



The University of Tehran Press

A Study of France's Energy Outlook for 2050 Focusing on the Analysis of Global Energy Supply Trends

Kamal Kavyani¹ | Mohammad Azimzadeh Arani^{2*} | Alireza Afzali³ | Reza Tahmasbi Blukabad⁴ | Mohammad Sadegh Saremi⁵

1. Master's student, Islamic Studies and Industrial Management, Faculty of Islamic Studies and Management, Imam Sadiq University (ISU), Tehran, Iran. Email: k.kavyani@isu.ac.ir

2. Corresponding Author, Assistant Professor in Energy and Electricity Economics Department, Niroo Research Institute (NRI). Email: mazimzadeh@nri.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Complex Systems Management, Faculty of Islamic Studies and Management, Imam Sadiq University (ISU), Tehran, Iran. Email: al.afzali@isu.ac.ir

4. PhD student in International Oil and Gas Contracts Management, Faculty of Islamic Studies and Economics, Imam Sadiq University (ISU), Tehran, Iran. Email: tahmaseby70@gmail.com

5. Assistant Professor of Technology Studies Institute (TSI), Tehran, Iran. Email: saremi@tsi.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 01 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 28 April 2025
Published Online 23 August 2025

Keywords:
Global energy trends,
Future energy,
France's Energy,
Trend analysis method.

ABSTRACT

Global energy supply is undergoing significant transformations, influenced by key trends in three sectors: fossil fuels, nuclear energy, and renewable energy. This paper, using a foresight approach, examines four global trends, separated into fossil, nuclear, and renewable energy sources, totaling 12 global trends that are shaping the future of energy worldwide, and aligns them with a case study of France. The findings indicate that dependence on fossil fuels is gradually decreasing, and it is expected that these resources will be completely removed from the energy mix of many countries by 2050. In the nuclear energy sector, although some countries remain committed to its development, the overall trend points to a gradual decline in its share of the global energy mix. According to available documents, France, as the country most dependent on nuclear energy, is seriously adjusting its nuclear energy structure, which indicates that France is affected by this trend. In contrast, renewable energy sources, driven by technological advancements, cost reductions, and policy supports, will be the main source of energy supply in the future. The case study of France shows that, in line with these global trends, this country has aligned its policies to increase the share of renewable energy while reducing its dependence on fossil and nuclear sources. The results of this study confirm that global trends are steering the transition towards sustainable energy, and it is predicted that these changes will lead to the formation of a new global energy system by the middle of this century.

Cite this article: Kavyani, K.; Azimzadeh Arani, M.; Afzali, A.; Tahmasbi Blukabad, R. & Saremi, M. S. (2025). A Study of France's Energy Outlook for 2050 Focusing on the Analysis of Global Energy Supply Trends. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 4 (4), 463-486. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.392926.1133>



© Kamal Kavyani, Mohammad Azimzadeh Arani, Alireza Afzali, Reza Tahmasbi Blukabad, Mohammad Sadegh Saremi
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.392926.1133>

Introduction

Earth, energy, and water are among the most valuable resources in daily life. How and to what extent these resources are exploited will have a significant impact on climate change. At the same time, the systems that provide these resources are themselves highly vulnerable to climate change, making efficient resource management critical for both carbon reduction and adaptation goals. A lack of integration in resource assessment and incorrect policymaking leads to inconsistent strategies and inefficient resource use. In order to achieve the goal of limiting the average global temperature increase to below °2C, as outlined in the Paris Agreement, a global energy transition is essential. The

shift from fossil fuels to low-carbon solutions will play a key role in this transformation, as carbon dioxide emissions from the energy sector account for about two-thirds of total greenhouse gas emissions. This desired transformation will be made possible through technological innovations, especially in the field of renewable energy.

Research Methodology and Materials

This study utilizes the trend analysis method to process global trends in energy transformation. In the first step, using available data from online documents provided by think tanks and international organizations, the study gathers existing documents related to the energy situation in France and how this country manages its energy resources in the nuclear and renewable energy sectors. Additionally, library-based articles related to international trends in fossil, nuclear, and renewable energy, as well as the energy situation in France, have been collected from resources available on Google Scholar.

In the second step, using trend analysis as a foresight method, the existing global trends in the transformation of fossil, nuclear, and renewable energy resources are processed. The main goal of trend analysis is to provide future-oriented recommendations. In this research, based on data from the mentioned sources, five key factors—namely: technological development, investment costs, global discourse along with international strategies, public opinion, and environmental factors—are considered as key drivers in shaping global trends. The findings of this study, based on these factors, examine their impact on the global energy supply system and the degree of France's responsiveness to them.

Results

In the results section of the research, global trends influenced by the key drivers in the energy sector are explained in detail. Additionally, at the end of each section, the degree of France's susceptibility to each trend, if applicable, is discussed, and ultimately, France's future outlook for 2050 is outlined.

In recent years, significant advancements have been made in renewable energy technologies. These advancements have not only helped reduce dependence on fossil fuels but have also created attractive and profitable investment opportunities. Renewable energy sources are also the most cost-effective resources economically. The cost of solar panels has decreased by 30 % in the past two years, and the prices of minerals and metals essential for the energy transition, especially metals required for batteries, have dramatically fallen. Global trends all point to the development of renewable energy and the replacement of other sources with this energy .

Discussion and Conclusion

In general, the sources used for global energy supply include fossil, nuclear, and renewable resources. Due to the environmental, technical, and economic challenges associated with fossil fuels, the global trend is moving towards their elimination. This trend is being reinforced by the increase in international discourse through various forums and agreements, including the Paris Agreement of 2015. Regarding nuclear energy, the international literature on its production indicates a significant trend towards reducing nuclear energy use.

France's energy policy has always been focused on the development of nuclear energy. Despite all the challenges involved in implementing this policy, such as reactor maintenance and repairs, redesigning and upgrading safety standards, decommissioning aging reactors, and disruptions caused by the COVID-19 pandemic in automated maintenance processes, France has continued to follow this path.



انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

بررسی آینده انرژی کشور فرانسه در افق ۲۰۵۰ با تمرکز بر تحلیل روندهای جهانی تأمین انرژی

کمال کاویانی^۱ | محمد عظیم‌زاده آرانی^{۲*} | علیرضا افضلی^۳ | رضا طهماسبی بلوک‌آباد^۴ | محمدصادق صارمی^۵

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معارف اسلامی و مدیریت صنعتی، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت، دانشگاه امام صادق^(ع)، تهران، ایران. رایانامه: k.kavyani@isu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه اقتصاد برق و انرژی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران. رایانامه: mazimzadeh@nri.ac.ir
۳. استادیار گروه مدیریت تولید و عملیات، دانشکده معارف اسلامی و مدیریت صنعتی، دانشگاه امام صادق^(ع)، تهران، ایران. رایانامه: al.afzali@isu.ac.ir
۴. دانشجوی دکتری مدیریت قراردادهای بین‌المللی نفت و گاز، دانشگاه امام صادق^(ع)، تهران، ایران. رایانامه: tahmaseby70@gmail.com
۵. استادیار گروه اقتصاد دانش‌بنیان، پژوهشکده مطالعات فناوری، تهران، ایران. رایانامه: saremi@tsi.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

کلیدواژه:

روندهای جهانی انرژی،
آینده انرژی،
انرژی فرانسه،
روش تحلیل روند.

تأمین انرژی در جهان با تحولاتی گسترده مواجه است که تحت تأثیر روندهای کلیدی در سه بخش انرژی‌های فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر قرار دارد. این مقاله با رویکردی آینده‌پژوهانه، روند جهانی به تفکیک منابع فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر، یعنی در مجموع ۱۲ روند که در حال شکل‌دهی به آینده انرژی در جهان هستند را بررسی کرده و آن‌ها را با مطالعه موردی کشور فرانسه تطبیق داده است. یافته‌ها نشان می‌دهد وابستگی به سوخت‌های فسیلی به تدریج در حال کاهش است و انتظار می‌رود این منابع تا افق ۲۰۵۰ به طور کامل از سبد تأمین انرژی بسیاری از کشورها، از جمله فرانسه، حذف شوند. در بخش انرژی هسته‌ای نیز اگرچه برخی کشورها همچنان به توسعه این انرژی متعهد هستند، اما روند کلی حاکی از کاهش تدریجی سهم آن در سبد انرژی جهانی است. طبق اسناد موجود، کشور فرانسه، به عنوان وابسته‌ترین کشور به انرژی هسته‌ای به طور جدی در حال تعدیل ساختار انرژی هسته‌ای خود است که تأثیرپذیری فرانسه از این روند را نشان می‌دهد. در مقابل، انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل پیشرفت‌های فناورانه، کاهش هزینه‌ها و حمایت‌های سیاستی، مسیر اصلی تأمین انرژی در آینده خواهند بود. مطالعه موردی فرانسه نشان می‌دهد این کشور نیز همسو با این تحولات جهانی، سیاست‌های خود را در راستای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به منابع فسیلی و هسته‌ای تنظیم کرده است. نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که روندهای جهانی در حال شکل‌دهی‌گذار به سمت انرژی‌های پایدار است و پیش‌بینی می‌شود که این تغییرات تا نیمه قرن حاضر به شکل‌گیری نظام جدیدی در تأمین انرژی جهانی منجر خواهد شد.

استناد: کاویانی، کمال؛ عظیم‌زاده آرانی، محمد؛ افضلی، علیرضا؛ طهماسبی بلوک‌آباد، رضا و صارمی، محمدصادق (۱۴۰۴). بررسی آینده انرژی کشور فرانسه در افق ۲۰۵۰ با تمرکز بر تحلیل روندهای جهانی تأمین انرژی. *فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار*، ۴ (۴) ۴۸۶-۴۶۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.392926.1133>

© کمال کاویانی، محمد عظیم‌زاده آرانی، علیرضا افضلی، رضا طهماسبی بلوک‌آباد، محمدصادق صارمی

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.392926.1133>



۱. مقدمه

زمین، انرژی و آب از جمله باارزش‌ترین منابع در زیست روزمره هستند. نحوه و میزان بهره‌برداری از آن‌ها در تغییرات آب و هوایی تأثیر فراوانی خواهد داشت [۱]. از همین‌رو، موضوع امنیت انرژی طی بیست سال گذشته به عنوان یکی از مسائل اساسی در الگوی تأمین انرژی کشورها مطرح بوده است [۲]. در همین‌حال، سیستم‌هایی که این منابع را فراهم می‌کنند خود بسیار آسیب‌پذیر در برابر تغییرات آب و هوایی هستند و مدیریت کارآمد منابع، هم برای اهداف کاهش کربن و هم برای اهداف سازگاری، از اهمیت بالایی برخوردار است. عدم یکپارچگی در ارزیابی منابع و سیاست‌گذاری نادرست به استراتژی‌های ناهمگون و استفاده ناکارآمد از منابع منجر می‌شود؛ بنابراین، یک دیدگاه جامع از استراتژی‌های آب و هوا، استفاده از زمین، انرژی و آب می‌تواند به رفع برخی از این کاستی‌ها کمک کند.

به طور کلی، بخش انرژی طی تاریخ در انواع روش‌های تولید و روش‌های استفاده از منابع، مشمول سه روند اساسی بوده است: تولید ساده به تولید تکنولوژیک که به روند استفاده انسان‌های اولیه از چوب به عنوان منبع تأمین انرژی تا توسعه نوآوری‌های تکنولوژیک در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر اشاره دارد، توسعه انرژی از کربن بالا به کربن پایین که تولید از طریق سوخت فسیلی به انرژی تجدیدپذیر است و استفاده یک‌باره به چندانکه که به تولید برق از طریق انرژی با روش‌های القای الکترومغناطیسی مربوط می‌شود [۳]. تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی تهدیدی برای بشریت است و کشورهای سراسر جهان برای کاهش تغییرات اقلیمی به عنوان بخشی از توافقنامه پاریس ۲۰۱۵ امضا کرده‌اند. آلودگی هوا همواره با بیماری‌های قلبی عروقی، سکنه مغزی، بیماری‌های تنفسی حاد و سرطان مرتبط است. تخمین زده می‌شود که از هر ۹ نفر از ۱۰ نفر که در هوای بسیار آلوده تنفس می‌کنند، به بیش از ۷ میلیون مرگ زودهنگام در سال منجر می‌شود [۴]. نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه‌های گرمایش ناحیه‌ای، کشاورزی، صنایع سنگین و بخش حمل‌ونقل، عامل اکثر آلودگی‌ها و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند که باعث تغییرات آب و هوایی می‌شود.

برای تحقق هدف محدود کردن افزایش متوسط دمای سطح زمین به زیر ۲ درجه سانتی‌گراد طبق توافقنامه پاریس، تحقق گذار در انرژی جهانی ضروری است. گذار از سوخت‌های فسیلی به راه‌حل‌های کم‌کربن نقش اساسی در این تغییر خواهد داشت؛ زیرا انتشار دی‌اکسید کربنی که توسط بخش انرژی صورت می‌گیرد حدود دو سوم از کل گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد [۱]. این تحول مطلوب با نوآوری‌های تکنولوژیکی، به‌ویژه در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، امکان‌پذیر خواهد شد. گذار انرژی جهانی به تجدیدپذیر و افزایش رشد اقتصادی در کشورها، می‌تواند حدود ۱۹ میلیون شغل مستقیم و غیرمستقیم مازاد تا سال ۲۰۵۰ در بخش‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی و تقویت شبکه ایجاد کند [۱]. بهره‌وری انرژی بالا و سهم بسیار بالاتر انرژی‌های تجدیدپذیر، دو ستون اصلی گذار انرژی در چشم‌انداز تجدیدپذیر شدن هستند [۱].

چالش اساسی این گذار، فرایند حذف کامل سوخت‌های فسیلی از سبد تأمین انرژی جهانی است. از نظر تاریخی، هیچ منبع انرژی تثبیت‌شده‌ای با افزودن یک منبع انرژی جدید، کاهش پایدار نداشته است. از طرفی، مصرف همه منابع انرژی معمولاً رشد کرده است؛ روندی که بیش از دو قرن حفظ شده و البته، برخی دوره‌ها مانند زغال‌سنگ بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ یا بیوفیول‌ها در اواخر قرن نوزدهم، کاهش جزئی در مصرف داشته است [۵]. از آنجا که میانگین دمای سطح جهانی طی قرن بیستم، بیشتر از هر قرن دیگر در ۱۰۰۰ سال گذشته افزایش یافته [۶]، احتمال رسیدن به تحول جهانی در مقایسه با سایر قرن‌ها به مراتب بیشتر است.

روند جهانی کاهش سوخت‌های فسیلی، با جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای همراه خواهد بود. انرژی‌های تجدیدپذیر شامل: انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی برق‌آبی و منابع زیست‌توده می‌شود. همچنین انرژی هسته‌ای، با توجه به وضعیت موجود فناوری‌های آن از طریق شکافت هسته‌ای تولید می‌شود. اگرچه انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای به عنوان عوامل کاهش انتشار کربن شناخته می‌شوند، اما در مورد اینکه کدام یک بهتر است، اختلاف نظر زیادی وجود دارد. انرژی‌های تجدیدپذیر ممکن است بر انتشار کربن تأثیر منفی بگذارند، اثری که برای محیط زیست مفید است. از سوی دیگر، برخی مطالعات نشان می‌دهند انرژی هسته‌ای در کاهش انتشار کربن تأثیر چندان مثبتی نشان نداده است [۷].

کشور فرانسه در سال ۱۹۶۴ با تأسیس اولین رآکتور هسته‌ای، مسیر تأمین انرژی بر پایه انرژی هسته‌ای را در کشمکش بحران انرژی جهانی آغاز کرد. از آن پس تا سال ۲۰۰۰ به طور پیوسته ۵۸ رآکتور اتمی تأسیس کرد به گونه‌ای که تا کنون ۷۸/۸ درصد از انرژی خود را از طریق هسته‌ای تأمین می‌کند [۸]. سیاست هسته‌ای فرانسه از سال ۲۰۰۰ تا کنون دچار نوسانات پی‌درپی شده است؛ به گونه‌ای که در یک مقطع زمانی به دنبال تعلیق بسیاری از نیروگاه‌های اتمی و جایگزینی آن‌ها با منابع تجدیدپذیر تا سهم ۵۰ درصدی تا سال ۲۰۵۰ بود و پس از مدتی دوباره سیاست توسعه انرژی هسته‌ای را در پی گرفت. با توجه به منابع سه‌گانه فسیلی، تجدیدپذیر و هسته‌ای، هنوز آینده مشخصی از نظام تأمین انرژی کشور فرانسه و جهان وجود ندارد. این منابع هریک مزیت‌های برجسته و معایب مشخصی دارند و اینکه کدام یک بر دیگری اولویت دارد، هنوز تا حد زیادی برای سیاست‌گذاران کشور فرانسه احراز نشده است. در این مقاله با بررسی روندهای جهانی در توسعه یا تعلیق منابع سه‌گانه، با استفاده از روش تحلیل روند، آینده سیستم انرژی جهان تا سال ۲۰۵۰ بررسی خواهد شد. همچنین، میزان تأثیرپذیری فرانسه از روندهای جهانی و آینده انرژی این کشور به عنوان کشوری که انرژی هسته‌ای منبع اصلی تأمین انرژی آن در نظر گرفته می‌شود، در تعارض سه‌گانه فسیلی، تجدیدپذیر و هسته‌ای بررسی خواهد شد. در بخش اول این مقاله به مرور پیشینه پژوهش و در بخش دوم یعنی ادبیات نظری به بررسی منابع تأمین انرژی در جهان، عوامل شکل‌گیری روندهای مؤثر در انرژی و موقعیت انرژی در کشور فرانسه خواهیم پرداخت. در بخش سوم و چهارم، روش تحقیق و یافته‌های پژوهش اعم از ذکر روندهای مؤثر در نظام تأمین انرژی جهان و تأثیرپذیری کشور فرانسه از آن‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. پیشینه پژوهش

تحولات جهانی در حوزه انرژی، از جمله تغییر الگوهای مصرف، پیشرفت فناوری‌های نوین و نگرانی‌های زیست‌محیطی، باعث رشد مطالعات و تحلیل روندهای انرژی به عنوان یکی از موضوعات پژوهشی اولویت‌دار شده است. بررسی پیشینه پژوهش در مقایسه روندهای انرژی در بخش‌های فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر نشان می‌دهد این موضوع از دهه‌های گذشته مورد توجه محققان بوده است. مطالعات اولیه عمدتاً روی تحلیل روندهای مصرف انرژی و سهم هر یک از منابع در سبد انرژی جهانی متمرکز بودند. با گذشت زمان و پیشرفت فناوری‌های نوین، پژوهش‌ها به سمت تحلیل عمیق‌تر عوامل مؤثر بر روندهای انرژی، مقایسه هزینه‌های تولید و تأثیرات زیست‌محیطی هر یک از منابع سوق پیدا کرد. در جدول ۱ آثار پژوهشی مرتبط با تحلیل روند انرژی‌های فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر به تفکیک یافته‌های موجود ارائه شده است.

جدول ۱. پیشینه آثار پژوهشی مرتبط با روندهای تأمین انرژی

نویسنده / نویسندگان	منبع انرژی مورد بررسی	یافته‌ها	منبع
یورک و بل	فسیلی - تجدیدپذیر	با بررسی روندهای تاریخی در تولید انرژی به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید انرژی، این منابع جایگزین سوخت‌های فسیلی نمی‌شوند، بلکه حجم کل منابع تولیدی را افزایش می‌دهند.	[۵]
نیامو و سملر	فسیلی - تجدیدپذیر	استراتژی استخراج و تولید منابع تجدیدپذیر را که از نظر کمی محدود هستند، بررسی می‌کند. همچنین، داده‌های تجربی در مورد ذخایر، تولید، مصرف و تکامل قیمت سوخت‌های فسیلی نشان داده شده است.	[۱۹]
کاینک و همکاران	فسیلی	با بررسی تاریخچه استفاده از انرژی، به پیش‌بینی وضعیت آینده توسعه انرژی جهانی می‌پردازد. همچنین، روندهای تحول منابع فسیلی (نفت، گاز و زغال‌سنگ) را بررسی می‌کند.	[۳]
فراگات و همکاران	هسته‌ای	با بررسی روندهای مؤثر در تغییرات آب و هوایی، اهمیت توسعه انرژی هسته‌ای در کنار انرژی‌های تجدیدپذیر را نتیجه‌گیری می‌کند.	[۲۲]
پیورو و همکاران	هسته‌ای	این مقاله منابع مختلف تولید برق صنعتی و نقش انرژی هسته‌ای در مقایسه با سایر سیستم‌های انرژی را ارائه می‌کند. همچنین، روند کاهش فزاینده در توسعه انرژی هسته‌ای، در آینده‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را پیش‌بینی می‌کند.	[۵۵]
گیلنا و همکاران	تجدیدپذیر	این مقاله ویژگی‌های فنی و اقتصادی گذار انرژی شتاب‌دهنده تا سال ۲۰۵۰ را با استفاده از مجموعه داده‌های جدید برای انرژی‌های تجدیدپذیر بررسی می‌کند.	[۱]
کورباتووا و پردری	تجدیدپذیر	این مقاله به بررسی روندهای مدرن در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر جهانی می‌پردازد. علاوه بر این، عوامل محرک در توسعه بازار جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر و تأثیر آن‌ها بر ساخت نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر را مورد بررسی قرار داده است.	[۴۸]

وجه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های سابق دسته‌بندی انواع روندهای مؤثر در بخش‌های سه‌گانه فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر انرژی است که با یک نگاه آینده‌پژوهانه، آینده انرژی در جهان با مطالعه موردی کشور فرانسه در افق ۲۰۵۰ را مورد بررسی قرار می‌دهد. این مطالعه با بررسی پیشران‌های مؤثر و تعیین‌کننده نظام جهانی انرژی به همراه پیشینه آثار مرتبط، روندهای جهانی را اکتشاف کرده است.

۳. ادبیات نظری

۳-۱. منابع تأمین انرژی در جهان

انرژی، نیروی محرکه زندگی و توسعه در جهان است. منابع تأمین انرژی در جهان بسیار متنوع هستند و می‌توان آن‌ها را به دو دسته کلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم کرد. منابع تجدیدپذیر انرژی‌های خورشیدی، برق آبی، زیست‌توده، زمین‌گرمایی، بادی و دریایی هستند. این منابع، به طور طبیعی و مداوم در دسترس هستند و با مصرف آن‌ها، ذخایر طبیعی زمین کاهش نمی‌یابد. از نظر تولید برق، انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از نیمی از کل ظرفیت‌های جدید جهانی را از سال ۲۰۱۲ به خود اختصاص داده‌اند. هزینه برق تولیدشده از فتوولتائیک خورشیدی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ به میزان شگفت‌انگیز ۷۳ درصد کاهش یافته است. همچنین، هزینه تأمین برق از باد زمینی نیز ۲۳ درصد کاهش یافته است [۱]. اکثر انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل وابستگی به شرایط آب و هوایی و اقتصادی دستخوش تغییرات چشمگیری می‌شوند. در حال حاضر، انرژی خورشیدی از برجسته‌ترین منابع تجدیدپذیر ارزیابی می‌شود. تا اواسط دهه ۲۰۳۰، انرژی خورشیدی به منبع اصلی برق در سراسر جهان تبدیل خواهد شد [۹]. در این راستا، نقش و امکانات گذار انرژی از طریق رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در بسیاری از کشورها، از جمله کشورهایی که در حال گذار اقتصادی هستند، نامشخص است و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد [۱۲].

در مقابل منابع تجدیدپذیر، انرژی‌های تجدیدناپذیر هستند که طی میلیون‌ها سال تشکیل شده و با سرعت بسیار کمتری نسبت به مصرف آن‌ها، تجدید می‌شوند. مصرف بی‌رویه این منابع، به اتمام رسیدن آن‌ها در آینده منجر خواهد شد. از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدناپذیر، انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای را می‌توان نام برد. منابع انرژی فسیلی جهانی شامل نفت، گاز و زغال سنگ است. طی دهه‌های گذشته، علاوه بر تعمیق دانش نظری و پیشرفت چشمگیر در مهارت‌های اکتشافی، طرح‌های جدید منابع انرژی فسیلی نیز به مرور زمان توسعه یافته‌اند. مقدار قابل بازیابی نفت و گاز متعارف در جهان عمدتاً در چهار منطقه متمرکز شده است: خاورمیانه (۳۵ درصد)، روسیه (۱۴ درصد)، آمریکای شمالی (۱۳ درصد) و آمریکای جنوبی (۹ درصد)؛ همچنین مقدار قابل بازیابی منابع گاز نیز عمدتاً در چهار منطقه آمریکای شمالی (۳۴ درصد)، آسیا - اقیانوسیه (۲۳ درصد)، آمریکای جنوبی (۱۴ درصد) و روسیه (۱۳ درصد) توزیع شده و در نهایت زغال‌سنگ به عنوان فراوان‌ترین انرژی فسیلی در جهان با مقدار بیش از ۱۰۰ تریلیون تن، عمدتاً در سه منطقه اروپا و اوراسیا، آسیا - اقیانوسیه و آمریکای شمالی پراکنده شده است [۳]. طی سالیان اخیر، استفاده از انرژی‌های فسیلی به دلیل دغدغه‌های زیست‌محیطی تا حد بسیار زیادی کاهش یافته است.

انرژی هسته‌ای، به عنوان یکی دیگر از منابع مطرح در تأمین انرژی، ذیل منابع تجدیدناپذیر دسته‌بندی می‌شود. منبع اساسی در تأمین انرژی هسته‌ای معادن اورانیوم هستند که با توجه به محدودیت منابع، توزیع آن‌ها در جهان بسیار نابرابر بوده و عمدتاً در ۱۲ کشور از جمله استرالیا، قزاقستان، کانادا، روسیه، نامیبیا، آفریقای جنوبی، برزیل، نیجر، چین، مغولستان، ازبکستان و اوکراین پراکنده شده‌اند [۱۰]. کشورهای مختلف نگرش‌ها و برنامه‌های متفاوتی برای توسعه انرژی هسته‌ای دارند؛ به عنوان مثال، ایالات متحده، کانادا، چین، روسیه، هند، آرژانتین، برزیل، مصر، فنلاند، مجارستان، لهستان، عربستان سعودی، بریتانیا و ازبکستان، نسبت به توسعه انرژی هسته‌ای خوش‌بین هستند. با این حال، بسیاری از اقتصادهای توسعه‌یافته مانند آلمان، اسپانیا، بلژیک و سوئیس قصد دارند سهم انرژی هسته‌ای را به تدریج کاهش دهند یا بر حذف انرژی هسته‌ای اهتمام جدی دارند [۱۰].

۳-۲. پیشران‌های مؤثر در شکل‌گیری روندهای جهانی انرژی

شناسایی روند و تحلیل آن، فقط شامل تغییرات پیش‌آمده و تحولات یک موضوع نیست، بلکه تحلیل روند، مبتنی بر دو عنصر متفاوت است که رابطه معنایی با یکدیگر دارند. عنصر اول، همان تغییر و تحولاتی است که یک موضوع در بستر تاریخ شاهد آن

بوده است. عنصر دوم، که به لحاظ تحلیلی بسیار مهم‌تر از رویدادها و تحولات تاریخی است، پیشران‌هایی است که یک موضوع را به سمت‌وسوی خاصی جهت‌دهی کرده است. در یک پژوهش با روش تحلیل روند، پیشران‌ها نقش پایه‌ای و مبنایی تحقیق را ایفا می‌کنند که از آن با عنوان مبنای نظری تحقیق یاد می‌شود. مبنای نظری تحقیق حاضر، شناسایی این پیشران‌ها در بخش تحولات انرژی است که از دل تحقیقات و پژوهش‌ها درمی‌آید و در حقیقت مبنای نظری تحقیق، از پاسخ به این سؤال که پیشران‌ها و عوامل شکل‌گیری روندهای موجود چیست، استخراج شده است که ابتدا به طور خلاصه در قالب جدول مطرح شده و سپس به تشریح هر یک از پیشران‌ها و نقش آن‌ها در شکل‌گیری روندها و همچنین نمونه‌های عینی هر یک از آن‌ها پرداخته شده است.

تحولات سیستم انرژی جهانی در دهه‌های اخیر به واسطه مجموعه‌ای از عوامل متنوع و پیچیده شکل گرفته است که هر یک به نحوی در جهت‌دهی سیاست‌ها و فناوری‌های مرتبط با انرژی، تأثیرگذار بوده‌اند. این عوامل، از یک‌سو، ناشی از رشد سریع فناوری و کاهش هزینه‌های تولید و بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر هستند و از سوی دیگر، به وسیله تغییرات در ساختار اقتصادی و نیازهای توسعه پایدار تقویت شده‌اند. گفتمان جهانی غالب که در آن نقش بازیگران بین‌المللی، نهادهای فراملیتی و توافق‌های چندجانبه برجسته است، زمینه‌ساز تغییرات کلیدی در سیاست‌گذاری‌های انرژی شده است. هم‌زمان، افکار عمومی بین‌المللی و فشارهای اجتماعی برای مقابله با بحران‌های زیست‌محیطی، نظیر تغییرات اقلیمی، آلودگی هوا و کاهش منابع طبیعی، ضرورت اصلاح الگوهای تأمین انرژی را بیش از پیش آشکار کرده‌اند. این پیشران‌ها در کنار یکدیگر نه تنها جهت‌گیری جهانی به سوی انرژی‌های پایدار و پاک‌تر را تقویت کرده‌اند، بلکه چالش‌های جدیدی نیز در مسیر گذار انرژی به وجود آورده‌اند که باید در سیاست‌گذاری‌ها و تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرند. بنابراین، این بخش از پژوهش با تمرکز بر پنج عامل کلیدی شامل توسعه فناوری، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، گفتمان جهانی و استراتژی‌های بین‌المللی، تأثیر افکار عمومی و عوامل زیست‌محیطی، به بررسی تأثیرات آن‌ها بر سیستم تأمین انرژی جهان می‌پردازد. این عوامل و نیروهای پیشران تحول در ذیل آن‌ها، نقش حیاتی در شکل‌دهی آینده انرژی ایفا می‌کنند و تحلیل آن‌ها می‌تواند آینده جهانی انرژی را تصویرسازی کند.

همان‌طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، چارچوب تحلیلی عوامل تغییر در روندهای انرژی به همراه ارجاعات در قالب یک جدول منظم و جامع ارائه شده است. در این جدول، بر اساس منابع ارائه‌شده، نقش اصلی و تأثیر هر یک از عوامل پیشران در روندها و همچنین، نمونه‌های عینی از همان عوامل در ستون جداگانه‌ای مورد اشاره قرار گرفته است.

جدول ۲. چارچوب کلی پیشران‌ها و عوامل تعیین‌کننده روندهای آینده انرژی

عوامل پیشران	نقش و تأثیر اصلی در روندشناسی	نمونه‌ها/پیامدها	منابع
توسعه فناوری	کاهش هزینه تولید، افزایش بهره‌وری، امکان استفاده گسترده‌تر از انرژی‌های تجدیدپذیر، تقویت نظام نوآوری بخش انرژی	سلول‌های خورشیدی پیشرفته، توربین‌های بادی بزرگ‌تر، باتری‌های ذخیره‌سازی	[۱۸] [۵۴] [۵۳] [۲۳]
هزینه‌های سرمایه‌گذاری	تعیین سرعت و گستردگی پروژه‌ها، جذب یا محدودیت منابع مالی، توسعه اقتصادی	کاهش هزینه ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر، حمایت‌های مالی	[۵۰] [۵۸] [۵۶] [۲۴] [۲۵]
گفتمان جهانی و استراتژی‌های بین‌المللی	هماهنگی سیاست‌ها، تسهیل همکاری و انتقال فناوری، رقابت ژئوپلیتیکی در حوزه انرژی پاک، حکمرانی گذار	توافق پاریس، همکاری‌های منطقه‌ای، رقابت انرژی پاک	[۵۷] [۵۲] [۴۷] [۲۶] [۳۷]
افکار عمومی	فشار اجتماعی برای سیاست‌های سبز و هسته‌ای، تغییر رفتار مصرف‌کننده	کمپین‌های محیط زیستی، افزایش تقاضا برای انرژی پاک	[۲۰] [۳۹] [۲۸] [۲۹]
محیط زیست	ایجاد چارچوب‌های قانونی و سیاست‌های محدودکننده آلودگی، الزام به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای	قوانین کاهش کربن، مالیات بر سوخت‌های فسیلی	[۵۷] [۵۱] [۲۰] [۳۰] [۳۱]

۳-۲-۱. توسعه فناوری

توسعه فناوری به عنوان یکی از عوامل کلیدی شکل‌دهنده روندهای آینده انرژی، تحولات قابل توجهی ایجاد کرده است. پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه‌های مختلف فناوری، از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره‌سازها و بهره‌وری انرژی، چشم‌انداز سیستم‌های انرژی آینده را به طور بنیادین متحول ساخته است. در روند گذار جهانی انرژی علاوه بر الزامات سیاستی، نوآوری نیز شتاب این گذار را تقویت می‌کند [۱۱].

از منظر فناوری، برترین فناوری‌ها در انرژی هسته‌ای مربوط به رآکتورهای نسل سوم^۱، رآکتورهای کوچک ماژولار^۲ و رآکتورهای شناور است. نسل جدید فناوری اکتشاف اورانیوم نیز عمدتاً با اکتشافات عمیق، هوش مصنوعی، استخراج سبز و فناوری ادغام همراه است [۱۰]. در انرژی‌های فسیلی نیز تمرکز فناوری‌ها در راستای کاهش هزینه‌ها، افزایش پایداری و فناوری تبدیل بستر سیال است که شامل بازیابی روغن پیشرفته (EOR TC)، بستر سیال (FBC TCP)، تحقیق و توسعه گازهای گلخانه‌ای (TCP GHG) و... می‌شود [۱۳]. در انرژی‌های تجدیدپذیر نیز فناوری‌های خورشیدی و بادی، به دلیل کاهش چشمگیر هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و حمایت‌های سیاستی، به عنوان فناوری‌های پیشران شناخته می‌شوند. کاهش هزینه‌های تولید برق از منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه در سال‌های اخیر، موجب گسترش سریع این فناوری‌ها شده است. همچنین، پیشرفت‌های قابل توجه در زمینه ذخیره‌سازی انرژی، از جمله باتری‌های لیتیوم - یون، امکان مدیریت بهتر نوسانات تولید انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم آورده است.

در میان فناوری‌های مختلف، انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل مزایای زیست‌محیطی و پایداری، بیشترین توجه را به خود جلب کرده‌اند. در فرایند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، نوآوری به سرعت در حال انجام است و در نتیجه آن، گذار مداوم از طریق کاهش هزینه‌های فناوری‌های تجدیدپذیر و همچنین فناوری‌های توانمندساز مانند باتری‌ها تسهیل می‌شود [۱]. بسیاری از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر پیشرفت‌های قابل توجهی در عملکرد و کاهش هزینه‌ها از خود بروز داده‌اند؛ بنابراین امکان استقرار آن‌ها در مقیاس گسترده کاملاً فراهم است [۴].

۳-۲-۲. هزینه‌های سرمایه‌گذاری

هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اقتصادی از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات و تحولات نظام تأمین انرژی جهانی ایفا می‌کنند. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های اولیه نصب و بهره‌برداری، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و هزینه‌های مرتبط با تأمین و انتقال منابع انرژی می‌شوند. یکی از عوامل کلیدی در سرمایه‌گذاری انرژی، هزینه‌های اولیه مرتبط با زیرساخت‌ها، تجهیزات، طراحی و ساخت است. نرخ بازگشت سرمایه^۳ پروژه‌های مرتبط با انرژی، به عنوان شاخصی مهم برای سنجش جذابیت اقتصادی، از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۵]. علاوه بر این، تغییرات اقتصادی از جمله نوسانات قیمت انرژی، تغییر در سیاست‌های دولتی و ریسک‌های ژئوپلیتیک نیز می‌توانند تأثیر بسزایی بر سودآوری و تصمیمات سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی داشته باشند. وجود منابع مالی در دسترس و نرخ بهره پایین می‌تواند سرعت توسعه پروژه‌های انرژی را افزایش دهد. همچنین، نهادهای بین‌المللی با ارائه وام‌ها و یارانه‌های حمایتی، نقش مؤثری در توسعه انرژی‌های نوین ایفا می‌کنند [۱۶]. تحلیل این عوامل در سطح جهانی می‌تواند روندهای جاری و آینده تأمین انرژی را دقیق‌تر کند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اقتصادی نه تنها بر تصمیم‌گیری‌های کوتاه‌مدت تأثیر می‌گذارند، بلکه روندهای بلندمدت توسعه سیستم انرژی جهانی را نیز شکل می‌دهند.

۳-۲-۳. گفتمان جهانی و استراتژی‌های بین‌المللی

امروزه تحولات نظام جهانی انرژی تحت تأثیر گفتمان جهانی پیرامون مسائل اقلیمی، امنیت انرژی و عدالت اجتماعی شکل گرفته است. این گفتمان‌ها نه تنها بازتاب ملاحظات اقتصادی، سیاسی و زیست‌محیطی هستند، بلکه نمایانگر تغییرات بنیادینی در

1. VVER

2. SMR

3. ROI

نحوه تولید، توزیع و مصرف انرژی نیز محسوب می‌شوند و مسیر سیاست‌گذاری دولت‌ها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. به طور مثال، موضوع تغییرات اقلیمی و تلاش‌های جهانی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای به عنوان یکی از عوامل اصلی تحول در سیستم‌های انرژی عمل کرده است [۱۷]. توافق‌نامه‌هایی مانند پیمان پاریس، تعهدات گسترده‌ای را برای کاهش انتشار کربن بر دولت‌ها تحمیل کرده است. علاوه بر این ملاحظات ژئوپلیتیکی و تلاش برای تأمین امنیت انرژی نیز گفتمان جهانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تنش‌ها و وابستگی به منابع خاص انرژی، دولت‌ها را به تنوع‌بخشی منابع و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر ترغیب می‌کند [۱۸].

با توجه به محدود بودن حجم منابع فسیلی و افزایش روزافزون جمعیت جهانی، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۴۰، قیمت تمام‌شده منابع فسیلی به‌ویژه نفت خام افزایش قابل توجهی خواهد داشت؛ با این حال برخی معتقدند به منظور در نظر گرفتن عدالت بین نسلی نباید منابع را در یک بازه زمانی کوتاه تخلیه کرد [۱۹]. دولت‌ها، شرکت‌ها، و جوامع جهانی با همکاری یکدیگر در حال شکل‌دهی به مسیر آینده انرژی و چگونگی تأمین و توزیع آن هستند، به گونه‌ای که علاوه بر تأمین امنیت و عدالت انرژی، توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست نیز محقق شود. این گفتمان، با تأکید بر نوآوری و سیاست‌گذاری‌های تحول‌آفرین، به سمت ایجاد سیستم‌هایی هدایت می‌شود که هم‌زمان نیازهای انسانی و الزامات زیست‌محیطی را برآورده سازند.

۳-۲-۴. افکار عمومی

افکار عمومی بین‌الملل به عنوان یک عامل مهم در جهت‌دهی به سیاست‌های انرژی جهانی شناخته می‌شود. افزایش آگاهی عمومی از تغییرات اقلیمی و پیامدهای زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث شده است که مردم به طور فزاینده خواستار تغییرات در سیاست‌های انرژی شوند. این تغییرات در افکار عمومی موجب شده است که دولت‌ها و شرکت‌ها به سمت اتخاذ تصمیمات سبز و افزایش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای حرکت کنند. افکار عمومی نه تنها بر سیاست‌های ملی، بلکه بر روندهای جهانی در سیستم انرژی نیز تأثیر می‌گذارد. در سال‌های اخیر، اعتراض‌ها و خواسته‌های عمومی، به‌ویژه از سوی سازمان‌های محیط زیستی و فعالان اجتماعی، موجب تغییراتی در سیاست‌های انرژی بسیاری از کشورها شده است [۲۰].

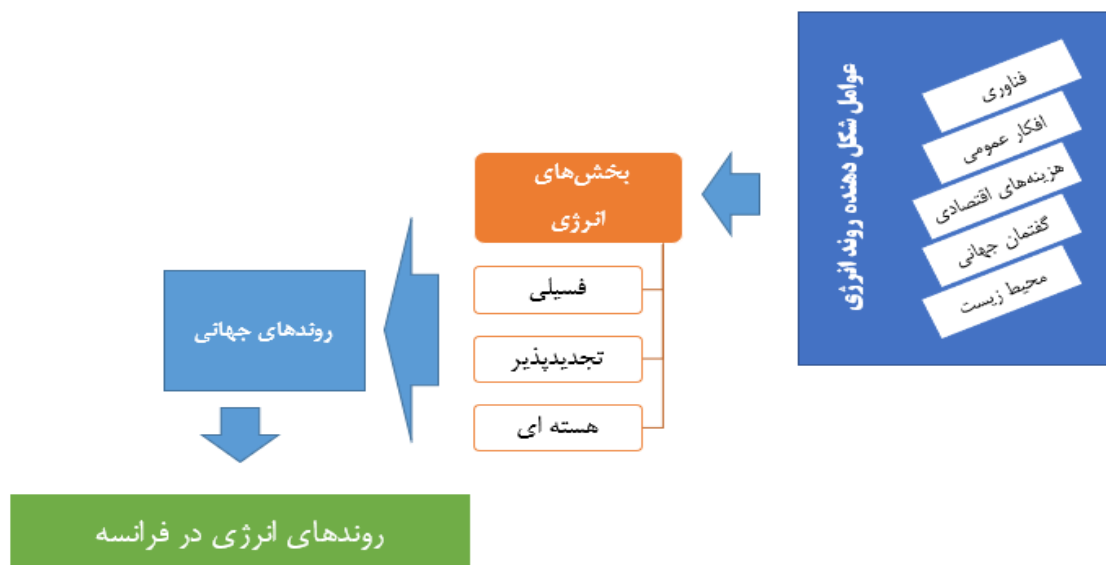
مفهوم پایداری انرژی در محافل علمی، سیاسی و اقتصادی به طور مداوم در حال رشد است. دلیل این امر، مسائل متعدد انرژی و محیط زیستی است که کل جهان روزانه با آن مواجه است. نظریه‌های متعددی در مورد عناصر اساسی پایداری انرژی وجود دارد. با این وجود، جریان غالب در محافل علمی، پایداری انرژی را به عنوان مفهومی مبتنی بر دو عنصر اساسی بهره‌وری انرژی و منابع انرژی تجدیدپذیر در نظر می‌گیرد [۱۴]. با توجه به اهمیت این موضوع، افکار عمومی جهان به سمت انرژی‌های با بهره‌وری بالاتر و مضرات زیست‌محیطی کمتر گرایش پیدا کرده است.

۳-۲-۵. عوامل زیست‌محیطی

عوامل زیست‌محیطی نقش بسزایی در شکل‌گیری روندهای جهانی سیستم انرژی ایفا می‌کنند. تغییرات اقلیمی، آلودگی هوا و تخریب محیط زیست از جمله مسائلی هستند که سیاست‌گذاران انرژی را به سمت توسعه منابع انرژی پاک و پایدار سوق داده‌اند. تولید و مصرف انرژی به طور مستقیم با مسائل زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی، آلودگی آب و تولید پسماندهای جامد مرتبط است. به عنوان مثال، سوزاندن سوخت‌های فسیلی برای تولید برق و حمل‌ونقل، منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا محسوب می‌شود. امروزه، کشورهای سراسر جهان برای مقابله با تغییرات آب و هوایی، کاهش منابع فسیلی و حل مسائل وابستگی انرژی، چشم‌اندازهای مشخصی برای این منابع تعیین کرده‌اند [۲۱].

دی‌اکسید کربن اصلی‌ترین گاز گلخانه‌ای است که از طریق سوختن سوخت‌های فسیلی منتشر می‌شود. میانگین دمای سطح جهانی طی قرن بیستم بیشتر از هر قرن دیگر در ۱۰۰۰ سال گذشته افزایش یافته است. CO₂ حدود ۰/۳ درصد از حجم جو زمین را تشکیل می‌دهد، اما به دلیل سوختن سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی، این میزان از زمان پیش از انقلاب صنعتی حدود ۲۵ درصد افزایش یافته است [۶]. اهمیت اقدام در مورد تغییرات آب و هوا در پنجمین گزارش بین‌المللی پنل ارزیابی تغییرات آب

و هوایی^۱ برجسته شده است که نشان می‌دهد تحت سیاست‌های فعلی، انتشار CO₂ از بخش انرژی می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ دو تا سه برابر افزایش یابد [۲۲].



شکل ۱. نمایی از عوامل شکل‌دهنده روندها در بخش انرژی - (منبع: یافته‌های پژوهش)

۳-۳. موقعیت انرژی در کشور فرانسه

مسیر سیاست‌گذاری انرژی فرانسه همواره به سمت توسعه انرژی هسته‌ای متمرکز بوده است. به رغم همه مشکلات موجود در فرایند اجرای این سیاست از جمله تعمیرات و نگهداری رآکتورها، بازطراحی و ارتقای ایمنی، غیرفعال کردن رآکتورهای فرسوده و اختلالات ناشی از همه‌گیری کرونا در فرایند تعمیرات نگهداری خودکار، کشور فرانسه همچنان این مسیر را ادامه داده است.

فرانسه با ۵۸ رآکتور هسته‌ای، سال‌هاست که بدون وقوع حادثه جدی به انرژی هسته‌ای وابسته است. این کشور پس از بحران نفتی ۱۹۷۳ به طور قطع، رهبر جهان در انرژی هسته‌ای شد. در آن سال، نخست وزیر فرانسه، طرحی را برای افتتاح ۸۰ نیروگاه هسته‌ای تا سال ۱۹۸۵ و ۱۷۰ نیروگاه هسته‌ای تا سال ۲۰۰۰ تدوین کرد. با توجه به این طرح، فرانسه در مجموع ۵۶ رآکتور جدید بین سال‌های ۱۹۷۴ و ۱۹۸۹ ساخت. سیاست حاکمیتی این کشور که به وسیله دولت «فرانسوا اولاند»^۲ در سال ۲۰۱۴ تعیین شد، در نظر داشت تا سهم هسته‌ای در تولید برق را تا سال ۲۰۲۵ به ۵۰ درصد کاهش دهد [۸]. میانگین سن ناوگان رآکتورهای فرانسه ۳۹ سال است. رآکتورهای فرانسوی در اصل فقط برای ۳۰ سال مجوز داشتند و اکنون تحت بازنگری ده‌ساله قرار دارند تا امکان ادامه فعالیتشان بررسی شود. همه رآکتورهای ۹۰۰ مگاواتی این کشور، در اواخر دهه ۱۹۷۰ تا اوایل دهه ۱۹۸۰ راه‌اندازی شده‌اند. پیش‌تر در ژانویه ۲۰۱۰، EDF، شرکت توسعه زیرساخت برق فرانسه گفته بود که در حال ارزیابی دورنمای عمر ۶۰ ساله برای همه رآکتورهای موجود خود است که این اقدام مستلزم تعویض همه ژنراتورهای بخار و تعمیرات دیگر است که هزینه‌ای معادل ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیون یورو برای هر واحد خواهد داشت. در نتیجه این اقدام، عمر هر رآکتور تا بیش از ۴۰ سال افزایش می‌یابد. در فوریه ۲۰۲۳، دفتر رئیس‌جمهور ماکرون گزارش داد که به دولت، چراغ سبز نشان داده شده است تا امکان سنجی افزایش عمر رآکتورهای هسته‌ای تا بیش از ۶۰ سال، از جمله بررسی کامل چرخه سوخت هسته‌ای و مسائل مربوط به مدیریت زباله را بررسی کند [۳۳].

علاوه بر انرژی هسته‌ای، دولت فرانسه تعهد دیرینه‌ای به انرژی‌های پایدار و تجدیدپذیر دارد. قانون گذار انرژی برای رشد سبز، تأثیر ویژه‌ای در مسیر سیاست‌گذاری این کشور داشته است. طبق داده‌های انرژی، هدف از این قانون، رسیدن سهم

1. IPCC

2. Francois Hollande

انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی فرانسه تا سال ۲۰۳۰ به ۳۲ درصد است؛ این قانون اقدامات مختلفی را برای ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر، صرفه‌جویی انرژی و حمل‌ونقل پایدار ترسیم می‌کند [۱۳]. فرانسه برای دستیابی به اهداف تجدیدپذیر خود، موقعیت خوبی دارد؛ این کشور سابقه قوی در توسعه و استقرار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر داشته و از نیروهای کار بزرگ و ماهر در این بخش برخوردار است. این کشور در سال‌های اخیر، سرمایه‌گذاری زیادی در منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، خورشید و انرژی برق‌آبی انجام داده است. در سال ۲۰۲۱، انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۵/۳ درصد از مصرف نهایی ناخالص انرژی فرانسه را پوشش داده‌اند. طبق شواهد، این کشور رسیدن به سهم ۵۰ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی خود را تا سال ۲۰۳۵ دنبال می‌کند. دولت فرانسه همچنین حمایت مالی قابل توجهی برای این بخش در نظر گرفته است. در سال ۲۰۲۱، دولت این کشور ۶ میلیارد یورو در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کرد [۳۷].

۴. روش تحقیق

پژوهش حاضر با استفاده از روش تحلیل روند به‌پردازش روندهای جهانی در تحول انرژی می‌پردازد. در گام اول با استفاده از داده‌های موجود در اسناد اینترنتی از طریق اندیشکده‌ها و مؤسسات بین‌المللی، به‌گردآوری اسناد موجود ناظر به موقعیت انرژی کشور فرانسه و نحوه مدیریت منابع انرژی این کشور در دوگانه انرژی هسته‌ای و تجدیدپذیر پرداخته است. همچنین، مقالات کتابخانه‌ای در ارتباط با روندهای بین‌المللی در حوزه انرژی‌های فسیلی، هسته‌ای، تجدیدپذیر و موقعیت انرژی کشور فرانسه از منابع موجود در گوگل اسکولار گردآوری شده‌اند. در این گام با استفاده از کلیدواژه‌های تحلیل روند، آینده انرژی و آینده انرژی کشور فرانسه، فرایند گردآوری داده‌ها بر اساس روش تحلیل محتوا صورت گرفته است.

در گام دوم، با استفاده از روش تحلیل روند به عنوان یکی از روش‌های آینده‌پژوهی، ابتدا پیشران‌های مؤثر در شکل‌گیری روندها با روش تحلیل محتوا شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. پیشران‌های مؤثر عبارت‌اند از: توسعه فناوری، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، گفتمان جهانی همراه با استراتژی‌های بین‌المللی، تأثیر افکار عمومی و عوامل زیست‌محیطی. روندهای جهانی مبتنی بر این پیشران‌ها در نظام تأمین انرژی جهانی و میزان تأثیرپذیری کشور فرانسه از آن‌ها شکل گرفته‌اند. در نهایت در گام سوم، روندهای جهانی موجود در تحول منابع انرژی فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر پردازش و صورت‌بندی شده‌اند.

روش تحلیل روند برای اولین بار زمانی مورد استفاده قرار گرفت که رویکردهای پوزیتیویستی در حیطه علوم اجتماعی غالب بودند. در این رویکردها، تأکید فراوانی بر توصیف واقعیت با استفاده از متغیرهای قابل کمی‌سازی وجود داشت. در تلقی اولیه روند، گرایش قاعده‌مند داده‌ها طی زمان مد نظر بود که قابل اعمال برای مسائل کیفی روزمره نبود؛ بنابراین در سیر تطور این روش تعاریف نوین برای تعمیم کاربست آن در مسائل کیفی ارائه شد. هدف اصلی روش تحلیل روند، ارائه تجویزهای آینده‌ساز است. در تعاریف نوین این روش، این‌گونه تبیین شده است که تحلیل روند، داده‌های خام و پردازش‌شده در فرایند پویش محیط را دریافت می‌کند و با استنباط روابط بین آن‌ها، به حجم انبوه داده‌ها، نظم، معنا و جهت می‌دهد. روند در تلقی علمی عبارت است از: مجموعه‌ای از رویدادها که براساس یک چارچوب شناختی خاص، گمان می‌رود که رابطه علی بین آن‌ها وجود دارد. بنابراین، روندها حاصل استنباط پژوهشگران از رابطه بین رویدادها و منطق تغییرات هستند و به ذهنیت پژوهشگر وابسته است. یکی از محدودیت‌های اجتناب‌ناپذیر این روش در فرایند احصای روندها، متکی بودن به استنباط پژوهشگر و شبکه خبرگانی است که بررسی چارچوب شناختی پژوهشگر در نحوه گردآوری داده‌ها و استنباط روندها از آن‌ها حائز اهمیت است. به طور کلی، فرایند شناسایی روندهای جهانی بخش انرژی در این مقاله به ترتیب ذیل است:

۱. گردآوری داده‌ها و اطلاعات موجود در منابع اینترنتی مؤسسات معتبر بین‌المللی و منابع موجود در گوگل اسکولار با جست‌وجوی کلیدواژه‌های تحلیل روند، آینده انرژی و آینده انرژی کشور فرانسه
۲. ارزیابی داده‌های گردآوری‌شده در قالب پیشران‌های مؤثر در شکل‌دهی به روندهای جهانی با روش تحلیل محتوا
۳. بررسی و صورت‌بندی داده‌های گردآوری‌شده در قالب روندهای مؤثر در نظام تأمین انرژی جهان

۵. یافته‌ها

در بخش یافته‌های پژوهش، ابتدا روندهای جهانی متأثر از عوامل شکل‌دهنده روندها در بخش انرژی به تفصیل توضیح داده می‌شود؛ همچنین انتهای هر بخش کیفیت تأثیرپذیری کشور فرانسه در هر یک از روندها در صورت تأثیرپذیری توضیح داده شده و در نهایت، آینده کشور فرانسه در افق ۲۰۵۰ تبیین می‌شود.

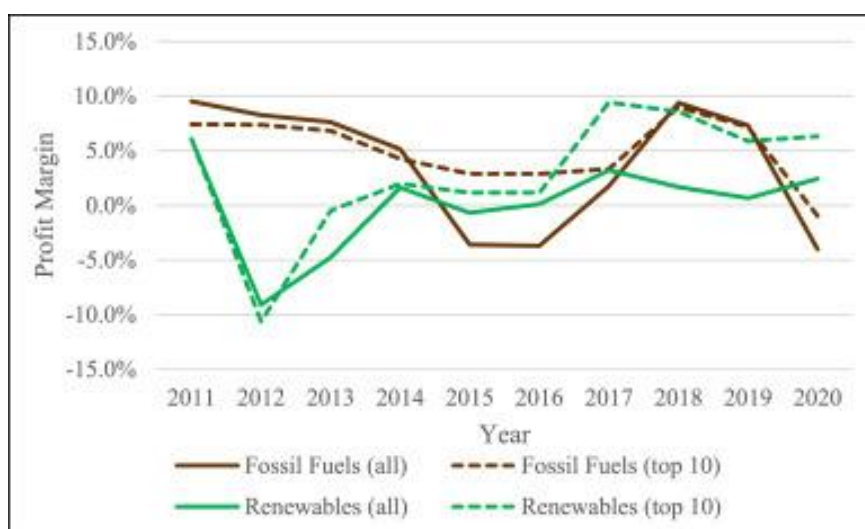
۵-۱. روندهای مؤثر در انرژی‌های فسیلی

انرژی‌های فسیلی با داشتن قدمت چندمیلیون ساله، به دلیل تراکم انرژی بالا و سهولت استخراج، برای مدت طولانی به عنوان منبع اصلی انرژی جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این منابع، به عنوان منبع اصلی تأمین انرژی جهان، در سال‌های اخیر با تحولات قابل توجهی روبه‌رو بوده‌اند. این تحولات تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله افزایش آگاهی جهانی نسبت به تغییرات اقلیمی، پیشرفت فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، نوسانات قیمت نفت و گاز، سیاست‌های دولت‌ها در زمینه انرژی، سیاست‌های بین‌المللی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و... قرار دارد. روندهای ذیل، به تفکیک نقش مهمی در شکل‌گیری تحولات جهانی در خصوص انرژی‌های فسیلی طی دو دهه گذشته داشته‌اند.

۵-۱-۱. روند افزایش هزینه‌های تولید هیدروکربنها

با افزایش آگاهی عمومی نسبت به تغییرات اقلیمی و لزوم کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، دولت‌ها مقررات سخت‌گیرانه‌ای را برای صنایع انرژی فسیلی وضع کرده‌اند. این مقررات شامل هزینه‌های بالای مجوز، مالیات‌های کربن و الزام به استفاده از فناوری‌های کاهش آلودگی است. از طرفی، تجدیدناپذیر بودن منابع فسیلی و ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های پیچیده‌تر، هزینه‌های این صنعت را به طور قابل توجهی افزایش داده است؛ به طور مثال شرکت‌های بزرگ تولید انرژی فسیلی به سمت توسعه فناوری‌های فوق بحرانی و فناوری‌های جذب و ذخیره کربن به منظور افزایش بهره‌وری در تولید رفته‌اند [۴۹]. یکی از چالش‌های اثرگذار در توسعه این فناوری‌ها، فقدان نیروی کار ماهر و متخصص است که در روند کاربست آن‌ها در تولید انرژی، اثرات قابل توجهی ایجاد کرده است [۱۲].

رقابت انرژی‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش سهم انرژی‌های فسیلی در سبد جهانی انرژی، چالشی جدی برای این صنعت به شمار می‌رود. هر یک از این عوامل به‌طبع، در افزایش قیمت مواد اولیه، تجهیزات، نیروی کار و هزینه‌های تولید نیز تأثیرگذار است و در نتیجه آن‌ها، سودآوری و حجم سرمایه‌گذاری‌ها در این صنعت با یک روند کاهشی مواجه بوده است.



شکل ۲. روند تغییر حاشیه سود انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۰

بر اساس شکل ۲، حاشیه سود تولید انرژی‌های فسیلی در مقایسه با انرژی‌های تجدیدپذیر طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۰ از نوسانات مختلفی برخوردار است و در مجموع با توسعه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر یک روند کاهشی در حاشیه سود تولید انرژی‌های فسیلی مشاهده می‌شود.

۵-۱-۲. روند افزایش چالش‌های فنی و زیرساختی

انرژی‌های فسیلی، اگرچه سهم قابل توجهی در تأمین انرژی جهان دارند، اما با چالش‌های فنی و زیرساختی متعددی روبه‌رو هستند. این چالش‌ها، به مرور زمان و با افزایش تقاضا برای انرژی، پیچیده‌تر شده‌اند. برخی از مهم‌ترین چالش‌های فنی و زیرساختی توسعه انرژی‌های فسیلی عبارت‌اند از:

- فناوری‌های نوین استخراج: به دلیل عمیق‌تر شدن چاه‌ها، توسعه فناوری‌های جدید و تحقیق و توسعه پویا از ضرورت‌های اجتناب‌ناپذیر این صنعت است. به منظور حفظ رقابت‌پذیری، نیاز به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و تحقیقات گسترده ضروری است.
- زیرساخت‌های انتقال: انتقال نفت و گاز از مناطق تولید به مناطق مصرف، نیازمند زیرساخت‌های پیچیده و پرهزینه مانند خطوط لوله است. همچنین، خطرات نشت و آلودگی محیط زیست طی این فرایند، از دیگر چالش‌ها است. بسیاری از زیرساخت‌های تولید و انتقال انرژی‌های فسیلی، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، قدیمی و فرسوده هستند و نیاز به نوسازی دارند. فرسودگی زیرساخت‌ها بهره‌وری و ایمنی را کاهش داده و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری را افزایش می‌دهد.
- انعطاف‌پذیری زیرساخت‌ها: زیرساخت‌های انرژی‌های فسیلی عمدتاً برای تولید و مصرف انبوه طراحی شده‌اند و انعطاف‌پذیری کمی در برابر تغییرات متنوع در الگوهای مصرف دارند.
- زیرساخت‌های اجتماعی و حمل‌ونقل: توسعه شهرسازی در مناطق دورافتاده نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های حمل‌ونقل است که یکی دیگر از چالش‌ها به منظور توسعه خطوط انتقال است.

۵-۱-۳. روند افزایش چالش‌های بین‌المللی و سیاسی کشورها در جایگزینی انرژی‌های فسیلی

روند افزایش تقاضای جهانی برای انرژی و افزایش آگاهی جهانی نسبت به تغییرات اقلیمی و تأثیرات مخرب سوخت‌های فسیلی، به تشدید چالش‌های بین‌المللی و سیاسی در مقابله با این منابع انرژی منجر شده است. رقابت بین کشورهای صادرکننده هیدروکربن موجب افزایش گرایش به سمت بهره‌ورسازی منابع فسیلی به جای تولید انرژی به وسیله آن‌ها شده است و این رقابت ماهیت استفاده از منابع فسیلی را تغییر خواهد داد. از طرفی، قیمت‌گذاری جهانی انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی و وابستگی اکثر کشورها به منابع انرژی وارداتی، گرایش به جایگزینی منابع فسیلی با انرژی‌های منابع تجدیدپذیر را تشدید کرده است. در شرایط ژئوپلیتیک ناپایدار، کشورها به دنبال افزایش تولید خود هستند. این موضوع وابستگی کشورها به منابع خارجی را کاهش خواهد داد. در عین حال، توسعه‌دهندگان پیشرو در تجهیزات نوآورانه، به طور معمول، رقابتی‌ترین فناوری‌های تولیدی خود را به کشورهای دیگر نمی‌فروشند؛ در نتیجه به طور مصنوعی وابستگی به عرضه تجهیزات خارجی و عقب‌ماندگی فناوری در شرکت‌های محلی از کشورهای مختلف را تقویت می‌کنند. بنابراین، کشورهای عقب‌مانده در فناوری‌های پیشرفته استخراج و تولید انرژی‌های فسیلی، به سمت راه‌حل‌های مطمئن‌تر و نوین در تولید انرژی خواهند رفت [۱۲].

۵-۱-۴. روند افزایش چالش‌های زیست‌محیطی در مقابله با انرژی‌های فسیلی

چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از استفاده از انرژی‌های فسیلی به طور فزاینده‌ای در حال تشدید هستند. این چالش‌ها به دلیل افزایش تقاضا برای انرژی، صنعتی شدن و رشد جمعیت جهان، به یکی از مسائل مهم محیط زیستی تبدیل شده است. سوختن منابع فسیلی یکی از اصلی‌ترین دلایل افزایش گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه، تغییرات اقلیمی است. این تغییرات باعث افزایش دمای کره زمین، بالا آمدن سطح آب دریاها، وقوع پدیده‌های شدید آب و هوایی، تخریب زیستگاه‌های طبیعی، آلودگی آب و خاک و سایر آثار مخرب می‌شود. چالش‌های زیست‌محیطی موجود، طی دهه گذشته، تصویر سوخت‌های فسیلی را در افکار

عمومی جهان بسیار تقبیح کرده و در نتیجه آن پذیرش این منابع در موقعیتی که منابع تجدیدپذیر در حال توسعه هستند، به شدت کاهش یافته است. از طرفی دیگر، شرکت‌های فعال در تولید انرژی فسیلی به سمت جایگزینی سوخت‌های فسیلی با گاز طبیعی با هدف کاهش آلاینده‌گی‌ها هستند.

طبق گزارش‌های موجود، تحت سیاست‌های فعلی، انتشار CO_2 از بخش انرژی می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ دو تا سه برابر افزایش یابد [۲۲]. پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که در نتیجه گذار از انرژی‌های فسیلی به تجدیدپذیر، انتشار آلاینده‌ها تا اواسط قرن نسبت به سطح انتشار سال ۲۰۱۵، برای NO_x ۸۳/۵ درصد، برای SO_x ، $\text{PM}_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب ۹۹/۸ درصد، ۹۶/۷ درصد و ۹۹/۴ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین طبق محاسبات، سطح مرگ‌ومیر سالانه ناشی از آلودگی هوا بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ با پیشرفت گذار انرژی به منابع تجدیدپذیر، ۹۶ درصد کاهش خواهد یافت [۴]. گذار به یک سیستم انرژی ۱۰۰ درصد تجدیدپذیر تا اواسط قرن، نه تنها تأمین انرژی پایدار را برای جوامع در سراسر جهان فراهم می‌کند، بلکه انتشار گازهای گلخانه‌ای که باعث تغییرات آب و هوایی ناشی از انسان می‌شود را نیز کاهش می‌دهد. علاوه بر این، چنین گذاری پتانسیل نجات میلیون‌ها نفر و میلیاردها یورو سرمایه را دارد؛ زیرا از خسارت‌های احتمالی آلودگی جلوگیری می‌شود.

۵-۱-۵. تأثیرپذیری کشور فرانسه از روندهای مؤثر در انرژی‌های فسیلی

کشور فرانسه منابع انرژی فسیلی بسیار محدودی دارد و بیشتر نفت، گاز طبیعی و تمام زغال سنگ خود را وارد می‌کند [۴۱]. این کشور برای کاهش وابستگی خود به واردات انرژی فسیلی، سیاست توسعه انرژی هسته‌ای را جایگزین کرده بود. در پی توافقنامه پاریس در سال ۲۰۱۵، فرانسه به کشورهایی پیوست که متعهد شدند استفاده از سوخت‌های فسیلی را به عنوان بخشی از سیاست اقتصادی و اکولوژیکی خود به طور قابل توجهی کاهش خواهند داد.

فرانسه به عنوان یک رهبر اولیه در هدایت گذار انرژی، هدف انتشار صفر خالص کربن تا سال ۲۰۵۰ را در نظر گرفته است. این چشم‌انداز در قانون انرژی و آب و هوای این کشور در سال ۲۰۱۹ انعکاس یافت؛ به این منظور هدف اولیه فرانسه، کاهش ۵۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ و کاهش ۱۰۰ درصدی تا سال ۲۰۵۰ است [۳۴].

۵-۲. روندهای مؤثر در انرژی هسته‌ای

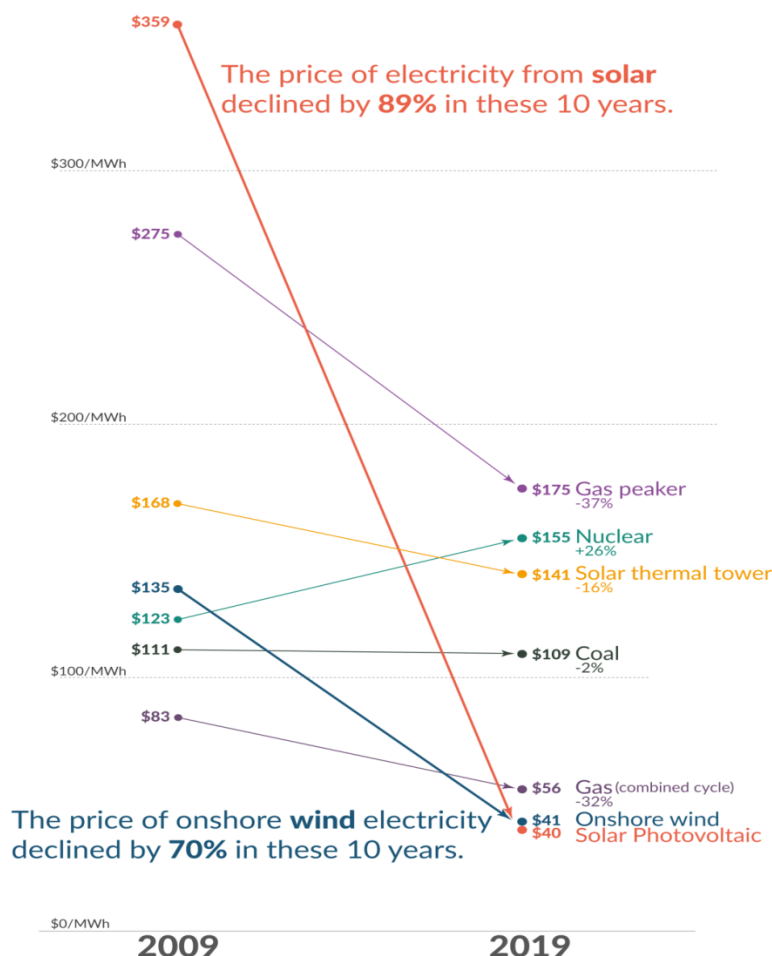
سهم انرژی هسته‌ای در سبد انرژی جهانی در سال‌های اخیر به طور قابل توجهی کاهش یافته و این روند کاهشی همچنان ادامه دارد. با وجود پتانسیل بالای انرژی هسته‌ای در تولید برق، نگرانی‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های بالا در سرمایه‌گذاری، حوادث هسته‌ای، نگرانی افکار عمومی و همچنین ظهور منابع انرژی تجدیدپذیر، باعث شده است که این فناوری در رقابت با سایر منابع انرژی عقب بماند.

۵-۲-۱. روند افزایش هزینه‌های اقتصادی بهره‌داری از رآکتورهای هسته‌ای

افزایش بی‌رویه هزینه‌های ساخت و راه‌اندازی نیروگاه‌های هسته‌ای همراه با تورم اقتصادی جهانی، موجب شده است که جذابیت اقتصادی انرژی هسته‌ای برای سرمایه‌گذاران به شدت کاهش پیدا کند. براساس گزارش وضعیت صنعت هسته‌ای جهانی در سال ۲۰۲۱ و «مؤسسه اکولوژی کاربردی»^۱، هزینه انرژی برای تولید برق هسته‌ای در حال حاضر ۱۵/۵ سنت در هر کیلووات ساعت است؛ در حالی که برای انرژی خورشیدی ۴/۹ سنت و برای انرژی بادی ۴/۱ سنت است. البته پروژه‌های رآکتورهای جدید اغلب بسیار گران‌تر از آنچه پیش‌بینی شده است به نظر می‌رسند. اگر هزینه‌های سرمایه‌گذاری را به عنوان مبنای نظر بگیریم، ارزان‌ترین سیستم برق، سیستمی است که کاملاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر باشد. وضعیت بازار جهانی نشان می‌دهد انرژی‌های تجدیدپذیر بر سرمایه‌گذاری‌ها غالب هستند. پیش‌بینی‌های بلندمدت «آژانس بین‌المللی انرژی»^۲ در سال ۲۰۵۰ مؤید این است که انرژی هسته‌ای حدود ۱۰ درصد برق جهان را تأمین خواهد کرد [۳۸]. شکل ۳، روند افزایش قیمت نیروگاه‌های مختلف تولید برق طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۹ را نشان می‌دهد [۳۸].

1. oko-Institut

2. IEA



شکل ۳. روند افزایش قیمت نیروگاه‌های مختلف تولید برق طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۹ - منبع [۳۸]

۵-۲-۲. روند کاهش ساخت رآکتورهای هسته‌ای در جهان

نظام تأمین انرژی جهان در حال حرکت از یک سیستم انرژی بسیار متمرکز به یک سیستم غیرمتمرکز، دیجیتالی و منعطف در تنظیم الگوهای متغیر تولید و مصرف است. با توجه به سرعت پایین و هزینه‌های بالای پروژه‌های هسته‌ای آینده، مشکل ساخت چندین واحد در یک زمان و محدودیت‌های رآکتورهای ماژولار، بسیار دور از انتظار است که انرژی هسته‌ای بتواند بخش قابل توجهی از نیازهای انرژی جهان را تا سال ۲۰۵۰ پوشش دهد. در سال ۲۰۲۱، ۴۴۲ رآکتور هسته‌ای در سراسر جهان فعالیت می‌کردند. تحلیل آمارهای فعلی رآکتورهای هسته‌ای جهان نشان می‌دهد ممکن است بین سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۴۰ با کاهش بسیار قابل توجهی در تعداد رآکتورهای هسته‌ای در حال فعالیت مواجه شویم. اگر فرض کنیم که مدت زمان کارکرد فعلی رآکتورها به طور متوسط ۴۵ سال است و نرخ ساخت و راه‌اندازی رآکتورهای جدید حدود ۲۱ رآکتور در ۵ سال است، حتی با افزایش نرخ‌های اضافه شدن ظرفیت‌های هسته‌ای جدید نیز شاهد کاهش محسوس تعداد رآکتورهای در حال فعالیت خواهیم بود [۵۵].

واحدهای انرژی هسته‌ای به طور یکسان در آزمون امنیت انرژی و عدم نیاز به واردات، مردود می‌شوند. به طور مثال اتحادیه اروپا هدف رسیدن به استقلال در تأمین انرژی را دارد؛ از طرفی تا پیش از حمله روسیه به اوکراین، ۴۰ درصد اورانیوم اتحادیه اروپا از روسیه وارد می‌شد و هیچ کشوری در اتحادیه اروپا در حال حاضر اورانیوم را در داخل مرزهای خود استخراج نمی‌کند. اگرچه قزاقستان به عنوان یک گزینه جایگزین دیده می‌شود، اما صنعت اورانیوم آن مستقیم به «روس‌اتم»^۱ گره خورده است [۳۶]. بنابراین، وابستگی جهانی به منابع اورانیوم یکی از چالش‌های اساسی در روند کاهش ساخت رآکتورهای هسته‌ای در جهان است.

۱. یک شرکت دولتی در روسیه که در زمینه انرژی هسته‌ای فعالیت می‌کند.

۵-۲-۳. روند افزایش عدم قطعیت‌های محیطی در انرژی هسته‌ای

تکنولوژی هسته‌ای ذاتاً خطر حوادث هسته‌ای شدید با انتشار مقادیر زیادی رادیواکتیویته را به همراه دارد. این خطرات در حوادث فاجعه‌بار فوکوشیما یا چرنوبیل عملاً محقق شده است. همچنین، رویدادهای آب و هوایی شدید و مکرر ناشی از تغییرات آب و هوا، خطرات بی‌سابقه‌ای را از طریق توفان یا سیل ایجاد می‌کنند که در استانداردهای برنامه‌ریزی برای نیروگاه‌های هسته‌ای مبتنی بر فرکانس‌ها تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این موارد، حملات سایبری، تجاوزات نظامی مانند اشغال نیروگاه هسته‌ای زاپوریژیا^۱ توسط روسیه و حملات تروریستی مانند حملات پهبادی، می‌تواند به حوادث شدید و جبران‌ناپذیر نیروگاه‌های هسته‌ای منجر شود [۳۶].

یکی دیگر از چالش‌ها در برنامه‌ریزی سیستم‌های هسته‌ای، خطرات ناشی از تمدید عمر راکتورهاست. به طور مثال، دولت‌های اروپایی به منظور جبران کسری انرژی ناشی از واردات گاز روسیه، در موارد متعددی به دنبال بازتمدید عمر راکتورهای هسته‌ای موجود خود، فراتر از عمر پیش‌بینی‌شده اولیه بوده‌اند. ارتقای ناوگان هسته‌ای کهنه، درست مانند سرمایه‌گذاری در ناوگان جدید، خطر انحراف سرمایه‌گذاری از راه‌حل‌های به‌صرفه‌تر مانند انرژی‌های تجدیدپذیر را به دنبال دارد. علاوه بر این، با افزایش سن راکتور، ریسک کاهش استانداردهای ایمنی به دلیل افزایش خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌نشده افزایش می‌یابد. فقدان استراتژی‌های بلندمدت ملی و بین‌المللی، عدم راه‌اندازی تأسیسات واقعی برای ذخیره‌سازی موقت و بلندمدت سوخت هسته‌ای، عدم تمایل سرمایه‌گذاری جهانی در تحقیق و توسعه، تأخیرات ناشی از صدور مجوز ایمنی و... از عوامل مهم روند افزایش تأخیر و عدم قطعیت در نظام برنامه‌ریزی توسعه انرژی هسته‌ای در جهان هستند.

۵-۲-۴. روند شکل‌گیری گفتمان‌های بین‌المللی در تقابل با هسته‌ای

انرژی هسته‌ای با سیستم انرژی مبتنی بر مالکیت دموکراتیک تولید انرژی در بسیاری از کشورهای جهان، ناسازگار است. ترس عمومی از قرار گرفتن در معرض تابش ناشی از حوادث که ممکن است به آزادسازی مواد رادیواکتیو به محیط زیست منجر شود، بعد از حوادث چرنوبیل و فوکوشیما تشدید شد. به طور مثال در آلمان پس از حادثه فوکوشیما اعتراض‌های مردمی به طور گسترده نمود پیدا کرد. در این اعتراض‌ها ۱۱۰ هزار نفر در ۴۵۰ شهر آلمان تظاهرات کردند که در روند حذف انرژی هسته‌ای از سبد تأمین انرژی این کشور تأثیر فوق‌العاده‌ای داشت [۳۸]. نگرش‌های موجود در بسیاری از کشورها از شکل‌گیری یک روند نامطلوب در افکار عمومی بین‌المللی در تقابل با انرژی هسته‌ای گزارش می‌دهند.

گفتمان‌های موجود علیه انرژی هسته‌ای صرفاً محدود به افکار عمومی نمی‌شود. در ساحت حکمرانی نیز نگرانی‌های مربوط به عدم اشاعه و احتمال گسترش استفاده تسلیحاتی از دانش هسته‌ای به معاهدات، توافق‌نامه‌ها و محدودیت‌های انتقال فناوری بین‌المللی برای کنترل مواد شکافت‌پذیر، اطمینان‌های تأمین، محدودیت‌های بازپزدازش و... منجر شده است. در کنفرانس «تغییر اقلیم» سازمان ملل متحد در دبی، بسیاری از کشورها به‌شدت با ایالات متحده و انگلیس که به دنبال سه برابر کردن سهم جهانی انرژی هسته‌ای در ۲۵ سال آینده بودند، مخالفت کردند. شبکه گفتمانی «کان آ» با جامعه‌ای متشکل از تقریباً ۲ هزار عضو از ۱۳۰ کشور در مخالفت با نیروگاه‌های هسته‌ای جدید و موجود متحد است. در سال ۲۰۲۰، منشور «کان» در استراتژی‌های خود ترویج آینده بدون هسته‌ای را ابلاغ کرد [۳۶].

۵-۲-۵. تأثیرپذیری کشور فرانسه از روندهای مؤثر در انرژی هسته‌ای

کشور فرانسه علی‌رغم وابستگی شدید خود به انرژی هسته‌ای، طی دو دهه گذشته شاهد اختلاف‌نظرهای زیادی درخصوص توسعه یا عدم توسعه انرژی هسته‌ای بوده است. اوایل سال ۲۰۲۲، «مؤسسه انرژی‌های تجدیدپذیر فرانسه» در حاشیه‌ای در مورد برنامه‌های جدید انرژی هسته‌ای فرانسه بحث کرد و امکان‌پذیری آن‌ها را به دلیل مشکلات تکنولوژیک-اقتصادی که در واقع با آن‌ها مواجه هستند، زیر سؤال برد. همچنین گزارشی از وزارت محیط زیست فرانسه در دسامبر ۲۰۱۸ به‌صراحت بیان کرد که

فرانسه با دور شدن از انرژی هسته‌ای و به جای آن، سرمایه‌گذاری در تولید انرژی تجدیدپذیر و راه‌حل‌های ذخیره‌سازی، ۳۹ میلیارد یورو صرفه‌جویی خواهد کرد [۳۵]. هزینه‌های یک «رآکتور قدرت تکاملی»^۱ جدید در «فلامنویل»^۲ فرانسه، از ۳/۴ میلیارد یورو به بیش از ۱۹ میلیارد یورو افزایش یافته است؛ در حالی که اجرای این پروژه حداقل ۱۱ سال بیشتر از زمان برنامه‌ریزی شده طول خواهد کشید [۳۵].

میانگین سن ناوگان رآکتورهای فرانسه ۳۹ سال است. رآکتورهای فرانسوی در اصل فقط برای ۳۰ سال مجوز فعالیت داشتند و اکنون تحت بازنگری ده ساله قرار دارند تا امکان ادامه فعالیتشان بررسی شود. همه رآکتورهای ۹۰۰ مگاواتی این کشور، در اواخر دهه ۱۹۷۰ تا اوایل دهه ۱۹۸۰ راه‌اندازی شده‌اند. پیش‌تر در سال ۲۰۱۰، شرکت EdF گفته بود که در حال ارزیابی دورنمای عمر ۶۰ ساله برای همه رآکتورهای موجود خود است که این اقدام مستلزم تعویض همه ژنراتورهای بخار و تعمیرات دیگر است که هزینه‌ای معادل ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیون یورو برای هر واحد خواهد داشت. با وجود تنوع تصمیمات در نگاه سیاست‌گذاران فرانسه، رآکتورهای اتمی باقی‌مانده در این کشور حداکثر تا ۲۰ سال آینده غیرفعال خواهد شد [۳۳].

۵-۳. روندهای مؤثر در انرژی‌های تجدیدپذیر

در سال‌های اخیر، تحولات شگرفی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان ایجاد شده است. این تحولات ناشی از عوامل مختلفی از جمله افزایش نگرانی‌ها درباره تغییرات اقلیمی، افزایش تنوع فناوری‌های این حوزه، سیاست‌های حمایتی دولت‌ها، اقتصاد مقیاس، امنیت انرژی و... بوده است. در ادامه به برخی از مهم‌ترین روندها و تحولات جهانی در این حوزه اشاره می‌کنیم:

۵-۳-۱. روند توسعه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر

در سال‌های اخیر، فناوری‌های نوین در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند. این پیشرفت‌ها نه تنها به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کرده، بلکه فرصت‌های سرمایه‌گذاری جذاب و سودآور را نیز ایجاد کرده‌اند. از جمله مهم‌ترین فناوری‌های نوین توسعه‌یافته در این حوزه می‌توان به سلول‌های خورشیدی پروسکایتی، سلول‌های خورشیدی ارگانیک، انرژی بادی فراساحلی، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی مبتنی بر هیدروژن، باتری‌های لیتیوم - یونی، توسعه فناوری‌های توانمندساز، قابلیت‌های هیبریدی و... اشاره کرد. توسعه این فناوری‌ها در ارتقای راندمان تولید انرژی و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری تأثیر ویژه‌ای داشته است [۱].

سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. دولت‌ها و شرکت‌های بزرگ در سراسر جهان به دلیل کاهش هزینه‌ها و بلوغ فناوری‌های این حوزه توجه ویژه‌ای به تأمین انرژی از طریق راه‌حل مطمئن منابع تجدیدپذیر داشته‌اند. افزایش حجم سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در ارتقای تحقیق و توسعه این حوزه نیز تأثیر ویژه‌ای داشته است. به طور مثال، هزینه‌های تحقیق و توسعه دولتی در بخش انرژی در سال ۲۰۱۹، ۳ درصد رشد کرده بود و به ۳۰ میلیارد دلار در سطح جهانی رسید که حدود ۸۰ درصد آن به فناوری‌های انرژی کم‌کربن اختصاص یافته است [۴۴].

۵-۳-۲. روند افزایش محرک‌های سیاستی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

کاربست اقدامات سیاستی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای مختلف مانند معافیت‌های مالیاتی، کاهش تعرفه‌های گمرکی، طرح‌های مناقصه، تعرفه خرید تضمینی، تصویب لوایح دولتی تسهیل‌گر و... در دو دهه گذشته به شدت افزایش پیدا کرده است [۴۸]. دولت‌ها در سراسر جهان به دلایل متعددی به سمت سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر گرایش پیدا کرده‌اند. این محرک‌ها اغلب به هم مرتبط بوده و در مجموع، یک تصویر روشن از اهمیت این حوزه ارائه می‌دهد. برخی از مهم‌ترین محرک‌ها عبارت‌اند از:

- تغییرات اقلیمی و کاهش گازهای گلخانه‌ای: یکی از دلایل اصلی سرمایه‌گذاری دولت‌ها در انرژی‌های تجدیدپذیر، مقابله

1. EPR

2. Flamanville

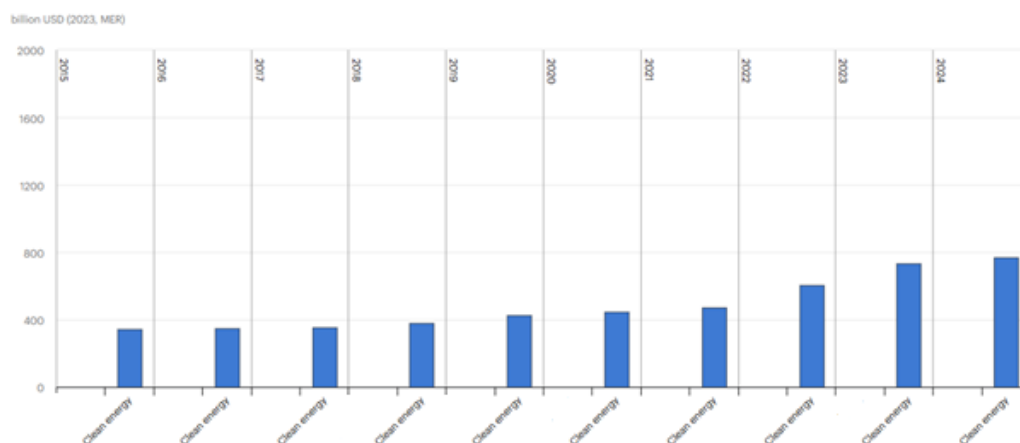
با تغییرات اقلیمی است. این منابع انرژی به دلیل عدم انتشار آلاینده‌ها، نقش مهمی در کاهش گازهای گلخانه‌ای و مهار گرمایش زمین ایفا می‌کنند. بسیاری از دولت‌ها تعهدات بین‌المللی در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از راه‌های عملی برای تحقق این تعهدات است.

- امنیت انرژی: وابستگی به منابع فسیلی، امنیت انرژی کشورها را تهدید می‌کند. نوسانات قیمت نفت و گاز، تحریم‌ها و تنش‌های سیاسی می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر تأمین انرژی پایدار داشته باشند. انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش وابستگی به واردات سوخت‌های فسیلی، امنیت انرژی کشورها را افزایش می‌دهند.
- رشد اقتصادی و ایجاد اشتغال: توسعه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر، فرصت‌های شغلی جدیدی را ایجاد می‌کند و به رشد اقتصادی کمک می‌کند. این صنعت نیازمند نیروی کار متخصص در زمینه‌های مختلف مانند مهندسی، تولید، نصب و نگهداری است.
- نوآوری و فناوری: صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر، یکی از حوزه‌های نوآورانه و پویا است. دولت‌ها با سرمایه‌گذاری در این صنعت، به توسعه فناوری‌های جدید و افزایش بهره‌وری کمک می‌کنند و در رقابت جهانی در زمینه فناوری‌های پاک پیشرو خواهند بود.

۵-۳-۳. روند کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر

با کاهش مؤثر هزینه‌های انرژی خورشیدی و بادی در سال‌های اخیر، ساخت سیستم‌های ژنراتور برق بادی و خورشیدی به‌صرفه‌تر شده است [۴۹]. این روند کاهشی، گذار از انرژی‌های فسیلی به سمت انرژی‌های پاک را تسریع کرده و سرمایه‌گذاری در این حوزه را برای دولت‌ها و شرکت‌های خصوصی بسیار جذاب‌تر کرده است. امروزه، تولید برق از منابع و فناوری‌های تجدیدپذیر به طور فزاینده‌ای با انرژی‌های فسیلی یا هسته‌ای رقابت می‌کند و حتی در برخی موارد، ارزان‌تر از آن‌ها است. در مناطقی که منابع دست‌نخورده و اقتصادی وجود دارد، بیه انرژی، انرژی آبی و انرژی بادی ساحلی همگی گزینه‌های جدید و کم‌هزینه برای تولید برق ارائه می‌دهند.

طی دو دهه اخیر، چشم‌گیرترین کاهش هزینه در تولید برق خورشیدی فتوولتائیک مشاهده شده است؛ هزینه ترازشده برق خورشیدی فتوولتائیک در سال ۲۰۲۳، ۵۶ درصد کمتر از میانگین وزنی جایگزین‌های سوخت فسیلی بود، در حالی که در سال ۲۰۱۰، ۴۱۴ درصد گران‌تر بود. همچنین در سال ۲۰۲۳، میانگین وزنی جهانی هزینه ترازشده پروژه‌های بادی ساحلی جدید ۶۷ درصد کمتر از میانگین وزنی جایگزین‌های سوخت فسیلی بود. این در حالی است که در سال ۲۰۱۰، این هزینه ۲۳ درصد بیشتر از میانگین وزنی معادل سوخت فسیلی محاسبه شده بود. در مجموع، ظرفیت تجدیدپذیر جدید اضافه‌شده از سال ۲۰۰۰ تخمین زده می‌شود که هزینه‌های سوخت بخش برق را در سال ۲۰۲۳ حداقل ۴۰۹ میلیارد دلار کاهش داده است که مزایای انرژی تجدیدپذیر را از نظر امنیت انرژی نشان می‌دهد [۴۵]. شکل ۴ نمودار روند افزایش سرمایه‌گذاری در منابع انرژی تجدیدپذیر در جهان را نشان می‌دهد [۱۳]:



شکل ۴. روند سرمایه‌گذاری جهانی در انرژی‌های تجدیدپذیر طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۲۴ - منبع [۱۳]

۵-۳-۴. روند افزایش پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر توسط افکار عمومی

طی دو دهه اخیر، عوامل اجتماعی ناشی از آگاهی مصرف‌کنندگان انرژی در مورد مزایای زیست‌محیطی انرژی‌های تجدیدپذیر موجب افزایش تمایل مصرف‌کنندگان انرژی به پرداخت حتی قیمت بالاتر برای تأمین انرژی از منابع انرژی تجدیدپذیر شده است [۴۸]. این در حالی است که هزینه تمام‌شده انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به سایر منابع بسیار ارزان‌تر است. با توجه به روند افزایش جمعیت جهانی و نیاز روزافزون به تأمین انرژی و از طرفی، افزایش تغییرات اقلیمی این حوزه، توجه آحاد سیاست‌گذاران انرژی به سمت منابع تجدیدپذیر جلب شده است. انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل برخورداری از طیف متنوعی از قابلیت‌ها در مناطق جغرافیایی مختلف، امکان استفاده در مناطق مختلف برای افراد مختلف را دارند. این منابع انرژی در مقابل آسیب‌های ناشی از حوادث هسته‌ای و همین‌طور مضرات زیست‌محیطی انرژی‌های فسیلی از افکار عمومی مطلوبی برخوردار هستند و این نگرش مثبت، در توسعه جهانی این منابع تأثیر برجسته‌ای خواهد داشت.

۵-۳-۵. تأثیرپذیری کشور فرانسه از روندهای مؤثر در انرژی‌های تجدیدپذیر

موقعیت کشور فرانسه در توسعه زیرساخت‌های لازم برای ارتقای فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، قابل توجه است؛ به طور مثال شرکت EDF فرانسه به دلیل تخصص هیدروالکتریک خود در سطح بین‌المللی شناخته شده است و این تخصص را به سراسر جهان صادر می‌کند. همچنین، احداث پارک خورشیدی سستا در این کشور ظرفیت ۳۰۰ مگاوات برق خورشیدی را ایجاد کرده است.

کشور فرانسه برای دستیابی به اهداف تجدیدپذیر خود، برنامه‌های مختلفی در میان‌مدت و بلندمدت در نظر گرفته است. این کشور سابقه قوی در توسعه و استقرار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر داشته و از نیروی کار بزرگ و ماهر در این بخش برخوردار است. برای دستیابی به اهداف تجدیدپذیر، دولت فرانسه سیاست‌های مختلفی برای حمایت از توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر اجرا کرده و در نتیجه آن، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد تأمین انرژی این کشور در سال‌های اخیر افزایش یافته است. هدف فرانسه، طبق داده‌های انرژی، رسیدن به ۵۰ درصد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی تا سال ۲۰۳۵ است [۱۳].

کشور فرانسه در سال‌های اخیر، سرمایه‌گذاری زیادی در منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، خورشید و انرژی برق‌آبی انجام داده است. در سال ۲۰۲۱، انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۵/۳ درصد از مصرف نهایی ناخالص انرژی فرانسه را پوشش داده‌اند. دولت فرانسه همچنین حمایت مالی قابل توجهی برای بخش انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته است. در سال ۲۰۲۱، دولت این کشور ۶ میلیارد یورو در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کرد [۳۷].

۵-۴. آینده انرژی فرانسه در افق ۲۰۵۰

یکی از تعارض‌های آشکار در برنامه‌های فرانسه در راستای گذار به یک سیستم انرژی مدرن که کمتر به انرژی هسته‌ای وابسته است، سهولت پذیرش این برنامه‌ها توسط صنعت فرانسه است. برای درک دوگانگی هسته‌ای-تجدیدپذیر، لازم است صنعت هسته‌ای استثنای فرانسه و لابی قدرتمند آن توسط دولت را تشخیص داد. انرژی هسته‌ای فرانسه به دلیل برخورداری از یک پیکره‌بندی صنعتی جدایی‌ناپذیر از قدرت سیاسی دارای یک موقعیت استثنایی است. این صنعت در فرهنگ فرانسه آن قدر ریشه دوانده و تثبیت شده است که برای اولین بار مورد سؤال قرار می‌گیرد. فرانسه بیش از هر کشور دیگری در جهان به انرژی هسته‌ای وابسته است. با این حال، یک نکته فنی حیاتی بخش انرژی این کشور را تهدید می‌کند و آن عبارت است از: پایان عمر ناوگان هسته‌ای فعلی و جایگزینی آن با رآکتورهای جدید.

در نوامبر ۲۰۱۸، پیش‌نویس برنامه انرژی جدید در فرانسه تأیید شد و مقرر شد تا سال ۲۰۳۵، سهم تولید انرژی هسته‌ای فرانسه به ۵۰ درصد کاهش یابد. در این طرح آمده است که ۱۴ رآکتور هسته‌ای این کشور تا سال ۲۰۳۵ و ۴ تا ۶ رآکتور تا سال ۲۰۳۰ غیرفعال خواهند شد [۳۳]. علاوه بر این، طبق گزارشی توسط «اپراتور سیستم انتقال ملی فرانسه»، یک چشم‌انداز بلندمدت از سیستم قدرت این کشور در زمینه بی‌طرفی کربن تا سال ۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های اقتصادی برجسته در این تحلیل مؤید این است که تحت سناریوی مصرف برق مرجع، پیکره‌بندی فنی در تأمین برق، مبتنی بر ۵۰ درصد

انرژی هسته‌ای و ۵۰ درصد انرژی‌های تجدیدپذیر به‌صرفه‌ترین ترکیب تولید برق برای سیستم قدرت فرانسه تا سال ۲۰۶۰ خواهد بود. البته تحقق این سناریو مستلزم تغییراتی در رژیم کنونی، مانند افزایش طول عمر رآکتورها، ساخت رآکتورهای جدید و همچنین ساخت برخی رآکتورهای کوچک ماژولار است.

بنابراین با توجه به شواهد موجود، کاهش سهم قابل توجه انرژی هسته‌ای کشور فرانسه از ۷۸/۸ درصد به ۵۰ درصد، تحت تأثیر روندهای جهانی و عوامل داخلی و جایگزینی این مقدار با انرژی‌های تجدیدپذیر، آینده اجتناب‌ناپذیر این کشور در بخش انرژی خواهد بود.

۶. نتیجه‌گیری

در بازار انرژی جهانی، یکسری از عوامل کلیدی در انتخاب نوع انرژی، میزان و نحوه استفاده از منابع آن تأثیر می‌گذارند؛ این عوامل شامل توسعه فناوری، کاهش هزینه‌های کلی، به حداقل رساندن تأثیرات زیست‌محیطی، افکار عمومی و پاسخ‌گویی به نیازهای سیاست‌های ملی و جهانی است. برای انواع انرژی‌ها، این پنج عامل، آینده ترکیب و استراتژی‌ها را در سطح ملی و جهانی تعیین خواهد کرد.

به طور کلی، منابع مورد استفاده برای تأمین انرژی در جهان، شامل منابع فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر است. انرژی‌های فسیلی، با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی، فنی و اقتصادی این منابع، روند جهانی به سمت حذف آن‌ها در حال حرکت است. این روند با افزایش گفتمان‌های بین‌المللی در قالب مجامع و معاهده‌های مختلف از جمله پاریس ۲۰۱۵، در حال تقویت است. درخصوص انرژی هسته‌ای نیز ادبیات بین‌المللی در زمینه تولید این انرژی، یک روند قابل توجه برای کاهش انرژی هسته‌ای را نشان می‌دهد. حتی پیش‌بینی‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در مورد گسترش هسته‌ای نیز هر سال برای در نظر گرفتن هر دو پیامد رآکتورهای قدیمی و غیرفعال شدن آن‌ها و همچنین کاهش در نرخ ساخت رآکتورهای هسته‌ای جدید، به‌روزرسانی می‌شوند. اگرچه دلایل این کاهش جهانی پیچیده و بین کشورهای مختلف متفاوت است، اما به‌وضوح یک روند جهانی در توسعه الگوهای انرژی جدید را نشان می‌دهد. این روند جدید، افزایش تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و کند شدن رشد انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای است. روند کاهشی در تولید انرژی هسته‌ای نه تنها در اروپا، بلکه در بسیاری از کشورها قابل مشاهده است. در کنفرانس تغییر اقلیم سازمان ملل متحد^۱ در دبئی، بسیاری از کشورها به‌شدت با ایالات متحده و انگلیس که به دنبال سه برابر کردن سهم جهانی انرژی هسته‌ای در ۲۵ سال آینده بودند مخالفت کردند. شبکه گفتمانی CAN با جامعه‌ای متشکل از تقریباً ۲ هزار عضو از ۱۳۰ کشور در مخالفت با نیروگاه‌های هسته‌ای جدید و موجود متحد است. در سال ۲۰۲۰، منشور CAN در استراتژی‌های خود «ترویج آینده بدون هسته‌ای» را ابلاغ کرد [۳۶].

در سال‌های اخیر، فناوری‌های نوین در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند. این پیشرفت‌ها نه تنها به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کرده، بلکه فرصت‌های سرمایه‌گذاری جذاب و سودآور را نیز ایجاد کرده‌اند. انرژی‌های تجدیدپذیر از لحاظ اقتصادی نیز به‌صرفه‌ترین منابع هستند. هزینه پل‌های خورشیدی در دو سال گذشته ۳۰ درصد کاهش یافته و قیمت مواد معدنی و فلزات ضروری برای گذار انرژی، به‌ویژه فلزات موردنیاز برای باتری‌ها، به‌شدت افت کرده است. روندهای جهانی همگی اشاره به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی سایر منابع با این انرژی دارند. در جدول ۳ روندهای جهانی تشریح‌شده در این مقاله به‌اختصار ذکر شده است.

مسیر سیاست‌گذاری انرژی فرانسه همواره به سمت توسعه انرژی هسته‌ای متمرکز بوده است. به‌رغم همه مشکلات موجود در فرایند اجرای این سیاست از جمله تعمیرات و نگهداری رآکتورها، بازطراحی و ارتقای ایمنی، غیرفعال کردن رآکتورهای فرسوده و اختلالات ناشی از همه‌گیری کرونا در فرایند تعمیرات نگهداری خودکار، کشور فرانسه همچنان این مسیر را ادامه داده است.

جدول ۳. نمایی از روندهای جهانی مؤثر در تأمین انرژی

منبع انرژی رشد	رشد ۱	رشد ۲	رشد ۳	رشد ۴
فسیلی	افزایش چالش‌های زیست‌محیطی در مقابله با انرژی‌های فسیلی	افزایش چالش‌های بین‌المللی و سیاسی کشورها در جایگزینی انرژی‌های فسیلی	افزایش چالش‌های فنی و زیرساختی	افزایش هزینه‌های تولید هیدروکربن‌ها
هسته‌ای	شکل‌گیری گفتمان‌های بین‌المللی در تقابل با هسته‌ای	افزایش عدم قطعیت‌های محیطی در انرژی هسته‌ای	کاهش ساخت رآکتورهای هسته‌ای در جهان	افزایش هزینه‌های اقتصادی بهره‌داری از رآکتورهای هسته‌ای
تجدیدپذیر	توسعه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر	کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر	افزایش محرک‌های سیاستی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر	افزایش پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر توسط افکار عمومی

در نوامبر ۲۰۱۸، پیش‌نویس برنامه انرژی جدید در فرانسه تأیید شد و مقرر شد تا سال ۲۰۳۵، سهم تولید انرژی هسته‌ای فرانسه به ۵۰ درصد کاهش یابد. در این طرح آمده است که ۱۴ رآکتور هسته‌ای این کشور تا سال ۲۰۳۵ و ۴ تا ۶ رآکتور تا سال ۲۰۳۰ غیرفعال خواهند شد [۳۳]. علاوه بر این، دولت فرانسه تعهد دیرینه‌ای به انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. شروع سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر فرانسه قدمتی چندده‌ساله دارد و فناوری‌های موجود یک روند تازه نیستند. با توجه به تنش‌های استثنائی نظام کنونی سیستم تأمین برق فرانسه و فرسودگی رآکتورهای هسته‌ای، مسیر گذار به سهم ۵۰ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر و سهم صفر کربن از طریق مسیر بازیگری سیاست‌های انرژی برای این کشور کاملاً مهیاست. در ادامه این روند، با توجه به توسعه فراگیر انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان، انرژی هسته‌ای به عنوان بخشی از سیاست انرژی فرانسه ادامه می‌یابد و محتمل است طی یک مسیر تدریجی کاملاً جایگزین هسته‌ای شود.

جمهوری اسلامی ایران نیز از روندهای طی‌شده و تغییرات در حال تحقق مستثنا نیست. با توجه به وابستگی شدید اقتصاد ایران به منابع هیدروکربنی و فروش نفت خام، احتمال اینکه تقریباً از دهه ۲۰۳۰ به بعد، اقتصاد ایران وارد سیکل شبه‌استعماری واردات فناوری‌های تجدیدپذیر برای تأمین منابع انرژی خود و همچنین سایر فناوری‌های برتر به منظور احیای سیاست‌های توسعه صنعتی باشد، به شدت وجود دارد. در حال حاضر یک روند جهانی به منظور کاهش سهم وابستگی کشورها به منابع فسیلی و جایگزینی آن‌ها با منابع تجدیدپذیر در بخش انرژی خود وجود دارد. همچنین کشورهای مختلف به دنبال توسعه فناوری‌های سبز و بهره‌ور کردن منابع فسیلی هستند که یک اخطار جدی برای اقتصاد ایران خواهد بود.

در حال حاضر با توجه به ویژگی‌های فوق‌العاده انرژی‌های تجدیدپذیر که در این مقاله تشریح شده است، از جمله دسترسی‌پذیری آسان، صرفه اقتصادی بالاتر، نداشتن تبعات زیست‌محیطی مخرب، احداث سریع‌تر و... توصیه می‌شود این منابع در مقیاس بالا و در توازن با انرژی‌های هسته‌ای و فسیلی توسعه پیدا کنند. منابع فسیلی در آینده نزدیک، تبدیل به یک بحران شبه‌استعماری برای کشور خواهد شد؛ بنابراین کاهش حداکثری این منابع یکی از اولویت‌های اجتناب‌ناپذیر فعلی است. همچنین، انرژی هسته‌ای نیز در حوزه تأمین انرژی قابل مقایسه با مزیت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر نیست؛ علاوه بر این، تجدیدنظر کشور فرانسه در توسعه انرژی هسته‌ای به عنوان وابسته‌ترین کشور جهان به هسته‌ای که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، مؤیدی شفاف بر عدم قطعیت‌های این منبع انرژی است. بنابراین، می‌توان برای تأمین انرژی کشور، از فرصت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و مزیت‌های نسبی مناطق مختلف کشور که قابلیت احداث این منابع را دارند استفاده کرد.

منابع

- [1] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M.D. Bazilian, N. Wagner, R. Gorini, "The role of renewable energy in the global energy transformation," *Energy Strategy Reviews*. 2019;24: 38–50.
- [2] B. E. Lebrouhi, E. Schall, B. Lamran, Y. Chaibi, T. Kousksou, "Energy Transition in France," *Sustainability*. 2022;159: 1-28.
- [3] Z. Caineng, Z. Qun, Z. Guosheng, X. Bo, "Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era," *Natural Gas Industry*. 2016;3: 1-11.
- [4] T. Galimova, M. Ram, C. Breyer, "Mitigation of air pollution and corresponding impacts during a global energy transition towards 100% renewable energy system by 2050," *Energy Reports*. 2022; 8:14124–14143.
- [5] R. York and S. E. Bell, "Energy transitions or additions? Why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy," *Energy Research & Social Science*. 2019;51: 40–43.
- A. C. Kone and T. Buke, "Forecasting of CO2 emissions from fuel combustion using trend analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010;14: 2906-2915.
- [6] T. Jin and J. Kim, "What is better for mitigating carbon emissions – Renewable energy or nuclear energy? A panel data analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;91: 464–471.
- [7] R. Zissler, "France's Nuclear Power Current Difficulties, New Policies, and 100% Renationalization," .2022<https://www.renewable-ei.org/en/activities/column/REupdate/20220823.php>,.
- [8] Engelhart, "The extraordinary rise of solar power,".2024.
- [9] J. CHEN and W. LI, "Analysis on the Current Situation and Trend of Nuclear Energy Development," *National Geological Library of China*, 10, 277-282, 2022.
- [10] N. Arora and C. Angell, "The role of technology in the future of energy,".2024.
- [11] Y. L. Zhukovskiy, D. E. Batueva, D. Evgenievna, A. D. Buldysko, B. Gil, V. V. Starshaia, "Fossil Energy in the Framework of Sustainable Development: Analysis of Prospects and Development of Forecast Scenarios," *Energies*. 2021;14: 1-28.
- [12] IEA, "Fossil energy, Focusing on technologies to reduce costs and enhance sustainability of fossil fuels, including CCUS, EOR and fluidized bed conversion technology,". 2024.
- [13] M. Marko, D. Petrovic, A. Vuckovic, "Comparative analysis of global trends in energy sustainability," *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*. 2014;13: 947-960.
- [14] IEA, "World Energy Investment 2022,".2022.
- [15] World Bank, "How to scale up renewable energy investments,".2023.
- [16] IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change). "Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. 2022.
- [17] World Economic Forum, "How geopolitics will both hinder and accelerate the global energy transition,". 2024.
- [18] U.vNyambuu and W. Semmler, "Trends in the extraction of non-renewable resources: The case of fossil energy," *Economic Modelling*, 2014;37:271–279.
- [19] K. Gopal, "Ratepayers Have Had Enough Of Rising Energy Bills,".2024.
- [20] B. K. Sovacool, "The geopolitics of energy transitions," *Energy Research & Social Science*. 2021;71:101837.
- A. Froggatt and M. Schneider, "Nuclear Power Versus Renewable EnergyVA Trend Analysis," *Proceedings of the IEEE* .2015; 103.
- [21] K. S. Gallagher, A. Grubler, L. Kuhl, G. Nemet, C. Wilson, "The energy technology innovation system," *Annual Review of Environment and Resources*. 2012;37:137–162.
- [22] R. Fouquet, "Path dependence in energy systems and economic development," *Nature Energy*. 20161.
- [23] M. Nosheen, A. Akbar, M. Sohail, J. Iqbal, M. Hedvicakova, S. Ahmad, S. A. Haider, A. Gul, "From fossil to future: The transformative role of renewable energy in shaping economic landscapes," *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2024;14(4): 606–615.
- [24] M. Pastukhova and K. Westphal, "Governing the global energy transformation," *In The geopolitics of the global energy transition*, Lecture Notes in Energy.2020: 341–364.

- A. Androniceanu, C. Veith, Ș. A. Ionescu, P. Marinescu, A. G. Sima, A. Paru, "Shaping sustainable futures: Public policies and renewable energy insights based on global bibliometric analysis," *Sustainability*. 2024;16(12).
- [25] Esiri, J. K. Mensah, D. E. Ekechukwu, O. Ogundipe, A. H. Ikevuje, "Public perception and policy development in the transition to renewable energy," *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*. 2024;8(2):228–237.
- [26] P. Bergquist, D. M. Konisky, J. Kotcher, "Energy policy and public opinion: Patterns, trends and future directions," *Progress in Energy*. 2020;2(3).
- [27] N. Fatima, Y. Li, M. Ahmad, G. Jabeen, X. Li, "Factors influencing renewable energy generation development: A way to environmental sustainability," *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(37): 51714–51732.
- A. M. Omer, "Energy, environment and sustainable development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008;12(9):2265–2300.
- [28] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M. D. Bazilian, N. Wagner, R. Gorini, "The role of renewable energy in the global energy transformation," *Energy Strategy Reviews*. 2019;24:38–50.
- [29] World Nuclear Association, "Nuclear Power in France,". 2024.
- [30] IEA, "France Climate Resilience Policy Indicator,". 2022.
- [31] Obton, "France – between nuclear and renewables,".2024.
- [32] CAN, "POSITION PAPER: The nuclear hurdle to a renewable future and fossil fuel phase-out,".2024.
- [33] BillionBricks, "France's Government Policies on Sustainable Energy: France's Government Policies on Sustainable Energy - BillionBricks," *Net-Zero Homes*, 2024.
- [34] K. Appunn, "Why is Germany phasing out nuclear power - and why now?: Q&A: Why is Germany phasing out nuclear power - and why now," *Clean Energy Wire*, 2023.
- [35] S. M. Hoffman, A. High-Pippert, "From private lives to collective action: Recruitment and participation incentives for a community energy program," *Energy Policy*. 2010;38(12): 7567-7574.
- [36] Lasolargroup, "Why is solar energy the most efficient source of renewable energy? ," <https://lasolargroup.com/why-solar-energy-the-best-renewable-source/>.2022.
- [37] OECD iLibrary, "OECD Inventory of Support Measures for Fossil Fuels: Country Notes,".2024.
- [38] S. Clay, "The role of natural gas in France's energy revolution,".2019.
- [39] Bouacida, M. Gagnebin, A. Rudinger, "Breaking dependency on Russian gas: perspectives from France and Germany,". 2022.
- [40] IEA, "Clean Energy Innovation. Global status of clean energy innovation in 2020,". 2020.
- [41] IRENA, "Renewable Power Generation Costs in 2024,".2024.
- [42] R. W. Fri, "The role of knowledge: Technological innovation in the energy system," *The Energy Journal*.2003;24(4):51–74.
- [43] K. Sovacool, "The geopolitics of energy transitions," *Energy Research & Social Science*. 2021;71.
- [44] T. Kurbatova and T. Perederii, "Global trends in renewable energy development," *KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2020;42:260-263.
- [45] L. Li, R. Luan, B. Lin, "The trend and factors affecting renewable energy distribution and disparity across countries," *Energy*.2022;254: 1-11.
- [46] IPCC, "IPCC Sixth Assessment,".2023.
- [47] E. Aldy and R. N. Stavins, "The Promise and Problems of Pricing Carbon: Theory and Experience," *Journal of Environment & Development*, 2012;21(2):152–180.
- [48] Michaelowa and K. Michaelowa, "Climate policy integration and policy coherence: The case of the Paris Agreement," *Climate Policy*. 2017;17(7): 832-844.
- [49] IEA (International Energy Agency), "World Energy Investment 2023,".2023.
- [50] IRENA (International Renewable Energy Agency), "Renewable Power Generation Costs in 2021,".2021.
- [51] Pioro, R. Duffey and R. Pioro, "Overview of current status and future trends of nuclear power industry of the world," *Fundamental Issues Critical to the Success of Nuclear Projects*. 2022;45:23-78.
- [52] Lazard, "Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage,".2022.

- [53] NREL (National Renewable Energy Laboratory), "Renewable Energy Technologies,.2020.
- [54] Pew Research Center, "Public Views on Climate and Energy",".2021.
- [55] REN21, "Renewables Global Status Report,"2023.
- [56] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), "Paris Agreement,".2015.
- [57] World Bank, "Financing Renewable Energy,".2022.