Journal of Sustainable Energy Systems

Online ISSN: 2980-8693

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

The University of Tehran Press

Future Energy Modeling Pathway in Iran: Scenario Analysis Using Cross-Impact Balance Method

Mousa Jami[1] | Alireza Parsay[2] | Mahdi Gandomzadeh[3] | Abolghasem Mosayyebi[4] | Roghayeh Gavagsaz-ghoachani[5] | Majid Zandi[6*]

1. Master's Graduate, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: mehrdadjami.1981@gmail.com
2. Master of Science student, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: iamalirezaparsay@gmail.com
3. Phd student, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m_gandomzadeh@sbu.ac.ir
4. Researcher, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a.mosayyebi@outlook.com
5. Associate Professor, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: r_gavagsaz@sbu.ac.ir
6. Coresponding Author, Associate Professor, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m_zandi@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 05 January 2024
Revised 04 February 2024
Accepted 05 March 2024
Published Online 26 August 2024

Keywords:
Energy,
Future Studies,
Cross-Impact Balance Method,
University Education System.

ABSTRACT

Achieving sustainable energy security requires long-term planning and energy future modeling. In this regard, this study employs a descriptive model utilizing the Cross-Impact Balance Method in the scenario software Wizard. The primary objective is to provide a comprehensive model and scenarios aligned with the realities of the country's energy sector. Various aspects of energy development, including energy resources, production, consumption, imports and exports, new technologies, and energy policies, have been categorized into different groups to form the Cross-Impact Balance Method. Various states of each aspect have been formulated and scored using expert knowledge to demonstrate their interrelationships. Three scenarios named conservative, desirable, and ideal alongside current economic, social, political, technological, and environmental conditions have been introduced. Each of these scenarios has its own characteristics, advantages, and specific risks, making them potential reference models for future decision-making in the energy sector. The main outcome of this research is achieving sustainable development in energy security, necessitating transformation and updating in the country's higher education system to enhance knowledge and expertise in energy and related technologies.

Cite this article: Jami, M.; Parsay, A.; Gandomzadeh, M.; Mosayyebi, A.; Gavagsaz-ghoachani, R. & Zandi, M. (2024). Future Energy Modeling Pathway in Iran: Scenario Analysis Using Cross-Impact Balance Method. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 3 (2), 193-208. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.379118.1079

© Mousa Jami, Alireza Parsay, Mahdi Gandomzadeh, Abolghasem Mosayyebi, Roghayeh Gavagsaz-ghoachani, Majid Zandi **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.379118.1079

1. Introduction

The world faces increasing energy demand, with energy use essential in economic activities, making access to energy a key security issue. Energy is vital for social and economic development, and it significantly impacts the environment. Energy policy has become crucial, focusing on consumption, production, and storage. Population growth, urbanization, and economic growth increase energy

consumption, leading to higher greenhouse gas emissions and energy security pressures. Thus, predicting and modeling the future of energy for sustainable security is necessary.

Various studies have been conducted globally and domestically in the field of energy foresight, using methods such as Delphi, surveys, game theory, and scenario analysis for modeling. Table and Table show the modeling studies reviewed.

Table 1. Energy Modeling Studies in the International Context

	Model Used	Study Topic	Ref.
1	Delphi	Analysis of approaches by other researchers in assessing wave energy projects, presenting the most accepted criteria, and exploring foresight in this field	[2]
2	Cooperative Game Theory	Examination of revenue generation from customer load data for an energy retailer	[3]
3	Delphi	Foresight study of emerging trends in smart cities, transportation, and energy in pan-European urban environments, utilizing the opinions of 120 experts	[4]
4	Delphi	Analysis of the future of nuclear energy in France, considering different judgments within and between two panels, one consisting of experts and the other of laypeople	[5]
5	Delphi	Forecasting the future of renewable energy in Turkey by 2030, aiming to meet about 50% of energy demand	[6]
6	Evolutionary Game Theory	Study of promoting advancements in hydrogen production, hydrogen vehicles, and solar photovoltaics in China	[7]
7	Scenario Planning	Examination of power system evolution scenarios to assess long-term technology in the electricity industry and create systematic scenarios for the development of AC networks over a 10-20 year horizon, serving as a basis for long-term technology assessment and roadmap guidance	[8]
8	Bottom-Up Scenario Analysis	Study of greenhouse gas reduction in Europe and its profound impact on the energy system, indicating the dominance of unstable renewable energy sources in the energy system by 2050	[9]
9	Scenario Planning	Examination of active citizen participation in sustainable energy transitions—especially in energy communities led by citizens producing energy from renewable sources in Germany	[10]
10	Scenario Planning	Examination of the deployment of photovoltaic battery systems in the residential sector in Germany by 2050	[11]

Table 2. Energy Modeling Studies in Iran

	Model Used	Study Topic	Ref.
1	Delphi	Prioritization of renewable energy sources based on a sustainable management approach using simultaneous evaluation of criteria and alternatives in Iran's electricity industry	[12]
2	Expert Groups and Delphi Method	Study of the most influential factors, their extent and manner of impact, and ultimately, probable scenarios for the future state of renewable energy in Iran	[13]
3	Scenario Planning	Examination of the role of renewable energy scenarios in forecasting carbon dioxide emissions in Iran by 2030	[14]
4	Scenario Planning	Development of a scenario-based model for the future of energy in Iran	[15]
5	Scenario Planning	Examination of Iran's energy scenarios over a twenty-year horizon	[16]
6	Scenario Planning based on Expert Choices	Study and prediction of the last oil peak in human history by 2040	[17]
7	Scenario Planning	Examination of the strategic framework for scenario planning for Iran's Seventh Energy Development Plan from 2020 to 2025	[18]
8	Scenario Planning (Maleki-Abbaszadeh-Norouzi Model)	Probable and credible future of Iran's fossil energy (gas) by 2035 in four parts	[19]
9	Scenario Planning	Examination of a new model for utilizing renewable electricity and the impact of renewable energy development in Iran towards reducing carbon dioxide emissions by 2040	[20]
10	Cross-Impact Balance Method	Identification of driving forces using a review of global energy scenarios up to 2040	[21]
11	Scenario Planning	Identification of the most influential factors, their extent and manner of impact, and ultimately, probable scenarios for the future state of renewable energy in Iran	[13]
12	Scenario Planning	Examination of a scenario planning approach for Iran's gas and oil industries by 2035	[22]
13	Scenario Planning	Examination of future scenarios for electricity distribution in Iran; the study aims to predict the main alternative scenarios for future governance in	[23]

	Model Used	Study Topic	Ref.
		electricity distribution in Iran	
14	Scenario Planning and Cross-Impact Balance Method	Future analysis for defining guidelines for wind energy production in Iran	[24]
15	Scenario Planning and Cross-Impact Balance Method	Introduction of 9 scenarios as pathways to different goals in the state space by integrating plans and using scenarios for global energy storage, adapted to Iran's conditions with a Cross-Impact Balance Method for parameter evaluation	[25]
16	System Dynamics Approach	Examination of the LNG supply chain considering natural gas shortages in the country and providing two scenarios regarding the possibility of LNG exports	[26]
17	Combined SWOT and DEMATEL Methods	Analysis of the development outlook for solar energy technologies in Iran	[27]
18	Combined MED and MESSAGE Methods	Examination of energy consumption management capacities in Iran by 2040, with a comprehensive supply and demand modeling approach to determine the optimal energy supply and demand mix for the country	[28]

2. Methodology

The Cross-Impact Balance Method is used in this research, combining descriptive data and expert opinions. The analysis and scenario presentation involves four steps:

1. Determining descriptors
2. Defining states
3. Creating and populating the Cross-Impact Balance Method
4. Running software and generating scenarios

3. Results and Discussion

This study's first step involved identifying the essential factors needed to describe the system's development, known as descriptors. These descriptors, determined through literature review or expert inference, reflect future uncertainties. States are assigned to each descriptor, and the mutual dependencies among descriptors determine which combinations can form consistent scenarios. Qualitative information is collected regarding how one descriptor's development might influence another, rated on a scale from -3 (strongly inhibiting) to +3 (strongly promoting).

Descriptors and their states were identified by analyzing Iran's general position and reviewing annual energy balance sheets and production sources, including oil, gas, electricity, nuclear energy, coal, and renewables. These were validated and categorized with input from a team of experts from the Shahid Beheshti University's Energy Research Center. Twenty-four descriptors and 61 states were selected (Table 3).

Table 3. Descriptors and States of the Cross-Impact Balance Method

	Descriptors	States in the Cross-Impact Balance Method
1	Increasing extraction from shared gas resources	Continue current extraction levels
		Develop and improve extraction by exploiting new phase fields
		Improve extraction from existing phases
2	Role as an energy hub	Ability to exchange energy with regional countries
		Inaction in energy exchange with regional countries
3	Energy export	Focus on energy exports from renewable sources
		Domestic energy supply from renewable sources and export of other resources
4	Diversification in energy portfolio	Increase energy capacity with the current model
		Increase the use of renewable energies with a focus on solar and wind energy
5	Support policies for renewable energy use	Provide incentive and cost-effective plans to utilize new energies to activate the private sector
		Direct government investment and intervention
6	Energy intensity trend	Increasing energy consumption trend
		Reducing energy consumption trend
		Stabilizing energy consumption trend
7	National funds	Lack of resource provision
		Acting as a lender
		Acting as an investment partner
8	Government capital provision	Contractionary (resistant) budgeting
		Budgeting with a high share of development budgets
		Budgeting with dedicated resources for energy infrastructure development

	Descriptors	States in the Cross-Impact Balance Method
9	Civil Participation bonds	No issuance of bonds in the energy sector
		Issuance of bonds in energy infrastructure (attracting investment)
		Issuance of current bonds for primary resources (electricity and fuel)
10	Hidden energy subsidies	Continue the current situation
		Eliminate hidden subsidies in the electricity sector
		Eliminate hidden subsidies in the entire energy sector
11	Non-governmental capital provision	Financing through the stock market and crowdfunding
		No financing through the stock market and crowdfunding
12	Financial and customs mechanisms in the energy sector	Apply tax and customs exemptions
		Do not apply tax and customs exemptions
13	International environment	Severe international sanctions
		Balanced environment
		Open environment for international cooperation
14	Foreign policy	Resistant economy relying on domestic capacities
		Economy and industry relying on international capacities
15	Environmental treaties and international agreements	Membership in economic and environmental treaties
		Membership in economic treaties
		International isolation
16	Technology transfer	Licensing and production line
		Presence of technology owner as an investor
		Minimal technology transfer
17	Knowledge-based and endogenous development	Targeted and integrated in the form of innovation centers
		Non-integrated (current situation)
		Minimal development
18	Community acceptance	Innovation in the energy sector gains societal acceptance
		Innovation in the energy sector faces societal resistance
19	Social welfare	High level of welfare
		Medium level of welfare
20	Population growth trend	Increase in fertility compared to the current level (up to 2.6 children)
		Stability of fertility at the current level (2.11 children)
		Decrease in fertility with a gentle slope (1.95 children)
		Decrease in fertility with a steep slope (1.5 children)
21	Availability of skilled workforce	Adequate provision of educated workforce
		Adequate provision of skilled educated workforce
		Lack of specialist workforce
22	Privatization	Privatization relying on domestic enterprises
		Privatization relying on international enterprises, economic and multinational cooperation
23	Energy security	Stabilization of energy security
		Failure to achieve energy security
24	Environmental issues	Move towards preserving environmental issues and reducing carbon
		Continue the current trend of not preserving environmental issues and reducing carbon

4. Conclusion

This article emphasizes the importance of foresight in energy and its impact on energy security at global, regional, and national levels. Iran's reliance on fossil fuels and lack of comprehensive planning due to geographical and mission-driven decision-making has led to fragmented decisions. Despite recent efforts, energy policy reforms have yet to be fully effective, necessitating focused foresight and modeling. The article introduces foresight methods and uses tools like World Bank and Oxford University reports and the Cross-Impact Balance Method to depict Iran's future energy landscape. This matrix analyzes interrelations and uses specialized software to outline conservative, desirable, and ideal scenarios for Iran's energy future. The ideal scenario offers the greatest benefits but comes with high execution risks, the desirable scenario balances implementation risks and benefits, and the conservative scenario serves as an emergency option with minimal progress. The study underscores the need for an improved higher education system to achieve sustainable development and energy security, highlighting the role of advanced universities in fostering technological development and overcoming economic barriers, drawing parallels with successful examples from Japan, Germany, and China.

انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

مسیر مدل‌سازی آیندهٔ انرژی ایران، تحلیل سناریو با بهره‌گیری از ماتریس اثر متقابل

موسی جامی[۱] | علیرضا پارسای[۲] | مهدی گندم‌زاده[۳] | ابوالقاسم مسیبی[۴] | رقیه گوگ‌ساز قوچانی[۵] | مجید زندی[۶*]

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: mehrdadjami.1981@gmail.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: iamalirezaparsay@gmail.com

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: m_gandomzadeh@sbu.ac.ir

۴. پژوهشگر، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: a.mosayyebi@outlook.com

۵. دانشیار، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: r_gavagsaz@sbu.ac.ir

۶. نویسندهٔ مسئول، دانشیار، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: m_zandi@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

کلیدواژه:
انرژی،
آینده‌نگری،
ماتریس اثر متقابل،
نظام آموزش دانشگاهی.

چکیده

دستیابی به امنیت پایدار در حوزهٔ انرژی، نیازمند ضرورت برنامه‌ریزی بلندمدت و استفاده از مدل‌سازی آیندهٔ انرژی است. در این راستا، این پژوهش از یک مدل توصیفی استفاده کرده که با بهره‌گیری از روش ماتریس اثر متقابل در نرم افزار سناریوی ویزارد تدوین شده است. هدف اصلی این تحقیق، ارائهٔ مدلی جامع و سناریوهایی منطبق با واقعیت‌های حوزهٔ انرژی کشور است. برای تشکیل ماتریس اثر متقابل، جنبه‌های مختلف توسعه در حوزهٔ انرژی که شامل منابع انرژی، تولید، مصرف، واردات و صادرات، فناوری‌های نوین، و سیاست‌های انرژی است، به دسته‌های مختلفی تقسیم شده‌اند. حالات مختلف هر یک از این جنبه‌ها با بهره‌گیری از دانش خبرگان تدوین و امتیازدهی شده‌اند تا میزان تأثیر یکدیگر را نشان دهند. سه سناریو به نام‌های محافظه‌کارانه، مطلوب و ایده‌آل در کنار شرایط فعلی اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فناوری و محیط زیستی معرفی شده‌اند. هر یک از این سناریوها ویژگی‌ها، مزایا و ریسک‌های خاص خود را دارند که بر اساس آن‌ها می‌توانند به عنوان مدل‌های مرجع برای تصمیم‌گیری‌های آینده در حوزهٔ انرژی مورد به‌کارگیری قرار گیرند. نتیجهٔ اصلی این پژوهش، دستیابی به توسعهٔ پایدار در امنیت انرژی است که نیازمند دگرگونی و به‌روزرسانی در سیستم آموزش عالی کشور به منظور ارتقای دانش و توانمندی‌های کارشناسی در زمینهٔ انرژی و فناوری‌های مرتبط با آن است. با این‌حال، این تغییرات در سیستم آموزش عالی به‌تنهایی کافی نیستند؛ برای حرکت به سمت توسعهٔ پایدار، بهبود سایر شرط‌ها نیز ضروری است، در غیر این‌صورت نمی‌توان به تحقق کامل امنیت انرژی و توسعهٔ پایدار دست یافت.

استناد: جامی، موسی؛ پارسای، علیرضا؛ گندم‌زاده، مهدی؛ مسیبی، ابوالقاسم؛ گوگ‌ساز قوچانی، رقیه و زندی، مجید. (۱۴۰۳). مسیر مدل‌سازی آیندهٔ انرژی ایران، تحلیل سناریو با بهره‌گیری از ماتریس اثر متقابل. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۳ (۲) ۱۹۳-۲۰۸ . DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.379118.1079

© موسی جامی، علیرضا پارسای، مهدی گندم‌زاده، ابوالقاسم مسیبی، رقیه گوگ‌ساز قوچانی، مجید زندی

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.379118.1079

۱. مقدمه

امروزه جهان با افزایش تقاضای انرژی مواجه است. بهره‌گیری گسترده از انرژی در فعالیت‌های اقتصادی امری ضروری است و دسترسی به انرژی در کشورهای مختلف یکی از مسائل امنیتی اصلی است. انرژی، اساس توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی است و اثرهای زیادی بر محیط زیست دارد. امروزه، موضوع انرژی به عنوان یکی از مسائل مهم سیاست‌گذاری مطرح‌شده و مصرف، تولید و ذخیره‌سازی انرژی به طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. رشد جمعیت، توسعهٔ شهری، رشد اقتصادی، مصرف انرژی را افزایش داده است. اگر این روند بدون تغییر ادامه یابد، به افزایش گازهای گلخانه‌ای و فشار بر امنیت انرژی منجر می‌شود [۱]. بنابراین، پیش‌بینی و مدل‌سازی آیندهٔ انرژی برای امنیت پایدار آن ضروری است. در راستای نیل به این هدف نیاز به یک سامانهٔ انرژی منسجم و قابل اجرا برای رسیدن به اهداف توسعه و سازمان‌دهی انرژی وجود دارد [۲]. تحقیق‌های بسیاری در زمینهٔ آینده‌پژوهی انرژی انجام‌شده و بررسی عوامل تأثیرگذار بر آینده انرژی، ابزارهایی برای تصمیم‌گیری در سطح بالاتر کشورها را فراهم می‌کند [۳].

در مقاله‌های علمی مختلف، تحقیق‌های گسترده‌ای در ارتباط با حوزهٔ انرژی در فضای بین‌الملل و داخلی انجام شده که به تحلیل و بررسی موضوع‌های مختلف مرتبط با انرژی پرداخته است. این پژوهش‌ها از روش‌های گوناگونی از جمله دلفی، نظرسنجی، نظریهٔ بازی و تحلیل سناریو برای مدل‌سازی بهره می‌برند. جدول‌های ۱ و ۲ مدل‌سازی‌های مورد مطالعهٔ اشاره‌شده را نشان می‌دهند.

جدول ۱. مدل‌سازی‌های مطالعه‌شدهٔ مربوط به انرژی در فضای بین‌المللی

	مدل به‌کاررفته	موضوع مورد مطالعه	منبع
۱	دلفی	تحلیل رویکردهای سایر محققان در ارزیابی پروژه‌های انرژی موجی و ارائهٔ پذیرفته‌شده‌ترین معیارها و بررسی آینده نگری در این حوزه	[۴]
۲	نظریهٔ بازی مشارکتی	بررسی کسب درآمد از داده‌های بار مشتری برای یک خرده‌فروش انرژی	[۵]
۳	دلفی	بررسی آینده‌نگری روندهای نوظهور شهر هوشمند، حمل‌ونقل و انرژی در محیط‌های شهری پان- اروپایی با به کارگیری نظر ۱۲۰ متخصص	[۶]
۴	دلفی	تجزیه‌وتحلیل آیندهٔ انرژی هسته‌ای در فرانسه از میان ریشه‌های قضاوت‌های مختلف در داخل و بین دو هیئت، یکی متشکل از کارشناسان و دیگری شامل افراد عادی	[۷]
۵	دلفی	پیش‌بینی آیندهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ترکیه تا سال ۲۰۳۰ میلادی و برآورده شدن حدود ۵۰ درصد از تقاضای انرژی	[۸]
۶	نظریه بازی تکاملی	مطالعه ترویج پیشرفت‌های تولید هیدروژن، خودروهای هیدروژنی و فتوولتاییک خورشیدی در چین	[۹]
۷	سناریونویسی	بررسی سناریوهای تکامل سیستم قدرت برای ارزیابی فناوری بلندمدت در صنعت برق و ایجاد سناریوهای سیستماتیکی را برای چگونگی تکامل شبکه‌های جریان متناوب با چشم‌انداز ده تا بیست ساله که می‌تواند هم به عنوان مبنایی برای ارزیابی فناوری بلندمدت و هم به عنوان راهنمایی برای نقشه‌های راه انتقال بهره‌گیری شود.	[۱۰]
۸	تحلیل مبتنی بر سناریو (از پایین به بالا)	بررسی کاهش گازهای گلخانه‌ای در اروپا و اثر عمیق آن بر سیستم انرژی و حکایت از تسلط منابع انرژی تجدیدپذیر ناپایدار بر سیستم انرژی در سال ۲۰۵۰ میلادی	[۱۱]
۹	سناریونویسی	بررسی مشارکت فعال شهروندان در انتقال انرژی پایدار – به‌ویژه در جوامع انرژی – یعنی گروه‌های تحت رهبری شهروندان که انرژی را از منابع تجدیدپذیر تولید می‌کنند در کشور آلمان	[۱۲]
۱۰	سناریونویسی	بررسی انتشار سامانه‌های باتری فتوولتاییک در بخش مسکونی آلمان تا سال ۲۰۵۰ میلادی	[۱۳]

جدول ۲. مدل‌سازی‌های مطالعه‌شدهٔ مربوط به انرژی در ایران

	مدل به‌کاررفته	موضوع مورد مطالعه	منبع
۱	دلفی	اولویت‌بندی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر بر اساس رویکرد مدیریت پایدار با بهره‌گیری از ارزیابی هم زمان معیارها و جایگزین‌ها در صنعت برق ایران	[۱۴]
۲	بهره‌گیری از گروه‌های خبره و روش دلفی	مطالعهٔ مهم‌ترین عوامل مؤثر، میزان و چگونگی اثر آن‌ها و درنهایت سناریوهای احتمالی برای وضعیت آیندهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران	[۱۵]
۳	سناریونویسی	بررسی نقش سناریوهای انرژی‌های تجدیدپذیر در پیش‌بینی انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران در چشم انداز ۲۰۳۰	[۱۶]
۴	سناریونویسی	توسعهٔ مدلی مبتنی بر سناریو برای آیندهٔ انرژی ایران	[۱۷]
۵	سناریونویسی	بررسی سناریوهای انرژی ایران در چشم‌انداز بیست‌ساله	[۱۸]
۶	برنامه‌ریزی سناریویی بر اساس انتخاب های کارشناسی	بررسی و پیش‌بینی آخرین اوج نفت تاریخ بشر تا سال ۲۰۴۰ میلادی	[۱۹]
۷	سناریونویسی	بررسی چارچوب راهبردی برنامه‌ریزی سناریو برای هفتمین برنامهٔ پیشرفت انرژی ایران در بازهٔ سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ میلادی	[۲۰]
۸	سناریونویسی مدل ملکی، عباس‌زاده، نوروزی	آینده احتمالی و معتبر انرژی فسیلی (گاز) ایران در افق ۲۰۳۵ میلادی به صورت چهار قسمتی	[۲۱]
۹	سناریونویسی	بررسی مدلی جدید برای بهره‌گیری از برق تجدیدپذیر و اثر توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران در جهت کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در افق ۲۰۴۰	[۲۲]
۱۰	ماتریس اثر متقابل	شناسایی نیروهای محرکه با بهره‌گیری از مروری بر سناریوهای جهانی انرژی تا سال ۲۰۴۰ میلادی	[۲۳]
۱۱	سناریونویسی	شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر، میزان و چگونگی اثرگذاری آن‌ها و درنهایت سناریوهای احتمالی برای وضعیت آیندهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران	[۱۵]
۱۲	سناریونویسی	بررسی رویکرد برنامه‌ریزی سناریویی بر صنایع گاز و نفت ایران تا سال ۲۰۳۵	[۲۴]
۱۳	سناریونویسی	بررسی سناریوهای آینده برای توزیع برق در ایران هدف این مطالعه، پیش‌بینی سناریوهای جایگزین اصلی برای آیندهٔ حاکمیت در توزیع برق در ایران است	[۲۵]
۱۴	برنامه‌ریزی سناریو و به‌کارگیری ماتریس اثر متقابل	تحلیل آینده برای تعریف دستورالعمل‌های تولید انرژی بادی در ایران	[۲۶]
۱۵	برنامه‌ریزی سناریو و به‌کارگیری ماتریس اثر متقابل	معرفی ۹ سناریو را به عنوان مسیرهایی برای رسیدن به اهداف متفاوت در فضای حالت با بررسی تلفیقی برنامه‌ریزی‌ها و بهره‌گیری از سناریوها برای ذخیره‌سازی انرژی در جهان و متناسب‌سازی با شرایط ایران با تشکیل ماتریس اثر متقابل برای ارزیابی پارامترها نسبت به یکدیگر	[۲۷]
۱۶	رویکرد پویایی‌شناسی سامانه‌ها	بررسی زنجیرهٔ تأمین ال‌ان‌جی با توجه کمبود گاز طبیعی در کشور و ارائهٔ دو سناریو با توجه به امکان صادرات ال‌ان‌جی	[۲۸]
۱۷	روش تلفیقی اس‌دبلیواوتی و دیمتل	تحلیل چشم‌انداز توسعهٔ فناوری‌های انرژی خورشیدی در ایران	[۲۹]
۱۸	روش تلفیقی مِد و مسیج	بررسی ظرفیت‌های مدیریت مصرف انرژی در ایران در افق ۱۴۲۰ با رویکرد مدل‌سازی جامع عرضه و تقاضای انرژی با هدف تعیین سبد بهینهٔ عرضه و تقاضای انرژی کشور	[۳۰]

با بررسی روند مصرف انرژی در ایران و الگوی جهانی نیاز به تحقیق‌های شاخص‌های تولید و مصرف انرژی در مقاله‌های علمی مشاهده شده است [۳۱]. در این راستا با جمع‌بندی علمی و استخراج روندهای آماری حوزهٔ انرژی، به اهمیت یک مدل جامع و قابل اطمینان برای آینده‌نگری در این حوزه تأکید می‌شود. بر اساس مطالعات، مؤلفه‌های متفاوتی در خصوص آینده‌نگری برای بخش‌های مختلف حوزهٔ انرژی مطرح شده است، ولی اهمیت جایگاه ساختار یک مدل جامع و قابل اطمینان برای آینده‌نگری که در آن نقش دانشگاه نیز برجسته باشد در این حوزه احساس می‌شود.

در این مقاله به جای محدود شدن به یک رویکرد یا مدل خاص، بهره‌برداری از یک طیف گسترده از معیارها و ارائهٔ یک ساختار جامع و نوین برای آینده‌نگری انرژی در کشور ایران مورد بررسی قرار گرفته است. نوآوری این مقاله در ترکیب اطلاعات و دانش مرتبط با حوزهٔ انرژی از داخل و خارج کشور و نگاه گسترده به عوامل مؤثر مختلف اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و محیط

زیستی در مدل‌سازی آینده‌نگری انرژی است. این رویکرد سازنده یک ساختار نوین را برای کاربرد آینده‌نگری در حوزهٔ انرژی کشور ایران ارائه می‌دهد و نقش برجسته‌ای برای دانشگاه‌ها در این حوزه مطرح می‌کند.

درنهایت، این مقاله با انجام شبیه‌سازی آینده‌نگری انرژی در کشور ایران تا سال ۱۴۳۰، با بهره‌گیری از روش ماتریس اثر متقابل، نشان می‌دهد توسط سناریوهای به‌دست‌آمده، چگونگی اعمال این مدل جامع و آینده‌نگرانه بر مسائل انرژی می‌تواند مؤثر واقع شود.

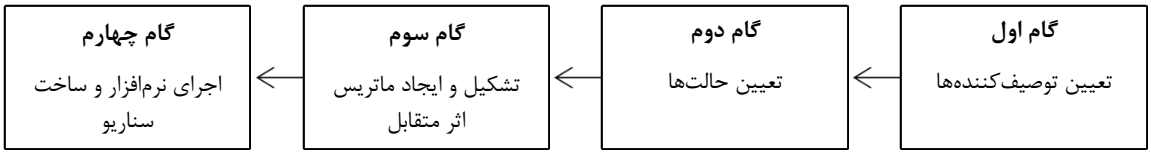
ساختار مقاله به این شرح است که پس از مقدمه در بخش اول، روش‌شناسی در بخش دوم بیان خواهد شد. سپس، در بخش سوم تحلیل نتایج شرح داده خواهد شد و بخش چهارم به نتیجه‌گیری و ارائهٔ پیشنهادها اختصاص خواهد داشت.

۲. روش‌شناسی

در این پژوهش از روش ماتریس اثر متقابل بهره گرفته شده است. این روش در کنار روابط ریاضی از داده‌های توصیفی استخراج‌شده بر اساس رصد و پایش روند تولید و مصرف انرژی و همچنین، اعمال نظر خبرگی بهره می‌برد. نتیجه به طور هم‌زمان از محاسبات ریاضی در ماتریس اثر متقابل، بررسی روندها و نظر خبره‌ها در تعیین مؤلفه‌های ماتریس بهره می‌گیرد. به همین‌دلیل، باعث دست‌یابی به سناریوهای قابل اطمینان‌تری می‌شود.

با توجه به اجرای ماتریس اثر متقابل، تحلیل و ارائهٔ سناریو توسط این روش در چهار گام به شرح شکل ۱ معرفی می‌شود.

- گام اول: تعیین توصیف‌کننده‌ها
- گام دوم: تعیین حالت‌ها
- گام سوم: تشکیل و ایجاد ماتریس اثر متقابل
- گام چهارم: اجرای نرم‌افزار و ساخت سناریو



شکل ۱. گام‌های تحلیل و ارائهٔ سناریو توسط روش ماتریس اثر متقابل

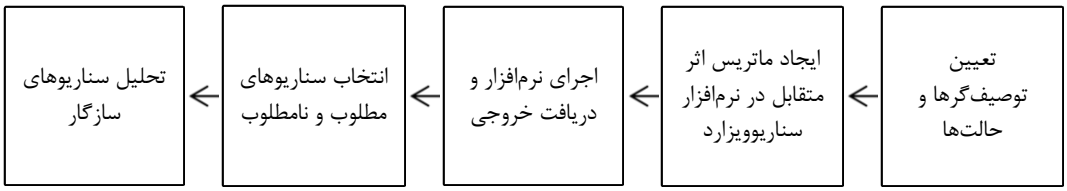
اولین مرحله از این روش، شناسایی عوامل اساسی مورد نیاز برای توصیف توسعهٔ سیستم است. این عوامل «توصیف‌کننده» نامیده می‌شوند. توصیف‌کننده‌ها به طور معمول از طریق بررسی ادبیات یا استنباط خبرگان تعیین می‌شوند. برای انعکاس عدم قطعیت‌های آیندهٔ توصیف‌کننده، به هر توصیف‌کننده تعداد کمی از تحولات آینده نسبت داده می‌شود.

از این عنوان‌های نسبت‌داده‌شده آینده به عنوان «حالت» توصیف‌کننده یا حالت‌های آن یاد می‌شود. وابستگی متقابل بین توصیف‌کننده‌ها تعیین می‌کند که کدام ترکیب از توصیف‌کننده‌های مختلف می‌تواند به عنوان سناریوهای سازگار در نظر گرفته شود. برای معرفی وابستگی‌های متقابل در تجزیه‌وتحلیل، اطلاعات کیفی با کمک مرور ادبیات یا استنباط متخصص‌ها در مورد اینکه اگر توسعهٔ y برای توصیف‌کنندهٔ Y رخ دهد، توسعهٔ x را برای توصیف‌کنندهٔ X ارتقا می‌دهد یا مانع از آن می‌شود، جمع‌آوری می‌شود. مقیاس عدد صحیح در ادامه بیان شده است:

−۳	به‌شدت محدودکنندهٔ نفوذ	+۳	به‌شدت ترویج نفوذ
−۲	اثر محدودکنندهٔ متوسط	+۲	ارتقای نفوذ متوسط
−۱	نفوذ ضعیف محدودکننده	+۱	نفوذ ضعیف
۰	بدون اثر		

در تدوین ماتریس اثر متقابل فقط اثرات مستقیم باید نشان داده شود. اثرات غیرمستقیم حاصل توسط ماتریس اثر متقابل به طور خودکار طی ارزیابی ایجاد می‌شود. اگرچه تست سازگاری ماتریس اثر متقابل به اندازهٔ کافی ساده است، اما ارزیابی یک ماتریس اثر متقابل با اندازهٔ معمولی مستلزم این است که این آزمایش اغلب تکرار شود تا در نهایت نیاز به به‌کارگیری نرم‌افزار دارد. برای این‌منظور، می‌توان از نرم‌افزار رایگان تحلیل ماتریس اثر متقابل به نام سناریوی ویزارد[1] بهره برد.

برای تعیین توصیف‌کننده‌ها و حالت‌های آن‌ها، جایگاه ایران به صورت کلی بررسی شده است. سپس، مطالعهٔ داده‌های ترازنامه و بولتن‌های سالانهٔ انرژی، منابع تولید انرژی این کشور از جمله نفت، گاز، برق، انرژی هسته‌ای، زغال‌سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفته است [۳۲ و ۳۳]. همچنین، با مرور اسناد بالادستی و مقایسهٔ آن‌ها با داده‌های ترازنامه‌ها، سعی شده است تا جایگاه انرژی در ایران و میزان دستیابی به اهداف طرح‌های توسعهٔ کشور مشخص شود. پس از آن، با بهره‌گیری از داده‌های عنوان‌شده، ابزار مورد نیاز برای ایجاد ماتریس اثر متقابل که توصیف‌کننده‌ها و حالت‌های آن‌ها هستند توسط تیم خبرگی استخراج شده است. سپس، با تشکیل ماتریس و وارد کردن اطلاعات آن در نرم‌افزار سناریوی ویزارد اقدام به اجرای برنامه و دریافت سناریوهای آیندهٔ انرژی ایران در افق ۱۴۳۰ شمسی شده است. درنهایت، با ترسیم این سناریوها و بررسی و تحلیل آن‌ها، سناریوهای برگزیده انتخاب شده است. ساختار کلی فرایند تولید و تحلیل سناریوها در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲. ساختار کلی فرایند تولید و تحلیل سناریوها

به طور کلی، بررسی‌های انجام‌شده در راستای تعیین جنبه‌های کلی حوزهٔ انرژی موارد اشاره‌شده در ادامه را در بر گرفته است.

- بررسی جایگاه انرژی ایران در جهان؛
- روند تولید و مصرف انرژی در کشور؛
- رصد وضعیت انرژیتیک کشورهای همسایه ایران؛
- رصد کشورهای اثرگذار در روابط بین‌المللی؛
- بررسی اسناد بالادستی در حوزهٔ انرژی کشور.

بنابراین جنبه‌های کلی حوزهٔ انرژی استخراج شدند که ۸ مورد پیش رو را پوشش می‌دهند.

۱. جغرافیای سیاسی انرژی
۲. حاکمیت و سیاست‌های بالادستی
۳. اقتصاد ملی
۴. اقتصاد خرد و بنگاه‌داری
۵. فضای بین‌الملل
۶. توسعهٔ فناوری در حوزهٔ انرژی
۷. ساختار اجتماعی در حوزهٔ انرژی
۸. پدافند غیرعامل و چالش‌های ملی

با در نظر گرفتن جنبه‌های کلی حوزهٔ انرژی در کشور با هدف تدوین سناریوهای آیندهٔ انرژی ایران در افق ۱۴۳۰ شمسی با روش ماتریس اثر متقابل توصیف‌کننده‌ها و حالت‌های آن‌ها مطابق با شرایط اجتماعی، سیاسی و اقتصادی ایران تعیین و دسته‌بندی شده است.

1. CIB Scenario Wizard

با جمع‌بندی نظرات مطرح‌شده توسط تیم تحقیق ۲۴ توصیف‌کننده و ۶۱ حالت برگزیده شد که در جدول ۳ نمایش داده شده است. شرایط کنونی کشور که تلفیقی از حالت‌های روابط خارجی، اعطای یارانهٔ پنهان و ناترازی در بخش انرژی است [۳۴] در این پژوهش با جدیت در بررسی‌ها لحاظ شده است. با مطالعهٔ منابع معتبر علمی توصیف‌کننده‌های فضای انرژی کشور با توجه به بررسی حوزه‌های یادشده در بخش‌های قبلی برای ارائه به تیم خبرگی مشخص شد. سپس، با بهره‌گیری از دانش تیم خبرگی اعضای مرکز پژوهشی انرژی دانشگاه شهید بهشتی تهران توصیف‌کننده‌ها و حالت‌ها بررسی و ضمن تصحیح آن‌ها مطابق جدول ۳ طبقه‌بندی شد.

جدول ۳. توصیف‌کننده‌ها و حالت‌های ماتریس اثر متقابل [۳۵]

	توصیف‌کننده	حالت‌ها
۱	افزایش برداشت از منابع مشترک گازی	ادامهٔ سطح برداشت فعلی توسعه و بهبود برداشت از طریق بهره‌برداری از میادین فازهای جدید بهبود برداشت از فازهای در دست بهره‌برداری
۲	ایفای نقش به عنوان هاب انرژی	امکان تبادل انرژی با کشورهای منطقه انفعال در تبادل انرژی با کشورهای منطقه
۳	صادرات در بخش انرژی	تمرکز بر صادرات انرژی از محل منابع تجدیدپذیر تأمین انرژی داخلی از منابع تجدیدپذیر و صادرات سایر منابع
۴	تنوع‌بخشی در سبد انرژی	افزایش ظرفیت انرژی با الگوی کنونی افزایش به‌کارگیری از انرژی‌های تجدیدپذیر با تمرکز بر انرژی خورشیدی و بادی
۵	سیاست‌های حمایتی در راستای به کارگیری انرژی‌های نو	ارائهٔ طرح‌های تشویقی و به‌صرفه در راستای بهره‌گیری از انرژی‌های نو برای فعال‌سازی بخش خصوصی سرمایه‌گذاری مستقیم و تصدی‌گری بی‌واسطهٔ حاکمیت
۶	روند شدت انرژی	افزایش روند مصرف انرژی کاهش روند مصرف انرژی تثبیت روند مصرف انرژی
۷	صندوق‌های ملی	عدم تأمین منابع نقش‌آفرینی به عنوان وام‌دهنده نقش‌آفرینی به عنوان شریک سرمایه‌گذار
۸	تأمین سرمایه دولتی	بودجه‌ریزی انقباضی (مقاومتی) بودجه‌ریزی با سهم بالای بودجه‌های عمرانی بودجه‌ریزی با منابع اختصاصی برای توسعهٔ زیرساخت‌های انرژی
۹	اوراق مشارکت مدنی	عدم ارائهٔ اوراق در حوزهٔ انرژی ارائهٔ اوراق در حوزهٔ زیرساخت انرژی (جذب سرمایه) ارائهٔ اوراق جاری منابع اولیه (برق و سوخت)
۱۰	یارانهٔ پنهان انرژی	ادامهٔ وضعیت فعلی حذف یارانهٔ پنهان در حوزهٔ برق حذف یارانهٔ پنهان در کل حوزهٔ انرژی
۱۱	تأمین سرمایه غیردولتی	تأمین سرمایه از محل بورس و جمع‌سپاری مالی عدم تأمین سرمایه از محل بورس و جمع‌سپاری مالی
۱۲	سازوکارهای مالیاتی و گمرکی در حوزهٔ انرژی	اعمال معافیت‌های مالیاتی و گمرکی عدم اعمال معافیت‌های مالیاتی و گمرکی
۱۳	فضای بین‌الملل	تحریم‌های شدید بین‌المللی فضای متعادل فضای باز همکاری بین‌المللی
۱۴	سیاست خارجی کشور	اقتصاد مقاومتی با تکیه بر ظرفیت‌های داخلی اقتصاد و صنعت با تکیه بر ظرفیت‌های بین‌المللی

ادامهٔ جدول ۳.

	توصیف‌کننده	حالت‌ها
۱۵	پیمان‌های محیط زیستی و قراردادهای بین‌المللی	عضویت در پیمان‌های اقتصادی و زیست‌محیطی عضویت در پیمان‌های اقتصادی انزوای بین‌المللی
۱۶	انتقال فناوری	مجوز و خط تولید (لایسنس) حضور صاحب فناوری به‌عنوان سرمایه‌گذار انتقال فناوری به صورت حداقلی
۱۷	توسعهٔ دانش‌بنیان و درون‌زا	به صورت هدفمند و یکپارچه در قالب مراکز نوآوری به صورت غیر یکپارچه (وضعیت کنونی) توسعهٔ حداقلی
۱۸	پذیرش جامعه	نوآوری در حوزهٔ انرژی به مقبولیت جامعه برسد نوآوری در حوزهٔ انرژی در جامعه با مقاومت روبه‌رو شود
۱۹	وضعیت رفاه جامعه	سطح رفاه بالا سطح رفاه متوسط
۲۰	روند رشد جمعیت کشور	افزایش باروری نسبت به سطح فعلی (افزایش تا ۲/۶ فرزند) ثبات باروری در سطح فعلی (۲/۱۱ فرزند) کاهش باروری با شیب ملایم (۱/۹۵ فرزند) کاهش باروری با شیب تند (۱/۵ فرزند)
۲۱	وجود نیروی ماهر	تأمین کافی نیروی تحصیل‌کرده تأمین کافی نیروی تحصیل‌کرده ماهر عدم تأمین نیروی متخصص
۲۲	خصوصی‌سازی	خصوصی‌سازی با تکیه بر بنگاه‌های داخلی خصوصی‌سازی با تکیه بر بنگاه‌های بین‌المللی، مشارکت اقتصادی و چندملیتی
۲۳	امنیت انرژی	تثبیت تأمین امنیت انرژی عدم تحقق تأمین امنیت انرژی
۲۴	مسائل زیست‌محیطی	حرکت در جهت حفظ مسائل زیست‌محیطی و کاهش کربن حرکت با روند فعلی در جهت عدم حفظ مسائل زیست‌محیطی و کاهش کربن

۳. تحلیل نتایج

سه سناریو پس از اجرای نرم‌افزار در حالت محاسبه کامل به دست آمد. از ۲۴ توصیف‌کننده تعداد ۲۱ توصیف‌کننده فقط با یک حالت در سناریوها تکرار شدند که با عنوان توصیف‌کننده‌های تک‌حالته در جدول ۴ دسته‌بندی شده است. این توصیف‌کننده‌ها از الزام‌های اصلی جهت تحقق سناریوها هستند و برای دست‌یابی به هر یک از سناریوها وقوع این ۲۱ توصیف‌کننده با حالت اعلام‌شده ضروری است.

سه توصیف‌کنندهٔ باقی‌مانده دارای بیش از یک حالت هستند. این توصیف‌کننده‌ها با حالت‌های مختلف سبب به وجود آمدن سناریوهای متفاوتی می‌شوند. این توصیف‌کننده‌ها با چند حالت سازگار در جدول ۵ آورده شده است.

توصیف‌کننده‌ها هریک با دو حالت متفاوت، سه سناریو برای آیندهٔ انرژی ایران در افق ۱۴۳۰ شمسی متصور شده‌اند که در ادامه به توضیح هر یک پرداخته‌شده است.

۳. ۱. سناریوی ۱

در این سناریو ۲۱ توصیف‌کننده با حالت ثابت عنوان می‌شود (جدول ۴). مسیر انتخاب‌شده توسط نرم‌افزار برای سه توصیف‌کننده با حالت‌های متغیر این‌چنین است که برای توصیف‌کننده صندوق‌های ملی حالت نقش‌آفرینی به عنوان وام‌دهنده، توصیف‌کننده روند رشد جمعیت کشور حالت ثبات باروری در سطح فعلی (۲/۱۱ فرزند) و توصیف‌کننده وجود نیروی کار ماهر حالت تأمین کافی

نیروی تحصیل‌کرده است. عدد ناسازگاری اعلام‌شده در نرم‌افزار برای این سناریوی ۲ و نمرهٔ کل اثر ۸۹۵ است که در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ٤. توصیف‌کننده‌های تک‌حالته

ردیف	سناریوها
۱	افزایش برداشت از منابع مشترک گازی: توسعه و بهبود برداشت از طریق بهره‌برداری از میادین فازهای جدید
۲	ایفای نقش به عنوان هاب انرژی: امکان تبادل انرژی با کشورهای منطقه
۳	صادرات در بخش انرژی: تأمین انرژی داخلی از منابع تجدیدپذیر و صادرات سایر منابع
۴	تنوع‌بخشی در سبد انرژی: افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر با تمرکز بر انرژی خورشیدی و بادی
۵	سیاست‌های حمایتی در راستای به‌کارگیری انرژی‌های نو: ارائهٔ طرح‌های تشویقی و به‌صرفه در راستای بهره‌گیری از انرژی‌های نو برای فعال‌سازی بخش خصوصی
۶	روند شدت انرژی: تثبیت روند مصرف انرژی
۷	تأمین سرمایه دولتی: بودجه‌ریزی با منابع اختصاصی برای توسعهٔ زیرساخت‌های انرژی
۸	اوراق مشارکت مدنی: ارائهٔ اوراق در حوزهٔ زیرساخت انرژی (جذب سرمایه)
۹	یارانهٔ پنهان انرژی: حذف یارانهٔ پنهان در کل حوزهٔ انرژی
۱۰	تأمین سرمایه غیردولتی: تأمین سرمایه از محل بورس و جمع‌سپاری مالی
۱۱	سازوکارهای مالیاتی و گمرکی: اعمال معافیت‌های مالیاتی و گمرکی
۱۲	خصوصی‌سازی: خصوصی‌سازی با تکیه بر بنگاه‌های بین‌المللی و چندملیتی
۱۳	فضای بین‌الملل: فضای باز همکاری بین‌المللی
۱۴	سیاست خارجی کشور: اقتصاد و صنعت با تکیه بر ظرفیت‌های بین‌المللی
۱۵	پیمان‌های محیط زیستی و قراردادهای بین‌المللی: عضویت در پیمان‌های اقتصادی
۱۶	انتقال فناوری: حضور صاحب فناوری به عنوان سرمایه‌گذار
۱۷	توسعه دانش‌بنیان و درون‌زا: به صورت هدفمند و یکپارچه در قالب مراکز نوآوری
۱۸	پذیرش جامعه: نوآوری در حوزهٔ انرژی به مقبولیت جامعه برسد
۱۹	وضعیت رفاه جامعه: سطح رفاه بالا
۲۰	امنیت انرژی: تثبیت تأمین امنیت انرژی
۲۱	مسائل زیست‌محیطی: حرکت در جهت حفظ مسائل زیست‌محیطی و کاهش کربن

جدول ۵. توصیف‌کننده‌ها با حالت‌های متغیر

سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳
صندوق‌های ملی: نقش‌آفرینی به عنوان وام‌دهنده		صندوق‌های ملی: نقش‌آفرینی به عنوان شریک و سرمایه‌گذار
روند رشد جمعیت کشور: ثبات باروری در سطح فعلی (۲/۱۱ فرزند)	روند رشد جمعیت کشور: افزایش باروری نسبت به سطح فعلی (افزایش تا ۲/۶ فرزند)	
وجود نیروی ماهر: تأمین کافی نیروی تحصیل‌کرده		وجود نیروی ماهر: تأمین کافی نیروی تحصیل‌کردهٔ ماهر

جدول ٦. نتیجهٔ خروجی سناریوی ۱ در نرم‌افزار

سناریوی سازگار ماتریس	بیشینهٔ ناسازگاری در توصیف‌کننده‌ها: ۲
سناریوی ۱	توصیف‌کننده‌های ناسازگار: ۳ نمره کل اثر: ۸۹۵
صندوق‌های ملی: نقش‌آفرینی به عنوان وام‌دهنده روند رشد جمعیت کشور: ثبات باروری در سطح فعلی (۲/۱۱ فرزند) وجود نیروی ماهر: تأمین کافی نیروی تحصیل‌کرده	

با توجه به شرایط حاکم بر این سناریو، این سناریو بنا بر نظر تیم خبرگی سناریوی «محافظه‌کارانه یا تدافعی» نامیده شد. این سناریو در واقع بیانگر حالتی است که کشور در وضعیت خوبی قرار ندارد. یعنی وضعیت به گونه‌ای تغییر کرده که به طور تقریبی همه‌چیز ثابت مانده و تغییری در جهت مثبت روی نداده است. به بیان دیگر، در کنار ۲۱ توصیف‌کننده با حالت‌های ثابت (جدول

۴)، روند رشد جمعیت ثابت بوده، صندوق‌ها همچنان به عنوان وام‌دهنده نقش‌آفرینی می‌کنند و همچنان فقط به تربیت نیروی تحصیل‌کرده کافی اکتفا شده است.

به دلیل تدافعی بودن این سناریو ممکن است این دیدگاه را ایجاد کند که در این افق چشم‌انداز هیچ‌کاری صورت نپذیرفته است و اگر اتفاق خاصی در شرایط کشور نمی‌افتاد، این دستاوردها به دست می‌آمد. اما باید خاطرنشان کرد که تحقق و دست‌یابی به ۲۱ توصیف‌کنندهٔ تک‌حالته به معنای برنامه‌ریزی، تلاش و حرکت کشور درجهٔ مثبت است. در واقع، کشور در این سناریو خود را در حالت تدافعی قرار داده و فقط سعی در حفظ وضعیت قبلی خود دارد. در این سناریو هیچ‌گونه دستاورد و پیشرفت جدیدی قابل تصور نیست.

۳. ۲. سناریوی ۲

در این سناریو علاوه بر تحقق ۲۱ توصیف‌کنندهٔ تک‌حالته، توصیف‌کنندهٔ صندوق‌های ملی حالت نقش‌آفرینی به عنوان وام‌دهنده، توصیف‌کنندهٔ روند رشد جمعیت کشور حالت افزایش باروری نسبت به سطح فعلی (افزایش تا ۲/۶ فرزند) و توصیف‌کنندهٔ وجود نیروی کار ماهر حالت تأمین کافی نیروی تحصیل‌کردهٔ ماهر پیدا می‌کند.

عدد ناسازگاری اعلام‌شده در نرم‌افزار برای این سناریو ۲ و نمرهٔ کل اثر ۹۱۳ است که در جدول ۷ نمایش داده شده است. با توجه به شرایط حاکم بر این سناریو، این سناریوی «مطلوب» نامیده شد. در این سناریو با توجه به روند افزایشی جمعیت که به دنبال آن دست‌یابی به تأمین کافی نیروی تحصیل‌کردهٔ ماهر است، رشد تولید ناخالص داخلی را نیز به همراه خواهد داشت. در این سناریو امکان لازم جهت خروج صندوق‌ها از حالت وام‌دهنده با توجه به شرایط فراهم نشده است.

جدول ۷. نتیجهٔ خروجی سناریوی ۲ در نرم‌افزار

سناریوی سازگار ماتریس	بیشینهٔ ناسازگاری در توصیف‌کننده‌ها: ۲
سناریوی ۲	توصیف‌کننده‌های ناسازگار: ۱ نمرهٔ کل اثر: ۹۱۳
صندوق‌های ملی: نقش‌آفرینی به عنوان وام‌دهنده روند رشد جمعیت کشور: ثبات باروری در سطح فعلی (۲/۶ فرزند) وجود نیروی ماهر: تأمین کافی نیروی تحصیل‌کردهٔ ماهر	

۳. ۳. سناریوی ۳

در سناریوی سوم در صورت تحقق ۲۱ توصیف‌کنندهٔ عنوان‌شده در جدول ۴، برای توصیف‌کنندهٔ صندوق‌های ملی حالت نقش‌آفرینی به عنوان شریک و سرمایه‌گذار، توصیف‌کنندهٔ روند رشد جمعیت کشور حالت افزایش باروری نسبت به سطح فعلی (افزایش تا ۲/۶ فرزند) و توصیف‌کننده وجود نیروی کار ماهر حالت تأمین کافی نیروی تحصیل‌کردهٔ ماهر پیش آمده است. عدد سازگاری اعلام‌شده در نرم‌افزار برای این سناریو ۲ و نمرهٔ کل اثر ۹۱۶ است که در جدول ۸ نمایش داده شده است. با توجه به شرایط حاکم بر این سناریو، این سناریو «ایده‌آل» نامیده شد. در این سناریو راه‌حل قابل دریافت حرکت به سوی دانشگاه‌های نسل چهارم و پنجم است که در کنار تربیت نیروی تحصیل‌کرده به جنبهٔ دست‌یابی افراد به مهارت که یک امر اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد می‌پردازد.

جدول ۸. نتیجهٔ خروجی سناریوی ۳ در نرم‌افزار

سناریوی سازگار ماتریس	بیشینهٔ ناسازگاری در توصیف‌کننده‌ها: ۲
سناریوی ۳	توصیف‌کننده‌های ناسازگار: صفر نمرهٔ کل اثر: ۹۱۶
صندوق‌های ملی: نقش‌آفرینی به عنوان شریک و سرمایه‌گذار روند رشد جمعیت کشور: ثبات باروری در سطح فعلی (۲/۶ فرزند) وجود نیروی ماهر: تأمین کافی نیروی تحصیل‌کردهٔ ماهر	

۴. نتیجه‌گیری

این مقاله بر اهمیت آینده‌نگری در زمینهٔ انرژی و اثرهای آن بر امنیت انرژی در سطح جهانی، منطقه‌ای و ملی تمرکز دارد. ایران با وابستگی به سوخت‌های فسیلی به دلیل شرایط جغرافیایی و تصمیم‌گیری‌های مأموریت‌گرایانه، برنامه‌ریزی کلان نداشته و تصمیم‌گیری‌های جزیره‌ای انجام می‌دهد. تلاش‌های اخیر برای اصلاح و سیاست‌گذاری در زمینهٔ انرژی هنوز به طور کامل نتیجه‌بخش نبوده و لازم است به آینده‌نگری و مدل‌سازی متمرکز شود.

مقاله به معرفی روش‌های آینده‌نگری پرداخته و همچنین، با بهره‌گیری از ابزارهای لازم از جمله گزارش‌های بانک جهانی و دانشگاه آکسفورد، همراه با روش‌های تحلیلی مانند ماتریس اثر متقابل، به تصویر آیندهٔ انرژی ایران در سال‌های آینده پرداخته شده است. این ماتریس اثر متقابل، امکان تحلیل ارتباطات و اثرهای متقابل مختلف را فراهم می‌کند و با به‌کارگیری از نرم‌افزار مخصوص، سناریوهای متنوعی برای آیندهٔ انرژی ایران در سال‌های آینده ترسیم می‌کند. این سناریوها شامل سناریوهای محافظه‌کارانه، مطلوب و ایده‌آل هستند که هریک ویژگی‌ها و ریسک‌های خاص خود را دارند. سناریوی ایده‌آل، با رشد جمعیت و رفاه اجتماعی، بیشترین آورده را برای کشور ارائه می‌دهد، اما با ریسک‌های اجرایی بالاتری همراه است. سناریوی مطلوب، با کمترین ریسک پیاده‌سازی و آورده‌های معقول، دور از دسترس نیست. در حالی که سناریوی محافظه‌کارانه، با کمترین آورده و پیشرفت، به عنوان گزینه‌ای اضطراری در نظر گرفته شده است. مقاله با بررسی جایگاه انرژی ایران در سطح جهانی و منطقه‌ای، همچنین وضعیت تولید، مصرف، واردات و صادرات انرژی، به مدل‌سازی آیندهٔ انرژی ایران پرداخته و سناریوهای متنوعی را برای این آینده ترسیم کرده است.

این مقاله در سناریوی ایده‌آل با نمرهٔ کل اثر ۹۱۶ نشان می‌دهد برای توسعهٔ پایدار و امنیت انرژی، لازم است سیستم آموزش عالی کشور بهبود یابد. نیازمندی به تربیت نیروی ماهر در کشور و توسعهٔ دانشگاه‌های نسل چهارم و پنجم وجود دارد. ایجاد یک مسیر مولد در دانشگاه‌ها می‌تواند به توسعهٔ فناورانه در اکوسیستم انرژی کمک کند و موانع توسعهٔ اقتصادی را رفع کند. دستیابی به این هدف نیازمند برنامه‌ریزی آینده‌نگرانه و تحول در دانشگاه‌ها است که کشور را به سمت رشد جمعیت ماهر و تحصیل‌کرده سوق دهد. نمونه‌های موفقیت‌آمیز این رویکرد در کشورهایی مانند ژاپن، آلمان و چین قابل مشاهده است. نکتهٔ درخور یادآوری این است که فقط با اصلاح دانشگاه و سیستم آموزش عالی این اهداف محقق نخواهند شد؛ برای حرکت به سمت توسعهٔ پایدار، سایر شرط‌ها نیز باید بهبود یابند، در غیر این‌صورت به دستیابی توسعهٔ پایدار و امنیت انرژی نخواهیم رسید.

منابع

[1]. Sharaf-sadat Pasandideh, Farzaneh Nezakati Rezapour, M. Gholami, and A. Gholami, "Analysis of the Discourse of Renewable Electricity Generation in Iran," Glob. Media J., vol. 16, no. 1, pp. 101–122, 2021, doi: 10.22059/gmj.2022.344488.1262.

[2]. A. A. Yaghoubi, M. Gandomzadeh, A. Parsay, A. Gholami, R. Gavagsaz-Ghoachani, and M. Zandi, "A Review on Machine Learning Model Implementation for Photovoltaic Systems," in 2024 11th Iranian Conference on Renewable Energy and Distribution Generation (ICREDG), Mar. 2024, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICREDG61679.2024.10607821.

[3]. Malandish E. Mathematical modeling of energy foresight based on strategy, planning, planning and energy policy of Iran. Shahid Beheshti University; 2020.

[4]. Cascajo R, Molina R, Pérez-Rojas L. Sectoral Analysis of the Fundamental Criteria for the Evaluation of the Viability of Wave Energy Generation Facilities in Ports—Application of the Delphi Methodology. Energies. 2022;15[7].

[5]. Han L, Kazempour J, Pinson P. Monetizing Customer Load Data for an Energy Retailer: A Cooperative Game Approach. 2021 IEEE Madrid PowerTech, PowerTech 2021 - Conf Proc. 2021;

[6]. Angelidou M, Politis C, Panori A, Barkratsas T, Fellnhofer K. Emerging smart city, transport and energy trends in urban settings: Results of a pan-European foresight exercise with 120 experts. Technol Forecast Soc Change. 2022;183[March]:121915.

[7]. Hussler C, Muller P, Rond P. Is diversity in Delphi panelist groups useful? Evidence from a French forecasting exercise on the future of nuclear energy. Technol Forecast Soc Change. 2011;78[9]:1642–53.

[8]. Celiktas MS, Kocar G. From potential forecast to foresight of Turkey's renewable energy with Delphi approach. Energy. 2010;35[5]:1973–80.

[9]. Wang G, Chao Y, Chen Z. Promoting developments of hydrogen powered vehicle and solar PV hydrogen production in China: A study based on evolutionary game theory method. Energy. 2021 Dec;237:121649.

[10]. KatarinaKnezovi´c BH. Power system evolution scenarios for long-term technology assessment.

[11]. Kigle S, Ebner M, Guminski A. Greenhouse Gas Abatement in EUROPE: A Scenario-Based, Bottom-Up Analysis Showing the Effect of Deep Emission Mitigation on the European Energy System. Energies. 2022;15[4].

[12]. Broska LH, Vögele S, Shamon H. On the Futures of Energy Communities in the German Energy Transition : A Derivation of Transformation Pathways. 2022.

[13]. Vögele S, Poganietz W-R, Kleinebrahm M, Weimer-Jehle W, Bernhard J, Kuckshinrichs W, et al. Dissemination of PV-Battery systems in the German residential sector up to 2050: Technological diffusion from multidisciplinary perspectives. Energy. 2022 Jun;248:123477.

[14]. Assadi MR, Ataebi M, Ataebi E sadat, Hasani A. Prioritization of renewable energy resources based on sustainable management approach using simultaneous evaluation of criteria and alternatives: A case study on Iran's electricity industry. Renew Energy. 2022;181:820–32.

[15]. Ghouchani M, Taji M, Cheheltani AS, Chehr MS. Developing a perspective on the use of renewable energy in Iran. Technol Forecast Soc Change. 2021;172[June]:121049.

[16]. Hajinezhad A, Servati P. Role of renewable energy scenarios in carbon dioxide emissions forecasting in Iran in Outlook 2030. Int J Ambient Energy. 2022 Dec;43[1]:6502–10.

[17]. Bahrami M, Abbaszadeh P. Development a scenario-based model for Iran′s energy future. Renew Sustain Energy Rev. 2016 Sep;62:963–70.

[18]. Chaharsooghi SK, Rezaei M, Alipour M. Iran's energy scenarios on a 20-year vision. Int J Environ Sci Technol. 2015 Nov;12[11]:3701–18.

[19]. Norouzi N, Fani M, Karami Z. Journal of Petroleum Science and Engineering The fall of oil Age : A scenario planning approach over the last peak oil of human history by 2040. 2020;188[August 2019].

[20]. Norouzi N, Fani M. The seventh line: a scenario planning strategic framework for Iranian 7th energy progress plan by 2020-2025. J Energy Manag Technol. 2021;5[3]:43–53.

[21]. Norouzi N. Socio-economic Nexus Investigation on the Future of the Iranian Gas industry. Majlesi J Energy Manag. 2022;11[2]:7–22.

[22]. Mostafaeipour A, Bidokhti A, Fakhrzad M-B, Sadegheih A, Zare Mehrjerdi Y. A new model for the use of renewable electricity to reduce carbon dioxide emissions. Energy. 2022 Jan;238:121602.

[23]. Ghasemian S, Faridzad A, Abbaszadeh P, Taklif A, Ghasemi A, Hafezi R. An overview of global energy scenarios by 2040: identifying the driving forces using cross-impact analysis method. Int J Environ Sci Technol [Internet]. 2020;[0123456789]. Available from: https://doi.org/10.1007/s13762-020-02738-5

[24]. Norouzi N. The Iran of the Next Two Decades A Scenario Planning Approach Over the Iranian Gas and Oil Industries by 2035. Majlesi J Energy Manag. 2019;8[4].

[25]. Marzban E, Mohammadi M. From Solid Government to Self-Governance : Future Scenarios for Electricity Distribution in Iran. 2020;24[June 2019]:17–35.
[26]. Shafiei Nikabadi M, Ghafari Osmavandani E, Dastjani Farahani K, Hatami A. Future Analysis to Define Guidelines for Wind Energy Production in Iran using Scenario Planning. Environ Energy Econ Res. 2021;5[1]:3.
[27]. Gandomzadeh M, Mahmoudian S, Mosayyebi A, Zandi M. Development scenarios for electrical energy storage in Iran with Cross-Impact Balance method. 2023;2[1]. Available from: https://ses.ut.ac.ir/article_91815.html
[28]. Mahmoudian Yonesi S, Gandomzadeh M, Mosayyebi A, Mazlom Farsibaf M, Zandi M. Modeling the supply chain of LNG with system dynamic method [Case study: Iran]. Strateg Stud Pet Energy Ind. 2024;60[16].
[29]. Ghaemi Rad M, Shahin A. Development Of Solar Energy Technologies in Iran: SWOT and DEMATEL Methods. J Energy Plan Policy Res. 2017;02[05]:97–130.
[30]. Salimian Z, GoodarziRad R, Farmad M, Bodaghi M, Mokarizadeh V, Shafie Zadeh MA. Effects of DSM on Final Energy Uses: Implications of MESSAGE Energy Model. Q J Energy Policy Plan Res. 2021;7[1].
[31]. A. Hoorsun, M. Gandomzadeh, A. Yaghoubi, A. Parsay, A. Gholami, and M. Zandi, “Insights and Research Trends of Dust and Cleaning in Solar Energy: A Bibliometric Review Study,” 9th Int. Conf. Technol. Energy Manag. (ICTEM 2024), no. April, pp. 1–5, 2024.
[32]. A. Minoofar et al., “Renewable energy system opportunities: A sustainable solution toward cleaner production and reducing carbon footprint of large-scale dairy farms,” Energy Convers. Manag., vol. 293, no. June, p. 117554, 2023, doi: 10.1016/j.enconman.2023.117554.
[33]. A. Gholami et al., “Impact of harsh weather conditions on solar photovoltaic cell temperature: Experimental analysis and thermal-optical modeling,” Sol. Energy, vol. 252, pp. 176–194, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.01.039.
[34]. A. Gholami, M. Ameri, M. Zandi, R. Gavagsaz Ghoachani, and H. A. Kazem, “Predicting solar photovoltaic electrical output under variable environmental conditions: Modified semi-empirical correlations for dust,” Energy Sustain. Dev., vol. 71, pp. 389–405, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.esd.2022.10.012.
[35]. Jami M. The path of modeling the future of Iran’s energy sector executed from the fourth-generation university, scenario analysis using the Cross-Impact Balances. Shahid Beheshti University; 2023.