

Research Paper

Identifying Factors Affecting Different Technologies for Electricity Generation with Energy Uncertainty Approach

Abdonabi Amiri¹ , Aliasghar Esmaeilnia Gatabi^{*2} , Alireza Daghighi Asli³ , Davoud Manzoor⁴ 

¹ PhD student, Department of Oil and Gas Economics, Economics and Accounting Faculty, Tehran Central Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: nk.amiri@yahoo.com

² Assistant Prof., Department of Economics, Economics and Accounting Faculty, Tehran Central Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: Aeketabi@gmail.com

³ Assistant Prof., Department of Economics, Economics and Accounting Faculty, Tehran Central Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: daghighiasli@gmail.com

⁴ Associate Prof., Department of Islamic Studies and Economics, Imam Sadiq University. Tehran, Iran, Email: manzoor@isu.ac.ir



[10.22080/jeem.2024.26573.1004](https://doi.org/10.22080/jeem.2024.26573.1004)

Received:

January 12, 2024

Accepted:

May 29, 2024

Available online:

September 23, 2023

Keywords:

Uncertainty of energy, different technologies of electricity production, fossil fuels

JEL Classification:

L94, Q43, Q47.

Abstract

In this study, the factors affecting different electricity production technologies are identified and evaluated according to the energy uncertainty. The current research was done to determine how to prioritize the decision of optimizing the use of different technologies for electricity generation with the approach of energy uncertainty using multi-criteria decision-making (MCDM) techniques. In order to analyze the information, the fuzzy ANP method has been used. The results show that the index of fossil fuels (A3) is the closest to the positive ideal answer and the greatest distance from the negative ideal answer, and the priority is electricity generation technologies. This means that investing in the fossil fuel index can create the highest benefit in terms of the defined indices. According to the case study, like other countries, Iran also considers the main way to conserve energy is to improve energy efficiency through technological advancement. The feedback effect reveals that technological progress not only improves energy efficiency but also promotes economic growth and increases energy demand. This increase in energy can offset the stored energy by improving energy efficiency. In some sectors, the presence of this effect may even lead to an increase in consumption. The rebound effect in various sectors of Iran's factory industries is also inevitable.

© 2023 UMZ. All rights reserved.

** This article is an excerpt from the doctoral thesis of the first author of the article.

*Corresponding Author: Aliasghar Esmaeilnia Gatabi

Address: Tehran Central Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tel: 09123172343

Email: Aeketabi@gmail.com

Extended Abstract

1. Introduction

With the progress of human societies, the need for energy has increased significantly and this need pushes human societies towards new and more efficient sources. The electricity industry, in the sense of the group of activities of electricity production, transmission, and distribution along with its side industries, not only plays a very important role in the development of today's societies but also has a significant role in the national economy of countries. Achieving optimal energy management in power generation sources is the basis of future power systems. Maintaining the stability of the electricity generation source and providing energy with the maximum possible reliability for the customers of the electricity generation source is one of the necessities of this research. The innovation of this article is significant in identifying the factors affecting different technologies for electricity generation with the approach of energy uncertainty. Currently, uncertainty in energy supply has become one of the main challenges in the field of electricity production. Considering the fluctuations in the price of fossil fuels, climate changes, and changes in energy policies at the global level, identifying the factors affecting electricity production technologies with the approach of energy uncertainty can help us to find appropriate solutions for the optimal use of resources. It provided different energy and better management of uncertainties in electricity generation.

2. Method

In this research, in order to analyze the fuzzy Delphi methods for screening and identifying factors affecting different technologies for electricity generation

with the energy uncertainty approach, the AHP method for determining the weights of the indicators affecting different technologies for electricity generation with the uncertainty approach Energy, as well as the fuzzy ANP method will be used to determine the optimal indicators in the conditions of information uncertainty. To solve the fuzzy ANP method and the multi-objective mathematical programming model, MATLAB software will be used.

3. Result

This topic analyzes and identifies the factors that affect energy uncertainty in different technologies used in electricity production. Energy uncertainty means that various factors can affect energy production and supply, such as climate changes, fuel price fluctuations, operational problems, etc. This innovation, based on data analysis and modeling methods, examines the factors affecting different technologies for electricity production. By identifying and analyzing these factors, it is possible to improve and optimize the technologies used in electricity production in order to reduce the impact of energy uncertainty.

4. Conclusion

The results of the research were presented to prioritize the factors of different technologies for electricity generation with the approach of energy uncertainty using the fuzzy technique. According to the degree of proximity (similarity index), options are ranked; in such a way that options with a higher similarity index are prioritized. In the last step, the options are ranked from the largest to the smallest index. The results show that the fossil fuel index (A3) is closest to the positive ideal answer and the most distant from the negative ideal answer, and the priority is the model of

different technologies for electricity generation with the approach of energy uncertainty in terms of the intended criteria for the resilience of the model of different technologies for electricity production with the approach of energy uncertainty. This means that investment in the fossil fuel index can create the highest benefit for the region in terms of the defined indices. The industry of office and accounting machinery with the lowest energy intensity has the highest average return effect, i.e. 399.5%. The industry of

motor vehicles and trailers and semi-trailers with an energy intensity of 0.1 has the lowest average return effect of 8.24%.

Funding

There is no funding support.

Conflict of interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We appreciate all the scientific consultants in this paper.

علمی

شناسایی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی

عبدالنبی امیری^۱، علی اصغر اسماعیل نیا گتایی^{۲*}، علیرضا دقیقی اصلی^۳، داود منظور^۴

^۱ دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشکده اقتصاد و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ایمیل: nk.amiri@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ایمیل: Aeketabi@gmail.com

^۳ استادیار دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ایمیل: daghiasli@gmail.com

^۴ دانشیار گروه اقتصاد و معارف اسلامی، دانشگاه امام صادق (ع)، تهران، ایران، ایمیل: manzoor@isu.ac.ir

doi [10.22080/jeem.2024.26573.1004](https://doi.org/10.22080/jeem.2024.26573.1004)

چکیده

هدف از این نوشتار، بررسی و شناسایی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف تولید برق با توجه به عدم قطعیت انرژی می‌باشد. در این پژوهش از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در خصوص تصمیم‌گیری بهینه‌یابی استفاده از تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی بهره گرفته شده است. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از روش ANP فازی استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که شاخص سوخت‌های فسیلی (A3) بیشترین نزدیکی را به جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل منفی دارا می‌باشد و الویت نخست تکنولوژی‌های تولید برق می‌باشد. این بدین معناست که سرمایه‌گذاری بر روی شاخص سوخت‌های فسیلی می‌تواند بالاترین مطلوبیت را از لحاظ شاخص‌های تعریف‌شده ایجاد نماید. مطابق با مطالعه موردی مورد بررسی مانند دیگر کشورها، ایران نیز اصلی‌ترین راه را برای حفاظت از انرژی، بهبود کارایی انرژی به‌واسطه پیشرفت تکنولوژیکی می‌داند. اثر بازگشتی آشکار می‌سازد که پیشرفت تکنولوژیکی نه تنها کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد، بلکه رشد اقتصادی را ترقی داده و تقاضا را برای انرژی افزایش می‌دهد. این افزایش انرژی می‌تواند انرژی ذخیره‌شده به‌واسطه بهبود کارایی انرژی را خنثی کند. در برخی بخش‌ها، ممکن است وجود این اثر حتی منجر به افزایش مصرف نیز شود. وجود اثر بازگشتی در بخش‌های مختلف صنایع کارخانه‌ای ایران نیز امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

تاریخ دریافت:

۲۲ دی ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:

۰۹ خرداد ۱۴۰۳

تاریخ انتشار:

۰۱ مهر ۱۴۰۲

کلیدواژه‌ها:

عدم قطعیت انرژی؛ تکنولوژی‌های مختلف تولید برق؛ سوخت‌های فسیلی

طبقه‌بندی:

L94, Q43, Q47.

© کلیه حقوق اثر متعلق به دانشگاه مازندران است

** این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد که در گروه اقتصاد نفت و گاز دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی به انجام رسیده است.

* نویسنده مسئول: علی اصغر اسماعیل نیا گتایی

آدرس: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۳۱۷۲۳۴۳

ایمیل: Aeketabi@gmail.com

۱ مقدمه

افزایش شدید مصرف انرژی الکتریکی، واقعیت پیش روی همه کشورها و به ویژه کشورهای در حال توسعه و از جمله ایران خواهد بود. متناسب با این رشد، نیاز جدی به سرمایه‌گذاری در این بخش وجود دارد. از این رو، نیاز به سرمایه‌گذاری در توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق، یکی از مهم‌ترین مسائل و دغدغه‌های جوامع در حال توسعه در بخش انرژی خواهد بود. در عین حال، مدیریت این بخش نیز به طور قطع با تغییراتی ساختاری مواجه خواهد شد، تغییراتی که از حدود یک دهه پیش در بسیاری از کشورهای جهان، قدم‌های اولیه خود را طی کرده است (شهباز بگین و همکاران^۴، ۲۰۲۰).

واقعیت‌های اشاره شده در فوق در حالی در حال گذار و گذر می‌باشند که ساختار برنامه‌ریزی و مدیریتی صنعت برق نیز با تغییراتی شگرف و اساسی مواجه شده است. تجدید ساختار در صنعت برق با کم‌رنگ نمودن نقش محوری مالکیت و مدیریت دولت در صنعت برق، نقش فعالان و بازیگران بخش خصوصی را به نقشی بسیار پررنگ و مهم تغییر داده است. با این حال توانایی یا عدم توانایی بخش خصوصی و بهره‌گیری از مکانیزم بازار به جای سیستم‌های مالکیت و برنامه‌ریزی متمرکز در برآورده کردن الزامات و بایدهای تغییر و تحولات فوق‌الذکر یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها و چالش‌های دولت‌ها و سیاست‌گذاران بخش انرژی به شمار می‌رود.

صنعت برق به دلیل انعطاف‌پذیری و قابلیت‌های بسیار بالا و منحصربه‌فرد در تأمین انرژی بسیاری از بخش‌های اقتصادی، یکی از مهم‌ترین اجزای پیکره صنعت هر کشور می‌باشد. از این رو دغدغه اصلی بسیاری از کشورهای صنعتی جهان، بهینه‌سازی این صنعت، افزایش کارایی و پیش‌بینی ظرفیت‌های لازم برای پاسخ‌گویی به تقاضای روزافزون بوده است

با پیشرفت جوامع بشری نیاز به انرژی افزایش چشم‌گیری یافته و این نیاز، جوامع بشری را به سمت منابعی جدید و پر بازده‌تر سوق می‌دهد (هی و همکاران^۱، ۲۰۱۶).

فناوری برق یکی از مهم‌ترین دستاوردهای عصر صنعتی و شاید مهم‌ترین عامل و موتور رشد و توسعه صنعتی و بهبود استانداردهای زندگی در ۱۵۰ سال اخیر می‌باشد. بنا بر برخی تعابیر، برق یک فناوری همه‌منظوره یا GPT محسوب می‌شود؛ بدین معنی که از خواصی مثل نفوذ شدید در سایر فناوری‌ها، تکمیل سایر فناوری‌ها و تشدید نرخ رشد دیگر فناوری‌ها برخوردار است. چنین خواصی را در ابتدای عصر انقلاب صنعتی به فناوری بخار و در دهه‌های اخیر به فناوری اطلاعات (IT) نسبت داده‌اند (وانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۷).

صنعت برق، به معنای مجموعه فعالیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق به همراه صنایع جانبی آن، نه تنها نقش بسیار مهمی در توسعه جوامع امروزی ایفا می‌کند، بلکه نقش قابل ملاحظه‌ای نیز در اقتصاد ملی کشورها دارد.

به منظور پاسخ‌گویی به نیاز روزافزون انرژی الکتریکی، ظرفیت‌های نصب‌شده تولید، می‌باید به شدت افزایش یابد. بر اساس تخمین‌ها، به ۶۳۴۹ گیگاوات ظرفیت نیروگاهی در سال ۲۰۳۰ نیاز خواهد بود. این افزایش به معنای رشد متوسط سالانه ۲ درصد می‌باشد. همچنین، بر اساس پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی، قریب به ۵۰ درصد سرمایه‌گذاری‌های جدید در تأمین انرژی الکتریکی، مصروف ساخت نیروگاه‌های تولید برق و ۵۰ درصد بقیه نیز مربوط به توسعه خطوط انتقال و توزیع خواهد شد (کوی و همکاران^۳، ۲۰۱۷).

³ Cui et al.

⁴ Shahbazbegian et al.

¹ Hee et al.

² Wang et al.

مداوم و در دسترس بودن این تکنولوژی‌هاست که این مقاله می‌کوشد از این منظر به بررسی و روشن‌گری بپردازد و مشخص نماید کدام تکنولوژی تولید برق، با توجه به عدم قطعیت در جغرافیای ایران در اولویت استفاده قرار دارد و دیگر تکنولوژی‌ها به چه صورت مرتب می‌شوند.

نوآوری این مقاله در شناسایی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی قابل توجه است. در حال حاضر، عدم قطعیت در تأمین انرژی به یکی از چالش‌های اساسی در حوزه تولید برق تبدیل شده است. با توجه به نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی، تغییرات آب و هوایی و تغییرات سیاست‌های انرژی در سطح جهانی، شناسایی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی می‌تواند به ما کمک کند تا راهکارهای مناسبی را برای بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی مختلف و مدیریت بهتر عدم قطعیت‌ها در تولید برق ارائه داد.

به‌طورکلی، این پژوهش می‌تواند به پیشرفت در حوزه تولید برق و مدیریت عدم قطعیت‌های انرژی کمک کند. با شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر، می‌توان بهبودهایی در تکنولوژی‌های موجود انجام داد و راهکارهای جدیدی را برای تولید برق پایدار و اقتصادی در شرایط عدم قطعیت ارائه داد.

۲ مبانی نظری

امروزه، جهان با چالش فزاینده عدم قطعیت انرژی مواجه است. این امر به دلیل عوامل مختلفی از جمله افزایش تقاضا برای انرژی، نوسانات قیمت منابع فسیلی و نگرانی‌های مربوط به تغییرات آب و هوایی ایجاد شده است. در این میان، توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان راه حلی امیدوارکننده برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و تأمین انرژی پایدار مطرح شده است.

(عبدالموله و همکاران، ۲۰۱۷). اما خطر کمبود و پایان‌پذیری منابع انرژی‌های فسیلی، رشد روزافزون قیمت سوخت‌های فسیلی و حاد شدن مسایل زیست‌محیطی به دلیل افزایش غیرطبیعی انواع مختلف ترکیبات زیان‌آور از جمله گازهای گلخانه‌ای نیز از دلایل بالارفتن انگیزه کشورهای در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد (بودین و همکاران، ۲۰۱۵).

تکنولوژی‌های مختلفی وجود دارد که می‌تواند منجر به تولید برق گردد. در این نوشتار بر پنج نوع از این تکنولوژی‌ها تمرکز کرده‌ایم که قابلیت مصرف و تولید بیشتری در جغرافیای ایران دارند. عبارت‌اند از برق: آبی، بادی، سوخت‌های فسیلی، خورشیدی و زغال سنگ.

منبع تولید برق برای تأمین انرژی انواع مصرف‌کننده‌ها همچون خانگی، صنعتی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و برآورد هزینه آن‌ها بر اساس سیاست‌های قیمت‌گذاری در بازار برق صورت می‌گیرد. استفاده از منبع تولید برق موجب ارائه توان با کیفیت بالاتر (سرودی و همکاران، ۲۰۱۵)، افزایش قابلیت اطمینان^۴ سیستم، کاهش هزینه‌ها، تلفات و آلودگی در شبکه توزیع می‌شود (پاکدل و همکاران، ۲۰۱۶).

با توجه به اینکه تکنولوژی‌های مختلف تولید برق همیشه و همه جا در دسترس نیستند و همین عدم دسترسی می‌تواند تولید مداوم و ثابت را مورد چالش قرار دهد، این مقاله به بررسی این چالش با عنوان عدم قطعیت می‌پردازد تا بتواند این عدم قطعیت و عدم دسترسی و تلورانس عرضه را مورد بازنگری و دقت نظر قرار دهد. تکنولوژی‌های مختلف تولید برق، قبلاً توسط دیگر پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده ولی یکی از نقاط و نگرش‌هایی که کمتر مورد سنجش بوده، بحث عدم قطعیت و عرضه ثابت و

⁴ Reliability

⁵ Pakdel et al.

¹ Abdmouleh et al.

² Beaudin et al.

³ Soroudi et al.

انتخاب تکنولوژی مناسب برای تولید برق به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله:

هزینه: هزینه اولیه سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری و هزینه‌های سوخت

قابلیت اطمینان: ثبات و پیش‌بینی‌پذیری تولید برق

اثرات زیست‌محیطی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا و آب و استفاده از زمین

عدم قطعیت: توانایی تکنولوژی برای مقابله با عدم قطعیت عرضه و تقاضای انرژی

(۴) رویکردهای مدیریت عدم قطعیت

برای کاهش اثرات عدم قطعیت انرژی می‌توان از رویکردهای مختلفی استفاده کرد، از جمله:

تنوع منابع: استفاده از ترکیبی از منابع انرژی مختلف، هم تجدیدپذیر و هم غیرتجدیدپذیر

ذخیره‌سازی انرژی: ذخیره‌سازی انرژی اضافی در زمانی که تولید بالا است و استفاده از آن در زمانی که تقاضا زیاد است.

مدیریت تقاضا: کاهش تقاضای انرژی در زمان‌های اوج مصرف

پیش‌بینی تقاضا: استفاده از مدل‌های پیش‌بینی برای تخمین تقاضای آینده برق

(۵) نقش تحقیق و توسعه:

تحقیق و توسعه نقش کلیدی در توسعه تکنولوژی‌های جدید تولید برق که کارآمدتر، قابل اعتمادتر و سازگارتر با عدم قطعیت انرژی باشند، ایفا می‌کند (عامیر و همکاران^۲، ۲۰۲۳).

۳ پیشینه پژوهش

آسیف و همکاران^۳ (۲۰۲۳) با استفاده از تکنیک خودرگرسیون برداری ساختاری (SVAR) و توابع

با این حال، منابع انرژی تجدیدپذیر نیز با عدم قطعیت ذاتی همراه هستند. به‌عنوان مثال، تولید برق از منابع خورشیدی و بادی به طور قابل توجهی به شرایط آب و هوایی بستگی دارد. این امر می‌تواند چالش‌هایی را برای تأمین تقاضای برق به طور مداوم و قابل اعتماد ایجاد کند.

هدف از این مطالعه، شناسایی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی است (لیو و همکاران^۱، ۲۰۲۳).

برای دستیابی به این هدف، چارچوب نظری زیر ارائه می‌شود:

(۱) تعریف عدم قطعیت انرژی:

عدم قطعیت انرژی به عدم اطمینان از عرضه و تقاضای آینده انرژی اشاره دارد. این عدم اطمینان می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله:

منابع عرضه: نوسانات قیمت منابع فسیلی، بلایای طبیعی و محدودیت‌های منابع طبیعی

تقاضا: رشد تقاضای انرژی، تغییرات در الگوی مصرف و سیاست‌های دولتی

(۲) دسته‌بندی تکنولوژی‌های تولید برق:

تکنولوژی‌های تولید برق را می‌توان به دو دسته کلی تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر تقسیم کرد:

تکنولوژی‌های تجدیدپذیر شامل: منابعی مانند انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زمین گرمایی و زیست توده. این منابع به طور طبیعی دوباره پر می‌شوند و آلاینده کمی تولید می‌کنند.

تکنولوژی‌های غیرتجدیدپذیر: شامل منابعی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی. این منابع محدود هستند و در هنگام احتراق آلاینده تولید می‌کنند.

(۳) عوامل مؤثر بر انتخاب تکنولوژی تولید برق

³ Asif et al.

¹ Liu et al.

² Ameer et al.

یوکسل و همکاران^۳ (۲۰۲۲) به مطالعه روابط بین مصرف برق، رشد اقتصادی و انتشار دی اکسید کربن در کشورهای گروه بریکس طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۹۰ پرداخته‌اند. نتایج علیت پانلی در رابطه رشد - مصرف برق بیانگر تأیید فرضیه بازخورد برای کشور روسیه و فرضیه حفظ منابع طبیعی در کشور آفریقای جنوبی است. به علاوه، فرضیه خنثایی که نشان‌دهنده عدم وجود رابطه علیت بین رشد اقتصادی و مصرف برق است، برای سه کشور برزیل، هند و چین به دست آمده است.

لیو و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری پارامترهای متغیر در طول زمان (TVP-VAR)، روابط پویا بین تولید ناخالص داخلی، مصرف برق و انتشار دی اکسید کربن (CO₂) را برای دوره ۱۹۷۱-۲۰۱۵ مورد بررسی قرار داده‌اند. توابع عکس‌العمل آنی در مطالعه آن‌ها نشان‌دهنده این است که شوک‌های تولید ناخالص داخلی نفتی در عربستان رابطه مثبت با مصرف برق و انتشار دی اکسید کربن (CO₂) دارد. همچنین، نوسانات مصرف برق به صورت منفی بر سطح تولید ناخالص داخلی نفتی و انتشار دی اکسید کربن (CO₂) اثرگذار است.

آنون و همکاران^۴ (۲۰۱۸) روابط بین مصرف انرژی، جریان سرمایه‌گذاری خارجی و تولید را در ۷۵ کشور منتخب طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ مورد مطالعه قرار داده است. نتایج تحقیق حاکی از وجود رابطه علیت دوطرفه بین تولید ناخالص داخلی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر است.

تان و همکاران^۵ (۲۰۱۹) به بررسی رابطه محیط زیست- تولید برق - رشد اقتصادی در کشور الجزایر پرداخته‌اند. نتایج بیانگر اثرات منفی رشد اقتصادی

عکس‌العمل آنی به مطالعه روابط بلندمدت بین شدت انرژی و توسعه پایدار در کشور چین پرداخته‌اند. نتایج تحقیق بیانگر این است که افزایش شدت انرژی موجب کاهش توسعه پایدار شده، اما شدت انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر سبب افزایش توسعه پایدار می‌شود. لازم به ذکر است که در این تحقیق، از انرژی گاز به عنوان منبع پاک استفاده شده است، در صورتی که در ادبیات اقتصاد انرژی منظور از انرژی پاک، انرژی‌های تجدیدپذیر است.

عامیر و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر سیاست‌های انرژی تجدیدپذیر برای توسعه پایدار را در کشور کامبوج مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها دریافته‌اند که با توجه به سیاست دولت در خصوص بهره‌مندی ۷۰ درصد خانوارهای شهری از انرژی برق تا سال ۲۰۳۰، منابع انرژی تجدیدپذیر بهترین گزینه برای این منظور است. هرچند کامبوج کشوری با منابع انرژی تجدیدپذیر فراوان می‌باشد، اما دارای ظرفیت نصب- شده ناچیزی است. موانع اقتصادی، تنظیمی، مالی و نهادی دلیل اصلی تفاوت معنادار بین پتانسیل و ظرفیت نصب شده است.

الموتاری و همکاران^۱ (۲۰۲۲) در تحقیق خود، وجود روابط علیت بین رشد اقتصادی و انرژی تجدیدپذیر را در کشورهای بریکس^۲ (BRICS) در دوره ۲۰۲۱-۱۹۷۱ در یک چارچوب چندمتغیره بررسی کرده‌اند. آن‌ها از روش ARDL و آزمون باند برای بررسی همگرایی متغیرها استفاده کرده‌اند که نتایج آزمون همگرایی بیانگر وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها و نتایج آزمون علیت نشان‌دهنده وجود رابطه علیت دوطرفه و یا فرضیه بازخورد بین رشد اقتصادی و انرژی تجدیدپذیر است.

^۱ Almutairi

^۲ نام گروهی از کشورها به رهبری قدرتهای اقتصادی نوظهور است و عنوان آن کوتاه‌نوشته‌ای است که از به هم پیوستن حروف اول نام انگلیسی آن کشورها

یعنی برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی ساخته شده است. از ۱ ژانویه ۲۰۲۴ شش کشور: آرژانتین، اتیوپی، امارات

متحدۀ عربی، ایران، عربستان سعودی و مصر به جمع این گروه اضافه شدند. این گروه دارای ۳۰ درصد از مساحت زمین و ۴۵ درصد از جمعیت جهان را شامل می‌شوند.

^۳ Yüksel et al.

^۴ Anoune et al.

^۵ Tan et al.

است. در این مقاله با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و داده‌های صنعت برق، سهم بهینه هر یک از فناوری‌های سیکل ترکیبی توربین گازی، بخاری، توربین گازی، بادی کوچک، بادی بزرگ، فتوولتائیک کوچک، فتوولتائیک بزرگ، خورشیدی-حرارتی، برق آبی کوچک، برق آبی بزرگ، هسته‌ای و زمین گرمایی برای تولید برق طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۶ با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی مشخص شده است. هدف از مدل‌سازی ریاضی، تعیین ترکیبی از گزینه‌های عرضه ممکن با کم‌ترین هزینه است؛ به طوری که قادر به برآورده کردن تقاضای انرژی باشند. نتایج نشان می‌دهد سهم تکنولوژی‌های گازسوز به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. جایگزین این فناوری‌ها عمدتاً انرژی‌های تجدیدپذیر است. نیروگاه‌های خورشیدی و بادی مهم‌ترین تکنولوژی‌های تجدیدپذیر خواهند بود و در سال‌های پایانی سهم قابل توجهی خواهند داشت.

۴ روش پژوهش

در این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل از روش‌های دلفی فازی جهت غربال‌گری و شناسایی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی، روش AHP جهت تعیین اوزان شاخص‌های مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی و همچنین روش ANP فازی جهت تعیین شاخص‌های بهینه در شرایط عدم قطعیت اطلاعات بهره برده خواهد شد. به منظور حل روش ANP فازی و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه از نرم‌افزار متلب (MATLAB) بهره گرفته خواهد شد.

در تکنیک AHP، معیارها به صورت دوتایی (زوجی) مقایسه می‌شوند که این روش از پیچیدگی مفهومی تصمیم‌گیری به‌طور قابل توجهی می‌کاهد. عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه می‌شود که این وزن‌ها را وزن نسبی

و تولید برق تجدیدناپذیر بر کیفیت محیط زیست در بلندمدت است. به علاوه، وجود رابطه علیت یک طرفه از رشد اقتصادی به تولید برق تجدیدناپذیر و فرضیه حفظ منابع در کوتاه‌مدت تأیید شده است. همچنین، انرژی تجدیدپذیر بر بهبود کیفیت زیست‌محیطی تأثیرگذار است، لکن تولید برق تجدیدپذیر در این کشور در سطحی که بتواند در برنامه کاهش آلودگی مشارکت داشته باشد، قرار ندارد.

اشکان و همکاران^۱ (۱۳۹۸)، چشم‌انداز پایان سوخت‌های فسیلی، گرمایش آب و هوایی و تغییرات اقلیمی ناشی از آن و سیاست‌های تنوع‌بخشی به منابع تأمین انرژی از علت‌های استقبال بسیاری از کشورها از انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. در همین راستا کشورهای تولیدکننده نفت و گاز برنامه‌ریزی‌هایی را برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد تولید برق خود کرده‌اند. تنوع انرژی‌های اولیه تجدیدپذیر، وجود فناوری‌های مختلف تبدیل آن‌ها به برق و ویژگی‌های مختلف هر یک و همچنین انتظارات فنی، مالی و زیست‌محیطی گوناگون، تصمیم‌گیری را درباره اینکه **برق پاک** مورد نظر از چه منابعی تولید شود، پیچیده می‌کند. این پژوهش به دنبال ارائه و حل یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای به‌دست آوردن سهم به نسبت بهینه توان (ظرفیت نصبی) هریک از انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی (فتوولتائیک)، بادی، برق آبی کوچک، زمین گرمایی و زیست توده در تولید **برق پاک** ایران است، به گونه‌ای که هزینه‌ها، اشتغال‌زایی، دانش فنی، بازده فنی و پیامدهای اجتماعی آن بهینه باشد. مدل در چهارچوب برنامه ششم توسعه ایران و بودجه‌های مصوب مجلس شورای اسلامی حل شده است.

عالیه و همکاران^۲ (۱۳۹۷)، رشد روزافزون تقاضای انرژی الکتریکی، کاهش منابع فسیلی، آلودگی‌های حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و اهمیت امنیت انرژی، برنامه‌ریزی را در خصوص استفاده از تکنولوژی‌های مختلف تولید برق، ضروری ساخته

² Alieh et al.

¹ Askkan et al.

مراقبت‌های بهداشتی، جهانگردی، مدیریت پویا و ... مورد بحث قرار گرفته‌اند. موفقیت این روش به خاطر خواص ریاضی آن و به‌ویژه سهولت کار با آن‌ها است.

مسئله چند معیاره زیر را در نظر بگیرید:

$$\max\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a), \dots, g_k(a), | a \in A\},$$

به‌طوری‌که A مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن است $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ و $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$ مجموعه‌ای از ارزیابی معیارها می‌باشد. در این جا بیشینه (Max) و کمینه شدن (Min) برخی از معیارها مدنظر نیست، انتظاری که از تصمیم‌گیر می‌رود، شناسایی گزینه‌ای است که همه معیارها را بهینه نماید.

۵ بحث

جهت اجرای تکنیک دلفی فازی پرسش‌نامه نظرخواهی از خبرگان، طراحی و میان آن‌ها توزیع شد. در این پرسش‌نامه از خبرگان خواسته شد میزان اهمیت هر یک از معیارها را مشخص نمایند. درجه اهمیت در پرسش‌نامه در طیفی پنج گزینه‌ای منعکس شده است که عبارت‌اند از: "خیلی کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "خیلی زیاد".

در ادامه، امتیاز قطعی که توسط خبرگان ارائه شد. طبق جدول به اعداد فازی تبدیل شد. در این مرحله برای حساسیت موضوع مورد نظر از اعداد فازی دوزنقه‌ای (اعداد فازی دوزنقه‌ای محدوده بیشتری از داده‌ها را به منظور مدل‌سازی دقیق‌تر در نظر می‌گیرد) استفاده شده است. دلیل استفاده از اعداد دوزنقه‌ای، دقیق‌تر بودن آن نسبت به اعداد مثلثی است.

در نهایت، داده‌های فازی با استفاده از رابطه ۱ به اعداد قطعی تبدیل شدند. امتیاز فازی زدایی شده هر یک از طیف‌ها به صورت جدول ۱ است.

$$C = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4)/4$$

می‌نامیم. سپس با تلفیق وزن‌ها، وزن نهایی هر گزینه مشخص خواهد شد که آن را وزن مطلق می‌نامیم.

این روش بر مبنای سه اصل: ۱- تجزیه ۲- قضاوت تطبیقی و ۳- ترکیب اولویت‌ها بنا شده است و منعکس‌کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این روش، وابستگی‌های احتمالی میان عامل‌ها را در نظر نمی‌گیرد و با این فرض که عامل‌ها و معیارها از هم مستقل می‌باشند، رویه را پیش می‌برد. همچنین باید بیان شود که این روش دارای اصول زیر است:

شرط متقابل: با استناد به این شرط، هرگاه ترجیح گزینه A بر گزینه n, B باشد آن‌گاه ترجیح گزینه B بر گزینه A برابر است با $1/n$

شرط همگنی: گزینه A و B باید با هم قابل قیاس باشند، بنابراین برتری هرگزینه نسبت به دیگری نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

شرط وابستگی: هرگزینه سلسله‌مراتبی به‌عناصر سطح بالاتر خود وابسته است و به‌صورت خطی این وابستگی تا سطح عالی (بالاترین سطح) ادامه دارد.

اصل انتظارات: اگر در ساختمان سلسله‌مراتب تغییری رخ دهد فرآیند ارزیابی باید مجدداً و از اول آغاز شود.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی یکی از قوی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری برای تعیین اولویت معیارها است. علت استفاده از فازی شده این تکنیک آن است که فرآیند سلسله‌مراتبی معمولی به دلیل بی‌توجهی به مهم بودن اطلاعات، مورد انتقاد قرار گرفته است. بدین ترتیب، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی بر پایه اعداد مثلثی توصیه شده است.

۴٫۱ تکنیک ANP

تاکنون تعداد قابل توجهی از کاربردهای موفقیت‌آمیز متدولوژی ANP در زمینه‌های مختلفی از قبیل بانک‌داری، مکان‌یابی صنایع، برنامه‌ریزی منابع انسانی، مدیریت منابع آب، سرمایه‌گذاری، پزشکی، شیمی،

جدول ۱. طیف، امتیاز، عدد فازی و مقدار فازی زدایی شده پرسش‌نامه

اعداد فازی زدایی شده	عدد فازی ذوزنقه‌ای متناظر				امتیاز	طیف درجه اهمیت
	چهارم	سوم	دوم	اول		
قطعی						
۱	۳	۱	۰	۰	۱	خیلی کم
۳/۲۵	۵	۴	۳	۱	۲	کم
۵/۵۰	۷	۶	۵	۴	۳	متوسط
۷/۵۰	۹	۸	۷	۶	۴	زیاد
۹/۲۵	۱۰	۱۰	۹	۸	۵	خیلی زیاد

پرسش‌نامه به خبره منتقل می‌شد، در بخش دوم پرسش‌نامه، اطلاعات جمعیت‌شناختی خبره مورد کاوش قرار می‌گیرد و در بخش آخر معیارهایی که از ادبیات مربوطه استخراج شده بودند، به صورت چیدمان در جداول، آورده شدند. همچنین در انتهای پرسش‌نامه جاهای خالی تعبیه شد تا خبره بتواند معیارهایی که مد نظر اوست و در پرسش‌نامه آورده نشده است، پیشنهاد بدهد. نتیجه نظر خبرگان در مرحله اول توزیع پرسش‌نامه در جدول ۲ آورده شده است.

مرحله اول توزیع پرسش‌نامه

در این مرحله برای اولین بار، پرسش‌نامه برای اتفاق نظر درباره معیارهای مؤثر در عوامل تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی توزیع شد. در این پرسش‌نامه ۲۶ مورد از عوامل مؤثر بر انتخاب تکنولوژی تولید را انتخاب کردیم این انتخاب‌ها ناشی از مطالعاتی بود که در خلال سال‌های گذشته بر روی عوامل مؤثر انجام گرفته بود.

محتویات این پرسش‌نامه در سه بخش کلی ارائه گردید که در بخش نخست، اطلاعاتی کافی درباره

جدول ۲. نتیجه مرحله نخست نظرخواهی از خبرگان (منبع: تحقیق حاضر)

ردیف	معیار	میانگین گیری کلی				عدد قطعی
		a4	a3	a2	a1	
۱	قابلیت اطمینان (تواتر/مدت خرابی) (هی و همکاران (۲۰۱۶))	۹/۹۱	۹/۸۲	۸/۸۲	۷/۸۲	۹/۰۹
۲	کاهش خاموشی‌ها (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۸/۴۵	۷/۴۵	۶/۴۵	۵/۴۵	۶/۹۵
۳	قابلیت چند سوختی (عبدالموله و همکاران (۲۰۱۷))	۹/۹۱	۹/۸۲	۸/۸۲	۷/۸۲	۹/۰۹
۴	همخوانی با استانداردها (وانگ و همکاران (۲۰۱۷))	۸	۷/۰۹	۶/۰۹	۵/۰۹	۶/۵۷
۵	سهولت در عملیات و نگهداری (O&M) (الموطیری و همکاران (۲۰۲۲))	۷/۱۸	۶/۱۸	۵/۱۸	۴/۰۹	۵/۶۶
۶	پسماند کم‌تر اسیدی (تان و همکاران (۲۰۱۹))	۹/۴۵	۸/۹۱	۷/۹۱	۶/۹۱	۸/۳۰
۷	پسماند غیر رادیواکتیو (داردن و همکاران (۲۰۱۷))	۷/۱۸	۶/۰۹	۵/۰۹	۴/۰۹	۵/۶۱
۸	توجه به توسعه تولید برق DC (یوکسل و همکاران (۲۰۲۲))	۹/۴۵	۸/۹۱	۷/۹۱	۶/۹۱	۸/۳۰
۹	کاهش تلفات تولید (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۹/۱۸	۸/۳۶	۷/۳۶	۶/۳۶	۷/۸۲
۱۰	هزینه کم نوسازی (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۸	۷/۰۹	۶/۰۹	۵/۰۹	۶/۵۷
۱۱	توسعه منطقه (لیو و همکاران (۲۰۲۳))	۷/۸۲	۶/۹۱	۵/۹۱	۴/۹۱	۶/۳۹
۱۲	عدم آلودگی صوتی (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۷	۶	۵	۳/۸۲	۵/۴۵
۱۳	هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه‌ها (مدرس و همکاران (۲۰۱۶))	۹/۶۴	۹/۲۷	۸/۲۷	۷/۲۷	۸/۶۱
۱۴	سهولت انتقال دانش فنی (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۸/۴۵	۷/۴۵	۶/۴۵	۵/۳۶	۶/۹۳
۱۵	انعطاف‌پذیری تولید (گل پیرا و همکاران (۲۰۱۹))	۸/۱۸	۷/۲۷	۶/۲۷	۵/۲۷	۶/۷۵
۱۶	افزایش تنوع فناوری برق تولیدی (هی و همکاران (۲۰۱۶))	۸/۰۹	۷/۰۹	۶/۰۹	۵/۰۹	۶/۵۹
۱۷	جلب مشارکت سرمایه‌گذاری (تان و همکاران (۲۰۱۹))	۹/۲۷	۸/۵۵	۷/۵۵	۶/۵۵	۷/۹۸
۱۸	ملاحظات کشوری (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۷/۵۵	۶/۵۵	۵/۵۵	۴/۳۶	۶
۱۹	نرخ بازگشت سرمایه (یوکسل و همکاران (۲۰۲۲))	۹/۶۴	۹/۲۷	۸/۲۷	۷/۲۷	۸/۶۱
۲۰	سرمایه اولیه (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۶/۶۴	۵/۶۴	۴/۶۴	۳/۲۷	۵/۰۵
۲۱	قیمت تمام شده برق (آسیف و همکاران (۲۰۲۳))	۶/۸۲	۵/۷۳	۴/۷۳	۳/۷۳	۵/۲۵
۲۲	هزینه تعمیر و نگهداری (نوجوان و همکاران (۲۰۱۸))	۷/۱۸	۶/۱۸	۵/۱۸	۴	۵/۶۴
۲۳	ریسک سرمایه‌گذاری (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۶/۶۴	۵/۵۵	۴/۵۵	۳/۳۶	۵/۰۲
۲۴	بازده کل نیروگاه (داردن و همکاران (۲۰۱۷))	۸	۷/۰۹	۶/۰۹	۵/۰۹	۶/۵۷
۲۵	قابلیت توسعه (سایز) (جردن و همکاران (۲۰۲۰))	۹/۲۷	۸/۵۵	۷/۵۵	۶/۵۵	۷/۹۸
۲۶	عوارض آلودگی و انتشار (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۷/۱۸	۶/۱۸	۵/۱۸	۴/۰۹	۵/۶۶

مرحله دوم توزیع پرسش‌نامه

به منظور اتفاق نظر درباره معیارهای ارائه‌شده توسط پژوهش‌گران، مراحل دوم تا پنجم توزیع

پرسش‌نامه، صورت پذیرفت، پرسش‌نامه‌ای طراحی شد که در آن اختلاف نظر خبره با میانگین نظر تمامی خبرگان (که طبق رابطه (۲) قابل محاسبه

¹ Darden et al.

² Modarres et al.

³ Golpîra et al.

⁴ Nojavanet al.

⁵ Jordan et al.

است) نمایش داده شد و از خبره خواسته شد که نظر قبلی خود را تعدیل یا تأیید کند.

$$(b_{m1} - b_1^{(i)}, b_{m2} - b_2^{(i)}, b_{m3} - b_3^{(i)}, b_{m4} - b_4^{(i)}) \quad (2)$$

$$= \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_1^{(i)} - b_1^{(i)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_2^{(i)} - b_2^{(i)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_3^{(i)} - b_3^{(i)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_4^{(i)} - b_4^{(i)} \right)$$

۲۰۱۹)) تکنیک دلفی، به طور کلی ۶۷ درصد امتیاز داده شده توسط خبرگان به معیارها را عاملی برای انتخاب معیارها معرفی می‌کنند. در این مقاله، عامل انتخاب معیارها و ارسال آن‌ها به مراحل بعدی تحلیل (شرایط رد یا پذیرش معیار انتخابی)، کسب حداقل ۹۵ درصد امتیاز بوده است و دلیل انتخاب ۹۵ درصد امتیاز توسط پژوهش‌گر، نابسازی مدل خروجی (این امر با استفاده از رابطه ۳ انجام می‌شود)، از فرآیند دلفی است.

در جدول ۳ حد قابل قبول برای انتخاب معیارها ارائه شده است.

$$Nw_k = Nw_i \times Nw_{ip} \quad (3)$$

جدول ۳. تعریف حد قابل قبول برای انتخاب معیارها (منبع: تحقیق حاضر)

امتیاز بیشترین مقدار معیار	امتیاز کم‌ترین مقدار معیار	دامنه امتیازی هر معیار	عامل انتخاب معیار	سهم دامنه	تعیین حد امتیاز قابل قبول
۹/۲۵	۱	۸/۲۵	۰/۹۵	۷/۸۳	۸/۸۳

جدول ۴ محاسبه شده است. اعدادی که در محدوده تعیین شده قرار می‌گیرند تأیید و در اعدادی که خارج از محدوده می‌باشند، رد می‌شود.

مراحل توزیع و جمع‌آوری پرسش‌نامه در این پژوهش ۵ مرحله ادامه یافت تا وزن شاخص‌ها و پارامترها نهایی شود که به دلیل زیاده‌گویی در این مقاله به آن پرداخته نشده است.

انتخاب معیارهای مؤثر در ارزیابی

تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق

با رویکرد عدم قطعیت انرژی

تکنیک دلفی فازی اتفاق نظر بین خبرگان حوزه انرژی و اقتصاد و اساتید دانشگاهی را درباره ۲۶ معیار پیشنهادی ثابت کرد. حال در این جا باید حدی تعریف شود که توسط آن معیارهای انتخاب بتواند به مراحل بعدی اجرای مقاله ارسال شود. مطابق مقالات مورد بررسی ((کوی و همکاران (۲۰۱۷))، ((جردن و همکاران (۲۰۲۰)) و ((تان و همکاران

سهم دامنه امتیاز ۷/۸۳ است که با جمع آن با کم‌ترین مقدار (۱) میزان قابل قبول ۸/۸۳ حاصل شده است. در ادامه، وضعیت انتخاب یا رد معیارها در

جدول ۴. میانگین نهایی معیارها (منبع: تحقیق حاضر)

ردیف	معیار (گزینه)	میانگین نهایی	وضعیت
۱	قابلیت اطمینان (تواتر/مدت خرابی)	۹/۲۵	تأیید
۲	کاهش خاموشی‌ها	۹/۲۵	تأیید
۳	قابلیت چند سوختی	۹/۲۵	تأیید
۴	همخوانی با استانداردها	۵/۵	رد
۵	سهولت در عملیات و نگهداری (O&M)	۵/۵	رد
۶	پسماند کم‌تر اسیدی	۹/۲۵	تأیید
۷	پسماند غیر رادیواکتیو	۵/۵	رد
۸	توجه به توسعه تولید برق DC	۹/۲۵	تأیید
۹	کاهش تلفات تولید	۹/۲۵	تأیید
۱۰	هزینه کم نوسازی	۵/۵	رد
۱۱	توسعه منطقه	۵/۵	رد
۱۲	عدم آلودگی صوتی	۵/۵	رد
۱۳	هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه‌ها	۹/۲۵	تأیید
۱۴	سهولت انتقال دانش فنی	۵/۵	رد
۱۵	انعطاف‌پذیری تولید	۵/۵	رد
۱۶	افزایش تنوع فناوری برق تولیدی	۵/۵	رد
۱۷	جلب مشارکت سرمایه‌گذاری	۹/۲۵	تأیید
۱۸	ملاحظات کشوری	۳/۶۶	رد
۱۹	نرخ بازگشت سرمایه	۹/۲۵	تأیید
۲۰	سرمایه اولیه	۴/۶۶	رد
۲۱	قیمت تمام‌شده برق	۳/۲۵	رد
۲۲	هزینه تعمیر و نگهداری	۵/۵	رد
۲۳	ریسک سرمایه‌گذاری	۵/۵	رد
۲۴	بازده کل نیروگاه	۳/۲۵	رد
۲۵	قابلیت توسعه (سایز)	۹/۲۵	تأیید
۲۶	عوارض آلودگی و انتشار	۵/۴۸	رد

۵٫۱ وزن‌دهی به معیارهای انتخاب‌شده توسط تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

جهت اجرای بخش دوم، پرسش‌نامه‌ای تدوین گشت که در آن معیارها با هم مقایسه زوجی شدند. برای امتیازدهی به مقایسات زوجی، طیفی از ۱ تا ۹ به پاسخ‌دهندگان ارائه شد که در آن امتیاز ۱ نشان-

دهنده اهمیت برابر و امتیاز ۹ نشان‌دهنده اهمیت نسبتاً شدید معیار اول نسبت به معیار دوم است.

پرسش‌نامه‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها به همان خبرگانی ارائه شد که در مرحله قبل از آن‌ها درباره اتفاق نظر در مورد معیارها، نظرخواهی شده بود. پس از پیگیری‌های متعدد و همچنین توجیه خبرگان جهت پاسخ‌گویی، پرسش‌نامه‌ها جمع‌آوری شدند و

مقدار نظر و عدد فازی دوم، میانگین هندسی نظرات خبرگان است. ماتریس مقادیر Z برای معیارها توسط رابطه ۴ برای هریک از معیارها محاسبه شد که خروجی آن به شرح جدول ۵ است.

$$Z_i = [a_{i1} \otimes a_{i2} \otimes \dots \otimes a_{in}]^{(1/n)}, \quad \forall i \quad (4)$$

با ورود داده‌ها به نرم افزار اکسل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

تحلیل داده‌ها

برای فازی سازی داده‌ها از اعداد فازی مثلثی استفاده شد و بدین ترتیب که نظر تمامی خبرگان در یک ماتریس کلی جمع شد، در این ماتریس، عدد فازی اول، کمترین مقدار نظر، عدد فازی سوم، بیشترین

جدول ۵. ماتریس مقادیر Z برای معیارها (منبع: تحقیق حاضر)

ردیف	معیار	عدد فازی اول	عدد فازی دوم	عدد فازی سوم
۱	قابلیت اطمینان (تواتر/مدت خرابی)	۰/۲۰	۱/۶۷	۸
۲	کاهش خاموشی‌ها	۰/۲۵	۱/۲۹	۶
۳	قابلیت چند سوختی	۰/۱۳	۰/۷۴	۵
۴	پسماند کم تر اسیدی	۰/۱۳	۰/۵۹	۵
۵	توجه به توسعه تولید برق DC	۰/۱۱	۰/۵۰	۷
۶	کاهش تلفات تولید	۰/۱۳	۰/۹۹	۷
۷	هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه‌ها	۰/۱۴	۱/۸۸	۹
۸	جلب مشارکت سرمایه گذاری	۰/۲۰	۰/۶۴	۳
۹	نرخ بازگشت سرمایه	۱	۱/۷۲	۵
۱۰	قابلیت توسعه (سایز)	۱	۱	۱
۱۱	عوارض آلودگی و انتشار	۱	۱	۱

$$a \tilde{\oplus} a \tilde{\cong} (\alpha_1 + \alpha_2, \beta_1 + \beta_2, \delta_1 + \delta_2) \quad (5)$$

سپس جمع مقادیر Z توسط رابطه ۵ و معکوس آن توسط رابطه ۶ به صورت زیر درآمد.

$$Z_i^{(-1)} = (\delta_i^{(-1)}, \beta_i^{(-1)}, \alpha_i^{(-1)}) \quad (6)$$

جدول ۶. محاسبه مقادیر کلی Z برای معیارها (منبع: تحقیق حاضر)

	عدد فازی		
	اول	دوم	سوم
محاسبه جمع مقادیر Z به صورت کلی	۵/۲۹	۱۳/۰۱	۵۸/۰۰
محاسبه معکوس ماتریس Z به صورت کلی	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۹

$$W_i^- = Z_i \otimes (Z_1 \oplus Z_2 \oplus \dots \oplus Z_n)^{(-1)} \quad (7)$$

در ادامه توسط رابطه ۷ وزن نهایی هر معیار (که به صورت فازی است) محاسبه و توسط رابطه ۸ فازی زدایی شد.

$$W_i = (W_{\alpha i} + W_{\beta i} + W_{\delta i}) / 3 \quad (8)$$

$$NW_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (9)$$

سپس مقادیر وزن فازی زدایی شد، توسط رابطه ۹ بی‌مقیاس شدند و در جدول ۷ منعکس گردیدند.

جدول ۷. وزن نهایی معیار (منبع: تحقیق حاضر)

وزن نرمال شده هر معیار	وزن فازی زدایی شده هر معیار	اعداد فازی			معیار	ردیف
		سوم	دوم	اول		
۰/۱۴	۰/۵۵	۱/۵۱	۰/۱۳	۰	قابلیت اطمینان (تواتر/مدت خرابی)	۱
۰/۱۰	۰/۴۱	۱/۱۳	۰/۱۰	۰	کاهش خاموشی‌ها	۲
۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۹۵	۰/۰۶	۰	قابلیت چند سوختی	۳
۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۹۵	۰/۰۴	۰	پسماند کم‌تر اسیدی	۴
۰/۱۱	۰/۴۵	۱/۳۲	۰/۰۴	۰	توجه به توسعه تولید برق DC	۵
۰/۱۲	۰/۴۷	۱/۳۲	۰/۰۸	۰	کاهش تلفات تولید	۶
۰/۱۵	۰/۶۲	۱/۷	۰/۱۴	۰	هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه‌ها	۷
۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۵۷	۰/۰۵	۰	جلب مشارکت سرمایه-گذاری	۸
۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۹۵	۰/۱۳	۰/۰۲	نرخ بازگشت سرمایه	۹
۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۰۲	قابلیت توسعه (سایز)	۱۰
۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۰۲	عوارض آلودگی و انتشار	۱۱

A1: آبی A2: بادی A3: سوخت‌های فسیلی A4:
خورشیدی A5: زغال سنگ

برای این قسمت از این نوشتار به تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری به صورت زیر اقدام شد:

در این مرحله پرسش‌نامه طراحی گردید و بین خبرگان توزیع گردید و آنان اولویت‌ها را بر اساس معیارها، مورد ارزیابی قرار دادند که میانگین نظر خبرگان در جدول ۸ آورده شده است:

۵٫۲ ارزیابی تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی با روش ANP فازی

تشکیل ماتریس تصمیم

حامل‌ها و تکنولوژی‌های مختلفی برای تولید برق وجود دارد که تعداد آن‌ها متعدد است اما با توجه به جغرافیای ایران و تکنولوژی‌های در دسترس، پنج تکنولوژی مختلف تولید برق با گزینه‌های A1 تا A5 معرفی شده‌اند که به صورت زیر هستند:

جدول ۸. میانگین نظرات خبرگان (منبع: تحقیق حاضر)

معیار	بعد	میانگین نظر خبرگان			اعداد قطعی
		عدد فازی اول	عدد فازی دوم	عدد فازی سوم	
قابلیت اطمینان (تواتر/مدت خرابی) (C1)	A1	۰	۰	۰/۱۹	۱/۲۹
	A2	۰	۰	۰/۱۹	۱/۲۹
	A3	۰	۰	۰/۱۹	۱/۲۹
	A4	۰	۰	۰/۱۹	۱/۲۹
	A5	۰	۰	۰/۱۹	۱/۲۹
کاهش خاموشی‌ها (C2)	A1	۰/۴۷	۰/۶۴	۰/۸	۴/۹۴
	A2	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۶۴	۳/۹۳
	A3	۰/۴۷	۰/۶۴	۰/۸	۴/۹۴
	A4	۰/۶۲	۰/۷۷	۰/۹۴	۵/۷۹
	A5	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۶۴	۳/۹۳
قابلیت چند سوختی (C3)	A1	۰	۰/۱۷	۰/۳۳	۲/۱۵
	A2	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۵۲	۳/۱۶
	A3	۰	۰/۱۷	۰/۳۳	۲/۱۵
	A4	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۵۲	۳/۱۶
	A5	۰/۳۳	۰/۵۲	۰/۶۸	۴/۱۷
پسماند کم‌تر اسیدی (C4)	A1	۰/۷۳	۰/۹	۱	۶/۵۳
	A2	۰/۵۹	۰/۷۴	۰/۹۲	۵/۶۲
	A3	۰/۷۳	۰/۹	۱	۶/۵۳
	A4	۰/۵۹	۰/۷۴	۰/۹۲	۵/۶۲
	A5	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۷۴	۴/۶۱
توجه به توسعه تولید برق DC (C5)	A1	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
	A2	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
	A3	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
	A4	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
	A5	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
کاهش تلفات تولید (C6)	A1	۰/۷۳	۰/۹	۱	۶/۵۳
	A2	۰/۷۳	۰/۹	۱	۶/۵۳
	A3	۰/۷۳	۰/۹	۱	۶/۵۳
	A4	۰/۷۳	۰/۹	۱	۶/۵۳
	A5	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۹	۵/۵۲
هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه‌ها (C7)	A1	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۹	۵/۵۲
	A2	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۹	۵/۵۲
	A3	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۹	۵/۵۲

	A4	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۷۴	۴/۵۹
	A5	۰/۵۸	۰/۷۳	۰/۹	۵/۵۲
جلب مشارکت سرمایه‌گذاری (C8)	A1	۰/۶	۰/۷۶	۰/۹۲	۵/۶۹
	A2	۰/۴۴	۰/۶۱	۰/۷۷	۴/۷۷
	A3	۰/۶	۰/۷۶	۰/۹۲	۵/۶۹
	A4	۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۶۳	۳/۸۵
	A5	۰/۶	۰/۷۶	۰/۹۲	۵/۶۹
نرخ بازگشت سرمایه (C9)	A1	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۶۳	۳/۹۰
	A2	۰	۰/۲۸	۰/۴۸	۲/۸۹
	A3	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۶۳	۳/۹۰
	A4	۰/۴۸	۰/۶۳	۰/۷۹	۴/۹۰
	A5	۰	۰	۰/۳	۱/۹۵
قابلیت توسعه (سایز) (C10)	A1	۰/۵۹	۰/۷۴	۰/۹۲	۵/۶۲
	A2	۰/۵۹	۰/۷۴	۰/۹۲	۵/۶۲
	A3	۰/۷۴	۰/۹۲	۱	۶/۶۲
	A4	۰/۵۹	۰/۷۴	۰/۹۲	۵/۶۲
	A5	۰/۷۴	۰/۹۲	۱	۶/۶۲
عوارض آلودگی و انتشار (C11)	A1	۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۵۹	۳/۶۰
	A2	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۷۴	۴/۶۱
	A3	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۷۴	۴/۶۱
	A4	۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۵۹	۳/۶۰
	A5	۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۵۹	۳/۶۰

با استفاده از رابطه (۱۰) شاخص ترجیحی گزینه-ها محاسبه شد و در جدول ۹ منعکس گردید.

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \quad \forall a, b \in A,$$

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b).$$

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1.$$

محاسبه تابع ترجیحی

در مورد انتخاب تابع ترجیحی، طی جلسات و مذاکراتی که پراخبرگان به عمل آمد، به علت آشنایی بیشتر و توجیه منطقی‌تر موضوع از تابع ترجیحی خطی استفاده شد، این تابع با تغییر امتیازات در فاصله صفر تا p ، میزان اولویت را به صورت خطی تغییر می‌دهد و اگر تفاوت بیشتر از P باشد گزینه مورد نظر کاملاً اولویت دارد.

جدول ۹. شاخص ترجیحی تجمعی گزینه‌ها (منبع: تحقیق حاضر)

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	*	0.32	0.02	0.30	0.39
A2	0.14	*	0.14	0.24	0.31
A3	0.04	0.34	*	0.34	0.41
A4	0.38	0.26	0.38	*	0.39
A5	0.21	0.26	0.21	0.43	*

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (12)$$

با استفاده از رابطه ۱۳ مقدار جریان خالص رتبه-بندی محاسبه شد و در جدول ۱۰ منعکس گردید.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (13)$$

ارزیابی تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی

با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ مقدار Φ^+ و Φ^- محاسبه شد.

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (11)$$

جدول ۱۰. جریان رتبه‌بندی مثبت و منفی گزینه‌ها (منبع: تحقیق حاضر)

	A1	A2	A3	A4	A5
Φ^+	0.26	0.20	0.28	0.33	0.28
Φ^-	0.19	0.26	0.18	0.31	0.36
Φ	0.07	-0.06	0.10	0.02	-0.08

در جدول ۱۰ که جریان رتبه‌بندی گزینه‌های تکنولوژی تولید برق را با توجه به عدم قطعیت بیان می‌کند عدم قطعیت یعنی درصد حتمی نبودن روند تولید با توجه به تکنولوژی موجود. در این جدول هر چقدر که مقدار Φ کمتر باشد آن تکنولوژی در حالت عدم قطعیت دارای قابلیت اعتماد بیشتری است. این جدول و نتایج آن مشخص می‌کند که تکنولوژی وابسته به سوخت‌های فسیلی (A5) در جغرافیای ایران بیشترین نزدیکی به ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی را دارد. پس از این تکنولوژی باید به تکنولوژی برقی (A2) به‌عنوان گزینه جایگزین توجه نمود. در میانه این ترتیب، تکنولوژی استفاده از انرژی خورشیدی است که می‌تواند جایگزین بعدی باشد. در ادامه قابلیت اطمینان به

$$\begin{cases} aP^{\parallel}b & \text{if } \phi(a) > \phi(b) \\ aI^{\parallel}b & \text{if } \phi(a) = \phi(b) \end{cases} \quad (14)$$

ارزیابی تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی با روش دلفی که رتبه-بندی کاملی را ارائه می‌دهد با توجه به رابطه ۱۴ به صورت زیر است:

سوخت‌های فسیلی $A5 > A2$ آبی $A2 >$ خورشیدی
 $A4 >$ بادی $A1 >$ زغال‌سنگ $A3$

در جدول شماره ۸ عوامل مؤثر بر قطعی بودن تولید برق را بررسی کردیم و برای هر کدام از ۵ تکنولوژی مورد بحث مشخص نمودیم که هر معیار به چه اندازه قابلیت قطعیت دارد.

در معادله بالا، $(I_t - I_{t+1}) * Y_{t+1}$ به معنای ذخیره انرژی به علت بهبود کارایی انرژی می‌باشد.

$A_t * (Y_t + 1 - Y_t)$ به معنای رشد اقتصادی به علت پیشرفت تکنولوژیکی می‌باشد.

$A_t * (Y_t + 1 - Y_t) * I_t$ نمو مصرف انرژی می‌باشد.

طبق معادله (۱۵) اثر ریباند انرژی، نسبت نمو مصرف انرژی نتیجه شده از رشد اقتصادی به صرفه‌جویی انرژی که از بهبود کارایی انرژی حاصل می‌شود، می‌باشد. هم بهبود کارایی انرژی و هم رشد اقتصادی در این‌جا به علت پیشرفت تکنولوژیکی می‌باشد.

به دلیل اینکه این مدل دارای ۲ نقطه ضعف است این مدل به صورت زیر اصلاح می‌گردد.

۶٫۱٫۱ بهبود شاخص کارایی انرژی

در معادله (۱۵)، $(I_t - I_{t+1}) * Y_{t+1}$ صرفه‌جویی در انرژی، نتیجه شده از بهبود کارایی انرژی را نشان می‌دهد. این فرمول نمی‌تواند بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژیکی را نشان دهد، به این علت که $(I_t - I_{t+1}) * Y_{t+1}$ شامل تغییرات مقیاس است که می‌تواند منجر به تغییرات در کارایی انرژی شود. برای مثال، تغییرات ساختاری اقتصادی، می‌تواند کارایی انرژی را بهبود بخشد. در این‌جا از شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا (LMDI) استفاده می‌کنیم تا تغییر شدت انرژی تجزیه شود و نقش پیشرفت‌های تکنولوژیکی در بهبود کارایی انرژی شناسایی شود.

$$I = \Delta I_y + \Delta I_e \quad (16)$$

ΔI_y تغییرات در شدت انرژی به علت تغییرات در اثرات ساختاری

ΔI_e تغییرات در شدت انرژی به علت پیشرفت تکنولوژیکی

سپس، پارامتر δ حاصل می‌شود که اثرات پیشرفت تکنولوژیکی را بر شدت انرژی نشان می‌دهد.

قطعی بودن روند تولید برق باید به گزینه برق تولیدی توسط تکنولوژی بادی توجه نمود این نتیجه بیان می‌دارد که تکنولوژی برق با استفاده از توربین‌های بادی نمی‌تواند قطعیت مناسبی برای سرزمین ایران باشد؛ اما در پایان این ترتیب تکنولوژی تولید برق، تکنولوژی با استفاده از زغال سنگ (A3) است که بیشترین فاصله را از ایده‌آل مثبت و بیشترین نزدیکی به ایده‌آل منفی را دارد یعنی عدم قطعیت این تکنولوژی بیشترین مقدار در میان این ۵ تکنولوژی انتخابی ربای رزمین و پهنه ایران می‌باشد. این ترتیب می‌تواند در کشورهای دیگر با توجه به منابع موجود و فرهنگ حاکم بر مصرف و تکنولوژی‌های موجود و بهینه‌سازی‌های از قبل انجام گرفته و ... تغییر نماید.

مطابق با بررسی‌های صورت‌گرفته و پس از مشخص شدن اثرگذاری پارامترها بر تکنولوژی‌های تولید برق مشخص گردید که سوخت‌های فسیلی بالاترین اولویت را در میان تکنولوژی‌های مختلف طبق پارامترهای مورد بررسی در این مقاله داشته و زغال‌سنگ در رتبه آخر این اولویت‌بندی قرار دارد.

۶ مطالعه موردی

۶٫۱ مدل محاسبه اثر بازگشتی انرژی

اثر بازگشتی انرژی موجب می‌شود که پیشرفت تکنولوژیکی و به دنبال آن رشد اقتصادی، منجر به رشد در مصرف انرژی شود. این قسمت از رشد مصرف انرژی، جزئی از صرفه‌جویی در انرژی یا کل آن که توسط بهبود کارایی انرژی حاصل شده است، خنثی می‌نماید. این مدل به‌عنوان مدل اساسی اثر بازگشتی قرار می‌گیرد:

$$R_t = \frac{A_t * (Y_{t+1} - Y_t) * I_{t+1}}{Y_{t+1} * (I_t - I_{t+1})} \quad (15)$$

به‌طوری‌که: R_t اثر بازگشتی انرژی در دوره t ، A_t بهره‌وری کل عوامل تولید در دوره t ، Y_t کل محصول در دوره t ، I_t شدت انرژی در دوره t که نمایان‌گر بهره‌وری انرژی است.

پیشرفت‌های تکنولوژیکی ناشی می‌شود، به کار می‌رود.

بهبود بهره‌وری کل عوامل تولید: روش شاخص مالم کوئیست برای اندازه‌گیری تغییرات بهره‌وری واحدهای تصمیم‌گیری تولید در طول زمان معین استفاده می‌شود. روش شاخص مالم کوئیست، به‌عنوان یک روش برای محاسبه بهره‌وری کل عوامل تولید در بسیاری از مطالعات تجربی استفاده می‌شود. در این‌جا هر سال را در دوره ۱۳۸۸-۱۴۰۲ به‌عنوان یک واحد تصمیم‌گیری قرار می‌دهیم. سپس از تحلیل پوششی داده‌ها با ماهیت خروجی (DEA model output-oriented) برای محاسبه شاخص مالم کوئیست استفاده می‌کنیم. به‌علاوه، با مقایسه تولید هر سال با تولید مرزی، می‌توان بهره‌وری کل عوامل تولید هر سال را به شاخص بهبود تکنولوژیکی و شاخص تغییرکارایی تجزیه کرد. فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری تولید داریم:

$$DMU_j(x_i, y_i) = (j = 1, \dots, n)$$

به‌طوری‌که:

x_i نهاده‌ی DMU و $i=1, 2, \dots, n$ می‌باشد و y_i محصول DMU و $i=1, 2, \dots, m$ می‌باشد.

$$x_i > 0, y_i > 0$$

$$x \in R^n, y \in R^m$$

تولید DMU_j در سال t و s به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DMU_j^t(x_i, y_i) = DMU_j(x_i^t, y_i^t) = DMU_j(x_i, y_i)^t$$

$$DMU_j^s(x_i, y_i) = DMU_j(x_i^s, y_i^s) = DMU_j(x_i, y_i)^s$$

شاخص بهره‌وری مالم کوئیست M_j می‌تواند به شاخص پیشرفت تکنولوژیکی و شاخص کارایی تقسیم گردد:

$$M(x_s, x_t, y_s, y_t) = \frac{d^s(x_s, y_s)}{d^t(x_t, y_t)} \quad (22)$$

$$\times \left[\frac{d^t(x_s, y_s)}{d^t(x_t, y_t)} \times \frac{d^s(x_s, y_s)}{d^s(x_t, y_t)} \right]^{1/2}$$

$$EC = \frac{d^s(x_s, y_s)}{d^t(x_t, y_t)} \quad (23)$$

$$\delta = \Delta I_e / \Delta I \quad (17)$$

محاسبه شاخص شدت انرژی

به دلیل مزایای روش LMDI، مانند تجزیه مجموعه اطلاعات غیرکامل، از این شاخص برای تجزیه شدت انرژی استفاده شده است. شدت انرژی می‌تواند به صورت زیر تجزیه شود:

$$I = \frac{E}{GDP} = \frac{\sum_i E_i}{\sum_i GDP_i} \quad (18)$$

$$= \sum_i \frac{E_i}{GDP_i} \cdot \frac{GDP_i}{\sum_i GDP_i}$$

$$= \sum_i e_i * y_i$$

جایی که: i نوع صنعت را نشان می‌دهد، $i=1, 2, \dots$ e_i شدت انرژی صنعت i ، بیانگر اثر فنی می‌باشد. y_i سهم ارزش‌افزوده صنعت i در GDP، بیانگر اثر ساختاری می‌باشد.

بر اساس معادله (۱۸) روش LMDI به منظور تجزیه تغییرات در شدت انرژی به کار می‌رود:

$$\Delta I = \Delta I_e + \Delta I_y$$

$$= \sum_i L(W_{it}, W_{i,t-1}) \ln(e_{it}/e_{i,t-1}) + \sum_i L(W_{it}, W_{i,t-1}) \ln(y_{it}/y_{i,t-1}) \quad (19)$$

$L(W_{it}, W_{i,t-1})$ میانگین وزنی لگاریتمی است.

$$L(W_{it}, W_{i,t-1}) = (W_{it} - W_{i,t-1}) / (\ln W_{it} - \ln W_{i,t-1}) \quad (20)$$

$$W_i = e_i * y_i$$

از معادله (۱۹) می‌توان پارامتر اثر تکنیکی از تغییرات شدت انرژی را به دست آورد:

$$\delta = \Delta I_e / \Delta I \quad (21)$$

۶.۱.۲ اصلاح بهره‌وری کل عوامل تولید

روش شاخص مالم کوئیست به دلیل مزایایی مانند عدم نیاز به فروض سخت‌گیرانه، به منظور شناسایی آن قسمت از رشد اقتصادی که از

۲. اثرات بازگشتی بین صفر تا ۱۰۰ باشد، به طوری که کاهش نهایی در استفاده از منابع انرژی کمتر از میزان کاهش مورد انتظار اولیه باشد. بیشتر مطالعات تجربی مؤید این حالت است.

۳. اثرات بازگشتی بیش از ۱۰۰ درصد باشد، به طوری که کاهش نهایی در استفاده از منابع انرژی منفی باشد. این حالت به پارادوکس جونز معروف است و گاهی نیز به عنوان اثر معکوس شناخته می شود. در این حالت بهبود کارایی انرژی نه تنها کاهش مصرف انرژی را به دنبال نخواهد داشت، بلکه موجب افزایش مصرف انرژی نیز خواهد شد.

۶٫۲ معرفی داده‌های تحقیق

این پژوهش از نوع تجربی است که به اندازه‌گیری اثر پیشرفت تکنولوژیکی در رشد اقتصادی و بهبود کارایی، به منظور محاسبه اثر بازگشتی انرژی می پردازد. هر یک از صنایع بر حسب فعالیت در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۲ به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده قلمداد شده‌اند. در این مطالعه تعداد نیروی کار شاغل، تشکیل سرمایه ثابت و مصرف انواع حامل‌های انرژی به عنوان نهاده و ارزش افزوده هر فعالیت و مصرف کل انرژی صنایع به عنوان ستانده در نظر گرفته شده است.

۱. حامل‌های انرژی: سوخت مصرفی در هر صنعت به ۷ شکل برق، بنزین، گاز طبیعی، نفت سفید، گاز مایع، گازوئیل و نفت سیاه می‌باشد. در این مطالعه برای سادگی این ۷ نوع سوخت با استفاده از واحد بشکه معادل نفت خام (BOE) که یک واحد سنجش انرژی است، همسان‌سازی شده است و به عنوان یک متغیر در مدل وارد شده است. هرکدام از انواع سوخت با ضریبی مخصوص به خود به واحد مشترک بشکه معادل نفت خام تبدیل شده‌اند. داده‌های سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ از سال‌نامه‌های آماری کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر کتابخانه سازمان برنامه و بودجه استخراج شده است و داده‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۲ از سایت سازمان آمار ایران برگرفته شده‌اند.

$$TC = \left[\frac{d^t(x_s, y_s)}{d^t(x_t, y_t)} \times \frac{d^s(x_s, y_s)}{d^s(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (24)$$

معادله (۲۳)، تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید به سبب تغییرات بهره‌وری در طول دوره بین s و t را نشان می‌دهد، EC شاخص بهبود کارایی است. معادله (۲۴)، تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید به سبب پیشرفت تکنولوژیکی را در طول دوره بین t و s نشان می‌دهد، TC شاخص توسعه تکنولوژیکی است که با α_t نشان داده می‌شود.

مدل اصلاح‌شده محاسبه اثر ریباند به صورت زیر می‌باشد:

$$R_{tj} = \frac{\alpha_{tj} * (Y_{t+1} - Y_t) * I_{t+1}}{Y_{t+1} * (I_t - I_{t+1}) * \delta_{tj}} \quad (25)$$

وجود اثرات بازگشتی سبب می‌شود تا بخشی از کاهش تقاضای ناشی از بهبود کارایی انرژی خنثی شود و چه بسا در صورتی که این اثرات به قدر کافی قوی باشد، کارایی انرژی اثرات معکوسی بر تقاضای انرژی به جا بگذارد. بدین ترتیب، در این جا سه حالت متصور خواهد بود:

۱. اثرات بازگشتی منفی باشد، به طوری که کاهش نهایی در استفاده از منابع انرژی بیش از میزان کاهش مورد انتظار اولیه باشد. این حالت غیر متداول بوده و تنها در شرایط خاصی رخ می‌دهد. اثر بازگشتی منفی، نتیجه شده از اثر منفی بهبود تکنولوژی در رشد اقتصادی است، همچنین نشان می‌دهد که اثر ساختاری نقش مهمی در رشد اقتصادی ایفا می‌کند، به طوری که اثر ساختاری علی‌رغم اثر منفی بهبود تکنولوژی بر رشد اقتصادی، اقتصاد را رو به جلو حرکت می‌دهد. منفی بودن اثر بازگشتی را باید به افزایش شدت انرژی نسبت داد، بدین معنی که کارایی انرژی بهبود نمی‌یابد، زمانی که اثر تکنیکی شدت انرژی بزرگ‌تر از صفر باشد، این نشان می‌دهد که ساختار غیر منطقی اقتصادی مانع از بهبود کارایی انرژی شده، بنابراین صرفه‌جویی انرژی کل اقتصاد را بلوکه می‌کند.

بهره‌گیری از نرم‌افزار اکسل (EXCEL) و شاخص میانگین وزنی دیویژیا (LMDI) نقش اثر تکنیکی بهبود کارایی انرژی به‌دست‌آمده و نتایج حاصل در مدل مربوط به محاسبه اثر بازگشتی انرژی قرار گرفته و این اثر برای صنایع ایران به تفکیک کدهای دو رقمی ISIC بدون احتساب صنعت بازیافت محاسبه گردیده است.

۶٫۳٫۱ صنعت مواد غذایی و آشامیدنی

صنعت مواد غذایی و آشامیدنی در طبقه‌بندی ISIC Rev3 با کد ۱۵ دارای ۱۷ فعالیت و ۸۷۸ محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره مورد مطالعه (۱۳۸۸-۱۴۰۲) دارای شدت انرژی با میانگین ۱/۰۹ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش‌افزوده جاری است. میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ) در این دوره ۰/۲۲- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری عوامل تولید و رشد اقتصادی، ۰/۹۹+ است. میانگین اثر بازگشتی برای صنعت مواد غذایی و آشامیدنی % ۸/۳ محاسبه گردیده است. این رقم نشان می‌دهد در این صنعت اثر بازگشتی چندانی وجود ندارد و بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی، توانسته تا حد زیادی مصرف انرژی را کاهش دهد و فقط % ۸/۳ آن ذخیره انرژی که توسط بهبود کارایی انرژی ایجاد شده است، در اثر پیشرفت تکنولوژیکی، مصرف گردیده است.

جدول ۱۱ نتایج حاصله برای صنعت مواد غذایی و آشامیدنی را در طول دوره ۱۳۸۸-۱۴۰۲ نشان می‌دهد.

۲. نیروی کار: منظور از نیروی کار در این مطالعه، تعداد نیروی انسانی شاغل در هر صنعت بر حسب نفر می‌باشد.

۳. سرمایه: منظور از سرمایه در این مطالعه، تشکیل سرمایه ثابت کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفرکارکن و بیشتر بر حسب فعالیت و برحسب میلیون ریال می‌باشد.

۴. ارزش‌افزوده: ارزش‌افزوده هر فعالیت بر حسب میلیون ریال به‌عنوان ستانده برای هر فعالیت در نظر گرفته شده است.

۵. مصرف کل انرژی: مصرف انرژی کل صنعت در طول سال‌های ۱۳۸۸-۱۴۰۲ برحسب بشکه معادل نفت خام به‌عنوان ستانده در نظر گرفته شده است. اطلاعات این متغیر از سال ۱۳۹۴-۱۳۸۸ از مجموع مصرف حامل‌های انرژی تبدیل یافته به بشکه معادل نفت خام محاسبه شده، اما اطلاعات این متغیر از سال ۱۴۰۲-۱۳۹۵ در سایت آمار ایران موجود می‌باشد.

۶٫۳ نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق

پس از گردآوری آمار و اطلاعات لازم، با استفاده از نرم‌افزار متلب و روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم کوئیست، به اندازه‌گیری اثر پیشرفت تکنولوژیکی اثرگذار در رشد اقتصادی پرداخته شده است. این شاخص، تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید را به سه جزء تغییرات کارایی تکنیکی خالص، تغییرات کارایی مقیاس و تغییرات تکنولوژیکی تقسیم می‌نماید که هدف این بخش از مطالعه، محاسبه تغییرات تکنولوژیکی می‌باشد. همچنین با

جدول ۱۱. نتایج حاصل محاسبه اثر بازگشتی صنعت مواد غذایی و آشامیدنی (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۰۵	-۰/۲۱	-۰/۲۸	-۰/۱۹	-۰/۳۸	-۰/۱۶	-۰/۲
α	۰/۹۱	۱/۰۶	۰/۹۶	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۳	۱/۱۴
R	۲۷/۲	۱۴/۳	۵/۶	۴/۷	۱۲/۸	۹/۳	۸۷/۷
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۱۸	-۰/۳۶	۰/۰۱	-۰/۴۸	-۰/۲۳	-۰/۳۲	-۰/۲۶
α	۰/۹۶	۰/۹۳	۱/۰۲	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۴	۱/۰۲
R	۱۵/۹	۶/۹	-۱۰۹/۱	۸/۱	۹/۲	۹/۶	۱۳/۳

۱۸۴/۱۸ است. این رقم نشان‌دهنده اثر بازگشتی بالای این صنعت در دوره ۱۳۸۸-۱۴۰۲ می‌باشد. با وجود شدت انرژی نسبتاً پایین در این دوره، اثر بازگشتی بالای این صنعت قابل توجه است. در این حالت که اثر بازگشتی بالای ۱۰۰ می‌باشد، بدین معنی است که اثر پیشرفت تکنولوژی در بهبود کارایی به جای کاهش مصرف انرژی، آن را افزایش داده است و اثر معکوس رخ داده است.

جدول ۱۲ نشان‌دهنده محاسبات مربوط به صنعت تولید این محصولات در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۱۲. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید محصولات از توتون و تنباکو (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۵۱	-۱/۹۸	-۰/۱۸	-۰/۱۴	-۰/۶۴	-۰/۰۶	۰/۵۵
α	۰/۷۹	۱/۶۴	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۹۰
R	۸۸/۴	۶۶/۳	۱۳۱/۱	۲۱۲/۳	۴۱	۱۹۴/۶	-۱۸/۹
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	۰/۲۴	-۰/۴۳	-۰/۳۲	-۰/۲۱	-۰/۳۷	-۰/۱۹	-۰/۲۶
α	۱/۳۳	۱/۴۶	۱/۵۹	۱/۴۳	۱/۳۵	۱/۲۸	۱/۳۱
R	-۱۶۰/۲	۲۱۶/۹	۳۱۱/۴	۵۱۰/۶	۳۰۹/۳	۱۱۵/۶	۲۰۲

میانگین ۰/۶۲ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش‌افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، -0.25 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد

۶,۳,۲ صنعت تولید محصولات از توتون و تنباکو-سیگار

صنعت تولید محصولات از توتون و تنباکو-سیگار با کد ۱۶ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۱ فعالیت و ۹ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۶ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش‌افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، 0.34 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.18 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای این صنعت %

۶,۳,۳ صنعت تولید منسوجات

صنعت تولید منسوجات با کد ۱۷ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۷ فعالیت و ۲۹۰ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه دارای شدت انرژی با

جدول ۱۳ نشان‌دهنده محاسبات اثر بازگشتی صنعت تولید منسوجات در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

اقتصادی (α) ، 0.99 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای این صنعت در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸، % ۲۲/۴۹ است. این مقدار نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

جدول ۱۳. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید منسوجات (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	۰/۰۵	-۰/۲۲	-۰/۸۷	-۰/۸۹	-۰/۱۷	-۰/۱۹	۰/۲۶
α	۱/۰۱	۰/۹۳	۰/۹۶	۱/۱۸	۰/۹۸	۰/۷۲	۱/۲۱
R	۹/۸	۱۸	۶/۳	۲/۵	۲۴/۵	۱۷/۲	-۱۰/۳
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۳۱	-۰/۱۷	-۰/۰۵	-۰/۱۷	-۰/۰۸	-۰/۲۹	-۰/۳۷
α	۰/۹۸	۰/۹۶	۱	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶
R	۱۶/۱	۴۰/۱	۶۹/۷	۴۱	۱۳/۳	۲۲/۴	۲۳/۹

اقتصادی (α) ، ۹۸/۰ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای صنعت تولید پوشاک، % ۳۴۲/۲۴ است. این رقم نشان‌دهنده مقدار بالای اثر بازگشتی این صنعت در طول دوره می‌باشد. در این حالت که اثر بازگشتی بزرگ‌تر از ۱۰۰ به دست آمده، پیشرفت تکنولوژی در جهت بهبود کارایی، موجب افزایش مصرف انرژی شده و اثر معکوس دارد.

جدول ۱۴ نشان‌دهنده آمار و ارقام این صنعت در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

۶,۳,۴ صنعت تولید پوشاک- عمل آوردن و رنگ کردن و ...

صنعت تولید پوشاک با کد ۱۸ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۲ فعالیت و ۸۱ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه دارای شدت انرژی با میانگین ۰/۳۲ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش‌افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ) ، -0.37 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد

جدول ۱۴. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید پوشاک و عمل آوردن و رنگ کردن و ... (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۱/۲۹	-۱/۷۳	-۰/۳۶	-۰/۳۶	-۰/۱۹	-۰/۰۸	-۰/۵۹
α	۱/۰۱	۰/۸۵	۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۰۲	۱/۱۵	۰/۸۷
R	۶۳/۸	۱۷۹/۲	۵۲۴/۸	۶۳۵/۰	۴۱۴/۲	۴۸۱/۵	۹۰/۹
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۸۱	۰/۲۷	۰/۱۳	-۰/۱۸	-۰/۳۲	-۰/۲۶	-۰/۱۵
α	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۵	۱/۰۹	۰/۸۲	۱/۱۲	۱/۰۸
R	۳۰۴/۷	-۸۶/۶	-۳۸۶/۵	۴۰۸/۶	۲۷۰/۶	۴۵۹/۲	۴۸۷/۹

۶,۳,۵ صنعت دباغی و عمل آوردن چرم و ساخت کیف و ...

صنعت دباغی و عمل آوردن چرم و ساخت کیف و ... با کد ۱۹ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۳ فعالیت و ۹۵ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه دارای شدت انرژی با میانگین ۰/۳ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش‌افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، -0.26.

و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.03 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای صنعت تولید، ۱۶۱/۵۸٪ است. اثر بازگشتی مقداری بالاتر از ۱۰۰ دارد و بهبود تکنولوژیکی اثر معکوس بر مصرف انرژی گذارده است.

جدول ۱۵ نشان‌دهنده نتایج حاصل از انجام محاسبات در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۱۵. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت دباغی و عمل آوردن چرم و ساخت کیف و ... (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۰۷	-۰/۵۱	-۰/۲۳	-۰/۵۹	-۰/۱۲	-۰/۰۷	-۰/۶۴
α	۰/۸۵	۱/۰۶	۱/۰۱	۱/۰۴	۰/۷۴	۱/۴	۰/۵۵
R	۱۱۳/۰	۱۸/۸	۴۹	۱۶۹/۹	۲۷۲/۱	۳۵۰/۱	۴۸/۸
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	۰/۰۷	۰/۲۹	-۰/۰۱	-۰/۱۴	-۰/۶۷	-۰/۴۹	-۰/۴۸
α	۰/۸۵	۱/۱۳	۰/۹۸	۱/۰۹	۰/۷۴	۱/۴۹	۱/۵۵
R	-۳۴۹/۸	-۳۰۶/۷	۳۰۵/۱	۶/۰	۱۵۴/۶	۱۴۷/۴	۱۱۴/۴

۶,۳,۶ صنعت تولید چوب و محصولات چوبی

صنعت تولید چوب، محصولات چوبی و ... با کد ۲۰ در طبقه‌بندی ISIC دارای ۵ فعالیت و ۱۶۵ محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۸۵ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش‌افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، -0.24 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.00 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای این صنعت برابر با

۱۵۷/٪ است. این رقم بدین معنی است که علاوه بر آن مقدار انرژی که در اثر پیشرفت تکنولوژیکی و بهبود کارایی در این صنعت می‌بایست ذخیره می‌شد، مقدار اضافه‌تری هم به اندازه ۵۷/۶۵٪ آن انرژی اولیه، مصرف می‌شود و اثر معکوس رخ می‌دهد.

جدول ۱۶ نتایج به‌دست‌آمده برای صنعت تولید چوب و محصولات چوبی را در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ نشان می‌دهد.

جدول ۱۶. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید چوب و محصولات چوبی (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	۰/۰۷	-۰/۳۲	۰/۱۲	-۰/۲۷	-۰/۱۴	-۰/۱۸	-۰/۳۴
α	۰/۸	۰/۸۶	۱/۱۰	۱/۳۸	۰/۷۷	۱/۲۶	۱/۱۰
R	-۱۴۹/۳	۱۰۷/۰	-۹۴/۳	۱۲۹/۷	۱۴۹/۱	۳۰۴/۹	۵۶/۲
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۴۴	۰/۱۴	-۰/۹۸	-۰/۶۵	-۰/۰۴	-۰/۴۲	۰/۲۴
α	۰/۷۹	۱/۳۰	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۸۰	۰/۹۹	۱/۰۱
R	۹۶/۴	-۱۸۳/۵	۲۵۰/۴	۱۷۵/۴	۲۱۳/۴	۱۳۱/۵	-۱۶۶/۰

تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.03 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای این صنعت برابر با % ۱۰۰/۰۸ است. این بدین معنی است که عیناً همان مقدار انرژی ذخیره شده توسط اثر پیشرفت تکنولوژیکی در بهبود کارایی، به علت بهبود تکنولوژیکی و اثر آن در رشد اقتصادی، مصرف می‌شود و در واقع انگار صرفه‌جویی صورت نگرفته است. جدول ۱۷ نشان‌دهنده آمار صنعت ساخت کاغذ و محصولات کاغذی در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ است.

۶,۳,۷ صنعت ساخت کاغذ و محصولات کاغذی

صنعت ساخت کاغذ و محصولات کاغذی با کد ۲۱ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۳ فعالیت و ۱۷۹ محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۱/۵۷ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، -0.24 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل

جدول ۱۷. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت ساخت کاغذ و محصولات کاغذی (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	۰/۲	-۰/۴۴	-۰/۲۷	-۰/۲	-۱/۵	-۰/۴۲	-۰/۲۳
α	۰/۹۱	۱/۱۲	۰/۹۵	۱/۰۷	۰/۹۱	۰/۹۰	۱/۱۴
R	-۳۸/۴	۱۱۲/۷	۹۶/۷	۳۹/۴	۲۱/۴	۸۹/۲	۱۳۴/۸
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۲۴	۰/۱۹	-۰/۸۵	-۰/۰۹	۰/۰۳	-۰/۲۵	-۰/۱۳
α	۱	۰/۹۵	۱/۰۴	۰/۹۵	۱/۳۰	۰/۹۵	۱/۲۶
R	۸۰/۸	-۹/۶	۶۴/۵	۲۸۴/۲	-۱۶۵/۴	۵۱/۱	۲۱۳/۱

به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، -0.045 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.08 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای صنعت انتشار و چاپ و تکثیر و رسانه‌های ضبط شده، % ۱۶۲/۷

۶,۳,۸ صنعت انتشار و چاپ و تکثیر و رسانه‌های ضبط شده

صنعت انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده با کد ۲۲ در طبقه‌بندی ISIC، دارای ۷ فعالیت و ۴۰ محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۵ بشکه معادل نفت خام

است. اثر بازگشتی بزرگتر از ۱۰۰ نشان‌دهنده اثر معکوس می‌باشد. جدول ۱۸ نشان‌دهنده آمار صنعت انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ است.

جدول ۱۸. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	۰/۸۲	۱/۱۶	-۰/۱۲	-۰/۰۸	-۰/۱۷	-۰/۳۶	-۰/۶۹
α	۱/۶۴	۰/۷۶	۱/۱۳	۱/۴۴	۱/۰۱	۰/۹۲	۰/۸۱
R	-۱/۰	-۱/۵	۱۴۲/۶	۱۹۴/۶	۲۹۴/۶	۱۰۲/۱	-۸۹/۳
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۲۷	-۰/۰۹	-۰/۱۵	-۰/۲۵	-۰/۳۱	۰/۱۸	-۰/۳۰
α	۱/۴۴	۰/۸۴	۱/۱۲	۰/۸۲	۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۲
R	۳۸۵/۷	۳۱۱/۱	۱۰۷/۷	۱۴۲/۷	۱۸۶/۷	-۲۰/۵	۲۹۲/۷

اقتصادی (α)، 1.08 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت برابر با ۱۵/۷۴٪ است. که نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد مورد انتظار است.

جدول ۱۹ نشان‌دهنده محاسبات اثر بازگشتی صنعت تولید زغال کک در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

۶,۳,۹ صنعت تولید زغال کک-پالایشگاه‌ها

صنعت تولید کک و فرآورده‌های حاصل از نفت و سوخت هسته‌ای با کد ۲۳ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۳ فعالیت و ۹۳ محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۱/۷۰ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش‌افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، -0.35 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد

جدول ۱۹. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید زغال کک (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۲	-۰/۵۸	-۰/۵۵	۰/۰۸	-۱/۱۷	-۰/۵۴	۰/۰۹
α	۱/۲۸	۱/۰۵	۰/۵۳	۱/۲۱	۱/۳۵	۱/۴۲	۱/۰۸
R	۲۳/۸	۴/۸	۱/۴	-۲۲/۷	۵/۴	۱۴/۴	-۳۶/۳
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	۰/۰۹	-۰/۳۷	۰/۰۲	-۰/۶۸	-۰/۰۸	-۰/۱۲	-۰/۹۷
α	۱/۴۰	۰/۴۴	۱/۰۹	۰/۵۷	۱/۴۱	۱/۵۷	۰/۷۳
R	-۵/۵	۵/۴	-۶۷/۰	۳/۷	۲۱/۱	۳/۲	۵/۷

۶،۳،۱۰ صنعت ساخت مواد و محصولات شیمیایی

صنعت ساخت مواد و محصولات شیمیایی با کد ۲۴ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۹ فعالیت و ۱۵۶۹ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۸۶ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، ۰-۰.۳ و میانگین

اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، ۱.۰۸ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت برابر با ۴۲٪ است. این مقدار نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۰ نشان‌دهنده محاسبات اثر بازگشتی این صنعت در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۲۰. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت ساخت مواد و محصولات شیمیایی (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۱/۷۵	۰/۶۴	-۰/۷۸	-۰/۱۰	-۱/۴۲	-۰/۰۱	۰/۱۷
α	۱/۳۵	۱/۰۸	۰/۹۷	۱/۵۹	۰/۶۹	۰/۶۱	۱/۱۹
R	۰/۵	-۰/۴	۶	۶/۳	۲	۴	-۱۸/۲
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۱۴	-۰/۲۷	-۰/۳۵	۰/۱۴	-۰/۰۷	-۰/۰۱	-۰/۳۱
α	۰/۹۸	۰/۷۶	۱/۰۲	۱/۱۰	۱/۳۳	۱/۰۸	۱/۴۶
R	-۰/۱	۸/۱	۸/۰	-۴/۵	۱۹/۰	۱۰۱/۸	۹

۶،۳،۱۱ صنعت محصولات لاستیکی و پلاستیکی

صنعت محصولات لاستیکی و پلاستیکی با کد ۲۵ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۳ فعالیت و ۴۱۴ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۴۰ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، ۰-۰.۱ و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و

رشد اقتصادی (α)، ۰.۰۰۱ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت محصولات لاستیکی و پلاستیکی، % ۶۱/۳۵ است. که نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۱ آمار و ارقام مربوط به محاسبه اثر بازگشتی این صنعت را در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ نشان می‌دهد.

جدول ۲۱. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت محصولات لاستیکی و پلاستیکی (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۱۶	۰/۴۸	-۰/۱۶	۰/۰۴	-۰/۵۰	-۰/۰۸	-۰/۰۴
α	۱/۳۰	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۸	۱/۰۲
R	۸/۷	-۳/۱	۴۷/۳	-۹/۲	۴۱/۴	۳۹/۰	۲۲۰/۱
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۰۶	-۰/۰۶	-۰/۱۴	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۰۵	-۰/۴۹
α	۱/۰۳	۰/۹۹	۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۲
R	۲۷/۶	۱۰۰/۷	۵۲/۰	۱۷۰/۷	۹۹/۷	۲/۳	۳۷/۲

۶,۳,۱۲ صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی

صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی با کد ۲۶ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۸ فعالیت و ۳۵۸ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۳/۴۲ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، -0.17 و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل

جدول ۲۲. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۱۸	-۰/۱۵	-۰/۳۷	-۰/۲۱	-۰/۳۱	-۰/۳۷	-۰/۰۴
α	۱/۱۱	۰/۷	۰/۹۹	۱/۰۹	۰/۹۴	۰/۸۹	۱/۲۲
R	۹/۸	۱۴/۵	۱۱/۱	۱۱/۹	۱۱/۶	۸/۵	۱۱۷/۷
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۰۹	-۰/۰۱	-۰/۲۶	-۰/۳۸	-۰/۰۶	-۰/۰۶	۰/۰۱
α	۰/۵۷	۰/۸۹	۱/۰۴	۰/۷۵	۰/۹۹	۱/۰۹	۱/۲۲
R	۹	۱۲۰/۱	۱۴/۱	۸/۵	۱۸/۵	۱۴/۹	-۱۲۱/۱

رشد اقتصادی ۰۶/۱، (α) می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی، % ۱۰/۵۹ است. که نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۳ آمار و ارقام مربوط به محاسبه اثر بازگشتی این صنعت را در طول دوره ۱۳۸۸-۱۴۰۲ نشان می‌دهد.

جدول ۲۳. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت ساخت فلزات اساسی (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۵۹	-۰/۰۵	-۰/۴۴	-۰/۱۵	-۰/۵۱	-۰/۵۲	-۰/۲۲
α	۱/۰۷	۰/۹	۱/۲۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۳	۱/۳۲
R	۲/۷	۳۶/۰	۱۱/۱	۳/۵	۵/۹	۶/۸	۱۶/۹
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۰۸	-۰/۲۲	-۰/۵۴	-۰/۰۹	-۰/۳۴	-۰/۲۵	-۰/۲۳
α	۱/۱۶	۱/۲۱	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۱۶	۰/۹۳	۱/۲۳
R	۹/۷	۹/۷	۴/۹	۶/۳	۵/۲	۸/۸	۲۰/۸

۶,۳,۱۳ صنعت ساخت فلزات اساسی

صنعت ساخت فلزات اساسی با کد ۲۷ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۴ فعالیت و ۲۳۳ محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۱/۹۳ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، ۳۰/۰- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و

تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی ۰۳/۱، α می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین آلات و تجهیزات، % ۳۰/۴ است. این مقدار نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد مورد انتظار است. جدول ۲۴ آمار و ارقام مربوط به محاسبه اثر بازگشتی این صنعت را در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ نشان می‌دهد.

۶,۳,۱۴ صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین‌آلات و تجهیزات

صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین‌آلات و تجهیزات با کد ۲۸ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۷ فعالیت و ۴۲۲ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۳۱ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۲۵/۰، δ ، و میانگین اثر تکنیکی در

جدول ۲۴. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین‌آلات و ... (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	۰/۲۶	-۱/۶	-۰/۱۳	-۰/۳۶	-۰/۰۳	-۰/۲۱	-۰/۱۷
α	۰/۹۴	۱/۱۹	۰/۸۸	۰/۹۷	۱/۰۲	۱/۰۸	۰/۸۸
R	-۵/۷	۱۹/۸	۳۳/۰	۲۷/۸	۱۴۱/۸	۲۷/۰	۱۷/۹
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۱۹	-۰/۲۶	-۰/۴۲	-۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۱	-۰/۴۹
α	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۹	۰/۹۰	۰/۹۷	۱/۵۴	۰/۹۵
R	۳۷/۱	۲۷/۷	۳۵/۸	۴/۰	-۱/۲	-۲۶/۸	۲۰/۰

۰۰/۱، α می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر، % ۳۹/۵ است. این مقدار نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۵ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

۶,۳,۱۵ صنعت تولید ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر

صنعت تولید ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر با کد ۲۹ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۱۵ فعالیت و ۱۳۰۱ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۲۷ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۱۵/۰، δ ، و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی

جدول ۲۵. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید ماشین و تجهیزات طبقه بندی نشده در جاهای دیگر (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۱۹	-۰/۰۹	-۰/۱۹	-۰/۰۴	-۰/۳۳	-۰/۲۱	-۰/۲۳
α	۰/۹۹	۱/۰۵	۱	۱	۰/۹۸	۱/۰۴	۰/۹۵
R	۵/۲	۴۱/۱	۲۱/۱	۳۴/۵	۲۳/۷	۲۱/۱	۲۲/۳
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۱۳	-۰/۲۶	-۰/۳۱	-۰/۱۷	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۱
α	۱/۰۷	۰/۹۹	۱	۱/۰۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۱/۰۱
R	۳۱/۴	۲۴/۲	۲۴/۶	۱۶/۵	۲۴/۹	۱۷۷/۵	۸۶

اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید ماشین آلات اداری و حسابداری، % ۳۹۹/۵ است. این رقم نشان دهنده اثر معکوس است، بدین معنی که بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی نه تنها موجب کاهش مصرف انرژی گردیده، بلکه آن را به مقدار زیادی افزایش داده است.

جدول ۲۶ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می باشد.

جدول ۲۶. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید ماشین آلات اداری و حسابداری (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	۰/۹۲	-۰/۹۸	-۰/۱۶	۰/۱۶	-۰/۱۵	۰/۲۴	-۱/۶۱
α	۱/۱۳	۱/۰۸	۱/۱۳	۱/۱۶	۰/۸۱	۱/۱۷	۱/۱۵
R	-۲۳۶/۵	۳۱۲/۴	۵۷۴/۵	-۲۶۶/۲	۴۹۹/۵	۳۹۷/۰	۳۸۱/۷
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۱۴	-۰/۲۸	-۰/۰۶	-۰/۶۱	-۰/۰۴	-۰/۳۸	۰/۰۸
α	۱/۷۳	۰/۶۷	۱/۱۶	۱/۹۰	۱/۵۵	۱/۰۸	۰/۶۴
R	۴۸۰/۶	۳۲۵/۵	۵۳۵/۲	۴۲۴/۶	۵۸۳/۶	۲۴۰/۰	-۳۳۵/۷

میانگین شدت انرژی ۰/۲۱ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۲۸/۰، δ ، و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی ۰۶/۱، α می باشد. میانگین

۶,۳,۱۶ صنعت تولید ماشین آلات اداری و حسابداری

صنعت تولید ماشین آلات اداری و حسابداری با کد ۳۰ در طبقه بندی ISIC شامل ۱ فعالیت و ۱۳۸ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۰۷ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۲۱/۰، δ ، و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی ۱۷/۱، α می باشد. میانگین

۶,۳,۱۷ صنعت تولید ماشین آلات مولد و انتقال برق

صنعت تولید ماشین آلات مولد و انتقال برق با کد ۳۱ در طبقه بندی ISIC شامل ۶ فعالیت و ۵۵۲ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با

جدول ۲۷ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می-باشد.

اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت برابر با % ۴۵/۱۴ است. این مقدار نشان دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم-تر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۷. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید ماشین آلات مولد و انتقال برق (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۴۹	-۰/۰۷	-۰/۵۴	-۰/۵۹	-۰/۱۸	-۰/۱۶	-۰/۴۲
α	۰/۸۷	۱/۲	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۹	۱/۳۱	۱/۶۸
R	۵/۵	۱۰۸/۳	۲۹	۲۶/۹	۴۷/۱	۴۰/۸	۱۲۵/۷
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۰۶	-۰/۰۹	۰/۰۹	-۰/۶۲	-۰/۲۸	-۰/۲۵	-۰/۲۹
α	۰/۶۵	۰/۹۶	۰/۹۸	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۰۹	۱/۰۱
R	۸۰/۷	۱۵	-۷۳/۶	۳۰/۵	۲۵/۵	۷/۳	۱۶/۱

محاسبه شده برای صنعت تولید رادیو و تلویزیون، % ۱۵۶/۵۷ است. این رقم نشان دهنده اثر معکوس است، بدین معنی که بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی نه تنها موجب کاهش مصرف انرژی گردیده، بلکه آن را به مقدار زیادی افزایش داده است.

جدول ۲۸ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می-باشد.

۶,۳,۱۸ صنعت تولید رادیو و تلویزیون

صنعت تولید رادیو و تلویزیون با کد ۳۲ در طبقه بندی ISIC شامل فعالیت و محصول می باشد. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۰۸ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۳۳/۰، (δ) - و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی ۱۶/۱، (α) می باشد. میانگین اثر بازگشتی

جدول ۲۸. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید رادیو و تلویزیون (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۲	-۱/۳۸	-۰/۴۹	-۰/۰۳	۰/۱۱	-۰/۰۳	-۱/۳۷
α	۱/۳۱	۱/۴۶	۱/۰۴	۰/۹۷	۱/۰۸	۱/۲۹	۱/۰۱
R	۳۸/۴	۸۸/۹	۴۶/۰	۲۱۲/۲	-۱۸۱/۴	۱۳۲/۳	۷۴/۰
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۰۴	-۰/۲۳	-۰/۰۱	-۰/۲۸	-۰/۱۷	-۰/۲۷	-۰/۲۶
α	۱/۶۶	۰/۹۱	۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۲۴	۰/۹۴	۱/۲۱
R	۳۵۶/۷	۴۸/۹	۴۳۸/۳	۲۷/۸	۱۳۷/۸	۲۱۷/۳	۱۹۲/۱

۶,۳,۱۹ صنعت تولید ابزار پزشکی، ابزار اپتیکی

و

صنعت تولید ابزار پزشکی، ابزار اپتیکی، ابزار دقیق، ساعت‌های مچی و انواع دیگر ساعت با کد ۳۳ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۵ فعالیت و ۴۰۶ محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۲۵ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۰/۲۲، (δ) و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی ۰/۴۱ (α)، می‌باشد. میانگین

اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای صنعت تولید ابزار پزشکی، ابزار اپتیکی، ابزار دقیق، ساعت‌های مچی و انواع دیگر ساعت، % ۱۷۲/۷۲ است. این رقم نشان‌دهنده‌ی اثر معکوس است، بدین معنی که بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی نه‌تنها موجب کاهش مصرف انرژی گردیده، بلکه آن را به مقدار زیادی افزایش داده است.

جدول ۲۹ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۳۸۸-۱۴۰۲ می‌باشد.

جدول ۲۹. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید ابزار پزشکی، اپتیکی و ... (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۱۲	۰/۲	-۰/۴۱	-۰/۸۹	۰/۱۱	-۰/۵۰	-۰/۴۱
α	۱/۰۴	۱/۱۶	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۹	۱/۲۴	۱/۰۱
R	۲۲۴/۳	-۱۹۷/۱	۵۸/۴	۱۳۰/۱	-۱۰۰/۱	۲۳۷/۰	۷۶۲/۰
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	۰/۰۵	-۰/۵۷	۰/۱۵	-۰/۸۱	-۰/۵۳	۰/۲۱	۰/۳۸
α	۰/۸۳	۱/۱۲	۰/۸۳	۱/۳۶	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۲۰
R	-۲۰/۲	۸۶/۳	-۱۷۳/۵	۲۱۵/۴	۱۱۹/۷	-۷۸/۷	-۱۵/۳

وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی ۱۶/۱ (α)، می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای این صنعت برابر با % ۸/۲۴ است. این مقدار نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد مورد انتظار است.

جدول ۳۰ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۳۸۸-۱۴۰۲ می‌باشد.

۶,۳,۲۰ صنعت تولید وسایل نقلیه موتوری،

تریلر و نیم‌تریلر

صنعت تولید وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم‌تریلر با کد ۳۴ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۳ فعالیت و ۳۰۹ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۰ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۰/۲۳، (δ) و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره-

جدول ۳۰. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم‌تریلر (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۰/۳۴	-۰/۷۹	-۰/۴۱	-۰/۳۲	-۰/۳۴	-۰/۶۵	۰/۰۸
α	۰/۹۲	۱/۳۱	۱/۲۵	۱/۳۸	۰/۷۵	۱/۲۷	۱/۴۲
R	۰/۳	۱۴/۶	۱۵/۸	۱۲/۹	۰/۱	۸/۷	-۷/۱
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۰۹	-۰/۳۷	-۰/۱۹	-۰/۱۹	-۰/۲۷	-۰/۱	۰/۰۳
α	۰/۷۵	۱/۲۷	۰/۸۷	۱/۲۹	۱/۴۲	۱/۰۵	۱/۳۱
R	۱۳/۴	۸/۸	۰/۲	۱۱/۶	۸/۵	۴/۷	-۸/۷

رشد اقتصادی ۰۲/۱، α می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای صنعت تولید سایر تجهیزات حمل‌ونقل، % ۷۱/۴۲ است. این مقدار نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کم‌تر از حد انتظار است.

جدول ۳۱ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

۶,۳,۲۱ صنعت تولید سایر تجهیزات حمل‌ونقل

صنعت تولید سایر تجهیزات حمل‌ونقل با کد ۳۵ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۷ فعالیت و ۱۸۲ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۸ بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۲۷۵/۰، δ - و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و

جدول ۳۱. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت سایر تجهیزات حمل‌ونقل (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	-۱/۷۱	-۰/۱۲	-۰/۲	-۰/۴۶	-۰/۴۵	-۰/۹	-۰/۱۵
α	۰/۶۵	۱/۰۵	۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۳۳	۱/۱۲	۰/۸۲
R	۳/۷	۲۵۵/۹	۱۹۳/۵	۱۰۹/۸	۹۷/۹	۵۱/۴	۳۲/۵
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۴۳	-۰/۳۹	۱/۲۵	-۰/۰۷	-۰/۲۳	-۰/۱۹	۰/۲
α	۱/۳۴	۱/۱۶	۰/۹۷	۱/۰۸	۱/۰۶	۰/۹۰	۰/۹۰
R	۱۰/۸	۲۳/۳	-۴۶/۵	۶۴/۰	۱۴/۱	۷۵/۰	-۲۱/۶

معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی ۱۶/۰، δ - و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی ۹۵/۰، α می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه‌شده برای صنعت تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده

۱) صنعت تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر

صنعت تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر با کد ۳۶ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۶ فعالیت و ۳۱۳ محصول است. این صنعت در طول دوره مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۲۸ بشکه

جدول ۳۲ شامل نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می-باشد.

در جای دیگر، ۱۶۶/۶۰٪ این رقم نشان‌دهنده اثر معکوس است، بدین معنی که بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی نه تنها موجب کاهش مصرف انرژی گردیده، بلکه آن را به مقدار زیادی افزایش داده است.

جدول ۳۲. نتایج حاصل از محاسبه اثر بازگشتی صنعت تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر (منبع: تحقیق حاضر)

سال	۸۸/۸۹	۸۹/۹۰	۹۰/۹۱	۹۱/۹۲	۹۲/۹۳	۹۳/۹۴	۹۴/۹۵
δ	۰/۰۹	-۰/۲۷	۰/۰۲	-۰/۳۶	۰/۱۷	-۰/۴۸	-۰/۶۴
α	۰/۹۶	۰/۶۴	۰/۸۲	۰/۹۴	۰/۸۷	۱/۲۹	۰/۹
R	-۱۵۹/۱	۱۶۴/۵	-۳۶۳/۷	۲۳۶/۰	-۱۹۲/۷	۱۹۵/۶	۶۷/۷
سال	۹۵/۹۶	۹۶/۹۷	۹۷/۹۸	۹۸/۹۹	۹۹/۰۰	۰۰/۰۱	۰۱/۰۲
δ	-۰/۴۲	۰/۲۸	-۰/۰۷	-۰/۳۹	-۰/۰۷	۰/۱۴	-۰/۲۶
α	۰/۸۷	۱/۰۸	۰/۹۵	۱/۰۳	۰/۹۱	۱/۰۸	۰/۹۵
R	۱۱۲/۲	-۱۲/۱	۲۸۴/۳	۱۷۴/۳	۱/۵	-۱۴۶/۲	۲۲۲/۶

گرفته شوند و راهکارهای مناسبی برای مدیریت و کاهش این عدم قطعیت ارائه شود. هدف این نوآوری افزایش پایداری و اعتمادپذیری سیستم تولید برق با تأکید بر بهره‌وری انرژی و کاهش اثرات منفی عدم قطعیت انرژی است.

نتایج پژوهش در راستای الویت‌بندی عوامل تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی با استفاده از تکنیک فازی ارائه شد. با توجه به میزان فاصله نزدیکی (شاخص شباهت)، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند؛ به گونه‌ای که گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر، در الویت قرار دارند. در مرحله آخر، گزینه‌ها به ترتیب از بزرگ‌ترین به کوچک‌ترین شاخص رتبه‌بندی شده‌اند.

در این مسیر ۵ تکنولوژی مختلف برق خورشیدی، برقایی، سوخت‌های فسیلی، بادی و زغال‌سنگ در تولید برق با تأکید بر عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفت، این ۵ تکنولوژی با توجه به آب و هوا و جغرافیای ایران بود که می‌تواند در کشورهای دیگر، تکنولوژی‌های دیگری نیز ورود پیدا کند یا برخی از

۷ نتیجه‌گیری

این موضوع به تحلیل و شناسایی عواملی می‌پردازد که در تکنولوژی‌های مختلف مورد استفاده در تولید برق، عدم قطعیت انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. عدم قطعیت انرژی به معنای وجود عوامل مختلفی است که می‌توانند تولید و تأمین انرژی را تحت تأثیر قرار دهند، مانند تغییرات آب و هوا، نوسانات قیمت سوخت، مشکلات عملیاتی و غیره.

این نوآوری بر اساس تحلیل داده‌ها و روش‌های مدل‌سازی، به بررسی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق می‌پردازد. با شناسایی و تحلیل این عوامل، می‌توان بهبود و بهینه‌سازی تکنولوژی‌های مورد استفاده در تولید برق را به منظور کاهش تأثیر عدم قطعیت انرژی مورد بررسی قرار داد.

مطابق با مطالعات انجام‌شده (وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۷))، (هانتز^۲ و همکاران (۲۰۲۱)) پژوهش به دنبال این است که عوامل عدم قطعیت انرژی در نظر

^۲ Hunter

^۱ Wang

که در حوزه تکنولوژی‌های جدید و پیشرفته جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی فعالیت می‌کنند، ارائه دهند.

(۴) تنظیم وضعیت قانونی: دولت‌ها می‌توانند قوانین و مقررات مربوط به تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی را تنظیم و به‌روزرسانی کنند. این شامل تنظیم استانداردها، ایجاد راهنماها و دستورالعمل‌ها و تنظیم قوانین مربوط به مجوزها و پروانه‌های تولید برق است.

(۵) ارتقای آموزش و آگاهی: دولت‌ها می‌توانند برنامه‌ها و برنامه‌های آموزشی را برای ارتقای آموزش و آگاهی در زمینه تکنولوژی‌های جدید جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی ارائه دهند. این شامل سازمان‌دهی دوره‌های آموزشی، کارگاه‌ها، کنفرانس‌ها و سمینارها می‌شود.

(۶) همکاری بین‌المللی: دولت‌ها می‌توانند در زمینه همکاری بین‌المللی و تبادل تجربیات با کشورهای دیگر در حوزه تکنولوژی‌های جدید جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی فعالیت کنند.

مطابق با مطالعه موردی مورد بررسی مانند دیگر کشورها، ایران نیز اصلی‌ترین راه را برای حفاظت از انرژی، بهبود کارایی انرژی به‌واسطه پیشرفت تکنولوژیکی می‌داند. اثر بازگشتی آشکار می‌سازد که پیشرفت تکنولوژیکی نه‌تنها کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد، بلکه رشد اقتصادی را ترقی داده و تقاضا برای انرژی را افزایش می‌دهد. این افزایش انرژی می‌تواند انرژی ذخیره شده به‌واسطه بهبود کارایی انرژی را خنثی کند. در برخی بخش‌ها، ممکن است وجود این اثر حتی منجر به افزایش مصرف نیز شود. وجود اثر بازگشتی در بخش‌های مختلف صنایع کارخانه‌ای ایران نیز امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. محاسبه و بررسی اثر بازگشتی انرژی در صنایع کارخانه‌ای به علت اهمیت این صنایع به‌عنوان موتور

این تکنولوژی‌ها حذف شود در این راستا، ابتدا پرسش‌نامه‌ای با ۲۶ آیتم تهیه و در اختیار خبرگان قرار گرفت تا نظریات کارشناسان را در رابطه با اهمیت این آیتم‌ها بررسی شود. در ادامه برخی از آیتم‌ها را حذف شد در پایان ۱۱ معیار برای سنجش اینکه کدام تکنولوژی می‌تواند برای جامعه ایران و در روزگار فعلی، بهترین گزینه برای عدم قطعیت باشد مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان‌دهنده آن است که شاخص سوخت‌های فسیلی (A3) بیشترین نزدیکی را به جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل منفی دارا می‌باشد و الویت نخست مدل تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی از لحاظ معیارهای مورد نظر برای تاب‌آوری مدل تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی می‌باشد. این بدین معناست که سرمایه‌گذاری بر روی شاخص سوخت‌های فسیلی می‌تواند بالاترین مطلوبیت را برای منطقه از لحاظ شاخص‌های تعریف‌شده ایجاد نماید.

سیاست‌های دولتی در خصوص شناسایی عوامل مؤثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی می‌تواند متنوع و گسترده باشد. در زیر چند سیاست کلی که دولت‌ها ممکن است در این زمینه اتخاذ کنند آورده شده است:

(۲) تشویق به تحقیق و توسعه: دولت‌ها می‌توانند برنامه‌ها و سیاست‌هایی را برای تشویق به تحقیقات و توسعه در زمینه تکنولوژی‌های نوین جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی ارائه دهند. این شامل ارائه تسهیلات مالی، کمک‌های مالی، تخصیص منابع و همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی می‌شود.

(۳) ارائه تشویق‌های مالی: دولت‌ها می‌توانند تشویق‌های مالی مانند اعطای تسهیلات وام با بهره کم، اعفای مالیاتی، پاداش‌های مالی و سایر امتیازات مالی را برای شرکت‌ها و سازمان‌هایی

تریلر و نیم‌تریلر (۳۴) و صنعت تولید سایر تجهیزات حمل‌ونقل (۳۵)، با شدت انرژی به ترتیب، ۰/۱،۶۲/۰۹، ۰/۳۱، ۱/۳،۹۳/۰،۴۲/۰،۴۰/۱،۸۶/۷۰، ۲۱/۲۷، ۱۸/۰،۱/۰، ۰/۱۸/۰، بشکله معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری دارای میانگین اثر بازگشتی به ترتیب % ۸/۳، % ۲۲/۴۹، % ۱۵/۷۴، % ۱۳/۴۲، % ۶۱/۳۵، % ۰۹/۳۵، % ۱۰/۵۹، % ۳۰/۴۰، % ۳۹/۵۰، % ۴۵/۱۴، % ۲۴/۸، % ۷۱/۴۲ می‌باشند. در این صنایع کاهش مصرف انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی و به دنبال آن بهبود کارایی، کم‌تر از مقدار مورد انتظار است.

➤ اثر بازگشتی بیشتر از ۱۰۰ باشد، این حالت را اثر معکوس می‌نامند، در این حالت بهبود کارایی انرژی نه تنها کاهش مصرف انرژی را به دنبال نخواهد داشت، بلکه موجب افزایش مصرف انرژی نیز خواهد شد. با محاسبات انجام‌شده آشکار شد که برخی از صنایع نظیر صنعت تولید محصولات از توتون و تنباکو (۱۶)، صنعت تولید پوشاک و عمل آوردن و رنگ کردن پوست خزدار (۱۸)، صنعت دباغی و عمل‌آوردن چرم و ساخت کیف و چمدان و زین و یراق و تولید کفش (۱۹)، صنعت تولید چوب و محصولات چوبی و چوب‌پنبه به جز مبلمان (۲۰)، صنعت تولید کاغذ و محصولات کاغذی (۲۱)، صنعت انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (۲۲)، صنعت ماشین‌آلات اداری و حسابداری (۳۰)، صنعت تولید رادیو و تلویزیون و وسایل ارتباطی و آپارات (۳۲)، صنعت تولید ابزار پزشکی، ابزار اپتیکی، ابزار دقیق، ساعت‌های مچی و انواع دیگر ساعت (۳۳)، صنعت تولید مبلمان و دیگر مصنوعات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر (۳۶) با شدت انرژی به ترتیب، ۰/۰،۳۲/۱۶،

رشد اقتصادی، لازم و ضروری می‌باشد، از آنجاکه می‌تواند در تبیین اقدامات و سیاست‌های اتخاذ شده در مورد این صنایع، دولت‌مردان و مسؤولین را مساعدت نماید.

همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد برای اثر بازگشتی سه حالت متصور گردید:

➤ اثر بازگشتی منفی که غیر متدوال است و فقط در مواقع خاصی رخ می‌دهد. منفی بودن اثر بازگشتی را باید به افزایش شدت انرژی نسبت داد، بدین معنی که کارایی انرژی بهبود نمی‌یابد، زمانی که اثر تکنیکی شدت انرژی بزرگ‌تر از صفر باشد، این نشان می‌دهد که ساختار غیر منطقی اقتصادی مانع از بهبود کارایی انرژی شده، بنابراین صرفه‌جویی انرژی کل اقتصاد را بلوکه می‌کند. مشاهده شد که در برخی از صنایع، در سال‌هایی این اتفاق رخ داده است.

➤ اثر بازگشتی بین ۰ تا ۱۰۰ باشد، این حالت نشان‌دهنده این است که کاهش مصرف انرژی ناشی از بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی، کم‌تر از میزان مورد انتظار است. محاسبه میانگین اثر بازگشتی در صنایع آشکار می‌کند که صنعت مواد غذایی و آشامیدنی (۱۵)، صنعت منسوجات (۱۷)، صنعت تولید کک و فرآورده‌های حاصل از نفت و سوخت هسته‌ای (۲۳)، صنعت ساخت مواد و محصولات شیمیایی (۲۴)، صنعت ساخت محصولات از لاستیک و پلاستیک (۲۵)، صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (۲۶)، صنعت تولید فلزات اساسی (۲۷)، صنعت ساخت محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین‌آلات و تجهیزات (۲۸)، صنعت ساخت ماشین-آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر (۲۹)، صنعت ماشین‌آلات مولد برق (۳۱)، صنعت وسایل نقلیه موتوری و

و نیم‌تریلر با شدت انرژی ۰/۱ دارای کم‌ترین میانگین اثر بازگشتی % ۸/۲۴ می‌باشد.

تأمین مالی

نویسندگان اعلام کردند که هیچ حمایت مالی برای این پژوهش وجود ندارد.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان در مفهوم‌سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان محتوای مقاله را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق داشتند.

۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۲۸، ۰/۰۸، ۰/۰۷، ۰/۱۵، ۱/۰، ۵۷/۸۵، ۰/۲۸، ۰/۳
بشکه معادل نفت خام به ازای یک میلیون ریال ارزش افزوده جاری دارای میانگین اثر بازگشتی به ترتیب % ۱۸۴/۱۸، % ۳۴۲/۲۴، % ۱۶۱/۵۸، % ۱۵۷/۶۵، % ۱۰۰/۰۸، % ۱۶۲/۷، % ۳۹۹/۵، % ۱۵۶/۵۷، % ۱۷۲/۷۲، % ۱۶۶/۶۰ می‌باشند. در این صنایع نه‌تنها پیشرفت تکنولوژی و بهبود کارایی موجب کاهش مصرف انرژی نشده، بلکه حتی آن را افزایش هم داده و اثر معکوس رخ داده است.

✓ صنعت ماشین‌آلات اداری و حسابداری با پایین‌ترین شدت انرژی دارای بالاترین میانگین اثر بازگشتی یعنی % ۳۹۹/۵ می‌باشد. صنعت وسایل نقلیه موتوری و تریلر

منابع

- Shakouri Ganjavi, H. & Kazemi, A. (2018). Determine the optimal share of gas and renewable technologies for power generation in Iran. *Journal Of Energy Planning And Policy Research*, 4(12), 7-45. SID.
[https://sid.ir/paper/372248/en.](https://sid.ir/paper/372248/en)]
 In Persian [
- Niusha, A., Azar, A., Moazzez, H., Heydari, K. (2021). A Multi-objective Optimization Model for Iran's Renewable Power Portfolio. *Management Research in Iran*, 23(1), 171-191.] In Persian
 [https://mri.modares.ac.ir/article_491.html?lang=en,
https://mri.modares.ac.ir/article_491.html?lang=en
- Abdmouleh, Z., Gastli, A., Ben-Brahim, L., Haouari, M., & Al-Emadi, N. A. (2017). Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources. *Renewable Energy*, 113, 266-280.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304822>
- Almutairi, K., Hosseini Dehshiri, S. J., Hosseini Dehshiri, S. S., Mostafaeipour, A., Hoa, A. X., & Techato, K. (2022). Determination of optimal renewable energy growth strategies using SWOT analysis, hybrid MCDM methods, and game theory: A case study. *International Journal of Energy Research*, 46(5), 6766-6789.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.7620>
- Ameer, W., Ali, M. S. E., Farooq, F., Ayub, B., & Waqas, M. (2023). Renewable energy electricity, environmental taxes, and sustainable development: empirical evidence from E7 economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-26930-5>
- Anoune, K., Bouya, M., Astito, A., & Abdelah, A. B. (2018). Sizing methods and optimization techniques for PV-wind based hybrid renewable energy system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 652-673.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118303757>
- Asif, M. H., Zhongfu, T., Dilanchiev, A., Irfan, M., Eyvazov, E., & Ahmad, B. (2023). Determining the influencing factors of consumers' attitude toward renewable energy adoption in developing countries: A roadmap toward environmental sustainability and green energy technologies. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 47861-47872.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-25662-w>

- Beaudin, M., & Zareipour, H. (2015). Home energy management systems: A review of modelling and complexity. *Renewable and sustainable energy reviews*, 45, 318-335. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115000568>
- Cui, Y., Geng, Z., Zhu, Q., & Han, Y. (2017). Multi-objective optimization methods and application in energy saving. *Energy*, 125, 681-704. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217303584>
- Darden, I. T. F., Szyperski, J. K., & Forbes Jr, J. W. (2017). U.S. Patent No. 9,639,103. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1196&context=collegian_1970-1979
- Golpîra, H., & Khan, S. A. R. (2019). A multi-objective risk-based robust optimization approach to energy management in smart residential buildings under combined demand and supply uncertainty. *Energy*, 170, 1113-1129. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218325593>
- He, C., Wu, L., Liu, T., & Shahidehpour, M. (2016). Robust co-optimization scheduling of electricity and natural gas systems via ADMM. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(2), 658-670. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7583715/>
- Jordan, M., Millinger, M., & Thrän, D. (2020). Robust bioenergy technologies for the German heat transition: A novel approach combining optimization modeling with Sobol'sensitivity analysis. *Applied Energy*, 262, 114534. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920300465>
- Liu, X., Adebayo, T. S., Ramzan, M., Ullah, S., Abbas, S., & Olanrewaju, V. O. (2023). Do coal efficiency, climate policy uncertainty and green energy consumption promote environmental sustainability in the United States? An application of novel wavelet tools. *Journal of Cleaner Production*, 417, 137851. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623020097>
- Modarres, M., & Izadpanahi, E. (2016). Aggregate production planning by focusing on energy saving: A robust optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1074-1085. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616306059>
- Nojavan, S., Najafi-Ghalelou, A., Majidi, M., & Zare, K. (2018). Optimal bidding and offering strategies of merchant

- compressed air energy storage in deregulated electricity market using robust optimization approach. *Energy*, 142, 250-257.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217316973>
- Shahbazbegian, V., Hosseini-Motlagh, S. M., & Haeri, A. (2020). Integrated forward/reverse logistics thin-film photovoltaic power plant supply chain network design with uncertain data. *Applied Energy*, 277, 115538. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920310503>
- Soroudi, A., Siano, P., & Keane, A. (2015). Optimal DR and ESS scheduling for distribution losses payments minimization under electricity price uncertainty. *IEEE Transactions on smart grid*, 7(1), 261-272. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7172536>
- Tan, R. R., Aviso, K. B., & Ng, D. K. S. (2019). Optimization models for financing innovations in green energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109258. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304587>
- Vahid-Pakdel, M. J., Nojavan, S., Mohammadi-Ivatloo, B., & Zare, K. (2017). Stochastic optimization of energy hub operation with consideration of thermal energy market and demand response. *energy Conversion and Management*, 145, 117-128. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890417303941>
- Wang, L., Li, Q., Ding, R., Sun, M., & Wang, G. (2017). Integrated scheduling of energy supply and demand in microgrids under uncertainty: A robust multi-objective optimization approach. *Energy*, 130, 1-14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217306813>
- Yüksel, S., & Dinçer, H. (2022). Identifying the strategic priorities of nuclear energy investments using hesitant 2-tuple interval-valued Pythagorean fuzzy DEMATEL. *Progress in Nuclear Energy*, 145, 104103. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014919702100456X>