روش جدید جهت مدیریت سرمایه‌گذاری و تخصیص منابع مالی به تولیدات پراکنده انرژی الکتریکی در کشور با استفاده از تکنیک آنتروپی و روش AHP

■ **محمد ایمان غیاثی**[1]

عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده توسعه و بهینه‌سازی فناوری‌های انرژی

■ **محمد حسین شمس** [2]

کارشناس جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف

■ **محسن کیا** [*+]

دانشجوی دکتری برق قدرت پردیس فنی شهید عباسپور- دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

افزایش روزافزون تقاضای انرژی الکتریکی و محدودیت‌های تولید انرژی با استفاده از سوخت‌های فسیلی، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان را به استفاده از واحدهای تولید پراکنده ترغیب نموده است. با وجود فناوری‌های متنوع در تولیدات پراکنده، محدودیت در سرمایه‌گذاری روی تمام این فناوری‌ها به دلیل محدودیت در منابع ملی و وجود برخی الزامات برای انواع تولیدات پراکنده امری غیر قابل انکار است؛ از این‌رو اولویت‌بندی فناوری‌های برتر در کشور جهت سرمایه‌گذاری و همچنین مدیریت منابع مالی و تخصیص میزان مناسبی از منابع مالی به هر فناوری از اهمیت خاصی برخوردار خواهد بود. هدف این مقاله در گام اول ارزیابی عوامل جذابیت فناوری‌های تولید پراکنده در کشور بوده و در گام بعد اولویت‌بندی و مدیریت سرمایه در حوزه تولیدات پراکنده است. در این روش پیشنهادی، از تکنیک آنتروپی و روش تحلیل سلسله مراتبی که از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است برای مدیریت سرمایه در تولیدات پراکنده استفاده شده است. از مزایای روش آنتروپی آسان نمودن تصمیم‌گیری برای تصمیم‌گیران در حل مسائل بزرگ و در نظر گرفتن عدم قطعیت تصمیم‌گیران در مسائل است.

واژگان کلیدی: تولید پراکنده، مدیریت سرمایه‌گذاری، تصمیم گیری چند معیاره، تحلیل سلسله مراتبی-آنتروپی.

---

۱ شماره نمابر: 021-44859975 و آدرس پست الکترونیکی: Ghiasimi@ripi.ir

۲ شماره نمابر: 021-77436375 و آدرس پست الکترونیکی: Mhshams@alum.sharif.edu

* عهده دار مکاتبات

+ شماره نمابر: 021-73932505 و آدرس پست الکترونیکی: Mohsenkia80@gmail.com

1- مقدمه

ساختار سنتی سیستم‌های قدرت به سه بخش تولید، انتقال و توزیع تقسیم می‌شود. بخش تولید انرژی الکتریکی، عموماً نیروگاه‌هایی با توان تولیدی تا چند صد مگاوات و بالاتر را شامل می‌شود. در این ساختار مراکز عمده‌ی تولید به صورت متمرکز وجود داشته و به کمک شبکه انتقال و توزیع توان، انرژی الکتریکی به مراکز مصرف می‌رسد. اما امروزه، بخصوص در کشورهای پیشرو صنعت، با ایجاد مراکز تولید انرژی الکتریکی موسوم به منابع تولید پراکنده انرژی در نزدیکی مراکز مصرف و با مورد توجه قرار گرفتن تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت، ساختار سنتی مذکور دچار دگرگونی قابل ملاحظه‌ای شده است؛ بدین صورت که با ایجاد مراکز تولید انرژی کوچک تا حد چندین مگاوات و کمتر و اتصال این منابع به سطوح توزیع و در کنار مراکز مصرف نیازی به شبکه انتقال توان نیست. با توجه به رویکرد قابل توجه به این تولیدات در سطح دنیا، سیاست‌های تشویقی دولت‌ها، افزایش نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد روز افزون سوخت‌های فسیلی و همچنین تغییر ساختار سیستم‌های قدرت، اهمیت زیاد استفاده از این مولدها در آینده نزدیک در کشور پیش بینی می‌شود. در دهه‌ی اخیر با پیشرفت فناوری و رشد چشم‌گیر انرژی الکتریکی مصرفی، تولیدات پراکنده توجه زیادی را به خود جلب نموده است.

آژانس بین‌المللی انرژی پنج عامل اصلی در بکارگیری گسترده‌ی واحدهای تولید پراکنده را بدین صورت بیان می‌کند[26]:

1) توسعه‌ی فناوری واحدهای تولید پراکنده؛
2) محدودیت در ساخت خطوط انتقال جدید؛
3) افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی با قابلیت اطمینان بالا؛
4) قانون‌مند سازی بازار برق و ایجاد بازارهای رقابتی؛
5) نگرانی درباره‌ی تغییرات آب و هوایی و محیط زیست.

یکی از مسائلی که امروزه در اقتصاد کشور ما مورد توجه است، خصوصی‌سازی صنایع است. در صنعت برق یکی از مشکلات خصوصی‌سازی در تولید انرژی الکتریکی، بالا بودن هزینه‌ی نیروگاه‌های بزرگ و نیاز به حجم سرمایه‌گذاری بالا است. با کوچک کردن واحدها در تولید پراکنده، هزینه سرمایه-گذاری در تولید انرژی الکتریکی کاهش می‌یابد و سرمایه گذاران کوچکتر نیز قادر به سرمایه‌گذاری در تولید برق می‌شوند[4]. از طرفی، مشکلات طراحی، بهره‌برداری اقتصادی، زیست محیطی، سوخت و پایین بودن راندمان نیروگاه‌های بزرگ و همچنین مشکل فضای مورد نیاز برای احداث آنها، هزینه بالای انتقال برق به نقاط دور از شبکه یا از لحاظ جغرافیایی ناهموار و همچنین زمان طولانی بین تصمیم‌گیری احداث تا زمان بهره‌برداری از آنها، بالا بودن هزینه نصب و بهره‌برداری شبکه‌های انتقال و فوق توزیع، فناوری رو به گسترش صنعت و افزایش روزافزون تقاضای بار مصرف‌کنندگان از جمله دلایل بکارگیری نیروگاه‌های تولید پراکنده در شبکه است.

تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه از کاربرد وسیعی در شاخه‌های علمی مختلف برخوردار است که از آن میان می‌توان به کاربرد در مدیریت کشاورزی و آب[18 و 21]، برنامه‌ریزی انرژی[6-8] و ارزیابی‌های سرمایه‌گذاری در فناوری[11] و سیستم‌های تولید یکپارچه[20] اشاره کرد. در مرجع 2 این مقاله، به مقایسه و ارزیابی راهبردی جذابیت فناوری‌های میکروتوربین و دیزلی در ایران بر اساس روش AHP پرداخته شده است[2].

در مراجع متعددی به تعاریف تولید پراکنده، مزایا و معایب فناوری‌های مختلف این تولیدات پرداخته شده است 5، 9، 17 و 19. در مراجع 10، 14، 15 و 25 به بررسی اثرات تولید پراکنده در شبکه و همچنین مکانیابی این منابع در شبکه‌ی توزیع پرداخته شده است. لازم به ذکر است که مراجع زیادی در زمینه-ی مطالعات سیستمی منابع تولیدات پراکنده انتشار یافته است. در مرجع 12 و 13، با استفاده از روش سلسله مراتبی به مدیریت سرمایه جهت تخصیص منابع مالی به تعمیرات تجهیزات موجود در شبکه پرداخته شده است؛ ضمن اینکه اولویت‌بندی‌ای برای تجهیزات شبکه از نظر بحرانی بودن وضعیت خرابی ارائه شده است. همچنین در مرجع 4 ضمن معرفی انواع مختلف در تولیدات پراکنده و با در نظر گرفتن برخی از معیارها و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به رتبه‌بندی تولیدات پراکنده پرداخته شده است.

در این مقاله اولویت‌بندی فناوری‌های مختلف تولید پراکنده با استفاده از روش پیشنهادی تحلیل سلسله مراتبی-آنتروپی مشخص شده و در نهایت به تخصیص منابع مالی به هر فناوری جهت سرمایه‌گذاری در تولیدات پراکنده مختلف پرداخته شده است. در بخش 2، توضیح مختصری در مورد علل کاربرد و گسترش تولیدات پراکنده آورده شده است. در بخش 3، تکنیک آنتروپی و روش تحلیل سلسله مراتبی EAHP (Entropy Analytical Hierarchy Process) بیان شده است. در بخش 4 روش پیشنهادی پیاده‌سازی شده و در پایان نتایج آن ارائه شده است.

2- تولیدات پراکنده

برای ده‌ها سال سیستم قدرت به صورت یکپارچه بهره‌برداری می‌شده و فقط واحدهای توان را تولید می‌کردند. این توان توسط خطوط انتقال به سمت مرکز بار که در فواصل طولانی و در سطوح مختلف ولتاژی بودند، منتقل می‌شده است. اشباع شبکه-ی موجود و کاهش حاشیه‌ی امنیت، محدودیت‌های جغرافیایی و زیست محیطی، مسائل امنیت و پایداری، نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد برای توسعه شبکه‌های موجود، خصوصی‌سازی و ایجاد بازارهای رقابتی و بوجود آمدن فناوری‌های جدید با راندمان بالا و مقیاس کوچک، برخی از دلایل تغییر در بهره‌برداری متمرکز و افزایش میزان استفاده از تولیدات پراکنده است. به دلیل وجود برخی مزایای تولیدات پراکنده همچون نصب در نزدیکی مشترک و کاهش هزینه‌ی شبکه‌ی انتقال و توزیع، راندمان بالا، پیدا کردن آسان‌تر مکان نصب نسبت به واحدهای متمرکز سنتی، ریسک سرمایه‌گذاری پایین‌تر و همچنین ایجاد فرصت برای سرمایه‌گذاران و تغییر مسائل اقتصادی، کاربرد واحدهای تولیدات پراکنده به سرعت گسترش یافت.

بنا به نظر آژانس بین‌المللی انرژی، تولید محلی می‌تواند منجر به صرفه جویی هزینه انرژی الکتریسیته (حدود 30%) در سیستم توزیع و انتقال و کاهش تلفات شبکه (10-15%) گردد. واکنش مناسب در مقابل تغییرات قیمت برق در بازار انگیزه اصلی بکارگیری تولیدات پراکنده در آمریکا محسوب می‌شود. در اروپا، کاربردهای حرارتی، ظهور منبع انرژی تجدید پذیر و بهبود راندمان سیستم‌های تولید، انگیزه اصلی استفاده از تولیدات پراکنده را تشکیل می‌دهد[17].

عواملی مانند تنوع در منابع انرژی تجدید پذیر، راندمان بالای اکثر تولیدات پراکنده نسبت به نیروگاه‌های متمرکز، استفاده از سوخت طبیعی در برخی از تولیدات پراکنده و مزایای دیگر آنها سبب کاهش خطرات ناشی از تک سوختی بودن، کاهش اتکا به واردات سوخت، کاهش وابستگی به تغییرات قیمت جهانی سوخت و تمام شدن سوخت موجود می‌شود.

از دیگر مزایای تولیدات پراکنده می‌توان به کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و حفظ منابع بدون برگشت‌ناپذیر اشاره نمود. همچنین با استفاده از تولید پراکنده به عنوان توان پشتیبان، در صورت حمله‌ی تروریست‌ها به نیروگاه‌های بزرگ و هدف قرار گرفتن این مراکز توسط دشمن و یا عملکرد نادرست تجهیزات حفاظتی در نیروگاه‌های بزرگ که منجر به خاموشی سراسری می‌شود، از آسیب‌های جدی جلوگیری شده و موجب افزایش امنیت می‌شود.

تولیدات پراکنده به واحدهای کوچکی اطلاق می‌شود که توانایی تولید انرژی الکتریکی در بازه‌ای بین 10 تا 15 کیلووات را دارند و قادرند مستقل از شبکه الکتریکی و یا متصل به آن کار کنند [23]. فناوری‌های تولید پراکنده از دیدگاه‌های مختلف همچون سنتی (احتراقی) بودن و یا تجدید پذیر بودن تقسیم-بندی می‌شوند. این فناوری‌ها در مراجع مختلف به صورت فناوری‌های زیر بیان شده است[4]: 1- میکروتوربین 2- باتری 3- زمین گرمایی 4- انرژی امواج 5- زیست توده 6-توربین صنعتی 7- فتوولتاییک 8- دیزل ژنراتور 9- پیل سوختی 10- بادی 11-توربین‌های آبی کوچک.

لازم به ذکر است که از بین همه فناوری‌های تولید پراکنده، آن دسته از فناوری‌هایی که در کشور ما پتانسیل سرمایه‌گذاری دارند، به کمک کارشناسان و اساتید این حوزه انتخاب شده است. سپس به اولویت‌بندی آنها به کمک روش پیشنهادی تحلیل سلسله مراتبی-آنتروپی پرداخته شده است. در نهایت، الگویی جهت تخصیص منابع مالی برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید پراکنده مختلف ارائه شده است.

3- مدل پیشنهادی تکنیک آنتروپی و تحلیل سلسله مراتبی (EAHP)

دنیای اطراف ما مملو از مسائل چند معیاره است و انسان‌ها همیشه مجبور به تصمیم‌گیری در این زمینه‌ها هستند. تصمیم‌گیری در حالاتی که معیارهای چندگانه (اعم از کیفی و کمی) وجود دارند، همواره با مشکلاتی مواجه است. فقدان استاندارد برای اندازه‌گیری معیارهای کیفی یا به عبارت دیگر فقدان واحد برای تبدیل معیارهای کمی و کیفی به یکدیگر از اصلی‌ترین مشکلات بشمار می‌رود [16].

تکنیک‌های تصمیم‌گیری به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کنند که وضعیت مشکل و پیچیده موجود را بفهمد و بنابراین قضاوت‌های مناسبی داشته است. به دلایل متعدد، تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه به عنوان رویکردی مناسب برای مواجهه با مسائل دنیای واقعی مطرح است. پیچیدگی مسئلهٔ تصمیم‌گیری به دلیل وجود معیارها و گزینه‌های متعدد، وجود محدودیت‌های متعدد نظیر زمان و منابع موجود در یک فرآیند تصمیم‌گیری، دشواریِ یافتنِ جواب بهینه‌ای که برای همه راضی‌کننده است و در نهایت تضاد بسیاری از معیارها با یکدیگر همه از دلایل گرایش به این روش‌ها محسوب می‌شود [3].

فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی یک روش تصمیم‌گیری مبتنی بر

انجام مقایسات نسبی (زوجی) است. این روش با استفاده از یک شبکه تصمیم‌گیری چند سطحی تک جهتی، با شاخص‌ها و معیارهای چندگانه در لایه‌های مختلف ساختار چند سطحی، برای رتبه‌بندی یا تعیین ضریب اهمیت گزینه‌های مختلف یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس روش AHP بر اساس مقایسه‌های زوجی یا دوبه‌دویی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری است. برای چنین مقایسه‌ای نیاز به جمع‌آوری اطلاعات از تصمیم‌گیرندگان است. روش AHP یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که در سال 1970 توسط آقای ساعتی ابداع شد[22]. در این مقاله با ترکیب روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک آنتروپی به عنوان روش پیشنهادی برای تخصیص منابع مالی در سرمایه‌گذاری تولیدات پراکنده‌ی مختلف در کشور پرداخته شده است. در ادامه، به توضیح تکنیک آنتروپی پرداخته شده و ساختار پیشنهادی تکنیک آنتروپی و روش سلسله مراتبی ارائه می‌شود.

از طرفی واژه‌ی آنتروپی، یک مفهوم عمده در علوم فیزیکی، علوم اجتماعی و تئوری اطلاعات است. فلسفه‌ی این تکنیک بر پایه‌ی مقدار اطلاعات در دسترس و ارتباط آنها با اهمیت معیار است.

از مزیت‌های این روش آسان نمودن تصمیم‌گیری برای تصمیم‌گیران در حل مسائل بزرگ است. آنتروپی تکنیکی است که عدم قطعیت‌هایی که با پدیده‌های تصادفی از اطلاعات همراه است را با یک توزیع احتمال گسسته مدل می‌کند و وزن معیارهای مختلف را به کمک نظرات تصمیم‌گیرنده تخمین می‌زند. تکنیک آنتروپی، تکنیکی مفید جهت تعیین وزن بوده و در زمانی که دسته‌ای از داده‌ها (همانند ماتریس‌های تصمیم‌گیری) وجود دارد، بسیار مفید است. روش تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر تکنیک آنتروپی بسیار مفید جهت بررسی تضاد بین مجموعه‌ی داده‌ها است. مجموعه‌ی داده‌ها را می‌توان مجموعه‌ای از راه‌حل‌های جایگزین در ماتریس نهایی در نظر گرفت که در آن هر راه‌حل جایگزین با توجه به نتیجه‌اش ارزیابی می‌شود. فلسفه وجودی این روش بر اساس مقدار اطلاعات در دسترس و ارتباط آنها با اهمیت معیار است[3].

در روش ترکیبی پیشنهادی، در اولین گام به شناسایی گزینه‌ها و معیارها، جمع‌آوری و همگرایی نظرات کارشناسان در قالب ماتریس تصمیم‌گیری پرداخته شده است. تکنیک مورد استفاده در این تحلیل تکنیک دلفی[3] خواهد بود؛ چراکه در این فرآیند احتمال پراکندگی فیزیکی و عدم دسترسی یکجا به صاحب نظران وجود نداشته است. البته در صورت حضور تمام کارشناسان در یک محل و نظر سنجی همزمان، تکنیک طوفان فکری[4] نیز قابل استفاده خواهد بود. در گام دوم، با استفاده از تکنیک آنتروپی[5] وزن‌های معیارها بدست می‌آید. در گام بعد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به مقایسه‌ی بین فناوری‌های مختلف در هر معیار پرداخته می‌شود؛ در نهایت، با ترکیب وزن معیارهای بدست آمده از روش آنتروپی و نتایج مقایسه‌های بین فناوری‌های مختلف در هر معیار، به اولویت‌بندی فناوری‌های تولید پراکنده جهت سرمایه‌گذاری و همچنین سهم هر فناوری از میزان منابع اختصاص یافته به هر فناوری تولید پراکنده بدست می‌آید.

با توجه به زیاد بودن معیارهای این مسئله و همچنین عدم قطعیت موجود در اطلاعات جمع‌آوری شده، نیاز به استفاده از یک روش مناسب برای این بهینه‌سازی وجود دارد. از مزایای روش ترکیبی EAHP این است که با اضافه کردن روش آنتروپی به روش AHP، قادر به مدل نمودن عدم قطعیت‌هایی که ناشی از اطلاعات بدست آمده از تصمیم‌گیران است، خواهیم بود.

3-1-تکنیک آنتروپی

آنتروپی در تئوری اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (P_i)؛ به طوری که این عدم اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از موردی است که توزیع فراوانی تیزتر است[24]. این عدم اطمینان به صورت رابطه‌ی (1) تشریح می‌گردد:

$$E \approx S\{p_1, p_2, ..., p_n\} = -K\sum_{i=1}^{n}[p_i \times Ln\, p_i] \quad (1)$$

به طوری‌که K به منظور تأمین $0 \le E \le 1$ یک ثابت مثبت است؛ E از توزیع احتمال P_i بر اساس مکانیزم آماری محاسبه شده و مقدار آن در صورت تساوی P_iها با یکدیگر (یعنی $p_i = \frac{1}{n}$) حداکثر مقدار ممکن خواهد بود که به صورت رابطه‌ی (2) نمایش داده می‌شود:

$$-K\sum_{i=1}^{n}[p_i \times Ln\, p_i] = -K\{\frac{1}{n}Ln\frac{1}{n} + \frac{1}{n}Ln\frac{1}{n} + ... + \frac{1}{n}Ln\frac{1}{n}\} = -K\{(Ln\frac{1}{n})(\frac{n}{n})\} = -K\,Ln\frac{1}{n} \quad (2)$$

3 Delphi Technique

4 Brain storming

5 Entropy

جدول 1: نمونه جدول مقایسات زوجی معیارهای پیشنهادی برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده

معیار / معیار	X_1	X_2	.....	X_n
X_1	1	r_{12}	.....	r_{1n}
X_2	r_{21}	1	.....	r_{2n}
.	.	.	.....	.
.	.	.	.....	.
.	.	.	.....	.
X_n	r_{n1}	r_{n2}	.....	1

یک ماتریس تصمیم‌گیری از یک مدل MADM (Muli Atribute Decision Making) حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن بکار رود. یک ماتریس تصمیم‌گیری به صورت جدول شماره 1 در نظر گرفته می‌شود. بعد از مشخص شدن معیارها، نوبت به تعیین وزن نسبی آنهاست. بدین منظور، مطابق جدول شماره 1 به مقایسه زوجی معیارها در ماتریس تصمیم‌گیری به کمک کارشناسان و اساتید حوزه‌ی فناوری تولید پراکنده پرداخته می‌شود. در جدول شماره 1 مقیاس‌های مورد استفاده در مقایسات زوجی در روش سلسله مراتبی و تکنیک آنتروپی برحسب میزان ارجحیت از مقیاس‌های نشان داده شده در جدول شماره 2 محاسبه می‌شود.

در این روش، معیارها دو به دو و در قالب ماتریس مقایسات زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. به عبارت دیگر، اعداد ماتریس مقایسات زوجی، ارجحیت (برتری) یک معیار نسبت به معیار دیگر را نشان می‌دهند. در تکمیل‌کردن ماتریس تصمیم‌گیری توسط کارشناسان تنها کافی است که نیمی از جدول ماتریس تصمیم‌گیری پر شود؛ بدین صورت که در صورت تخصیص مقیاس 5 به r_{12} ، r_{21} مقیاس 0/2 (یا $\frac{1}{5}$) خواهد بود.

جدول 2: مقیاس های مورد استفاده در مقایسات زوجی در روش AHP مرسوم

تعریف	مقیاس
ارجحیت یکسان	1
ارجحیت کمی بیشتر	3
ارجحیت بیشتر	5
ارجحیت بسیار بیشتر	7
ارجحیت مطلقاً بیشتر	9
ارجحیت بینابین ترجیحات فوق	2.4.6.8

محتوای اطلاعاتی موجود در این ماتریس ابتدا به صورت (P_{ij}) و بر طبق رابطه (3) محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}} \qquad \forall i, j \qquad (۳)$$

E_j از مجموعه P_{ij} به ازای هر مشخصه طبق رابطه‌ی (4) بدست می‌آید:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^{n} [\, p_{ij} \times Ln\, p_{ij} \,] \qquad \forall j \qquad (4)$$

در رابطه (4)، $K = \frac{1}{Ln\, m}$ و m تعداد معیارها است. سپس عدم اطمینان یا درجه انحراف (d_j) از اطلاعات ایجاد شده به ازای شاخص jام از رابطه‌ی (5) محاسبه می‌شود:

$$d_j = 1 - E_j \qquad \forall j \qquad 5)$$

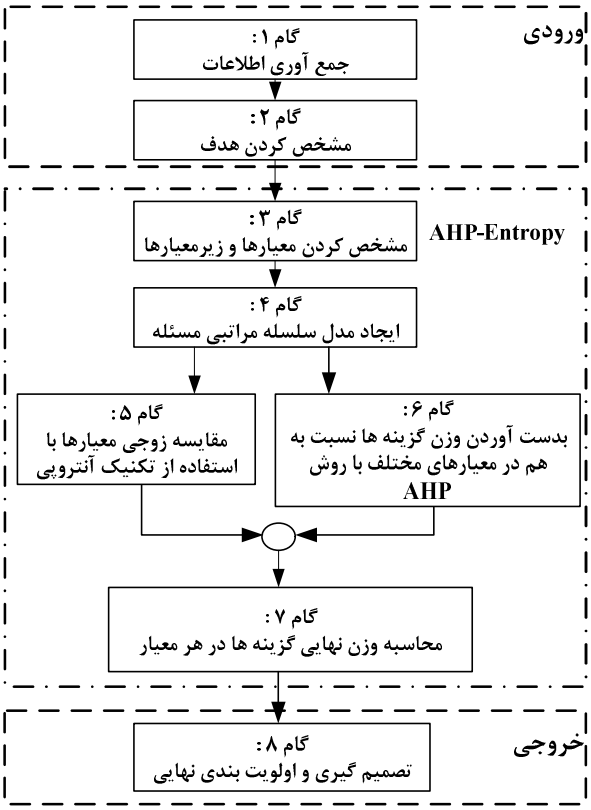
سپس اوزان (W_j) از شاخص‌های موجود از رابطه‌ی (6) بدست می‌آید:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \qquad (6)$$

در این مرحله وزن هر معیار از ماتریس‌های تکمیل شده با استفاده از روش آنتروپی بدست می‌آید و نتایج نرمالیزه می‌شوند به صورتی که مجموع وزن‌های نهایی معیارها مساوی 1 می‌شود.

2-3- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از سه مرحلهٔ اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: ایجاد ساختار سلسله مراتبی، تحلیل اولویت و تأیید سازگاری سیستم. در ابتدا، فرد تصمیم‌گیرنده باید مسئلهٔ تصمیم پیچیده را در سطوح سلسله مراتبی چندگانه ساختاردهی نماید. در مرحلهٔ بعد، تصمیم‌گیرنده بر اساس دانش علمی-تجربی مقایسات را انجام می‌دهد. هنگامی‌که مقایسات از طریق قضاوت‌های ذهنی به انجام رسید، ممکن است درجاتی از ناسازگاری در تصمیم‌گیری‌ها اتفاق بیافتد. به منظور تضمین اینکه قضاوت‌ها سازگار هستند، عملیات نهایی که تأیید سازگاری است به انجام می‌رسد تا از طریق محاسبهٔ نرخ سازگاری، درجهٔ سازگاری مقایسات زوجی را محاسبه نماید. در این مرحله اگر نرخ سازگاری از حد مجاز (0/1) آن بیشتر شود، تصمیم‌گیرنده باید مقایسات خود را مورد بازنگری قرار دهد.



شکل 1 : الگوریتم ترکیب آنتروپی و فرایند تصمیم‌گیری سلسله مراتبی (EAHP)

وقتی سازگاری مقایسات از نقطه نظر نرخ سازگاری به تأیید رسید، این قضاوت‌ها را می‌توان ترکیب نموده و اولویت گزینه‌ها و معیارها را مشخص نمود[1]. در شکل شماره 1 الگوریتم پیشنهادی ترکیب آنتروپی و فرایند تصمیم‌گیری سلسله مراتبی (EAHP) که در این مقاله بکار گرفته شده، نمایش داده شده است.

4- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

با توجه به گستردگی استفاده از انرژی‌های نو، ارائه روشی جامع و قابل اجرا جهت انتخاب فناوری مناسب برای سرمایه-گذاری مورد توجه است. لذا در این بخش ضمن شناسایی هدف و معیارهای مربوط به اولویت‌بندی فناوری‌های تولید پراکنده، الگوریتم پیشنهادی این مقاله پیاده‌سازی می‌شود؛ در نهایت مدیریت منابع مالی برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید پراکنده و نیز اولویت‌بندی این فناوری‌ها بدست می‌آید و نتایج آن ارائه می‌شود. نکته قابل توجه در بکارگیری مؤثر این روش آن است که با استفاده از تحلیل‌های ریاضیاتی، امکان حذف داده-های ناسازگار و متناقض که ناشی از عدم دقت و صحت نظرات برخی کارشناسان است، وجود دارد. بدین ترتیب، این داده‌های ناسازگار خللی در تصمیم‌گیری بهینه ایجاد نخواهند کرد [22].

4-1- فناوری‌های تولید پراکنده قابل استفاده در کشور

همانطور که بیان شد در طی جلساتی که با کارشناسان و اساتید حوزه‌ی فناوری‌های پراکنده صورت گرفت تنها برخی از فناوری‌های تولید پراکنده جهت مدیریت منابع مالی و اولویت-بندی انتخاب شدند. فناوری‌هایی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته به شرح جدول شماره 3 است:

جدول 3 : فناوری‌های تولید پراکنده مورد بررسی برای مدیریت و تخصیص منابع مالی

مشخصه‌ی معیار	معیار
DG.1	میکروتوربین
DG.2	زیست توده
DG.3	فتوولتاییک
DG.4	دیزل ژنراتور
DG.5	پیل سوختی
DG.6	بادی

لازم به ذکر است برای اینکه نتایج این بررسی دقیق‌تر باشد، از کارشناسان و اساتید مربوطه خواسته شده که جداول و ماتریس‌های تصمیم‌گیری را در حالتی که یارانه‌ی حامل‌های انرژی برداشته شده تکمیل نمایند. با توجه به ماده 1 در قانون هدفمندسازی یارانه‌ها دولت مکلف است که قیمت حامل‌های انرژی را اصلاح کند؛ بدین صورت که قیمت حامل‌های انرژی به تدریج تا پایان برنامه پنجساله پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران کمتر از نود درصد (90%) قیمت تحویل روی کشتی (فوب) در خلیج فارس نباشد. نظر به این قانون، فرض درنظر گرفته شده صحیح و بجا است.

4-2- معیارهای مهم در انتخاب فناوری تولید پراکنده

تصمیم‌گیری در محیطهای پیچیده متشکل از گزینه‌ها و معیارهای (کمی و کیفی) متعدد، یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت نوین بشمار می‌رود. در این موارد تصمیم‌گیرنده با گزینه‌های مختلفی روبرو است که باید با استفاده از معیارهای متفاوتی که نشأت گرفته از محیط داخلی و خارجی مرتبط با موضوع هستند، آنها را رتبه‌بندی نماید. در این راستا، بعد از جلسات متعددی که با کارشناسان و اساتید فعال در حوزه تولید پراکنده انجام شد، این نتیجه حاصل شد که می‌توان از معیارهایی که در جدول شماره 4 نشان داده شده جهت اولویت-بندی فناوری‌های تولید پراکنده استفاده کرد.

جدول 4 : معیارهای پیشنهادی برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده

مشخصه‌ی معیار	معیار
CRI.1	فنی-اقتصادی
CRI.2	قابلیت اطمینان
CRI.3	زیست محیطی
CRI.4	اجتماعی-سیاسی

توضیحات مربوط به هر معیار در ادامه آورده شده است. زیرمعیارهای مربوط به هر معیار جهت مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده در جدول شماره 5 آورده شده است.

معیار فنی-اقتصادی: شامل زیر معیارهای هزینه سرمایه-گذاری (ریال به ازای هر کیلو وات ساعت تولید)، هزینه بهره-برداری و نگهداری سیستم، زمان برگشت سرمایه، گستره‌ی توان تولیدی (کیلووات)، بازده توان و طول عمر مفید هر فناوری است. لازم به ذکر است که در این مقاله فرض شده که یارانه انرژی برای تولیدات پراکنده‌ای که از سوخت فسیلی استفاده می‌کنند حذف شده است. عمده‌ترین مزیت‌های اقتصادی بکارگیری واحدهای تولید پراکنده، کاهش هزینه تولید الکتریسیته است که ناشی از کاهش تلفات سیستم‌های انتقال و توزیع و هزینه‌ها است. اجتناب از هزینه‌های توسعه و بازسازی سیستم‌های انتقال و توزیع شامل کاهش تراکم بار بدون نیاز به تغییر سیستم، تهیه انرژی الکتریکی برای مناطق دوردست، استفاده از سوخت‌های ارزان و مجانی و استفاده از واحدهای تولید پراکنده در پیک بار شبکه به منظور پیک‌سایی است. یکی از چالش‌های پیش‌روی تولیدات پراکنده بحث اقتصادی بوده که به ازای تولید هر کیلو وات ساعت انرژی، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری بالایی مورد نیاز است.

معیار قابلیت اطمینان: شامل زیر معیارهای میزان دسترس-پذیری سیستم (Availability) و امنیت فناوری که شامل خطرات احتمالی‌ای که ناشی از خرابی در هر فناوری می‌تواند اتفاق بیافتد. استفاده از تولیدات پراکنده به صورت گسترده در شبکه آثار قابل توجهی بر قابلیت اطمینان سیستم بر جا می-گذارد. قابلیت اطمینان در رضایتمندی طرف‌های مختلف ذینفع در بازار برق و به خصوص مشترکین نقش اساسی را ایفا می‌کند. بدیهی است که در یک محیط رقابتی، فروشندگان برق باید برای جلب نظر مصرف‌کنندگان و حفظ مزیت رقابتی خود به این مقوله توجه کنند. از سوی دیگر، با پیشرفت سیستم‌های اطلاع-رسانی و افزایش سطح آگاهی و حساسیت مصرف‌کنندگان، انتظارات آنها در رابطه با قابلیت اطمینان انرژی تحویلی افزایش یافته است.

معیار زیست محیطی: شامل زیرمعیارهای عدم وابستگی به شرایط جغرافیایی محیطی و تجدیدپذیر بودن منبع انرژی است. تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی تجدید پذیر موجب کاهش انتشار مونو اکسید کربن و دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در جو زمین می‌شود؛ همین امر موجب کاهش خطرات ناشی از انتشار مواد مضر و زیان‌بار توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی می‌شود.

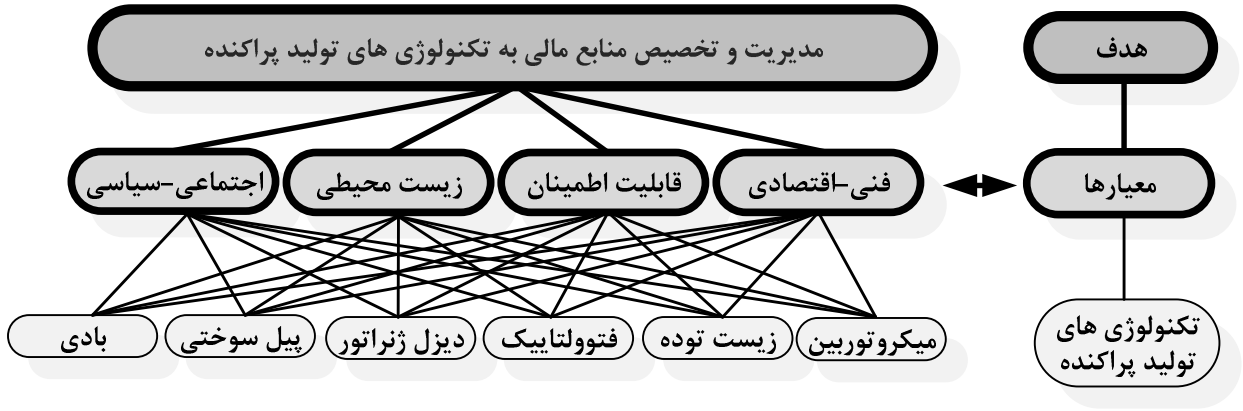
معیار اجتماعی-سیاسی: معیار چهارم در اولویت‌بندی فناوری‌های تولیدات پراکنده شامل حمایت دولت از یک فناوری و میزان دستیابی به یک فناوری از کشورهای دیگر است؛ تولیدات پراکنده، توان الکتریکی و گرمای مورد نیاز مشترکین را فراهم می‌کنند و به صورت گزینه‌ای برای افزایش رفاه اجتماعی، ایجاد زمینه‌ی شغلی جدید و کاهش نرخ بیکاری مطرح می‌شود. وجود واحدهای تولید پراکنده و تولید توان با استفاده از این منابع منجر به ایجاد رقابت بین تولیدکنندگان شده و زمینه‌ای را فراهم می‌کند تا مصرف‌کنندگان حق انتخاب تولیدکننده‌های متفاوتی را برای خرید انرژی داشته باشند. وجود رقابت بین تولیدکنندگان موجب ارائه کالای انرژی تحت کیفیت‌های مختلف می‌شود. از جمله مزایای تولید پراکنده در پشتیبانی شبکه در مواقع بحرانی می‌توان پشتیبانی ولتاژ و فرکانس شبکه به منظور افزایش قابلیت اطمینان شبکه، ممانعت از احداث و یا توسعه‌ی پرهزینه‌ی سیستم انتقال و توزیع، کاهش تلفات خطوط انتقال و آزادسازی ظرفیت خطوط را نام برد.

4-4- شبیه‌سازی روش پیشنهادی EAHP

بعد از مشخص شدن معیارها، گام بعدی نمایش گرافیکی از مسأله واقعی است که در رأس آن هدف کلی مسأله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. با توجه به شاخص-ها و معیارهای مطرح شده در بخش قبلی، نمایش گرافیکی مسأله تصمیم‌گیری مطابق شکل شماره 2 است. لازم به ذکر است که وزن زیرمعیارها از ماتریس‌های تصمیم‌گیری برای زیرمعیارها بدست می‌آید که این وزن‌ها نیز از تکنیک آنتروپی محاسبه می‌شوند. با توجه به اینکه به تعداد کارشناسان و اساتید، ماتریس‌های تصمیم‌گیری وجود دارد، با استفاده از روش میانگین هندسی در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تمام ماتریس-های تصمیم‌گیری یکسان (از یک نوع) ترکیب می‌شوند؛

جدول 5 : زیرمعیارها در هر معیار برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده

CRI.1	فنی-اقتصادی	CRI.2	قابلیت اطمینان	CRI.3	زیست محیطی	CRI.4	اجتماعی-سیاسی
CRI.1.1	هزینه سرمایه‌گذاری	CRI.2.1	میزان دسترس-پذیری سیستم	CRI.3.1	شرایط جغرافیایی محیطی	CRI.4.1	حمایت دولت از یک فناوری
CRI.1.2	هزینه بهره‌برداری و نگهداری سیستم	CRI.2 .2	امنیت فناوری	CRI.3.2	تجدیدپذیر بودن منبع انرژی	CRI.4.2	میزان دستیابی به یک فناوری
CRI.1.3	زمان برگشت سرمایه		CRI.1	CRI.3.3	زیبایی شهری		
CRI.1.4	گستره‌ی توان تولیدی		CRI.2	CRI.3.4	عدم آلایندگی صوتی		
CRI.1.5	بازده توان		CRI.3	CRI.3.5	عدم انتشار گازهای گلخانه ای		
CRI.1.6	طول عمر مفید		CRI.4				



شکل 2: ساختار سلسله مراتبی برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده

از رابطه‌ی (7) میانگین هندسی محاسبه می‌شود [1]:

$$\overline{r_j} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} r_{ij}} \qquad \forall j \qquad (7)$$

در رابطه‌ی (7)، r_{ij} بیانگر مقیاس‌های اولیه‌ای است که توسط کارشناسان مختلف تکمیل شده و $\overline{r_j}$ بیانگر مقیاس‌های ماتریس تصمیم‌گیری است که پس از ادغام ماتریس‌های تصمیم-گیری‌ای که توسط کارشناسان و اساتید تکمیل شده بدست آمده و n تعداد کارشناسانی که ماتریس‌های تصمیم‌گیری را پر کرده-اند، j تعداد درایه‌های ماتریس‌های تصمیم‌گیری است.

با توجه به زیاد بودن حجم محاسبات، تنها برای نمونه زیر معیارها در معیار فنی-اقتصادی ارائه شده است. در جدول شماره 6 زیرمعیارهای معیار فنی-اقتصادی با استفاده از خلاصه‌ی ماتریس‌های تصمیم‌گیری تکمیل شده توسط کارشناسان و اساتید مربوطه، وزن نهایی نرمالیزه شده (FNW)[6] با استفاده از تکنیک آنتروپی، روابط 6-3 و ستون آخر وزن‌های زیر معیارهای فنی-اقتصادی بدست آمده است.

لازم به ذکر است که ماتریس تصمیم‌گیری زیر معیارها در معیار فنی-اقتصادی (جدول شماره 6)، از میانگین هندسی ترکیب این ماتریس‌های تصمیم‌گیری که کارشناسان مختلف تکمیل نموده‌اند، بدست آمده است. پس از نرمالیزه کردن ماتریس‌های تصمیم‌گیری، با استفاده از رابطه‌ی (3) مقادیر P_{ij} ها محاسبه شده، سپس با استفاده از روابط (4) و (5) مقادیر E_j و d_j را بدست آورده و در نهایت، با استفاده از رابطه‌ی (6) W_j محاسبه می‌شود که به W_jها، وزن‌نهایی نرمالیزه شده (FNW) می‌گویند. همه‌ی این محاسبات برای تمام زیر معیارها و معیارهای معرفی شده باید اجرا شود و نتایج نهایی وزن‌ها بدست آید.

همانطور که مشخص است ماتریس‌های تصمیم‌گیری به تعداد کارشناسان جمع‌آوری شده که با استفاده از روابط زیر نتایج آن در یک ماتریس تصمیم‌گیری خلاصه می‌شود که در جدول شماره 6 آورده شده است؛ با استفاده از روابط 6-3 نتایج وزن محاسبات به کمک تکنیک آنتروپی محاسبه شده است که در ستون آخر ماتریس، وزن نهایی نرمالیزه شده (FNW) نتایج

6 Final Normalized Weight

بدست آمده وارد شده است. برای همه‌ی ماتریس‌های تصمیم-گیری زیرمعیارها و معیارهای این محاسبات پیاده‌سازی شده و نتایج آن در جدول شماره 7 آورده شده است. در جدول شماره 7 وزن نهایی نرمالیزه شده معیارها و زیر معیارها جهت مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده (با استفاده از تکنیک آنتروپی بدست آمده) نمایش داده شده است.

جدول 6: مقایسات زوجی زیر معیارهای معیار فنی-اقتصادی برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده

زیر معیارهای معیار فنی-اقتصادی CRI.1	CRI.1.1	CRI.1.2	CRI.1.3	CRI.1.4	CRI.1.5	CRI.1.6	FNW
CRI.1.1	1	1/524	1/732	0/919	1	1/316	0/105
CRI.1.2	0/656	1	1/968	1/495	1/316	2/280	0/271
CRI.1.3	0/577	0/508	1	0/809	0/577	1/158	0/174
CRI.1.4	1/088	0/669	1/236	1	0/656	1/136	0/104
CRI.1.5	1	0/760	1/732	1/524	1	1/968	0/200
CRI.1.6	0/760	0/439	0/863	0/880	0/508	1	0/145

جدول 7: وزن نهایی زیر معیارها و معیارها برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده

معیار و زیر معیارهای مربوطه	FNW	معیار و زیر معیارهای مربوطه	FNW	معیار و زیر معیارهای مربوطه	FNW	معیار و زیر معیارهای مربوطه	FNW
CRI.1	0/242	CRI.2	0/407	CRI.3	0/255	CRI.4	0/096
CRI.1.1	0/105	CRI.2.1	0/500	CRI.3.1	0/098	CRI.4.1	0/500
CRI.1.2	0/271	CRI.2 .2	0/500	CRI.3.2	0/150	CRI.4.2	0/500
CRI.1.3	0/174			CRI.3.3	0/371		
CRI.1.4	0/104			CRI.3.4	0/187		
CRI.1.5	0/200			CRI.3.5	0/194		
CRI.1.6	0/145						

در گام بعد ماتریس‌های تصمیم‌گیری فناوری‌ها نسبت به هر زیر معیار می‌بایست مورد تحلیل قرار گیرند؛ این ماتریس‌های تصمیم‌گیری به این صورت هستند که همانند جدول شماره 1 به ازای هر معیار فناوری‌ها با هم مقایسه‌ی دو دویی می‌شوند. پس از اعمال روش آنتروپی به گونه‌ی بیان شده در مرحله‌ی قبل نتایج وزن‌های نرمالیزه شده‌ی فناوری‌های تولید پراکنده در هر زیر معیار بدست می‌آید که در جدول شماره 8 نتایج آن ارائه شده است.

با ترکیب وزن‌های زیر معیارها در جدول شماره 7، وزن‌های فناوری‌های تولید پراکنده در هر زیرمعیار در جدول شماره 8 و با استفاده از میانگین وزنی هندسی در روش تحلیل سلسله مراتبی AHP طبق رابطه‌ی (8)، نتایج جدول شماره 9 بدست می‌آید[1].

$$\overline{FNW_{kj}} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} FNW_{ij} * \overline{r_{ki}}} \qquad \forall k, j \tag{8}$$

در رابطه‌ی (8) FNW_{ij} وزن‌های نرمالیزه شده زیرمعیارها (نتایج جدول شماره 7)، $\overline{r_{ki}}$ وزن‌های نرمالیزه شده زیرمعیارها در هر فناوری تولید پراکنده (نتایج جدول شماره 8)، $\overline{FNW_{kj}}$ وزن نهایی فناوری‌های تولید پراکنده در هر معیار، k تعداد فناوری-های تولید پراکنده، n تعداد زیر معیاها و j تعداد معیارها است. با استفاده از رابطه‌ی (8) نتایج جدول شماره 9 بدست می‌آید؛ که با استفاده از رابطه (7) میانگین وزنی محاسبه شده، سپس برای نرمالیزه‌کردن میانگین‌های وزنی از رابطه‌ی (3) استفاده شده و FNWها محاسبه شده‌اند.

در ستون آخر جدول شماره 9 مشاهده می‌شود که فناوری بادی و فناوری فتوولتاییک در اولویت‌های بالاتری قرار دارند؛ همانطور که در قسمت‌های قبل نیز ذکر شد در این مقاله فرض شده بود که حمایت دولت از تولیدهای پراکنده که سوخت فسیلی مصرف می‌کنند برداشته شده است. نتایج اولویت‌بندی با فرض بیان شده بدین معنی است که در صورت تمایل به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولیدات پراکنده، باید بر روی فناوری بادی سرمایه‌گذاری کرد؛ چراکه اولویت اول را در بهینه-سازی به روش پیشنهادی به خود اختصاص داده است. از سوی دیگر، درصد وزن نهایی نرمالیزه‌شده (FNS%) بدست آمده در هر فناوری به نوعی بیانگر درصد سهم هر فناوری از منابع مالی موجود، برای سرمایه‌گذاری در این فناوری‌های تولید پراکنده

است. به طور مثال در فناوری فتوولتاییک، 19/52 درصد از منابع مالی‌ای که جهت سرمایه‌گذاری در تولیدات پراکنده اختصاص داده شده باید به فناوری فتوولتاییک تخصیص یابد؛ همین امر برای سایر فناوری‌ها نیز متناسب با درصد وزن نهایی آن فناوری-های مورد انتظار است.

همانطور که از ابتدای این مقاله بیان شد، در روش پیشنهادی دو هدف اصلی اولویت‌بندی تولیدات پراکنده و مدیریت منابع مالی جهت سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولیدات پراکنده مورد نظر بود که از روی نتایج نشان داده شده در جدول شماره 9 بررسی گردید.

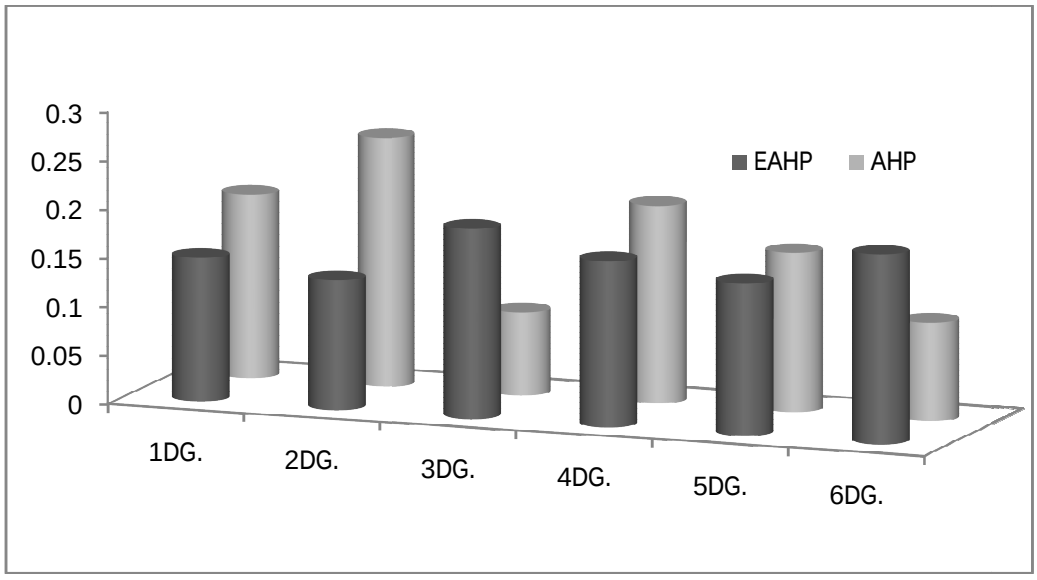
در پایان، نتایج روش EAHP با نتایج روش AHP (شکل شماره 3) قابل مقایسه است. در روش AHP، اولویت‌های اول به ترتیب فناوری‌های زیست‌توده و سپس دیزل ژنراتور است. همانطور که مشخص است، با استفاده از روش EAHP نتایج مناسب‌تری برای سرمایه‌گذاری بدست آمده که به دلیل عدم قطعیت تصمیم‌گیران (کارشناسان و اساتید) بوده که در روش AHP این عدم قطعیت مدل نشده است؛ ولی در روش ترکیبی EAHP که از تکنیک آنتروپی برای مدل کردن عدم قطعیت موجود در اطلاعات استفاده شده، نتایج مناسب‌تری بدست آمده که حاکی از برتری روش ترکیبی پیشنهادی در این مقاله یا همان روش تحلیل سلسه مراتبی با تکنیک آنتروپی (EAHP) است.

جدول 8 : وزن نهایی زیر معیارها و معیارها برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده

	CRI.1						**CRI.2**		**CRI.3**					**CRI.4**	
	CRI. 1.1	**CRI.** 1.2	**CRI.** 1.3	**CRI.** 1.4	**CRI.** 1.5	**CRI.** 1.6	**CRI.** 2.1	**CRI.** 2.2	**CRI.** 3.1	**CRI.** 3.2	**CRI.** 3.3	**CRI.** 3.4	**CRI.** 3.5	**CRI.** 4.1	**CRI.** 4.2
DG. 1	0/204	0/152	0/170	0/161	0/204	0/214	0/154	0/171	0/366	0/159	0/156	0/162	0/203	0/219	0/177
DG. 2	0/133	0/151	0/161	0/123	0/133	0/150	0/158	0/213	0/191	0/204	0/191	0/226	0/150	0/155	0/151
DG. 3	0/169	0/343	0/158	0/318	0/200	0/234	0/209	0/195	0/217	0/537	0/316	0/537	0/452	0/221	0/171
DG. 4	0/388	0/144	0/251	0/137	0/146	0/178	0/302	0/219	0/393	0/167	0/127	0/136	0/188	0/177	0/281
DG. 5	0/130	0/160	0/139	0/289	0/167	0/169	0/143	0/144	0/517	0/263	0/202	0/542	0/235	0/243	0/153
DG. 6	0/380	0/326	0/302	0/204	0/224	0/261	0/193	0/170	0/160	0/452	0/186	0/214	0/380	0/289	0/205

جدول 9 : وزن نهایی محاسبه شده فناوری‌های تولید پراکنده جهت اولویت‌بندی مدیریت و تخصیص منابع مالی

		CRI.1	CRI.2	CRI.3	CRI.4	میانگین وزنی	FNW	% FNW	Ranking
1DG.	میکروتوربین	0/007	0/033	0/008	0/096	0/0115	0/1481	14/81	5
2DG.	زیست توده	0/005	0/037	0/008	0/009	0/0104	0/1334	13/34	6
3DG.	فتوولتاییک	0/009	0/041	0/016	0/007	0/0152	0/1952	19/52	2
4DG.	دیزل ژنراتور	0/007	0/052	0/008	0/011	0/0133	0/1708	17/08	3
5DG.	پیل سوختی	0/006	0/029	0/013	0/009	0/0122	0/1570	15/70	4
6DG.	بادی	0/011	0/037	0/012	0/012	0/0153	0/1956	19/56	1



شکل 3 : مقایسه نتایج وزن‌های اولویت‌بندی فناوری‌های تولید پراکنده با دو روش AHP و EAHP

5- نتیجه‌گیری

با توجه به خصوصی‌سازی صنعت برق، تاکید بر حفاظت محیط زیست و افزایش بهره‌وری و بهره‌برداری بهتر از منابع انرژی فسیلی در سال‌های اخیر، سمت و سوی فناوری به طرف تولید پراکنده برق معطوف شده است. روش پیشنهادی در این مقاله بر مبانی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک آنتروپی است. با توجه به زیاد بودن معیارهای وابسته به اولویت‌بندی این فناوری‌ها و همچنین عدم‌قطعیت موجود در اطلاعات گردآوری شده، نیاز به استفاده از یک روش مناسب که این عدم‌قطعیت‌های اطلاعات و تعداد زیاد معیارها و زیرمعیارهای مسئله را مدل نماید، وجود داشته که در این مقاله روش ترکیبی آنتروپی- سلسله مراتبی (EAHP) پیشنهاد شده است.

روش سلسله مراتبی (AHP) هنگامی که تعدادی گزینه و معیار مختلف برای دستیابی به یک هدف موجود باشد، یک روش مناسب علمی-عملی است. با توجه به وجود عدم قطعیت و نامطمئنی در نظرات کارشناسان و متخصصین، از روش سلسله مراتبی با تکنیک آنتروپی برای بهینه‌سازی این مسأله استفاده شده است. در این اولویت‌بندی، فناوری تولید پراکنده از نوع بادی با فرض اتمام قانون هدفمندسازی یارانه‌ها و اجرایی شدن ماده 1 این قانون که آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی است، در اولویت اول قرار دارد. ضمن اینکه در روش پیشنهادی، بیان شد که درصد وزن نهایی نرمالیزه‌شده (FNS%) بدست آمده در هر فناوری به نوعی بیانگر درصد سهم هر فناوری از منابع مالی موجود، برای سرمایه‌گذاری در این فناوری‌های تولید پراکنده است.

در ادامه این مقاله برای بررسی دقیق‌تر می‌توان به آنالیز هزینه/فایده بین چند فناوری اولویت بالای بدست آمده در این محاسبات پرداخت.

6- سپاسگزاری

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از اساتید محترم دانشگاه عباسپور جناب آقای دکتر محمد صادق قاضی زاده، جناب آقای دکتر محمد احمدیان و جناب آقای دکتر منصور رفیعی به خاطر هم‌فکری علمی و مشورت‌های بی‌شائبه‌شان در تهیه این مقاله، تشکر و قدردانی نماییم.

7- ضمائم

اسامی و سمت برخی از کارشناسانی که از اطلاعات و راهنمایی‌های آنها در ارزش‌گذاری معیارها و گزینه‌های اولویت-بندی فناوری‌های تولیدات پراکنده در این مقاله استفاده شد، در جدول زیر آورده شده است.

برخی از کارشناسان و اساتید محترم	سمت
دکتر محمدآقا شفیعی	عضو هیئت علمی پردیس شهید عباسپور
دکتر محمد صادق قاضی زاده	عضو هیئت علمی پردیس شهید عباسپور
دکتر منصور رفیعی	عضو هیئت علمی پردیس شهید عباسپور
دکتر محمد احمدیان	عضو هیئت علمی پردیس شهید عباسپور
دکتر سید حمید حسینی	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف
مهندس محمد ایمان غیاثی	عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت
مهندس علیرضا حیدری	عضو هیئت علمی دانشگاه زابل
مهندس مقداد تورانداز کناری	دانشجوی دکتری پردیس شهید عباسپور
مهندس رضا اعتماد	دانشجوی دکتری پردیس شهید عباسپور

تاریخ دریافت: 1392/5/12 و تاریخ پذیرش: 1392/6/23

فهرست منابع

[1] اصغرپور، محمد جواد؛ **تصمیم‌گیری چند معیاره**، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، 1388.

[2] راست گفتار، حنیف؛ فتوحی، محمود؛ آراستی، محمد رضا؛ **"مقایسه و ارزیابی استراتژیکِ جذابیت تکنولوژی‌های میکرو توربین و دیزلی در ایران بر اساس ساخت یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره"**، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، 1386.

[3] قدسی پور، حسن؛ **مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره** ، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ سوم، 1381.

[4] کیا، محسن؛ کیا، نیما؛ شفیعی، محمدآقا؛ **" بررسی و اولویت‌بندی تکنولوژی‌های مختلف تولید پراکنده در کشور و تاثیر کاهش یارانه انرژی در آن به روش Fuzzy-AHP "**، هفدهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، تهران، 1391.

[5] Ackermann, T.; Andersson, G.; Soder, L.; "*Distributed generation: a definition*", Electric Power Systems Research, vol. 57, pp. 195–204, 2001.

[6] Afgan, N.; Carvalho, M.; *Sustainable Assessment Method for Energy Systems*, Boston: Kluwer Academic Publishers; 2000.

[7] Afgan, N.; Gobaisi, D., Carvalho, M.; Cumo, M.; "*Sustainable Energy Management*," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 2, pp. 235–86, 1998.

[8] Afgan, N.; Hovanov, M. N.; "*Sustainability Assessment of Renewable Energy Systems*", Energy Policy, vol. 28, pp. 603–612, 2000.

[9] Bayod Rújula, A. A.; Mur Amada, J.; Bernal-Agustín, J. L.; Yusta Loyo, J. M.; Domínguez Navarro, J.A.; " *Definitions for Distributed Generation: a revision*", International conference on renewable energy and power quality, Zaragoza, march 2005.

[10] Borges, C. L. T.; Falcao, D. M.; "*Optimal Distributed Generation Allocation for Reliability, Losses and Voltage Improvement*", Electrical Power and Energy System, vol. 28, pp. 413-420, 2006.

[11] Boucher T.; McStravic E.; "*Multi-Attribute Evaluation within a Present Value Framework and its Relation to Analytic Hierarchy Process*", The Engineering Economist, vol. 37, pp. 55–71, 1991.

[12] Dehghanian, P.; Fotuhi-Firuzabad, M.; Bagheri-Shouraki, S.; Razi Kazemi, A. A.; " *Critical Component Identification in Reliability Centered Asset Management of Distribution Power Systems via Fuzzy AHP*", IEEE Systems Journal, Accepted, To appear, 2012.

[13] Dehghanian, P.; Fotuhi-Firuzabad, M.; Razi Kazemi, A. A.; "*An Approach for Critical Component Identification in Reliability-Centered Maintenance of Power Distribution Systems Based on Analytical Hierarchical Process*", The 21st International Conference and Exhibition on Electricity distribution, CIRED, Frankfurt, Germany, June 2011.

[14] El'Khattam, W.; A'Salama, M. M.; "*Distributed generation technologies, definitions and benefits*", Electric Power System Research, vol. 71, pp. 119-128, 2004.

[15] Falaghi, H.; Haghifam, M .R .; "*ACO Based Algorithm for Distributed Generation Sources Allocation and Sizing in Distribution Systems*", IEEE Lausanne Power Tech Conference, pp. 555-560, 2007.

[16] Gal .T.; Hanne, T.; *Multicriteria Decision Making: Advances in MCDM Models, Algorithms, Theory, and Applications*, Kluwer Academic Publishers, 1999.

[17] Masters, G. M.; *Renewable and efficient electric power, system*", John wiley and sons Inc., 2004.

[18] Ozelkan, E.; Duckstein, L.; "*Analyzing Water Resources Alternatives and Handling Criteria by Multi Criterion Decision Techniques*", Journal of Environmental Management, vol. 48, pp. 69–96, 1996.

[19] Pepermans, G.; Driesen, J.; Haeseldonckx, D.; Belmans, R.; D'haeseleer, W.; "*Distributed generation: definition, benefits and issues*", Energy Policy, vol. 33, pp. 787–798, 2006.

[20] Putrus P.; "*Accounting for Intangibles in Integrated Manufacturing-Non-Financial Justification Based on Analytical Hierarchy Process*", Information Strategy, vol. 6, pp. 25–30, 1990.

[21] Raju, K.; Pillai, C.; "*Multi Criterion Decision Making in Performance Evaluation of Irrigation Projects*", European Journal of Operational Research, vol. 3, pp. 479–88, 1999.

[22] Saaty, T. L.; *The Analytic Hierarchy Process,* McGraw-Hill Inc., 1980.

[23] Silvestri, A.; Berizzi, A.; Buonanno, S.; "*Distributed generation planning using genetic algorithms*", IEEE International Conference on Electric Power Engineering, pp. 257, August 2002.

[24] Singh, V. P.; "*The entropy theory as a tool for modelling and decision making in environmental and water resources*", water research commission journal, Water SA, vol. 26, no. 1, Jan. 2000.

[25] Vovos, P. N.; Kiprakis, A. E.; Wallace A. R., and G. P. Harrison, "*Centralized and Distributed Voltage Control: Impact on Distributed Generation Penetration*", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 22, no. 1, pp. 476-483, Feb. 2007.

[26] Willis, H. L.; Scott, W. G.; *Distributed Power Generation: Planning and Evaluation -Power Engineering*, Marcel Dekker Inc., 2000.