



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Environmental/Economic Operation Management of a Micro-Grid Using a Multi-Objective Algorithm

Anvari-Moghaddam, Amjad

Published in:
Proceedings of the 26th International Power System Conference (PSC)

Publication date:
2011

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Anvari-Moghaddam, A. (2011). Environmental/Economic Operation Management of a Micro-Grid Using a Multi-Objective Algorithm. In *Proceedings of the 26th International Power System Conference (PSC)* (pp. 1-10)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



استفاده از یک الگوریتم چند هدفه در بهره برداری بهینه از یک ریز شبکه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و محیطی

امجد انوری مقدم

دانشگاه تهران - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تهران - ایران

واژه‌های کلیدی: الگوریتم PSO بهبود یافته فازی، بهینه سازی چند هدفه، ریز شبکه، انرژیهای تجدید پذیر

چکیده

در چند دهه اخیر تمايل به بهره‌گیری از منابع تولید پراکنده و انرژیهای تجدیدپذیر از یک سو و کاهش هزینه‌های تولید برق، افزایش قابلیت اطمینان و کیفیت توان و بطور کلی بهبود راندمان انرژی از سویی دیگر، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۱-۳]. در این خصوص ریز شبکه بستره است که شرایط فوق را فراهم می‌آورد و نیازهای آینده‌ی شبکه‌های برق را بخوبی پاسخ می‌دهد [۴-۵]. از آنجاییکه منابع انرژیهای تجدیدپذیر نظیر باد و خورشید سهم بسزایی را در ریز شبکه‌ها ایفا می‌نمایند و از طرفی این انرژی‌ها، پدیده‌هایی با رفتار تصادفی تلقی می‌شوند، لذا نیاز است برنامه‌ریزی مناسبی جهت بهره‌گیری مناسب از این منابع و مدیریت بهینه آنها با توجه به اهداف مختلف کاربری صورت پذیرد. تاکنون اکثر روش‌های بهینه‌سازی در حل مسئله مزبور تابعی تک هدفه را ملاک قرار می‌دادند و در این راستا از روش‌هایی نظیر برنامه‌ریزی خطی و یا شبکه‌های عصبی جهت مینیمم ساختن تابع هدف هزینه و یا آلوودگی در شبکه مورد نظر استفاده می‌کردند [۶-۷]. بکارگیری روش‌های تکاملی در حل

بهره برداری بهینه از ریز شبکه‌ها با در نظر گرفتن اهداف مختلفی نظیر هزینه بهره برداری، میزان آلوودگی و استفاده گسترده‌تر از منابع انرژی تجدید پذیر در این حوزه مورد توجه بسیاری از جوامع پیشرفتنه قرار گرفته است. تجمعی این چنین اهدافی که غالباً متناقض نیز می‌باشند در یک مسئله بهینه‌سازی می‌توانند پاسخ مناسبی برای کاربران سیستم فراهم آورد. در این مقاله سعی شده است از یک روش ترکیبی مبتنی بر نظریه فازی و الگوریتم تکاملی هوش جمعی به نام FSAPSO^۱ برای توزیع بهینه منابع انرژی در یک ریز شبکه نمونه استفاده شود ضمن آنکه اهداف اقتصادی و آلوودگی در امر بهره برداری بطور همزمان ارضاء گردد. عملکرد روش پیشنهادی در حل مسئله مذکور در قیاس با سایر روش‌های بهینه‌سازی تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک (GA) و PSO استاندارد نشان داده شده است و کارایی آن با اعمال بر شبکه تست به اثبات رسیده است.

^۱ Fuzzy Self Adaptive Particle Swarm Optimization

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

بيانگر تعداد واحدهای تولیدی و ذخیره کننده انرژی، $(u_i(t))$ وضعیت واحد t ام در زمان t ام (خاموش یا روشن بودن)، $P_{Gi}(t)$ و $P_{sj}(t)$ میزان توان خروجی واحد t ام و ذخیره کننده t ام در زمان t و $B_{Gi}(t)$ قیمت انرژی پیشنهادی واحد t ام و ذخیره کننده t ام در زمان t و $S_{sj}(t)$ هزینه راهاندازی و یا خاموش کردن واحد t ام و ذخیره کننده t ام است و در نهایت $P_{Grid}(t)$ و $B_{Grid}(t)$ میزان توان مبادله‌ای با بازار و قیمت پیشنهادی آن در زمان t ام می‌باشد.

تابع هدف آلودگی: حداقل ساختن کل آلودگی

ناشی از شایع‌ترین آلاینده‌ها در ریز شبکه.

$$\begin{aligned} \text{Min } f_2(P) &= \sum_{t=1}^T \text{Emission}^t \\ &= \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} [u_i(t) P_{Gi}(t) E_{Gi}(t)] + \sum_{j=1}^{N_s} [u_j(t) P_{sj}(t) E_{sj}(t)] \right. \\ &\quad \left. + P_{Grid}(t) E_{Grid}(t) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

که $E_{Gi}(t)$ و $E_{sj}(t)$ و $E_{Grid}(t)$ بیانگر میزان آلودگی ناشی از واحد تولیدی t ام، ذخیره کننده t ام و بازار در زمان t و بر حسب kg/MWh می‌باشد. این آلاینده‌ها شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) متصاعد شده از هر یک از واحدهای فوق می‌باشد.

۲-۲- قیود و محدودیت‌ها

تعادل بار- تولید

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{Gi}(t) + \sum_{j=1}^{N_s} P_{sj}(t) + P_{Grid}(t) = \sum_{k=1}^{N_k} P_{Lk}(t) \quad (3)$$

که P_{Lk} میزان k امین سطح بار و N_k کل تعداد سطوح بار موجود در شبکه را نشان می‌دهد.

حد توانی واحدها: تمامی واحدها اعم از تولیدات

پراکنده (DG)، ذخیره کننده‌ها و بازار دارای حد پایین و بالای برای توان تولیدی خود می‌باشند.

$$\begin{aligned} P_{Gi,\min}(t) &\leq P_{Gi}(t) \leq P_{Gi,\max}(t) \\ P_{sj,\min}(t) &\leq P_{sj}(t) \leq P_{sj,\max}(t) \\ P_{grid,\min}(t) &\leq P_{Grid}(t) \leq P_{grid,\max}(t) \end{aligned} \quad (4)$$

محدودیت نرخ شارژ و دشارژ ذخیره کننده

مسائل بهینه‌سازی نیز به کرات در مقالات مطرح شده است. عنوان مثال مراجع [۹-۸] با استفاده از الگوریتم‌های PSO و GA به تخصیص اقتصادی توان به واحدهای تولیدی در یک شبکه قدرت پرداخته‌اند. در این میان استفاده از روش‌های مبتنی بر PSO در حل مسائل بهینه‌سازی به سبب پایداری مناسب، سرعت همگرایی بالا و ساختاری ساده بیش از سایرین مورد توجه قرار گرفته است، گرچه باید اضافه نمود استاندارد بطور گسترده‌ای متأثر از پارامترهای یادگیری و وزنی خود می‌باشد و بسیار محتمل است که در حل مسائل بهینه‌سازی در نقاط اکسترم محلی گرفتار شود.

در این مقاله از یک الگوریتم بهینه‌سازی تلفیقی که مشتمل بر مکانیزمی خود تطبیقی و فازی است برای حل مسئله مدیریت بهره‌برداری بهینه از یک ریز شبکه نمونه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و آلودگی استفاده شده است. عملکرد سیستم فازی در کنار PSO استاندارد سبب می‌شود مشکل به دام افتادن در نقاط مینیمم محلی مرتفع گردد و پارامترهای موثر در عملکرد PSO در هر مرحله از تکرار برنامه در صورت نیاز تنظیم شوند.

۲- مدیریت بهره‌برداری از یک ریز شبکه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و آلودگی

مسئله بهره‌برداری بهینه چند هدفه از یک ریز شبکه به صورت زیر می‌تواند بیان گردد:

۱- تعریف توابع هدف

تابع هدف هزینه: حداقل ساختن کل هزینه بهره‌برداری از ریز شبکه.

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1(P) &= \sum_{t=1}^T \text{Cost}^t \\ &= \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} [u_i(t) P_{Gi}(t) B_{Gi}(t) + S_{Gi}|u_i(t) - u_i(t-1)|] \right. \\ &\quad \left. - \sum_{j=1}^{N_s} [u_j(t) P_{sj}(t) B_{sj}(t) + S_{sj}|u_j(t) - u_j(t-1)|] \right. \\ &\quad \left. - P_{Grid}(t) B_{Grid}(t) \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

که T بیانگر کل ساعت مطالعه، N_g و N_s به ترتیب

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

بهینه بر اساس اطلاعات بهترین موقعیت خودی هر ذره و نیز بهترین نقطه پیدا شده توسط ذرات همسایه صورت می‌گیرد (رابطه (۷) و (۸)).

$$\vec{v}_i^{k+1} = \omega \cdot \vec{v}_i^k + c_1 \times rand_1() \times (P_{best,i}^k - \vec{x}_i^k) + c_2 \times rand_2() \times (g_{best}^k - \vec{x}_i^k) \quad (7)$$

$$\vec{x}_i^{k+1} = \vec{x}_i^k + \vec{v}_i^{k+1} \quad (8)$$

در رابطه فوق c_1 و c_2 ضرایب یادگیری و ω ضریب وزنی نامیده می‌شود. $rand_1()$ و $rand_2()$ مقادیر تصادفی در بازه $[0,1]$ می‌باشند. $P_{best,i}$ بردار مکانی بهترین نقطه پیدا شده توسط ذره i ام و g_{best} بهترین نقطه سراسری است. بردارهای v_i^k و x_i^k نیز به ترتیب بیانگر سرعت و موقعیت ذره i ام در مرحله k ام می‌باشد. همانطوریکه از رابطه (۷) مشاهده می‌شود نتایج حاصل از الگوریتم PSO استاندارد با تعداد جمعیت و پارامترهای موجود تحت تاثیر قرار می‌گیرد و احتمال گرفتار شدن در مینیمم محلی وجود دارد، لذا به تنها برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه مناسب نمی‌باشد. [۱۰-۱۱]. در این مقاله به منظور مرتفع ساختن مشکل یاد شده از یک روش تنظیم تطبیقی فازی برای تنظیم پارامترهای PSO به شرح زیر استفاده می‌شود.

۴- سیستم تطبیقی فازی تنظیم کننده پارامترهای FSAPSO و الگوریتم پیشنهادی PSO

یافتن مجموعه‌ی مشخصی از پارامترهای PSO که در تمامی حالات به درستی عمل نمایند ممکن نخواهد بود مگر آنکه با بکارگیری یک مکانیزم فازی به این مهم دست یابیم. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن مقادیری ثابت برای پارامترهای یادگیری (معمولأ $c_1=c_2=2$) با علم آنکه $1 \leq c_1, c_2 \leq 2$ و تنظیم ضریب وزنی ω به صورت فازی و مطابق رابطه (۹) می‌توانیم به جواب مطلوب برسیم. انتخاب ضرایب وزنی بزرگ قابلیت جستجوی سراسری را بالا می‌برد و انتخاب مقادیر کوچکتر باعث همگرايی سریعتر می‌گردد و لذا بازه تغییرات -1 تا $+1$ برای ω ترجیح داده می‌شود.

$$SoC_{sj}(t) = SoC_{sj}(t-1) + P_{Chg/Dchrg_j}(t) \quad (5)$$

$$0 \leq |P_{Chg/Dchrg_j}(t)| \leq P_{CDS_{j,max}}$$

که $SoC_{sj}(t-1)$ و $SoC_{sj}(t)$ بیانگر میزان شارژ ذخیره کننده در زمان فعلی و قبلی می‌باشد، $P_{Chg/Dchrg_j}(t)$ مقدار شارژ(دشارژ) در مدت t امین ساعت را نشان می‌دهد و $P_{CDS_{j,max}}$ ماکریم نرخ شارژ(دشارژ) را نشان می‌دهد.

۳- مدلسازی ریز شبکه

مدلسازی ریز شبکه نمونه در بخش پیوست بیان شده است.

۴- اصول بهینه‌سازی چند هدفه و کلیات الگوریتم PSO استاندارد

در دنیای واقعی مسائل زیادی وجود دارند که شامل بهینه‌سازی همزمان چندین تابع هدف می‌باشند که معمولاً تناسب ناپذیر و در تضاد یکدیگر هستند. اینگونه بهینه‌سازی منجر به ایجاد یک مجموعه جواب به جای یک جواب بهینه می‌شود زیرا با در نظر گرفتن تمامی اهداف به صورت توازن هیچ جوابی یافت نخواهد شد که همه توابع را بهینه نماید. بطور کلی یک مسئله‌ی بهینه سازی چندهدفه‌ی شامل تعدادی تابع هدف است که باید همزمان بهینه شوند و تعدادی قید تساوی و نامساوی که باید رعایت شوند. بنابراین مسئله را می‌توان به صورت زیر فرمول بندی کرد:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } F &= [f_1(X), f_2(X), \dots, f_n(X)]^T \\ \text{Subject to: } &\begin{cases} g_i(X) < 0 & i = 1, 2, \dots, N_{ueq} \\ h_i(X) = 0 & i = 1, 2, \dots, N_{eq} \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

که در رابطه فوق F بردار حاوی توابع هدف و X بردار شامل متغیرهای بهینه سازی است. $f_i(X)$ نماینده تامین تابع هدف و $g_i(X)$ و $h_i(X)$ به ترتیب بیانگر قیدهای نامساوی و تساوی است. همچنین n بر تعداد توابع هدف موجود در مسئله دلالت دارد. از طرفی همانطورکه عنوان شد الگوریتم PSO بطور گسترده در حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش حرکت به سمت نقطه

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

شرح زیر برای امکان پذیر می‌باشد:

گام اول: گردآوری اطلاعات ورودی جهت تغذیه برنامه.
اطلاعات خام ورودی به بخش اول برنامه عبارتند از:
ساختار ریز شبکه نمونه، عناصر موجود در شبکه و مشخصات
فنی و عملکردی آنها، توان پیش‌بینی شده‌ی واحدهای بادی
و خورشیدی برای یک بازه ۲۴ ساعته آینده، قیمت پیشنهادی
انرژی از سوی بازار و واحدهای تولید پراکنده، اطلاعات مورد
نیاز تابع هدف، منحنی بار روزانه و سایر داده‌های مربوط به
حل مسئله.

گام دوم: مقدار دهی اولیه برنامه.

همانطوریکه عنوان شد الگوریتم PSO همانند سایر
الگوریتم‌های تکاملی کار خود را با یک جمعیت اولیه شروع
می‌نماید، لذا نیاز است در گام دوم مجموعه‌ای تصادفی از
جمعیت اولیه تولید گردد. هر عضو این مجموعه دارای یک
بردار موقعیت و سرعت اولیه مطابق روابط (۱۱) و (۱۲) می‌
باشد.

$$\begin{aligned} \text{Initial population} &= [\bar{X}_1 \quad \bar{X}_2 \quad \dots \quad \bar{X}_N]^T \\ \bar{X}_i &= [x_i]_{1 \times n}; \quad \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, N \\ n &= 2(N_g + N_s + 1) \\ x_i &= \text{rand}(.) \times (x_i^{\max} - x_i^{\min}) + x_i^{\min} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Initial velocity} &= [\bar{V}_1 \quad \bar{V}_2 \quad \dots \quad \bar{V}_N]^T \\ \bar{V}_i &= [v_i]_{1 \times n}; \quad \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, N \\ n &= 2(N_g + N_s + 1) \end{aligned} \quad (12)$$

گام سوم: محاسبه تابع هدف هرینه و آلودگی و برآزندگی
منتظرشان بر اساس تابع عضویت فازی هر تابع هدف برای
جمعیت حاضر.

گام چهارم: مرتب سازی جمعیت اولیه بر اساس مقادیر
برازش متناظرشان.

گام پنجم: تعیین بهترین نقطه سراسری (g_{best}).

گام ششم: انتخاب آمین نمونه جمعیت.

گام هفتم: انتخاب بهترین جواب محلی برای آمین عضو
جمعیت ($P_{best,i}$).

گام هشتم: تنظیم پارامتر وزنی ω به کمک سیستم تطبیقی

$$\omega^{k+1} = \omega^k + \Delta\omega \quad (9)$$

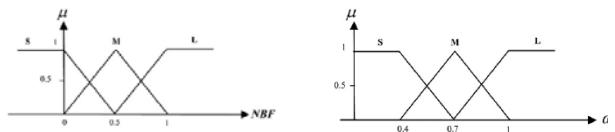
در این سیستم فازی نقطه بهینه سراسری (BF^1) و ضریب
وزنی ω در هر مرحله به عنوان متغیرهای ورودی و ضریب
تصحیح وزنی $\Delta\omega$ متغیر خروجی است که توابع عضویت آنها
در شکل ۲ نشان داده شده است. قواعد فازی برای محاسبه
 $\Delta\omega$ نیز در جدول ۱ آمده است. همچنین برای طرح یک
الگوریتم کاربردی تر نیاز است تغییرات BF در بازه $[0,1]$
مطابق رابطه (۱۰) نرماییزه شود و NBF جایگزین ورودی اول
در سیستم فازی گردد.

$$NBF = (BF - BF_{\min}) / (BF_{\max} - BF_{\min}) \quad (10)$$

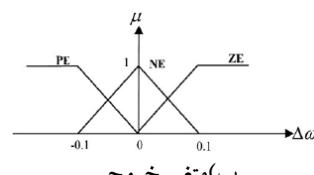
که BF_{\min} کوچکترین مقدار بهینه سراسری است و
بر بزرگترین مقدار بهینه سراسری در هر تکرار از برنامه دلالت
دارد.

جدول ۱- قواعد فازی برای محاسبه ضریب تصحیح وزنی

$\Delta\omega$	ω			
	S	M	L	
NBF	S	ZE	NE	NE
	M	PE	ZE	NE
	L	PE	ZE	NE



الف) متغیرهای ورودی



ب) متغیر خروجی

شکل ۲- توابع عضویت برای ورودی/خروجی در سیستم فازی

برای تابع عضویت یاد شده عبارتهای زبانی (S(Small)، L(Large) و M(Medium))
عبارت‌های (ZE(Zero)، NE(Negative) و PE(Positive)) برای
خروجی $\Delta\omega$ می‌باشند. با پیاده‌سازی سیستم تطبیقی فازی
ساخت الگوریتم پیشنهادی از طریق یک فرایند سلسله مراتبی

^۱ Best Fitness

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

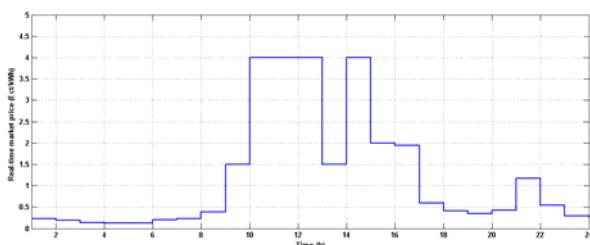
مشخصات فنی واحدها و قیود عملکردی آنها در جداول ۳-۲ عنوان شده است و قیمت پیشنهادی بازار در همان روز مشخص مطابق شکل ۴ میباشد.

جدول ۲- مشخصات فنی واحدها

Type	Min. Power (kW)	Max. Power (kW)	Bid (Ect/kWh)	Start-up/Shut down cost (Ect)
MT	6	30	0.457	0.96
PAFC	3	30	0.294	1.65
PV	0	25	2.584	0
WT	0	15	1.073	0
Bat	-30	30	0.38	0
Utility	-30	30	-	-

جدول ۳- میزان آلودگی واحدهای تولید پراکنده

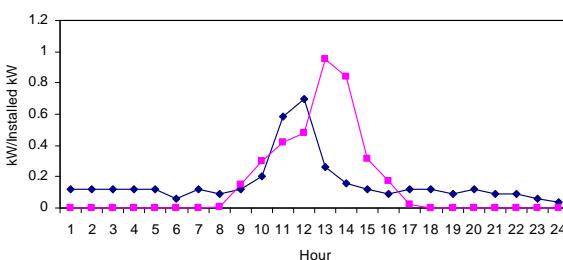
Type	CO ₂ (kg/MWh)	SO ₂ (kg/MWh)	NO _x (kg/MWh)
MT	720	0.0036	0.1
FC	460	0.003	0.0075
PV	0	0	0
WT	0	0	0
Batt	10	0.0002	0.001



شکل ۴- منحنی قیمت پیشنهادی بازار

همچنین فرض میگردد میزان توان قابل حصول از واحدهای بادی و خورشیدی در بازههای ساعت به ساعت به کمک روشاهای مرسوم پیش بینی شده و مطابق شکل ۵ میباشد. برای بهرهبرداری مناسبتر از ریز شبکه نمونه فرض میشود واحدهای PV، MT و WT در حین اجرای برنامه قادر به داشتن یکی از حالات خاموش(“0”) و یا روشن(“1”) میباشند و سایر واحدها همواره در مدار میباشند(حالت “1”).

WT PV



شکل ۵- توان خروجی پیش بینی شده واحدهای بادی و خورشیدی

فازی مطابق رابطه (۹).

گام نهم: محاسبه مولفه های سرعت و حرکت ذره نام با توجه به پارامترهای اصلاح شده PSO و استفاده از روابط (۷) و (۸) به منظور حرکت به نقطه بهینه جدید.

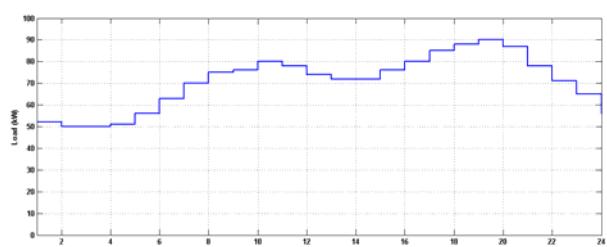
گام دهم: تکرار گامهای ششم تا دهم برای تمامی جمعیت.

گام یازدهم: بررسی شرط توقف.

چنانچه شرایط بهینه مطلوب که جواب مسئله میباشد احراز شده باشد الگوریتم متوقف میشود و در غیر اینصورت به گام سوم باز میگردد.

۵- شبیه سازی

در این بخش کار، الگوریتم پیشنهادی FSAPSO بر ریز شبکه نمونه مورد آزمایش قرار میگیرد و توانایی آن در حل مسئله مدیریت بهرهبرداری بهینه با سایر روشهای تکاملی قیاس میگردد. جهت اثبات کارایی مدل، مسئله بهینه سازی در سه حالت مختلف طرح ریزی و به اجرا گذاشته میشود: بهرهبرداری پایه (Main Case) که بیانگر کار عادی شبکه است، بهرهبرداری از حداقل ظرفیت انرژی های تجدیدپذیر (Renewable)، که بیانگر استفاده از حداقل ظرفیت تولید واحدهای بادی و خورشیدی در طی روز است و در نهایت بهرهبرداری به شرط تبادل نامحدود توان (ULPE) که بیانگر تبادل توان میان شبکه V.L.V و M.V به کمک یک خط انتقال دوطرفه با ظرفیت نامحدود میباشد. در تمامی حالات فرض میگردد که DGها در ضربیت توان واحد کار میکنند و لذا نیازمند جذب و یا تولید توان راکتیو نمیباشند. منحنی بار ریز شبکه نیز مطابق شکل ۳ میباشد که معادل ۱۶۹۵ کیلووات ساعت تقاضای انرژی است.



شکل ۳- منحنی بار ریز شبکه در یک روز مشخص

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

باشد ضمن آنکه میانگین جوابهای بهینه با بهترین جواب بدست آمده در خصوص هر تابع هدف نیز کوچک می‌باشد. همچنین از شکل ۶ مشاهده می‌شود با اعمال همزمان دو هدف الگوریتم پیشنهادی FSAPSO پس از ۷۷۴ تکرار همگرا می‌گردد حال آنکه این مقادیر برای الگوریتم‌های PSO استاندارد و GA به ترتیب به ۸۶۱ و ۸۹۳ تکرار می‌رسد. جهت درک بهتر عملکرد روش پیشنهادی در خصوص حل مسئله بهینه سازی چند هدفه، جدول ۶ به ذکر نمونه‌ای از مدیریت بهرهبرداری بهینه از ریز شبکه با لحاظ اهداف اقتصادی و آلدگی و در حالت پایه پرداخته است. از نتایج شبیه‌سازی می‌دانست که در اولین ساعات روز بخش عمداتی از بار ریز شبکه توسط پیل سوختی و شبکه بالادست تأمین می‌گردد چراکه هزینه تولید توان توسط عناصر یاد شده (ضمن حفظ حداقل آلدگی) به نسبت پایین‌تر از سایرین است، حال آنکه با اوج گرفتن بار و بالا رفتن قیمت پیشنهادی بازار، واحدهای تولید پراکنده میزان تولید خود را با توجه به اولویت کمترین هزینه و آلدگی افزایش می‌دهند. از طرفی خرید انرژی از شبکه بالادست با فرایند فروش انرژی توسط کنترلر ریز شبکه و آنهم در ساعات اوج بار جایگزین می‌گردد تا به لحاظ اقتصادی عملکرد بهتری صورت پذیرد. به علاوه ملاحظه می‌گردد شارژ باتری‌ها در ریز شبکه در ساعات اولیه روز و با توجه به تعریفهای قیمتی پایین‌تری صورت می‌گیرد حال آنکه در ساعات بعدی روز و با رشد منحنی قیمت فرایند دشارژ انجام می‌شود.

بطور مشابه نتایج عددی شبیه‌سازی در حالت دوم و با توجه به هر یک از اهداف اقتصادی و آلدگی برای الگوریتم‌های سه‌گانه مطابق جداول ۷ و ۸ و منحنی‌های همگرایی آنها با اعمال توازن اهداف مطابق شکل ۷ می‌باشد.

جدول ۷- مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای ۵۰ تکرار
(Max. Rew-_n)
(با در نظر گرفتن تابع هدف هزینه- حالت پایه)

بهترین جواب (€ct)	بدترین جواب (€ct)	انحراف معیار (€ct)	میانگین (€ct)	روش بهینه‌سازی
125.909	125.921	0.0060	125.913	FSAPSO
126.201	164.170	26.848	145.185	PSO
125.911	210.457	36.228	151.886	GA

نتایج عددی شبیه‌سازی در حالت پایه و با توجه به هر یک از اهداف اقتصادی و آلدگی برای الگوریتم‌های سه‌گانه مطابق جداول ۴ و ۵ می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای ۵۰ تکرار

(با در نظر گرفتن تابع هدف هزینه- Main Case)

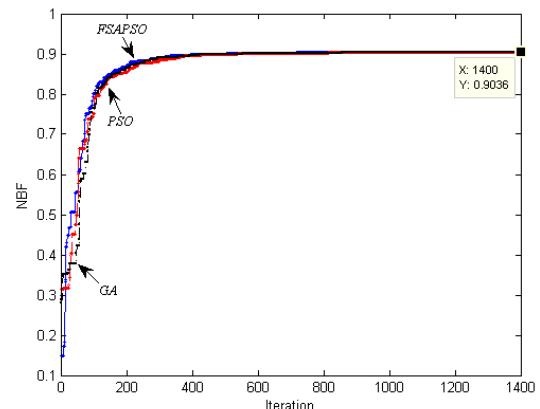
بهترین جواب (€ct)	بدترین جواب (€ct)	انحراف معیار (€ct)	میانگین (€ct)	روش بهینه‌سازی
125.909	125.921	0.0060	125.913	FSAPSO
126.201	164.170	26.848	145.185	PSO
125.911	210.457	36.228	151.886	GA

جدول ۵- مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای ۵۰ تکرار

(با در نظر گرفتن تابع هدف آلدگی- Main Case)

بهترین جواب (kg)	بدترین جواب (kg)	انحراف معیار (kg)	میانگین (kg)	روش بهینه‌سازی
422.015	422.025	0.0050	422.021	FSAPSO
422.013	490.890	32.635	449.448	PSO
422.015	680.330	89.251	506.776	GA

منحنی‌های همگرایی الگوریتم‌های سه‌گانه نیز در حل مسئله بهینه سازی مذبور با در نظر گرفتن هر دو هدف موجود برای حالت پایه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- منحنی‌های همگرایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در حل مسئله بهینه سازی دو هدف (هزینه/آلدگی)- حالت پایه

همانطوریکه از نتایج آماری موجود در جداول ۴ و ۵ پیداست، انحراف معیار جوابهای بدست آمده در ۵۰ تکرار تصادفی از الگوریتم FSAPSO بسیار کوچکتر از سایرین می‌باشد.

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۸- مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای ۵۰ تکرار

(Max. Rew - با در نظر گرفتن تابع هدف آводگی - حالت

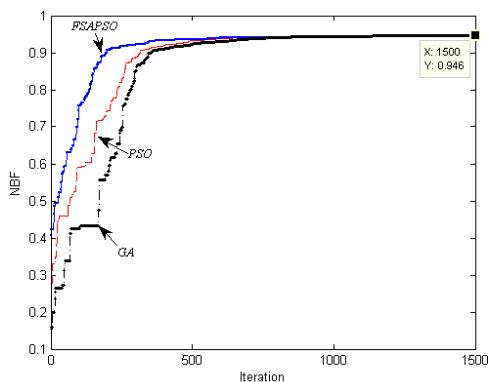
روش	بهینه‌سازی	میانگین (kg)	انحراف معیار (kg)	بسیارین جواب (kg)	بهترین جواب (kg)
FSAPS O		422.021	0.0050	422.025	422.015
PSO		449.448	32.635	490.890	422.013
GA		506.776	89.251	680.330	422.015

جدول ۶- تخصیص توانهای بهینه توسط الگوریتم FSAPSO با در نظر گرفتن اهداف هزینه و آводگی

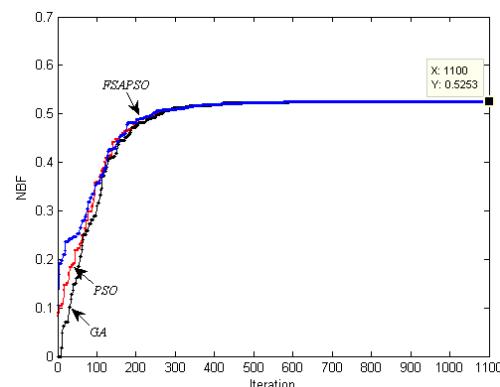
(حالت پایه: هزینه کل = ۱۹۱/۰۴۱۶ €ct و آводگی کل = ۷۲۱/۰۷۵۷ kg)

Time (Hour)	DG Sources						States					
	MT	PAFC	PV	WT	Battery	Utility	MT	PAFC	PV	WT	Battery	Utility
1	0	29.9829	0	0	-7.9827	29.9998	0	1	0	0	1	1
2	0	28.8507	0	0	-8.8507	30	0	1	0	0	1	1
3	0	28.1546	0	0	-8.1536	29.999	0	1	0	0	1	1
4	0	29.6293	0	0	-8.6293	29.9999	0	1	0	0	1	1
5	6	29.776	0	0	-9.776	30	1	1	0	0	1	1
6	6	27.3954	0	0	-0.3953	29.9999	1	1	0	0	1	1
7	6	19.427	0	0	14.5729	30	1	1	0	0	1	1
8	6	30	0	0	29.5719	9.4281	1	1	0	0	1	1
9	30	30	0	1.7855	30	-15.7856	1	1	0	1	1	1
10	30	30	7.5279	3.0854	30	-20.6133	1	1	1	1	1	1
11	30	30	9.2276	8.7723	30	-30	1	1	1	1	1	1
12	29.9999	30	3.5868	10.4133	30	-30	1	1	1	1	1	1
13	30	30	0	3.9224	30	-21.9225	1	1	0	1	1	1
14	30	30	9.6235	2.3765	30	-30	1	1	1	1	1	1
15	30	30	0	1.7855	30	-15.7857	1	1	0	1	1	1
16	30	30	0	1.3017	30	-11.3016	1	1	0	1	1	1
17	29.9993	30	0	0	29.9999	-4.9992	1	1	0	0	1	1
18	0	30	0	0	29.9991	28.0007	0	1	0	0	1	1
19	6	30	0	0	29.9998	24.0002	1	1	0	0	1	1
20	6.0007	29.9999	0	0	30	20.9995	1	1	0	0	1	1
21	30	30	0	1.2974	30	-13.2974	1	1	0	1	1	1
22	29.9964	30	0	0	30	-18.9966	1	1	0	0	1	1
23	0	30	0	0	18.0108	16.9892	0	1	0	0	1	1
24	0	19.1864	0	0	6.8135	30	0	1	0	0	1	1

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق



شکل ۸- منحنی های همگرایی الگوریتمهای بهینه سازی در حل مسئله بهینه سازی دو هدفه (هزینه /آلدگی)- حالت سوم (ULPE)



شکل ۷- منحنی های همگرایی الگوریتمهای بهینه سازی در حل مسئله بهینه سازی دو هدفه (هزینه /آلدگی)- حالت دوم (Max. Renw)

مجدداً مشاهده می‌گردد روش پیشنهادی FSAPSO به خوبی قادر است مسئله بهینه سازی مذکور را با توجه به هر یک از اهداف کاربری و یا تمامی آنها حل نماید ضمن آنکه سرعت همگرایی و پایداری مدل نسبت به سایرین نیز اولویت دارد. همچنین باید توجه داشت نتایج شبیه‌سازی با در نظر گرفتن هدف آلدگی در تمامی حالات تقریباً یکسان می‌باشد چراکه با صرف نظر از هزینه تولید توان واحد، تأمین بخش عمده‌ای از بار توسط واحدهای بادی و خورشیدی صورت می‌گیرد و مابقی آن توسط سایر واحدها با اولویت حداقل آلدگی آنها که مقادیر مشخصی هستند صورت می‌پذیرد (پیوست الف ملاحظه گردد).

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم بهینه‌سازی FSAPSO برای حل مسئله مدیریت بهره‌برداری چند هدفه طرح گردید و به اجرا گذاشته شد. روش مذکور به دلیل استفاده از یک مکانیزم فازی خود تطبیقی قادر بود پارامترهای ساختاری خود را در موقع نیاز بخوبی تنظیم نماید و به جوابهای مناسبتری در زمان کمتر دست یابد. به منظور ارزشیابی عملکرد مدل‌های پیشنهادی سه سناریوی مختلف طرح گردید و روش‌های مذکور در شبیه‌سازی آنها بکارگرفته شدند. نتایج نشان داد که استفاده گسترده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند سهم بسزایی در کاهش حجم آلدگی‌های ریز شبکه داشته باشد ضمن آنکه هزینه بهره‌برداری از آن را در کوتاه مدت افزایش

همانطوریکه از نتایج پیداست در حالت دوم به جهت استفاده حداکثر از واحدهای بادی و خورشیدی که دارای آلدگی کم و البته هزینه بالایی می‌باشند، هزینه بهره‌برداری از ریز شبکه به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد و رشدی معادل ۲۸۴/۸۱٪ نسبت به حالت پایه را تجربه می‌کند، اگرچه میزان آلدگی ریز شبکه بطور نسبی ۳۸/۹۲٪ کاهش می‌یابد. حال چنانچه نتایج حاصل از شبیه‌سازی حالت سوم را مد نظر قرار بدھیم (جداول ۱۰)، مشاهده می‌شود با ایجاد شرایط تبادل نامحدود توان، و با در نظر گرفتن هدف اقتصادی، هزینه بهره‌برداری از ریز شبکه کاهش یافته و افتی معادل ۱۲/۶٪ را نسبت به حالت پایه تجربه می‌کند.

جدول ۹- مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای ۵۰ تکرار (با در نظر گرفتن تابع هدف هزینه- حالت ULPE)

روش بهینه‌سازی	میانگین (€ct)	انحراف معیار (€ct)	بدترین جواب (€ct)	بهترین جواب (€ct)
FSAPSO	100.217	0.005657	100.213	100.221
PSO	108.207	11.17158	100.308	116.107
GA	117.134	23.83374	100.281	133.987

جدول ۱۰- مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای ۵۰ تکرار (با در نظر گرفتن تابع هدف آلدگی- حالت ULPE)

روش بهینه- سازی	میانگین (kg)	انحراف معیار (kg)	بدترین جواب (kg)	بهترین جواب (kg)
FSAPSO	408.3315	0.006364	408.336	408.327
PSO	413.7145	7.603519	408.338	419.091
GA	423.1640	20.98269	408.327	438.001

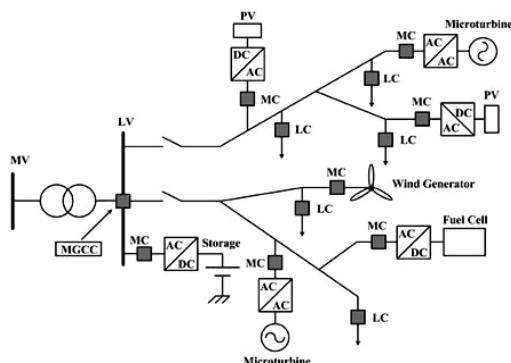
بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

International Conference on Neural Networks,
Perth, Australia, 1995, pp. 1942–1948.

پیوست الف

بطور کلی ریز شبکه به مجموعه‌ای از واحدهای تولیدی کوچک ($<500\text{kW}$) (P) به همراه سیستمهای ذخیره کننده انرژی و بارهایی اتلاف می‌شود که می‌توانند به تنها یی در یک شبکه بزرگتر عمل نمایند و کنترل خودگردان داشته باشند. از دیدگاه مصرف کنندگان ریز شبکه بصورت یک سیستم کاملاً مجزا و خود گردان می‌شود که تمامی نیازهای طرف مصرف اعم از تأمین انرژی، کیفیت توان و قابلیت اطمینان را به انجام می‌رساند و از دیدگاه شبکه قدرت بالادست ریز شبکه به صورت یک وجود وابسته به سیستم بهم پیوسته تولید و یا بار دیده می‌شود.

ریز شبکه نمونه‌ای که بعنوان شبکه تست در کار حاضر مورد استفاده قرار گرفته است بطور شماتیک در شکل الف-۱ نشان داده شده است. این ریز شبکه طیف وسیعی از منابع تولید پراکنده نظیر میکروتوربین (MT)، پیل سوختی (FC)، فتوولتائیک (PV)، توربین بادی (WT) و باتری (Batt) را پوشش می‌دهد ضمن آنکه از طریق یک خط ارتباطی دوطرفه قادر است با یک شبکه بالادست به تبادل انرژی بپردازد.



شکل الف-۱- ریز شبکه نمونه در سطح ولتاژ پایین

می‌دهد. همچنین برقرار نمودن یک امکان ارتباطی مناسب جهت تبادل توان میان دو شبکه قادر است بهره‌برداری از grid-riaz شبکه را در مد اتصال به شبکه بالادست (connected) از هر دو جنبه اقتصادی و آلودگی بهبود بخشد. به علاوه، نتایج عددی نشان داد روش پیشنهادی FSAPSO نه تنها قادر است مدیریت بهره‌برداری چند هدفه را بخوبی انجام دهد بلکه از سرعت همگرایی و پایداری بالایی برخوردار است.

۷- مراجع

- [1] A. Zangeneh, Sh. Jadid, A. Rahimi-Kian, Promotion strategy of clean technologies in distributed generation expansion planning, Renewable Energy, 34 (2009) 2765-2773.
- [2] M. Dicorato, G. Forte, M. Trovato, Environmental-constrained energy planning using energy-efficiency and distributed-generation facilities, Renewable Energy, 33 (2008) 1297-1313
- [3] A. Soroudi, M. Ehsan, H. Zareipour, A practical eco-environmental distribution network planning model including fuel cells and non-renewable distributed energy resources, Renewable Energy, 36 (2011) 179-188.
- [4] H. Jiayi, J. Chuanwen, X. Rong, A review on distributed energy resources and MicroGrid, J. Renew & Sust Energ Revi, 12(2008) 2472-2483.
- [5] N.W.A. Lidula, A.D. Rajapakse, Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems, J. Renew & Sust Energ Revi, 15(2011) 186-202.
- [6] K.Y. Lee, A.S. Yome, J.H. Park, Adaptive Hopfield neural networks for economic load dispatch, IEEE Trans. Power Syst. 13 (2) (1998) 519–526.
- [7] P.K. Hota, S.K. Dash, Multiobjective generation dispatch through a neurofuzzy technique, Electric Power Components Syst. 32 (2004) 1191–1206.
- [8] T. Jayabarathi, K. Jayabarathi, D.N. Jeyakumar, et al., Evolutionary programming techniques for different kinds of economic dispatch problems, Electric Power Syst. Res. 73 (2005) 169–176.
- [9] Z.-L. Gaining, Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints, IEEE Trans. Power Syst. 18 (3) (2003) 1187–1195.
- [10] J. Kennedy, R. Eberhart, Swarm Intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2001.
- [11] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle swarm optimization, IEEE Proceedings of the

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

جدول الف-۱- تخصیص توانهای بهینه توسط الگوریتم **FSAPSO** با در نظر گرفتن اهداف هزینه و آلودگی (حالت دوم: $\text{Max. Rew} = \text{Ect} = 440/418\text{kg}$ و $735/1564$ هزینه کل =

Time (Hour)	DG Sources						States					
	MT	PAFC	PV	WT	Battery	Utility	MT	PAFC	PV	WT	Battery	Utility
1	6.000848	30	0	1.785415	15	-0.78626	1	1	1	1	1	1
2	6	30	0	1.785542	30	-17.7855	1	1	1	1	1	1
3	0	30	0	1.785542	29.99932	-11.7849	0	1	1	1	1	1
4	6.000256	30	0	1.785542	30	-16.7858	1	1	1	1	1	1
5	6	30	0	1.78486	30	-11.7849	1	1	1	1	1	1
6	6	29.99972	0	0.914197	30	-3.91392	1	1	1	1	1	1
7	0	30	0	1.78553	30	8.21447	0	1	1	1	1	1
8	6.006675	30	0.193748	1.30166	30	7.497917	1	1	1	1	1	1
9	6	30	3.753957	1.779395	29.99965	4.467001	1	1	1	1	1	1
10	6.000621	30	7.527933	3.085416	30	3.386029	1	1	1	1	1	1
11	6	30	10.44118	8.772367	30	-7.21354	1	1	1	1	1	1
12	6	29.99589	11.96401	10.41328	30	-14.3732	1	1	1	1	1	1
13	6	29.99925	23.8934	3.922835	30	-21.8155	1	1	1	1	1	1
14	6.001254	30	21.0493	2.376556	30	-17.4271	1	1	1	1	1	1
15	6	30	7.864028	1.785542	30	0.35043	1	1	1	1	1	1
16	6	30	4.220769	1.300601	30	8.47863	1	1	1	1	1	1
17	6.006595	30	0.538905	1.785542	30	16.66896	1	1	1	1	1	1
18	6	30	0	1.785542	30	20.21446	1	1	1	1	1	1
19	6.002708	30	0	1.30166	30	22.69563	1	1	1	1	1	1
ادامه جدول الف-۱												
20	6	30	0	1.785542	30	19.21446	1	1	1	1	1	1
21	6	29.99932	0	1.30166	30	10.69902	1	1	1	1	1	1
22	0	30	0	1.300539	30	9.699461	0	1	1	1	1	1
23	0	30	0	0.914197	30	4.09322	0	1	1	1	1	1
24	6	30	0	0.612441	30	-10.6124	1	1	1	1	1	1

جدول الف-۲- تخصیص توانهای بهینه توسط الگوریتم **FSAPSO** با در نظر گرفتن اهداف هزینه و آلودگی (حالت سوم: $\text{ULPE} = \text{Ect} = 567/4380\text{kg}$ و $167/9624$ هزینه کل =

Time (Hour)	DG Sources						States					
	MT	PAFC	PV	WT	Battery	Utility	MT	PAFC	PV	WT	Battery	Utility
1	6.0118	18.6153	0	0	14.9266	12.44617	1	1	0	0	1	1
2	0	3.701	0	0	29.1897	17.11027	0	1	0	0	1	1
3	6	3	0	0	16.4219	24.57809	1	1	0	0	1	1
4	0	3.0624	0	0.0168	11.9654	35.95519	0	1	1	1	1	1
5	6	3	0	0	12.1335	34.86646	1	1	1	0	1	1
6	0	3	0	0	28.572	31.42766	0	1	0	0	1	1
7	6	19.9798	0	0	29.988	14.03204	1	1	1	0	1	1
8	6	29.8902	0	0	29.984	9.124852	1	1	0	0	1	1
9	29.80453	30	0.1212	1.784	29.9331	-15.64349	1	1	1	1	1	1
10	30	29.9985	7.5279	3.0854	29.9761	-20.58804	1	1	1	1	1	1
11	29.9704	29.999	10.44	8.7606	30	-31.17088	1	1	1	1	1	1
12	29.999	29.999	11.964	10.4118	30	-38.37439	1	1	1	1	1	1
13	29.993	30	0.1398	3.92283	30	-22.05595	1	1	1	1	1	1
14	30	29.9819	21.0493	2.3765	29.962	-41.37002	1	1	1	1	1	1
15	30	30	1.1581	1.78554	29.999	-16.943661	1	1	1	1	1	1
16	29.999	29.9298	0.4798	1.3013	29.9868	-11.697921	1	1	1	1	1	1
17	26.3174	29.999	0	1.7855	30	-3.1029835	1	1	0	1	1	1
18	6	29.825	0	0.296	29.9594	21.919201	1	1	0	1	1	1
19	0	29.779	0	0.3054	30	29.914723	0	1	1	1	1	1
20	6.4606	30	0	0.12515	30	20.414201	1	1	0	1	1	1
21	29.9927	30	0	1.2667	30	-13.2595	1	1	1	1	1	1
22	7.57668	30	0	0	30	3.4233101	1	1	0	0	1	1
23	0	26.434	0	0	30	8.5658216	0	1	0	0	1	1
24	6	28.382	0	0.02049	29.9984	-8.4010003	1	1	0	1	1	1