نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها
ICISE2023
The 9th International Conference on Industrial and Systems Engineering ۲۱ و ۲۲ شهریور ۱۴۰۲ ● دانشگاه فردوسی مشهد
● 12&13 Sep. 2023 ● Ferdowsi University of Mashhad

اولویت‌بندی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر به کمک الگوریم‌های توسعه یافته تصمیم‌گیری چند معیاره (روش‌های PAPRIKA و PAMSSEM)

المیرا شهناز[۱]، حمیدرضا کوشا[۲]، سروش صفرزاده[۳]

[۱] دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش بهینه‌سازی سیستم‌ها، دانشگاه فردوسی مشهد؛ shahnaz.elmira@mail.um.ac.ir

[۲] عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد؛ koosha@um.ac.ir

[۳] استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران؛ s.safarzadeh@qiet.ac.ir

* نویسنده مسئول: سروش صفرزاده

چکیده

باتوجه به نقش انرژی در کیفیت زندگی بشر و افزایش تقاضای انرژی و جمعیت در سراسر جهان و همچنین استفاده‌ی زیاد از منابع غیرقابل‌تجدید نظیر سوخت‌های فسیلی، تمامی کشورهای جهان را با چالش استفاده و بهره‌برداری حداکثری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و انجام پروژه‌های سبز و مرتبط با حفظ انرژی، مواجه کرده‌است؛ همچنین تصمیم‌گیری در حوزه‌ی چنین مسائلی ابعاد و اهداف متفاوتی را دربر دارد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره راه‌حلی مناسب برای حل چنین مسائلی است زیرا به‌طور هم‌زمان چندین هدف و معیار را درنظر می‌گیرد؛ هدف از انجام این پژوهش، رتبه‌بندی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر براساس معیارهای اقتصادی، تکنولوژی، اجتماعی و زیست‌محیطی و با استفاده از روش‌های نوین و جدید تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه می‌باشد؛ در این مقاله، از تکنیک PAPRIKA جهت وزن‌دهی به معیارها (در حالت تصمیم‌گیری گروهی) و از تکنیک PAMSSEM جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده‌است؛ به‌کار بردن این دو تکنیک در ترکیب با یک‌دیگر و حتی به‌صورت گروهی در حوزه انرژی، تا به حال در پژوهش‌های پیشین استفاده نشده است؛ ورن‌دهی معیارها نشان می‌دهد که معیار اقتصادی دارای بالاترین وزن و پس از آن به‌ترتیب، معیارهای تکنولوژی، زیست محیطی و اجتماعی در اولویت دوم، سوم و چهارم می‌باشند. نتیجه حاصل از رتبه‌بندی گزینه‌ها نشان می‌دهد که پروژه‌های حوزه انرژی خورشیدی در اولویت نخست جهت اجرا قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، اولویت‌بندی، پروژه‌های سبز، روش پاپریکا، روش PAMSSEM

Prioritization of renewable energy resources using developed multi-criteria decision-making algorithms (PAPRIKA and PAMSSEM methods)

Elmira Shahnaz[1], Hamidreza Koosha[2] , Soroush Safarzadeh[3]

[1] MSc Student of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad; shahnaz.elmira@mail.um.ac.ir

[2] Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad; koosha@um.ac.ir

[3] Industrial Engineering Department, Quchan University of Technology, Quchan, Iran; s.safarzadeh@qiet.ac.ir

* Corresponding author: Soroush Safarzadeh

ABSTRACT

Bay structure method is a highlight technique in unequal facility layout problem. This method, likes as Given the role of energy in human quality of life and the increasing demand for energy and population growth worldwide, as well as the extensive use of non-renewable resources such as fossil fuels, Decision-making in such matters involves different dimensions and objectives, and the use of multi-criteria decision-making methods is a suitable solution for solving such problems as it considers multiple goals and criteria simultaneously. The purpose of this research is to rank the projects of the Solar Energy Research Institute of Ferdowsi University of Mashhad based on economic, technological, social, and environmental criteria using modern and innovative multi-criteria decision-making methods. The PAPRIKA technique has been used to weigh the criteria (in group decision-making) and the PAMSSEM technique has been used to rank the altenatives. The presentation of the criteria shows that the economic criterion has the highest weight, followed by technological, environmental and social criteria in the second, third and fourth priority. The result of ranking the options shows that solar energy projects are given first priority for implementation.

Keywords : Renewable energy, Ranking, Sustainable projects, PAPRIKA, PAMSSEM

۱- مقدمه

انرژی به عنوان توانایی انجام کار و منبعی برای زندگی، تعریف می‌شود. واضح است که انرژی برای هر جامعه‌ای ضروری است و کیفیت زندگی در آن جامعه را، تضمین می‌کند و درواقع پشتوانه‌ای برای عناصر اقتصادی آن جامعه است. با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و افزایش تقاضای انرژی در سطح جهان و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر۱ و سبز۲، حائز اهمیت می‌گردد. همچنین با توجه به آسیب‌های سوخت‌های فسیلی برای محیط‌زیست و سلامت انسان مانند انتشار گازهای گل‌خانه‌ای، آلودگی هوا، گرم شدن تدریجی کره‌ی زمین و تغییر شرایط آب‌وهوایی و اقلیمی، مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی و استفاده از منابع پاک، مورد توجه تمامی کشورهای جهان قرار می‌گیرد. با وجود محدودیت بودجه و مسائل اقتصادی و عدم وجود تکنولوژی‌های کافی جهت استفاده از RES (منابع انرژی‌های تجدیدپذیر) و GES (منابع انرژی‌های سبز)، لازم است که منابع اولویت‌بندی شوند و گزینه‌ی برتر از منظر معیارهای مختلف در هر جامعه، انتخاب شود؛ تصمیم‌گیری در مورد انرژی و برنامه‌ریزی برای آن، بسیار پیچیده است زیرا این برنامه‌ریزی با بخش‌های دیگری مانند فنی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست و همچنین با ذینفعان و اهداف ناسازگار زیادی در ارتباط است و این موضوع کار را برای تصمیم‌گیرنده دشوار می‌سازد به همین دلیل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، روشی مناسب برای ارزیابی و اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری در مورد موضوعاتی است که دارای چندین شاخص و معیار و هدف هستند [۱]؛ منابع انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی باد، خورشیدی، آبی، زمین گرمایی، زیست توده، زباله‌های صنعتی و کشاورزی و زباله‌های شهری (یا همان بازیابی انرژی)۳ است. انرژی‌های بادی، خورشیدی، زیست‌توده و زمین گرمایی، بسیار انرژی‌های مقرون‌به‌صرفه‌ای در صنعتِ تولید تکنولوژی انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. انرژی‌های تجدیدپذیر، برای چهار بخش عمده شامل تولید برق، گرمایش و سرمایش هوا و آب، ترابری و خدمات انرژی روستایی، انرژی را فراهم می‌کند.

حل مسئله به دو بخش اصلی شامل وزن‌دهی معیارها و اولویت‌بندی گزینه‌ها در حالت تصمیم‌گیری گروهی، تقسیم می‌شود؛ در بخش وزن‌دهی معیارها، روش‌های مقایسات زوجی از مناسب‌ترین روش‌های برای حل مسئله پیش رو است؛ با توجه به مزایای روش پاپریکا نظیر کم بودنِ تعداد مقایسات زوجی و سادگی آن، مورد استفاده قرار می‌گیرد و در ترکیب با روش فرارتبه‌ای PAMSSEM، در حالت گروهی، دقت بالایی حاصل می‌شود؛ چرا که این دو روش در کنار یک‌دیگر، ضعف‌های هر روش را به‌طور مستقل پوشش می‌دهند. در انتها با اعتبارسنجی، از نتیجه حاصل، رضایت کافی حاصل شد.

در ادامه و در بخش دوم مقاله به بررسی پژوهش‌های انجام شده در رابطه با این موضوع می‌پردازیم. در بخش سوم، به تعریف مسئله و جزئیات روش حل و در بخش چهارم نتایج حاصل از حل مسئله تشریح می‌شود. در پایان نیز جمع بندی پژوهش ارائه می‌گردد.

۲- مرور ادبیات

جدول ۱-بررسی پژوهش‌های پیشین

مرجع	سال	کشور	هدف پژوهش	روش	نتیجه
[۲]	2017	تایوان	انتخاب محل نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک	ISM FANP VIKOR	مهم‌ترین معیار هزینه است. بهره‌برداری از زمین مهم‌ترین زیرمعیار است. با اعمال مدل پیشنهادی رتبه‌بندی کلی گزینه ها به دست آمده.
[۳]	2010	ترکیه	برنامه‌ریزی برای انرژی‌های تجدیدپذیر	VIKOR AHP	۱-انرژی خورشیدی در رتبه اول ۲-زیست توده در رتبه دوم

[1] Renewable Energy sources
[2] Green Energy Sources
[3] Waste to Energy

مرجع	سال	کشور	هدف پژوهش	روش	نتیجه
					۳-زمین گرمایی در رتبه سوم ۴-برق آبی در رتبه چهارم
[۴]	2014	مالزی	انتخاب منابع انرژی تجدیدپذیر برای توسعه پایدار سیستم تولید انرژی	AHP	۱-انرژی خورشیدی در رتبه اول ۲-زیست توده در رتبه دوم ۳-برق آبی در رتبه سوم ۴-انرژی باد در رتبه چهارم
[۵]	۲۰۱۵	چین	اولویت دادن به منابع انرژی کم کربن برای افزایش امنیت انرژی چین	AHP TOPSIS	۱-برق آبی در رتبه اول ۲-انرژی باد در رتبه دوم ۳-زیست توده در رتبه سوم ۴-انرژی خورشیدی در رتبه چهارم ۵-انرژی هسته‌ای در رتبه پنجم
[۶]	2016	لیتوانی	تحلیل چندمعیاره فناوری‌های برق	AHP ARAS	1-انرژی هسته‌ای در رتبه اول ۲-زیست توده در رتبه دوم ۳-برق آبی در رتبه سوم ۴زمین گرمایی در رتبه چهارم
[۷]	۲۰۲۲	ایران	ارزیابی تکنولوژی‌های انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق (خوزستان)	FAHP	فناوری انرژی خورشیدی در بالاترین رتبه (فتوولتائیک)

۳- مدل‌سازی و مراحل پژوهش

۳-۱ هدف مسئله

هدف از انجام این پژوهش، اولویت بندی پروژه‌های حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر برای پژوهشکده هواخورشید دانشگاه فردوسی مشهد است. ماموریت این سازمان، پژوهش، فناوری، طراحی و تجاری‌سازی RE و ذخیره‌سازی انرژی است؛ حوزه‌ی فعالیت آن، انرژی بادی، خورشیدی، بادسنجی و ذخیرسازی انرژی و توانمندی‌های این مجموعه شامل ساخت قطعات کامپوزیتی و صنایع پیشرفته‌ی هوا خورشید می‌باشد. اطلاعات به دست‌آمده در ادامه از طریق مصاحبه با صاحب نظران و خبرگان و تصمیم‌گیرندگان سازمان و با روش‌های میدانی (پرسش‌نامه آنلاین) از طریق نرم‌افزار ۱۰۰۰ مایندز[4] حاصل گردیده‌است.

۳-۲ معیارهای مسئله

شناسایی معیارهای مسئله از طریق مطالعه پژوهش‌های پیشین و مصاحبه با خبرگان مسئله حاصل گردیده است و شامل عوامل اقتصادی، تکنولوژی (فنی)، زیست محیطی و اجتماعی (سیاسی) است.

[4] 1000minds

جدول ۲-شناسایی معیارهای مسئله

معیارها	اقتصادی	فنی (تکنولوژی)	زیست محیطی	اجتماعی (سیاسی)
زیر معیارهای مسئله	۱- سود حا صل از انجام هر پروژه ۲-نرخ تولید برق ۳-تاثیر نرخ تورم ۴-مالیات ۵-نرخ بیمه	۱-قابلیت اجرا	۱- دستیابی به چشم انداز سازمان (چشم‌انداز سازمان، تامین انرژی‌های پایدار و انجام پروژه‌های سبز است.)	۱-اشتغالزایی و حفظ نیروی انسانی ۲-انتقال دانش فنی و قوی نمودن رزومه‌ی سازمان

۳-۳ گزینه‌های مسئله

اهدافِ انجام پروژه‌های مرتبط با حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در پژوهشکده هواخورشید دانشگاه فردوسی مشهد، در سه دسته تقسیم می شوند؛ هدف اول، تجاری و انجام قراردادهای برون سازمانی و هدف دوم، حل مشکلات درون سازمانی و کمک به بهره‌وری سازمان و ارتقای آن در راستای انجام پروژه‌های سبز و هدف سوم، دستیابی به یک فناوری و تکنولوژی بدیع و نوظهور در این راستا است.

پروژه‌های این سازمان در چهار دسته انرژی خورشیدی، انرژی بادی، سیستم‌های هیبریدی و ذخیره‌سازها (باتری) دسته‌بندی می شوند؛ که این پروژه‌ها مربوط به بازه زمانی شش ماه هستند و به دلیل حفظ اطلاعات محرمانه سازمان، پروژه‌ها به صورت کدگذاری شده در جدول ۳، شرح داده شده‌اند.

جدول ۳-پروژه‌های سازمان

کد پروژه	گروه	هدف از انجام پروژه	کد پروژه	گروه	هدف از انجام پروژه
۰۱	خورشیدی	دستیابی به فناوری بدیع	۱۱	بادی	درون سازمانی (ارتقای سازمان)
۰۲	خورشیدی	دستیابی به فناوری بدیع	۱۲	بادی	تجاری
۰۳	خورشیدی	ارتقای سازمان	۱۳	بادی	تجاری
۰۴	خورشیدی	تجاری	۱۴	بادی	تجاری
۰۵	خورشیدی	تجاری	۲۰	هیبرید	تجاری
۰۶	خورشیدی	تجاری	۲۱	هیبرید	فناوری، تجاری
۰۷	خورشیدی	ارتقای سازمان، تجاری	۳۰	باتری	تجاری
۰۸	خورشیدی	تجاری	۰۰	خورشیدی	فناوری
۰۹	خورشیدی	دستیابی به فناوری بدیع	۱۵	بادی	فناوری
۱۰	بادی	تجاری			
۱۱	بادی	درون سازمانی (ارتقای سازمان)			

۳-۴ وزن‌دهی معیارها

روش پاپریکا

پاپریکا روشی است که رتبه‌بندی که در ذهن افراد است، را به‌صورت منظم‌تر، دقیق‌تر، واقعی‌تر و ساده‌تر پیاده‌سازی می‌کند و شامل رتبه‌بندی زوجی تصمیم‌گیرنده به‌صورت بالقوه از تمام جفت‌های غیربرجسته متعلق به تمام گزینه‌های ممکن است. در این مدل، یک جفت غیربرجسته، دو گزینه‌ای هستند که یکی از آن‌ها برای حداقل یک معیار دارای اولویت بالاتر و برای حداقل یک معیار دیگر، دارای اولویت پایین‌تر نسبت به گزینه دیگر می‌باشد. در نقطه مقابل، گزینه‌های مربوط به یک جفت برجسته، به گونه ذاتی، رتبه‌بندی زوجی شده‌اند، چرا

که یکی از آن‌ها برای حداقل یک معیار دارای اولویت بالاتر و فاقد هر معیاری است که دارای اولویت پایین‌تر باشد[۸].

تصمیم‌گیرنده با رتبه‌بندی زوجی هم‌زمان جفت‌های غیربرجسته‌ای که فقط با دو معیار تعریف شده‌اند (در حالی‌که به گونه اثربخش، تمام گروه‌بندی‌های معیارهای دیگر به‌صورت دو به دو یکسان هستند)، کار را شروع می‌کند. در صورتی که تصمیم‌گیرنده، ادامه دهد، این کار تا زمانی که به‌طور بالقوه تمام جفت‌های غیربرجسته، رتبه‌بندی شوند، با زوج‌های دارای معیارهای بیشتر دنبال می‌شود. تعداد زوج‌هایی که باید به‌طور صریح رتبه‌بندی شوند از طریق پاپریکا به کمترین مقدار، کاهش داده می‌شود؛ چرا که این تکنیک، بر اساس نتایج رتبه‌بندی صریح زوجی، تمام زوج‌های دیگر را به‌صورت ضمنی رتبه‌بندی نموده و از دور، خارج می‌کند. ازآنجاکه این رتبه‌بندی‌های زوجی با هم سازگاری دارند، یک رتبه‌بندی کلی از تمام گزینه‌ها به وجود می‌آید. به این ترتیب که از طریق ارزیابی پاسخ‌های مبتنی بر نابرابری (اولویت صریح) و برابری (بی‌تفاوتی) بین زوج‌ها، امتیازات با برنامه‌ریزی خطی به دست می‌آیند. نرم‌افزار قابل استفاده در این تکنیک، نرم‌افزار آنلاین 1000 مایندز است؛ در این روش می‌توان از پرسش‌نامه و روش کتاب‌خانه‌ای جهت جمع‌آوری داده استفاده کرد.

روش پاپریکا شامل قضاوت‌های بیشتری نسبت به روش‌های امتیازدهی سنتی است، کاربرد آن ساده‌تر است و ترجیحات تصمیم‌گیرندگان را با دقت بیشتری منعکس می‌کند. علاوه براین، مقرون به صرفه و قابل تکرار است و از نظر شناختی کم‌تر از روش‌های دیگر برای تصمیم‌گیرندگان سنگین است. مزیت دیگر این است که بر خلاف روش‌های دیگر MCDM که فقط داده‌های انبوه و یکپارچه را ارائه می‌دهند، مجموعه‌ای از وزن‌ها را برای هر تصمیم‌گیرنده تولید می‌کند. این امکان مقایسه وزن‌ها بین زیرگروه های شرکت کنندگان را فراهم می کند؛ برخلاف سایر روش‌ها که برای اندازه‌گیری ترجیحات تصمیم‌گیرندگان از نسبت‌های عددی (نظیر نسبت ۱ به ۹ که در روش AHP استفاده می‌شود)، PAPRIKA یک گزینه را تنها از دو احتمال انتخاب می‌کند. این روش، انتخاب را بسیار ساده‌تر و طبیعی‌تر می‌نماید؛ همه این موارد، اعتماد زیادی به پاسخ های ارائه شده توسط تصمیم گیرندگان ایجاد می‌کند؛ همچنین تعداد مقایسات زوجی را کاهش می‌دهد. در این روش گزینه‌های اضافی برای تصمیم‌گیرنده حذف می‌شوند بدین ترتیب تعداد سوالات کاهش می‌یابد. در این روش با توجه به انتخاب‌های هر فرد، تعداد سوالات متفاوت است؛ مزیت اصلی روش PAPRIKA این است که وزن معیارها را می توان بدون سؤال صریح از تصمیم گیرندگان در مورد آنها ساخت. باتوجه به این‌که در پرسش‌نامه پاپریکا، در هر زمان، تنها دو معیار درنظر گرفته می‌شود، برخلاف سایر روش‌ها که ممکن است چندین معیار در کنار هم درنظر گرفته‌شوند، بنابراین واضح است که پاسخ دادن به چنین سوالاتی برای تصمیم‌گیرنده آسان است.

شکل ۱-پرسش‌نامه روش پاپریکا

۳-۵ رتبه‌بندی گزینه‌ها

روش PAMSSEM

این روش با یک رویکرد فرارتبه‌ای، با توجه به نوع اصلی یا ترتیبی بودن مقادیر هر شاخص، به الگوسازی ترجیحات تصمیم‌گیرندگان، جهت انتخاب گزینه برتر می‌پردازد. در این روش تنها به برر سی جریان‌های ورودی و خروجی به د ست آمده پرداخته می شود و رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها صورت می‌گیرد. در روش PAMSSEM II، جریان خالص به عنوان مقادیر نهایی تعیین می‌شود و رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها صورت می‌گیرد. این روش در زمره روش‌های جبرانی قرار می‌گیرد؛ در این روش باید شاخص‌های کیفی به کمی تبدیل شوند که در این پژوهش با درنظرگرفتن سه سطح عددی برای هر شاخص، این مسئله رفع گردیده است؛ در این روش برخلاف بعضی روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چند شاخصه، نیازی به استقلال شاخص‌ها از یک‌دیگر نیست؛ این مورد، انگیزه را برای استفاده از این روش در این پژوهش

افزایش می‌دهد زیرا در مباحث انرژی، شاخص‌هایی نظیر شاخص اقتصادی و اجتماعی ازط هم مستقل نیستند.

ورودی‌های مدل

۱-ماتریس تصمیم: با درنظر گرفتن سطوح کمی برای شاخص‌های کیفی و از طریق پرسش نامه، داده‌های ماتریس تصمیم استخراج می‌شود.

۲-وزن شاخص‌ها: وزن شاخص‌ها با استفاده از روش پاپریکا و با درنظر گرفتن خاصیت ($\sum_{j=1}^{n} W_j = 1$) ارائه می‌شود.

۳-پارامترهای مدل: آستانه بی‌تفاوتی [5](q)، آستانه ترجیح [6](p) و آستانه رد [7](v) توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود.

مراحل روش

۱-تعیین شاخص فرارتبه‌ای محلی [8]: شاخص فرارتبه‌ای محلی برای شاخص‌ها با اعداد اصلی، از رابطه (۱) تعیین می‌شود.

$$\delta(A_i.A_{i'}) = \sum_{A_{i'}} \left(\sum_{A_i} \overline{\delta_j}\left(A_i.A_{i'}\right) \cdot f_j\left(A_i\right) \right) \cdot f_j(A_{i'}) \qquad (۱)$$

۲-تعیین شاخص تطابق: با توجه به نوع شاخص فرا رتبه‌ای محلی با اعداد اصلی و ترتیبی و نیز داشتن وزن شاخص‌ها، شاخص تطابق از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\boldsymbol{C\left(A_i.A_{i'}\right) = \sum_{j=1}^{n} \delta_j\left(A_i.A_{i'}\right) \cdot W_j \quad ; \quad i.i' \epsilon \{1. \ldots . m\}} \qquad (۲)$$

۳-تعیین شاخص عدم تطابق

$$\boldsymbol{D\left(A_i.A_{i'}\right) = \sum_{A_i} \left(\sum_{A_{i'}} \overline{D_j}\left(A_i.A_{i'}\right) \cdot f_j(A_{i'}) \right) \cdot f_j(A_i) \quad i.i' \epsilon \{1. \ldots . m\}} \qquad (۳)$$

۴-تعیین درجه فرارتبه‌ای

$$\boldsymbol{\varphi\left(A_i.A_{i'}\right) = C\left(A_i.A_{i'}\right) \cdot \prod_{j=1}^{n} \left[1 - D_j^3\left(A_i.A_{i'}\right)\right]; \quad 0 \leq \varphi\left(A_i.A_{i'}\right) \leq 1} \qquad (۴)$$

5-محاسبه جریان ورودی (φ^+) و جریان خروجی (φ^-)

$$\boldsymbol{\varphi^+(A_i) = \sum_{A_i \epsilon A} \varphi\left(A_i.A_{i'}\right); \quad i.i' \epsilon \{1. \ldots . m\}} \qquad (۵)$$

$$\varphi^-(A_i) = \sum_{A_i \epsilon A} \varphi\left(A_{i'}.A_i\right); \quad i.i' \epsilon \{1. \ldots . m\} \qquad (۶)$$

۶-محاسبه جریان خالص

$$\boldsymbol{\varphi(A_i) = \varphi^+(A_i) - \varphi^-(A_i) \quad ; i = 1, \ldots . m} \qquad (۷)$$

[5] Indefference Threshold
[6] Preference Thereshold
[7] Veto Threshold
[8] Local Outranking Index

۴- نتایج و تحلیل داده‌ها

۴-۱ نتایج وزن‌دهی معیارها

با ارسال پرسش‌نامه برای خبرگان مسئله و پیاده‌سازی مدل پاپریکا روی داده‌های مذکور، طبق جدول، معیار اقتصادی دارای بالاترین اهمیت و بعد از آن به‌ترتیب، معیارهای تکنولوژی، زیست محیطی و اجتماعی حائز اهمیت است. دقت حاصل از وزن‌دهی معیارها در این مسئله ۹۰ درصد می‌باشد.

جدول ۴-وزن شاخص‌ها

معیار	وزن معیار
اقتصادی	۰,۳۲۶
تکنولوژی	۰,۳۱۷
زیست محیطی	۰,۱۸۰
اجتماعی	۰,۱۷۷
جمع وزن‌ها	۱

از مزیت‌های روش پاپریکا این است که به‌طور مستقل، وزن‌های هر تصمیم‌گیرنده را برای هر شاخص دراختیار قرار می‌دهد.

جدول ۵-وزن شاخص‌ها از دید تصمیم‌گیرندگان

معیار	وزن معیار از دید فرد A	وزن معیار از دید فرد B	وزن معیار از دید فرد C
اقتصادی	76.9%	46.9%	22.1%
تکنولوژی	34.6%	53.2%	67.8%
زیست محیطی	11.5%	15.6%	52.5%
اجتماعی	23.1%	31.3%	27.1%

۴-۲ نتایج اولویت‌بندی پروژه‌ها

بعد از پیاده‌سازی این مدل روی داده‌های مسئله، پروژه‌های حوزه انرژی خورشیدی در اولین اولویت و بعد از آن به ترتیب، پروژه‌های حوزه انرژی بادی، ساخت سیستم‌های هیبریدی و ذخیره‌ساز در اولویت دوم، سوم و چهارم قرار می‌گیرد. تمامی پروژه‌های هر دسته (زیرگروه‌ها) اولویت بندی شدند و با استفاده از در اختیار داشتن اولویت‌بندی آن‌ها، می‌توان برنامه‌ریزی برای اجرای پروژه‌ها در بازه شش ماهه انجام داد؛ برای مثال، واحد کنترل پروژه می‌تواند گانت چارتی برای زمان‌بندی اجرای پروژه‌ها درنظر بگیرد که پروژه‌های خوشیدی در اولین زمان قابل اجرا هستند.

شکل ۲-نتایج اولویت‌بندی پروژه‌ها

۵- نتیجه و جمع‌بندی

با توجه به اهمیت روزافزون انرژی در زندگی بشر، انجام پروژه‌های سبز در جهت حفظ منابع انرژی‌های تجدیدپذیر حائز اهمیت است؛ همچنین تصـــمیم‌گیری در مورد مباحث انرژی، چندجانبه و با معیارهای پیچیده و متعددی روبه‌رو می‌باشـــد؛ هدف از انجام این مقاله، استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت رفع مشکلات تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی بهتر و مناسب‌تر برای انجام پروژه‌ها بوده؛ در این مقاله

از روش نوین پاپریکا در راستای وزن‌دهی معیارها استفاده شده‌است؛ معیار اقتصادی در بالاترین اولویت قرار دارد که نشان می‌دهد عملکرد این روش در مقایسه با سایر روش‌های مقایسات زوجی نظیر AHP بسیار خوب بوده است و دقت بالایی دارد؛ ضمن این‌که تصمیم‌گیری را برای تصمیم‌گیرندگان مسئله راحت‌تر می‌نماید؛ از روش PAMSSEM II برای رتبه‌بندی گزینه‌های مسئله استفاده شده‌است که ترکیب این روش (فرا رتبه‌ای) در کنار روش پاپریکا (مقایسات زوجی) و در حالت گروهی، نوآوری این مقاله به شمار می‌رود و این دو روش در کنار یک‌دیگر توانسته‌اند، ضعف‌های یک‌دیگر را پوشش دهند. همچنین به کاربردن روش‌های مذکور در حوزه‌های مالی، نشان از دقت بالای آن برای تصمیم‌گیری گروهی است که بیان‌گر این موضوع است که کاربرد آن در حوزه انرژی و ورود آن به این حوزه نیز، خالی از لطف نیست؛ رتبه‌بندی دقیق پروژه‌ها در فاز بعدی انجام این پژوهش، انجام خواهد شد.

مراجع

1. Kumar, A., et al., *A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. **69**: p. 596-609.
2. Lee, A.H.I., H.-Y. Kang, and Y.-J. Liou *A Hybrid Multiple-Criteria Decision-Making Approach for Photovoltaic Solar Plant Location Selection*. Sustainability, 2017. **9**, DOI: 10.3390/su9020184.
3. Kaya, T. and C. Kahraman, *Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul.* Energy, 2010. **35**(6): p. 2517-2527.
4. Ahmad, S. and R.M. Tahar, *Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia.* Renewable Energy, 2014. **63**: p. 458-466.
5. Ren, J. and B.K. Sovacool, *Prioritizing low-carbon energy sources to enhance China's energy security.* Energy conversion and management, 2015. **92**: p. 129-136.
6. Štreimikienė, D., J. Šliogerienė, and Z. Turskis, *Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania.* Renewable energy, 2016. **85**: p. 148-156.
7. Asakereh, A., M. Soleymani, and S.M. Safieddin Ardebili, *Multi-criteria evaluation of renewable energy technologies for electricity generation: A case study in Khuzestan province, Iran.* Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2022. **52**: p. 102220.
8. Carnero, M.C., *Waste segregation FMEA model integrating intuitionistic fuzzy set and the PAPRIKA method.* Mathematics, 2020. **8**(8): p. 1375.