نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی
سال دوم / شماره هفتم / زمستان ۱۳۹۴
Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
2nd Year / No. 7 / February 2016

مروری بر فضای عمومی تصمیم‌گیری چندمعیاره در برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر

هادی کاربین*[۱]
علیرضا رشیدی کمیجان[۲]

چکیده

امروزه سیاست‌گذاران به‌صورت قابل‌توجهی نسبت به مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر آگاه شده‌اند. از نگاه تصمیم‌گیران سطوح ملی و منطقه‌ای، تهیه برنامه جامع انرژی در اولویت اول و تعیین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل سبد تولید انرژی کشور در اولویت دوم، گامی مهم در فرایند سیاست‌گذاری انرژی به شمار می‌رود. در فرآیند انتخاب از میان گزینه‌های مختلف انرژی تجدیدپذیر، ابعاد زیست‌محیطی با معیارهای اقتصادی، فنی و اجتماعی تلفیق می‌شود که ضرورت ترکیب این معیارها با همدیگر، چندمعیاره بودن فضای حاکم بر تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری را نشان می‌دهد. طی سال‌های اخیر مقالات متعددی در زمینه کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت انرژی در نشریات بین‌المللی به چاپ رسیده است اما ازآنجاکه از یک‌سو مطالعه تمامی مقالات برای عموم امکان‌پذیر نیست و از سوی دیگر انتخاب روش مناسب همواره نیازمند ارزیابی‌های دقیقی است که در هر موقعیت امکان‌پذیر نیست، به‌منظور دستیابی به تصوری کلی از فضای حاکم بر تصمیم‌گیری چندمعیاره در برنامه‌ریزی انرژی و مقایسه صحیح روش‌های تصمیم‌گیری با یکدیگر، این تحقیق به بررسی و واکاوی برخی روش‌های پرکاربرد در این زمینه پرداخته است. در پایان این پژوهش روش پرامتی به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی

تصمیم‌گیری چندمعیاره، برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری، انرژی تجدیدپذیر.

۱*. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، hadikarbin@yahoo.com .
۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، گروه مهندسی صنایع، فیروزکوه، ایران.
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۳۰

مقدمه

توجه به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌صورت سازمان‌یافته و مدرن در کشور، سابقه‌ای چندان طولانی ندارد. طبق اعلام آژانس بین‌المللی انرژی (۲۰۱۰)، ایران همراه با کشورهایی نظیر چین، هند، آمریکا، کانادا، روسیه و انگلیس در بین ده کشوری بوده است که بالاترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن را داشته‌اند. با دقت در این‌که بخش انرژی بیشترین تأثیر را بر افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن دارد، ضرورت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاهش خطرات ناشی از تغییرات آب وهوایی اهمیت دوچندان می‌یابد. درهمین راستا برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP) برآورد کرده است درصورتی که تا سال ۲۰۵۰ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به میزان ۴۵ درصد افزایش یابد، انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ۶۰ درصد کمتر از میزان کنونی خواهد شد.

در کنار این موارد، هم‌زمان با جدی شدن موضوع هدفمندکردن یارانه‌ها که به دنبال بروز بحران‌های تأمین برق و سوخت مورد نیاز کشور مطرح گردید، توجه به بهره‌برداری بیشتر از منابع جایگزین انرژی و ترویج مؤثرتر کاربرد آن‌ها درجامعه بیش از پیش پررنگ شد. درحقیقت همزمان با سیاست‌های دولت درخصوص واقعی کردن قیمت حامل‌های انرژی و بحران‌های موجود در تأمین انرژی از منابع سوخت‌های فسیلی، ضرورت توجه بیشتر به انرژی‌های تجدیدپذیر را درکشور نمایان کرد. در این راستا حرکت به سمت ایجاد ساختاری پویا و منعطف در بخش اجرایی و سیاست‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر، باید به درستی مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان با اثربخش‌تر نمودن ساختارهای مرتبط، گام‌های مؤثرتری دراین زمینه برداشت.

در چنین شرایطی چنانچه بخش انرژی و به‌صورت خاص برنامه‌ریزی انرژی، بر میزان علاقه‌مندی و منابع در دسترس ذینفعان این زمینه تأثیرگذار باشد، پیشنهاد و یا اجرای یک خط‌مشی معین بدون در نظر گرفتن میزان برتری عوامل مؤثر در آن، ازنظر اجتماعی امری پسندیده نیست. گروه‌های متفاوت و فراوانی از ذینفعان در این فرایند دخیل هستند. هر گروه خود به‌تنهایی معیارها و نقطه‌نظرات خاص خود را دارد که باید در چارچوب درک و سازگاری متقابل موردتوجه قرار گیرد. این گروه‌ها می‌توانند شامل اشخاص حقیقی، مؤسسات و همچنین نهادهای اجرایی باشند که متمایل به تأثیرگذاری مستقیم یا غیرمستقیم در فرایند تصمیم‌گیری هستند.

از طرف دیگر، فنون برنامه‌ریزی انرژی در دهه‌های گذشته از روش‌های منحصر به فرد کاهش هزینه به روش‌هایی است که با اهداف متعدد و گاهی با اهداف متناقض تغییر یافته است. این محیط پیچیده ماهیت چند معیاری مسئله را برجسته‌تر می‌کند. رویکردهای تصمیم‌گیری تک‌معیاره سنتی مانند تجزیه‌وتحلیل هزینه-سود و یا شاخص‌های کلان اقتصادی، قادر به حل این مشکلات نیستند. بنابراین اتخاذ سیاست جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به‌جای انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی، باید در یک محیط چندمعیاره انجام پذیرد. تصمیم‌گیری چندمعیاره، رویکردی مناسب برای پرداختن به مشکلات پیچیده همراه با عدم قطعیت بالا است. تعداد متعدد معیارها و پیچیدگی این پروژه‌ها باعث شده است که تجزیه‌وتحلیل چند معیاره به یک ابزار ارزشمند در فرایند تصمیم‌گیری تبدیل شود.

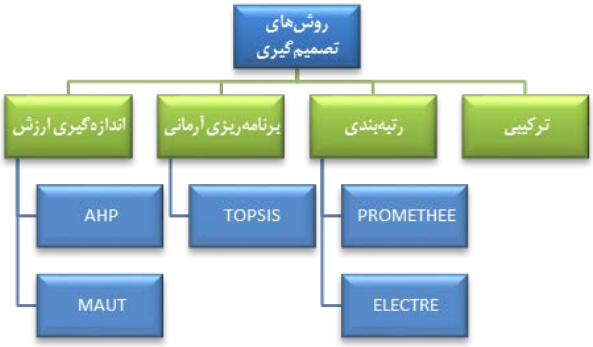
روش‌های زیادی برای حل مشکلات چند معیاره، تدوین و پیشنهاد شده است. بااین‌وجود هنوز هم مشکل انتخاب یک روش مناسب در موقعیت‌های مختلف تصمیم‌گیری وجود دارد. در هیچ‌کدام از روش‌های پیشنهاد شده به‌عنوان بهترین و مناسب‌ترین روش، همه موقعیت‌های تصمیم‌گیری در نظر گرفته نمی‌شود. به عبارت ساده‌تر، اگرچه به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به هدف تحقیق و به‌خصوص به دقت و قابلیت اعتماد داده‌ها بستگی دارد، اما انتخاب صحیح هر یک از این روش‌ها نیازمند مجموعه معیارهای ارزیابی است که باید به دقت مورد مطالعه قرار گیرد.

تقسیم‌بندی کلی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برحسب مؤلفه‌های مختلف، به دسته‌های متفاوتی تقسیم شده‌اند. روش‌های گسسته و پیوسته، فردی یا گروهی، جبرانی و غیر جبرانی و همچنین روش‌هایی از نظر پردازش اطلاعات، از متداول‌ترین انواع روش‌های تصمیم‌گیری هستند. در این تحقیق از معیار دیگری برای مقایسه و تقسیم‌بندی این روش‌ها استفاده شده

است که عبارت است از ماهیت ذاتی روش‌ها و کاربرد محتوایی آن‌ها.

شکل (۱): تقسیم‌بندی کلی روش‌های تصمیم‌گیری



روش‌های اندازه‌گیری ارزش

روش‌های اندازه‌گیری ارزش بیشتر در برنامه‌ریزی‌های مالی مورداستفاده قرار می‌گیرند و امکان ایجاد موازنه بین ارزش‌های ملموس و غیرملموس را هنگام سرمایه‌گذاری فراهم می‌کند. این روش منافع حاصل را به نمایش می‌گذارد و در بسیاری از زمینه‌های برنامه‌ریزی انرژی، به‌خصوص در انتخاب یا رتبه‌بندی فناوری و استراتژی‌ها، کاربرد زیادی دارد. برخی منابع بررسی‌شده، استراتژی‌های تأمین انرژی جایگزین و برخی دیگر، برنامه‌ریزی‌های توسعه انرژی را با استفاده از روش AHP[۱] و یا MAUT[۲] ارزیابی کرده‌اند.

مزایا و محدودیت‌های روش AHP در مقاله‌ای توسط گانش و رامانتن[۳] در سال ۱۹۹۵ مورد ارزیابی قرار گرفته است. آن‌ها مزایای این روش را سادگی، انعطاف‌پذیری، انتقال مستقیم و امکان درنظرگرفتن هم‌زمان معیارهای کیفی و کمی در یک چارچوب واحد، توصیف می‌کنند. هرچند این روش دارای نواقصی است که زمان‌بر بودن (به‌خصوص زمانی که همچون برنامه‌ریزی انرژی تعداد معیارها و گزینه‌ها زیاد باشد) یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. یکی دیگر از اشکالات متداول، مقیاس نسبت و به‌ویژه تبدیل قضاوت‌های شفاهی به عددی است چراکه جدول‌های تبدیل با مشکل زیاد برآورد کردن مواجه هستند.

روش MAUT که خود یکی از بهترین روش‌های تجزیه‌وتحلیل‌های چندمعیاره است، مجموع سود قابل‌انتظار را برای هر یک از گزینه‌های پیشنهادی تعیین می‌کند. از MAUT همچنین برای بهینه‌سازی تأمین انرژی استفاده شده درحالی‌که AHP برای تجزیه‌وتحلیل سیاست‌های انرژی، تخصیص منابع انرژی و یا پیش ارزیابی رتبه‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر مورداستفاده قرارگرفته است. برخی محققان همچون بوهرینگ[۴] و همکاران (۱۹۷۸) تأکید کردند که MAUT منافع زیادی برای تصمیم‌گیران (DM) دارد. بر اساس نظر آن‌ها، توابع ارزیابی سودمندی کمک خواهد کرد تا پیامدهای بسیار مهم شناسایی شده، گزینه‌ها تولید و ارزیابی شوند، تضادها میان تصمیم‌گیران مرتفع شده و امکان قضاوت صحیح فراهم شود. در طرف مقابل برخی منابع به بررسی اشکال این روش پرداخته‌اند. در این میان می‌توان به سیسکوس و هوبرت[۵] (۱۹۸۳) اشاره کرد که در تحقیقات خود مدعی شده‌اند روش موردنظر در طی فرایند اجرا پیچیدگی‌های زیادی را به‌خصوص در رابطه با ارزیابی احتمالات و الصاق سودمندی به معیارها، ایجاد می‌کند. چراکه ایجاد توابع سودمندی به دلیل عدم درک صحیح تصمیم‌گیران از میزان ریسک حاصل از اولویت خودشان، یک اقدام سخت و طاقت‌فرساست.

روش‌های برنامه ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی[۶] از کاربردی‌ترین روش‌های تحقیق در عملیات است که برای اولین بار در سال ۱۹۶۱ توسط چارنز و کوپر[۷] ارائه شد. در برنامه‌ریزی آرمانی که برای حل مسائل تصمیم‌گیری پیوسته طراحی شده است، حرکت هم‌زمان به‌سوی چندین هدف (حتی متضاد باهم) مهیا می‌شود. بنابراین برای معادلات گسسته چندان مناسب نیستند.

یکی از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی که برای برنامه‌ریزی انرژی استفاده شده است، TOPSIS است. از این روش برای ارزیابی گزینه‌های تأمین‌کننده انرژی و همچنین برنامه‌ریزی یکپارچه منابع استفاده شده است. مزایا و محدودیت‌های

[1] Analytical Hierarchy Process
[2] Multi-Attribute Utility Theory
[3] Ramanathan & Ganesh
[4] Buehring
[5] Siskos & Hubert
[6] Goal Programming
[7] Charnes & Cooper

روش‌های آرمانی نیز در تحقیق گانش و رامانتن مورد ارزیابی قرار گرفته است. اولین مزیت این روش‌ها در مقایسه با روش‌های اندازه‌گیری ارزش، وابستگی کمتر به تفکرات شخصی است. همچنین این روش‌ها، مسیرهای صحیحی را به تصمیم‌گیران نشان می‌دهد تا قابلیت فهم بهتری داشته باشند. به‌ویژه زمانی که تعداد معیارها زیاد است، روش‌های آرمانی به دلیل تمرکز بیشتر بر سبک و سنگین کردن[1] و توابع ارزش، برتری بیشتری نسبت به روش‌های اندازه‌گیری ارزش دارند. مزیت دیگر رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی این است که بسیاری از این روش‌ها در مطالعات بهینه‌سازی تک‌معیاره نیز می‌توانند به‌صورت مستقیم و ساده مورد استفاده قرار گیرد.

اگرچه نقدهای علمی بزرگی هم به این روش‌ها به‌خصوص درزمینه تخصیص وزن، شناسایی هدف‌های پرمعنی و نرمالیزه کردن متغیرها وارد است. اشکال دیگر این روش‌ها این است که هر معیار نیازمند اختصاص یک توصیف‌کننده با مقیاس قابل‌اندازه‌گیری است. درنتیجه برنامه‌ریزی‌های آرمانی به‌طورمعمول قادر به کار کردن با معیارهای غیر کمی نیستند و چنانچه استفاده از معیارهای کیفی در یک مطالعه موردنظر باشد، این روش‌ها باید با دیگر فنون رایج تلفیق شوند.

روش‌های رتبه‌بندی

به نظر می‌رسد روش‌های رتبه‌بندی در مسائل برنامه‌ریزی انرژی بسیار متداول هستند. به‌عنوان نمونه این روش‌ها در ارزیابی استراتژی‌های تأمین انرژی‌های جایگزین بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. مهم‌ترین روش‌های رتبه‌بندی که در ارزیابی‌ها کاربرد زیادی داشته‌اند عبارت‌اند از روش PROMETHEE[2] و ELECTRE[3].

ویرایش‌های مختلفی از روش‌های فوق برای پروژه‌ها و برنامه‌های مرتبط با انرژی از قبیل طراحی پروژه و استراتژی‌های انرژی تجدیدپذیر، برنامه‌ریزی انرژی با رویکرد توسعه پایدار، مقایسه فناوری‌های مختلف تولید انرژی، رتبه‌بندی منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر و پیشنهاد منابع آینده انرژی مورد استفاده قرار گرفته است.

گلتسیس[4] و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که روش‌های رتبه‌بندی در مقایسه با سایر روش‌های MCDM وابستگی کمتری به اطلاعات تصمیم‌گیران دارند زیرا نگرش عمیق‌تری به ساختار مسئله دارند، اولویت تصمیم‌گیران را از طریق یک راه‌حل واقع‌بینانه مدل کرده و عدم قطعیت‌ها را به روش‌های مختلف رسیدگی می‌کنند. همچنین نتایج روش‌های رتبه‌بندی قابلیت درک ساده‌تر و آسان‌تری در مقایسه با سایر روش‌ها دارند.

مهم‌ترین وجه تمایز روش‌های مختلف رتبه‌بندی، روش محاسبات آنهاست. برای نمونه PROMETHEE II محاسبات شفافی دارد که به‌سادگی برای تصمیم‌گیران قابل‌درک و پذیرش است. درصورتی‌که همین مسئله از نگاه تصمیم‌گیران در سایر روش‌ها همچون PROMETHEE III بسیار سخت و غیرقابل درک است. در مقیاسی سخت‌تر روش ELECTRE به یک جعبه سیاه ختم می‌شود که حس عدم خوشنودی را به تصمیم‌گیران القا می‌کند.

روش‌های رتبه‌بندی به‌ویژه در مطالعاتی که ارزش کارایی گزینه‌ها به‌سادگی قابل برآورد نیست و یا مقیاس‌های اندازه‌گیری در دامنه وسیعی در حال تغییر هستند، مناسب است. در بسیاری مواقع، از روش‌های رتبه‌بندی برای انتخاب نهایی گزینه‌ها استفاده نمی‌شود بلکه غربالگری‌های اولیه و دسته‌بندی گزینه‌ها در گروه‌های قابل‌پذیرش و غیرقابل‌پذیرش (که این روش‌های بدین منظور بسیار کارآمد هستند) انجام شده و سپس روش‌های دیگر برای ارزیابی دقیق و انتخاب نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش‌های ترکیبی

برخی محققین سعی کرده‌اند روش‌های مختلف MCDM را با یکدیگر ترکیب نمایند. روش AHP یکی از متداول‌ترین روش‌هایی است که برای برنامه‌ریزی انرژی با دیگر روش‌ها ترکیب شده است. برخی موارد این روش با روش PROMETHEE و برخی موارد دیگر با روش TOPSIS تلفیق شده است. در مواردی نیز این روش با برنامه‌ریزی آرمانی برای مسائل تخصیص منابع انرژی ترکیب شده است.

---

[1] Trade-off

[2] Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

[3] Elimination and Choice Translating Reality

[4] Goletsis

به نظر می‌رسد ترکیب دو (یا چند) روش، رویکرد مناسبی باشد زیرا این نوع ترکیب باعث می‌شود بتوان از نقاط قوت هر دو روش به‌درستی استفاده کرد. هرچند در مواقعی ممکن است محدودیت هر روش تکمیل‌کننده روش دیگر باشد.

مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری

مهم‌ترین سؤالی که در این مرحله مطرح می‌شود این است که چگونه یک فرد می‌تواند روشی مناسب را برای تصمیم‌گیری در شرایط مشخص انتخاب نماید. برای این منظور بهتر است فهرستی از پیش‌نیازهای عملیاتی مورد انتظار این روش‌ها درزمینه برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر تهیه شود تا مشخص شود که چه انتظاراتی در فرآیند تصمیم‌گیری باید برآورده شوند. بدیهی است تعداد زیادی از روش‌ها قادر به تحقق بخشیدن به برخی پیش‌نیازهای مورداشاره هستند، اما هیچ‌یک از روش‌ها قادر نخواهند بود به‌طور هم‌زمان به‌تمامی آن‌ها پاسخ دهد.

جدول (۲) برخی از مهم‌ترین پیش‌نیازهای مورد انتظار از روش‌های تصمیم‌گیری را به‌طور مختصر مورد بررسی قرار داده است. بسیاری از این پیش‌شرط‌ها، به‌ویژه مورد آخر که همان جنبه‌های زمانی است اغلب از توجه محققین دور مانده است. به نظر می‌رسد قابلیت کاربرد روش‌های MCDM در برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل اینکه انرژی و ملاحظات زیست‌محیطی پیامدهای متقابل کوتاه و بلندمدتی دارند، کاهش پیدا کند. در روش‌های رتبه‌بندی، معمولاً تصمیم‌گیر می‌خواهد به‌صورت مستقیم فاکتورهای وزن را در ارزیابی معیارها تشخیص دهد.

بعد از بررسی این پیش‌نیازها، چارچوب مفهومی اصول انتخاب روش تصمیم‌گیری در مدیریت انرژی‌های تجدیدپذیر را می‌توان تنظیم نمود. این چارچوب که درواقع معیارهای انتخاب روش مناسب است می‌تواند شامل جنبه‌های گوناگونی باشد. در نظر گرفتن تعداد انبوهی از جنبه‌ها اگرچه در یک نگاه ممکن است منجر به انتخاب دقیق شود، اما از طرف دیگر فرآیند انتخاب را نیز با پیچیدگی‌های غیرضروری مواجه خواهد نمود.

به‌منظور اجتناب از پیچیدگی در انتخاب، تعداد محدودی معیار برای مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری با یکدیگر و انتخاب روش مناسب در این تحقیق مدنظر قرار گرفت تا پس از بررسی، امکان انتخاب مناسب‌ترین روش با توجه به شرایط حاکم بر این پژوهش فراهم شود.

جدول (۲): پیش‌نیازهای روش‌های MCDM در برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر

پیش‌نیازها	دلایل توجیهی
استخراج وزن‌ها	فراهم نمودن اطلاعات اولویت‌بندی بین معیارهای ارزیابی
مقادیر آستانه قابل‌تحمل	عملیاتی کردن ظرفیت شرایط زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و منابع
قابلیت قیاس	مقایسه‌ای یکپارچه بین اقدامات متعدد
اطلاعات کیفی و کمی	استفاده از اطلاعات ترکیبی که معمولاً در تصمیم‌گیری انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد
انعطاف‌ناپذیری	ارائه نتایج ستبر و قوی
تصمیم‌گیری گروهی	حضور ذینفعان متنوع
نمایش گرافیکی	ترجمه قابل‌درک خروجی‌ها
استفاده آسان	آشنایی تصمیم‌گیر با فرآیند تصمیم‌گیری
آنالیز حساسیت	افزایش میزان شفافیت مراحل
تعداد زیاد معیارهای ارزیابی	در برگیری تمامی مناظر مختلف.
مراحل توافق طلب	در دسترس بودن توافق‌های عمومی
جنبه‌های نامرئی مشارکت	قابلیت در برگرفتن جنبه‌های نامعلوم مسئله
رسیدگی به عدم قطعیت‌ها	رفتار واضح با داده‌های ناقص (نامطمئن، غیردقیق، ناقص و ناصحیح)
جبران نسبی	ایجاد پایداری قوی در مفاهیم
مقیاس سلسله‌مراتبی	کاهش درجه ابهام کاهش داده و وضوح پایداری
استحکام معنی‌دار برای پارامترهای استفاده‌شده	بهبود قابلیت اطمینان مراحل
فراگیری ابعاد و اندازه‌ها	وصول و پذیرش آشکار اطلاعات جدید در حین مراحل ارزیابی
جنبه‌های زمانی	در نظر گرفتن وضعیت اضطراری و روشن کردن مفاهیم درازمدت و کوتاه‌مدت

ازآنجایی‌که تمرکز این پژوهش بر فناوری‌های دوست‌دار محیط‌زیست است اولین معیار، پایداری محیط‌زیست در نظر گرفته شد. نکته دیگری که در انتخاب روش اهمیت دارد، درجه اهمیت و اولویت تصمیم‌گیران است چراکه دیدگاه هر یک از آن‌ها با توجه جایگاه سازمانی و تجربه فعالیت در موضوع پژوهش، اولویت متفاوتی خواهد داشت. نکته سوم، مدنظر قرار گرفتن ملاحظات و مشخصات فنی هر یک از گزینه‌های روش‌های تصمیم‌گیری در فرآیند تصمیم است. سپس نوبت به نحوه بهبود عدم قطعیت‌ها در مدل می‌رسد و نهایتاً ملاحظات عملی روش که ممکن است از جانب تصمیم‌گیران مطرح گردد به‌عنوان آخرین معیار تعیین گردید؛ بنابراین معیارهای مقایسه و انتخاب روش تصمیم‌گیری در این پژوهش عبارت‌اند از:

عملیاتی کردن مفهوم توسعه پایدار، مدل‌سازی اولویت تصمیم‌گیرندگان، مشخصه‌های فنی فراوان، بهبود عدم قطعیت و قابلیت‌های عملی فراوان.

- **مفهوم توسعه پایدار**

برنامه‌ریزی انرژی تجدیدپذیر سیاست‌های زیست‌محیطی وسیعی را شکل می‌دهد که بر موضوع تأمین انرژی متمرکز است. به همین ترتیب، درک عمومی توسعه پایدار موردتوجه قرار می‌گیرد تا همراه مصالحه بین حوزه‌های مختلف اقتصاد، اجتماع، محیط‌زیست و منابع در دسترس جست‌وجو شود. روش‌های مختلف به شیوه‌های متفاوتی به موضوع توسعه پایدار نگاه می‌کنند. بسته به درجه جبرانی بودن روش، مفاهیم توسعه پایدار قوی و یا ضعیف مورد کاربرد قرار خواهند گرفت. روش تجزیه‌وتحلیل هزینه و سود (CBA)[1] امکان جبران بین معیارهای مختلف را دارند. این به معنی جابه‌جا کردن یک اقدام با امکان اجرای نسبتاً خوب با اقدام دیگر دارای امکان اجرایی نسبتاً بد است. درنتیجه یک مفهوم با پایداری کم، حذف می‌شود. به‌عنوان‌مثال پروژه‌ای که سوددهی اقتصادی خوبی را برای توسعه‌دهنده آن نشان می‌دهد، می‌تواند به علت اختلال‌های اکولوژیکی آن (مانند پروژه‌های برق‌آبی بزرگ) خنثی شود.

در روش‌های اندازه‌گیری ارزش مانند MAUT اجازه بررسی و سبک و سنگین کردن بین معیارهای مختلف به وجود می‌آید و کارکردهای نسبی هر معیار ارزیابی به‌طور واضح مشخص می‌شود. در حقیقت مسئولیت تحلیل‌گر این است که این کارکردها را به‌صورت دقیق برای هر تصمیم‌گیر معلوم کند.

روش‌های رتبه‌بندی در مقابل، اجازه جبران کامل بین معیارها را نمی‌دهند. کاربرد آستانه‌های حذف در تجزیه‌وتحلیل، عملاً جبران بین معیارها را محدود می‌کند و آستانه‌های خنثی و ارجحیت، تمام تفاوت‌های بین معیارهای قابل‌اندازه‌گیری را در زمان رتبه‌بندی منتقل نمی‌کند. به این وسیله درک شگرفی از مفهوم پایداری به دست خواهد آمد.

پذیرش پایداری شدید یا ضعیف، پی‌آمد مهم برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر است. چنانچه بپذیریم آستانه‌هایی برای مسائل اکولوژیکی وجود دارد که نمی‌توان از آن تجاوز کرد، آنگاه ناچار به استفاده از روش‌هایی هستیم که مفهوم توسعه پایدار را به‌صورت قوی عملیاتی می‌کنند. این مسئله خاص مناطقی است که فقط می‌توانند میزان منابع انرژی تجدیدپذیر باشند (مانند مناطق کوهستانی دوردست که حیات‌وحش و یا گونه‌های گیاهی فراوانی دارند)؛ بنابراین به نظر می‌رسد روش‌های غیر جبرانی و یا نیمه جبرانی رویکردی هوشمندانه برای تصمیم‌گیری درزمینه انرژی و محیط‌زیست باشند.

- **اولویت تصمیم‌گیرندگان**

در اغلب روش‌های تصمیم‌گیری، یک مقدار عددی به هر یک از معیارها اختصاص می‌یابد تا نشان‌دهنده میزان اهمیت نسبی آن باشد و این مقدار منعکس‌کننده وزن متناظر معیار است. تجزیه‌وتحلیل وزن‌ها و تفسیر آن‌ها کاملاً به مدل تصمیم‌گیری برگزیده‌شده بستگی دارد.

در روش‌های رتبه‌بندی که دارای ماهیت غیر جبرانی هستند، تفسیر وزن‌ها متفاوت‌تر از سایر روش‌های جبرانی همچون MAUT است. وزن‌ها مقیاس ثابتی ندارند (در اندازه‌گیری‌های مشابه مقادیر معیار متفاوت است) اما اهمیت نسبی معیارهای مورداستفاده به‌سادگی اندازه‌گیری می‌شود. وزن معیار می‌تواند به تعداد رأی‌هایی که برای کاندیدا در فرآیند رأی‌گیری معین شده است، مرتبط شود. هرچند در

[1] Cost-Benefit Analysis

روش PROMETHEE وزن‌ها بیشتر از یک سبک و سنگین کردن ساده بین معیارها دیده می‌شوند اما آن‌چنان هم ضرایب پراهمیتی نیستند.

در برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر و تصمیم‌گیری، به‌ندرت ممکن است کسی قادر باشد روش‌های چندمعیاره را برای مقایسه بین تصمیم‌گیران استفاده کند. چنانچه نرخ جبران بین تصمیم‌گیران (اهمیت رأی) واضح و مشخص باشد آن‌ها معمولاً احساس راحتی نمی‌کنند و زمان لازم را برای این مرحله اختصاص نخواهند داد. همچنین اگر قرار باشد وزن‌ها به‌وسیله کنترل‌های مجدد تأیید شود و یا در تمرین‌های بازخوانی در رویه‌های مختلفی بکار گرفته شود، بسیار زمان‌بر و پرهزینه خواهد بود؛ بنابراین مطلوب است اگر وزن‌ها را به‌عنوان ضرایبی مهم برای معیارهای ارزیابی استفاده کنیم.

- **مشخصه‌های فنی**

مشخصه‌های فنی می‌توانند بر اساس سه معیار دسته‌بندی شوند: ظرفیت‌های ورودی، برهمکنش با روش و مقیاس سلسله‌مراتبی.

خصوصیت مهم دیگر این روش‌ها، ظرفیت‌های ورودی آن‌هاست. این خصوصیت به‌عنوان نمونه می‌تواند مشخص کند که آیا روش موردنظر با داده‌های در دسترس سازگار است؟ و یا تمامی اطلاعات موردنیاز تصمیم‌گیر را فراهم می‌کند؟ این خصوصیت متمرکز بر انواع داده موردنیاز تصمیم‌گیرنده است که به‌عنوان‌مثال می‌تواند قابلیت بکار بردن هم‌زمان داده‌های کمی و کیفی باشد. در مسائل تصمیم‌گیری انرژی‌های تجدیدپذیر معمولاً اطلاعات، ماهیت ترکیبی دارند. به‌عنوان نمونه معیارهای اقتصادی می‌توانند در مقیاس اعداد اصلی سنجش شوند درحالی‌که معیار زیست‌محیطی در معیار ترتیبی این قابلیت را دارند (تغییرات منظر طبیعی، تغییرات در سبک زندگی مناطق روستایی، اثرات مخرب بر تنوع زیستی و ...)؛ بنابراین از روی احتیاط روش‌هایی مانند خانواده ELECTRE و PROMETHEE که می‌توانند با داده‌های ترکیبی کار کنند انتخاب می‌شوند.

معیار برهمکنش با روش، نمایانگر تعداد و یا ماهیت پارامترهایی است که باید تصمیم‌گیرنده به‌منظور آشنایی خود با روش، مورد ارزیابی قرار دهد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره باید قابلیت فهم و استفاده ساده (حتی برای غیر متخصصین) داشته باشند. چنانچه منطق پس‌زمینه روش شفاف نباشد، تصمیم‌گیر ممکن است روش آن را همانند یک جعبه سیاه درک کند. درنتیجه او به نتایج حاصل از مدل اعتماد نکرده و در این صورت صرف زمان برای به کار گرفتن این روش‌ها در تصمیم‌گیری بی‌معنی می‌شود. در عمل انتخاب روش، اساساً بستگی به میزان ارجحیت تصمیم‌گیر و تحلیل‌گر دارد. ازاین‌رو، در چنین شرایطی مهم‌ترین معیار انتخاب روش، اغلب درجه نزدیک بودن به آن روش است. روش ELECTRE تقاضای تخمین آستانه‌ها (سه نوع از موارد عمومی) و وزن‌ها را دارد. بعلاوه آستانه رد (حق وتو) برخی اوقات با وزن‌ها مطابقت داده می‌شود. این فاکتورها گاهی به تصمیم‌گیر کمک می‌کند که به‌طور کامل مسئله را درک کند و تقدم و اولویت او را نیز شکل دهد. در غیراین‌صورت این مشخصات فقط معانی مختصری را منعکس می‌کنند؛ بنابراین، به دلیل اینکه نیاز است پارامترها معنای واحدی را برای تصمیم‌گیرنده داشته باشند، به نظر می‌رسد روش PROMETHEE مزایای بیشتری داشته باشد.

علاوه بر این، ملاحظه آشکار مقیاس سلسله‌مراتبی یک خصوصیت جذاب برای روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در برنامه‌ریزی‌های انرژی تجدیدپذیر مورداستفاده قرار می‌گیرد. این خصوصیت، تصمیم‌گیرنده را با اولویت‌های مختلف از مراحل نخستین تصمیم‌گیری آشنا می‌کند؛ بنابراین می‌تواند درک مناسب‌تری از ارزش‌های در دسترس، داشته باشد. تنها روشی که با این ویژگی تطابق دارد، روش AHP است.

- **بهبود عدم قطعیت**

میزان توجه به عدم قطعیت‌ها نیز از دیگر ویژگی‌هایی است که به تصمیم‌گیر درزمینه انتخاب روش کمک می‌کند. برخی روش‌ها هنگامی‌که عدم قطعیت یک مسئله کلیدی محسوب می‌شود مناسب‌تر هستند. در عین حال زمانی که ارزش‌های ناسازگار[1] اهمیت بیشتری داشته باشند، روش‌های دیگر مناسب‌تر خواهند بود. مهم است که درک درستی از امکان

[1] Conflicting Values

رسیدن به توصیه‌هایی متفاوت در صورت استفاده از روش‌هایی متفاوت داشته باشیم. این مسئله نباید به این نتیجه‌گیری ختم شود که در هر یک از این روش‌ها بالاخره هر چیزی اشتباه است بلکه مفهوم این بحث آن است که روش‌های مختلف به روش‌های متفاوتی عمل می‌کنند.

برخی موارد گفته می‌شود که در مسائل زیست‌محیطی، داده‌ها با عدم اطمینان و صحت همراه هستند؛ بنابراین توزیع احتمالات در آن کاربرد ندارد. از طرف دیگر الگوی عمومی تاریخی برای مسائل زیست‌محیطی وجود ندارد؛ بنابراین نمی‌توان توصیه کرد توابع توزیع احتمالات برای این نوع از ابهامات مورد استفاده قرار گیرد.

از طرف دیگر در رویکردهای رتبه‌بندی، مقادیر غیر دقیق معیارها به‌وسیله آستانه‌های خنثی و یا دارای تقدم قابل مدل کردن است. این فاصله بین آستانه‌ها نه‌تنها می‌تواند اولویت تصمیم‌گیرنده را مدل کند، بلکه عدم قطعیت بین داده‌ها را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد. بدیهی است آستانه‌ها باید برای هر معیار و مسئله به‌طور مجزا مورد ارزیابی قرار گیرند؛ بنابراین رویکردهای رتبه‌بندی برای مسائل انرژی و محیط زیستی مناسب‌تر هستند.

قابلیت‌های عملی

برخی قابلیت‌های عملی برای روش‌های MCDM وجود دارد که در مباحث انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قابلیت‌ها عبارتند از: سادگی در استفاده؛ توان حمایت از اعداد زیادی از تصمیم‌گیران؛ ظرفیت کار با تعداد زیادی از گزینه‌ها و معیارها؛ توانایی کار با داده‌های نامطمئن و غیردقیق؛ زمان و هزینه کم موردنیاز؛ تفسیر مستقیم و شفاف پارامترها.

بسیار دشوار است روشی بتواند تمام قابلیت‌های فوق را داشته باشد. از طرف دیگر موضوعاتی همچون تعداد زیاد تصمیم‌گیران و گزینه‌ها و معیارها در مسائل انرژی تجدیدپذیر طبیعی است. تحلیل‌گران عموماً زمان و منابع مالی لازم را برای ارزیابی توابع سود نسبی و یا دیگر روش‌هایی که باید تمام گزینه‌ها و معیارها را با تک‌تک تصمیم‌گیران بررسی کرد، ندارند. این مسائل باعث می‌شود روش‌های AHP و MAUT با شرایط نامساعد بزرگی مواجه شوند. درزمینه سادگی در استفاده نیز همان‌گونه که در مبحث قبل ذکر شد، خصوصیات فنی روش باید به نحوی باشد که الزاماً فقط افراد کارشناس از آن روش استفاده نکنند. از این منظر روش PROMETHEE دارای مزیت نسبی مناسبی است و پس‌ازآن به ترتیب ELECTRE و AHP قرار دارند.

برخی مطالعات مشابه

شاید یکی از نخستین افرادیکه تحقیقات خود را در زمینه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی انرژی‌های نو منتشر کرده‌است، نعیم افغان[1] باشد. او که در مؤسسه عالی فناوری کشور پرتغال مشغول فعالیت بوده‌است درسال ۲۰۰۱ میلادی مقاله‌ای را تحت عنوان ارزیابی چندمعیاره نیروگاه‌های برق انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در مجله انرژی منتشرنمود. وی مهم‌ترین هدف مقاله خود را تعریف شاخص‌هایی برای ارزیابی سامانه‌های انرژی نامیده که منطبق بر معیارهای توسعه پایدار هستند. بر این اساس معیارهای چهارگانه منابع انرژی، ظرفیت زیست‌محیطی، شاخص‌های اجتماعی و شاخص‌های اقتصادی در این مقاله مورد توجه قرارگرفته است. درسال ۲۰۰۵ میلادی مطالعه‌ای با عنوان سیستم یکپارچه چندمعیاره به منظور ارزیابی گزینه‌های انرژی پایدار با استفاده از روش PROMETHEE در دانشگاه مولیس[2] کشور ایتالیا توسط کاوالارو[3] انجام شده است. تمرکز تصمیم‌گیری در این تحقیق بر روی منابع انرژی خورشیدی (PV)، باد، زیست‌توده و جزر و مد متمرکز بوده و در آن با استفاده از چهار معیار اصلی محیط‌زیست، اقتصادی، اجتماعی و فنی، تعداد ۱۱ معیار انتخاب شده است که هفت معیار آن فنی-اقتصادی و چهار مورد آن اجتماعی-محیط زیستی بوده است. برای شش معیار نیز پیش‌بینی‌های کمی انجام شده و باتوجه به ماهیت کیفی پنج معیار دیگر، معیارهای باقیمانده با استفاده از روش‌های متداول کمی شده‌اند.

همچنین، گروهی از محققین هلندی و یونانی در سال ۲۰۰۸ مطالعه‌ای را با عنوان برنامه‌ریزی پایدار انرژی با استفاده از

[1] Naim Afgan
[2] Molise
[3] Cavallaro

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای جزیره کرت کشور یونان انجام دادند. دسته‌ای از گزینه‌های برنامه‌ریزی انرژی توسط دست‌اندرکاران موضوع انرژی برای اجرا در این جزیره در منطقه در نظر گرفته شده و از نظر معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌صورت دقیق بررسی شده است. این مطالعه متشکل از روش تحلیلی اکتشافی خاصی است که امکان کمک به تصمیم‌گیران منطقه‌ای را فراهم نموده و آن‌ها را قادر می‌سازد تا گزینه‌های در دسترس را بر اساس الگوهای توسعه پایدار طبقه‌بندی نمایند.

جمع‌بندی

تعداد زیادی از تجربیات جهانی نشان می‌دهد که انتخاب روش تصمیم‌گیری می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر نتایج تصمیم داشته باشد. حتی گاهی انتخاب یک روش مهم‌تر از کاربر آن است. توضیحات زیادی برای این مسئله وجود دارد که از آن جمله می‌توان به این موضوع اشاره نمود که ممکن است تصمیم‌گیر به‌طور کامل روش را درک نکند و یا برخی روش‌ها قادر به نمایش درجه تقدم تصمیم‌گیران نباشند. انتخاب یک روش تصمیم‌گیری به‌منزله انتخاب یک منطق جبرانی است که، به‌ویژه زمانی که تعداد زیادی از معیارها باید موردتوجه قرار گیرد، یک انتخاب دشوار محسوب می‌شود.

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حل بسیاری از مسائل دنیای واقعی مورداستفاده قرار می‌گیرد. محققین زیادی در سال‌های اخیر به مقایسه دو یا چند روش و بررسی نقاط ضعف و قوت آن‌ها پرداخته‌اند. درنتیجه برخی از آنان برای حل مسائل مربوطه، از ترکیب چند روش استفاده کرده‌اند که پرکاربردترین آن‌ها در مباحث مختلف مدیریت انرژی AHP، ELECTRE و PROMETHEE هستند.

به‌طورکلی ارزیابی سامانه‌های انرژی، تجزیه‌وتحلیل پیچیده‌ای است که می‌تواند در فضایی چندبعدی متشکل از معیارها و اهداف متفاوت تعریف شود. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یک بستر قابل‌اتکا برای رتبه‌بندی گزینه‌های انرژی تجدیدپذیر در مواجهه با اهداف یا محدودیت‌های متفاوت را فراهم می‌نماید. اگرچه تعداد زیادی از روش‌های تصمیم‌گیری وجود دارد، اما هیچ‌یک از آن‌ها به‌عنوان بهترین روش برای تمامی انواع موقعیت‌های تصمیم‌گیری مطرح نشده است. روش‌های مختلف تصمیم‌گیری اغلب نتایج متفاوتی را در پی خواهند داشت حتی زمانی که برای موضوعی واحد و داده‌هایی مشابه به کار گرفته شوند. بنابراین در این زمینه، تأکید بر بهترین یا بدترین روش بی‌معنی است و تنها انتخاب روشی که تناسب بهتری با موقعیت موردنظر داشته باشد، مطرح خواهد بود. این تحقیق قصد بررسی و کالبدشکافی روش‌های تصمیم‌گیری و مشخص کردن بهترین روش را ندارد و همان‌گونه که قبلاً اشاره شده، مسیر تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر ایران را بر اساس مطالعات مشابه سایر کشورهای جهان بر اساس روش‌های متداول‌تر مشخص خواهد کرد. همان‌طور که مشخص شد، روش AHP پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در این زمینه است. این موضوع می‌تواند ناشی از ساختار ساده روش و توانمندی آن در مذاکره بر روی نتایج تا زمان مشخص شدن عدم قطعیت‌ها و همچنین پیشنهاد آرایی نزدیک به اجماع عمومی تصمیم‌گیران باشد. سؤال اصلی که باقی می‌ماند این است که: چگونه باید مناسب‌ترین روش را در مسائل برنامه‌ریزی انرژی‌های جایگزین انتخاب نمود؟ این سؤال موضوعی است که آخرین تحقیقات جامعه علمی جهان هنوز موفق به یافتن پاسخی مشخص برای آن نشده است.

با توجه به مطالب مطرح شده و تجربیات حاصل از مطالعات مشابه می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که روش مناسب استفاده در این‌گونه مطالعات روش PROMETHEE است. تجزیه‌وتحلیل این روش نشان می‌دهد که بر اساس قابلیت رتبه‌بندی نسبی در پرامتی ۱ و رتبه‌بندی کامل در پرامتی ۲ می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت.

مراجع

۱- آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی درسال۱۳۹۳. (۱۳۹۳). شرکت مادرتخصصی توانیر.

۲- اصغرپور، م. (۱۳۸۱). "تصمیم‌گیری چندمعیاره. " انتشارات دانشگاه تهران.

۳- محمدمرادی، ا.، اخترکاوان، م. (۱۳۸۸). "روش‌شناسی مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره" آرمانشهر، شماره ۲، بهار و تابستان.

4- Charnes, A. and Cooper, W. W. (1977). "Goal Programming and Multiple Objective Optimization-Part 1." *European Journal of Operational Research*. 1(1), 39-54.

5- Løken, E. (2007). "Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.11(7), 1584-1595.

6- Cavallaro, F. (2005). "An Integrated Multi-CriteriaSystem to Assess SustainableEnergy Options: An Application ofthe Promethee Method." University of Molise, FEEM Working Paper No. 22.05.

7- IAEA. (2005). "Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies." International Atomic Energy Agency, Vienna. 29-130.

8- Siskos, J. and Hubert, P. (1983). "Multi-Criteria Analysis of the Impacts of Energy Alternatives: A Survey and a New Comparative Approach." *European Journal of Operational Research*.13 (3), 278-299.

9- Brans, J. P. and Mareschal, B. (2005). "PROMETHEE METHODS." *International Series in Operations Research & Management Science*. 78, 163-186.

10- Nigim, K. (2004). "Re-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources." *Renewable Energy*. 29(11), 1775–1791.

11- Taylor, M. (2015). "Renewable Power Generation Costs in 2014". *International Renewable Energy Agency*. 27- 142.

12- Edenhofer, O. (2011). "Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation". WMO & UNEP, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 107-215.

13- Zhou, P., Ang, B. W. and Poh, K. L. (2006). "Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling: An Update. *Energy*. 31(14), 2268-2286.

14- Ramanathan, R. and Ganesh, L. S. (1995). "Energy Resource Allocation Incorporating Qualitative and Quantitative Criteria: An Integrated Model using Goal Programming and AHP." *Socio-Economic Planning Sciences*. 29 (3), 197-218.

15- Tsoutsos, T. (2009). "Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete." *Energy Policy*. 37(5), 1587–1600.

16- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill.

17- Rimal, A. T. and Daim, T. (2013). "Multi-Criteria Applications in Renewable Energy Analysis, a Literature Review". Technology Management in the Energy Smart World (PICMET), 2011 Proceedings of PICMET '11.

18- Theodorou, S., Florides, G. and Tassou, S. (2010). "The use of multiple criteria decision-making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, a review." *Energy Policy*. 38(12), 7783-7792.

19- Buehring, W. A., Foell,W. K. and Keeney, R. L. (1978). "Examining Energy/Environment Policy using Decision Analysis." *Energy Systems and Policy*. 2 (3), 341-367.

20- Goletsis, Y., Psarras, J. and Samouilidis, J. E. (2003). "Project Ranking in the Armenian Energy Sector Using a Multicriteria Method for Groups." *Annals of Operations Research*. 120 (1-4), 135-157.