



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Smart Energy Management in a Micro-Grid Considering Demand Response Program

Parvizi-Mosaed, Mehdi ; Anvari-Moghaddam, Amjad; Ghasemkhani, Amir; Setareh, Mohammad; Rahimi-Kian, Ashkan

*Published in:*

Proceedings of the 27th International Power System Conference (PSC)

*Publication date:*

2012

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Parvizi-Mosaed, M., Anvari-Moghaddam, A., Ghasemkhani, A., Setareh, M., & Rahimi-Kian, A. (2012). Smart Energy Management in a Micro-Grid Considering Demand Response Program. In *Proceedings of the 27th International Power System Conference (PSC)* (pp. 1-8)

### 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](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## مدیریت انرژی هوشمند در یک ریزشبكة با در نظر گرفتن پاسخگویی بار

### 12-F-EEM-1365

مهدی پرویزی مساعد ، امجد انوری مقدم ، امیر قاسم خانی ، محمد ستاره ، اشکان رحیمی کیان

دانشگاه تهران ، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ، آزمایشگاه شبکه‌های هوشمند

تهران ، ایران

واژه‌های کلیدی: سیستم مدیریت انرژی هوشمند، بهینه سازی چند هدفه، ریزشبكة، پاسخگویی بار

#### چکیده

ریز شبکه مفهومی است که در آن منابع انرژی تجدید پذیر و بالقوه موجود مانند باد، انرژی خورشید و غیره به همراه منابع تولیدی مرسوم نظیر پیل‌های سوختی و میکروتوربین‌ها، یافت می‌شود که نه تنها با هم رابطه برقرار می‌نمایند بلکه این ارتباط به سایر شبکه‌های بزرگتر در رده توزیع نیز کشیده می‌شود. از طرفی تمامی این منابع تولید پراکنده به همراه سیستم‌های ذخیره کننده انرژی دارای قدرت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی تولید و ذخیره انرژی هستند.

در این مقاله یک سیستم مدیریت انرژی چند هدفه به منظور بهینه‌سازی عملکرد ریز شبکه در کوتاه مدت ارائه می‌شود. به علت غیرخطی بودن ماهیت مسأله و قیود حاکم بر آن، از روش بهینه‌سازی چند هدفه غیرخطی مبتنی بر ضرایب وزن‌دهی استفاده شده است. در این الگوریتم با توجه به وضعیت واحدهای تولیدی پاسخگویی بار، یک برنامه ریزی مناسب جهت توزیع بهینه منابع انرژی در ریز شبکه نمونه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و آلودگی‌صورت می‌گیرد. در مدل‌سازی ریزشبكة‌ی مذکور از تکنولوژی‌های مختلف نظیر توربین بادی، میکروتوربین، سلول خورشیدی، پیل سوختی،

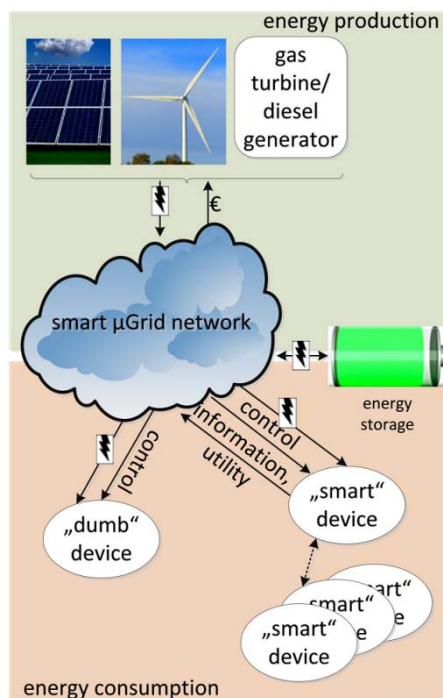
باتری و دیزل ژنراتور استفاده شده است و حضور آن در بازار خدمات جانبی به صورت رزرو چرخان مدل‌شده است.

#### ۱- مقدمه

افزایش میزان مصرف انرژی در سال‌های اخیر و تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از این مصرف به یکی از نگرانی‌های اساسی بشر در قرن ۲۱ تبدیل شده است. در این دوره نیاز به روش‌های برای حل این معضل بیش از پیش احساس می‌گردد. روش‌های موجود شامل افزایش بازدهی در صنعت، کاهش تلفات خانگی و تجاری و اصلاح اصول مدیریت انرژی می‌باشد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که حدود ۲۰ تا ۳۰٪ انرژی مصرفی بدون نیاز به تغییرات در ساختار فیزیکی سیستم و تنها به وسیله‌ی عملکرد بهینه و مدیریت شده کاهش داد. یکی از روش‌های کاهش تلفات و پاسخ به نیاز مصرف کنندگان و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده از تولیدات پراکنده مخصوصاً منابع تجدید پذیر مانند باد و نور می‌باشد. به همین دلیل در سال‌های اخیر ریزشبكة‌ها به عنوان مفهومی جدید عرضه شده‌اند [۱-۳]. منابع تولید انرژی می‌تواند شامل پیل سوختی، سلول‌های خورشیدی،

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

اصلی‌ترین قسمت‌های این سیستم به شمار می‌آیند. ماژول پیش‌بینی توان با استفاده از اطلاعات محیطی مانند شدت تابش، دما، سرعت باد و غیره توان خروجی واحدهای تجدیدپذیر را تعیین می‌کند. ذخیره‌سازهای موجود در ریزشبكة بر اساس اندازه‌ی پنل‌های خورشیدی به صورت ماتریسی به یکدیگر متصل می‌شوند به منظور مدیریت این ذخیره‌سازها از ماژول مدیریت ذخیره‌سازها استفاده می‌شود. وظیفه‌ی این ماژول تعیین سیگنال‌های کنترلی واحدهای ذخیره‌ساز بر اساس حالت شارژ و مقدار هزینه‌ی ناشی از آن می‌باشد. در نهایت تمامی واحدها و مقادیر پیش‌بینی شده در یک ماژول بهینه‌سازی قرار می‌گیرند و خروجی این ماژول نقاط مرجع هر از واحدها بر اساس بهینه‌سازی توابع می‌باشد [6-7].



شکل ۱- معماری سیستم مدیریت انرژی هوشمند

### ۳- فرمول‌بندی مسئله

اساس طرح ریزشبكة‌ی مورد نظر برنامه‌ریزی واحدهای موجود برای تامین بار می‌باشد. انرژی از طریق منابع تولیدی که شامل شبکه، میکروتوربین، پنل خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور، پیل سوختی و باتری در بازه

توربین بادی، باتری، میکروتوربین و دیزل ژنراتور باشد. همچنین ریزشبكة‌ها می‌توانند به صورتی مدیریت شوند که با شبکه تبادل توان داشته باشد به این صورت از نظر فنی و اقتصادی به صرفه‌تر می‌باشد. علاوه بر حضور منابع تولید انرژی در ریزشبكة استفاده از بارهای قابل کنترل در اصلاح برنامه مصرف از قابلیت‌های ریزشبكة به حساب می‌آیند. حضور برنامه‌های پاسخگویی بار از طریق تامین زیرساخت مخابراتی و اندازه‌گیری ریزشبكة‌ها امکان پذیر شده‌اند [4-5].

این مقاله در ۵ بخش تنظیم شده است که در قسمت اول سعی بر این است که در سیستم مدیریت انرژی در یک ریزشبكة معرفی گردد. در قسمت دوم تلاش می‌گردد که فرمول‌بندی توابع هدف با در نظر گرفتن قیود فنی و زیست محیطی موجود توضیح داده شود. سپس در قسمت سوم یک ریزشبكة‌ی نمونه ارائه می‌گردد و تکنولوژی‌های ریزشبكة در آن قرار می‌گیرند. در قسمت چهارم این دو هدف به وسیله‌ی روش بهینه‌سازی چند هدفه بهینه می‌شوند و نتایج برنامه‌ریزی واحدها با حضور در بازار رزور و برنامه‌ی پاسخگویی بار به دست می‌آید.

### ۲- سیستم مدیریت انرژی هوشمند

در شکل ۱ یک سیستم مدیریت انرژی هوشمند را مشاهده می‌کنید. هدف اصلی این سیستم تعیین نقاط مرجع برای تمامی منابع تولیدی و ذخیره‌سازها از طریق بهینه‌سازی اقتصادی، زیست محیطی و غیره می‌باشد. به علت تصادفی بودن پدیده‌هایی مانند شدت تابش، سرعت باد، تغییرات دما و غیره ماژول‌هایی برای کنترل این پدیده‌ها و تخمین اولیه برای آنها در نظر گرفته شده است. بنابراین سیستم مدیریت انرژی برنامه‌ی تامین انرژی یک ریز شبکه را در طول ۲۴ ساعت انجام می‌دهد. یک سیستم مدیریت انرژی هوشمند توانایی عملکرد در محیط بازار، پیش‌بینی توان خروجی واحدهای تجدیدپذیر، پیش‌بینی بار و مشارکت پاسخگویی بار را داراست. ماژول‌های پیش‌بینی، مدیریت ذخیره‌سازها و بهینه‌سازی از

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

ی ۲۴ ساعت تامین می‌شود. اهداف اصلی بهینه‌سازی حداقل کردن هزینه‌ی پرداختی به وسیله‌ی مصرف‌کنندگان و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. در خروجی طرح‌های مشابه در صورتی که تنها حداقل کردن هزینه‌ها مدنظر باشد استفاده از ادوات ارزان قیمت افزایش می‌یابد که در این حالت به وسیله‌ی تابع هدف حداقل کردن انتشار آلاینده‌ها می‌توان خروجی طرح‌هایی را به دست آورد که از هر لحاظ مطلوب می‌باشند. خروجی مسئله‌ی بهینه‌سازی چند هدفه مقادیر بهینه‌ی واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن خرید و فروش به شبکه می‌باشد. هم‌چنین مقادیر مرجع به عنوان مقادیر اولیه به مسئله داده می‌شود زیرا در این مسائل مقادیر بهینه به شدت به مقادیر مرجع اولیه وابسته می‌باشند. در زیر توابع هدف اقتصادی و زیست محیطی فرمول‌بندی می‌شوند:

تابع هزینه کل: تابع هزینه شامل توابع هزینه‌ی هر یک از واحدهای تولیدی، هزینه‌ی راه اندازی، هزینه‌ی منابع ذخیره‌ی انرژی و تبادل با شبکه و هزینه‌ی شرکت در برنامه پاسخگویی بار می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{Min } TC(P) &= \sum_{t=1}^T \{ \text{cost}_{DG}(t) + ST_{DG}(t) + \text{cost}_{ESS}(t) + \text{cost}_{Grid}(t) + \text{cost}_{DR}(t) \} \\ &= \sum_{t=1}^T \{ \sum_{i=1}^L [u_i(t) P_{Gi}(t) B_{Gi}(t) + S_{Gi} |u_i(t) - u_i(t-1)|] \\ &\quad + \sum_{j=1}^M [u_j(t) P_{essj}(t) B_{essj}(t)] + u_{Buy}(t) P_{Grid}(t) B_{Grid\_Buy}(t) \\ &\quad - u_{Sell}(t) P_{Grid}(t) B_{Grid\_Sell}(t) + P_{DR}(t) B_{DR}(t) \} \end{aligned} \quad (1)$$

که  $T$  بیانگر کل ساعات مورد مطالعه،  $M$  و  $L$  به ترتیب بیانگر تعداد واحدهای تولیدی و ذخیره‌کننده انرژی،  $u_i(t)$  وضعیت واحد  $i$ ام در زمان  $t$ ام (خاموش یا روشن بودن)،  $P_{sj}(t)$  و  $P_{Gi}(t)$  میزان توان خروجی واحد  $i$ ام و ذخیره‌کننده  $i$ ام در زمان  $t$ ،  $B_{sj}(t)$  و  $B_{Gi}(t)$  قیمت انرژی پیشنهادی واحد  $i$ ام و ذخیره‌کننده  $i$ ام در زمان  $t$ ،  $S_{Gi}(t)$  هزینه راه‌اندازی و یا خاموش کردن واحد  $i$ ام و در نهایت  $P_{Grid}(t)$ ،  $B_{Grid\_Buy}(t)$  و  $B_{Grid\_Sell}(t)$  میزان توان مبادله‌ای با بازار و قیمت پیشنهادی برای خرید از شبکه و قیمت پیشنهادی برای فروش به شبکه در زمان  $t$ ام می‌باشد.

تابع انتشار گازهای آلاینده: تابع انتشار گازهای آلاینده شامل توابع میزان آلودگی ناشی از هر یک از واحدهای تولیدی و منابع ذخیره‌ی انرژی و میزان آلودگی ناشی از شبکه هنگام خرید از آن می‌باشد.

$$\begin{aligned} TE(P) &= \{ \text{emission}_{DG}(t) + \text{emission}_{ESS}(t) + \text{emission}_{Grid\_Buy}(t) \} \\ &= \left\{ \sum_{i=1}^L [u_i(t) P_{Gi}(t) E_{Gi}(t)] + \sum_{j=1}^M [u_j(t) P_{essj}(t) E_{essj}(t)] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{t=1}^T [P_{Grid}(t) E_{Grid}(t)] \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

در تابع آلودگی  $E_{Gi}(t)$  و  $E_{essj}(t)$  و  $E_{Grid}(t)$  بیانگر میزان آلودگی ناشی از واحد تولیدی  $i$ ام، ذخیره‌کننده  $j$ ام و بازار در زمان  $t$  و بر حسب  $kg/MWh$  می‌باشد و تعریف سایر پارامترها همانند قبل است.

## ۳-۱-۳ قیود حاکم بر سیستم

در این بهینه‌سازی تعدادی از قیود و محدودیت‌ها بر توابع هدف حاکم می‌باشد که در زیر به تک تک آنها می‌پردازیم:

## ۳-۱-۱-۱ قیود تعادل بار و تولید

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^L P_{Gi}(t) + \sum_{j=1}^M P_{essj}(t) + u_{Buy}(t) P_{Grid}(t) - u_{Sell}(t) P_{Grid}(t) &= P_{Demand} \\ -u_{curtail}(t) P_{curtail}(t) - u_{diff\_Req}(t) P_{diff}(t) + u_{diff\_nonReq}(t) P_{diff}(t) & \end{aligned} \quad (3)$$

که  $P_{Demand}$  میزان بار مصرفی در زمان  $t$ ام می‌باشد.  $P_{curtail}$  و  $u_{curtail}$  میزان توان و زمان شرکت در برنامه‌ی قطع بار،  $P_{diff}$ ،  $u_{diff}$ ،  $u_{diff\_nonReq}$  و  $u_{diff\_Req}$  میزان توان منتقل شده و زمان انجام انتقال و زمان بازگشت توان می‌باشد.

## ۳-۱-۲ ظرفیت توانی واحدها و شبکه

تمامی واحدها اعم از تولیدات پراکنده (DG)، ذخیره‌کننده‌ها و شبکه دارای حد پایین و بالایی برای توان تولیدی خود می‌باشند.

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

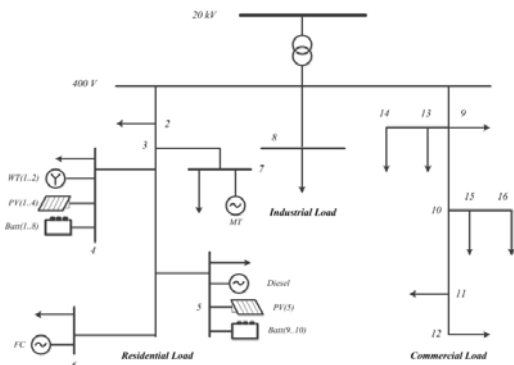
## ۳-۱-۵ شرکت در بازار رزرو

در این حالت سعی می‌شود که ظرفیتی از منابع تولید برای بازار رزور در نظر گرفته شود. به همین منظور میزان رزور موجود را مطابق با بزرگترین واحد ریز شبکه فرض می‌کنیم:

$$\sum_{i=1}^L \{P_{\max,i} - P_i(t)\} + \sum_{j=1}^M \{P_{\max,j} - P_{\text{essj}}(t)\} + (P_{\max,grid} - P_{grid}(t)) \geq \max(P_i(t), P_{\text{essj}}(t), P_{grid}(t)) \quad (V)$$

## ۴- ساختار ریز شبکه

ریز شبکه ترکیبی از تکنولوژی‌های تولیدات پراکنده شامل توربین بادی، میکروتوربین، سلول خورشیدی، پیل سوختی، باتری و دیزل ژنراتور است که نه تنها با هم رابطه برقرار می‌نمایند بلکه این ارتباط به سایر شبکه‌های بزرگتر در رده توزیع نیز کشیده می‌شود. تمامی این منابع تولید پراکنده دارای قدرت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی تولید انرژی هستند و در کنار آن‌ها سیستم‌های ذخیره کننده انرژی دارای توانایی برنامه‌ریزی تولید و ذخیره انرژی می‌باشند. طرح برنامه‌ریزی‌های موجود و ارائه اقدامات کنترلی توسط کنترلرهای محلی ریز شبکه‌ها و در رده بالاتر توسط کنترل مرکزی ریز شبکه صورت می‌پذیرد. همان طوری که در شکل ۲ دیده می‌شود ریز شبکه ی نمونه دارای سه فیدر تجاری، خانگی و صنعتی می‌باشد. هم‌چنین علاوه بر منابع تولید پراکنده قابلیت تبادل انرژی با شبکه‌ی بالادستی را نیز دارا می‌باشد. آنچه در ریز شبکه‌ها اهمیت دارد زیرساختار اندازه‌گیری و مخابراتی موجود می‌باشد که امکان ارتباط دو طرفه را در آن میسر کرده است.



شکل ۲- ریز شبکه مورد مطالعه

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

## ۳-۱-۳ کنترل باتری

$$\begin{aligned} Q_j(t) &= Q_j(t-1) - \frac{1}{\eta_{Dj}} u_{Dj}(t) P_{\text{essj}}(t) + \eta_{Cj} u_{Cj}(t) P_{\text{essj}}(t) \\ u_{Dj}(t) + u_{Cj}(t) &\leq 1 \\ Q_{\min} &\leq Q_j(t) \leq Q_{\max} \\ Q_j(1) &= Q_e \end{aligned} \quad (5)$$

معادله‌ی اول نشان دهنده‌ی ظرفیت باتری در هر ساعت می‌باشد که بسته به میزان شارژ و دشارژ در هر ساعت برای ساعت بعد می‌تواند تغییر کند و معادله‌ی دوم نشان دهنده‌ی این است که در هر ساعت تنها می‌تواند باتری شارژ یا دشارژ شود و امکان رخ دادن همزمان آن‌ها بی‌معنی است.  $Q_j(t)$  و  $Q_j(t-1)$  بیانگر میزان شارژ ذخیره کننده در زمان فعلی و قبلی می‌باشد و  $\eta_{Dj}$  و  $\eta_{Cj}$  به ترتیب بازدهی مبدل در زمان دشارژ و شارژ می‌باشد.

## ۳-۱-۴ پاسخگویی بار

مدلسازی پاسخگویی بار در این مسئله به دو صورت بارهای قابل انتقال و قابل قطع می‌باشد. به عبارتی دیگر این برنامه بارها را به دو دسته ی با ارزش بالا و ارزش پایین تقسیم می‌کند. به طوری که در بارهای با ارزش پایین مانند تهویه‌ی هوا قیمت پیشنهادی کمتر از بارهای با ارزش بالا می‌باشد. در این مدلسازی برخی از بارها در قسمت خانگی قابلیت شرکت در برنامه‌ی  $DLC$  را نیز دارند به همین منظور برنامه قابلیت قطع کردن این بارها را داراست.

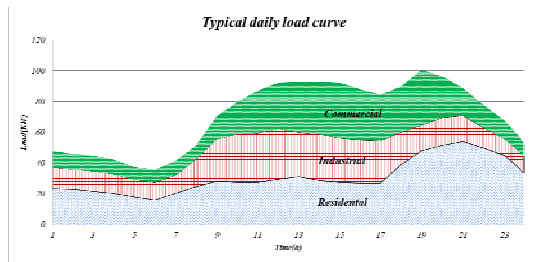
$$\begin{aligned} P_{\text{curtail},\min}(t) &\leq P_{\text{curtail}}(t) \leq P_{\text{curtail},\max}(t) \\ P_{\text{diff},\min}(t) &\leq P_{\text{diff}}(t) \leq P_{\text{diff},\max}(t) \\ \{u_{\text{diff\_Req}}(t) P_{\text{diff}}(t) - u_{\text{diff\_nonReq}}(t) P_{\text{diff}}(t)\} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

معادله‌ی بالا نشان دهنده‌ی این است که میزان توان قابل انتقال در طول بازه‌ی  $T$  بایستی صفر باشد.

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

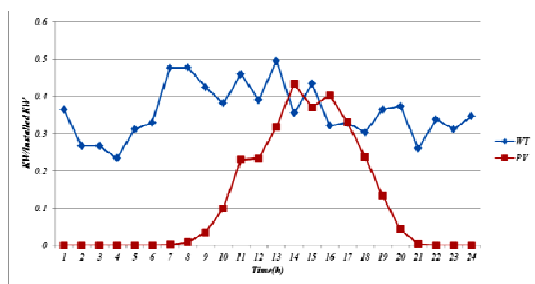
جدول ۲- پیشنهادهای قیمت واحدهای تولید پراکنده [۵]

Type	ai(Ect/kWh)	bi(Ect/h)	Start-up/Shut-down cost(Ect)
MT	4.37	85.06	9
PAFC	2.84	255.18	16
D	3	20	0
PV	54.84	0	0
WT	10.63	0	0
Bat	0	4.43	0



شکل ۳- منحنی بار روزانه [۵]

در جدول ۲ پیشنهادهای قیمت تولیدات پراکنده و هزینه ی راه اندازی و خاموش کردن واحدها آورده شده است. به منظور ساده کردن برنامه ریزی فرض می‌شود که منابع تولیدی و بارهای مصرفی تنها بارهای الکتریکی هستند و از در نظر گرفتن بارهای حرارتی خودداری کردیم. میزان توان خروجی پنل خورشیدی و توربین بادی بر اساس مقادیر پیش بینی شده در [۵] بر حسب توان نصب شده در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- توان خروجی پیش بینی شده واحدهای خورشیدی و بادی [۵]

در جدول ۳ میزان تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از هر یک از تولیدات پراکنده و شبکه آورده شده است. اطلاعات بازار از  $ApX$  گرفته شده است که طبق شکل ۵ می‌باشد.

## ۵- بحث و شبیه‌سازی

شبکه توزیع نمونه‌ی شکل ۲ به عنوان شبکه‌ی تست در این مقاله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این شبکه سه فیدر خانگی، تجاری و صنعتی قرار دارد. برای سه فیدر موجود منحنی بار برای یک روز به صورت شکل ۳ می‌باشد. کل انرژی مصرفی در طول روز برابر با  $1705 kWh$  می‌باشد و ضریب قدرت بارهای صنعتی و تجاری را  $0/85$  پس فاز در نظر می‌گیریم. شایان ذکر است که توان راکتیو مورد نیاز بارها از طریق خازن گذاری در باس‌های مربوطه و به صورت محلی جبران می‌شود. در این شبکه تکنولوژی‌های توربین بادی، میکروتوربین، سلول خورشیدی، پیل سوختی، باتری و دیزل ژنراتور حضور دارند که مشخصات نصب شده و تعداد آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. در این شبکه بیشتر تولیدات پراکنده در فیدر خانگی نصب شده‌اند و فرض می‌شود که تمامی تولیدات پراکنده توان با ضریب قدرت ۱ را تولید می‌کنند. در شبکه‌ی نمونه ۱۰ باتری با ظرفیت  $16 kWh$  در نظر گرفته شده است که با توجه به فیدر خانگی بودن ماکزیمم توان شارژر بر اساس  $230$  ولت و  $16$  آمپر بودن سیستم برق رسانی خانگی تقریباً برابر با  $4 kW$  فرض می‌شود. هم چنین حالت شارژ مینیمم و ماکزیمم برای باتری‌ها برابر با  $10\%$  و  $100\%$  ظرفیت باتری می‌باشد و بازدهی شارژ و دشارژ مبدل این باتری‌ها برابر با  $0/94$  فرض می‌شود [۵، ۸، ۹]. باتری‌های موجود در دو باس شماره ۴ و ۶ در کنار توربین بادی و پنل‌های خورشیدی و دیزل ژنراتور در باس ۷ نصب شده‌اند.

جدول ۱- منابع تولید پراکنده نصب شده و شبکه [۵]

Type	Min. Power(kW)	Max. Power(kW)	Number
MT	6	30	1
PAFC	3	30	1
D	0	30	1
PV	0	25	5
WT	0	15	2
Bat	-4	4	10
Grid	-70	70	1

## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

می‌شود:

$$\mu_{f_i}(X) = \begin{cases} 1 & , f_i(X) \leq f_i^{\min} \\ 0 & , f_i(X) \geq f_i^{\max} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i(X)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & , f_i^{\min} \leq f_i(X) \leq f_i^{\max} \end{cases} \quad (8)$$

که در آن  $f_i^{\max}$  و  $f_i^{\min}$  به ترتیب حد پایینی و بالایی تابع هدف نام هستند، که در روش پیشنهاد شده این مقادیر با استفاده از نتایج بهین‌سازی هر تابع هدف به صورت جداگانه بدست می‌آیند. برای هر جمعیت داخل ذخیره کننده مقدار تابع عضویت نرمالیزه شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

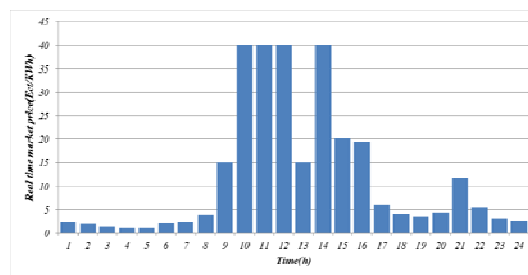
$$N\mu(j) = \frac{\sum_{k=1}^n \omega_k \times \mu_{f_k}(X_j)}{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \omega_k \times \mu_{f_k}(X_j)} \quad (9)$$

که در آن  $m$  تعداد جوابهای غالب می‌باشد و  $\omega_k$  ضریب  $k$ امین تابع هدف است که معمولاً یک در نظر گرفته می‌شود. در روش دسته‌بندی فازی جوابها براساس مقدار تابع عضویت مرتب می‌شوند و سپس بهترین آنها برای ذخیره شدن در ذخیره کننده انتخاب می‌شوند.

به منظور تکمیل یک طرح برنامه‌ریز هوشمند که قادر باشد بسته به شرایط مختلف تصمیمات مناسب را اتخاذ نماید حضور چند فاکتور الزامی است: اول آنکه طرح پیشنهادی جامع و منعطف باشد؛ یعنی قابلیت انطباق با هر تغییر شرایط و یا اعمال نظر را دارا باشد. دوم آنکه چند هدفه باشد؛ بدان معنی که در مسیر رسیدن به جواب یا جوابهای بهینه، تعداد معینی از اهداف را بسته به نظر کاربران و شرایط مسأله مد نظر قرار دهد و سوم آنکه در حل یک مسأله بهره‌برداری تا حد امکان شرایط نزدیک به واقعیت را مدل نماید و برای مدل پیشنهادی جواب مناسب و در زمان کافی ارائه دهد. بدین منظور فرض می‌شود مجدداً ریز شبکه نمونه در مد اتصال با شبکه بالادست قرار دارد و تمامی واحدها مجازند بنا به شرایط در ساعاتی از شبانه‌روز در مدار حضور داشته باشند و یا خاموش باقی بمانند؛ به عبارتی دیگر تمامی تولید کنندگان اینک علاوه بر هزینه و آلودگی ناشی از تولید توان،

جدول ۳- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای هر از منابع تولید

Type	CO <sub>2</sub> (kg/MWh)	SO <sub>2</sub> (kg/MWh)	NO <sub>x</sub> (kg/MWh)
MT	720	0.0036	0.1
FC	460	0.003	0.0075
D	650	0.23	10
PV	0	0	0
WT	0	0	0
Batt	10	0.0002	0.001
Grid	950	0.5	2.1



شکل ۵- منحنی قیمت بازار [۵ApX]

برنامه‌ی پاسخگویی بار به دو صورت بارهای قابل انتقال و قابل قطع می‌باشد که بر اساس اهمیت به دو دسته‌ی با ارزش بالا و پایین تقسیم می‌شود. بر این اساس بارهایی مانند تهویه به عنوان بارهای با ارزش پایین می‌باشند که توانایی قطع شدن را دارا می‌باشند قیمت در نظر گرفته برای آنها  $13/8 \text{ Ect/h}$  می‌باشد. بارهایی مانند لباسشویی و ظرفشویی بارهای قابل انتقال می‌باشند که به عنوان بار با ارزش پایین تلقی می‌شود و قیمت شرکت آنها در برنامه پاسخگویی بار  $6/9 \text{ Ect/h}$  می‌باشد. به طور کلی حدود ۵ درصد بارهای خانگی بارهای قابل قطع و ۲ درصد کل بارها را بارهای قابل انتقال قرار می‌دهیم [۲].

برنامه‌ریزی واحدها به وسیله‌ی برنامه‌ریزی مختلط صحیح (Mixed Integer Programming) حل شده است که solver آن CPLEX می‌باشد [۱۰]. همانطوری که پیشتر عنوان شد توابع هدف موجود در مسأله بهینه‌سازی پیشنهادی تناسبناپذیر هستند و لذا نیاز است از یک روش دسته بندی مبتنی بر تکنیک فازی برای کنترل اندازه‌ذخیره کننده استفاده شود. در این روش یک تابع عضویت فازی برای تشخیص بهترین جواب استفاده می‌شود و تابع عضویت برای هر تابع هدف به صورت زیر تعریف



## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

مسیر *Pareto* به معنای تغییر الگوی بهره‌برداری از آلودگی کمتر و هزینه بیشتر به آلودگی بیشتر و هزینه پایین‌تر می‌باشد. جدول ۴ به بیان نمونه‌ای از تخصیص توان بهینه توسط الگوریتم بهینه‌سازی در بهترین الگوی بهره‌برداری با در نظر گرفتن هر دو هدف می‌پردازد که در واقع نماینده نقطه نشان داده شده بر منحنی دسته جوابهای کلی در شکل ۷ می‌باشد.

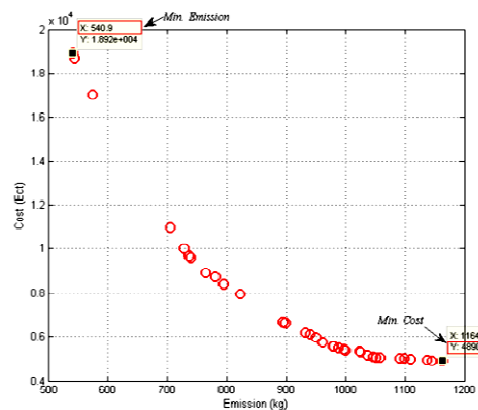
## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله مسأله بهره‌برداری از یک ریز شبکه نمونه به صورت یک تابع بهینه‌سازی با دو هدف غیر همسان پیاده‌سازی شد که در آن هزینه کل بهره‌برداری از ریز شبکه و میزان آلودگی ناشی از آلاینده‌ها به طور همزمان مد نظر قرار گرفت. برای عملکرد بهتر ریز شبکه فرض شد امکان تبادل انرژی با شبکه بالادست وجود دارد ضمن آنکه طرف مصرف می‌تواند در مدیریت تولید و مصرف انرژی مشارکت فعال داشته باشد. جهت رسیدن به جواب یا مجموعه جواب‌های بهینه از روش ضرایب وزنی و تکنیک فازی استفاده گردید. از نتایج شبیه‌سازی مشاهده شد مدل بهینه‌سازی پیشنهادی نه تنها ساختاری ساده دارند بلکه در رسیدن به جوابهای بهینه از قدرت بالایی نیز برخوردار است. همچنین ملاحظه شد که بکارگیری توابع هدف چندگانه در مسأله بهره‌برداری سبب ایجاد نقاط مانور و پیاده‌سازی سناریوهای مختلف می‌گردد که بسته به آنها در هر شرایط می‌توان تصمیمات مناسب را اتخاذ و اعمال نمود.

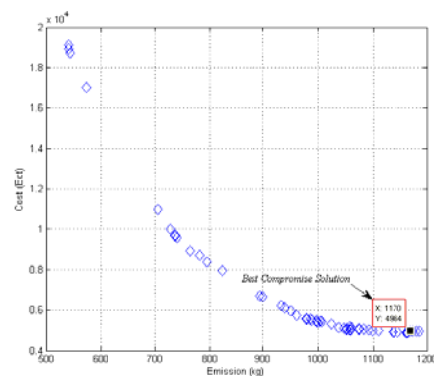
## ۷- مراجع

- [1] H. Jiayi, J. Chuanwen, X. Rong, A review on distributed energy resources and MicroGrid, J. Renew & Sust Energ Revi, 12(2008) 2472-2483.
- [2] A. Zangeneh, Sh. Jadid, A. Rahimi-Kian, Promotion strategy of clean technologies in distributed generation expansion planning, Renewable Energy, 34 (2009) 2765-2773.
- [3] M. Dicorato, G. Forte, M. Trovato, Environmental-constrained energy planning using

متحمل هزینه‌ای بابت روشن و یا خاموش شدن می‌باشند و از این رو نیاز است در مدلسازی تابع هزینه، تغییر وضعیت واحدها نیز لحاظ گردد. همچنین با در نظر گرفتن توابع هدف مختلف از آنجایی که هیچ جوابی نمی‌تواند تمامی توابع هدف را به طور همزمان بهینه کند، مجموعه از جوابهای بهینه به عنوان *optimal pareto set* جهت بهره‌برداری از شبکه معرفی می‌شوند به گونه‌ای که هر یک از جوابهای موجود در مجموعه جوابهای بدست آمده بیانگر یک الگوی بهره‌برداری خاص و نوعی تغییر کاربری سیستم بر مبنای وزن‌دهی به اهداف مختلف می‌باشد.



شکل ۶- دسته جوابهای کلی حاصل از حل مسأله بهینه‌سازی چند هدفه



شکل ۷- منحنی جوابهای بهینه (Pareto دو بعدی) حاصل از روش پیشنهادی

از آنجایی که اهداف اقتصادی و زیست محیطی در مسأله بهره‌برداری مذکور در تقابل با یکدیگر می‌باشند، حرکت از نقاط ابتدایی نمودارها به سمت نقاط انتهایی آنها و بر



## بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

[7] R. Bhuvaneswari, S.K. Srivastava, C.S. Edrington, D.A. Cartes, S. Subramanian, Intelligent Agent Based Auction by Economic Generation Scheduling for Microgrid Operation,

[8] K.C. Nyns, E. Haesen, J. Driesen, The impact of charging Plug-In Hybrid Electric Vehicle on a residential distribution grid, IEEE Trans. on Power Sys., 25(1), 2010.

[9] سید محمد شهرآئینی، بهینه سازی جامع سیستمهای

مدیریت ناحیه گسترده در سیستمهای قدرت، پایان نامه

دکتری دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۰

energy-efficiency and distributed-generation facilities, Renewable Energy, 33 (2008) 1297-1313

[4] 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.

[5] A.G. Tsikalakis, N. D. Hatziargyriou, Centralized Control for Optimizing Microgrids Operation, IEEE Trans. on energyconv, 23(1), 2008.

[6] C. Chen, S. Duan, T. Cai, B. Liu, G. Hu, Smart energy management system for optimal microgrid economic operation, IET Ren. Power Gen., 2010 doi: 10.1049/iet-rpg.2010.0052

جدول ۴-تخصیص توان‌های بهینه‌ی با در نظر گرفتن اهداف آلودگی و زیست محیطی (هزینه‌کل =  $€ct = 4890$  و آلودگی‌کل =  $1164kg$ )

Time	DG sources						Demand response		States			
	$P_{MT}$	$P_{FC}$	$P_{Batt4}$	$P_{Batt6}$	$P_{Grid}$	$P_{DG}$	$P_{diff}$	$P_{curtail}$	$U_{diff\_Req}$	$U_{MT}$	$U_{FC}$	$U_{DG}$
1	0	0	0	0	38	0	0.96	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	38.9	0	0.92	0	0	0	0	1
3	0	0	-4	-0.217	70	0	0.9	0	0	0	0	1
4	0	0	-4	-0.58	70	0	0.86	0	0	0	0	1
5	0	0	-4	-4	67.58	0	0.74	0	0	0	0	1
6	0	0	3.4	-2.725	0	0	0.7	0	0	1	0	1
7	6	0	-2.72	-3.797	43.43	0	0.82	0	0	1	0	1
8	6	0	-4	-4	17.33	30	1.04	0	0	1	0	1
9	6	30	0	0	-39.3	30	-1.42	-3.55	1	1	1	1
10	30	30	4	4	-52.53	30	-1.6	-4	1	1	1	1
11	30	30	4	4	-53.1	30	-1.76	-4.4	1	1	1	1
12	30	30	4	4	-48	30	-1.84	-4.6	1	1	1	1
13	30	30	3.319	3.319	-53.13	30	-1.86	-4.65	1	1	1	1
14	30	30	0	0	-46.63	30	-1.86	-4.65	1	1	1	1
15	30	30	0	0	-44.25	30	-1.86	-4.65	1	1	1	1
16	30	30	-4	-4	-43.21	30	-1.76	-4.4	1	1	1	1
17	30	0	-4	-4	-5.6	30	0	0	1	1	0	1
18	6	0	-4	-4	48.86	30	1.8	0	0	1	0	1
19	6	0	-3.319	-3.319	65	30	2.02	0	0	1	0	1
20	23.78	0	4	4	0	30	0	0	1	1	0	1
21	30	0	4	4	-11	30	0	0	0	1	0	1
22	30	0	4	4	-23.78	30	0.76	0	0	1	0	1
23	6	0	3.319	3.319	0	24.79	1.36	0	0	1	0	1
24	0	0	1.702	1.702	29.38	0	1.08	0	0	1	0	1