برنامه‌ریزی کوتاه مدت نیروگاه مجازی در بازار روز بعد با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها به کمک روش تخمین نقطه‌ای

محمد صفرعلی نجار*[۱]، محسن صنیعی[۲]

*۱- کارشناسی ارشد برق گرایش قدرت، گروه برق، دانشکده مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول،

mohammad.chamranuniversity@gmail.com

۲- دکتری برق،گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران، Mohsen.saniei@gmail.com

تاریخ دریافت:۹۳/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش:۹۳/۱۲/۱۵

چکیده: نگرانی زیست محیطی ، ارتقای تکنولوژی انرژی های نو، مشوق های دولت برای استفاده از این منابع مهم ترین عوامل استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشد. یک نیروگاه مجازی (VPP) یک سیستم مدیریت انرژی نامتمرکز می‌باشد که وظیفه جمع‌آوری ظرفیت تولیدات پراکنده را بر عهده دارد. ماهیت اتفاقی برخی از منابع تولید این واحدها نظیر باد و دما، و همین طور به واسطه مطرح شدن مسئله قیمت، تا حد زیادی عدم قطعیت های موجود را افزایش داده است. هدف این برنامه‌ریزی کوتاه مدت یک نیروگاه مجازی دارای واحدهای تولید پراکنده در بازار روز بعد با در نظر گرفتن عدم قطعیت تولید و قیمت به کمک روش تخمین نقطه‌ای است که در آن برنامه‌ریزی مشارکت واحدها مبتنی بر قیمت (PBUC) در تولید توان اکتیو با هدف بیشینه کردن سود نیروگاه مجازی انجام می‌شود. مدل پیشنهادی تمام محدودیت‌های نیروگاه مجازی، بار قابل قطع و قیود امنیت سیستم را شامل می‌شود. برای حل مسئله PBUC از تکنیک برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح (MINLP) استفاده شد که با استفاده از نرم افزار GAMS انجام و در یک سیستم ۱۸شینه IEEE پیاده سازی شد.

واژه‌های کلیدی: برنامه ریزی واحدها مبتنی بر قیمت، نیروگاه مجازی، منابع تولید پراکنده، روش تخمین نقطه‌ای، بار قابل قطع

۱- مقدمه

در سرتاسر جهان، صنعت برق که در دوره‌ای طولانی با شرکت‌های یک پارچه با ساختار عمودی اداره می‌شد، دستخوش تغییرات شگرفی شده است. در ساختار جدید برنامه‌ریزی مشارکت واحدها (UC)، که در گذشته با هدف حداقل‌سازی هزینه های بهره‌برداری اجرا می‌شد، با تغییر الگو به برنامه‌ریزی مبتنی بر قیمت مشارکت واحدها (PBUC) تبدیل شده است که در آن، هدف نهایی حداکثرسازی سود شرکت‌های تولیدکننده توان است. افزایش مصرف انرژی، و هم چنین کمیابی سوخت‌های فسیلی استفاده از منابع تولید پراکنده (DGs) و گرایش به فنآوری انرژی‌های پاک را افزایش داده است. تعاریف متعددی برای تولیدات پراکنده وجود دارد. بر اساس استاندارد CIRED تولیدات پراکنده معمولاً به شکل توزیع متصل بوده و دارای ظرفیت پایین‌تر از ۵۰تا ۱۰۰ مگاوات می‌باشند [۱].

مشکل اصلی استفاده از منابع تولید پراکنده همانند انرژی باد، عدم قطعیت و ماهیت تصادفی آن است. بدین گونه که ما نمی‌دانیم مطمئناً در یک ساعت مشخص سرعت باد چه مقدار خواهد بود. این مسئله بر قابلیت اطمینان سیستم اثر منفی می‌گذارد. در حالت عادی تولیدات پراکنده به تنهایی به علت ظرفیت پایین آن‌ها و همچنین ماهیت غیر

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013

قابل پیش بینی بعضی از آنها، قابلیت شرکت در بازار را ندارند. برای حل مشکلات مطرح شده، تولیدات پراکنده باید تحت یک مجموعه یکپارچه قرار بگیرند و از یک سیستم کنترلی و مدیریت مرکزی در بازار استفاده کنند. این مسئله با ایده نیروگاه مجازی قابل دستیابی است که در آن منابع انرژی پراکنده به منظور مبادلات توان با بازار به صورت یک مجموعه واحد در می‌آیند[۲].

روش‌های مختلفی برای حل مسئله (PBUC) جهت یافتن بهینه‌ترین پاسخ تحت شرایط حاکم بر مسئله مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها عبارتند از: برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط(MIP) [۳]، الگوریتم ژنتیک(GA) [۴]، الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان (ACO) در [۵] و تکنیک‌های تلفیقی روش‌های ابتکاری و کلاسیک مانند EP،LR در [۶]، اشاره کرد. در مرجع [۷]، شاهیده پور برای فرمول بندی مسئله PBUC، با توجه به این‌که PBUC مورد نظر برای یک شرکت تولیدکننده انجام گرفته و از آن جا که قیود شبکه بعداً توسط برنامه‌ریزی ISO در نظر گرفته خواهند شد، از قیود شبکه مانند محدودیت شین‌ها صرف‌نظر نموده است. مرجع[۸] موضوع پیشنهاددهی تولیدات پراکنده یک نیروگاه مجازی (VPP) در بازار اشتراکی برق و سرویس رزرو چرخان را بیان می‌کند. استراتژی پیشنهادی یک مدل عدم تعادلی مبتنی بر سود مشارکت واحدها است که قیود تولید و مصرف و هم چنین قیود مبتنی بر امنیت نیروگاه مجازی را برآورده می‌کند.

هدف این مقاله بیشینه‌سازی سود نیروگاه مجازی دارای واحدهای تولید پراکنده و برآوردن قیود شبکه به طور همزمان است. لذا ابتدا مسئله مربوط به سود نیروگاه که یک مسئله بهینه‌سازی است، مدل‌سازی می‌شود. به این ترتیب که در بخش ۲ پس از تعریف مسئله، تابع هدف و محدودیت‌ها معرفی می‌گردند. مدل پیشنهاد شده محدودیت‌های منابع انرژی پراکنده، قیود تعادل توان تولیدی و مصرفی، قیود امنیت شبکه و تلفات توان در شبکه نیروگاه مجازی را شامل می شود. در این مقاله در ابتدا تمامی واحدهای تولید پراکنده به صورت معمولی در نظر گرفته می‌شوند و سپس عدم قطعیت قیمت بازار و تولید تصادفی واحدهای DGs را در مدل مورد نظر وارد می‌کنیم.

روش تخمین آماری مورد استفاده در این مقاله، روش تخمین دو نقطه ای (PEM) است. یکی از مزایای روش عنوان شده، کاهش حجم محاسبات و در نتیجه صرفه‌جویی در زمان و جلوگیری از پیچیدگی مسئله می‌باشد. چراکه فقط 2n بار مسئله PBUC اجرا می‌گردد که n تعداد متغیر تصادفی است. در بخش ۳با استفاده از اطلاعات کسب شده، برای هرحالت سود نیروگاه مجازی به دست آمده و مقدار بهینه تولید هر واحد برای برنامه‌ریزی در روز مشخص می‌گردد. در بخش ۴خلاصه و نتیجه‌گیری می‌گردد.

۲- تئوری مسئله

۲-۱- نیروگاه مجازی در بازار برق

نیروگاه مجازی می‌تواند به عنوان عضوی از بازار شرکت داشته باشد. برنامه‌ریزی و پیشنهاد قیمت نیروگاه مجازی در بازار برق دارای تفاوت‌های عمده‌ای با نیروگاه‌های سنتی است. علت این تفاوت‌ها در زیر آورده شده است:

نیروگاه مجازی می‌تواند نقشی دوگانه (تولیدکننده یا مصرف‌کننده) در بازار برق داشته باشد، در صورتی که نیروگاه‌های سنتی تنها در نقش تولیدکننده در بازار برق ظاهر می‌شوند. نیروگاه سنتی مجبور به تأمین بار مصرفی در محدوده در محدوده کاری خود نمی‌باشد، این در حالی است که نیروگاه مجازی وظیفه دارد بارهای مصرفی خود را نیز پاسخگو باشد. نیروگاه مجازی می‌تواند از نقاط مختلفی با شبکه متصل باشد. و در صورت تأمین بارهای مصرفی خود، مازاد تولید خود را نیز به شبکه بفروشد. با توجه به تفاوت‌های ذکر شده، نیروگاه مجازی به هنگام شرکت در بازار برق باید قیود امنیت شبکه داخل محدوده نیروگاه مجازی را نیز در کنار سایر قیود واحدهای انرژی پراکنده و همچنین تعادل توان تولیدی و مصرفی خود در نظر داشته باشد. علاوه بر این، نیروگاه مجازی باید اطلاعات دقیقی از وضعیت منابع انرژی پراکنده خود و میزان ظرفیت تولیدی هر واحد در اختیار داشته باشد.

۲-۲-مسئله برنامه‌ریزی مبتنی برسود مشارکت واحدها

مسئله برنامه‌ریزی مبتنی بر سود مشارکت واحد ها (PBUC) یکی از مسائل بهینه‌سازی غیر خطی در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت در فضای تجدید ساختار شده با هدف اختصاص دادن واحدهای تولیدی به گونه‌ای است که سود نیروگاه تولید توان به حداکثر برسد. این مسئله بر اساس قیمت و تقاضای توان پیش بینی شده حل می‌شود.

۲-۳-تابع هدف

هدف از نیروگاه مجازی از شرکت در بازار برق، به دست‌آوردن بیش‌ترین سود از طریق تأمین بار مصرفی مشترکان خود و تبادل توان با شبکه می‌باشد. این بازار به صورت یک بازار کوتاه مدت و روز بعد در نظر گرفته شده ا ست. تابع هدف در PBUC بیشینه شدن

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013

سود ا ست، که برابر با تفا ضل درآمد و هزینه‌ها می‌با شد. این سود طبق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$profit = \sum_{t=1}^{24} revenue(t) - \cos t(t) \qquad (۱)$$

درآمد از فروش برق به شبکه بر اساس رابطه زیر بدست می آید:

$$revenue_t = \sum_{i=1}^{N_L} \left(P^t_{Demand,i} - P^t_{DL,i}\right).\rho^t_{DSO} + \sum_{i=1}^{N_{GSP}} P^t_{GSP,i}.\lambda^t_{GSP,i} \qquad (۲)$$

که در این رابطه بخش اول نشان‌دهنده درآمد حاصل از تأمین توان برای مشترکین نیروگاه و بخش دوم نماینگر فروش توان به شبکه بالا دستی می باشد. هزینه کلی تولید، شامل هزینه‌های ناشی از تولید برق، هزینه راه‌اندازی و خاموش کردن هر واحد و قطع شدن بار می‌باشد.

$$\begin{aligned}\cos t_t = &\sum_{i=1}^{N_{dg}} [C_{dg,i}\left(P(i,t)\right)W(i,t) + SU(i,t)U(i,t) \\ &+ SD(i,t)V(i,t)] + \sum_{i=1}^{N_{sg}} C_{sg,i}\left(P(i,t)\right)W(i,t) + C^t_{DL}P^t_{DL}\end{aligned} \qquad (۳)$$

که در آن ا ندیس DG معرف وا حد های تولید پراکنده با قابلیت برنامه‌ریزی و اندیس SG معرف واحدهایی هستند که دارای ماهیت تصادفی در تولیدشان می‌باشد.

۲ – ۴– قیود

۲-۴-۱- قید تعادل توان

$$\sum_{DG}(P^k_{DG}) + \sum_{SG}(P^k_{SG}) + P^k_{DL} - \sum_{GSP} P_{GSP}k = P^k_{Demand} + P^k_{Loss} \qquad (۴)$$

۲-۴-۲- قیود پخش بار

$$P^k_{G,i} - P^k_{Demand\,i} = \sum_j |V^k_i||V^k_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta^k_j - \delta^k_i) \qquad (۵)$$

$$P^k_{G,i} - P^k_{Demand\,i} = \sum_j |V^k_i||V^k_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} + \delta^k_j - \delta^k_i) \qquad (۶)$$

۲-۴-۳- قید ولتاژ شین ها

$$V_i^{\min} \le V_i^k \le V_i^{\max} \qquad (۷)$$

۲-۴-۴- قیود افزایشی و کاهشی توان تولید واحد ها

از آنجایی که نیروگاه یک واحد مکانیکی ا ست لذا نرخ تغییرات توان تولیدی یک واحد نمی تواند از حد معینی فراتر رود. این محدودیت‌ها شامل حداکثر نرخ تغییرات افزایشی و کاهشی است که به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\begin{aligned}P_{DG}(i,t+1) - P_{DG}(i,t) &\le RU_{DG}(i) \\ P_{DG}(i,t) - P_{DG}(i,t+1) &\le RD_{DG}(i)\end{aligned} \qquad (۸)$$

۲-۴-۵- ظرفیت نقطه اتصال به شبکه اصلی

$$S^k_{GSP} \le S^{\max}_{GSP} \qquad (۹)$$

۲-۴-۶- محدودیت توان انتقالی

$$\begin{aligned}|\, pji(\partial, v)| &\le pji^{\max} \\ |\, pij(\partial, v)| &\le pij^{\max}\end{aligned} \qquad (۱۰)$$

۲-۴-۷- محدودیت توان تولید واحدهای SG و DG

$$P^{\min}_{DG}(i) \le P_{DG}(i,t) \le P^{\max}_{DG}(i) \;\;,\;\; P_{SG}(i,t) \le P_{SG,\,forecast}(t) \qquad (۱۱)$$

۲-۴-۸- متغیرهای کنترل برای روشن و خاموش بودن واحدها

$$\begin{cases} W(i.k) - W(i,k-1) \le U(i,k) \\ W(i,k-1) - W(i,k) \le V(i,k) \\ W(i,k) - W(i,k-1) = U(i,k) - V(i,k) \end{cases} \qquad (۱۲)$$

این مجموعه قیود رابطه متقابل بین سه کمیت باینری که در حالت مختلف با هم سازگاری دارند را، بیان می‌نماید.

۲-۴-۹- قید بارهای قابل قطع

$$P^k_{DL} \le P^{\max}_{DL} \qquad (۱۳)$$

۲-۴-۱۰- قید رزرو

ذخیره بهره برداری در این مقاله داری دو مؤلفه اسـت. مؤلفه اول بصورت درصدی از کل توان تولیدی DGها و بارهای قابل قطع (RSV_{total}) (به طور مثال ۲٪) ا ست. مؤلفه‌ی دوم ذخیره اضافی نامیده می شود (RSV_{SG}) که برای جبران خطای ایجاد شده بین تولید پیش‌بینی شده و تولید واقعی SGها در نظر گرفته می‌شود. (برای مثال ۵٪)

$$\begin{aligned}&\sum_{DG}(P^{\max}_{DG} - P^k_{DG})\alpha^k_{DG} + P^k_{DL} \ge \\ &RSV_{SG}(\sum_{SG} P^k_{SG}) + RSV_{total}(\sum_{DG} P^k_{DG}\alpha^k_{DG} + P^k_{DL})\end{aligned} \qquad (۱۴)$$

۲-۵- روش برآورد دو نقطه‌ای 2PEM

هدف از روش برآورد نقطه‌ای این است که به محاسبه لحظه به لحظه از یک متغیر تصادفی که تابعی از متغیرهای ورودی تصادفی ا ست بپردازد. اولین روش برآورد نقطه در سال ۱۹۷۵

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

تو سط Rosenblueth برای متغیر متقارن ارائه شد. این روش بعدها در سال ۱۹۸۱ با در نظر گرفتن متغیرهای نامتقارن در نظر گرفته شد، و از آن زمان به بعد روش های متعددی برای بهبود روش اصلی Rosenblueth مطرح شد. روش Rosenblueth با توجه به تعداد زیاد شبیه سازی‌های مورد نیاز نا کارآمد بود و بنابراین در سال ۱۹۸۹، برای غلبه بر نقطه ضعف روش Rosenblueth، Harr به توسعه روش PEM پرداخت. اگر چه روش Harr از نظر محاسباتی کارآمدتر از روش قبل بود، اما این روش به متغیر های نامتقارن محدود می‌شد و در نهایت هنگ روش مناسب PEM را که برای هر دو متغیرهای متقارن و نامتقارن مناسب بود معرفی کرد.[۹]

فرض کنید $X\{x_1, x_2,..., x_1,..., x_m\}$ یک متغیر تصادفی با مقدار میانگین μ_{x_l} و انحراف معیار σ_{x_l} است. Z یک کمیت تصادفی تابع X است:Z=F(X). هر کدام از نقاط تمرکز متغیرهای x_l می‌توانند به وسیله‌ی یک مکان $(x_{l,s})$ و یک وزن $(w_{l,s})$ تعریف شوند. در این‌جا از یک روش خاص از انواع تخمین نقطه‌ای استفاده می‌شود که روش تخمین دو نقطه‌ای هنگ (HTPEM) نامیده می‌شود. با استفاده از HTPEM، تابع F تنها می‌بایست s بار برای هر x_l در نقاط شامل s امین مکان x_l و میانگین متغیرهای باقی مانده (μ_{x_l}) محاسبه شود. بنابراین، مجموع تعداد محاسبات تابع F برابر خواهد بود با $2\times m$. مکان $x_{l,s}$ به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$x_{1,s} = \mu_{x_1} + \zeta_{1,s}.\sigma_{x_1} \qquad (۱۵)$$

که $\zeta_{l,s}$ مکان استاندارد متغیر تصادفی x_1 است. مکان‌های استاندارد و وزن‌های x_1 به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$\zeta_{l,1} = \frac{\lambda_{l,3}}{2} + \sqrt{m + (\frac{\lambda_{l,3}}{2})^2},\ \zeta_{l,2} = \frac{\lambda_{l,3}}{2} - \sqrt{m + (\frac{\lambda_{l,3}}{2})^2} \qquad (۱۶)$$

و

$$w_{l,1} = -\frac{\zeta_{l,2}}{m(\zeta_{l,1} - \zeta_{l,2})}, w_{1,2} = \frac{\zeta_{l,1}}{m(\zeta_{l,1} - \zeta_{l,2})} \qquad (۱۷)$$

که در آن $\lambda_{1,3}$ چولگی متغیر x_1 را نشان می‌دهد:

$$\lambda_{l,3} = \frac{E\left[(x_1 - \mu_{x_1})^3\right]}{(\sigma_{x_1})^3} \qquad (۱۸)$$

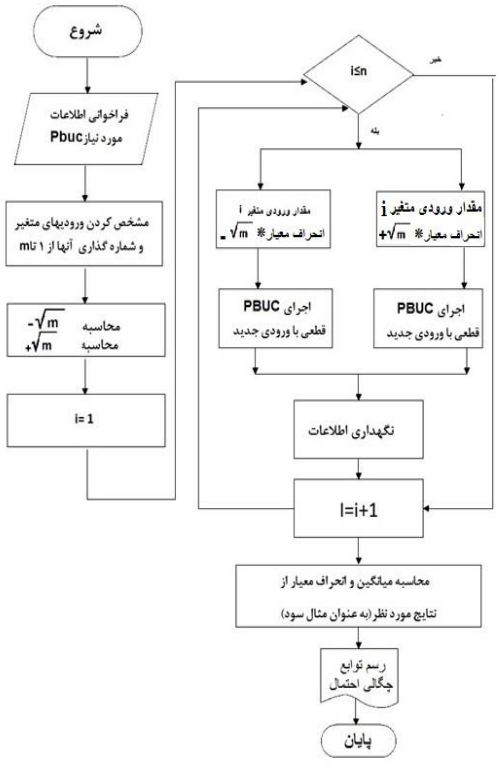
یک PBUC قطعی (در تضاد با تصادفی) برای هر کدام از نقاط تمرکز اجرا می‌شود. جواب PBUC برابر است با:

$$Z_{l,3} = F(x_{l,1}, x_{l,2},...,x_{l,s},...,x_{m,s}) \qquad (۱۹)$$

که $Z_{1,3}$ بردار متغیرهای خروجی تصادفی مربوط به s امین نقطه‌ی تمرکز متغیر ورودی تصادفی بوده نشان دهنده‌ی رابطه ی غیر خطی بین متغیرهای ورودی و خروجی در مسئله‌ی PBUC است. شرایط اولیه‌ی متغیرهای تصادفی خروجی که باید تعیین شوند عبارت‌اند از:

$$E(Z) \cong E(z) + \sum_s w_{l,s}, Z_{l,s} \qquad (۲۰)$$

در تمام روش‌های مذکور، اگر تعداد ورودی‌های سیستم را n در نظر می‌گرفتند، 2^n بار باید مسئله بهینه سازی اجرا می شد و با توجه به اینکه در اندازه‌های واقعی سیستم‌های قدرت، تعداد متغیر های ورودی درگیر بالاست، از این رو، چنین روش‌هایی منا سب نمی‌با شند چرا که حتی ممکن ا ست تعداد شبیه سازی آنها بیشتر از شبیه‌سازی مونت کارلو گردد و بدین جهت استفاده از روش 2PEM پیشنهاد گردید، در این روش هر متغیر غیر قطعی تنها با دو نقطه قطعی طرفین میانگین مربوط جایگزین می‌شود. فلوچارت روش مذکور در شکل ۱ آورده شده است.



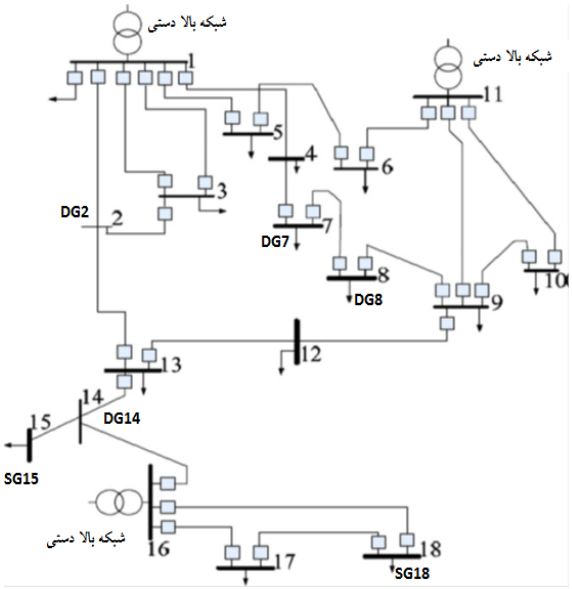
شکل (۱) فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013

۲-۶- شبکه نمونه

برای شبیه سازی این مسئله از یک سیستم ۱۸ باس IEEE استفاده شده است.(شکل ۲)

سیستم دارای ۴واحد تولید پراکنده قابل برنامه‌ریزی در شین‌های ۲، ۷، ۸ و ۱۴ است. همچنین در شین های ۱۵و۱۸ دو واحد نیروگاه با ماهیت تولید تصادفی قرار دارد. بخشی از بارهای باس ۴و۹و۱۰به صورت قابل قطع و اطلاعات مربوط به DGها و SGهای سیستم ۱۸باس در بخش ضمایم آورده شده است.



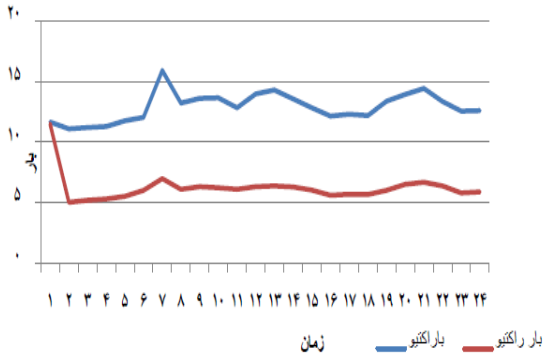
شکل (۲) سیستم نمونه ۱۸ شینه IEEE [۱۰]

۲-۶-۱- شرایط حاکم بر سیستم

نیروگاه مجازی امکان فروش توان به شبکه بالادستی را دارد. قیمت فروش توان به نقاط بالا دستی به صورت زیر است.

$$\lambda_{GSP,1}=0.95\lambda_{DM} \quad \lambda_{GSP,11}=1.05\lambda_{DM} \quad ,\lambda_{GSP,16}=\lambda_{DM} \qquad (۲۱)$$

که در آن اندیس GSPبه معنی نقطه اتصال به شبکه، و شماره بعد از آن شماره شین اتصال است. حد بالای بارقابل قطع را برابر۵، درصد بار روی هر شین در نظر می‌گیریم. پروفایل بار در طی ۲۴ساعت در شکل ۳ آورده شده است.



شکل (۳) پروفایل بار در طی ۲۴ ساعت

قیمت پیش بینی شده بازار با($MWh) λ_{DM} نشان داده شده است. رابطه بین قیمت بازار و بار سیستم توزیع از رابطه ی خطی زیر بدست می‌آید:

$$P_{Demand}=a\lambda_{DM}+b \qquad (۲۲)$$

که در آن a=0.7 و b=8 فرض می‌شود.

۳-نتایج شبیه سازی

برای پیاده‌سازی مدل و حل مسئله ی PBUC از نرم افزار GAMS و حل‌کننده ی SBB استفاده شده است.

۳-۱- بررسی نتایج بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و تولید واحدهای SG

در جدول ۱ وضعیت روشن و خاموش بودن واحدهای DG و SG نشان داده شده است.

که در آن ۱ به معنای در مدار بودن و ۰ نشانگر خاموش بودن واحد تولیدی است. همان طور که مشاهده می‌شود، تمامی واحدهای DG در مدار هستند. واحدSG۱۵ در ساعت های ۱تا ۵ و ۲۳ به دلیل این که هزینه تولید آن از قیمت فروش برق بیش‌تر است، خاموش بوده است واحد SG۱۸ در ساعت های بیشتری خاموش مانده است. چون هزینه تولید آن بیش ازSG۱۵ می باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013

جدول (۱) وضعیت خاموش و روشن بودن DG ها و SGها

زمان	واحد					
	DG2	DG7	DG8	DG14	SG15	**SG18**
۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۲	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۳	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۴	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۵	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۶	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۷	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۶	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۷	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۸	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۳	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۲۴	۱	۱	۱	۱	۱	۰

جدول(۲)توان اکتیو مبادله شده با شبکه بالادستی

زمان	GSP1(MW)	GSP11(MW)	GSP16(MW)
۱	۰	۴/۳۹۷	۰
۲	۰	۶/۸۱۵	۰
۳	۰	۶/۲۹۱	۰
۴	۰	۷/۹۱۷	۰
۵	۰	۹/۱۴۱	۰
۶	۰	۱۲/۰۹۹	**۱/۷۸۳**
۷	۰	۹/۳۱۷	**۰/۷۳۴**
۸	۰	۱۱/۲۰۰	**۳/۸۹۴**
۹	۰	۱۱/۰۸۲	**۳/۹۸۵**
۱۰	۰	۱۱/۰۳۹	**۳/۹۶۹**
۱۱	۰	۱۴/۰۷۱	۰
۱۲	۰	۱۰/۷۹۶	**۳/۸۹۵**
۱۳	۰	۱۴/۸۷۱	۰
۱۴	۰	۱۰/۸۸۵	**۴/۶۲۳**
۱۵	۰	۱۳/۶۷۸	۰
۱۶	۰	۹/۲۷۴	۰
۱۷	۰	۱۴/۸۱۱	۰
۱۸	۰	۱۰/۶۹۵	۰
۱۹	۰	۱۱/۳۰۸	**۶/۶۰۶**
۲۰	۰	۱۰/۹۲۰	**۶/۴۵۹**
۲۱	۰	۱۰/۷۷۶	**۷/۷۶۴**
۲۲	۰	۱۱/۵۵۰	**۸/۰۵۸**
۲۳	۰	۸/۳۷۳	۰
۲۴	۰	۱۲/۱۸۰	**۲/۹۶۱**

در جدول ۲ توان اکتیو مبادله شده با شبکه اصلی آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود با نقطه بالا دستی واقع برشین شماره ۱ هیچ‌گونه فروش توانی صورت نگرفته است. دلیل آن این است که قیمت فروش توان در این شین از قیمت فروش به مصرف کننده پایین‌تر است. بنابراین نیروگاه مجازی تمایل دارد که توان خود را به نقاط دیگر از جمله شین ۱۱ که بیش‌ترین قیمت را دارد بفروشد. اما به دلیل محدودیت‌های انتقال توان بخشی از توان را به ناچار باید به شین شماره ۱۶ که قیمت کمتری نسبت به شین ۱۱ دارد بفروشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

جدول (۳)هزینه، درآمد و سود در ۲۴ ساعت

زمان	هزینه تولید	درآمداز مصرف کننده	درآمد از توان مبادله شده	سود
۱	۷۳۸/۶۲	۵۸۲	۲۳۰/۸۷	**۷۴/۲۴**
۲	۷۹۵	۴۴۳/۲	۲۸۶/۲۵	**-۶۵/۵۴**
۳	۷۷۶/۰۲	۴۷۵/۵۷	۲۸۰/۷۶	**-۱۹/۶۹**
۴	۸۵۴/۷۷	۴۸۵/۰۴	۳۵۷/۴۹	**-۱۲/۲۴**
۵	۹۳۳/۵۲	۵۸۸	۴۷۹/۹۲	**۱۳۴/۳۹**
۶	۱۲۲۳/۸۹	۷۲۱/۸	۸۶۹/۲۴	**۳۶۷/۱۵**
۷	۱۲۲۳/۸۹	۱۰۲۴/۹۰	۶۷۸/۳۹	**۴۹۷/۴**
۸	۱۳۸۰/۸۸	۹۲۴/۷	۱۰۹۵/۸۰	**۶۳۹/۶۲**
۹	۱۳۹۹	۱۰۱۹/۲۵	۱۱۷۱/۶۳	**۷۹۱/۸۸**
۱۰	۱۳۹۹	۱۰۳۷/۴	۱۱۸۲/۶۲	**۸۲۱/۰۲**
۱۱	۱۲۷۳/۹۵	۸۳۲/۸۷	۹۶۰/۳۵	**۵۱۹/۲۷**
۱۲	۱۳۹۹	۱۱۲۴/۵۸	۱۲۲۶/۱۳	**۹۵۱/۷۲**
۱۳	۱۴۳۴/۷۳	۱۲۱۲/۱۰	۱۳۲۷/۲۹	**۱۱۰۴/۶۶**
۱۴	۱۴۳۲/۱۱	۱۰۱۷	۱۲۰۳/۹۵	**۷۸۷/۸۳**
۱۵	۱۲۵۴/۴۸	۸۳۲/۹۷	۹۳۳/۵۵	**۵۱۲/۰۶**
۱۶	۹۶۲/۷۴	۶۶۷/۷	۵۳۵/۶۰	**۲۴۰/۵۵**
۱۷	۱۲۸۳/۹۱	۶۹۸/۹۴	۸۸۶/۴۸	**۳۰۱/۵۱**
۱۸	۱۰۴۷/۸۷	۶۸۲/۰۸	۶۲۸/۹۱	**۲۶۳/۱۲**
۱۹	۱۵۷۰/۸۲	۹۶۹/۳۲	۱۳۳۹/۸۴	**۷۳۸/۳۴**
۲۰	۱۵۷۰/۸۲	۱۱۱۲/۸	۱۴۳۴/۰۷	**۹۷۶/۰۵**
۲۱	۱۶۷۴/۸۵	۱۲۵۳/۶۷	۱۶۵۹/۸۸	**۱۲۳۸/۷**
۲۲	۱۶۷/۸۵	۹۵۹/۷۶	۱۴۵۳/۴۳	**۷۳۸/۳۳**
۲۳	۹۳۳/۵۲	۶۵۷/۳۵	۴۶۱/۵۸	**۱۸۶/۴**
۲۴	۱۳۲۹/۴۸	۷۵۴/۸	۹۴۵/۰۶	**۳۷۰/۳**

جدول (۴)وضعیت خاموش، روشن بودن DGها و SGها

زمان	واحد					
	DG2	DG7	DG8	DG14	SG15	**SG18**
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۲	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۳	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۴	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۵	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۶	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۷	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۸	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۹	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۱۴	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۱۵	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۱۶	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۷	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۸	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۹	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۲۱	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۲۲	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**
۲۳	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۲۴	۱	۱	۱	۱	۱	**۱**

۳-۲- بررسی نتایج با در نظر گرفتن عدم قطعیت تولید و قیمت

در این حالت عدم قطعیت قیمت بازار و تولید هر دو واحد SG لحاظ شده است.

در جدول ۴ وضعیت روشن و خاموش بودن واحدهای DG و SG نشان داده شده است.

در این حالت واحد SG۱۸ در ساعت های ۶ و ۲۴ در مدار قرار می‌گیرد. هم‌چنین به دلیل تصادفی درنظر گرفتن تولید واحدهای SG تولید کل این واحدها در طی ۲۴ ساعت در حالت دوم ٪۱/۴ بیش‌تر از حالت اول است. در جدول ۵ سود کل در طی ۲۴ ساعت مشاهده می‌شود. دلیل بیش‌تر بودن سود نسبت به حالت قبل درآمد بیش‌تر ناشی از فروش توان به شبکه بالادست و همین‌طور تعداد بیش‌تر متغیرهای تصادفی می‌باشد. با توجه به روش تخمین دو نقطه‌ای برای به دست آوردن خروجی‌های مورد نظر، برنامه در حالت دوم ۶ بار اجرا می‌شود و سپس از بین جواب‌ها میانگین و انحراف معیار آن‌ها به دست می‌آید.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013

جدول (۵) سود در ۲۴ ساعت

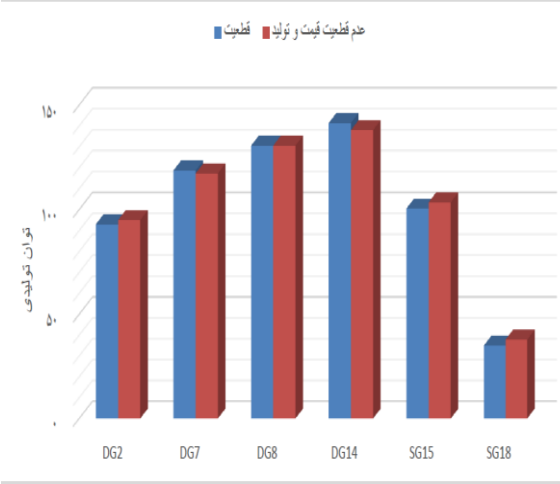
زمان	سود میانگین	سود انحراف معیار
۱	۷۵/۴۶۶	۶۶/۳۳۷
۲	-۵۵/۷۶۸	۵۸/۶۷۰
۳	-۱۱/۳۲۱	۶۰/۶۲۵
۴	-۶/۰۸۰	۶۲/۶۵۰
۵	۱۳۴/۶	۷۶/۴۷۹
۶	۳۶۷/۹۶۲	۱۱۲/۱۵۴
۷	۴۸۱/۶۳۰	۱۲۷/۱۵۱
۸	۶۴۰/۷۸۰	۱۴۲/۳۶۶
۹	۷۹۱/۸۹۳	۱۵۶/۲۳۸
۱۰	۸۲۱/۰۳۱	۱۵۸/۵۳۱
۱۱	۵۲۱/۴۷۱	۱۳۲/۹۸۳
۱۲	۹۵۱/۷۲۵	۱۶۹/۸۷۲
۱۳	۱۰۹۷/۵۱۴	۱۸۵/۱۸۴
۱۴	۷۹۲/۱۶۴	۱۶۱/۱۳۷
۱۵	۵۱۵/۳۷۷	۱۳۲//۱۵
۱۶	۲۴۷/۴۸۶	۹۷/۱۸۰
۱۷	۳۰۳/۷۵۳	۱۰۶/۹۹۶
۱۸	۲۶۹/۱۶۹	۹۹/۰۵۲
۱۹	۷۳۸/۸۰۹	۱۶۲/۹۵۵
۲۰	۹۷۶/۰۴۴	۱۷۸/۱۳۳
۲۱	۱۲۳۸/۶۹۵	۲۰۰/۸۶۳
۲۲	۷۳۹/۴۲۹	۱۶۴/۲۳۲
۲۳	۱۸۹/۵۳۶	۸۶/۲۵۵
۲۴	۳۷۴/۷۴۹	۱۱۷/۳۰۰

برای مشاهده بهتر نتایج در جدول ۶ هر دو حالت شبیه سازی با هم مقایسه شده‌اند.

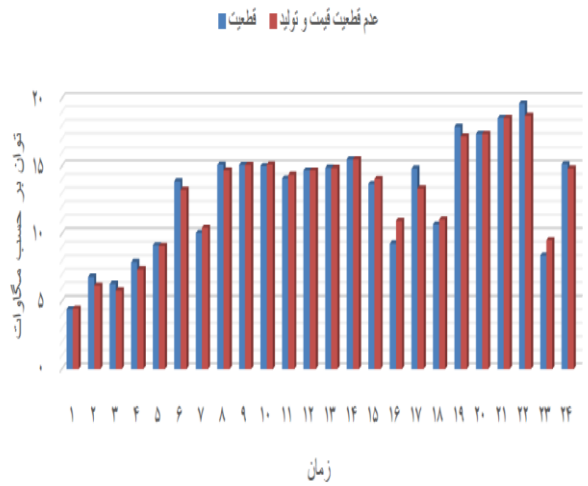
جدول (۶) مجموع درآمد، هزینه، سود و تلفات در دو حالت بررسی شده

	حالت اول	حالت دوم
درآمد حاصل از تبادل با شبکه	۲۱۶۲۹/۲۱	۲۱۶۷۹/۴۲
هزینه تولید	۲۹۵۶۷/۸۲	۲۹۵۰۷/۴
سود	۱۲۱۴۰/۲۲	۱۲۲۵۱/۰۷
تلفات	۵/۳۰۳	۴/۲۸۸
مجموع توان DG	۴۸۵/۸۳۷	۴۸۲/۶۹۰
مجموع توان SG	۱۳۹/۳۴۲	۱۴۱/۳۹۱
مجموع توان اکتیو مبادله شده	۳۰۸/۲۳	۳۰۶/۴۵
مجموع بار اکتیو	۳۰۹/۵۳	۳۰۹/۵۳

همانطور که مشاهده می‌شود در حالت دوم، سود انتظاری بیش‌تر از حالت اول است. دلیل این امر درآمد بیش‌تر حاصل از تبادل توان با شبکه بالا دست وکاهش تلفات توان به دلیل افزایش بار قابل قطع می‌باشد. در شکل‌های ۴ و ۵ کل توان تولیدی واحدها و توان مبادله شده با شبکه بالا دستی در طی دوره ۲۴ ساعته مشاهده می‌شود.



شکل (۴) کل توان تولیدی واحدها در طی ۲۴ ساعت



شکل (۵) توان مبادله شده با شبکه ی بالادستی در دو حالت برحسب مگاوات

۴-نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله، حل مسئله PBUC برای یک نیروگاه مجازی بود. نیروگاه مجازی می‌تواند صاحب نیروگاه‌های تولید پراکنده بوده و از DGهای مستقل نیز توان مورد نیاز خود را تأمین نماید. در ضمن نیروگاه مجازی در بازارهای توان حضور داشته و می‌تواند توان اضافی خود را در بازار به صورت عمده به فروش برساند.

بارهای قابل قطع روشی مفید برای تأمین قابلیت اطمینان سیستم می‌باشند. در واقع استفاده از بار قابل قطع در کنار ذخیره چرخان

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

می‌تواند هزینه بهره‌برداری را کاهش داده، قابلیت اطمینان لازم را نیز فراهم نماید. در این مقاله سه شین از شبکه دارای بار قابل قطع بودند. استفاده از واحدهای تولید پراکنده در صنعت برق به‌دلیل خاصیت تجدیدپذیری، قیمت ارزان و پاک بودن، رو به افزایش است. از این‌رو در این مقاله از واحدهای تولید پراکنده با تولید قطعی مانند توربین‌های گازی و هم‌چنین تولید تصادفی همانند بادی استفاده شد. برای لحاظ کردن عدم قطعیت از روش تخمین نقطه‌ای استفاده شد. برای بررسی موارد فوق از یک سیستم ۱۸ شینه استفاده شد که با بررسی آن در حالات مختلف نتایج مفیدی به دست آمد. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که لحاظ کردن هم‌زمان عدم قطعیت قیمت و تولید باعث افزایش سود خواهد شد. هم‌چنین میزان درآمد ناشی از فروش توان به شبکه بالادستی نیز افزایش خواهد یافت. مدت زمان اجرای برنامه در حالت اول ۲۶ ثانیه و در حالت دوم ۱۶۰ ثانیه می‌باشد. در این مقاله یک برنامه‌ریزی اقتصادی ارائه شده است، علاوه بر سادگی اجرا و همگرایی الگوریتم پیشنهادی به‌طور قابل توجهی به اپراتورهای تولید کمک می‌کند تا به یک جدول زمان‌بندی بهینه برای سیستم‌های بزرگ‌تر دست پیدا کنند

کدنویسی و شبیه‌سازی برنامه، در نرم‌افزار GAMS صورت پذیرفت. این نرم‌افزار ابزاری قدرتمند برای حل مسائل بهینه‌سازی است.

ضمائم

جدول (۷) اطلاعات DGهای سیستم ۱۸شینه

	شماره شین	Pmin (MW)	Pmax (MW)	A($)	($/MWh)
DG1	۲	۰	۴	۲۰	**۳۷**
DG2	۷	۰	۵	۲۵	**۴۰**
DG3	۸	۰	۵/۵	۲۲	**۳۵**
DG4	۱۴	۰	۷	۳۰	**۴۵**
	RUP (MW/h)	**RDN (MW/h)**	**SUC ($)**	**SDC ($)**	**Min Up/down time**
DG1	۱	۱	۲۰	۲۵	**۴**
DG2	۱/۲۵	۱/۲۵	۲۰	۲۵	**۴**
DG3	۱/۳۷۵	۱/۳۷۵	۲۰	۱۰	**۴**
DG4	۱/۷۵	۱/۷۵	۲۰	۲۰	**۴**

جدول (۸) اطلاعات SGهای سیستم ۱۸ شینه

	شماره‌ی شین	Pmin (MW)	Pmax (MW)	B ($/MWh)
SG1	۱۵	۰	۷/۵	**۵۵**
SG2	۱۸	۰	۵/۵	**۶۵**

جدول (۹) مشخصات توزیع احتمال توان تولیدی SGهای سیستم ۱۸ شینه

	SG15(MW)		**SG18(MW)**	
	میانگین توان	انحراف معیار	میانگین توان	**انحراف معیار**
t= 1,…,4	۴	۰/۲۸	۲	**۰/۲۲**
t= 5,…,8	۵/۵	۰/۲	۲/۵	**۰/۳۱**
t= 9,…,12	۶/۲	۰/۲۳	۲/۲	**۰/۲۹**
t= 13,…,16	۵/۴	۰/۴	۳/۴	**۰/۳**
t= 17,…,20	۶/۶	۰/۳۲	۴/۶	**۰/۲۷**
t= 21,…,24	۷/۵	۰/۲۶	۵/۵	**۰/۳۲**

جدول (۱۰) قیمت پیش بینی شده بازار و هزینه بار قابل قطع

	λ_{DM}	C_{DL}
۱	۵۰	**۵۰**
۲	۴۰	**۳۰**
۳	۴۲/۵	**۳۵/۵**
۴	۲۸/۵	**۴۱**
۵	۴۳	**۵۰**
۶	۶۰	**۶۵**
۷	۶۴/۵	**۶۸**
۸	۷۰	**۷۵**
۹	۷۵	**۷۸**
۱۰	۷۶	**۷۶**
۱۱	۶۵	**۶۵**
۱۲	۸۰/۵	**۸۵**
۱۳	۸۵	**۸۷**
۱۴	۷۵	**۸۰**
۱۵	۶۵	**۷۰**
۱۶	۵۵	**۶۵**
۱۷	۵۷	**۶۵**
۱۸	۵۶	**۸۰**
۱۹	۷۲/۵	**۸۰**
۲۰	۸۰	**۸۵**
۲۱	۸۷	**۸۹**
۲۲	۷۲	**۷۵**
۲۳	۵۲/۵	**۶۵**
۲۴	۶۰	**۶۵**

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

مراجع

[1] E. Mashhour, S. Moghaddas -Tafreshi S, "Bidding Strategy of Virtual Power Plant for Participating in Energy and Spinning Reserve Markets—Part II: Problem Formulation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 26, pp 957-964, May 2011.

[2] Braun M., Strauss P., "A review on aggregation approaches of controllable distributed energy tmits in electrical power system", International Journal of Distributed Energy Resource, vol.4, no.4, pp.297-319, 2008.

[3] J. A. Muckstadt and R. C. Wilson, "An application of mixed integer Programming duality to scheduling thermal generating systems," IEEE Transactions on Power Application & Systems, vol. 87, pp. 1968–1978, December. 1968.

[4] S. A. Kazarlis, A. G. Bakirtzis, and V. Petridis, "A genetic algorithm solution to the unit commitment problem," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 11, No. 1, pp. 83–92, Feb. 1996.

[5] C. Christopher Columbus, K. Chandrasekaran and Sishaj P. Simon, "Nodal ant colony optimization for solving profit based unit commitment problem for GENCOs," International Journal of Applied Soft Computing., vol. 12, no. 1, pp. 145–160, Jan. 2012.

[6] P. Attaviriyanupap, H. Kita, E. Tanaka, and J. Hasegawa, "A hybrid LR-EP for solving new profit-based UC problem under competitive environment," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 18, no. 1, pp. 229–237, Feb. 2003.

[7] Lei, W., Shahidehpour, M., and Yong, F. "Security-Constrained Generation and Transmission Outage Scheduling With Incertainties", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 25, No. 3, pp. 1674-1685, August 2010.

[8] E. Mashhour, S. Moghaddas- Tafreshi, "Bidding strategy of virtual power plant for participating in energy and spinning reserve markets-Part I: problem formulation", IEEE Transactions on power systems, pp 949-56, May 2011

[9] Juan. M. Morales, Juan. Perez- Ruiz, "point Estimate Schemes to Solve the Probabilistic Power Flow" IEEE Transactions on power systems, vol.22, no. 4,pp.1594-1601, 2007.

[10] M. Peik-Herfeh, H. Seifi, and M. K. Sheikh-El-Eslami, "Decision making of a virtual power plant under uncertainties for bidding in a day-ahead market using point estimate method, "International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 44, pp. 88-98, 2013

رزومه



محمد صفرعلی نجار در اهواز متولد شده است (۱۳۶۷). تحصیلات کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق-قدرت از دانشگاه شهید چمران اهواز(۱۳۹۰) و کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۳) سپری کرده است. علاقمندی ایشان در زمینه بهره برداری از سیستم‌های قدرت است.



محسن صنیعی در دزفول متولد گردید (۱۳۴۴). تحصیلات کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۶۷)، کارشناسی ارشد برق قدرت در دانشگاه تربیت مدرس تهران (۱۳۷۰) و دکتری مهندسی برق از دانشگاه استرادکلاید (۱۳۸۲) سپری کرده است. وی در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه شهید چمران اهواز است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.1.5.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 1- spring 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]