مورد انتظار (هزار دلار)
ایران	۷۸۲۸	۴۶۹۷۰۷۰	۶۴۰۱۴۲۸	۱۷۰۴۳۵۸

Source: Authors Calculations

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر و بانک جهانی، نرخ سود نیروگاه‌های خورشیدی به عوامل مختلفی از جمله بازده پنل‌ها، شرایط آب و هوایی و هزینه‌های اولیه و نگهداری بستگی دارد. به طور کلی، نرخ بازگشت سرمایه می‌تواند از ۷۰ تا ۸۵ درصد در سال اول تولید باشد. این عدد به میزان تابش خورشید، کیفیت

پنل‌ها، و نوع سازه نصبی (متحرک یا ثابت) بستگی دارد. اگرچه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نیروگاه‌های خورشیدی نسبت به نیروگاه‌های حرارتی بالاتر است، اما با در نظر گرفتن عدم نیاز به سوخت، ثبات هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش تدریجی قیمت سوخت‌های فسیلی، هزینه تولید برق خورشیدی در افق میان‌مدت رقابتی‌تر می‌شود. علاوه بر این، منافع زیست محیطی و کاهش انتشار آلاینده‌ها، مزیت اقتصادی غیرمستقیم مهمی برای نیروگاه‌های خورشیدی محسوب می‌شود.

در رابطه با نیروگاه‌های خورشیدی، پیش‌بینی می‌شود که میزان سودآوری آن‌ها در دوره ۲۰ ساله از ۱۴۰۱ تا ۱۴۲۰ به ۲۶/۶۲ درصد برسد. میزان سودآوری اقتصادی قابل برآورد و پیش‌بینی است اما تعیین میزان سودآوری اجتماعی آن‌ها نیاز به مطالعات گسترده‌ای دارد.

٤-۲. انرژی بادی در ایران

انرژی بادی یکی دیگر از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که با استفاده از آن و ایجاد مزارع بادی در مکان‌های مناسب می‌توان تولید برق را انجام داد. با بررسی میانگین بیشینه وزش باد در استان‌های کشور، بیشتر از نیمی از استان‌ها دارای میانگین بیشینه بالاتر از ۷ متر بر ثانیه بوده‌اند. این استان‌ها از نظر طبقه‌بندی بین‌المللی دارای وضعیت متوسط به بالا هستند. در بین این استان‌ها، اردبیل، سیستان و بلوچستان، قم و همدان دارای وضعیت عالی و چشمگیر هستند. با توجه به اینکه تعداد استان‌های مذکور نیمی از استان‌های کشور را شامل می‌شوند، بیشتر استان‌ها برای احداث مزارع بادی مناسب به نظر می‌رسند.

براساس ترازنامه انرژی ایران در ۱۳۹۸، فعالیت در زمینه تولید برق بادی و استقرار نیروگاه‌های بادی، از سال ۱۳۹۰ در گیلان، قزوین، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، فارس، خوزستان و اصفهان انجام گرفته است. در ۱۳۹۰، کل ظرفیت اسمی تولید انرژی بادی در بخش‌های دولتی و خصوصی، ۹۸۲۱۰ کیلووات ساعت، کل توربین‌ها ۱۶۸ توربین و تولید ناویژه برق ۲۱۷ گیگاوات ساعت بوده است. بر همین اساس در ۱۳۹۵ که استان اردبیل نیز به استان‌های قبلی اضافه شد، کل ظرفیت اسمی ۱۹۱۰۶۰ کیلووات ساعت، تعداد کل توربین‌ها ۲۳۹ توربین و تولید ناویژه برق ۲۵۰/۴ گیگاوات ساعت بوده است. در ۱۳۹۸، فعالیت در زمینه تولید برق از نیروگاه‌های بادی افزایش یافته و مناطق بیشتری را در بر گرفته است. در مناطق منجیل (گیلان)، سیاهپوش، کهک و آرین مه‌آباد (استان قزوین)، خواف و بینالود (خراسان جنوبی)، سهند، عون ابن علی، سراب، آق کند (آذربایجان شرقی)، لوتک (سیستان و بلوچستان)، بابا کوهی (فارس)، ماهشهر (خوزستان)، سرعین و نیر (اردبیل) و صفه (اصفهان) تولید برق از نیروگاه‌های بادی انجام شده است (نقشه ۲).

نقشه ۲: شاخص انرژی بادی در استان‌های کشور میانگین دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۹

Source: Authors Calculations

جدول ٦: میانگین بیشینه وزش باد در مراکز استان‌های کشور در دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۹

ردیف	استان	میانگین
۱	اردبیل	۹/۱۲
۲	زاهدان	۸/۷۲
۳	قم	۸/۲۰
۴	همدان	۸/۰۵
۵	تبریز	۷/۹۶
۶	یزد	۷/۹۳
۷	کرمان	۷/۸۸
۸	تهران	۷/۷۳
۹	بوشهر	۷/۶۶
۱۰	شهرکرد	۷/۶۲
۱۱	اراک	۷/۵۴
۱۲	کرج	۷/۳۲

ردیف	استان	میانگین
۱۳	بجنود	۷/۲۵
۱۴	قزوین	۷/۰۷
۱۵	گرگان	۷/۰۳
۱۶	زنجان	۷/۰۱
۱۷	ایلام	۶/۹۳
۱۸	اصفهان	۶/۸۴
۱۹	کرمانشاه	۶/۸۴
۲۰	بیرجند	۶/۵۶
۲۱	سنندج	۶/۴۷
۲۲	سمنان	۶/۴۵
۲۳	خرم آباد	۶/۲۷
۲۴	مشهد	۶/۱۲
۲۵	یاسوج	۶/۰۸
۲۶	اهواز	۶/۰۷
۲۷	اورمیه	۶/۰۳
۲۸	شیراز	۵/۹۶
۲۹	بندر عباس	۵/۷۲
۳۰	ساری	۵/۶۵
۳۱	رشت	۵/۳۸

Source: Authors Calculations

جدول ۷، توان استان‌های کشور در زمینه تولید انرژی بادی را نشان می‌دهند. بر اساس مدلسازی بر مبنای پویایی سیستم‌ها و سناریوهای چهارگانه، در سناریوی چهارم برای تولید انرژی بادی در ابتدای دوره مورد بررسی (سال ۱۴۰۱)، توان تولیدی انرژی بادی در کشور به میزان ۴۲۳ مگاوات، برآورد می‌شود که در پایان دوره در سال ۱۴۲۰ به ۸۹۷۹ مگاوات می‌رسد. با استفاده از نرخ‌های مصوب خرید انرژی‌های تجدیدپذیر (توسط سازمان برنامه و بودجه کشور)، ارزش برق تولیدی در سال ابتدای دوره، ۱۳۴۲۳۱ هزار دلار و ارزش برق تولیدی در پایان دوره به ۴۹۰۲۹۱ هزار دلار می‌رسد (جدول ۸).

جدول ۷: توان تولیدی نیروگاه‌های بادی در استان‌ها از ۱۴۲۰-۱۴۰۱ (مگاوات)

سال	سناریوی ادامه شرایط جاری	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	قیمت واحد (دلار)
۱٤۰۰	۳۹۷	۴۰۳	۴۰۳	۴۰۳	۰/۰۶۹
۱٤۰۱	۴۱۶	۴۲۳	۴۲۳	۴۲۳	۰/۰۷۲
۱٤۰۲	۴۳۲	۶۱۴	۷۴۴	۸۷۵	۰/۰۷۲
۱٤۰۳	۴۴۵	۸۰۳	۱۰۶۳	۱۳۲۳	۰/۰۷۲
۱٤۰٤	۴۵۶	۹۸۹	۱۳۷۹	۱۷۶۹	۰/۰۷۲
۱٤۰۵	۴۶۵	۱۱۷۲	۱۶۹۲	۲۲۱۲	۰/۰۷۲
۱٤۰٦	۴۷۰	۱۳۵۴	۲۰۰۴	۲۶۵۴	۰/۰۷۶
۱٤۰۷	۴۷۳	۱۵۳۴	۲۳۱۵	۳۰۹۵	۰/۰۷۶
۱٤۰۸	۴۷۵	۱۷۱۴	۲۶۲۶	۳۵۳۷	۰/۰۷۶
۱٤۰۹	۴۷۷	۱۸۹۶	۲۹۳۹	۳۹۸۰	۰/۰۷۶
۱٤۱۰	۴۷۹	۲۰۷۸	۳۲۵۳	۴۴۲۶	۰/۰۷۶
۱٤۱۱	۴۸۲	۲۲۶۳	۳۵۷۰	۴۸۷۴	۰/۰۸۰
۱٤۱۲	۴۸۴	۲۴۴۹	۳۸۸۹	۵۳۲۴	۰/۰۸۰
۱٤۱۳	۴۸۷	۲۶۳۷	۴۲۱۰	۵۷۷۷	۰/۰۸۰
۱٤۱٤	۴۹۰	۲۸۲۷	۴۵۳۴	۶۲۳۱	۰/۰۸۰
۱٤۱۵	۴۹۴	۳۰۱۸	۴۸۵۹	۶۶۸۸	۰/۰۸۰
۱٤۱٦	۴۹۷	۳۲۱۱	۵۱۸۷	۷۱۴۵	۰/۰۸۴
۱٤۱۷	۵۰۰	۳۴۰۶	۵۵۱۶	۷۶۰۴	۰/۰۸۴
۱٤۱۸	۵۰۴	۳۶۰۲	۵۸۴۶	۸۰۶۳	۰/۰۸۴
۱٤۱۹	۵۰۷	۳۷۹۸	۶۱۷۶	۸۵۲۲	۰/۰۸۴
۱٤۲۰	۵۱۱	۳۹۹۶	۶۵۰۶	۸۹۷۹	۰/۰۸۴
کل	۹۹۴۱	۴۴۱۸۷	۶۹۱۳۴	۹۳۹۰۴	-

Source: Authors Calculations

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که اختلاف قابل‌توجه میان سناریوها به‌ویژه از سال ۱۴۰۲ به بعد، صرفاً ناشی از افزایش ظرفیت اسمی نیست، بلکه نتیجه فعال شدن حلقه تقویتی سرمایه‌گذاری تولید در مدل پویایی سیستم است. در سناریوی چهارم، افزایش نرخ سرمایه‌گذاری اولیه موجب رشد سریع ظرفیت نصب‌شده، شده و این افزایش ظرفیت، از طریق افزایش درآمد حاصل از فروش برق، مجدداً سرمایه‌گذاری‌های بعدی را تقویت کرده است. این مکانیسم، که در قالب حلقه بازخورد تقویتی (R1) مدل‌سازی شده است، توضیح می‌دهد که چرا فاصله بین سناریوها در افق بلندمدت به‌طور فزاینده افزایش می‌یابد. در مقابل، در سناریوی ادامه شرایط جاری، به دلیل محدودیت سرمایه‌گذاری و فعال بودن حلقه تضعیفی محدودیت‌های شبکه و تأمین مالی (B1)، رشد ظرفیت تقریباً خطی و کم‌شتاب باقی مانده است.

جدول ۸: ارزش دلاری برق تولیدی نیروگاه‌های بادی در استان‌ها از ۱۴۲۰-۱۴۰۱

سال	سناریوی ادامه شرایط جاری	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	ارزش خالص فعلی- سناریوی چهارم (دلار)
۱۴۰۰	۱۱۹۹۸۱۳۴۰	۱۲۱۷۹۴۶۶۰	۱۲۱۷۹۴۶۶۰	۱۲۱۷۹۴۶۶۰	–
۱۴۰۱	۱۳۲۰۰۹۶۹۶	۱۳۴۲۳۱۰۱۳	۱۳۴۲۳۱۰۱۳	۱۳۴۲۳۱۰۱۳	۱۲۲۰۲۸۱۹۴
۱۴۰۲	۱۳۷۰۸۶۹۹۲	۱۹۴۸۴۱۲۳۴	۲۳۶۰۹۴۲۶۴	۲۷۷۶۶۴۶۲۵	۲۲۹۴۷۴۸۹۷
۱۴۰۳	۱۴۱۲۱۲۲۹۵	۲۵۴۸۱۶۷۹۳	۳۳۷۳۲۲۸۵۳	۴۱۹۸۲۸۹۱۳	۳۱۵۴۲۳۶۷۶
۱۴۰۴	۱۴۴۷۰۲۹۳۶	۳۱۳۸۴۰۳۵۹	۴۳۷۵۹۹۴۴۹	۵۶۱۳۵۸۵۳۹	۳۸۳۴۱۵۴۳۵
۱۴۰۵	۱۴۷۵۵۸۹۱۵	۳۷۱۹۱۱۹۳۲	۵۳۶۹۲۴۰۵۲	۷۰۱۹۳۶۱۷۲	۴۳۵۸۴۷۱۳۷
۱۴۰۶	۱۵۶۶۰۲۸۴۹	۴۵۱۱۴۹۴۸۳	۶۶۷۷۲۷۸۹۰	۸۸۴۳۰۶۲۹۸	۴۹۹۱۶۷۸۵۱
۱۴۰۷	۱۵۷۶۰۲۴۴۱	۵۱۱۱۲۵۰۴۲	۷۷۱۳۵۲۳۲۸	۱۰۳۱۲۴۶۴۱۷	۵۲۹۱۹۲۴۷۱
۱۴۰۸	۱۵۸۲۶۸۸۳۶	۵۷۱۱۰۰۶۰۱	۸۷۴۹۷۶۷۶۶	۱۱۷۸۵۱۹۷۳۴	۵۴۹۷۸۸۱۵۴
۱۴۰۹	۱۵۸۹۳۵۲۳۱	۶۳۱۷۴۲۵۵۵	۹۷۹۲۶۷۵۹۹	۱۳۲۶۱۲۶۲۴۹	۵۶۲۴۰۶۹۸۴
۱۴۱۰	۱۵۹۶۰۱۶۲۶	۶۹۲۳۸۴۵۰۹	۱۰۸۳۸۹۱۶۳۰	۱۴۷۴۷۳۲۳۵۶	۵۶۸۵۷۳۱۶۴
۱۴۱۱	۱۶۸۶۳۱۲۸۰	۷۹۱۷۲۷۳۵۸	۱۲۴۸۹۹۱۰۱۶	۱۷۰۵۲۰۵۱۰۲	۵۹۷۶۶۳۹۸۵
۱۴۱۲	۱۶۹۳۳۰۹۹۵	۸۵۶۸۰۰۸۴۰	۱۳۶۰۵۹۵۵۳۶	۱۸۶۲۶۴۰۹۴۴	۵۹۳۴۹۴۸۰۷
۱۴۱۳	۱۷۰۳۸۰۵۶۷	۹۲۲۵۷۴۰۳۶	۱۴۷۲۸۹۹۷۷۰	۲۰۲۱۱۲۶۳۵۹	۵۸۵۴۴۸۳۱۳

سال	سناریوی ادامه شرایط جاری	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	ارزش خالص فعلی – سناریوی چهارم (دلار)
۱٤۱٤	۱۷۱۴۳۰۱۳۹	۹۸۹۰۴۶۹۴۸	۱۵۸۶۲۵۳۵۷۶	۲۱۷۹۹۶۱۶۳۱	۵۷۴۰۵۲۰۳۱
۱٤۱٥	۱۷۲۸۲۹۵۶۹	۱۰۵۵۸۶۹۷۱۶	۱۶۹۹۹۵۷۲۴۰	۲۳۳۹۸۴۶۴۷۵	۵۶۰۱۴۰۶۴۳
۱٤۱٦	۱۸۲۵۷۳۰۹۹	۱۱۷۹۵۶۱۸۱۰	۱۹۰۵۴۴۶۰۰۰	۲۶۲۴۷۱۷۸۸۵	۵۷۱۲۱۵۰۸۵
۱٤۱۷	۱۸۳۶۷۵۱۴۹	۱۲۵۱۱۹۵۱۱۸	۲۰۲۶۳۰۴۲۴۹	۲۷۹۳۳۳۱۶۷۳	۵۵۲۶۴۵۷۸۰
۱٤۱۸	۱۸۵۱۴۴۵۵۱	۱۳۲۳۱۹۵۷۷۷	۲۱۴۷۵۲۹۸۴۷	۲۹۶۱۹۴۵۴۶۰	۵۳۲۷۳۱۹۲۶
۱٤۱۹	۱۸۶۲۴۶۶۰۲	۱۳۹۵۱۹۶۴۳۵	۲۲۶۸۷۵۵۴۴۶	۳۱۳۰۵۵۹۲۴۷	۵۱۱۸۷۱۴۵۳
۱٤۲۰	۱۸۷۷۱۶۰۰۳	۱۴۶۷۹۳۱۷۹۴	۲۳۸۹۹۸۱۰۴۴	۳۲۹۸۴۳۸۳۳۴	۴۹۰۲۹۱۸۴۱
کل	۳۳۹۱۵۲۱۱۱۱	۱۵۴۸۲۰۳۸۰۱۲	۲۴۲۸۷۸۹۶۲۳۰	۳۳۰۲۹۵۱۸۰۸۵	۹۷۶۴۸۷۳۸۲۶

Source: Authors Calculations

در این پژوهش، ارزش اقتصادی برق تولیدی بر پایه میزان برآورد تولید انرژی بادی و خورشیدی، هزینه‌های تولید و تعرفه برق مصوب وزارت نیرو محاسبه شده است. از تفاضل درآمد فروش و هزینه‌ها، میزان سود و سپس به منظور ارزیابی اقتصادی طرح، از روش ارزش خالص فعلی (NPV) استفاده شد. نتایج جدول ۸ نشان‌دهنده مثبت بودن ارزش خالص فعلی (NPV) در سناریوی چهارم است، اما اهمیت اصلی این نتیجه در زمان‌بندی سودآوری نهفته است. محاسبات نشان می‌دهد که در سال‌های ابتدایی دوره، سهم CAPEX غالب بوده و بازده اقتصادی محدود است. با این حال، پس از عبور از آستانه ظرفیت حدود ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ مگاوات، جریان درآمدی سالانه به گونه‌ای افزایش می‌یابد که پروژه وارد فاز خود تقویت‌شونده می‌شود. این یافته نشان می‌دهد که اقتصادی بودن انرژی بادی در ایران ماهیت آستانه‌ای[1] دارد و تحقق سودآوری پایدار، مستلزم سیاست‌های حمایتی در دوره ابتدایی توسعه است.

نتایج نشان می‌دهد که ارزش خالص فعلی (NPV) مثبت بوده و در نتیجه، تولید برق از انرژی بادی اقتصادی و سودآور است و در راستای اهداف توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور قرار دارد. بر اساس محاسبات (جدول ۹ و ۱۰)، طرح‌های پیشنهادی در استان‌های دارای ظرفیت بادی، از سود قابل توجهی برخوردارند؛ با این حال، تنها نیمی از استان‌های کشور از قابلیت لازم برای احداث مزارع بادی برخوردار هستند.

1. Threshold-based

جدول ۹: ارزیابی اقتصادی استقرار نیروگاه‌های بادی در استان‌های کشور از ۱۴۲۰–۱۴۰۱

ردیف	استان	متوسط برق تولیدی (مگاوات)	اعتبار مورد نیاز (هزار دلار)	درآمد (هزار دلار)	سود مورد انتظار (هزار دلار)
۱	اردبیل	۲۳۹	۲۰۳۳۴۱	۴۹۲۴۷۳	۲۸۹۱۳۱
۲	سیستان و بلوچستان	۲۲۹	۱۹۴۴۹۰	۴۷۱۰۳۵	۲۷۶۵۴۵
۳	قم	۲۱۵	۱۸۲۸۰۲	۴۴۲۷۲۸	۲۵۹۹۲۶
۴	همدان	۲۱۱	۱۷۹۴۲۷	۴۳۴۵۵۶	۲۵۵۱۲۸
۵	آذربایجان شرقی	۲۰۹	۱۷۷۶۱۸	۴۳۰۱۷۳	۲۵۲۵۵۵
۶	یزد	۲۰۸	۱۷۶۸۳۶	۴۲۸۲۷۸	۲۵۱۴۴۳
۷	کرمان	۲۰۷	۱۷۵۸۰۹	۴۲۵۷۹۱	۲۴۹۹۸۲
۸	تهران	۲۰۳	۱۷۲۴۸۳	۴۱۷۷۳۷	۲۴۵۲۵۴
۹	بوشهر	۲۰۱	۱۷۰۷۳۱	۴۱۳۴۹۳	۲۴۲۷۶۲
۱۰	چهارمحال و بختیاری	۲۰۰	۱۶۹۸۴۲	۴۱۱۳۴۱	۲۴۱۴۹۹
۱۱	مرکزی	۱۹۸	۱۶۸۰۸۲	۴۰۷۰۷۷	۲۳۸۹۹۶
۱۲	البرز	۱۹۲	۱۶۳۲۶۲	۳۹۵۴۰۴	۲۳۲۱۴۲
۱۳	خراسان شمالی	۱۹۰	۱۶۱۷۱۸	۳۹۱۶۶۵	۲۲۹۹۴۷
۱۴	قزوین	۱۸۶	۱۵۷۷۶۳	۳۸۲۰۸۷	۲۲۴۳۲۴
۱۵	گلستان	۱۸۴	۱۵۶۷۸۵	۳۷۹۷۱۸	۲۲۲۹۳۳
۱۶	زنجان	۱۸۴	۱۵۶۳۴۵	۳۷۸۶۵۲	۲۲۲۳۰۷
۱۷	ایلام	۱۸۲	۱۵۴۵۳۵	۳۷۴۲۷۰	۲۱۹۷۳۴
۱۸	اصفهان	۱۷۹	۱۵۲۴۳۳	۳۶۹۱۷۷	۲۱۶۷۴۴
۱۹	کرمانشاه	۱۷۹	۱۵۲۴۳۳	۳۶۹۱۷۷	۲۱۶۷۴۴
۲۰	خراسان جنوبی	۱۷۲	۱۴۶۳۵۴	۳۵۴۴۵۶	۲۰۸۱۰۲
۲۱	کردستان	۱۷۰	۱۴۴۳۶۴	۳۴۹۶۳۴	۲۰۵۲۷۱
۲۲	سمنان	۱۶۹	۱۴۳۸۷۴	۳۴۸۴۵۰	۲۰۴۵۷۵
۲۳	لرستان	۱۶۵	۱۳۹۸۶۴	۳۳۸۷۳۸	۱۹۸۸۷۳
۲۴	خراسان رضوی	۱۶۱	۱۳۶۵۳۹	۳۳۰۶۸۴	۱۹۴۱۴۵
۲۵	کهگیلویه و بویر احمد	۱۵۹	۱۳۵۵۱۲	۳۲۸۱۹۷	۱۹۲۶۸۵
۲۶	خوزستان	۱۵۹	۱۳۵۳۱۶	۳۲۷۷۲۳	۱۹۲۴۰۷

ردیف	استان	متوسط برق تولیدی (مگاوات)	اعتبار مورد نیاز (هزار دلار)	درآمد (هزار دلار)	سود مورد انتظار (هزار دلار)
۲۷	آذربایجان غربی	۱۵۸	۱۳۴۴۳۶	۳۲۵۵۹۱	۱۹۱۱۵۵
۲۸	فارس	۱۵۶	۱۳۳۰۱۸	۳۲۲۱۵۶	۱۸۹۱۳۸
۲۹	هرمزگان	۱۵۰	۱۲۷۶۳۸	۳۰۹۱۲۸	۱۸۱۴۸۹
۳۰	مازندران	۱۴۸	۱۲۶۰۷۴	۳۰۵۳۳۸	۱۷۹۲۶۴
۳۱	گیلان	۱۴۱	۱۱۹۹۶۱	۲۹۰۵۳۳	۱۷۰۵۷۲

Source: Authors Calculations

نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد که تنها حدود نیمی از استان‌های کشور دارای سودآوری قابل‌توجه برای استقرار نیروگاه‌های بادی هستند. این موضوع بیانگر آن است که سیاست توسعه انرژی بادی در ایران نباید به صورت یکنواخت فضایی طراحی شود، بلکه باید بر استان‌های دارای ترکیب مناسب سرعت باد، دسترسی به شبکه و مقیاس اقتصادی متمرکز باشد. استان‌هایی مانند اردبیل، سیستان و بلوچستان و قم، علاوه بر ظرفیت فنی، از نظر اقتصادی نیز بازده بالاتری دارند و می‌توانند به عنوان هسته‌های منطقه‌ای توسعه انرژی بادی عمل کنند.

جدول ۱۰: ارزیابی اقتصادی استقرار نیروگاه‌های بادی در استان‌ها از ۱۴۲۰–۱۴۰۱

عنوان	برق تولیدی (مگاوات)	اعتبار مورد نیاز (هزار دلار)	درآمد (هزار دلار)	سود مورد انتظار (هزار دلار)
ایران	۴۶۷۵	۳۹۷۳۷۹۳	۹۷۶۴۸۷۴	۵۷۹۱۰۸۱

Source: Authors Calculations

۵. بحث و نتیجه‌گیری

اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای توسعه‌یافته به طور چشمگیری افزایش یافته است. در میان این کشورها، چین با گسترش سریع نیروگاه‌های خورشیدی و مزارع بادی، پیش‌بینی می‌شود تا پیش از سال ۲۰۳۰ به هدف ۱۲۰۰ گیگاوات ظرفیت فتوولتائیک و بادی خود دست یابد. این مقدار در سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۷ تقریباً دو برابر یعنی ۱۰۷۰ گیگاوات رشد خواهد کرد. در ایالات متحده آمریکا، ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در همین بازه زمانی ۷۵ درصد یعنی ۲۸۰ گیگاوات افزایش می‌یابد. آلمان نیز بر اثر واکنش به بحران انرژی، رشد تجدیدپذیر خود را ۶۷ درصد یعنی

۹۷ گیگاوات افزایش داده است. در کشورهای اروپایی همچون فرانسه، هلند و بریتانیا رشد ظرفیت به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۷۰ درصد پیش‌بینی شده است. در بریتانیا نیمی از این افزایش به باد فراساحلی اختصاص دارد.

در کشورهای آسیایی و اقیانوسیه مانند هند، ژاپن و استرالیا نیز روند رو به رشد است. هند با افزودن ۱۴۵ گیگاوات، ظرفیت خود را تا سال ۲۰۲۷ دو برابر می‌کند. ژاپن با ۴۴ گیگاوات رشد یعنی ۳۰ درصد، عمدتاً در بخش خورشیدی پیشرفت دارد. در حالی که استرالیا با رشد بیش از ۸۵ درصد یعنی ۴۰ گیگاوات، از مشوق‌های ایالتی و قراردادهای فروش انرژی (PPA) بهره می‌برد. علاوه بر این، در منطقه آفریقای جنوب صحرا پیش‌بینی می‌شود که ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر دو برابر یعنی بیش از ۴۰ گیگاوات شود، به‌ویژه در پنج کشور آفریقای جنوبی، اتیوپی، تانزانیا، آنگولا و کنیا که سهمی بیش از ۶۰ درصد دارند.

به‌طور کلی، رشد جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر پاسخی به آثار منفی زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است؛ سوخت‌هایی که مهم‌ترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین محسوب می‌شوند. جایگزینی این منابع با انرژی‌های پاک، علاوه بر کاهش آلودگی، موجب صرفه‌جویی ارزی، افزایش صادرات انرژی و کمک به تحقق اهداف توسعه پایدار می‌شود.

از نظر اقتصادی، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک نه‌تنها توجیه زیست‌محیطی دارد بلکه بازده مالی نسبتاً پایدار و جاذبه بالایی برای سرمایه‌گذاران جهانی فراهم کرده است (Gillis, 13 Sep 2014; Sandor et al., 2013). برآوردها نشان می‌دهد که ظرفیت بالقوه سرمایه‌گذاری در این بخش حدود ۶۰۰ تریلیون دلار، معادل سه برابر ارزش کل دارایی‌های واقعی جهان است (Harris et al, 2012).

تحقق توسعه پایدار مستلزم برنامه‌ریزی سرزمینی کارآمد و هماهنگی میان ابعاد اکولوژیکی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی است (Mousavi & Kohaki, 2017). در سطح سیاست‌گذاری، شورای عالی آمایش سرزمین با هدف استقرار نظام راهبری توسعه، نظارت و هماهنگی در سطوح ملی تا استانی تشکیل شده است. بر این اساس، توسعه پایدار به‌عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که در آن نیازهای نسل حاضر بدون به خطر انداختن توان نسل‌های آینده در بهره‌مندی از منابع طبیعی تأمین شود (WCED, 1982). در این چارچوب، الگوی اقتصاد سبز و زیست‌محیطی به‌منظور تغییر الگوهای تولید و مصرف به سمت بوم‌محوری توسعه یافته است. در نهایت، گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر سهم مهمی در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، ارتقای عدالت بین‌نسلی و حفظ تعادل اکولوژیک در مسیر توسعه پایدار جهانی دارد.

در مجموع، ایران به‌دلیل موقعیت جغرافیایی، تنوع آب و هوایی و ویژگی‌های توپوگرافیک، ظرفیت بالایی در تولید انرژی خورشیدی و بادی دارد. بررسی داده‌های ۲۰ ساله تابش خورشید و وزش باد نشان می‌دهد که در اغلب مناطق کشور، باد از دوام و سرعت مناسبی برای تولید برق برخوردار است.

در حوزه انرژی خورشیدی، استان‌های یزد، سیستان و بلوچستان، فارس، خراسان جنوبی، اصفهان، کرمان و چهارمحال و بختیاری با میانگین تابش بیش از ۴/۶ کیلووات ساعت بر مترمربع در اولویت نخست قرار دارند و در اولویت دوم، استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، بوشهر، هرمزگان و قم هستند.

برای انرژی بادی، استان اردبیل با بیشترین سرعت باد (۱۰ تا ۳۷ متر بر ثانیه در ماه‌های مختلف سال) رتبه اول را دارد و به‌ویژه در زمستان می‌تواند بخش عمده انرژی حرارتی خود را از نیروگاه‌های بادی تأمین کند. شهر زاهدان نیز به دلیل بادهای ۱۲۰ روزه سیستان از ظرفیت بالایی برای تولید برق و حتی صادرات به کشورهای همسایه برخوردار است.

بر اساس برنامه هفتم توسعه، احداث نیروگاه‌های خورشیدی و مزارع بادی به‌صورت مرحله‌ای و پنج‌ساله برای استان‌ها پیشنهاد شده است. اجرای این طرح‌ها مستلزم تأمین مالی پایدار، مشارکت فعال بخش خصوصی، حمایت صندوق توسعه ملی و همکاری بانک‌های توسعه‌ای و بین‌المللی است. در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی، تولید برق از انرژی‌های خورشیدی و بادی هزینه سوخت ندارد، از نوسانات قیمتی نفت مستقل است و به‌دلیل استهلاک پایین، عمر طولانی‌تری دارد.

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه اخلاقی، تعارض منافع

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی/ حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

- Aghaei, M., & salman, M. (2024). The Role of Systematic Risk in the Financial Development and Renewable Energy Technology Development Nexus: A Comparison of Developing and Developed Oil-Producing Countries. Macroeconomics Research Letter, 18(39), 99-134. doi: 10.22080/iejm.2024.26479.2027 **[In Persian]**
- Bhattacharyya, Subhes C. (2019). *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. New York: Springer.

- Harris Karen, Schwedel Andrew & Kim Austin (2012). *A World Awash in Money: Capital Trends through 2020*. Bain & Company. Retrieved from: http://www.bain.com/publications/articles/a-world-awash-in-money.aspx
- Gazaneh, O., & Khalili Khosrowshahi, R. (2014). Analysis and optimal determination of southern angles and slope of solar water heater collector. *Emerging Trends in Energy Conservation 4th Conference - ETEC*, 19 February 2014, Tehran. **[In Persian]**
- Gillis, J. (13 Sep 2014). *Sun and wind alter global landscape, leaving utilities behind*. The New York Times. Retrieved from: https://www.nytimes.com/2014/09/14/science/earth/sun-and-wind-alter-german-landscape-leaving-utilities-behind.html
- Haji Saqti, Asghar (1991). Guide to Solar Energy Projects in Iran. Tehran: Iranian Scientific and Industrial Research Organization. **[In Persian]**
- Mousavi, M., & Kohaki, F. (2017). *Future of Research in Land Planning: A Look at the Application of Miqmac and Scenario Wizard Software*. Urmia: Urmia University
- Mushtaq Gohari, Kambiz (2019). Iranian Asbads, Species Diversity and Technical Evolution. *Journal of Architecture and Culture*, Spring, 56, 56-62. **[In Persian]**
- Sandor, R., Clarke, N., Kanakasabai, M., & Marques, R. (2013). *Environmental markets: A new asset class*. CFA Institute Research Foundation. Retrieved from: www.cfainstitute.org/foundation.
- United Nations (2023). *The sustainable development goals report 2023: Special edition*. New York: United Nations. Retrieved from: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/
- Tofigh, F. (2012). On the margins of the strategic plan for the capital's perimeter (Tehran). *Journal Shahr-e-Negar Bimonthly*, 12(56), 18-60.
- WCED. (1982). *Report of the World Commission on Environment and Development*. Our Common Future. Retrieved from: https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=en&v=pdf