

# 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<sup>1</sup>

عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده

توسعه و بهینه‌سازی فناوری‌های انرژی

■ محمد حسین شمس<sup>2</sup>

کارشناس جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف

■ محسن کیا<sup>+</sup>\*

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 این رو 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، تصمیم‌گیری چند معیاره، تحلیل سلسله مراتبی-آنتروپی.

۱ شماره‌نمبر: 021-44859975 و آدرس پست الکترونیکی: [Ghiasimi@ripi.ir](mailto:Ghiasimi@ripi.ir)

۲ شماره‌نمبر: 021-77436375 و آدرس پست الکترونیکی: [Mhshams@alum.sharif.edu](mailto:Mhshams@alum.sharif.edu)

\* عهده دار مکاتبات

+ شماره‌نمبر: 021-73932505 و آدرس پست الکترونیکی: [Mohsenkia80@gmail.com](mailto:Mohsenkia80@gmail.com)

## 1- مقدمه

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 زمینه‌ی مطالعات سیستمی منابع تولیدات پراکنده انتشار یافته است. در مرجع 12 و 13، با استفاده از روش سلسله مراتبی به مدیریت سرمایه‌جهت 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.

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 سرمایه‌گذاری در تولید انرژی الکتریکی کاهش می‌یابد و سرمایه‌گذاران 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

## 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 شبکه‌های 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 تقسیم‌بندی 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 مسئله تصمیم‌گیری به دلیل وجود معیارها و گزینه‌های متعدد، وجود محدودیت‌های متعدد نظیر زمان و منابع موجود در یک فرآیند تصمیم‌گیری، دشواری یافتن 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

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<sup>4</sup> نیز قابل استفاده خواهد بود. در گام دوم، با استفاده از تکنیک آنتروپی<sup>5</sup> 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.

### 1-3- 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:

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

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

$$-K \sum_{i=1}^n [p_i \times \ln p_i] = -K \left\{ \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n} \ln \frac{1}{n} \right\} = -K \left\{ \left( \ln \frac{1}{n} \right) \left( \frac{n}{n} \right) \right\} = -K \ln \frac{1}{n} \quad (2)$$

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 دوجه‌دویی 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<sup>3</sup> خواهد بود؛ چراکه در این

4 Brain storming

5 Entropy

3 Delphi Technique

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad \forall i, j \quad (3)$$

$E_j$  از مجموعه  $P_{ij}$  به ازای هر مشخصه طبق رابطه (4) بدست می آید:

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

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  $z_j$  از رابطه (5) محاسبه می شود:

$$d_j = 1 - E_j \quad \forall j \quad (5)$$

سپس اوزان ( $W_j$ ) از شاخص های موجود از رابطه (6) بدست می آید:

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

در این مرحله وزن هر معیار از ماتریس های تکمیل شده با استفاده از روش آنترپوی بدست می آید و نتایج نرمالیزه می شوند به صورتی که مجموع وزن های نهایی معیارها مساوی 1 می شود.

### 2-3- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از سه مرحله اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: ایجاد ساختار سلسله مراتبی، تحلیل اولویت و تأیید سازگاری سیستم. در ابتدا، فرد تصمیم گیرنده باید مسئله تصمیم پیچیده را در سطوح مراتبی چندگانه ساختاردهی نماید. در مرحله بعد، تصمیم گیرنده بر اساس دانش علمی-تجربی مقایسات را انجام می دهد. هنگامی که مقایسات از طریق قضاوت های ذهنی به انجام رسید، ممکن است درجاتی از ناسازگاری در تصمیم گیری ها اتفاق بیافتند. به منظور تضمین اینکه قضاوت ها سازگار هستند، عملیات نهایی که تأیید سازگاری است به انجام می رسد تا از طریق محاسبه نرخ سازگاری، درجه سازگاری مقایسات زوجی را محاسبه نماید. در این مرحله اگر نرخ سازگاری از حد مجاز ( $0/1$ ) آن بیشتر شود، تصمیم گیرنده باید مقایسات خود را مورد بازنگری قرار دهد.

جدول 1: نمونه جدول مقایسات زوجی معیارهای پیشنهادی برای مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری های 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 تصمیم گیری از یک مدل MADM (Muli Attribute Decision Making) حاوی اطلاعاتی است که آنترپوی می تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن بکار رود. یک ماتریس تصمیم گیری به صورت جدول شماره 1 در نظر گرفته می شود. بعد از مشخص شدن معیارها، نوبت به تعیین وزن نسبی آنهاست. بدین منظور، مطابق جدول شماره 1 به مقایسه زوجی معیارها در ماتریس تصمیم گیری به کمک کارشناسان و اساتید حوزه فناوری تولید پراکنده پرداخته می شود. در جدول شماره 1 مقیاس های مورد استفاده در مقایسات زوجی در روش سلسله مراتبی و تکنیک آنترپوی برحسب میزان ارجحیت از مقیاس های نشان داده شده در جدول شماره 2 محاسبه می شود.

در این روش، معیارها دو به دو و در قالب ماتریس مقایسات زوجی با یکدیگر مقایسه می شوند. به عبارت دیگر، اعداد ماتریس مقایسات زوجی، ارجحیت (برتری) یک معیار نسبت به معیار دیگر را نشان می دهند. در تکمیل کردن ماتریس تصمیم گیری توسط کارشناسان تنها کافی است که نیمی از جدول ماتریس تصمیم گیری 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

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

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

#### 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 اولویت‌بندی انتخاب شدند. فناوری‌هایی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته به شرح جدول شماره 3 است:

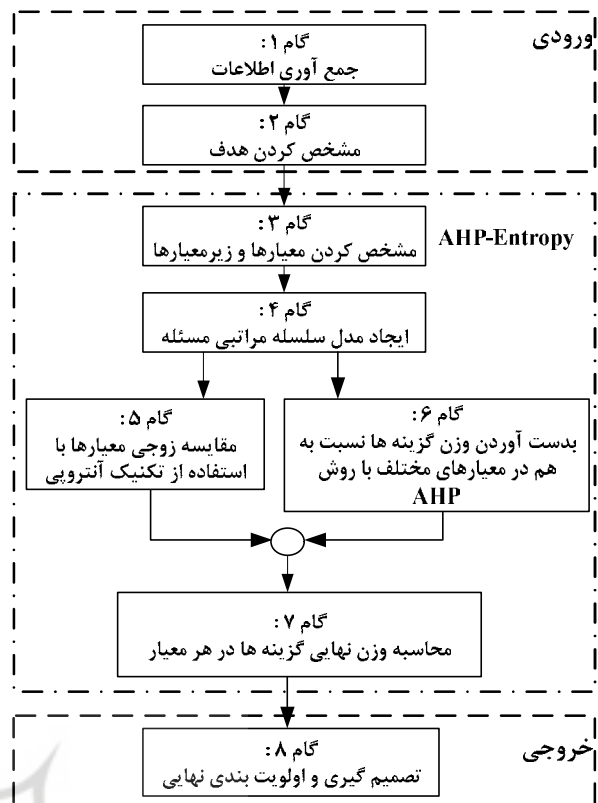
جدول 3: فناوری‌های تولید پراکنده مورد بررسی برای مدیریت و تخصیص منابع مالی

مشخصه‌ی معیار	معیار
DG.1	میکروتوربین
DG.2	زیست توده
DG.3	فتوولتائیک
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 در نظر 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 اولویت‌بندی فناوری‌های تولید پراکنده استفاده کرد.



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 اولویت‌گزینه‌ها 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 سرمایه‌گذاری 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 داده‌های 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].

انتظارات آنها در رابطه با قابلیت اطمینان انرژی تحویلی افزایش یافته است.

معيار 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 زیان بار توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی می‌شود.

معيار اجتماعی-سیاسی: معيار 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 شاخص‌ها 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 ماتریس‌های تصمیم‌گیری یکسان (از یک نوع) ترکیب می‌شوند؛

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

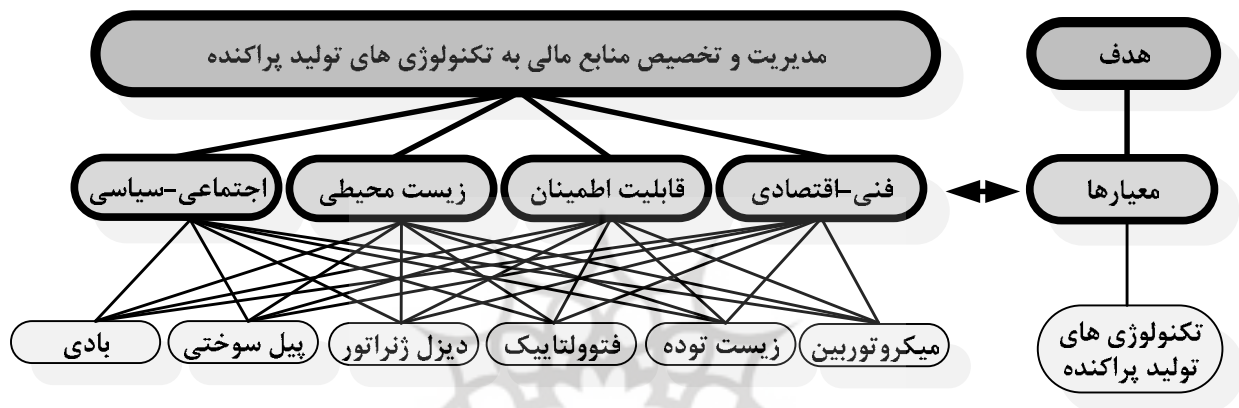
توضیحات مربوط به هر معیار در ادامه آورده شده است. زیرمعیارهای مربوط به هر معیار جهت مدیریت و تخصیص منابع مالی به فناوری‌های تولید پراکنده در جدول شماره 5 آورده شده است.

معيار 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.

معيار 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 می‌گذارد. 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،

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

اجتماعی-سیاسی	CRI.4	زیست محیطی	CRI.3	قابلیت اطمینان	CRI.2	فنی-اقتصادی	CRI.1
حمایت دولت از یک فناوری	CRI.4.1	شرایط جغرافیایی محیطی	CRI.3.1	میزان دسترس- پذیرسی سیستم	CRI.2.1	هزینه سرمایه‌گذاری	CRI.1.1
میزان دستیابی به یک فناوری	CRI.4.2	تجدیدپذیر بودن منبع انرژی	CRI.3.2	امنیت فناوری	CRI.2.2	هزینه بهره‌برداری و نگهداری سیستم	CRI.1.2
		زیبایی شهری	CRI.3.3	CRI.1		زمان برگشت سرمایه	CRI.1.3
		عدم آلودگی صوتی	CRI.3.4	CRI.2		گستره‌ی توان تولیدی	CRI.1.4
		عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای	CRI.3.5	CRI.3		بازده توان	CRI.1.5
				CRI.4		طول عمر مفید	CRI.1.6



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

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

$$\bar{r}_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n r_{ij}} \quad \forall j \quad (7)$$

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  $P_{ij}$  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  $W_j$  ها، 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 3-6 نتایج وزن محاسبات به کمک تکنیک آنترویی محاسبه شده است که در ستون آخر ماتریس، وزن نهایی نرمالیزه شده (FNW) نتایج

در رابطه‌ی (7)، بیانگر مقیاس‌های اولیه‌ای است که توسط کارشناسان مختلف تکمیل شده و  $\bar{r}_j$  بیانگر مقیاس‌های ماتریس تصمیم‌گیری است که پس از ادغام ماتریس‌های تصمیم‌گیری‌ای که توسط کارشناسان و اساتید تکمیل شده بدست آمده و  $n$  تعداد کارشناسانی که ماتریس‌های تصمیم‌گیری را پر کرده‌اند،  $j$  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)<sup>6</sup> با استفاده از تکنیک آنترویی، روابط 3-6 و ستون آخر وزن‌های زیر معیارهای

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

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	معیار و زیر معیارهای مربوطه	معیار و زیر معیارهای مربوطه	معیار و زیر معیارهای مربوطه	معیار و زیر معیارهای مربوطه	معیار و زیر معیارهای مربوطه	معیار و زیر معیارهای مربوطه	معیار و زیر معیارهای مربوطه
0/096	CRI.4	0/255	CRI.3	0/407	CRI.2	0/242	CRI.1
0/500	CRI.4.1	0/098	CRI.3.1	0/500	CRI.2.1	0/105	CRI.1.1
0/500	CRI.4.2	0/150	CRI.3.2	0/500	CRI.2.2	0/271	CRI.1.2
		0/371	CRI.3.3			0/174	CRI.1.3
		0/187	CRI.3.4			0/104	CRI.1.4
		0/194	CRI.3.5			0/200	CRI.1.5
						0/145	CRI.1.6

نهایی فناوری‌های تولید پراکنده در هر معیار،  $k$  تعداد فناوری-های تولید پراکنده،  $n$  تعداد زیر معیارها و  $z$  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 نرمالیزه کردن 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

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].

$$\overline{FNW}_{kj} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n FNW_{ij} * r_{ki}} \quad \forall k, j \quad (8)$$

در رابطه‌ی (8)  $\overline{FNW}_{ij}$  وزن‌های نرمالیزه شده زیرمعیارها (نتایج جدول شماره 7)،  $r_{ki}$  وزن‌های نرمالیزه شده زیرمعیارها در هر فناوری تولید پراکنده (نتایج جدول شماره 8)،  $\overline{FNW}_{kj}$  وزن

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 آنروپی 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 آنروپی (EAHP) است.

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

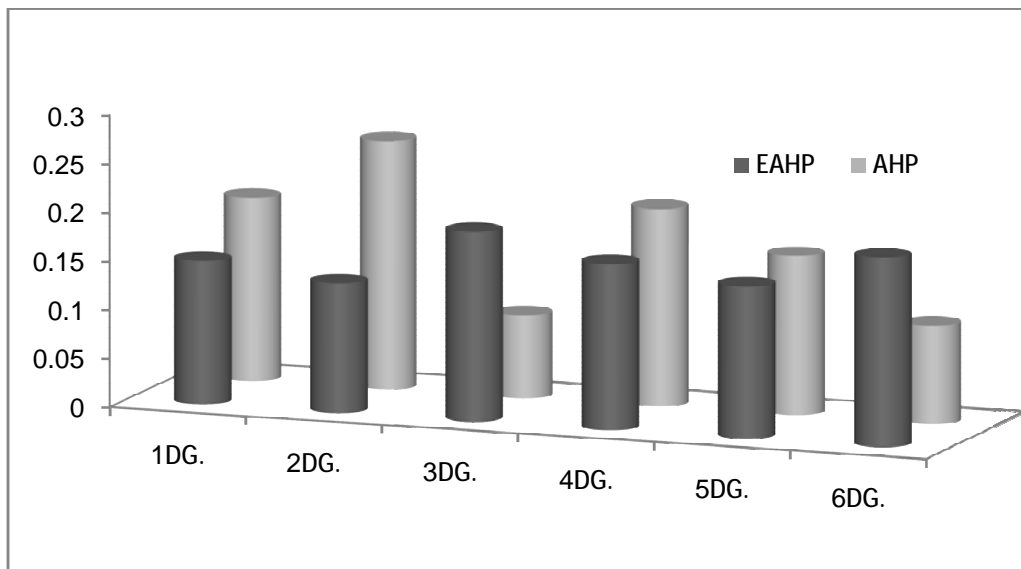
در پایان، نتایج روش EAHP با نتایج روش AHP (شکل

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. فتوولتائیک	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 EHP

## 5- نتیجه‌گیری

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 اولویت‌بندی فناوری‌های تولیدات پراکنده در این مقاله استفاده شد، در جدول زیر آورده شده است.

سمت	برخی از کارشناسان و اساتید محترم
عضو هیئت علمی پردیس شهید عباسپور	دکتر محمد آقا 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 دانشگاه صنعتی شریف	دکتر سید حمید حسینی
عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت	مهندس محمد ایمان غیائی
عضو هیئت علمی دانشگاه زابل	مهندس علیرضا حیدری
دانشجوی دکتری پردیس شهید عباسپور	مهندس مقدار تورانداز کناری
دانشجوی دکتری پردیس شهید عباسپور	مهندس رضا اعتماد

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

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 مبنای 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 عدم قطعیت موجود در اطلاعات گردآوری شده، نیاز به استفاده از یک روش مناسب که این عدم قطعیت‌های اطلاعات و تعداد زیاد معیارها و زیرمعیارهای مسئله را مدل نماید، وجود داشته که در این مقاله روش ترکیبی آنتروپی- سلسله مراتبی (EHP) 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 مسئله 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 نرمالیزه شده (FNS%) بدست آمده در هر فناوری به نوعی بیانگر درصد سهم هر فناوری از منابع مالی موجود، برای سرمایه‌گذاری در این فناوری‌های تولید پراکنده

## 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 استراتژیک 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؛ شفیع، محمدآقا؛ "بررسی و اولویت‌بندی تکنولوژی‌های مختلف تولید پراکنده در کشور و تاثیر کاهش بارانه 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 Rujula, 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.