-- Iranian Energy Economics------
Summer 2025, 55 (14), 79-111
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2025.82004.2114

ATU PRESS

Original Research
Received: 24/Sep/2024
Accepted: 6/May/2025
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Selecting the Most Reliable Electricity Supplier for Gol Gohar Steel Factories: Ranking of Power Plants Using Multi-Criteria Decision-Making Methods

Seyed Ali Tohidi — Master of Industrial Engineering, Financial Engineering, K. N. Toosi University of Technology.

Mohammad Mousazadeh * — Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran.

Majid Mirzaei Ghazani — Associate Professor, Faculty of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology.

Nasser Safaie — Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology.

Abstract

With the increase in electricity consumption in the country over the last few years, despite the strategic nature of the steel industry in the country, the supply of electricity for steel companies has faced serious problems; In this study, we have first examined the strategies for improving the quality and increasing the production rate of Gol Gohar Steel Company through forming a SWOT matrix. Then, considering that sustainable electricity supply is identified as the key strategy to achieve this goal, using multi-criteria decision-making methods, different power plants are ranked for electricity supply of this company. For this purpose, using two main indicators of maintenance planning, i.e. reliability and availability, the options have been evaluated, and the ranking of power plants has been done using different methods: AHP, EDAS, TOPSIS, and MAUT. Also, for the weighting of criteria, two methods of forming a pairwise comparison matrix (PCM) and Shannon's method have been used. The results indicate that among the three power plants—Kahnouj, Goharan, and Samangan—the power supply from the Samangan power plant will be the most reliable for the Golgohar company. Specifically, in three out of four decision-making methods, the Samangan power plant was identified as the best option, while it ranked second in the remaining method. Additionally, the Kahnouj power plant and the Goharan power plant were identified as the second and third-best options, respectively.

* Corresponding Author: mousazadeh@ut.ac.ir
How to Cite: Tohidi, S A., Mousazadeh, M., Mirzaei Ghazani, M., Safaie, N. (2025). Selecting the Most Reliable Electricity Supplier for Gol Gohar Steel Factories: Ranking of Power Plants Using Multi-Criteria Decision-Making Methods. Iranian Energy Economics, 55 (14), 79-111.

Introduction

The Iranian steel industry plays a pivotal role in the country's economy, contributing around 30% of the gross national product (GDP). Official statistics from the Chamber of Commerce of Industries and Mines show that the steel industry adds a substantial value of $20 billion annually. This high level of productivity comes with significant energy consumption, as the industry utilizes 20 billion kilowatt hours of electricity per year. With a power plant capacity of 6,000 megawatts, the steel industry presents a compelling opportunity for large private and semi-state companies to generate their electricity, potentially easing the government's energy burden.

In the steel industry, continuous electricity supply is crucial to ensure high production performance and minimize costs. The frequent power outages lead to production stops, increased production time, and higher costs, particularly due to the impact on electric arc furnaces. The lack of energy sources and power outages in recent years have posed significant challenges to energy-intensive industries like steel production.

In this study, we are aiming to find the best power plant to supply reliable electricity for the steel company with a special focus on key criteria such as "availability" and "reliability". Additionally, investing in providing electricity from such a power plant will be very profitable for the company, enabling it to easily cover the cost of its electricity supply and allocate surplus profits to other areas.

Methods and Material

After gathering the required data for each option in every criterion, as well as for each sub-criterion separately, the next step involves calculating the importance coefficient for each sub-criterion using the paired comparisons method and the Shannon entropy method. After this, we will prioritize each option using four different methods: AHP, MAUT, TOPSIS, and EDAS.

The data for this study was gathered by technical experts, production planners, and maintenance and repair personnel at Mapna company. Some of the data was collected by monitoring users in the power plants using CMMS software modules, while other data was obtained from existing gauges on the facilities or through time measurements. Additionally, some data was sourced from the annual reports of Golghar Kerman Company.

Researchers are employing multiple decision-making methods to compare results and integrate them into a final ranking in their research. They are also exploring various traditional and modern methods for ranking in multi-criteria decision-making.

Results and Discussion

Based on the results obtained from various methods, it is evident that the TOPSIS and EDAS methods yield similar results. Additionally, the AHP method aligns with the two aforementioned methods in selecting the best power plant, differing only in the other two priorities. Furthermore, in the MAUT method, the third priority is akin to the two aforementioned methods, while the first and second priorities differ.

As the rankings of power plants using different methods produced different results, to achieve a consensus and establish a final ranking, the results were integrated using the Copeland method. The merged result indicates that the Samangan power plant has

the highest priority, followed by the Kohnuj power plant in second place and the Gohran power plant in third place.

Conclusion

An unprecedented increase in electricity consumption in the country, both in the domestic and industrial sectors, has led to urban outages and created problems for the manufacturing and industrial sectors. One of the ways to stabilize the power supply of industries, especially steel factories, which are a strategic part of the country's industry, is to establish power plants and use the dedicated capacity of power plants without depending on the country's national electricity network.

In this research, we aim to determine the best power plant to provide reliable electricity for Golghar steel factories by relying on four multi-criteria decision-making methods. We first identified the indicators and criteria influencing the selection of the best power plant with the participation of industry experts. Then, we extracted the required data quantitatively and qualitatively from the body of experts and information systems available at Golgohar Company.

Next, we calculated the weights of the criteria using two methods pairwise comparison matrix and Shannon Entropy method. Finally, we ranked the power plants using four multi-criteria decision-making methods including AHP, MAUT, TOPSIS, and EDAS methods. After integrating the results via the Copland method, the Samangan power plant was identified as the best power plant, and the Goharan and the Kohnuj power plants were ranked second and third.

For the development of this research, it is suggested to add other decision-making indicators to the problem in addition to the key performance indicators in the field of maintenance planning. The use of new decision-making methods such as the best-worst (BWM) method or the use of other integration methods in the final ranking of options can be another way to develop this research. Also, considering some parameters of the problem as fuzzy variables with uncertainty and using fuzzy versions of multi-criteria decision-making methods are among other suggestions for development.

Keywords: Maintenance, Reliability, Multi-Criteria Decision Making, SWOT matrix

JEL Classification: D91 , L42 , L94

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

ISSN: ۵۹۵۴-۲۴۲۳

eISSN: ۶۴۳۷-۲۴۷۶

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------

دوره ۱۴، شماره ۵۵، تابستان ۱۴۰۴، ۱۱۱-۷۹

Jiee.atu.ac.ir

DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2025.82004.2114

انتخاب قابل‌اطمینان‌ترین تأمین‌کننده برق برای کارخانجات فولادسازی گل‌گهر: رتبه‌بندی نیروگاه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

سید علی توحیدی — کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، مهندسی مالی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

محمد موسی‌زاده * — استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران.

مجید میرزایی قزانی — دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

ناصر صفایی — استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

با افزایش مصرف برق در کشور طی چند سال اخیر، علی‌رغم راهبردی بودن صنعت فولاد در کشور، تأمین برق برای شرکت‌های فولادی با مشکلات جدی روبه‌رو شده است؛ در این مطالعه، ابتدا به بررسی راهبردهای بهبود کیفیت و افزایش نرخ تولید شرکت فولاد گل‌گهر از طریق تشکیل ماتریس SWOT پرداخته‌ایم. سپس، با توجه به اینکه تأمین برق قابل اطمینان، کلیدی‌ترین راهبرد برای نیل به این هدف شناسایی شده است، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به رتبه‌بندی نیروگاه‌های مختلف برای تأمین برق قابل اطمینان این شرکت پرداخته‌ایم. به این منظور، با استفاده از دو شاخص اصلی نگهداری و تعمیرات، یعنی قابلیت اطمینان و در دسترس بودن به ارزیابی گزینه‌ها پرداخته و رتبه‌بندی نیروگاه‌ها با استفاده از چهار روش تصمیم‌گیری AHP، EDAS، TOPSIS و MAUT انجام شده است. همچنین برای وزن‌دهی معیارها از دو روش تشکیل ماتریس مقایسات زوجی (PCM) و روش شانون بهره گرفته شده است. نتایج حل نشان‌دهنده آن است که از میان سه نیروگاه کهنوج، نیروگاه گهران و نیروگاه سمنگان، تأمین برق قابل اطمینان شرکت گل‌گهر توسط نیروگاه سمنگان قابل اتکاتر خواهد بود. به‌طور خلاصه، در سه روش از چهار روش تصمیم‌گیری، نیروگاه سمنگان به‌عنوان نیروگاه برتر شناخته شده و در دیگر روش نیز در جایگاه دوم رتبه‌بندی قرار گرفت. همچنین در مجموع، نیروگاه کهنوج نیروگاه گهران به‌عنوان دومین و سومین نیروگاه شناسایی شدند.

کلیدواژه‌ها: نگهداری و تعمیرات، قابلیت اطمینان، تصمیم‌گیری چندمعیاره، ماتریس SWOT

طبقه‌بندی JEL: L94 , L42 , D91

* نویسنده مسئول: mousazadeh@ut.ac.ir

۱. مقدمه

صنایع فولادی یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بخش‌های تولیدی کشور محسوب می‌شوند و حدود ۳۰ درصد از تولید ناخالص داخلی[1] را در اختیار دارند. طبق آمارهای رسمی اتاق بازرگانی صنایع و معادن کشور[2] در سال ۱۴۰۰، ارزش افزوده صنعت فولاد، سالانه به ۲۰ میلیارد دلار می‌رسد و صنایع فولادی برای ایجاد این میزان ارزش افزوده، سالانه ۲۰ میلیارد کیلووات ساعت برق مصرف می‌کنند. وجود ظرفیت نیروگاهی ۶ هزار مگاواتی در صنعت فولاد، شرکت‌های بزرگ خصوصی و شبه دولتی در این حوزه را برای تولید برق و کاهش بار انرژی از روی دوش دولت ترغیب می‌کند.

شرکت‌های فولادسازی برای داشتن بهترین عملکرد در تولید، به برق پیوسته با قطعی شبکه کمتر نیاز دارد. معیارهای در دسترس بودن[3] و قابلیت اطمینان[4] باعث کمتر شدن قطعی کوتاه‌مدت شده و در صنایع فولاد توقفات کوتاه در تولید موجب هزینه‌های بالایی در بهای تمام شده محصول می‌گردد. ازجمله توقفات و خسارات تولید در زمان قطع برق می‌توان به پایین آمدن دمای کوره‌های قوس الکتریکی و افزایش زمان و هزینه تولید اشاره کرد. کمبود منابع انرژی و قطعی برق طی سال‌های اخیر، به یکی از چالش‌های بزرگ صنایع به ویژه صنایع انرژی‌بر مانند فولاد تبدیل شده است البته قطعی گاز در زمستان هم مسئله دیگری برای صنایع تولیدی محسوب می‌شود که بر میزان تولید، فروش و صادرات اثر منفی می‌گذارد.

با در نظر گرفتن چالش‌های ذکرشده به ویژه برای صنایع فولادی، این مطالعه در راستای یافتن قابل اطمینان‌ترین نیروگاه برای تأمین برق شرکت فولادی گل‌گهر انجام شده است. اهمیت این پژوهش برای شرکت‌های فولادی از این جهت بسیار بالا است که انتخاب یک نیروگاه کارا برای تأمین برق و متناسب با معیارهای کلیدی نظیر «در دسترس بودن» و «قابلیت اطمینان» می‌تواند از افزایش قیمت تمام شده و افزایش زمان تولید بکاهد و از خواب سرمایه یا ماشین‌آلات صنعتی جلوگیری کند. همچنین سرمایه‌گذاری جهت تأمین برق از چنین نیروگاهی، سودآوری بسیار بالایی برای شرکت خواهد داشت که به راحتی می‌تواند هزینه تأمین برق خود را از این راه به دست بیاورد و مازاد سودآوری آن را نیز صرف سایر امور کند.

---

1. Gross Domestic Product (GDP)
2. chambertrust.ir
3. Availability
4. Reliability

براساس بررسی‌هایی که در معاونت کسب‌وکار اتاق بازرگانی و صنایع و معادن تهران صورت گرفته و مبتنی بر گزارشات سالانه وزارت نیرو[1]، سالنامه آماری[2] و گزارشات معاملات انرژی در سایت بورس انرژی[3]، در کنستانتره‌سازی ۳۳۷ مگاوات در هر ساعت برق مصرف می‌شود. به‌علاوه، در گندله‌سازی ۴۴۵ مگاوات، در احیای مستقیم آهن اسفنجی ۴۶۸ مگاوات و در ذوب و فولادسازی مصرف برق به ۳۷۱۷ مگاوات در ساعت می‌رسد. در بخش مقاطع طویل مانند میل‌گرد، نبشی و ناودانی نیز مصرف در حدود ۱۷۸ مگاوات برآورد شده است.

با کنار هم گذاشتن عوامل اثرگذار بر دینامیک عرضه و تقاضای برق که مورد اشاره قرار گرفت، به نظر می‌رسد با توجه به رشد مصرفی که به ویژه در بخش خانگی (۳۲٪ از مصرف کل کشور) وجود دارد مشکل قطعی برق صنایع در سال‌های آتی همچنان باقی است که این امر ضربه سنگینی بر ظرفیت تولید این بنگاه‌های اقتصادی وارد خواهد کرد. درواقع صنایع در سال‌های پیش رو با دو چالش اساسی ۱) قطعی گسترده برق و ۲) افزایش قیمت برق روبه‌رو خواهند بود. هرچند که وزارت نیرو درصدد ایجاد مشوق‌هایی برای تولید برق از طریق منابع مختلف هست، اما دولت به دلیل برخی قوانین بالادستی، حق تولید و توسعه نیروگاه‌های جدید را ندارد. درنتیجه، به دلیل ارزشمند بودن هر کیلووات برق تولیدی برای شرکت‌های تولیدی آهن و فولاد، واحدهای تولیدی می‌بایست برای رفع چالش‌های مربوط به تأمین برق خود بیاندیشد و این امر آن‌ها را به سمت و سوی مدیریت مصرف انرژی و تأمین برق به صورت خودتأمین سوق خواهد داد.

شرکت فولاد گل‌گهر استان کرمان بیش از ۱۲ سال است که در صنعت فولاد ایران پیشتاز تولید محصولات فولادی می‌باشد. طی ۵ سال اخیر، به دلیل کمبود برق در ساعات اوج مصرف و پیک‌های بار، برخی از نیروگاه‌های تأمین‌کننده برق گل‌گهر دچار اختلالات پراکنده و مداوم چشمگیری شدند. این قطعی‌ها موجب افزایش ضایعات و کاهش کیفیت محصولات می‌شد. درنتیجه، این تحقیق به دنبال انتخاب قابل اطمینان‌ترین نیروگاه برای تأمین برق شرکت گل‌گهر صورت گرفته است. در جدول (۱) به کمک ماتریس SWOT و با توجه به شرایط محیطی و سطح فناوری که شرکت فولادی گل‌گهر دارد، به تحلیل وضعیت

1. moe.gov.ir
2. www.amar.org.ir
3. www.irenex.ir

شرکت فولادی گل گهر پرداخته شده است. هدف این تحلیل شناسایی استراتژی‌هایی است که شرکت باید برای ارتقای کیفیت محصول و افزایش فروش اتخاذ کند.

جدول ۱. ماتریس SWOT[1]

		نقاط قوت داخلی (S)	نقاط ضعف داخلی (W)
	عوامل درونی / **عوامل بیرونی**	۱. به دنبال ایجاد تنوع در سبد محصول ۲. دارای مشتریان ثابت و برند بودن ۳. برخورداری از تکنولوژی القایی برای ذوب ٤. نرخ تولید محصول بالا	۱. الکتریکی بودن کوره‌ها و نیازمند بودن به برق ثابت و قابل اطمینان ۲. مشکل تأمین برق در صورت نداشتن نیروگاه اختصاصی ۳. آلودگی به شدت بالای زیست محیطی در صورت افزایش نرخ تولید ٤. محدود کردن مصرف برق این صنعت در اولین گروه در زمان اوج بار مصرف برق
فرصت های محیطی (O)	۱. نزدیک بودن به جنوب کشور برای تأمین آب ۲. نزدیک بودن به چندین نیروگاه برق برای تأمین برق ۳. حمایت‌های مالی دولت از صنایع راهبردک مانند فولاد ٤. نزدیکی بودن به معادن سنگ آهن	راهبرد SO ۱. ساخت یا واردات کوره‌های القایی جدید با مصرف کمتر برق با کمک حمایت‌های دولتی ۲. افزایش کیفیت محصول با یافتن معادن با خلوص بیشتر و کاهش هزینه تمام‌شده	راهبرد WO ۱. انتخاب بهترین نیروگاه از نظر شاخص های نت یا ساخت نیروگاه برای تأمین برق
تهدیدات محیطی (T)	۱. کمبود منابع آبی برای تأمین آب ۲. قطعی برق در پیک‌های اوج مصرف برق ۳. رقیب‌های به شدت خلاق در نوآوری و سبد محصول ٤. هزینه‌های بالای ضایعات و محصولات معیوب	راهبرد ST ۱. ایجاد سبد متنوع محصول با در نظر گرفتن محصولات متنوع شرکت‌های رقیب ۲. با افزایش نرخ تولید و کاهش قطعی برق درنتیجه کاهش هزینه های ضایعات با تأمین به اندازه برق و آب	راهبرد WT ۱. داشتن یک شبکه برق پشتیبان جهت پشتیبانی هنگام قطعی برق و نظافت کوره‌ها جهت کاهش مصرف برق

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول (۱)، برای افزایش فروش محصولات شرکت گل‌گهر کرمان و همچنین افزایش سهم بازار خود، می‌بایست از راهبردهای ضعف ـ فرصت[2] (به منظور کاهش اثرات ناشی

1. SWOT (Strength Weakness Opportunity Thread)
2. Weaknesses – Opportunities

از نقاط ضعف سازمان در بهره‌گیری از فرصت‌های موجود) و ضعف ـ تهدید[1] (به منظور حداقل‌سازی ضعف‌های سازمان در برابر تهدیدهای شناسایی‌شده) بهره برد. با توجه به این دو راهبرد در خواهیم یافت که بهترین راهبرد شرکت در این خواهد بود که *مشکل تأمین برق قابل اطمینان و با ثبات* خود را به وسیله تأمین برق از یکی از نیروگاه‌های اطراف خود برطرف کند. کیفیت برق آن نیروگاه، با پایداری و با ثبات شبکه برق تأمینی تعیین می‌شود.

با توجه به چالش گل‌گهر در تأمین برق با کیفیت که در ابتدا بیان شد، این مطالعه در پی آن است که با استفاده از شاخص‌های حیاتی و کاربردی نگهداری و تعمیرات، به رتبه‌بندی نیروگاه‌های موجود از منظر قابلیت اطمینان جهت تأمین برق این شرکت بپردازد. در این مقاله، در بخش دوم به مرور مطالعات پیشین پرداخته خواهد شد. در بخش سوم، شاخص‌ها و معیارهای مورد استفاده که با توجه به نظرات خبرگان انتخاب گردیده‌اند، مورد بحث قرار خواهند گرفت. در بخش چهارم، به معرفی و استفاده از روش‌های رتبه‌بندی مورد نظر پرداخته می‌شود. در بخش پنجم تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از رتبه‌بندی نیروگاه‌ها با استفاده از روش‌های مختلف ارائه شده است و در نهایت، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری این پژوهش در بخش ششم ارائه شده است.

۲. مروی بر پیشینه تحقیق

۲-۱. پژوهش‌های داخلی

در زمینه تحقیق این پژوهش، مقالات متعددی یافت می‌شود که هدف آن انتخاب تأمین‌کننده برق و یا زنجیره تأمین برق با معیارهایی متفاوت است.

منظور و رحیمی (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن معیارهای مختلف اقتصادی زیست‌محیطی، سیاسی، اجتماعی، امنیت انرژی و فنی، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی به معیارها و روش پرومته[2] به ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف تولید برق پرداخته‌اند. در بین ۲۳ معیاری که اوزان هریک را خبرگان تعیین کردند، هزینه تمام‌شده برای هر کیلووات ساعت در رتبه اول، امنیت تأمین منبع ورودی نیروگاه در رتبه دوم، سرمایه‌گذاری اولیه در رتبه سوم، تأثیر در حفظ و صرفه‌جویی در منابع پایان‌پذیر در رتبه چهارم و تأثیر در نوع بخشی به سیستم عرضه در رتبه پنجم قرار گرفت است.

1. Weaknesses – Threats
2. Promethee

امیدیان و حیدریه (۱۳۹۷) تحقیقی در زمینه اولویت‌بندی راهبرد زنجیره تأمین در تولید برق به روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی انجام دادند. در آن پژوهش سعی شده است با مطرح کردن رویکرد مدیریت زنجیره تأمین بزرگ (لارج)، با به‌کارگیری روش توصیفی ـ پیمایشی و دریافت نظر هشت نفر خبره در صنعت برق، هریک از ابعاد رویکرد لارج با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی[1] و به کمک نرم‌افزار تحت وب سلسله‌مراتبی فازی چانگ بررسی و اولویت‌بندی شود.

عباسی قله سرخ (۱۳۹۸) تحقیقی در زمینه شناسایی و رتبه‌بندی راهبردهای مؤثر در بهبود عملکرد زنجیره تأمین با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی[2] در شرکت توزیع نیروی برق اهواز داشته است. خلیفه سلطانی (۱۴۰۰) تحقیقی در زمینه استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی میزان تأثیر واحدهای مختلف شرکت توزیع برق در زنجیره تأمین (مطالعه موردی شرکت توزیع برق یزد) انجام داده است. در آن پژوهش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و با استفاده از نظر خبرگان فعال در صنعت برق، به تفکیک کارشناسان شرکت توزیع برق استان یزد، سهمِ واحدهای مختلف شرکت توزیع برق در کیفیت برق تحویلی و زنجیره تأمین آن اولویت‌بندی شده است.

پورجواد و همکاران (۱۴۰۰) نیز تحقیقی در زمینه زنجیره تأمین برق انجام دادند. نتیجه پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که زنجیره تأمین برق یکی از مواردی است که به دلیل وجود تعارض میان افراد ذی‌نفعان، دارای ریسک‌های متعددی می‌باشد. آن پژوهش سپس به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های مرتبط با زنجیره تأمین برق می‌پردازد. با توجه به اهمیت ریسک‌ها در صنعت نیروگاهی، به‌عنوان مطالعه موردی، ارزیابی عوامل ریسک در زنجیره تأمین نیروگاه دالاهو انجام شده است. این ارزیابی در سه مرحله شناسایی، اولویت‌بندی و تحلیل انجام شده است.

لطفی و همکاران (۱۴۰۰) مطالعه‌ای در زمینه پتانسیل‌سنجی مزرعه‌های خورشیدی با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در ایران داشته‌اند. با توجه به اینکه ایران از ظرفیت بالایی برای استفاده از انرژی خورشیدی دارد اما شناخت مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی یک موضوع بسیار مهم است. درواقع آن مطالعه در راستای ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی ۹ استان در ایران با ۳ نوع روش تصمیم‌گیری چند معیاره مجموع ساده وزنی،

1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)
2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

تاپسیس و الکتره می‌باشد. در این راستا از ۳ معیار اصلی محل نصب، شرایط آب و هوایی و ریسک استفاده شده است، که شامل ۱۱ زیر معیار بوده و با روش آنتروپی شانون وزن‌دهی شدند.

افشاریان و سهرابی (۱۴۰۰) مطالعه‌ای در زمینه رتبه‌بندی نیروگاه‌های بادی و خورشیدی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی[1] با در نظر گرفتن شاخص‌های مالی و اقتصادی در ایران داشته‌اند. در آن پژوهش که به دنبال رتبه‌بندی مناطق در ایران می‌باشد. ابتدا مناطقی که در سال‌های اخیر تاکنون اقدامی برای تأسیس نیروگاه‌های بادی و خورشیدی (تجدیدپذیر) صورت نپذیرفته است شناسایی شد. پس از انتخاب اولیه مناطق که به کمک استخراج معیارهایی همچون طول و عرض جغرافیایی، سرعت باد و حداکثر ساعات آفتابی انجام شد، اولویت‌بندی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ناظر به معیارهای احداث مزارع خورشیدی و بادی (همچون بازگشت سرمایه، تأثیرات سیاسی، اقتصادی، چگالی باد، زاویه تابش) انجام پذیرفته است.

۲-۲. پژوهش‌های خارجی

گارگ و همکاران (۲۰۰۷)[2] یک روش محاسباتی برای مسئله ارزیابی و انتخاب نیروگاه بهینه ارائه می‌دهند. روش ارائه شده مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه نامگذاری شده است و اساساً مبتنی بر روش تاپسیس است. در آن مقاله، یک طرح طبقه‌بندی و کدگذاری جامع بر اساس ۱۹۰ معیار مرتبط برای یک نیروگاه حرارتی پیشنهاد شده است که برای توسعه یک پایگاه داده بزرگ از نیروگاه های موجود و بازیابی بعدی آن‌ها مناسب است.

اتماجا و باسار (۲۰۱۲)[3] در تحقیقی ارزیابی نیروگاه‌های ترکیه را با استفاده از فرآیند شبکه تحلیلی[4] انجام داده‌اند. مطالعه آن‌ها برای تعیین میزان کفایت ظرفیت نیروگاه‌های موجود در ترکیه و نیروگاه‌هایی که در حال ساخت هستند یا برای تأسیس در آینده نزدیک در نظر گرفته شده است به کار برده می‌شود. جایگزین‌هایی که در نظر گرفته می‌شوند نیز نیروگاه‌های طبیعی هستند نظیر: نیروگاه‌های انرژی گاز، باد، زمین گرمایی، برق آبی و زغال سنگ و همچنین نیروگاه‌های هسته‌ای. با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره فرآیند تحلیلی شبکه،

1. Analytic Hierarchy Process (AHP)
2. Garg et al.
3. Atmaca and Basar
4. Analytic Network process (ANP)

ارزیابی شش نیروگاه مختلف انرژی با توجه به معیارهای اصلی مانند فناوری و پایداری، تناسب اقتصادی، کیفیت زندگی و اثرات اجتماعی ـ اقتصادی صورت گرفته است.

سینگ و همکاران (۲۰۱۳)[1] مطالعه‌ای در مورد انتخاب مبدل حرارتی برای عملیات حرارتی با شاخص‌های چندگانه با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره. انجام داده است. زارع و همکاران (۲۰۱۵)[2] تحقیقی با هدف ارائه یک چارچوب تحلیل SWO برای تجزیه و تحلیل زنجیره تأمین برق با استفاده از روش ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس فازی[3] داشته‌اند. در آن مقاله چارچوبی مبتنی بر تحلیل SWOT جهت برای تحلیل زنجیره تأمین برق در شمال غرب ایران ارائه شده است.

همچنین، کومار و همکاران (۲۰۲۰)[4] تحقیقی در رابطه با تعیین و اولویت‌بندی مولفه‌های بحرانی که نیروگاه حرارتی نیاز به نگهداری تعمیرات پیشگیرانه آن‌ها دارند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه داده است. داده‌های جمع‌آوری شده در آن مقاله مربوط به یکی از نیروگاه های حرارتی بوده است و در نهایت علت اصلی قطعی واحد نیروگاه حرارتی به دلیل نقص در عملیات فرمان قطع اضطراری اصلی سوخت[5] در محافظت از دیگ بخار در برابر هرگونه ناامنی شناسایی شده است. تایلان و همکاران (۲۰۲۰)[6] در مطالعه‌ای در مورد ارزیابی سیستم‌های انرژی با استفاده از رویکردهای فازی توسعه‌یافته با روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، ویکور فازی[7] و تاپسیس داشته‌اند. آن مطالعه با هدف شناسایی مناسب‌ترین سیستم‌های انرژی در کشور عربستان انجام شده است.

باکت و همکاران (۲۰۲۱)[8] مطالعه‌ای با هدف تعیین تصمیمات بهینه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر انجام داده‌اند؛ پنج گزینه انرژی تجدیدپذیر در ترکیه شناسایی شدند که عبارتند از: انرژی آبی، انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی و انرژی زیست توده. در آن مقاله، ابتدا با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی وزن معیارها شناسایی شد و سپس رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس روش ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل[9] صورت

1. Sing et al.
2. Zare et al.
3. Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)
4. Rakesh Kumar
5. Master fuel tripping
6. Taylan et al.
7. Fuzzy VIKOR
8. Buket et al.
9. Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)

گرفت. نتایج توصیه می‌کند که سرمایه‌گذاری، بر روی انرژی آبی و انرژی بادی می‌بایست بیشترین اولویت را داشته باشد.

جدول ۲. جدول مرور ادبیات داخلی و خارجی

ردیف	نویسندگان	سال	نوع پژوهش	نوع داده	روش تصمیم‌گیری	کاربرد
۱	منظور و رحیمی	۱۳۹٤	داخلی	قطعی	AHP	اولویت بندی نیروگاه‌های تولید برق در ایران
۲	امیدیان و حیدریه	۱۳۹۷	داخلی	فازی	AHP	زنجیره تأمین تولید برق
۳	عباسی قله سرخ	۱۳۹۸	داخلی	قطعی	AHP	بهبود زنجیره تأمین برق
٤	خلیفه سلطانی	۱٤۰۰	داخلی	قطعی	AHP	زنجیره تأمین برق
٥	پورجواد و همکاران	۱٤۰۰	داخلی	فازی	AHP	زنجیره تأمین برق
٦	لطفی و همکاران	۱٤۰۰	داخلی	قطعی	TOPSIS, SAW ELECTERE	اولویت‌بندی برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی
۷	افشاریان و سهرابی	۱٤۰۰	داخلی	قطعی	AHP	اولویت‌بندی برای احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر
۸	گارگ و همکاران	۲۰۰۷	خارجی	قطعی	TOPSIS	ارزیابی و انتخاب توان حرارتی نیروگاه‌ها
۹	اتماجا و باسار	۲۰۱۲	خارجی	قطعی	ANP	ارزیابی نیروگاه‌ها
۱۰	سینگ و همکاران	۲۰۱۳	خارجی	فازی	TOPSIS	انتخاب مبدل حرارتی برای عملیات حرارتی
۱۱	زارع و همکاران	۲۰۱٥	خارجی	فازی	AHP, TOPSIS	زنجیره تأمین برق
۱۲	کومار و همکاران	۲۰۲۰	خارجی	قطعی	AHP	تعیین خرابی اجزای بحرانی نیروگاه
۱۳	باکت و همکاران	۲۰۲۱	خارجی	فازی	AHP, FMEA EDAS	اولویت‌بندی انرژی‌های تجدیدپذیر کشور ترکیه
۱٤	تایلان و همکاران	۲۰۲۰	خارجی	فازی	AHP, TOPSIS, VIKOR	ارزیابی سیستم‌های انرژی
۱٥	پژوهش حاضر	۱٤۰۳	داخلی	قطعی	AHP, TOPSIS, MAUT, EDAS	انتخاب برترین نیروگاه

۳. شرح گزینه‌ها و معیارهای رتبه‌بندی گزینه‌ها

شرکت‌های فولادی برای ساخت نیروگاه باید نیروگاه را در جای تعیین‌شده از سوی شرکت برق بسازند. درنتیجه شرکت فولادی پس از ساخت نیروگاه در محل تعیین شده و با توجه به درآمد از نیروگاه خود، برق مورد نیازش را از بورس انرژی از یکی از نیروگاه‌های اطراف خود تأمین می‌کند. به دلیل وجود کارخانجات فولادی زیاد در استان کرمان که یک قطب مهم صنایع فلزی در ایران است و کمبود آب در این استان، و همچنین نبود نیروگاه آبی یا بادی و حضور پر رنگ نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در استان کرمان، شرکت فولاد گل‌گهر کرمان به‌عنوان شرکت نیازمند برق و سرمایه‌گذار به‌عنوان یک مورد مطالعاتی انتخاب شده است. حال آنکه سه نیروگاه سمنگان، کهنوج و گوهران به دلیل در دست داشتن اطلاعات نگهداری و تعمیرات آن‌ها و نزدیک بودن نیروگاه‌ها به کارخانه جهت مقایسه و رتبه‌بندی به منظور تأمین برق کارخانجات گل‌کهر کرمان انتخاب شده‌اند.[1]

از طرفی دیگر، برای ارزیابی نیروگاه‌ها جهت تأمین برق کارخانجات فولادسازی گل‌گهر سیرجان، دو معیار اصلی در دسترس بودن و قابلیت اطمینان در نظر گرفته شده است که با استناد بر استانداردهای ISO14224 و EN15341 انتخاب شده است. در تعیین معیارها و زیرمعیارها که در جدول ۳ نیز ارائه شده است، سه خبره از واحدهای فنی و نگهداری و تعمیرات شرکت مپنا و با همکاری واحد برنامه‌ریزی و تولید کارخانه فولاد گلگهر کرمان، مشارکت داشتند. که این معیارها به صورت مصاحبه و با اجماع این کارشناسان بر روی چند معیار حیاتی و پرکاربرد در طی چند جلسه برگزیده شدند. در مجموع، انتخاب این شاخص‌ها براساس نقشه راهبرد سازمان بوده که به خط مشی سازمان نیز ختم شده است و در تحلیل و بررسی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

معیار در دسترس بودن، مشتمل بر سه زیرمعیار ۱) زمان در سرویس بودن واحد (داده عددی)، ۲) کیفیت سوخت (داده توصیفی) و ۳) تعداد تریپ در واحد (داده عددی) است. از طرف دیگر، معیار قابلیت اطمینان که به‌عنوان احتمال کارکرد صحیح و بدون اشکال یک سیستم یا آیتم، در شرایط مشخص و از پیش تعیین شده برای یک زمان مشخص را مطرح می‌کند، خود از ۵ زیر معیار ۱) شاخص میانگین زمان بین دو خرابی[2]، ۲) شاخص میانگین

1. www.mapnaom.com
2. Mean Time Between Failure (MTBF)

زمان تا خرابی[1]، ۳) شاخص میانگین زمان لازم تعمیر[2]، ۴) شاخص میانگین زمان انتظار برای (شروع) تعمیر[3] و ۵) شاخص تکرار خرابی تشکیل شده است که هر پنج زیرمعیار از نوع داده‌های عددی هستند.

جدول ۳. معیارها و زیر معیارهای انتخاب برترین نیروگاه

معیار	شرح معیار	زیر معیار	شرح زیرمعیار
در دسترس بودن	مقدار زمانی است که یک تجهیز/ دارایی می‌تواند در صورت نیاز مورد استفاده قرار گیرد.	زمان در سرویس بودن واحد	مدت زمان فعال عملیاتی
		کیفیت سوخت	میزان با کیفیت بودن سوخت و فاسد نبودن آن
		تعداد تریپ در واحد	تعداد توقف‌ها در واحد
قابلیت اطمینان	توانایی تجهیز/ دارایی برای انجام در کار مورد نیاز، بدون شکست، برای یک دوره زمانی مشخص‌شده و تحت شرایط داده شده	MTBF	میانگین زمان بین دو خرابی
		MTTF	میانگین زمان تا خرابی
		MTTR	میانگین زمان تعمیر
		MTWR	میانگین زمان انتظار برای تعمیر
		تکرار خرابی	تعداد خرابی رخ داده در طول زمان عملیاتی واحد

منبع: یافته‌های پژوهش

شاخص میانگین زمان بین دو خرابی[4]: این شاخص زمان قابل پیش‌بینی‌ای که از خرابی قبلی تا خرابی بعدی یک سیستم مکانیکی یا الکتریکی در عملکرد نرمال آن می‌گذرد را اندازه‌گیری می‌کند. درواقع این شاخص کمک می‌کند تا بتوانید پیش‌بینی کنید که سیستم شما چه مدت کار می‌کند و تا خرابی بعدی چه میزان زمان باقی مانده است. این شاخص در سیستم‌هایی کاربرد دارد که قابل تعمیر باشند و منظور از خرابی در تعریف این پارامتر، خرابی‌هایی است که باعث توقف کامل و از کار افتادن سیستم می‌شود وآن را ملزوم به تعمیر

1. Mean Time to Failure (MTTF)
2. Mean Time to Repair (MTTR)
3. Mean Time Wait Repair (MTWR)
4. MTBF

شدن می‌کند. همچنین تعمیرات دوره‌ای و متوقف کردن سیستم که طبق برنامه تعمیر و نگهداری انجام می‌گیرد (مثل کالیبراسیون یا تعویض دوره‌ای قطعات)، مربوط به این شاخص نیست. هرچه مقدار شاخص میانگین زمانی بین دو خرابی بزرگ‌تر باشد، سیستم زمان بیشتری را خوب کار می‌کند و دیرتر خراب می شود.

شاخص میانگین زمان تا خرابی[1]: متوسط زمانی است که یک قطعه یا دستگاه پس از شروع به کار، به اولین خرابی خود می‌رسد. این خرابی به گونه‌ای است که دستگاه دیگر قادر به ادامه فعالیت عادی خود نیست. میانگین زمان تا خرابی را معمولاً به ساعت یا هزار ساعت تخمین می‌زنند و معمولاً در مشخصات قطعات آن را ذکر می‌کنند. اگر مقدار این شاخص برای قطعه‌ای صد هزار ساعت اعلام شد، به این معناست که انتظار می‌رود به‌طور میانگین بعد از گذشت این مدت زمان، اولین خرابی منجر به توقف کارکرد در قطعه رخ دهد. لازم به ذکر است، این زمان صرفاً یک تخمین است و هیچ تضمینی وجود ندارد که قطعه بعد از چند ساعت از شروع فعالیت خراب نشود یا حتماً بعد از صد هزار ساعت قطعه خراب نخواهد شد و شاید خیلی بیش از آن نیز دوام داشته باشد. همچنین این زمان اعلام شده، زمان فعالیت قطعه است.

شاخص میانگین زمان تعمیر[2]: شاخصی است که بخش‌های تعمیر و نگهداری برای اندازه‌گیری میانگین زمان لازم برای تعیین علت و رفع تجهیزات خراب استفاده می‌کنند. این شاخص به‌طور دقیق مشخص خواهد کرد که تیم تعمیر و نگهداری با چه سرعتی می‌تواند به خرابی‌های برنامه‌ریزی‌نشده پاسخ دهد و آن‌ها را ترمیم کند. شاخص میانگین زمان تعمیر مدت زمان را از ابتدای حادثه تا زمان بازگشت تجهیزات یا سیستم به تولید در نظر نمی‌گیرد و به عبارت ساده‌تر زمان آچار به دست بودن یا تعمیر وسیله به دست تعمیرکار را محاسبه می‌کند.

شاخص میانگین زمان انتظار برای (شروع) تعمیر[3]: به زمان لازم برای تأمین قطعه برای بخش نیاز به تعمیر یا تأمین نیرو برای بخش نیازمند تعمیر اتلاق می‌شود. وقفه زمانی که در این شاخص محاسبه می‌گردد شامل این موارد است: اطلاع‌رسانی به تکنسین‌های

1. MTTF
2. MTTR
3. MTWR

نگهداری و تعمیرات، تشخیص مسئله، رفع مشکل، جمع‌آوری مجدد، هم‌ترازی و اعتبارسنجی تجهیزات، بازنشانی، آزمایش و راه‌اندازی تجهیزات یا سیستم تولید.

شاخص تکرار خرابی واحد: تعداد خرابی‌هایی که در طول زمان عملیاتی واحد رخ می‌دهد که منجر به این می‌شود که واحد نیروگاه قادر به انجام وظیفه اصلی خود که تولید برق است نباشد.

٤. روش‌شناسی تصمیم‌گیری چندمعیاره

برای پاسخ به سؤال کلیدی این پژوهش، داده‌های نگهداری و تعمیرات مربوط به سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نیروگاه‌ها استخراج شد. همچنین، برای هر گزینه در هر معیار و به تفکیک هر زیرمعیار، پس از محاسبه ضریب اهمیت هر زیرمعیار با استفاده از روش مقایسات زوجی و روش آنتروپی شانون، به اولویت‌بندی هر گزینه با استفاده از چهار روش تحلیل سلسله‌مراتبی[1]، نظریه مطلوبیت چندشاخصه[2]، تاپسیس و روش «ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل»[3] پرداخته خواهد شد. برای حل مدل تحلیل سلسله‌مراتبی از نرم‌افزار اکسپرت‌چویس[4] و برای محاسبه سایر روش‌ها، از تابع‌نویسی در نرم‌افزار اکسل بهره برده شد. لازم به ذکر است، دلیل انتخاب روش تحلیل سلسله‌مراتبی، پرکاربرد بودن آن در پژوهش‌های مشابه بوده است. حال آنکه روش‌های «ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل» و تاپسیس هر دو بر پایه ایده‌آل‌های مثبت و منفی بنا شده‌اند و با توجه به رویکرد متفاوت با روش تحلیل سلسله‌مراتبی، به‌عنوان پیوست تقویت‌کننده روش مذکور قابل توصیه هستند. و در نهایت، استفاده از روش «نظریه مطلوبیت چندشاخصه» نیز در راستای تنوع‌بخشی به روش‌ها و با رویکرد استفاده از یک روش کیفی (مبتنی بر مفهوم مطلوبیت) مدنظر بوده است.

درواقع، به منظور حصول نتیجه‌ای پایدار و قابل اطمینان، استفاده از چندین روش تصمیم‌گیری و ادغام نتایج در قالب یک رتبه‌بندی نهایی مدنظر محققین این پژوهش قرار گرفته است. همچنین سعی شده است تنوعی از روش‌های کلاسیک و نوین در تصمیم‌گیری چندمعیاره در رتبه‌بندی به کار گرفته شود.

1. Analytical Hierarchy process (AHP)
2. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)
3. Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)
4. Exprt Choice Software

۱-٤. ماتریس تصمیم مسئله

ماتریس تصمیم یک جدول ساده است که در آن به M گزینه براساس N معیار امتیاز داده می‌شود. هرچه تعداد معیارها از تعداد گزینه‌ها بیشتر باشد انتخاب نهایی بهتر است. همچنین برای نمره‌دهی به گزینه‌ها براساس معیارها می‌توان از نظرات خبرگان استفاده کرد یا اینکه از آمارها و مقادیر واقعی استفاده کرد. ماتریس تصمیم زیر، نشان‌دهنده ارزش هر گزینه در هر زیرمعیار احصاء شده مسئله است. داده‌های موجود در این مطالعه توسط خبرگان فنی، برنامه‌ریزی تولید و نگهداری و تعمیرات شرکت مپنا گردآوری شده است. برخی از این داده‌ها توسط کاربران ناظر در این نیروگاه‌ها در ماژول‌های نرم‌افزار[1] CMMS، برخی دیگر با نشانگرهای موجود بر روی تأسیسات یا به صورت زمان‌سنجی و برخی دیگر از گزارش‌های سالانه شرکت گلگهر کرمان[2] گردآوری شده‌اند.

جدول ٤. ماتریس تصمیم مسئله

نیروگاه	معیار در دسترس بودن			معیار قابلیت اطمینان				
	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
نیروگاه سمنگان	٤٤٦٥	٤	٢	٢٢٣٢	٢٥٤٨	٤	١	٤
نیروگاه گهران	٤٤٤٠	٢	٦	٧٤٤	١٠٢٠	٢	٤	١٢
نیروگاه کهنوج	٢٢٣٧	١	١	٤٤٦٤	٥٣٤٢	١٦	١	٢

منبع: یافته‌های پژوهش

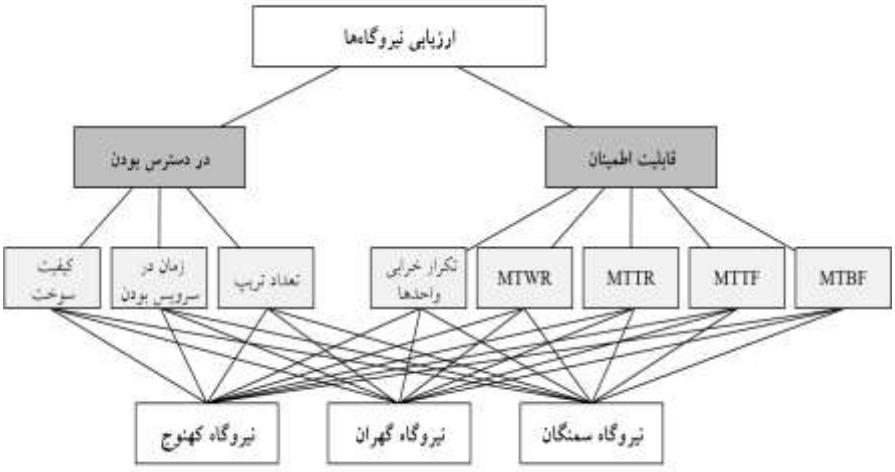
این ماتریس به‌عنوان ماتریس مادر، در محاسبه اولویت‌بندی هر گزینه براساس معیارهای معرفی‌شده استفاده خواهد شد. درواقع هر روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، به دنبال انجام عملیات و پردازش مخصوص به خود بر روی این ماتریس می‌باشند که طبیعتاً رتبه‌بندی‌های متفاوتی نیز از هر روش حاصل خواهد شد.

1. Computerized Maintenance Management System

۲. گزارشات فصلی تعمیراتی و مصرف برق نیروگاه گلگهر

۲-٤. روش تحلیل سلسله‌مراتبی

در این مسئله با توجه به اینکه معیارهای ما دارای یک سری شاخص در مجموعه خود هستند و همین طور به دلیل وابستگی معیارها به یکدیگر از روش جبرانی مانند روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده گردیده است. در این روش، هدف از تصمیم‌گیری به صورت سلسله‌مراتبی از عوامل و عناصر تشکیل‌دهنده تصمیم ترسیم می‌شود. فرآیند سلسله‌مراتبی، نیازمند شکستن مسأله تصمیم با چندین شاخص به سلسله‌مراتبی از سطوح است. بدین‌منظور از درخت تصمیم استفاده می‌شود که از چهار سطح تشکیل شده است: سطح اول شامل هدف کلی از تصمیم‌گیری می‌باشد. در سطح دوم معیارهای کلی قرار دارند که تصمیم‌گیری براساس آن‌ها صورت می‌گیرد. در سطح سوم زیرمعیارها قرار می‌گیرند. در سطح چهارم گزینه‌های مورد ارزیابی قرار دارند. شکل (۱) نمودار درختی سلسله‌مراتبی برای برگزیدن بهترین نیروگاه با توجه به معیارها و زیرمعیارهای تعیین شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمودار درختی شاخص‌ها، معیارها و گزینه‌ها

در روش تحلیل سلسله مراتبی پس از ساخت ماتریس‌های مقایسات زوجی (جداول پ ۱ الی ۱۱ طبق پیوست ۱)، اوزان زیرمعیارها با استفاده از روش EV[1] یا همان بیشترین مقدار ویژه به دست می‌آید. پس از آن، با به دست آوردن ماتریس‌های ارزش نسبی هر معیار و

1. Eigen Value

ارزش نسبی گزینه‌ها در هر زیرمعیار، با ضرب دو ماتریس مذکور، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها حاصل خواهد شد. در جداول ۵ و ۶ به ترتیب، وزن زیرمعیارها و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی ارائه شده است.

جدول ۵. وزن زیرمعیارها با استفاده از روش AHP

زیرمعیار	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
وزن	۰/٦٦۹	۰/۱۷۵	۰/۰۵۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳٤	۰/۰۲۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ٦. امتیاز نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش AHP

نیروگاه	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
امتیاز	۰/٤۰٦	۰/۳۷۲	۰/۲۲۲
رتبه	اول	دوم	سوم

منبع: یافته‌های پژوهش

۳-٤. روش وزن‌دهی آنتروپی شانون

روش آنتروپی[1] یکی از روش‌های محاسبه وزن در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است که محاسبه وزن به صورت مستقیم از ماتریس تصمیم استخراج می‌شود. به ویژه این روش هنگامی که پراکندگی داده‌ها مبنای وزن معیارها است توصیه می‌شود. همان‌طورکه در جدول ۴ نیز قابل مشاهده است، ماتریس تصمیم این پژوهش نیز پراکندگی زیاد داده‌های ورودی مسئله را نمایش می‌دهد. در این روش، ابتدا ماتریس تصمیم را به روش نرم ساده (معادله ۱) نرمال‌سازی می‌کنیم. سپس با استفاده از معادلات (۲) الی (۴)، وزن نهایی هر زیرمعیار محاسبه می‌شود. نتیجه حاصل از نرمال‌سازی در جدول ۷ و وزن نهایی هر زیرمعیار در جدول ۸ ارائه شده است.

1. Entropy

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \quad (۱)$$

$$E_j = -k\sum r_{ij}\ln(r_{ij}) = \frac{1}{\ln(\mathrm{m})}, 0 \le E_j \le 1 \quad (۲)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (۳)$$

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_j d_j} \quad (۴)$$

جدول ۷. نرمال‌سازی با استفاده از روش نرم ساده

نیروگاه	معیار در دسترس بودن			معیار قابلیت اطمینان				
	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
نیروگاه سمنگان	۰/٤۰۰	۰/۵۷۱	۰/۲۲۲	۰/۳۰۰	۰/۲۸٦	۰/۱۸۲	۰/۱٦۷	۰/۲۲۲
نیروگاه گهران	۰/۳۹۹	۰/۲۸٦	۰/٦٦۷	۰/۱۰۰	۰/۱٤٤	۰/۰۹۱	۰/٦٦۷	۰/٦٦۷
نیروگاه کهنوج	۰/۲۰۱	۰/۱٤۳	۰/۱۱۱	۰/٦۰۰	۰/۷۲۷	۰/۱٦۷	۰/۱٦۷	۰/۱۱۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۸. ماتریس اوزان زیرمعیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون

زیرمعیار	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
مقدار E_j	۰/۹٦۱	۰/۸۷۰	۰/۷۷۳	۰/۸۱۷	۰/۸۳۱	۰/٦۹۱	۰/۷۹۰	۰/۷۷۳
مقدار d_j	۰/۰۳۹	۰/۱۳۰	۰/۲۲۷	۰/۱۸۳	۰/۱٦۹	۰/۳۰۹	۰/۲۱۰	۰/۲۲۷
مقدار W_j	۰/۰۲٦	۰/۰۸۷	۰/۱۵۲	۰/۱۲۲	۰/۱۱۳	۰/۲۰٦	۰/۱٤۱	۰/۱۵۲

منبع: یافته‌های پژوهش

لازم به ذکر است، در سه روش نظریه مطلوبیت چندشاخصه[1]، روش تاپسیس و روش «ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل»[2]، از همین اوزان در محاسبه مطلوبیت و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است.

1. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)
2. Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)

٤-٤. روش نظریه مطلوبیت چندشاخصه[1]

این روش بر تشکیل تابع مطلوبیت تصمیم برای هر شاخص تأکید دارد و با ترکیب این توابع مطلوبیت، مطلوبیت هر گزینه را تعیین می‌کند. در این روش، ابتدا با استفاده از روش بی‌مقیاس‌سازی ویژگی‌ها[2] و طبق معادله (۵) و (۶) به ترتیب برای معیارهای مثبت و منفی، به نرمال‌سازی ماتریس تصمیم می‌پردازیم.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min\{a_{ij}\}}{\max\{a_{ij}\} - \min\{a_{ij}\}} \quad (۵)$$

$$r_{ij} = \frac{\max\{a_{ij}\} - a_{ij}}{\max\{a_{ij}\} - \min(a_{ij})} \quad (۶)$$

سپس با استفاده از دو معادله (۷) و (۸) امتیازدهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها مشخص می‌شود.

$$u_{ij} = \frac{e^{r_{ij}\wedge 2} - 1}{e - 1} \quad (۷)$$

$$U_i = \sum w_j u_{ij} \quad (۸)$$

نتیجه نرمال‌سازی ماتریس تصمیم، ماتریس مطلوبیت نهایی و امتیاز نهایی گزینه‌ها به ترتیب در جداول ۹ الی ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۹. ماتریس تصمیم نرمال‌شده به روش بی‌مقایس‌سازی ویژگی

نیروگاه	معیار در دسترس بودن			معیار قابلیت اطمینان				
	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
نیروگاه سمنگان	۱	۱	۰/۸۰۰	۰/٤۰۰	۰/۳٥٤	۰/۸٥۷	۱	۰/۸۰۰
نیروگاه گهران	۰/۹۹۳	۰/۳۳۳	۰	۰	۰	۱	۰	۰
نیروگاه کهنوج	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

1. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)
2. Feature Scaling

جدول ۱۰. ماتریس مطلوبیت نهایی در روش نظریه مطلوبیت چندشاخصه

نیروگاه	معیار در دسترس بودن			معیار قابلیت اطمینان				
	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
نیروگاه سمنگان	۱	۱	۰/۵۲۲	۰/۱۰۱	۰/۰۷۷	۰/۶۳۲	۱	۰/۵۲۲
نیروگاه گهران	۰/۹۸٤	۰/۰٦۸	۰	۰	۰	۱	۰	۰
نیروگاه کهنوج	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۱. امتیاز نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش نظریه مطلوبیت چندشاخصه

نیروگاه	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
امتیاز	۰/۵٦٤	۰/۲۳۸	۰/٦۸۰
رتبه	دوم	سوم	اول

منبع: یافته‌های پژوهش

۵-٤. روش تاپسیس

روش تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[1] است که به رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد. در این روش از دو مفهوم «ایدئال مثبت و منفی» و «شباهت به ایدئال» استفاده گردیده است. ایدئال همان‌طورکه از نام آن پیداست، آن حلی است که از هر جهت بهترین باشد که بیشتر در عمل وجود نداشته و سعی بر آن است که به آن نزدیک شویم. به منظور اندازه‌گیری شباهت یک طرح (یا گزینه) به ایدئال مثبت و ایدئال منفی، فاصله آن طرح (یا گزینه) از ایدئال مثبت و ایدئال منفی اندازه‌گیری خواهد شد. سپس گزینه‌ها براساس نسبت فاصله از ایدئال منفی به مجموع فاصله از ایدئال مثبت و ایدئال منفی ارزیابی و رتبه‌بندی می‌خواهند شد.

در روش تاپسیس، ابتدا ماتریس تصمیم را به روش نرم اقلیدسی (معادله ۹) نرمال کرده و سپس با ضرب وزن هر معیار در اعداد نرمال شده (تشکیل ماتریس V از طریق معادله ۱۰) و محاسبه فاصله هرگزینه نسبت به گزینه ایدئال مثبت و گزینه ایدئال منفی (معادله ۱۱)،

1. Multi-Attribute Decision Making (MADM)

رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها براساس معادله ۱۲ به دست می‌آید. نتایج حاصل از حل گام به گام مسئله در جداول ۱۲ الی ۱۴ ارائه شده است.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_j a_{ij}}} \quad (۹)$$

$$V_{ij} = r_{ij} \times W_j \quad (۱۰)$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_j \left(V_{ij} - V_j^+\right)^2} \quad , \quad S_i^- = \sqrt{\sum_j \left(V_{ij} - V_j^-\right)^2} \quad (۱۱)$$

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (۱۲)$$

جدول ۱۲. ماتریس تصمیم نرمال‌شده به روش نرم اقلیدسی

نیروگاه	معیار در دسترس بودن			معیار قابلیت اطمینان				
	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
نیروگاه سمنگان	۰/٦٦٧	۰/۸۷۳	۰/۳۱۲	۰/٤٤۲	۰/٤۲٤	۰/۲٤۱	۰/۲۳٦	۰/۳۱۲
نیروگاه گهران	۰/٦٦٥	۰/٤۳٦	۰/۹۳۷	۰/۱٤۷	۰/۱۷۰	۰/۱۲۰	۰/۹٤۳	۰/۹۳۷
نیروگاه کهنوج	۰/۳۳٥	۰/۲۱۸	۰/۱٥٦	۰/۸۸٥	۰/۸۹۰	۰/۹٦۳	۰/۲۳٦	۰/۱٥٦

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۳. ماتریس V در روش تاپسیس

نیروگاه	معیار در دسترس بودن			معیار قابلیت اطمینان				
	زمان در سرویس بودن واحد	کیفیت سوخت	تعداد تریپ در واحد	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
نیروگاه سمنگان	۰/۰۱۷٤	۰/۰۷٥۹	۰/۰٤۷٤	۰/۰٥۳۹	۰/۰٤۷۹	۰/۰٤۹٥	۰/۰۳۳۲	۰/۰٤۷٤
نیروگاه گهران	۰/۰۱۷۳	۰/۰۳۷۹	۰/۱٤۲٤	۰/۰۱۷۹	۰/۰۱۹۱	۰/۰۲٤۸	۰/۱۳۲۹	۰/۱٤۲٤
نیروگاه کهنوج	۰/۰۰۹۰	۰/۰۱۸۹	۰/۰۲۳۷	۰/۱۰۸۰	۰/۱۰۰٥	۰/۱۹۸٤	۰/۰۳۳۲	۰/۰۲۳۷

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ١٤. امتیاز نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش تاپسیس

نیروگاه	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
S_i^+	۰/۰۸٦	۰/۲۳۳	۰/۱۸۳
S_i^-	۰/۲۳٦	۰/۱۷۵	۰/۲۳۰
C_i	۰/۷۳۲	۰/٤۲۹	۰/۵۵۷
رتبه	اول	سوم	دوم

منبع: یافته‌های پژوهش

٦-٤. روش ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل[1]

پس از روش تاپسیس از روش «ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل» استفاده می‌شود. در این روش پس از تشکیل ماتریس تصمیم ابتدا میانگین داده‌های را در هر معیار به دست آورده و سپس برای هر x_{ij} فاصله مثبت و منفی را با توجه به نوع معیار (مثبت یا منفی) به دست آورده و پس از آن مجموع وزنی فواصل مثبت و منفی را برای هر گزینه محاسبه خواهد شد. سپس آن مقادیر نرمال‌شده مجموع وزنی فواصل مثبت و منفی را محاسبه کرده و در نهایت با میانگین گرفتن از مجموع فواصل مثبت و منفی نرمال‌شده برای هر گزینه می‌توان رتبه گزینه‌ها را مشخص نمود.

این روش، یکی از روش‌های جبرانی در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای رتبه‌بندی گزینه لازم است گام‌های زیر به ترتیب طی شود. لازم به ذکر است معادلات ۱۴ و ۱۵ به ترتیب برای معیارهای مثبت و منفی به کار گرفته می‌شود. نتیجه حل مسئله با استفاده از این روش در جدول ۱۵ ارائه شده است.

$$AV_j = \frac{\sum x_{ij}}{n} \qquad (۱۳)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, x_{ij} - AV_j)}{AV_j}, \quad NDA_{ij} = \frac{\max(0, AV_j - x_{ij})}{AV_j} \qquad (۱۴)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, AV_j - x_{ij})}{AV_j}, \quad NDA_{ij} = \frac{\max(0, x_{ij} - AV_j)}{AV_j} \qquad (۱۵)$$

$$SP_i = \sum W_j \times PDA_{ij}, \quad SN_i = \sum W_j \times NDA_{ij} \qquad (۱۶)$$

1. Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max\{SP_i\}}, \quad NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max\{SN_i\}} \tag{۱۷}$$

$$AS_i = \frac{NSP_i + NSN_i}{2} \tag{۱۸}$$

جدول ۱۵. امتیاز نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش «ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل»

نیروگاه	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
SP_i	۰/۳۳۳	۰/۱۵۵	۰/٤٦۱
SN_i	۰/۰۲۸	۰/٦۱۷	۰/۲٦۳
NSP_i	۰/۷۲۲	۰/۳۳٦	۱
NSN_i	۰/۹٥٤	۰	۰/٥۷۳
AS_i	۰/۸۳۸	۰/۱٦۸	۰/۷۸۷
رتبه	اول	سوم	دوم

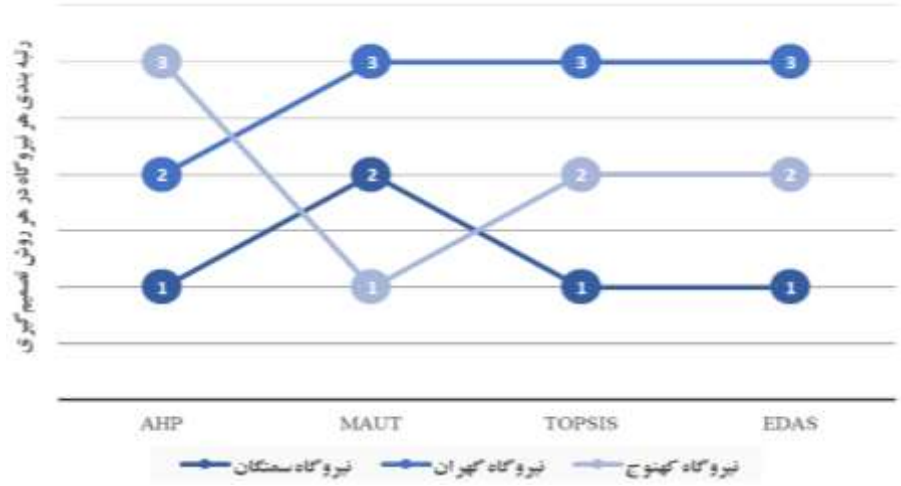
منبع: یافته‌های پژوهش

۵. تجزیه و تحلیل و ادغام نتایج

با توجه به نتایج به دست آمده حاصل از روش‌های مختلف و با بررسی شکل (۲) می‌توان دریافت که دو روش تاپسیس و روش «ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل»[1] نتایج مشابهی ارائه می‌دهند. همچنین روش تحلیل سلسله‌مراتبی[2] در انتخاب بهترین نیروگاه مشابه دو روش مذکور عمل کرده و تنها در دو اولویت دیگر خروجی متفاوتی را شاهد هستیم. به علاوه در روش «نظریه مطلوبیت چندشاخصه»[3]، اولویت سوم مشابه با دو روش مذکور بوده و اولویت اول و دوم متفاوتی استخراج شده است.

1. Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)
2. Analytical Hierarchy process (AHP)
3. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)

شکل ۲. مقایسه نتایج روش‌های مختلف



منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به تفاوت خروجی‌های حاصل از رتبه‌بندی نیروگاه‌ها با استفاده از روش‌های مختلف، به منظور اجماع نظر و انجام رتبه‌بندی نهایی، در ادامه ادغام نتایج با استفاده از روش کاپلند، مطابق جدول (۱۶) انجام شده است. نتیجه ادغام نشان‌دهنده این است که نیروگاه سمنگان در بالاترین اولویت قرار دارد، حال آنکه نیروگاه کهنوج و در آخر نیروگاه گوهران در رتبه‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند.

جدول ۱۶. نتیجه حاصل از ادغام چهار روش با استفاده از روش کالپند

روش کاپلند	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج	مجموع پیروزی‌ها	پیروزی منهای شکست	رتبه نهایی
نیروگاه سمنگان	۰	۱	۱	۲	۲	اول
نیروگاه گهران	۰	۰	۰	۰	-۲	سوم
نیروگاه کهنوج	۰	۱	۰	۱	۰	دوم
مجموع شکست‌ها	۰	۲	۱	-	-	-

منبع: یافته‌های پژوهش

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

افزایش مصرف برق به‌طور بی‌سابقه در کشور هم در بخش خانگی و هم در بخش صنعتی، منجر به قطعی‌های پراکنده شهری و ایجاد مشکل برای بخش تولیدی و صنعتی نموده است.

یکی از راه‌های ایجاد ثبات در تأمین برق صنایع به ویژه کارخانجات فولادی که بخشی راهبردی از صنعت کشورند. تأسیس نیروگاه و استفاده از ظرفیت اختصاصی نیروگاه‌ها بدون وابستگی به شبکه سراسری برق کشور است.

در این پژوهش تعیین بهترین نیروگاه جهت تأمین برق قابل اطمینان برای کارخانجات فولادسازی گل‌گهر با تکیه بر چهار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره را دنبال کردیم. به این منظور، ابتدا شاخص‌ها و معیارهای تأثیرگذار در انتخاب برترین نیروگاه با مشارکت خبرگان صنعت شناسایی شده و در گام بعد داده‌های مورد نیاز به صورت کمّی و کیفی از بدنه کارشناسی و سامانه‌های اطلاعاتی موجود در شرکت گل‌گهر استخراج شد. سپس وزن معیارها با استفاده از دو روش ماتریس مقایسه زوجی و شانون محاسبه شد و در انتها رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از چهار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل روش تحلیل سلسله‌مراتبی[1]، نظریه مطلوبیت چندشاخصه[2]، تاپسیس و روش «ارزیابی براساس فاصله از میانگین راه‌حل»[3] صورت گرفت. در انتها، پس از ادغام نتایج حاصل از حل مسوله با استفاده از روش‌های مذکور، نیروگاه سمنگان به‌عنوان برترین نیروگاه مشخص شد و نیروگاه‌های گهران و کهنوج رتبه‌های دوم و سوم را کسب کردند.

برای توسعه این پژوهش، پیشنهاد می‌شود شاخص‌های تصمیم‌گیری دیگری علاوه بر شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه نگهداری و تعمیرات به مسئله افزوده شود. استفاده از روش‌های جدید تصمیم‌گیری نظیر روش بهترین ـ بدترین[4] یا بهره‌گیری از سایر روش‌های ادغام در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها می‌تواند دیگر مسیر توسعه این پژوهش باشد. همچنین در نظر گرفتن برخی پارامترهای مسئله به‌عنوان متغیرهای فازی و دارای عدم قطعیت و استفاده از نسخه‌های فازی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز از دیگر پیشنهادات توسعه است.

۷. تعارض منافع

تعارض منافع ندارم

1. Analytical Hierarchy process (AHP)
2. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)
3. Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)
4. Best-Worst Method (BWM)

۸. سپاسگذاری

نویسندگان پژوهش حاضر از داوران محترم بابت ارائه نظرات و پیشنهادات ارزشمند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

ORCID
Seyed Ali Tohidi http://orcid.org/ 0009-0001-5974-2127
Mohammad Mousazadeh http://orcid.org/ 0000-0003-1792-0172
Majid Mirzaei Ghazani http://orcid.org/ 0000-0002-7606-9464
Nasser Safaie http://orcid.org/ 0000-0003-1889-2230

۹. منابع

لطفی، پوریا؛ ملکی، اکبر؛ شهرکی شهرآبادی، رضا و احمدی، محمدحسین.(۱۴۰۰). پتانسیل‌سنجی مزرعه‌های خورشیدی با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ایران. *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، دوره ۴۰، شماره ۳.

منظوری، داوود منظوری و رحیمی، علیرضا. (۱۳۹۴). اولویت‌بندی نیروگاه‌های تولید برق در ایران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال چهارم، شماره ۱۴. HTTPS://DOI.ORG/10.30488/GPS.2019.85992

عباسی قله سرخ، رضا. (۱۳۹۸). شناسایی و رتبه‌بندی راهبردهای مؤثر در بهبود عملکرد زنجیره تأمین با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP). *هفتمین کنفرانس ملی رویکردهای نوین مدیریت، اقتصاد و حسابداری*.

پورجواد، ساسان؛ خوشاب، سپیده؛ فرح‌گل، پوریا و رضایی، قاسم. (۱۴۰۰). ارزیابی عوامل ریسک زنجیره تأمین با استفاده از روش AHP فازی (مورد مطالعه: نیروگاه دالاهو). *نشریه علمی آماد*، دوره بیستم، شماره ۷۹.
https://dx.doi.org/10.22034/lot.2022.210990.1155

افشاریان، سوده؛ سهرابی، عادل و سهرابی، لیلا. (۱۴۰۰). رتبه‌بندی احداث برترین مزارع نیروگاه‌های بادی و خورشیدی با استفاده از روش AHP با در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی و مالی ایران. *فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، سال هشتم، شماره اول، ۵۵-۴۸.
https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24234931.1400.8.1.6.0

خلیفه سلطانی، سید رشید. (۱۴۰۰). استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولویت‌بندی میزان تأثیر واحدهای مختلف شرکت توزیع برق در زنجیره تأمین (مطالعه موردی شرکت توزیع برق یزد). *دومین کنفرانس بین‌المللی چالش‌ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع و مدیریت و حسابداری*.

امیدیان، مجتبی و حیدریه، سید عبدالله. (۱۳۹۷). اولویت‌بندی راهبرد زنجیره تأمین در تولید برق به روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. *دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و کسب و کار*.

References

Abbasi Qole Sorkh, Reza. (2019). Identifying and ranking effective strategies in improving supply chain performance using the Analytic Hierarchy Process (AHP), *Seventh National Conference on New Approaches to Management, Economics and Accounting*. [In Persian]

Afsharian, Soudeh and Sohrabi Adel, Leila Sohrabi. (2021). Ranking the construction of the best wind and solar power plants using the AHP method, considering Iran's economic and financial indicators. *Quarterly Journal of Renewable and New Energies*, Year 8, Issue 1, pp. 48-55. [In Persian]

Atmaca, Ediz, and Hasan Burak Basar. Evaluation of power plants in Turkey using Analytic Network Process (ANP). *Energy* 44.1 (2012): 555-563. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.05.046

Buket Karatop, Busra Taskan, Elanur Adar, Cemalettin Kubat. Decision analysis related to the renewable energy investments in Turkey based on a Fuzzy AHP-EDAS-Fuzzy FMEA approach. *Journal of Computers & Industrial Engineering* 151 (2021) 106958 https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106958

Garg, R. K., V. P. Agrawal, and V. K. Gupta. Coding, evaluation and selection of thermal power plants–A MADM approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 29.9 (2007): 657-668. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2006.08.002

Khalifa Soltani, Seyed Rashid. (2021). Using the Analytic Hierarchy Process Method to Prioritize the Impact of Different Units of an Electricity Distribution Company in the Supply Chain (Case Study of Yazd Electricity Distribution Company). Second International Conference on Challenges and New Solutions in Industrial Engineering, *Management and Accounting*. [In Persian]

Maleki, Lotfi, Pouria, Shahraki Shahabadi, & Ahmadi. (2021). Potential assessment of solar farms using multi-criteria decision-making methods in Iran. Iranian *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 40(3), 251-271. [In Persian]

Manzoor, Davoud Manzoor and Rahimi, Alireza (2015). Prioritizing power generation plants in Iran using multi-attribute decision-making models, *Iranian Energy Economics Research Journal*, Year 4, Issue 14. [In Persian]

Omidian, Mojtaba and Heydarieh, Seyed Abdullah (2018), Prioritizing supply chain strategy in electricity generation using fuzzy analytic hierarchy process, *Second International Conference on Management and Business*. [In Persian]

Patel, Rakesh Kumar, and Ravi K. Dwivedi. Determination of Critical Component Failure in Thermal Power Station by Using Multi-criteria Decision-Making Methods. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 20 (2020): 353-357. https://doi.org/10.1007/s11668-020-00835-8

Pourjavad, Sasan, Khoshab, Sepideh; Farahgol, Pouria and Rezaei, Ghasem. (2012). Assessment of supply chain risk factors using the fuzzy AHP method (case study: Dalaho Power Plant), *Amad Scientific Journal*, Volume 20, Number 79.[In Persian]

Singh, D. P., Abhishake Chaudhary, and Vijayant Maan. Selection of heat exchanger for heat operation by multiple attribute decision making (MADM) approach. *International Journal of Engineering Research & Technology* 2.10 (2013): 3072-3080.

Taylan, Osman, et al. Assessment of energy systems using extended fuzzy AHP, fuzzy VIKOR, and TOPSIS approaches to manage non-cooperative opinions. *Sustainability* 12.7 (2020): 2745. https://doi.org/10.3390/su12072745

Zare, Kazem, Javad Mehri-Tekmeh, and Sepideh Karimi. A SWOT framework for analyzing the electricity supply chain using an integrated AHP methodology combined with fuzzy-TOPSIS. *International strategic management review* 3.1-2 (2015): 66-80. https://doi.org/10.1016/j.ism.2015.07.001

پیوست

ماتریس‌های مقایسات زوجی روش AHP

جدول پ.۱. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای اصلی

ماتریس هدف	در دسترس بودن	قابلیت اطمینان
در دسترس بودن	۱	۹
قابلیت اطمینان	۰/۱۱	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۲. ماتریس مقایسات زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار در دسترس بودن

در دسترس بودن	تعداد تریپ در واحد	کیفیت سوخت	زمان در سرویس بودن واحد
زمان در سرویس بودن واحد	۹	۵	۱
کیفیت سوخت	٤	۱	۰/۲
تعداد تریپ در واحد	۱	۰/۲۵	۰/۹۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۳. ماتریس مقایسات زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار در دسترس بودن

قابلیت اطمینان	MTBF	MTTF	MTTR	MTWR	تکرار خرابی واحد
MTBF	۱	۱	۱	۷	٦
MTTF	۱	۱	۲	٦	۸
MTTR	۱	۰/۵	۱	۵	۸
MTWR	۰/۱٤	۰/۱۷	۰/۲	۱	٦
تکرار خرابی واحد	۰/۱۷	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۷	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.٤. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار MTBF

زیرمعیار MTBF	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۳	۰/۵۰
نیروگاه گهران	۰/۳۳	۱	۰/۱۷
نیروگاه کهنوج	۲	٦	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۵. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار MTTF

زیرمعیار MTTF	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۳	۰/۵۰
نیروگاه گهران	۰/۳۳	۱	۰/۲۰
نیروگاه کهنوج	۲	۵	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.٦. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار MTTR

زیرمعیار MTTR	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۲	۰/۲۵
نیروگاه گهران	۰/۵۰	۱	۰/۱۲۵
نیروگاه کهنوج	٤	۸	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۷. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار MTWR

زیرمعیار MTWR	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۰/۲۵	۱
نیروگاه گهران	٤	۱	٤
نیروگاه کهنوج	۱	۰/۲۵	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۸. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار تکرار خرابی

زیرمعیار تکرار خرابی	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۰/۳۳	۲
نیروگاه گهران	۳	۱	٦
نیروگاه کهنوج	۰/۵۰	۰/۱۷	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۹. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار زمان در سرویس بودن واحد

زیرمعیار زمان در سرویس بودن واحد	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۱	۲
نیروگاه گهران	۱	۱	۲
نیروگاه کهنوج	۰/۵۰	۰/۵۰	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۱۰. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار کیفیت سوخت

زیرمعیار کیفیت سوخت	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۰/۳۳	۲
نیروگاه گهران	۳	۱	٦
نیروگاه کهنوج	۰/۵۰	۰/۱۷	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول پ.۱۱. ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به زیرمعیار تعداد تریپ در واحد

زیرمعیار تعداد تریپ در واحد	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
نیروگاه سمنگان	۱	۲	٤
نیروگاه گهران	۰/۵۰	۱	۲
نیروگاه کهنوج	۰/۲۵	۰/۵۰	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

استناد به این مقاله: توحیدی، سید علی؛ موسی‌زاده، محمد؛ میرزایی قزانی، مجید؛ صفایی، ناصر. (۱۴۰۴). انتخاب قابل اطمینان‌ترین تأمین‌کننده برق برای کارخانجات فولادسازی گل‌گهر: رتبه‌بندی نیروگاه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵۵ (۱۴)، ۱۱۱-۷۹.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.