



بهینه‌سازی اقتصادی در بهره‌برداری از ریزشبکه‌های ترکیبی مبتنی بر

الگوریتم‌های هوشمند

محمد رضا غلامی دهبالایی، مربی، گروه مهندسی برق، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، تهران، ایران

Gholami_0062@yahoo.com

چکیده

کاهش روزافزون سوخت‌های فسیلی باعث گردیده که تمایل به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و منابع تولید پراکنده مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، بیوماس و فتوولتائیک‌ها افزایش یابد. استفاده همزمان ریزشبکه‌ها در کنار شبکه‌های سنتی تولید توان به منظور تأمین نیاز مصرف‌کنندگان باعث گردیده که روش‌های متعددی جهت بهینه‌سازی اقتصادی در راستای افزایش سود و صرفه اقتصادی، کاهش تلفات و آلودگی‌های محیطی و کاهش ریسک تولید، با توجه به ماهیت تصادفی آنها، در بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها پیشنهاد گردد. در این مقاله ابزارها و الگوریتم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی جهت بهره‌برداری بهتر از ریزشبکه‌های ترکیبی با شبکه سنتی با هدف کاهش هزینه تولید با توجه به قیود ریزشبکه بررسی شده و یک مسأله نمونه از طریق دو الگوریتم هوشمند شبیه‌سازی و مقایسه می‌گردد.

کلمات کلیدی: ریزشبکه ترکیبی، بهینه‌سازی اقتصادی، الگوریتم‌های هوشمند



مقدمه

بهینه‌سازی ممکن است در هر نقطه از ریزشکده‌ها برای بدست آوردن بهترین شرایط کاری از نظر زیست‌محیطی و راندمان، با توجه به محدودیت‌ها، اجرا گردد. در واقع بهینه‌سازی به معنی حفظ فعالیت‌ها و عملکرد مطلوب ریزشکده با راه‌حل‌های تصمیم‌گیری متفاوت است. در ریزشکده‌های ترکیبی ابزارهای بهینه‌سازی در سه مقوله مطرح می‌گردد: تولید، کنترل و توزیع. طراحی یک ریزشکده ترکیبی نیازمند استفاده از ابزارها و تکنیک‌ها جهت آنالیز گسترده در مورد انتخاب روش‌های تصمیم‌گیری در بحث ترکیب کامل سیستم‌های تولید و ذخیره می‌باشد (Maheri,2014),(Sharafi,2014),(Arefifar,2013). همچنین بهینه‌سازی ممکن است برای تصمیم‌گیری در مورد بهترین راه حل ممکن برای انواع استراتژی‌های اندازه‌گیری در مقدار و ظرفیت منابع تولید پراکنده اجرا گردد (Kirthiga et al,2013),(Bhumkittipich and Phuangpornpitak,2013). در مرجع (Dagdougui et al,2010) یک راه‌حل بهینه ریاضی برای مدیریت نظارت در یک ریزشکده ترکیبی ارائه گردیده است، که در آن توان منابع تولید پراکنده ناشی از باد سلول‌های سوختی با هم ترکیب شده‌اند. در این مقاله بیان شده است که مهمترین تصمیم در مورد شیوه‌های اجرائی ریزشکده‌ها این است که مشخص نماییم ریزشکده با شبکه اصلی متصل و همگن در نظر گرفته شود و یا به عنوان مؤلفه‌ای جدا در محاسبات دخالت داده شود.

در مرجع (Dasgupta et al,2012) یک ارتباط سخت‌افزاری و یک مکانیزم کنترل برای حالت‌های اجرائی ریزشکده‌ها نشان داده شده است. در مرجع (Al Saeid et al,2012) افزایش کیفیت توان در حالتی بررسی شده است که ریزشکده ترکیبی از حالت عملکرد متصل به حالت عملکرد مجزا در طول تغییرات بار در نظر گرفته شده است. در مرجع (Basu et al,2012) و (Conti et al,2010) برنامه‌ریزی و دیسپاچنگ توان تولیدی با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها بحث شده است. در این مراجع به ترتیب از الگوریتم تکاملی (EA) و الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) برای این کار استفاده شده است.

در این مقاله ابتدا به تعریف مسأله هزینه در بهره‌برداری از ریزشکده‌ها پرداخته می‌شود پس ابزارها و الگوریتم‌های هوشمند جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزشکده‌ها بحث خواهد شد. سپس بهره‌برداری اقتصادی از یک شبکه نمونه توسط دو الگوریتم متفاوت هوشمند بهینه‌سازی و مقایسه می‌گردد.

تعریف مسأله

مسأله بهینه‌سازی هزینه در بهره‌برداری از ریزشکده به صورت ریز فرمول‌بندی می‌شود (Anvari et al,2011)

$$\min f(p) = \sum_{t=1}^T \text{cost}^t = \sum_{i=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} [P_{Gi}(t)B_{Gi}(t)] + \sum_{j=1}^{N_s} [P_{sj}(t)B_{sj}(t)] + P_{Grid}(t)B_{Grid}(t) \right\} \quad (1)$$



که در آن T بیانگر کل ساعات مورد مطالعه، N_g و N_s به ترتیب بیانگر تعداد واحدهای تولیدی و ذخیره‌کننده انرژی، $P_{Gi}(t)$ و $P_{sj}(t)$ میزان تولید خروجی واحد i ام و ذخیره‌کننده j ام در زمان t و در نهایت $P_{Grid}(t)$ و $B_{Grid}(t)$ میزان توان مبادله‌ای با بازار و قیمت پیشنهادی آن در زمان t ام می‌باشد.

قیود مسأله بصورت زیر است:

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{Gi}(t) + \sum_{j=1}^{N_s} P_{sj}(t) + P_{Grid}(t) + \sum_{k=1}^{N_k} P_{LK}(t) \quad (2)$$

که در آن P_{LK} میزان k امین سطح بار و N_k تعداد کل سطوح بار موجود در شبکه را نشان می‌دهد. همچنین محدودیت‌های توان بصورت زیر است:

$$\begin{aligned} P_{Gt,\min}(t) &\leq P_{Gi}(t) \leq P_{Gi,\max}(t) \\ P_{sj,\min}(t) &\leq P_{sj}(t) \leq P_{sj,\max}(t) \\ P_{Grid,\min}(t) &\leq P_{Grid}(t) \leq P_{Grid,\max}(t) \end{aligned} \quad (3)$$



ابزارها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی ریز شبکه‌ها

ابزارهای نرم‌افزاری جهت بهینه‌سازی

۱- HOMER (مدل بهینه‌سازی ترکیبی برای تولید برق تجدیدپذیر) (Connolly et al, 2010): این مدل توسط آزمایشگاه ملی انرژی آمریکا ارائه شد. این مدل استفاده سیستم‌های ترکیبی بهینه شده در دنیا را نشان می‌دهد. این مدل نرم‌افزاری، سیستم را شبیه‌سازی کرده و یک دامنه گسترده از منابع انرژی، مبدل‌ها و بارها را بهینه‌سازی می‌کند. این شبیه‌سازی می‌تواند در مورد داده‌ها براساس فاکتورهای اقتصادی و فنی ارائه شود. ویژگی اصلی این نرم‌افزار توانایی بررسی تغییرات و ناپایداری‌های پارامترهای سیستم می‌باشد.

۲- GAMS (سیستم مدل‌سازی جبر عمومی) (Upadhyay and Sharma, 2014): یک نرم‌افزار مدل‌سازی است که می‌تواند دامنه گسترده‌ای از مسائل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی را شبیه‌سازی کند. این سیستم قادر به کنترل موقعیت‌های پیچیده در افزایش توانایی پایداری سیستم می‌باشد. همچنین می‌تواند سیستم الکتریکی را جهت برنامه‌ریزی، بررسی بازار، ارزیابی سیاست و امنیت با اهداف اقتصادی آنالیز کند.

۳- HYBRID (Chauhan and Saini, 2014): این نرم‌افزار توسط آزمایشگاه تحقیقات انرژی تجدیدپذیر در دانشگاه ماساچوست ارائه گردید. این نرم‌افزار مناسب برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی بارها، منابع و ابزارها تبدیل قدرت می‌باشد در زمان‌های قابل انعطاف شبیه‌سازی سیستم را به انجام رساند.

نرم‌افزارهای دیگری در سالهای اخیر به طور گسترده‌ای برای ارزیابی مطالعات فنی و اقتصادی با قابلیت‌های انعطاف بالا مورد استفاده قرار گرفته که از جمله آن می‌توان به INCL، TRNSYS، RAPSIM اشاره کرد (Bernal et al, 2009).

الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند برای ریز شبکه‌ها

بهینه‌سازی یک مسأله بر یافتن مقادیر حداکثر و حداقل یک تابع واقعی براساس مقادیر ورودی مجاز اشاره دارد. مسائل و تکنیک‌های جستجوهای ابتکاری از سال ۱۹۴۰ آغاز شده‌اند. این جستجوها براساس استراتژی‌های حل مسائل پیچیده در زمان‌های واقعی پایه‌ریزی شده‌اند. مسائل مربوط به بهینه‌سازی یک ریز شبکه ترکیبی آنقدر پیچیده و گسترده هستند که محاسبه همه راه‌حل‌ها غیرممکن می‌باشد. علاوه بر این برخی از راه‌حل‌های مؤثر یافته شده قابلیت عملیاتی را ندارند. پس هدف، پیدا کردن راه‌حل‌های خوب و عملی در زمان‌های محدود می‌باشد.

- الگوریتم تکامل تفاضلی (DE): این الگوریتم به عنوان روشی قدرتمند و سریع برای مسائل بهینه‌سازی در فضاهای جستجوی پیشرفته معرفی شده است که اولین بار در سال ۱۹۹۵ مطرح گردید. در این الگوریتم در ۵ مرحله پیاده‌سازی می‌شود (Varadarajan and Swarup, 2008).



الف) تولید جمعیت اولیه:

جمعیت اولیه شامل NP عضو به صورت تصادفی تولید می‌شود به طوری که هر یک از جواب‌ها در محدوده فضای جواب مسأله باشند. در یک مسأله با فضای جستجوی m بعدی، ساختار لامین عضو به صورت $X^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_m^i)$ می‌باشد.
(ب) عمل جهش:

برای هر عضو X^i در جمعیت، یک جواب جدید در هر تکرار t مطابق رابطه زیر تولید می‌شود:

$$Y^i(t) = X^{r3}(t) + F \cdot (X^{r1}(t) - X^{r2}(t)) \quad i = 1, 2, \dots, NP \quad (4)$$

که در آن $r_1, r_2, r_3 \in [1, NP]$ سه عدد صحیح تصادفی نامساوی هستند. ضریب مقیاس F یک عدد ثابت مثبت و حقیقی است که اغلب برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

ج) عمل تقاطع:

جواب جدید Z^i با ترکیب جواب‌های X^i و Y^i مطابق رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$Z_i = \begin{cases} y_j(t) & \text{if } rand \leq CR \text{ or } j = j_{rand} \\ x_j(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

در آن CP عدد احتمال تقاطع که بین 0 و 1 انتخاب شده و $j_{rand} \in [1, 2, \dots, m]$ می‌باشد.

د) عمل انتخاب:

اگر مقدار برازندگی جواب جدید تولید شده بهتر از جواب قبلی باشد، جایگزین آن می‌گردد. در غیر این صورت همان جواب قبلی در تکرار بعد جستجو باقی می‌ماند.

$$X^i(t+1) = \begin{cases} Z^i & \text{if } fit(X^i(t)) \geq fit(Z^i(t)) \\ X^i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

که در آن $fit(\cdot)$ میزان برازندگی جواب‌ها را نشان می‌دهد.

ه) توقف:

فرآیند جستجو تا زمانی که معیار توقف الگوریتم برآورد شود، ادامه می‌یابد. معمولاً معیار توقف الگوریتم می‌تواند بر مبنای ثابت ماندن تغییرات برازندگی بهترین جواب یا تکرار الگوریتم تا یک تعداد مشخص انتخاب شود. در این الگوریتم همه جواب‌های اولیه دارای شانس مساوی جهت انتخاب شدن بعنوان والد هستند (Li et al, 2013) و (Hemmati et al, 2015).
۲- الگوریتم ژنتیک (GA): این الگوریتم براساس نظریه بقای داروین ارائه شده است و دارای یک ساختار قدرتمند جهت مسائل بهینه‌سازی است که ویژگی‌های مفید کروموزوم‌ها (جواب‌ها) را تقویت می‌کند تا جواب بهینه نهایی حاصل گردد.



این الگوریتم بسیار مشابه الگوریتم DE بوده و دارای پنج مرحله می‌باشد: تولید جمعیت اولیه جواب‌ها بصورت تصادفی، ارزیابی شایستگی جواب‌ها، عملگر انتخاب بهترین ژن کروموزوم‌ها (بهترین پاسخ‌ها)، جفتگیری و جهش. در تولید اولیه جمعیت، راه‌حل‌های محتمل ایجاد می‌شود که همه محدودیت‌ها و قیود مسأله را رعایت می‌کنند. پس این راه‌حل‌ها ارزیابی می‌شوند و شایسته‌ترین جواب‌ها که بهترین حالت مسأله را ایجاد می‌کنند مشخص می‌شوند. پس از روی مقادیر شایستگی جواب‌ها، بهترین جواب‌ها انتخاب شده و با هم ترکیب شده و راه‌حل‌های جدیدی را تولید می‌کنند. اپراتور جهش‌ها را قادر می‌سازد تا از قله‌های بهینه محلی خارج شده و بخش‌های دیگر فضای مجاز مسأله را جستجو کنیم و تا رسیدن به شرایط توقف مورد نظر کاربر مراحل قبل تکرار می‌شوند. تفاوت اصلی GA و DE در مرحله انتخاب است که در GA شانس انتخاب یک جواب به عنوان یکی از والدین وابسته به مقدار شایستگی آن بستگی دارد.

الگوریتم GA اولین بار در سال ۱۹۹۷ برای ریزشبکه‌های ترکیبی بکار گرفته شد (Hochmut, 1997). در مرجع (Deb et al, 2002) الگوریتم ژنتیک با قابلیت بهینه‌سازی چند هدفه که در مسائل مربوط به ریزشبکه‌های ترکیبی اهمیت بالایی دارد بررسی شده است. الگوریتم ژنتیک در مواردی که تعداد پارامترها افزایش می‌یابد پیچیدگی زیادی از لحاظ برنامه‌نویسی پیدا می‌کند.

۳- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO): این الگوریتم در سال ۱۹۹۵ توسط کندی و ابرهات ارائه گردید. در الگوریتم PSO، تعدادی از موجودات وجود دارند که به آن‌ها ذره گفته می‌شود و در فضای جستجوی تابعی که قصد کمینه کردن (و یا بهینه کردن) مقدار آن را داریم پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضای که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند. پس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی اش و بهترین محلی که در گذشته در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. همه ذرات جهتی برای حرکت انتخاب می‌کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شوند تا آن که جواب مورد نظر به دست بیاید (Kennedy and Eberhart, 1995).

هر ذره در الگوریتم PSO از سه بردار d بعدی تشکیل شده است که d بعد فضای جستجو می‌باشد. برای ذره i ام این سه بردار عبارتند از X^i (موقعیت فعلی ذره)، V^i (سرعت حرکت ذره) و $X^{i,best}$ (بهترین موقعیت تجربه شده ذره). مجموعه‌ای از مختصات است که موقعیت فعلی ذره را نمایش می‌دهد. در هر مرحله‌ای که الگوریتم تکرار می‌شود، X^i به عنوان یک جواب برای مسأله محاسبه می‌شود. اگر این موقعیت بهتر از جواب‌های پیشین باشد در $X^{i,best}$ ذخیره می‌شود. f^i مقدار تابع هدف در X^i و $f^{i,best}$ مقدار تابع هدف در $X^{i,best}$ است که هر دو از عنصر تشکیل دهنده هر ذره به حساب می‌آیند.



بهترین موقعیتی که به وسیله همه ذرات پیدا شده است به صورت $X^{g\ best}$ نشان داده می‌شود. مقدار تابع هدف در $X^{g\ best}$ به صورت $f^{g\ best}$ نشان داده می‌شود. اگر تعداد ذرات موجود در جمعیت، n باشد، آنگاه می‌توان روابط زیر را نوشت:

$$X^{i,\ best}(t) = \arg \min f(x^i(\tau)) = \arg \min \{f(X^i(t), f(X^{i,\ best}(t-1))), \tau \leq t \quad (7)$$

$$f^{i,\ best}(t) = f(X^{i,\ best}(t)) = \min f^i(\tau) = \min \{f^i(t), f^{i,\ best}(t-1)\} \quad (8)$$

$$X^{g\ best}(t) = \arg \min_{i=1,\dots,n} f(X^{i,\ best}(t)) \quad (9)$$

$$f^{g\ best}(t) = f(X^{g\ best}(t)) = \min_{i=1,2,\dots,n} f^{i,\ best}(t) \quad (10)$$

روابط سرعت و موقعیت ذره λ ام به فرم زیر تغییر می‌کند:

$$V_j^i(t+1) = WV_j^i(t) + C_1 r_1 (X_j^{i,\ best}(t) - X_j^i(t)) + C_2 r_2 (X_j^{g\ best}(t) - X_j^i(t)) \quad (11)$$

$$X_j^i(t+1) = X_j^i(t) + V_j^i(t+1) \quad (12)$$

در این روابط W ضریب اینرسی، r_1 و r_2 اعداد تصادفی در بازه $[0,1]$ با توزیع یکنواخت و هم‌چنین C_1 و C_2 ضرایب یادگیری هستند. r_1 و r_2 باعث می‌شوند که نوعی گوناگونی در جواب‌ها بوجود آید. به این نحو جستجوی کاملی روی فضا انجام پذیرد. C_1 ضریب یادگیری ذره و C_2 ضریب یادگیری کل است. این ضرایب باعث می‌شوند که هر ذره به سمت بهترین موقعیت تجربه شده حرکت کند.

استفاده از این الگوریتم بدلیل سرعت بالا در همگرایی جواب بهینه در مسائل بهینه‌سازی ریزشکته‌های ترکیبی شایع می‌باشد. برای مسائل بیش از سه پارامتر جواب، بکارگیری این الگوریتم نسبت به GA بسیار کارآمدتر خواهد بود و معمولاً برای مسائل بهینه‌سازی اقتصادی و بهینه‌سازی چند هدفه پیشنهاد می‌گردد (Wang and Singh, 2009). روش‌های زیاد و متفاوتی برای پیاده‌سازی الگوریتم PSO پیشنهاد گردیده است. یکی از این روش‌ها بهینه‌سازی تجمع ذرات ترکیبی با جهش ضربدری (HPSOWM) است که در آن از اپراتور جهش GA جهت تولید جمعیت با تابع پیچشی بکار رفته است. این الگوریتم دارای سرعت و دقت همگرایی بالاتری است و در مسائل مربوط به تصمیم‌گیری در ریزشکته‌ها می‌تواند بسیار مفید خواهد بود (Zhao et al, 2010).

۴- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA): این الگوریتم در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. این روش فرآیند شبیه‌ساز سرکردن فلزات را شبیه‌سازی می‌کند. طی این فرآیند، فلز تا دمائی بیش از دمای ذوبش گرم می‌شود و سپس به تدریج دمایش پایین آورده می‌شود. در این الگوریتم جواب‌های پیشنهادی مسأله در دمای بالاتر قرار دارند و اغلب جواب‌های مناسبی نیستند پس متغیری که نقش دما را بر عهده دارد به مرور زمان کاهش داده می‌شود تا به این ترتیب جواب‌های بهتری در دمای پایین‌تر تشکیل



شود. تغییرات دمایی پذیرفته می‌شود که به بهتر شدن نتیجه کمک کند و در غیر این صورت جواب با احتمالی پذیرفته می‌شود. این احتمال نیز با کم‌تر شدن دما، کم‌تر می‌شود.

یک ازدیاد در مقدار تابع هزینه به مقدار Δ ، فقط هنگامی پذیرفته می‌شود که شرط

$$e^{-\frac{\Delta}{T}} > r \quad (13)$$

برقرار باشد که در آن T دما و r یک متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ است و T در ابتدا ۱ در نظر گرفته می‌شود. الگوهای زیر می‌تواند برای کاهش دما بکار رود. (دما در زمان n برابر T_n و N آخرین مرحله از اجرای الگوریتم است و T_0 دمای اولیه می‌باشد).

$$T_n = T_0 - \frac{n(T_0 - T_N)}{n} \quad (14)$$

$$T_n = \lambda^n T_0, \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (15)$$

فانگ و همکاران (Fung et al, 1993) الگوریتم SA را با بکارگیری یک انیورتر موج سینوسی و یک واحد کنترلر برای بدست آوردن تنظیمات بهینه اقتصادی با ترکیب ژنراتور و یک بانک باطری شارژپذیر در سیکل برنامه‌ریزی بار مصرفی روزانه پیاده‌سازی کرد. در مرجع (Kastsiyannis et al, 2012) الگوریتم SA را با دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند جستجوی ممنوعه (T.S) و جستجوی گرانشی (G.S) در بهینه‌سازی اقتصادی ریزشکته‌های ترکیبی مقایسه کرده است و با محاسبات خود نشان داده است که SA دارای همگرایی سریعتر بوده اما نسبت به آن روش‌ها کارایی کمتری دارد.

۵- الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO): این الگوریتم بهینه‌سازی از رفتار مورچه‌های طبیعی که در مجموعه‌ای بزرگ در کنار هم زندگی می‌کنند الهام گرفته شده است. در این الگوریتم بار ریزش ماده‌ای شیمیایی به نام فرومون بین لانه و منبع غذا مسیری که از هم کوتاه‌تر باشد دنبال می‌شود (Wu et al, 2010). روابط حاکم بر این الگوریتم به صورت زیر است:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau^{ij}]^\alpha [\eta^{ij}]^\beta}{\sum_{u \in JK(i)} [\tau^{iu}]^\alpha [\eta^{iu}]^\beta} & \text{if } j \in JK(i) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

$$j = \begin{cases} \arg \max_{u \in JK(i)} \{[\tau^{iu}]^\alpha [\eta^{iu}]^\beta\} & \text{if } q \leq q_0 \\ S & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

که در آن τ مقدار فرومون مسیر بین گره i و j ، α و β پارامترهای ثابت، η معکوس فاصله لبه‌های مسیر، $JK(i)$ تنظیم اولیه گره‌ها و k موقعیت گره i ، q یک عدد تصادفی بین 0 و 1 و $0 \leq q_0 \leq 1$ در این الگوریتم اگر مسیری دنبال نشود و یا



کمتر مورد استقبال قرار گیرد به معنی این است که آن مسیر بهینگی خود را از دست داده است و فرمون آن مسیر شروع به تبخیر شدن می‌کند و از رابطه زیر تبعیت می‌نماید:

$$\tau^{ij} = (1 - P) \tau^{ij} \quad (18)$$

که در آن P عددی موسوم به ضریب تبخیر است.

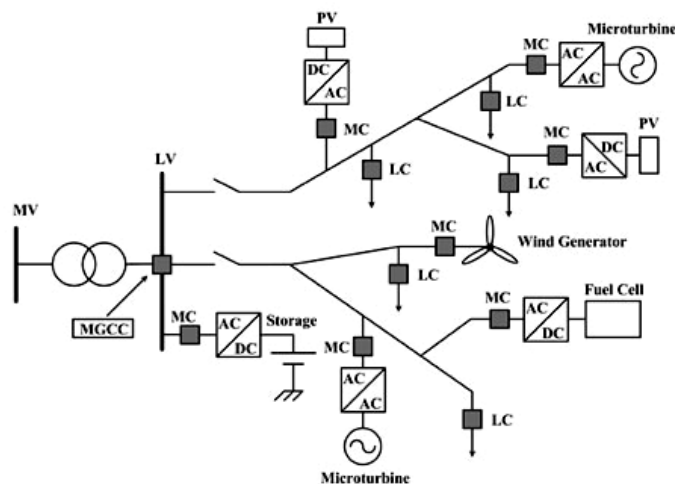
همچنین اگر مسیری که بیشتر مورد استقبال قرار گیرد فرمون آن افزایش می‌یابد. $\Delta \tau$ مقدار فرمون است که هر مورچه در مسیر اضافه می‌کند و رابطه زیر را می‌توان داشت:

$$\tau^{ij} = \tau^{ij} + \Delta \tau^{ij} \quad (19)$$

این الگوریتم برای کاهش تلفات سیستم‌های توزیع و انجام تعادل بار در شبکه‌های شعاعی مناسب است و نسبت به الگوریتم GA به طور متوسط ۴۴ درصد در کاهش تلفات و بهینه‌سازی شبکه‌های ترکیبی مناسب‌تر است (Wu et al, 2010). روش‌ها و الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگری هم جهت بهینه‌سازی اقتصادی ریزشبکه‌های ترکیبی ارائه شده است. مانند جستجوی ممنوعه (T.S) (Kastsiogiannis et al, 2012)، الگوریتم جفتگیری زنبور عمل (HBMA) (Alsayed et al, 2013)، الگوریتم باکتریایی (BFA) و الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیایی (BBO) (Bansal et al, 2013) که معمولاً در همگرایی و دقت و سرعت پاسخ‌دهی مورد اهمیت هستند و انتخاب آنها بستگی به نوع مسأله و پارامترهای آن دارد (Zheng et al, 2013).

شبیه‌سازی یک شبکه نمونه

ریزشبکه نمونه‌ای که به عنوان شبکه تست در کار حاضر مورد استفاده قرار گرفته است بطور شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. این ریزشبکه شامل انواع منابع همچون میکروتوربین، پیل سوختی، فتوولتائیک، توربین بادی و باتری را پوشش می‌دهد. ضمن اینکه قادر به تبادل توان با شبکه بالا دست می‌باشد.

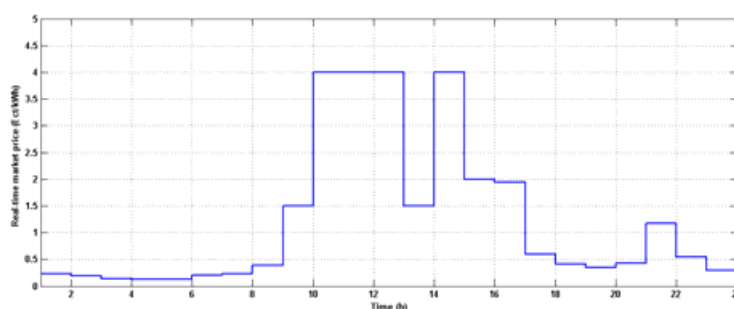


شکل ۱: ریزشبکه مورد مطالعه

اطلاعات مربوط به میزان تولید واحدها و قیمت پیشنهادی بازار در جدول ۱ ارائه شده است. قیمت پیشنهادی برای شبکه توزیع نیز در شکل ۲ آورده شده است.

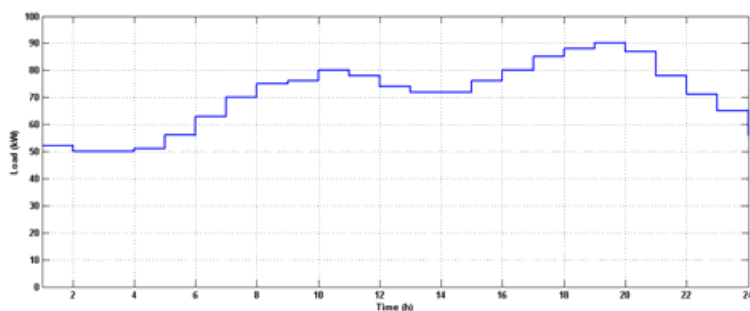
جدول ۱: مشخصات فنی واحدهای تولیدی

Type	Min Power (kW)	Max Power (kW)	Bid (Ect/kWh)
MT	۶	۳۰	۰,۴۵۷
FC	۳	۳۰	۰,۲۹۴
PV	۰	۲۵	۲,۵۸۴
WT	۰	۱۵	۱,۰۷۳
Battery	-۳۰	۳۰	۰,۳۸
Utility	-۳۰	۳۰	-



شکل ۲: منحنی قیمت پیشنهادی بازار

میزان توان دریافتی از انرژی خورشیدی و بادی در بازه‌های ساعت به ساعت پیش‌بینی شده و در جدول ۲ آمده است. مشخصه بار نیز برای این سیستم در طول ۲۴ ساعت در شکل ۳ ارائه شده است.



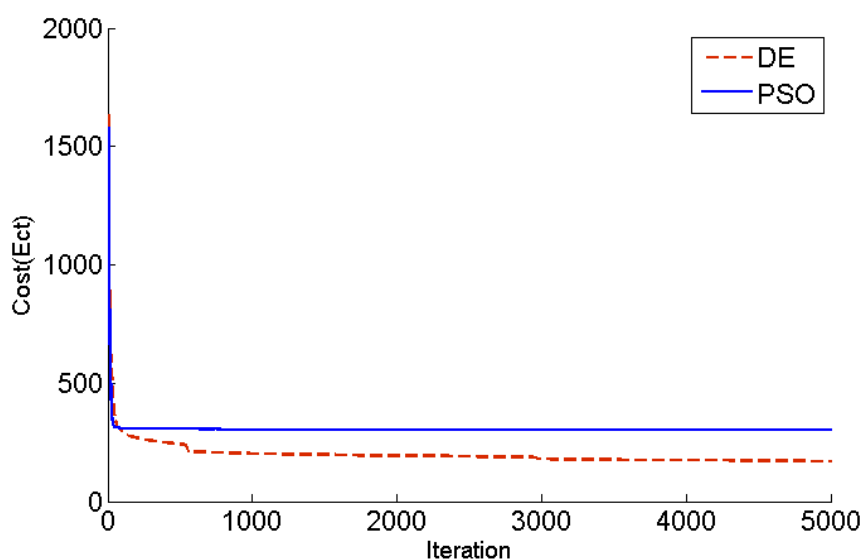
شکل ۳: منحنی بار ریز شبکه در طول روز

جدول ۲: میزان توان دریافتی پیش‌بینی شده واحدهای بادی و خورشیدی

Hour	WT(kW) Installed (kW)	PV(kW) Installed (kW)
۱	۰,۱۱۹	۰
۲	۰,۱۱۹	۰
۳	۰,۱۱۹	۰
۴	۰,۱۱۹	۰
۵	۰,۱۱۹	۰
۶	۰,۰۶۱	۰
۷	۰,۱۱۹	۰
۸	۰,۰۸۷	۰,۰۰۸
۹	۰,۱۱۹	۰,۱۵
۱۰	۰,۲۰۶	۰,۳۰۱
۱۱	۰,۵۸۵	۰,۴۱۸
۱۲	۰,۶۹۴	۰,۴۷۸
۱۳	۰,۲۶۱	۰,۹۵۶
۱۴	۰,۱۵۸	۰,۸۴۲
۱۵	۰,۱۱۹	۰,۳۱۵
۱۶	۰,۰۸۷	۰,۱۶۹
۱۷	۰,۱۱۹	۰,۰۲۲
۱۸	۰,۱۱۹	۰
۱۹	۰,۰۸۶۸	۰
۲۰	۰,۱۱۹	۰
۲۱	۰,۰۸۶۷	۰
۲۲	۰,۰۸۶۷	۰
۲۳	۰,۰۶۱	۰
۲۴	۰,۰۴۱	۰



برای شبیه‌سازی با الگوریتم پیشنهادی از جمعیتی با ۸۰ جواب اولیه و ۵۰۰۰ تکرار استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی که بیانگر میزان توزیع توان در واحدهای مختلف DG و ذخیره‌ساز و شبکه است در جدول ۳ آورده شده است. به منظور نشان دادن تفاوت کارایی دو الگوریتم DE و PSO، نمودار همگرایی آنها در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود الگوریتم PSO به جواب بهینه محلی دست یافته ولی الگوریتم DE به هزینه کمتر و جواب بهینه مطلق رسیده است.



شکل ۴: نمودار همگرایی الگوریتم‌های PSO و DE

نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری بر روش‌ها و ابزارها و الگوریتم‌های متنوع بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی با اهداف اقتصادی که در ریز شبکه‌های ترکیبی بکار برده می‌شوند انجام شد. با بیان نقاط قوت و ضعف هر کدام و معرفی مقالاتی که از این روشها در فرآیند بهینه‌سازی اقتصادی ریز شبکه‌ها استفاده کرده‌اند و همچنین پیاده‌سازی دو الگوریتم DE و PSO بر روی ریز شبکه ترکیبی نمونه با هدف اقتصادی، مشخص گردید که بکارگیری هر کدام از این الگوریتم‌ها بستگی به شرایط و پارامترهای مساله خواهد داشت و اصولاً در مسایل متنوع رفتارهای متنوعی از نظر سرعت همگرایی، دقت در پاسخ دهی، گیر افتاده در نقاط بهینه محلی و... از خود نشان می‌دهند.

لذا پیشنهاد می‌گردد جهت انجام بهینه‌سازی اقتصادی ریز شبکه‌های ترکیبی، با توجه به گستردگی مساله مورد نظر، الگوریتمی انتخاب نمود که در بازه زمانی مورد نظر، پاسخ مطلوب را ارائه نماید.



جدول ۳: توزیع توان واحدهای مختلف توسط الگوریتم DE با در نظر گرفتن هدف اقتصادی

زمان (ساعت)	منابع تولید پراکنده (DG)					
	MT	FC	PV	WT	Battery	Utility
1	6	3.00029	0	1.36E-13	13.00021	30.000
2	5.983	30	0	6.50E-08	-15.9999	29.99923
3	20.00037	30	0	5.90E-06	-30	29.9992
4	6	30	0	2.00E-11	-14.9996	29.99998
5	5.994	29.98939	0	3.19E-06	-8.99886	30.0000
6	6	29.99957	0	0.915	-3.91342	29.99844
7	6.00022	30	0	4.99E-06	4.000856	29.99912
8	5.979	30	0.24	3.65E-11	30	7.8
9	30	30	1.25E-06	1.784894	29.99999	-15.7844
10	29.99947	30	7.52701	3.089994	30	-21.615
11	30	30	9.22502	8.775	29.99996	-29.9999
12	30	30	4.589964	10.41	29.99999	-29.9999
13	30	30	3.22E-08	3.915	29.99971	-21.9147
14	30	29.99987	9.630011	2.37	30	-30
15	30	29.99979	2.33E-05	1.784997	30	-15.785
16	29.989	30	1.68E-10	1.305	30	-11.305
17	30	30	2.11E-05	1.785	29.99998	-6.78503
18	6	30	0	1.785	30	19.21447
19	6.00047	30.00001	0	6.79E-09	24.00127	29.99929
20	6	30.00001	0	0	30	21
21	29.99998	30	0	1.3005	30	-14.3002
22	29.99997	30	0	0	30	-18.9999
23	5.99979	30	0	1.34E-06	30	-1.00005
24	6.001	30	0	0.615	18.38506	30.000

منابع

Maheri A. Multi-objective design optimization of standalone hybrid wind –PV diesel systems under uncertainties .Renew Energy2014;66:650–61.



Sharafi M, ELMekkawy TY. Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systems using PSO-simulation based approach. *Renew Energy* 2014;68:67–79.

Arefifar SA, YA-RI Mohamed, EL-Fouly THM. Optimum microgrid design for enhancing reliability and supply-security. *IEEE Trans Smart Grid* 2013;4 (3):1567–75.

Bhumkittipich K, Phuangpornpitak W. Optimal placement and sizing of distributed generation for power loss reduction using particle swarm optimization. *Energy Proc* 2013;34:307–17.

Kirthiga V, Daniel SA, Gurunathan S. A methodology for transforming an existing distribution network into sustainable micro-grid. *IEEE Trans Sustain Energy* 2013;4(1):31–41.

Dagdougui H, Minciardi R, Ouammi A, RobbaM, Sacile R. Adaptive decision model for the real-time control of hybrid renewable energy production systems. *IEEE Syst J* 2010;4(3):1932–8184.

Dasgupta S, Mohan SN, Sahoo SK, Panda SK. A plug-and-play operational approach for implementation of an autonomous-micro-grid system. *IEEE Trans Ind Inform* 2012;8(3):615–29.

Al-Saedi W, Lachowicz SW, Habibi D, Bass O. Power quality enhancement in autonomous microgrid operation using particle swarm optimization. *Electr Power Energy Syst* 2012;42:139–49

Basu AK, Bhattacharya A, Chaudhry S, Chowdhry SP. Planned scheduling for economic power sharing CHP based microgrid. *IEEE Trans Power Syst* 2012;27(1):30–8.

Conti S, Nicolosi R, Rizzo SA, Zeineldin H. Optimal dispatching of distributed generators and storage systems for MV islanded microgrids. *IEEE Trans Power Deliv* 2010;27(3):1243–51.

Anvari Moghadam A, Seifi A, Niknam T, Alizadeh Pahlavani M.R. “Multi-objective Operation Management of a Renewable MG (Micro-Grid) With Back-up Micro-Turbine/Fuel Cell/Battery Hybrid Power Source,” *Energy*, Vol. 36, pp. 6490-6507, 2011.

Connolly D. A review on configurations, control and sizing methodologies of hybrid energy systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2014 : 38: 47-63

Upadhyay S, Sharma MP. A review on configurations, control and sizing methodologies of hybrid energy systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;38:47–63.

Chauhan A, Saini RP. A review on integrated renewable energy system based power generation for stand-alone applications: configurations, storage options, sizing methodologies and control. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;38:99–120.

Bernal-Agustín JL, Dufo-Lopez R. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:2111–8.

Varadarajan, M., Swarup, K.S., “Differential evolutionary algorithm for optimal reactive power dispatch,” *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 30, No. 8, 2008, pp. 435–441.

Li Y, Wang Y, Li B. A hybrid artificial bee colony assisted differential evolution algorithm for optimal reactive power flow. *Electr Power Energy Syst* 2013;52:25–33.

Hemmati M, Amjady N, Ehsan M. System modeling and optimization for islanded micro-grid using multi-cross learning-based chaotic differential evolution algorithm. *Int J Electr Power Energy Syst* 2015;56:349–60.

Hochmut GCS. A combined optimization concept for the design and operation strategy of hybrid-PV energy systems. *Sol Energy* 1997;61(2):77–87.



Deb K, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T. A fast and elitist multi objective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Trans Evolut Comput* 2002;6(2):182–97.

Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. *IEEE Int ConfProc Neural Netw* 1995;4:1942–8.

Zhao J, Li X, Hao J, Lua J. Reactive power control of a wind farm made up with doubly fed induction generators in distribution system. *Electr Power Syst Res* 2010;80(6):698–706.

Fung CC, Hoand SCY, Nayar CV. Optimisation of a hybrid energy system using Simulated Annealing technique. *IEEE TENCON* 1993;5:235–8.

Katsigiannis YA, Georgilakis PS, Karapidakis ES. Hybrid simulated annealing tabu search method for optimal sizing of autonomous power systems with renewables. *IEEE Trans Sustain Energy* 2012;3(3):330–8.

Wu Y, Lee C, Liu L, Tsai S. Study of reconfiguration for the distribution system with distributed generators. *IEEE Trans Power Deliv* 2010;25(3):1678–85.

Alsayed M, Cacciato M, Scarcella G, Scelba G. Multicriteria optimal sizing of photovoltaic-wind turbine grid connected systems. *IEEE Trans Energy Convers* 2013;28(2):370–9.

Bansal AK, Kumar R, Gupta RA. Economic analysis and power management of a small autonomous hybrid power system using biogeography based optimization algorithm. *IEEE Trans Smart Grid* 2013;4(1):638–48.

Zheng YJ, Chen SY, Lin Y, Wang WL. Bio-inspired optimization of sustainable energy systems: a review. *Math Probl Eng: Hindawi Publishing Corporation*; 2013.articleID-354523.

Wang L, Singh C. Multicriteria design of hybrid power generation systems based on a modified particle swarm optimization algorithm. *IEEE Trans Energy Convers* 2009;24(1):163–72.