Archive of SID.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۹- شماره ۳ - سال ۱۴۰۳

www.ElitesJournal.ir

استراتژی قیمت دهی نیروگاه مجازی در بازارهای ذخیره و انرژی با درنظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت بازار

سعید قنبری

کارشناسی ارشد مهندسی برق- برنامه ریزی و مدیریت سیستم های انرژی الکتریکی، دانشگاه آزاد واحد بندرعباس

my.papiyoon@gmail.com

ارسال: خرداد ماه ۱۴۰۳ پذیرش: مرداد ماه ۱۴۰۳

چکیده

با توجه به اهمیت صنعت برق در جهان امروز، نقش نیروگاه‌های مجازی در بازار برق به عنوان یک مسئله کلیدی باید مورد بررسی دقیق‌تری قرار گیرد. این نیروگاه‌ها، که از طیف گسترده‌ای از منابع تولید توزیع شده استفاده می‌کنند، به عنوان یک منبع واحد در بازارهای انرژی عمل می‌کنند. این امکان به نسل انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر توزیع، مثل سیستم‌های فتوولتائیک و باد، فرصتی برای ادغام منابع تجدیدپذیر در بازار اصلی برق ارائه می‌دهد. در این بازار، تغییرات در فناوری‌های برق نمونه کارها به قیمت‌های عمده فروشی برق تأثیر می‌گذارد و هزینه‌های تولید در حالت حاشیه‌ای را به داخل انتقال می‌دهد. بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده باعث شده است که ساختار مدیریت مراکز قدرت، از متمرکز به غیرمتمرکز تغییر کند. برای بهبود و بهینه‌سازی این فرآیند، شناخت و اعمال الگوریتم‌های مناسب برای مسائل بهینه‌سازی در این زمینه حائز اهمیت است. این تحقیق از روش ژنتیک برای حل چالش‌های مربوط به استراتژی قیمت‌گذاری نیروگاه‌های مجازی در بازارهای ذخیره و انرژی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت استفاده می‌کند و مدل‌هایی برای ارزیابی این استراتژی‌ها طراحی و ارزیابی می‌کند.

کلمات کلیدی: قیمت دهی، نیروگاه مجازی، بازارهای ذخیره، عدم قطعیت.

۱- مقدمه

در بازار عمده برق، منحنی عرضه نیز تولید می شود تا با استفاده از این سیستم که رتبه برق را در بر دارد، شرکت ها بتوانند از لیست کوتاه مدت دوره ای خود هزینه های جانبی تولید را ارائه دهند که منحنی تقاضا با جمع کردن هزینه های کلی تقاضای مصرف کنندگان ساخته خواهد شد. هزینه برق از نقاط قابل مشاهده بین منحنی های عرضه و تقاضا قیمت دهی می شود. بنابراین، تغییر در این روال فن آوری های برق به طور مستقیم بر عمده فروشی تأثیر می گذارد[۲]. صنعت برق به عنوان یک صنعت زیربنایی در دو دهه اخیر دستخوش تغییرات بنیادی گردیده است که از آن به عناوین مختلفی چون تجدید ساختار، مقررات زدایی یاد می‌شود. علاوه بر این پیشرفت فناوری اطلاعات فرصتهای جدیدی را برای استفاده ازمنابع تولید پراکنده فراهم کرده است. در ساختار جدید بر خلاف ساختار سنتی قدیم که در آن مالک سیستم تولید، انتقال و توزیع یکی است. یکی از دستاوردهای آینده تغییر ساختار، ایجاد فضای رقابتی در بخش تولید برق است که در این خصوص مجموعه‌ای از واحدهای تولید مقیاس کوچک به همراه بار و شبکه تحت پوشش که توسط یک نهاد معین اداره می‌شود به نیروگاه مجازی موصوف می‌توانند در بازار عمده فروشی انرژی و ذخیره چرخان حضور فعال داشته باشند. نیروگاه مجازی یک مفهوم ترکیبی از انواع مختلف مولدهای با منبع اولیه تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

و همچنین تجهیزات ذخیره ساز که قادر است در قالب یک نیروگاه واحد وارد بازار برق شده و توان خروجی معینی را بصورت ساعتی عرضه نمایند. نیروگاه مجازی شامل یک نیروگاه معمولی ، تأسیسات ذخیره انرژی ، واحد انرژی باد و تقاضای انعطاف پذیر است. این سیستم چند جزیی به منظور بهینه سازی استفاده از منابع انرژی در بازارهای انرژی و ذخیره انرژی به عنوان یک نهاد واحد شرکت می کند[۱]. با توجه به اینکه یکی از مسائل مهم دنیای امروز صنعت برق مشارکت نیروگاه‌ها در بازار برق می‌باشد، نقش نیروگاه مجازی در بازار برق باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد که شامل انتخاب مدل مناسب جهت حضور نیروگاه خواهد بود. نیروگاه مجازی طیف گسترده ای از منابع تولید توزیع شده را ترکیب می کند و آنها را به عنوان یک منبع واحد در بازارهای انرژی اعمال می کنند. این فرصت اقتصادی به نسل توزیع مبتنی بر انرژی تجدید پذیر، مانند سیستم فتوولتائیک یا باد می دهد، زیرا می تواند پلی برای ادغام منابع تجدید پذیر در بازار عمده فروشی برق ایجاد کند. در این بازار، تغییر در پیشنهادات فن آوری های برق نمونه کارها بر قیمت عمده فروشی برق تأثیر می گذارد، زیرا هزینه های تولید حاشیه ای به داخل انتقال خواهد یافت.

رویکردهای جدید برای تولید برق می تواند شامل چندین مدل مختلف باشد که شامل[۵]:

۱- سطح عالی: حداکثر سود مورد انتظار برای به حداکثر رساندن و مشارکت در بازارهای برق و همچنین وضعیت CPP تعیین شود.

۲- سطح میانه: سود مورد انتظار برای به حداقل رساندن در بدترین حالت را در مورد تولید انرژی در دسترس و تقاضای استقرار ذخیره آن برای تصمیمات سطح بالا تعیین گردد.

۳- شرط بر اساس محدودیت ها و واکنش بهینه در برابر تحقق تولید انرژی موجود و میزان درخواستی ها.

۴- سطح پایین: حداکثر سود مورد انتظار و تعیین تصمیمات عملیاتی برای تصمیمات سطح بالا و متوسط.

پس می توان نیروگاه های مجازی حاوی منابع انرژی توزیع شده را در دو دسته اصلی نیروگاه مجازی تجاری و نیروگاه مجازی فنی به عنوان روشی مناسب برای مدیریت محیط های صنعتی طبقه بندی نمود که این چارچوب با انتخاب بهترین مدل می تواند انجام گیرد. این ایده برای سیستم‌های قدرت غیر متمرکز که متشکل از منابع تولید پراکنده می‌باشد، امکان بهره‌برداری بهینه مجموعه‌ای از منابع پراکنده با بازده بالا و همچنین امکان حضور آنها را در بازار برق فراهم می‌سازد. بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده موجب شده است تا ساختار متمرکز مدیریت مجموعه سیستم قدرت، تمایل به غیر متمرکز شدن مراکز مدیریت انرژی داشته باشد. برای جبران پذیری و ارتقاء این موضوع از جمله نکات مهم در تحقیقاتی که اهداف آنها بهینه‌سازی می‌باشد شناخت، درک و نحوه کاربرد الگوریتم مناسب در جهت مسأله‌ی موردنظر در بهینه‌سازی در این زمینه است که کاربردهای موثری ارائه نموده اند. در این پژوهش با استفاده از روش ژنتیک که بر مبنای یک سری فرایندهای زیر ساختاری در این الگوریتم می باشد برای حل چالش های این مسئله بررسی می شود. پس می توان برای استراتژی قیمت دهی نیروگاه مجازی در بازار های ذخیره و انرژی با درنظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت بازار توسط الگوریتم ژنتیک و تکنیک های مربوطه مدلی را طراحی نمود و برای استراتژی قیمت دهی نیروگاه مجازی در بازار های ذخیره و انرژی با درنظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت بازار آن را ارزیابی کرد.

۲- روش پژوهش

برای شرح مدل ارائه شده با استفاده از داده های سالانه تخمین زده می شود و اجازه می دهد پیش بینی قیمت عمده فروشی برق با توجه به ورودی های مختلف سناریوهایی از قبیل رشد اقتصادی، قیمت سوخت، اهداف انرژی اتحادیه قاره ای یا برق تولید شده توسط هر فناوری، به عنوان روندهای آینده که معمولاً توسط آژانسها بین المللی و ملی منتشر می شوند. با توجه به موضوع، نیروگاه شامل اجزا و انواع مختلفی می‌باشد که حضور نیروگاه مجازی در بازار برق می‌توان مدلهای مختلفی را مطرح کرد. این مدلها شامل: هانت و شاتل، تعادلی نش، غیرتعادلی، تخمین نقطه تعادل، برترند، مدل کورنات و مدل استکلبرگ می‌باشند. مدلی که در میان این تحقیقات جهت مدلسازی سیستم پیشنهادی انتخاب گردید مدل اقتصادی برای ارائه پیشنهاد قیمت در بازار برق براساس مدل غیر تعادلی می‌باشد. مدل غیر تعادلی جهت طراحی یک استراتژی پیشنهاد نیروگله مجازی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن، قیود

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مربوط به منابع بار تامین شده، قیود تعادل عرضه و تقاضا و همچنین قیود امنیتی به عنوان قیود شبکه در نظر گرفته می‌شوند. در مدل ارائه شده نیروگاه مجازی می‌تواند یک شرکت کننده بازار برق با نقش دوگانه از جمله تولیدکننده و مصرف‌کننده در جهت تبادل توان با شبکه بالادست باشد. علاوه بر این، نیروگاه مجازی می‌تواند سرویس ذخیره چرخان را تامین کند. این روند با توجه به پارامترهای تعریف شده که به صورت فرمول زیر نیز محاسبه خواهند شد .تابع هدف در PBUC بیشینه شدن سود ا ست، که برابر با تفا ضل درآمد و هزینه ها میبا شد .این سود طبق رابطه زیر به دست میآید:

$$\text{profit} = \sum_{k} (\text{revenue}^{k} - \text{cost}^{k}) \quad (۱)$$

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

$$\text{revenue}^{k} = \sum_{k} \left(P^{k}_{\text{Demand}} + P^{k}_{\text{Loss}}\right).\rho^{k}_{\text{DSO}} + \sum_{\text{GSP}} P^{k}_{\text{VPP,GSP}}.\gamma^{k}_{\text{DM,GSP}} \quad (۲)$$

$$\text{cost}^{k} = \sum_{\text{DG}}.\left(C_{\text{DG}}.P^{k}_{\text{DG}}.\alpha^{k}_{\text{DG}} + \text{SUC}_{\text{DG}}.\beta^{k}_{\text{DG}} + \text{SDC}_{\text{DG}}.\gamma^{k}_{\text{DG}} + \sum_{\text{SG}} C_{\text{DG}}.P^{k}_{\text{SG}}.\alpha^{k}_{\text{DG}} + C^{k}_{\text{DL}}.P^{k}_{\text{DL}}\right. \quad (۳)$$

که در این رابطه بخش اول نشان دهنده درآمد حاصل از تأمین توان برای مشررترکین نیروگاه و بخش دوم نماینگر فروش توان به شبکه بالا دستی می باشرد .هزینه کلی تولید، شامل هزینه های ناشی از تولید برق، هزینه راه اندازی و خاموش کردن هر واحد و قطع شدن بار می باشد .توضیحات کلی نیز می توان اینگونه بیان نمود که ابتدا روابط موجود در مسأله برای شبکه‌ی اول و سپس روابط جهت شبکه‌ی دوم شرح داده می شود. از جمله نکات مهم در تحقیقاتی که اهداف آنها بهینه‌سازی می‌باشد استفاده‌ی مناسب از الگوریتم‌های موجود می‌باشد. شناخت، درک و نحوه‌ی کاربرد الگوریتم مناسب در جهت مسأله‌ی موردنظر در مسائل بهینه‌سازی امری حیاتی می‌باشد. چه بسا الگوریتمی برای یک مسأله بهینه‌سازی مناسب باشد و برای مسأله‌ی دیگر چنین نباشد. این موضوع به مسائل مهمی چون ابعاد مسأله، قیود به کار رفته، زمان انجام بستگی دارد. لذا با مطالعه و بررسی کاستی‌های موجود و لزوم اعمال آن، در ابتدا به عدم قطعیت در قیمت انرژی و سپس به عدم قطعیت در پیش‌بینی بار تحلیل می شود.

مسأله موردنظر در این تحقیق، برنامه‌ریزی مشارکت واحدهای تولید مبتنی بر قیمت (PBUC) است که توسط VPP در یک دوره‌ی زمانی معین (۲۴ ساعته) حل می‌شود.چنانچه در فصول قبل به آن اشاره گریده، در این مسأله قیمت و بار تقاضا شده دارای عدم قطعیت می‌باشد. از توابع احتمال نرمال لگاریتمی و نرمال جهت مدلسازی این عدم قطعیت‌ها استفاده گردیده است. از روش مونت کارلو جهت بررسی تأثیر متغیرهای احتمالی اشاره شده بر چگونگی استراتژی نیروگاه مجازی استفاده شده است. همچنین شبیه‌سازی مونت کارلو برای محاسبه‌ی توزیعهای آماری سود، پیشنهاد تولید VPP به بازار انرژی پیشنهاد تولید VPP به بازار رزرو، تولید DG، ظرف یا دستگاه ذخیره‌ساز و دیگر پارامترها انجام شده است[۶]. تابع هدف مسأله حداکثر نمودن سود VPP جهت شرکت در بازار با در نظر گرفتن قیود مربوط به آن می‌باشد[۴]. از نکات مهم برای نیروگاه مجازی جهت مشارکت در بازار برق، پیشنهاددهی مناسب با توجه به برآورده ساختن قیود موجود در مسأله می‌باشد. این قیود با توجه به شبکه مورد مطالعه، متفاوت می‌باشد. در شبکه اول این قیود شامل قیود محدوده توان تولیدی واحدها، حداقل زمان توقف فعالیت، قیود افزایشی و کاهشی، قیود دستگاه ذخیره‌کننده الکتروشیمیایی و قیود بار قابل قطع می‌باشد که در فصل دوم به آن اشاره شده است. معرفی پارامترهای موجود در مسأله تدوین استراتژی پیشنهاد مبتنی برPBUC :

- K مشخصه فاصله زمانی
- DG مقدار توان قابل توزیع DG های فعال در VPP
- SG منابع تولید پراکنده تصادفی فعال در VPP
- GSP مشخصه نقاط متصل به شبکه
- DL شاخص بارهای توزیع پذیر
- $\lambda^{k}_{\text{DM,GSP}}$ قیمت بازار روز آینده در GSP در ساعت K

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- $\lambda^{k}_{Forecast,DM}$ قیمت پیش بینی شده ساعت k
- ρ^{k}_{DSO} قیمت شارژ برای مصرف کننده محلی DSO در ساعت K
- P^{k}_{DL} توان بارهای توزیع پذیر در ساعت K
- $P^{k}_{DL,max}$ حد بالای توان بارهای توزیع پذیر در ساعت K
- C^{k}_{DL} هزینه قطع شدن مشترکین در ساعت K
- P^{k}_{SG} توان تولید شده توسط DG های احتمالاتی در ساعت K
- P^{max}_{SG} حداکثر ظرفیت DGهای احتمالاتی
- P^{k}_{DG} توان تولید شده DG های قابل توزیع در ساعت K
- P^{max}_{DG} ماکزیمم توان تولید شده DG های قابل توزیع
- P^{min}_{DG} مینیمم توان تولید شده DG های قابل توزیع
- SUCDG هزینه راه اندازی واحدهای DG
- SDCDG هزینه خاموش کردن واحدهای DG
- α^{k}_{SG} متغیرهای تصمیم گیری باینری برای تعیین موقعیت واحدهای DG در ساعت K (روشن=۱ و خاموش=۰)
- α^{k}_{SG} متغیرهای تصمیم گیری باینری برای تعیین موقعیت واحدهای DG احتمالاتی در ساعت K (روشن=۱ و خاموش=۰)
- β^{k}_{DG} متغیرهای تصمیم گیری باینری برای تعیین زمان شروع به کار واحدهای DG قابل توزیع در ساعت K
- γ^{k}_{DG} متغیرهای تصمیم گیری باینری برای تعیین زمان پایان کار واحدهای DG در ساعت K
- CDG, CSG هزینه های تولید واحدهای DG قابل توزیع و احتمالاتی
- RUPDG محدوده شیب بالا برای واحد های DG
- RDNDG محدوده شیب پایین برای واحد های DG
- MUPDG مینیمم مقدار حداکثر زمان محدودیت واحد DG
- MDNDG مینیمم مقدار حداقل زمان محدودیت واحد DG
- $P^{k}_{VPP,GSP}$ توان اکتیو مبادله شده در GSP
- P^{k}_{Demand} کل توان اکتیو تقاضا شده شبکه توزیع در ساعتK
- P^{k}_{Loss} کل تلفات توان اکتیو تقاضا شده شبکه توزیع در ساعتK

مسئله برنامه ریزی مبتنی بر سود مشارکت واحد ها PBUC یکی از مسائل بهینه سازی غیر خطی در بهره برداری 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 می شود.در این پایانامه از برنامه PBUC با قیود مربوط به DG های احتمالاتی موجود در نیروگاه مجازی استفاده کردیم. اثر این منابع تولید پراکنده را با مدلسازی افزایش مقدار رزرو مورد نیاز بررسی می کنیم. مسئله عدم قطعیت قیمت بازار را نیز در مسئله PBUC در نظر گرفتیم .تابع هدف مسئله ماکزیمم سازی سود می باشد. خروجی مسئله بهینه سازی برای تعیین قیمت بازار روز آینده در موارد زیر خلاصه می شود:

- توان مبادله شده در نقاط متصل به شبکه اصلی
- توان تولیدی منابع DG
- توان تولیدی منابع SG
- ظرفیت رزرو

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۳- تعریف مساله و تابع هدف

هدف نیروگاه مجازی از شرکت در بازار برق، به دست آوردن بیشترین سود از طریق تأمین بار مصرفی مشترکان خود و تبادل توان با شبکه می باشد. این بازار به صورت یک بازار کوتاه مدت و روز بعد در نظر گرفته شده ا ست. تابع هدف در PBUC بیشینه شدن سود است، که برابر با تفا ضل درآمد و هزینه ها می با شد. این سود طبق رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{profit} = \sum_{k} (\text{revenue}^{k} - \text{cost}^{k}) \quad (۴)$$

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

$$\text{revenue}^{k} = \sum_{k} \left(P^{k}_{\text{Demand}} + P^{k}_{\text{Loss}}\right).\rho^{k}_{\text{DSO}} + \sum_{\text{GSP}} P^{k}_{\text{VPP,GSP}}.\gamma^{k}_{\text{DM,GSP}} \quad (۵)$$

$$\text{cost}^{k} = \sum_{\text{DG}} .\left(C_{\text{DG}}.P^{k}_{\text{DG}}.\alpha^{k}_{\text{DG}} + \text{SUC}_{\text{DG}}.\beta^{k}_{\text{DG}} + \text{SDC}_{\text{DG}}.\gamma^{k}_{\text{DG}} + \sum_{\text{SG}} C_{\text{DG}}.P^{k}_{\text{SG}}.\alpha^{k}_{\text{DG}} + C^{k}_{\text{DL}}.P^{k}_{\text{DL}}\right. \quad (۶)$$

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

قید تعادل توان:

$$\sum_{\text{DG}} P^{k}_{\text{DG}} + P^{k}_{\text{DL}} - \sum_{\text{GSP}} P^{k}_{\text{GSP,VPP}} \geq P^{k}_{\text{Demand}} + P^{k}_{\text{loss}} \quad (۷)$$

قیود پخش بار:

$$P^{k}_{\text{G,i}} - P^{k}_{\text{Dem,i}} = \sum \left|V^{k}_{\text{i}}\right|\left|V^{k}_{\text{j}}\right|\left|Y_{\text{ij}}\right| \cos\left(\theta_{\text{ij}} + \delta^{k}_{\text{j}} - \delta^{k}_{\text{i}}\right) \quad (۸)$$

$$Q^{k}_{\text{G,i}} - Q^{k}_{\text{Dem,i}} = -\sum \left|V^{k}_{\text{i}}\right|\left|V^{k}_{\text{j}}\right|\left|Y_{\text{ij}}\right| \sin\left(\theta_{\text{ij}} + \delta^{k}_{\text{j}} - \delta^{k}_{\text{i}}\right) \quad (۹)$$

قید ولتاژ شین ها:

$$V^{\min}_{\text{i}} \leq V^{k}_{\text{i}} \leq V^{\max}_{\text{i}} \quad (۱۰)$$

محدودیت خطوط در پخش بار شبکه توزیع :

$$S_{\text{ij}} \leq S^{\max}_{\text{ij}} \quad (۱۱)$$

از آنجایی که نیروگاه یک واحد مکانیکی است لذا نرخ تغییرات توان تولیدی یک واحد نمی تواند از حد معینی فراتر رود. این محدودیتها شرامل حداکثر نرخ تغییرات افزایشی و کاهشری است که به صورت زیر بیان می شود.

محدودیت توان انتقالی:

$$S^{k}_{\text{GSP}} \leq S^{\max}_{\text{GSP}} \quad (۱۲)$$

قید شیب نیروگاهی برای DG ها:

$$P^{k+1}_{\text{DG}} - P^{k}_{\text{DG}} \leq \text{RUP}_{\text{DG}} \quad (۱۳)$$

$$P^{k}_{\text{DG}} - P^{k+1}_{\text{DG}} \leq \text{RDN}_{\text{DG}} \quad (۱۴)$$

محدودیت توان تولید واحدهای DGو SG:

$$P^{k}_{\text{SG}} \leq P^{k}_{\text{SG,forecast}} \quad (۱۵)$$

$$P^{\min}_{\text{DG}} \leq P^{k}_{\text{DG}} \leq P^{\max}_{\text{DG}} \quad (۱۶)$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

قید بارهای قابل قطع:

$$P_{DL}^{k} \le P_{DL}^{max} \qquad (۱۷)$$

قید رزرو:

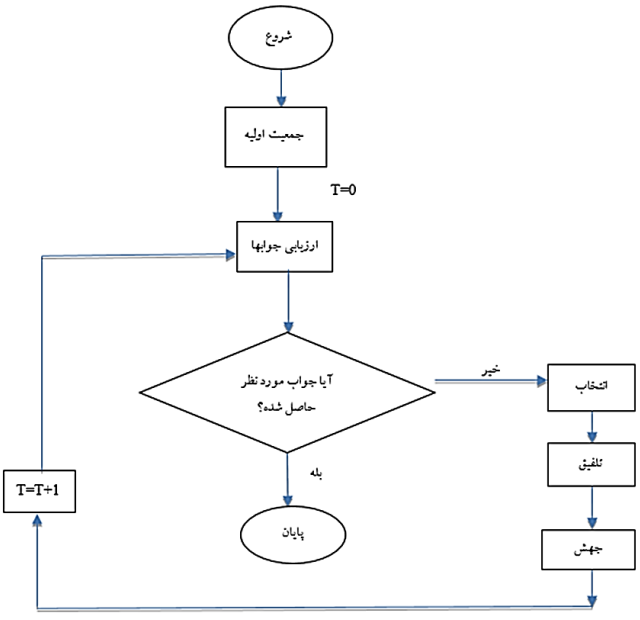
ذخیره بهره برداری در این مقاله داری دو مؤلفه است. مؤلفه اول بصورت درصدی از کل توان تولیدی DG ها و بارهای قابل قطع RSVtotal که در این تحقیق برابر ۲٪ است. مؤلفه دوم ذخیره اضافی نامیده می شود RSVSG که برای جبران خطای ایجاد شده بین تولید پیش بینی شده و تولید واقعی SG ها در نظر گرفته می شود که در این تحقیق برابر ۵٪ است.

$$\sum_{DG}\left(P_{DG}^{max} - P_{DG}^{k}\right).\alpha_{DG}^{k} + P_{DL}^{k} \ge RSV_{SG}.\left(\sum_{SG} P_{SG}^{k}.\alpha_{SG}^{k}\right) + RSV_{total}.\left(\sum_{DG} P_{DG}^{k}.\alpha_{DG}^{k} + P_{DL}^{k}\right) \qquad (۱۸)$$

۴- الگوریتم ژنتیک

محدوده کاری الگوریتم ژنتیک بسیار وسیع می باشد و هر روز با پیشرفت روزافزون علوم و تکنولوژی استفاده از این روش در بهینه سازی و حل مسائل بسیار گسترش یافته است. الگوریتم ژنتیک یکی از زیر مجموعه های محاسبات تکامل یافته می باشد که رابطه مستقیمی با مبحث هوش مصنوعی دارد در واقع الگوریتم ژنتیک یکی از زیر مجموعه های هوش مصنوعی می باشد. الگوریتم ژنتیک را می‌توان یک روش جستجوی کلی نامید که از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می‌کند. الگوریتم ژنتیک برروی یکسری از جواب‌های مساله به امید بدست آوردن جوابهای بهتر قانون بقای بهترین را اعمال می کند. درهر نسل به کمک فرآیند انتخابی متناسب با ارزش جواب‌ها و تولید مثل جوابهای انتخاب شده به کمک عملگرهایی که از ژنتیک طبیعی تقلید شده‌اند، تقریب‌های بهتری از جواب نهایی بدست می‌آید. این فرایند باعث می‌شود که نسلهای جدید با شرایط مساله سازگارتر باشد.

قبل از این که یک الگوریتم ژنتیکی بتواند اجرا شود، ابتدا باید کدگذاری (یا نمایش) مناسبی برای مسئله مورد نظر پیدا شود. معمولی ترین شیوه نمایش کروموزومها در الگوریتم ژنتیک به شکل رشته های دودویی است. هر متغیر تصمیم گیری به صورت دودویی در آمده و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها کروموزوم ایجاد می‌شود .گرچه این روش گسترده ترین شیوه کدگذاری است اما شیوه های دیگری مثل نمایش با اعداد حقیقی در حال گسترش هستند.همچنین یک تابع برازندگی نیز باید ابداع شود تا به هر راه حل کدگذاری شده ارزشی را نسبت دهد. در طی اجرا والدین برای تولید مثل انتخاب می‌شوند و با استفاده از عملگرهای آمیزش و جهش با هم ترکیب می‌شوند تا فرزندان جدیدی تولید کنند. این فرآیند چندین بار تکرار می‌شود تا نسل بعدی جمعیت تولید شود. سپس این جمعیت بررسی می‌شود و در صورتی که ضوابط همگرایی رآورده شوند, فرآیند فوق خاتمه می‌یابد.

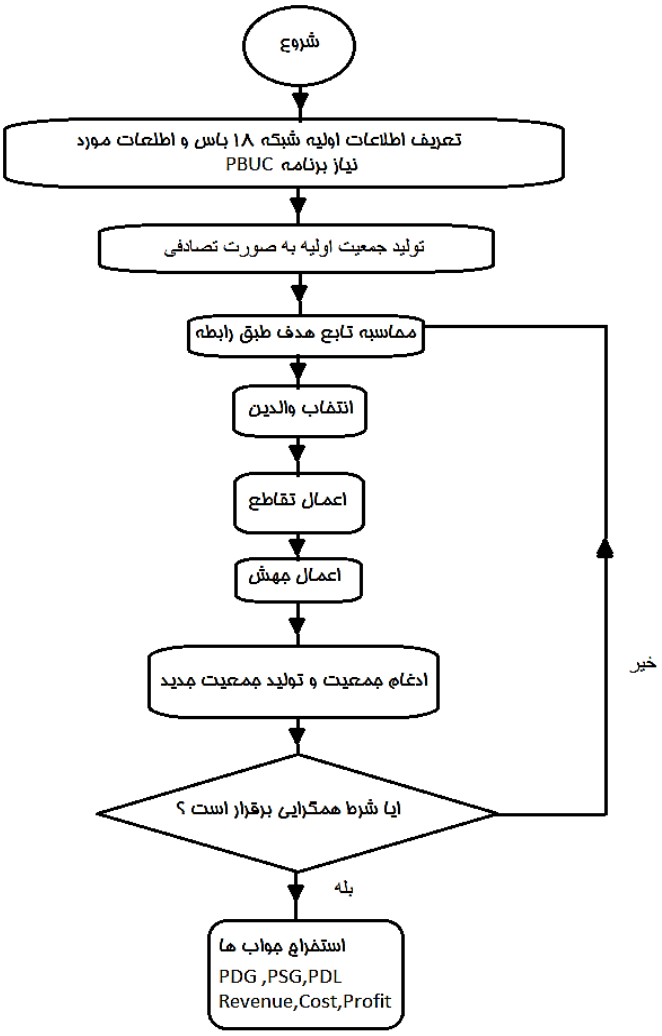


شکل ۱- فلوچارت الگوریتم ژنتیک

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به منظور حل مسئله پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک توان هر یک از DG ها و SG ها را در هر ساعت، مقدار بار توزیع شده و همچنین روشن یا خاموش بودن هر وسیله را در ساعات بهینه سازی به عنوان پارامتر های الگوریتم در نظر می گیریم. تابع هدف نیز که در قبل به آن اشاره کردیم سود VPP می باشد. فلوچارت حل مسئله به روش پیشنهادی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲- فلوچارت حل روش پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک

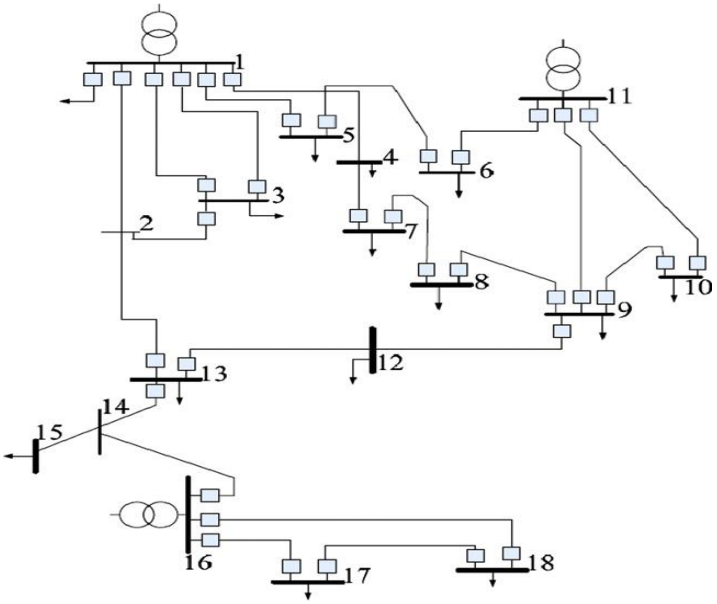
۵– یافته‌ها

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله بهینه سازی استفاده خواهیم کرد. سیستم ۱۸ باس نشان داده شده در شکل ۳ را به عنوان شبکه تست در نظر می گیریم. برای ساده سازی مسئله فرض کردیم همه DG ها در یک شبکه توزیع در نیروگاه مجازی وصل شده اند و شبکه نیز توسط سه عدد ترانسفورماتور که در باس های ۱و ۱۱ و ۱۶ قرار دارند به شبکه توزیع وصل می شوند. این سیستم از شبکه ۳۰ باس IEEE استخراج شده که یک شبکه ۳۳ کیلو ولت می باشد [۷]. در این سیستم ۴ عدد منبع قابل توزیع در باس های ۴و۷و۸و۱۴ و دو عدد DG در باس های ۱۵ و ۱۸ قرار دارند. قیمت پیشنهادی هر DG بر اساس قیمت برق طبقه بندی شده LCOE ارائه شده است. مقدار LCOE بر اساس هزینه ظرفیت نصب شده ،هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه عملکرد و عمر DG محاسبه می شود[۶]. همه DG ها بر اساس توان اکتیو مورد نیاز و قیودمینیمم و ماکزیمم شان شبیه سازی می شوند. قیمت بازار برای GSP ها متفاوت هست. به این ترتیب که GSP برای ۱و ۱۱ و۱۶ به ترتیب ۹۵ و ۱۰۵ و۱۰۰ درصد قیمت پیشبینی روز آینده میباشد.مهمترین مشخصات DG ها در جدول ۱ الی ۳ ارائه شده است. حد ماکزیمم بار قابل توزیع و یا قطع شده را ۵ درصد کل بار پیشبینی شده DSOدر نظر گرفتیم .ρ را برابر قیمت روز آینده بازار در GSP16 فرض می کنیم. برای آنالیز روش پیشنهادی به منظور پیدا کردن بهترین راه حل از نرم افزار Matlab استفاده کردیم و مسئله را در چند حالت مورد بررسی قرار دادیم:

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- حالت اول: عدم قطعیت را در پارامتر های ورودی در نظر نگیریم
- حالت دوم: در نظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت بازار و توان تولیدی ۱SG
- حالت سوم: در نظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت بازار و توان تولیدی ۱SG و SG2



شکل ۳- دیاگرام سیستم توزیع ۱۸ باسه

جدول ۱- مشخصات اصلی DER ها در VPP

DER No.	DER type	Pmin (MW)	Pmax (MW)	CDG (S/MWh)	RUPDG (MW/h)	RDNDG (M/Wh)	SUC ($)	SDC ($)
DG2	DG	۰	٤	۳۷	۱	۱	۲۰	۲۵
DG7	DG	۰	۵	٤۰	۱,۲۵	۱,۲۵	۲۰	۲۵
DG8	DG	۰	۵,۵	۳۵	۱,۳۷۵	۱,۳۷۵	۵۰	۲۵
DG14	DG	۰	۷	٤۵	۱,۷۵	۱,۷۵	۵۰	۲۵
SG15	SG	۰	۹	۵۵				
SG18	SG	۰	۷	٦۵				

- **شبیه سازی حالت اول:**

در حالت اول فقط از قیمت اصلی بازار و توان تولیدی ژنراتور های تصادفی در PBUC استفاده می کنیم که پروفیل قیمت پیشبینی شده DG احتمالاتی در جدول ۱ ارائه شده است. در جدول ۲ توان تولیدی بهینه و مقدار بار قابل توزیع برای بازار پیشنهادی روز آینده ارائه شده است. در جدول ۳ مقدار هزینه و درآمد در ۲۴ ساعت برای VPP را مشاهده می کنید. با توجه به جدول۲ مشاهده می شود که همه منابع تولید پراکنده قابل توزیع در همه ساعات بهینه سازی روشن می باشند. از سوی دیگر باتوجه به رابطه ۱۵ DG14 با بیشترین هزینه تولید در بین منابع قابل توزیع مقدار رزرو مورد نیاز VPP را تامین می کند. در ساعت ۲ که قیمت پیشبینی شده بازار نسبتا کم است مقدار تولید DG های قابل توزیع در حداقل خود قرار دارد اما هیچکدام خاموش نیست. سود کل VPP در این ساعت نیز برابر کمترین مقدار خود است. اما در ساعات ۳-۲۴ تولید DG ها در بالاترین مقدار خود است .در ساعات ۱-۵ که قیمت بازار کم است SG ها خاموش اند در ساعات ۶-۲۲ و ۲۴ DG15 روشن و تولیدش در ماکزیمم مقدار است. در ساعات ۱۰-۸، ۱۴-۱۲،و ۱۹-۲۲ مقدار حداکثر ظرفیت DG18 برای تولید توان به کار گرفته می شود. در ساعات ۱-۵، ۹-۱۱ و ۲۱-۲۲ بر اساس قیمت پیشنهادی بار های توزیع پذیر، قیمت بازار و تقاضای DSO سود بیشتری در بار های قطع شده و فروش توان آنها به بازار حاصل می شود. همچنین از جدول ۵ می توان فهمید قیمت بالای بازار در GSP11, 16 سود بیشتری برای تبادل توان شبکه بالا دست از این نقاط ایجاد می کند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۲- توان تولیدی DG ها و بار توزسع شده در سناریو اول

زمان	DG2 (MW)	DG7 (MW)	DG8 (MW)	DG14 (MW)	SG15 (MW)	SG18 (MW)	DL (MW)
۱	4	5	5.5	3.04	0	0	0.544
۲	3.31	3.67	4.34	1.48	0	0	0.532
۳	4	5	5.5	3.18	0	0	0.519
٤	4	5	5.5	4.018	0	0	0.565
٥	4	5	5.5	6.221	0	0	0.525
٦	4	5	5.5	6.321	5.32	0	0
۷	4	5	5.5	6.343	5.5	0	0
۸	4	5	5.5	6.764	5.5	3.5	0
۹	4	5	5.5	6.63	6.32	4.2	0.592
۱۰	4	5	5.5	5.643	6.12	4.2	0.586
۱۱	4	5	5.5	5.345	5.98	0	0.677
۱۲	4	5	5.5	6.129	6.2	4.2	0
۱۳	4	5	5.5	6.647	5.4	3.4	0.523
۱٤	4	5	5.5	6.246	5.4	3.4	0
۱٥	4	5	5.5	5.642	5.4	0	0
۱٦	4	5	5.5	5.763	3.036	0	0
۱۷	4	5	5.5	6.134	6.21	0	0
۱۸	4	5	5.5	6.872	6.63	0	0
۱۹	4	5	5.5	5.876	6.6	4.6	0
۲۰	4	5	5.5	6.029	6.6	4.6	0
۲۱	4	5	5.5	5.247	7.5	5.5	0.663
۲۲	4	5	5.5	6.023	7.5	5.5	0.622
۲۳	4	5	5.5	6.176	0	0	0
۲٤	4	5	5.5	5.876	7.5	0	0
مجموع	95.00	118.75	130.63	136.40	109.44	43.10	6.34

جدول۳- درآمد، هزینه و سود در حالت اول

زمان	GSP11(MW)	GSP16(MW)	درآمد	هزینه	سود
۱	8.57076	0	1192.3212	913.0362	279.285
۲	3.10245	0	546.5601	619.9998	-73.4397
۳	9.21318	0	1013.3982	901.0779	112.3203
٤	11.42295 0	0	1127.2407	1006.6515	120.5892
٥	13.07286 0	0	1429.32	1116.2112	313.1088
٦	15.33036 0	2.81736	2082.2922	1453.701	628.5912
۷	14.99238 0	2.75028	2237.3631	1453.701	783.675
۸	14.56926 0	6.96987	2727.2277	1737.2172	990.0105
۹	15.07881 0	8.57979	3116.8464	1908.2454	1208.601
۱۰	15.00786 0	8.56431	3158.4747	1906.878	1251.5967
۱۱	15.79605 0	3.56685	2365.7568	1553.9856	811.7712
۱۲	13.80945 0	8.49723	3271.5045	1841.5911	1429.9263
۱۳	14.33577 0	6.50676	3366.2679	1800.582	1565.6859
۱٤	14.18871 0	6.65511	2902.2033	1722.3048	1179.8985
۱٥	14.94981 0	2.62515	2246.5995	1446.8898	799.7097
۱٦	15.5832	0	1743.177	1285.8591	457.305
۱۷	15.60642	4.15638	2055.873	1528.6113	527.2617
۱۸	15.68253	4.17186	2020.0239	1528.6113	491.4126
۱۹	14.42607	9.57825	3019.2708	1901.2278	1118.559
۲۰	13.86363	9.46731	3329.9157	1901.2278	1428.6879
۲۱	14.28159	11.52873	3894.2778	2116.3095	1777.9683
۲۲	15.34455	11.7519	3221.8008	2098.5075	1123.2933
۲۳	12.10536	0	1459.3125	1079.1237	380.1888
۲٤	15.41937	5.1729	2229.765	1589.9121	639.8529
	144.9702	193.9386	54836.61	36429.187	18407.435

- **شبیه سازی حالت دوم:**

در این حالت عدم قطعیت قیمت بازار و تولید در SDG15 در فرمولبندی مسئله در نظر گرفته می شود. جدول ۴ مقدار تولیدات همه DG ها و مقدار بار قابل قطع و قابل توزیع برای قیمت پیشنهادی در بازار روز آینده را نشان می دهد. مقدار هزینه و درامد VPP برای این حالت نیز در جدول ۵ ارائه شده است . با توجه به جدول ۴و۵ میتوان فهمید در ۲۴ ساعت بهینه سازی که تولید واحد های DG و SG کاملا با حالت اول متفاوت است. در ساعات ۱-۵ تولید واحد های DG کاهش داشته اما تعداد ساعات روشن بودن واحد های SG افزایش داشته است. همچنین قطعی های بار در این حالت نیز بیشتر شده است. در این حالت قطعی های بار در ساعات

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱۷-۱ و ۱۹-۲۲ و ۲۴ صورت گرفته است .که ۹ درصد نسبت به حالت اول افزایش داشته است .از طرف دیگر به علت عدم قطعیت در قیمت بازار DG18 در ساعات ۷و۱۶و۱۸ و ۲۴ و DG15 در ساعات ۷و۱۶و۱۸و۲۴ از حالت اول کمترند.

جدول ٤- توان تولیدی DG ها و بار توزیع شده در سناریو دوم

زمان	DG2(MW)	DG7(MW)	DG8(MW)	DG14(MW)	SG15(MW)	SG18(MW)	DL(MW)
۱	4	4.749	5.5	4.74	0	0	0.600
۲	3.49	3.002	4.81	2.28	0	0	0.577
۳	3.9	4.529	5.5	4.32	0	0	0.615
٤	4	4.37	5.5	4.85	0	0	0.461
٥	4	4.88	5.5	6.79	0	0	0.582
٦	4	5	5.5	6.49	5.94	0	0.143
۷	4	5	5.5	6.75	5.749	1.61	0.298
۸	4	5	5.5	6.65	5.949	3.37	0.283
۹	4	5	5.5	6.56	6.707	4.54	0.409
۱۰	4	5	5.5	6.56	6.707	4.54	0.746
۱۱	4	5	5.5	6.75	6.707	0.72	0.702
۱۲	4	5	5.5	6.56	6.70	4.54	0.103
۱۳	4	5	5.5	6.64	5.841	3.67	0.781
۱٤	4	5	5.5	6.64	5.841	3.67	0.191
۱٥	4	5	5.5	6.78	5.841	0.87	0.165
۱٦	4	5	5.5	6.99	2.387	0	0.085
۱۷	4	5	5.5	6.75	7.139	0.17	0.02
۱۸	4	5	5.5	6.81	6.052	0	0
۱۹	4	5	5.5	6.52	7.139	4.97	0.028
۲۰	4	5	5.5	6.52	7.139	4.97	0.153
۲۱	4	5	5.5	6.42702138741	8.113	5.94	0.700
۲۲	4	5	5.5	6.42	8.11	5.94	0.374
۲۳	4	5	5.5	7.04	1.37	0	0
۲٤	4	5	5.5	6.75	7.42	0	0.244
مجموع	95.4	116.53	131	149.74	116.88	49.59	8.274

جدول ٥- درآمد، هزینه و سود در حالت اول

زمان	GSP11 (MW)	GSP16 (MW)	درآمد	هزینه	سود
۱	9.8	0	1264.09	967.55	296.5
۲	4.64	0	609.09	677.11	-68.02
۳	9.6	0	1040.80	919.66	121.13
٤	9.93	0	1067.17	941.09	126.08
٥	12.39	0	1394.36	1082.64	311.71
٦	15.38	2.42	2058.37	1437.71	620.66
۷	15.23	4.3	2355.22	1575.24	779.9
۸	14.80	6.47	2706.4	1720.48	986.01
۹	14.60	8.5	3068.01	1866.6	1201.3
۱۰	14.90	8.51	3138.84	1895.07	1243.79
۱۱	15.69	4.35	2408.90	1597.9	810.94
۱۲	13.84	8.44	3262.06	1840.2	1421.8
۱۳	14.24	6.46	3345.35	1789.4	1555.93
۱٤	14.31	6.61	2902.33	1729.10	1173.25
۱٥	15.05	3.58	2314.66	1516.01	798.52
۱٦	14.24	0.33	1685.72	1228.14	457.88
۱۷	15.53	4.32	2059.09	1533.5	525.57
۱۸	15.01	3.49	1945.28	1451.1	494.11
۱۹	14.37	9.52	3003.94	1892	1111.95
۲۰	13.9	9.4	3324.94	1904.38	1420.57
۲۱	14.089	11.46	3861.61	2094.09	1767.50
۲۲	14.8	11.67	3171.29	2054.9	1116.33
۲۳	12.7	0.88	1542.77	1158.51	384.24
۲٤	15.5	4.39	2192.54	1554.80	637.74
مجموع	324.78	115.23	55723.01	36427	18489

- **شبیه سازی حالت سوم:**

در این حالت عدم قطعیت DG18 رو هم در فرمول بندی مسئله در نظر می گیریم. جدول ۶و ۷ نتایج این حالت را نشان می دهند. در این حالت نیز مشابه حالت ۲ تولید DG های قابل توزیع در ساعات ۱-۵ کمتر شده است وکل تولیدات DG های قابل توزیع .۳۲٪ حالت ۲ در ۲۴ ساعت بهینه سازی می باشد که این مسئله به دلیل زیاد شدن عدم قطعیت هاست. در مقایسه با حالت اول در ساعات ۱ الی ۵ و ۲۳، DG15 روشن است اما تولیدات آن در ساعات ۷و۱۶-۱۸ و ۲۴ از حالت اول کمتر است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ٦- توان تولیدی DG ها و بار توزیع شده در سناریو سوم

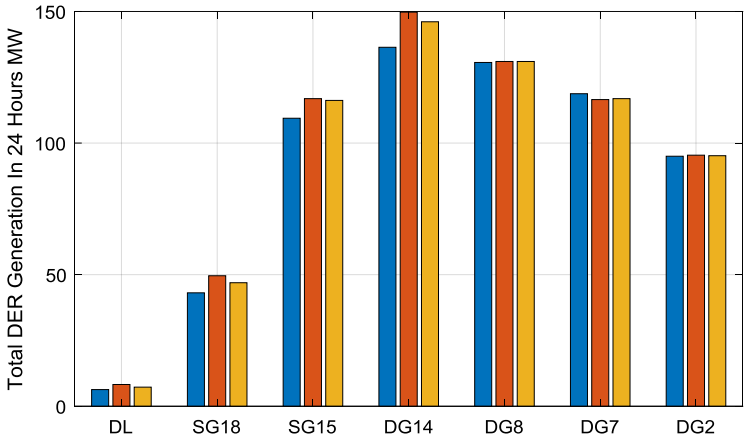
زمان	DG2(MW)	DG7(MW)	DG8(MW)	DG14(MW)	SG15(MW)	SG18(MW)	DL(MW)
١	4	4.66	5.5	3.8412	0.7789	0	0.554
٢	3.31	3.20	4-58	1.867	0	0	0.554
٣	3.89	4.56	5.5	3.65981	0	0	0.586
٤	4	4.59	5.5	4.9082 0	0	0	0.49
٥	4	4.87	5.5	6.63674	0.7362	0	0.544
٦	4	5	5.5	6.53004	5.868	0	0.096
٧	4	5	5.5	6.70076	5.6124	0.8856	0.16
٨	4	5	5.5	6.57272	5.8685	3.31837	0.149
٩	4	5	5.5	6.47669	6.6154	4.481	0.53
١٠	4	5	5.5	6.47669	6.6154	4.481	0.533
١١	4	5	5.5	6.66875	6.6154	0.597	0.537
١٢	4	5	5.5	6.47669	6.6154	4.481	0.085
١٣	4	5	5.5	6.56205	5.7618	3.627	0.565
١٤	4	5	5.5	6.56205	5.7618	3.627	0.179
١٥	4	5	5.5	6.71143	5.7618	0.586	0.106
١٦	4	5	5.5	6.88215	2.84889	0	0.074
١٧	4	5	5.5	6.70076	6.06056	0.373	0.053
١٨	4	5	5.5	6.7221	6.12458	0	0
١٩	4	5	5.5	6.43401	7.0422	4.908	0.053
٢٠	4	5	5.5	6.43401	7.0422	4.90	0.108
٢١	4	5	5.5	6.33798	8.0025	5.868	0.661
٢٢	4	5	5.5	6.33798	8.0025	5.8	0.516
٢٣	4	5	5.5	6.96751	1.09901	0	0
٢٤	4	5	5.5	6.65808	7.39431	0	0.138
مجموع	95.2	116.88	131	146.09	116.21	46.94	7.27

جدول ٧- درآمد، هزینه و سود در حالت سوم

زمان	GSP11(MW)	GSP16(MW)	درآمد	هزینه	سود
١	9.59	0	1259.01	967.37	291.6
٢	3.91	0	581.78	647.85	-66.07
٣	8.89	0	1008.9	888.09	120.81
٤	10.42	0	1087.53	961.83	125.71
٥	13.16	0	1439.0	1126.48	312.56
٦	15.34	2.57	2064.4	1441.6	622.72
٧	15.07	3.46	2290.4	1508.27	782.12
٨	14.66	6.44	2695.44	1709	986.44
٩	14.77	8.52	3082.4	1880.39	1202.8
١٠	14.70	8.5	3123.34	1879.24	1244.11
١١	15.54	4.23	2389.93	1579.08	810.84
١٢	13.83	8.45	3261.81	1839.74	1422.07
١٣	14.02	6.46	3327.38	1770.7	1556.65
١٤	14.24	6.61	2896.89	1723.49	1173.38
١٥	14.98	3.28	2289.92	1491.63	798.28
١٦	14.82	0.32	1718.3	1259.6	458.68
١٧	15.5	3.48	2018.49	1489.09	529.40
١٨	15.09	3.59	1954.9	1461.27	493.74
١٩	14.41	9.52	3007.55	1895.11	1112.4
٢٠	13.91	9.41	3321.6	1900.8	1420.76
٢١	14.09	11.46	3862.33	2094.45	1767.8
٢٢	15.0	11.6	3186.57	2069	1117.5
٢٣	12.5	0.7	1525.8	1142.2	383.6
٢٤	15.46	4.47	2190.4	1552.4	637.9
	324.12	113.21	55584.	36279.	18493

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ٤- کل توان تولیدی DER ها در ٢٤ ساعت

۶- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی نیروگاه مجازی با در نظر گرفتن قیمت بازار و توان تولیدی منابع تولید پراکنده احتمالاتی ارائه دادیم. از مدل احتمالاتی PBUC برای تصمیم گیری نیروگاه مجازی به منظور مشارکت واحد های DER و پیشنهادات خرید و فروش بازار روز آینده استفاده کردیم. تابع هدف اصلی الگوریتم ماکزیمم سازی سود مالکان VPP از مشارکت در بازار روز آینده و با در نظر گرفتن تقاضای DSO است. در این مدل قیود شبکه قیود تکنیکال DER ها ،عدم قطعیت قیمت بازار و تولیدات تصادفی DG ها و قیود اقتصادی در نظر گرفته شده است.آنالیز مسئله را روی یک سیستم تست ۱۸ باس ارائه دادیم و شبیه سازی ها را در سه حالت: حالت بدون عدم قطعیت، حالت با عدم قطعیت در قیمت بازار و DG15، حالت عدم قطعیت در قیمت بازار و DG15,DG18 انجام دادیم و مشاهده شد که الگوریتم ژنتیک به خوبی راه حل مناسب برای حل مسئله ارائه داد و در تحلیل دیدیم که به خوبی با افزایش عدم قطعیت در مسئله الگوریتم به خوبی حالت روشن یا خاموش بودن و اندازه تولیدات را تغییر داد تا سود افزایش یابد.

۷- مراجع

1. Jenkins N. Secretary of the CIRED working group no. 4 on dispersed generation.Preliminary discussion at CIRED; 1999.

2. Leao RPS, Barroso GC, Sampaio RF, Almada JB, Lima CFP, Rego MCO, et al. Thefuture of low voltage networks: moving from passive to active. Int J Elect Power Energy Syst 2011;33:1506–12.

3. Mashhour E, Moghaddas-Tafreshi S. Bidding strategy of virtual power plant for participating in energy and spinning reserve markets—Part II: numerical analysis. IEEE Trans Power Syst 2011;26:957–64.

4. Mashhour E, Moghaddas-Tafreshi S. Integration of distributed energy resources into low voltage grid: a market-based multiperiod optimization model. Electr Power Syst Res 2010;80:473–80.

5. Moradi MH, Abedini M. A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems. Int J Elect Power Energy Syst 2012;34:66–74.

6. Morales JM, Perez-Ruiz J. Point estimate schemes to solve the probabilistic power flow. IEEE Trans Power Syst 2007;22:1594–601.

7. Peikherfeh M, Seifi H, Sheikh-Aleslami MK. Optimal decision making for virtual power plant operation. In: Proc 9th int power and energy conf; 2010. p. 625.

Archive of SID.ir