Journal of Intelligent Strategic Management
Vol(5), 209-254.
Bumara.ir

Investigating the Performance of Iran's Power Grid in the Generation Sector with a Focus on Paradigms Related to Sustainability and Resilience - Presenting a Non-Radial Fuzzy DEA Model

Gholamreza Pakdel — Department of Management, SR.C., Islmic Azad University, Tehran, Iran.

Alireza Anvari* — Department of Management & Industrial Engineering, Gach.C., Islmic Azad University, Gachsaran, Iran

Nazanin Pilevari — Department of Industrial Management, WT.C., Islmic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

The electricity industry in Iran faces numerous structural and functional problems. Strengthening the sustainability and resilience of power systems against disasters is considered a critical priority. This research aims to present a non-radial fuzzy network data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the country's power generation network, taking into account the sustainability and resilience paradigms. The research is of an applied type and its statistical population includes data and information related to power generation plants in 1401. The required information has been collected from the statistical yearbook of the Ministry of Energy and statistics available in the systems of regional power companies. The results of the research show that the efficiency of Iran's power grid in the generation sector is significantly affected by sustainability and resilience indicators. Power plants and companies that have performed effectively in the field of energy consumption optimization, loss reduction, and optimal human resource management have shown greater productivity. The use of advanced technologies, attention to environmental considerations, and strengthening infrastructure have been identified as key factors for improving performance. The fuzzy network data envelopment analysis model has been able to provide an accurate assessment of the difference in unit performance and identify areas that need improvement. Finally, the findings of this research emphasize the need for targeted policymaking to increase resilience and optimize resources, especially in critical situations.

Keywords: Performance evaluation, Data envelopment analysis (DEA), Non-radial model Sustainability, Resilience

How to Cite: Pakdel,Gh., Anvari,A., and Pilevari,N. (2026). Investigating the Performance of Iran's Power Grid in the Generation Sector with a Focus on Paradigms Related to Sustainability and Resilience - Presenting a Non-Radial Fuzzy DEA Model. 5(2), 209-254.
doi: 10.87453/bumara.2026.373601.4823

Intelligent Strategic Management (JISM) in Development and Evolution is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
© Authors

* **Corresponding Author:** Alireza.anvari@iau.ac.ir

Original Research
Received: 2025/10/06
Review: 2026/01/05
Accepted: 2026/02/11
eISSN: 2891-4128

نشریه مدیریت استراتژیک هوشمند
دوره ۵، شماره ۲، تابستان، ۱۴۰۵، ۲۵۴-۲۰۹
Bumara.ir

بررسی عملکرد شبکه برق ایران در حوزه تولید با تمرکز بر پارادایم‌های مرتبط با پایداری و تاب‌آوری -ارائه یک مدل غیر شعاعی DEA فازی

غلامرضا پاکدل گروه مدیریت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

علیرضا انوری* گروه مدیریت و مهندسی صنایع، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران.

نازنین پیله وری گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴
بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۹
eISSN: 2891-4128

چکیده

صنعت برق در ایران با مشکلات ساختاری و عملکردی متعددی روبه‌رو است. تقویت پایداری و تاب‌آوری سیستم‌های قدرت در برابر حوادث، از اولویت‌های حیاتی محسوب می‌شود. این تحقیق با هدف ارائه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی غیر شعاعی برای ارزیابی کارایی شبکه تولید برق کشور، با در نظر گرفتن پارادایم‌های پایداری و تاب‌آوری، انجام شده است. پژوهش از نوع کاربردی بوده و جامعه آماری آن شامل داده ها و اطلاعات مربوط به نیروگاه‌های تولید برق در سال ۱۴۰۱ است. اطلاعات مورد نیاز از سالنامه آماری وزارت نیرو و آمارهای موجود در سامانه‌های شرکت‌های برق منطقه‌ای جمع‌آوری شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کارایی شبکه برق ایران در بخش تولید به طور قابل‌توجهی تحت تأثیر شاخصه‌های پایداری و تاب‌آوری قرار دارد. نیروگاه‌ها و شرکت‌هایی که در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش تلفات و مدیریت بهینه منابع انسانی عملکرد موثری داشته‌اند، بهره‌وری بیشتری از خود نشان داده‌اند. استفاده از فناوری‌های پیشرفته، توجه به ملاحظات زیست‌محیطی، و تقویت زیرساخت‌ها به‌عنوان عوامل کلیدی بهبود عملکرد شناسایی شده‌اند. مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی توانسته است ارزیابی دقیقی از تفاوت عملکرد واحدها ارائه دهد و حوزه‌هایی که نیازمند بهبود هستند را مشخص کند. در پایان، یافته‌های این تحقیق بر لزوم سیاست‌گذاری هدفمند برای افزایش تاب‌آوری و بهینه‌سازی منابع، به‌ویژه در شرایط بحرانی، تأکید می‌ورزد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی عملکرد، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) ، مدل غیر شعاعی، پایداری، تاب‌آوری

استناد به این مقاله: پاکدل، غلامرضا و انوری، علیرضا و پیله وری، نازنین . (۱۴۰۵). بررسی عملکرد شبکه برق ایران در حوزه تولید با تمرکز بر پارادایم‌های مرتبط با پایداری و تاب‌آوری -ارائه یک مدل غیر شعاعی DEA فازی. مدیریت استراتژیک هوشمند, ۵(۲) , ۲۰۹-۲۵۴.

مدیریت استراتژیک هوشمند (JISM) در توسعه و تکامل تحت مجوز بین‌المللی کریتیو کامنز با شرایط انتساب-غیرتجاری ۴,۰ منتشر می‌شود.
©نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** Alireza.anvari@iau.ac.ir

مقدمه

در عصر حاضر، تحولات شگرف دانش مدیریت، وجود نظام‌های ارزیابی و کنترل را به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است؛ به‌گونه‌ای که فقدان چنین نظامی در ابعاد مختلف سازمان، از جمله در ارزیابی منابع، امکانات، اهداف و عملکرد مدیران و کارکنان، به‌عنوان یکی از نشانه‌های نارسایی سازمان قلمداد می‌شود (سپانه و همکاران[1] ۲۰۲۵). نبود سازوکار ارزیابی و کنترل مؤثر، در واقع بیانگر قطع ارتباط نظام‌مند میان سازمان و محیط درونی و بیرونی آن است که پیامد آن در نهایت افول عملکرد و کارایی سازمان خواهد بود (ژانگ و همکاران[2] ۲۰۲۲).

در دهه‌های اخیر، با شتاب‌گرفتن روند جهانی‌شدن، افزایش پیچیدگی‌های ارتباطی و تحولات ناشی از صنعتی‌شدن، روش‌های نوین مبتنی بر مدل‌های ریاضی به‌منظور بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی توسعه یافته‌اند. مدیران و اقتصاددانان معاصر بیش از پیش به ضرورت ارزیابی علمی و دقیق کارایی واحدهای اقتصادی پی برده‌اند (جلیلیان و همکاران، ۱۴۰۱). با وجود نقش زیربنایی صنعت برق در توسعه اقتصادی و اجتماعی، این صنعت در ایران با مشکلات ساختاری و عملکردی متعددی روبه‌رو است. فقدان نظام‌های ارزیابی دقیق موجب شده تا ارتباط کارآمد میان اجزای شبکه و محیط‌های داخلی و خارجی برقرار نشود؛ امری که در نهایت به افت عملکرد و بهره‌وری پایین منجر می‌شود (باقری و اسلامی، ۱۴۰۲). از سوی دیگر، محدودیت منابع انرژی تجدیدپذیر، بهره‌وری پایین انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی، چالش‌هایی اساسی در مسیر دستیابی به پایداری ایجاد کرده‌اند.

تاب‌آوری به معنای توانایی شبکه در مقابله با اختلالات و بازیابی سریع از حوادث طبیعی یا انسانی است (امیریون و همکاران، ۱۴۰۱). ضعف در مدیریت بحران و فقدان طرح‌های تاب‌آوری یکی از تهدیدهای جدی برای پایداری عملکرد شبکه برق به شمار می‌آید (اسدزاده، ۱۳۹۹). علاوه بر این، فرسودگی تجهیزات، عدم بهینه‌سازی فرآیندها و محدودیت منابع مالی برای ارتقاء سامانه‌ها، موجبات کاهش کارایی و تأخیر در اقدامات اصلاحی را فراهم آورده است (صباحی و حامدی، ۱۴۰۱). یکی از کاستی‌های مهم در پژوهش‌های این حوزه، نبود رویکردهای ارزیابی نوین همچون مدل‌های فازی و غیرشعاعی است که بتوانند با ابهامات داده‌ای و پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری مواجه شوند.

---

[1] Seppänen et al
[2] Zhang et al

ازاین‌رو، نیاز فوری به طراحی مدل‌های تحلیلی چندبُعدی احساس می‌شود تا عملکرد شبکه برق را با در نظر گرفتن شاخص‌های نوین مدیریتی، محیط‌زیستی و تاب‌آوری مورد بررسی قرار دهند (راستگو حسینی، ۱۴۰۲).

در سال‌های اخیر، مدل غیرشعاعی تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی[1] به‌عنوان روشی مؤثر در تحلیل کارایی توزیع برق مورد توجه قرار گرفته است. بااین‌حال، علی‌رغم نقش حیاتی شبکه‌های برق در زندگی روزمره بشر، موضوعاتی چون پایداری و تاب‌آوری به‌عنوان ارکان اصلی طراحی و بهره‌برداری از این سیستم‌ها، در بسیاری از مطالعات پیشین مورد غفلت واقع شده‌اند (راستگو و همکاران، ۱۴۰۲). در این تحقیق، تاب‌آوری و پایداری به‌منزله توانایی سیستم در حفظ عملکرد (انوری[2] ۲۰۲۱) و مقاومت در برابر خرابی تجهیزات ناشی از حوادث طبیعی یا انسانی مورد توجه قرار گرفته‌اند (ژانگ و همکاران[3] ۲۰۲۵). هدف آن است که امنیت سیستم در شرایط بحرانی حفظ گردد و عملکرد آن در برابر رویدادهای محتمل ولی خسارت‌زا استمرار یابد. تجربه حوادث شدید اقلیمی در سال‌های اخیر، اهمیت تقویت تاب‌آوری و پایداری سیستم‌های قدرت را بیش از پیش آشکار ساخته است.

بر این اساس، پرسش اصلی پژوهش حاضر چنین است:

- چگونه می‌توان مدلی توسعه داد که ضمن ارزیابی کارایی کلی شبکه برق کشور، با لحاظ شاخص‌های پایداری و تاب‌آوری، کارایی اجزای مختلف آن از جمله بخش‌های تولید را نیز محاسبه نماید؟

ادبیات تحقیق

با افزایش پیوسته وابستگی جوامع انسانی به منابع انرژی و به‌ویژه روش‌های متنوع تولید برق، همراه با ضرورت ارتقای پایداری و تاب‌آوری شبکه‌های توزیع، نقش شرکت‌های برق در تامین، حفظ و نگهداری شبکه بیش از پیش اهمیت یافته است .این مسئولیت با هدف ارائه برق مطمئن و پایدار برای بهبود شاخص‌های رفاه اجتماعی دنبال می‌شود .در این بخش تلاش شده تا مباحث مرتبط با پایداری و تاب‌آوری شبکه برق مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

---

[1] Fuzzy Network DEA
[2] Anvari
[3] Zhang et al

اهمیت انرژی در توسعه اقتصادی :انرژی از بنیادی‌ترین نیازهای جوامع بشری و عامل کلیدی در رشد و پویایی اقتصادی کشورها محسوب می‌شود. ساختارهای اقتصادی هر کشور به‌گونه‌ای تنگاتنگ به منابع انرژی، الگوهای مصرف و هزینه تأمین آن وابسته‌اند (خان و همکاران[1] ۲۰۲۵). برنامه‌ریزی‌های کلان توسعه نیز همواره بر پایه تأمین پایدار انرژی و بهره‌وری در مصرف آن سازمان می‌یابد. ازاین‌رو، طراحی روش‌هایی برای افزایش کارآمدی سیستم‌های تولید و توزیع انرژی، به‌ویژه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش هزینه‌های مرتبط، از اولویت‌های راهبردی کشورهای در حال توسعه به شمار می‌آید. در میان انواع انرژی، برق به دلیل ویژگی‌های خاص خود (از جمله سهولت انتقال، پاکی نسبی و نقش محوری در سایر بخش‌های تولیدی) از جایگاهی ویژه برخوردار بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد اقتصادی و ارتقای کیفیت زندگی ایفا می‌کند (فلاحی و همکاران[2] ۲۰۲۱).

مفهوم پایداری: واژه «پایداری» به معنای استمرار، تداوم حیات و توانایی حفظ شرایط مطلوب در آینده است (دی فاینلیخت و فولاند[3] ۲۰۲۵). این مفهوم، در قالب «توسعه پایدار»، تلاشی است برای تلفیق منافع و ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در تصمیم‌گیری‌های کلان، تا از تخریب منابع طبیعی جلوگیری شده و عدالت میان نسل‌ها حفظ شود (وحید نسب و همکاران[4] ۲۰۲۱).

صاحب‌نظران حوزه توسعه پایدار، سه بُعد اصلی برای آن در نظر گرفته‌اند:

- اقتصادی: به معنای رشد و کارایی اقتصادی در استفاده از منابع محدود؛
- اجتماعی: تضمین عدالت اجتماعی، اشتغال پایدار و بهبود کیفیت زندگی؛
- زیست‌محیطی: حفاظت از منابع طبیعی و کاهش پیامدهای منفی فعالیت‌های انسانی (شایر و همکاران[5] ۲۰۲۱).

در این چارچوب، توسعه پایدار تأکید دارد که رشد اقتصادی بدون توجه به محیط‌زیست و ساختارهای اجتماعی، منجر به ناپایداری در بلندمدت خواهد شد. از این‌رو، ملاحظاتی مانند کاهش گازهای گلخانه‌ای، مقابله با تغییرات اقلیمی، جلوگیری از تخریب زمین و کاهش منابع غیرتجدیدپذیر و آلودگی هوا از محورهای اساسی پایداری انرژی محسوب می‌شوند (فیاض و همکاران، ۱۴۰۲).

---

[1] Khan et al
[2] Fallahi
[3] de Fine Licht & Folland
[4] Vahidinasab et al
[5] Shair et al

مفهوم تاب‌آوری: «تاب‌آوری» مفهومی میان‌رشته‌ای است که به توانایی یک سیستم یا جامعه برای مقاومت در برابر اختلالات، سازگاری با شرایط متغیر و بازیابی سریع عملکرد پس از وقوع بحران اشاره دارد (محسن‌دخت و همکاران[1] ۲۰۲۵). دفتر سازمان ملل متحد برای کاهش بلایای طبیعی، تاب‌آوری را به عنوان توانایی یک سیستم اجتماعی در معرض خطر برای مقاومت، جذب و انطباق مؤثر با اثرات مخاطرات، همراه با حفظ و بازگردانی ساختارهای حیاتی تعریف کرده است (لی و همکاران[2] ۲۰۲۱).

در واقع، تاب‌آوری یک سیستم بیانگر توان عملی آن برای «پیش‌بینی، جذب، پاسخ، انطباق و احیای مجدد» پس از وقوع حادثه است.

بر این اساس، راهبردهای تقویت تاب‌آوری شبکه‌های انرژی معمولاً دو هدف اصلی را دنبال می‌کنند:

- کاهش تأثیر فوری رویدادهای بحرانی مانند طوفان‌ها یا بحران‌های آب‌وهوایی شدید؛
- کاهش زمان بازیابی عملکرد شبکه تا رسیدن به شرایط عادی (چی وونگاه و همکاران[3] ۲۰۲۵).

این راهبردها معمولاً در دو طبقه کلی جای می‌گیرند:

- افزایش مقاومت فیزیکی شبکه از طریق ارتقای زیرساخت‌ها و تجهیزات برای کاهش شدت آسیب‌ها؛
- تقویت قابلیت عملیاتی شبکه برای کاهش زمان بازسازی و افزایش انعطاف در مواجهه با بحران‌ها (شریف‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۰).

در مجموع، پایداری و تاب‌آوری به‌عنوان دو رویکرد مکمل، ابزارهای نظری و کاربردی مؤثری برای تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های انرژی محسوب می‌شوند (انوری[4] ۲۰۲۱)ی. تلفیق این دو مفهوم در ارزیابی صنعت برق می‌تواند درک عمیق‌تری از عملکرد شبکه در شرایط عادی و بحرانی فراهم سازد و مسیر بهبود بهره‌وری، پایداری زیست‌محیطی و امنیت انرژی را هموار کند.

---

[1] Mohsendokht et al
[2] Li et al
[3] Chivunga et al
[4] Anvari

مفهوم کارایی: کارایی به معنای ارزیابی هزینه منابعی است که برای دستیابی به اهداف صرف می‌شود (چی وونگا و همکاران[1] ۲۰۲۵). این مفهوم با مقایسه خروجی‌های حاصل با ورودی‌های مصرف‌شده، سطح کارایی را تعیین می‌کند (درویش متولی، ۱۳۹۹). پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد یک سیستم به‌طور مشابه بر کارایی آن نیز اثرگذار هستند .این پارامترها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: عوامل درون‌سازمانی که تحت کنترل سازمان قرار دارند و عوامل برون‌سازمانی یا محیطی که در کوتاه‌مدت خارج از کنترل سازمان هستند (قاسمی و همکاران، ۱۴۰۲). فرآیند ارزیابی عملکرد یک روند مستمر است که در آن میزان تحقق اهداف مورد سنجش قرار می‌گیرد .در این فرآیند، کارایی و اثربخشی منابع به‌کاررفته، کیفیت نتایج حاصل از فرآیندها و همچنین نحوه اجرای برنامه‌ها بررسی می‌شوند(شریف مقدم و دشتی، ۱۴۰۰).

تولید برق(نیروگاه‌های برق): تولید برق در ایران یکی از صنایع کلیدی کشور به شمار می‌رود و به علت منابع غنی انرژی نظیر نفت، گاز و منابع تجدیدپذیر، از ظرفیت بالایی برای پاسخ‌گویی به نیازهای داخلی و توسعه برخوردار است. ایران با دارا بودن نیروگاه‌های بزرگ گازی، بخاری و سیکل ترکیبی، توان بالایی در تولید برق دارد(جلیلیان و همکاران،۱۴۰۱). نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به دلیل بهره‌وری بالا و مصرف بهینه سوخت از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. البته، صنعت برق ایران با چالش‌هایی نظیر نوسازی زیرساخت‌ها، کاهش تلفات شبکه و افزایش بهره‌وری مواجه است. همچنین برنامه‌هایی برای جذب سرمایه‌گذاری خارجی و همکاری‌های بین‌المللی با هدف بهبود فناوری و گسترش ظرفیت تولید در دستور کار قرار دارد .تولید برق در ایران نقش حیاتی در رشد اقتصادی و رفاه اجتماعی داشته و اقدامات گسترده‌ای برای ارتقای سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور در حال انجام است(ژانگ[2] و همکاران،۲۰۲۲).

در تحلیل کارایی نیروگاه‌های برق ایران، حقوق نیروی انسانی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[3]) نقش قابل توجهی در ارزیابی بازده اقتصادی و پایداری دارد .هزینه نیروی انسانی بخش عمده‌ای از هزینه‌های عملیاتی نیروگاه‌ها را شامل می‌شود. تحلیل دقیق این داده‌ها می‌تواند امکان شناسایی نیروگاه‌های کارا و ناکارآمد را فراهم کند؛ این امر می‌تواند به ارائه راهکارهایی جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری

[1] Chivunga et al
[2] Zhang
[3] Data Envelopment Analysis

منجر شود. (پتریدیس و همکاران[1]، ۲۰۱۹). از منظر پایداری اقتصادی، مدیریت صحیح حقوق نیروی انسانی نه تنها کمک به صرفه‌جویی مالی و افزایش کارایی کلی می‌کند، بلکه شرایط کاری بهتر و رضایت بیشتر کارکنان را نیز به دنبال دارد که در نهایت منجر به کاهش نرخ ترک کار و افزایش بهره‌وری خواهد شد(پورباباگل و همکاران،۱۴۰۰). در مواقع بحرانی، تعداد نیروی انسانی فنی در نیروگاه‌ها اهمیت بسیاری دارد، چراکه افزایش تعداد افراد متخصص می‌تواند زمان پاسخگویی به مشکلات را کاهش داده و سرعت تعمیرات را افزایش دهد. با این اقدام، نیروگاه‌ها قادر خواهند بود کمترین میزان اختلال را تجربه کنند و خسارات مالی و عملیاتی را به حداقل برسانند.

آموزش مستمر و ایجاد آمادگی برای مواجهه با بحران‌ها نیز عاملی اساسی در بهبود عملکرد کارکنان است. سرمایه‌گذاری در تقویت مهارت‌ها و توانمندی‌های نیروی انسانی فنی، علاوه بر افزایش تاب‌آوری نیروگاه‌ها، به ارتقای امنیت زیرساخت‌های انرژی کشور نیز کمک خواهد کرد(فلاحی[2]و همکاران،۲۰۲۱). مصرف سوخت از عوامل کلیدی در تحلیل کارایی و پایداری اقتصادی نیروگاه‌های برق محسوب می‌شود. مدل DEA با بررسی میزان مصرف سوخت در برابر خروجی تولیدشده، سهم نیروگاه‌های کارا و ناکارا را مشخص می‌کند(پورباباگل و همکاران،۱۴۰۰). هدف اصلی در این زمینه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و ارتقای بهره‌وری است، چرا که نیروگاه‌هایی با توان تولید بیشتر برق و مصرف کمتر سوخت نه تنها هزینه‌های اجرایی کمتری خواهند داشت، بلکه نقش مهمی در کاهش آلودگی زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا خواهند کرد .بنابراین توجه به معیار مصرف سوخت در تحلیل‌ها ابزار مهمی برای مدیران نیروگاه‌ها است تا گام‌هایی مؤثر در جهت دستیابی به اهداف پایداری اقتصادی و محیط‌زیستی بردارند(گبرماسکلو همکاران[3]،۲۰۲۳).

هزینه‌های مربوط به تحقیق و توسعه و نوآوری به‌عنوان یکی از عناصر اصلی در DEA برای نیروگاه‌های برق ایران، تأثیر بسزایی در ارتقای تاب‌آوری این نیروگاه‌ها دارد. تخصیص منابع مالی به حوزه تحقیق و توسعه امکان پیشرفت فناوری‌ها، بهبود فرایندها و افزایش بهره‌وری را فراهم کرده و این عوامل به تقویت تاب‌آوری نیروگاه‌ها در برابر بحران‌ها و چالش‌های احتمالی کمک می‌کنند (باقری و اسلامی ،۱۴۰۲). فعالیت‌های

[1] Petridis et al
[2] Fallahi
[3] Gebremeskel et al

تحقیق و توسعه زمینه مناسبی برای بهره‌برداری از فناوری‌های نوین فراهم کرده و تولید برق را با افزایش کارایی و استفاده بهینه از منابع امکان‌پذیر می‌سازد .نوآوری نیز یکی دیگر از مؤلفه‌های کلیدی در افزایش تاب‌آوری نیروگاه‌ها به‌شمار می‌رود؛ زیرا بکارگیری و پیاده‌سازی فناوری‌های جدید به نیروگاه‌ها توانایی تطبیق سریع با تغییرات بازار و نیازهای مصرف‌کنندگان را می‌دهد. برای نمونه، استفاده از سیستم‌های پیشرفته مدیریت هوشمند انرژی و پیش‌بینی تقاضا می‌تواند کمک کند تا نیروگاه‌ها در مواجهه با شرایط بحرانی مانند افزایش ناگهانی مصرف یا نوسانات غیرمنتظره، عملکردی بهینه داشته باشند. همچنین، تحقیق و توسعه با انجام مطالعات دقیق و تحلیل داده‌ها نقش کلیدی در شناسایی نقاط ضعف زیرساختی نیروگاه‌ها ایفا کرده و زمینه طراحی و اجرای راهکارهای مؤثر برای تقویت تاب‌آوری آنها را فراهم می‌آورد(روسالز و همکاران[1] ۲۰۲۳).

مدیریت ریسک به عنوان یک فرآیند حیاتی در شناسایی، ارزیابی و کنترل انواع ریسک‌هایی که ممکن است بر عملکرد و پایداری نیروگاه‌های برق تأثیرگذار باشند، نقش کلیدی ایفا می‌کند. (ایگیلا و همکاران[2] ۲۰۲۵). این فرآیند به نیروگاه‌ها امکان می‌دهد تا در شرایط بحرانی، توان کارکردی خود را حفظ کرده و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به وضعیت عادی بازگردند. در مدل DEA ، مدیریت ریسک به‌عنوان یک متغیر ورودی مهم عمل کرده و زمینه‌ای برای تحلیل کارایی و عملکرد نیروگاه‌ها فراهم می‌آورد. با توجه به ارزیابی سیستماتیک ریسک‌های وابسته به تجهیزات، نیروی انسانی، تأمین منابع سوخت و دیگر عوامل کلیدی، این مدل ، نقاط ضعف را شناسایی و راهکارهای ارتقا ارائه می دهد(آیدین و سانل[3] ۲۰۲۵). بهره‌گیری از اصول مدیریت ریسک همچنین به نیروگاه‌ها این امکان را می‌دهد که پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از شرایط بحرانی انجام داده و برنامه‌هایی جامع برای مقابله با آنها طراحی کنند .بدین ترتیب، مدیریت ریسک به‌عنوان یک ابزار مؤثر در مدل DEA به افزایش تاب‌آوری و حفظ عملکرد پایدار نیروگاه‌ها در ایران کمک شایانی می‌کند .در همین راستا، میزان انرژی تولیدی به‌عنوان یکی از خروجی‌های کلیدی در مدل DEA برای نیروگاه‌های برق ایران اهمیت بسزایی دارد(باقری و اسلامی ،۱۴۰۲). بالا بردن میزان تولید انرژی از طریق استفاده بهینه از منابع موجود نه تنها کارایی و بهره‌وری را افزایش می‌دهد، بلکه هزینه‌ها را کاهش داده و درآمدها را بهبود می‌بخشد .مدل DEA

[1] Rosales et al
[2] Egila et al
[3] Aydin & Şenel

با ارزیابی میزان انرژی تولیدی نسبت به ورودی‌هایی مانند سوخت، نیروی انسانی و هزینه‌های عملیاتی، نیروگاه‌های مؤثرتر را شناسایی و الگوهای مناسب بهره‌وری را پیشنهاد می‌کند .علاوه بر این، افزایش تولید انرژی به حفظ پایداری عرضه برق کمک کرده و احتمال نوسانات و قطعی‌ها را کاهش می‌دهد .این اقدامات همچنین اعتماد مصرف‌کنندگان و صنایع به توان تأمین انرژی را تقویت نموده و توسعه اقتصادی و صنعتی کشور را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، افزایش تولید انرژی با استفاده کم‌تر از سوخت‌های فسیلی می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد که این امر هم از منظر زیست‌محیطی و هم اقتصادی حائز اهمیت است(یزدانی[1] ۲۰۲۳).

یکی دیگر از عوامل مؤثر در بهبود تاب‌آوری نیروگاه‌های برق، کاهش میانگین مصرف مگاواتی برق با تغییر ساعات کاری ادارات است .این اقدام که به‌عنوان خروجی نامطلوب در مدل DEA نیز تعریف می‌شود (انوری و همکاران[2] ۲۰۱۴)، باعث کاهش فشار بر شبکه برق در ساعات اوج مصرف شده و توزیع بهتر بار مصرفی را ممکن می‌سازد . (اسدزاده،۱۳۹۹). علاوه بر کاهش خطرات ناشی از بارگذاری بیش از حد شبکه، این سیاست موجب کاهش نرخ خرابی تجهیزات شده که نتیجه آن افزایش کارایی و پایداری اقتصادی نیروگاه‌ها است .مدیریت بهتر منابع از طریق کاهش مصرف برق در ساعات اوج هزینه‌های عملیاتی نیروگاه‌ها را نیز کاهش داده و توان واکنش به شرایط بحرانی را بهبود می‌بخشد(امانی و باقرزاده،۱۳۹۸).

انتشار گازهای سمی هم به‌عنوان یک خروجی نامطلوب دیگر در مدل DEA می‌تواند فرصت‌هایی برای بهبود پایداری زیست‌محیطی فراهم آورد. با کاهش این انتشارها، نیروگاه‌ها نه تنها استانداردهای محیط زیستی را تحقق می‌بخشند بلکه موجب ارتقای کیفیت هوا، حفظ سلامت عمومی و کاهش اثرات مضر زیست‌محیطی نیز می‌شوند. نیروگاه‌هایی که توانایی بیشتری در رعایت اصول زیست‌محیطی دارند، نه تنها از حمایت بیشتر جامعه برخوردار خواهند بود بلکه توان مقابله با قوانین سخت‌گیرانه‌تر را نیز افزایش می‌دهند .در مجموع، مدیریت ریسک، افزایش تولید انرژی، کاهش مصرف برق در ساعات اوج و کاهش انتشار گازهای آلاینده، همه عواملی هستند که در مدل DEA نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری بلندمدت اقتصادی، زیست‌محیطی و قابلیت انعطاف‌پذیری بالای

[1] Yazdanie
[2] Anvari et al

نیروگاه‌های برق ایران دارند(صباحی و حامدی،۱۴۰۱). بطور خلاصه ورودی‌ها و خروجی‌های مدل در بخش تولید (نیروگاه‌های برق) بصورت جدول ۱ می‌باشد.

جدول۱: ورودی‌ها و خروجی‌های مدل در بخش تولید (نیروگاه‌های برق)

ورودی	پارادایم	خروجی	پارادایم
حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)
تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری ادارات (خروجی نامطلوب)	تاب‌آوری
مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی و زیست‌محیطی)	انتشار گازهای سمی (خروجی نامطلوب)	پایداری (بعد زیست‌محیطی)
هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری		
مدیریت ریسک	تاب‌آوری		

۳. روش تحقیق و تجزیه و تحلیل داده ها

پژوهش حاضر از نوع آمیخته (کیفی–کمی) است؛ بدین معنا که از هر دو رویکرد برای دستیابی به نتایج جامع‌تر و دقیق‌تر استفاده شده است. از نظر هدف، این تحقیق در زمره‌ی پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد که با بهره‌گیری از نتایج تحقیقات بنیادی، در پی بهبود و تکامل رفتارها، روش‌ها، ابزارها، وسایل، تولیدات، ساختارها و الگوهای مورد استفاده در جوامع انسانی است. این پژوهش شامل دو جامعه آماری می‌باشد:

بخش کیفی:

جامعه آماری این بخش شامل خبرگان و متخصصان صنعت برق و مدیریت انرژی است که با استفاده از روش دلفی فازی و انجام مصاحبه‌های هدفمند، به‌منظور شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های ورودی و خروجی مدل DEA انتخاب می‌شوند. این مرحله با هدف دستیابی به اجماع نظری میان خبرگان در خصوص شاخص‌های کلیدی مؤثر بر پایداری و تاب‌آوری نیروگاه‌ها انجام می‌گیرد.

بخش کمی:

جامعه آماری این بخش شامل داده‌های عملکردی مربوط به نیروگاه‌های برق کشور است که بر اساس آن، میزان کارایی واحدها از طریق مدل DEA محاسبه می‌شود. داده‌های کمی شامل اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های مؤثر در عملکرد نیروگاه‌ها بوده و برای تحلیل و مقایسه کارایی بین واحدهای مورد مطالعه به کار گرفته می‌شوند.

۳,۱ شناسایی شاخصه های مؤثر بر کارایی شبکه برق:

در ادامه جهت تائید این ورودی و خروجی‌ها در سه بخش تولید (نیروگاه‌های برق)، انتقال (شرکت‌های برق منطقه‌ای) و توزیع (شرکت‌های توزیع)، از روش دلفی فازی و نظر خبرگان استفاده شد. در مرحله نخست پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط خبرگان، نتایج آن موردبررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که مقادیر کیفی متغیرها به مقادیر کمی فازی تبدیل‌شده و میانگین فازی مربوط به هر معیار به‌طور جداگانه تعیین شد. جهت فازی کردن متغیرهای کلامی از مقادیر جدول ۲ استفاده شد. شمارش پاسخ‌های مرحله اول نظرسنجی پرسشنامه مقایسات زوجی بصورت جدول ۳ می‌باشد:

جدول ۲: تبدیل متغیرهای کلامی به اعداد فازی مثلثی

متغیرهای کلامی	عدد فازی مثلثی
کاملاً موافقم	(۰/۹ ،۱ ،۱)
موافقم	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)
بدون نظرم	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)
مخالفم	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)
کاملاً مخالفم	(۰ ،۰ ،۰/۱)

جدول ۳: نتایج شمارش پاسخ‌های مرحله اول نظرسنجی پرسشنامه مقایسات زوجی

نوع	شاخص	پارادایم	کاملاً موافقم	موافقم	بدون نظرم	مخالفم	کاملاً مخالفم
ورودی	حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	10	5	0	1	0
	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	8	6	1	1	0
	مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	12	3	0	0	1
	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری	10	5	0	1	0
خروجی	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)	9	4	1	0	1
	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری	تاب‌آوری	9	6	1	0	0

سپس میانگین فازی نظرات کلیه خبرگان در مورد هر معیار به‌دست‌آمده و مقادیر آن فازی زدائی شدند.

روش فازی زدایی مورداستفاده در این تحقیق، روش مرکز سطح (مرکز ثقل) می‌باشد. مرکز ثقل سطح زیر نمودار تابع عضویت فازی به‌عنوان ارزش قطعی عدد فازی تعیین می‌گردد.

$$X=\frac{a+2b+c}{4}$$

در این معادله X عدد قطعی، a مرز پایین تابع عضویت، b مؤلفه دارای بیشترین درجه عضویت و c مرز بالای تابع عضویت عدد فازی است.

میانگین قطعی به‌دست‌آمده نشان‌دهنده شدت موافقت خبرگان با هرکدام از شاخص‌ها بصورت جدول ۴ می‌باشد.

جدول ۴: میانگین فازی نظرات خبرگان در مرحله نخست نظرسنجی و مقدار فازی زدایی شده پرسشنامه مقایسات زوجی

نوع	شاخص	پارادایم	میانگین فازی			میانگین فازی زدایی شده
ورودی	حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.78	0.91	0.96	0.89
	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	0.73	0.88	0.94	0.85
	مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	0.81	0.92	0.94	0.90
	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری	0.78	0.91	0.96	0.89
خروجی	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.70	0.82	0.86	0.80
	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری	تاب‌آوری	0.79	0.93	0.98	0.91

با بررسی نتایج مرحله نخست نظرسنجی، میانگین‌های فازی زدایی شده شاخص‌ها در پرسشنامه‌ای به خبرگان اعلام شد. با توجه به این‌که اعضای گروه خبره با شاخص‌ها موافق بوده‌اند و میانگین قطعی شاخص‌ها همگی بالای ۰/۴ می‌باشد، در مرحله دوم نظرسنجی از خبرگان علاوه بر اطلاعات مربوط به میانگین نظرات کلیه خبرگان، نظر قبلی هر خبره نیز ثبت شد تا پس از مقایسه آن‌ها، نظر جدید خود را در مورد مؤلفه شاخص‌ها ثبت کنند.همچنین در پرسشنامه دوم شش شاخص جدید به نظر خبرگان اضافه شده است. شمارش پاسخ‌های مرحله دوم نظرسنجی پرسشنامه مقایسات زوجی بصورت جدول ۵ می‌باشد :

جدول ۵: نتایج شمارش پاسخ‌های مرحله دوم نظرسنجی پرسشنامه مقایسات زوجی

نوع	شاخص	پارادایم	کاملاً موافقم	موافقم	بدون نظرم	مخالفم	کاملاً مخالفم
ورودی	حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	8	5	2	1	0
	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	10	4	1	1	0
	مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	9	5	1	1	0
	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری	8	6	1	1	0
	مدیریت ریسک	تاب‌آوری	9	5	1	1	0
	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)	10	4	2	0	0
	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری	تاب‌آوری	7	7	1	1	0
	انتشار گازهای سمی	پایداری (بعد زیست‌محیطی)	9	4	1	1	1

میانگین قطعی به‌دست‌آمده نشان‌دهنده شدت موافقت خبرگان در مرحله دوم نظرسنجی با هرکدام از شاخص‌ها بصورت جدول ۶ می‌باشد.

جدول ۶: میانگین فازی نظرات خبرگان در مرحله دوم نظرسنجی و مقدار فازی زدایی شده پرسشنامه مقایسات زوجی

نوع	شاخص	پارادایم	میانگین فازی			میانگین فازی زدایی شده
ورودی	حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.76	0.89	0.94	0.83
	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	0.74	0.88	0.94	0.87
	مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	0.73	0.88	0.94	0.86
	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری	0.74	0.88	0.94	0.85
	مدیریت ریسک	تاب‌آوری	0.78	0.91	0.96	0.86
خروجی	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.72	0.87	0.94	0.89
	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری	تاب‌آوری	0.70	0.83	0.88	0.85
	انتشار گازهای سمی	پایداری (بعد زیست‌محیطی)	0.72	0.86	0.92	0.81

نتایج نظرسنجی مرحله دوم در جدول ۵ آورده شده است. سپس میانگین فازی زدائی شده نظرسنجی دوم نیز در جدول۶ تعیین گردید. با توجه به این‌که اعضای گروه خبره با تمام شاخص‌ها در مرحله دوم موافق بوده‌اند چون میانگین قطعی شاخص‌ها همگی بالای ۰/۴ می‌باشند. شمارش پاسخ‌های مرحله سوم نظرسنجی پرسشنامه مقایسات زوجی بصورت جدول۷ می‌باشد :

جدول۷: نتایج شمارش پاسخ‌های مرحله سوم نظرسنجی پرسشنامه مقایسات زوجی

نوع	شاخص	پارادایم	کاملاً موافقم	موافقم	بدون نظرم	مخالفم	کاملاً مخالفم
	حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	9	6	1	0	0
	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	12	3	1	0	0
ورودی	مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	10	5	0	1	0
	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری	7	8	1	0	0
	مدیریت ریسک	تاب‌آوری	8	7	1	0	0
	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)	12	3	1	0	0
خروجی	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری	تاب‌آوری	8	7	1	0	0
	انتشار گازهای سمی	پایداری (بعد زیست‌محیطی)	10	4	1	1	0

میانگین قطعی به‌دست‌آمده نشان‌دهنده شدت موافقت خبرگان در مرحله سوم نظرسنجی با هرکدام از شاخص‌ها بصورت جدول۸ می‌باشد.

جدول۸: میانگین فازی نظرات خبرگان در مرحله سوم نظرسنجی و مقدار فازی زدایی شده پرسشنامه مقایسات زوجی

نوع	شاخص	پارادایم	میانگین فازی			میانگین فازی زدا
ورودی	حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.79	0.93	0.98	0.91
	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	0.83	0.95	0.98	0.93
	مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	0.78	0.91	0.96	0.89
	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری	0.76	0.92	0.98	0.90
	مدیریت ریسک	تاب‌آوری	0.78	0.93	0.98	0.90
خروجی	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.83	0.95	0.98	0.93
	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری	تاب‌آوری	0.78	0.93	0.98	0.90
	انتشار گازهای سمی	پایداری (بعد زیست‌محیطی)	0.76	0.89	0.94	0.87

نتایج نظرسنجی مرحله سوم در جدول۷ آورده شده، سپس میانگین فازی زدائی شده نظرسنجی دوم نیز در جدول۸ به‌دست‌آمده و اختلاف آن با میانگین فازی زدائی شده مرحله‌ی دوم نظرسنجی تعیین گردید. با توجه به دیدگاه‌های ارائه‌شده در مرحله دوم و مقایسه آن با نتایج مرحله سوم، در صورتی که اختلاف بین دو مرحله کمتر از آستانه کم (۰/۱) باشد در این صورت فرآیند نظرسنجی متوقف می‌شود. میزان اختلاف بین مراحل دوم و سوم نظرسنجی در جدول۹ قابل مشاهده است

جدول۹: اختلاف میانگین فازی زدایی شده مرحله دوم و سوم پرسشنامه مقایسات زوجی

نوع	شاخص	پارادایم	میانگین فازی زدایی شده مرحله ۲	میانگین فازی زدایی شده مرحله ۳	اختلاف
ورودی	حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.83	0.91	0.077
	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	0.87	0.93	0.059
	مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	0.86	0.89	0.030
	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری	0.85	0.90	0.041
	مدیریت ریسک	تاب‌آوری	0.86	0.90	0.041
خروجی	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)	0.89	0.93	0.036
	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری	تاب‌آوری	0.85	0.90	0.053
	انتشار گازهای سمی	پایداری (بعد زیست‌محیطی)	0.81	0.87	0.059

با توجه به دیدگاه‌های ارائه‌شده در مرحله سوم و مقایسه آن با نتایج مرحله دوم، اختلاف میانگین قطعی شاخص‌ها بین دو مرحله کمتر از آستانه کم (۰/۱) هست بنابراین فرآیند نظرسنجی متوقف می‌شود و اعضای گروه خبره با تمامی شاخص‌ها موافق بوده‌اند و این شاخص‌ها بر اساس تکنیک دلفی فازی مورد قبول واقع شدند.

۳,۲ محاسبه کارایی شبکه برق ایران در بخش تولید/ ورودی و خروجی مدل در بخش تولید (نیروگاه‌های برق)

بطور خلاصه ورودی‌ها و خروجی‌های مدل در بخش تولید (نیروگاه‌های برق) بصورت جدول ۱۰ می‌باشد.

جدول۱۰: ورودی‌ها و خروجی‌های مدل در بخش تولید (نیروگاه‌های برق)

ورودی	پارادایم	خروجی	پارادایم
حقوق نیروی انسانی	پایداری (بعد اقتصادی)	میزان انرژی تولیدی	پایداری (بعد اقتصادی)
تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی	تاب‌آوری	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری ادارات (خروجی نامطلوب)	تاب‌آوری
مصرف سوخت	پایداری (بعد اقتصادی)	انتشار گازهای سمی (خروجی نامطلوب)	پایداری (بعد زیست‌محیطی)
هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری	تاب‌آوری		
مدیریت ریسک	تاب‌آوری		

جدول۱۱، ورودی و خروجی نیروگاه‌های تولیدی برق را نشان می‌دهد.

جدول۱۱: مقادیر ورودی و خروجی نیروگاه‌های برق

		ورودی					خروجی		
DMU ها	نام	حقوق نیروی انسانی (میلیون تومان در سال)	تعداد نیروی انسانی فنی برای مواقع بحرانی (نفر)	مصرف سوخت (میلیون لیتر در سال)	هزینه تحقیق و توسعه و نوآوری (میلیون تومان در سال)	مدیریت ریسک (۱۰-۱)	میزان انرژی تولیدی (مگاوات سال)	کاهش میانگین مگاواتی مصرف برق با تغییر ساعت کاری ادارات (خروجی نامطلوب)	انتشار گازهای سمی (خروجی نامطلوب) (تن در سال)
۱	نیروگاه دماوند	2314.7	153	337.4	567.3	5.8	9231.1	23.7	105.4
۲	نیروگاه شهید سلیمی نکا	2405.8	178	236.7	400.2	9.3	13052.3	24.1	83.5
۳	نیروگاه رودشور	1627.0	194	273.7	509.6	8.2	11314.4	18.8	114.3
۴	نیروگاه شهید رجایی	2413.4	113	325.1	359.3	6.9	9069.0	10.4	93.5

۵	نیروگاه سیکل ترکیبی خرم‌آباد	2132.4	157	356.0	309.2	6.0	10387.9	16.6	88.6
۶	نیروگاه سیکل ترکیبی کرمان	1597.5	147	216.2	523.2	7.1	12251.7	18.5	94.4
۷	نیروگاه رامین اهواز	1778.5	101	385.9	450.0	7.4	9342.2	15.4	90.3
۸	نیروگاه منتظر قائم	2046.9	134	355.1	444.0	5.6	13169.0	13.9	93.2
۹	نیروگاه شهید منتظری	2457.5	116	297.4	571.4	7.9	9699.9	26.4	83.0
۱۰	نیروگاه سیکل ترکیبی خرمشهر	2464.9	180	287.2	483.0	6.1	14422.0	18.6	124.5
۱۱	نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان	1657.6	131	289.4	485.3	6.9	9883.4	27.8	99.7
۱۲	نیروگاه سیکل ترکیبی ارومیه	2470.6	153	261.3	557.8	7.9	13358.5	17.8	117.7
۱۳	نیروگاه سیکل ترکیبی جهرم	2457.2	116	301.7	541.6	6.3	9320.6	25.4	128.7
۱۴	نیروگاه حرارتی سیریک	1985.4	160	302.2	473.0	6.5	10012.5	17.9	114.9

۱۵	نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون	2300.3	126	363.5	354.9	8.1	8637.8	26.2	117.5
۱۶	نیروگاه حرارتی بندرعباس	1641.9	166	359.0	372.0	6.3	12033.5	25.1	111.2
۱۷	نیروگاه سیکل ترکیبی گیلان	1921.8	169	328.9	566.0	9.1	12783.5	17.5	88.7
۱۸	نیروگاه شازند اراک	2415.7	175	275.7	308.6	9.9	11826.2	14.3	114.3
۱۹	نیروگاه بیستون	2292.2	145	362.3	447.0	8.7	10980.1	25.8	139.7
۲۰	نیروگاه نیشابور	2459.5	108	306.6	350.4	6.7	12511.1	29.0	141.2
۲۱	نیروگاه فارس	2155.7	123	270.1	593.6	7.9	12533.3	16.6	98.9
۲۲	نیروگاه شهید مفتح	1535.7	192	387.8	513.8	5.5	12753.1	23.4	94.6
۲۳	نیروگاه سیکل ترکیبی هریس	2349.1	115	375.2	450.1	9.5	12450.5	18.8	119.5
۲۴	نیروگاه خلیج فارس	2434.0	183	310.0	441.3	9.4	14616.2	26.7	124.8
۲۵	نیروگاه سیکل ترکیبی بهبهان	2178.7	154	324.5	317.9	9.1	9462.5	25.4	109.2
۲۶	نیروگاه گازی ری	2257.7	200	317.4	504.6	6.3	12965.0	13.3	94.4

۲۷	نیروگاه علی‌آباد کتول	2243.1	107	241.5	312.7	8.0	9653.6	27.2	146.4
۲۸	نیروگاه حافظ	1892.2	144	260.2	321.4	5.1	8835.8	29.8	85.7
۲۹	نیروگاه پره‌سر	2155.5	110	294.2	456.5	7.1	12251.1	20.3	87.4
۳۰	نیروگاه سلطانیه زنجان	1671.2	197	246.1	329.0	6.6	11151.0	27.7	89.9
۳۱	نیروگاه جنوب اهواز	2206.0	100	368.9	545.4	5.8	11211.1	21.8	91.7
۳۲	نیروگاه شهید کاظمی سیرجان	1531.8	178	239.0	545.3	5.9	12633.6	13.1	123.5
۳۳	نیروگاه گنو	1776.9	182	245.2	516.7	7.1	13392.0	14.0	120.2
۳۴	نیروگاه سیکل ترکیبی ماهشهر	1546.2	187	234.1	345.0	5.5	10451.5	18.1	83.6
۳۵	نیروگاه سیکل ترکیبی کهنوج	1597.1	108	245.5	497.9	8.0	12634.1	25.0	145.2
۳۶	نیروگاه قلیان سنندج	2323.5	140	287.1	455.6	7.4	10913.1	26.5	131.0
۳۷	نیروگاه سیکل ترکیبی قاین	2194.8	126	262.2	591.9	8.5	13893.5	25.8	131.6
۳۸	نیروگاه چهلستون اصفهان	1817.1	180	384.7	494.7	8.5	13830.4	16.4	84.4

۳۹	نیروگاه پرند	2450.2	143	286.0	540.1	8.2	9795.1	20.7	140.2
۴۰	نیروگاه سبلان	1534.4	191	237.0	436.1	5.2	12294.2	11.8	145.4
۴۱	نیروگاه فردوسی	1938.7	118	381.0	429.7	5.3	12075.7	12.2	148.9
۴۲	نیروگاه متمرکز پارس جنوبی	1881.6	126	395.9	547.6	6.6	11785.2	12.7	140.1
۴۳	نیروگاه گازی عسلویه	2265.5	114	287.8	325.0	7.7	14089.6	23.6	135.0
۴۴	نیروگاه اسلام‌آباد اصفهان	2295.2	113	222.2	340.0	8.3	9853.5	19.9	115.9
۴۵	نیروگاه سیکل ترکیبی آبادان	1686.9	187	251.6	352.0	7.0	10226.5	13.8	92.4
۴۶	نیروگاه گازی و حرارتی تبریز	1989.8	158	281.7	417.3	9.1	8834.5	19.9	107.9
۴۷	نیروگاه سیکل ترکیبی ایرانشهر	1945.6	155	319.0	549.4	8.6	14578.8	13.0	89.4
۴۸	نیروگاه سیکل ترکیبی قم	2146.3	114	252.4	541.0	9.8	12518.9	11.1	82.2
۴۹	نیروگاه سهند	2209.4	186	320.6	318.1	7.7	11356.2	27.0	145.7
۵۰	نیروگاه طبس	2254.7	162	342.2	419.8	6.6	12475.2	21.2	101.1

۵۱	نیروگاه طوس	1776.0	135	244.3	458.1	5.5	11813.0	28.6	100.7
۵۲	نیروگاه شریعتی	2179.7	151	223.5	425.0	8.1	12531.2	23.9	103.3
۵۳	نیروگاه استیل آذین ایرانیان	2155.1	140	259.3	497.1	8.9	11807.2	21.7	112.7
۵۴	نیروگاه غرب کارون	1662.6	107	263.8	488.4	7.1	13047.3	26.3	125.4
۵۵	نیروگاه سیکل ترکیبی چادرملو	1619.0	124	284.8	387.6	5.5	11657.5	27.6	81.8
۵۶	نیروگاه پاسارگاد قشم	1998.4	112	301.6	429.5	6.3	14955.9	29.8	139.0
۵۷	نیروگاه زواره	2459.7	118	217.1	304.6	5.8	9530.7	10.0	119.1
۵۸	نیروگاه گناوه	1840.4	124	252.5	595.2	6.4	8740.6	27.3	139.8
۵۹	نیروگاه سیکل ترکیبی شیرکوه	2085.3	142	360.2	350.2	7.2	8767.9	22.3	104.4
۶۰	نیروگاه شهید بسطامی شاهرود	1723.8	105	205.8	331.9	7.6	8445.1	29.8	111.2
۶۱	نیروگاه قدس سمنان	2251.3	191	385.8	411.7	7.3	10832.1	20.6	83.8
۶۲	نیروگاه سیکل ترکیبی اسلام‌آباد غرب	1755.1	195	346.1	359.4	9.4	11138.6	19.6	92.4

۶۳	نیروگاه سیکل ترکیبی دالاهو	2006.0	149	297.7	446.9	7.6	10560.7	26.0	126.4
۶۴	نیروگاه سیکل ترکیبی غرب مازندران	2199.1	149	315.7	401.8	9.7	13344.5	14.6	103.2
۶۵	نیروگاه شمس سرخس	2390.9	134	247.5	585.5	8.2	12395.3	20.0	142.9
۶۶	نیروگاه سیکل ترکیبی کاشان	2459.3	190	291.8	576.1	9.8	13403.9	28.0	88.3
۶۷	نیروگاه زرگان	2047.2	137	392.6	315.8	6.2	14530.0	21.5	149.2
۶۸	نیروگاه مشهد	1638.6	111	309.4	521.4	8.4	14809.2	26.9	117.8
۶۹	نیروگاه شهید بهشتی لوشان	1649.3	178	304.2	380.7	6.4	9344.2	24.8	129.5
۷۰	نیروگاه سیکل ترکیبی خوی	1757.5	139	246.3	426.9	8.4	8972.1	21.7	150.0
۷۱	نیروگاه شهید منتظرقائم	2340.7	124	297.8	464.4	8.5	12873.9	14.9	100.1
۷۲	نیروگاه چابهار	1754.3	140	324.8	582.8	5.3	8656.7	23.3	109.0

۷۳	نیروگاه شرکت آب و برق کیش	2314.3	109	335.8	425.3	6.3	11677.8	11.7	112.5
۷۴	نیروگاه حرارتی بعثت	1743.5	113	279.1	594.9	6.1	11712.4	22.5	133.5
۷۵	نیروگاه گازی زاهدان	2429.3	195	273.5	390.4	8.3	14028.0	23.2	137.3
۷۶	نیروگاه زرند	1850.0	196	397.6	510.3	9.2	11394.0	24.6	87.0
۷۷	نیروگاه سوم پالایشگاه آبادان	1696.6	158	207.5	499.9	6.7	10754.2	27.8	92.5
۷۸	نیروگاه گازی شیراز	1751.1	106	377.0	461.7	8.9	12700.0	29.6	105.2
۷۹	نیروگاه گازی کنگان	2116.0	123	382.7	509.4	8.4	13188.8	25.4	84.0
۸۰	نیروگاه گازی کنارک	1973.3	135	359.2	500.0	5.0	11640.4	21.6	116.5
۸۱	نیروگاه صوفیان	1851.7	182	219.7	353.4	8.0	10434.0	28.6	103.5
۸۲	نیروگاه زنبق یزد	2330.8	101	252.4	338.4	6.9	9050.0	21.6	92.3
۸۳	نیروگاه گازی دورود	2085.3	104	267.1	599.7	9.6	12102.6	10.3	94.6
۸۴	نیروگاه هسا	2049.7	117	335.9	351.3	5.0	9835.0	12.4	143.4

۸۵	نیروگاه گازی کهنوج	2417.2	165	227.3	309.8	7.3	8311.2	27.3	127.3
۸۶	نیروگاه گازی ارومیه	1785.8	173	344.2	468.4	7.1	13284.5	19.7	112.8
۸۷	نیروگاه گازی بوشهر	2257.2	165	221.4	564.6	7.3	9699.5	26.9	143.8
۸۸	نیروگاه طرشت (برق آلستوم)	2253.7	145	330.8	500.8	8.9	11096.8	14.2	87.3
۸۹	نیروگاه تولید هم‌زمان آب و برق قشم	1880.4	155	298.8	357.1	6.6	12814.6	21.0	132.2
۹۰	نیروگاه گازی غرب مازندران	2067.8	129	355.8	410.7	8.9	10514.6	22.6	131.5
۹۱	نیروگاه گازی ماهان گرگان	1575.9	175	343.0	438.2	7.4	13154.4	10.6	119.3
۹۲	نیروگاه گازی جزیره خارک	1554.0	119	380.7	594.5	5.2	10763.0	22.3	92.9
*	جمع کل	185484/3	13375	27654/5	41443/1	678.7	1059115	1943/1	10329/9

جدول ۱۲، کارایی نیروگاه‌های برق را نشان می‌دهد.

جدول۱۲: کارایی نیروگاه‌های برق

DMUها	نام	کارایی فاز اول	کارایی فاز دوم	کارایی فاز سوم	کارایی نهایی	رتبه
۱	نیروگاه دماوند	0.68182	0.60000	0.51724	0.59977	32
۲	نیروگاه شهید سلیمی نکا	0.61644	0.46117	0.41667	0.48886	73
۳	نیروگاه رودشور	0.64935	0.53142	0.47468	0.54672	55
۴	نیروگاه شهید رجایی	1.00000	1.00000	0.83333	0.95833	1
۵	نیروگاه سیکل ترکیبی خرم‌آباد	1.00000	0.88235	0.68182	0.86163	3
۶	نیروگاه سیکل ترکیبی کرمان	0.71429	0.60000	0.50000	0.60357	29
۷	نیروگاه رامین اهواز	1.00000	0.93750	0.75000	0.90625	2
۸	نیروگاه منتظر قائم	0.74380	0.65617	0.55556	0.65293	13
۹	نیروگاه شهید منتظری	0.65805	0.62632	0.55475	0.61636	23
۱۰	نیروگاه سیکل ترکیبی خرمشهر	0.53201	0.47394	0.43478	0.47867	77
۱۱	نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان	0.68359	0.59618	0.51923	0.59880	35
۱۲	نیروگاه سیکل ترکیبی ارومیه	0.61644	0.51755	0.44913	0.52517	62
۱۳	نیروگاه سیکل ترکیبی جهرم	0.57890	0.53486	0.49001	0.53466	59
۱۴	نیروگاه حرارتی سیریک	0.77352	0.65376	0.53470	0.65394	12

۱۵	نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون	0.63291	0.59618	0.53191	0.58930	37
۱۶	نیروگاه حرارتی بندرعباس	0.60565	0.50779	0.44694	0.51704	64
۱۷	نیروگاه سیکل ترکیبی گیلان	0.74414	0.65203	0.53986	0.64702	16
۱۸	نیروگاه شازند اراک	0.73770	0.59406	0.50676	0.60815	27
۱۹	نیروگاه بیستون	0.59112	0.52430	0.45176	0.52287	63
۲۰	نیروگاه نیشابور	0.52897	0.48780	0.45752	0.49052	72
۲۱	نیروگاه فارس	0.68182	0.60375	0.50644	0.59894	34
۲۲	نیروگاه شهید مفتح	0.55924	0.47170	0.41667	0.47983	76
۲۳	نیروگاه سیکل ترکیبی هریس	0.62182	0.55921	0.46154	0.55045	54
۲۴	نیروگاه خلیج فارس	0.51608	0.46590	0.41501	0.46572	79
۲۵	نیروگاه سیکل ترکیبی بهبهان	0.66176	0.61474	0.51020	0.60036	30
۲۶	نیروگاه گازی ری	0.68182	0.62500	0.55556	0.62185	21
۲۷	نیروگاه علی‌آباد کتول	0.55970	0.48828	0.42857	0.49121	71
۲۸	نیروگاه حافظ	0.75000	0.69948	0.63561	0.69614	9
۲۹	نیروگاه پره‌سر	0.79545	0.69126	0.56308	0.68526	11
۳۰	نیروگاه سلطانیه زنجان	0.66667	0.59429	0.54593	0.60030	31

۳۱	نیروگاه جنوب اهواز	0.71429	0.60000	0.50000	0.60357	29
۳۲	نیروگاه شهید کاظمی سیرجان	0.57990	0.50505	0.47700	0.51675	65
۳۳	نیروگاه گنو	0.67873	0.54992	0.46697	0.56139	49
۳۴	نیروگاه سیکل ترکیبی ماهشهر	0.83333	0.71429	0.63179	0.72343	6
۳۵	نیروگاه سیکل ترکیبی کهنوج	0.48860	0.43353	0.41964	0.44383	85
۳۶	نیروگاه قلیان سنندج	0.62008	0.55426	0.48832	0.55423	51
۳۷	نیروگاه سیکل ترکیبی قاین	0.51527	0.45391	0.40779	0.45772	81
۳۸	نیروگاه چهلستون اصفهان	0.70187	0.65915	0.53516	0.63883	19
۳۹	نیروگاه پرند	0.65632	0.57256	0.48621	0.57191	44
۴۰	نیروگاه سبلان	0.64103	0.55556	0.51641	0.56714	45
۴۱	نیروگاه فردوسی	0.64470	0.56012	0.50157	0.56663	46
۴۲	نیروگاه متمرکز پارس جنوبی	0.61224	0.55302	0.49862	0.55423	52
۴۳	نیروگاه گازی عسلویه	0.54124	0.47927	0.43689	0.48417	74
۴۴	نیروگاه اسلام‌آباد اصفهان	0.71429	0.57692	0.46875	0.58422	39
۴۵	نیروگاه سیکل ترکیبی آبادان	1.00000	0.93750	0.75000	0.90625	2
۴۶	نیروگاه گازی و حرارتی تبریز	0.83333	0.71429	0.57692	0.70971	8

۴۷	نیروگاه سیکل ترکیبی ایرانشهر	0.69535	0.65465	0.56830	0.64324	17
۴۸	نیروگاه سیکل ترکیبی قم	0.72581	0.65217	0.56818	0.64958	14
۴۹	نیروگاه سهند	0.57640	0.51282	0.43768	0.50993	68
۵۰	نیروگاه طبس	0.72581	0.61179	0.50630	0.61392	24
۵۱	نیروگاه طوس	0.68493	0.60313	0.52980	0.60525	28
۵۲	نیروگاه شریعتی	0.62827	0.46565	0.40985	0.49236	70
۵۳	نیروگاه استیل آذین ایرانیان	0.69948	0.57560	0.46464	0.57883	41
۵۴	نیروگاه غرب کارون	0.50847	0.44910	0.43048	0.45929	80
۵۵	نیروگاه سیکل ترکیبی چادرملو	0.68493	0.61224	0.53786	0.61182	26
۵۶	نیروگاه پاسارگاد قشم	0.50657	0.46485	0.45402	0.47257	78
۵۷	نیروگاه زواره	0.83333	0.75000	0.62500	0.73958	5
۵۸	نیروگاه گناوه	0.56180	0.53443	0.50918	0.53496	58
۵۹	نیروگاه سیکل ترکیبی شیرکوه	0.72115	0.66029	0.55526	0.64925	15
۶۰	نیروگاه شهید بسطامی شاهرود	0.68493	0.61779	0.54935	0.61747	22
۶۱	نیروگاه قدس سمنان	0.86957	0.78871	0.60273	0.76243	4
۶۲	نیروگاه سیکل ترکیبی اسلام‌آباد غرب	0.71429	0.60000	0.50000	0.60357	29

۶۳	نیروگاه سیکل ترکیبی دالاهو	0.63569	0.56123	0.48752	0.56142	48
۶۴	نیروگاه سیکل ترکیبی غرب مازندران	0.74911	0.64317	0.53019	0.64141	18
۶۵	نیروگاه شمس سرخس	0.54656	0.47929	0.42513	0.48257	75
۶۶	نیروگاه سیکل ترکیبی کاشان	0.58785	0.52612	0.46770	0.52695	61
۶۷	نیروگاه زرگان	0.54545	0.51423	0.48425	0.51454	66
۶۸	نیروگاه مشهد	0.51546	0.44248	0.41314	0.45339	82
۶۹	نیروگاه شهید بهشتی لوشان	0.62327	0.53879	0.48136	0.54555	56
۷۰	نیروگاه سیکل ترکیبی خوی	0.62500	0.57663	0.51703	0.57382	43
۷۱	نیروگاه شهید منتظرقائم	0.72553	0.64322	0.54239	0.63859	20
۷۲	نیروگاه چابهار	0.68182	0.60000	0.51724	0.59977	32
۷۳	نیروگاه شرکت آب و برق کیش	0.77906	0.69767	0.58140	0.68895	10
۷۴	نیروگاه حرارتی بعثت	0.57252	0.50764	0.46744	0.51381	67
۷۵	نیروگاه گازی زاهدان	0.50847	0.44096	0.39407	0.44612	84
۷۶	نیروگاه زرند	0.67351	0.61167	0.49952	0.59909	33
۷۷	نیروگاه سوم پالایشگاه آبادان	0.67873	0.57692	0.51724	0.58745	38
۷۸	نیروگاه گازی شیراز	0.61983	0.56180	0.50167	0.56128	50

۷۹	نیروگاه گازی کنگان	0.65525	0.57503	0.49362	0.57473	42
۸۰	نیروگاه گازی کنارک	0.68157	0.55514	0.45918	0.56276	47
۸۱	نیروگاه صوفیان	0.72464	0.55556	0.48387	0.57991	40
۸۲	نیروگاه زنبق یزد	0.83333	0.75000	0.62500	0.73958	5
۸۳	نیروگاه گازی دورود	0.83333	0.75000	0.62500	0.73958	5
۸۴	نیروگاه هسا	0.71770	0.57692	0.58380	0.61384	25
۸۵	نیروگاه گازی کهنوج	0.61017	0.48034	0.44191	0.50319	69
۸۶	نیروگاه گازی ارومیه	0.66502	0.54516	0.44920	0.55114	53
۸۷	نیروگاه گازی بوشهر	0.52326	0.43594	0.39474	0.44747	83
۸۸	نیروگاه طرشت (برق آلستوم)	0.85165	0.72708	0.57692	0.72068	7
۸۹	نیروگاه تولید هم‌زمان آب و برق قشم	0.60241	0.52476	0.47013	0.53052	60
۹۰	نیروگاه گازی غرب مازندران	0.58824	0.54308	0.49713	0.54288	57
۹۱	نیروگاه گازی ماهان گرگان	0.71240	0.57626	0.49342	0.58959	36
۹۲	نیروگاه گازی جزیره خارک	0.68182	0.60000	0.51724	0.59977	32

نیروگاه‌های شهید رجایی، رامین اهواز، سیکل ترکیبی آبادان و سیکل ترکیبی خرم‌آباد توانسته‌اند در DEA با استفاده از مدل غیرشعاعی به رتبه‌های برتر دست یابند .این موفقیت مبتنی بر بهینه‌سازی ورودی‌ها و خروجی‌ها حاصل شده است .مدل DEA به‌عنوان یک ابزار کارآمد برای ارزیابی عملکرد نسبی واحدهای تصمیم‌گیری(انوری و همکاران[1]، ۲۰۱۴)، نیروگاه‌هایی را که منابع خود را به‌طور کارآمدتر مدیریت کرده و بهره‌وری بالاتری در تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها داشته‌اند، به‌عنوان شاخص‌ترین واحدها معرفی می‌کند .یکی از علل مهم در ارتقای بهره‌وری این نیروگاه‌ها، مدیریت بهینه در استفاده از نیروی انسانی و هزینه‌های مرتبط با حقوق و دستمزد بوده است.

به‌عنوان نمونه، نیروگاه شهید رجایی با کاهش تعداد نیروی انسانی و ارائه پرداخت‌های معقول، کارایی چشم‌گیری در تولید انرژی از خود نشان داده است. این دستاورد بازتاب‌دهنده به‌کارگیری موفقیت‌آمیز استراتژی‌های مدیریتی در تخصیص نیروی انسانی است .عامل کلیدی دیگر در کارایی این نیروگاه‌ها، مصرف بهینه سوخت بوده است . نیروگاه‌هایی که مصرف سوخت خود را کاهش داده و فناوری‌های پیشرفته را به کار برده‌اند، توانسته‌اند امتیازات بالاتری در تحلیل کسب کنند .کاهش مصرف سوخت نه تنها هزینه‌های عملیاتی را کم کرده بلکه تأثیر مستقیمی بر کاهش انتشار گازهای سمی نیز دارد. نیروگاه‌های رامین اهواز و سیکل ترکیبی خرم‌آباد از جمله نمونه‌های موفق در این زمینه هستند که با مدیریت مؤثر مصرف سوخت، ضمن افزایش تولید انرژی، انتشار آلاینده‌ها را نیز کنترل کرده‌اند .هزینه‌های تحقیق و توسعه (R&D)و مدیریت ریسک از دیگر عوامل تأثیرگذار در کسب رتبه‌های برتر این نیروگاه‌ها بوده‌اند.

سرمایه‌گذاری مؤثر در تحقیق و توسعه موجب ارتقای فناوری‌ها و افزایش کارایی عملیات آن‌ها شده است. همچنین، مدیریت صحیح ریسک به‌ویژه در مواجهه با بحران‌ها، پایداری و بهره‌وری این واحدها را تقویت کرده است .از سوی دیگر، کنترل خروجی‌های نامطلوب مانند کاهش انتشار گازهای سمی و کاهش مصرف برق نیز نقش بسزایی ایفا کرده است. این اقدامات با تغییر ساعت کاری ادارات و مدیریت درست انرژی همراه بوده که پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی مثبتی به همراه داشته است .به‌طور کلی، نیروگاه‌های شهید رجایی، رامین اهواز، سیکل ترکیبی آبادان و سیکل ترکیبی خرم‌آباد با بهینه‌سازی استفاده از منابع نظیر نیروی انسانی، مصرف سوخت، هزینه‌های تحقیق و توسعه و محدود کردن

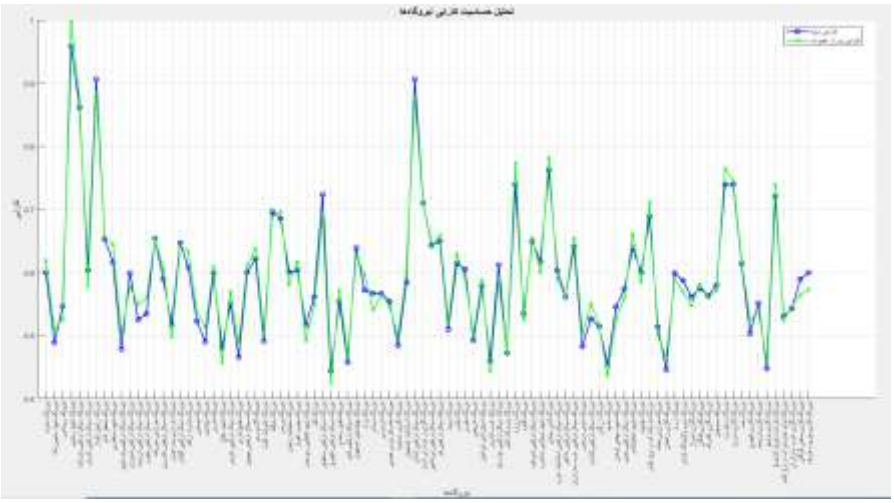
[1] Anvari et al

خروجی‌های نامطلوب، عملکردی قابل‌توجه از خود نشان داده‌اند و در مدل غیرشعاعی DEA جایگاه برتری کسب کرده‌اند.

۳,۳. محاسبه تأثیر هر یک از شاخص‌های پایداری و تاب‌آوری بر مقدار کارایی اجزای شبکه برق

۳,۳,۱ تحلیل حساسیت کارایی در شرکت‌های تولید برق

نمودار ۱ حساسیت کارایی در شرکت‌های تولید برق را نشان می‌دهد.



نمودار ۱: تحلیل حساسیت کارایی در شرکت‌های تولید برق

نمودار ۱ به تحلیل حساسیت کارایی نیروگاه‌ها اختصاص دارد و تغییرات عملکرد آن‌ها قبل و بعد از اعمال بهینه‌سازی‌ها را مقایسه می‌کند. این نمودار شامل دو خط جداگانه برای نمایش داده‌های پیش و پس از تغییرات است .

خط آبی بازتاب‌دهنده میزان کارایی اولیه نیروگاه‌ها است که بر اساس ارزیابی‌های پیش از اعمال هرگونه تغییر یا بهبودها تعیین شده‌اند .این مقادیر به‌عنوان مبنایی برای سنجش عملکرد نیروگاه‌ها در نظر گرفته می‌شوند .

در مقابل، خط سبز کارایی نیروگاه‌ها پس از اقدامات اصلاحی را نشان می‌دهد .این اقدامات شامل بهبودهای فنی، استفاده از فناوری‌های جدید و اجرای روش‌های بهینه‌سازی در مصرف منابع بوده که بر عملکرد نهایی نیروگاه‌ها تأثیر گذاشته‌اند .در بخش‌های افقی و عمودی نمودار، به ترتیب اسامی نیروگاه‌ها و میزان کارایی آن‌ها نرمال‌سازی‌شده بین ۰,۴ تا ۱ قرار دارند

نیروگاه بندرعباس: کارایی اولیه این نیروگاه حدود 0.9 بوده که عملکرد خوبی را نشان می‌دهد .اما پس از تغییرات، افتی در کارایی مشاهده شده که به حدود 0.8 کاهش یافته است .این افت ممکن است ناشی از مشکلات فنی یا ناکارآمدی برخی اقدامات باشد. نیروگاه بیستون: در ابتدا با کارایی حدود 0.7 فعالیت داشته، اما پس از اصلاحات، کارایی آن به 0.75 افزایش یافته است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تغییرات بر عملکرد این نیروگاه است.

نیروگاه تبریز: میزان کارایی اولیه حدود 0.6 بوده که بعد از تغییرات به 0.65 افزایش یافته است .هرچند تغییری مثبت بوده، اما میزان رشد نسبتاً محدود است و احتمالاً تغییرات اعمال‌شده تأثیر چشمگیری نداشته‌اند** - .نیروگاه شازند :**کارایی اولیه این نیروگاه حدود ۰,۵ بوده و با افزایش قابل‌توجه به 0.7 رسیده است .این پیشرفت نشان‌دهنده موفقیت بالای اقدامات اصلاحی در این نیروگاه است .

نیروگاه زاهدان: با کارایی اولیه‌ای در حدود 0.55 آغاز کرده و پس از تغییرات، کارایی آن به 0.75 رسیده است .این میزان افزایش بیانگر تأثیر مثبت و مؤثر تغییرات فنی اعمال‌شده در این نیروگاه است.

نیروگاه شهید رجایی: در ابتدا کارایی این نیروگاه نزدیک به 0.85 بوده، اما پس از تغییرات، کاهش محسوسی داشته و به حدود 0.75 رسیده است .دلایل احتمالی برای این کاهش می‌توانند شامل مشکلات فنی یا افت بهره‌وری پس از بهینه‌سازی باشند.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که اثرگذاری تغییرات بر نیروگاه‌ها متغیر بوده است. برخی مانند نیروگاه شازند و زاهدان شاهد بهبودهای چشمگیر بوده‌اند، درحالی‌که برخی دیگر مانند بندرعباس و شهید رجایی با کاهش عملکرد مواجه شده‌اند. این اختلاف‌ها می‌توانند ناشی از عواملی مانند میزان سرمایه‌گذاری، نوع اقدامات فنی انجام‌شده، شرایط جغرافیایی، یا وضعیت زیرساخت‌های هر نیروگاه باشند .به‌طور کلی، بهره‌برداری از فناوری‌های پیشرفته و رویکردهای بهینه‌سازی منابع می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی بر ارتقای عملکرد نیروگاه‌ها داشته باشند.

۴. بحث و نیجه گیری

در این پژوهش به ارائه یک مدل غیر شعاعی تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکه تولید برق کشور با در نظر گرفتن پارادایم‌های پایداری و تاب‌آوری پرداخته‌ایم.

پس از بیان مسئله و ادبیات تحقیق، به تجزیه و تحلیل داده ها پرداخته شده است. در ادامه پس از ارائه و تفسیر نتایج حاصله، محدودیت‌های پژوهش و پیشنهادهایی برای استفاده‌کنندگان از نتایج پژوهش و اجرای تحقیقات آتی ذکر می‌گردد.

۴,۱ پاسخ به سؤالات تحقیق

برای بررسی سوال اول تحقیق و شناسایی شاخصه‌های مؤثر بر کارایی اجزای شبکه برق با در نظر گرفتن پایداری و تاب‌آوری از روش دلفی فازی، معیارهای کلیدی تعریف شده‌اند .در بخش نیروگاه‌ها، شاخص‌های ورودی شامل عواملی نظیر هزینه‌های نیروی انسانی و مصرف انواع سوخت (گاز، نفت و بنزین) بوده که بر جنبه اقتصادی مفهوم پایداری دلالت دارند .علاوه بر این، هزینه‌های مرتبط با تحقیق و توسعه، نوآوری و تعداد کارکنان فنی مخصوص شرایط بحرانی، به بُعد تاب‌آوری نیروگاه مربوط می‌شوند. همچنین، مدیریت ریسک که شامل کاهش و کنترل ریسک‌های متنوع مانند ریسک‌های محیطی، فنی، مالی و اجتماعی است، نقشی حیاتی در تاب‌آوری نیروگاه ایفا می‌کند. به این ترتیب، سازمان می‌تواند حین وقوع بحران‌ها یا حوادث، سریع‌تر به وضعیت ایده‌آل بازگردد .در خصوص شاخص‌های خروجی، معیارهایی همچون میزان تولید انرژی و سطح انتشار گازهای سمی که به پایداری مربوط می‌شوند، شناسایی شده‌اند. همچنین کاهش میانگین مگاوات مصرف برق نیز به‌عنوان یکی از عوامل مرتبط با تاب‌آوری در نظر گرفته شده است که جزئیات کامل آن‌ها در جدول 1 آورده شده است.

در بررسی کارایی شبکه تولید برق ایران در بخش تولید، تحلیل داده‌های ارائه شده در جدول ۱۰نشان داد که نیروگاه‌های شهید رجایی، سیکل ترکیبی خرم‌آباد، رامین اهواز و سیکل ترکیبی آبادان به عنوان کاراترین واحدها شناخته شده‌اند. این نیروگاه‌ها در چارچوب مدل غیرشعاعی DEA ، با بهینه‌سازی ورودی‌ها و خروجی‌ها موفق به کسب رتبه‌های برتر شده‌اند .مدل DEA، ابزاری موثر در ارزیابی عملکرد نسبی واحدهای تصمیم‌گیری است و نیروگاه‌هایی که منابع خود را بهتر مدیریت کرده و توانسته‌اند ورودی‌ها را با راندمان بیشتری به خروجی تبدیل کنند، در این تحلیل مورد توجه قرار گرفته‌اند .یکی از عوامل کلیدی در دستیابی به کارایی بالا در این نیروگاه‌ها، مدیریت بهینه نیروی انسانی و کنترل هزینه‌های مرتبط با حقوق و دستمزد بوده است .به‌عنوان نمونه، نیروگاه شهید رجایی توانسته با تعداد نیروی انسانی کمتر و مدیریت مناسب حقوق، عملکرد بالایی در تولید انرژی ارائه کند .این دستاورد نشان‌دهنده اجرای استراتژی‌های

مدیریتی موثر در تخصیص منابع انسانی است .عامل دیگر مؤثر بر کارایی این نیروگاه‌ها مصرف بهینه سوخت بود. نیروگاه‌هایی که با کاهش مصرف سوخت و بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته توانسته‌اند بهره‌وری خود را افزایش دهند، در این تحلیل امتیازات بالاتری به دست آورده‌اند .مدیریت بهینه سوخت نه تنها موجب کاهش هزینه‌های کلی شده بلکه باعث کاهش انتشار گازهای مضر نیز گردیده است .نیروگاه‌های سیکل ترکیبی خرم‌آباد و رامین اهواز با تمرکز بر مدیریت مصرف سوخت، تولید انرژی را به حداکثر رسانده و همزمان از اثرات زیست‌محیطی منفی کاسته‌اند .هزینه‌های تحقیق و توسعه و مدیریت ریسک نیز از دیگر عوامل مهم در این رتبه‌بندی بوده‌اند .

سرمایه‌گذاری در حوزه تحقیق و توسعه، ضمن بهبود فناوری‌ها، منجر به ارتقای فرآیندهای کاری این نیروگاه‌ها شده است .همچنین مدیریت موثر ریسک، به ویژه در شرایط بحرانی، نقش مهمی در تداوم و بهبود عملکرد این واحدها ایفا کرده است .از سوی دیگر، نیروگاه‌ها موفق شده‌اند خروجی‌های نامطلوب نظیر انتشار گازهای سمی و مصرف برق غیرضروری را کنترل کنند .با اقداماتی همچون تغییر ساعات کاری ادارات و برنامه‌ریزی بهتر برای کاهش مصرف برق، همچنین کنترل انتشار آلاینده‌ها، این نیروگاه‌ها توجه ویژه‌ای به مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی نشان داده‌اند .در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نیروگاه‌های شهید رجایی، سیکل ترکیبی خرم‌آباد، رامین اهواز و سیکل ترکیبی آبادان با مدیریت بهینه منابع مختلف از جمله نیروی انسانی، سوخت، هزینه‌های تحقیق و توسعه و کنترل خروجی‌های نامطلوب توانسته‌اند عملکردی برجسته از خود ارائه دهند .دستیابی به رتبه‌های برتر در مدل غیرشعاعی DEA گواه این موفقیت‌ها است.

بررسی سؤال سوم تحقیق به تعیین تأثیر شاخص‌های پایداری و تاب‌آوری بر کارایی اجزای شبکه برق پرداخته است .در بخش نیروگاه‌ها، تحلیل نتایج و نمودار مربوطه(نمودار۱) نشان‌دهنده تفاوت در میزان تأثیر تغییرات بر کارایی این اجزا است. به‌طور مثال، نیروگاه‌های شازند و زاهدان پس از اعمال تغییرات با بهبود قابل‌توجهی مواجه شده‌اند . کارایی نیروگاه شازند از مقدار اولیه حدود 0.5به ۰,۷ و زاهدان از 0.55به 0.75افزایش یافته است که این نتایج بیانگر اهمیت اصلاحات فنی و مدیریتی در این واحدها می‌باشد . در مقابل، نیروگاه‌هایی مانند بندرعباس و شهید رجایی کاهش در کارایی را تجربه کرده‌اند .کارایی نیروگاه بندرعباس از 0.9به کمتر از 0.8و نیروگاه شهید رجایی از 0.85به 0.75کاهش یافته است. این افت ممکن است ناشی از عوامل متعدد، از جمله

ناکارآمدی در اجرای تغییرات یا ظهور مشکلات فنی جدید باشد .در مجموع، این یافته‌ها بر این نکته تأکید دارند که برای حفظ و ارتقای عملکرد نیروگاه‌ها، علاوه بر اقدامات بهینه‌سازی فناوری، توجه به جنبه‌های محیطی و اجرایی امری ضروری است

۴,۲ بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که شبکه برق ایران در بخش تولید از شاخصه‌های مشخصی برای ارزیابی کارایی بهره برده است (جدول ۹). در این میان عواملی همچون پایداری و تاب‌آوری نقش کلیدی در بهبود عملکرد ایفا کرده‌اند (جدول ۱۵). تحلیل داده‌ها در بخش‌های مختلف این شبکه نشان می‌دهد که بهینه‌سازی منابع، کاهش تلفات انرژی، و مدیریت مؤثر نیروی انسانی تأثیر قابل توجهی بر افزایش بهره‌وری داشته است(نمودار ۱). در حوزه تولید، نیروگاه‌هایی مانند شهید رجایی، سیکل ترکیبی خرم‌آباد و رامین اهواز، با اجرای سیاست‌هایی نظیر بهینه‌سازی مصرف سوخت، استفاده بهینه از نیروی انسانی، و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه توانسته‌اند به بالاترین سطح کارایی دست یابند (نمودار ۱). این یافته‌ها بر اهمیت ارتقاء فناوری، مدیریت ریسک، و کاهش انتشار گازهای مضر تأکید دارند. برای نمونه، کاهش مصرف سوخت و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به این نیروگاه‌ها کمک کرده است که علاوه بر افزایش تولید انرژی، تأثیرات زیست‌محیطی خود را کاهش دهند .عوامل دیگری همچون کاهش هدررفت انرژی و تمرکز بر بهینه‌سازی فرآیندها نیز نقشی اساسی در دستیابی به نتایج مثبت داشته‌اند. تحلیل تأثیر شاخصه‌های پایداری و تاب‌آوری نشان داده است که تغییرات در زمینه‌های مدیریت و فنی، نظیر بهبود زیرساخت‌ها و کاهش تلفات انرژی، می‌تواند عملکرد شبکه برق ایران را به شکل چشمگیری ارتقا دهد. به‌عنوان نمونه، نیروگاه‌های شازند و زاهدان پس از اعمال تغییرات بهبود قابل توجهی در کارایی نشان داده‌اند؛ در مقابل، بعضی نیروگاه‌ها به دلیل مشکلات اجرایی یا مواجهه با چالش‌های جدید، عملکرد پایین‌تری داشته‌اند. (نمودار ۱).

نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین تطابق دارد .به عنوان مثال، تحقیق گالکوس و همکاران[1](۲۰۲۴) بر کاربرد شبکه‌های هوشمند و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان راهبردهای جهانی در افزایش پایداری و تاب‌آوری تمرکز داشت .بررسی پژوهش‌های داخلی نیز حاکی از آن است که الگوریتم DEA به عنوان ابزاری موثر برای ارزیابی عملکرد شبکه برق کاربرد داشته، و اهداف اصلی تحقیقات بر بهینه‌سازی مصرف

[1] Gallegos et al

انرژی و کاهش انتشار گازهای کربن متمرکز بوده‌اند .به صورت کلی، این تحقیق نشان می‌دهد که تمرکز بر مدیریت منابع، افزایش بهره‌وری نیروی انسانی، و استفاده از فناوری پیشرفته می‌تواند کارایی شبکه برق ایران را در همه بخش‌ها ارتقا دهد. همچنین توجه ویژه به شاخص‌های پایداری محیطی و اجتماعی و تقویت تاب‌آوری در برابر بحران‌ها برای حفظ پایداری بلندمدت این شبکه ضروری است .اگرچه پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مانند تعیین مدل مناسب و شاخصه‌های ورودی و خروجی مواجه بوده است، مجموعه‌ای از پیشنهادات ارائه شده که عبارتند از :

- تحلیل دینامیکی تاب‌آوری شبکه برق در برابر تغییرات اقلیمی
- مطالعه تاب‌آوری شبکه با هدف پیش‌بینی آسیب‌پذیری‌ها
- توصیه به سیاست‌گذاران برای توجه بیشتر به یافته‌های این تحقیق در جهت ارتقای بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی

نوآوری تحقیق: تحقیق حاضر به توسعه مدلی نوآورانه در حوزه تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی پرداخته است .این مدل با رویکردی جامع، عملکرد شبکه توزیع برق کشور را ارزیابی می‌کند و به‌صورت هم‌زمان پارادایم‌های مرتبط با پایداری و تاب‌آوری را مورد توجه قرار می‌دهد .برخلاف مدل‌های سنتیDEA ، این مدل غیرشعاعی با لحاظ ساختار شبکه‌ای، تعاملات داخلی و بین‌مرحله‌ای فرآیندهای عملیاتی را بررسی کرده و تحلیل دقیق تری از ناکارآمدی‌ها را برای هر ورودی و خروجی ارائه می‌دهد .در این راستا، حساسیت عملکرد نسبت به عوامل کلیدی نظیر تلفات انرژی، ساعات قطعی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع انسانی فنی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است .ساختار مدل پیشنهادی در قالب دو مرحله طراحی شده است: مرحله نخست به بهره‌وری عملیاتی توجه داشته و در مرحله دوم، تاب‌آوری شبکه هدف قرار می‌گیرد. این فرآیند در محیطی فازی و با استفاده از مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه نظیر تلفات انرژی، ساعات قطعی، نیروی کار فنی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و شاخص‌های زیست‌محیطی اجرا می‌شود .هدف اصلی این مدل، حداکثرسازی کارایی کل سیستم با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و تعاملات میان مراحل مختلف شبکه است .مدل توسعه‌یافته می‌تواند به‌عنوان ابزاری ارزشمند برای تصمیم‌گیران عمل کند و امکان اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها، تدوین سیاست‌های مرتبط با انرژی پایدار و تقویت تاب‌آوری زیرساخت‌های برق در سطح ملی را فراهم کند.

منابع :

اسدزاده، شروین. (۱۳۹۹). مدل‌سازی و پیش‌بینی بهینه نرخ خرابی تجهیزات شبکه توزیع برق. نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، ۸(۱)، ۵۳-۶۱.

امانی، ناصر و باقرزاده ولمی، محمد. (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران با تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای: بر اساس تبدیل ساختارها به یک ساختار یکنواخت. تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، ۳(۳)، ۲۴۹-۲۸۰.

امیریون، داداش‌زاده، امین، متقی‌زاده، مسعود و امینی‌فر، حسن. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی راهکارهای بهبود تاب‌آوری شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی در مقابل حادثه طوفان. نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۹(۴)، ۲۱۳-۲۲۱.

باقری ده‌باغی، مریم، حامدی، شاپور و باقری ده‌باغی، مهسا. (۱۳۹۵). ارائه الگوریتم استراتژیک بهینه‌سازی و مدیریت روشنایی معابر براساس کارت امتیازی متوازن با استفاده از ArcGIS (مطالعه موردی: شرکت توزیع نیروی برق کرمانشاه). معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۸(ویژه‌نامه نورپردازی)، ۱۵۵-۱۶۲.

باقری، مهدی و اسلامی، رضا. (۱۴۰۲). قیمت‌گذاری توان راکتیو به جهت بهبود عملکرد فنی و بهره‌برداری از شبکه توزیع. نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، ۱۲(۴)، ۴۶-۵۵.

پورباباگل، حمزه و امیری، مقصود و تقویفرد، محمدتقی. (۱۴۰۰). یک مدل جدید DEAشبکه‌ای فازی با اندازه‌های امکان و الزام برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده با ارتباطات شبکه‌ای و داده‌های فازی (مطالعهٔ موردی: صنعت برق ایران). مدیریت تولید و عملیات، ۱۳(۲)، ۸۳-۱۱۹.

جلیلیان، علی، طاهری، بابک و صفدریان، امیر. (۱۴۰۱). تخصیص بهینه نیروی انسانی و منابع سیار انرژی در مدیریت خطای سیستم‌های توزیع نیروی برق. نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۹(۱)، ۴۳-۵۱.

درویش‌متولی، محمدحسین. (۱۳۹۹). ارائه مدل هیبرید تحلیل پوششی داده‌های پویا با ساختار شبکه‌ای جهت ارزیابی عملکرد مدیریت تولید و عملیات. مدیریت تولید و عملیات، ۱۳(۲)، ۸۳-۱۱۹.

راستگو، عبداله و حسینی همتی، رضا. (۱۴۰۲). ارائه مدلی دوسطحی برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع فشار ضعیف هم‌زمان با پایداری ولتاژ شبکه فشار متوسط. مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، ۱۳(۱)، ۱-۲۶.

سالک گیلانی، نیما و فریدونیان، علیرضا. (۱۴۰۱). مدل‌سازی داده‌شده مدت‌زمان تداوم وقفه در شبکه توزیع برق با در نظر گرفتن نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و تحلیل اثر آن. نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۹(۱)، ۱-۱۱.

شریف مقدم، حمیدرضا و دشتی، رضا. (۱۴۰۰). ارزش‌گذاری خطوط سامانه‌های توزیع برق جهت تسریع روند بازیابی و بهبود شاخص تاب‌آوری با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده.

شول‌عباس، ابراهیمی، امیر و سلیمانی دامنه، رضا. (۱۴۰۲). ترسیم مرز کارایی در ساختارهای دومرحله‌ای: رویکرد ورودی-خروجی محور شعاعی و غیرشعاعی. مجله تحقیقات اقتصادی، ۵۳(۲)، ۱۹۱-۲۱۷.

صباحی، کامل، حامدی، مسعود. (۱۴۰۱). ارزیابی میزان تاب‌آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل با استفاده از آمار قطعی‌های رخ‌داده و ارائه راهکارهایی جهت تاب‌آورسازی آن. نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، ۱۱(۲)، ۲۶-۳۷.

فیاضی، معظمی، فانی، بهادر و شاهقلیان، غضنفر. (۱۴۰۲). هماهنگی تجهیزات حفاظتی در ریزشبکه‌ها مبتنی بر ژنراتور سنکرون با در نظر گرفتن حفظ پایداری نوسان اول. روش‌های هوشمند در صنعت برق، ۱۴(۵۴)، ۱۷-۳۰.

قاسمی تودشکی، هما و حسین‌زاده لطفی، فرهاد و نجفی، اسماعیل. (۱۴۰۲). ارائه یک مدل جامع ارزیابی عملکرد سیستم بانکداری با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در فضای غیرقطعی.

ممی پور, سیاب, نجف زاده و بهنام. (۱۳۹۸). ارزیابی سه بخشی کارایی زیست‌محیطی صنعت برق ایران: رهیافت تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای. مجله تحقیقات اقتصادی, ۵۳(۲), ۱۹۱-۲۱۷.

Alizadeh, R., Beiragh, R. G., Soltanisehat, L., Soltanzadeh, E., & Lund, P. D. (2020). Performance evaluation of complex electricity generation systems: A dynamic network-based data envelopment analysis approach. Energy Economics, 91, 104894 .

Anvari, A., Zulkifli, N., Sorooshian, S., & Boyerhassani, O. (2014). An integrated design methodology based on the use of group AHP-DEA approach for measuring lean tools efficiency with undesirable

output. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 70(9), 2169-2186.

Anvari, A. R. (2021). The integration of LARG supply chain paradigms and supply chain sustainable performance (A case study of Iran). Production & manufacturing research, 9(1), 157-177.

Aydin, S., & Şenel, T. (2025). Evaluating energy efficiency in Turkish electric distribution using network DEA and GA models. Scientific Reports, 15(1), 21790.

Chivunga, J. N., Lin, Z., & Blanchard, R. (2025). Integrated Analysis of Operator Response Capacity, Energy Policy Support and Infrastructure Robustness in Power Grid Resilience Under Severe Weather Events: Lessons from Malawi. Energies, 18(11), 2755.

de Fine Licht, K., & Folland, A. (2025). Redefining 'sustainability': A systematic approach for defining and assessing 'sustainability'and 'social sustainability'. Theoria, 91(1), 45-59.

Egila, A. E., Kamal, M. M., Kumar Mangla, S., Rich, N., & Tjahjono, B. (2025). Highly reliable organisations and sustainability risk management: safety cultures in the Nigerian oil and gas supply chain sector. Business Strategy and the Environment, 34(2), 2680-2701.

Fallahi, A., Fallahi, F., Sarhadi, H., Ghaderi, S. F., & Ebrahimi, R. (2021). Application of a robust data envelopment analysis model for performance evaluation of electricity distribution companies. International Journal of Energy Sector Management, 15(4), 724-742.

Gallegos, J., Arévalo, P., Montaleza, C., & Jurado, F. (2024). Sustainable Electrification—Advances and Challenges in Electrical-Distribution Networks: A Review. Sustainability, 16(2), 698.

Gebremeskel, D. H., Ahlgren, E. O., & Beyene, G. B. (2023). Long-term electricity supply modelling in the context of developing countries: The OSeMOSYS-LEAP soft-linking approach for Ethiopia. Energy Strategy Reviews, 45, 101045 .

Khan, S. A., Tao, Z., Agyekum, E. B., Fahad, S., Tahir, M., & Salman, M. (2025). Sustainable rural electrification: Energy-economic feasibility analysis of autonomous hydrogen-based hybrid energy system. International Journal of Hydrogen Energy, 141, 460-473.

Li, J., Xu, Y., Wang, Y., Li, M., He, J., Liu, C. C., & Schneider, K. P. (2021). Resilience-motivated distribution system restoration considering electricity-water-gas interdependency. IEEE Transactions on Smart Grid, 12(6), 4799-4812.

Mishra, T., Kumar, U., Arunanchalam, K., & Sridhar, V. (2025). Energy efficiency study of Uttarakhand India electric power utilities based on Data Envelopment Analysis. Energy Sources,

Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 47(1), 5327-5340.

Mohsendokht, M., Kontovas, C., Chang, C. H., Qu, Z., Li, H., & Yang, Z. (2025). Resilience analysis of seaports: a critical review of development and research directions. Maritime Policy & Management, 1-36.

Mukilan, K., Rameshbabu, C., Baranitharan, B., Muthusamy, S., Ramamoorthi, P., Sadasivuni, K. K., ... & Khan, A. (2025). An efficient claim management assurance system using EPC contract based on improved monarch butterfly optimization models. Neural Computing and Applications, 37(1), 169-184.

Petridis, K., Ünsal, M. G., Dey, P. K., & Örkcü, H. H. (2019). A novel network data envelopment analysis model for performance measurement of Turkish electric distribution companies. Energy, 174, 985-998.

Ragab, S., Hoseinifar, S. H., Van Doan, H., Rossi, W., Davies, S., Ashour, M., & El-Haroun, E. (2025). Overview of aquaculture Artificial Intelligence (AAI) applications: Enhance sustainability and productivity, reduce labor costs, and increase the quality of aquatic products. Annals of Animal Science, 25(2), 441-453.

Rosales-Asensio, E., Diez, D. B., Cabrera, P., & Sarmento, P. (2024). Effectiveness and efficiency of support schemes in promoting renewable energy sources in the Spanish electricity market. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 158, 109926.

Seppänen, S., Ukko, J., & Saunila, M. (2025). Understanding determinants of digital transformation and digitizing management functions in incumbent SMEs. Digital Business, 5(1), 100106.

Shair, J., Li, H., Hu, J., & Xie, X. (2021). Power system stability issues, classifications and research prospects in the context of high-penetration of renewables and power electronics. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 145, 111111.

Vahidinasab, V., Tabarzadi, M., Arasteh, H., Alizadeh, M. I., Beigi, M. M., Sheikhzadeh, H. R., ... & Sepasian, M. S. (2020). Overview of electric energy distribution networks expansion planning. IEEE Access, 8, 34750-34769 .

Yazdanie, M. (2023). Resilient energy system analysis and planning using optimization models. Energy and Climate Change, 4, 100097.

Zhang, J., Ji, Q., Skene, K. R., Wu, X., Zhou, C., Wang, S., & Fu, B. (2025). Bridging resilience and sustainability: a reconciled framework for navigating social-ecological systems. Regional Environmental Change, 25(3), 1-13.

Zhang, R., Wei, Q., Li, A., & Ren, L. (2022). Measuring efficiency and technology inequality of China's electricity generation and transmission system: A new approach of network Data Envelopment Analysis prospect cross-efficiency models. Energy, 246, 123274.