Management and Sustainable Development Studies
Volume 2, Issue 1 - Spring 2022 - Pages 1-27
Homepage: http://msds.iauzah.ac.ir

Evaluation and Selection of Turbine Suppliers for Wind Farms Using the Combined Approach of AHP and TOPSIS with the Aim of Sustainable Development of the Electricity Industry

Mohammad Abbasian[1*], Nasim Nahavandi[2]

1. Assistant Professor, Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Flight, Imam Ali University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Industrial Engineering, Faculty of Systems and Industrial Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

OPEN ACCESS

Article type: Research Article

***Correspondence:** Mohammad Abbasian
abbasian_m@iamu.ac.ir

Received: January 18, 2022
Accepted: April 10, 2022
Published: Spring 2022

Citation: Abbasian, M., Nahavandi, N. (2022). Evaluation and Selection of Turbine Suppliers for Wind Farms Using the Combined Approach of AHP and TOPSIS with the Aim of Sustainable Development of the Electricity Industry. Journal of Management and Sustainable Development Studies, 2(1), 1-27. doi: 10.30495/msds.2022.690696

Publisher's Note: MSDS stays neutral with regard to jurisdictional claims in published material and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract: In this article, which was conducted based on a case study in Iran's New Energy Organization (SANA), an attempt was made to develop sustainable development management strategies and consider the involvement of many positive and negative factors in choosing a wind turbine for a wind farm in the country. Use appropriate MADM methods. In this regard, after calculating the important factors in the evaluation of a wind turbine technology according to the principles of sustainable development management, AHP was used to weight the criteria and sub-criteria and TOPSIS was used to select the best option. In order to obtain the AHP hierarchy, the descriptive-field method was used, and the desired data was collected in line with the design of the model and different levels of the AHP tree, and the weighting process was carried out based on this. Several interviews were conducted to achieve criteria and sub-criteria. Also, a researcher-made questionnaire in this field was prepared and distributed among the people involved in the wind turbine industry, and finally, the agreed criteria and sub-criteria were calculated. Based on the conducted field studies, effective criteria in sustainable development management by choosing the right wind turbine for a wind farm in five general areas including: "Technical specifications and coordinates", "Technology manufacturer (provider) specifications", "Opportunity fields", "Generators" "Cost" and "Risks and Risk Factors" as well as 31 sub-criteria were identified and categorized. Based on the results, Sinovel Wind International Company was introduced as the best option.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Wind Turbine, Wind Farm, Sustainable Development of Electricity Industry.

Extended Abstract

Introduction

Deciding, is the process of finding and choosing the best option among the possible options. In many real-world decision-making issues, the decision-maker has some doubts about the extent to which he or she has confidence in the results of different decision-making methods due to the existence of various and sometimes conflicting criteria. Hence, in most real-world problems, the decision-maker wants to achieve more than one goal. Thus, real-world decision-making problems can be viewed from another angle in the form of multi-criteria decision-making problems (Soudbakhsh, 2013). In the appropriate decision-making process in choosing a wind turbine, there are several factors with positive and negative effects. Therefore, for appropriate decision-making in this area, it is necessary to use the methods of multidisciplinary decision models (MADM). Multi-criteria decision-making consists of four main steps: (1) recognizing and evaluating the indicators, (2) weighting each of the indicators, (3) selecting the best option, and (4) sensitivity analysis. In this article, after identifying and evaluating the indicators, the AHP method was used to weight each of the indicators and the TOPSIS method was used to select the best option. For this purpose, in this study, all the factors of superiority in the correct choice of a wind turbine technology were divided into five general categories. These five important criteria for comparing technologies are technical specifications and specifications, specifications of the manufacturer (supplier) of the technology, opportunity-making fields, cost-generators, and risks and hazardous fields.

Case Study

The case study of this research was Energy Organization of Iran (SANA).

Theoretical framework

Sustainable development refers to a process that requires integrated and rapid replacement with the use of renewable resources to achieve sustainability in any field (Azari et al., 2016). Sustainable development has attracted the attention of many researchers in recent decades (Shafiee Nikabadi & Hashemi, 2021) and has been proposed as a new approach so that societies can benefit from this concept of living standards, social justice, and conservation of the world's resources. To reflect more on themselves (Khakpour et al., 2013). Today, the theory of sustainable development, which dates back to the last decades of the twentieth century, has already gained strength (Khakpour, 2014). Studies show that in the not too distant future, new and renewable energies will play a greater role in the energy supply of communities. High sustainability, non-pollution, ease of use, and the like, make renewable energy very attractive, especially for developing countries with dry climates (Azari et al., 2016). Iran is in the first place in comparison with other countries around the Persian Gulf-based on the diversity of types of energy with the introduction of renewable energy (Tafqod Akbarpour, 2013). Electricity from wind energy is called clean because it does not produce any greenhouse gases or pollution (Aghajani, 2018).

Methodology

In this research, to obtain AHP hierarchy, the descriptive-field method was used, and the data were collected in order to design the model and different levels of AHP tree, and based on this, the weighting process was performed. Also, TOPSIS method was used to select the best option. In the present study, in order to enumerate the important factors in evaluating a wind turbine technology according to the principles of sustainable development management, after conducting extensive

library studies, the method of interviewing experts was used. In this regard, several interviews were conducted to meet the criteria and sub-criteria. Also, a researcher-made questionnaire was prepared in this field and distributed among wind turbine industry stakeholders; Finally, the agreed criteria (five criteria) and sub-criteria (31 sub-criteria) were counted. As international decision options, based on the current situation in the country, five international companies selling wind turbines for wind farms were identified.

Discussion and Results

After identifying the criteria and options for decision-making and preparing the questionnaire, referring to the members of the statistical community of the research, and considering the techniques of distributing the questionnaire and conducting the interview, the judgments of the selected respondents about the importance and priority of the indicators were collected and paired by them. Since the research questionnaires are in fact specialized questionnaires with the aim of prioritizing and counting the judgments of two and two pairs of experts; Therefore, there is no need to perform a validity test (Mahmoudi, 2015). Since in the present study, judging the criteria depends on the options under consideration, the judicial process has been done from the bottom up. In simpler terms, first, the sub-criteria are compared with the criteria and then the criteria are compared with the target. Given that the data analysis method is based on the AHP method, first, the incompatibility values of the pairwise comparisons of the respondents were monitored; Then, with the assurance of an acceptable level of incompatibility (values less than 0.1), the matrix of pairwise comparisons of the research was calculated. According to the results, among the five decision-making criteria, in order to select the appropriate wind turbine for wind farms, the criteria of the type of "opportunity areas" and "cost generators" are the most important, and the criteria of the type of "risks and hazardous areas" are the least important.

Conclusion

In the present as well as in future societies, industrial energy is clear to everyone in the sustainable and sustainable development of clean energy (such as wind energy) in the production of this energy. In this article, based on case studies conducted in the New Energy Organizations of Iran (SANA), an attempt was made to use multi-criteria decisions based on various positive and negative factors in the evaluation and selection of wind turbines for the country. Be. For this purpose, based on the results of research literature as well as various interviews with experts on the subject, factors and indicators of superiority of a wind turbine technology were counted and classified into five general categories. In this paper, after identifying and evaluating the criteria (five criteria) and important sub-criteria (31 sub-criteria) in evaluating and selecting a wind turbine technology, the AHP method was used to weight each of these criteria. The TOPSIS method was then used to select the best option from the five international companies selling wind turbines for wind farms. Based on the results and considering all aspects of the sometimes reciprocal criteria, China's Sinovel Wind International Company was finally identified as the best option for selecting a contractor to supply wind turbine technology.

مطالعـــات مدیریـــت و توسعـــه پایـــدار

سال دوم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱ – صفحه ۲۷-۱

Homepage: http://msds.iauzah.ac.ir

ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان توربین‌ها برای مزارع بادی با استفاده از رویکرد تلفیقی ای‌اچ‌پی و تاپسیس با هدف توسعه پایدار صنعت برق

محمد عباسیان *[۱]، نسیم نهاوندی [۲]

۱. استادیار، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی و پرواز دانشگاه امام علی(ع)، تهران، ایران.

۲. دانشیار، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده: در مقاله حاضر که بر اساس مطالعه‌ای موردی در سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) انجام گرفت، سعی شد تا با هدف توسعه راهبردهای مدیریت توسعه پایدار و نیز با توجه به دخالت عوامل متعدد مثبت و منفی در انتخاب توربین بادی برای یک مزرعه بادی کشور، از روش‌های مناسب MADM استفاده شود. در همین راستا پس از احصای عوامل مهم در ارزیابی یک فناوری توربین بادی با توجه به اصول مدیریت توسعه پایدار، از AHP برای وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها و از TOPSIS برای انتخاب برترین گزینه استفاده شد. برای به دست آوردن سلسله مراتب AHP، از روش توصیفی- میدانی استفاده شده و داده‌های مورد نظر در راستای طراحی مدل و سطوح مختلف درخت AHP، گردآوری و بر این اساس فرآیند وزن‌دهی انجام شد. سطح هدف عبارت است از: انتخاب توربین بادی مناسب برای مزرعه بادی مورد مطالعه. برای دستیابی به معیارها و زیرمعیارها مصاحبه‌های متعددی انجام شد. همچنین پرسشنامه محقق‌ساخته‌ای در این زمینه تهیه و در بین دست‌اندرکاران صنعت توربین بادی توزیع گردید که در نهایت معیارها و زیرمعیارهای مورد توافق آنها احصاء گردید. بر اساس مطالعات میدانی انجام‌شده، معیارهای مؤثر در مدیریت توسعه پایدار با انتخاب توربین بادی مناسب برای یک مزرعه بادی در پنج حوزه کلی شامل: «مشخصات و مختصات فنی»، «مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری»، «زمینه‌های فرصت‌ساز»، «مولّدهای هزینه» و «ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز» و نیز به تعداد ۳۱ زیرمعیار شناسایی و دسته‌بندی شد. آلترناتیوهای تصمیم‌گیری پنج شرکت بین‌المللی فروشنده توربین بادی برای مزارع بادی هستند. بر اساس نتایج، شرکت بین‌المللی Sinovel Wind بعنوان برترین گزینه معرفی شد.

واژگان کلیدی: کیفیت خدمات، رضایت، آموزش مجازی.

DOI: 10.30495/msds.2022.690696

دسترسی آزاد

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

***نویسنده مسئول:** محمد عباسیان

abbasian_m@iamu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۱

استناد: عباسیان، محمد، نهاوندی، نسیم. (۱۴۰۱). ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان توربین‌ها برای مزارع بادی با استفاده از رویکرد تلفیقی ای‌اچ‌پی و تاپسیس با هدف توسعه پایدار صنعت برق. فصلنامه مطالعات مدیریت و توسعه پایدار، ۲(۱)، ۱-۲۷. doi: 10.30495/msds.2022.690696

یادداشت ناشر: MSDS درخصوص ادعاهای قضایی در مطالب منتشر شده و وابستگی‌های سازمانی بی‌طرف می‌ماند.

کپی‌رایت: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

تصمیم‌گیری مهارتی جداناپذیر از مدیر و مدیریت است. بزرگانی نظیر سایمون و دراکر[1] مهارت تصمیم‌گیری را مترادف با مدیریت عنوان می‌کنند (Naranji Azar, 2015). البته نتایج بررسی‌ها حاکی از این است که در گذشته به دلیل حاکم بودن الگوواره (پارادایم) مکتب مدیریت کلاسیک، مهارت تصمیم‌گیری را تنها به مدیر اختصاص می‌دادند ولیکن از سال ۱۹۵۰، به بعد تحولی در این دیدگاه ایجاد شد (Ghazizadeh et al., 2016). از سویی دیگر، پیشرفت‌های صورت گرفته در علوم ریاضی، آمار و تحقیق در عملیات و بخصوص مدل‌های بهینه‌سازی، بعنوان ابزاری کارآمد برای فرآیند تصمیم‌گیری مطرح شد. مدل‌های بهینه‌سازی از زمان بروز انقلاب صنعتی و به ویژه از زمان رخداد جنگ جهانی دوم اغلب توسط دست‌اندرکاران صنعت و محققین ریاضی مورد توجه قرار گرفته است؛ اما در دهه‌های اخیر عمده توجه محققین به مدل‌های چندمعیاره (MCDM[2]) برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده شده است (Ghamkhoori & Ebadi, 2016).

به بیانی دیگر، تصمیم‌گیری، فرآیند یافتن و انتخاب بهترین گزینه در بین گزینه‌های امکان‌پذیر است. در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری موجود در دنیای واقعی پیرامون، تصمیم‌گیرنده به دلیل وجود معیارهای گوناگون و بعضاً متعارض، از لحاظ اندازه اطمینان به نتایج منتج از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری، دچار نوعی تردید می‌شود. از اینرو، در اکثر مسائل دنیای واقعی، تصمیم‌گیرنده می‌خواهد به بیش از یک هدف دست یابد. بنابراین، می‌توان مسائل تصمیم‌گیری دنیای واقعی را از زاویه دیگری در قالب مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد بررسی قرار داد (Soudbakhsh, 2013). روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند، به دلیل اینکه بطور توأمان چندین معیار کیفی و کمّی گوناگون و حتی بعضاً متناقض را در کنار همدیگر برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری مطرح می‌کنند. محققین زیادی مدل‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه را مورد بررسی قرارداده‌اند. در ادبیات موضوع این مدل‌ها، از اصطلاحاتی نظیر مشخصه‌ها[3]، اهداف[4]، آرمان‌ها[5] و معیارها[6] به وفور استفاده شده است. در حالت کلی در مسائل حوزه تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، بجای مطرح کردن صِرف یک معیار محدود، چند معیار سنجش مختلف مدنظر قرار می‌گیرد (Ketabi et al., 2005).

در فرآیند تصمیم‌گیری مناسب در انتخاب توربین بادی، عوامل با اثرات مثبت و منفی متعددی وجود دارند. از اینرو برای تصمیم‌گیری مناسب در این حوزه لازم است تا از روش‌های مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای (MADM[7])

[1] Simon and Drucker
[2] Multiple Criteria Decision Making
[3] Attributes
[4] Objectives
[5] Goals
[6] Criteria
[7] Multiple Attribute Decision Making

استفاده شود. تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای شامل چهار مرحله اصلی است: (۱) شناخت و ارزیابی شاخص‌ها، (۲) وزن‌دهی به هر یک از شاخص‌ها، (۳) انتخاب برترین گزینه و (۴) تحلیل حساسیت. در این مقاله پس از شناخت و ارزیابی شاخص‌ها، از روش AHP برای وزن‌دهی به هر یک از شاخص‌ها و از روش TOPSIS برای انتخاب برترین گزینه استفاده شد. برای این منظور در این تحقیق کلیه عوامل برتری‌ساز در انتخاب صحیح یک فناوری توربین بادی، در پنج دسته کلی تقسیم گردید. این پنج معیار مهم برای مقایسه تکنولوژی‌ها عبارتند از: مشخصات و مختصات فنی، مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری، زمینه‌های فرصت‌ساز، مولّدهای هزینه و ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز.

مبانی نظری پژوهش

توسعه پایدار به فرآیندی اطلاق می‌شود که برای حصول پایداری در هر حوزه‌ای مستلزم جایگزینی یکپارچه و سریع آن با بهره‌مندی از منابع تجدید شونده است (Azari et al., 2016). توسعه پایدار در دهه‌های اخیر نظرات بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است (Shafiee Nikabadi & Hashemi, 2021) و به عنوان رویکردی نو بصورتی مطرح شده تا جوامع بتوانند با بهره‌مندی از این مفهوم درباره سطح زندگی، عدالت اجتماعی و حفظ منابع جهان پیرامون خود بیشتر تأمل کنند (Khakpour et al., 2013). امروزه نظریه توسعه پایدار که پیدایش آن به دهه‌های پایانی قرن بیستم باز می‌گردد پیش از پیش قوت گرفته است (Khakpour, 2014).

توربین‌های بادی بعنوان ابزاری مهم در مسیر توسعه پایدار

مطالعات حاکی از این است که در آینده‌ای نه چندان دور، انرژی‌های نو و تجدیدپذیر سهم بیشتری را در تأمین انرژی جوامع به خود اختصاص خواهد داد. پایداری بالا، عدم آلودگی، سادگی بهره‌برداری، و مواردی از این دست، انرژی‌های تجدید شونده را بخصوص برای کشورهای در حال توسعه با آب و هوای خشک بسیار جذاب نموده است (Azari et al., 2016). ایران در مقایسه با سایر کشورهای پیرامون خلیج فارس بر اساس تنوع انواع انرژی‌ها با معرفی انرژی‌های تجدیدپذیر در مقام نخست قرار دارد (Tafqod Akbarpour, 2013). برق حاصل از انرژی باد از آنجاییکه هیچگونه گازهای گلخانه‌ای و یا آلودگی تولید نمی‌کند، پاک نامیده می‌شود (Aghajani, 2018). بر اساس آمار، مقدار ۴۷۵۸۰ کیلو وات برق در استان‌های آذربایجان شرقی، قزوین، گیلان و خراسان از طریق تعداد ۹۲ توربین بادی تولید می‌شود که البته برنامه‌ریزی شده تا به میزان ۴۱۶۸۰ کیلو وات برق نیز به ظرفیت این توربین‌های بادی افزوده شود (Sherabafian, 2007). میزان تولید برق بادی در ایران در سال ۲۰۱۸، به میزان ۳۰۶ گیگاوات بوده است که در مقایسه با سایر کشورها همچون چین (۲۹۵۰۲۳ گیگاوات)، آمریکا (۲۷۷۹۱۸ گیگاوات)، آلمان (۱۱۱۵۹۰ گیگاوات)، انگلیس (۵۷۱۱۶ گیگاوات)، هند (۵۱۰۶۱ گیگاوات)، اسپانیا (۵۰۸۱۰ گیگاوات) مقدار کم و ناچیزی بوده است (IEA, 2020) که این امر حاکی از عدم موفقیت ایران در این حوزه است (Rahmani & Safdari Ranjbar, 2020).

پیشینه پژوهش

پیشینه تحقیق مدیریت توسعه پایدار

قاسمی (۱۳۸۷) در تحقیقی به ارزیابی نحوه مدیریت توسعه در ایران پرداخت. او در این پژوهش نخست به تحلیل نظری و نقد مدیریت توسعه که یکی از اصلی‌ترین چالش‌های مربوط به توسعه در ایران است، پرداخته و در ادامه به ارائه مدل نظری پیشنهادی مبتنی بر روش هابرماس، اقدام نمود. نتایج این تحقیق حاکی از این است که اصلی‌ترین مشخصه مدیریت توسعه در ایران، تأکید محض بر بُعد سخت‌افزاری وارداتی و نادیده گرفتن جنبه نرم‌افزاری توسعه (بعد فرهنگی و اجتماعی- سیاسی) است (Qasemi, 2008). بررسی‌ها حاکی از این است که در دهه‌های اخیر رشد روزافزون صنعت توریسم و به تبع آن طبیعت‌گردی، منجر به افزایش صدمه و میزان خسارت به طبیعت شده است. این امر سبب شده تا حساسیت به ابعاد اکولوژیکی رشد یافته و ارتباط صنعت توریسم با محیط‌زیست بیش از پیش مورد توجه صاحبنظران توسعه پایدار و حامیان طبیعت قرار گیرد. در همین راستا خاکپور و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی به مطالعه چالش‌های مدیریت گردشگری با رویکرد اکوتوریسم (گردشگری در طبیعت) و توسعه پایدار در ایران پرداختند. آنها در این پژوهش چنین نتیجه گرفتند که اگرچه امروزه بر هماهنگی بیشتر محصولات گردشگری با بازارهای گردشگری تأکید می‌شود اما این کار می‌بایستی در چارچوب توسعه پایدار صورت گیرد تا مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی فرهنگی را در پی نداشته باشد (Khakpour et al., 2013). رزمی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر توسعه پایدار با تأکید بر شاخص‌های حکمرانی در کشورهای صادرکننده نفت در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸، پرداختند. آنها در تحقیق خود به بررسی اثرات دو شاخص «حق اظهار نظر و پاسخگویی» و «ثبات سیاسی و عدم خشونت» به عنوان متغیرهای نشان دهنده کیفیت نهادی و حکمرانی خوب بر وضعیت توسعه پایدار در ۲۱ کشور دارای منابع طبیعی فراوان و در معرض مخاطره نفرین منابع با استفاده از داده‌های ترکیبی پرداختند. نتایج حاکی از این است که بین شاخص‌های «حق اظهارنظر و پاسخگویی» و شاخص «پایداری» در کشورهای صادرکننده نفت رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد بگونه‌ای که در فاصله زمانی مورد بررسی، بهبود این شاخص منجر به بهبود کیفیت زیست‌محیطی می‌شود. همچنین تولید ناخالص داخلی و سهم ارزش افزوده کارخانه‌ای دارای اثر مثبت و شاخص وفور منابع دارای تأثیر منفی بر توسعه پایدار است (Razmi et al., 2012). یان[1] و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به مطالعه مفهوم و اندازه‌گیری بهره‌وری توسعه پایدار شهری به سمت تعادل بین طبیعت و رفاه انسان پرداختند. آنها ضمن تأکید بر اینکه توسعه پایدار در قالب یک الگوی توسعه‌ای معین، نه تنها نیازهای نسل فعلی بشر بلکه نیازهای نسل‌های آتی انسان‌ها را نیز برآورده می‌کند؛ رویکردهای سیستم شاخص یکپارچه و تحلیل پوششی داده‌ها را برای ارزیابی توسعه شهری پایدار در ۲۸۷ شهر چین مورد استفاده قرار دادند (Yan et al., 2018). لیو[2] و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با تأکید بر اینکه توسعه پایدار نیازمند این امر است که

[1] Yan
[2] Liu

الگوهای توسعه در کنار اینکه نیازهای نسل حاضر را تأمین کرده و نبایستی به نیازهای نسل‌های آینده آسیبی وارد کند، به ارائه یک مدل بهبود انتخاب مکان تأسیسات کمپوست زباله‌های غذایی برای توسعه پایدار با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداختند. آنها با بیان اینکه توسعه پایدار شامل تعامل پیچیده و چندگانه در مورد اقتصاد، جامعه و محیط است که باید در فرآیند تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری اثرات متقابل آنها نیز بطور صحیحی اِعمال شود؛ با بهره‌مندی از مدل پیشنهادی خود به رتبه‌بندی و بهبود سه مکان از پیش انتخاب شده در شهرستان میانولی تایوان پرداختند. آنها در این تحقیق نه فقط اثرات آلودگی محیط‌زیست، بلکه اثرات مقاومت اجتماعی را نیز در نظر گرفتند (Liu et al., 2018). تفرج‌خواه و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی به توسعه مدل مدیریت منابع انسانی با رویکرد توسعه سازمانی پایدار پرداختند. پژوهش آنها در چارچوب یک رویکرد کیفی و با بهره‌مندی از روش داده بنیاد انجام گرفت. در این پژوهش تحلیل داده‌ها در سه مرحله کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی انجام شده و بر مبنای آن، مدل کیفی پژوهش ارائه شد. نتایج این پژوهش منجر به احصای تعداد ۳۷۳ کد باز، ۸۰ مفهوم و ۲۳ مقوله گردید. دو مقوله احصاء شده شامل «مقوله محوری» و «مقوله زمینه حاکم» به‌ترتیب هر کدام دربرگیرنده مفاهیم «سیستم‌های کاری پایدار» و «بینش پایداری» در راستای مدیریت توسعه پایدار است (Tafarrojkhah et al., 2021). شفیعی نیک‌آبادی و هاشمی (۱۴۰۰) در تحقیقی به توسعه مدلی ترکیبی در محیط فازی با هدف مکان‌یابی پارکینگ‌های طبقاتی در منطقه ۱۲ تهران با تأکید بر مدیریت توسعه پایدار شهری و راه‌حل آن پرداختند. آنها در قدم اول بر مبنای مصاحبه با خبرگان و مرور ادبیات، سه معیار و ۲۱ زیرمعیار را با تأکید بر ابعاد توسعه پایدار احصا نمودند. در قدم دوم وزن‌دهی معیارهای منتخب با بهره‌مندی از روش اِسوارای فازی انجام و سپس نقاط بالقوه برای تأسیس پارکینگ با بهره‌مندی از روش آراس فازی معین گشتند. در خاتمه با بهره‌مندی از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تعداد هفت محدوده مناسب در ناحیه سه منطقه ۱۲ تهران برای تأسیس پارکینگ طبقاتی شناسایی گردید. یکی از اصلی‌ترین نوآوری این پژوهش انجام دسته‌بندی کامل ابعاد پایداری شهری جهت انتخاب پارکینگ‌های طبقاتی است (Shafiee Nikabadi & Hashemi, 2021).

پیشینه تحقیق توربین‌های بادی بعنوان ابزاری مهم در مسیر توسعه پایدار

رحیمی و ثقفی (۱۳۸۵) در تحقیقی به ارزیابی فنی و اقتصادی احداث توربین‌های کوچک برق بادی در بروجرد پرداختند. آنها در این تحقیق بر اساس داده‌های اقلیمی و هواشناسی ۱۰ ساله بروجرد و با بهره‌مندی از نرم‌افزارهای پتانسیل‌سنجی انرژی و شبیه‌سازی، اقدام به ارزیابی فنی و اقتصادی احداث یک توربین بادی ۵,۵ کیلو وات در منطقه نمودند (Rahimi & Saghafi, 2006). شعربافیان (۱۳۸۶) در تحقیقی اقدام به تخمین ظرفیت بالقوه اقتصادی و فنی انرژی حرارتی خورشیدی بعنوان رویکردی نو در توسعه پایدار انرژی خورشیدی در ایران نمود. او در تحقیق خود چنین نتیجه‌گیری کرد که موقعیت توسعه‌ای انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق حذف و برداشتن یارانه‌های اختصاص داده شده به مواد سوختی فسیلی، ارتقا خواهد یافت. ولیکن در صورتیکه به دلایلی نتوان سیاست حذف و برداشتن یارانه‌های

اختصاص داده شده به مواد سوختی فسیلی را تحقق بخشید؛ بهترین راه‌حل جایگزین برای ارتقای موقعیت توسعه‌ای انرژی‌های تجدیدپذیر، اختصاص نرخ بهره ترجیحی برای این قبیل پروژه‌های توسعه‌ای است (Sherabafian, 2007). ذاکری‌فر و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از این است که نرخ بازه داخلی سرمایه‌گذاری در سناریوی ششم از بهترین وضعیت برخوردار است و درصورتیکه وزارت نیرو چنین شرایطی را برای سرمایه‌گذار بخش خصوصی فراهم سازد، آنها برای مشارکت در این طرح (که دوره بازگشت سرمایه قریب به ۷ سال به دنبال دارد) ترغیب خواهند شد (Zakeri Fard et al., 2011). صادقی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی به شناسایی اولویت پارامترهای تأثیرگذار بر مکان‌گزینی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی باد و همچنین انرژی خورشیدی) در استان کرمان با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و رویکرد تصمیم-گیری چندمعیاره پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از این است که شهرستان رفسنجان به عنوان مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی شناسایی شد (Sadeqi et al., 2013). آقاجانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به مکان‌یابی توربین‌های بادی مبتنی بر ارزیابی فضایی زیست‌محیطی (نمونه موردی: استان خراسان) پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از این است که توان سیستم اطلاعاتی جغرافیایی در مدل‌سازی و همچنین کمک به برنامه‌ریزی محیطی با قابلیت ترکیب معیارهای کمّی و کیفی در مقیاس‌های مختلف بخوبی قابل مشاهده است. مکان‌یابی و تحلیل با روش AHP و تصمیم‌گیری چندمعیاره به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا بر اساس داده‌های مکانی، تصمیم‌گیری بهتری بویژه در موضوع انرژی‌های تجدیدشونده در راستای توسعه پایدار داشته باشند (Aghajani et al., 2015). جلالوند و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به پتانسیل‌سنجی امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه بروجرد پرداختند. در این تحقیق میزان انرژی قابل استحصال توسط یک توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی نمونه به نام آوانتیس مدل ای وی ۱۰۱۰، با ارتفاع برج ۹۹متر، به تفکیک برای دوره‌های دو ماهه سال محاسبه شد. نتایج نشان داد در بروجرد، برای بهره‌برداری از انرژی باد در تمام سال، به حداقل ۳۹ توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی با ارتفاع ۹۹ متر نیاز است. با بهره‌گیری از توربین‌های مذکور علاوه بر گام برداشتن در مسیر توسعه پایدار کشاورزی، در طول سال نیز انرژی مازاد وجود داشته و قابل تزریق به شبکه سراسری برق خواهد بود (Jalalvand et al., 2014). آذری و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به مطالعه توان‌سنجی باد در توسعه پایدار انرژی با بهره‌مندی از توربین بادی در استان همدان پرداختند. در این تحقیق، نخست در طی یک دوره زمانی آماری پنج ساله در ایستگاه‌های سینوپتیک همدان کلیه داده‌های سه ساعته درخصوص سرعت و سمت باد مورد آزمون قرار گرفته و سپس شاخص گلباد بطور سالانه در محل هر یک از این ایستگاه‌های سینوپتیک استان رسم شد. در مرحله بعد توابع توزیع آماری گوناگونی برای برازش رفتار حاصله از داده‌های جمع‌آوری شده بادها آزمون شد. نتایج حاکی از آن است که توزیع آماری ویبول بالاترین دقت را در پیش‌بینی احتمال رخداد سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک همدان و همچنین توزیع آماری گوسیِ معکوس بالاترین دقت را در پیش‌بینی احتمال رخداد سرعت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک شهرهای تویسرکان، نهاوند و نوژه دارند. بعلاوه شاخص چگالی توان انرژی باد در بیشینه سطح ارتفاعی امکان‌پذیر بهره‌مندی از توان انرژی باد، در ایستگاه‌های سینوپتیک همدان، تویسرکان، نهاوند و نوژه به ترتیب

برابر با مقادیر ۱۵/۲۴، ۶/۳، ۱۰/۸ و ۲۱/۷ وات در متر مربع حاصل شد. بر اساس نتایج، هیچکدام از این ارقام در مقایسه با مقادیر استاندارد مورد نیاز برای تأسیس نیروگاه توربین بادی مناسب نیستند. بنابراین با عنایت به شاخص درصد میزان باد موجود مورد نیاز میان سرعت‌های توقف و راه‌اندازی توربین‌های انرژی باد و نیز شاخص مدت زمان وزش باد، بهره‌گیری از انرژی بادی در هیچکدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه مقرون بصرفه نبوده و توصیه نمی‌شود (Azari et al., 2016). امیدی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی به پتانسیل‌سنجی و بررسی خصوصیات و پارامترهای انرژی باد در شهرستان دهلران پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از این است که با تأسیس مزارع بادی در این مناطق علاوه بر افزایش سهم انرژی‌های تجدید شونده در سبد انرژی کشور می‌توان به پایداری و ثبات برق منطقه در ایام گرم سال کمک نمود. همچنین بررسی تغییرات جهت باد نشان داد که بیشترین فراوانی مربوط به جهت جنوب شرقی و سپس غربی و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت شمال شرقی و در مرتبه بعد شمالی بود (Omidi et al., 2019). آسبادهای سیستان (پیرامون شهر زابل و در مسیر بادهای ۱۲۰ روزه) به عنوان قدیمی‌ترین نوع آسیای بادی در ایران و جهان شناخته می‌شود. غلامی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به بررسی تجارب معماری پایدار دشت‌های بادخیز با تأکید بر تحلیل اجزای کالبدی آسباد شماره ۲ مَچی «قلعه چه رئیس» پرداختند. هدف این تحقیق بررسی تأثیر ساختار کالبدی جبهه رو به باد آسبادها، بر میزان بهره‌وری از انرژی پایدار باد است. نتایج نشان می‌دهد (۱) عامل زمینه‌ساز و مهم در جابجایی فضای پرخانه (محل قرارگیری پره‌ها) و آسخانه (محل قرارگیری سنگ‌های آسیا) در آسبادهای قدیمی سیستان، بهره‌مندی بیشتر از انرژی باد بوده است. (۲) افزودن باله‌های هدایت‌کننده باد در نمای رو به بادِ آسبادها، منجر به افزایش و همگرایی باد و عملکرد مطلوب آسبادهای سیستان شده است. (۳) کانال کوچک به گونه‌ای طراحی شده که باعث تمرکز باد و افزایش قدرت باد بر روی پره‌ها شود و این مسئله علاوه بر امکان کنترل باد و عملکرد بهینه آسباد، منجر به افزایش هر چه بیشتر راندمان آسباد شده است (Gholami et al., 2017). آقاجانی (۱۳۹۷) در تحقیقی به ارائه مدل مدیریت آنالیز تولید انرژی برق از مزارع بادی با استفاده از سیستم WEB GISپرداخت. هدف این تحقیق ایجاد یک سیستم مناسب برای مدیریت تولید و مصرف از توربین‌های بادی برای مزارع بادی مختلف با یک رویکرد مدیریت یکپارچه است. پایگاه داده ایجاد شده در سیستم WEB GIS به تصمیم‌گیرندگان از راه‌های مختلفی از جمله سیاست‌های مربوط به توسعه مزارع بادی در دیگر مکان‌های مناسب کمک می‌کند (Aghajani, 2018). بایکازکان[1] و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به توسعه مدل جدید انتخاب انرژی‌های تجدیدپذیر برای اهداف توسعه پایدار سازمان ملل پرداختند. آنها ضمن تأکید بر اینکه توسعه پایدار نیازمند تلاشی فراگیر برای ایجاد آینده‌ای پایدار و جامع برای محیط‌زیست و جامعه بشر بوده و همچنین این هدف مستلزم برقراری هماهنگی میان سه عنصر اصلی پایداری (شامل: حمایت از محیط‌زیست، شمول اجتماعی و رشد اقتصادی) است؛ یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره یکپارچه جدید برای رتبه‌بندی آلترناتیوهای انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از تکنیک‌های AHP و COPRAS ارائه کردند (Büyüközkan et al., 2018). مرادی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با بهره‌مندی از روش‌های AHP و GIS به ایجاد

[1] Büyüközkan

یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مکان‌یابی و انتخاب سایت مزرعه بادی و تحلیل حساسیت مزارع بادی در استان البرز پرداختند. در این تحقیق روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و معیار انتخاب مکان برای ارزیابی منابع بادی با استفاده از ArcGIS برای منطقه مورد مطالعه توصیف و توسعه داده شد. در گام اول معیارهای ساختاری، توپوگرافی و اکولوژیکی به همراه زیرمعیارهای آنها برای حذف مکان‌های نامناسب هدایت شدند. این روش، شیب زمین، سرعت باد، فاصله از شبکه برق، فاصله از پست‌ها، فاصله از مناطق شهری و فاصله از بزرگراه و جاده‌ها را به عنوان معیارهای AHP در نظر می‌گیرد. نتایج مطالعه نشان می دهد که ۲۰ درصد از مساحت منطقه برای توسعه نیروگاه بادی مناسب است. منطقه جنوب شرق استان شامل کرج و شهرستان نظرآباد اولویت‌ترین بخش استان البرز است (Moradi et al., 2020). وو[1] و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به توسعه چارچوب تصمیم‌گیری برای انتخاب سایت نیروگاه بادی دریایی با استفاده از روش PROMETHEE تحت محیط فازی شهودی در چین پرداختند. آنها با بهره‌مندی از روش‌هایANP و PROMETHEE در یک بستر فازی به مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی پرداختند که در آن از اعداد فازی شهودی مثلثی برای از بین بردن عدم قطعیت‌ها استفاده شده و توابع ترجیحی در روش PROMETHEE به صورت عملی اعمال شده و گزینه‌های بهینه را رتبه‌بندی می‌کنند (Wu et al., 2020). تفرج‌خواه و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی به توسعه مدیریت منابع انسانی پایدار در صنعت برق پرداختند. پژوهش آنها در چارچوب یک رویکرد کیفی و با بهره‌مندی از روش داده‌بنیاد انجام گرفت. در طی این پژوهش آنها دو مفهوم «رونق مولّدهای انرژی‌های نو در کشور و استفاده از منابع تجدیدپذیر به‌منظور توسعه پایدار ایران» و «تأمین منابع مالی و تنوع‌بخشی به سبد سرمایه‌گذاری برای تولید برق پاک» را به‌ترتیب به عنوان دو کد باز چشم‌انداز و هدف، در راستای نظام ارزشی و مدیریتی سازمان و جامعه (کد محوری) و در قالب شرایط علّی (کد انتخاب) احصاء کردند. در همین راستا مفهوم «قابلیت‌های کارآفرینی سبز» به عنوان یک کد باز «منابع انسانی بعنوان عوامل ایجادکننده مزیت رقابتی»، در راستای ضرورت حفظ و توسعه منابع انسانی (کد محوری) و همچنین مفهوم «الزام به رعایت قوانین و استانداردهای زیست‌محیطی در رویه‌های تولید و انتشار آلایندگی» به عنوان یک کد باز «مسئولیت قانونی»، در راستای مسئولیت قانونی (کد محوری) هر دو در قالب شرایط علّی (کد انتخاب) احصاء شد. همچنین آنها مفهوم «بکارگیری روش‌های تولید پاک بطور همزمان در محل مولّدهای تولید الکتریسیته فسیلی» را به عنوان یک کد باز زیست‌محیطی، در راستای عملکرد برتر زیست‌محیطی (کد محوری) و در قالب پیامد (کد انتخاب) احصاء نمودند (Tafarrojkhah et al., 2021).

روش پژوهش

در این تحقیق برای به دست آوردن سلسله مراتب AHP، از روش توصیفی-میدانی استفاده و داده‌های مورد نظر در راستای طراحی مدل و سطوح مختلف درخت AHP، گردآوری و بر این اساس فرآیند وزن‌دهی انجام گردید. همچنین، در ادامه از روش TOPSIS برای انتخاب برترین گزینه استفاده شد.

[1] Wu

روش و ابزار گردآوری داده‌ها

در تحقیق حاضر به‌منظور احصای عوامل مهم در ارزیابی یک فناوری توربین بادی با توجه به اصول مدیریت توسعه پایدار، پس از انجام مطالعات کتابخوانه‌ای گسترده از روش مصاحبه با خبرگان استفاده شد. در همین راستا، برای دستیابی به معیارها و زیرمعیارها، مصاحبه‌های متعددی انجام شد. همچنین، پرسشنامه محقق ساخته‌ای در این زمینه تهیه و در بین دست‌اندرکاران صنعت توربین بادی توزیع گردید؛ که درنهایت معیارها (به تعداد پنج معیار) و زیرمعیارهای (به تعداد ۳۱ زیرمعیار) مورد توافق آنها احصا گردید. به عنوان گزینه‌های تصمیم نیز، بر اساس شرایط موجود کشور، پنج شرکت بین‌المللی فروشنده توربین بادی برای مزارع بادی شناسایی گردید.

روایی و پایایی

پس از شناسایی معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری و تهیه پرسشنامه، با مراجعه به اعضای جامعه آماری تحقیق و مدنظر قرار دادن تکنیک‌های توزیع پرسش‌نامه و نیز اجرای مصاحبه، نسبت به جمع‌آوری قضاوت‌های پاسخ‌دهندگان منتخب درباره میزان اهمیت و اولویت شاخص‌ها و انجام مقایسه زوجی توسط آنها اقدام گردید. از آنجایی که پرسشنامه‌های تحقیق، در واقع پرسشنامه‌هایی تخصصی با هدف اولویت‌بندی و احصای قضاوت‌های دوبه‌دو و زوجی خبرگان مدنظر بوده؛ از اینرو احتیاجی به اجرای آزمون روایی ندارد (Mahmoudi, 2015). این امر به این دلیل است که تحقیق حاضر در واقع بدنبال اندازه‌گیری (مقایسه‌های زوجی) از تمام دست‌اندرکارانی است که در فرآیند انتخاب و بهره‌برداری از توربین بادی برای مزارع بادی نقش دارند. البته پایایی این پرسش‌نامه‌ها بر اساس نتایج حاصل از آلفای کرونباخ مطلوب ارزیابی شد.

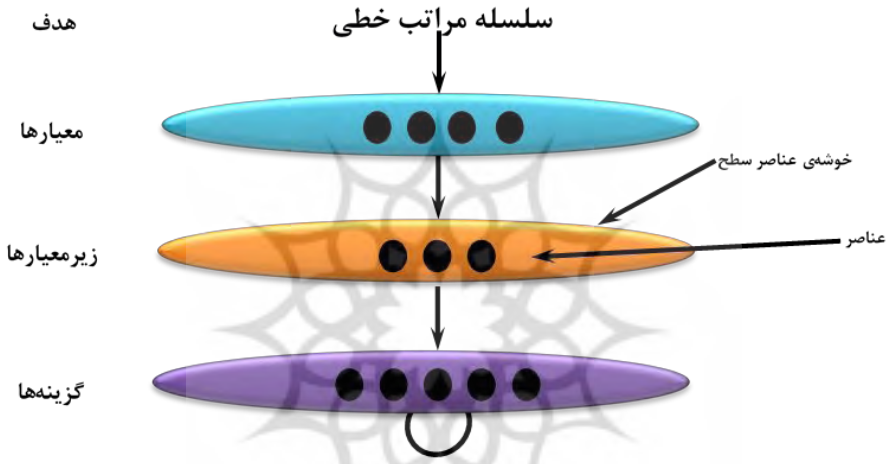
جامعه و نمونه و روش نمونه‌گیری

جامعه آماری این تحقیق مرکب از خبرگان این حوزه صنعتی در سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) و نیز نمایندگان سایر ذی‌نفان این صنعت بود. به منظور تعیین حجم نمونه آماری برای فاز اول تحقیق (احصای معیارها و زیرمعیارها) از شاخص اشباع نظری استفاده شد و در این راستا قریب به ۱۵ مصاحبه با ۱۰ نفر از خبرگان منتخب صورت گرفت و در نهایت با تهیه پرسشنامه محقق ساخته‌ای در این زمینه و توزیع آن در بین جامعه نمونه، معیارها (به تعداد پنج معیار) و زیرمعیارهای (به تعداد ۳۱ زیرمعیار) مورد توافق آنها احصاء گردید. البته برای تکمیل پرسش‌نامه AHP از نمونه آماری گسترده‌تری (به اندازه ۳۰ نفر) استفاده شد.

روش و ابزار تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

روش AHP، یکی از روش‌های قدرتمند حل مسائل MADM، است که از مبنای نظری قوی برخوردار است (Alizadeh Goodarzi, 2011). این روش زمینه فرمول‌بندی مسئله به صورت سلسله‌مراتبی و نیز زمینه لحاظ کردن توأمان معیارهای کیفی و کمّی را ممکن می‌کند. این روش گزینه‌های متعدد را در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری اِعمال

کرده و زمینه انجام تحلیل حساسیت را درخصوص معیارها و زیرمعیارها فراهم می‌کند (Fahimi, 2010). از سوی دیگر، یکی دیگر از روش‌های MADM، روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) است که دارای کاربردهای فراوان در مسائل تصمیم‌گیری می‌باشد. در این روش، نخست یک جواب ایده‌آل و یک جواب ضدایده‌آل از مسئله محاسبه و سپس فاصله گزینه‌های تصمیم از جواب ایده‌آل مسئله به دست می‌آید و بر این اساس بهترین جواب ممکن برای مسئله MADM حاصل می‌شود. در تحقیق حاضر، پس از احصای عوامل مهم در ارزیابی یک فناوری توربین بادی با توجه به اصول مدیریت توسعه پایدار، از AHP برای وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها و از TOPSIS برای انتخاب برترین گزینه استفاده شد. مراحل استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس شکل شماره ۱ در ادامه توضیح داده شده است.



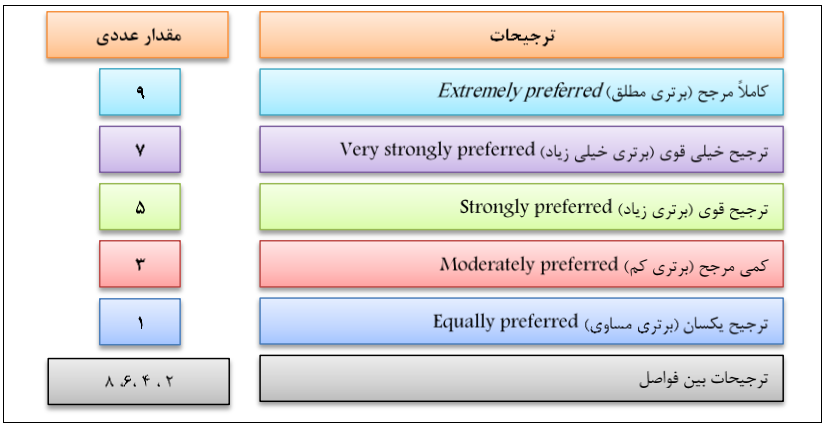
شکل ۱. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

الف: ساختن درخت سلسله‌مراتبی

اولین مرحله در روش AHP، ایجاد یک نمایش درختی از هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها است. مطابق شکل شماره ۱، در اولین سطح این سلسله مراتب، «هدف» قرار گرفته و در سطوح بعدی «معیارها» و «زیرمعیارهای» آن طرح شده و در آخرین سطح نیز «گزینه‌ها» آورده می‌شوند (Rahimi, 2014).

ب: محاسبه اوزان معیارها و زیرمعیارها

دومین مرحله در AHP، محاسبه اوزان معیارها و زیرمعیارها درخت سلسله‌مراتبی است. برای این منظور، عنصر هر سطح نسبت به عنصر یک سطح بالاتر از خود، بصورت دوبه‌دو مقایسه می‌شود. در این مقایسه‌ها، تصمیم‌گیرنده عنوان خواهد نمود که اهمیت عنصر i بر عنصر j معادل با یکی از حالات کمّی مابین عدد ۱ تا عدد ۹ است (Alizadeh Goodarzi, 2011). این قضاوت‌ها که توسط خود آقای ساعتی ارائه شده به صورت شکل شماره ۲ انجام می‌شود.



شکل ۲. درجه اهمیت ترجیحات در AHP

ج: محاسبه اوزان نسبی معیارها و زیرمعیارها: سومین مرحله در روش AHP، محاسبه اوزان نسبی است. در این میان چهار روش معروف محاسبه وزن نسبی عبارتند از:

۱- روش حداقل مربعات معمولی: اگر ماتریس A، ماتریسی سازگار باشد مقدار عددی a[i,j] برابر با Wi/Wj و درصورتیکه ماتریس A، ماتریسی ناسازگار باشد وزن‌ها بصورتی محاسبه می‌شود که مجموع مربعات اختلافات نسبت وزن‌ها و a[i,j] کمینه شود (Fathi, 2016):

$$Min\ (z) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(a_{i,j}w_j - w_i\right)^2$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

$$l = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(a_{i,j}\,w_j - w_i)^2 + 2\gamma\left(\sum_{i=1}^{n} w_i - 1\right)$$

$$\sum_{i=1}^{n}(a_{il}w_l - w_i)a_{il} - \sum_{j=1}^{n}\left(a_{lj}w_j - w_l\right) + \gamma = 0 \qquad l = 1,2,\dots,n$$

$$a_{i,j}\ {}^{w_j}/_{w_i} \neq 1$$

۲- روش حداقل مربعات لگاریتمی: در این روش حاصلضرب اختلافات کمینه می‌شود (Rahimi, 2014):

$$Min\ (z) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(ln\ a_{i,j} - ln({}^{w_i}/_{w_j})\right)^2$$

۳- روش بردار ویژه: (۱) تشکیل ماتریس A؛ (۲) مشخص نمودن ماتریس $(A- \lambda * I)$؛ (۳) محاسبه دترمینان ماتریس فوق، مساوی صفر قرار دادن آن و محاسبه مقادیر λ و (۴) بزرگترین λ را λ_{max} نامیده و آنرا در رابطه $(A \lambda_{max} * I)w=0$ قرار داده و با استفاده از آن وزن‌ها را محاسبه می‌نماییم.

۴- روش‌های تقریبی (نظیر میانگین حسابی): (۱) مقادیر هر یک از ستون‌ها را با هم جمع کنید؛ (۲) هر عنصر را در ماتریس مقایسه زوجی، به جمع ستون خود تقسیم نمایید. به اینصورت ماتریس مقایسه زوجی نرمالیزه (بی‌مقیاس) می‌شود. (۳) میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه را محاسبه شود (Banani, 2020).

ه: محاسبه وزن مطلق معیارها و زیرمعیارها

در این مرحله با استفاده از تلفیق اوزان نسبی، وزن مطلق[1] حاصل می‌شود.

و: محاسبه نرخ سازگاری و ناسازگاری تصمیم

یکی از مزایای روش AHP، کنترل نرخ ناسازگاری تصمیم است. به بیانی دیگر در روش AHP، می‌توان میزان نرخ سازگاری و ناسازگاری تصمیم را محاسبه و نسبت به قابل‌قبول و یا مردود بودن و حتی نسبت به خوب و یا بد بودن تصمیم مدنظر، قضاوت نمود. اگر به ازای یکی از I، J و Kها، رابطه $A[I,K] \times A[K,J] = A[I,J]$، برقرار نباشد ماتریس ناسازگار است. بطور کلی میزان قابل قبول نرخ ناسازگاری تصمیم، بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد. اما آقای ساعتی مقدار ۱/۰ را به عنوان حد قابل‌قبول برای این نرخ، ارائه نمود. ایشان معتقد بود چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از مقدار ۱/۰ باشد بایستی در قضاوت‌ها تجدیدنظر شود (Musaei, 2018). روش محاسبه نرخ ناسازگاری شامل گام‌های ذیل است (Qudsipur, 2000):

۱) ماتریس مقایسه زوجی (ماتریس A) را ایجاد کنید؛

۲) بردار وزن (بردار W) را معین کنید؛

۳) آیا بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی A (یعنی λ_{max}) معلوم است؟ درصورت مثبت بودن پاسخ، به گام چهار بروید. در صورت منفی بودن پاسخ، مقدار λ_{max} را بصورت ذیل تخمین بزنید:

۱) با ضرب بردار W در ماتریس A تخمین مناسبی از λ_{max*W} بدست آورید؛

$$A \times W = \lambda_{max} \times W$$

۲) با تقسیم مقادیر حاصل برای λ_{max*W} بر W مربوطه، تخمین‌هایی از λ_{max} را محاسبه نمایید؛

۳) متوسط λ_{max} های حاصله را پیدا کنید.

۴) مقدار شاخص ناسازگاری را از رابطه مقابل محاسبه نمایید:

$$II = {}^{\lambda_{max} - n}/_{n-1}$$

[1] Global Weight (Overall Priority)

۵) نرخ ناسازگاری را از فرمول مقابل بدست آورید:

$$IR = {}^{II}/_{IIR}$$

مراحل استفاده از روش TOPSIS نیز عبارتند از:

فاز اول: اگر i اندیس آلترناتیوها و j اندیس زیرمعیارها باشد آنگاه با استفاده از رابطه ذیل ماتریس تصمیم را نرمال (بی‌مقیاس) کنید.

$$R_{ij} = {}^{X_{ij}}\Big/\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {X_{ij}}^2} \qquad i = 1, 2, \dots, n \qquad j = 1, 2, \dots, m$$

فاز دوم: بردار وزن زیر معیارها را در ماتریس حاصل از گام یک ضرب کنید.

$$D' = [v_{ij}]_{m\times n} \qquad v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \qquad j = 1, 2, \dots, m$$

فاز سوم: جواب‌های ایده‌آل مثبت (A^*) و ایده‌آل منفی (A^-) را بیابید.

$$A^* = \left\{\left(\max_i v_{ij} \,\middle|\, j\epsilon J^+\right), \left(\min_i v_{ij} \,\middle|\, j\epsilon J^-\right)\right\} \quad i = 1, 2, \dots, n \qquad j = 1, 2, \dots, m$$
$$A^- = \left\{\left(\min_i v_{ij} \,\middle|\, j\epsilon J^+\right), \left(\max_i v_{ij} \,\middle|\, j\epsilon J^-\right)\right\} \quad i = 1, 2, \dots, n \qquad j = 1, 2, \dots, m$$

فاز چهارم: فاصله هر آلترناتیو را از جواب‌های ایده‌آل مثبت (A^*) و ایده‌آل منفی (A^-) بیابید.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - A_j^*\right)^2} \qquad i = 1, 2, \dots, n \qquad j = 1, 2, \dots, m$$
$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - A_j^-\right)^2} \qquad i = 1, 2, \dots, n \qquad j = 1, 2, \dots, m$$

فاز پنجم: معیار زیر را برای هر یک از آلترناتیوها محاسبه کنید:

$$C_i^* = {}^{S_i^-}\Big/\left(S_i^* - S_i^-\right) \qquad i = 1, 2, \dots, n$$

فاز ششم: آلترناتیوها را به ترتیب نزولی مرتب کنید. آلترناتیو با بیشترین C_i^* آلترناتیو ایده‌آل است.

تشریح کلیات روش AHP

فاز اول: اولین مرحله AHP، مدل سازی ا ست. در این مرحله، م سئله و هدف از ت صمیم‌گیری ب صورت سلسله مراتبی از سطوح، شامل عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می‌باشند، بیان می‌شود. در این مقاله برای به دست آوردن

سلسله مراتب AHP، از روش توصیفی-میدانی استفاده شد. به همین منظور داده‌های موردنظر در راستای طراحی مدل و سطوح مختلف درخت AHP، گردآوری و بر این اساس فرآیند اولویت‌بندی حاصل شد. این ساختار از سطوح اهداف، معیارها و زیرمعیارها تشکیل شده است:

سطح اول: تعیین هدف: هدف این مقاله، انتخاب توربین بادی مناسب برای یک مزرعه بادی می‌باشد.

سطح دوم: تعیین معیارها و زیرمعیارها: بر اساس مطالعات میدانی انجام شده، عوامل مؤثر بر مدیریت توسعه پایدار با انتخاب توربین بادی مناسب برای یک مزرعه بادی در پنج حوزه کلی (بعنوان عوامل و معیارهای اصلی در تصمیم‌گیری) شناسایی و دسته‌بندی شد. این پنج معیار مهم برای مقایسه تکنولوژی‌ها عبارتند از: «مشخصات و مختصات فنی»، «مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری»، «زمینه‌های فرصت‌ساز»، «مولّدهای هزینه» و «ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز». همچنین در مرحله بعد زیرمعیارهای مرتبط به هر کدام از این معیارها به ترتیب به تعداد ۸، ۷، ۸، ۳ و ۵ و در مجموع ۳۱ زیرمعیار شناسایی و دسته‌بندی شده‌اند. برای دستیابی به این معیارها و زیرمعیارها مصاحبه‌های متعددی انجام شد. همچنین پرسشنامه محقق‌ساخته در این زمینه تهیه و در بین دست‌اندرکاران صنعت توربین بادی توزیع گردید که با تلفیق کلیه موارد مذکور، معیارها و زیرمعیارهای مورد توافق آنها استخراج گردید. این معیارها و زیرمعیارها در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای انتخاب توربین بادی مناسب برای یک مزرعه بادی

معیارها	زیرمعیارها
مشخصات و مختصات فنی (A)	(*A1*): قابلیت تطبیق توربین باد با شرایط باد مزارع بادی ایران (کلاس توربین)
	(*A2*): ضریب ظرفیت توربین به ازای ضرایب ویبول مشخص منحنی توزیع باد
	(*A3*): متوسط ضریب توان (*Coefficient of Power*) اخذ شده از باد
	(*A4*): سرعت‌های نامی، شروع و قطع توربین باد
	(*A5*): ضریب در دسترس‌پذیری فنی و واقعی توربین
	(*A6*): استفاده از جدیدترین تکنولوژی روز دنیا (تجهیزات الکتریکال وکنترلی)
	(*A7*): جنبه زیست‌محیطی (نویز، سایه و نمای توربین)
	(*A8*): حمل و نقل تجهیزات توربین بادی مورد نظر
مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری (B)	(*B1*): زمان تحویل توربین (فاصله زمانی بین سفارش و تحویل محصول)
	(*B2*): سطح فناوری سازنده در تولید توربین بادی
	(*B3*): تنوع محصولات سازنده در زمینه‌ی تولید توربین‌های بادی
	(*B4*): متوسط میزان فروش توربین مورد بررسی در بازارهای جهانی (داخلی و بین‌المللی)
	(*B5*): سابقه جهانی توربین‌ساز در صنعت باد
	(*B6*): تنوع بازارهای در دسترس (تعداد بازارهای هدف)
	(*B7*): سهم توربین‌ساز از بازارهای جهانی
زمینه‌های فرصت‌ساز (C)	(*C1*): سطح مشارکت توربین‌ساز در زنجیره تأمین محصولات (سیستم یکپارچه تولید)
	(*C2*): سطح تکنولوژیکی تأمین‌کنندگان زنجیره تأمین توربین‌ساز
	(*C3*): امکان ساخت قطعات اصلی توربین باد در کشور
	(*C4*): سیستم‌های کنترل کیفیت شش سیگما در تولید قطعات
	(*C5*): انتقال تکنولوژی و میزان همکاری در داخلی‌سازی محصولات

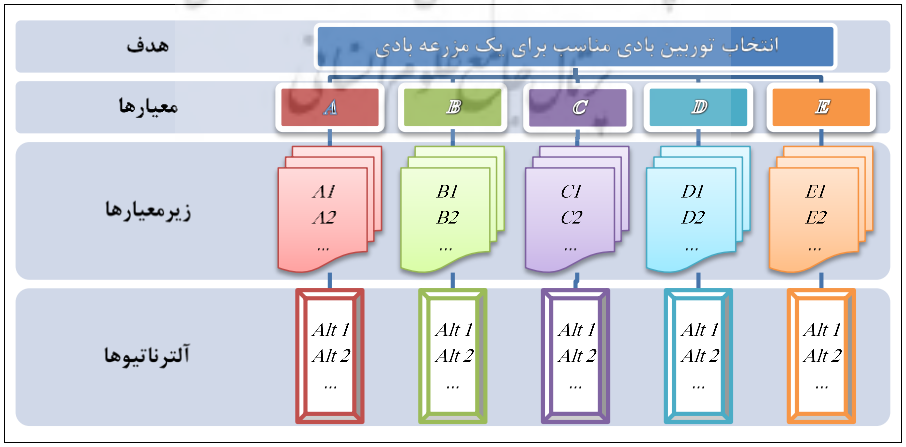
معیارها	زیرمعیارها
	(C6): شرایط پیشنهادی سازنده برای تأمین مالی پروژه (تعداد گزینه‌های انتخابی)
	(C7): قراردادهای گارانتی مربوط به تأمین قطعات و تعمیرات سازنده
	(C8): استفاده از زنجیره تأمین قطعات توربین باد سازنده
مولّدهای هزینه (D)	(D1): هزینه انرژی تولیدی برق توربین برای توسعه‌دهنده (COE)
	(D2): هزینه نصب و مونتاژ توربین در سایت
	(D3): هزینه حمل و نقل توربین از محل تولید تا سایت
ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز (E)	(E1): عدم تحویل توربین
	(E2): عدم تأمین بموقع قطعات توربین باد برای تعویض و تعمیرات
	(E3): مشکلات احتمالی تحریم
	(E4): صورت‌حساب‌های مالی سازنده (مقدار سرمایه‌گذاری، سود ناخالص و ...)
	(E5): معیار ریسک قیمت ارز (دلار، یورو و یوان)

سطح سوم: آلترناتیوهای تصمیم‌گیری: آلترناتیوهای تصمیم‌گیری، شرکت‌های طرف مذاکره فروشنده توربین بادی برای مزارع بادی می‌باشد که به شرح جدول شماره ۲ دسته‌بندی شده است.

جدول ۲. آلترناتیوهای تصمیم (شرکت‌های مذاکره فروشنده توربین بادی برای مزارع بادی)

نماد	آلترناتیوهای تصمیم (شرکت‌های طرف مذاکره فروشنده توربین بادی برای مزارع بادی)
Alt_1	شرکت Dong Fank (DTC/FD87A)
Alt_2	شرکت Wind To Energy (W90)
Alt_3	شرکت Vestas (V80)
Alt_4	شرکت Sinovel Wind (SL1500)
Alt_5	شرکت Suzlon (S82)

با اجرای گام‌های مورد بحث در بخش‌های قبل، سلسله مراتب مسئله تعیین گردید (شکل شماره ۳).



شکل ۳. درخت سلسله مراتب تصمیم

فاز دوم: دومین مرحله در روش AHP، انجام مقایسه‌های زوجی می‌باشد. در این گام تصمیم‌گیر(ندگان) می‌بایستی مجموعه‌ای از ماتریس‌ها که درایه‌های آن به شکل عددی (اعداد ۱ تا ۹)، ارجحیت یا اهمیت عناصر هر سطح را نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر نمایش می‌دهد، تکمیل نماید. در این روش مقایسه دوتایی‌ها به کمک روش تسلط صورت می‌گیرد. در روش تسلط، دو آلترناتیو هر کدام با یکدیگر مقایسه می‌شوند و هر کدام که بر دیگری برتری (تسلط) داشته باشد انتخاب می‌شود. در این قبیل مقایسه‌ها، هر یک از تصمیم‌گیرندگان قضاوت‌هایی به عمل می‌آورند، بطوریکه اگر از منظر هر یک از آنها، عنصر i با عنصر j مقایسه شود عنوان خواهد نمود که اهمیت عنصر i بر عنصر j بصورت یکی از حالت‌های مطرح‌شده در جدول (۳) است.

جدول ۳. روش انجام مقایسه‌های زوجی (دوتایی) در روش AHP

نتیجه قضاوت درخصوص میزان اولویت	اختصاص اولویت در قالب عدد و رقم
برتری مطلق	۹
برتری خیلی زیاد	۷
برتری زیاد	۵
برتری کم	۳
برتری مساوی	۱

فاز سوم: فاز سوم در روش AHP، اجرای محاسبات برای تعیین اولویت (وزن نسبی) هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات حاصل از ماتریس‌های مقایسات زوجی است. برای محاسبه اوزان نسبی، روش‌های متعددی وجود دارد که از معروف‌ترین آنها می‌توان به روش حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه، حداقل مربعات، و نیز روش‌های تقریبی اشاره نمود (Yazdani byuki, 2015). در این مقاله برای محاسبه اوزان نسبی، از یکی از روش‌های تقریبی (روش میانگین حسابی) استفاده شد. این روش شامل سه گام ذیل است:

گام اول: جمع کردن مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس تصمیم؛

گام دوم: نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم (از طریق تقسیم هر عنصر در ماتریس مقایسات زوجی بر حاصل جمع ستون خود- ماتریس‌های حاصله در این گام را ماتریس‌های ترکیبی نیز می‌نامند)؛

گام سوم: محاسبه مقدار میانگین عناصر هر سطر از ماتریس نرمالیزه‌شده (مقادیر حاصله که در واقع میانگین وزن نسبی است نماینگر بردار اولویت عناصر مورد نظر است).

فاز چهارم: آخرین مرحله در AHP، انتخاب گزینه برتر ا ست. در این مرحله برای رتبه‌بندی گزینه‌های ت صمیم و همچنین تعیین گزینه برتر، اوزان نسبی در هم تلفیق می‌شوند. از آنجایی‌که وزن شاخص‌ها بیانگر اهمیت آنها در تعیین هدف تصمیم‌گیری بوده و وزن هر گزینه تصمیم نسبت به شاخص‌ها، سهم آن گزینه تصمیم در شاخص

مربوطه است؛ از اینرو می‌توان گفت که وزن نهایی هر گزینه تصمیم، از مجموع حاصلضرب وزن هر شاخص در وزن گزینه مربوطه حاصل می‌شود (Yazdani byuki, 2015).

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از تکنیک AHP

پس از شناسایی معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری و تهیه پرسشنامه، با مراجعه به اعضای جامعه آماری تحقیق و مدنظر قرار دادن تکنیک‌های توزیع پرسش‌نامه و نیز اجرای مصاحبه، نسبت به جمع‌آوری قضاوت‌های پاسخ‌دهندگان منتخب درباره میزان اهمیت و اولویت شاخص‌ها و انجام مقایسه زوجی توسط آنها اقدام گردید. از آنجایی که پرسشنامه‌های تحقیق، در واقع پرسشنامه‌هایی تخصصی با هدف اولویت‌بندی و احصای قضاوت‌های دوبه‌دو و زوجی خبرگان مدنظر بوده؛ از اینرو احتیاجی به اجرای آزمون روایی ندارد (Mahmoudi, 2015). این امر به این دلیل است که این تحقیق در واقع بدنبال اندازه‌گیری (مقایسه‌های زوجی) از تمام دست‌اندرکارانی است که در فرآیند انتخاب و بهره‌برداری از توربین بادی برای مزارع بادی نقش دارند.

نتایج حاصل از این پرسشنامه‌ها در جداول آتی ارائه شده است. از آنجایی که در تحقیق حاضر قضاوت در مورد معیارها بستگی به گزینه‌های مورد بررسی دارد، لذا روند قضاوت از پایین به بالا انجام شده است. به عبارتی ساده‌تر ابتدا زیرمعیارها با معیارها مقایسه شده و سپس معیارها نسبت به هدف[1] مقایسه شده است.

با توجه به اینکه روش تحلیل داده‌ها بر اساس روش AHP است، نخست مقادیر ناسازگاری مقایسه‌های زوجی پاسخ‌دهندگان مورد پایش قرار گرفت؛ سپس با اطمینان از میزان ناسازگاری قابل قبول (مقادیر کمتر از عدد ۰/۱) ماتریس مقایسه‌های زوجی تحقیق احصا شد. نتایج حاصل از حل مدل به ترتیب در جداول زیر آمده است.

جدول ۴. وزن نسبی معیارهای تصمیم (سطح دوم نمودار سلسله مراتب مسئله)

معیارهای تصمیم	وزن نسبی حاصله
زمینه‌های فرصت‌ساز	۰,۵۳
مولّدهای هزینه	۰,۲۲
مشخصات و مختصات فنی	۰,۱۲
مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری	۰,۰۷
ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز	۰,۰۶

در جدول شماره (۴) مشاهده می‌شود که از بین معیارهای پنج‌گانه تصمیم‌گیری، جهت انتخاب توربین بادی مناسب برای مزارع بادی، معیارهای از سنخ «زمینه‌های فرصت‌ساز» و «مولّدهای هزینه» دارای بالاترین اهمیت بوده و معیارهای

[1] Goal

از سنخ «ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز» از کمترین اهمیت برخوردار است. در ادامه وزن نسبی زیرمعیارها (خروجی روش AHP) بصورت مقادیر جدول (۵) به دست آمد.

جدول ۵. وزن نسبی زیر معیارهای تصمیم (سطح سوم نمودار سلسله مراتب مسئله)

معیارها	زیرمعیارها	وزن اکتسابی (بصورت نزولی)
مشخصات و مختصات فنی (A)	(*A2*) ضریب ظرفیت توربین به ازای ضرایب ویبول مشخص منحنی توزیع باد	۰,۳۳
	(*A3*) متوسط ضریب توان (*Coefficient of Power*) اخذ شده از باد	۰,۲۳
	(*A5*) ضریب در دسترس‌پذیری فنی و واقعی توربین	۰,۱۵
	(*A1*) قابلیت تطبیق توربین باد با شرایط باد مزارع بادی ایران (کلاس توربین)	۰,۱۴
	(*A6*) استفاده از جدیدترین تکنولوژی روز دنیا (تجهیزات الکتریکال و کنترلی)	۰,۰۷
	(*A4*) سرعت‌های نامی، شروع و قطع توربین باد	۰,۰۴
	(*A8*) حمل‌ونقل تجهیزات توربین بادی مورد نظر	۰,۰۳
	(*A7*) جنبه زیست‌محیطی (نویز، سایه و نمای توربین)	۰,۰۱
مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری (B)	(*B2*) سطح فناوری سازنده در تولید توربین بادی	۰,۳۶
	(*B1*) زمان تحویل توربین (فاصله زمانی بین سفارش و تحویل محصول)	۰,۱۸
	(*B5*) سابقه جهانی توربین‌ساز در صنعت باد	۰,۱۶
	(*B4*) متوسط میزان فروش توربین مورد بررسی در بازارهای جهانی (داخلی و بین‌المللی)	۰,۱۰
	(*B7*) سهم توربین‌ساز از بازارهای جهانی	۰,۱۰
	(*B6*) تنوع بازارهای در دسترس (تعداد بازارهای هدف)	۰,۰۷
	(*B3*) تنوع محصولات سازنده در زمینه‌ی تولید توربین‌های بادی	۰,۰۳
زمینه‌های فرصت‌ساز (C)	(*C5*) انتقال تکنولوژی و میزان همکاری در داخلی سازی محصولات	۰,۲۱
	(*C7*) قراردادهای گارانتی مربوط به تأمین قطعات و تعمیرات سازنده	۰,۲۱
	(*C8*) استفاده از زنجیره تأمین قطعات توربین باد سازنده	۰,۱۹
	(*C3*) امکان ساخت قطعات اصلی توربین باد در کشور	۰,۱۵
	(*C6*) شرایط پیشنهادی سازنده برای تأمین مالی پروژه (تعداد گزینه‌های انتخابی)	۰,۰۸
	(*C1*) سطح مشارکت توربین‌ساز در زنجیره تأمین محصولات (سیستم یکپارچه تولید)	۰,۰۷
	(*C2*) سطح تکنولوژیکی تأمین‌کنندگان زنجیره تأمین توربین‌ساز	۰,۰۵
	(*C4*) سیستم‌های کنترل کیفیت شش سیگما در تولید قطعات	۰,۰۴
مولّدهای هزینه (D)	(*D1*) هزینه انرژی تولیدی برق توربین برای توسعه‌دهنده (*COE*)	۰,۷۸
	(*D2*) هزینه نصب و مونتاژ توربین در سایت	۰,۱۱
	(*D3*) هزینه حمل و نقل توربین از محل تولید تا سایت	۰,۱۱
ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز (E)	(*E3*) مشکلات احتمالی تحریم	۰,۵۲
	(*E5*) معیار ریسک قیمت ارز (دلار، یورو و یوان)	۰,۳۱
	(*E2*) عدم تأمین به موقع قطعات توربین باد برای تعویض و تعمیرات	۰,۰۹
	(*E4*) صورت‌حساب‌های مالی سازنده (مقدار سرمایه گذاری، سود ناخالص و غیره)	۰,۰۵
	(*E1*) عدم تحویل توربین	۰,۰۲

نتایج حاصل از تکنیک TOPSIS

فاز اول: همانطور که در الگوریتم تکنیک TOPSIS نیز بیان شد در گام اول این تکنیک بایستی ماتریس تصمیم مسئله[1] را معین کنیم. جداول ذیل ماتریس تصمیم مسئله (ورودی روش TOPSIS) را نشان می‌دهند.

جدول ۶. ماتریس تصمیم مسئله (ورودی تکنیک TOPSIS)

نام زیرمعیار	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
اهمیت نسبی قبل از اعمال وزن معیار	14%	33%	23%	4%	15%	7%	1%	3%	18%	36%	3%	10%	16%	7%	10%
اهمیت نسبی بعد از اعمال وزن معیار	0.0159	0.0387	0.0266	0.0047	0.0178	0.0077	0.0012	0.0036	0.0125	0.0248	0.0021	0.0068	0.0107	0.0051	0.0070
Alt 1: Dong Fank (DTC/FD87A)	92.0	58.9	50.0	95.0	89.0	89.0	106.0	80.0	81.0	85.0	2.0	6.0	80.0	2.0	6.0
Alt 2: Wind To Energy (W90)	94.0	45.0	42.0	94.0	91.0	94.0	104.0	81.0	79.0	90.0	4.0	2.0	81.0	5.0	2.0
Alt 3: Vestas (V80)	98.0	55.8	46.0	93.0	94.0	96.0	103.0	84.0	90.0	95.0	8.0	16.0	96.0	25.0	16.0
Alt 4: Sinovel Wind (SL1500)	93.0	58.6	45.0	94.0	90.0	90.0	105.0	85.0	82.0	87.0	3.0	11.0	85.0	3.0	11.0
Alt 5: Suzlon (S82)	96.0	53.1	44.0	92.0	92.0	93.0	103.5	82.0	84.0	92.0	3.0	7.0	90.0	15.0	7.0

ادامه جدول ۶. ماتریس تصمیم مسئله (ورودی تکنیک *TOPSIS*)

نام زیرمعیار	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	E1	E2	E3	E4	E5
اهمیت نسبی قبل از اعمال وزن معیار	7%	5%	15%	4%	21%	8%	21%	19%	78%	11%	11%	2%	9%	52%	5%	31%
اهمیت نسبی بعد از اعمال وزن معیار	0.0360	0.0275	0.0815	0.0229	0.1105	0.0430	0.1104	0.1027	0.1695	0.0242	0.0242	0.0013	0.0052	0.0307	0.0029	0.0185
Alt 1: Dong Fank (DTC/FD87A)	76.0	79.0	78.0	76.0	86.0	88.0	81.0	85.0	73.0	83.0	74.0	80.0	73.0	64.0	74.0	50.0
Alt 2: Wind To Energy (W90)	70.0	84.0	73.0	85.0	84.0	80.0	85.0	82.0	86.0	85.0	81.0	86.0	76.0	68.0	72.0	62.0
Alt 3: Vestas (V80)	75.0	90.0	70.0	86.0	80.0	83.0	86.0	80.0	90.0	86.0	80.0	84.0	80.0	70.0	75.0	60.0
Alt 4: Sinovel Wind (SL1500)	82.0	80.0	76.0	79.0	89.0	88.0	82.0	84.0	75.0	82.0	75.0	80.0	74.0	62.0	74.0	50.0
Alt 5: Suzlon (S82)	90.0	82.0	64.0	83.0	75.0	86.0	84.0	79.0	85.0	84.0	78.0	82.0	78.0	76.0	70.0	57.0

[1] Decision Matrix

فاز دوم و سوم: پس از بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم، بردار وزن زیر معیارها را در ماتریس حاصل ضرب می‌کنیم. سپس جواب‌های ایده‌آل مثبت (A^*) و ایده‌آل منفی (A^-) را محاسبه می‌کنیم. معیارهای مشخصات و مختصات فنی، مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری و زمینه‌های فرصت ساز عوامل مثبت برای انتخاب توربین بشمار می‌روند در حالیکه معیارهای مولّدهای هزینه و ریسک‌ها و زمینه‌های خطر ساز از عوامل منفی می‌باشند. برای مثال اگر بخواهیم دو تکنولوژی را با هم مقایسه کنیم، توربینی که هزینه بالاتری داشته باشد در اولویت پایین‌تری نسبت به توربینی قرار دارد که هزینه پایین‌تری دارد. بنابراین واضح است که در انتخاب تصمیم درست، هرچه وزن معیارهای مولّدهای هزینه و ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز کمتر باشد و در عوض وزن معیارهای مشخصات و مختصات فنی، مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری و زمینه‌های فرصت‌ساز بیشتر باشد آن فناوری گزینه مناسب‌تری برای انتخاب می‌باشد.

فاز چهارم: فاصله هر آلترناتیو را از جواب‌های ایده‌آل مثبت (A^*) و ایده‌آل منفی (A^-) را محاسبه می‌کنیم.

$S_1^* = 0.008062126$ $S_1^- = 0.019809509$

$S_2^* = 0.016332192$ $S_2^- = 0.008756958$

$S_3^* = 0.017827916$ $S_3^- = 0.010358227$

$S_4^* = 0.006327137$ $S_4^- = 0.019068068$

$S_5^* = 0.017107151$ $S_5^- = 0.007938943$

گام پنجم: معیار C_i^* را برای هر یک از آلترناتیوها محاسبه می‌کنیم:

C1 = 0.710740834

C2 = 0.349033676

C3 = 0.367493595

C4 = 0.750853092

C5 = 0.316973283

فاز ششم: آلترناتیوها را به ترتیب نزولی مرتب کنید. آلترناتیو با بیشترین C_i^* آلترناتیو ایده‌آل است.

جدول ۷. رتبه‌بندی آلترناتیوها بر اساس خروجی تکنیک TOPSIS

مقدار	آلترناتیو (گزینه) متناظر
C4 = 0.750853092	*Alt 4: Sinovel Wind (SL1500)*
C1 = 0.710740834	*Alt1: Dong Fank (DTC/FD87A)*
C3 = 0.367493595	*Alt 3: Vestas (V80)*
C2 = 0.349033676	*Alt 2: Wind To Energy (W90)*
C5 = 0.316973283	*Alt 5: Suzlon (S82)*

بر این اساس آلترناتیو Sinovel Wind بعنوان Best Alternative معرفی می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

در دوران مدرن کنونی و همچنین آینده جوامع، اهمیت انرژی برق در توسعه صنعتی پایدار کشورها و استفاده از انرژی‌های پاک (نظیر انرژی باد) در تولید این انرژی بر همگان واضح و مبرهن است. در این مقاله که بر اساس مطالعه‌ای موردی که در سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) صورت گرفت، تلاش گردید تا با توجه به دخالت عوامل متعدد مثبت و منفی در فرآیند ارزیابی و انتخاب توربین‌های بادی برای مزارع بادی کشور، از رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شود. برای این منظور بر اساس نتایج حاصل از مرور ادبیات تحقیق و نیز مصاحبه‌های مختلف با خبرگان موضوع، کلیه عوامل و معیارهای برتری‌ساز یک فناوری توربین بادی در پنج دسته کلی احصاء و دسته‌بندی شد. این پنج معیار مهم برای مقایسه و ارزیابی تکنولوژی‌های روزآمد دنیا در حوزه توربین‌های بادی عبارتند از: «مشخصات و مختصات فنی»، «مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری»، «زمینه‌های فرصت‌ساز»، «مولّدهای هزینه» و «ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز». در این میان سه معیار «مشخصات و مختصات فنی»، «مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری» و «زمینه‌های فرصت‌ساز» از جمله عوامل مثبت در ارزیابی و انتخاب فناوری توربین‌های بادی محسوب می‌شوند؛ درحالیکه دو معیار «مولّدهای هزینه» و «ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز» از جمله عوامل منفی در ارزیابی و انتخاب فناوری توربین‌های بادی هستند. بنابراین واضح است که در ارزیابی و انتخاب تصمیم درست، هرچه وزن معیارهای «مولّدهای هزینه» و «ریسک‌ها و زمینه‌های خطرساز» کمتر و وزن معیارهای «مشخصات و مختصات فنی»، «مشخصات سازنده (تأمین‌کننده) فناوری» و «زمینه‌های فرصت‌ساز» بیشتر باشد آن فناوری گزینه مناسب‌تری برای انتخاب می‌باشد. در این مقاله پس از شناخت و ارزیابی معیارها (به تعداد پنج معیار) و زیرمعیارهای (به تعداد ۳۱ زیرمعیار تابع) مهم در ارزیابی و انتخاب یک فناوری توربین بادی، از روش AHP برای وزن‌دهی به هر یک از این معیارها استفاده شد. در ادامه از روش TOPSIS برای انتخاب برترین گزینه از میان پنج شرکت بین‌المللی فروشنده توربین بادی برای مزارع بادی شامل کمپانی‌های سینوول (Sinovel Wind- SL1500) چین، دانگ‌فنگ (Dong Fank- DTC/FD87A) چین، وستاس (Vestas- V80) دانمارک، وایند تو انرجی (Wind to Energy- V90) آلمان و سوزلون (Suzlon- S82) هندوستان استفاده شد. بر اساس نتایج و با توجه به جمیع جهات معیارهای بعضاً متقابل، درنهایت شرکت بین‌المللی Sinovel Wind چین بعنوان برترین گزینه برای انتخاب یک پیمانکار تأمین‌کننده فناوری توربین بادی، شناسایی شد.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان به نسبت سهم برابر در این پژوهش مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

1) Aghajani, D. (2018). Provide management model for analysis of electricity generation from wind farms using WEB GIS system. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*. https://doi.org/10.22034/jest.2018.10782.1932 (In Persian)

2) Aghajani, H., Fattahi Moghaddam, M., Akbari, H., & Fattahi, R. (2015). Location of wind turbines based on environmental spatial assessment (Case study: Khorasan Razavi province). *Iran Energy*, *18*(1). (In Persian)

3) Alizadeh Goodarzi, H. (2011). *Development of methods for identifying, evaluating and prioritizing accident hotspots based on multi-criteria decision-making methods.* Semnan University]. (In Persian)

4) Azari, A., Zarei, Z., & Hajibabaei, Z. (2016). Wind power measurement for sustainable energy development in Hamadan province. *Geography and Environmental Sustainability (Geographical Research Journal)*, *6*(19), 99-116. (In Persian)

5) Banani, F. (2020). *Location of municipal solid waste landfill by fuzzy logic and hierarchical analysis (Case study: Pardis New City)*. Payame Noor University of Tehran Province]. Payame Noor Center of East Tehran. (In Persian)

6) Büyüközkan, G., Karabulut, Y., & Mukul, E. (2018). A novel renewable energy selection model for United Nations' sustainable development goals. *Energy*, *165*, 290-302.

7) Dewan, S., & Min, C. (2000). The substIT ution of information technology for other factors of production: A firm level analysis. . *Management Science*, *43*(12), 1660-1675.

8) Fahimi, F. (2010). *Evaluating the performance of the battery industry in Khorasan Razavi province using a balanced scorecard framework and fuzzy hierarchical analysis process.* Ferdowsi University]. Mashhad. (In Persian)

9) Fathi, M. (2016). *Evaluating the performance of mosque imams using hierarchical analysis method (Case study: Shiraz mosques).* Imam Reza University]. (In Persian)

10) Ghamkhoori, S. M., & Ebadi, T. (2016). *Prioritization of Business Process Management Models Using Evidence Algorithm* Sixth National Conference on New Research in Humanities, Economics and Accounting, Tehran. https://civilica.com/doc/1221867/ (In Prsian)

11) Ghazizadeh, M., Safari, S., Mohammadi, A., & Samizadeh, M. (2016). Comparison of brokerage rankings based on relational marketing indicators and stock exchange organization rankings (combined RM and fuzzy MADM approach). Financial Engineering and Securities Management (Portfolio Management). *7*(29), 45-65.

12) Gholami, G. H., Kavian, M., & Rezazadeh, N. (2017). Wind Sistans of Sistan, a study of sustainable architectural experiences of windy plains with emphasis on the analysis of physical components of Asbad No. 2 Machi "Qala Che Rais". *Housing and Rural Environment*, *36*(159), 3-18. (In Persian)

13) IEA. (2020). *Renewable energy market update: outlook for2020 and 2021*. Published by International Energy Agevcy

14) Jalalvand, M., Bakhoda, H., & Almasi, M. (2014). Potential assessment of the possibility of using wind energy for electric agricultural pumps in Boroujerd region. *Agricultural Machinery*, *4*(2), 368-377. (In Persian)

15) Ketabi, S., Ansari, M. I., & Taheri Naseri, M. (2005). Selecting the appropriate marketing mix using AHP technique with strategic marketing planning approach (Case study: Marjan Tile Company). *Journal of the Faculty of Administrative Sciences and Economics*, *17*(1). (In Persian)

16) Khakpour, B. (2014). *The role of land in housing planning.* First National Conference on Urban Planning, Urban Management and Sustainable Development., (In Persian)

17) Khakpour, B., Ramezani, M., & Javanshir, M. (2013). *Challenges of tourism management with ecotourism approach and sustainable development in Iran.* The first national conference on tourism management, nature tourism and geography of Hamedan,

18) Liu, K. M., Lin, S. H., Hsieh, J. C., & Tzeng, G. H. (2018). Improving the food waste composting facilities site selection for sustainable development using a hybrid modified MADM model. *Waste Management*, *75*, 44-59.

19) Mahmoudi, S. (2015). *Providing a marketing model for non-wood products of West Azerbaijan province based on marketing mix.* Urmia University]. (In Persian)

20) Moradi, S., Yousefi, H., Noorollahi, Y., & Rosso, D. (2020). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. *Energy Strategy Reviews*, *29*.

21) Musaei, M. (2018). *Investigation of Sarab plain aquifer vulnerability using optimized drastic model* University of Tabriz]. Tabriz. (In Persian)

22) Naranji Azar, A. (2015). *Investigating Behavioral Bias in Investors' Decisions with Emphasis on the Role of Investment Experience: A Case Study of Tabriz Regional Hall* 2nd International Conference on Industrial Management and Engineering,

23) Omidi, A., Alimardani, R., & Khanali, M. (2019). Potential assessment and study of wind energy properties and parameters, case study: Dehloran city. *Agricultural Machinery*, *9*(17), 195-208. (In Persian)

24) Qasemi, Y. (2008). Assessing how to manage development in Iran. *Social Science Letters*, *16*(33), 163-185. (In Persian)

25) Qudsipur, H. (2000). *Hierarchical Analysis Process*. Amirkabir University of Technology Publishing Center, Tehran. (In Persian)

26) Rahimi, A. (2014). *Applying fuzzy network analysis process model to evaluate cosmetics suppliers in Tehran province.* Islamic Azad University, Central Tehran Branch]. Tehran. (In Persian)

27) Rahimi, A. R., & Saghafi, M. (2006). Technical and economic evaluation of the construction of small wind turbines in Boroujerd. *Environmental Science and Technology*, *8*, 79-91. (In Persian)

28) Rahmani, S., & Safdari Ranjbar, M. (2020). Internalization of opportunity windows with the aim of technological synergy based on sustainable transition: wind turbines in Iran. *Innovation Management*, *9*(4), 7-34. (In Persian)

29) Razmi, S. M. J., Fallahi, M. A., Sedighi, S., & Montazeri, S. (2012). *Economic and social factors affecting sustainable development with emphasis on governance indicators in oil exporting countries in the period 1996-1998.* The first national conference on strategies for achieving sustainable development., (In Persian)

30) Sadeqi, Z., Dalalbashi Esfahani, Z., & Horri, H. R. (2013). Prioritize the Factors Affecting the Location of Renewable Energy Plants (Solar and Wind Energy) in Kerman Province Using GIS and Multi-Criteria Decision-Making Techniques. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, *2*, 93-110. http://epprjournal.ir/article-1-32-fa.html (In Persian)

31) Shafiee Nikabadi, M., & Hashemi, F. (2021). Location of multi-storey car parks with emphasis on sustainable urban development management. *Jadeh*, *29*(109), 123-140. (In Persian)

32) Sherabafian, N. (2007). Estimation of Technical and Economic Potential of Solar Thermal Energy in Iran: A Strategy for Sustainable Development of Solar Energy. *Energy Economics Studies*, *4*(15), 35-53. (In Persian)

33) Soudbakhsh, D. (2013). *Applying a model to select the most practical information technology options in the supply chain management of the pharmaceutical industry with ANP approach (Case study: Darupakhsh Pharmaceutical Company)*. Islamic Azad University, Central Tehran Branch]. Tehran Branch. (In Persian)

34) Tafarrojkhah, M., Bagerzadeh, M., & Iranzadeh, S. (2021). Sustainable Human Resource Management in Power Industry. *Management and Sustainable Development Studies*, *1*(1), 1-35. https://doi.org/10.30495/msds.2021.683552 (In Persian)

35) Tafqod Akbarpour, M. (2013). *Feasibility study of establishing a solar power plant in the industrial town of Siminasht, Karaj* [Master Thesis, University of Tehran]. (In Persian)

36) Thatcher, J. B., Wright, R. T., Sun, H., Zagenczyk, T. J., & Klein, R. (2018). Mindfulness in information technology use: Definitions, distinctions, and a new measure. . *MIS Quarterly*, *42*(3), 831-848.

37) Vahdat, A., Alizadeh, A., Quach, S., & Hamelin, N. (2020). Would you like to shop via mobile app technology? The technology acceptance model, social factors and purchase intention. *Australasian Marketing Journal*.

38) Wu, Y., Tao, Y., Zhang, B., Wang, S., Xu, C., & Zhou, J. (2020). A decision framework of offshore wind power station site selection using a PROMETHEE method under intuitionistic fuzzy environment: A case in China. *Ocean & Coastal Management*, *184*.

39) Yan, Y., Wang, C., Quan, Y., Wu, G., & Zhao, J. (2018). Urban sustainable development efficiency towards the balance between nature and human wellbeing: Connotation, measurement, and assessment. *Journal of Cleaner Production*, *178*, 67-75.

40) Yazdani byuki, F. (2015). *Identification and ranking of factors affecting the selection of construction contractors using fuzzy TOPSIS method (Case study: Yazd Municipality)*. Imam Javad Institute of Higher Education]. Yazd. (In Persian)

41) Zakeri Fard, R., Abdi, H., & Khonakdari, T. (2011). Feasibility Study of Construction of a 10 MWWind Power Plant in MoravehTappeh. *Iranian Journal of Energy*, *14*(1), 55-77. http://necjournals.ir/article-1-207-fa.html (In Persian)