



برنامه ریزی بهینه ریز شبکه های مبتنی بر منابع انرژی گسترده

هژیر هوشیاری،

دانشگاه کردستان

سنندج، ایران

حسن بیورانی

دانشگاه کردستان

سنندج، ایران

صلاح بهرام آرا

دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج

سنندج، ایران

چکیده

امروزه با توجه به بالا بودن تلفات شبکه انتقال و توزیع برق و افزایش آلودگی های زیست محیطی و کاهش منابع سوخت های فسیلی، استفاده کردن از منابع تولید پراکنده برای تأمین بار بصورت محلی راه حل بسیار مناسبی است. ترکیب منابع پراکنده و بارهای محلی به عنوان ریز شبکه ها دارای مزایای اقتصادی و فنی است. برنامه ریزی بهینه ریز شبکه ها با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی و بار مصرفی مسئله مهمی برای ریز شبکه ها است. هدف اصلی این مقاله برنامه ریزی بهینه ریز شبکه ها با در نظر گرفتن مسئله بهره برداری و برنامه های پاسخگویی بار است. نتایج برای ۳۶۵ روز در سال برای بارهای صنعتی، تجاری و مسکونی و با لحاظ گرفتن برنامه های تشویقی دولت برای منابع تجدید پذیر انجام شده است. مدل ارائه شده با استفاده از الگوریتم اجتماع پرندگان حل شده است.

واژگان کلیدی: ریز شبکه، پاسخگویی بار، طراحی بهینه، بهره برداری بهینه، ریز شبکه های مشروط (موقت)

۱. مقدمه

بالا بودن تلفات، بحران انرژی، هزینه های بالای احداث و افزایش ظرفیت خطوط انتقال، مسائل و مشکلات زیست محیطی ناشی از استفاده ی بالا از سوخت های فسیلی، چالش های پیش روی شبکه های قدرت است. پیدایش مولدهای انرژی مقیاس کوچک مانند میکرو توربین ها، سیستم های خورشیدی و توربین های بادی فرصت تازه ای را برای اصلاح و بهبود فرایند تأمین انرژی الکتریکی فراهم آورده است. تولید با تکیه بر منابع مقیاس کوچک و گسترده و تأمین مجموعه ای از بارهای محلی (نزدیک به منابع) در قالب ریزشبکه راه حل مناسب می باشد.

ریزشبکه مجموعه ای متمرکز شده از منابع و بارها می باشد که در حالت عادی به صورت متصل به شبکه فعالیت می کند و قابلیت قطع ارتباط با شبکه اصلی را نیز دارا می باشد که به صورت ایزوله از شبکه اصلی فعالیت خود را ادامه می دهد.

از میان مسائل ریزشبکه ها مسئله طراحی بهینه و برنامه ریزی بلندمدت احداث ریزشبکه از اهمیت بالایی برخوردار است. مسئله طراحی بهینه در ریزشبکه شامل تخصیص بهینه منابع گسترده، یافتن ظرفیت بهینه هر یک از اجزا، یافتن حداقل هزینه احداث ریزشبکه، حداکثر سازی میزان خودمصرفی ریزشبکه می باشد. با توجه به مسائل مطرح شده می توان گفت مسئله طراحی بهینه در ریزشبکه انجام بررسی و تحلیل اقتصادی و فنی جهت رسیدن به بهترین ترکیب منابع با ترکیب و تعداد و ظرفیت بهینه و برنامه ریزی و زمان بندی عملکرد بهینه اجزا و حداقل سازی هزینه های احداث با رعایت قیود فنی می باشد.

موضوع حائز اهمیت دیگری که می توان در بحث طراحی بهینه ریزشبکه در نظر گرفت، بررسی و اعمال برنامه ی پاسخگویی بار می باشد. پاسخگویی بار به طور کلی به عنوان مشارکت مصرف کنندگان کوچک در بازار برق، روبرو شدن آن ها با قیمت های لحظه ای بازار و پاسخگویی به آن تعریف می شود. به طور کلی هدف از پاسخگویی بار، کاهش مصرف برق در ساعات بحرانی می باشد. به طور کلی، پاسخگویی بار می تواند شکل مصرف انرژی الکتریکی را به نحوی تغییر دهد که بار پیک سیستم کاهش یافته و مصارف به ساعات غیر پیک منتقل شوند.

در زمینه برنامه ریزی ریزشبکه کارهای بسیار زیادی انجام شده است. در بسیاری از مقالات برنامه ریزی فقط برای بار پیک انجام شده و در بقیه مقالات بار به صورت چند سطحی در نظر گرفته است. اما با توجه به وجود منابع انرژی تجدید پذیر در فضای شبکه های هوشمند و در ریزشبکه ها و تغییرات بسیار زیاد این منابع در روز و در دوره های زمانی مختلف، باید مدل جدیدی برای مسئله برنامه ریزی ریزشبکه ها ارائه شود که مسئله بهره برداری را نه فقط برای بار پیک و یا چند سطح بار بلکه با جزئیات بیشتر و در حد بار روزانه بتواند مدل کند. بنابراین در این مقاله مدل جامعی برای مسئله برنامه ریزی ریزشبکه ها ارائه شده که مسئله بهره برداری را نیز به طور دقیق مدل کرده است که یکی از نوآوری های این مقاله محسوب می شود. همچنین برنامه های پاسخگویی بار نیز در مسئله برنامه ریزی ریزشبکه ها مدل شده است که در کارهای قبلی به چشم نمی خورد. یکی دیگر از نوآوری های این پایان نامه برنامه ریزی ریزشبکه برای بارهای مختلف مسکونی، تجاری و صنعتی است. چون الگوی مصرفی این بارها متفاوت است و الگوی تابش خورشید و وزش باد نیز در طول سال بسیار تغییر است.

مزیدی و همکاران به مسئله برنامه ریزی ریزشبکه پرداخته اند و میزان اثرگذاری پاسخگویی بار را بررسی کرده اند اما این برنامه ریزی فقط برای ۲۴ ساعت شبانه روز بوده است (Mazidi, 2014). زکریا زاده و همکاران روشی ریاضی جهت برنامه ریزی بهینه در ریزشبکه ارائه داده اند که برنامه پاسخگویی بار نیز در مدل آمده است و این برنامه ریزی جهت تأمین بار در ۲۴ ساعت شبانه روز می باشد (Zakariazadeh and jadidi, 2014). الگوی برنامه ریزی بهینه ریزشبکه جهت حضور در بازار خرده فروشی انرژی با در نظر گرفتن اثر پاسخگویی بار در بازه ی زمانی ۲۴ ساعت شبانه روز توسط آگرانی و همکاران ارائه شده است، (Algrani and kankar 2009).

آند نیز مسئله ساینینگ و تخصیص بهینه منابع را برای یک ریزشبکه بدون اثر پاسخگویی بار و جزئیات بهره برداری مورد بررسی قرار داده است (Anand et al, 2015). ایمیلیو و همکاران در (Emilio and et al, 2015) تحلیلی فنی و اقتصادی جهت ساینینگ بهینه و

مدیریت یک ریزشبه هوشمند در ۲۴ ساعت شبانه روز بدون در نظر گرفتن برنامه پاسخگویی بار انجام داده اند. طراحی بهینه یک ریزشبه شامل سیستم تولید هم زمان برق و حرارت برای بازه ۷۲ ساعته بدون اثر پاسخگویی بار در (Zidan and et al, 2015) انجام گرفته است.

پس از تعریف مسئله و جمع آوری اطلاعات راجع به مسئله طراحی بهینه در ریزشبه و بررسی پیشنهادیه تحقیق و مروری بر کارهای قبلی انجام شده در زمینه طراحی بهینه ریزشبه، انتخاب نمونه مورد مطالعه اقدام بعدی می باشد. سپس با در نظر گرفتن سه نوع الگوی بار (مسکونی، تجاری و صنعتی) و بررسی الگوی بار مربوطه و همچنین اقدام به جمع آوری داده های هواشناسی منطقه مورد نظر جهت تخصیص نوع منابع تجدید پذیر گام بعدی می باشد. سپس با توجه به میزان سرمایه، شرایط آب و هوایی منطقه، نوع الگوی بار و مشخص شدن نوع منابع، با استفاده از منابع موجود و اجرای برنامه پاسخگویی بار مسئله طراحی بهینه با استفاده از روش بهینه سازی ازدحام ذرات حل خواهد شد.

۲. مدل سازی مسئله

۲.۱. الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

در این پروژه که هدف طراحی بهینه ریزشبه با در نظر گرفتن برنامه پاسخگویی بار می باشد، از روش بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شده است که برنامه در محیط نرم افزار متلب خروجی های بهینه را تولید می کند. روش بهینه سازی ازدحام ذرات، عضوی از روش های هوش جمعی است که در سال ۱۹۹۵ توسط ابرهات و کندی با شبیه سازی رفتار اجتماعی پرندگان به عنوان یک بهینه ساز معرفی شد. از مزایای این الگوریتم می توان به پیاده سازی آسان، سرعت همگرایی بالا، انعطاف پذیری و عدم نیاز به حافظه زیاد، پیچیدگی محاسبات پایین و عدم نیاز به اطلاعات گرادینان تابع هدف اشاره کرد. کارایی این الگوریتم در حل بسیاری از مسائل بهینه سازی به اثبات رسیده است. بهینه ساز اجتماع ذرات با یک جمعیت از جواب های تصادفی شروع به کار می کند، سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مسئله با به روز کردن مکان ذره ها به جستجو می پردازد. با فرض D بعدی بودن فضای جستجو، ذره i ام با یک بردار D بعدی به صورت $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})^T$ قابل نمایش است. سرعت این ذره (تغییر مکان در فضای جستجو)، با یک بردار D بعدی به صورت $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})^T$ نمایش داده می شود. بهترین مکان دیده شده در موقعیت های قبلی ذره i ام به صورت $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})^T$ بیان می شود. از پارامتر g برای نمایش بهترین ذره جمعیت استفاده می شود. از این رو بهترین موقعیت دیده شده در کل جمعیت با بردار $P_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD})^T$ ارائه می شود. در هر مرحله از حرکت جمعیت، سرعت و مکان هر ذره بعد از یافتن دو مقدار بهترین (P_g, P_i) طبق روابط ۱-۳ و ۲-۳ به روز می شود.

$$v_{id}(t+1) = w \cdot v_{id}(t) + c1 \cdot rand(p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c2 \cdot Rand(p_{gd}(t) - x_{id}(t)) \quad (1)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad d = 1, 2, \dots, D$$

که در رابطه (۱) w ، وزن اینرسی در بازه $[0, 1]$ ، $c1$ و $c2$ ضرایب یادگیری یا شتاب زده در بازه $[1, 2]$ (که معمولاً $c1=c2$ در نظر گرفته می شود) و $Rand, rand$ اعداد تصادفی در بازه $[0, 1]$ و N بیان کننده تعداد ذرات است. همچنین مقدار نهایی سرعت هر ذره برای جلوگیری از واگرایی الگوریتم به یک بازه محدود مشخص می شود، $V_{id} \in [-V_{max}, V_{max}]$. شرط خاتمه الگوریتم، همگرایی آن یا توقف بعد از تعداد معینی از تکرار است.

۲/۲. مدل سازی اجزای ریزشبکه

در ریزشبکه مورد مطالعه بار مورد نظر با استفاده از ترکیبی از انرژی دریافتی از سیستم خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور و سیستم قدرت تأمین خواهد شد. همچنین در ریزشبکه مورد مطالعه برنامه پاسخگویی بار اجرا شده است.

سیستم خورشیدی

توان خروجی سیستم خورشیدی با معادله (۳) قابل محاسبه می باشد.

$$P_{pv} = P_{pv, rated} \times \eta_{mmpt} \times \frac{G}{1000} \quad (3)$$

در معادله (۳)، G میزان تابش عمودی بر یک آرایه بر حسب وات بر مترمربع بیان شده است. پارامتر $P_{pv, rated}$ توان نامی هر آرایه در تابش عمودی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع می باشد و η_{mmpt} میزان بازدهی مدل DC/DC و سیستم ردیابی نقطه حداکثر توان می باشد.

توربین بادی

توان خروجی سیستم بادی با معادله زیر قابل بیان می باشد (Hakimi and tafreshi, 2014):

$$\begin{cases} 0 & V < V_{cut-in}, V > V_{cut-off} \\ P_{wg} - \max \times \left(\frac{V - V_{cut-in}}{V_{rated} - V_{cut-in}} \right)^3 & V_{cut-in} < V < V_{rated} \\ P_{wg} - \max \times \frac{P_{furl} - P_{rated}}{V_{cut-off} - V_{rated}} \times (V - V_{rated}) & V_{rated} < V < V_{cut-off} \end{cases}$$

دیزل ژنراتور

دو نوع دیزل ژنراتور در طراحی در نظر گرفته شده اند که هزینه بهره برداری دیزل ژنراتورها بر حسب توان خروجی آن ها با استفاده از معادله ۵ قابل محاسبه می باشد.

$$C_{DG} = P_{DG}^2 \times \gamma + P_{DG} \times \beta + \alpha \quad (5)$$

۲/۳. پاسخگویی بار

شرکت کنندگان در اجرای برنامه پاسخگویی بار گروه های متفاوتی از مصرف کنندگان می باشند که بر اساس رفتار و الگوی مصرف متفاوت به سه دسته مسکونی، تجاری و صنعتی تقسیم بندی می شوند.

بار صنعتی

مصرف کنندگان صنعتی معمولاً با بارهای بسیار بزرگ و تقاضای بالا از بارهای مسکونی و تجاری تفکیک می شوند. از آنجایی که هر کارخانه دارای بیش از یک خط تولید می باشد، قطعی بار در هر کدام از خطوط هزینه متفاوت را در بر خواهد داشت. پس بسته مناسب پیشنهادی به مصرف کنندگان صنعتی، بسته های چند پله ای می باشند.

هم چنین L_k^i, O_k^i به ترتیب قیمت پیشنهادی و میزان کاهش بار تأیید شده به وسیله مصرف کننده در گام k ام و مصرف کننده i ام می باشد. L_{min}^i و L_k^i به ترتیب حداکثر و حداقل میزان کاهش بار در گام k ام و توسط مصرف کننده i ام می باشد. $DR(IC)^E(i, t)$ و $C(IC)^{DR}(i, t)$ به ترتیب مجموع کاهش بار برنامه ریزی شده و هزینه مربوطه در گام زمانی t ام توسط مصرف کننده ی (صنعتی) i ام می باشد.

(۶)

$$L_{min}^i \leq L_1^i \leq L_1^i$$

(۷)

$$DRC_t^i = \sum_k L_k^i \times O_k^i$$

(۸)

$$DR(CC)^E(j, t) \leq L_{i,t}^{max}$$

(۹)

$$C(IC)^R(i, t) = DR(IC)^R(i, t) \times q_{i,t}^R$$

که در آن $L_{i,t}^{max}$ حداکثر کاهش بار برنامه ریزی شده در گام t ام توسط مشترک i ام می باشد.

بار تجاری

از میان شرکت کنندگان در برنامه پاسخگویی بار، مصرف کنندگان تجاری معمولاً بیشترین تقاضا برای شرکت در برنامه پاسخگویی بار و کاهش مصرف خود را دارند. معادلاتی که به وسیله آنها رفتار بارهای تجاری قابل بیان می باشند در زیر آمده اند.

$$DR(CC)^E(j, t) \leq DR(CC)(j, t)^{max} \quad (10)$$

$$C(CC)^E(j, t) = DR(CC)^E(j, t) \times q_{j,t}^E \quad (11)$$

متغیر $b=1,2,3,...,B$ مشترکین تجاری شرکت کننده در برنامه پاسخگویی بار را مشخص می کند. $DR(CC)_{j,t}^{max}$ حداکثر کاهش بار برنامه ریزی شده برای مشترک j ام در گام زمانی t ام می باشد. هم چنین $q_{j,t}^E$ قیمت واحد کاهش بار برنامه پاسخگویی بار می باشد. $C(CC)^E(j, t)$ هم هزینه پرداختی به مشترک بابت کاهش بار برنامه پاسخگویی در گام زمانی t ام توسط مشترک تجاری j ام می باشد.

بار مسکونی

با توجه به مصرف بالا در بخش های صنعتی و تجاری، محققان زیادی بر روی مدیریت مصرف در بخش خانگی تمرکز کرده اند. در هر حال بخش خانگی را باید به عنوان بخشی که تجارب بسیار زیادی در زمینه مدیریت مصرف به دست آمده است، به حساب آورد.

$$DR(RC)^E(n, t) \leq DR(RC)(n, t)^{max} \quad (12)$$

$$C(RC)^E(n, t) = DR(RC)^E(n, t) \times q_{n,t}^E \quad (13)$$

متغیر $n=1,2,3,...,N$ مشترکین مسکونی شرکت کننده در برنامه پاسخگویی بار را مشخص می کند. $DR(RC)_{n,t}^{max}$ حداکثر کاهش بار برنامه ریزی شده برای مشترک j ام در گام زمانی t ام می باشد. هم چنین $q_{n,t}^E$ قیمت واحد کاهش بار برنامه پاسخگویی بار به وسیله مشترک مسکونی می باشد. $C(RC)^E(n, t)$ هم هزینه پرداختی به مشترک بابت کاهش بار برنامه پاسخگویی در گام زمانی t ام توسط مشترک مسکونی j ام می باشد.

۲.۴. تابع هدف

در ریزشبه مورد مطالعه بار مورد نظر با استفاده از ترکیبی از انرژی دریافتی از سیستم خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور و سیستم قدرت تأمین خواهد شد. همچنین در ریزشبه مورد مطالعه برنامه پاسخگویی بار اجرا شده است. هزینه اولیه شامل خرید تجهیزات و مولدهای در نظر گرفته شده و خرید دیماند مورد نظر از شبکه قدرت می باشد. هزینه بهره برداری سالانه شامل مجموع پرداختی به شبکه توزیع، هزینه خرید سوخت و پرداختی به مشترکین بابت اجرای صحیح برنامه پاسخگویی بار می باشد.

$$F = \sum_i NPC_i + OC + NPC_{buy} + DRC + ENS \quad (14)$$

ارزش خالص کنونی با NPC تعریف شده است که برای تک تک اجزا به صورت جداگانه به دست می آید. همچنین OC هزینه های بهره برداری ریزشبه می باشد. NPC_{buy} ارزش خالص هزینه پرداختی بابت خرید از شبکه را محاسبه می کند. DRC هزینه ای که بهره بردار بابت اجرای برنامه پاسخگویی بار به مشترکین پرداخت می کند را محاسبه می کند. همچنین ENS هزینه پرداختی به مشترک بابت انرژی تأمین نشده می باشد. پارامتر i هم نشان دهنده تجهیزات می باشد.

$$NPC_i = N_i \times C C_i + R C_i \times k(ir, L_i, y_i) + O \& M_i \frac{1}{CRF(ir, R)} \quad (15)$$

$$OC = \sum_{j=1,2,\dots} OC_{DG} \quad (16)$$

$$OC_{DG} = \sum_{t=1,2,\dots,T} P_{DG}^2 \times \gamma + P_{DG} \times \beta + \alpha \quad (17)$$

$$DRC = C^{DR}(n, t) = \sum_{t=1}^T P^{DR}(n, t) \times q_{n,t}^E \quad (18)$$

متغیر N تعداد (واحد) یا ظرفیت (کیلووات) اجزای ریزشبه را مشخص می کند و $C C_i$ هزینه اولیه بابت خرید بر حسب دلار بر تعداد یا دلار بر کیلووات می باشد و $R C_i$ هزینه جایگزینی تجهیز بر حسب دلار بر واحد یا دلار بر کیلووات می باشد و همچنین هزینه نگهداری تجهیز با $O \& M_i$ بر حسب دلار بر سال در تابع هدف گنجانده شده است.

$$k(ir, L_i, y_i) = \sum_{n=1}^{y_i} \frac{1}{(1+ir)^{n \times L_i}} \quad (19)$$

$$n \times L_i \leq R \quad (20)$$

L و Y به ترتیب عمر مفید تجهیز و تعدادی از جزء i ام که باید در مدت طول عمر مفید تجهیز جایگزین شود را مشخص می کنند. ir نرخ بهره را مشخص می کند که تابعی از نرخ بهره اسمی و f نرخ تورم می باشد و به وسیله معادله (۱۹) بیان شده است. همچنین R مدت زمان در نظر گرفته شده برای پروژه می باشد.

NPC_{buy} هزینه خالص پرداختی بابت خرید از شبکه می باشد که مجموع آن در طول بازه زمانی $t=1,2,\dots,T$ با اثر دادن نرخ سود و بهره بانکی با استفاده از معادله (۲۱) قابل محاسبه می باشد. P_{buy}^t و C_{buy}^t به ترتیب توان خریداری شده از شبکه در زمان t ام و قیمت واحد خرید برق از شبکه اصلی می باشد. همچنین رعایت قید حداکثر ظرفیت خرید از شبکه در تمامی ساعات بهره برداری رعایت شود که معادله (۲۳) این قید را نشان می دهد. همچنین معادله (۲۲) قید تعادل توان را در ریزشبه نشان می دهد که اختلاف بار درخواستی از مجموع توان تولیدی، خریداری شده و صرفه جویی شده برابر با میزان انرژی تأمین نشده می باشد.

(۲۲)

$$ir = \frac{(ir_{nominal} - f)}{(1 + f)}$$

(۲۳)

$$CRF(ir, R) = \frac{ir(1 + ir)^R}{(1 + ir)^R - 1}$$

(۲۴)

$$NPC_{buy} = \left(\sum_{t=1}^T P_{buy}^t \times C_{buy}^t \right) \times \frac{1}{CRF(ir, R)}$$

(۲۵)

$$P_L^t - (P_{buy}^t + \sum_{i=1}^n P_{DG}^t + P_{wt}^t + P_{pv}^t + P_{DR}^t) = ENS^t$$

(۲۶)

$$0 \leq P_{buy}^t \leq P_{buy}^{max}$$

(۲۷)

$$ENS = \left(\sum_{t=1}^T P_{cur}^t \times C_{cur}^t \right) \times \frac{1}{CRF(ir, R)}$$

(۲۸)

(۲۹)

$$P_{DG}^{min} \leq P_{DG}^t \leq P_{DG}^{max} \quad \forall t$$

(۳۰)

$$DR(n, t) \leq DR(n, t)^{max}$$

(۳۱)

$$0 \leq ENS^t \leq ENS_{max}^t$$

معادله (۲۴) هزینه ی پرداختی بابت انرژی تأمین نشده (ENS) را بیان می کند و P_{cur}^t و C_{cur}^t به ترتیب توان تأمین نشده در ساعت t ام و قیمت واحد توان تأمین نشده در همان گام زمانی را مشخص می کند.

۳. مطالعات عددی

برنامه ریزی بهره برداری و سائزینگ بهینه برای سناریوهایی با بازه های زمانی متفاوت در طول یک سال اجرا شده است. سناریوهایی که منحنی بار آن ها برنامه ریزی و تأمین بار برای برنامه ریزی بهینه انجام شده است عبارت اند از ۲۴ ساعت یک شبانه روز، میانگین ۵۴ هفته در یک سال، ۳۶۵ روز یک سال که در این مقاله فقط نتایج مربوط به سناریوی ۳۶۵ روز سال آورده شده اند. متناظر با این بازه های زمانی میانگین تابش و میانگین سرعت باد جهت محاسبه توان تولیدی سیستم خورشیدی (صفحه خورشیدی و شارژ کنترلر و مبدل و باتری) و توربین بادی مورد استفاده قرار گرفته اند. هزینه اولیه سیستم خورشیدی و توربین بادی به ترتیب به ازای هر سیستم ۳۰۰ وات خورشیدی و ۲۲۰۰ وات توربین بادی به ترتیب ۳۰۰ و ۴۰۰۰ دلار در نظر گرفته شده و هزینه نگهداری آن ها به ترتیب ۱۰ و ۵۰ دلار در سال می باشد. طول عمر مفید سیستم خورشیدی ۲۰ سال و توربین بادی ۲۰ سال در نظر گرفته شده است که به دلیل برابر بودن طول عمر توربین بادی و سیستم خورشیدی با مدت زمان پروژه، هزینه جایگزینی این دو تجهیز در مدل در نظر گرفته نشده است. نرخ تورم و میزان بهره بانکی به ترتیب بر اساس آمارهای بانک مرکزی ۱۱/۹ و ۲۰ درصد [۸] و طول عمر پروژه ۲۰ سال در نظر گرفته شده است.

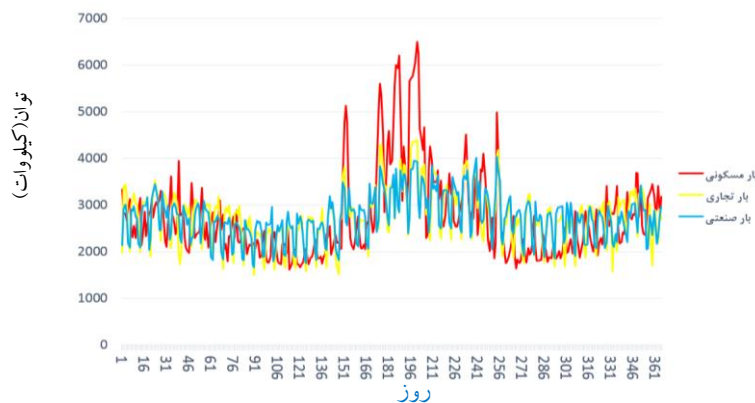
جدول ۱: مشخصات فنی و قیود فنی و اقتصادی دیزل ژنراتورها

	ضرایب هزینه			قیود فنی	
	α	β	γ	P_{min}	P_{max}
DG 1	۰/۱۸۴	۰/۰۹۱	۰/۰۰۶۱	۳۰	۳۰۰
DG 2	۰/۲۲۱	۰/۱۴۲	۰/۰۰۵۶	۴۰	۴۰۰

جدول ۱ مشخصات و قیود فنی و اقتصادی دیزل ژنراتورها را نشان می دهد و طول عمر مفید دیزل ژنراتورها ۱۰ سال و هزینه اولیه برای دیزل ژنراتورها به ترتیب برابر ۳۰۰۰ و ۳۵۰۰ دلار در نظر گرفته شده و همین هزینه برای هزینه جایگزینی آن ها در نظر گرفته شده است.

تأمین سه نوع بار در ۳۶۵ روز سال

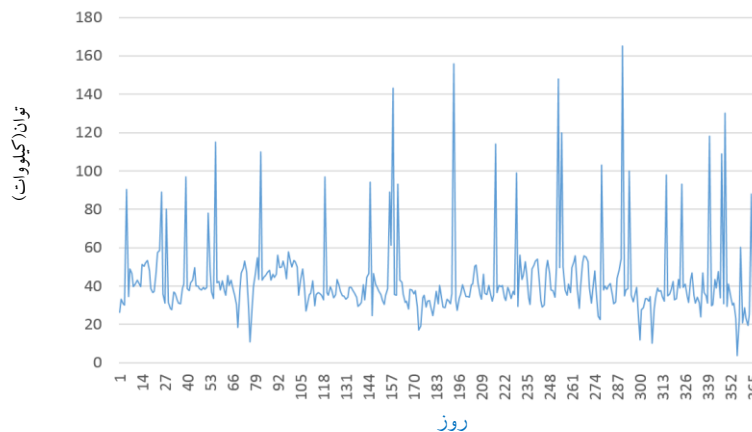
در این قسمت به تأمین سه نوع بار مسکونی، تجاری و صنعتی بر اساس داده های روزانه در طول یک سال می پردازیم. در اینجا هدف یافتن سایزینگ و بهره برداری بهینه از ریزشیکه جهت تأمین منحنی بار در ۳۶۵ روز سال می باشد که الگوی بار سه مشترک مسکونی، تجاری و صنعتی متفاوت بوده اما مجموع انرژی مصرفی آن ها در طول سال برابر می باشد که الگوی بار سه مشترک در شکل ۴-۵۴ آمده است.



شکل ۱: میانگین بار روزانه در ۳۶۵ روز سال برای سه نوع مشترک مسکونی، تجاری و صنعتی (برحسب کیلووات ساعت)

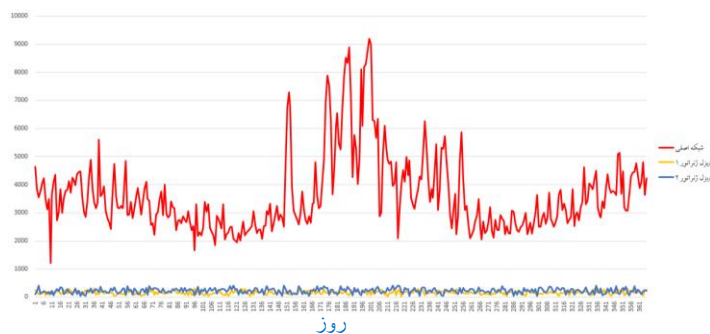
بار مسکونی

داده های ورودی مسئله از قبیل میانگین قیمت انرژی، میانگین روزانه سرعت باد و میانگین تابش روزانه می باشند که میانگین قیمت انرژی در شکل ۲ آمده است.

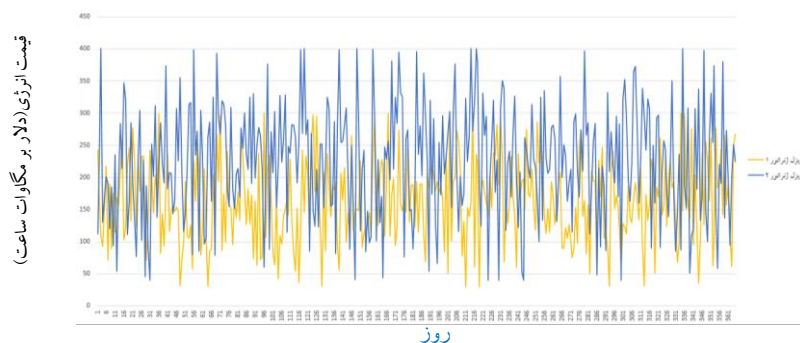


شکل ۲: قیمت میانگین روزانه انرژی در طول یک سال

شکل‌های ۳ الی ۷ به ترتیب خرید توان از شبکه توزیع و توان تولیدی دیزل ژنراتور، میزان کاهش مصرف ناشی از برنامه پاسخگویی بار، میزان انرژی تولیدی توسط توربین بادی و میزان انرژی تولیدی توسط سیستم خورشیدی را نشان می‌دهد. پیک مصرف مشترکین مسکونی در روزهای فصل گرما می‌باشد که دلیل آن می‌تواند استفاده از وسایل سرمایشی در این فصل باشد و همچنین دو دره موجود در منحنی بار مشترکین مسکونی مربوط به فصول بهار و پاییز می‌باشد.

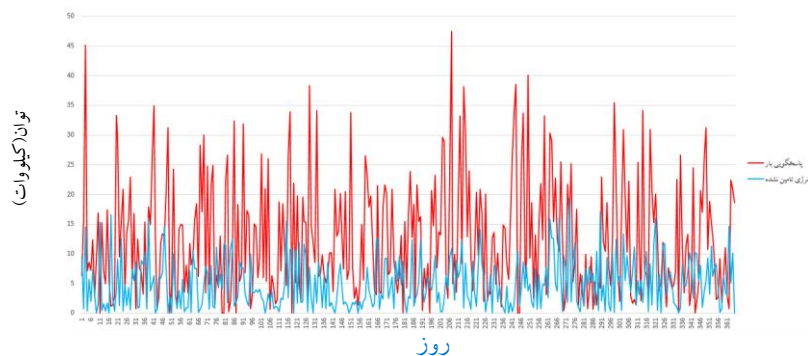


شکل ۳: میزان خرید از شبکه قدرت و توان تولیدی دیزل ژنراتور جهت تأمین بار خانگی در ۳۶۵ روز یک سال

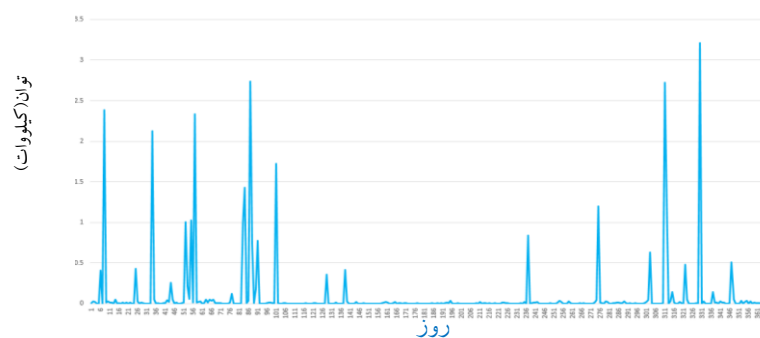


شکل ۴: میزان توان تولیدی توسط دیزل ژنراتورها

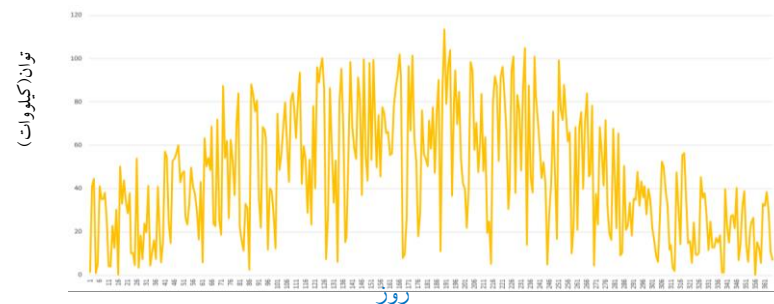
در روزهایی از سال که قیمت خرید از شبکه توزیع بالا بوده (تقریباً بیشتر از ۱۰۰ دلار به ازای هر مگاوات ساعت) دیزل ژنراتور ۲ بر روی حداکثر توان خود باید فعالیت کند.



شکل ۵: میزان کاهش مصرف ناشی از اجرای برنامه پاسخگویی بار و انرژی تأمین نشده



شکل ۶: میزان توان تولیدی به وسیله توربین بادی



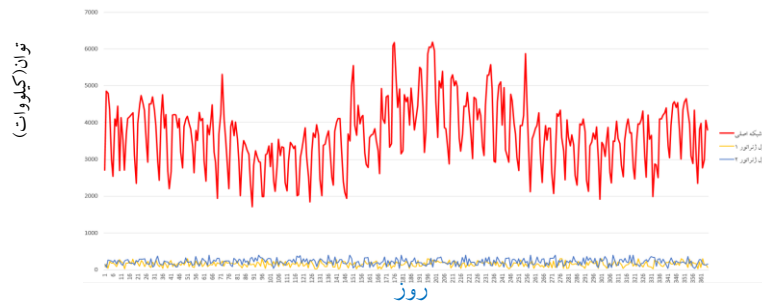
شکل ۷: میزان توان تولیدی به وسیله سیستم خورشیدی

۸۹ درصد از بار درخواستی توسط خرید از شبکه، ۹/۴۸ توسط دو دیزل ژنراتور، ۱/۱۲ درصد توسط سیستم خورشیدی و ۰/۳ درصد به وسیله پاسخگویی بار و مابقی توسط توربین بادی و انرژی تأمین نشده تأمین خواهد شد. مجموع هزینه های احداث و بهره برداری سالانه در این حالت برابر ۶۸۳۸۰۱۶۹۳ دلار بوده است. هم چنین ظرفیت بهینه قابل نصب سیستم خورشیدی و توربین بادی به ترتیب ۱۱۶/۷ کیلووات و ۵۴ وات می باشد.

توان بهینه قابل نصب توربین بادی بسیار پایین بوده و این مقدار کم می تواند به دلیل عدم هم زمانی پیک مصرف مشترکین با الگوی تولید توان توسط توربین بادی باشد.

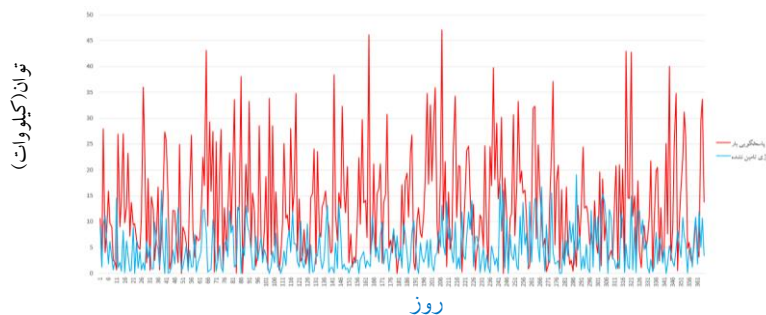
بار تجاری

با استفاده از ورودی های حالت قبل (تأمین توان بار مسکونی) از قبیل قیمت انرژی، تابش و سرعت باد به تأمین توان بار مشترکین تجاری می پردازیم. پس از اجرای برنامه و معرفی تابع هدف به الگوریتم، خروجی های موردنظر را استخراج می کنیم. شکل های ۸ الی ۱۱ به ترتیب خرید توان از شبکه توزیع و توان تولیدی دیزل ژنراتور، میزان کاهش مصرف ناشی از برنامه پاسخگویی بار، میزان انرژی تولیدی توسط سیستم خورشیدی و میزان انرژی تولیدی توسط توربین بادی را نشان می دهد.

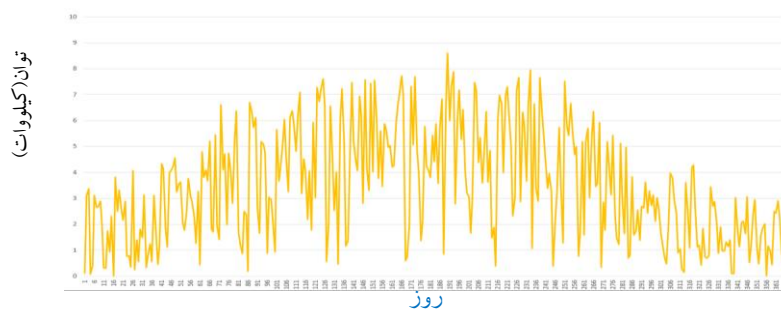


شکل ۸: میزان خرید توان از شبکه اصلی و تولید دیزل ژنراتورها

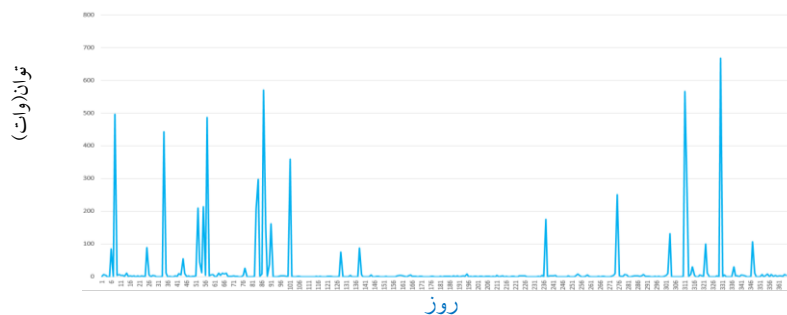
در روزهایی از سال که قیمت خرید از شبکه بالا بوده (تقریباً بیشتر از ۱۰۰ دلار بر مگاوات ساعت) میزان خرید از شبکه به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و میزان توان تولیدی دیزل ژنراتورها و کاهش مصرف به وسیله برنامه پاسخگویی بار مقادیر حداکثر را به خود اختصاص داده اند.



شکل ۹: میزان کاهش مصرف با اجرای برنامه پاسخگویی بار و میزان انرژی تأمین نشده



شکل ۱۰: میزان توان تولیدی به وسیله سیستم خورشیدی

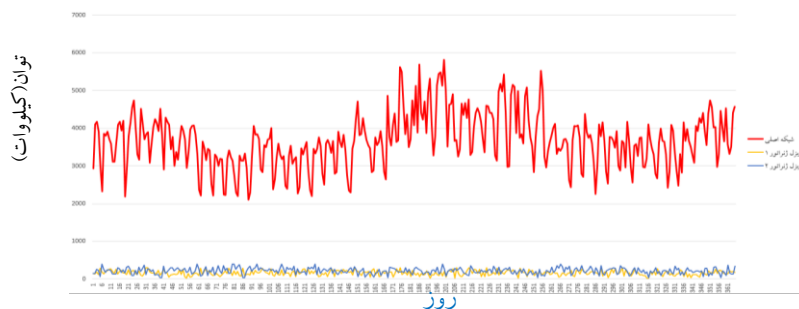


شکل ۱۱: میزان توان تولیدی به وسیله توربین بادی

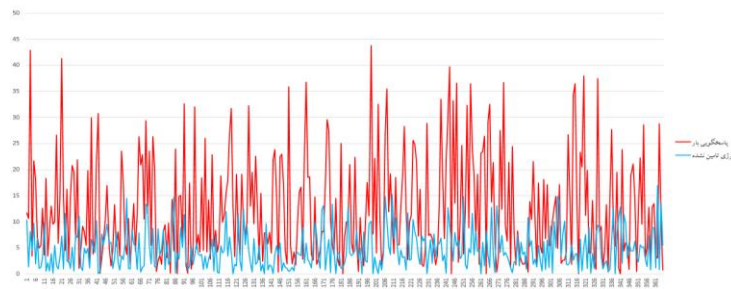
از میزان بار درخواستی ۹۰ درصد توسط خرید از شبکه، ۹/۱۷ درصد توسط دیزل ژنراتورها، ۰/۳۲ درصد پاسخگویی بار، ۰/۰۸ درصد سیستم خورشیدی، ۰/۱۲ درصد انرژی تامین نشده و ۰/۴۶ درصد توربین بادی تامین خواهد شد. مجموع هزینه های احداث و بهره برداری سالانه در این حالت برابر ۷۶۴۹۸۵۳۳۷ دلار بوده است. هم چنین ظرفیت بهینه قابل نصب سیستم خورشیدی و توربین بادی به ترتیب ۸/۸۶۲ کیلووات و ۱۱/۰۵۷ کیلووات می باشد.

بار صنعتی

شکل های ۱۲ الی ۱۵ به ترتیب خرید توان از شبکه توزیع و توان تولیدی دیزل ژنراتور، میزان کاهش مصرف ناشی از برنامه پاسخگویی بار، میزان انرژی تولیدی توسط توربین بادی و میزان انرژی تولیدی توسط سیستم خورشیدی را نشان می دهد.



شکل ۱۲: میزان خرید توان از شبکه اصلی و تولید دیزل ژنراتورها



روز

شکل ۱۳: میزان کاهش مصرف با اجرای برنامه پاسخگویی بار و میزان انرژی تأمین نشده

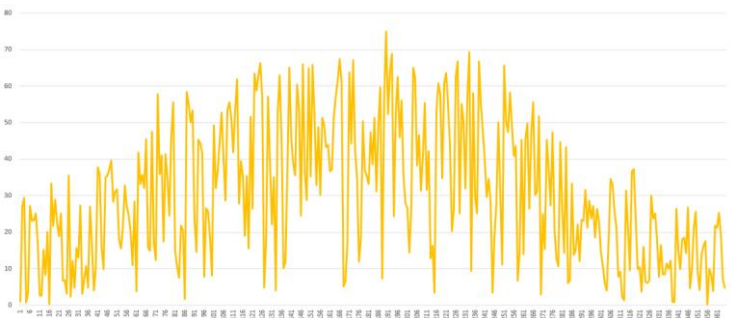
توان (وات)



روز

شکل ۱۴: میزان توان تولیدی به وسیله توربین بادی

توان (کیلووات)

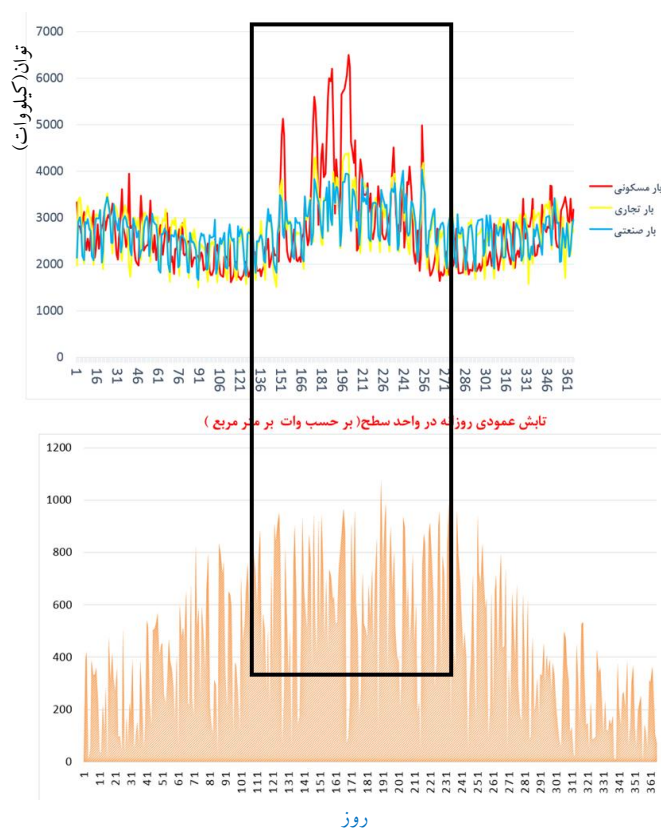


شکل ۱۵: میزان توان تولیدی به وسیله سیستم خورشیدی

۸۹/۴۳ درصد از بار درخواستی توسط خرید از شبکه، ۹/۳۹ درصد توسط دیزل ژنراتورها، ۰/۷۴ درصد توسط سیستم خورشیدی، ۰/۳۰ درصد توسط پاسخگویی بار و ۰/۱۱ درصد انرژی تأمین نشده و ۰/۰۲ درصد توسط توربین بادی تأمین خواهد شد. مجموع هزینه های احداث و بهره برداری سالانه در این حالت برابر ۷۵۳۳۹۹۵۱۲ دلار بوده است. هم چنین ظرفیت بهینه قابل نصب سیستم خورشیدی و توربین بادی به ترتیب ۷۷/۳۳۴ کیلووات و ۵۲۸ وات می باشد. با توجه به قرارگرفته پیک مصرف سالانه مصرف کننده مسکونی بر روی پیک تابش سالانه ظرفیت بهینه قابل نصب سیستم خورشیدی بیشتر از سایر بارها می باشد که شکل ۱۶ همپوشانی را نشان داده و جدول ۲ اختلاف ظرفیت قابل نصب را در هر سه حالت نشان می دهد.

جدول ۲: ظرفیت قابل نصب سیستم خورشیدی برای سه بار مسکونی، تجاری و صنعتی

نوع بار	ظرفیت قابل نصب سیستم خورشیدی
مسکونی	۱۱۶/۷ کیلووات
تجاری	۸/۸۶۲ کیلووات
صنعتی	۷۷/۳۳۴۰ کیلووات



شکل ۱۶: همپوشانی پیک بار مسکونی با پیک تابش

۴. نتیجه گیری

پس از انجام طراحی بهینه برای ریزشبه در حالات مختلف، اهمیت الگوی مصرف در انتخاب نوع منابع، ظرفیت آن‌ها و نحوه بهره‌برداری از ریزشبه نشان داده شد. یعنی می‌توان گفت شکل و نوع الگوی مصرف به دلیل تغییر بودن رفتار انرژی‌های تجدید پذیر در طراحی بهینه نقش اثرگذاری دارد. همچنین در حالت تأمین بار صنعتی بر اساس داده‌های ۵۲ هفته در سال، اثر برنامه پاسخگویی بار در مجموع هزینه‌های احداث و نگهداری ریزشبه موردبررسی قرار گرفته است و مشاهده شد که اجرای برنامه پاسخگویی بار باعث کاهش ۹/۸ درصدی هزینه‌ها شده است. همچنین در سناریوی هفتگی، اثر کمک‌هزینه‌ی پرداختی از طرف وزارت نیرو برافزایش میزان نفوذ سیستم خورشیدی بررسی شده است که این کمک‌هزینه باعث افزایش ۲۰ درصدی توان قابل نصب سیستم خورشیدی شده است.



۵. مراجع:

- Mazidi, Mohammadreza, et al. "Integrated scheduling of renewable generation and demand response programs in a microgrid." *Energy Conversion and Management* 86 (2014): 1118-1127.
- Zakariazadeh, Alireza, Shahram Jadid, and Pierluigi Siano. "Economic-environmental energy and reserve scheduling of smart distribution systems: A multiobjective mathematical programming approach." *Energy Conversion and Management* 78 (2014): 151-164.
- Algarni, Ayed AS, and Kankar Bhattacharya. "A generic operations framework for discos in retail electricity markets." *IEEE Transactions on Power Systems* 24.1 (2009): 356-367.
- Anand, M. P., et al. "Optimal allocation and sizing of distributed generators in autonomous microgrids based on LSF and PSO." *Energy Economics and Environment (ICEEE), 2015 International Conference on.* IEEE, 2015.
- Ghiani, Emilio, Claudia Vertuccio, and Fabrizio Pilo. "Optimal sizing and management of a smart Microgrid for prevailing self-consumption." *PowerTech, 2015 IEEE Eindhoven.* IEEE, 2015.
- Zidan, Aboelsood, Hossam A. Gabbar, and Ahmed Eldessouky. "Optimal planning of combined heat and power systems within microgrids." *Energy* 93 (2015): 235-244.
- Hakimi, S. M., and S. M. Moghaddas-Tafreshi. "Optimal planning of a smart microgrid including demand response and intermittent renewable energy resources." *IEEE Transactions on Smart Grid* 5.6 (2014): 2889-2900.

<http://www.cbi.ir/>

Optimal Planning of Distributed Energy Resources Based Microgrids

Hazhir Hoshiari

University of Kurdistan

Sanandaj

Hassan Bevrani

University of Kurdistan

Sanandaj

Salah BahramAra

Sanandaj Branch, Islamic Azad University

Sanandaj

Abstract

Given the high losses in electricity transmission and distribution networks, increasing environmental pollution, and diminishing fossil fuel resources, the utilization of distributed generation (DG) resources for local load supply has emerged as a promising solution. Integrating DG resources with local loads, known as microgrids, offers both economic and technical advantages. Optimal scheduling of microgrids, considering weather conditions and load demand, is a critical issue. This paper focuses on the optimal scheduling of microgrids, incorporating both operation and demand response programs. The results encompass a 365-day period, considering industrial, commercial, and residential loads, and taking into account government incentive programs for renewable energy sources. The proposed model is solved using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm.

Keywords: Microgrids, Demand Response, Optimal Planning, Optimal Operation, Conditional microgrids