--Name of Journal---------
Vol(issue), PP.
.atu.ac.ir
DOI:

ATU PRESS

Original Research / Review / ...
Received:
Accepted:
ISSN:
eISSN:

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.

* Corresponding Author: mousazadeh@ut.ac.ir
How to Cite: xxxxxxx

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.

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

JEL Classification: D۹۱, L٤۲,L۹٤

١٤٠٤/٠١/٢٤

مقاله پژوهشی/مروری/سخن سردبیر
تاریخ دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰
ISSN:
eISSN:

--پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران---------
دوره ؟، شماره ؟، نام فصل، سال، ص ص
.atu.ac.ir
DOI:

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

سید علی توحیدی — کارشناسی‌ارشد 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 روبرو شده است؛ در این مطالعه، ابتدا به بررسی راهبردهای بهبود کیفیت و افزایش نرخ تولید شرکت فولاد گل گهر 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. به طور خلاصه، در سه روش از چهار روش تصمیم‌گیری، نیروگاه سمنگان به عنوان نیروگاه برتر شناخته شده و در دیگر روش نیز در جایگاه دوم

* نویسنده مسئول: mousazadeh@ut.ac.ir

رتبه‌بندی قرار گرفت. هم‌چنین در مجموع، نیروگاه کهنوج نیروگاه گهران به عنوان دومین و سومین نیروگاه شناسایی شدند.

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

طبقه بندی JEL : D۹۱,L٤٢,L٩٤

۱- مقدمه

صنایع فولادی یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بخش‌های تولیدی کشور محسوب می‌شوند و حدود ۳۰ درصد از تولید ناخالص ملی GDP[۱] را در اختیار دارند. طبق آمارهای رسمی اتاق بازرگانی صنایع و معادن کشور[۲] 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[۳] و قابلیت اطمینان[۴] باعث کمتر شدن قطعی کوتاه مدت شده و در صنایع فولاد توقفات کوتاه در تولید موجب هزینه های بالایی در بهای تمام شده محصول می‌گردد. از جمله 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 ذکر شده به ویژه برای صنایع فولادی، این مطالعه در راستای یافتن قابل‌اطمینان‌ترین 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 بدست بیاورد و مازاد سودآوری آن را نیز صرف سایر امور کند.

---

[۱] Gross Domestic Product
[۲] chambertrust.ir
[۳] Availability
[۴] Reliability

بر اساس بررسی‌هایی که در معاونت کسب‌وکار اتاق بازرگانی و صنایع و معادن تهران صورت گرفته و مبتنی بر گزارشات سالانه وزارت نیرو[۱]، سالنامه آماری[۲] و گزارشات معاملات انرژی در سایت بورس انرژی[۳]، در کنستانتره‌سازی ۳۳۷ مگاوات در هر ساعت برق مصرف می‌شود. به علاوه، در گندله‌سازی ۴۴۵ مگاوات، در احیای مستقیم آهن اسفنجی ۴۶۸ مگاوات و در ذوب و فولاد سازی مصرف برق به ۳۷۱۷ مگاوات در ساعت می‌رسد. در بخش مقاطع طویل مانند میل گرد، نبشی و ناودانی نیز مصرف در حدود ۱۷۸ مگاوات برآورد شده است. حال آنکه، 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. در واقع صنایع در سال های پیش رو با دو چالش اساسی ۱) قطعی گسترده برق و ۲) افزایش قیمت برق روبرو خواهند بود. هر چند که وزارت نیرو در صدد 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. در نتیجه، 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. در نتیجه، 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 شرکت فولادی گل گهر پرداخته شده است. هدف این تحلیل شناسایی استراتژی هایی است که شرکت باید برای ارتقای کیفیت محصول و افزایش فروش اتخاذ کند.

---

[۱] moe.gov.ir
[۲] www.amar.org.ir
[۳] www.irenex.ir

جدول ۱. ماتریس SWOT

		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 کوره ها 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) حمایت های مالی دولت از صنایع راهبردک مانند فولاد ٤) نزدیکی بودن به معادن سنگ آهن	راهبرد SO	راهبرد WO
		۱) ساخت یا واردات کوره های القایی جدید با مصرف کمتر برق با کمک حمایت های دولتی ۲) افزایش کیفیت محصول با یافتن معادن با خلوص بیشتر و کاهش هزینه تمام شده	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 پیک های اوج مصرف برق ۳) رقیب های به شدت خلاق در نوآوری و سبد محصول ٤) هزینه های بالای ضایعات و محصولات معیوب	راهبرد ST	راهبرد WT
		۱) ایجاد سبد متنوع محصول با در نظر گرفتن محصولات متنوع شرکت های رقیب ۲) با افزایش نرخ تولید و کاهش قطعی برق در نتیجه کاهش هزینه های ضایعات با تأمین به اندازه برق و آب	۱) داشتن یک شبکه برق پشتیبان جهت پشتیبانی هنگام قطعی برق و نظافت کوره ها جهت کاهش مصرف برق

با توجه به جدول (۱)، برای افزایش فروش محصولات شرکت گل‌گهر کرمان و همچنین افزایش سهم بازار خود، می‌بایست از راهبردهای WO[۱] (به منظور کاهش اثرات ناشی از نقاط ضعف سازمان در بهره‌گیری از فرصت‌های موجود) و WT[۲] (به منظور حداقل‌سازی ضعف‌های سازمان در برابر تهدیدهای شناسایی شده) 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 بر طرف 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 موردنظر 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 تأمین کننده برق و یا زنجیره تأمین برق با معیارهایی متفاوت است. در میان پژوهش‌های داخلی، منظور و رحیمی(۱۳۹۴) با در نظر گرفتن معیارهای مختلف اقتصادی زیست محیطی، سیاسی، اجتماعی، امنیت انرژی و فنی، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به معیارها و روش پرومته[۳] به ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف تولید برق پرداخته‌اند. در بین ۲۳ معیاری که اوزان هر یک را خبرگان تعیین کردند، هزینه تمام شده برای هر کیلووات ساعت در رتبه اول، امنیت تأمین منبع ورودی نیروگاه در رتبه دوم، سرمایه‌گذاری

[۱] Weaknesses – Opportunities
[۲] Weaknesses – Threats
[۳] Promethee

اولیه در رتبه سوم، تاثیر در حفظ و صرفه‌جویی در منابع پایان‌پذیر در رتبه چهارم و تاثیر در نوع بخشی به سیستم عرضه در رتبه پنجم قرار گرفت است.

امیدیان و حدریه (۱۳۹۷) تحقیقی در زمینه اولویت‌بندی راهبرد زنجیره تأمین در تولید برق به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام دادند. در آن پژوهش سعی شده است با مطرح کردن رویکرد مدیریت زنجیره تأمین بزرگ (لارج)، با بکارگیری روش توصیفی-پیمایشی و دریافت نظر هشت نفر خبره در صنعت برق، هریک از ابعاد رویکرد لارج با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP[۱] و به کمک نرم افزار تحت وب سلسله مراتبی 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 فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP[۲] در شرکت توزیع نیروی برق اهواز داشته است. خلیفه سلطانی (۱۴۰۰) تحقیقی در زمینه استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی میزان تاثیر 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 سلسله مراتبی 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. پور جواد 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، به عنوان 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 پتانسیل سنجی مزرعه های خورشیدی با روشهای تصمیم گیری چند معیاره در ایران داشته‌اند. با توجه به این که ایران از ظرفیت بالایی برای استفاده از انرژی خورشیدی دارد، اما شناخت مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی یک موضوع بسیار مهم است. در واقع آن مطالعه در راستای ارزیابی پتانسیل

---

[۱] Fuzzy Analytic Hierarchy Process

[۲] Analytic Hierarchy Process

انرژی خورشیدی ۹ استان در ایران با ۳ نوع روش تصمیم‌گیری چند معیاره مجموع ساده وزنی، 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) مطالعه ای در زمینه رتبه بندی نیروگاه های بادی و خورشیدی با استفاده از روش AHP 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 AHP 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

در میان پژوهش‌های خارجی، گارگ و همکاران (۲۰۰۷)[۱] 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 آن ها مناسب است.

اتماجا و باسار (۲۰۱۲)[۲] در تحقیقی ارزیابی نیروگاه‌های ترکیه را با استفاده از فرآیند شبکه تحلیلی ANP[۳] انجام داده‌اند. مطالعه آن‌ها برای تعیین میزان کفایت ظرفیت نیروگاه‌های موجود در ترکیه و نیروگاه‌هایی که در حال ساخت هستند یا برای تاسیس در آینده نزدیک در نظر گرفته شده است به کار برده می‌شود. جایگزین‌هایی که در نظر گرفته می‌شوند نیز نیروگاه های طبیعی هستند نظیر: نیروگاه‌های انرژی گاز، باد، زمین گرمایی، برق آبی و زغال سنگ و همچنین نیروگاه‌های هسته‌ای. با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره فرآیند

[۱] Garg et al.
[۲] Atmaca and Basar
[۳] Analytic Network process

تحلیلی شبکه ANP، ارزیابی شش نیروگاه مختلف انرژی با توجه به معیارهای اصلی مانند فناوری و پایداری، تناسب اقتصادی، کیفیت زندگی و اثرات اجتماعی-اقتصادی صورت گرفته است. سینگ و همکاران (۲۰۱۳)[۱] مطالعه ای در مورد انتخاب مبدل حرارتی برای عملیات حرارتی با شاخص‌های چندگانه با رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره. انجام داده است. زارع و همکاران (۲۰۱۵)[۲] تحقیقی با هدف ارائه یک چارچوب SWOT برای تجزیه و تحلیل زنجیره تأمین برق با استفاده از روش ترکیبی AHP و Fuzzy TOPSIS[۳] 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)[۴] 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 MFT[۵] در محافظت از دیگ بخار در برابر هرگونه ناامنی شناسایی شده است. تایلان و همکاران (۲۰۲۰)[۶] در مطالعه ای در مورد ارزیابی سیستم های انرژی با استفاده از رویکردهای فازی توسعه یافته با روش‌های AHP، Fuzzy VIKOR و TOPSIS داشته‌اند. آن مطالعه با هدف شناسایی مناسب‌ترین سیستم‌های انرژی در کشور عربستان انجام شده است.

باکت و همکاران (۲۰۲۱)[۷] 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 سلسله مراتبی فازی وزن معیارها شناسایی شد و سپس رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس روش EDAS صورت گرفت. نتایج توصیه می‌کند که سرمایه‌گذاری، بر روی انرژی آبی و انرژی بادی می‌بایست بیشترین اولویت را داشته باشد.

---

۱ Sing et al.
۲ Zare et al.
۳ Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution`
۴ Rakesh Kumar
۵ Master fuel tripping
۶ Taylan et al.
۷ Buket et al.

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 نیروگاه های 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	اولویت بندی برای ساخت نیروگاه های خورشیدی
۷	افشاریان و سهرابی	۱٤۰۰	داخلی	قطعی	AHP	اول.یت بندی برای احداث نیروگاه های تجدید پذیر
۸	گارگ و همکاران	۲۰۰۷	خارجی	قطعی	TOPSIS	ارزیابی و انتخاب توان حرارتی نیروگاه‌ها
۹	اتماجا و باسار	۲۰۱۲	خارجی	قطعی	ANP	ارزیابی نیروگاه ها
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

شرکت های فولادی برای ساخت نیروگاه باید نیروگاه را در جای تعیین شده از سوی شرکت برق بسازند. در نتیجه 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 نیروگاه های 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 گل گهر کرمان به عنوان شرکت نیازمند برق و سرمایه‌گذار به عنوان 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.[۱]

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 ISO۱۴۲۲۴ و EN۱۵۳۴۱ 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 بر اساس 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 به عنوان 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 MTBF[۲]، ۲) شاخص MTTF[۳]، ۳) شاخص MTTR[۴]، ۴)

---

[۱] www.mapnaom.com
[۲] Mean Time Between Failure
[۳] Mean Time to Failure
[۴] Mean Time to Repair

شاخص MTWR[1] 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	متوسط زمان بین خرابی‌ها
		MTTF	متوسط زمان تا خرابی
		MTTR	متوسط زمان تعمیر
		MTWR	متوسط زمان تأخیرات لجستیکی
		تکرار خرابی	تعداد خرابی رخ داده در طول زمان عملیاتی واحد

شاخص MTBF (متوسط زمان بین دو خرابی): 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. در واقع 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.. شاخص MTBF 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 شدن می‌کند. همچنین تعمیرات دوره‌ای و متوقف کردن سیستم که طبق برنامه تعمیر و نگهداری انجام می‌گیرد (مثل کالیبراسیون یا تعویض دوره‌ای قطعات)،

[1] Mean Time Wait Repair

مربوط به این شاخص نیست. هر چه MTBF بزرگ‌تر باشد، سیستم زمان بیشتری را خوب کار می‌کند و دیرتر خراب می شود.

شاخص MTTF (متوسط زمان تا خرابی): 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. زمان MTTF را معمولاً به ساعت یا هزار ساعت تخمین می‌زنند و معمولاً در مشخصات قطعات آن را ذکر می‌کنند. اگر MTTF قطعه‌ای صد هزار ساعت اعلام شد، به این معناست که انتظار می‌رود به طور 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 حتما 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 MTTR (متوسط زمان تا تعمیر): شاخصی است که بخش‌های تعمیر و نگهداری برای اندازه‌گیری میانگین زمان لازم برای تعیین علت و رفع تجهیزات خراب استفاده می‌کنند. این شاخص به طور دقیق مشخص خواهد کرد که تیم تعمیر و نگهداری با چه سرعتی می‌تواند به خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده پاسخ دهد و آن ها را ترمیم کند. شاخص MTTR مدت زمان را از ابتدای حادثه تا زمان بازگشت تجهیزات یا سیستم به تولید در نظر نمی‌گیرد و به عبارت ساده‌تر زمان آچار بدست بودن یا تعمیر وسیله به دست تعمیر کار را محاسبه می‌کند.

شاخص MTWR (متوسط زمان تأخیرات تعمیر): 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 می گردد شامل این موارد است: اطلاع رسانی به تکنسین‌های نگهداری و تعمیرات، تشخیص مسئله، رفع مشکل، جمع آوری 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 AHP، MAUT[۱]، TOPSIS[۲] و EDAS[۳] پرداخته خواهد شد. برای حل مدل AHP از نرم‌افزار Expert Choice و برای محاسبه سایر روش‌ها، از تابع‌نویسی در نرم‌افزار اکسل بهره برده شد. لازم به ذکر است، دلیل انتخاب روش AHP، پرکاربرد بودن آن در پژوهش‌های مشابه بوده است. حال آنکه روش های EDAS و TOPSIS هر دو بر پایه ایده‌آل‌های مثبت و منفی بنا شده‌اند و با توجه به رویکرد متفاوت با روش AHP، به عنوان پیوست تقویت‌کننده روش مذکور قابل توصیه هستند. و در نهایت، استفاده از روش MAUT نیز در راستای تنوع‌بخشی به روش‌ها و با رویکرد استفاده از یک روش کیفی (مبتنی بر مفهوم مطلوبیت) مدنظر بوده است. در واقع، 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.

٤-١- 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 نرم افزار CMMS[۴]، برخی دیگر

---

[۱] Multiple Attribute Utility Theory
[۲] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
[۳] Evaluation Based on Distance from Average Solution
[٤] Computerized Maintenance Management System

با نشانگرهای موجود بر روی تأسیسات یا به صورت زمان‌سنجی و برخی دیگر از گزارش‌های سالانه شرکت گلگهر کرمان[1] 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	٤,٤٥٦	٤	٢	٢,٢٣٢	٢,٥٤٨	٤	١	٤
نیروگاه گهران	٤,٤٤٠	٢	٦	٧٤٤	١,٠٢٠	٢	٤	١٢
نیروگاه کهنوج	٢,٢٣٧	١	١	٤,٤٦٤	٥,٣٤٢	١٦	١	٢

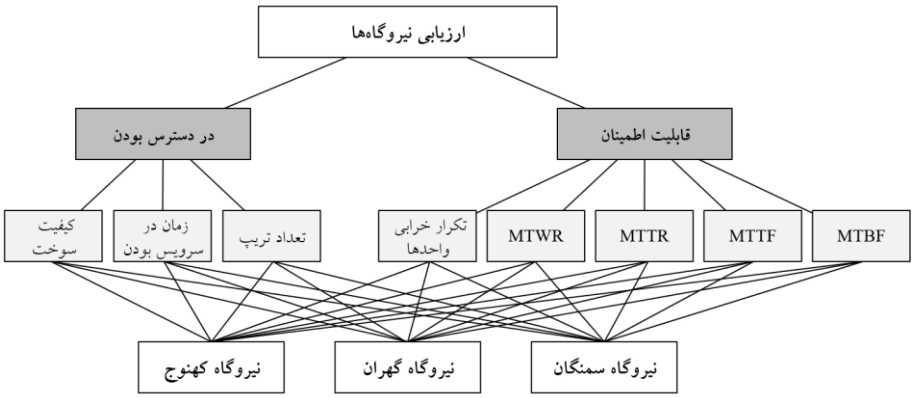
این ماتریس به عنوان ماتریس مادر، در محاسبه اولویت‌بندی هر گزینه بر اساس معیارهای معرفی شده استفاده خواهد شد. در واقع هر روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، به دنبال انجام عملیات و پردازش مخصوص به خود بر روی این ماتریس می‌باشند که طبیعتاً رتبه‌بندی‌های متفاوتی نیز از هر روش حاصل خواهد شد.

٤-٢- روش AHP

در این مسئله با توجه به این که معیارهای ما دارای یک سری شاخص در مجموعه خود هستند و همینطور به دلیل وابستگی معیارها به یکدیگر از روش جبرانی مانند AHP استفاده گردیده است. در این روش، هدف از تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عوامل و عناصر تشکیل‌دهنده تصمیم ترسیم می‌شود. فرآیند سلسله مراتبی، نیازمند شکستن مسأله تصمیم با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. بدین منظور 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

[1] گزارشات فصلی تعمیراتی و مصرف برق نیروگاه گلگهر

آن‌ها صورت می‌گیرد. در سطح سوم زیرمعیارها قرار می‌گیرند. در سطح چهارم گزینه‌های مورد ارزیابی قرار دارند. شکل (۱) نمودار درختی سلسله مراتبی برای برگزیدن بهترین نیروگاه با توجه به معیارها و زیر معیارهای تعیین شده را نشان می دهد.



شکل ۱. نمودار درختی شاخص‌ها، معیارها و گزینه‌ها

در روش AHP پس از ساخت ماتریس‌های مقایسات زوجی (جداول پ ۱ الی ۱۱ طبق پیوست ۱)، اوزان زیرمعیارها با استفاده از روش EV[۱] یا همان بیشترین مقدار ویژه به دست می‌آید. پس از آن، با بدست آوردن ماتریس‌های ارزش نسبی هر معیار و 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 AHP 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	۰/٦٦٩	۰/۱۷۵	۰/۰۵۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳٤	۰/۰۲۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳

[۱] Eigen Value

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

٤-۳- روش وزن‌دهی آنتروپی شانون

روش آنتروپی[۱] 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. همانطور که 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) نرمال سازی 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.

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

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

$$d_j = 1 - E_j \qquad (۳)$$

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

[۱] Entropy

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	۰/۱۱۱	

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

لازم به ذکر است، در سه روش MAUT، TOPSIS و EDAS، از همین اوزان در محاسبه مطلوبیت و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است.

٤-۳- روش MAUT

روش MAUT بر تشکیل تابع مطلوبیت تصمیم برای هر شاخص تاکید دارد و با ترکیب این توابع مطلوبیت، مطلوبیت هر گزینه را تعیین می کند. در این روش، ابتدا با استفاده از روش بی‌مقیاس‌سازی ویژگی‌ها[۱] و طبق معادله (۵) و (۶) به ترتیب برای معیارهای مثبت و منفی، به نرمال‌سازی ماتریس تصمیم می‌پردازیم.

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

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

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

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

$$U_i = \sum w_j u_{ij} \qquad (۸)$$

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

[۱] Feature Scaling

جدول ۹. ماتریس تصمیم نرمال شده 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

جدول ۱۰. ماتریس مطلوبیت نهایی در روش MAUT

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	۰/٦۳۲	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

جدول ۱۱. امتیاز نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش MAUT

نیروگاه	نیروگاه سمنگان	نیروگاه گهران	نیروگاه کهنوج
امتیاز	۰/٥٦٤	۰/۲۳۸	۰/٦۸۰
رتبه	دوم	سوم	اول

٤-٤- روش TOPSIS

روش تاپسیس یکی از روشهای تصمیم گیری چند معیاره (MADM) است که به رتبه بندی گزینه ها می پردازد. در این روش از دو مفهوم "ایده آل مثبت و منفی" و "شباهت به ایده آل" استفاده گردیده است. ایده آل همانطور که 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 اندازه گیری شباهت یک طرح (یا گزینه) به ایده آل مثبت و ایده آل منفی، فاصله آن طرح (یا گزینه) از ایده آل مثبت و ایده آل منفی اندازه گیری خواهد شد. سپس گزینه ها بر اساس نسبت فاصله از ایده آل منفی به مجموع فاصله از ایده آل مثبت و ایده آل منفی ارزیابی و رتبه بندی می خواهند 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 هر گزینه نسبت به گزینه ایده آل مثبت و گزینه ایده آل منفی (معادله ۱۱)، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس معادله ۱۲ به دست می‌آید. نتایج حاصل از حل گام به گام مسئله در جداول ۱۲ الی ۱۴ ارائه شده است.

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

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

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

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

جدول ۱۲. ماتریس تصمیم نرمال شده 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	۰/٤٤٢	۰/٤٢٤	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

جدول ۱۳. ماتریس V در روش TOPSIS

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

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

٤-٥- روش EDAS

پس از روش تاپسیس از روش(EDAS) استفاده می شود. در این روش پس از تشکیل ماتریس تصمیم ابتدا میانگین داده های را در هر معیار بدست آورده و سپس برای هر x(ij) فاصله مثبت و منفی را با توجه به نوع معیار (مثبت یا منفی) بدست آورده و پس از آن مجموع وزنی فواصل مثبت و منفی را برای هر گزینه محاسبه خواهد شد. سپس آن مقادیر نرمال شده مجموع وزنی فواصل مثبت و منفی را محاسبه کرده و در نهایت با میانگین گرفتن از مجموع فواصل مثبت و منفی نرمال شده برای هر گزینه می توان رتبه گزینه ها 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.

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

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

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

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

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

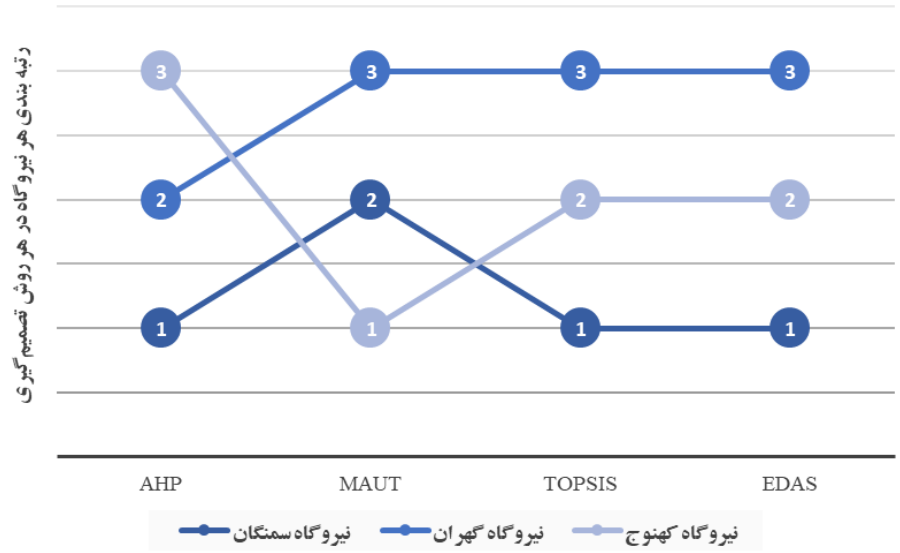
$$AS_i = \frac{NSP_i + NSN_i}{2} \qquad (۱۸)$$

جدول ۱۵. امتیاز نهایی گزینه‌ها با استفاده از روش EDAS

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

۵- تجزیه و تحلیل و ادغام نتایج

با توجه به نتایج بدست آمده حاصل از روش‌های مختلف و با بررسی شکل (۲) می‌توان دریافت که دو روش TOPSIS و EDAS نتایج مشابهی ارائه می‌دهند. هم‌چنین روش AHP 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 MAUT، اولویت سوم مشابه با دو روش مذکور بوده و اولویت اول و دوم متفاوتی استخراج شده است.



شکل ۲. مقایسه نتایج روش های مختلف

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 نشان دهنده 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 می گیرند.

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	-	-	-

٦- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

افزایش مصرف برق به طور بی سابقه 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 کشور هستند، تأسیس نیروگاه و استفاده از ظرفیت اختصاصی نیروگاه‌ها بدون وابستگی به شبکه سراسری برق کشور است. در این پژوهش، به دنبال تعیین بهترین نیروگاه جهت تأمین برق قابل اطمینان برای کارخانجات فولادسازی گل‌گهر با تکیه بر چهار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره هستیم. 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 کمی 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 روش‌های AHP، MAUT، TOPSIS و EDAS صورت گرفت. در انتها، پس از ادغام نتایج حاصل از حل مسوله با استفاده از روش‌های مذکور، نیروگاه سمنگان به عنوان 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-بدترین (BWM) یا بهره‌گیری از سایر روش‌های ادغام در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها می‌تواند دیگر مسیر توسعه این پژوهش باشد. همچنین در نظر گرفتن برخی پارامترهای مسئله به عنوان متغیرهای فازی و دارای عدم قطعیت و استفاده از نسخه‌های فازی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز از دیگر پیشنهادات توسعه است.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم

سپاسگذاری

نویسندگان پژوهش حاضر از داوران محترم بابت ارائه نظرات و پیشنهادات ارزشمند کمال تشکر و قدردانی را دارند. همچنین از جناب آقای دکتر محمد موسی‌زاده و سید محسن توحیدی برای کمک‌های فراوانی که در تهیه و جمع‌آوری داده‌ها و ویرایش ادبی نقش مهمی داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

ORCID

Seyed Ali Tohidi http://orcid.org/ ۰۰۰۹-۰۰۰۱-۵۹۷٤-۲۱۲۷

Mohammad Mousazadeh http://orcid.org/ ۰۰۰۰-۰۰۰۳-۱۷۹۲-۰۱۷۲

Majid Mirzaei Ghazani http://orcid.org/ ۰۰۰۰-۰۰۰۲-۷٦۰٦-۹٤٦٤

Nasser Safaie http://orcid.org/ ۰۰۰۰-۰۰۰۳-۱۸۸۹-۲۲۳۰

منابع

لطفی، پوریا، ملکی، اکبر، شهرکی شهر آبادی؛ رضا و احمدی، محمد حسین.(۱۴۰۰). پتانسیل سنجی مزرعه های خورشیدی با روش های تصمیم گیری چند معیاره در ایران، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، دوره ۴۰، شماره ۳ . dor ۲۰,۱۰۰۱,۱,۱۰۲۲۷۷۶۸,۱۴۰۰,۴۰,۳,۲۱,۰

منظوری، داوود منظوری و رحیمی، علیرضا .(۱۳۹۴). اولویت بندی نیروگاه های تولید برق در ایران با استفاده از مدل های تصمیم گیری چند شاخصه، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال چهارم، شماره۱۴. HTTPS://DOI.ORG/۱۰,۳۰٤۸۸/GPS.۲۰۱۹,۸۵۹۹۲

عباسی قله سرخ، رضا .(۱۳۹۸). شناسایی و رتبه بندی راهبرد های مؤثر در بهبود عملکرد زنجیره تأمین با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، *هفتمین کنفرانس ملی رویکردهای نوین مدیریت، اقتصاد و حسابداری*.

پورجواد، ساسان، خوشاب، سپیده؛ فرح گل، 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، شماره۷۹.

https://dx.doi.org/۱۰,۲۲۰۳۴/lot.۲۰۲۲,۲۱۰۹۹۰,۱۱۵۵

افشاریان، سوده و سهرابی عادل، لیلا سهرابی .(۱۴۰۰). رتبه بندی احداث برترین مزارع نیروگاه های بادی و خورشیدی با استفاده از روش AHP با در نظر گرفتن شاخص های اقتصادی و مالی ایران *فصلنامه علمی انرژی های تجدیدپذیر و نو*، سال هشتم، شماره اول، ص ص ۴۸-۵۵.

https://dor.isc.ac/dor/۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۴۲۳۴۹۳۱,۱۴۰۰,۸,۱,۶,۰

خلیفه سلطانی، سید رشید.(۱۴۰۰). استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت بندی میزان تاثیر واحدهای مختلف شرکت توزیع برق در زنجیره تأمین (مطالعه موردی شرکت توزیع برق یزد). *دومین کنفرانس بین المللی چالش ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع و مدیریت و حسابداری*.

امیدیان، مجتبی و حیدریه، سید عبدالله (۱۳۹۷)، اولویت بندی راهبرد زنجیره تأمین در تولید برق به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، *دومین کنفرانس بین المللی مدیریت و کسب و کار*.

References

Atmaca, Ediz, and Hasan Burak Basar. "Evaluation of power plants in Turkey using Analytic Network Process (ANP)." *Energy* ٤٤,١ (٢٠١٢): ٥٥٥-٥٦٣.

https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.energy.٢٠١٢,٠٥,٠٤٦

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* ۱۵۱ (۲۰۲۱) ۱۰۶۹۵۸

https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.cie.۲۰۲۰,۱۰٦۹٥۸

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* ۲۹,۹ (۲۰۰۷): ٦٥۷-٦٦۸.

https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ijepes.۲۰۰٦,۰۸,۰۰۲

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* ۲۰ (۲۰۲۰): ۳٥۳-۳٥۷.

https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱٦٦۸-۰۲۰-۰۰۸۳٥-۸

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* ۲,۱۰ (۲۰۱۳): ۳۰۷۲-۳۰۸۰.

Taylan, Osman, et al. "Assessment of energy systems using extended fuzzy AHP, fuzzy VIKOR, and TOPSIS approaches to manage non-cooperative opinions." *Sustainability* ۱۲,۷ (۲۰۲۰): ۲۷٤٥.

https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/su۱۲۰۷۲۷٤٥

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* ۳,۱-۲ (۲۰۱٥): ٦٦-۸۰.

https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ism.۲۰۱٥,۰۷,۰۰۱

Maleki, Lotfi, Pouria, Shahraki Shahabadi, & Ahmadi. (۲۰۲۱). Potential assessment of solar farms using multi-criteria decision-making methods in Iran. Iranian *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, ٤۰(۳), ۲٥۱-۲۷۱. [In Persian]

Manzoor, Davoud Manzoor and Rahimi, Alireza (۲۰۱۵). Prioritizing power generation plants in Iran using multi-attribute decision-making models, *Iranian Energy Economics Research Journal*, Year ٤, Issue ١٤. [In Persian]

Abbasi Qole Sorkh, Reza. (۲۰۱۹). 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]

Pourjavad, Sasan, Khoshab, Sepideh; Farahgol, Pouria and Rezaei, Ghasem. (۲۰۱۲). Assessment of supply chain risk factors using the fuzzy AHP method (case study: Dalaho Power Plant), *Amad Scientific Journal*, Volume ۲۰, Number ۷۹.[In Persian]

Afsharian, Soudeh and Sohrabi Adel, Leila Sohrabi. (۲۰۲۱). 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 ۸, Issue ۱, pp. ٤٨-٥٥. [In Persian]

Khalifa Soltani, Seyed Rashid. (۲۰۲۱). 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]

Omidian, Mojtaba and Heydarieh, Seyed Abdullah (۲۰۱۸), Prioritizing supply chain strategy in electricity generation using fuzzy analytic hierarchy process, *Second International Conference on Management and Business*. [In Persian]

پیوست ا. 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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