

## مدل سازی سیستم مدیریت هوشمند انرژی در ریزشبکه های الکتریکی با به کارگیری فرآیند

### تحلیل سلسله مراتبی

مجتبی آهنج<sup>۱</sup> و شهرام جدید<sup>۲</sup>

۱- قطب علمی اتوماسیون و بهره برداری از سیستم های قدرت، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت

تهران، ایران

mojtaba.ahanch@gmail.com

۲- قطب علمی اتوماسیون و بهره برداری از سیستم های قدرت، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و

صنعت، تهران، ایران

jadid@iust.ac.ir

**چکیده:** امروزه از ریزشبکه های الکتریکی به عنوان ارکان اصلی یک شبکه هوشمند یاد می شود، از این رو در کانون توجه پژوهشگران و متخصصین امر قرار دارند. چنانچه بهره برداری از ریزشبکه های الکتریکی به خوبی تعریف، پیاده سازی و عملیاتی شود، راه برای توسعه هرچه سریع تر شبکه های هوشمند هموار خواهد شد. در این مقاله، مدلی هوشمند در بهره برداری بهینه از ریزشبکه های الکتریکی ارائه می شود که متشکل از بخش های پیش بینی توان فتوولتائیک، مدیریت ذخیره انرژی، مدیریت تولید منابع و مرکز هوشمند بهینه سازی است. با توجه به ماهیت متغیر بودن توان خروجی منابع فتوولتائیک به علت عدم قطعیت در میزان تابش خورشید، واحد پیش بینی توان بهره بردار را از میزان تولید توان در ۲۴ ساعت آینده مطلع می کند. واحد ذخیره انرژی نیز برای کمک به بهره بردار ریزشبکه در حداقل سازی هزینه، به شبکه اضافه می شود. سپس، واحد بهینه سازی با به کارگیری معیار نوینی از تصمیم گیری (به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی) و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری (ICA)، به تعیین زمان بندی تولید و توزیع اقتصادی منابع برای کاهش هزینه مصرف کنندگان و کاهش آلاینده گی محیط اقدام می کند. نتایج شبیه سازی بر اساس سناریوی تعریف شده، عملکرد مطلوب مدل پیشنهادی را نشان می دهند.

**واژه های کلیدی:** الگوریتم رقابت استعماری (ICA)، ریزشبکه الکتریکی، شبکه هوشمند، مدیریت انرژی

### ۱- مقدمه

جدید در عرصه تولید انرژی، و نیز مشکلات زیاد زیست محیطی است [۱-۳]. سیستم های الکتریکی سنتی با مشکلات فنی و اقتصادی گسترده ای در طول ده های گذشته مواجه بوده اند. برای حل این مشکلات، طراحان و سیاستمداران کلان صنعت برق، حرکت به سمت شبکه الکتریکی هوشمند را پیشنهاد داده اند. طبق تعاریف رایج شده، شبکه هوشمند به شبکه ای گفته می شود که با استفاده از فناوری های نوین مخابراتی، اندازه گیری، تولید انرژی و همچنین، بالا بردن سطح آگاهی عمومی، کوشش در تحویل انرژی با کمترین میزان آلاینده گی و کاهش هزینه تمام شده

امروزه رشد در خور توجهی از حضور منابع تولید پراکنده (DG) در شبکه های الکتریکی مشاهده می شود. علت اصلی این امر، تجدید ساختار برق و حضور بازیگران

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۴/۰۵/۱۲

نام نویسنده مسئول : مجتبی آهنج

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - دانشگاه علم و صنعت - دانشکده مهندسی برق

مصرف کنندگان دارد.

ریزشبکه‌های الکتریکی متشکل از منابع تولید پراکنده از ارکان اصلی شبکه هوشمند آینده هستند که نقش مهمی در دسترسی به اهداف یاد شده، خواهند داشت. ریزشبکه‌های ایجاد شده در سمت توزیع، شرایط را برای کار منابع DG فراهم می‌کنند. این منابع بیشتر شامل فناوری‌های نوینی همچون، دیزل ژنراتور، میکروتوربین، پیل سوختی (Fuel Cell) هستند که در کنار سیستم‌های فتوولتائیک و توربین‌های بادی، تغذیه بخشی از تقاضای مصرف‌کنندگان را در سمت توزیع برعهده خواهند داشت [۴]. هماهنگی میان این منابع با عناصر ذخیره‌ساز انرژی و بارهای کنترل شونده (مانند تجهیزات تهویه مطبوع) از چالش‌های پیش روی ریزشبکه‌های الکتریکی خواهد بود [۵-۶]. بسته به موقعیت مکانی و شرایط شبکه‌های الکتریکی، سناریوهای متفاوتی در بهره‌برداری از ریزشبکه‌های الکتریکی تعریف شده است. ریزشبکه‌ها بیشتر در حالت متصل به شبکه بالادست بهره‌برداری می‌شوند، که در این صورت نیاز مصرف‌کنندگان توسط انرژی دریافتی از شبکه اصلی و نیز انرژی تولیدی منابع داخلی خود تامین می‌شود. اما در حالتی (مانند تامین بار مناطق دور دست و یا هنگام تعمیر و نگهداری بخشی از شبکه) این ریزشبکه‌ها قابلیت کار در حالت مجزا را نیز دارا هستند. که در این صورت تامین کل بار بر عهده منابع داخلی می‌باشد [۷].

با پیشرفت‌های انجام شده در فناوری عناصر ذخیره‌ساز انرژی، استفاده از این تجهیزات، دستیابی به یک شبکه انعطاف‌پذیر را قطعی خواهند کرد. حضور عناصر ذخیره‌ساز بهره‌بردار را قادر می‌کند تا شبکه را با قابلیت اطمینان بالاتر و نیز با صرف هزینه تولید کمتر، بهره‌برداری کند. در مرجع [۸] نویسندگان راهکاری را در بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه ارائه کرده‌اند که بر اساس آن، هزینه ریزشبکه با ذخیره انرژی در ساعات کم باری، و فروش آن در ساعات اوج بار، به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد. الگوریتم به کار رفته در حل مسأله بهینه‌سازی، PSO بوده است.

در مرجع [۹] نیز کار مشابهی با حداقل‌سازی هزینه بهره‌برداری ریزشبکه به کمک الگوریتم برنامه‌ریزی خطی، انجام شده است. استراتژی دیگری نیز مبتنی بر مشارکت

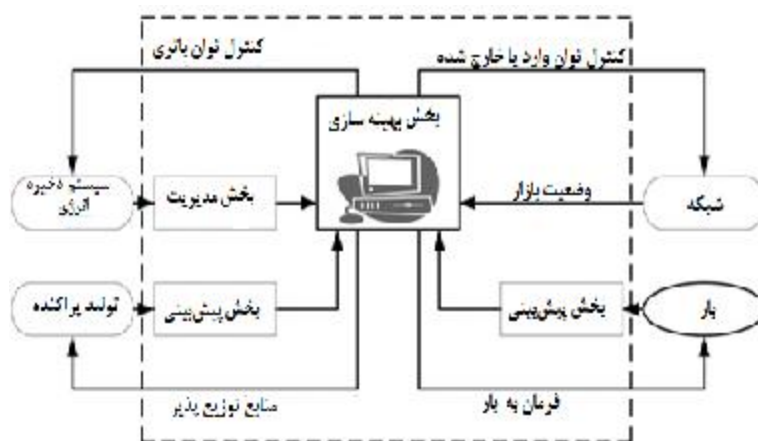
توربین بادی و عناصر ذخیره‌ساز انرژی در [۱۱] پیشنهاد شده‌اند که ماهیت تصادفی خروجی توربین بادی نیز در آن لحاظ شد. همچنین، پژوهشگران در این مرجع یک سیستم مدیریت هوشمند انرژی (SEMS) ارائه کرده‌اند که وظیفه آن ایجاد هماهنگی میان پیش‌بینی توان، ذخیره انرژی و نیز مبادله انرژی با شبکه اصلی است که به یک برنامه‌ریزی تولید بهینه در بازه زمانی کوتاه مدت (۲۴ ساعت آینده) منجر می‌شود. نکته مهم دیگر در بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها، چگونگی تعامل با شبکه اصلی است. با توجه به اینکه ریزشبکه‌ها قابلیت اتصال با شبکه اصلی را دارند، می‌توانند در صورت کمبود از شبکه انرژی دریافت کنند. از این رو لازم است تا در هر ساعت از وضعیت شبکه اصلی اطلاعاتی دریافت شود تا در بهره‌برداری از ریزشبکه از آن‌ها استفاده شود. در این مقاله، SEMS با کمک الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری، در چند سناریو، برای بهره‌برداری بهینه از منابع درون ریزشبکه الکتریکی به کار گرفته می‌شود. تفاوت میان این مقاله و مطالعات مشابه انجام شده در این زمینه، ارائه معیار جدیدی در تصمیم‌گیری مسائل چند هدفه است که با ارزش‌گذاری بر روی هر یک از اهداف، تصویر اصولی‌تری از تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد. این معیار نوین مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که در برنامه‌ریزی کوتاه مدت ریزشبکه اثر داده خواهد شد.

## ۲- سیستم مدیریت هوشمند انرژی

اجزای مختلف SEMS در شکل (۱) نشان داده می‌شود [۱۲]. بخش اول مربوط به جمع‌آوری اطلاعات مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان است. با توجه به عدم قطعیت در بار و تولید منابع تجدیدپذیر، نیاز است تا پیش‌بینی دقیقی از مقادیر آن‌ها انجام شود. بخش بعدی مربوط به نحوه مدیریت سیستم ذخیره انرژی شکل است. مدیریت صحیح عناصر ذخیره‌کننده انرژی می‌تواند به نتایج مثبتی منجر شود. همان‌گونه که اشاره شد مهم‌ترین نتیجه آن بحث پایداری و حفظ قابلیت اطمینان شبکه خواهد بود. از دیگر مزایای آن کاهش قیمت تمام شده برق برای

بخش‌های مختلف سیستم، به تصمیم‌گیری اقدام می‌کند. هدف اصلی این بخش نیز تامین کل بار شبکه با کم‌ترین قیمت ممکن، و با لحاظ کلیه قیود امنیت و پایداری شبکه است. از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری (ICA) در این بخش استفاده می‌شود.

مصرف‌کنندگان است. ذخیره‌سازهای انرژی معمولاً در ساعاتی که قیمت برق پایین است شارژ شده و در ساعات اوج بار که قیمت برق افزایش می‌یابد، انرژی خود را به شبکه تزریق می‌کنند. مهم‌ترین قسمت این سیستم، بخش بهینه‌سازی بوده که بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از



شکل (۱): سیستم مدیریت هوشمند انرژی (SEMS)

$K_D$  و  $K_C$  حداکثر میزانی از ظرفیت باتری که در هر ساعت می‌توان آن را شارژ یا دشارژ کرد،  $Q_{max}$  حداکثر میزان ذخیره انرژی در باتری،  $W_{hourly}$  انرژی دشارژ شده ESS در هر ساعت (بر حسب kWh)،  $Q_S(t)$  مجموع ظرفیت همه باتری‌ها در ساعت  $t$  (بر حسب kWh)،  $P(t)$  توان الکتریکی در ترمینال خروجی ESS در ساعت  $t$  و  $\Delta t$  نیز بازه زمانی برای برنامه‌ریزی تولید منابع است (در این مقاله یک ساعت).

محدودیت شارژ باتری‌ها: انرژی ذخیره شده در باتری‌ها باید در محدوده مجاز تعیین شده از سوی سازنده قرار گیرد. انرژی موجود در باتری‌ها، در ابتدا و پایان برنامه‌ریزی به شکل زیر بیان می‌شوند:

$$\begin{aligned} Q_S^{\min} &\leq Q_S(t) \leq Q_S^{\max} \\ Q_S(0) &= Q_{Initial} \\ Q_S(T) &= Q_{Final} \end{aligned} \quad (4)$$

قیود تساوی در بهره‌برداری دوره‌ای از ESS:

### ۳- تعریف مسأله

روابط مربوط به مسأله در این بخش ارائه می‌شوند.

#### ۳-۱- عناصر ذخیره‌ساز انرژی

از باتری‌های الکتریکی به‌عنوان عناصر ذخیره‌ساز انرژی در ریزشبکه استفاده می‌شود. سه حالت کاری برای باتری‌ها وجود دارد:

۱- باتری در حال شارژ باشد ( $P(t) < 0$ ):

$$\begin{aligned} -\eta_C P(t) &\leq K_C Q_S^{\max} \\ Q_S(t+1) &= Q_S(t) - \eta_C P(t) \Delta t \end{aligned} \quad (1)$$

۲- باتری در حال دشارژ باشد ( $P(t) > 0$ ):

$$\begin{aligned} P(t) / \eta_D &\leq K_D Q_S^{\max} \\ Q_S(t+1) &= Q_S(t) - P(t) \Delta t / \eta_D \end{aligned} \quad (2)$$

۳- باتری در حالت بدون تغییر باشد ( $P(t) = 0$ ):

$$Q_S(t+1) = Q_S(t) - W_{hourly} \quad (3)$$

که در این روابط؛  $\eta_C$  و  $\eta_D$  بازده شارژ و دشارژ باتری،

برابر با  $M$  خواهد بود.

سناریوی دوم: در این سناریو ریزشبه به شبکه اصلی متصل بوده و قادر خواهد بود تا از شبکه اصلی به میزان مورد نیاز خود انرژی دریافت کند. بنابراین، در این وضعیت، SEMS به دنبال کاهش هزینه انرژی مصرف‌کنندگان با استفاده از تولیدات داخلی و انرژی دریافتی از شبکه اصلی است. چنین استراتژی، برای کل سیستم توزیع سودمند خواهد بود، زیرا در ساعات اوج مصرف که قیمت انرژی در بازار دچار جهش می‌شود، ریزشبه با کمک تولیدات داخلی خود، از میزان انرژی دریافتی از شبکه کاسته و موجب از بین رفتن تراکم در شبکه اصلی می‌شود. مصرف‌کنندگان نیز در این حالت بهای کمتری برای انرژی مصرفی خود خواهند پرداخت. تابع هدف در این سناریو به شکل رابطه (۷) تعریف می‌شوند:

$$\text{Min}C_p = \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^L [u_i(t)P_{Gi}(t) + S_{Gi}|u_i(t) - |u_i(t-1)|] + \sum_{j=1}^M [u_j(t)P_{Sj}B_{Sj}(t) + S_{Sj}|u_j(t) - |u_j(t-1)|] + P_{GRID}B_{GRID}(t) \right\} \quad (7)$$

در این رابطه  $B_{Grid}$  قیمت انرژی و  $P_{Grid}$  توان خریداری شده از شبکه اصلی است.

سناریوی سوم: در این سناریو همانند حالت قبل ریزشبه به شبکه اصلی متصل است و علاوه بر دریافت انرژی، قابلیت فروش انرژی خود را به شبکه اصلی خواهد داشت. بر این اساس، SEMS امکان حضور در بازار انرژی را با فروش انرژی منابع داخلی در ساعات اوج بار فراهم می‌کند. در این حالت ریزشبه همانند منبع یکپارچه‌ای رفتار خواهد کرد که علاوه بر تغذیه مصارف داخلی خود، انرژی مازاد خود را به شبکه اصلی می‌فروشد و موجب سودآوری بیشتر منابع داخلی، کاهش هزینه مصرف‌کنندگان ریزشبه و نیز آزادسازی بیشتر ظرفیت خطوط توزیع در شبکه اصلی می‌شود. تابع هدف این سناریو همانند حالت قبل خواهد بود با این تفاوت که  $P_{Grid}$  قابلیت فروش به شبکه اصلی را نیز داراست.

در هر سه سناریوی مطرح شده عناصر ذخیره‌ساز انرژی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در سناریوی سوم باتری‌ها با

$$\begin{aligned} Q_S(0) &= Q_{Initial} = Q_S(T) = Q_{Final} \\ \frac{1}{\eta_D} \sum_{P(t)>0, t=1}^{24} P(t) + \\ \eta_C \cdot \sum_{P(t)<0, t=1}^{24} P(t) + \sum_{P(t)=0, t=1}^{24} W_{hourly} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

### ۳-۲- سناریوهای بهره‌برداری از ریزشبه

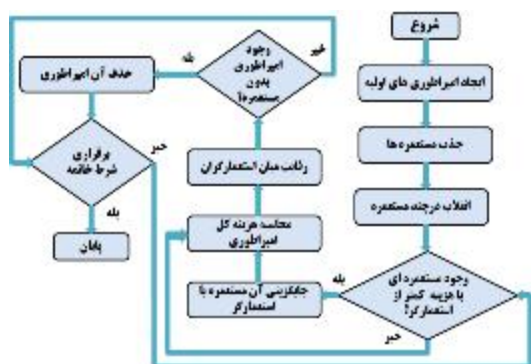
برای بهره‌برداری از ریزشبه، SEMS سه سناریو را در پیش‌رو خواهد داشت. با توجه به شکل (۱)، SEMS پس از دریافت اطلاعات مربوط به بار، قیمت برق در بازار انرژی و قیمت پیشنهادی منابع DG، توان خروجی سیستم فتوولتائیک و در نهایت، میزان انرژی ذخیره شده در باتری‌ها، به دنبال کاهش هزینه بهره‌برداری خواهد بود.

سناریوی اول: در این سناریو، ریزشبه مستقل از شبکه اصلی بوده و SEMS کوشش در تامین تقاضای ریزشبه با استفاده از تولیدات داخلی دارد. از این رو، SEMS با توجه به میزان تقاضا، منابع تولید پراکنده را به نحوی که هزینه تولید آن‌ها حداقل شود، راه‌اندازی می‌کند. در ساعاتی که تولید بیشتر از مصرف است، انرژی مازاد در ESS ذخیره شده و در ساعاتی که تقاضا بالاست، این انرژی به شبکه تحویل داده می‌شود تا به‌موجب آن واحدهای با هزینه تولید بیشتر خاموش شوند. تابع هدف مسئله در این سناریو (رابطه (۶)):

$$\text{Cost} = \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^L [u_i(t)P_{Gi}(t) + S_{Gi}|u_i(t) - |u_i(t-1)|] + \sum_{j=1}^M [u_j(t)P_{Sj}B_{Sj}(t) + S_{Sj}|u_j(t) - |u_j(t-1)|] \right\} \quad (6)$$

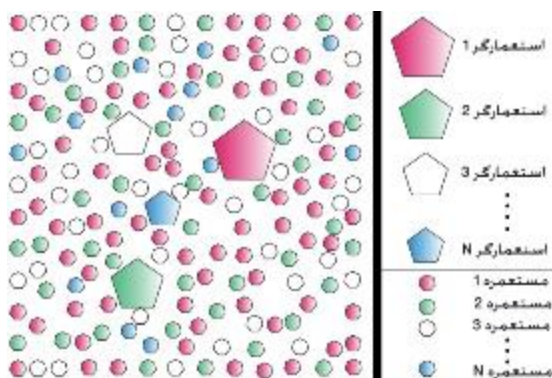
که در این رابطه،  $P_{Gi}$  توان تولیدی واحدها،  $P_{Sj}$  توان ذخیره‌سازها،  $S_{Gi}$  هزینه‌های راه‌اندازی واحدها،  $B_{Gi}$  قیمت پیشنهادی منابع داخلی ریزشبه و  $B_{Sj}$  هزینه خرید انرژی برای شارژ باتری‌ها هستند. متغیر  $U$  نیز عدد باینری (صفر و یک) بوده و بیان می‌کند که در صورت روشن شدن واحد تولیدی  $t$ ام در ساعت  $t$ ، هزینه راه‌اندازی آن واحد نیز به هزینه کل اضافه شود. همان‌گونه که بیان شد دوره زمانی در نظر گرفته شده (T) ۲۴ ساعت است. تعداد واحدهای تولیدی برابر با  $L$  و تعداد واحدهای ذخیره‌کننده انرژی نیز

اساس پیدایش تصافی دسته‌ای از جمعیت اولیه آغاز می‌شود که در اصطلاح کشور نامیده می‌شوند. برای ایجاد نخبه‌گرایی، تعدادی از بهترین کشورها به عنوان استعمارگر انتخاب می‌شوند. سایر کشورها نیز به عنوان مستعمره تعیین خواهند شد. مستعمره‌ها با توجه به قدرت و موقعیت استعمارگران جذب یکی از آن‌ها می‌شوند. شکل (۲) فلوچارت الگوریتم ICA را نشان می‌دهد [۱۳].



شکل (۲): فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری

ترکیب یک استعمارگر و چند مستعمره یک امپراطوری را شکل می‌دهد. قدرت در هر امپراطوری نیز مبتنی بر دو جزو تشکیل دهنده آن، یعنی استعمارگر و مستعمره‌هاست که برای تعریف در روابط ریاضی، این قدرت به شکل حاصل جمع قدرت استعمارگر و ضریبی از مجموع قدرت مستعمره‌ها تعریف می‌شود.



شکل (۳): شکل‌گیری امپراطوری‌ها با جذب مستعمره‌های

بیشتر توسط استعمارگران قدرتمندتر

توجه به پایین بودن قیمت انرژی طی ساعات اولیه روز، تا محدوده مجاز شارژ شده و طی ساعات اوج بار، انرژی را به شبکه اصلی خواهند فروخت که این استراتژی با توجه به امکان سودآوری بالا، برای سرمایه‌گذاران در بخش انرژی بسیار مطلوب خواهد بود.

### ۳-۳- قیود مسأله

قیود پایداری شبکه: برای حفظ پایداری سیستم و ثابت ماندن فرکانس در ریزش شبکه الکتریکی، باید در هر لحظه توان تولیدی با توان مصرف شده برابر باشد. با توجه به اینکه توان تولیدی مجموع توان‌های منابع درون ریزش‌بکه، توان ذخیره شده در عناصر ذخیره‌کننده و نیز توان خریداری شده از شبکه می‌باشد، لازم است در هر دوره تعیین شده (که در این پروژه برابر با یک ساعت است) مجموع این توان‌ها با مقدار بار کل ریزش‌بکه در همان ساعت برابر باشد.

برای سناریوی اول داریم:

$$\sum_{i=1}^L P_{Gi} + \sum_{j=1}^M P_{Sj} = Load(t) \quad (8)$$

برای سناریوی دوم و سوم نیز خواهیم داشت:

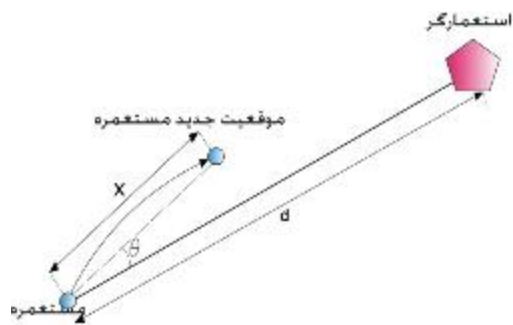
$$\sum_{i=1}^L P_{Gi} + \sum_{j=1}^M P_{Sj} + P_{Grid} = Load(t) \quad (9)$$

قیود محدود کننده تولید واحدها: همه واحدهای تولیدی و ذخیره‌کننده انرژی ملزم به تولید و تحویل انرژی به شبکه در یک بازه از پیش تعیین شده توسط سازنده خود هستند. برای واحدهای حرارتی این قیود مربوط به محدودیت‌های مکانیکی بوده و برای عناصر ذخیره‌ساز مربوط به تضمین عمر مفید آن‌ها خواهد بود:

$$P_{Gmin} \leq P_{Gi} \leq P_{Gmax} \quad (10)$$

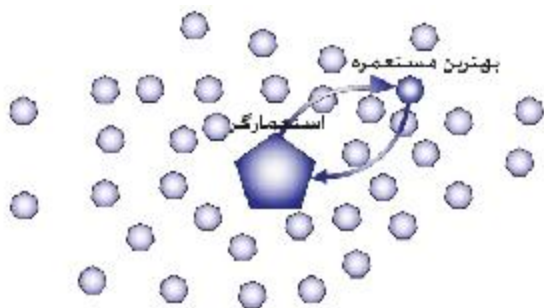
### ۴- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم ICA همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی بر



شکل (۴): حرکت مستعمره به سمت استعمارگر

تغییر جایگاه مستعمره و استعمارگر در یک امپراطوری: به مستعمره‌های مستعد این امکان داده شود که بتوانند جایگاه استعمارگر را در امپراطوری خود تصاحب کنند. از این رو در هر دوره، مستعمره پرقدرت‌تر (در عمل با هزینه کمتر) قابلیت جابجایی با استعمارگر خود را خواهد داشت. شکل (۵) این فرآیند انتقال جایگاه را نشان می‌دهد [۱۳].



شکل (۵): جابجایی قدرت میان مستعمره و استعمارگر

قدرت کل یک امپراطوری: قدرت کل یک امپراطوری برابر است با قدرت کشور استعمارگر به‌علاوه درصدی از مجموع قدرت مستعمره‌های آن (رابطه (۱۲)) [۱۳]:

$$TotalCost = ImperialistCost + \xi \sum_{i=1}^{N_{col}} ColonyCost(i) \quad (12)$$

$\xi$  معمولاً عددی بین صفر و یک در نظر گرفته می‌شود. عدد نزدیک به صفر نشان دهنده این است که قدرت هر امپراطوری معطوف به استعمارگر آن بوده و انتخاب عدد نزدیک یک تاثیر بیشتر مستعمره‌ها را بیان می‌کند. معمولاً انتخاب  $\xi = 0.5$  در رسیدن به پاسخ بهینه مناسب است.

رقابت میان استعمارگران نیز ابتدا با شکل‌دهی امپراطوری‌ها آغاز می‌شود. از این رو استعمارگران پرقدرت‌تر همیشه به دنبال جذب مستعمره‌های بیشتر و گسترش امپراطوری خود هستند و در مقابل، امپراطوری‌هایی که در رقابت استعماری متحمل شکست شده و مستعمره خود را از دست می‌دهند، از گردونه رقابت حذف خواهند شد. در نتیجه بقای هر امپراطوری در توانایی آن در جذب مستعمره‌های سایر امپراطوری‌ها خواهد بود. براین اساس قدرت امپراطوری‌های بزرگتر در رقابت میان استعمارگران مرور افزایش یافته و امپراطوری‌های کوچک در صورت از دست دادن مستعمره‌های خود، ضعیف‌تر خواهند شد. با توجه به شکل (۲) برای شروع الگوریتم، در ابتدا  $N$  کشور شامل هر دو گروه مستعمره و استعمارگر ایجاد می‌شوند. تعدادی از این کشورها که دارای کم‌ترین مقدار تابع هزینه هستند به‌عنوان استعمارگر تعیین می‌شوند و سپس، بقیه کشورها در قالب مستعمره جذب این استعمارگر می‌شوند. شکل (۳) نحوه شکل‌گیری اولیه امپراطوری‌ها را نشان می‌دهد [۱۳].

سیاست جذب مستعمره‌ها توسط استعمارگران: مرحله بعدی، چگونگی حرکت مستعمره‌ها به سمت استعمارگران است. در مقایسه با قدرت بالاتر استعمارگران (هزینه کمتر)، مستعمره‌ها نیز به دنبال بهبود جایگاه خود از لحاظ قدرت خواهند بود. بنابراین، در راستای موقعیت استراتژیک استعمارگر، حرکت می‌کند. شکل (۴) چگونگی این جابجایی را نشان می‌دهد [۱۳]. فاصله بین استعمارگر و مستعمره  $d$  است. جابجایی مستعمره به سمت استعمارگر، نیز مقداری تصادفی است که در پیاده‌سازی الگوریتم، توسط شاخص‌های  $\theta$  و  $\beta$  تعیین می‌شود. انتخاب  $\beta > 1$  موجب می‌شود تا مستعمره با سرعت بیشتری به سمت استعمارگر حرکت کند.  $\beta = 2$  می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. زاویه تصادفی  $\theta$  نیز برای افزایش فضای جستجوی پیشنهاد می‌شود.  $\delta = \pi/4$  نیز انتخاب مناسبی برای حرکت مستعمره خواهد بود [۱۳].

$$x = (\beta \angle \theta).d \quad \beta \in \{1, 2\} \quad \theta \in \{-\delta, \delta\} \quad (11)$$

## ۵- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

سلسله مراتب مسأله تصمیم، تصمیم گیرنده باید مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر اندازه‌گیری می‌کنند، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، انجام می‌شود. در مسایل حداکثرسازی یک تابع این کار معمولاً از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های  $I$  ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های  $J$  ام استفاده می‌شود که در جدول زیر نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است. در مسائل حداقل‌سازی نیز کافیست در ارزش‌گذاری بجای مفهوم مهم‌تر از مفهوم بدتر استفاده کرد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که نخستین بار توسط توماس ال. ساعتی عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی منعکس کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این روش، مسایل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن‌ها بررسی می‌کند و آن‌ها را به شکل ساده تبدیل کرده و حل می‌کند [۱۴]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست، می‌تواند استفاده شود. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است.

جدول (۱): ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به یکدیگر [۱۴]

ارزش	مقایسه $I$ نسبت به $J$	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص $I$ نسبت به $J$ اهمیت برابر دارند
۳	کمابیش مهم‌تر	گزینه یا شاخص $I$ نسبت به $J$ کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	گزینه یا شاخص $I$ نسبت به $J$ مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	گزینه یا شاخص $I$ برتری خیلی بیشتری نسبت به $J$ دارد.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص مطلقاً $I$ از $J$ مهم‌تر و قابل مقایسه با $J$ نیست.
۶٫۸۰۴۲	-	ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد.

## ۵-۱- اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

این اصول عبارتند از [۱۴]:

شرط معکوسی: اگر ترجیح عنصر  $A$  بر عنصر  $B$  برابر  $n$  باشد، ترجیح عنصر  $B$  بر عنصر  $A$  برابر  $1/n$  خواهد بود.  
اصل همگنی: عنصر  $A$  با عنصر  $B$  باید همگن و قابل مقایسه باشند. به بیان دیگر برتری عنصر  $A$  بر عنصر  $B$  نمی‌تواند بی نهایت یا صفر باشد.  
وابستگی: هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به شکل خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.  
انتظارات: هرگاه تغییری در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد فرآیند ارزیابی باید دوباره انجام شود.

## ۵-۲- مدل‌سازی AHP در بهره‌برداری از

### ریز شبکه

به کارگیری این روش مستلزم چهار قدم اصلی زیر است:

برای به کارگیری AHP در امر تصمیم‌گیری مدیریت منابع ریز شبکه، عواملی مانند آلودگی منابع و در دسترس بودن آن‌ها به عنوان شاخص‌های تعیین کننده به کار گرفته می‌شوند. جدول‌های (۲) و (۳) مقایسه بین منابع تولید بر اساس عناصر تصمیم آلودگی  $CO_2$ ،  $SO_x$  و  $NO_x$ ، بر اساس مطالب تشریح شده در قسمت ب) را بیان می‌کنند. در این مطالعه، منابع ریز شبکه شامل سیستم فتوولتائیک (PV)، یک میکروتوربین (MT)، دو پیل سوختی (FC) و نیز شبکه اصلی (Pgrid) هستند. با توجه به جدول‌های (۱)

مدل‌سازی: در این قدم، مسأله و هدف تصمیم‌گیری به شکل سلسله مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می‌باشند، در نظر گرفته می‌شود. عناصر تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم» است.

قضاوت ترجیحی (مقایسات زوجی): بعد از طراحی

دسترس بودن می‌تواند شامل شاخص‌هایی مانند قابلیت اطمینان منابع تولیدی و یا عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر باشد. گزینش این ضرایب و مقایسه میان منابع از سوی بهره‌بردار ریزشکبه انجام خواهد شد.

جدول (۴): ارزش‌گذاری منابع بر اساس معیار دسترس‌پذیری

منابع	P <sub>Grid</sub>	FC2	FC1	MT	PV
P <sub>Grid</sub>	۱	۳	۳	۵	۰/۲
FC2	۰/۳۳	۱	۱	۳	۰/۱۲۵
FC1	۰/۳۳	۱	۱	۳	۰/۱۶۷
MT	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۱۶۷
PV	۵	۸	۶	۶	۱

محاسبات وزن‌های نسبی: قدم بعدی در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است. خلاصه عملیات ریاضی در این مرحله به شکل زیر است:

- مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسات زوجی محاسبه شده، سپس هر عنصر ستون بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌شوند. ماتریس جدیدی که به این شکل به دست می‌آید، «ماتریس مقایسات نرمال شده» نامیده می‌شود.
- میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده محاسبه می‌شود. این میانگین وزن نسبی هر یک منابع را به ازای عناصر تصمیم مربوطه، ارایه می‌کند.

جدول زیر مقادیر نرمالیزه شده و وزن نسبی هر یک از منابع را به ازای عنصر تصمیم آلودگی CO<sub>2</sub> نشان می‌دهد.

جدول (۵): مقادیر نرمالیزه شده و ضرایب وزنی معیار آلودگی

CO <sub>2</sub>						
منابع	P <sub>Grid</sub>	MT	FC1	FC2	PV	ضریب
P <sub>Grid</sub>	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۲۷	۰/۴۶
MT	۰/۲۶۵	۰/۲۹	۰/۴	۰/۴	۰/۲۷	۰/۳۲۵
FC1	۰/۰۷۴	۰/۰۴۸	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۲۱	۰/۰۹۲
FC2	۰/۰۷۴	۰/۰۴۸	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۲۱	۰/۰۹۲
PV	۰/۰۵۷	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۴	۰/۰۳۱
جمع	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول (۶) وزن نسبی منابع را به ازای هر یک از عناصر

و (۲)، میزان آلاینده CO<sub>2</sub> تولیدی توسط شبکه اصلی (P<sub>Grid</sub>) بدتر از MT (ارزش ۳)، به مراتب بدتر از FCها (ارزش ۶) و کاملاً بدتر از PV (ارزش ۹) در نظر گرفته می‌شود. به‌همین منوال، ارزش‌گذاری برای سایر در خانه‌های بالای قطر اصلی در جدول قرار خواهند گرفت. در خانه‌های پایین قطر اصلی نیز مقادیر عکس ارزش‌گذاری قرار می‌گیرند.

جدول (۲): ارزش‌گذاری منابع بر اساس معیار آلودگی CO<sub>2</sub>

منابع	P <sub>Grid</sub>	MT	FC1	FC2	PV
P <sub>Grid</sub>	۱	۲	۷	۷	۹
MT	۰/۵	۱	۶	۶	۹
FC2	۰/۱۴	۰/۱۶۷	۱	۱	۷
FC1	۰/۱۴	۰/۱۶۷	۱	۱	۷
PV	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۱

جدول (۳): ارزش‌گذاری منابع بر اساس معیار آلودگی SOX و NOX

منابع	P <sub>Grid</sub>	MT	FC1	FC2	PV
P <sub>Grid</sub>	۱	۳	۶	۶	۹
MT	۰/۳۳	۱	۵	۵	۹
FC1	۰/۱۶۷	۰/۲	۱	۱	۶
FC2	۰/۱۶۷	۰/۲	۱	۱	۶
PV	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۱

شایان ذکر است که انتخاب این مقادیر به شکل فرضی و تقریبی بوده که بر اساس مطالعات انجام شده است. به علت وجود منابع فسیلی، بدترین عملکرد را شبکه اصلی (P<sub>Grid</sub>) خواهد داشت، MT نیز در جایگاه بعدی قرار خواهد گرفت. سیستم‌های فتوولتائیک هم به علت تولید انرژی پاک بالاترین ارزش‌گذاری را دارند. در یک شبکه هوشمند واقعی این ارزش‌گذاری بر اساس دستورالعمل تعیین شده از سوی بهره‌بردار اصلی شبکه انجام می‌شود. کارشناسان محیط زیست و نیز متخصصین حوزه تولید انرژی وظیفه تعیین این ضرایب را با بازدیدهای دوره‌ای از منابع تولیدی و بر اساس استانداردهای از پیش تعیین شده، برعهده خواهند داشت. در جدول (۴) نیز ارزش‌گذاری بر مبنای دسترس بودن منابع انجام می‌شود. مفهوم در



تصمیم نشان می‌دهد.

با انجام مراحل بالا برای هر گزینه مقدار وزن نهایی به شکل زیر به دست می‌آید که از این ضرایب در بخش بعد (تعیین تابع هدف) استفاده می‌شود.

$$\delta_{Grid} = (0.048)(0.2) + (0.544)(0.46) + (0.265)(0.49) + (0.143)(0.198) = 0.418$$

$$\delta_{FC1} = 0.098$$

$$\delta_{FC2} = 0.098$$

$$\delta_{MT} = 0.272$$

$$\delta_{PV} = 0.114$$

### ۶- تابع هدف مسأله

در بیشتر پژوهش‌ها، الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای دستیابی به پاسخ بهینه در برنامه‌ریزی تولید منابع به کار می‌روند. مزیت الگوریتم‌های بهینه‌سازی در این است که با جستجوی تصادفی در فضای حل مسأله، امکان دستیابی به پاسخ بهینه را با سرعت بیشتری فراهم می‌کنند. تعریف یک تابع برازندگی مناسب نقش مهمی در افزایش سرعت همگرایی الگوریتم‌ها دارد. برای مسأله بهره‌برداری از ریزشکه در سه سناریوی مطرح شده، این تابع برازندگی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$FitnessFunction = Cost + \alpha \cdot \sum_{i=1}^M E \quad (13)$$

که در این رابطه E خطای عدم برابری میان انرژی شارژ شده و انرژی دشارژ و تلف شده است.  $\alpha$  نیز ضریب جریمه در نظر گرفته شده (عددی بسیار بزرگ) برای این عدم برابری خواهد بود.

$$E = \frac{1}{\eta_D} \sum_{P(t) > 0, t=1}^{24} P(t) + \eta_c \cdot \sum_{P(t) < 0, t=1}^{24} P(t) + \sum_{P(t)=0, t=1}^{24} W_{hourly} \quad (14)$$

با در نظر گرفتن معیار تصمیم‌گیری AHP، ضرایب وزنی برای هر یک از منابع در بخش قبل محاسبه شد که در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع هدف در این حالت به این صورت قابل تعریف خواهد بود:

ادغام وزن‌های نسبی: به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله باید وزن نسبی هر برای هر منبع را در وزن عناصر تصمیم ضرب کرد تا وزن نهایی آن به دست آید. از این رو لازم است تا ابتدا عناصر تصمیم‌گیری نیز نسبت به یکدیگر ارزش‌گذاری شده و نرمال شوند. سپس، وزن هر عنصر تصمیم‌گیری حاصل شود. جدول‌های (۷) و (۸) ارزش‌گذاری عناصر تصمیم‌گیری و مقادیر نرمالیزه شده آن‌ها را نسبت به یکدیگر بیان می‌کنند. مقایسه میان عناصر تصمیم و نیز ارزش‌گذاری بین آن‌ها در این مرحله به شکل فرضی و تقریبی انجام شد.

جدول (۶): ضرایب وزنی اختصاص یافته به منابع

منابع	Cost	CO <sub>2</sub>	و NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	Availability
P <sub>Grid</sub>	۰/۲	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۱۹۸
FC2	۰/۲	۰/۰۹۲	۰/۰۹۷	۰/۰۹۳
FC1	۰/۲	۰/۰۹۲	۰/۰۹۷	۰/۰۹۳
MT	۰/۲	۰/۳۲۵	۰/۲۹۸	۰/۰۴۲
PV	۰/۲	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۵۷۴

جدول (۷): ارزش‌گذاری معیارهای تصمیم نسبت به یکدیگر

فاکتور	Cost	CO <sub>2</sub>	و NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	Availability
Cost	۱	۰/۱۴	۰/۱۶۷	۰/۲
CO <sub>2</sub>	۷	۱	۳	۵
SO <sub>2</sub> و NO <sub>x</sub>	۶	۰/۳۳	۱	۳
Availability	۵	۰/۲	۰/۳۳	۱

جدول (۸): مقادیر نرمالیزه و ضرایب حاصل از مقایسه معیارها

ضریب	Cost	CO <sub>2</sub>	و SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Availability	فاکتور
۰/۰۴۸	۰/۰۵۲	۰/۰۸۴	۰/۰۳۷	۰/۰۲۱	Cost
۰/۵۴۴	۰/۳۶۸	۰/۵۹۸	۰/۶۶۷	۰/۵۴۳	CO <sub>2</sub>
۰/۲۶۵	۰/۳۱۵	۰/۱۹۷	۰/۲۲۲	۰/۳۲۶	NO <sub>x</sub> و SO <sub>2</sub>
۰/۱۴۳	۰/۲۶۵	۰/۱۲۱	۰/۰۷۴	۰/۱۱	Availability
۱	۱	۱	۱	۱	جمع

جدول (۱۰): میزان بار ساعتی ریزشبه مورد مطالعه [۱۲]

t	۱	۲	۳	۴	۵	۶
kw	۵۲	۵۰	۵۰	۵۱	۵۶	۶۳
t	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
kw	۷۰	۷۵	۷۶	۸۰	۷۸	۷۴
t	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
kw	۷۲	۷۲	۷۶	۸۰	۸۵	۸۸
t	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
kw	۹۰	۸۷	۷۸	۷۱	۶۵	۵۶

$$F_{tot} = Cost + \left\{ \sum_{t=1}^T \delta_t U(t) P_{aid}(t) + \delta_{aid} P_{aid}(t) \right\} + \alpha \sum_{i=1}^M E_i \quad (13)$$

## ۷- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه می‌شوند.

### ۷-۱- نتایج شبیه‌سازی بدون AHP

همان‌طور که اشاره شد، در این مطالعه منابع تولید پراکنده در ریزشبه شامل: یک سیستم فتوولتائیک (PV)، یک میکروتوربین (MT) و دو پیل سوختی (FC) است. ظرفیت نامی و هزینه راه‌اندازی هر یک از این منابع در جدول (۹) نشان داده شده است. توان پیش‌بینی شده PV نیز از مرجع [۱۲] به دست می‌آید.

جدول (۱۱): قیمت ساعتی برق در بازار انرژی [۱۲]

t	۱	۲	۳	۴	۵	۶
\$/kwh	۰/۰۳۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹
t	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
\$/kwh	۰/۰۳۳	۰/۰۵۴	۰/۲۱۵	۰/۵۷۲	۰/۵۷	۰/۵۷۲
t	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
\$/kwh	۰/۲۱۵	۰/۵۷۲	۰/۲۸۶	۰/۳۷۹	۰/۰۸۶	۰/۰۵۹
t	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
\$/kwh	۰/۰۵۰	۰/۰۶۱	۰/۱۸۱	۰/۰۷۷	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷

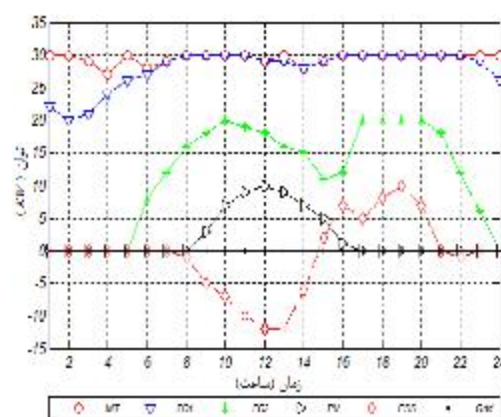
جدول (۹): ویژگی‌های فنی منابع ریزشبه مورد مطالعه [۱۲]

ID	Type	Min Power kW	Max Power kW	Start up Cost, \$
۱	MT	۶	۳۰	۰/۱۴
۲	FC1	۳	۳۰	۰/۲۴
۳	FC2	۲	۲۰	۰/۱۸
۴	PV	۰	۲۰	۰
۵	ESS	-۳۳	۳۰	۰

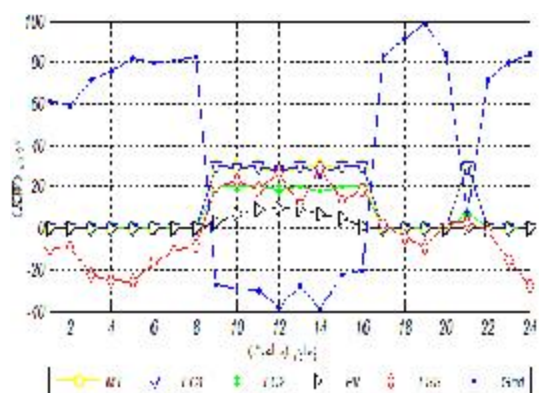
با فرض این‌که شبکه به شکل ستی اداره شده (بدون SEMS) و تقاضای بار به طور مستقیم توسط شبکه بالادستی تغذیه شوند، هزینه کل مصرف انرژی برای مصرف‌کنندگان طی ۲۴ ساعت برابر با ۳۰۹/۹ دلار و قیمت متوسط ۰/۱۷۹ دلار بر کیلووات ساعت خواهد بود. با اجرای سناریوی اول، SEMS با حداقل‌سازی هزینه تولید در ریزشبه در حالت مجزا از شبکه اصلی، سهم تولید هر یک از منابع تولید پراکنده را تعیین می‌سازد. منحنی تولید این منابع در شکل (۶) نشان داده شده است. هزینه تولید منابع در این سناریو ۲۸۷/۴ دلار و قیمت متوسط ۰/۱۶۹ دلار بر کیلووات به دست خواهد آمد. همان‌گونه که از شکل پیداست، ESS طی ساعاتی که PV قادر به تولید انرژی است، اقدام به ذخیره انرژی کرده و در ساعات دیگر با افزایش قیمت، انرژی خود را به شبکه تحویل می‌دهد.

در جدول‌های (۱۰) و (۱۱) نیز متوسط بار ریزشبه و قیمت برق در بازار انرژی، به شکل ساعتی نشان داده شده است. قیمت پیشنهادی هر یک از این منابع نیز در جدول (۱۲) ارائه شده است. این قیمت پیشنهادی می‌تواند شامل هزینه‌های سوخت، سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری باشد که با در نظر گرفتن عمر ژنراتور و نرخ بهره، به شکل ساعتی محاسبه و به SEMS پیشنهاد می‌شود.

تا مازاد تولید خود را به شبکه اصلی بفروشد. در این سناریو، چنانچه در ساعاتی هزینه تولید منابع تولید پراکنده کمتر از قیمت برق در بازار انرژی باشند، SEMS فرمان راه اندازی را برای این منابع ارسال می کند. ESS همانند سناریوی دوم طی ساعات اولیه روز به علت پایین بودن قیمت برق دریافتی از شبکه، شارژ می شود و طی ساعاتی که قیمت برق با جهش روبروست، می تواند انرژی را با قیمت بازار بفروشد.



شکل (۶): برنامه ریزی تولید منابع ریز شبکه بر اساس سناریوی اول



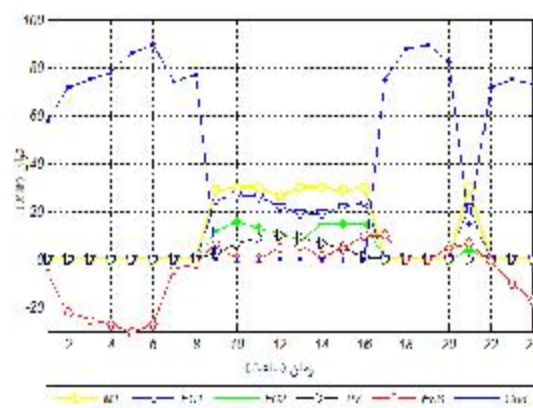
شکل (۸): برنامه ریزی تولید منابع ریز شبکه و مبادله انرژی با شبکه اصلی بر اساس سناریوی سوم

شکل (۸) منحنی تولید منابع و نیز برنامه ریزی دریافت یا فروش انرژی به شبکه را نشان می دهد. هزینه تولید منابع در این سناریو ۲۱۸/۴۲ دلار و قیمت متوسط ۰/۱۲۹ دلار بر کیلووات به دست می آید که در مقایسه با سناریوهای قبل، تفاوت محسوسی مشاهده می شود.

## ۷-۲- نتایج شبیه سازی با AHP

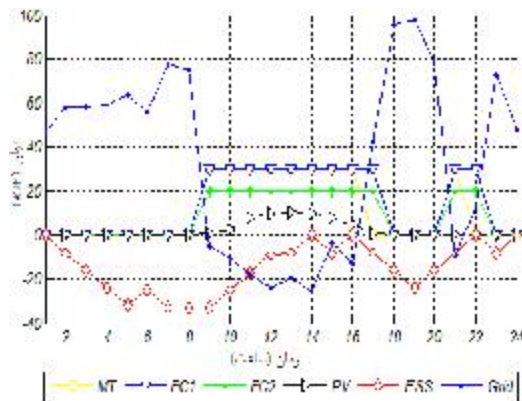
با پیاده سازی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، SEMS به حل مسأله بهینه سازی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری اقدام می کند. در این حالت اطلاعات ریز شبکه شامل قیمت ساعتی منابع و بازار انرژی، نتایج حاصل از شبیه سازی توان تولیدی سیستم فتوولتائیک و نیز وضعیت سیستم ذخیره انرژی، همانند بخش قبل خواهد بود. با توجه به این که ریز شبکه های الکتریکی بیشتر در وضعیت متصل به شبکه قرار دارند (به علت افزایش قابلیت اطمینان و نیز کاهش هزینه ها)، در این بخش فقط نتایج سناریوی دوم و

با توجه به شکل (۷)، در سناریوی دوم تامین بخش اصلی بار بر عهده شبکه اصلی خواهد بود. SEMS تنها در ساعاتی که قیمت برق دچار جهش می شود (ساعات ۹ تا ۱۶)، و تولید توسط منابع پراکنده مقرون به صرفه باشد، اقدام به راه اندازی این منابع می کند. ESS نیز که در ساعات اولیه روز کاملاً شارژ شده اند با فرمان SEMS در این ساعات به تحویل انرژی به شبکه اقدام می کند. حضور منابع تولید پراکنده و ESS موجب می شود تا هزینه کل انرژی مورد نیاز شبکه (شامل: تولید منابع DG و انرژی دریافتی از شبکه اصلی) به مقدار ۲۵۰/۷۵ دلار و قیمت متوسط ۰/۱۴۸ دلار بر کیلووات ساعت، کاهش یابد.



شکل (۷): برنامه ریزی تولید منابع ریز شبکه و انرژی دریافتی شبکه اصلی بر اساس سناریوی دوم

در سناریوی سوم SEMS این امکان را خواهد داشت



شکل (۱۰): برنامه‌ریزی تولید منابع ریزشبه و انرژی دریافتی بر اساس سناریوی سوم و AHP

در این سناریو نیز ضرایب وزنی تعیین شده از سوی AHP به FCها این اجازه را می‌دهد که با وجود هزینه تولید بالاتر سهم بیشتری (در مقایسه با سناریوی سوم بخش قبل) در تامین بار ریزشبه برعهده داشته باشند. در این سناریو هزینه تولید انرژی ۲۴۷ دلار به دست می‌آید که در مقایسه با بهره‌برداری به شیوه سنتی ۱۸ درصد کاهش و در مقابل سناریوی سوم بخش قبل ۱۱ درصد افزایش مشاهده می‌شود.

## ۸- نتیجه‌گیری

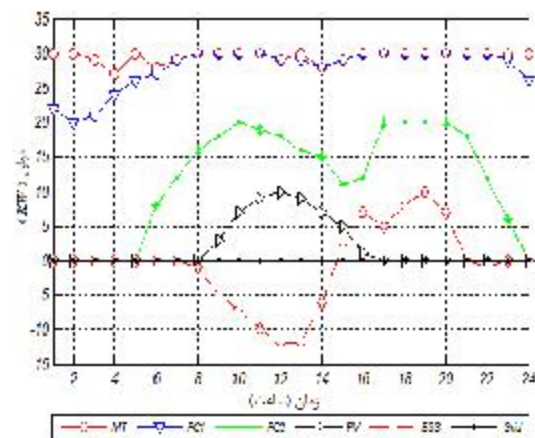
در این مطالعه از یک روش هوشمند (SEMS) در مدیریت اقتصادی ریزشبه‌های الکتریکی استفاده شد که هدف آن تامین تقاضای درون یک ریزشبه با حداقل‌سازی هزینه تولید و خرید انرژی است. SEMS شامل بخش‌های پیش‌بینی توان تولیدی منابع خورشیدی، وضعیت و قیمت پیشنهادی منابع تولید پراکنده، قیمت در بازار انرژی و وضعیت ESS است که توسط ابزار بهینه‌سازی هوشمند در حل مسأله توزیع اقتصادی منابع، به اهداف یاد شده می‌رسد. برای بهره‌برداری از ریزشبه توسط SEMS، سه سناریو تعریف شد که بسته به برنامه‌ریزی از پیش تعیین شده، قابل پیاده‌سازی است. نتایج، بهبود چشمگیری در کاهش هزینه‌ها در مقایسه با بهره‌برداری بدون SEMS بیان می‌کند.

از طرفی دیگر با به‌کارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، بهره‌بردار قادر خواهد بود تا با اندکی افزایش در

سوم ارایه می‌شوند.

شکل (۹) برنامه‌ریزی تولید منابع در سناریوی دوم بهره‌برداری را نشان می‌دهد (عدم امکان فروش مازاد انرژی ریزشبه به شبکه اصلی). در مقایسه با شکل (۷) ملاحظه می‌شود که تغییرات محسوسی در برنامه‌ریزی خرید انرژی از شبکه اصلی و نیز برنامه‌ریزی تولید MT و FCها رخ داده است، به ویژه طی ساعات ۸ تا ۱۸ که نشان می‌دهد انرژی دریافتی از شبکه اصلی کاهش چشمگیری یافته و منابع ریزشبه از ساعات زودتری در مدار قرار می‌گیرند. همچنین، بخشی از تولید MT نیز به FC2 منتقل یافته است. علت این تغییرات در برنامه‌ریزی تولید وجود ضرایب وزنی است که از سوی AHP و بر اساس اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری محیط زیست و قابلیت اطمینان برای منابع تولیدی و توان دریافتی از شبکه اصلی تعیین شد.

با کاهش تولید MT و انرژی دریافتی از شبکه طی ساعات ارزان آن هزینه تولید ریزشبه افزایش خواهد یافت که این هزینه اضافی صرف بهبود قابلیت اطمینان ریزشبه و نیز کاهش آلودگی محیط زیست می‌شود. هزینه تولید در این سناریو برابر با ۲۸۵ دلار خواهد بود که در مقایسه با بهره‌برداری به شیوه سنتی (بدون SEMS) ۶ درصد کاهش و در مقایسه با سناریوی دوم بدون AHP حدود ۱۲ درصد افزایش خواهد داشت. شکل (۱۰) نیز نتایج شبیه‌سازی سناریوی سوم را با به‌کارگیری AHP نشان می‌دهد.



شکل (۹): برنامه‌ریزی تولید منابع ریزشبه و انرژی دریافتی بر

اساس سناریوی دوم و AHP

[3] Katiraei, Farid, Reza Iravani, Nikos Hatziaargyriou, and Aris Dimeas. "Microgrids management." Power and Energy Magazine, IEEE 6, no. 3, 54-65 (2008).

[4] Sao, Charles K., and Peter W. Lehn. "Control and power management of converter fed microgrids." Power Systems, IEEE Transactions on 23, no. 3, 1088-1098. (2008).

[5] Papadogiannis, K. A., and N. D. Hatziaargyriou. "Optimal allocation of primary reserve services in energy markets." Power Systems, IEEE Transactions on 19, no. 1, 652-659 (2004).

[6] Guerrero, Josep M., Juan C. Vasquez, José Matas, Miguel Castilla, and Luis García De Vicuña. "Control strategy for flexible microgrid based on parallel line-interactive UPS systems." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 56, no. 3, 726-736, (2009).

[7] Tsikalakis, Antonis G., and Nikos D. Hatziaargyriou. "Centralized control for optimizing microgrids operation." In Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE, pp. 1-8, 2011.

[8] Sortomme, E., and M. A. El-Sharkawi. "Optimal power flow for a system of microgrids with controllable loads and battery storage." In Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE'09. IEEE/PES, pp. 1-5. IEEE, 2009.

[9] Chakraborty, Sudipta, Manoja D. Weiss, and M. Godoy Simoes. "Distributed intelligent energy management system for a single-phase high-frequency AC microgrid." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 54, no. 1, 97-109, (2007).

[10] Marnay, Chris, Giri Venkataramanan, Michael Stadler, Afzal S. Siddiqui, Ryan Firestone, and Bala Chandran. "Optimal technology selection and operation of commercial-building microgrids." Power Systems, IEEE Transactions on 23, no. 3, 975-982, (2008).

[11] Dukpa, A., Inderjeet Duggal, B. Venkatesh, and L. Chang. "Optimal participation and risk mitigation of wind generators in an electricity market." IET renewable power generation 4, no. 2, 165-175, (2010).

[12] Chen, Changsong, Shanxu Duan, Tong Cai, Bangyin Liu, and Gangwei Hu. "Smart energy management system for optimal microgrid economic operation." IET renewable power generation 5, no. 3, 258-267 (2011).

[13] Atashpaz gargari, esmaeil. "Expanding social optimization algorithm and evaluating

هزینه موجب کاهش در انتشار آلاینده‌ها و نیز افزایش قابلیت اطمینان سیستم شود.

### ضمیمه

جدول (۱۲): قیمت پیشنهادی منابع ریزشیکه [۱۲]

ساعت	MT	FC1	FC2	PV
۱	۰/۱۰۷	۰/۱۶۶	۰/۱۷۵	-
۲	۰/۱۰۷	۰/۱۶۶	۰/۱۷۶	-
۳	۰/۱۰۸	۰/۱۶۷	۰/۱۷۶	-
۴	۰/۱۰۸	۰/۱۶۷۷	۰/۱۷۷	-
۵	۰/۱۰۹	۰/۱۶۷	۰/۱۷۸	-
۶	۰/۱۰۹	۰/۱۶۸	۰/۱۷۹	-
۷	۰/۱۱	۰/۱۶۸	۰/۱۸	-
۸	۰/۱۱۱	۰/۱۶۹	۰/۱۸۱	۰/۰۸۴
۹	۰/۱۱۲	۰/۱۷۰	۰/۱۸۳	۰/۰۸۵
۱۰	۰/۱۱۲	۰/۱۷۱	۰/۱۸۶	۰/۰۸۶
۱۱	۰/۱۱۶	۰/۱۷۲	۰/۱۸۷	۰/۰۸۷
۱۲	۰/۱۱۷	۰/۱۷۱	۰/۱۸۸	۰/۰۸۸
۱۳	۰/۱۱۵	۰/۱۷۰	۰/۱۸۷	۰/۰۸۶
۱۴	۰/۱۱۵	۰/۱۷۰	۰/۱۸۶	۰/۰۸۵
۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۷۰	۰/۱۸۷	۰/۰۸۴
۱۶	۰/۱۱۷	۰/۱۷۱	۰/۱۸۷	۰/۰۸۳
۱۷	۰/۱۱۸	۰/۱۷۳	۰/۱۸۹	۰/۰۸۵
۱۸	۰/۱۱۹	۰/۱۷۳	۰/۱۹۰	۰/۰۸۶
۱۹	۰/۱۱۸	۰/۱۷۴	۰/۱۹۱	-
۲۰	۰/۱۱۵	۰/۱۷۳	۰/۱۸۹	-
۲۱	۰/۱۱۲	۰/۱۷۱	۰/۱۸۶	-
۲۲	۰/۱۱۰	۰/۱۷۰	۰/۱۸۵	-
۲۳	۰/۱۰۹	۰/۱۶۹	۰/۱۸۳	-
۲۴	۰/۱۰۸	۰/۱۶۷	۰/۱۸۲	-

### مراجع

[1] Venkataramanan, Giri, and Chris Marnay. "A larger role for microgrids." IEEE power and energy magazine 3, no. 6, 78-82. (2008).

[2] Marnay, Chris, Hiroshi Asano, Stavros Papathanassiou, and Goran Strbac. "Policy making for microgrids." Power and Energy Magazine, IEEE 6, no. 3, 66-77 (2008).

criteria decision making”, third publishment, Amirkabir university publisher, Iran, 2001.

its efficiency”, M.S Thesis, University of Tehran, electrical and computer department, 1994.

[14] Qodsipour, Hasan “ Explanations in multi-