Identifying factors affecting different technologies for electricity generation with energy uncertainty approach

Abdonabi amiri[1] Aliasghar Esmaeilnia Gatabi[2]* Alireza Daghighi Asli[3] Davoud Manzoor[4]

[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**, **ORCID**: 0009-0006-2587-9850

[2] Assistant Prof., Department of Economics, Economics and Accounting Faculty, Tehran Central Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: **Aeketabi@gmail.com**, **ORCID**: 0000-0001-7805-1500

[3] Assistant Prof., Department of Economics, Economics and Accounting Faculty, Tehran Central Branch, Islamic Azad university , Tehran, Iran, Email: **daghighiasli@gmail.com**, **ORCID**:0000-0001-7805-1500

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

Abstract

In this study, the factors affecting different technologies of electricity production are identified and evaluated according to the uncertainty of energy. The current research was done with the aim of determining 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 first priority is electricity generation technologies. This means that investing on 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 the demand for energy. 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 presence of rebound effect in various sectors of Iran's factory industries is also inevitable.

Key words: Uncertainty of energy, different technologies of electricity production, fossil fuels

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 basic 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.

[1] This article is an excerpt from the doctoral thesis of the first author of the article.

* Postal address: Address: Tehran, Sohank, Artesh, Boulevard, Qaim Square, Department of Economics and Accounting, Tehran Central Branch, Islamic Azad University, **Mobile Number**: 09123172343 **Email**: **Aeketabi@gmail.com**

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. In order 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 there are various factors that 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 in order to prioritize the factors of different technologies for electricity generation with the approach of energy uncertainty using 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 first 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 on 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 energy intensity of 0.1 has the lowest average return effect of 8.24%.

5) Funding: There is no funding support .

6) Conflict of interest: Authors declared no conflict of interest.

7) Acknowledgments: We appreciate all the scientific consultants in this paper.

(In Press)

شناسایی عوامل موثر بر تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی

عبدالنبی امیری[۵] علی اصغر اسماعیل نیا گتابی[۶*] علیرضا دقیقی اصلی[۷] داود منظور[۸]

[۱] دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشکده اقتصاد و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ایمیل: nk.amiri@yahoo.com . شناسه ارکید: http://orcid.org/0009-0006-2587-9850

[۲] استادیار دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ایمیل: Aeketabi@gmail.com شناسه ارکید: http://orcid.org/0009-0001-6815-2794

[۳] استادیار دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ایمیل: daghighiasli@gmail.com شناسه ارکید: http://orcid.org/0000-0001-7805-1500

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

چکیده

هدف از این نوشتار، بررسی و شناسایی عوامل موثر بر تکنولوژی های مختلف تولید برق با توجه به عدم قطعیت انرژی می باشد. در این پژوهش از تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) در خصوص تصمیم گیری بهینه یابی استفاده از تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی بهره گرفته شده است. به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از روش ANP فازی استفاده شده است. نتایج نشان دهنده آن است که شاخص سوخت های فسیلی (A3) بیشترین نزدیکی را به جواب ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده آل منفی دارا می باشد و الویت نخست تکنولوژی‌های تولید برق می باشد. این بدین معناست که سرمایه‌گذاری بر روی شاخص سوخت‌های فسیلی می تواند بالاترین مطلوبیت را از لحاظ شاخص های تعریف شده ایجاد نماید. مطابق با مطالعه موردی مورد بررسی مانند دیگر کشورها، ایران نیز اصلی‌ترین راه را برای حفاظت از انرژی، بهبود کارایی انرژی بواسطه‌ی 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 برای انرژی را افزایش می‌دهد. این افزایش انرژی می‌تواند انرژی ذخیره شده به واسطه‌ی 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 اجتناب ناپذیر می‌باشد.

کلمات کلیدی: عدم قطعیت انرژی، تکنولوژی‌های مختلف تولید برق، سوخت‌های فسیلی

۱) مقدمه

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[۹]، ۲۰۱۶).

فناوری برق یکی از مهم‌ترین دستاوردهای عصر صنعتی و شاید مهم‌ترین عامل و موتور رشد و توسعهٔ صنعتی و بهبود استانداردهای زندگی در ۱۵۰ سال اخیر می باشد. بنا بر برخی تعابیر، برق یک فناوری همه منظوره یا GPT

---

[۵] 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.

[۶*] نویسنده مسئول: علی اصغر اسماعیل نیا گتابی شماره همراه ۰۹۱۲۳۱۷۲۳۴۳

نشانی: تهران- سوهانک -بلوار ارتش – میدان قائم – خیابان خندان – خیابان سلمان -مجتمع دانشگاهی ولایت - دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران، ایمیل: Aeketabi@gmail.com

[9] Hee et al.

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[10]، ۲۰۱۷).

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

به منظور پاسخگویی به نیاز روزافزون انرژی الکتریکی، ظرفیت‌های نصب‌شدهٔ 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 توسعهٔ خطوط انتقال و توزیع خواهد شد (کوی و همکاران[11]، ۲۰۱۷).

افزایش شدید مصرف انرژی الکتریکی، واقعیت پیش روی همهٔ 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 توسعهٔ 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 اولیهٔ خود را طی کرده است (شهباز بگین و همکاران[12]، ۲۰۲۰).

واقعیت های اشاره شده در فوق در حالی در حال گذار و گذر می باشند که ساختار برنامه ریزی و مدیریتی صنعت برق نیز با تغییراتی شگرف و اساسی مواجه شده است. تجدید ساختار در صنعت برق با کم رنگ 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 بهره گیری از مکانیزم بازار به جای سیستم های مالکیت و برنامه ریزی متمرکز در برآورده کردن الزامات و باید های تغییر و تحولات فوق‌الذکر یکی از مهم ترین دغدغه ها و چالش های دولت ها و سیاست گذاران بخش انرژی به شمار می رود.

صنعت برق به دلیل انعطاف‌پذیری و قابلیت‌های بسیار بالا و منحصر به فرد در تأمین انرژی بسیاری از بخش‌های اقتصادی، یکی از مهم‌ترین اجزای پیکره صنعت هر کشور می باشد. از این رو دغدغه اصلی بسیاری از کشورهای صنعتی جهان، بهینه‌سازی این صنعت، افزایش کارایی و پیش بینی ظرفیت‌های لازم برای پاسخگویی به تقاضای روز افزون بوده است (عبدالموله و همکاران[13]، ۲۰۱۷). اما خطر کمبود و پایان‌پذیری منابع انرژی‌های فسیلی، رشد روز افزون قیمت سوخت‌های فسیلی و حاد شدن مسایل زیست‌محیطی به دلیل افزایش غیرطبیعی انواع مختلف ترکیبات زیان‌آور از جمله گازهای گلخانه‌ای نیز از دلائل بالا رفتن انگیزه کشورها در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد (بودین و همکاران[14]، ۲۰۱۵).

---

[10] Wang et al.
[11] Cui et al.
[12] Shahbazbegian et al.
[13] Abdmouleh et al.
[14] Beaudin et al.

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

منبع تولید برق برای تامین انرژی انواع مصرف‌کننده‌ها همچون خانگی، صنعتی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و برآورد هزینه آنها بر اساس سیاست های قیمت‌گذاری در بازار برق صورت می‌گیرد. استفاده از منبع تولید برق موجب ارائه توان با کیفیت بالاتر (سرودی و همکاران[15]، ۲۰۱۵)، افزایش قابلیت اطمینان[16] سیستم، کاهش هزینه‌ها، تلفات و آلودگی در شبکه توزیع می شود (پاکدل و همکاران[17]، ۲۰۱۶).

با توجه به اینکه تکنولوژی‌های مختلف تولید برق همیشه و همه جا در دسترس نیستند و همین عدم دسترسی می تواند تولید مداوم و ثابت را مورد چالش قرار دهد به همین رو این مقاله به بررسی این چالش با عنوان عدم قطعیت می پردازد تا بتواند این عدم قطعیت و عدم دسترسی و تلورانس عرضه را مورد بازنگری و دقت نظر قرار دهد. تکنولوژی های مختلف تولید برق، قبلا توسط دیگر پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده ولی یکی از نقاط و نگرش هایی که کمتر مورد سنجش بوده، بحث عدم قطعیت و عرضه ثابت و مداوم و در دسترس بودن این تکنولوژی‌هاست که این مقاله می کوشد 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 تکنولوژی ها به چه صورت مرتب می شوند.

نوآوری این مقاله در شناسایی عوامل موثر بر تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی قابل توجه است. در حال حاضر، عدم قطعیت در تأمین انرژی به یکی از چالش های اساسی در حوزه تولید برق تبدیل شده است. با توجه به نوسانات قیمت سوخت های فسیلی، تغییرات آب و هوایی، و تغییرات سیاست های انرژی در سطح جهانی، شناسایی عوامل موثر بر تکنولوژی های 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 قطعیت ها در تولید برق ارائه داد.

به طور کلی، این پژوهش می‌تواند به پیشرفت در حوزه تولید برق و مدیریت عدم قطعیت های انرژی کمک کند. با شناسایی و ارزیابی عوامل موثر، می‌توان بهبودهایی در تکنولوژی های 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 نگرانی های مربوط به تغییرات آب و هوایی ایجاد شده است. در این میان، توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان راه حلی امیدوارکننده برای کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی و تامین انرژی پایدار مطرح شده است.

---

[15] Soroudi et al.
[16] Reliability
[17] Pakdel et al.

In Press

با این حال، منابع انرژی تجدیدپذیر نیز با عدم قطعیت ذاتی همراه هستند. به عنوان مثال، تولید برق از منابع خورشیدی و بادی به طور قابل توجهی به شرایط آب و هوایی بستگی دارد. این امر می تواند چالش هایی را برای تامین تقاضای برق به طور مداوم و قابل اعتماد ایجاد کند.

هدف از این مطالعه، شناسایی عوامل موثر بر تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی است (لیو و همکاران[18]، ۲۰۲۳).

برای دستیابی به این هدف، چارچوب نظری زیر ارائه می شود:

۱) تعریف عدم قطعیت انرژی:

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

منابع عرضه :نوسانات قیمت منابع فسیلی، بلایای طبیعی، و محدودیت های منابع طبیعی

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

۲) دسته بندی تکنولوژی های تولید برق:

تکنولوژی های تولید برق را می توان به دو دسته کلی تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر تقسیم کرد:

تکنولوژی های تجدیدپذیر شامل: منابعی مانند انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زمین گرمایی، و زیست توده. این منابع به طور طبیعی دوباره پر می شوند و آلایندگی کمی تولید می کنند.

تکنولوژی های غیرتجدیدپذیر :شامل منابعی مانند زغال سنگ، نفت، و گاز طبیعی. این منابع محدود هستند و در هنگام احتراق آلاینده تولید می کنند.

۳) عوامل موثر بر انتخاب تکنولوژی تولید برق

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

هزینه :هزینه اولیه سرمایه گذاری، هزینه های عملیاتی و نگهداری، و هزینه های سوخت

قابلیت اطمینان :ثبات و پیش بینی پذیری تولید برق

اثرات زیست محیطی :انتشار گازهای گلخانه ای، 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 می توان از رویکردهای مختلفی استفاده کرد، از جمله:

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

ذخیره سازی انرژی :ذخیره سازی انرژی اضافی در زمانی که تولید بالا است و استفاده از آن در زمانی که تقاضا زیاد است

مدیریت تقاضا :کاهش تقاضای انرژی در زمان های اوج مصرف

پیش بینی تقاضا :استفاده از مدل های پیش بینی برای تخمین تقاضای آینده برق

۵) نقش تحقیق و توسعه:

[18] Liu et al.

تحقیق و توسعه نقش کلیدی در توسعه تکنولوژی های جدید تولید برق که کارآمدتر، قابل اعتمادتر و سازگارتر با عدم قطعیت انرژی باشند، ایفا می کند (عامیر و همکاران[19]، ۲۰۲۳).

۳) پیشینه پژوهش

آسیف و همکاران[20] (۲۰۲۳) با استفاده از تکنیک خودرگرسیون برداری ساختاری (SVAR) و توابع عکس العمل آنی به مطالعه روابط بلندمدت بین شدت انرژی و توسعه پایدار در کشور چین پرداخته اند. نتایج تحقیق بیانگر این است که افزایش شدت انرژی موجب کاهش توسعه پایدار شده، اما شدت انرژی های پاک و تجدیدپذیر سبب افزایش توسعه پایدار می شود. 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، انرژی های تجدیدپذیر است.

عامیر و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر سیاست های انرژی تجدیدپذیر برای توسعه پایدار را در کشور کامبوج مورد مطالعه قرار داده اند. آنها دریافته اند که با توجه به سیاست دولت در خصوص بهره مندی 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 می باشد اما دارای ظرفیت نصبشده ناچیزی است. موانع اقتصادی، تنظیمی، مالی و نهادی دلیل اصلی تفاوت معنادار بین پتانسیل و ظرفیت نصب شده است.

الموتاری و همکاران[21] (۲۰۲۲) در تحقیق خود، وجود روابط علیت بین رشد اقتصادی و انرژی تجدیدپذیر را در کشورهای بریکس (BRICS)[22] در دوره ۲۰۲۱-۱۹۷۱ در یک چارچوب چندمتغیره بررسی کرده اند. 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 نشان دهنده وجود رابطه علیت دوطرفه و یا فرضیه بازخورد بین رشد اقتصادی و انرژی تجدیدپذیر است.

یوکسل و همکاران[23] (۲۰۲۲) به مطالعه روابط بین مصرف برق، رشد اقتصادی و انتشار دی اکسید کربن در کشورهای گروه بریکس طی سالهای ۲۰۱۶-۱۹۹۰ پرداخته اند. 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. بعلاوه، فرضیه خنثایی که نشان دهنده 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 (CO_2) را برای دوره ۲۰۱۵-۱۹۷۱ مورد بررسی قرار داده اند. توابع عکس العمل آنی در مطالعه آنها نشان دهنده این است که شوک های تولید ناخالص داخلی

---

[19] Ameer et al.
[20] Asif et al.
[21] Almutairi
[22] **نام گروهی از کشورها به رهبری قدرت‌های اقتصادی نوظهور است و عنوان آن کوته‌نوشتی است که از به هم پیوستن حروف اول نام انگلیسی آن کشورها یعنی برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی ساخته شده‌است. از ۱ ژانویه ۲۰۲۴ شش کشور: آرژانتین، اتیوپی، امارات متحده 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 می شوند.**
[23] Yüksel et al.

نفتی در عربستان رابطه مثبت با مصرف برق و انتشار دی اکسید کربن (CO_2) دارد. همچنین، نوسانات مصرف برق به صورت منفی بر سطح تولید ناخالص داخلی نفتی و انتشار دی اکسید کربن (CO_2) اثرگذار است.

آنون و همکاران[۲۴] (۲۰۱۸) روابط بین مصرف انرژی، جریان سرمایه گذاری 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 سرمایه گذاری مستقیم خارجی، تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر است.

تان و همکاران[۲۵] (۲۰۱۹) به بررسی رابطه محیط زیست- تولید برق - رشد اقتصادی در کشور الجزایر پرداخته اند. نتایج بیانگر اثرات منفی رشد اقتصادی و تولید برق تجدیدناپذیر بر کیفیت محیط زیست در بلندمدت است. بعلاوه، وجود رابطه علیت یک طرفه از رشد اقتصادی به تولید برق تجدیدناپذیر و فرضیه حفظ منابع در کوتاه مدت تأیید شده است. همچنین، انرژی تجدیدپذیر بر بهبود کیفیت زیست محیطی 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[۲۶] (۱۳۹۸)، چشم انداز پایان سوخت های فسیلی, گرمایش آب و هوایی و تغییرات اقلیمی ناشی از آن و سیاست های تنوع بخشی به منابع تامین انرژی از علت های استقبال بسیاری از کشورها از انرژی های تجدیدپذیر هستند. در همین راستا کشورهای تولیدکننده نفت و گاز برنامه ریزی هایی را برای افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر در سبد تولید برق خود کرده اند. تنوع انرژی های اولیه تجدیدپذیر, وجود فناوری های مختلف تبدیل آن ها به برق و ویژگی های مختلف هر یک و همچنین انتظارات فنی, مالی و زیست محیطی گوناگون, تصمیم گیری درباره این که برق پاک مورد نظر از چه منابعی تولید شود را پیچیده می کند. این پژوهش به دنبال ارائه و حل یک مدل برنامه ریزی آرمانی برای به دست آوردن سهم به نسبت بهینه توان (ظرفیت نصبی) هر یک از انرژی های تجدیدپذیر خورشیدی (فتوولتاییک), بادی, برق آبی کوچک, زمین گرمایی و زیست توده در تولید برق پاک ایران است به گونه ای که هزینه ها, اشتغال زایی, دانش فنی, بازده فنی و پیامدهای اجتماعی آن بهینه باشد. مدل در چهارچوب برنامه ششم توسعه ایران و بودجه های مصوب مجلس شورای اسلامی حل شده است.

عالیه و همکاران[۲۷] (۱۳۹۷)، رشد روزافزون تقاضای انرژی الکتریکی, کاهش منابع فسیلی, آلودگی های حاصل از مصرف سوخت های فسیلی و اهمیت امنیت انرژی, برنامه ریزی در خصوص استفاده از تکنولوژی های مختلف تولید برق را ضروری ساخته است. در این مقاله با استفاده از مدلسازی ریاضی و داده های صنعت برق, سهم بهینه هر یک از فناوری های سیکل ترکیبی توربین گازی, بخاری, توربین گازی, بادی کوچک, بادی بزرگ, فتوولتاییک کوچک, فتوولتاییک بزرگ, خورشیدی-حرارتی, برق آبی کوچک, برق آبی بزرگ, هسته ای و زمین گرمایی برای تولید برق طی سال های ۲۰۴۰-۲۰۱۶ با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی مشخص شده است. هدف از مدلسازی ریاضی, تعیین ترکیبی از گزینه های عرضه ممکن با کمترین هزینه است به طوری که قادر به برآورده کردن تقاضای انرژی باشند. نتایج نشان می دهد سهم تکنولوژی‌های گازسوز به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. جایگزین این فناوری‌ها عمدتا انرژی‌های تجدیدپذیر است. نیروگاه‌های خورشیدی و بادی مهم‌ترین تکنولوژی‌های تجدیدپذیر خواهند بود و در سال های پایانی سهم قابل توجهی خواهند داشت.

---

[24] Anoune et al.
[25] Tan et al.
[26] Askkan et al.
[27] Alieh et al.

۴) روش پژوهش

در این تحقیق به‌منظور تجزیه و تحلیل از روش های دلفی فازی جهت غربالگری و شناسایی عوامل موثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی، روش AHP جهت تعیین اوزان شاخص های موثر بر تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی، و همچنین روش ANP فازی جهت تعیین شاخص های بهینه در در شرایط عدم قطعیت اطلاعات بهره برده خواهد شد. به منظور حل روش ANP فازی و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه از نرم افزار 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 می‌نامیم. سپس با تلفیق وزن‌ها، وزن نهایی هر گزینه مشخص خواهد شد که آن را وزن مطلق می‌نامیم.

این روش برمبنای سه اصل: ۱- تجزیه، ۲- قضاوت تطبیقی و ۳- ترکیب اولویت ها بنا شده‌است و منعکس‌کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این روش، وابستگی‌های احتمالی میان عامل‌ها را درنظر نمی‌گیرد و با این فرض که عامل‌ها و معیارها از هم مستقل می باشند، رویه را پیش می‌برد. هم‌چنین باید بیان شود که این روش دارای اصول زیر است:

شرط متقابل: با استناد به‌این شرط، هرگاه ترجیح گزینه A بر گزینه B ، n باشد آنگاه ترجیح گزینه B بر گزینه A برابر است با 1/n

شرط همگنی: گزینه A و B باید باهم قابل قیاس باشند بنابراین برتری هرگزینه نسبت به‌دیگری نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

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

اصل انتظارات: اگر در ساختمان سلسله مراتب تغییری رخ دهد فرایند ارزیابی باید مجدداً و از اول آغاز شود.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی یکی از قوی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری برای تعیین اولویت معیارها است. علت استفاده از فازی شده‌ی این تکنیک آن است که فرایند سلسله‌مراتبی معمولی به دلیل بی‌توجهی به مهم بودن اطلاعات، مورد انتقاد قرارگرفته‌است. بدین ترتیب، فرایند تحلیل سلسه‌مراتبی فازی بر پایه‌ی اعداد مثلثی توصیه شده‌است.

۴-۱) تکنیک ANP

تاکنون تعداد قابل توجهی از کاربردهای موفقیت آمیز متدولوژی ANP در زمینه های مختلفی از قبیل بانکداری، مکان یابی صنایع، برنامه ریزی منابع انسانی، مدیریت منابع آب، سرمایه گذاری، پزشکی، شیمی، مراقبت های بهداشتی، جهانگردی، مدیریت پویا و ... مورد بحث قرار گرفته‌اند. موفقیت این روش به خاطر خواص ریاضی آن و به ویژه سهولت کار با آن‌ها است.

مسأله چند معیاره زیر را در نظر بگیرید:

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

به طوری که A مجموعه ای از گزینه های ممکن است $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ و $\{g_1(.), g_2(.), \dots, g_j(.), \dots, g_k(.)\}$ مجموعه ای از ارزیابی معیارها می‌باشد. در این جا بیشینه (Max) و کمینه شدن (Min) برخی از معیار ها مد نظر نیست،

انتظاری که از تصمیم گیر می‌رود، شناسایی گزینه‌ای است که همه معیار ها 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 عبارتند 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 ذوزنقه‌ای (اعداد فازی ذوزنقه ای محدوده بیشتری از داده ها را به منظور مدلسازی دقیق‌تر در نظر می گیرد) استفاده شده است. دلیل استفاده از اعداد ذوزنقه‌ای، 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.

$$C = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4)/4 \quad (۱)$$

جدول ۱- طیف، امتیاز، عدد فازی و مقدارفازی زدایی شده پرسشنامه

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

❖ **مرحله‌ی اول توزیع پرسشنامه**

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

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

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

ردیف	معیار	میانگین گیری کلی				عدد قطعی
		a_1	a_2	a_3	a_4	میانگین کل

۱	قابلیت اطمینان (تواتر/مدت خرابی) (هی و همکاران (۲۰۱۶))	۷/۸۲	۸/۸۲	۹/۸۲	۹/۹۱	۹/۰۹
۲	کاهش خاموشی ها (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۵/۴۵	۶/۴۵	۷/۴۵	۸/۴۵	۶/۹۵
۳	قابلیت چند سوختی (عبدالموله و همکاران (۲۰۱۷))	۷/۸۲	۸/۸۲	۹/۸۲	۹/۹۱	۹/۰۹
۴	همخوانی با استانداردها (وانگ و همکاران (۲۰۱۷))	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸	۶/۵۷
۵	سهولت در عملیات و نگهداری (O&M) (الموطیری و همکاران (۲۰۲۲))	۴/۰۹	۵/۱۸	۶/۱۸	۷/۱۸	۵/۶۶
۶	پسماند کمتر اسیدی (تان و همکاران (۲۰۱۹))	۶/۹۱	۷/۹۱	۸/۹۱	۹/۴۵	۸/۳۰
۷	پسماند غیر رادیواکتیو (داردن و همکاران[۲۸] (۲۰۱۷))	۴/۰۹	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۱۸	۵/۶۱
۸	توجه به توسعه تولید برق DC (یوکسل و همکاران (۲۰۲۲))	۶/۹۱	۷/۹۱	۸/۹۱	۹/۴۵	۸/۳۰
۹	کاهش تلفات تولید (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۶/۳۶	۷/۳۶	۸/۳۶	۹/۱۸	۷/۸۲
۱۰	هزینه کم نوسازی (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸	۶/۵۷
۱۱	توسعه منطقه (لیو و همکاران (۲۰۲۳))	۴/۹۱	۵/۹۱	۶/۹۱	۷/۸۲	۶/۳۹
۱۲	عدم آلودگی صوتی (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۳/۸۲	۵	۶	۷	۵/۴۵
۱۳	هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه ها (مدرس و همکاران[۲۹] (۲۰۱۶))	۷/۲۷	۸/۲۷	۹/۲۷	۹/۶۴	۸/۶۱
۱۴	سهولت انتقال دانش فنی (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۵/۳۶	۶/۴۵	۷/۴۵	۸/۴۵	۶/۹۳
۱۵	انعطاف پذیری تولید (گل پیرا و همکاران[۳۰] (۲۰۱۹))	۵/۲۷	۶/۲۷	۷/۲۷	۸/۱۸	۶/۷۵
۱۶	افزایش تنوع فناوری برق تولیدی (هی و همکاران (۲۰۱۶))	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸/۰۹	۶/۵۹
۱۷	جلب مشارکت سرمایه گذاری (تان و همکاران (۲۰۱۹))	۶/۵۵	۷/۵۵	۸/۵۵	۹/۲۷	۷/۹۸
۱۸	ملاحظات کشوری (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۴/۳۶	۵/۵۵	۶/۵۵	۷/۵۵	۶
۱۹	نرخ بازگشت سرمایه (یوکسل و همکاران (۲۰۲۲))	۷/۲۷	۸/۲۷	۹/۲۷	۹/۶۴	۸/۶۱
۲۰	سرمایه اولیه (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۳/۲۷	۴/۶۴	۵/۶۴	۶/۶۴	۵/۰۵
۲۱	قیمت تمام شده برق (آسیف و همکاران (۲۰۲۳))	۳/۷۳	۴/۷۳	۵/۷۳	۶/۸۲	۵/۲۵
۲۲	هزینه تعمیر و نگهداری (نوجوان و همکاران[۳۱] (۲۰۱۸))	۴	۵/۱۸	۶/۱۸	۷/۱۸	۵/۶۴
۲۳	ریسک سرمایه گذاری (سرودی و همکاران (۲۰۱۵))	۳/۳۶	۴/۵۵	۵/۵۵	۶/۶۴	۵/۰۲
۲۴	بازده کل نیروگاه (داردن و همکاران (۲۰۱۷))	۵/۰۹	۶/۰۹	۷/۰۹	۸	۶/۵۷
۲۵	قابلیت توسعه (سایز) (جردن و همکاران[۳۲] (۲۰۲۰))	۶/۵۵	۷/۵۵	۸/۵۵	۹/۲۷	۷/۹۸
۲۶	عوارض آلودگی و انتشار (کوی و همکاران (۲۰۱۷))	۴/۰۹	۵/۱۸	۶/۱۸	۷/۱۸	۵/۶۶

❖ مرحله‌ی دوم توزیع پرسشنامه

به منظور اتفاق نظر درباره معیارهای ارائه شده 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 است) نمایش داده شد و از خبره خواسته شد که نظر قبلی خود را تعدیل یا تأیید کند.

[28] Darden et al.
[29] Modarres et al.
[30] Golpîra et al.
[31] Nojavanet al.
[32] Jordan et al.

$$\left(b_{m1}-b_1^{(i)},b_{m2}-b_2^{(i)},b_{m3}-b_3^{(i)},b_{m4}-b_4^{(i)}\right) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}b_1^{(i)}-b_1^{(i)},\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}b_2^{(i)}-b_2^{(i)},\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}b_3^{(i)}-b_3^{(i)},\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}b_4^{(i)}-b_4^{(i)}\right) \quad (۲)$$

مراحل توزیع و جمع آوری پرسشنامه در این پژوهش ۵ مرحله ادامه یافت تا وزن شاخص ها و پارامترها نهایی شود که بدلیل زیاده گویی در این مقاله به آن پرداخته نشده است.

❖ **انتخاب معیارهای موثر در ارزیابی تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی**

تکنیک دلفی فازی اتفاق نظر بین خبرگان حوزه انرژی و اقتصاد و اساتید دانشگاهی درباره ۲۶ معیار پیشنهادی را ثابت کرد. حال در اینجا 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 ۲۰۱۹)))) تکنیک دلفی، به طور کلی ۶۷ درصد امتیاز داده شده توسط خبرگان به معیارها را عاملی برای انتخاب معیارها معرفی می کنند. 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، ناب سازی مدل خروجی (این امر با استفاده از رابطه ۳ انجام می شود)، از فرایند دلفی است.

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

$$Nw_k=Nw_i\times Nw_{ip} \quad (۳)$$

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

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 محاسبه شده است. اعدادی که در محدوده تعیین شده قرار می گیرند تأیید و در اعدادی که خارج از محدوده می باشند، رد می شود.

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 خاموشی ها	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

(In Press) در حال انتشار

۱۳	هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه ها	۹/۲۵	تأیید
۱۴	سهولت انتقال دانش فنی	۵/۵	رد
۱۵	انعطاف پذیری تولید	۵/۵	رد
۱۶	افزایش تنوع فناوری برق تولیدی	۵/۵	رد
۱۷	جلب مشارکت سرمایه گذاری	۹/۲۵	تأیید
۱۸	ملاحظات کشوری	۳/۶۶	رد
۱۹	نرخ بازگشت سرمایه	۹/۲۵	تأیید
۲۰	سرمایه اولیه	۴/۶۶	رد
۲۱	قیمت تمام شده برق	۳/۲۵	رد
۲۲	هزینه تعمیر و نگهداری	۵/۵	رد
۲۳	ریسک سرمایه گذاری	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

۴-۱- وزن دهی به معیارهای انتخاب شده توسط تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

جهت اجرای بخش دوم، پرسشنامه ای تدوین گشت که در آن معیارها با هم مقایسه‌ی زوجی شدند. برای امتیازدهی به مقایسات زوجی، طیفی از ۱ تا ۹ به پاسخ دهندگان ارائه شد که در آن امتیاز ۱ نشان دهنده‌ی اهمیت برابر و امتیاز ۹ نشان دهنده‌ی اهمیت نسبتاً شدید معیار اول نسبت به معیار دوم است.

پرسشنامه‌ها برای جمع آوری داده‌ها به همان خبرگانی ارائه شد که در مرحله قبل از آن‌ها درباره اتفاق نظر در مورد معیارها، نظر خواهی شده بود. پس از پیگیری‌های متعدد و هم چنین توجیه خبرگان جهت پاسخگویی، پرسشنامه جمع آوری شدند و 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 مقدار نظر و عدد فازی دوم، میانگین هندسی نظرات خبرگان است. ماتریس مقادیر Z برای معیارها توسط رابطه ۴ برای برای هریک از معیارها محاسبه شد که خروجی آن به شرح جدول ۵ است.

$$Z_i=[\tilde{a}_{i1}\otimes\tilde{a}_{i2}\otimes\ldots\otimes\tilde{a}_{in}]^{(1/n)}, \qquad \forall i \tag{۴}$$

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 خاموشی ها	۰/۲۵	۱/۲۹	۶
۳	قابلیت چند سوختی	۰/۱۳	۰/۷۴	۵
۴	پسماند کمتر 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

در حال انتشار (In Press)

۷	هماهنگی با اجرای هدفمندی یارانه ها	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

سپس جمع مقادیر z توسط رابطه ۵ و معکوس آن توسط رابطه ۶ به صورت زیر در آمد.

$$\tilde{a}_1 \oplus \tilde{a}_2 \cong (\alpha_1+\alpha_2, \beta_1+\beta_2, \delta_1+\delta_2) \quad (۵)$$

$$Z_1^{(-1)} = (\delta_1^{(-1)}, \beta_1^{(-1)}, \alpha_1^{(-1)}) \quad (۶)$$

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

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

$$\bar{W}_i = Z_i \otimes (Z_1 \oplus Z_2 \oplus \dots \oplus Z_n)^{(-1)} \quad (۷)$$

$$W_i = (W_{\alpha i} + W_{\beta i} + W_{\delta i})/3 \quad (۸)$$

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

$$NW_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \quad (۹)$$

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

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

۴-۲- ارزیابی تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی با روش ANP فازی

❖ تشکیل ماتریس تصمیم:

حامل ها و تکنولوژی های مختلفی برای تولید برق وجود دارد که تعداد آنها متعدد است اما با توجه به جغرافیای

ایران و تکنولوژی های در دسترس، پنج تکنولوزی مختلف تولید برق با گزینه‌های A1 تا A5 معرفی شده‌اند. که به صورت زیر هستند:

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

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

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

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 خاموشی ها (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

In Press

	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 یارانه ها (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 سرمایه گذاری (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

❖ محاسبه تابع ترجیحی

در مورد انتخاب تابع ترجیحی، طی جلسات و مذاکراتی که با خبرگان 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.

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

$$P_j(a,b) = F_j\left[d_j(a,b)\right] \qquad \forall a,b \in A, \qquad (۱۰)$$
$$d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b).$$
$$0 \le P_j(a,b) \le 1.$$

(In Press) در حال انتشار

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	*

❖ ارزیابی تکنولوژی‌های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی

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

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(a,x) \quad (۱۱)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \quad (۱۲)$$

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

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (۱۳)$$

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

$$\begin{cases} aP^{II}b & \text{if} \quad \phi(a) > \phi(b) \\ aI^{II}b & \text{if} \quad \phi(a) = \phi(b) \end{cases} \quad (۱۴)$$

ارزیابی تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی با روش دلفی که رتبه‌بندی کاملی را ارائه می‌دهد با توجه به رابطه ۱۴ به صورت زیر است:

A3 زغال‌سنگ < A1 بادی < A4 خورشیدی < A2 آبی < A5 سوخت های فسیلی

در جدول شماره ۸ عوامل موثر 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 جدول ۱۰ که جریان رتبه بندی گزینه های تکنولوژی تولید برق را با توجه به عدم قطعیت بیان می کند 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 می کند که تکنولوژی وابسته به سوخت های فسیلی (A5) در جغرافیای ایران بیشترین نزدیکی به ایده آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده آل منفی را دارد. پس از این تکنولوژی باید به تکنولوژی برقآبی (A2) به عنوان گزینه جایگزین توجه نمود. در میانه این ترتیب، تکنولوژی استفاده از انرژی خورشیدی است که می تواند جایگزین بعدی باشد. در ادامه قابلیت اطمینان به قطعی بودن روند تولید برق باید به گزینه برق تولیدی توسط تکنولوژی بادی توجه نمود این نتیجه بیان می دارد که

تگنولوژی برق با استفاده از توربین های بادی نمی تواند قطعیت مناسبی برای سرزمین ایران باشد اما در پایان این ترتیب تکنولوزی تولید برق، تکنولوژی با استفاده از زغال سنگ (A3) است که بیشترین فاصله را از ایده آل مثبت و بیشترین نزدیکی به ایده آل منفی را دارد یعنی عدم قطعیت این تکنولوژی بیشترین مقدار در میان این ۵ تکنولوژی انتخابی ربای رزمین و پهنه ایران می باشد. این ترتیب می تواند در کشورهای دیگر با توجه به منابع موجود و فرهنگ حاکم بر مصرف و تکنولوژی های موجود و بهینه سازی های از قبل انجام گرفته و ... تغییر نماید.

مطابق با بررسی های صورت گرفته و پس از مشخص شدن اثرگذاری پارامترها بر تکنولوژی های تولید برق مشخص گردید که سوخت های فسیلی بالاترین اولویت را در میان تکنولوژی های مختلف طبق پارامترهای مورد بررسی در این مقاله داشته و زغال سنگ در رتبه آخر این اولیت بندی قرار دارد.

مطالعه موردی

۴-۳- مدل محاسبه‌ی 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 به عنوان مدل اساسی اثر بازگشتی قرار می‌گیرد:

$$R_t = \frac{A_t * (Y_{t+1} - Y_t) * I_{t+1}}{Y_{t+1} * (I_t - I_{t+1})} \qquad (۱۵)$$

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

در معادله‌ی بالا، $Y_{t+1} * (I_t - I_{t+1})$ به معنای ذخیره‌ی انرژی به علت بهبودکارایی انرژی می‌باشد.

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

$At * (Yt + 1 - Yt) * It$، نمو مصرف انرژی می‌باشد.

طبق معادله‌ی (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.

۴-۳-۱- بهبود شاخص کارایی انرژی

در معادله‌ی (۱۵)، $Yt + 1 * (It - It + 1)$ صرفه‌جویی در انرژی، نتیجه شده از بهبود کارایی انرژی را نشان می-دهد. این فرمول نمی‌تواند بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژیکی را نشان دهد، به این علت که، $Y_{t+1} * (I_t - I_{t+1})$شامل تغییرات مقیاس است که می‌تواند منجر به تغییرات در کارایی انرژی شود. برای مثال، تغییرات ساختاری اقتصادی، می‌تواندکارایی 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.

$$I = \Delta I_y + \Delta I_e \qquad (۱۶)$$

ΔI_y تغییرات در شدت انرژی به علت تغییرات در اثرات ساختاری

ΔI_e تغییرات در شدت انرژی به علت پیشرفت تکنولوژیکی

(In Press)

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

$$\delta = \Delta I_e / \Delta I \quad (۱۷)$$

محاسبه‌ی شاخص شدت انرژی

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

$$I = \frac{E}{GDP} = \frac{\sum_i E_i}{\sum_i GDP_i} = \sum_i \frac{E_i}{GDP_i} * \frac{GDP_i}{\sum GDP_i} = \sum_i e_i * y_i \quad (۱۸)$$

جایی که : i نوع صنعت را نشان می‌دهد، i=1,2,…

e_i شدت انرژی صنعت i، بیانگر اثر فنی می‌باشد.

y_i سهم ارزش افزوده‌ی صنعت i در GDP، بیانگر اثر ساختاری می‌باشد.

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

$$\Delta I = \Delta I_e + \Delta I_y = \sum_i L(W_{it}, W_{i,t-1}) \ln(e_{it}/e_{i,t-1}) + \sum_i L(W_{it}, W_{i,t-1}) \ln(y_{it}/y_{i,t-1}) \quad (۱۹)$$

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

$$L(W_{it}, W_{i,t-1}) = (W_{it} - W_{i,t-1})/(\ln W_{it} - \ln W_{i,t-1}) \quad (۲۰)$$

$$W_i = e_i * y_i$$

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

$$\delta = \Delta I_e / \Delta I \quad (۲۱)$$

۴-۳-۲- اصلاح بهره‌وری کل عوامل تولید

روش شاخص مالم‌کوئیست به دلیل مزایایی مانند عدم نیاز به فروض سختگیرانه، به منظور شناسایی آن قسمت از رشد اقتصادی که از پیشرفت‌های تکنولوژیکی ناشی می‌شود، بکار می‌رود.

بهبود بهره‌وری کل عوامل تولید: روش شاخص مالم‌کوئیست برای اندازه‌گیری تغییرات بهره‌وری واحدهای تصمیم-گیری تولید در طول زمان معین استفاده می‌شود. روش شاخص مالم‌کوئیست، به عنوان یک روش برای محاسبه‌ی بهره-وری کل عوامل تولید در بسیاری از مطالعات تجربی استفاده می‌شود. در اینجا هر سال را در دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ به عنوان یک واحد تصمیم‌گیری قرار می‌دهیم. سپس از تحلیل پوششی داده‌ها با ماهیت خروجی (output- DEA model oriented) برای محاسبه‌ی شاخص مالم‌کوئیست استفاده می‌کنیم. به‌علاوه، با مقایسه‌ی 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:

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

به طوریکه:

x_i نهاده‌ی DMU و i=1, 2,…,n می‌باشد و y_i محصول DMU و i=1, 2,..,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 مالم‌کوئیست M_j می‌تواند به شاخص پیشرفت تکنولوژیکی و شاخص کارایی تقسیم گردد:

$$M(x_s, x_t, y_s, y_t) = \frac{d^s(x_s,y_s)}{d^t(x_t,y_t)} \times \left[\frac{d^t(x_s,y_s)}{d^t(x_t,y_t)} \times \frac{d^s(x_s,y_s)}{d^s(x_t,y_t)}\right]^{1/2} \quad (۲۲)$$

$$EC = \frac{d^s(x_s,y_s)}{d^t(x_t,y_t)} \quad (۲۳)$$

$$TC = \left[\frac{d^t(x_s,y_s)}{d^t(x_t,y_t)} \times \frac{d^s(x_s,y_s)}{d^s(x_t,y_t)}\right]^{1/2} \quad (۲۴)$$

معادله‌ی (۲۳)، تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید به سبب تغییرات بهره‌وری در طول دوره‌ی بین t و s را نشان می‌دهد، EC شاخص بهبودکارایی است. معادله‌ی (۲۴)، تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید به سبب پیشرفت تکنولوژیکی در طول دوره‌ی بین t و s را نشان می‌دهد، TC شاخص توسعه‌ی تکنولوژیکی است که با α_t نشان داده می‌شود.

مدل اصلاح شده‌ی محاسبه‌ی اثر ریباند به صورت زیر می‌باشد:

$$R_{tj} = \frac{\alpha_{tj} * (Y_{t+1} - Y_t) * I_{t+1}}{Y_{t+1} * (I_t - I_{t+1}) * \delta_{tj}} \quad (۲۵)$$

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 اینجا سه حالت متصور خواهد بود:

۱. اثرات بازگشتی منفی باشد، به طوری‌که 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 طوری‌که 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، زمانی‌که 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.

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 طوری‌که کاهش نهایی در استفاده از منابع انرژی منفی باشد. این حالت به پارادوکس جونز معروف است و گاهی نیز به عنوان اثر معکوس شناخته می‌شود. در این حالت بهبود کارایی انرژی نه تنها کاهش مصرف انرژی را به دنبال نخواهد داشت، بلکه موجب افزایش مصرف انرژی نیز خواهد شد.

۴-۴- معرفی داده‌های تحقیق

این پژوهش از نوع تجربی است، که به اندازه‌گیری اثر پیشرفت تکنولوژیکی در رشد اقتصادی و بهبود کارایی، به منظور محاسبه‌ی اثر بازگشتی انرژی می‌پردازد. 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 سرمایه‌ی ثابت و مصرف انواع

(In Press) دوفصلنامه اقتصاد انرژی

حامل‌های انرژی به عنوان نهاده و ارزش افزوده‌ی 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 کتابخانه‌ی سازمان برنامه و بودجه استخراج شده است و داده‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۲ از سایت سازمان آمار ایران برگرفته شده‌اند.

۲. نیروی‌کار: 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 سرمایه‌ی ثابت کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفرکارکن و بیشتر بر حسب فعالیت و برحسب میلیون ریال می‌باشد.

۴. ارزش افزوده: ارزش افزوده‌ی هر فعالیت بر حسب میلیون ریال به عنوان ستانده برای هر فعالیت در نظر گرفته شده است.

۵. مصرف کل انرژی: مصرف انرژی کل صنعت در طول سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۸۸ برحسب بشکه معادل نفت خام به عنوان 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.

۴-۵- نتایج بدست آمده از تحقیق

پس از گردآوری آمار و اطلاعات لازم، با استفاده از نرم افزار 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، محاسبه‌ی تغییرات تکنولوژیکی می‌باشد. همچنین با بهره‌گیری از نرم‌افزار اکسل (EXCEL) و شاخص میانگین وزنی دیویژیا (LMDI) نقش اثر تکنیکی بهبود کارایی انرژی بدست آمده و نتایج حاصل در مدل مربوط به محاسبه‌ی اثر بازگشتی انرژی قرار گرفته و این اثر برای صنایع ایران به تفکیک کدهای دو رقمی ISIC بدون احتساب صنعت بازیافت محاسبه گردیده است.

۴-۵-۱- 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 دوره‌ی مورد مطالعه (۱۴۰۲-۱۳۸۸) دارای شدت انرژی با میانگین ۱/۰۹ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی 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 ذخیره‌ی 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 ۱۴۰۲-۱۳۸۸ نشان می‌دهد.

جدول ۱۱- نتایج حاصل محاسبه‌ی 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

۴-۵-۲- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۶ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی 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 محاسبه شده برای این صنعت ٪ ۱۸۴/۱۸ است. این رقم نشان‌دهنده‌ی اثر بازگشتی بالای این صنعت در دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ 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 نشان‌دهنده‌ی محاسبات مربوط به صنعت تولید این محصولات در طول دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۱۲- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۳- صنعت تولید منسوجات

صنعت تولید منسوجات با کد ۱۷ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۷ فعالیت و ۲۹۰ محصول است. این صنعت در طول دوره‌ی مطالعه دارای شدت انرژی با میانگین ۰/۶۲ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، 0.25- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، 0.99 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت در طول دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸، ٪ ۲۲/۴۹ است. این مقدار نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

جدول ۱۳ نشان‌دهنده‌ی محاسبات اثر بازگشتی صنعت تولید منسوجات در طول دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۱۳- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۴- 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 دوره‌ی مطالعه دارای شدت انرژی با میانگین ۰/۳۲ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، 0.37- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۰/۹۸ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید پوشاک، ٪۳۴۲/۲۴ است. این رقم نشان‌دهنده‌ی 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 نشان‌دهنده‌ی آمار و ارقام این صنعت در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۱۴- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۵- 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 دوره‌ی مطالعه دارای شدت انرژی با میانگین ۰/۳ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی 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 محاسبه شده 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 نشان‌دهنده‌ی نتایج حاصل از انجام محاسبات در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

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

(In Press)

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

۴-۵-۶- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۸۵ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی 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 محاسبه شده برای این صنعت برابر با ٪۱۵۷/۶۵ 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 اندازه‌ی ٪۵۷/۶۵ آن انرژی اولیه، مصرف می‌شود و اثر معکوس رخ می-دهد.

جدول ۱۶ نتایج بدست آمده برای صنعت تولید چوب و محصولات چوبی در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ را نشان می-دهد.

جدول ۱۶- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۷- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۱/۵۷ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، 0.24- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.03 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده 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 نشان‌دهنده‌ی آمار صنعت ساخت کاغذ و محصولات کاغذی در طول دوره ۱۴۰۲-۱۳۸۸ است.

جدول ۱۷- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۸ - 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۵ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی 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 محاسبه شده برای صنعت انتشار و چاپ و تکثیر و رسانه‌های ضبط شده، ٪۱۶۲/۷ است. اثر بازگشتی بزرگتر از ۱۰۰ نشان‌دهنده‌ی اثر معکوس می‌باشد.

جدول ۱۸ نشان‌دهنده‌ی آمار صنعت انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط در طول دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ است.

جدول ۱۸- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۹- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۱/۷۰ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، 0.35- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.08 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت برابر با ٪۱۵/۷۴ است. که نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

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

جدول ۱۹- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۱۰- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۸۶ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، 0.3- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 1.08 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت برابر با ٪۱۳/۴۲ است. این مقدار نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

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

جدول ۲۰- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۱۱- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۴۰ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، 0.1- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، 0.001 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت محصولات لاستیکی و پلاستیکی، ٪ ۶۱/۳۵ است. که نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

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

جدول ۲۱- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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	-۰/۶	-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

۴-۵-۱۲ - 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۳/۴۲ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، 0.17- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، 0.96 می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی، ٪ ۳۵/۰۹ است. که نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۲ آمار و ارقام مربوط به محاسبه‌ی اثر بازگشتی این صنعت در طول دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ را نشان می‌دهد.

جدول۲۲- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۱۳- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۱/۹۳ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۳۰- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۱/۰۶ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی، ٪ ۱۰/۵۹ است. که نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

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

جدول ۲۳- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۱۴- صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین‌آلات و تجهیزات

صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین‌آلات و تجهیزات با کد ۲۸ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۷ فعالیت و ۴۲۲ محصول است. این صنعت در طول دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۳۱ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۲۵- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۱/۰۳ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین آلات و تجهیزات، ٪ ۳۰/۴ است. این مقدار نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۴ آمار و ارقام مربوط به محاسبه‌ی اثر بازگشتی این صنعت در طول دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ را نشان می-دهد.

جدول ۲۴- نتایج حاصل از محاسبه‌ی اثر بازگشتی صنعت تولید محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین آلات 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

۴-۵-۱۵ - صنعت تولید ماشین آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر

صنعت تولید ماشین آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر با کد ۲۹ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۱۵ فعالیت و ۱۳۰۱ محصول است. این صنعت در طول دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۲۷ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۱۵- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)،۱/۰۰ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید ماشین آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر، ٪ ۳۹/۵ است. این مقدار نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی،کمتر از حد مورد انتظار است.

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

جدول ۲۵- نتایج حاصل از محاسبه‌ی اثر بازگشتی صنعت تولید ماشین و تجهیزات طبقه‌بندی 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

۴-۵-۱۶ - صنعت تولید ماشین‌آلات اداری و حسابداری

صنعت تولید ماشین آلات اداری و حسابداری با کد ۳۰ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۱ فعالیت و ۱۳۸ محصول است. این صنعت در طول دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۰۷ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۲۱- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۱/۱۷ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید ماشین آلات اداری و حسابداری، ٪ ۳۹۹/۵ است.این رقم نشان‌دهنده‌ی اثر معکوس است، بدین معنی‌که 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 محاسبه‌ی اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۲۶- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۱۷- صنعت تولید ماشین‌آلات مولد و انتقال برق

صنعت تولید ماشین آلات مولد و انتقال برق با کد ۳۱ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۶ فعالیت و ۵۵۲ محصول است. این صنعت در طول دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۲۱ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۲۸- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۱/۰۶ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت برابر با ٪ ۴۵/۱۴ است. این مقدار نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد مورد انتظار است.

جدول ۲۷ شامل نتایج حاصل از محاسبه‌ی اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۲۷- نتایج حاصل از محاسبه‌ی اثر بازگشتی صنعت تولید ماشین‌آلات 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

۴-۵-۱۸- صنعت تولید رادیو و تلویزیون

صنعت تولید رادیو و تلویزیون با کد ۳۲ در طبقه‌بندی ISIC شامل فعالیت و محصول می‌باشد. این صنعت در طول دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۰۸ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۳۳- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۱/۱۶ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید رادیو و تلویزیون، ٪ ۱۵۶/۵۷ است. این رقم نشان‌دهنده‌ی اثر معکوس است، بدین معنی‌که 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 محاسبه‌ی اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۲۸- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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	00/99	01/00	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

۴-۵-۱۹- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۲۵ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۲۲- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (α)، ۱/۰۴ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده 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 معنی‌که بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی نه تنها موجب کاهش مصرف انرژی گردیده، بلکه آن را به مقدار زیادی افزایش داده است.

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

جدول ۲۹- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

(In Press) در حال انتشار

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

۴-۵-۲۰- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۰ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۲۳- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۱/۱۶ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای این صنعت برابر با ٪۸/۲۴ است. این مقدار نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی،کمتر از حد مورد انتظار است.

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

جدول ۳۰- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۴-۵-۲۱- صنعت تولید سایر تجهیزات حمل و نقل

صنعت تولید سایر تجهیزات حمل و نقل با کد ۳۵ در طبقه‌بندی ISIC شامل ۷ فعالیت و ۱۸۲ محصول است. این صنعت در طول دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۱۸ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی(δ)، ۰/۲۷۵- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۱/۰۲ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید سایر تجهیزات حمل و نقل، ٪ ۷۱/۴۲ است. این مقدار نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف انرژی در اثر بهبود تکنولوژیکی و کارایی، کمتر از حد انتظار است.

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

جدول ۳۱- نتایج حاصل از محاسبه‌ی اثر بازگشتی صنعت سایر تجهیزات حمل و نقل (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

(In Press) در حال انتشار

R	۱۰/۸	۲۳/۳	-۴۶/۵	۶۴/۰	۱۴/۱	۷۵/۰	-۲۱/۶

۴-۵-۲۲- 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 دوره‌ی مطالعه با میانگین شدت انرژی ۰/۲۸ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری، میانگین اثر تکنیکی تغییرات شدت انرژی (δ)، ۰/۱۶- و میانگین اثر تکنیکی در تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی(α)، ۰/۹۵ می‌باشد. میانگین اثر بازگشتی محاسبه شده برای صنعت تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر، ٪۱۶۶/۶۰ است. این رقم نشان‌دهنده‌ی اثر معکوس است، بدین معنی‌که بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی نه تنها موجب کاهش مصرف انرژی گردیده، بلکه آن را به مقدار زیادی افزایش داده است.

جدول ۳۲ شامل نتایج حاصل از محاسبه‌ی اثر بازگشتی در این صنعت طی دوره‌ی ۱۴۰۲-۱۳۸۸ می‌باشد.

جدول ۳۲- نتایج حاصل از محاسبه‌ی 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

۶) نتیجه گیری

این موضوع به تحلیل و شناسایی عواملی می پردازد که در تکنولوژی های مختلف مورد استفاده در تولید برق، عدم قطعیت انرژی را تحت تأثیر قرار می دهند. عدم قطعیت انرژی به معنای وجود عوامل مختلفی است که می توانند 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 داده ها و روش های مدل سازی، به بررسی عوامل مؤثر بر تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق می پردازد. با شناسایی و تحلیل این عوامل، می توان بهبود و بهینه سازی تکنولوژی های مورد استفاده در تولید برق را به منظور کاهش تأثیر عدم قطعیت انرژی مورد بررسی قرار داد.

مطابق با مطالعات انجام شده (وانگ[۳۳] و همکاران (۲۰۱۷))، (هانتر[۳۴] و همکاران (۲۰۲۱)) پژوهش به دنبال این است که، عوامل عدم قطعیت انرژی در نظر 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.

[33] Wang
[34] Hunter

(In Press) در حال انتشار

نتایج پژوهش در راستای الویت بندی عوامل تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی با استفاده از تکنیک فازی ارائه شد. با توجه به میزان فاصله نزدیکی (شاخص شباهت)، گزینه ها رتبه بندی می شوند؛ به گونه ای که گزینه های با شاخص شباهت بیشتر، در الویت قرار دارند. در مرحله آخر، گزینه ها به ترتیب از بزرگترین به کوچکترین شاخص رتبه بندی شده اند.

در این مسیر ۵ تکنولوژی مختلف برق خورشیدی، برقابی، سوخت‌های فسیلی، بادی و زغال سنگ درتولید برق با تاکید 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 این تکنولوژی‌ها حذف شود در این راستا، ابتدا پرسشنامه ای با ۲۶ آیتم تهیه و در اختیار خبرگان قرار گرفت تا تا نظریات کارشناسان را در رابطه با اهمیت این ایتم‌ها 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 نشان دهنده آن است که شاخص سوخت های فسیلی (A3) بیشترین نزدیکی را به جواب ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده آل منفی دارا می باشد و الویت نخست مدل تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی از لحاظ معیارهای موردنظر برای تاب آوری مدل تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی می باشد. این بدین معناست که سرمایه گذاری بر روی شاخص سوخت های فسیلی می تواند بالاترین مطلوبیت را برای منطقه از لحاظ شاخص های تعریف شده ایجاد نماید.

سیاست های دولتی در خصوص شناسایی عوامل موثر بر تکنولوژی های 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:

۱) تشویق به تحقیق و توسعه: دولت ها می توانند برنامه ها و سیاست هایی را برای تشویق به تحقیقات و توسعه در زمینه تکنولوژی های نوین جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی ارائه دهند. این شامل ارائه ی تسهیلات مالی، کمک های مالی، تخصیص منابع و همکاری با دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی می شود.

۲) ارائه تشویق های مالی: دولت ها می توانند تشویق های مالی مانند اعطای تسهیلات وام با بهره کم، اعفای مالیاتی، پاداش های مالی و سایر امتیازات مالی را برای شرکت ها و سازمان هایی که در حوزه تکنولوژی های جدید و پیشرفته جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی فعالیت می کنند، ارائه دهند.

۳) تنظیم وضعیت قانونی: دولت ها می توانند قوانین و مقررات مربوط به تکنولوژی های مختلف جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی را تنظیم و به روز رسانی کنند. این شامل تنظیم استانداردها، ایجاد راهنماها و دستورالعمل ها و تنظیم قوانین مربوط به مجوزها و پروانه های تولید برق است.

۴) ارتقای آموزش و آگاهی: دولت ها می توانند برنامه ها و برنامه های آموزشی را برای ارتقای آموزش و آگاهی در زمینه تکنولوژی های جدید جهت تولید برق با رویکرد عدم قطعیت انرژی ارائه دهند. این شامل سازماندهی دوره های آموزشی، کارگاه ها، کنفرانس ها و سمینارها می شود.

۵) همکاری بین المللی: دولت ها می توانند در زمینه همکاری بین المللی و تبادل تجربیات با کشورهای دیگر در حوزه تکنولوژی های 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 بواسطه‌ی 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 برای انرژی را افزایش می‌دهد. این افزایش انرژی می-تواند انرژی ذخیره شده به واسطه‌ی 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 اجتناب ناپذیر می‌باشد. محاسبه و بررسی اثر بازگشتی انرژی در صنایع کارخانه‌ای به علت اهمیت این صنایع به عنوان موتور رشد اقتصادی، لازم و ضروری می‌باشد، از آنجا که می‌تواند در تبیین اقدامات و سیاست‌های اتخاذ شده در مورد این صنایع، دولتمردان و مسئولین را مساعدت نماید.

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

- اثر بازگشتی منفی که غیر متداول 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، زمانی‌که 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 نشان‌دهنده‌ی این است که کاهش مصرف انرژی ناشی از بهبود کارایی و پیشرفت تکنولوژی،کمتر از میزان مورد انتظار است. محاسبه‌ی 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 ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جاهای دیگر (۲۹)، صنعت ماشین‌آلات مولد برق (۳۱)، صنعت وسایل نقلیه موتوری و تریلر و نیم‌تریلر (۳۴) و صنعت تولید سایر تجهیزات حمل و نقل(۳۵)، با شدت انرژی به ترتیب، ۱/۰۹ ،۰/۶۲، ۱/۷۰ ،۰/۸۶، ۰/۴۰، ۳/۴۲، ۱/۹۳، ۰/۳۱ ، ۰/۲۷ ،۰/۲۱، ۰/۱، ۰/۱۸ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی جاری دارای میانگین اثر بازگشتی به ترتیب ٪ ۸/۳ ، ٪ ۲۲/۴۹ ، ٪۱۵/۷۴ ،٪ ۱۳/۴۲ ، ٪ ۶۱/۳۵ ، ٪۳۵/۰۹ ، ٪ ۱۰/۵۹ ، ٪ ۳۰/۴۰ ، ٪ ۳۹/۵۰ ، ٪ ۴۵/۱۴ ، ٪۸/۲۴ ، ٪ 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 انجام شده 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 عمل آوردن 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، ۰/۱۶ ،۰/۳۲ ، ۰/۳ ،۰/۸۵ ،۱/۵۷ ، ۰/۱۵ ، ۰/۰۷ ، ۰/۰۸ ، ۰/۲۵ ، ۰/۲۸ بشکه معادل نفت خام به ازاء یک میلیون ریال ارزش افزوده‌ی 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 نه تنها 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 و نیم‌تریلر با شدت انرژی ۰/۱ دارای کمترین میانگین اثر بازگشتی ٪۸/۲۴ می‌باشد.

تامین 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 مفهوم سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان محتوای مقاله را تایید کردند و در مورد تمام جنبه های کار توافق داشتند.

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. [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., & Abdellah, 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

(In Press) در حال انتشار