

تعیین ارجحیت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت و بادی کهک بر اساس شاخص‌های محیط‌زیستی

سید حسن فاطمی^۱

فروغ فرساد^{*۲}

forough.farsad@yahoo.com

سید محمود شریعت^۳

فرزام بابایی سمیرمی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی‌های زیست‌محیطی، محصول فرعی و ناخواسته فعالیت‌های صنعتی مختلف است که باعث شده محیط زیست بیش‌تر از پیش در معرض تهدید قرار گیرد. از طرفی، با توجه به رشد جمعیت و بالا رفتن مصرف سالانه برق کشور ضرورت احداث و ساخت نیروگاه‌های جدید الزامی است. نوع نیروگاه‌ها بر اساس طیف گسترده‌ای از معیارها اولویت‌بندی می‌شوند. در این تحقیق، با در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به تعیین اولویت نیروگاه‌های بادی کهک به عنوان بزرگ‌ترین نیروگاه بادی کشور و نیروگاه سیکل ترکیبی پاکدشت به عنوان بزرگ‌ترین نیروگاه سیکل ترکیبی کشور پرداخته شده است.

روش بررسی: در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی معیارها و همچنین برای تعیین ارجحیت انتخاب نیروگاه از فرآیند TOPSIS استفاده شده است. بدین منظور روش ترکیبی (AHP-TOPSIS) مورد استفاده قرار گرفت. این دو روش از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری محسوب می‌شوند و انتظار می‌رود که ترکیب آن‌ها بتواند نتایج بهینه‌ای ارائه دهد.

۱- کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^{*}(نویسنده مسوول)

۳- استاد گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۴- استادیار گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

یافته‌ها: در میان ۵ معیار اصلی زیست‌محیطی که خبرگان اوزان هریک را تعیین کردند شاخص آب با وزن (۰/۴۵۱) در رتبه اول، هوا با وزن (۰/۲۳۴) در رتبه دوم، شاخص مربوط به پیامدهای اقتصادی- اجتماعی با بردار ویژه (۰/۱۲۰) در رتبه سوم، خاک با بردار ویژه (۰/۱۱۴) در رتبه چهارم و همچنین، سایر اثرات زیست‌محیطی (به جز آب، هوا، خاک) با توجه به وزن به دست آمده از محاسبات با مقدار (۰/۰۸۱) در رتبه پنجم قرار گرفته‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که نیروگاه بادی به دلایل مختلفی مانند: نیاز نداشتن به سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های کمتر زیست‌محیطی و پایداری بیشتر مناسب تر از نیروگاه سیکل ترکیبی است.

واژه های کلیدی: شاخص‌های زیست‌محیطی، نیروگاه(بادی وسیکل ترکیبی)، تصمیم‌گیری چند معیاره، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، TOPSIS.

Prioritizing Between Pakdasht Combined Cycle Power Plant and Kahak Wind Power Plant Based On Environmental Criteria

Seyed Hassan Fatemi¹

Forough farsad^{2*}

forough.farsad@yahoo.com

Seyed Mahmoud Shariat³

Admission Date: August 15, 2016

Date Received: May 17, 2016

Abstract

Background and Objective: Environmental pollutions are the side effects of industrial activities which put the environment in danger. On the other hand by growing population and increasing electricity usage in the country, it is necessary to construct new power plants. Power plants were prioritized based on different criteria. In this research based on the environmental, social and economical aspects Kahak wind powerplant (the biggest wind powerplant) and Pakdasht Combined cycle powerplant (the biggest combined cycle powerplant in Iran) were studied.

Method: In this research, Multi criteria decision making methods such as AHP and Topsis were used to select the priority of the power plants. These two methods are the most important and optimal decision making methods.

Findings: Among the five environmental criteria which were chosen by experts water (weight of 0.451) was placed in the first rank. Other criteria like weather (weight of 0.223), social and economical effects (weight of 0.120), soil (weight of 0.114) and other environmental effects (weight of .081) were placed in second to fifth rank.

Discussion & Conclusion: As a result because of less environmental pollution and degradation and also moving towards environmental sustainability based on the expert's opinion (Delphis' panel) construction of more suitable powerplants as Wind cycle powerplants are more suitable than combined cycle.

Key words: environmental criteria, power plant (wind and combined cycle) .multi criteria decision making (AHP-Topsi)

1- M.Sc. in Environmental Management, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Science and Environment, Science and Research Branch.IAU,Tehran ,Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Science and Environment, Science and Research Branch.IAU,Tehran ,Iran *(Corresponding Author) .

3- Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Science and Environment, Science and Research Branch.IAU,Tehran,Iran.

مقدمه

تجدیدپذیر صادق است. بهره‌گیری از انرژی‌های جایگزین یکی از راه‌های موثر برای مقابله با آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت نیروگاه‌ها با سوخت فسیلی است. این انرژی‌ها شامل زمین گرمایی، باد، خورشید و هیدروژن هستند که هیچ نوع آلودگی برای هوا، آب و خاک ایجاد نمی‌کنند و برخلاف سوخت‌های فسیلی که انواع گازهای سمی به خصوص گاز کربنیک و مونواکسیدکربن، تولید و وارد جو زمین می‌کنند هیچ نوع ماده آلوده‌کننده‌ای تولید نکرده و زباله و بقایای مشکل آفرین نیز ایجاد نمی‌کنند. در کشور ما به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر با موانعی مانند وجود نفت ارزان و منابع غنی هیدروکربنی، عدم شناخت کافی از انرژی‌های پاک، مجهول ماندن مزایای استفاده از آن توسط مردم و مسئولان و عدم توجیه اقتصادی در سرمایه‌گذاری اولیه روبرو است. یکی از منابع پایان ناپذیر انرژی، انرژی باد می‌باشد، از این انرژی که به طور تقریب بیش از ۲۰۰۰۰ گیگاوات (۳) در جهان موجود است می‌توان جهت راه‌اندازی مولدهای مختلف بادی استفاده کرد و بخشی از انرژی مکانیکی و الکتریکی مورد نیاز جامعه را تامین نمود، کاربرد انرژی بادی عاری از انتشار گازهای آلاینده در محیط زیست است. اما این نیروگاه‌ها نیز دارای معایبی در زمینه اثرات زیبا شناختی چشم انداز، سرو صدا و اثرات بیولوژیکی مانند: کشتن پرندگان و تخریب یا آشفستگی در زیستگاه‌های حیوانات به خصوص حیوانات حفاظت شده است. در این پژوهش، نیروگاه بادی مورد مطالعه نیروگاه کهک در استان قزوین بوده است. سوال اصلی در این مقاله این است که با توجه به شرایط فعلی و آینده پیش‌روی کشور از منظر سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران برق کشور، گزینه‌های فعلی تولید برق در ایران با توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی در چه اولویاتی قرار دارند و هدف‌گذاری‌های کلان توسعه شبکه برق ایران باید بر پایه توسعه کدامیک از نیروگاه‌های مورد مطالعه باشد؟ در این مقاله با در نظر گرفتن دغدغه‌های سیاست‌گذاران در زمینه مسائل زیست‌محیطی به مقایسه نیروگاه‌های بادی و سیکل ترکیبی که می‌توانند به عنوان نیروگاه‌های متمرکز مورد استفاده قرار گیرند، پرداخته شده است. در اغلب موارد

گسترش صنایع و رشد صعودی بخش‌های مختلف اقتصادی در کشورهای پیشرفته بدون توجه و رعایت ملاحظات مربوط به حفاظت محیط‌زیست موجب تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و بروز اثرات سوء بهداشتی در این کشورها شده است. در طی سال‌های اخیر روند بسیار فزاینده‌ای در مصرف انرژی در سطح جهان به ویژه در بخش برق ایجاد گردیده است. با توجه به حساسیت‌های جهانی در حفظ محیط‌زیست و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاربرد منابع غیرفسیلی تولید برق مانند انرژی‌های جایگزین هسته‌ای، برق آبی و خورشیدی و نیز انرژی بادی پیشنهاد شده است. عوامل متعددی در انتخاب گزینه مناسب از بین منابع متعدد تولید برق دارای اهمیت می‌باشد که از آن جمله می‌توان به شرایط جغرافیایی و اقلیمی منطقه، دارا بودن منابع فسیلی، عوامل اقتصادی، فنی و مسایل زیست‌محیطی مربوطه اشاره کرد. در این راستا با توجه به وضعیت زیست‌محیطی جهان و اثرات قابل توجه بخش انرژی بر آن، گرایش عمومی به سمت کاربرد روش‌هایی با کارایی بالاتر و وآلودگی کمتر است. تمام عوامل فوق منجر گردید که دانشمندان و مسئولان، مفاهیم جدیدی را جهت جلوگیری از تخریب محیط‌زیست معرفی نمایند و ساخت نیروگاه‌هایی با آلودگی زیست‌محیطی کم‌تر را مد نظر قرار دهند (۲،۱). در این پژوهش، اولویت‌بندی ساخت دو نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند) به عنوان بزرگترین نیروگاه کشور و نیروگاه بادی کهک بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی بررسی شده است. سوخت مورد نیاز نیروگاه دماوند، شامل گاز و گازوئیل است که گاز به عنوان سوخت اصلی و گازوئیل نقش جایگزین را دارد. تولید برق به خصوص با استفاده از سوخت‌های فسیلی آلودگی‌های زیادی را وارد محیط‌زیست می‌نماید و معضلاتی از قبیل بروز اثرات گلخانه‌ای و تغییر اقلیم، بارش باران‌های اسیدی، پراکنش مواد سرطان‌زا، دود و سایر عوامل آلاینده در محیط‌زیست را به همراه دارد. ایران با داشتن منابع فراوان در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، مستعد به کارگیری این گونه انرژی‌ها بوده و این امر به خصوص در مورد انرژی‌های برق آبی و بادی به عنوان مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع انرژی‌های

روش از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا شده است. روش TOPSIS نیز، یک روش تصمیم سازی بسیار تکنیکی و قوی برای اولویت بندی گزینه ها از طریق شبیه نمودن به جواب ایده آل است (۶). در این روش، گزینه انتخاب شده بایستی کوتاه ترین فاصله را از جواب ایده آل و دورترین فاصله را از ناکارآمدترین جواب داشته باشد. این مدل ها بطور گسترده در پژوهش های پیشین مورد استفاده قرار گرفتند:

تنها و همکارانش در تحقیقی با عنوان ارزیابی اثرات اقتصادی- محیط زیستی نیروگاه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارزیابی و اولویت بندی را انجام داده اند (۷). در این مطالعه بعد از بررسی مستندات خروجی دودکش های نیروگاه که به صورت مستقیم توسط مانیتورهای موجود در اتاق فرمان قابل مشاهده بود، گازهای دی اکسید گوگرد، اکسیدهای ازت، دی اکسید کربن جهت تعیین اولویت کنترلی انتخاب شدند. نتیجه حاصل از محاسبات نشان داد از بین سه آلاینده انتخاب شده جهت تعیین اولویت کنترلی، NO_x ، با وزن نهایی ۰/۵۷۷ اولویت اول و SO_2 و CO_2 به ترتیب اولویت دوم و سوم حاصل از این پژوهش بودند.

کیان نجف زاده در مطالعه ای به ارزیابی اقتصادی محیط زیستی روی فناوری های تولید انرژی پرداخته است (۸). در این پژوهش برای معیارهای محیط زیستی سه آلاینده CO_2 ، NO_x ، SO_2 و برای معیار اقتصادی هزینه های ثابت و متغیر در نظر گرفته شده است. در نهایت با استفاده از روش AHP از بین نیروگاه های موجود، نیروگاه های سیکل ترکیبی و حرارتی بالاترین اولویت ها را به خود اختصاص دادند.

جوزی در سال ۲۰۱۱ در پژوهشی با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره AHP و TOPSIS در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد، به ارزیابی ریسک های محیط زیستی پرداخته است (۹). در این مطالعه تولید انرژی، کیفیت آب های زیرزمینی، آتش سوزی و انفجار به عنوان فاکتورهای موثر در نظر گرفته شده است که با توجه به نتایج نشان داده شده است که آب های

تصمیم گیری ها جهت ترجیح یک پروژه بر دیگری و یا تعیین اولویت کارها بر اساس بحث نظری و در واقع نظر کارشناسی انجام می گیرد و ممکن است تضادهای واضح بین نظرات دو کارشناس وجود داشته باشد و خلاف یکدیگر ارجحیت پروژه بر یکدیگر را تعیین نمایند. تصمیم گیری با لحاظ کردن چندین معیار که هر یک از جایگاه ویژه ای برخوردارند تنها با به کارگیری مدل های تصمیم گیری چند معیاره ممکن می شود. در این روش ها از شاخص های مختلفی متناسب با نوع رتبه بندی، استفاده می شود. در این پژوهش، سعی شده تا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، تضادهای بین نظرات را کاهش داده و به وسیله کمی کردن داده های کیفی نظرات ایشان را قابل دسترس و فهم برای استفاده در تعیین ارجحیت پروژه ها کرد. لذا جهت تعیین ارجحیت بین نیروگاه سیکل ترکیبی پاکدشت و نیروگاه سیکل بادی کهک بر اساس شاخص های زیست محیطی از روش ترکیبی AHP-TOPSIS استفاده شده است.

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت وزن دهی معیارها و گزینه ها از روش مقایسات زوجی استفاده می شود (۴). به این ترتیب که تصمیم گیرنده، معیارها و زیرمعیارهای هر معیار را فقط به صورت دو به دو مقایسه می کند و نیازی به وزن دهی همزمان تمام معیارها وجود ندارد. در این روش، وزن نسبی عناصر از طریق مقایسه زوجی هر سطح نسبت به عنصر مربوطه در سطح بالاتر تعیین می گردد. با محاسبه وزن عناصر هر سطح نسبت به سطح بالایی خود از طریق مقایسه زوجی و در نهایت تلفیق وزن های نسبی، وزن نهایی هر گزینه محاسبه می گردد. از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی را فراهم می کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند گزینه های مختلفی را در تصمیم گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارا می باشد (۵). علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا شده و داوری و محاسبات را تسهیل می نماید. این

زیرزمینی مهم ترین ریسک شناسایی شده از دیدگاه محیط‌زیستی در این پژوهش می‌باشد.

در همین راستا مرادیان و رعایایی در سال ۱۳۹۲ بر اساس اولویت‌بندی آثار زیست‌محیطی، نیروگاه‌های حرارتی را با توجه به سیستم بازیافت CO₂ اولویت‌بندی کرده‌اند (۱۰). نتایج حاصل از تحقیق نشان دهنده این موضوع بوده است که نیروگاه‌های بخاری در این زمینه دارای اولویت می‌باشد. مناسب‌ترین نیروگاه‌ها به ترتیب نیروگاه‌های بخاری رامین، شهید منتظری، بیستون، بندرعباس و سیکل ترکیبی کازرون بدست آمدند.

آتاناسیوس (۲۰۱۲) در یونان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به مطالعه و ارزیابی نیروگاه‌های تولید برق از ابعاد گوناگون پرداخته است (۱۱). یکی از ابعاد مطالعات انجام شده توسط این محقق، تاثیر انواع نیروگاه‌ها بر استانداردهای زندگی است. برای این منظور این نیروگاه‌ها از جنبه‌های مثبت و منفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جنبه‌های مثبت در نظر گرفته شده عبارتند از: جنبه‌های اقتصادی اجتماعی مانند اشتغال‌زایی، میزان جبران خسارت و مقبولیت اجتماعی. معیارهای منفی نیز به آن دسته از عواملی بستگی دارند که روی کیفیت زندگی تاثیرگذار هستند، که عبارتند از: میزان انتشار آلاینده‌های غیر رادیواکتیو و آلاینده‌های رادیواکتیو، زمین مورد نیاز و تعداد تلفات در حوادث. براساس یافته‌های این پژوهش نیروگاه‌های زمین گرمایی، بادی، زیست توده، فتوولتائیک، برق‌آبی، اتمی، سیکل ترکیبی، گازی، نفتی و ذغالی به ترتیب در اولویت گزینه‌های تولید برق یونان قرار گرفتند.

خاتمی (۲۰۱۳) با روش پرومته به ارزیابی انواع فناوری‌های تجدیدپذیر تولید برق در منطقه سیستان و بلوچستان پرداخته است. معیارهای بررسی شده در این مطالعه هزینه سرمایه‌گذاری مهندسی، تامین تجهیزات و ساخت، هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه، کارآیی، ضریب ظرفیت، طول عمر، مصرف داخلی و پتانسیل منابع بوده است که بر اساس آن معیارها پیل سوختی، گاز لندفیل، فاضلاب، فضولات حیوانی، پسماندهای جنگل، باد، تولید برق از زباله‌ها با روش هضم، زمین گرمایی، فتوولتائیک متصل به شبکه، زباله سوز احتراقی، فتوولتائیک

خارج از شبکه، کلکتور سهموی خطی، برج گیرنده مرکزی و استرلینگ به ترتیب در اولویت قرار گرفته‌اند (۱۲).

منظور و همکارانش در پژوهشی در سال ۱۳۹۴ با عنوان "اولویت‌بندی نیروگاه‌های تولید برق در ایران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" به تعیین اولویت نیروگاه‌های کشور پرداخته‌اند. در این تحقیق با در نظر گرفتن معیارهای مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی، سیاسی و اجتماعی، امنیت انرژی و فنی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای وزندهی به معیارها و محاسبه میزان معیارهای کیفی و روش پرومته برای محاسبه میزان معیارهای کمی به ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف تولید برق پرداخته شده است. در بین ۲۳ معیاری که خبرگان اوزان هریک را تعیین کردند هزینه تمام شده برای هر کیلووات ساعت در رتبه اول و تاثیر در تنوع‌بخشی به سیستم عرضه در رتبه پنجم قرار گرفته است. در میان اولویت‌بندی نیروگاه‌ها نیز نیروگاه بادی، برق آبی، فتوولتائیک، سیکل ترکیبی، هسته‌ای، گازی و بخاری در اولویت قرار دارند (۱۳).

لذا در این مطالعه روش ترکیبی AHP-TOPSIS جهت تعیین اولویت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی شهدای پاک دشت و بادی کهک مد نظر قرار گرفته است.

روش بررسی

در این پژوهش، ابتدا معیارهای موثر برای محیط‌زیست در زمینه ساخت نیروگاه‌ها در محدوده مورد مطالعه تعیین گردیدند. این معیارها با بررسی و استفاده از استانداردهای مختلف از جمله استانداردهای مربوط به سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت کشور و استانداردهای جهانی و همچنین با استفاده از نظرات کارشناسان محیط‌زیست در نیروگاه‌ها مشخص گردید و برای تهیه پرسشنامه مورد استفاده قرار گرفتند (۱۴). پس از تعیین مهم‌ترین شاخص‌های زیست‌محیطی مربوط به نیروگاه‌ها، پرسشنامه مربوط به این شاخص‌ها در اختیار خبرگان قرار گرفت. در مرحله بعد، با توجه به معیارهای زیست‌محیطی موجود در نیروگاه‌های بادی کهک و سیکل ترکیبی پاکدشت، شاخص‌ها به شاخص‌های اصلی آب، هوا،

آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد. فرآیند به دست آوردن وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو صورت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه دودویی معیارها، یا گزینه‌ها و بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی صورت می‌پذیرد و نتیجه در ماتریس مقایسه دودویی معیارها، یا گزینه‌ها ثبت می‌شود و از طریق نرمالیزه کردن ردیف‌های این ماتریس‌ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می‌آید. مقایسه گزینه‌های مختلف، نسبت به زیر معیارها و معیارها (اگر معیاری زیرمعیار نداشته باشد) صورت می‌پذیرد. در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به هدف مطالعه صورت می‌پذیرد. در نهایت وزن معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها و میزان ضریب سازگاری (CR: Consistency Ratio) با استفاده از نرم افزارهای 9 Expert choice و Excel محاسبه شد. لازم به ذکر است چنانچه نسبت سازگاری (CR) محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه‌ها، پذیرفته شده و وزن‌های معیار استخراج می‌شود. اما در صورتی که $CR > 0/1$ باشد، می‌باید با اعمال تغییراتی در ماتریس دوتایی، CR را در حد قابل قبول تنظیم نمود (۱۶). در روش TOPSIS، ماتریس $m \times n$ تصمیم‌گیری که دارای m گزینه و n معیار و سنجش است مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

خاک، پیامدهای اقتصادی- اجتماعی و سایر اثرات زیست‌محیطی (به جز آب، هوا، خاک) تقسیم گردیده و خود این شاخص‌های اصلی نیز به زیرشاخص‌های فرعی تقسیم شده‌اند. معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، و بر اساس مقایسه زوجی وزن‌دهی شده‌است. در پایان نیز با استفاده از تکنیک تاپسیس به رتبه‌بندی نیروگاه‌های مورد نظر پرداخته شده است. در این مطالعه، معیارهای مورد استفاده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر طبق جداول ۱ و ۲ طبقه‌بندی و بر اساس نظر کارشناسان به روش AHP از ۱ تا ۹ وزن‌دهی شد. برای تعیین ضریب اهمیت وزن معیارها و زیرمعیارها، چند روش وجود دارد که معمول‌ترین آن‌ها، مقایسه دوتایی است. در این روش، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می‌شود. روش کار به این ترتیب است که، به هر مقایسه دودویی، یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داده می‌شود. معنی هر عدد در جدول ۲ آورده شده است. پس از وزن‌دهی، باید وزن‌ها را نرمالیزه کرد (۱۵). جهت نرمالیزه کردن، می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد؛ در این پژوهش، از تقسیم هر وزن، بر مجموع وزن‌های همان ستون استفاده شده است. بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها را باید تعیین کرد. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیر معیارها و اگر معیاری زیر معیار نداشته باشد مستقیماً با خود

جدول ۱- معیارهای زیست‌محیطی مورد استفاده در این مطالعه

Table 1. Environmental criteria used in the study

معیارهای اصلی	زیرمعیارها
خاک	کیفیت خاک (آلودگی)
	لرزه‌خیزی
	کاربری زمین
	فرسایش خاک در مرحله ساخت و بهره‌برداری
	تاثیر پسماندهای حاصل از ساخت و بهره‌برداری
هوا	اقلیم
	تولید NOx
	تولید Sox

ذرات معلق	آب
آلودگی صوتی و بصری	
اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)	
اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)	
کیفیت آب‌های سطحی	
کیفیت آب‌های زیرزمینی	
آلودگی حرارتی	
پساب‌های حاصل از بخش‌های مختلف نیروگاه‌ها	
پوشش گیاهی	اثرات محیط‌زیستی (به جز آب، هوا، خاک)
زیست اقلیم حیوانات	
گونه جانوری	
میزان بازده نیروگاه بر اساس مصرف سوخت‌های فسیلی	
هزینه سرمایه اولیه برای احداث، تجهیز نمودن و طراحی اولیه نیروگاه	پیامدهای اقتصادی-اجتماعی
هزینه سوخت مصرفی سالانه	
هزینه اصلاح، بهینه سازی و توسعه تاسیسات نیروگاه	
هزینه تعمیرات، نگهداری و بهره‌برداری برنامه ریزی شده سالانه	
هزینه مالی و اداری نیروگاه	
مهاجرت افراد بومی به دلیل آلودگی‌های ناشی از احداث نیروگاه	

جدول ۲- مقادیر ارجحیت نسبی (ساعتی) در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

Table 2. Scale of Relative Importances (according to Saaty) in AHP

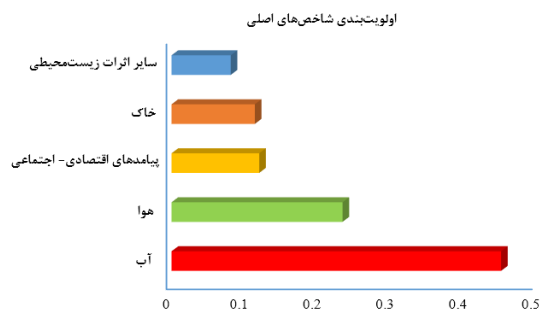
ارزش	الویت‌ها	توضیح
۱	ترجیح یکسان	گزینه یا شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	کمی مرجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهم تر است.
۵	خیلی مرجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهم تر است.
۷	خیلی زیاد مرجح	گزینه i دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
۹	کاملاً مرجح	گزینه i از j مطلقاً مهم تر و قابل مقایسه با j نیست.
۲ و ۴ و ۶ و ۸	بینابین	ارزش‌های بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای i است.

نتایج

۱- ارزش‌گذاری شاخص‌های زیست‌محیطی

معیارهای اصلی شاخص‌های محیط‌زیستی که شامل: آب، هوا، خاک، پیامدهای اقتصادی- اجتماعی و اثرات محیط‌زیستی (به جز آب، هوا، خاک) می‌باشند برای تعیین ارجحیت انتخاب شده‌اند. بنابراین در مرحله نخست به مقایسه زوجی عناصر پنج گانه ماتریس براساس هدف پرداخته شده‌است. بر اساس بردار ویژه بدست آمده معیار آب با وزن ۰/۴۵۱ در اولویت اول قرار دارد و از نظر خبرگان در ساخت نیروگاه‌ها دارای اهمیت بیشتری است. معیار هوا با وزن ۰/۲۳۴ در اولویت دوم قرار دارد همچنین معیار پیامدهای اقتصادی- اجتماعی با وزن ۰/۱۲۰ در اولویت سوم می‌باشد. در این میان معیار خاک با وزن ۰/۱۱۴ در اولویت چهارم و سایر اثرات زیست‌محیطی (به جز آب، هوا، خاک) بنا به نظر خبرگان در اولویت آخر قرار گرفته

است. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۴۸ بدست آمده است که چون کوچک‌تر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.



نمودار ۱- وزن شاخص‌های اصلی زیست‌محیطی

Diagram 1. Weights of Principal Environmental Criteria

جدول ۳- وزن شاخص‌های اصلی زیست‌محیطی

Table3. Weights of Principal Environmental Criteria

بردار ویژه	میانگین هندسی	سایر اثرات زیست محیطی	مشکلات اقتصادی	خاک	هوا	آب	
۰/۴۵۱	۲/۷۶۱	۴/۲۲۲	۲/۴۹۰	۴/۱۰۲	۳/۷۲۱	۱	آب
۰/۲۳۴	۱/۴۲۹	۳/۳۰۶	۲/۰۸۵	۳/۲۱۳	۱	۰/۲۶۹	هوا
۰/۱۱۴	۰/۶۹۹	۱/۷۸۲	۱/۲۳۵	۱	۰/۳۱۱	۰/۲۴۴	خاک
۰/۱۲۰	۰/۷۳۶	۱/۳۸۶	۱	۰/۸۱۰	۰/۴۸۰	۰/۴۰۲	پیامدهای اقتصادی اجتماعی
۰/۰۸۱	۰/۴۹۳	۱	۰/۷۲۲	۰/۵۶۱	۰/۳۰۲	۰/۲۳۷	اثرات محیط زیستی (به جز آب، هوا، خاک)

۱- ارزش‌گذاری زیرمعیارهای آب

معیارهای اصلی شاخص‌های محیط‌زیستی که شامل: آب، هوا، خاک، پیامدهای اقتصادی- اجتماعی و اثرات محیط‌زیستی (به جز آب، هوا، خاک) می‌باشند برای تعیین ارجحیت انتخاب شده‌اند. بنابراین در مرحله نخست مقایسه زوجی عناصر پنج گانه ماتریس براساس هدف انجام شد. بر اساس بردار ویژه بدست آمده معیار آب با وزن ۰/۴۵۱ در اولویت اول قرار دارد و از نظر خبرگان در ساخت نیروگاه‌ها دارای اهمیت بیشتری است. معیار هوا با وزن ۰/۲۳۴ در اولویت دوم قرار دارد

همچنین معیار پیامدهای اقتصادی- اجتماعی با وزن ۰/۱۲۰ در اولویت سوم می‌باشد. در این میان معیار خاک با وزن ۰/۱۱۴ در اولویت چهارم و سایر اثرات زیست‌محیطی (به جز آب، هوا، خاک) بنا به نظر خبرگان در اولویت آخر قرار گرفته است. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۴۸ بدست آمده است که چون کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

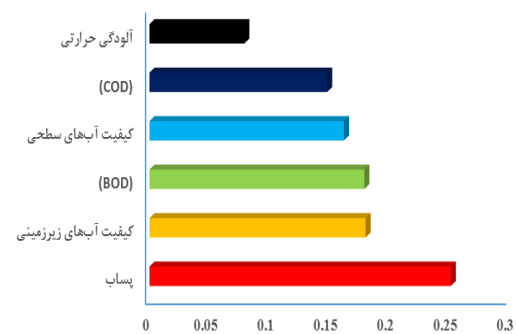
جدول ۴- وزن زیر معیارهای شاخص آب

Table 4. Weights of Water Sub-Criteria

بردار ویژه	میانگین هندسی	پساب	آلودگی حرارتی	کیفیت آب های زیرزمینی	کیفیت آب های سطحی	BOD	COD	
۰/۱۴۸	۰/۹۳۷	۰/۴۵۸	۱/۶۵۶	۱/۳۹۳	۱/۰۰۴	۰/۶۳۸	۱	COD
۰/۱۷۹	۱/۱۳۳	۰/۷۰۷	۱/۹۸۵	۰/۷۸۹	۱/۲۲۰	۱	۱/۵۶۷	BOD
۰/۱۶۲	۱/۰۲۴	۰/۷۷۷	۲/۲۳۱	۰/۸۱۷	۱	۰/۸۱۹	۰/۹۹۶	کیفیت آب های سطحی
۰/۱۸۰	۱/۱۳۶	۰/۷۹۲	۲/۴۳۹	۱	۱/۲۲۴	۱/۲۶۷	۰/۷۱۸	کیفیت آب های زیرزمینی
۰/۰۷۹	۰/۵۰۱	۰/۳۱۸	۱	۰/۴۱۰	۰/۴۴۸	۰/۴۴۸	۰/۶۰۴	آلودگی حرارتی
۰/۲۵۱	۱/۵۸۴	۱	۳/۱۴۵	۱/۲۶۲	۱/۲۸۷	۱/۱۴۱	۲/۱۸۴	پساب

تشکیل شده است بنابراین ۱۵ مقایسه زوجی انجام گرفته است. زیرمعیار SOx با بردار ویژه ۰/۲۸۱ در اولویت اول می باشد. زیرمعیار CO با بردار ویژه ۰/۱۸۵ در اولویت دوم می باشد. زیرمعیار تغییر تولید NOx ویژه ۰/۱۸۲ در اولویت سوم می باشد. زیرمعیار ذرات معلق با بردار ویژه ۰/۱۷۷ در اولویت چهارم می باشد. زیرمعیار تغییر اقلیم با بردار ویژه ۰/۱۰۴ در اولویت پنجم می باشد. زیرمعیار آلودگی صوتی و بصری با بردار ویژه ۰/۰۷۱ در اولویت آخر می باشد. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه های انجام شده نیز برابر ۰/۰۹۹ بدست آمده است که چون کوچک تر از ۰/۱ می باشد بنابراین می توان به مقایسه های انجام شده اطمینان کرد.

اولویت بندی زیرمعیارهای آب



نمودار ۲- وزن زیرمعیارهای شاخص آب

Diagram 2. Weights of Water Sub-Criteria

۱-۱- ارزش گذاری زیرمعیارهای هوا

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای هوا در جدول (۵) ارائه شده است. چون این معیار از ۶ زیرشاخص

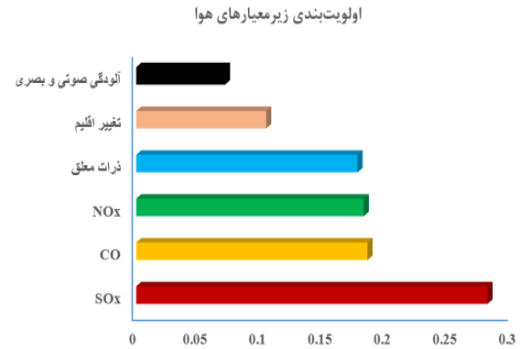
جدول ۵- وزن زیر معیارهای شاخص هوا

Table 5. Weights of Air Sub-Criteria

بردار ویژه	میانگین هندسی	آلودگی صوتی و بصری	ذرات معلق	CO	SOx	NOx	تغییر اقلیم	
۰/۱۰۴	۰/۶۷۷	۱/۲۸۹	۰/۳۱۶	۰/۴۵۳	۰/۲۲۸	۲/۲۰۰	۱	تغییر اقلیم
۰/۱۸۲	۱/۱۸۴	۲/۷۳۰	۱/۳۸۳	۱/۱۳۹	۱/۴۱۲	۱	۰/۴۵۵	NOx
۰/۲۸۱	۱/۸۲۸	۲/۹۱۰	۲/۰۱۹	۲/۱۳۳	۱	۰/۷۰۸	۴/۲۰۸	SOx
۰/۱۸۵	۱/۲۰۴	۲/۹۷۸	۱/۱۲۷	۱	۰/۴۶۹	۰/۸۷۸	۲/۲۰۸	CO
۰/۱۷۷	۱/۱۵۲	۳/۴۰۰	۱	۰/۸۸۷	۰/۴۹۵	۰/۴۹۵	۳/۱۶۳	ذرات معلق
۰/۰۷۱	۰/۴۶۱	۱	۰/۲۹۴	۰/۳۳۶	۰/۳۴۴	۰/۳۶۶	۰/۷۷۶	آلودگی صوتی و بصری

۲-۱- ارزش گذاری زیرمعیارهای خاک

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای خاک در جدول ۶ و نمودار ۴ ارائه شده است. براساس بردار ویژه بدست آمده، زیرمعیار فرسایش خاک در مرحله ساخت و بهره برداری با وزن ۰/۲۹۹ در اولویت اول می باشد. زیرمعیار لرزه خیزی با بردار- ویژه ۰/۲۷۱ در اولویت دوم، زیرمعیار کیفیت خاک (آلودگی) با- بردار ویژه ۰/۲۲۹ در اولویت سوم و زیرمعیار کاربری زمین بابرदार ویژه ۰/۲۰۱ در اولویت آخر می باشد. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه های انجام شده نیز برابر ۰/۰۰۵ بدست آمده است که چون کوچک تر از ۰/۱ می باشد بنابراین می توان به مقایسه های انجام شده اطمینان کرد.



نمودار ۳- وزن زیرمعیارهای شاخص هوا

Diagram 3. Weights of Air Sub-Criteria

جدول ۶- وزن زیرمعیارهای شاخص خاک

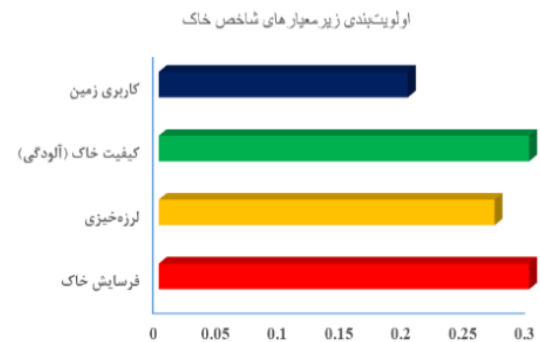
Table 6. Weights of Soil Sub-Criteria

بردار ویژه	میانگین هندسی	فرسایش خاک	کاربری زمین	لرزه خیزی	خاک کیفیت (آلودگی)	
۰/۲۲۹	۰/۹۲۶	۰/۶۷۶	۱/۳۱۱	۰/۸۲۸	۱	کیفیت خاک (آلودگی)
۰/۲۷۱	۱/۰۹۸	۰/۹۲۹	۱/۲۹۴	۱	۱/۲۰۸	لرزه خیزی
۰/۲۰۱	۰/۸۱۳	۰/۷۴۲	۱	۰/۷۷۳	۰/۷۶۳	کاربری زمین
۰/۲۹۹	۱/۲۱	۱	۱/۳۴۸	۱/۰۷۶	۱/۴۷۹	فرسایش خاک

۳-۱- ارزش گذاری زیرشاخه های پیامدهای اقتصادی-اجتماعی

اجتماعی

برای ارزش گذاری زیرشاخه های مربوط به پیامدهای اقتصادی-اجتماعی با توجه به محاسبات انجام شده این معیار از ۶ شاخص تشکیل می شود. بنابراین ۱۵ مقایسه زوجی انجام گرفته است. براساس بردار ویژه بدست آمده: زیرمعیار هزینه سرمایه اولیه برای احداث، تجهیز نمودن و طراحی اولیه نیروگاه با بردار ویژه ۰/۲۶۶ در اولویت اول می باشد. زیرمعیار هزینه سوخت مصرفی سالانه با بردار ویژه ۰/۲۴۹ در ارجحیت دوم، زیرمعیار هزینه اصلاح، بهینه سازی و توسعه تأسیسات نیروگاه با بردار ویژه ۰/۱۴۴ در اولویت سوم، زیرمعیار مهاجرت افراد بومی به علت آلودگی های ناشی از احداث نیروگاه با بردار ویژه ۰/۱۴۲ در اولویت چهارم، زیرمعیار هزینه تعمیرات، نگهداری و



نمودار ۴- وزن زیرمعیارهای شاخص خاک

Diagram 4. Weights of Soil Sub-Criteria

ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۴۵ به دست آمده است که چون کوچک تر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

بهره‌برداری برنامه‌ریزی شده سالانه با بردار ویژه ۰/۱۳۷ در اولویت پنجم و همچنین، زیرمعیار هزینه مالی و اداری نیروگاه با بردار ویژه ۰/۰۶۲ در اولویت آخر می‌باشد. همچنین نرخ

جدول ۷- تعیین اولویت زیر معیارهای پیامدهای اقتصادی اجتماعی

Table 7. Weights of Sub-Criteria of Socio-Economical Impacts

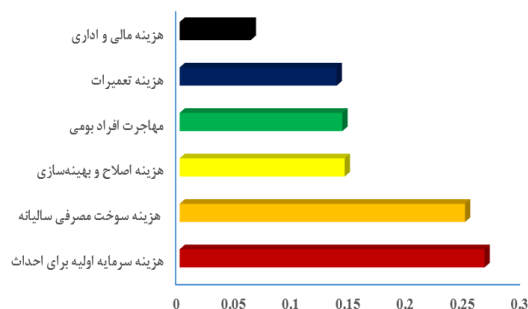
بردار ویژه	میانگین هندسی	مهاجرت	مالی و اداری	هزینه تعمیرات	اصلاح و بهینه سازی	سوخت مصرفی	سرمایه اولیه	
۰/۲۶۶	۱/۷۹۰	۱/۵۶۷	۳/۶۰۹	۲/۴۹۷	۱/۶۸۵	۱/۳۸۱	۱	سرمایه اولیه
۰/۲۴۹	۱/۶۷۷	۱/۲۱۶	۴/۲۶۶	۲/۱۶۹	۲/۷۳۱	۱	۰/۷۲۴	سوخت مصرفی
۰/۱۴۴	۰/۹۶۵	۰/۹۶۵	۲/۹۸۸	۱/۳۰۴	۱	۰/۳۶۶	۰/۵۹۳	اصلاح و بهینه سازی
۰/۱۳۷	۰/۹۲۱	۱/۰۵۸	۴/۰۷۸	۱	۰/۷۶۷	۰/۴۶۱	۰/۴۰۰	هزینه تعمیرات
۰/۰۶۲	۰/۴۱۵	۰/۶۷۴	۱	۰/۳۴۵	۰/۳۳۵	۰/۳۳۵	۰/۲۷۷	مالی و اداری
۰/۱۴۲	۰/۹۵۷	۱	۱/۴۸۳	۰/۹۴۵	۱/۰۴۶	۰/۸۲۳	۰/۶۳۸	مهاجرت افراد بومی

۴-۱- ارزش‌گذاری زیرشاخه‌های اثرات زیست‌محیطی (به

جز آب، هوا، خاک)

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای اثرات زیست‌محیطی (به جز آب، هوا، خاک) در جدول ۸ و نمودار ۶ ارائه شده است. چون این معیار از ۴ شاخص تشکیل شده است، بنابراین ۶ مقایسه زوجی انجام گرفته است. براساس بردار ویژه بدست آمده: زیرمعیار پوشش گیاهی با وزن ۰/۳۲۷ در اولویت اول می‌باشد. زیرمعیار زیست اقلیم حیوانات با بردار ویژه ۰/۲۷۵ در اولویت دوم، زیرمعیار گونه جانوری با بردار ویژه ۰/۲۰۶ در اولویت سوم، زیرمعیار میزان بازده نیروگاه بر اساس مصرف سوخت فسیلی با بردار ویژه ۰/۱۹۳ در اولویت آخر قرار دارند. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۱۳۴ بدست آمده است که چون کوچک تر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

اولویت‌بندی زیرمعیارهای پیامد اقتصادی - اجتماعی



نمودار ۵- وزن زیرمعیارهای شاخص پیامدهای اقتصادی - اجتماعی

Diagram 5. Weights of Sub-Criteria of Socio-Economical Impacts

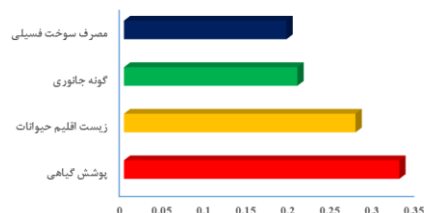
جدول ۸- تعیین اولویت زیر معیارهای اثرات زیست محیطی

Table 8. Weights of Sub-Criteria of Environmental Impacts

بردار ویژه	میانگین هندسی	مصرف سوخت فسیلی	گونه جانوری	زیست اقلیم حیوانات	پوشش گیاهی	
۰/۳۲۷	۱/۳۳۹	۱/۳۶۹	۱/۶۱۹	۱/۴۵۰	۱	پوشش گیاهی
۰/۲۷۵	۱/۱۲۴	۱/۴۸۷	۱/۵۵۸	۱	۰/۶۹۰	زیست اقلیم حیوانات
۰/۲۰۶	۰/۸۴۳	۱/۲۷۲	۱	۰/۶۴۲	۰/۶۱۸	گونه جانوری
۰/۱۹۳	۰/۷۸۸	۱	۰/۷۸۶	۰/۶۷۳	۰/۷۳۰	مصرف سوخت فسیلی

براساس هر معیار (W2) در وزن معیارهای اصلی (W1) ضرب شود. با در دست داشتن وزن هریک از معیارهای اصلی (W1) و زیرمعیارها (W2) وزن هریک از شاخصها محاسبه می شود. نتایج محاسبه انجام شده و اوزان مربوط به شاخصها در جدول ۹ ارائه شده است: بنابراین با توجه به محاسبات انجام شده، وزن نهایی هریک از شاخصهای مدل با تکنیک AHP محاسبه شده است که شاخص "پسابهای حاصل از بخشهای مختلف نیروگاهها" با وزن نهایی ۰/۱۱۳۲ در اولویت اول، "کیفیت آبهای زیرزمینی" با وزن نهایی ۰/۰۸۱۲ در اولویت دوم و "اکسیژن خواهی بیولوژیکی فاضلاب (BOD)" با وزن ۰/۰۸۱۰ در اولویت سوم قرار دارد. همچنین "هزینه مالی و اداری نیروگاه" در اولویت آخر قرار گرفته است.

تعیین اولویت زیرمعیارهای اثرات زیست محیطی



نمودار ۶- وزن زیرمعیارهای اثرات زیست محیطی

Diagram 6. Weights of Sub-Criteria of Environmental Impacts

۲- ارزش گذاری نهایی شاخصها و زیرشاخصها

در این گام اولویت نهایی برای تعیین ارجحیت شاخصها محاسبه شده است. نتایج مقایسه زیرمعیارهای تحقیق و اوزان مربوط به آنها ماتریس W2 را تشکیل می دهد. برای تعیین اولویت نهایی شاخصها با تکنیک AHP کفایت وزن شاخصها

جدول ۹- ارزش گذاری نهایی معیارها و زیرمعیارها

Table 9. Final Evaluation of Criteria and Sub-criteria

اولویت نهایی	وزن نهایی زیرمعیارها	وزن زیرمعیارها	زیرمعیارها	وزن معیارها	معیار اصلی
۵	۰/۰۶۷۰	۰/۱۴۸	COD	۰/۴۵۱	آب
۳	۰/۰۸۱۰	۰/۱۷۹	BOD		
۴	۰/۰۷۳۲	۰/۱۶۲	کیفیت آبهای سطحی		
۲	۰/۰۸۱۲	۰/۱۸۰	کیفیت آبهای زیرزمینی		
۱۰	۰/۰۳۵۸	۰/۰۷۹	آلودگی حرارتی		
۱	۰/۱۱۳۲	۰/۲۵۱	پساب	۰/۲۳۴	هوا
۱۷	۰/۰۲۴۳	۰/۱۰۴	تغییر اقلیم		

۸	۰/۰۴۲۵	۰/۱۸۲	NO _x		
۶	۰/۰۶۵۶	۰/۲۸۱	SO _x		
۷	۰/۰۴۳۲	۰/۱۸۵	CO		
۹	۰/۰۴۱۳۵	۰/۱۷۷	ذرات معلق		
۲۳	۰/۰۱۶۶	۰/۰۷۱	آلودگی صوتی و بصری		
۱۶	۰/۰۲۶۱	۰/۲۲۹	کیفیت خاک (آلودگی)	۰/۱۱۴	خاک
۱۳	۰/۰۳۱۰	۰/۲۷۱	لرزه خیزی		
۱۸	۰/۰۲۳۰	۰/۲۰۱	کاربری زمین		
۱۱	۰/۰۳۴۲	۰/۲۹۹	فرسایش خاک		
۱۲	۰/۰۳۲۰	۰/۲۶۶	سرمایه اولیه	۰/۱۲۰	
۱۴	۰/۰۳۰۰	۰/۲۴۹	سوخت مصرفی		
۲۰	۰/۰۱۷۳	۰/۱۴۴	اصلاح و بهینه سازی		
۲۴	۰/۰۱۶۵	۰/۱۳۷	هزینه تعمیرات		
۲۶	۰/۰۰۷۴	۰/۰۶۲	مالی و اداری		
۲۱	۰/۰۱۷۱	۰/۱۴۲	مهاجرت		
۱۵	۰/۰۲۳۶۳	۰/۳۲۷	پوشش گیاهی	۰/۰۸۱	اثرات محیط زیستی دیگر (به غیر از آب، هوا، خاک)
۱۹	۰/۰۲۲۱۱	۰/۲۷۵	زیست اقلیم حیوانات		
۲۲	۰/۰۱۶۶	۰/۲۰۶	گونه جانوری		
۲۵	۰/۰۱۵۵	۰/۱۹۳	مصرف سوخت فسیلی		

۳- انتخاب بهترین نیروگاه با استفاده از TOPSIS

در این مطالعه برای انتخاب بهترین نیروگاه از تکنیک تاپسیس استفاده شده است. بهترین نیروگاه، نیروگاهی است که بیشترین فاصله را از عوامل منفی و کمترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد.

گام اول: شناسایی زیرمعیارها و گزینه‌ها

شاخص‌های اصلی (زیرمعیارها) و گزینه‌ها شناسایی و مورد بررسی قرار گرفتند. بنابراین ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها براساس زیرمعیارها تشکیل شده است. برای امتیازدهی انتخاب بهترین نیروگاه براساس هر معیار از طیف لیکرت ۵ درجه استفاده شده است.

گام دوم: تهیه ماتریس بی‌مقیاس شده

در گام دوم بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم‌گیری با نرمال سازی صورت گرفته است. هر درایه ماتریس بی‌مقیاس (N) شده را با n_{ij} نشان می‌دهند. هر n_{ij} با تقسیم درایه متناظر در ماتریس اولیه بر جذر مجموع مربعات عناصر ستون متناظر و با توجه به فرمول (۱-۱) محاسبه می‌شود:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m a_{ij}^2}} \quad \text{فرمول (۱-۱)}$$

بنابراین نتایج نرم افزار TOPSIS برای ماتریس بی‌مقیاس شده N به دست آمد که در جدول ۱۰ قابل مشاهده است.

جدول ۱۰- ماتریس تصمیم گیری بی مقیاس شده

Table10. Normalized Decision Matrix

نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند)	نیروگاه بادی کهک	نرمال کردن
۰/۷۱۱	۰/۷۰۴	COD
۰/۶۸۶	۰/۷۲۷	BOD
۰/۶۹۷	۰/۷۱۷	کیفیت آب های سطحی
۰/۷۵۹	۰/۶۵۱	کیفیت آب های زیرزمینی
۰/۷۴۴	۰/۶۶۸	آلودگی حرارتی
۰/۷۴۴	۰/۶۶۸	پساب
۰/۷۷	۰/۶۳۸	تغییر اقلیم
۰/۶۸۷	۰/۷۲۷	NO _x
۰/۶۶۹	۰/۷۴۳	SO _x
۰/۶۸۳	۰/۷۳	CO
۰/۶۸۶	۰/۷۲۷	ذرات معلق
۰/۷۷۶	۰/۶۳	آلودگی صوتی و بصری
۰/۶۹۴	۰/۷۲	کیفیت خاک (آلودگی)
۰/۷۱۵	۰/۶۹۹	لرزه خیزی
۰/۶۸۳	۰/۷۳۱	کاربری زمین
۰/۷۱۱	۰/۷۰۳	فرسایش خاک
۰/۷۴۸	۰/۶۶۴	سرمایه اولیه
۰/۶۶۵	۰/۷۴۷	سوخت مصرفی
۰/۷۴۹	۰/۶۶۲	اصلاح و بهینه سازی
۰/۷۶	۰/۶۵	هزینه تعمیرات
۰/۷۵۱	۰/۶۶	مالی و اداری
۰/۶۵۸	۰/۷۵۳	مهاجرت
۰/۶۴۴	۰/۷۶۵	پوشش گیاهی
۰/۶۴۲	۰/۷۶۷	زیست اقلیم حیوانات
۰/۶۴۸	۰/۷۶۲	گونه جانوری
۰/۶۲۳	۰/۷۸۲	مصرف سوخت فسیلی

گام سوم: تهیه ماتریس بی‌مقیاس موزون

اصلی آن اوزان شاخص‌ها و دیگر عناصر آن صفر است ضرب می‌کنیم. ماتریس حاصل را ماتریس بی‌مقیاس شده موزون گویند و با V نشان داده می‌شود.

$$V = N \times W_{n \times n}$$

نتیجه این محاسبه در جدول ۱۱ خلاصه شده است:

در گام سوم باید ماتریس بی‌مقیاس (N) به ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) تبدیل شود. برای بدست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون باید اوزان شاخص‌ها را داشته باشیم. وزن هر یک از شاخص‌ها با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شده است که در جدول ۱۳ آمده است. به این منظور ماتریس بی‌مقیاس شده را در ماتریس مربعی ($W_{n \times n}$) که عناصر قطر

جدول ۱۱- ماتریس بی‌مقیاس شده موزون

Table 11. Normalized Weighting matrix

بی‌مقیاس موزون	نیروگاه بادی	نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند)
COD	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸
BOD	۰/۰۴۶	۰/۰۴۹
کیفیت آب‌های سطحی	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸
کیفیت آب‌های زیرزمینی	۰/۰۴۴	۰/۰۵۱
آلودگی حرارتی	۰/۰۴۵	۰/۰۰۵
پساب	۰/۰۴۵	۰/۰۰۵
تغییر اقلیم	۰/۰۴۳	۰/۰۵۲
NO _x	۰/۰۴۹	۰/۰۴۶
SO _x	۰/۰۰۵	۰/۰۴۵
CO	۰/۰۴۹	۰/۰۴۶
ذرات معلق	۰/۰۴۹	۰/۰۴۶
آلودگی صوتی و بصری	۰/۰۴۲	۰/۰۵۲
کیفیت خاک (آلودگی)	۰/۰۴۸	۰/۰۴۶
لرزه خیزی	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸
کاربری زمین	۰/۰۴۹	۰/۰۴۶
فرسایش خاک	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸
سرمایه اولیه	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵
سوخت مصرفی	۰/۰۰۵	۰/۰۴۵
اصلاح و بهینه سازی	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵
هزینه تعمیرات	۰/۰۴۴	۰/۰۵۱
مالی و اداری	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵

۰/۰۴۴	۰/۰۵	مهاجرت
۰/۰۴۳	۰/۰۵۱	پوشش گیاهی
۰/۰۴۳	۰/۰۵۱	زیست اقلیم حیوانات
۰/۰۴۳	۰/۰۵۱	گونه جانوری
۰/۰۴۲	۰/۰۵۲	مصرف سوخت فسیلی

گام چهارم: محاسبه ایده آل های مثبت و منفی

برای هر شاخص منفی، ایده آل مثبت کوچک ترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می باشد.

برای هر شاخص منفی، ایده آل منفی بزرگ ترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می باشد.

بنابراین مقدار ایده آل مثبت و منفی برای این موقعیت تصمیم گیری به قرار زیر است:

در این گام برای هر شاخص یک ایده آل مثبت (V^+) و یک ایده آل منفی (V^-) محاسبه می شود. اکنون باید ایده آل های مثبت و منفی را برای هر یک از شاخص ها بدست آورد.

برای هر شاخص مثبت، ایده آل مثبت بزرگترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می باشد.

برای هر شاخص مثبت، ایده آل منفی کوچک ترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می باشد.

جدول ۱۲- محاسبات ایده آل های مثبت و منفی

Table 12. Ideal Positive and Negative Calculations

V-	V+	
۰/۰۴۸	۰/۰۴۷	COD
۰/۰۴۹	۰/۰۴۶	BOD
۰/۰۴۷	۰/۰۴۸	کیفیت آب های سطحی
۰/۰۴۴	۰/۰۵۱	کیفیت آب های زیرزمینی
۰/۰۵	۰/۰۴۵	آلودگی حرارتی
۰/۰۵	۰/۰۴۵	پساب
۰/۰۵۲	۰/۰۴۳	تغییر اقلیم
۰/۰۴۹	۰/۰۴۶	NO _x
۰/۰۵	۰/۰۴۵	SO _x
۰/۰۴۹	۰/۰۴۶	CO
۰/۰۴۹	۰/۰۴۶	ذرات معلق
۰/۰۵۲	۰/۰۴۲	آلودگی صوتی و بصری
۰/۰۴۸	۰/۰۴۶	کیفیت خاک (آلودگی)
۰/۰۴۸	۰/۰۴۷	لرزه خیزی
۰/۰۴۹	۰/۰۴۶	کاربری زمین
۰/۰۴۸	۰/۰۴۷	فرسایش خاک
۰/۰۵	۰/۰۴۴	سرمایه اولیه

۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	سوخت مصرفی
۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	اصلاح و بهینه سازی
۰/۰۴۴	۰/۰۵۱	هزینه تعمیرات
۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	مالی و اداری
۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	مهاجرت
۰/۰۵۱	۰/۰۴۳	پوشش گیاهی
۰/۰۵۱	۰/۰۴۳	زیست اقلیم حیوانات
۰/۰۵۱	۰/۰۴۳	گونه جانوری
۰/۰۴۲	۰/۰۵۲	مصرف سوخت فسیلی

جدول ۱۴- مقادیر CL محاسبه شده

Table14. Calculated CL Quantities

رتبه نهایی	وزن نهایی	گزینه‌ها
۱	۰/۵۸۰	نیروگاه بادی کهک
۲	۰/۴۲۰	نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند)

بنابراین با توجه به مقادیر محاسبه شده مندرج در جدول ۱۴ می‌توان نتیجه گرفت که در زمان ساخت نیروگاه اولویت با نیروگاه‌های بادی و نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند) در اولویت بعدی قرار می‌گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

در رویکرد ارائه شده، قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیران در فرآیند مقایسه زوجی و شناخت شاخص‌های زیست‌محیطی برای تعیین ارجحیت نیروگاه‌ها بصورت کمی درآمد و با ترکیب روش‌های AHP و TOPSIS (مدل تصمیم‌گیری ارائه شده) تعیین ارجحیت نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت و نیروگاه بادی کهک انجام شد. با توجه به افزایش روزافزون در قیمت منابع فسیلی، استفاده از این منابع به عنوان منابع سوختی جذابیت خود را از دست می‌دهد. همچنین افزایش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و پدیده گازهای گلخانه‌ای در کنار امنیت پایین انرژی آن‌ها، تامین انرژی با استفاده از این منابع را با محدودیت‌هایی مواجه می‌کند. در این میان استفاده از تکنولوژی‌های جدید و پاک تولید انرژی برق، علاوه بر اینکه

گام پنجم: محاسبه فاصله هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت

و منفی

خروجی نرم‌افزار TOPSIS برای این معادلات به صورت جدول ۱۳ به دست آمده است که در زیر قابل مشاهده هستند:

جدول ۱۳- محاسبات d+ و d-

Table13. d+ and d- Calculations

d ⁻	d ⁺	گزینه‌ها
۰/۰۲۴۱۳	۰/۰۱۷۴۹	نیروگاه بادی کهک
۰/۰۱۷۴۹	۰/۰۲۴۱۳	نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند)

گام ششم: محاسبه راه‌حل ایده‌آل

در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شود. برای به دست آوردن میزان نزدیکی از فرمول (۲-۱) استفاده شده است:

$$CL^*i = d_i^- / (d_i^- + d_i^+) \quad \text{فرمول (۲-۱)}$$

مقدار CL بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد راه‌کار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است و راه‌کار بهتری می‌باشد. این مقادیر در جدول ۱۴ به دست آمده است:

همچنین لطفعلی پور و همکارانش (۱۳۹۱) در مقاله ای با عنوان بررسی اقتصادی هزینه برق تولیدی در نیروگاه های سیکل ترکیبی نیشابور و بادی بینالود باتوجه به ملاحظات زیست محیطی با ارایه سناریوهای مختلف نسبت به پیامدهای ناشی از ساخت و بهره برداری نیروگاه بادی بینالود و سیکل ترکیبی نیشابور پرداخته و با در نظر گرفتن بهای سوخت قیمت برق خریداری شده و نیز پیامدهای زیست محیطی ناشی از نیروگاه های مذکور و مقایسه آن ها با یکدیگر، اولویت را به نیروگاه بادی بینالود اختصاص داده اند.

با توجه به نتایج بدست آمده و نیز وجود باد غالب در نقاط باد خیز کشور، محدودیت منابع فسیلی و نیز وابستگی روز افزون به افزایش تولید انرژی الکتریسته استفاده از منبع تجدید پذیر باد برای تولید برق در نیروگاه بادی نسبت به نیروگاه سیکل ترکیبی در بلند مدت توجیه پذیر بوده و ارجحیت این موضوع از نظر کمی و کیفی تایید می شود و در راستای سیاست های کلی محیط زیست کشور است که افزایش سهم انرژی های پاک و تجدید پذیر در سبد انرژی کشور را پیشنهاد می نماید.

Referenc

1. Deputy of enery affairs, 1389, In Portal ministry of power, pep. moe.org.ir (In Persian).
2. Moatar, F, 2010, Comparision environmental impact of Nuclear and fossil power plant in Iran, Quarterly Enviromental and sience technology, 494-501 (In Persian).
3. Motahari, S.A, Economic Evaluation of Wind Power Development in Iran Considering the Effect of Energy Price Liberalization Policy, 2014, Quarterly Iranian Energy Economy, 179-200 (In Persian).
4. Saaty, TL., 1980. The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation New York: McGraw Hill,;. 287 pp.

جایگزین مناسبی برای نیروگاه های فسیلی در بسیاری از موارد به شمار می روند، منافع بسیاری از جمله بهبود اشتغال، افزایش توانمندی های ملی و امکان صادرات این تکنولوژی ها در صورت بومی سازی آن ها را میسر می کنند. همچنین منابع فسیلی صرفه جویی شده، می توانند در فعالیتهای دیگری با ارزش افزوده بالاتر مورد استفاده قرار گیرند.

در این مطالعه جایگاه دو نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت و نیروگاه بادی کهک با استفاده از معیارهای شناسایی شده و با جمع آوری نظرات خبرگان در ایران مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مصاحبه های انجام شده، پنج معیار اصلی آب، هوا، خاک، پیامدهای اقتصادی- اجتماعی و سایر اثرات محیط زیستی (به جز آب، هوا، خاک) به عنوان معیارهای اصلی شناسایی شدند.

بر اساس نتایج به دست آمده و با توجه به شاخص هایی که در بالا ذکر شده اند نیروگاه بادی کهک به عنوان بزرگترین نیروگاه بادی کشور نسبت به نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت به عنوان بزرگترین نیروگاه سیکل ترکیبی کشور امتیاز بیشتری را کسب کرده، و در رتبه اول قرار گرفته است و دلیل نزدیکی وزن نیروگاه ها را می توان به این علت دانست که در کشور ما سوخت به قیمت پارانهای برای نیروگاه ها محاسبه می شود که با در نظر گرفتن قیمت های واقعی سوخت های فسیلی و همچنین سایر معیارها، انرژی های تجدید پذیر در اولویت توسعه فناوری های تولید برق کشور قرار می گیرند و می توانند نیاز کشور به انرژی را مرتفع سازند.

نتایج این پژوهش با تحقیق شعربافیان (۱۳۸۷) با عنوان برآورد پتانسیل برق بادی و اثر بهره گیری از آن در صرفه جویی سوخت فسیلی در ایران همخوانی دارد. وی نسبت به کمی سازی پیامدهای ناشی از ساخت و بهره برداری و سرمایه گذاری، نیروگاه های بادی راه اندازی شده تاکنون در کشور پرداخته و با در نظر گرفتن صرفه جویی اقتصادی در مصرف سوخت فسیلی و نیز پیامدهای زیست محیطی و اثرات خارجی آن به مقایسه نیروگاه های فسیلی و بادی پرداخته است و اولویت نیروگاه بادی بر فسیلی را نشان داده است.

- Level, Iranian journal of Fuzzy Systems.
13. Manzor, D., 2015, Prioritizing of power generation plant in Iran with multi attribute decision making model, No. 14 of Iranian energy economic Research, 191-215 (In Persian)
 14. Monavari, M., Environmental Impact Assessment Guide for Thermal Power Plants, 2001, Department of environment (In Persian).
 15. Cimren, E., Catay, E., Budak, E., 2007. Development of a machine tool selection system using AHP. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.; 35(3-4): 363-76.
 16. Bertolini, M., Braglia, M., Carmignani, G., 2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. International Journal of Project Management.; 24(5):422-30.
 17. Shojaee, M, Ghazi, S, Beiranvand, M, 2013. Economic and Environmental Studies of Fossil and Nuclear Power Plants and Provide Better Option. Journal Economic Science.; 2013: 27-48 (In Persian).
 18. Sharbafian, N, Estimation of wind power potential and its effect on saving fossil fuels in Iran, 2008, No. 17 Quarterly journal of energy economic, 113-140 (In Persian).
 19. Lotfalipor, Economic Cost of Electricity Production at Neishabour Combined Power Plant and Binaloud wind power plant by Considering Environmental Considerations, 2012, 2nd Annual clean energy conference (In Persian).
 5. Ghodsipour, H., 2005. Analytical Hierarchy Process (AHP). Tehran: Amirkabir University of Technology Press (In Persian).
 6. Hwang, CL, Yoon K., 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications; A State-Of The-Art Survey. New York: Springer-Verlag;.
 7. Tanha, F., Assessment of the economic and environmental effects of power plants with AHP, 2015, National Conference on Environmental Science, Ahwaz, Iran (In Persian).
 8. Najafzadeh, Q., 2001. Economic - environmental assessment on the energy technologies. Third National Conference of Iranian energy.
 9. Jozi, S. A., Al sadat, A., 2011. Health-Safety and Environmental Risk Assessment of Power Plants Using Multi Criteria Decision Making Method. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly; 17(4):437-449.
 10. Moradina, A, His partner; 2013. Prioritizing the country's thermal power plants to install a carbon dioxide recycling system for injection into oil reservoirs, 28th International Power Conference, Tehran, Iran (In Persian).
 11. Athanasios, Chatzimouratidis, I., Pilavachi, A., Petros, 2012. Decision Support Systems for Power Plants Impact on the Living Standard", Energy Conversion and Management.
 12. Khatami Firouzabadi, Ali, Ghazimatin, Elham, 2013. Application of Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation Method in Energy Planning - Regional