علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیستم، شماره دو، تابستان ۹۷

تعیین ارجحیت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت‌و 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 دریافت: ۹۵/۲/۲۸ **تاریخ پذیرش:۹۵/۵/۲۵**

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 مهم ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری محسوب می‌شوند و انتظار می‌رود که ترکیب آن‌ها بتواند نتایج بهینه‌ای ارایه دهد.

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

۲- استادیار گروه علوم ومهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی ومحیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
*(نویسنده مسوول)

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

۴- استادیار گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی ومحیط 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 بیشترمناسب تر از نیروگاه سیکل ترکیبی است.

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

J.Env. Sci. Tech., Vol 20, No.2, Summer, 2018

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

Seyed Hassan Fatemi[1]

Forough farsad[2]*

forough.farsad@yahoo.com

Seyed Mahmoud Shariat[3]

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 degredation 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 Environmenal 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

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 کارآیی 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 قرا 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 مهم ترین و اقتصادی‌ترین نوع انرژی‌های 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 درمحیط 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 آشفتگی 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 اولویتی 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

تصمیم‌گیری‌ها جهت ترجیح یک پروژه بر دیگری و یا تعیین اولویت کارها بر اساس بحث نظری و در واقع نظر کارشناسی انجام می‌گیرد و ممکن است تضادهای واضح بین نظرات دو کارشناس وجود داشته باشد و خلاف یکدیگر ارجحیت پروژه بر یکدیگر را تعیین نمایند. تصمیم‌گیری با لحاظ کردن چندین معیار که هریک از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند تنها با به کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ممکن می‌شود. در این روش‌ها از شاخص‌های مختلفی متناسب با نوع رتبه‌بندی، استفاده می‌شود. در این پژوهش، سعی شده تا با استفاده ازتحلیل سلسله مراتبی، تضادهای بین نظرات را کاهش داده و به وسیله کمی کردن داده‌های کیفی نظرات ایشان را قابل دسترس و فهم برای استفاده در تعیین ارجحیت پروژه‌ها کرد.لذا جهت تعیین ارجحیت بین نیروگاه سیکل ترکیبی پاکدشت و نیروگاه سیکل بادی کهک بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی از روش ترکیبی AHP-TOPSIS استفاده شده است.

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت وزن‌دهی معیارها و گزینه‌ها از روش مقایسات زوجی استفاده می‌شود(۴). به این ترتیب که تصمیم‌گیرنده، معیارها و زیرمعیارهای هر معیار را فقط به صورت دو به دو مقایسه می‌کند و نیازی به وزن‌دهی 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 می‌گردد. با محاسبه وزن عناصر هر سطح نسبت به سطح بالایی خود از طریق مقایسه زوجی و در نهایت تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه محاسبه می‌گردد. از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی را فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلفی را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارا می‌باشد(۵). علاوه بر این برمبنای مقایسه زوجی بنا شده و داوری و محاسبات را تسهیل می‌نماید. این روش از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا شده است. روش TOPSIS نیز، یک روش تصمیم‌سازی بسیار تکنیکی و قوی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق شبیه نمودن به جواب ایده‌آل است(۶). در این روش، گزینه انتخاب شده بایستی کوتاه‌ترین فاصله را از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله را از ناکارآمدترین جواب داشته باشد. این مدل‌ها بطور گسترده در پژوهش‌های پیشین مورد استفاده قرار گرفتند:

تنها و همکارانش در تحقیقی با عنوان ارزیابی اثرات اقتصادی-محیط‌زیستی نیروگاه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) ارزیابی و اولویت‌بندی را انجام داده‌اند(۷). در این مطالعه بعد از بررسی مستندات خروجی دودکش‌های نیروگاه که به صورت مستقیم توسط مانیتورهای موجود در اتاق فرمان قابل مشاهده بود، گازهای دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای ازت، دی اکسیدکربن 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 مطالعه‌ای به ارزیابی اقتصادی محیط‌زیستی روی فناوری‌های تولید انرژی پرداخته است (۸). در این پژوهش برای معیارهای محیط‌زیستی سه آلاینده CO_2، NO_x، SO_2 و برای معیار اقتصادی هزینه‌های ثابت و متغیر در نظر گرفته شده است. در نهایت با استفاده از روش AHP از بین نیروگاه‌های موجود، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و حرارتی بالاترین اولویت‌ها را به خود اختصاص دادند.

جوزی در سال ۲۰۱۱ در پژوهشی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و TOPSIS در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد، به ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی پرداخته است (۹). در این مطالعه تولید انرژی، کیفیت آب‌های زیرزمینی، آتش‌سوزی و انفجار به عنوان فاکتورهای موثر در نظر گرفته شده است که با توجه به نتایج نشان داده شده است که آب‌های

زیرزمینی‌مهم ترین‌ریسک شناسایی شده از دیدگاه محیط‌زیستی در این پژوهش می‌باشند.

در همین راستا مرادیان و رعایایی در سال ۱۳۹۲ بر اساس اولویت‌بندی آثار زیست‌محیطی، نیروگاه‌های حرارتی را با توجه به سیستم بازیافت CO_2 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. معیارهای‌بررسی 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 نیروگاه های 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،

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 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 Expert choice 9 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 صورتی‌که CR> 0/1 باشد، می باید با اعمال تغییراتی در ماتریس دوتایی، CR را در حد قابل قبول تنظیم نمود (۱۶). در روش TOPSIS، ماتریس m*n تصمیم‌گیری که دارای m گزینه و n معیار و سنجش است مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

جدول۱- 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
	آلودگی صوتی و بصری
آب	اکسیژن خواهی شیمیایی(COD)
	اکسیژن خواهی بیولوژیکی(BOD)
	کیفیت آب‌های سطحی
	کیفیت آب‌های زیرزمینی
	آلودگی حرارتی
	پساب‌های حاصل از بخش‌های مختلف نیروگاه‌ها
اثرات محیط‌زیستی(به جز آب، هوا، خاک)	پوشش گیاهی
	زیست اقلیم حیوانات
	گونه جانوری
	میزان بازده نیروگاه بر اساس مصرف سوخت‌های فسیلی
پیامدهای اقتصادی-اجتماعی	هزینه سرمایه اولیه برای احداث، تجهیز نمودن و طراحی اولیه نیروگاه
	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

جدول۲- مقادیر ارجحیت نسبی(ساعتی) در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

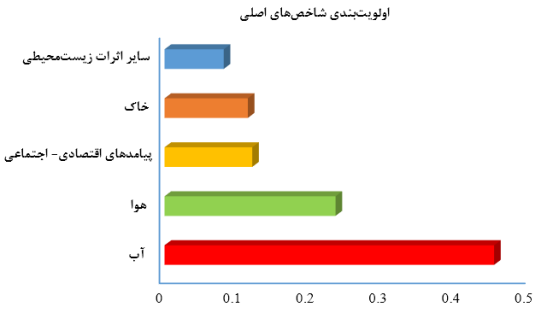
Table2. Scale of Relative Importances (according to Saaty) in AHP

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.
۲و۴و۶و۸	بینابین	ارزش های بین ارزش های ترجیحی را نشان می‌دهد مثلا 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

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

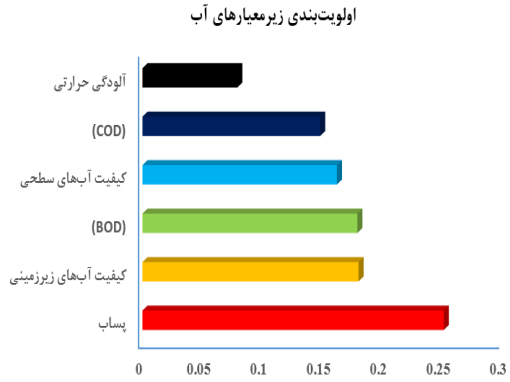
۱- ارزش‌گذاری زیرمعیارهای آب

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

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



نمودار ۲- وزن زیرمعیارهای شاخص آب

Diagram 2. Weights of Water Sub-Criteria

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

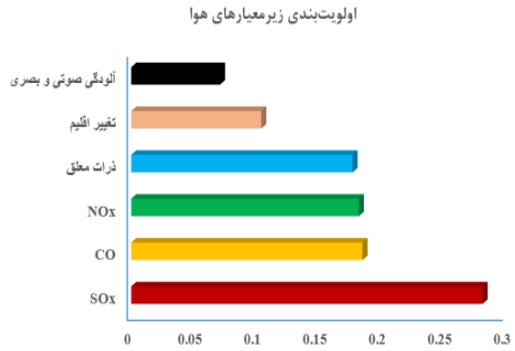
۱-۱- ارزش‌گذاری زیرمعیارهای هوا

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

جدول ۵- وزن زیر معیارهای شاخص هوا

Table5.Weights of Air Sub-Criteria

	تغییر اقلیم	NOx	SOx	CO	ذرات معلق	آلودگی صوتی و بصری	میانگین هندسی	بردار ویژه
تغییراقلیم	۱	۲/۲۰۰	۰/۲۳۸	۰/۴۵۳	۰/۳۱۶	۱/۲۸۹	۰/۶۷۷	۰/۱۰۴
NOx	۰/۴۵۵	۱	۱/۴۱۲	۱/۱۳۹	۱/۳۸۳	۲/۷۳۰	۱/۱۸۴	۰/۱۸۲
SOx	۴/۲۰۸	۰/۷۰۸	۱	۲/۱۳۳	۲/۰۱۹	۲/۹۱۰	۱/۸۲۸	۰/۲۸۱
CO	۲/۲۰۸	۰/۸۷۸	۰/۴۶۹	۱	۱/۱۲۷	۲/۹۷۸	۱/۲۰۴	۰/۱۸۵
ذرات معلق	۳/۱۶۳	۰/۴۹۵	۰/۴۹۵	۰/۸۸۷	۱	۳/۴۰۰	۱/۱۵۲	۰/۱۷۷
آلودگی صوتی و بصری	۰/۷۷۶	۰/۳۶۶	۰/۳۴۴	۰/۳۳۶	۰/۲۹۴	۱	۰/۴۶۱	۰/۰۷۱



نمودار ۳- وزن زیرمعیارهای شاخص هوا

Diagram 3. Weights of Air Sub-Criteria

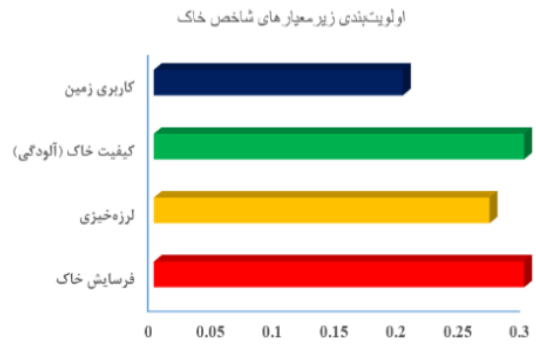
۱-۲- ارزش‌گذاری زیرمعیارهای خاک

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای خاک در جدول ۶ و نمودار ۴ ارایه شده است. براساس بردار ویژه بدست آمده، زیرمعیار فرسایش خاک در مرحله ساخت و بهره‌برداری با وزن ۰/۲۹۹ در اولویت اول می‌باشد. زیرمعیار لرزه‌خیزی با بردار-ویژه ۰/۲۷۱ در اولویت دوم، زیرمعیار کیفیت خاک (آلودگی) با-بردار ویژه ۰/۲۲۹ در اولویت سوم و زیرمعیار کاربری زمین بابردار ویژه ۰/۲۰۱ در اولویت آخر می‌باشد. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۰۵ بدست آمده است که چون کوچک تر از ۰/۱ می‌باشد بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

جدول ۶- وزن زیرمعیارهای شاخص خاک

Table 6. Weights of Soil Sub-Criteria

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



نمودار ۴- وزن زیرمعیارهای شاخص خاک

Diagram 4. Weights of Soil Sub-Criteria

۱-۳- ارزش‌گذاری زیرشاخه‌های پیامدهای اقتصادی-اجتماعی

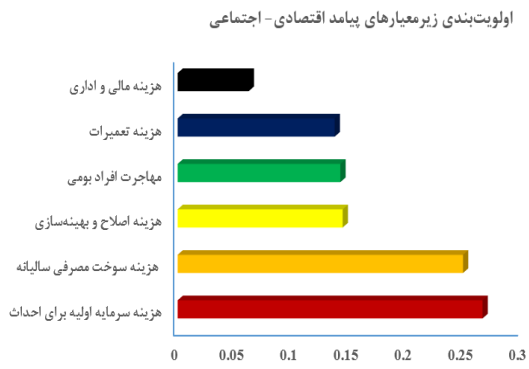
برای ارزش‌گذاری زیرشاخه‌های مربوط به پیامدهای اقتصادی-اجتماعی با توجه به محاسبات انجام شده این معیار از ۶ شاخص تشکیل می شود. بنابراین ۱۵ مقایسه زوجی انجام گرفته است. براساس بردار ویژه بدست آمده: زیرمعیار هزینه و سرمایه اولیه برای احداث، تجهیز نمودن و طراحی اولیه نیروگاه با بردار ویژه ۰/۲۶۶ در اولویت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

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 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.

جدول ۷- تعیین اولویت زیر معیارهای پیامدهای اقتصادی اجتماعی

Table7. Weights of Sub-Criteria of Socio-Economical Impacts

	سرمایه اولیه	سوخت مصرفی	اصلاح و بهینه سازی	هزینه تعمیرات	مالی و اداری	مهاجرت	میانگین هندسی	بردار ویژه
سرمایه اولیه	۱	۱/۳۸۱	۱/۶۸۵	۲/۴۹۷	۳/۶۰۹	۱/۵۶۷	۱/۷۹۰	۰/۲۶۶
سوخت مصرفی	۰/۷۲۴	۱	۲/۷۳۱	۲/۱۶۹	۴/۲۶۶	۱/۲۱۶	۱/۶۷۷	۰/۲۴۹
اصلاح و بهینه سازی	۰/۵۹۳	۰/۳۶۶	۱	۱/۳۰۴	۲/۹۸۸	۰/۹۶۵	۰/۹۶۵	۰/۱۴۴
هزینه تعمیرات	۰/۴۰۰	۰/۴۶۱	۰/۷۶۷	۱	۴/۰۷۸	۱/۰۵۸	۰/۹۲۱	۰/۱۳۷
مالی و اداری	۰/۲۷۷	۰/۳۳۵	۰/۳۳۵	۰/۲۴۵	۱	۰/۶۷۴	۰/۴۱۵	۰/۰۶۲
مهاجرت افراد بومی	۰/۶۳۸	۰/۸۲۳	۱/۰۴۶	۰/۹۴۵	۱/۴۸۳	۱	۰/۹۵۷	۰/۱۴۲



نمودار ۵- وزن زیرمعیارهای شاخص پیامدهای اقتصادی- اجتماعی

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

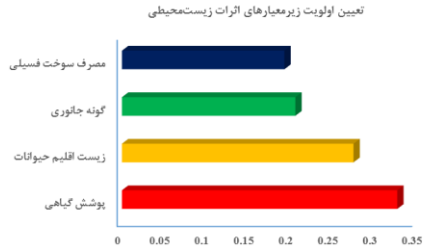
۱-۴- ارزش‌گذاری زیرشاخه‌های اثرات زیست‌محیطی (به جز آب، هوا، خاک)

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای اثرات زیست‌محیطی (به جز آب، هوا، خاک) در جدول ۸ و نمودار ۶ ارایه 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.

جدول ۸- تعیین اولویت زیر معیارهای اثرات زیست محیطی

Table 8. Weights of Sub-Criteria of Environmental Impacts

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



نمودار ۶- وزن زیرمعیارهای اثرات زیست‌محیطی

Diagram 6. Weights of Sub-Criteria of Environmental Impacts

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 می‌شود. نتایج محاسبه انجام شده و اوزان مربوط به شاخص‌ها در جدول ۹ ارایه 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.

۲- ارزش‌گذاری 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 می‌دهد. برای تعیین اولویت نهایی شاخص‌ها با تکنیک AHPکافیستوزن شاخص‌ها

جدول ۹- ارزش‌گذاری نهایی معیارها وزیرمعیارها

Table 9. Final Evaluation of Criteria and Sub-criteria

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

		NO_x	۰/۱۸۲	۰/۰۴۲۵	۸
		SO_x	۰/۲۸۱	۰/۰۶۵۶	۶
		CO	۰/۱۸۵	۰/۰۴۳۲	۷
		ذرات معلق	۰/۱۷۷	۰/۰۴۱۳۵	۹
		آلودگی صوتی و بصری	۰/۰۷۱	۰/۰۱۶۶	۲۳
خاک	۰/۱۱۴	کیفیت خاک(آلودگی)	۰/۲۲۹	۰/۰۲۶۱	۱۶
		لرزه خیزی	۰/۲۷۱	۰/۰۳۱۰	۱۳
		کاربری زمین	۰/۲۰۱	۰/۰۲۳۰	۱۸
		فرسایش خاک	۰/۲۹۹	۰/۰۳۴۲	۱۱
پیامدهای اقتصادی- اجتماعی	۰/۱۲۰	سرمایه اولیه	۰/۲۶۶	۰/۰۳۲۰	۱۲
		سوخت مصرفی	۰/۲۴۹	۰/۰۳۰۰	۱۴
		اصلاح و بهینه سازی	۰/۱۴۴	۰/۰۱۷۳	۲۰
		هزینه تعمیرات	۰/۱۳۷	۰/۰۱۶۵	۲۴
		مالی و اداری	۰/۰۶۲	۰/۰۰۷۴	۲۶
		مهاجرت	۰/۱۴۲	۰/۰۱۷۱	۲۱
اثرات محیط‌زیستی دیگر (به غیراز آب، هوا، خاک)	۰/۰۸۱	پوشش گیاهی	۰/۳۲۷	۰/۰۲۳۶۳	۱۵
		زیست اقلیم حیوانات	۰/۲۷۵	۰/۰۲۲۱۱	۱۹
		گونه جانوری	۰/۲۰۶	۰/۰۱۶۶	۲۲
		مصرف سوخت فسیلی	۰/۱۹۳	۰/۰۱۵۵	۲۵

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:

فرمول (۱-۱)

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m a_{ij}^2}}$$

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

جدول ۱۰- ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده

Table10. Normalized Decision Matrix

نرمال کردن	نیروگاه بادی کهک	نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند)
COD	۰/۷۰۴	۰/۷۱۱
BOD	۰/۷۲۷	۰/۶۸۶
کیفیت آب‌های سطحی	۰/۷۱۷	۰/۶۹۷
کیفیت آب‌های زیرزمینی	۰/۶۵۱	۰/۷۵۹
آلودگی حرارتی	۰/۶۶۸	۰/۷۴۴
پساب	۰/۶۶۸	۰/۷۴۴
تغییر اقلیم	۰/۶۳۸	۰/۷۷
NO_x	۰/۷۲۷	۰/۶۸۷
SO_x	۰/۷۴۳	۰/۶۶۹
CO	۰/۷۳	۰/۶۸۳
ذرات معلق	۰/۷۲۷	۰/۶۸۶
آلودگی صوتی و بصری	۰/۶۳	۰/۷۷۶
کیفیت خاک(آلودگی)	۰/۷۲	۰/۶۹۴
لرزه خیزی	۰/۶۹۹	۰/۷۱۵
کاربری زمین	۰/۷۳۱	۰/۶۸۳
فرسایش خاک	۰/۷۰۳	۰/۷۱۱
سرمایه اولیه	۰/۶۶۴	۰/۷۴۸
سوخت مصرفی	۰/۷۴۷	۰/۶۶۵
اصلاح و بهینه سازی	۰/۶۶۲	۰/۷۴۹
هزینه تعمیرات	۰/۶۵	۰/۷۶
مالی و اداری	۰/۶۶	۰/۷۵۱
مهاجرت	۰/۷۵۳	۰/۶۵۸
پوشش گیاهی	۰/۷۶۵	۰/۶۴۴
زیست اقلیم حیوانات	۰/۷۶۷	۰/۶۴۲
گونه جانوری	۰/۷۶۲	۰/۶۴۸
مصرف سوخت فسیلی	۰/۷۸۲	۰/۶۲۳

گام سوم: تهیه ماتریس بی‌مقیاس موزون

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_{nxn}) که عناصر قطر 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.

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

نتیجه این محاسبه در جدول ۱۱ خلاصه شده است:

جدول ۱۱- ماتریس بی‌مقیاس شده موزون

Table11. Normalized Weightening matrix

بی مقیاس موزون	نیروگاه بادی کهک	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	۰/۰۵
پساب	۰/۰۴۵	۰/۰۵
تغییر اقلیم	۰/۰۴۳	۰/۰۵۲
NO_x	۰/۰۴۹	۰/۰۴۶
SO_x	۰/۰۵	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	۰/۰۵
سوخت مصرفی	۰/۰۵	۰/۰۴۵
اصلاح و بهینه سازی	۰/۰۴۴	۰/۰۵
هزینه تعمیرات	۰/۰۴۴	۰/۰۵۱
مالی و اداری	۰/۰۴۴	۰/۰۵

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

گام چهارم: محاسبه ایده‌آل‌های مثبت و منفی

در این گام برای هر شاخص یک ایده‌آل مثبت (V^+) و یک ایده‌آل منفی (V^-) محاسبه می‌شود. اکنون باید ایده‌آل‌های مثبت و منفی را برای هریک از شاخص ها بدست آورد.

برای هر شاخص مثبت، ایده‌آل مثبت بزرگترین مقدار ستون مربوط در ماتریس v می‌باشد.

برای هر شاخص مثبت، ایده‌آل منفی کوچک ترین مقدار ستون مربوط در ماتریس v می‌باشد.

برای هر شاخص منفی، ایده‌آل مثبت کوچک ترین مقدار ستون مربوط در ماتریس v می‌باشد.

برای هر شاخص منفی، ایده‌آل منفی بزرگ ترین مقدار ستون مربوط در ماتریس v می‌باشد.

بنابراین مقدار ایده‌آل مثبت و منفی برای این موقعیت تصمیم‌گیری به قرار زیر است:

جدول ۱۲- محاسبات ایده‌آل‌های مثبت و منفی

Table12. Ideal Positive and Negative Calculations

V-	V+	
۰/۰۴۸	۰/۰۴۷	COD
۰/۰۴۹	۰/۰۴۶	BOD
۰/۰۴۷	۰/۰۴۸	کیفیت آب‌های سطحی
۰/۰۴۴	۰/۰۵۱	کیفیت آب‌های 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

سوخت مصرفی	۰/۰۴۵	۰/۰۵
اصلاح و بهینه سازی	۰/۰۴۴	۰/۰۵
هزینه تعمیرات	۰/۰۴۴	۰/۰۵۱
مالی و اداری	۰/۰۴۴	۰/۰۵
مهاجرت	۰/۰۴۴	۰/۰۵
پوشش گیاهی	۰/۰۵۱	۰/۰۴۳
زیست اقلیم حیوانات	۰/۰۵۱	۰/۰۴۳
گونه جانوری	۰/۰۵۱	۰/۰۴۳
مصرف سوخت فسیلی	۰/۰۴۲	۰/۰۵۲

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

گزینه ها	d+	d^-
نیروگاه بادی کهک	۰/۰۱۷۴۹	۰/۰۲۴۱۳
نیروگاه سیکل ترکیبی شهدای پاکدشت (دماوند)	۰/۰۲۴۱۳	۰/۰۱۷۴۹

گام ششم: محاسبه راه‌حل ایده‌آل

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

$$CL^*i = di^- / (di^- + di^+)$$ فرمول (۱-۲)

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:

جدول ۱۴- مقادیر CL محاسبه شده

Table14. Calculated CL Quantities

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

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 ارایه شده، قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیران در فرآیند مقایسه زوجی و شناخت شاخص‌های زیست‌محیطی برای تعیین ارجحیت نیروگاه‌ها بصورت کمی درآمد و با ترکیب روش‌های AHPو TOPSIS (مدل تصمیم‌گیری ارایه 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 آن ها، 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

جایگزین مناسبی برای نیروگاه‌های فسیلی در بسیاری از موارد به شمار می‌روند، منافع بسیاری از جمله بهبود اشتغال، افزایش توانمندی‌های ملی و امکان صادرات این تکنولوژی‌ها در صورت بومی‌سازی آن‌ها را میسر می‌کنند. همچنین منابع فسیلی صرفه‌جویی شده، می‌توانند 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 جمع‌آوری نظرات خبرگان در ایران مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مصاحبه‌های انجام شده، پنج معیار اصلی آب، هوا، خاک، پیامدهای اقتصادی- اجتماعی و سایر اثرات محیط‌زیستی(به جز آب، هوا، خاک) به عنوان معیارهای اصلی شناسایی شدند.

بر اساس نتایج به دست آمده و با توجه به شاخص‌هایی که در بالا ذکر شده‌اند نیروگاه بادی کهک به عنوان بزرگترین نیروگاه بادی کشور نسبت به نیروگاه سیکل‌ترکیبی 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 نیروگاه‌ها را می‌توان به این علت دانست که در کشور ما سوخت به قیمت یارانه‌ای برای نیروگاه‌ها محاسبه می‌شود که با در نظر گرفتن قیمت‌های واقعی سوخت‌های فسیلی و همچنین سایر معیارها، انرژی‌های تجدیدپذیر در اولویت توسعه فناوری‌های تولید برق کشور قرار می‌گیرند و می‌توانند 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، نیروگاهای 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 نیروگاههای فسیلی و بادی پرداخته است و اولویت نیروگاه بادی بر فسیلی را نشان داده 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 شده‌و 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 ازنظر کمی و کیفی تایید می شودو در راستای سیاست های کلی محیط زیست کشور است که افزایش سهم انرژی های پاک و تجدید پذیردرسبد انرژی کشور را پیشنهاد می‌نماید.

Referencr

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.

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,28 th 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 Level, Iranian journal of Fuzzy Systems.
13. Manzor,D,2015,Priotizing of power generation plant in Iran with multi attrabitue 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 Sience.; 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 nergy 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).