Journal of Environmental Research
Vol. 14, No. 27, Spring & Summer 2023

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

Monitoring and Evaluating the Status of Energy Indicators for Sustainable Development in Iran in Three Areas: Social, Economic, and Environmental

Document Type
Research Paper

Received
2023/01/08

Accepted
2023/06/11

Babak Kateb[1], Majid Abbaspour[2]*, Zahra Abedi[3]

1. PhD Student in Environmental Management- Environmental Economics, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.179292

Abstract
The main purpose of this study is to investigate and evaluate the status of energy indicators for sustainable development in Iran in three areas: social, economic, and environmental. For this study, energy indicators for sustainable development have been studied and calculated based on the method introduced by the International Atomic Energy Agency. In this method, 30 indicators in three areas of social (4 indicators), economic (16 indicators), and environmental (10 indicators) are introduced.
The research method in this study was applied in terms of purpose and library (documentary) and field (qualitative and quantitative) in terms of collecting statistics and information. The statistical population of the research in the stage of identifying and measuring energy sustainability indicators was experts in the field of energy and environment.
Out of 30 energy indicators for sustainable development, according to experts, 17 indicators were selected as the final energy indicators for sustainable development in Iran (2 social indicators, 11 economic indicators, 4 environmental indicators) and 13 indicators due to lack of statistics were deleted. The amount and size of each of the indicators were measured and evaluated separately.
Regarding the status of the indicators, the results obtained indicate that: The status of electricity access indicators and the share of household income paid for electricity is favorable. Also, the status of the indicators of the ratio of reserves to production, areas whose acidity is too critical and the ratio of radioactive solid waste to the unit of energy produced is relatively favorable. Status of other indicators, including: per capita energy consumption, the ratio of resources to production, the intensity of energy consumption in industry, agriculture, services, households, and transportation, the share of fuel in energy and electricity, the share of non-carbon energy in energy and electricity, the share of renewable energy in energy and concentration of air pollution in urban areas are undesirable.

Keywords: Sustainable energy development, Energy indicators evaluation, Economic sustainability, Social sustainability, Environmental sustainability

* Corresponding author Email: abbpor@sharif.edu

Extended abstract

Introduction

Iran's 20-year vision document is a document to explain the horizon of Iran's development in various cultural, scientific, economic, political and social fields. The solar year 1404(2025) is the horizon of this vision. In the horizon of this perspective, Iran will be a developed country, with advanced knowledge and proper distribution of income and benefiting from a favorable environment (The Islamic Council of Iran, 2003). In other words, the vision document implicitly seeks to achieve the goals of sustainable development. According to the definition of the World Commission on Environment and Development, sustainable development is development that meets the needs of the current generation without creating problems in the ability of future generations to meet their needs. The country's energy sector is one of the most important sectors of the industry, which, in addition to supplying domestic energy, is also responsible for a major share of the national gross income. (Zahedi & Najafi, 2015).

Sustainable development of energy in societies is considered one of the requirements of sustainable development of countries. Topics such as; The increase in energy demand, the use of fossil and renewable fuels for energy production, investment in the development of various types of energy carriers, energy production technologies, etc. are among the basic issues in every country. Measuring the state of the country from the point of view of sustainable energy development indicators and comparing it with the existing standards in the world is very important as identifying the current situation. Also, this important starting point for energy planning in its various fields is considered based on predetermined goals.

The issue of energy indicators for sustainable development has been started mainly by researchers in this field since 2004. The first studies in this regard were carried out by the International Atomic Energy Agency(IAEA) and other international organizations under the title of sustainable energy development for the countries of Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russia, Slovakia and Thailand between 2002 and 2005 (UN & IAEA, 2015). In these studies, while introducing MESSAGE and MAED energy supply indicators and models, energy indicators have been calculated from the perspective of sustainable development and the optimal combination of power plants in the country in question has been determined in a 30-year horizon.

In this study, the indicators of sustainable energy development (EISD)[1] in Iran were determined and measured based on the indicators of sustainable energy development introduced by the IAEA, and then these indicators were evaluated and monitored in the country.

In this regard, the current research seeks to answer the following questions:

- Considering the lack of information and statistics and other structural limitations, what are the available energy indicators for sustainable development in Iran?
- What are Iran's energy indicators for sustainable development in social, economic and environmental fields?
- What is the status of energy indicators for sustainable development in Iran in three social, economic and environmental fields?

Methodology

The current research is based on practical purpose and is a mixed method (documentary, qualitative and quantitative). This research approach has been achieved by combining two sets of qualitative and quantitative approaches. In this research, the subject under study has several aspects, and for this reason, a mixed method was used to facilitate the research process and understanding of the investigated issues. In fact, the data obtained from the qualitative and quantitative document study has been collected and analyzed. In this report, identification, measurement and weighting of energy indicators related to sustainable development in Iran have been done.

In the first stage of the study, which deals with the identification and measurement of energy indicators for sustainable development in Iran, the necessary information and statistics have been collected based on the country's official statistics sources and in the library method (documents). Also, in order to determine the weight of energy sustainability indicators in the field and to get the opinion of subject matter experts, information has been collected using the Delphi method. In order to identify, measure and weight energy indicators in Iran (in three social, economic and environmental fields), Shannon's entropy and CVR's relative

[1] Energy Indicators for Sustainable Development

content validity coefficient have been used. One-sample t-test was used to determine the desirability status of indicators in Iran.

Results

In order to identify the energy indicators for sustainable development in Iran, among the 30 indicators proposed by the IAEA (4 indicators in the social dimension, 16 indicators in the economic dimension and 10 indicators in the environmental dimension), the researchers conducted a survey of experts. In order to determine the final indicators from the point of view of the available features and available statistics and sent it to the experts. The obtained results showed that from the point of view of subject experts, among the 30 indicators of the International Atomic Energy Agency, it is possible to access and collect information about 2 social indicators, 11 economic indicators and 4 environmental indicators, and therefore, a total of 17 indicators from the total The investigated indicators were confirmed.

After identifying the indicators with the opinion of experts, they were weighted using the Shannon entropy technique. The use of Shannon's entropy technique has advantages such as software and systematic weight calculation, based on experts' opinions, more consistent pairwise comparisons and higher reliability results.

The results of Shannon's entropy for weighting energy sustainability indicators in three social, economic and environmental fields are as follows.

Table1. Shannon entropy results for EISD indices of Iran

Fields	Indicator		Weight
Social Indicators of energy	Soc1	Share of households (or population) without electricity or commercial energy, or heavily dependent on noncommercial energy	58
	Soc2	Share of household income spent on fuel and electricity	42
	Total		100
Economic Indicators of energy	Eco1	Energy use per capita	12
	Eco4	Reserves to production ratio	10
	Eco5	Resources to production ratio	7
	Eco6	Industrial energy intensities	8
	Eco7	Agricultural energy intensities	7
	Eco8	Service/ commercial energy intensities	6
	Eco9	Household energy intensities	6
	Eco10	Transport energy intensities	8
	Eco11	Fuel shares in energy and electricity	12
	Eco12	Non-carbon energy share in energy and electricity	11
	Eco13	Renewable energy share in energy and electricity	13
	Total		100
Environmental Indicators of energy	Env2	Ambient concentrations of air pollutants in urban areas	33
	Env5	Soil area where acidification exceeds critical load	20
	Env8	Ratio of solid waste properly disposed of to total generated solid waste	23
	Env9	Ratio of solid radioactive waste to units of energy produced	24
	Total		100

In order to determine the status of each of the indicators of sustainable development in Iran in three social, economic and environmental areas, based on the desirability, the amount and amount available for each of the indicators, taking into account their standard/permissible/average limit, is measured and evaluated. It should be noted that this evaluation was done with the help of one-sample t-test.

The amount and size of each of the indicators:

1. The share of households that do not have access to electric energy was zero in urban areas and about 0.3% in rural areas
2. About 3.1% of the total expenses of urban households and 9.1% of the total expenses of rural households were allocated to energy
3. Per capita energy consumption in Iran was 1.7 times the global average per capita
4. The ratio of oil reserves to production was 0.010 and the ratio of natural gas reserves to production in Iran

was equal to 0.006
5. The ratio of resources (oil, gas and mines) to production was about 0.01
6. Energy consumption intensity in industry 1.64
7. Energy consumption intensity in agriculture 0.58
8. Energy consumption intensity in services 2.09
9. Energy consumption intensity in households 2.17 and
10. Energy consumption intensity in transportation 7.70 barrels of crude oil equivalent per million Rial
11. The share of fuel consumed by the country's power plants: The calorific value of the consumed fuel per megawatt of electricity produced is equivalent to 3.8 billion kilocalories
12. The share of carbon-free energies including hydro, solar and nuclear power plants (nominal capacity) of the total nominal capacity was 15.7%
13. The share of renewable energy including hydro, wind, solar, biogas and heat recovery power plants (nominal capacity) of the total nominal capacity was 17.0%
14. The concentration of air pollution in urban areas based on carbon monoxide pollutant was 2.63 (ppm) and suspended particles above 10 microns was 72.58 ($\mu g/m^3$)
15. There were no areas with critical acidity in Iran
16. The ratio of solid waste to total waste produced was 0.35
17. The ratio of radioactive solid waste to the unit of energy produced was 3.75 grams.

(Ministry of Energy, 2015-2019)/ (Shahbazi & Besharati, 2013)/ (Rastegari & et al., 2019)/ (Habibi & Horkard, 2005)/ (Ministry of Petroleum, 2016).

Conclusion

The main results of this study are related to examining the favorable or unfavorable status of sustainable energy development indicators in Iran. Regarding the desirability status of the indicators, the obtained results are: the indicator of the status of access to electric energy and the indicator of the share paid from household income for electric energy were evaluated as optimal. The status of the indicators of the ratio of reserves to production, the areas whose acidity is more than the critical level and the ratio of radioactive solid waste to the unit of energy produced is relatively favorable, but the status of the indicators of per capita energy consumption, the ratio of resources to production, the intensity of energy consumption in industry, the intensity Energy consumption in agriculture, intensity of energy consumption in services, intensity of energy consumption in households, intensity of energy consumption in transportation, share of fuel in energy and electricity, share of carbon-free energy in energy and electricity, share of renewable energy in energy and concentration Air pollution in urban areas is undesirable. In addition, the status of the ratio of solid waste to total waste produced is uncertain.

References

Habibi, M. & Horkard, B.; 2005; Atlas of Tehran Metropolis; Tehran; Tehran City Geographical Information Center, Tehran Municipality, Urban Processing and Planning Company, first edition. (in Persian)

Ministry of Energy of Iran; 2015-2019; Energy balance sheet; Tehran; Electricity and Energy Planning and Macroeconomics Office, Vice President of Electricity and Energy Affairs. (in Persian)

Ministry of Petroleum of Iran; 2016; Hydrocarbon Balance Sheet of the Country in 2014; Tehran; Vice President of Planning, Institute of International Energy Studies. (in Persian)

Rastgari, M. & Musa Zadeh Nemini, E. & Hashemi Tankabani, N.; 2019; Investigating the average monthly and annual concentration of air pollutants in the city of Tehran; Tehran; Scientific Quarterly of Environment and Multispectral Development, No. 69. (in Persian)

Shahbazi, K. & Besharti, H.; 2013; Overview of the fertility status of agricultural soils in Iran; Journal of Land Management, Year 1, Number 1 (Autumn and Winter 2013), pp. 1-15. (in Persian)

The Islamic Council of Iran; 2003; The Vision Document of the Islamic Republic of Iran in the horizon of 1404; The Islamic Council of Islamic Republic of Iran. (in Persian)

UN & IAEA; 2015; Energy Indicators for Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand; Department of Economic and Social Affairs of UN & IAEA.

Zahedi, Sh. & Najafi, Gh.; 2015, Development of the Concept of Sustainable Development; Modares Humanities Quarterly, Volume 10, Number 4, Winter 2015. (in Persian)

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱٤، شماره ۲۷، بهار و تابستان ۱٤۰۲، از صفحه ۱۱۵ تا ۱۳۸

پایش و ارزیابی وضعیت شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در ایران در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی

بابک کاتب[۱]، مجید عباسپور*[۲]، زهرا عابدی[۳]

۱. دانشجوی دکترای مدیریت محیط‌زیست- گرایش اقتصاد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱٤۰۱/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۲/۰۳/۲۲

چکیده

هدف اصلی این پژوهش بررسی و ارزیابی وضعیت شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در ایران در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی است. برای انجام این مطالعه شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار بر اساس روش معرفی‌شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی بررسی و محاسبه‌شده است. در این روش ۳۰ شاخص در سه حوزه اجتماعی (۴ شاخص)، اقتصادی (۱۶ شاخص) و محیط‌زیستی (۱۰ شاخص) معرفی‌شده است. روش تحقیق در این مطالعه ازنظر هدف کاربردی و ازنظر جمع‌آوری آمار و اطلاعات، کتابخانه‌ای (اسنادی) و میدانی (کیفی و کمی) بوده است. جامعه آماری تحقیق در مرحله شناسایی و اندازه‌گیری شاخص‌های پایداری انرژی، خبرگان و صاحب‌نظران حوزه انرژی و محیط‌زیست بودند. از مجموع ۳۰ شاخص انرژی برای توسعه پایدار بر اساس نظرات خبرگان،۱۷ شاخص به‌عنوان شاخص‌های نهایی انرژی برای توسعه پایدار در ایران انتخاب شد (۲ شاخص اجتماعی، ۱۱ شاخص اقتصادی، ۴ شاخص محیط‌زیستی) و ۱۳ شاخص به دلیل کمبود یا فقدان آمار و اطلاعات حذف شدند. میزان و اندازه هر یک از شاخص‌ها مورد اندازه‌گیری قرارگرفته و به تفکیک بررسی شدند. درخصوص وضعیت شاخص‌ها، نتایج به دست آمده حاکی از آن است که: وضعیت شاخص‌های دسترسی به انرژی الکتریکی و سهم پرداختی از درآمد خانوارها برای انرژی الکتریکی مطلوب است. همچنین وضعیت شاخص‌های نسبت ذخایر به تولید، مناطقی که اسیدیته آن بیش از حد بحرانی است و نسبت پسماند جامد رادیواکتیو به واحد انرژی تولید شده نسبتاً مطلوب می‌باشد. وضعیت سایر شاخص‌ها، شامل: مصرف سرانه انرژی، نسبت منابع به تولید، شدت مصرف انرژی در صنعت، کشاورزی، خدمات، خانوارها و حمل و نقل، سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته، سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری نامطلوب می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: توسعه پایدار انرژی، ارزیابی شاخص، پایداری اجتماعی، پایداری اقتصادی، پایداری محیط‌زیستی

* نویسندهٔ مسئول: Email: abbpor@sharif.edu
DOI: 10.22034/eiap.2023.179292
DOR: 20.1001.1.20089597.1402.14.27.7.9

سرآغاز

سند چشم‌انداز ۲۰ ساله ایران سندی برای تبیین افق توسعه ایران در زمینه‌های مختلف فرهنگی، علمی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی است که اجرای آن از سال ۱۳۸۴ آغازشده است که مطابق با آن می‌توان در چهار دوره برنامه‌ریزی ۵ ساله به اهداف مدنظر دست یافت. سال ۱۴۰۴ خورشیدی افق این چشم‌انداز است. کشور ایران در افق این چشم‌انداز کشوری خواهد بود توسعه‌یافته، برخوردار از دانش پیشرفته و توزیع مناسب درآمد و بهره‌مند از محیط‌زیست مطلوب (The Islamic Council of Iran, 2003). به‌عبارت دیگر به طور ضمنی سند چشم‌انداز به دنبال دستیابی به اهداف توسعه پایدار است. بنا به تعریف کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه، توسعه پایدار توسعه‌ای است که نیازهای نسل فعلی را بدون ایجاد اشکال در توانایی نسل‌های آینده در برآوردن احتیاجات خود تامین می‌کند. بخش انرژی کشور یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنعت است که علاوه بر تامین انرژی داخلی، سهم عمده‌ای از درآمد ناخالص ملی را نیز بر عهده دارد. (Zahedi & Najafi, 2015).

توسعه پایدار انرژی در جوامع، از الزامات توسعه پایدار کشورها قلمداد می‌شود. موضوعاتی از قبیل: افزایش تقاضای انرژی، استفاده از سوخت‌های فسیلی و تجدیدپذیر برای تولید انرژی، سرمایه‌گذاری در توسعه انواع حامل‌های انرژی، تکنولوژی‌های تولید انرژی و ... ازجمله مباحث اساسی در هر کشوری می‌باشد. سنجش وضعیت کشور از منظر شاخص‌های توسعه پایدار انرژی و مقایسه آن با استانداردهای موجود در سطح جهان، به‌عنوان شناسایی وضعیت موجود از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. همچنین این مهم سرآغازی برای برنامه‌ریزی انرژی در حوزه‌های مختلف آن بر اساس اهداف از پیش تعیین‌شده تلقی می‌شود.

در این مطالعه شاخص‌های توسعه پایدار انرژی (EISD)[۱] در ایران بر اساس شاخص‌های توسعه پایدار انرژی معرفی‌شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)[۲]، تعیین و اندازه‌گیری شد و سپس این شاخص‌ها در کشور مورد ارزیابی و پایش قرار گرفت.

در این راستا پژوهش حاضر درصدد پاسخ به پرسش‌های زیر است:

- با توجه به کمبود اطلاعات و آمار و سایر محدودیت‌های ساختاری، شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در ایران کدامند؟
- شاخص‌های انرژی کشور برای توسعه پایدار در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی به چه اندازه‌اند؟
- وضعیت شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در ایران در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی چگونه است؟

ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق

• توسعه پایدار

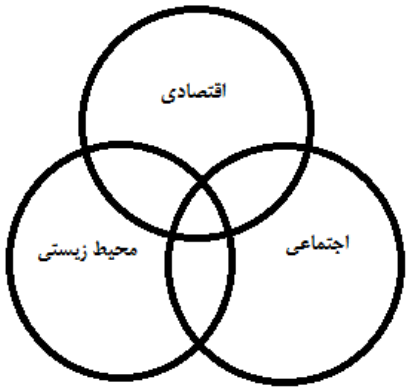
از دهه ۱۹۸۰ به بعد، توسعه پایدار به‌عنوان مفهوم اصلی و بنیادی در راهبرد حفاظت جهانی سازمان ملل[۳] و در گزارش برانت لند قرار گرفت (Nastaran et al., 2012). فراگیری مفهوم توسعه پایدار و جنبه‌های مختلفی که این پارادایم را شامل می‌شود، باعث شده است تا تعاریف و نظریات متعددی از این موضوع مطرح شود. به نظر می‌رسد معروف‌ترین و جامع‌ترین تعریفی که تاکنون از رویکرد توسعه پایدار مطرح‌شده است، باید به گزارش برانت لند تحت عنوان «آینده مشترک ما»[۴] اشاره کرد. بر اساس این تعریف، توسعه پایدار عبارت است از توسعه‌ای که نیازهای نسل‌های کنونی جهان را تامین نماید، بدون این که توانایی نسل‌های آینده را در برآوردن نیازهای خود به مخاطره افکند و این توسعه پایدار رابطه انسان با طبیعت در سراسر جهان است (Pourasghar & Asadi, 2016).

تعریف فوق، با وضوح بیشتر بر سه محور پایداری متمرکزشده است: اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی. تاکید این محورها بر این است که نه‌تنها باید مسایل محیط‌زیستی، یا حتی جنبه‌های محیط‌زیستی و اقتصادی، بلکه جنبه‌های اجتماعی پایداری را مدنظر قرارداد. البته اندیشه و تفکرات در مورد پایداری اجتماعی، هنوز به‌اندازه دو محور دیگر پیشرفت نکرده است؛ اما واضح است که فشارهای اجتماعی و در موارد افراطی، تنازعات اجتماعی می‌تواند آن‌چنان گسستی در انباشت[۵] یا نگهداشت[۶] کل دارایی‌ها ایجاد کند که رفاه بین نسلی را به مخاطره اندازد (Perman & McGillery, 2003).

توسعه پایدار اساسا یک موقعیت ثابت و ایستا نیست، بلکه عبارت است از فرایندی مستمر و روبه تحول، انطباق و سازگاری که طی آن بهره‌برداری از منابع جهت سرمایه‌گذاری‌ها، جهت‌گیری توسعه فن‌آوری و ... است، به‌گونه‌ای که بتواند پاسخگویی نیازهای بالقوه و بالفعل انسان باشد. توسعه پایدار برآورنده نیازها و آرمان‌های انسان در یک منطقه یا کشور، بلکه برآورنده نیازها در سراسر جهان در زمان حال و آینده است. در این مفهوم، همان‌طور که در اصول

بیانیه ریو مطرح شده است، انسان در مرکز و محور توجه قرارگرفته است و همه پدیده‌های جهانی در چارچوب دوام و قوام بشر، در حال و آینده به همراهی و هماهنگی دعوت می‌شوند. مفهوم جدید توسعه پایدار کلی‌نگر بوده و همه ابعاد اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و دیگر نیازهای ضروری بشر را شامل می‌شود. این کلی‌نگری مهم‌ترین ویژگی توسعه پایدار محسوب می‌گردد (Pourasghar & Asadi, 2016).

بر این اساس، توسعه پایدار مفهوم گسترده‌ای می‌یابد که همه ابعاد زندگی بشر را در بر می‌گیرد و در فرایند آن راهبردها، برنامه و سیاست‌ها در زمینه اقتصاد، بازرگانی، منابع‌طبیعی، آموزش، بهداشت، صنعت و سایر مولفه‌های حیات به‌گونه‌ای طرح‌ریزی می‌شوند که توسعه اقتصادی اجتماعی و محیط‌زیستی را تداوم و قوام بخشند. با این وصف، تعریفی از توسعه پایدار که به نحوی مورد توافق اکثریت باشد، سه حوزه اصلی اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی را در بر می‌گیرد. نمودار زیر در درک هرچه بهتر ما از نحوه پیوند و ارتباط سه عنصر اصلی یاد شده و همچنین، توجه به تعادل بین آن‌ها و ارزیابی هر یک از این حوزه‌ها توانا می‌سازد (Nastaran et al., 2012).



نمودار (۱): سه اصل اساسی در توسعه پایدار در مدل به هم پیوسته مأخذ: (Mak & Peacock, 2011)

• شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار

موضوع شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار بیشتر از سوی محققین این حوزه و از سال ۲۰۰۴ آغاز گردیده است. اولین مطالعات در این ارتباط توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و سایر سازمان‌های بین‌المللی با عنوان توسعه انرژی پایدار و برای کشورهای برزیل، کوبا، لیتوانی، مکزیک، روسیه، اسلواکی و تایلند طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ انجام گرفته است (UN & IAEA, 2015). در این مطالعات ضمن معرفی شاخص‌ها و مدل‌های عرضه انرژی MESSAGE و MAED، شاخص‌های انرژی از منظر توسعه پایدار محاسبه شده و ترکیب بهینه نیروگاه‌های برق کشور موردنظر در افق ۳۰ ساله تعیین گردیده است.

البته در ارتباط با شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار محققین دیگری نیز مطالعاتی را انجام داده‌اند که می‌توان آن‌ها را به دو گروه طبقه‌بندی کرد:

گروه اول، محققینی که بر اساس روش و مدل معرفی شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، شاخص‌های انرژی را محاسبه نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعه (Streimikiene & et al., 2005) که برای ایالت بالتیک انجام یافته است و همچنین مطالعه (Vera & Langlois, 2007) که برای ۷ کشور مورد بررسی انجام‌یافته است، اشاره نمود.

گروه دوم، مطالعاتی است که با معرفی مجموعه‌ای از شاخص‌ها و معرفی ترکیبی از آن‌ها به بررسی شاخص‌های انرژی از منظر توسعه پایدار پرداخته‌اند که از آن میان هم می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود:

- Kemmler & Spreng, 2007
- Patlitzianas & et al., 2008
- Streimikiene & Sivickas, 2008

• متغیرهای موردنظر در شناسایی و اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار

متغیرهای موردنظر در شناسایی و اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار مشتمل بر ۳۰ شاخص می‌باشد که از این تعداد ۴ شاخص در بعد اجتماعی، ۱۶ شاخص در بعد اقتصادی و ۱۰ شاخص در بعد محیط‌زیستی مطرح می‌باشند. تولید شاخص‌های پایداری انرژی در کشور تنها آغاز راه است. شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار، ساختاری را برای تحلیل موقعیت، در راستای اهداف و راهبردهای توسعه پایدار انرژی در جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی فراهم می‌کنند و همچنین برای تحلیل سیاست‌ها و کنترل آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، شاخص‌های توسعه پایدار را برای سه هدف زیر به کار می‌برد: (IAEA, 2005).

- برای شفاف‌سازی اطلاعات آماری
- برای نظارت بر پیشرفت سیاست‌های مرتبط گذشته و

- برای ارزیابی واقعی سیاست‌های پیشنهادی. این شاخص‌ها در جدول (۱) معرفی شده‌اند:

جدول (۱): شاخص‌های توسعه پایدار انرژی

مفهوم	نماد	زمینه فرعی	زمینه اصلی	شاخص EISD
سهمی از خانوارها (جمعیت) که به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند یا به‌سختی دسترسی دارند.	SOC1	در دسترس بودن	برابری	شاخص‌های اجتماعی EISD
سهمی از درآمد خانوارها که برای سوخت یا انرژی الکتریکی پرداخت می‌شود.	SOC2	اقتصادی بودن		
مصرف انرژی خانوارها برای گروه‌های درآمدی و مخلوط سوخت‌های مصرفی.	SOC3	تنوع		
تلفات تصادفات به ازای انرژی تولیدشده در زنجیره سوخت	SOC4	ایمنی	تندرستی	
مصرف سرانه انرژی	ECO1	مصرف	الگوهای تولید و مصرف	شاخص‌های اقتصادی EISD
مصرف انرژی به ازای هر واحد از GDP	ECO2	بهره‌وری		
کارایی تبدیل و توزیع انرژی	ECO3	کارایی عرضه		
نسبت ذخایر به تولید	ECO4	تولید		
نسبت منابع به تولید	ECO5			
شدت مصرف انرژی در صنعت	ECO6	مصرف نهایی		
شدت مصرف انرژی در کشاورزی	ECO7			
شدت مصرف انرژی در خدمات	ECO8			
شدت مصرف انرژی در خانوارها	ECO9			
شدت مصرف انرژی در حمل‌ونقل	ECO10			
سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته	ECO11	تنوع (مخلوط سوخت)		
سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته	ECO12			
سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته	ECO13			
قیمت‌های انرژی نهایی به تفکیک سوخت و بخش	ECO14	قیمت‌ها		
وابستگی به واردات انرژی خالص	ECO15	واردات	امنیت	
ذخایر بحرانی سوخت در هر مصرف سوخت مربوطه	ECO16	ذخایر استراتژیک سوخت		
انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید انرژی و مصرف سرانه و به ازای GDP	ENV1	تغییر اقلیم	جو (اتمسفر)	شاخص‌های محیط‌زیستی EISD
غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری	ENV2	کیفیت هوا		
انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از سیستم‌های انرژی	ENV3			
تخلیه آلودگی در پساب مایع از سیستم‌های انرژی ازجمله تخلیه نفت	ENV4	کیفیت آب	آب	
مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است	ENV5	کیفیت خاک	خاک	
میزان جنگل‌زدایی مربوط به استفاده از انرژی	ENV6	جنگل	زمین	
نسبت تولید زباله‌های جامد به واحد انرژی تولیدشده	ENV7	مدیریت و تولید پسماند خشک		
نسبت زباله‌های جامد به‌کل زباله‌های تولیدشده	ENV8			
نسبت پسماند جامد رادیواکتیو به واحد انرژی تولیدشده	ENV9			
نسبت زباله‌های رادیواکتیو جامد در انتظار دفع به‌کل زباله‌های رادیواکتیو جامد تولیدشده	ENV10			

پیشینه تحقیق

در ایران اولین مطالعه‌ای که در زمینه موضوع شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار انجام‌گرفته است، مطالعه (Sabetghadam, 2006) برای موسسه هیلو اینترنشنال[۷] تحت عنوان «انرژی و توسعه پایدار در ایران» می‌باشد. وی در این مطالعه هشت شاخص برای انرژی پایدار انتخاب و محاسبه نموده است. این شاخص‌ها عبارت‌اند از: ۱. انتشار کربن ۲. آلودگی محیطی ۳. دسترسی به انرژی الکتریکی ۴. سرمایه‌گذاری در انرژی پاک ۵. آسیب‌پذیری (اقتصادی) ۶. سرمایه‌گذاری بخش دولتی ۷. بهره‌وری انرژی و ۸. انرژی‌های تجدید پذیر. بر اساس یافته‌های این مطالعه وضعیت شاخص سوم (دسترسی به انرژی الکتریکی) وضعیت بهتری را در ایران نشان می‌دهد و شاخص‌های ۱، ۲ و ۷ از وضعیت مناسبی برخوردار نمی‌باشند. در این مطالعه میزان شاخص را با استاندارد موردنظر در سال‌های ۱۹۹۰ و سال ۲۰۰۳ در ایران مقایسه نموده و به نتایج فوق دست‌یافته است.

پارسا و سجادی (Parsa & Sajjadi, 2017) در پژوهش خود با عنوان بررسی روند شاخص‌های پایداری انرژی در نیمه نخست سند چشم‌انداز ۲۰ ساله ایران به ارزیابی این موضوع پرداختند. هدف اصلی این مطالعه بررسی روند شاخص‌های پایداری انرژی در دو دوره ۵ ساله نخست سند چشم‌انداز ۲۰ ساله ایران (سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳) است. برای بررسی پایداری سیستم انرژی از شاخص ترکیبی توسعه پایدار انرژی استفاده شده است. ابعاد لحاظ شده در این پژوهش شامل ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی، محیطزیستی و نهادی است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که ابعاد فنی، اقتصادی و اجتماعی در دوره ۵ ساله نخست نرخ پایداری مثبت داشته‌اند، اما در دوره دوم برخلاف بُعد فنی و اقتصادی که نرخ پایداری آن‌ها افزایش اندکی داشته است، بُعد اجتماعی کاهش نرخ پایداری را تجربه کرده است. بُعد محیطزیستی و نهادی و همچنین شاخص ترکیبی توسعه پایدار انرژی در دوره نخست نرخ پایداری منفی داشته‌اند. نرخ پایداری شاخص ترکیبی توسعه پایدار انرژی در دوره ۵ ساله دوم مثبت، اما ناچیز شده و در مسیر پایداری گام برداشته است. نرخ پایداری بُعد محیطزیستی در دوره دوم با بهبود اندکی همچنان منفی باقی‌مانده است و برخلاف آن بُعد نهادی ناپایدارتر شده است.

نسترن و همکاران (Nastaran et al., 2012) در پژوهش خود به ارزیابی شاخص‌های پایداری اجتماعی با استفاده در فرآیند تحلیل شبکه (ANP)[۸] پرداختند. در این پژوهش با فرض یکسان نبودن وزن‌های شاخص‌های پایداری اجتماعی و باهدف شناخت و ارزیابی شاخص‌های پایداری اجتماعی انجام شده است. برای رسیدن به این اهداف، از مدل تحلیل شبکه (ANP) و روش دلفی در تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها در جهت تبیین پایداری اجتماعی استفاده شده است. روش تحقیق در این پژوهش به لحاظ هدف کاربردی و به لحاظ روش تحقیق، توصیفی- تحلیلی است. همچنین، روش یافته اندوزی بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی و مصاحبه با کارشناسان و مسئولان بوده است. بر این اساس، پس از ارزیابی شاخص‌ها با استفاده از مدل تحلیل شبکه مشخص شد که عدالت اجتماعی (EO= ۰/۱۳۶)، بعد عینی امنیت (OS= ۰/۱۲۹) و تعامل اجتماعی (SL= ۰/۱۰۷) به ترتیب، بیشترین وزن و در نتیجه، بیشترین تاثیر را در بین شاخص‌های پایداری اجتماعی داشته است.

سحاب منش و صبوحی (Sahabmanesh & Saboohi, 2017) با استفاده از تحلیل چند معیاره و شاخص‌های توسعه پایدار، پایداری سیستم انرژی را برای همدان ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان داده است یارانه انرژی، سرعت رشد شاخص پایداری کل را کاهش داده است. همچنین هنگامی‌که یک رشد اقتصادی بالا با یارانه انرژی همراه است، این شاخص به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. نتایج گویای این است که استفاده از انرژی تجدیدپذیر چگونه وضعیت پایداری سیستم انرژی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در مطالعه دیگری تحت عنوان «چالش‌های مدیریت توسعه پایدار کشور» که توسط (Abbaspour & Tabibian, 2006) انجام گرفته است، چالش‌های پیش‌روی مدیریت اجرایی کشور، در چارچوب مبحث توسعه پایدار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. در این مقاله ابزارهای مدیریتی و ساختارهای ضروری جهت دستیابی به توسعه پایدار و همچنین جایگاه منابع و بخش‌های کلان کشور با توجه به اهداف توسعه پایدار مورد بحث و بررسی قرارگرفته است. در این مطالعه شاخص‌های مهم توسعه پایدار تولید و مصرف بخش انرژی در قالب ۱۲ شاخص معرفی گردیده و بدون اندازه‌گیری آن‌ها، نقاط قوت و ضعف بخش‌های اقتصادی شامل: حمل‌ونقل، صنعت، خانگی و تجاری و کشاورزی بیان‌شده است.

رحیمی (Rahimi, 2012) در مقاله‌ای به نام شاخص‌های توسعه پایدار انرژی در ایران، کلیاتی درباره برخی شاخص‌های توسعه

پایدار ارایه کرد. سپس این شاخص‌ها را برای ایران کمّی نمود و مدل مفهومی توسعه پایدار انرژی و روابط میان ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی آن را بیان کرد. نتایج نشان داد ایران در برخی شاخص‌های کلی انرژی جایگاه نسبتا مناسبی دارد و با اجرای راه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی، آموزش و آگاه‌سازی می‌توان مقدار شاخص‌ها را تغییر داد، تعدیل کرد و بهبود بخشید.

(Swain & Karimu, 2020) در پژوهش خود با عنوان اهداف تجدیدپذیر برق و توسعه پایدار به بررسی رابطه این دو موضوع پرداختند. این پژوهشگران در پژوهش خود اذعان داشتند که در اتحادیه اروپا انرژی‌های تجدید پذیر با برخی از اهداف توسعه پایدار هم‌افزایی قوی دارند، بنابراین استقرار موفقیت‌آمیز آن می‌تواند به‌طور بالقوه منجر به تاثیر بر این اهداف توسعه پایدار شود. در این مطالعه، اثر هم‌افزایی برق تجدیدپذیر در اهداف توسعه پایدار انتخاب شده از طریق قیمت برق برای کشورهای اتحادیه اروپا (اتحادیه اروپا) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیشتر نشان می‌دهد که تولید و مصرف بهینه بیشترین تغییرات قیمت برق تجدیدپذیر در آینده را تشکیل می‌دهد، در حالی که تغییرات در انرژی مقرون‌به‌صرفه و پاک و اقلیم آینده بیشتر به ترتیب از رشد اقتصادی، تولید و مصرف بهینه نشات می‌گیرد.

(Rafique & Ahmad, 2018) پژوهشی با عنوان هدف قرار دادن توسعه پایدار در پاکستان از طریق برنامه‌ریزی منابع یکپارچه انرژی برای تولید انجام دادند. سه مدل برای پیش‌بینی تولید برق درازمدت برای پاکستان در این مقاله ارایه شده است. از سناریوهای پایه (Base Line)، زغال‌سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر (Renewable Energy) برای تجزیه‌وتحلیل تولید برق فعلی و آینده استفاده می‌شود. از دیدگاه محیطزیستی، هر دو سناریوی سناریوهای پایه و زغال‌سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر از سناریوی زغال‌سنگ برتر هستند، اما یک تجزیه‌وتحلیل هزینه و فایده نشان می‌دهد که سناریوی (RE) گران‌ترین است، هر چند از کاهش وابستگی به واردات سوخت اولیه سود می‌برد.

(Vidadili & et al., 2017) در مقاله خود به نام «گذار به انرژی تجدیدپذیر و توسعه پایدار انرژی در آذربایجان» شاخص‌ها و معیارهای سازگاری را در زمینه توسعه پایدار در آذربایجان ارایه دادند.

(García-Álvarez & Blanca, 2016) توسعه پایدار را از منظر ۳۳ متغیر مربوط به سه شاخص ابعاد امنیت عرضه انرژی، بازار رقابتی انرژی و حفاظت محیطزیست را در ۱۵ کشور اروپایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کشورهای دانمارک، هلند، فرانسه، پرتغال و انگلیس بهترین وضعیت را دارند. کشورهای سوئد، استرالیا، فنلاند، ایتالیا و آلمان وضعیتی متوسط دارند و کشورهای اسپانیا، ایرلند، یونان، بلژیک و لوکزامبورگ بدترین نتایج را نشان دادند.

(Shaaban & Scheffran, 2017) در پژوهش خود با عنوان انتخاب شاخص‌های توسعه پایدار برای ارزیابی تولید برق که در مصر انجام شد به مرور و مطالعه سیستماتیک بر روی این شاخص‌ها پرداختند. در این پژوهش به جای تاکید صرف به جنبه‌های فنی و اقتصادی، دامنه وسیعی را در برنامه‌ریزی از جمله جنبه‌های اجتماعی و محیطزیستی در نظر گرفته شد؛ بنابراین پژوهشگران مدعی هستند که با این روش نیازهای نسل‌های فعلی و آینده را که به یک توسعه پایدار واقعی دست می‌یابند، برآورده شود. مصر به‌عنوان مطالعه موردی در این پژوهش قبلا فقط در محدوده جنبه‌های فنی و اقتصادی بررسی‌شده بود. به‌منظور پر کردن این خلا این پژوهش یک رویکرد سیستماتیک را برای شناسایی و انتخاب شاخص‌های اصلی برای ارزیابی پایداری فن‌آوری‌های مختلف تامین برق ازجمله فن‌آوری‌های متعارف متناسب با مطالعه موردی یعنی کشور مصر، انجام داد. در این رویکرد مفهومی شاخص‌ها را در نمونه‌ای از ۳۰ مطالعه تجزیه‌وتحلیل نمودند. نتایج نشان می‌دهد که ۱۳ شاخص با ارتباط قوی برای ارزیابی توسعه پایدار می‌توانند توسط تصمیم‌گیرندگان برای سرمایه‌گذاری و نصب نیروگاه‌های جدید مورداستفاده قرار گیرند.

(Edomah, 2016) در پژوهش خود به بررسی موانع توسعه پایدار انرژی در نیجریه پرداخت. موانعی که نتایج این پژوهش نشان داد، می‌توان به موانع هزینه‌ای و قیمتی، موانع قانونی و مقرراتی و موانع مربوط به عملکرد بازار اشاره کرد.

(Narula & Reddy, 2015) در پژوهش خود به بررسی مقایسه سه شاخص متفاوت پایداری انرژی، شاخص بین‌المللی ریسک امنیت انرژی و شاخص عملکرد معماری انرژی پرداختند و رتبه‌بندی کشورها را بررسی کردند. ارزیابی مقایسه‌ای نشان داد این سه شاخص، رتبه‌بندی مختلفی را برای کشورها به دست می‌دهد که با یکدیگر سازگار نیستند و باید پایداری انرژی و امنیت انرژی را با ابزارهای دیگر بررسی کرد.

روش تحقیق

پژوهش حاضر بر اساس هدف کاربردی می‌باشد و ازنظر روش آمیخته (اسنادی، کیفی و کمـی) است. این رویکرد در پـژوهش با

استفاده از ترکیب دو مجموعه رویکردهای کیفی و کمی به انجام رسیده است. رویکردهای گوناگونی برای پژوهش وجود دارد که عبارت‌اند از: رویکرد کمی، کیفی و آمیخته (ترکیبی). به نظر می‌رسد درروش آمیخته، تلفیق رویکردها درک بهتر و جامع‌تری از موضوع پژوهش نسبت به استفاده رویکردها به‌صورت جداگانه به پژوهشگر می‌دهد. در این پژوهش موضوع مورد مطالعه دارای چندین وجه است و به همین دلیل از روش آمیخته استفاده شد تا فرایند پژوهش و درک مسایل مورد بررسی تسهیل گردد. درواقع در این پژوهش داده‌های حاصل از مطالعه اسنادی، کیفی و کمی جمع‌آوری و تحلیل شده است. در این گزارش شناسایی، اندازه‌گیری و وزن‌دهی شاخص‌های انرژی در ارتباط با توسعه پایدار در ایران انجام گرفته است.

در مرحله اول از مطالعه که به شناسایی و اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در کشور می‌پردازد، اطلاعات و آمار مورد نیاز بر اساس منابع آمار رسمی کشور و به روش کتابخانه‌ای (اسنادی) گردآوری شده‌اند. همچنین برای تعیین وزن شاخص‌های پایداری انرژی به روش میدانی و کسب نظر خبرگان موضوع، به روش دلفی اقدام به جمع‌آوری اطلاعات شده است. به‌منظور شناسایی، اندازه‌گیری و وزن‌دهی شاخص‌های انرژی در ایران (در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی) از آنتروپی شانون و ضریب نسبی روایی محتوایی CVR[۹] استفاده شده است. برای تعیین وضعیت مطلوبیت شاخص‌ها در ایران از آزمون t تک نمونه‌ای استفاده شد.

یافته های پژوهش

در پاسخ به پرسش اول به‌منظور شناسایی شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در ایران، از بین ۳۰ شاخص مطرح‌شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (۴ شاخص در بعد اجتماعی، ۱۶ شاخص در بعد اقتصادی و ۱۰ شاخص در بعد محیطزیستی)، محقق فرم نظرسنجی از خبرگان را به‌منظور تعیین شاخص‌های نهایی از نقطه‌نظر ویژگی‌های موجود و آمار در دسترس تنظیم و برای خبرگان ارسال نمود. سپس داده‌های به‌دست‌آمده از طریق دو آزمون آنتروپی شانون و ضریب نسبی روایی محتوایی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

ابتدا جهت شناسایی شاخص‌های انرژی از نظر دسترسی به آمار بر مبنای نظر خبرگان از فن دلفی استفاده شد و ضریب نسبی روایی محتوایی (CVR) بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید که نتایج آن به شرح جدول (۲) است. از آنجا که تعداد خبرگان پاسخ‌دهنده به شاخص‌های تعیین شده ۱۶ نفر بودند، لذا مقدار قابل‌قبول ضریب CVR برابر ۰/۴۲ می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده نشان داد از دیدگاه خبرگان موضوعی، از بین ۳۰ شاخص آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، امکان دسترسی و جمع‌آوری اطلاعات در خصوص ۲ شاخص اجتماعی، ۱۱ شاخص اقتصادی و ۴ شاخص محیطزیستی فراهم است و لذا در مجموع ۱۷ شاخص از مجموع شاخص‌های مورد بررسی مورد تایید قرار گرفتند. پس از شناسایی شاخص ها با نظر خبرگان، اقدام به وزن‌دهی آن‌ها با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون گردید که در ادامه تشریح شده است. استفاده از تکنیک آنتروپی شانون دارای مزیت‌هایی نظیر محاسبه وزن‌ها به‌صورت نرم‌افزاری و سیستماتیک، مبتنی بر نظرات خبرگان، مقایسات زوجی سازگارتر و نتایج باقابلیت اطمینان بالاتر می‌باشد.

آنتروپی شانون دارای چهار گام است که عبارتند از:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم؛ برای تشکیل این ماتریس تصمیم کافی است؛ اگر معیارها کیفی هستند، عبارات کلامی ارزیابی هر گزینه را نسبت به هر معیار به دست آورد و اگر معیارها کمی هستند، عدد واقعی آن ارزیابی را قرار داد.

گام دوم: نرمال کردن ماتریس تصمیم؛ ماتریس نرمال شده و درایه نرمال شده pij نامیده شد. نرمال شدن به این صورت می‌باشد که درایه هر ستون بر مجموع ستون تقسیم می‌شود.

جدول (۲): نتایج ضریب نسبی روایی محتوایی (CVR)

ابعاد	شاخص	CVR	نتیجه
اجتماعی	سهمی از خانوارها که به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند یا به‌سختی دسترسی دارند.	۰/۷۶	تائید
	سهمی از درآمد خانوارها که برای سوخت یا انرژی الکتریکی پرداخت می‌شود.	۰/۶۲	تائید
	مصرف انرژی خانوارها برای گروه‌های درآمدی و مخلوط سوخت‌های مصرفی	۰/۳۸	رد
	تلفات تصادفات به ازای انرژی تولیدشده در زنجیره سوخت	۰/۲۹	رد

ادامه جدول (۲): نتایج ضریب نسبی روایی محتوایی (CVR)

اقتصادی	مصرف سرانه انرژی	۰/۸۹	تائید
	مصرف انرژی به ازای هر واحد از GDP	۰/۳۰	رد
	کارایی تبدیل و توزیع انرژی	۰/۳۵	رد
	نسبت ذخایر به تولید	۰/۸۴	تائید
	نسبت منابع به تولید	۰/۸۵	تائید
	شدت مصرف انرژی در صنعت	۰/۸۶	تائید
	شدت مصرف انرژی در کشاورزی	۰/۸۳	تائید
	شدت مصرف انرژی در خدمات	۰/۸۶	تائید
	شدت مصرف انرژی در خانوارها	۰/۸۷	تائید
	شدت مصرف انرژی در حمل‌ونقل	۰/۷۹	تائید
	سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته	۰/۸۸	تائید
	سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته	۰/۷۴	تائید
	سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته	۰/۶۶	تائید
	قیمت‌های انرژی نهایی به تفکیک سوخت و بخش	۰/۳۳	رد
	وابستگی به واردات انرژی خالص	۰/۳۹	رد
	ذخایر بحرانی سوخت در هر مصرف سوخت مربوطه	۰/۳۶	رد
محیط‌زیستی	انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید انرژی و مصرف سرانه و به ازای GDP	۰/۳۱	رد
	غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری	۰/۸۶	تائید
	انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از سیستم‌های انرژی	۰/۳۷	رد
	تخلیه آلودگی در پساب مایع از سیستم‌های انرژی ازجمله تخلیه نفت	۰/۳۵	رد
	مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است.	۰/۵۷	تائید
	میزان جنگل‌زدایی مربوط به استفاده از انرژی	۰/۴۰	رد
	نسبت تولید زباله‌های جامد به واحد انرژی تولیدشده	۰/۳۸	رد
	نسبت زباله‌های جامد به‌کل زباله‌های تولیدشده	۰/۷۲	تائید
	نسبت پسماند جامد رادیواکتیو به واحد انرژی تولیدشده	۰/۸۹	تائید
	نسبت زباله‌های رادیواکتیو جامد در انتظار دفع به‌کل زباله‌های رادیواکتیو جامد تولیدشده	۰/۱۷	رد

گام سوم: محاسبه آنتروپی هر شاخص؛ آنتروپی Ej به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد و k به‌عنوان مقدار ثابت مقدار Ej را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} P_{ij} \times Ln\, P_{ij} \qquad i = 1,2, \dots, m$$

که در آن P(x) توزیع احتمال متغیر تصادفی X است. افزایش در آنتروپی شانون باعث افزایش عدم اطمینان و کاهش اطلاعات در مورد دانش متغیر تصادفی می‌شود. جنبه جالب دیگر آنتروپی شانون ویژگی حداکثر آنتروپی آن برای توزیع یکنواخت است.

گام چهارم: محاسبه مقدار (dj) یا درجه انحراف؛ که بیان می‌کند شاخص مربوطه (dj) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هرچه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که گزینه‌های رقیب ازنظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا نقش آن شاخص در تصمیم‌گیری باید به همان اندازه کاهش یابد (dj=1-Ej).

گام پنجم: محاسبه مقدار وزن Wj؛ درواقع وزن معیار برابر با هر dj تقسیم بر مجموع djها می‌باشد. (wj=dj/∑dj)

پس از برداشتن گام‌های پیش‌گفته و انجام محاسبات به کمک نرم‌افزار اکسل، وزن هر یک از ۱۷ شاخص مرحله قبل تعیین شد که در جدول (۳) نتایج وزن‌دهی شاخص‌های اجتماعی انرژی ارایه شده است. در خصوص شاخص‌های اجتماعی، شاخص «سهمی از

خانوارها که به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند یا به سختی دسترسی دارند» دارای بالاترین ضریب است.

جدول (۳): نتایج آنتروپی شانون برای وزن دهی شاخص‌های اجتماعی انرژی

ردیف	شاخص	وزن
۱	سهمی از خانوارها که به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند یا به سختی دسترسی دارند.	۵۸
۲	سهمی از درآمد خانوارها که برای سوخت یا انرژی الکتریکی پرداخت می‌شود.	۴۲
جمع کل		**۱۰۰**

در جدول (۴) نتایج وزن‌دهی شاخص‌های اقتصادی انرژی ارایه شده است. در خصوص شاخص‌های اقتصادی، شاخص «سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته» بالاترین ضریب و شاخص «شدت مصرف انرژی در خدمات» و «شدت مصرف انرژی در خانوارها» پایین‌ترین ضریب را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول (۴): نتایج آنتروپی شانون برای وزن‌دهی شاخص‌های اقتصادی انرژی

ردیف	شاخص	وزن
۱	مصرف سرانه انرژی	۱۲
۲	نسبت ذخایر به تولید	۱۰
۳	نسبت منابع به تولید	۷
۴	شدت مصرف انرژی در صنعت	۸
۵	شدت مصرف انرژی در کشاورزی	۷
۶	شدت مصرف انرژی در خدمات	۶
۷	شدت مصرف انرژی در خانوارها	۶
۸	شدت مصرف انرژی در حمل و نقل	۸
۹	سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته	۱۲
۱۰	سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته	۱۱
۱۱	سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته	۱۳
جمع کل		**۱۰۰**

در جدول (۵) نتایج وزن‌دهی شاخص‌های محیطزیستی انرژی ارایه شده است. در خصوص شاخص‌های محیطزیستی، شاخص «غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری» بالاترین ضریب و شاخص «مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است» پایین‌ترین ضریب را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول (۵): نتایج آنتروپی شانون برای وزن‌دهی شاخص‌های محیطزیستی انرژی

ردیف	شاخص	وزن
۱	غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری	۳۳
۲	مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است	۲۰
۳	نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده	۲۳
۴	نسبت پسماند جامد رادیو اکتیو به واحد انرژی تولید شده	۲۴
جمع کل		**۱۰۰**

در جهت پاسخ به پرسش دوم پژوهش و اندازه‌گیری میزان شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی، بر اساس بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته، پس از تعیین شاخص‌های انرژی پایدار در ایران با توجه به کمبود آمار و اطلاعات و سایر محدودیت‌های ساختاری در کشور، میزان شاخص‌های انرژی در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی به شرح زیر به دست آمده است.

- میزان شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در حوزه اجتماعی

شاخص ۱) سهمی از خانوارها که به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند یا به سختی دسترسی دارند.

بر اساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۷ و تحولات بخش انرژی در جهان، متوسط دسترسی به برق در دنیا در بخش شهری ۹۶ درصد و در بخش روستایی ۷۹ درصد است؛ اما دسترسی به برق در ایران، در جمعیت شهری ۱۰۰ درصد و در جمعیت روستایی ۹۹/۷ درصد است؛ بنابراین سطح دسترسی ایران به برق از سطح متوسط دنیا در حوزه شهری و روستایی بیشتر است. لذا می‌توان گفت تنها ۰/۳ درصد از خانوارهای ایرانی به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند. (Ministry of Energy, 2015-2019)

شاخص ۲) سهمی از درآمد خانوارها که برای سوخت یا انرژی الکتریکی پرداخت می‌شود.

در خصوص میزان سهم هزینه انرژی الکتریکی از درآمد خانوارها می‌توان گفت بر اساس بررسی‌های صورت گرفته و تعرفه‌های مصوب در بودجه سالانه، سهم خانوارهای روستایی و شهری

متفاوت است. بر اساس آمار ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۷، در مجموع، انرژی (آب، برق و گاز) حدود ۴/۱ درصد از کل هزینه‌های خانوارهای شهری و ۶/۲ درصد از کل هزینه‌های خانوارهای روستایی را به خود اختصاص داده است؛ اما میزان سهم انرژی برق از درآمد خانوارها ۱/۳ درصد (شهری) و ۱/۹ درصد (روستایی) می‌باشد. این میزان در مقایسه با سایر کشورها خیلی پایین‌تر است. سهم انرژی برق از درآمد در کشور ترکیه ۸/۵ درصد، امارات ۱۰ درصد، پاکستان ۷ درصد، امریکا ۶ درصد، آلمان ۵ تا ۶ درصد، ژاپن ۴ تا ۵ درصد می‌باشد. (Ministry of Energy, 2015) (2019

- میزان شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در حوزه اقتصادی

شاخص ۱. مصرف سرانه انرژی

بر اساس آمارهای ارایه شده توسط سازمان محیط‌زیست، مصرف سرانه انرژی در ایران ۱/۵ تا ۲ برابر میانگین جهانی است. آمار ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد سرانه مصرف نهایی انرژی در ایران ۱/۷ برابر متوسط سرانه مصرف نهایی جهانی و ۰/۷۷ برابر کشورهای OECD است. البته مصرف سرانه برق، زغال سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر از متوسط جهانی پایین‌تر و مصرف گاز ۶/۴ و نفت خام و فراورده‌های نفتی ۱/۴ برابر متوسط مصرف سرانه جهانی است.

سرانه مصرف نهایی انرژی در بخشهای کشاورزی، خانگی، تجاری و عمومی، حمل و نقل و صنعت به ترتیب ۳/۴، ۲/۱، ۱/۵، ۱/۵ برابر متوسط جهانی است. شدت انرژی ایران بر مبنای عرضه انرژی اولیه و مصرف نهایی انرژی در سال ۱۳۹۷ به ترتیب به میزان ۰/۲۹ و ۰/۱۹ بشکه معادل نفت خام بوده که نسبت به سال پیش از آن، به ترتیب ۹/۶ و ۱۲/۵ درصد افزایش یافته است. همچنین شدت مصرف نهایی انرژی ایران بر اساس نرخ ارز و برابری قدرت خرید نسبت به متوسط جهانی ۲/۷ و ۱/۴ برابر می‌باشد. شدت مصرف انرژی ایران ۸/۸ برابر ژاپن، ۴/۷ برابر ترکیه، ۳ برابر امارات، ۲ برابر اندونزی و ۱/۸ برابر عربستان است. (Ministry of Energy, 2015-2019)

لازم به ذکر است که در ایران ثبت آمار توسط نهادهای متولی انرژی بر اساس حواله‌ها و تعرفه‌های داخلی سازمانها و نهادها صورت می‌گیرد که لزوما این تعرفه‌ها با استانداردهای بین‌المللی مطابقت ندارد. بنابراین، محاسبه شاخص شدت انرژی هر یک از بخش‌های مصرف‌کننده انرژی به دلیل اختلاف در طبقه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی زیربخش‌های مختلف به دقت امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ اما در برخی از گزارشات و اسناد رسمی این شاخص‌ها محاسبه شده‌اند که از آنها استفاده شده است.

شاخص ۲. نسبت ذخایر به تولید

در سال ۱۳۹۵ میانگین تولید نفت خام کشور در چارچوب رعایت سهمیه تولید تعیین شده از سوی اوپک با ۱۶/۴ درصد رشد در مقایسه با سال ۱۳۹۴ به ۳/۸ میلیون بشکه در روز رسید. در این سال تولید و مصرف برق کشور به ترتیب با ۳/۱ و ۴/۵ درصد رشد نسبت به سال ۱۳۹۴ به ۲۸۹/۲ و ۲۳۷/۴ میلیارد کیلووات ساعت رسید. در سال ۱۳۹۷، تحریم‌های نفتی از یک سو و کاهش تقاضا برای نفت از سوی دیگر، موجب شد تا کشور مجددا با چالش جدی در زمینه تولید و صادرات نفت خام مواجه شود. (Ministry of Energy, 2015-2019)

ذخایر اثبات شده نفت خام جهان در سال ۱۳۹۷ معادل ۱۷۲۹/۷ میلیارد بشکه بود که سهم ایران از ذخایر اثبات شده نفت خام جهان حدود ۱۵۸/۶۸ میلیارد بشکه معادل ۹/۲ درصد بود. متوسط تولید نفت خام جهان در سال ۱۳۹۵ معادل ۹۲/۲ میلیون بشکه در روز بود که سهم ایران از تولید، ۴/۶ میلیون بشکه در روز (۴/۹۹ درصد) بود. بنابراین، نسبت ذخایر نفت به تولید در ایران ۰/۰۱۰ می‌باشد.

ذخایر اثبات شده گاز طبیعی جهان در سال ۱۳۹۷ معادل ۱۹۶/۹ هزار میلیارد مترمکعب بود که سهم ایران از آن معادل ۳۳/۱ هزار میلیارد مترمکعب (۱۶/۸ درصد) بود. همچنین تولید گاز طبیعی جهان در سال ۱۳۹۵ معادل ۳۵۵۱/۶ میلیارد مترمکعب بود که ایران با تولید ۲۰۲/۴ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی دارای سهمی معادل ۵/۷ درصد بود. لذا نسبت ذخایر گاز طبیعی به تولید در ایران معادل ۰/۰۰۶ می‌باشد (Ministry of Energy, 2015-2019).

شاخص ۳. نسبت منابع به تولید

بر پایه برآوردها و گزارشات مختلف وزارت نیرو، ایران رتبه نخست منابع گاز طبیعی جهان را با ۳۳/۱ هزار میلیارد مترمکعب معادل ۱۶/۸ درصد و میانگین تولید آن در سال ۱۳۹۵ معادل ۲۰۲/۴ میلیارد مترمکعب معادل ۵/۷ درصد بود. ایران رتبه چهارم نفت جهان با ۱۵۸/۷ میلیارد بشکه نفت، معادل ۹/۲ درصد نفت جهان و میانگین تولید آن در سال ۱۳۹۵ معادل ۴/۶ میلیون بشکه در

روز بود. همچنین ایران ۷ درصد معادن جهان (آهن، مس، طلا، نقره، روی، سرب، کرومیت و ...) را در اختیار دارد.

شاخص ۴. شدت مصرف انرژی در صنعت

به مقدار انرژی مصرفی برای ایجاد هر واحد ارزش افزوده، شدت مصرف انرژی گفته می‌شود. سهم مصرف نهایی انرژی بخش صنعت در سال ۱۳۹۵ معادل ۲۴ درصد بوده است. شدت مصرف انرژی در بخش صنعت، معدن و پتروشیمی در سال ۱۳۹۵ به میزان ۱/۶۴ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال بوده است (Ministry of Energy, 2015-2019).

تولید محصولات کانی غیرفلزی، صنایع تولید زغال کک و پالایشگاه‌ها و تولید فلزات اساسی نسبت به متوسط بخش صنعت، شدت مصرف انرژی بیشتری دارند و صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی در رتبه چهارم قرار گرفته است؛ اما سهم حامل‌های انرژی در بخش صنعت بدین شرح است: سهم گاز طبیعی در سبد انرژی بخش صنعت به حدود ۸۰ درصد در سال ۱۳۹۵ رسیده و سهم برق تقریبا حدود ۱۳ درصد بوده و سهم فراورده های نفتی مانند نفت گاز و نفت کوره حدود ۷ درصد بوده است. (Ministry of Energy, 2015-2019)

در سال ۱۳۹۵ کل صنعت کشور حدود ۳۴۴/۸۶ میلیون بشکه معادل نفت خام، انرژی مصرف کرده است. گاز طبیعی ۷۹/۱۰ درصد از این میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است که برابر با ۴۴/۲۸۵ میلیون مترمکعب گاز طبیعی است. ۱۳ درصد از کل مصرف انرژی این بخش مربوط به برق است که برابر با ۷۷/۶۰۳ گیگاوات ساعت است. سایر فراورده‌های نفتی نیز سهم ۷/۶ درصدی را به خود اختصاص داده‌اند (Ministry of Petroleum, 2016).

شاخص ۵. شدت مصرف انرژی در کشاورزی

سهم مصرف نهایی انرژی بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۵ معادل ۴ درصد بوده است. شدت مصرف انرژی در بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۵ به میزان ۰/۵۸ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال بوده است (Ministry of Energy, 2015-2019).

شاخص ۶. شدت مصرف انرژی در خدمات

سهم مصرف نهایی انرژی بخش خدمات در سال ۱۳۹۵ معادل ۱۳ درصد بوده است. شدت مصرف انرژی در بخش خدمات در سال ۱۳۹۵ به میزان ۲/۰۹ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال بوده است (Ministry of Energy, 2015-2019).

شاخص ۷. شدت مصرف انرژی در خانوارها

سهم مصرف نهایی انرژی بخش خانوارها در سال ۱۳۹۵ معادل ۳۵ درصد بوده است. شدت مصرف انرژی در بخش خانوارها در سال ۱۳۹۵ به میزان ۲/۱۷ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال بوده است (Ministry of Energy, 2015-2019).

شاخص ۸. شدت مصرف انرژی در حمل و نقل

سهم مصرف نهایی انرژی بخش حمل و نقل در سال ۱۳۹۵ معادل ۲۴ درصد بوده است. شدت مصرف انرژی در بخش حمل و نقل در سال ۱۳۹۵ به میزان ۷/۷۰ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال بوده است (Ministry of Energy, 2015-2019).

شاخص ۹. سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته

بر اساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۵ سهم تولید برق و الکتریسیته در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی ۳۵/۹ درصد، بخاری ۲۹/۴ درصد، گازی ۲۶/۶ درصد، آبی ۵/۷ درصد، تجدیدپذیر ۱ درصد و اتمی ۲/۳ درصد و دیزلی نیز ۰/۰۲ درصد می‌باشد. از مجموع کل سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور، ۰/۸۵ درصد به گاز طبیعی، ۰/۸ درصد به نفت گاز، ۶/۷ درصد به نفت کوره و ۰/۳ درصد به سایر حامل‌های انرژی اختصاص دارد. (Ministry of Energy, 2015- 2019).

شاخص ۱۰. سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته

بر اساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۷، سهم انرژی بدون کربن با احتساب نیروگاه‌های آبی، بادی، خورشیدی و اتمی، حدود ۱۵,۷ درصد از کل ظرفیت اسمی منصوبه کشور می‌باشد. (Ministry of Energy, 2015-2019).

شاخص ۱۱. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته

بر اساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۷ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر

با احتساب نیروگاه‌های آبی، بادی، خورشیدی، بیوگاز و بازیافت حرارتی، حدود ۱۷,۰ درصد از کل ظرفیت اسمی منصوبه کشور می‌باشد. (Ministry of Energy, 2015-2019)

- میزان شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در حوزه محیط‌زیستی

شاخص ۱. غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری

بر اساس نتایج یافته‌های رستگاری و همکاران در سال ۱۳۹۹، ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های اصلی هوا شامل منواکسیدکربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO2)، دی اکسید نیتروژن (NO2)، ازن (O3)، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM10)، ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون (PM2.5) در کلان شهر تهران به شرح جدول شماره ۶ می‌باشد. (Rastegari & et al., 2020)

با توجه به محدودیت اطلاعات، آمار کلان شهر تهران به عنوان نماینده‌ای برای مناطق شهری در نظر گرفته شده است.

جدول (۶): غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری(کلان شهر تهران) و حد استاندارد آلاینده‌ها

نوع آلاینده	سال ۱۳۹۶	سال ۱۳۹۷	استاندارد سالانه کشور
مونواکسید کربن CO	۲,۶۳	۲,۴۳	به دلیل کوتاه بودن ماندگاری استاندارد تعریف نشده است.
دی اکسید گوگرد SO2	۱۶,۲۴	۱۵,۲۷	۷ ppb
دی اکسید نیتروژن NO2	۴۲,۳	–	۲۱ ppb
ازن O3	۲۵,۶	۱۶,۳	استاندارد تعریف نشده است.
ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون PM10	۷۲,۵۸	۶۱,۵۷	۲۰ µg/m3
ذرات معلق با قطر کمتر از ۲,۵ میکرون PM2.5	۳۵,۷۶	۲۸,۸۶	۱۰ µg/m3

شاخص ۲. مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است.

این شاخص در مناطق خشکی کشور مورد بررسی قرار گرفته است. PH خاک احتمالاً مهمترین خصوصیت شیمیائی یک خاک است. در یک خاک، PH یک «شاه متغیر» بوده و شناخت آن برای دانستن فرایندهای شیمیائی از قبیل، تحرک یون، تعادل رسوب و انحلال، سینتیک رسوب و انحلال، و تعادل اکسیداسیون- احیا ضروری است. همچنین آگاهی از اسیدیته برای درک قابلیت استفاده عناصر غذایی برای گیاهان و پاسخ منفی بسیاری از گونه‌های گیاهی به اسیدیته خاک لازم می‌باشد. با توجه به یافته‌های مطالعه شهبازی و بشارتی، می‌توان گفت که بیش از ۹۷ درصد خاک‌های کشور PH بین ۶/۵-۸/۵ دارند که سهم دسته خاک‌هایی که اسیدیته آنها بین ۷/۵-۸/۵ می‌باشد، بسیار بیشتر بوده و در حدود ۸۳ درصد است. با توجه به این بررسی بیش از ۹۷ درصد خاک‌های کشور حالت قلیایی (PH بزرگتر یا مساوی ۷) دارند. در این میان استان گیلان با توجه به شرایط خاص آن یک استثنا محسوب می‌شود که در آن حدود ۴۸ درصد خاک‌ها اسیدی (PH کوچتر یا مساوی ۷) است (Shahbazi & Besharati, 2013).

شاخص ۳. نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده

مطابق گزارش اطلس کلانشهر تهران، ایران رتبه ۱۷ در تولید زباله را در جهان به خود اختصاص داده است. هر فرد به طور متوسط سالانه شش برابر وزن خود زباله تولید می‌کند. متوسط سرانه زباله تولید شده در تهران ۳۲۰ کیلوگرم است. از سوی دیگر در حالی که سرانه تولید زباله در جهان حدود ۱۱۰ کیلوگرم در سال و سرانه روزانه در مقیاس جهانی ۲۵۰ تا ۳۰۰ گرم است، این رقم در ایران ۶۰۰ گرم و در شمال شهر تهران هزار و ۲۰۰ گرم است. بر اساس آمار دفتر محیط‌زیست و خدمات شهری سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، روزانه ۴۵ هزار تن زباله در مناطق شهری و ۱۰ هزار تن در مناطق روستایی تولید می‌شود. متوسط سرانه تولید زباله هر نفر در شهر ۷۶۰ گرم و در روستاها ۴۸۵ گرم است. ۶۵ درصد از پسماندهای تولیدی «تر» و ۳۵ درصد آن «خشک» است. ۲۵ درصد از پسماندهای تولیدی پردازش و ۷۵ درصد باقیمانده بدون فرایند پردازش به طور مستقیم دفن و همچنین ۱۰ درصد

در مبدا تفکیک می‌شوند. (Habibi & Horkard, 2005)

شاخص ۴. نسبت پسماند جامد رادیو اکتیو به واحد انرژی تولید شده

بر اساس گزارش‌های سازمان انرژی اتمی ایران، در حال حاضر ایران دارای یک نیروگاه هسته‌ای (بوشهر) با ظرفیت تولید انرژی به میزان ۱۰۰۰ مگاوات است. یک راکتور تحقیقاتی ۵ مگاواتی هم در تهران برای تولید رادیوداروها وجود دارد که جمعا کل ظرفیت ۱۰۰۵ مگاوات است. به ازای هر ۸ مگاوات انرژی برق تولید شده در نیروگاه هسته‌ای حدود ۳۰ گرم زباله یا پسماند رادیواکتیو تولید می‌شود؛ بنابراین به ازای تولید ۱۰۰۵ مگاوات انرژی تولید شده حدود ۳۷۶۹ گرم پسماند جامد رادیواکتیو تولید می‌شود. در نهایت این که به ازای هر واحد انرژی هسته‌ای ۳/۷۵ گرم پسماند تولید می‌شود.

لازم به ذکر است پسماندهای رادیواکتیو از ۵ منبع به دست می‌آیند: ۱. نیروگاه اتمی بوشهر ۲. تاسیسات چرخه سوخت هسته‌ای ۳. مراکز پزشکی هسته‌ای ۴. راکتور تحقیقاتی تهران ۵. سایر صنایع استفاده کننده از مواد پرتوزا.

جهت پاسخگویی به پرسش سوم پژوهش و بررسی وضعیت شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار در ایران در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی اقدامات زیر صورت گرفت. برای تعیین وضعیت هر یک از شاخص‌های توسعه پایدار در ایران در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی بر اساس مطلوبیت، میزان و مقدار موجود برای هر یک از شاخص‌ها با در نظر گرفتن حد استاندارد/ مجاز/ میانگین آنها سنجش و ارزیابی می‌شود که این ارزیابی به کمک آزمون t تک نمونه‌ای انجام شده است.

- حوزه اجتماعی

نتایج آزمون t برای شاخص‌های اجتماعی در جدول (۷) برای این حوزه ارایه شده است.

شاخص ۱. نتایج به دست آمده در جدول (۷) نشان می‌دهد سهم خانوارهای شهری که به انرژی الکتریکی دسترسی دارند، به طور کامل و ۱۰۰ درصداست که این مقدار در جهان ۹۶ درصد است. بر اساس نتایج آزمون t با توجه به سطح معنی‌داری به دست آمده که کمتر از ۰/۰۱ است (p<۰/۰۱) و مقدار t به دست آمده (۵/۵۶)، می‌توان گفت اختلاف دسترسی به انرژی الکتریکی در ایران و جهان معنی‌دار است و ازنظر مطلوبیت، وضعیت ایران مطلوب است. این موضوع در خصوص سهم خانوارهای روستایی که به انرژی الکتریکی دسترسی دارند نیز صادق است. مقدار دسترسی مناطق روستایی ایران ۹۹/۷ درصد و مناطق روستایی جهان ۷۹ درصد است. سطح معنی‌داری به دست آمده کوچک‌تر از ۰/۰۱ و ضریب ۱۲/۶۴ می‌باشد. لذا وضعیت دسترسی به انرژی الکتریکی در ایران مطلوب است.

جدول (۷): نتایج آزمون t برای تعیین معناداری شاخص‌های حوزه اجتماعی

شاخص‌ها	مقدار موجود/ درصد		مقدار جهانی/ استاندارد/ میانگین	ضریب t	سطح معنی‌داری (p)
شاخص ۱: سهمی از خانوارها که به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند یا به سختی دسترسی دارند.	شهری	٪۰	٪۴	۵/۵۶	۰/۰۰۰
	روستایی	٪۰/۳	٪۲۱	۱۲/۶۴	۰/۰۰۰
شاخص ۲: سهمی از درآمد خانوارها که برای سوخت یا انرژی الکتریکی پرداخت می‌شود.	شهری	۱/۳	٪۵	-۷/۴۴	۰/۰۰۰
	روستایی	۱/۹	٪۵	-۶/۹۱	۰/۰۰۰

شاخص ۲. همچنین نتایج به دست آمده در جدول (۷) نشان می‌دهد میزان سهم هزینه انرژی الکتریکی از درآمد خانوارها در خانوارهای شهری ۱/۳ درصد و خانوارهای روستایی ۱/۹ درصد است. این میزان در مقایسه با سایر کشورها (ترکیه ۸/۵، امارات ۱۰، پاکستان ۷، امریکا ۶، آلمان ۵ تا ۶، ژاپن ۴ تا ۵ درصد) بسیار پایینتر است؛ اما بر اساس نتایج آزمون t با توجه به سطح معنی‌داری به دست آمده که کمتر از ۰/۰۱ است (p<۰/۰۱) و مقدار t به دست آمده (۷/۴۴- و ۶/۹۱-) می‌توان گفت اختلاف سهم پرداختی از درآمد خانوارها برای انرژی الکتریکی در ایران و جهان معنی‌دار است و ازنظر مطلوبیت، وضعیت ایران مطلوب است. مطلوب بودن این شاخص از منظر مصرف‌کنندگان انرژی مطرح است که دلیل آن نیز واقعی نبودن قیمت‌های انرژی در کشور می‌باشد.

- **حوزه اقتصادی**

نتایج آزمون t برای شاخص‌های اقتصادی در جدول (۸) برای این حوزه ارایه شده است.

جدول (۸): نتایج آزمون t برای تعیین معناداری شاخص‌های حوزه اقتصادی

شاخص‌ها		مقدار موجود/ درصد	مقدار جهانی/ استاندارد/ میانگین	ضریب t	سطح معنی‌داری (p)
شاخص ۱: مصرف سرانه انرژی		۲۱۰۰	۱۳۰۰	۴/۴۸	۰/۰۰۰
شاخص ۲: نسبت ذخایر به تولید	نفت	۰/۰۱۰	۰/۰۵۴	۶/۴۴	۰/۰۰۰
	گاز	۰/۰۰۶	۰/۱۹	۴/۳۵	۰/۰۰۰
شاخص ۳: نسبت منابع به تولید		۰/۰۱	۰/۳۶	۸/۵۹	۰/۰۰۰
شاخص ۴: شدت مصرف انرژی در صنعت		۲۴	۲۸/۸	۴/۱۹	۰/۰۰۰
شاخص ۵: شدت مصرف انرژی در کشاورزی		۴	۰/۵	۷/۴۱	۰/۰۰۰
شاخص ۶: شدت مصرف انرژی در خدمات		۱۳	۸/۱	۵/۷۷	۰/۰۰۰
شاخص ۷: شدت مصرف انرژی در خانوارها		۳۵	۲۱/۶	۷/۲۳	۰/۰۰۰
شاخص ۸: شدت مصرف انرژی در حمل و نقل		۲۴	۲۸/۸	۴/۱۸	۰/۰۰۰
شاخص ۹: سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته	فسیلی	۹۱	۶۵/۱	۱۱/۴۰	۰/۰۰۰
	تجدیدپذیر و هسته‌ای	۹	۳۴/۹	۹/۷۶	۰/۰۰۰
شاخص ۱۰: سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته		۱۵,۷	۳۲/۶	۱۰/۱۴	۰/۰۰۰
شاخص ۱۱: سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته		۱۷,۰	۳۲/۴	۷/۱۴	۰/۰۰۰

شاخص ۱. مصرف سرانه انرژی؛ در سال ۱۳۹۵ کل تولید انرژی در کشور برابر ۳۴۱۱/۵ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است و عرضه انرژی اولیه جهت مصرف در داخل کشور (سال ۱۳۹۵)، ۱۹۹۶/۸ میلیون بشکه نفت خام بوده که نسبت به سال گذشته ۱/۲ درصد کاهش داشته و ترکیب عرضه انرژی اولیه نیز شامل ۲۳ درصد عرضه خالص نفت خام و فراورده‌های نفتی، ۷۶ درصد گاز طبیعی و محصولات گازی و حدود ۱ درصد نیز زغال سنگ، سوختهای سنتی، برق، انرژی تجدیدپذیر و سایر می‌شود. اما سرانه مصرف انرژی در کشور در سال ۲۰۱۵ حدود ۲۱۰۰ بشکه معادل نفت خام بوده است و میانگین سرانه مصرف جهانی حدود ۱۳۰۰ بشکه معادل نفت خام بوده است (Ministry of Energy, 2015-2019). لذا مصرف سرانه انرژی در ایران ۱/۷ برابر متوسط سرانه جهانی است. سرانه مصرف نهایی انرژی در بخش‌های کشاورزی، خانگی، تجاری و عمومی، حمل و نقل و صنعت به ترتیب ۳/۴، ۲، ۱/۶، ۱/۴ برابر متوسط جهانی است. نتایج آزمون t نشان می‌دهد سطح معنی‌داری به دست آمده کوچک‌تر از ۰/۰۱ است و اختلاف بین سرانه مصرف در ایران و جهان معنی دار است. بنابراین، سرانه مصرف انرژی در ایران نامطلوب است.

شاخص ۲. نسبت ذخایر به تولید؛ نسبت ذخایر نفت (۱۵۸/۴ میلیارد بشکه معادل ۹/۳ درصد) به تولید (۴/۶ میلیون بشکه در روز معادل ۴/۹۹ درصد) در ایران ۰/۰۱۰ است. بر اساس نتایج آزمون t، سطح معنی‌داری به دست آمده کوچکتر از ۰/۰۱ است و اختلاف بین نسبت ذخایر نفت به تولید ایران در مقایسه با میزان جهانی آن معنی‌دار است. سهم ایران از ذخایر نفت جهان حدود ۹ درصد است، در حالی که سهم ایران در تولید بین ۴ تا ۵ درصد است. بنابراین، وضعیت ایران در خصوص نسبت ذخایر به تولید مطلوب نیست و می‌توان گفت در حد متوسط است.

نسبت ذخایر گاز طبیعی (۳۳/۵ هزار میلیارد متر مکعب معادل ۱۸ درصد) به تولید (۲۰۲/۴ میلیارد متر مکعب معادل ۵/۷ درصد) در ایران حدود ۰/۰۰۶ است. بر اساس نتایج آزمون t، سطح معنی‌داری به دست آمده کوچک‌تر از ۰/۰۱ است و اختلاف بین نسبت ذخایر گاز طبیعی به تولید ایران در مقایسه با میزان جهانی آن معنی‌دار است. سهم ایران از ذخایر گاز جهان حدود ۱۸ درصد است در حالی که سهم ایران در تولید حدود ۶ درصد است. بنابراین، وضعیت ایران در خصوص نسبت ذخایر به تولید نسبتا مطلوب ارزیابی می‌شود.

شاخص ۳. نسبت منابع به تولید؛ بر اساس برآوردهای انجام شده نسبت منابع طبیعی ایران شامل نفت و گاز و معادن به تولید آنها در حدود ۰/۰۱ درصد می‌باشد که در مقایسه با نسبت منابع به تولید جهانی (۰/۳۶ درصد) پایینتر است؛ اما نتایج آزمون t نشان می‌دهد سطح معنی‌داری به دست آمده که کوچک‌تر از ۰/۰۱ است و بنابراین، اختلاف بین نسبت منابع به تولید در ایران و جهان معنی‌دار است و بنابراین، وضعیت ایران نامطلوب است. شاخص شدت کل انرژی جهان ۰/۱۸ تن معادل نفت خام به ازای هزار دلار آمریکا می‌باشد.

شاخص ۴. شدت مصرف انرژی در صنعت؛ شدت مصرف نهایی انرژی بخش صنعت در ایران به میزان ۱/۶۴ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال معادل ۲۴ درصد بوده است. در حالی که شدت مصرف انرژی در بخش صنعت در جهان ۲۸/۸ درصد از کل مصرف نهایی جهان است. بر اساس نتیجه آزمون t از آنجا که سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ است. بنابراین، می‌توان گفت بین شدت مصرف انرژی در بخش صنعت در ایران و جهان اختلاف معنی‌داری وجود دارد و وضعیت ایران در این شاخص نامطلوب ارزیابی می‌شود.

شاخص ۵. شدت مصرف انرژی در کشاورزی؛ شدت مصرف نهایی انرژی بخش کشاورزی در ایران به میزان ۰/۵۸ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال معادل ۴ درصد بوده است. در حالی که شدت مصرف انرژی در بخش کشاورزی در جهان ۲/۱ درصد از کل مصرف نهایی جهان است. بر اساس نتیجه آزمون t از آنجا که سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ است، بنابراین، می‌توان گفت بین شدت مصرف انرژی در بخش کشاورزی در ایران و جهان اختلاف معنی‌داری وجود دارد و وضعیت ایران در حد نامطلوب است.

شاخص ۶. شدت مصرف انرژی در خدمات؛ شدت مصرف نهایی انرژی بخش خدمات در ایران به میزان ۲/۰۹ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال معادل ۱۳ درصد بوده است. در حالی که شدت مصرف انرژی در بخش خدمات و عمومی در جهان ۸/۱ درصد از کل مصرف نهایی جهان است. بر اساس نتیجه آزمون t از آنجا که سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ است، بنابراین، می‌توان گفت بین شدت مصرف انرژی در بخش خدمات در ایران و جهان اختلاف معنی‌داری وجود دارد و وضعیت ایران در حد نامطلوب است.

شاخص ۷. شدت مصرف انرژی در خانوارها؛ شدت مصرف نهایی انرژی بخش خانوارها در ایران به میزان ۲/۱۷ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال معادل ۳۵ درصد بوده است. در حالی که شدت مصرف انرژی در بخش خانگی در جهان ۲۱/۶ درصد از کل مصرف نهایی جهان است. بر اساس نتیجه آزمون t از آنجا که سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ است، بنابراین، می‌توان گفت بین شدت مصرف انرژی در بخش خانگی در ایران و جهان اختلاف معنی‌داری وجود دارد و وضعیت ایران در حد نامطلوب است.

شاخص ۸. شدت مصرف انرژی در حمل و نقل؛ شدت مصرف نهایی انرژی بخش حمل و نقل در ایران به میزان ۷/۷۰ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال معادل ۲۴ درصد بوده است. در حالی که شدت مصرف انرژی در بخش حمل و نقل در جهان ۲۸/۸ درصد از کل مصرف نهایی جهان است. بر اساس نتیجه آزمون t از آنجا که سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱ است، بنابراین، می‌توان گفت بین شدت مصرف انرژی در بخش صنعت در ایران و جهان اختلاف معنی‌داری وجود دارد و وضعیت ایران در حد نامطلوب است.

شاخص ۹. سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته؛ از مجموع انرژی و الکتریسیته تولید شده در ایران ۹۱/۹۲ درصد از آن به وسیله انواع نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، بخاری، گازی، دیزلی تولید شده است. این مقدار در جهان معادل ۶۵/۱ درصد است. در ایران سهم سوخت‌های فسیلی ۹۰/۹۲، آبی ۵/۷، تجدیدپذیر ۱، هسته‌ای ۲/۳ می‌باشد و در مقابل در جهان سهم سوخت‌های فسیلی ۶۵/۱، آبی ۱۶/۶، تجدیدپذیر ۵/۳، هسته‌ای ۱۰/۴، زیستی و پسماند ۲/۳ و زمین گرمایی ۰/۳ می‌باشد. نتایج آزمون t نشان می‌دهد سطح معنی‌داری به دست آمده کمتر از ۰/۰۱ است. بنابراین، اختلاف بین سهم سوخت در انرژی در ایران و جهان معنی‌دار است و وضعیت ایران در این خصوص با توجه به استفاده بیش از حد از سوخت فسیلی و استفاده کمتر از انرژی‌های تجدیدپذیر نامطلوب است.

شاخص ۱۰. سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته؛ سهم انرژی بدون کربن با احتساب نیروگاه‌های آبی، بادی، خورشیدی و اتمی، حدود ۱۵,۷ درصد از کل ظرفیت اسمی منصوبه کشور می‌باشد. این مقدار در جهان ۳۲/۶ درصد می‌باشد. نتایج آزمون t نشان می‌دهد سطح معنی‌داری به دست آمده کمتر از ۰/۰۱ است. بنابراین، اختلاف بین سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته در ایران و جهان معنی‌دار است و وضعیت ایران در این خصوص نامطلوب است.

شاخص ۱۱. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته؛ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با احتساب نیروگاه‌های آبی، بادی، خورشیدی، بیوگاز و بازیافت حرارتی، حدود ۱۷,۰ درصد از کل ظرفیت اسمی منصوبه کشور می‌باشد. نتایج آزمون t نشان می‌دهد سطح معنی‌داری به دست آمده کمتر از ۰/۰۱ است و اختلاف بین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی در ایران و جهان معنی‌دار است. بنابراین، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته ایران نامطلوب است.

- حوزه محیط‌زیستی

نتایج آزمون t برای شاخص‌های محیط‌زیستی در جدول (۹) برای این حوزه ارایه شده است:

شاخص ۱. غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری؛ برای بررسی شاخص غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری به دو آلاینده منواکسیدکربن و ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون رجوع شده است. مقدار منواکسیدکربن در مناطق شهری برابر با ۲/۴۳ (PPM) و ذرات با قطر ۱۰ میکرون ۶۱/۵۷ ($\mu g/m^3$) می‌باشد. مقدار استاندارد برای این دو آلاینده به ترتیب ۱۰ میلی‌گرم در مترمکعب (۸ ساعت) و ۲۰ $\mu g/m^3$ (در ۲۴ ساعت) است. نتایج آزمون t نشان می دهد که سطح معنی‌داری به دست آمده برای هر دو آلاینده کمتر از ۰/۰۱ است و اختلاف بین غلظت آلاینده‌ها با حد استاندارد در ایران معنی‌دار است. بنابراین، وضعیت ایران در غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری نامطلوب است.

شاخص ۲. مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است؛ مقدار و حد وسط اسیدیته خاک عدد ۷ است. در مناطق کویری ایران این مقدار بین ۷ تا ۸/۵ در نوسان است و در برخی از مناطق فلات مرکزی حتی تا ۹/۷ نیز رسیده است؛ اما در مناطق جنگلی شمال ایران مقدار اسیدیته ۴/۲ می‌باشد. مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی باشد، در ایران گزارش نشده است. مقدار بحرانی مناطق اسیدی کمتر از ۴ و مقدار بحرانی مناطق قلیایی بیشتر از ۹ می‌باشد. نتایج آزمون t نشان می‌دهد سطح معنی‌داری به دست آمده برای مناطق دارای اسیدیته بحرانی بیشتر از ۰/۰۵ است. بنابراین، اختلاف بین مناطق با اسیدیته بحرانی معنی‌دار نیست و وضعیت ایران در این خصوص نسبتا مطلوب است.

جدول (۹): نتایج آزمون t برای تعیین معناداری شاخص‌های حوزه محیط‌زیستی

شاخص‌ها		مقدار موجود/ درصد	مقدار جهانی/ استاندارد/ میانگین	ضریب t	سطح معنی‌داری (p)
شاخص ۱: غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری	CO	۲/۴۳	۱۰ $\mu g/m^3$	۶/۹۰	۰/۰۰۰
	PM10	۶۱/۵۷	۲۰ $\mu g/m^3$	۷/۳۲	۰/۰۰۰
شاخص ۲: مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است.	قلیایی	۷ – ۸/۵	۹	۱/۱۷	۰/۱۲
	اسیدی	۴/۲	۳/۵	۰/۹۸	۰/۰۹
شاخص ۳: نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده		۷۰	–	–	–
شاخص ۴: نسبت پسماند جامد رادیو اکتیو به واحد انرژی تولید شده		۳/۷۵	۳/۷۵ گرم	۰/۸۴	۰/۱۷

شاخص ۳. نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده؛ متوسط تولید روزانه زباله به ازای هر شخص در جهان ۳۰۰ گرم و در ایران ۷۰۰ گرم است که این امر به تولید روزانه ۵۸ هزار تن زباله در ایران با نسبت ۳۰–۳۵ درصد خشک و ۶۵–۷۰ درصد تر منجر شده است. اما از آنجا که حد استاندارد و متوسطی در این خصوص تعریف نشده است، آزمون t برای آن محاسبه نشده است و بنابراین، در خصوص نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده در ایران، وضعیت نامعین است.

شاخص ۴. نسبت پسماند جامد رادیو اکتیو به واحد انرژی تولید شده؛ به ازای تولید ۱۰۰۵ مگاوات انرژی برق تولید شده در کشور حدود ۳۷۶۹ گرم پسماند جامد رادیواکتیو تولید می‌شود؛ بنابراین به ازای هر واحد انرژی هسته‌ای ۳/۷۵ گرم پسماند تولید می‌شود. این میزان تولید پسماند در مقایسه با استانداردهای بین المللی تفاوت چندانی ندارد و نیروگاه‌های هسته‌ای بر اساس مدل شان در دنیا به یک شکل می‌باشند؛ اما در مقایسه با سایر سوخت‌ها مثلاً زغال سنگ می‌توان گفت به ازای هر ۸ مگاوات انرژی برق حدود ۸ هزار کیلوگرم دی اکسید کربن تولید می‌شود. بنابراین، بر اساس نتایج آزمون t و سطح معنی‌داری به دست آمده می‌توان گفت اختلاف معنی‌داری بین نسبت پسماند جامد رادیواکتیو به واحد انرژی تولید شده وجود ندارد و وضعیت ایران در این خصوص نسبتا مطلوب است.

جدول (۱۰): جمع‌بندی کلی وضعیت شاخص‌های توسعه پایدار انرژی بر اساس نتایج این مطالعه

عنوان شاخص		مطلوب	نسبتاً مطلوب	نامطلوب	نامعلوم/ نامعین
اجتماعی	سهمی از خانوارها که به انرژی الکتریکی دسترسی دارند	*			
	سهمی از درآمد خانوارها که برای سوخت یا انرژی الکتریکی پرداخت می‌شود	*			
اقتصادی	مصرف سرانه انرژی			*	
	نسبت ذخایر به تولید		*		
	نسبت منابع به تولید			*	
	شدت مصرف انرژی در صنعت			*	
	شدت مصرف انرژی در کشاورزی			*	
	شدت مصرف انرژی در خدمات			*	
	شدت مصرف انرژی در خانوارها			*	
	شدت مصرف انرژی در حمل و نقل			*	
	سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته			*	
	سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته			*	
	سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و الکتریسیته			*	
محیطزیستی	غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری			*	
	مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است		*		
	نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده				*
	نسبت پسماند جامد رادیواکتیو به واحدهای انرژی تولید شده		*		

نتیجه‌گیری

برای انجام این مطالعه شاخص‌های انرژی برای توسعه پایدار (EISD) بر اساس روش معرفی شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) بررسی و محاسبه شده است. در این روش ۳۰ شاخص‌در سه حوزه اجتماعی (۴ شاخص)، اقتصادی (۱۶ شاخص) و محیطزیستی (۱۰ شاخص) معرفی شده است. روش تحقیق در این مطالعه ازنظر هدف کاربردی و ازنظر جمع‌آوری آمار و اطلاعات کتابخانه‌ای (اسنادی) و میدانی (کیفی و کمی) بوده است. جامعه آماری تحقیق در مرحله شناسایی و اندازه‌گیری شاخص‌های پایداری انرژی، خبرگان و صاحب نظران حوزه انرژی و محیطزیست بودند. نمونه‌گیری در این مرحله به صورت هدفمند انجام گردیده است.

جمع‌آوری اطلاعات در این مرحله بر اساس منابع آمار رسمی کشور و به روش کتابخانه‌ای (اسنادی) گردآوری شد. برای تعیین وزن شاخص‌های پایداری انرژی به روش میدانی و کسب نظر خبرگان موضوع به روش دلفی اقدام به جمع‌آوری اطلاعات شد. به منظور شناسایی، اندازه‌گیری و وزن‌دهی شاخص‌های انرژی در ایران (در سه حوزه اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی) از آنتروپی شانون و ضریب نسبی روایی محتوایی (CVR) استفاده شده است. برای تعیین وضعیت مطلوبیت شاخص‌ها در ایران از آزمون t تک نمونه‌ای استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که:

- از مجموع ۳۰ شاخص انرژی برای توسعه پایدار بر اساس نظرات خبرگان، ۱۷ شاخص به عنوان شاخص‌های نهایی انرژی برای توسعه پایدار در ایران انتخاب شد (۲ شاخص اجتماعی، ۱۱ شاخص اقتصادی، ۴ شاخص محیطزیستی) و ۱۳ شاخص به دلیل کمبود یا فقدان آمار و اطلاعات حذف شدند.
- میزان و اندازه هر یک از شاخص‌ها: ۱. سهم خانوارهایی که به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند در مناطق شهری صفر و در مناطق روستایی حدود ۰/۳ بود؛ ۲. حدود ۴/۷ درصد از کل هزینه‌های خانوارهای شهری و ۷/۲ درصد از کل هزینه‌های خانوارهای روستایی به انرژی اختصاص داشت؛ ۳. مصرف سرانه انرژی در ایران ۱/۷ برابر متوسط سرانه جهانی بود؛ ۴. نسبت ذخایر نفت به تولید ۰/۰۱۰ و نسبت ذخایر گاز طبیعی به تولید در ایران معادل ۰/۰۰۶ بود؛ ۵. نسبت منابع (نفت، گاز و معادن) به تولید ۰/۰۱ درصد بود؛ ۶. شدت مصرف انرژی در صنعت ۱/۶۴ ، ۷. در کشاورزی ۰/۵۸، ۸. در خدمات ۲/۰۹ ، ۹. در خانوارها ۲/۱۷ و ۱۰. در حمل و نقل ۷/۷۰ بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال بود؛ ۱۱. سهم سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور: ۰/۸۵ درصد به گاز طبیعی، ۰/۸ درصد به

نفت گاز، ۶/۷ درصد به نفت کوره و ۰/۳ درصد به سایر حامل‌های انرژی اختصاص داشت؛ ۱۲. سهم انرژی‌های بدون کربن با احتساب انرژی برق آبی حدود ۱۵/۷درصد بود؛ ۱۳. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با احتساب نیروگاه‌های برق آبی ۱۷/۰ درصد بود؛ ۱۴. غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری بر اساس آلاینده منواکسید کربن ۲/۴۳ (PPM) و ذرات معلق بالاتر از ۱۰ میکرون ۶۱/۵۷ ($\mu g/m^3$) بود؛ ۱۵. مناطق دارای اسیدیته بحرانی در ایران وجود نداشت؛ ۱۶. نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده ۰/۳۵ بود؛ ۱۷. نسبت پسماند جامد رادیواکتیو به واحد انرژی تولید شده ۳/۷۵ گرم بود.

- در خصوص وضعیت مطلوبیت شاخص‌ها، نتایج به دست آمده عبارت است از: شاخص وضعیت دسترسی به انرژی الکتریکی و شاخص سهم پرداختی از درآمد خانوارها برای انرژی الکتریکی در حد مطلوب ارزیابی شد. وضعیت شاخص‌های نسبت ذخایر به تولید، مناطقی که اسیدیته آن بیش از میزان بحرانی است و نسبت پسماند جامد رادیواکتیو به واحد انرژی تولید شده نسبتا مطلوب است ولی وضعیت شاخص‌های مصرف سرانه انرژی، نسبت منابع به تولید، شدت مصرف انرژی در صنعت، شدت مصرف انرژی در کشاورزی، شدت مصرف انرژی در خدمات، شدت مصرف انرژی در خانوارها، شدت مصرف انرژی در حمل و نقل، سهم سوخت در انرژی و الکتریسیته، سهم انرژی بدون کربن در انرژی و الکتریسیته، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی و غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری نامطلوب است. ضمنا وضعیت شاخص نسبت زباله‌های جامد به کل زباله‌های تولید شده نامعین می‌باشد.

یادداشت‌ها

1. Energy Indicators for Sustainable Development
2. International Atomic Energy Agency
3. United Nation World Conservation Strategy
4. Our Common Future
5. Accumulation
6. Preservation
7. Hailo International
8. Analysis of Network Process
9. Content Validity Ratio
10. World Health Organization

فهرست منابع

Abbaspour, M. & Tabibian, S. 2006. Challenges of managing sustainable development of the country; Tehran; 6th International Conference of the Association of Environmental Specialists of Iran. (in Persian)

Edomah, N. 2016. On the path to sustainability: Key issues on Nigeria's sustainable energy development; Energy Reports, 2, 28-34. [DOI:10.1016/j.egyr.2016.01.004]

García-Álvarez, M.T. & Blanca, M. & Isabel, S. 2016. Analyzing the sustainable energy development in the EU-15 by an aggregated synthetic index; Ecological Indicators, Volume 60, January 2016, PP. 996-1007. [DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.07.006]

Habibi, M. & Horkard, B. 2005. Atlas of Tehran Metropolis; Tehran; Tehran City Geographical Information Center, Tehran Municipality, Urban Processing and Planning Company, first edition. (in Persian)

IAEA. 2005. Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies; IAEA, Vienna, April 2005.

Kemmler, A. & Spreng, D. 2007. Energy indicators for tracking sustainability in developing countries; Energy Policy, No. 35, 2007, PP. 2466-2480.

Mak, M. & Peacock, C.J. 2011. Social Sustainability: A Comparison of Case Studies in UK, USA and Australia; Gold Coast of Australia; Poster presented at the 17th Pacific Rim Real Estate Society Conference.

Ministry of Energy of Iran. 2015-2019. Energy balance sheet; Tehran; Electricity and Energy Planning and Macroeconomics Office, Vice President of Electricity and Energy Affairs. (in Persian)

Ministry of Petroleum of Iran. 2016. Hydrocarbon Balance Sheet of the Country in 2014; Tehran; Vice President of Planning, Institute of International Energy Studies. (in Persian)

Narula, K., & Reddy, B.S. 2015. Three blind men and an elephant: The case of energy indices to measure energy security and energy sustainability; Energy, 80, 148-58. [DOI:10.1016/j.energy.2014.11.055]

Nastaran, M. & Ghasemi, V. & Hadizadeh Zargar, S. 2012. Evaluation of social sustainability indicators using analysis of network process (ANP). Applied Sociology. 24(3).155-173. (in Persian)

Parsa, H. & Sajjadi, S.Z. 2017. Investigating the trend of energy sustainability indicators during the first half of Iran's 20-year vision document; Strategic and macro policies, (6) 567-546-24. (in Persian)

Patlitzianas, K.D. & Doukas, H. & Kagiannas, A.G., & Psarras, J. 2008. Sustainable energy policy indicators: Review and Recommendations; Renewable Energy, No. 33, 2008, PP. 966-973.

Perman, R. M. & McGillery, J. 2003. Environmental economics and natural resources; (Translated by Hamidreza Arbab); Tehran; Ney Publishing. PP. 52-57.

Pourasghar S., F. & Asadi, R. 2016. Educational workshop on the principles, foundations, goals and indicators of sustainable development; Vice President of Economic Affairs and Budget Program Coordination, Planning, land use and environment affairs. (in Persian)

Rahimi, N. 2012. Indicators of sustainable energy development in Iran; Tehran; 4th National Energy Conference. (in Persian)

Rafique, M.M. & Ahmad, G. 2018. Targeting sustainable development in Pakistan through planning of integrated energy resources for electricity generation; The Electricity Journal, 31(7), 14-19.

Rastgari, M. & Musa Zadeh Nemini, E. & Hashemi Tonekaboni, N. 2020. Evaluation of monthly and annual mean concentrations of air pollutants in Tehran metropolis; Tehran; Environment and Interdisciplinary Development, No. 69. (in Persian)

Sabetghadam, M. 2006. Energy and Sustainable Development in Iran; HELIO INTERNATIONAL, Sustainable Energy Watch.

Sahabmanesh, A. & Saboohi, Y. 2017. Model of sustainable development of energy system, case of Hamedan; Energy Policy, 104, 66-79. [DOI:10.1016/j.enpol.2017.01.039] (in Persian)

Shaaban, M., & Scheffran, J. 2017. Selection of sustainable development indicators for the assessment of electricity production in Egypt; Sustainable Energy Technologies and Assessments, 22, 65-73.

Shahbazi, K. & Besharti, H. 2013. Overview of the fertility status of agricultural soils in Iran; Journal of Land Management, Year 1, Number 1 (Autumn and Winter 2013), pp. 1-15. (in Persian)

Streimikiene, D. & Ciegis, R. &, Grundey, D. 2005. Energy indicators for sustainable development in Baltic States; Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 11, 2007, PP. 877-893.

Streimikiene, D. & Sivickas, G. 2008. The EU sustainable energy policy indicators framework; Environmental International, No. 34, 2008, PP. 1227-1240.

Swain, B.R. & Karimu, A. 2020. Renewable Electricity and Sustainable Development Goals in the EU; World Development. 125. 10.1016/j.worlddev.2019.104693.

The Islamic Council of Iran. 2003. The Vision Document of the Islamic Republic of Iran in the horizon of 1404; The Islamic Council of Islamic Republic of Iran. (in Persian)

Vera, I. &, Langlois, L. 2007. Energy Indicators for Sustainable Development; Energy, No. 32, PP. 875-882.

Vidadili, N. & Suleymanov, E. & Bulut, C. & Mahmudlu, C. 2017. Transition to renewable energy and sustainable energy development in Azerbaijan; Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 1153-61. [DOI:10.1016/j.rser.2017.05.168]

UN & IAEA. 2015. Energy Indicators for Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand; Department of Economic and Social Affairs of UN & IAEA.

Zahedi, Sh. & Najafi, Gh. 2015. Development of the Concept of Sustainable Development; Modares Humanities Quarterly, Volume 10, Number 4, Winter 2015. (in Persian)