



Ranking Selected Industries for Planned Energy Distribution Using the SECA Method

Fatemeh Askari

Graduate in Industrial Management, Department of Economics, Management and Accounting, Faculty of Management, Yazd Branch, Yazd University, Yazd, Iran (Corresponding Author)
Email: f.askaryyy@gmail.com

Alireza Naser Sadrabadi

Associate Professor of Industrial Management, Department of Economics, Management and Accounting, Faculty of Management, Yazd Branch, Yazd University, Yazd, Iran
Email: alireza_naser@yazd.ac.ir

Abstract

Under conditions of energy shortage, planned power outages are implemented as a temporary solution to manage the imbalance between electricity supply and demand. However, if prioritization criteria are not properly considered, such outages may lead to extensive economic and social consequences. Therefore, the fair allocation of energy to industries, particularly key sectors, is of significant importance. This study presents a model for prioritizing and allocating electricity to the tile and ceramic industries in Yazd Province. In the first stage, the indicators affecting electricity allocation were identified using the Delphi method. Subsequently, the industries were ranked for electricity distribution using the SECA multi-criteria decision-making method. The findings indicate that considering indicators such as export share, employment level, production volume, electricity consumption, deviation from consumption standards, and the percentage of outages in the previous period can contribute to a fair and efficient allocation of energy. The proposed model can serve as an effective tool for policymakers in the electricity sector to manage energy imbalance and design planned power outage strategies.

Keywords: Energy Imbalance Management, Planned Power Outage, Electrical Energy, Industry Prioritization, SECA Method





سال هشتم، شماره چهارم (پیاپی ۲۸)، زمستان ۱۴۰۴، صص. ۲۴۳-۲۷۲
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶

مقاله پژوهشی

رتبه‌بندی صنایع منتخب به منظور توزیع برنامه‌ریزی شده انرژی با استفاده از روش سکا

فاطمه عسکری

دانش آموخته مدیریت صنعتی، گروه اقتصاد مدیریت حسابداری، دانشکده مدیریت واحد یزد، دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول)
Email: f.askaryyy@gmail.com

علیرضا ناصر صدرآبادی

دانشیار مدیریت صنعتی، گروه اقتصاد مدیریت حسابداری، دانشکده مدیریت واحد یزد، دانشگاه یزد، یزد، ایران
Email: alireza_naser@yazd.ac.ir

چکیده

در شرایط کمبود انرژی، اجرای خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده به عنوان راهکاری موقت برای کنترل ناترازی عرضه و تقاضای برق به کار گرفته می‌شود. با این حال در صورت عدم توجه به معیارهای اولویت‌بندی، این خاموشی‌ها می‌توانند پیامدهای اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای در پی داشته باشند. از این رو تخصیص عادلانه انرژی به صنایع، به ویژه در بخش‌های کلیدی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پژوهش حاضر به ارائه مدلی جهت اولویت‌بندی و تخصیص برق به صنایع کاشی و سرامیک استان یزد می‌پردازد. در مرحله نخست، شاخص‌های مؤثر بر تخصیص برق با بهره‌گیری از روش دلفی شناسایی شده و سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره سکا، رتبه‌بندی صنایع به منظور توزیع برق صورت گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد در نظر گرفتن شاخص‌هایی نظیر سهم صادرات، میزان اشتغال، میزان تولید، مصرف برق، انحراف از استاندارد مصرف و درصد خاموشی‌های دوره قبلی می‌تواند به تخصیص منصفانه و بهره‌ور انرژی منجر شود. مدل پیشنهادی می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در اختیار سیاست‌گذاران صنعت برق برای مدیریت ناترازی انرژی و طراحی خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت ناترازی انرژی، خاموشی برنامه‌ریزی شده، انرژی برق، اولویت‌بندی صنایع، سکا

دانشگاه عالی دفاع ملی ♦ پژوهشکده آماد، فناوری دفاعی و عرصه‌های نوپدید / فصلنامه آماد و فناوری دفاعی



20.1001.1.28212606.1404.8.4.8.9

<https://amfad.sndu.ac.ir/> E-ISSN: 2980-8073



صحت مطالب بر عهده نویسنده مقاله است و بیانگر دیدگاه دانشگاه عالی دفاع ملی نیست.



مقدمه

در سال‌های اخیر، کشور با چالش‌هایی در زمینه تأمین حامل‌های مختلف انرژی مانند آب، برق، گاز و فراورده‌های نفتی مواجه بوده است. در این میان، برق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی، نقش ویژه‌ای در تداوم فعالیت صنایع دارد؛ ازاین‌رو در پژوهش حاضر، به تخصیص عادلانه برق در شرایط کمبود انرژی پرداخته شده است. برق به‌عنوان یکی از ارکان حیاتی پیشرفت صنعتی، توسعه اقتصادی و تأمین نیازهای روزمره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با افزایش روزافزون تقاضا، کاهش منابع تولید پایدار و تأثیرات بحران‌های زیست‌محیطی، مدیریت بهینه منابع انرژی به یکی از اولویت‌های اساسی در سیاست‌گذاری کشورها تبدیل شده است (گروویچ^۱، ۲۰۱۳؛ احمدیان و عباس‌زاده، ۱۳۹۲). در سطح جهانی، سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای برای تقویت صنعت برق و رفع چالش‌های مرتبط با آن صورت گرفته است. در ایران نیز صنعت برق نقش کلیدی در توسعه اقتصادی و اجتماعی ایفا می‌کند و همواره مورد توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار گرفته است. ازاین‌رو تلاش برای بهبود عملکرد این صنعت و کاهش مشکلات در زمینه مدیریت انرژی ازجمله اولویت‌های اصلی برنامه‌ریزان و مدیران حوزه انرژی محسوب می‌شود (روانشاد نیا و همکاران، ۱۳۹۹). در سال‌های اخیر رشد فزاینده تقاضای برق، کمبود ظرفیت تولید، فرسودگی زیرساخت‌ها و نوسانات شدید در عرضه انرژی، مدیریت این منبع حیاتی را با چالش‌های جدی مواجه کرده است (یوسفی و وصال، ۱۳۹۸). بسیاری از کشورهای درحال توسعه با معضل عرضه غیرقابل اعتماد برق، به‌عنوان یکی از موانع مهم رشد اقتصادی، روبه‌رو هستند (گرینگر و ژانگ^۲، ۲۰۱۹). در ایران نیز، به‌ویژه در فصول گرم سال، تحریم‌های اقتصادی، افزایش مصرف و محدودیت‌های تولیدی ناشی از فرسودگی نیروگاه‌ها، مشکلات متعددی در تأمین برق پایدار به وجود آورده است (درویش توانگر، ۱۳۹۴؛ دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن، ۱۳۹۸). این وضعیت باعث بروز ناترازی در منابع انرژی شده که مدیریت بار شبکه را دشوار ساخته و در بسیاری از مواقع خاموشی‌های ناگزیر را به دنبال داشته است.

1. Growitsch
2. Grainger & Zhang



صنعت برق در آستانه یک انقلاب در نحوه تولید و مصرف و در حال ورود به دوره‌ای است که عرضه و تقاضا دارای اجزای تصادفی و قابل کنترل هستند (پارکر^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از چالش‌هایی که همیشه در صنعت برق وجود دارد نحوه مدیریت کمبود است. زمانی که عرضه از تقاضا کمتر باشد و مدیریت بار نتواند تقاضا را به اندازه مناسب کاهش دهد، خاموشی اجتناب‌ناپذیر است (میشل و همکاران^۲، ۲۰۰۹). در مواجهه با این چالش‌ها، خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده به‌عنوان یک راهکار موقت برای کنترل تقاضا و حفظ پایداری شبکه به کار گرفته می‌شوند. اگرچه این راهکار در کوتاه‌مدت می‌تواند از بحران‌های شدیدتر جلوگیری کند، اما اعمال خاموشی بدون در نظر گرفتن معیارهای منصفانه، به زیان‌های اقتصادی، کاهش تولید، افت بهره‌وری و اختلال در زنجیره‌های تأمین می‌انجامد (شیخی و همکاران، ۱۴۰۱).

از مهم‌ترین چالش‌ها در این زمینه، نحوه توزیع خاموشی‌ها بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده، به‌ویژه صنایع است تا حداقل هزینه به صنعت و کشور تحمیل شود. با توجه به سهم بالای مصرف برق در صنایع کشور تصمیم شرکت توزیع برق بر این است که با هدف کاهش بار شبکه، خاموشی‌ها را بیشتر به صنایع تحمیل کند تا کمترین آسیب ممکن به مصرف‌کنندگان خانگی وارد شود. «فییر و سرا»^۳ (۱۹۹۷) تأکید کرده‌اند که در شرایط کمبود برق، توزیع خاموشی‌ها براساس معیارهای اقتصادی می‌تواند زیان کل ناشی از قطع برق را به حداقل برساند. در کشور ما، غالباً خاموشی‌ها بیشتر به بخش صنعت تحمیل می‌شود تا مصرف خانگی دچار اختلال نشود؛ با این حال، عدم توجه به عدالت و کارایی در این توزیع می‌تواند آسیب‌های جدی به بخش تولید و اقتصاد وارد سازد.

در این میان، استان یزد به‌عنوان یکی از قطب‌های صنعتی کشور، به‌ویژه در زمینه صنایع کاشی و سرامیک، بیشترین تأثیر را از بحران‌های برق می‌پذیرد. رشد سریع مصرف برق در صنایع استان، همراه با محدودیت‌های تولید ناشی از تحریم‌ها و فرسودگی نیروگاه‌ها، این

1. Parker & et.al.

2. De Nooij & et.al.

3. Serra & Fierro

صنایع را با بحران کمبود انرژی روبه‌رو کرده است. از آنجاکه صنعت کاشی و سرامیک نقش مهمی در اشتغال، تولید و صادرات استان ایفا می‌کند، مدیریت خاموشی‌ها در این بخش از اهمیت مضاعفی برخوردار است. ضروری است که خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده براساس اولویت‌بندی منصفانه و علمی اجرا شود تا آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن به حداقل برسد (احمدیان و عباس زاده، ۱۳۹۲).

در این راستا، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر روش دلفی^۱ برای شناسایی و انتخاب معیارها و از روش سکا^۲ برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی استفاده می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارائه چهارچوبی برای مدیریت بهینه خاموشی‌ها در صنایع کاشی و سرامیک استان یزد، در پی شناسایی معیارهای کلیدی و ارائه راهکارهای علمی برای بهینه‌سازی توزیع برق در شرایط کمبود است.

۱. مبانی نظری

انرژی به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین مفاهیم در حوزه‌های اقتصادی، صنعتی و اجتماعی، نقشی کلیدی در رشد و توسعه جوامع ایفا می‌کند. این مفهوم به‌عنوان نیروی محرکه کلیه فعالیت‌های اقتصادی، تولیدی و خدماتی شناخته می‌شود. بدون انرژی، تولید، حمل‌ونقل و حتی ارائه خدمات عمومی مانند بهداشت و آموزش نیز امکان‌پذیر نخواهد بود. این اهمیت باعث شده است که موضوع مدیریت منابع انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن، همواره در کانون توجه سیاست‌گذاران، پژوهشگران و صاحبان صنایع قرار گیرد.

صنعت برق، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های اساسی، نقشی کلیدی در توسعه اقتصادی و رفاه جوامع ایفا می‌کند. انرژی الکتریکی، به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، به بخش جدایی‌ناپذیر زندگی مدرن تبدیل شده است (احمدیان و عباس زاده، ۱۳۹۲). اهمیت این منبع انرژی، به‌ویژه از منظر ملاحظات زیست‌محیطی، روزبه‌روز در حال افزایش است، زیرا بسیاری

1. Delphi

2. Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives



از کشورها در تلاش‌اند تا با جایگزینی برق به‌جای انرژی‌های آلاینده، اثرات مخرب زیست‌محیطی را کاهش دهند (ژائو^۱، ۲۰۲۲).

برای ایجاد، رشد و توسعه اقتصادی، صنعتی شدن یکی از راهبردهای اساسی کشورهای درحال توسعه است. صنایع تولیدی می‌توانند به‌عنوان موتور رشد اقتصادی عمل کرده و موجب رونق در سایه بخش‌ها و فعالیت‌های اقتصادی شود (پوستچی و تقی‌زاده، ۱۴۰۰). یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی الکتریسته، بخش صنعت است. صنایع به دلیل ماهیت تولیدی خود وابستگی زیادی به تأمین پایدار برق دارند. کشورهایی که زیرساخت‌های برقی پیشرفته‌تری دارند، معمولاً از اقتصاد صنعتی و خدماتی قوی‌تر و توسعه‌یافته‌تری برخوردار هستند. مصرف بالای برق در کنار بهره‌وری انرژی، اغلب نشان‌دهنده سطح بالای تولیدات صنعتی و فناوری در یک کشور است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۸).

انرژی برق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل رشد اقتصادی و توسعه پایدار، نقش کلیدی در ارتقای کیفیت زندگی، پایداری زیست‌محیطی و بهبود زیرساخت‌ها ایفا می‌کند. مصرف برق به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی در بخش‌های مختلف صنعتی، خانگی، کشاورزی و خدماتی باعث افزایش بهره‌وری، کاهش نابرابری‌های اجتماعی و بهبود وضعیت عمومی و نهایتاً رشد اقتصادی پایدار می‌شود (ژانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۷).

رابطه مصرف برق با توسعه و پیشرفت اقتصادی کشورها یکی از موضوعات کلیدی در حوزه اقتصاد انرژی است. تأمین به‌موقع و کافی انرژی، یکی از عوامل بنیادین در فراهم‌سازی بستر توسعه اقتصادی محسوب می‌شود. برق به‌عنوان یک حامل انرژی حیاتی، بهبود کیفیت زندگی، رشد تولید ناخالص داخلی و توسعه زیرساخت‌های صنعتی و خدماتی را تسهیل می‌کند. معیار شدت انرژی، در کشورهای توسعه‌یافته به‌عنوان یک شاخص استراتژیک شناخته می‌شود (تقی‌زاده و آرمن، ۱۳۹۲).

۲. پیشینه پژوهش

از جمله پژوهش‌های مرتبط می‌توان به پژوهش ویزی و ون در وستهوین در سال (۲۰۲۴) اشاره کرد. آن‌ها تأثیر قطع برق برنامه‌ریزی‌شده (ریزش بار) بر مصرف‌کنندگان در کشورهای در حال توسعه را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کاهش بار باعث نارضایتی مصرف‌کنندگان می‌شود و پیامدهای گسترده اقتصادی اجتماعی به دنبال دارد. بنابراین تدوین سیاست‌های عادلانه برای توزیع انرژی بین صنایع مختلف با در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی امری ضروری است (والاوانیدیس، ۲۰۲۴). تأمین نامطمئن انرژی منجر به کاهش بهره‌وری، افزایش هزینه‌های تولید و وابستگی صنایع به منابع جایگزین پرهزینه مانند ژنراتورها می‌شود.

گروویچ و همکاران در پژوهشی هزینه‌های اقتصادی ناشی از قطعی برق در آلمان را با استفاده از شاخص «بار ازدست‌رفته» بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این هزینه‌ها به‌طور قابل توجهی از نظر زمانی، منطقه‌ای و بخش‌های مختلف متفاوت است؛ همچنین در انتهای این پژوهش تأکید شده است برای به حداقل رساندن خسارت‌های اقتصادی قطعی برق، لازم است سیاست‌های بهینه‌ای مانند اولویت‌بندی بخش‌های مختلف اعمال شود.

رضایی و همکاران در مقاله‌ای روشی برای سهمیه‌بندی بهینه خاموشی‌ها ارائه کردند. روشی که در آن با تعریف ضریب تحمل‌پذیری مشترکین، سهمیه‌بندی متناسب با اهمیت برق برای هر مشترک انجام می‌گیرد. برای برنامه‌ریزی خاموشی در یک دوره از پیشینه خاموشی و ضریب تحمل‌پذیری مشترکین استفاده کردند.

یوسفی و وصال در مقاله‌ای با عنوان اثر خاموشی بر صنعت نشان می‌دهند که هر واحد درصد افزایش در خاموشی برق برای کارگاه‌هایی با سهم متوسط انرژی برق، به ترتیب باعث کاهش ۰/۱۱ درصدی در تولید و ۰/۱۰ درصدی در فروش می‌شود. این کاهش‌ها معنادار بوده و نشان‌دهنده تأثیر منفی خاموشی‌ها بر عملکرد اقتصادی و به تبع آن، اشتغال در این کارگاه‌ها است.



درویش توانگر در پژوهشی به بررسی بحران برق در ایران و تأثیر آن بر رفاه عمومی، صنایع و خدمات پرداخت. این پژوهش به راهکارهایی برای مدیریت بحران برق از دو جنبه عرضه و تقاضا اشاره می‌کند؛ در بخش عرضه افزایش بهره‌وری نیروگاه‌های حرارتی و توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر پیشنهاد شده است. در بخش تقاضا نیز بر اعمال مدیریت مصرف از طریق محدودیت بار صنایع، مدیریت مصارف عمومی و نوسازی تجهیزات شبکه توزیع تأکید شده است.

۳. مفهوم‌شناسی

۱-۳. ناترازی انرژی

ناترازی انرژی به وضعیتی گفته می‌شود که در آن میزان تقاضا برای انرژی بیش از ظرفیت تأمین پایدار آن است (حیدری و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۳. خاموشی برنامه‌ریزی‌شده

خاموشی برنامه‌ریزی‌شده، یک سیاست مدیریت انرژی است که با کاهش بار شبکه در مواقع پیک بار و بحران برق به‌منظور حفظ پایداری سیستم و جلوگیری از ناترازی انرژی برق براساس یک برنامه از پیش تعیین‌شده و با اعلام قبلی اجرا می‌شود (والاوانیدیس^۱، ۲۰۲۴).

۳-۳. سکا

سکا یک روش نوین در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که با استفاده از یک مدل ریاضی چندهدفه به‌صورت هم‌زمان وزن معیارها و نمرات گزینه‌ها را محاسبه می‌کند و بهینه‌سازی را براساس انحراف معیار و همبستگی بین معیارها انجام می‌دهد (کشاورز قرابایی و همکاران، ۲۰۱۸).

۴. روش‌شناسی تحقیق

تحقیق حاضر با هدف ارائه چهارچوبی علمی برای مدیریت خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده و رتبه‌بندی صنایع در شرایط کمبود انرژی طراحی شده است. این پژوهش یک مطالعه کاربردی است که به منظور حل یک مسئله واقعی در صنعت برق، یعنی مدیریت ناترازی انرژی، انجام می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند مستقیماً به بهبود فرایندهای مدیریت ناترازی انرژی و سیاست‌گذاری در این حوزه کمک کند.

تحقیق حاضر از نظر هدف، یک مطالعه کاربردی است؛ زیرا بر حل یک مسئله عملی و واقعی تمرکز دارد و نتایج آن برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در مدیریت انرژی قابل استفاده است. این پژوهش از رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) بهره می‌برد، بدین صورت که معیارها ابتدا از طریق نظرات کیفی خبرگان شناسایی شده و سپس داده‌های کمی مرتبط با این معیارها جمع‌آوری و تحلیل گردید. از نظر روش اجرا، پژوهش به صورت توصیفی-پیمایشی انجام می‌شود، زیرا به شناسایی و تحلیل وضعیت موجود و جمع‌آوری داده‌ها از طریق نظرات خبرگان و داده‌های آماری می‌پردازد.

شناسایی و استخراج معیارها پس از مطالعه ادبیات پژوهش با استفاده از روش دلفی انجام می‌شود؛ این فرایند به‌ویژه اهمیت دارد چراکه تخصیص منابع انرژی باید براساس معیارهای انتخابی انجام گیرد. روش دلفی، یک تکنیک ساختاریافته برای جمع‌آوری و تحلیل نظرات خبرگان است که به‌ویژه در شرایطی که داده‌های قطعی و کمی در دسترس نیستند، کاربرد گسترده‌ای دارد (روو و رایت، ۱۹۹۹).

به منظور جمع‌آوری داده‌های عمیق و تخصصی، مصاحبه‌ها به صورت نیمه‌ساختارمند انجام می‌شوند. مصاحبه‌ها با گروهی از خبرگان به عنوان جامعه آماری که شامل مدیران ارشد صنایع، کارشناسان حوزه برق و اساتید دانشگاه در زمینه مدیریت انرژی و سیاست‌گذاری صنعتی هستند، انجام شده است. همچنین از روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی استفاده شد. در این روش، ابتدا با چند نفر از خبرگان کلیدی مصاحبه شد و سپس از ایشان خواسته شد سایر



افراد متخصص در این حوزه را معرفی کنند. این فرایند تا زمانی ادامه یافت که داده‌ها به اشباع نظری رسید و اطلاعات جدیدی حاصل نشد. در نهایت، تعداد ۱۴ نفر به‌عنوان خبرگان نهایی انتخاب و نظرات آن‌ها در فرایند تحلیل مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور شناسایی شاخص‌های کلیدی مؤثر در تخصیص انرژی، از روش دلفی استفاده شد تا با بهره‌گیری از نظرات خبرگان در شرایط عدم قطعیت، مجموعه‌ای معتبر از معیارها استخراج گردد. در گام بعد، با توجه به ماهیت قطعی داده‌های گردآوری‌شده و به‌منظور رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها، از روش سکا استفاده شد. این روش که در زمره تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره قرار دارد، با توان تحلیلی مناسب، امکان ارزیابی هم‌زمان معیارهای کیفی و کمی را فراهم می‌آورد. از آنجاکه داده‌ها به‌صورت قطعی بودند، استفاده از نسخه فازی شده سکا ضرورت نداشت. در سکا تغییرات درون‌معیاری از طریق انحراف معیار و تفاوت‌های بین معیارها با استفاده از ضریب همبستگی در نظر گرفته می‌شود. این رویکرد به تعیین هم‌زمان وزن‌های عینی معیارها و امتیازات عملکرد گزینه‌ها منجر می‌شود (کشاورز قربایی و همکاران، ۲۰۱۸).

۵. یافته‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها

۵-۱. یافته‌های تحقیق

در این مرحله با مطالعه ادبیات تحقیق به یک فهرست اولیه از معیارها رسیدیم، بدین‌صورت که ابتدا مقالاتی که کارهای مشابه پژوهش ما را انجام داده بودند مطالعه شد و فهرست معیارهای بکار رفته را استخراج کردیم سپس معیارهای مشابه ادغام و مواردی که در ایران کاربرد نداشت حذف شدند این لیست اولیه به شرح زیر است.

جدول ۱: فهرست اولیه معیارهای استخراج‌شده از ادبیات تحقیق

منبع	معیارها
دهقانی و نوری ۱۳۹۵	ارزش‌افزوده
پوستچی و تقی‌زاده ۱۴۰۰	تعداد نیروی کار

منبع	معیارها
جیان ۱ و همکاران ۲۰۲۲	وجود یا عدم وجود ژنراتور
پوستچی و تقی زاده ۱۴۰۰	صادرات
احمدیان و عباس زاده ۱۳۹۲	ظرفیت تولید
احمدیان و عباس زاده ۱۳۹۲	هزینه ارزش تولید از دست رفته
احمدیان و عباس زاده ۱۳۹۲	امکان اضافه کاری یا تغییر شیفت
پوستچی و تقی زاده ۱۴۰۰	بهره‌وری انرژی
مبینی ۱۴۰۰	از دست دادن فرصت‌های رقابتی بازار

۵-۱-۱. استخراج معیارها با دلفی

در این بخش، هدف اصلی شناسایی و انتخاب معیارهایی است که برای رتبه‌بندی صنایع کاشی و سرامیک استان یزد در تخصیص بهینه انرژی در شرایط خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده استفاده می‌شوند. به جمع‌آوری داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختارمند با خبرگان حوزه مدیریت انرژی، مدیران صنایع کاشی و سرامیک و پژوهشگران مرتبط پرداخته شده است. ابتدا چهارچوبی برای کسب نظر خبرگان طراحی و برای سنجش میزان توافق آن‌ها از طیف لیکرت استفاده شد. در دور اول از خبرگان خواسته شد معیارهای رایج برای رتبه‌بندی شرکت‌های تولیدکننده کاشی را بیان کنند.

جدول ۲: اولین معیارهای به‌دست‌آمده براساس دور اول نظرسنجی خبرگان (یافته‌های پژوهش)

ردیف	معیارها
۱	ارزش‌افزوده
۲	میزان صادرات
۳	تعداد نیروی کار
۴	بهره‌وری انرژی
۵	وجود یا عدم وجود ژنراتور



ردیف	معیارها
۶	ظرفیت تولید
۷	هزینه ارزش تولید از دست‌رفته
۸	امکان اضافه‌کاری یا تغییر شیفت
۹	سود به ازای هر مگابایت برق مصرفی
۱۰	میزان انحراف از استاندارد مصرف برق
۱۱	طول دوره خاموشی
۱۲	تعداد روز گذشته از آخرین خاموشی
۱۳	درصد خاموشی دوره قبل
۱۴	مصرف برق
۱۵	از دست دادن فرصت‌های رقابتی بازار

پس از دریافت پاسخ و بررسی دیدگاه‌های خبرگان، پیشنهادهای مشابه یا نزدیک به هم، در هم ادغام‌شده و دور دوم دلفی اجرا شد. در دور دوم از خبرگان خواسته شد تا به هر معیار امتیاز بدهند. نتیجه حاصل از انجام دور دوم دلفی در جدول (۳)، نشان داده شده است. در این مرحله میانگین حسابی معیارها محاسبه شد تا اگر میانگین معیاری کمتر از ۳ باشد حذف گردد. در این مرحله ۹ عامل حذف شد.

جدول ۳: نتایج میانگین امتیازات داده‌شده براساس نظر خبرگان (دور دوم دلفی)

میانگین	شاخص‌ها
۴/۲۰	میزان انحراف از استاندارد مصرف برق
۳/۸۸	تعداد نیروی کار
۳/۷۹	مصرف برق
۳/۶۹	درصد خاموشی دوره قبل
۳/۶۹	میزان صادرات
۳/۶۸	ظرفیت تولید
۲/۸۸	طول دوره خاموشی

شاخص‌ها	میانگین
تعداد روزهای گذشته از آخرین خاموشی	۲/۷۴
سود به ازای هر مگابایت برق مصرفی	۲/۶۵
ارزش افزوده	۲/۴۶
بهره‌وری انرژی	۲/۴۶
هزینه ارزش تولید از دست‌رفته	۲/۴۴
از دست دادن فرصت‌های رقابتی بازار	۲/۲۱
وجود یا عدم وجود ژنراتور	۲/۱۶
امکان اضافه‌کاری یا تغییر شیفت	۱/۱۹

نتیجه حاصل از انجام دور سوم دلفی بعد از حذف ۹ عامل در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: نتایج میانگین امتیازات داده‌شده براساس نظر خبرگان (دور سوم دلفی)

شاخص‌ها	میانگین
درصد خاموشی دوره قبل	۴/۴۱
میزان انحراف از استاندارد مصرف برق	۴/۲۹
ظرفیت تولید	۴/۱۲
تعداد نیروی کار	۳/۸۹
مصرف برق	۳/۷۹
میزان صادرات	۳/۵۲

با توجه به اینکه در دلفی از طیف ۵ تایی لیکرت استفاده‌شده، اعداد ۳ و بالاتر نشان‌دهنده توافق نسبی پاسخ‌دهنده‌ها روی موضوع است، بنابراین نمرات و میانگین‌های بالاتر از ۳ به‌عنوان معیار هم‌سویی و توافق نظرات خبرگان در نظر گرفته می‌شود.

نتایج جدول (۴)، نشان داد که میانگین همه معیارها بیشتر از ۳ بوده و در نتیجه در این مرحله هیچ معیاری حذف نشد و می‌توان گفت خبرگان در میزان اهمیت شاخص‌های



شناسایی شده به اجماع نظری رسیده‌اند. برای اطمینان در این مرحله از آزمون کندال^۱ استفاده می‌شود. براساس نتایج آزمون کندال میزان وحدت نظری بیش از ۵۴ درصد بوده و همچنین با توجه به بررسی میانگین امتیازات داده‌شده به شاخص‌ها می‌توان عنوان کرد که اجماع نظری رخ داده و معیارهای نهایی در پایان دور سوم دلفی شناسایی شدند.

جدول ۵: نتایج آزمون کندال (یافته‌های پژوهش)

۱۴	تعداد اعضا
۰/۵۴۱	Kendall's W
۳۰۹/۴۴۹	کای اسکوتر
۵	درجه آزادی
۰/۰۰۰	ضریب معناداری

۵-۲. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در این مرحله، با استفاده از روش سکا، صنایع کاشی و سرامیک براساس معیارهای شناسایی شده مورد ارزیابی و رتبه‌بندی قرار می‌گیرند. شایان ذکر است براساس اظهارنظر خبرگان، تاکنون شرکت توزیع برق هیچ معیار مشخصی برای تخصیص درصد خاموشی بین صنایع کاشی و سرامیک تعیین نکرده و این خاموشی تاکنون به‌طور یکسان میان این صنایع توزیع شده است. از این‌رو، داده مربوط به درصد خاموشی دوره قبل برای تمامی صنایع مورد مطالعه مقدار ثابتی داشته و در فرایند محاسبات فاقد ارزش تحلیلی است بنابراین در ابتدا این معیار را کنار گذاشته و با ۵ معیار روش سکا اجرا می‌شود که در نهایت به یک رتبه‌بندی از صنایع رسیدیم. با توجه به سیاست شرکت توزیع برق که بین ۳۰ تا ۵۰ درصد به این صنایع باید خاموشی تعلق بگیرد ما این خاموشی را با توجه به رتبه‌بندی حاصل از سکا بین صنایع توزیع کردیم و از این اطلاعات به‌عنوان درصد خاموشی دوره قبل برای ادامه محاسبات استفاده می‌کنیم.

1. Kendall's Coefficient of Concordance (W)

گام‌های پیاده‌سازی سکا به شرح زیر است:

۱. تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

در ادامه ماتریس تصمیم شامل اطلاعات ۴۵ کارخانه کاشی است که به منظور حفظ محرمانگی اطلاعات، اسامی کارخانه‌ها در بازه A1 تا A45 نام‌گذاری شدند.

جدول ۶: ماتریس تصمیم

درصد خاموشی دوره قبل C6	انحراف از استاندارد C5	مصرف برق (کیلووات ساعت) C4	میزان تولید (Kg) C3	تعداد نیرو C2	صادرات (ارزش دلاری) C1	
۰/۴۱۴	-۲۶/۱۶	۲۴۰۰۵۳۷۴	۱۰۸۷۲۹۰۰۰	۱۸۲	۰/۳۴۴۶۲۵۱	A1
۰/۳۳۲	۱۴/۲۱	۱۶۱۴۷۵۲۵	۱۰۷۵۵۹۹۱۶	۲۷۴	۰/۹۵۵۹۳۸۴	A2
۰/۳۵۹	۳۱/۴۳	۱۲۸۰۶۵۸۳	۱۰۶۷۱۹۲۸۴	۲۷۴	۰/۲۷۹۸۲۲۳	A3
۰/۴۷۷	۵۵/۵۴	۱۳۸۹۵۰۲۲	۵۱۰۴۹۲۰۸	۲۱۳	۰/۱۲۴۹۲۷۹	A4
۰/۳۲۷	۶۴/۵۹	۵۰۶۲۱۱	۸۱۶۹۲۵۲	۴۱	۰	A5
۰/۴۷۳	-۴۸/۴۰	۳۵۱۰۷۱۵	۲۱۵۰۶۹۴۴	۸۰	۰/۲۳۸۹۳۵۵	A6
۰/۳۴۱	۳/۸۲	۲۱۳۶۶۸۴۳	۱۲۶۹۵۰۴۴۸	۲۹۱	۰/۶۹۳۸۴۷۶	A7
۰/۴۰۰	۱۱/۲۹	۲۰۲۱۸۱۱۲	۱۲۶۶۱۱۷۰۲	۲۶۴	۰/۱۳۳۴۷	A8
۰/۴۵۹	-۱/۱۷	۷۲۲۸۶۷۳	۴۲۰۳۱۰۰۰	۱۵۰	۰/۰۱۱۵۳۱۹	A9
۰/۳۶۸	۳۱/۴۴	۸۶۸۴۶۲	۱۱۵۱۶۱۸۱	۶۰	۰/۱۰۷۱۲۴۸	A10
۰/۴۲۳	۷/۵۵	۹۴۱۰۵۴۹	۴۹۱۷۶۸۷۳	۱۹۰	۰/۲۹۶۶۲۱۴	A11
۰/۳۸۲	-۱۱/۷۵	۲۵۲۱۴۳۱۶	۱۲۸۹۳۳۷۸۲	۳۰۰	۰/۳۵۱۷۹۸۲	A12
۰/۵۰۰	۶۰/۵۶	۴۳۰۲۳۹۷	۲۴۳۶۳۱۱۶	۹۰	۰	A13
۰/۴۵۰	-۳۹/۹۲	۲۰۵۲۹۰۹۰	۸۶۳۰۴۶۰۰	۱۸۰	۰/۲۰۸۸۹۱۳	A14
۰/۳۷۳	۵۹/۱۱	۹۴۱۶۰۴	۱۹۱۹۰۳۷۰	۲۷	۰	A15
۰/۳۱۴	-۲۹/۵۸	۵۸۳۷۹۳۹۲	۲۵۰۲۹۳۰۷۲	۸۶۰	۰/۵۸۷۹۷۵۸	A16
۰/۳۲۳	۳۰/۲۱	۱۶۹۳۴۵۳۲	۱۳۸۶۵۰۳۳۷	۲۷۳	۰/۸۹۴۸۹۱۷	A17



درصد خاموشی دوره قبل C6	انحراف از استاندارد C5	مصرف برق (کیلووات ساعت) C4	میزان تولید (Kg) C3	تعداد نیرو C2	صادرات (ارزش دلاری) C1	
۰/۳۶۴	-۶/۹۴	۱۲۱۵۹۱۱۶	۶۴۹۷۲۱۱۶	۲۷۲	۰/۶۹۶۱۱۰۸	A18
۰/۴۱۸	۱۹/۱۵	۱۳۰۶۰۲۰۳	۸۴۵۷۶۵۸۹	۱۲۸	۰/۱۸۸۲۵۹۳	A19
۰/۳۰۵	۱۵/۲۰	۲۵۹۴۳۳۵۷	۱۶۹۰۲۷۹۱۱	۹۷۶	۰/۹۸۲۶۲۷۲	A20
۰/۳۱۸	۲۷/۶۷	۲۴۳۲۱۷۲۷	۱۹۲۱۳۵۶۲۴	۴۷۰	۰/۵۱۲۵۹۳۶	A21
۰/۴۳۲	۸/۲۸	۳۵۴۷۴۳۱	۳۹۴۶۷۲۲۴	۵۶	۰/۲۰۶۳۴۲۲	A22
۰/۳۰۹	۱۱/۴۸	۴۲۲۲۱۵۱۴	۲۷۲۵۶۵۵۳۰	۴۷۳	۰/۸۳۹۶۲۸۴	A23
۰/۳۰۰	۱۴/۹۴	۴۴۹۱۸۳۸۷	۲۹۳۳۹۲۴۱۶	۵۰۶	۱/۱۶۱۰۱۱۴	A24
۰/۴۶۴	-۱۷/۰۴	۱۰۸۶۳۷۶۴	۵۴۶۰۰۰۰۰	۹۰	۰/۱۶۶۴۹۲۲	A25
۰/۳۵۰	۳/۳۲	۲۴۱۵۵۹۴۱	۱۴۲۷۷۲۲۴۵	۳۵۳	۰/۳۱۲۰۷۵۳	A26
۰/۳۴۵	-۹/۲۴	۴۱۴۸۰۰۰۰	۲۰۸۶۴۳۰۳۶	۳۷۵	۰/۲۳۲۹۱۰۷	A27
۰/۴۶۸	-۶۸/۹۵	۱۳۳۲۸۹۱۴	۴۵۰۸۱۸۷۸	۲۵۵	۰/۲۳۳۳۶۴	A28
۰/۴۴۱	-۱۸/۷۵	۱۳۲۶۲۵۹۸	۶۳۸۱۹۷۴۸	۱۴۷	۰/۲۸۱۰۸۱۱	A29
۰/۳۹۱	-۲۱/۹۰	۱۸۰۳۹۱۰۰	۸۴۰۸۲۱۵۶	۴۵۰	۰/۳۹۱۷۰۲	A30
۰/۳۳۶	۱۹/۹۸	۲۲۷۸۱۴۸۶	۱۴۰۲۳۸۴۹۹	۵۳۰	۰/۳۳۹۳۱۱۷	A31
۰/۴۰۵	-۳۹/۰۷	۲۳۵۶۷۴۷۳	۹۶۸۳۶۶۰۴	۲۸۲	۰/۴۶۰۷۷۸۵	A32
۰/۳۹۵	۲۶/۵۵	۶۵۶۵۱۲۴	۵۱۰۷۶۵۷۵	۱۵۲	۰/۴۶۰۲۰۹۱	A33
۰/۳۵۵	۱/۶۲	۲۵۶۹۴۵۴۹	۱۴۹۲۴۹۲۹۶	۴۰۰	۰/۲۱۸۵۲۱۲	A34
۰/۴۳۶	۱۲/۱۹	۱۳۲۷۵۳۵۴	۷۰۳۱۷۴۳۱	۱۰۰	۰/۱۲۴۴۶۰۲	A35
۰/۳۷۷	-۴/۷۵	۲۶۵۸۲۸۶۱	۱۴۵۰۰۷۷۳۵	۴۱۰	۰/۱۶۸۴۵۹۵	A36
۰/۴۸۶	-۳۳/۳۶	۱۳۱۷۱۲۲۳	۵۶۴۳۷۷۲۵	۱۴۲	۰/۰۲۰۰۲۴۴	A37
۰/۴۰۹	-۹/۰۱	۱۴۷۵۰۳۴۷	۷۷۳۲۲۰۲۹	۲۲۵	۰/۳۵۲۱۶۲۸	A38
۰/۴۹۵	-۵۰/۰۵	۲۳۰۱۳۱۴	۱۴۷۴۷۲۶۵	۵۲	۰/۰۴۵۴۸۲۷	A39
۰/۴۸۲	-۱۵/۷۷	۴۹۱۳۹۷۳	۴۰۰۴۲۴۸۱	۵۸	۰	A40

درصد خاموشی دوره قبل C6	انحراف از استاندارد C5	مصرف برق (کیلووات ساعت) C4	میزان تولید (Kg) C3	تعداد نیرو C2	صادرات (ارزش دلاری) C1	
۰/۴۵۵	-۳/۱۹	۲۶۷۱۴۱۵	۲۳۵۳۴۰۷۶	۵۰	۰/۰۵۸۷۳۲۳	A41
۰/۳۸۶	-۱۳/۱۶	۲۲۹۲۷۰۱۲	۱۱۵۷۷۰۹۶۰	۴۴۰	۰/۲۳۶۲۴۴۳	A42
۰/۴۹۱	-۱۱۳/۶۹	۳۵۰۴۸۰۳۹	۹۳۷۲۳۵۶۰	۲۳۶	۰/۲۹۰۲۱۱۲	A43
۰/۴۴۵	-۱۳/۲۹	۴۹۶۵۷۴۴	۴۰۵۸۴۲۴۷	۲۳	۰/۳۱۲۹۲۴۸	A44
۰/۴۲۷	۵/۰۴	۳۲۸۷۱۸۲	۳۳۲۸۴۷۶۰	۶۴	۰/۲۹۰۳۷۳۴	A45

۵-۲-۱. نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم‌گیری

برای نرمالیزه کردن از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود. برای معیارهای مثبت از رابطه (۱) و برای معیارهای منفی از رابطه (۲) استفاده می‌کنیم.

$$X_{ij}^N = \frac{X_{ij}}{\max_k X_{kj}} \quad \text{اگر } j \in BC \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$X_{ij}^N = \frac{\min_k X_{kj}}{X_{ij}} \quad \text{اگر } j \in Nc \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۷: ماکسیمم و مینیمم معیارهای مثبت و منفی

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	+	+	+	-	-	-
Max	۱/۱۶۱۰۱۱۴	۹۷۶	۲۹۳۳۹۲۴۱۶			
Min				۵۰۶۲۱۱	-۱۱۳/۶۸۶۴	۰/۳

جدول ۸: ماتریس نرمالیزه شده

C6	C5	C4	C3	C2	C1	
۰/۸۲۸	- ۰/۴۰۵	۰/۰۲۱	۰/۳۷۱	۰/۱۸۶	۰/۲۹۷	A1
۰/۶۶۴	۰/۲۲۰	۰/۰۳۱	۰/۳۶۷	۰/۲۸۱	۰/۸۲۳	A2
۰/۷۱۸	۰/۴۸۷	۰/۰۴۰	۰/۳۶۴	۰/۲۸۱	۰/۲۴۱	A3



C6	C5	C4	C3	C2	C1	
۰/۹۵۴	-۰/۸۶۰	۰/۰۳۶	۰/۱۷۴	۰/۲۱۸	۰/۱۰۸	A4
۰/۶۵۴	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۲۸	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	A5
۰/۹۴۶	-۰/۷۴۹	۰/۱۴۴	۰/۰۷۳	۰/۰۸۲	۰/۲۰۶	A6
۰/۶۸۲	۰/۰۵۹	۰/۰۲۴	۰/۴۳۳	۰/۲۹۸	۰/۵۹۸	A7
۰/۸۰۰	۰/۱۷۵	۰/۰۲۵	۰/۴۳۲	۰/۲۷۰	۰/۱۱۵	A8
۰/۹۱۸	-۰/۰۱۸	۰/۰۷۰	۰/۱۴۳	۰/۱۵۴	۰/۰۱۰	A9
۰/۷۳۶	۰/۴۸۷	۰/۵۸۳	۰/۰۳۹	۰/۰۶۱	۰/۰۹۲	A10
۰/۸۴۶	۰/۱۱۷	۰/۰۵۴	۰/۱۶۸	۰/۱۹۵	۰/۲۵۵	A11
۰/۷۶۴	-۰/۱۸۲	۰/۰۲۰	۰/۴۳۹	۰/۳۰۷	۰/۳۰۳	A12
۱/۰۰۰	-۰/۹۳۷	۰/۱۱۸	۰/۰۸۳	۰/۰۹۲	۰/۰۰۰	A13
۰/۹۰۰	-۰/۶۱۸	۰/۰۲۵	۰/۲۹۴	۰/۱۸۴	۰/۱۸۰	A14
۰/۷۴۶	۰/۹۱۵	۰/۵۳۸	۰/۰۶۵	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰	A15
۰/۶۲۸	-۰/۴۵۸	۰/۰۰۹	۰/۸۵۳	۰/۸۸۱	۰/۵۰۶	A16
۰/۶۴۶	۰/۴۶۸	۰/۰۳۰	۰/۴۷۳	۰/۲۸۰	۰/۷۷۱	A17
۰/۷۲۸	-۰/۱۰۷	۰/۰۴۲	۰/۲۲۱	۰/۲۷۹	۰/۶۰۰	A18
۰/۸۳۶	۰/۲۹۷	۰/۰۳۹	۰/۲۸۸	۰/۱۳۱	۰/۱۶۲	A19
۰/۶۱۰	۰/۲۳۵	۰/۰۲۰	۰/۵۷۶	۱/۰۰۰	۰/۸۴۶	A20
۰/۶۳۶	۰/۴۲۸	۰/۰۲۱	۰/۶۵۵	۰/۴۸۲	۰/۴۴۲	A21
۰/۸۶۴	۰/۱۲۸	۰/۱۴۳	۰/۱۳۵	۰/۰۵۷	۰/۱۷۸	A22
۰/۶۱۸	۰/۱۷۸	۰/۰۱۲	۰/۹۲۹	۰/۴۸۵	۰/۷۲۳	A23
۰/۶۰۰	۰/۲۳۱	۰/۰۱۱	۱/۰۰۰	۰/۵۱۸	۱/۰۰۰	A24
۰/۹۲۸	-۰/۲۶۴	۰/۰۴۷	۰/۱۸۶	۰/۰۹۲	۰/۱۴۳	A25
۰/۷۰۰	۰/۰۵۱	۰/۰۲۱	۰/۴۸۷	۰/۳۶۲	۰/۲۶۹	A26
۰/۶۹۰	-۰/۱۴۳	۰/۰۱۲	۰/۷۱۱	۰/۳۸۴	۰/۲۰۱	A27
۰/۹۳۶	-۱/۰۶۷	۰/۰۳۸	۰/۱۵۴	۰/۲۶۱	۰/۲۰۱	A28

C6	C5	C4	C3	C2	C1	
۰/۸۸۲	-۰/۲۹۰	۰/۰۳۸	۰/۲۱۸	۰/۱۵۱	۰/۲۴۲	A29
۰/۷۸۲	-۰/۳۳۹	۰/۰۲۸	۰/۲۸۷	۰/۴۶۱	۰/۳۳۷	A30
۰/۶۷۲	۰/۳۰۹	۰/۰۲۲	۰/۴۷۸	۰/۵۴۳	۰/۲۹۲	A31
۰/۸۱۰	-۰/۶۰۵	۰/۰۲۱	۰/۳۳۰	۰/۲۸۹	۰/۳۹۷	A32
۰/۷۹۰	۰/۴۱۱	۰/۰۷۷	۰/۱۷۴	۰/۱۵۶	۰/۳۹۶	A33
۰/۷۱۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	۰/۵۰۹	۰/۴۱۰	۰/۱۸۸	A34
۰/۸۷۲	۰/۱۸۹	۰/۰۳۸	۰/۲۴۰	۰/۱۰۲	۰/۱۰۷	A35
۰/۷۵۴	-۰/۰۷۴	۰/۰۱۹	۰/۴۹۴	۰/۴۲۰	۰/۱۴۵	A36
۰/۹۷۲	-۰/۵۱۶	۰/۰۳۸	۰/۱۹۲	۰/۱۴۵	۰/۰۱۷	A37
۰/۸۱۸	-۰/۱۳۹	۰/۰۳۴	۰/۲۶۴	۰/۲۳۱	۰/۳۰۳	A38
۰/۹۹۰	-۰/۰۷۷۵	۰/۲۲۰	۰/۰۵۰	۰/۰۵۳	۰/۰۳۹	A39
۰/۹۶۴	-۰/۲۴۴	۰/۱۰۳	۰/۱۳۶	۰/۰۵۹	۰/۰۰۰	A40
۰/۹۱۰	-۰/۰۴۹	۰/۱۸۹	۰/۰۸۰	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	A41
۰/۷۷۲	-۰/۲۰۴	۰/۰۲۲	۰/۳۹۵	۰/۴۵۱	۰/۲۰۳	A42
۰/۹۸۲	-۱/۷۶۰	۰/۰۱۴	۰/۳۱۹	۰/۲۴۲	۰/۲۵۰	A43
۰/۸۹۰	-۰/۲۰۶	۰/۱۰۲	۰/۱۳۸	۰/۰۲۴	۰/۲۷۰	A44
۰/۸۵۴	۰/۰۷۸	۰/۱۵۴	۰/۱۱۳	۰/۰۶۶	۰/۲۵۰	A45

تعیین مقدار π_i

در این مرحله، میزان اختلاف همبستگی یک معیار با دیگر معیارها محاسبه می‌شود؛ بر این اساس ابتدا باید r_{ij} که همبستگی بین معیارها است محاسبه و سپس مقدار همبستگی هر معیار از عدد ۱ کم شود؛ در انتها درایه‌ها به صورت سطری جمع می‌شوند که نتایج در جدول (۹)، آورده شده است.

جدول ۹: مقادیر π_i

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	۰	۰/۳۷۹	۰/۳۲۷	۱/۳۶۷	۰/۸۱۶	۱/۶۷۴
C2	۰/۳۷۹	۰	۰/۲۰۳	۱/۴۱۳	۰/۹۵۷	۱/۶۵۷
C3	۰/۳۲۷	۰/۲۰۳	۰	۱/۴۶۵	۰/۸۷۲	۱/۷۰۷
C4	۱/۳۶۷	۱/۴۱۳	۱/۴۶۵	۰	۰/۵۸۵	۱/۰۵۹
C5	۰/۸۱۶	۰/۹۵۷	۰/۸۷۲	۰/۵۸۵	۰	۱/۶۵۸
C6	۱/۶۷۴	۱/۶۵۷	۱/۷۰۷	۱/۰۵۹	۱/۶۵۸	۰

تعیین مقادیر نرمال انحراف معیار و π_i

در این مرحله، مقادیر نرمال انحراف معیار و π_i محاسبه می‌شود؛ مقدار π_i قبل محاسبه شد که برای نرمال‌سازی آن باید هر π_i را بر جمع کل π_i ها تقسیم کرد تا مقادیر نرمال حاصل شود. برای مقدار نرمال انحراف معیار نیز باید ابتدا مقدار انحراف معیار محاسبه شود و در ادامه جهت نرمال‌سازی هر مقدار انحراف معیار را بر جمع کل انحراف معیارها تقسیم می‌کنیم. نتایج در جدول (۱۰)، آورده شده است.

جدول ۱۰: مقادیر انحراف معیار و نرمال π_i

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
انحراف معیار نرمال	۰/۱۶۳۳۵۹۶	۰/۱۳۸۷۴۸۳	۰/۱۵۶۲۶۰۷	۰/۱۱۹۶۴۱۲۲	۰/۳۴۳۰۱۵۵۳	۰/۰۷۸۹۷۴۱
π_i نرمال	۰/۱۷۲۳۵۳۵	۰/۱۷۶۰۳۹۹۵	۰/۱۷۰۹۷۹۱	۰/۲۸۸۰۱۶۶۹	۰/۱۹۲۶۱۰۷۵	۰/۴۶۲۵

تشکیل مدل بهینه‌سازی و حل آن

در این بخش در واقع یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی تشکیل و توسط نرم‌افزار لینگو حل می‌گردد؛ در این مدل به ازای مقادیر $0/1\beta$ تا ۶ مدل اجرا شده است و در هربار اجرا، وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها حاصل شده است. مقادیر وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها به ترتیب در جداول (۱۱) و (۱۲) به ازای مقادیر مختلف β آورده شده است.

جدول ۱۱: وزن معیارها به ازای مقادیر مختلف β

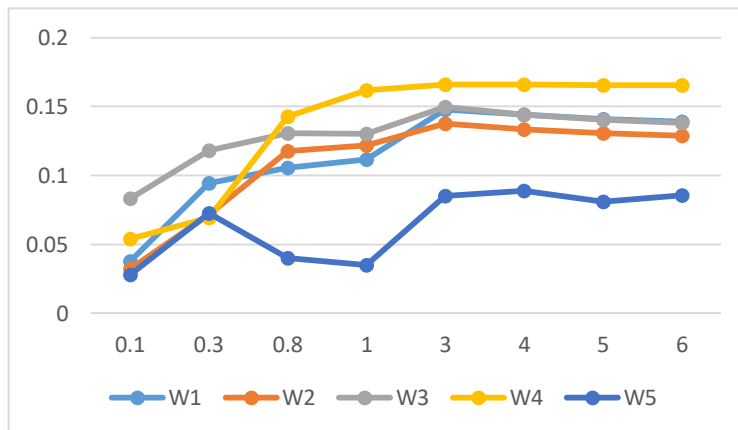
	مقادیر β							
	۰/۱	۰/۳	۰/۸	۱	۳	۴	۵	۶
C1	۰/۰۳۷۶۶	۰/۰۹۴۵۱	۰/۱۰۶	۰/۱۱۱۴۲	۰/۱۴۷۹۲	۰/۱۴۴۰۵	۰/۱۴۱۰۳	۰/۱۳۹۰۳
C2	۰/۰۳۲۲۹	۰/۰۷۱۴۹	۰/۱۱۷۷۳	۰/۱۲۱۸۹	۰/۱۳۷۶۴	۰/۱۳۳۵۵	۰/۱۳۰۶۳	۰/۱۲۸۷
C3	۰/۰۸۳۱۳	۰/۱۱۸۱۷	۰/۱۳۰۷۶	۰/۱۳۰۱۱	۰/۱۴۹۷۳	۰/۱۴۴۳۶	۰/۱۴۰۴۸	۰/۱۳۷۹
C4	۰/۰۵۴۲۲	۰/۰۶۹۲۸	۰/۱۴۲۷۸	۰/۱۶۱۹۱	۰/۱۶۶۱۴	۰/۱۶۵۸	۰/۱۶۵۷۳	۰/۱۶۵۶۷
C5	۰/۰۲۸۲	۰/۰۷۲۴۴	۰/۰۴۰۲۱	۰/۰۳۵۱۹	۰/۰۸۵۱۱	۰/۱۱۸۹۳	۰/۱۴۱۰۳	۰/۱۵۵۶۴
C6	۰/۷۶۴۴۹	۰/۵۷۴۱۱	۰/۴۶۲۹۵	۰/۴۳۹۴۹	۰/۳۱۳۴۷	۰/۲۹۳۳۰۲۱	۰/۲۸۱۱۳	۰/۲۷۳۰۴

جدول ۱۲: امتیاز گزینه‌ها به ازای مقادیر مختلف β

	مقادیر β							
	۰/۱	۰/۳	۰/۸	۱	۳	۴	۵	۶
A1	۰/۱۷۷۹	۰/۱۹۹۶۳	۰/۱۸۸۷۲	۰/۱۶۰۸۶	۰/۱۶۰۹۱	۰/۱۶۰۹۱	۰/۱۶۰۹۱	۰/۱۶۰۹۱
A2	۰/۲۴۰۱۳	۰/۳۲۲۸۲	۰/۳۴۴۳۹	۰/۳۴۰۰۲	۰/۳۴۰۱	۰/۳۴۰۱	۰/۳۴۰۱	۰/۳۴۰۱
A3	۰/۲۰۷۲۳	۰/۲۱۸۲	۰/۲۲۹۲۷	۰/۲۴۱۳۴	۰/۲۴۱۳۸	۰/۲۴۱۳۸	۰/۲۴۱۳۸	۰/۲۴۱۳۸
A43	۰/۱۷۲۴۲	۰/۱۸۸۴۴	۰/۱۳۶۷۷	۰/۱۰۴۴۳	۰/۱۰۴۴۴	۰/۰۴۷۲۲	۰/۰۴۷۲۲	۰/۰۴۷۲۲
A44	۰/۱۰۰۱۲	۰/۱۲۲۰۸	۰/۱۱۹۲۴	۰/۱۳۹۵۹	۰/۱۳۹۵۹	۰/۱۰۴۴۴	۰/۱۰۴۴۴	۰/۱۰۴۴۴
A45	۰/۱۲۴۳۴	۰/۱۳۹۴۱	۰/۱۴۲۱۸	۰/۱۴۰	۰/۱۴۰	۰/۱۳۹۵۹	۰/۱۳۹۵۹	۰/۱۳۹۵۹



به‌صورت شماتیک نیز در شکل (۱)، وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها آورده شده است. همان‌طور که هم جداول و هم نمودار نشان می‌دهد از مقادیر $\beta \geq 3$ نمودارها همگرا شده‌اند و تغییرات زیادی ندارند پس می‌توان $\beta = 3$ را مقدار همگرا شده در نظر گرفت که وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها در این مقدار برای مسئله ثابت است.



شکل ۱: تغییرات وزن معیارها به ازای مقادیر مختلف β

جمع‌بندی نتایج سکا

همان‌طور که در روش سکا مشخص شد در $\beta = 3$ به بعد، وزن معیارها و امتیازات گزینه‌ها به همگرایی رسیده است؛ پس در این مقدار β معیارها را براساس وزن اولویت‌بندی شده و همچنین امتیازات گزینه‌ها مشخص می‌شوند که به ترتیب در جداول (۱۳) و (۱۴) آورده شده است. این جداول خروجی نرم‌افزار لینگو هستند.

جدول ۱۳: وزن و اولویت نهایی معیارها

رتبه	وزن معیار	کد معیار	نام معیار
۴	۰/۱۴۴۰۵	C1	سهم از صادرات
۵	۰/۱۳۳۵۵	C2	تعداد نیرو
۳	۰/۱۴۴۳۶	C3	میزان تولید

نام معیار	کد معیار	وزن معیار	رتبه
میزان مصرف برق	C4	۰/۱۶۵۸	۲
میزان انحراف از استاندارد	C5	۰/۱۱۸۹۳	۶
درصد خاموشی دوره قبل	C6	۰/۲۹۳۳۰	۱

جدول ۱۴: امتیاز و اولویت نهایی گزینه‌ها

گزینه‌ها	رتبه	وزن	گزینه‌ها	رتبه	وزن	گزینه‌ها	رتبه	وزن
A1	۲۶	۰/۱۶۰۹	A16	۴	۰/۴۵۸۱	A31	۹	۰/۳۱۶۸
A2	۸	۰/۳۴۰۱	A17	۶	۰/۳۷۱۴	A32	۲۴	۰/۱۷۹۹
A3	۱۴	۰/۲۴۱۳	A18	۱۵	۰/۲۳۸۸	A33	۲۲	۰/۲۰۷۶
A4	۴۰	۰/۰۵۴۰	A19	۲۷	۰/۱۶۰۲	A34	۱۳	۰/۲۵۰۸
A5	۷	۰/۳۶۳۴	A20	۲	۰/۵۴۸۱	A35	۳۱	۰/۱۲۳۲
A6	۳۹	۰/۰۵۶۹	A21	۵	۰/۳۸۳۰	A36	۱۸	۰/۲۳۳۰
A7	۱۰	۰/۲۹۷۸	A22	۳۰	۰/۱۲۸۴	A37	۴۲	۰/۰۴۹۸
A8	۲۳	۰/۲۰۰۳	A23	۳	۰/۴۸۲۱	A38	۲۵	۰/۱۷۱۷
A9	۳۶	۰/۰۸۵۷	A24	۱	۰/۵۶۶۵	A39	۴۴	۰/۰۳۲۱
A10	۱۶	۰/۲۳۶۸	A25	۳۷	۰/۰۸۴۴	A40	۴۱	۰/۰۵۳۰
A11	۲۸	۰/۱۵۷۱	A26	۱۲	۰/۲۵۴۴	A41	۳۵	۰/۰۸۷۴
A12	۱۹	۰/۲۲۰۶	A27	۱۱	۰/۲۷۸۳	A42	۲۰	۰/۲۲۰۵
A13	۴۵	۰	A28	۳۸	۰/۰۶۳۲	A43	۴۳	۰/۰۴۷۲
A14	۳۴	۰/۱۰۳۸	A29	۳۲	۰/۱۲۰۷	A44	۳۳	۰/۱۰۴۴
A15	۱۷	۰/۲۳۶۴	A30	۲۱	۰/۲۱۷۷	A45	۲۹	۰/۱۳۹۵



همان‌طور که در جدول (۱۳)، آورده شده است، میزان درصد خاموشی دوره قبل با وزن ۰/۲۹۳ در رتبه یک اهمیت قرار دارد و بعد از آن میزان تولید با وزن ۰/۱۶۵ قرار گرفته است. کمترین رتبه هم به میزان انحراف از استاندارد با وزن ۰/۱۱۸ تعلق دارد. با توجه به رتبه‌بندی گزینه‌ها در جدول (۱۴) و سیاست شرکت توزیع برق که بین ۳۰ تا ۵۰ درصد به این صنایع باید خاموشی تعلق بگیرد، میزان کاهش بار بین صنایع در جدول (۱۵)، توزیع می‌شود.

جدول ۱۵: توزیع درصد خاموشی

گزینه‌ها	درصد کاهش بار	گزینه‌ها	درصد کاهش بار	گزینه‌ها	درصد کاهش بار
A1	۰/۴۴۱	A16	۰/۳۵۹	A31	۰/۳۲۷
A2	۰/۳۱۴	A17	۰/۳۱۸	A32	۰/۴۳۲
A3	۰/۳۵۵	A18	۰/۳۳۶	A33	۰/۳۶۴
A4	۰/۴۶۴	A19	۰/۴۰۵	A34	۰/۳۵۰
A5	۰/۴۴۵	A20	۰/۳۰۰	A35	۰/۴۲۳
A6	۰/۴۲۳	A21	۰/۳۰۹	A36	۰/۳۶۸
A7	۰/۳۳۲	A22	۰/۳۸۲	A37	۰/۴۵۵
A8	۰/۳۹۱	A23	۰/۳۲۳	A38	۰/۳۷۳
A9	۰/۳۹۵	A24	۰/۳۰۵	A39	۰/۴۳۶
A10	۰/۴۰۹	A25	۰/۴۱۸	A40	۰/۴۱۴
A11	۰/۳۷۷	A26	۰/۳۴۵	A41	۰/۴۰۰
A12	۰/۳۸۶	A27	۰/۴۲۷	A42	۰/۳۵۹
A13	۰/۴۵۰	A28	۰/۴۵۹	A43	۰/۴۷۳
A14	۰/۴۶۸	A29	۰/۴۰۵	A44	۰/۳۹۱
A15	۰/۴۴۱	A30	۰/۳۴۱	A45	۰/۳۷۷

نتیجه گیری و پیشنهاد

نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط کمبود انرژی، می‌توان با استفاده از رویکردی علمی و مشارکت خبرگان، معیارهای مؤثر بر اولویت‌بندی خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده در صنایع انرژی‌بر مانند کاشی و سرامیک را شناسایی و ارزیابی کرد. در این مطالعه با بهره‌گیری از تکنیک دلفی، شش معیار نهایی شامل میزان صادرات، تعداد نیروی کار، ظرفیت تولید، میزان انحراف از استاندارد مصرف، درصد خاموشی دوره قبل و میزان مصرف برق انتخاب شدند. سپس با به‌کارگیری روش سکا، ۴۵ واحد صنعتی کاشی و سرامیک استان یزد براساس این معیارها رتبه‌بندی شدند. با استناد به پژوهش فییر و سرا، در شرایط کمبود انرژی، توزیع خاموشی‌ها براساس معیارهای اقتصادی می‌تواند زیان کلی ناشی از قطع برق را به حداقل برساند. از همین رو این پژوهش با شناسایی و به‌کارگیری مجموعه‌ای از معیارهای اقتصادی الگویی ارائه کرده است که بر مبنای آن، خاموشی‌ها به‌گونه‌ای توزیع می‌شوند که کمترین آسیب ممکن به صنعت و اقتصاد کشور وارد شود. با توجه به نظر خبرگان این رویکرد نسبت به سناریوی رایج تخصیص غیربرنامه‌ریزی‌شده خاموشی، منجر به بهبود بهره‌وری و افزایش کارایی سیاست‌های مدیریت بار خواهد شد.

پیشنهادهای پژوهش

✓ به‌کارگیری نتایج در صنعت برق

شرکت توزیع برق استان یزد در زمان‌های اوج مصرف و کمبود انرژی، فاقد یک مبنای علمی برای تخصیص برق به صنایع کاشی است و کاهش بار را به‌صورت یکسان برای تمامی این صنایع اعمال می‌کند که این رویکرد می‌تواند هزینه‌های اقتصادی قابل توجهی را به صنعت و کشور تحمیل کند. با توجه به چالش‌های تخصیص انرژی برق به صنایع کاشی در استان یزد و نبود یک مبنای علمی در تصمیم‌گیری‌های شرکت توزیع برق، این پژوهش می‌تواند به توسعه یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر شاخص‌های کلیدی صنعتی و اقتصادی برای تخصیص عادلانه و بهینه انرژی برق در شرایط کمبود بپردازد. اجرای این مدل می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های تولید، افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش تبعات اجتماعی ناشی از تعطیلی واحدهای



تولیدی و ارائه راهکارهای سیاست‌گذاری کارآمد برای صنعت برق شود. این پیشنهاد را می‌توان در قالب یک دستورالعمل اجرایی برای شرکت توزیع برق استان یزد ارائه کرد.

✓ حمایت از صنایع با مصرف انرژی بهینه

برای صنایعی که مصرف انرژی بهینه‌تری دارند، می‌توان مشوق‌های مالی یا تسهیلات انرژی برای تشویق به ادامه روند بهینه‌سازی مصرف انرژی در نظر گرفت. این صنایع می‌توانند به‌عنوان الگوهای بهینه مصرف انرژی در استان شناخته شوند و به سایر صنایع کمک کنند تا به مصرف انرژی بهینه برسند.

✓ بررسی ویژگی‌های خطوط تولید

با توجه به نتایج حاصل‌شده می‌توان به بررسی ویژگی‌های خطوط تولید صنایع با رتبه‌های برتر پرداخت و با شناسایی این ویژگی‌ها آن‌ها را به سایر صنایع توصیه کرد. همچنین می‌توان به روند نوظهور «انرژی برای هوش مصنوعی» اشاره کرد؛ جریانی که بر این نکته تأکید دارد که ابزارهای هوش مصنوعی برای فعالیت مستمر خود نیازمند مصرف بالای انرژی برق هستند. در این راستا، مدل‌های ارائه‌شده در این پژوهش قابلیت توسعه و تطبیق برای این حوزه را نیز دارا هستند.

✓ تحقیق آتی می‌تواند به توسعه مدل‌های تخصیص انرژی در سطح ملی بپردازد. با توجه به اینکه این تحقیق بر صنایع کاشی و سرامیک استان یزد متمرکز است، توسعه مدل‌های مشابه برای سایر صنایع کشور می‌تواند کمک کند تا تخصیص انرژی در مقیاس بزرگ‌تری بهینه‌سازی شود.

فهرست منابع

- ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۸). بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی با تأکید بر اثر شکست ساختاری در ایران. پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی)، ۱۹ (۲).
- احمدیان و همکاران (۱۳۹۲). برآورد ارزش برق عرضه‌نشده (VoLL) در اثر خاموشی در ایران: رویکرد تولید و فراغت از دست‌رفته. سیاست‌گذاری اقتصادی، ۵ (۹)، ۵۷-۸۰.
- پوستچی و همکاران (۱۴۰۰). رتبه‌بندی صنایع تولیدی پیشنهادی در ایران براساس روش ویکور فازی (FBWM). مجلس و راهبرد، ۲۸ (۱۰۵)، ۱۲۵-۱۷۶.
- تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران.
- خواجه‌رضائی و همکاران (۱۳۹۹). محاسبه هزینه قطع برق و نحوه بهینه تخصیص خاموشی به مشترکین. مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، ۱۸ (۳)، ۱۶۹-۱۷۷.
- درویش توانگر (۱۳۹۴). بحران برق در سال جاری و سال‌های آینده. ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۲۳ (۵).
- دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن (۱۳۹۸). دو راهکار پیشنهادی برای کاهش پیک بار شبکه سراسری برق ۱۳۹۸ (شماره گزارش ۱۶۵۶۲). مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.
- دهقانی، علی؛ علی اکبری نوری، فهیمه (۱۳۹۵). رتبه‌بندی صنایع تولیدی کشور براساس شاخص‌های منتخب اقتصادی در سال ۱۳۹۲ با تکنیک FANP-ARAS. مطالعات اقتصادی کاربردی ایران (مطالعات اقتصادی کاربردی)، ۵ (۱۹)، ۱۰۹-۱۳۰.
- روان‌شادینیا و همکاران (۱۳۹۹). ارزیابی وضعیت عرضه و تقاضای حامل‌های اصلی انرژی در ایران: روند موجود، چالش‌ها و راهکارهای اصلاحی در بخش صنایع وابسته به ساختمان. ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۱۸۲ (۱)، ۵۱-۵۹.
- شیخی و همکاران (۱۴۰۱). محاسبه هزینه خاموشی برق در بخش صنعت. در هشتمین کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی بابل‌سر.
- مبینی دهکردی و همکاران (۱۴۰۰). اثرات قطعی برق بر بخش تولید و صنعت. اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی اصفهان



- یوسفی و همکاران (۱۳۹۸). اثر خاموشی بر صنعت: شواهدی از کارگاه‌های صنعتی ایران. فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۲۷ (۹۲)، ۶۹-۸۸.

References

- Chi Zhang, Zhou, K., Yang, S., & Shao, Z. (2017). On electricity consumption and economic growth in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 353–368. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.071>
- De Nooij, M., Lieshout, R., & Koopmans, C. (2009). Optimal blackouts: Empirical results on reducing the social cost of electricity outages through efficient regional rationing. *Energy Economics*, 31(3), 342–347.
- Grainger, C. A., & Zhang, F. (2019). Electricity shortages and manufacturing productivity in Pakistan. *Energy Policy*, 132, 1000–1008.
- Growitsch, C., Malischek, R., Nick, S., & Wetzel, H. (2013). The costs of power interruptions in Germany—An assessment in the light of the Energiewende. EWI Working Paper.
- Heidari, H., M. Akbari, A. Souhankar and R. Hafezi (2022). “Review of global energy trends towards 2040 and recommendations for Iran oil and gas sector.” *International Journal of Environmental Science and Technology* 19(8): 8007-8018.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2018). Simultaneous evaluation of criteria and alternatives (SECA) for multi-criteria decision-making. *Informatica*, 29(2), 265-280
- Parker, G. G., Tan, B., & Kazan, O. (2019). Electric power industry: Operational and public policy challenges and opportunities. *Production and Operations Management*, 28(11), 2738–2777.
- Rowe, G., & Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353–375.
- Serra, P., & Fierro, G. (1997). Outage cost in Chilean industry. *Energy Economics*, 19, 417–434.
- Valavanidis, A. (2024). Global electricity generation from renewable sources. *Renewables*, 1, 1–27.
- Xu, J., Akhtar, M., Haris, M., Muhammad, S., Abban, O. J., & Taghizadeh-Hesary, F. (2022). Energy crisis, firm profitability, and productivity: An emerging economy perspective. *Energy Strategy Reviews*, 41, 100849.
- Zhao, Y. (2022). Transformation strategy of China's electric power enterprises under the goal of carbon neutrality. *Energy Reports*, 8, 1234–1245.