

بهره‌برداری بهینه از ریز شبکه‌های چندگانه تحت قابلیت اطمینان شبکه مبتنی بر الگوریتم تولید مثل غیر جنسی

حسین شهامتی نژاد^۱، سید محمد صادق زاده^۲

چکیده

تاریخ دریافت:	امروزه تعداد ریز شبکه‌های توزیع رو به افزایش است. در این میان به دلایل مختلف که در حوزه شبکه‌های هوشمند و بازار برق قابل توجیه است بهره‌برداری بهینه از این ریز شبکه‌ها دارای اهمیت بالایی می‌باشد. از طرفی وجود حوادث با شدت بالا دلایل ایجاد ریز شبکه‌ها در بسیاری از کشورها بوده است که اهمیت بهره‌برداری از ریز شبکه‌های چندگانه جهت مقابله با این حوادث را نشان می‌دهد. در این مقاله بهره‌برداری بهینه از ریز شبکه‌های به هم پیوسته جهت پاسخگویی به شرایط عادی و بحرانی مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که ریز شبکه‌های چندگانه می‌توانند متصل به شبکه اصلی و نیز متصل به هم باشند بنابراین ایجاد شرایط بهره‌برداری مناسب ضمن حفظ مستقل بودن آنها مورد توجه می‌باشد. هدف در این مقاله بهینه‌سازی در شرایط قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد. در این حالت کلیدهای بین ریز شبکه‌ها یکی از مواردی است که برای تامین شرایط بهینه‌سازی ریز شبکه‌ها مورد توجه است. در حضور منابع انرژی تجدیدپذیر و تاثیرپذیری قابلیت اطمینان ناشی از این منابع، شبیه‌سازی با ایجاد سناریو و اعمال به برنامه بهینه‌سازی انجام شده است. تابع هدف بهینه‌سازی توسط یک الگوریتم تکاملی به نام تولید مثل غیر جنسی صورت گرفته است.	۱۴۰۰/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش:	دلایل ایجاد ریز شبکه‌ها در بسیاری از کشورها بوده است که اهمیت بهره‌برداری از ریز شبکه‌های چندگانه جهت مقابله با این حوادث را نشان می‌دهد. در این مقاله بهره‌برداری بهینه از ریز شبکه‌های به هم پیوسته جهت پاسخگویی به شرایط عادی و بحرانی مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که ریز شبکه‌های چندگانه می‌توانند متصل به شبکه اصلی و نیز متصل به هم باشند بنابراین ایجاد شرایط بهره‌برداری مناسب ضمن حفظ مستقل بودن آنها مورد توجه می‌باشد. هدف در این مقاله بهینه‌سازی در شرایط قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد. در این حالت کلیدهای بین ریز شبکه‌ها یکی از مواردی است که برای تامین شرایط بهینه‌سازی ریز شبکه‌ها مورد توجه است. در حضور منابع انرژی تجدیدپذیر و تاثیرپذیری قابلیت اطمینان ناشی از این منابع، شبیه‌سازی با ایجاد سناریو و اعمال به برنامه بهینه‌سازی انجام شده است. تابع هدف بهینه‌سازی توسط یک الگوریتم تکاملی به نام تولید مثل غیر جنسی صورت گرفته است.	۱۴۰۱/۰۹/۲۸
کلمات کلیدی:	بهره‌برداری ریز شبکه، ریز شبکه‌های چندگانه، قابلیت اطمینان، الگوریتم ARO	

^۱ دانشجوی دکتری دانشگاه شاهد، تهران، ایران، کد پستی ۱۸۶۵۱۳۳۱۹۱ (email: a.h.shahamati.nezhad@gmail.com)

^۲ دانشیار دانشگاه شاهد، تهران، ایران، کد پستی ۱۸۶۵۱۳۳۱۹۱ (email: sadeghzadeh@shahed.ac.ir)

۱. مقدمه

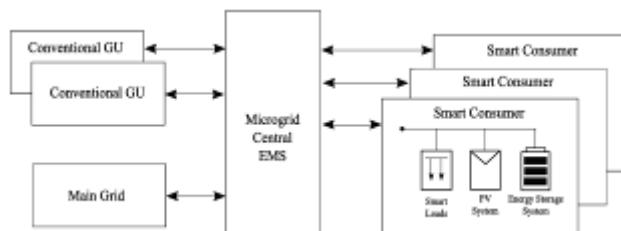
با توجه به حضور ریز شبکه‌ها^۳ به عنوان یک بازیگر مهم در بهره برداری سیستم‌های توزیع انرژی نسل جدید و ایجاد بازار انرژی همچین با توجه به قابلیت‌های فراوان ریز شبکه‌ها در سیستم‌های توزیع و به طور کلی شبکه‌های هوشمند، بهره برداری از این چنین سیستم‌ها دارای چالش‌ها و فرصت‌های بسیاری نسبت به نسل مرسوم سیستم‌های توزیع خواهد بود. با توجه به وجود انواع مختلف منابع تجدیدپذیر و غیر تجدیدپذیر و قابلیت جزیره‌سازی ریز شبکه‌ها، بررسی مساله‌ی در مدار قرارگیری منابع تولید پراکنده در ریز شبکه‌ها و به دنبال آن مشارکت ریز شبکه‌ها در شبکه‌ی توزیع هوشمند ضروری به نظر می‌رسد.

مرجع [۲] با ارایه‌ی مدل دوستخی برای مساله‌ی بهره برداری بهینه سازی انجام داده است. به طوری که سود شرکت توزیع مسئله‌ی سطح بالا و سطح پایین مساله در مورد هزینه‌ی ریز شبکه‌ها است. نقش تاثیر گذار ساختار بازار انرژی در سود و هزینه‌های ریز شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش قابلیت اطمینان با ارایه یک مدل احتمالی برای بار و منابع انرژی، به عنوان یک هدف برای بهینه سازی یک شبکه با ریز شبکه‌های به هم متصل در مرجع [۳] بررسی شده است.

برای یک شبکه با چند ریز شبکه‌ی متصل به هم یک مدل جدید برای مطالعه تلفات و قابلیت اطمینان تحلیل و بررسی شده است [۴]. مرجع [۵] بهره برداری از چندین ریز شبکه با منابع تجدید پذیر مختلف به طوری که از شبکه‌ی توزیع اصلی مستقل هستند بررسی کرده است. بهینه سازی توان مبادله‌ای بین چند ریز شبکه که به هم دیگر متصل هستند با هدف حداقل سازی هزینه‌ی بهره برداری در مرجع [۶] مورد مطالعه قرار گرفته است. استراتژی برای شارژ کردن و دشارژ کردن خودرو های برقی در شبکه‌های با چندین ریز شبکه‌ی به هم پیوسته در با در نظر گرفتن عدم قطعیت در بیشتر پارامترهای بهینه سازی در نظر گرفته شده است [۷]. در مرجع [۸] برای مدیریت منابع پراکنده‌ی مختلف در ریز شبکه‌ها یک روش کنترلی همراه با بارهای پاسخ‌گو و ذخیره سازهای ارایه شده است. در مرجع [۹] برای کنترل توان عبوری بین ریز شبکه‌ها در یک سیستم با چند ریز شبکه‌یک مساله‌ی بهینه سازی حل شده است. به دلیل وجود عدم قطعیت در سیستم هوشمند با چند ریز شبکه مساله‌ی پخش بار در [۱۰] به صورت احتمالی انجام شده است. داد و ستد و معامله‌ی توان بین ریز شبکه‌ها در یک محیط تجدید ساختار یافته در مرجع [۱۱] ارایه شده است. در یک شبکه‌ی توزیع با چند ریز شبکه‌ی به هم متصل شاخص‌های قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار گرفته شده است [۱۲]. در مرجع [۱۳] بهره برداری و برنامه ریزی شبکه‌ای با یک ریز شبکه و شبکه‌های با چندین ریز شبکه در محیط بازار انرژی مورد مطالعه قرار گرفته است. در مرجع [۱۴] تابع هدف حداقل سازی قیمت برق بر اساس هزینه‌ی انتقال توان در شبکه است. در مقاله‌ی [۱۵] توان مبادله شده بین چندین ریز شبکه مطالعه شده است که ریز شبکه‌ها به عنوان فروشنده‌ی توان یا خریدار آن مدل شده است. بهره برداری در زمان وقوع حوادث غیر مترقبه در شبکه‌ای با چند ریز شبکه مورد بررسی قرار گرفته است [۱۶].

در مقاله‌ی [۱۷] برای مدیریت انرژی ریز شبکه‌هایی با بار خانگی با خطی سازی مساله مدل مساله به صورت خطی همراه با متنبیز صحیح آمیخته مدل‌سازی شده است. هدف مساله‌ی پیشنهاد شده حداقل سازی هزینه‌ی بهره برداری از سیستم با در نظر گرفتن قیود مختلف بهره برداری و امنیت است. شکل (۱) برنامه ریزی منابع تولید توان مختلف اعم از قابل کنترل و غیر قابل کنترل در مدار قرار گیری واحد‌های تولید توان در مدیریت انرژی سیستم توزیع انرژی نشان می‌دهد.

مرجع [۱۸] مروی در زمینه‌ی کاربرد برنامه ریزی آمیخته عدد صحیح در مورد حل مساله مشارکت روزانه واحد‌های تولید توان با در نظر گرفتن قید امنیت و با در نظر داشتن توربین بادی و منابع تولیدی گرما انجام داده است.



شکل (۱): ساختار سیستم مدیریت انرژی پیشنهاد شده توسط [۱]

مقاله‌ی [۱۹] مدل خطی آمیخته با عدد صحیح بهبود یافته برای برنامه ریزی بهینه‌ی پخش بار اقتصادی و مشارکت یا در مدار قرارگیری واحد‌های تولید توان در ریز شبکه با هدف حداقل سازی هزینه‌های بهره‌برداری، نگه‌داری و تلفات^۴ و... با تمرکز بر حداقل کردن وابستگی ریز شبکه‌ها به شبکه‌ی اصلی توزیع ارایه کرده است.

نویسنده‌گان [۲۰] با معرفی ریز شبکه با ساختار انرژی چندگانه برای افزایش کنترل پذیری و انعطاف منابع تولید توان الکتریکی، گرمایی و حداقل سازی هزینه‌ی کل بهره‌برداری شبکه یک روش جدید پیشنهاد کرده است.

مرجع [۲۱] در مدار قرار گیری یا مشارکت نیروگاه بر اساس سود را برای ریز شبکه‌های صنعتی معرفی کرده است، به طوری که در فرمول بندی این مساله قیود امنیت و قیود مربوط به کارخانه‌ها رعایت شده و در مساله‌ی پیشنهاد شده از گرمایی تلف شده‌ی نیروگاه‌ها در مکان‌های مورد نیاز استفاده می‌شود.

با مرور مراجع پیشین مشخص شد مراجع اندکی در مورد در بهره‌برداری واحد‌های تولید پراکنده مختلف در شبکه‌ای با چند ریز شبکه و هم‌چنین مشارکت ریز شبکه‌ها در بهره‌برداری بهینه‌از یک شبکه‌ی هوشمند تحقیق و مطالعه کرده است و در مقالات اشاره شده پروفیل های ۲۴ ساعته بارهای گوناگون به طور کامل بررسی شده است. در مقاله پیش‌رو با فرض وجود کاربری‌های مختلف و منحنی‌های مختلف بار در ۲۴ ساعت شبانه روز در هر ریز شبکه به طوری که تمام بارهای خانگی، صنعتی، خانگی و دانشگاهی در ریز شبکه‌ها به طور جداگانه فرض شده هم چنین انواع مختلف منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر و غیر تجدیدپذیر در ریز شبکه‌ها فرض شده و مساله‌ی مشارکت ریز شبکه‌ها مطالعه می‌شود.

۲. مدلسازی مساله مشارکت بهینه ریز شبکه‌ها در برنامه ریزی روزانه یک شبکه توزیع هوشمند

فرض کنید که یک شبکه توزیع دارای تعدادی ریز شبکه است به طوری که این ریز شبکه‌ها از یک یا چند نقطه به شبکه توزیع اصلی و یا به ریز شبکه‌های دیگر متصل باشد. در این حالت با توجه به شرایط مختلف بهره‌برداری این امکان وجود خواهد داشت که هر کدام از ریز شبکه‌ها تعیین حالات کلیدهای بین ریز شبکه‌ها به ساختارهای مختلفی تبدیل شده و شرایط خاص بهره‌برداری را تامین کنند. برخی از این شرایط خاص می‌تواند به صورت زیر باشد:

- ۱- یک یا مجموعه‌ای از ریز شبکه‌ها از شبکه اصلی جدا شده و به صورت یک مجموعه مستقل به بهره‌برداری خود ادامه دهنده.
- ۲- یک یا تعدادی از ریز شبکه‌ها به دلیل مباحث قیمت انرژی ترجیح دهنده از شبکه جدا شوند.
- ۳- فروش انرژی بین ریز شبکه‌های مجاور و یا ریز شبکه‌هایی که باهم ارتباط غیر مستقیم از طریق ریز شبکه‌ها دیگر دارند اتفاق بیفتند.
- ۴- ریز شبکه‌ای اجازه ترانزیت انرژی را از بستر خود ندهد.
- ۵- به دلایل خاص مانند بهبود تاب آوری سیستم یک یا مجموعه ریز شبکه‌ها ساعات طولانی و خاصی را به صورت متصل به شبکه و یا منفصل از آن کار کنند.

در هر کدام از حالات فوق بهره‌بردار شبکه توزیع باید امکان کنترل ریز شبکه‌ها و یا مجموعه آنها را از نظر اتصال به شبکه و یا کار در حالت جزیره‌ای و یا تامین شرایط تاب آوری فراهم نماید. بر این اساس بایستی شرایط به مدار آوردن و یا مشارکت هر کدام از ریز شبکه‌ها در حالات مختلف بهره‌برداری با حفظ سایر قیود فراهم شود. از این منظر هر کدام از ریز شبکه‌ها مانند یک نیروگاه مجازی و مستقل امکان مشارکت و یا جدا شدن از شبکه را داشته باشند. هر کدام از ریز شبکه‌ها دارای منابع تامین انرژی خود می‌باشد که می‌تواند در شرایط مختلف مورد بهره‌برداری قرار گیرد. از طرفی تمامی منابع در تمامی ریز شبکه‌ها موجود نمی‌باشند بنابراین هر کدام از ریز شبکه‌ها دارای پتانسیل متفاوت در بهره‌برداری می‌باشند که می‌توانند به کمک هم آمده و شرایط بهره‌برداری بهتری را فراهم نمایند.

در این قسمت مدل ریاضی مشارکت بهینه ریز شبکه ها در یک شبکه توزیع هوشمند مدلسازی می گردد. فرض کنید که یک شبکه توزیع دارای MG عدد ریز شبکه باشد به طوری که از یک یا چند نقطه به شبکه توزیع اصلی و یا به ریز شبکه های دیگر متصل باشند.

فرض کنید که هر ریز شبکه دارای منابع انرژی تجدید پذیر مانند توربین بادی (WT) و سلولهای خورشیدی (PV) و تعدادی منابع قبل کنترل مانند تولید همزمان برق و حرارت (CHP)، میکروتوربین (MT) و یا پیل سوختی (FC) باشد. از آنجا که برای هر یک از توان تولیدی هر کدام از منابع تجدید پذیر و نیز بار شبکه در حضور عدم قطعیت مدل سازی شده است لذا با تولید سنارو و کاهش آن به تعداد محدود ۲۰ نتایج در هر ساعت بر اساس تعداد سناریوها اجرا شده است لذا پارامتر s معرف سناریو در این مدلسازی بکار رفته است.

توان تولیدی هر ریز شبکه mg در ساعت t و سناروی s در حالت کلی می تواند از رابطه زیر محاسبه گردد.

$$\begin{aligned} P_{mg,t,s} &= v_{chp}(t)P_{chp,t,s} + v_{FC}(t)P_{FC,t,s} + \\ &v_{MT}(t)P_{MT,t,s} + v_{WT}(t)P_{WT,t,s} + v_{PV}(t)P_{PV,t,s} \\ &= \sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{der_{m,t,s}} \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن پارامتر باینری V پارامتری است که در مدار بودن و یا نبودن هر یک از منابع را در ریز شبکه m بیان می کند. $P_{FV,t}$ و $P_{chp,t,s}$ به ترتیب توانهای تولید هر کدام از منابع را در ساعت t و سناروی s بیان می کنند. در رابطه فوق $P_{der_{m,t,s}}$ توان تولیدی هر کدام از منابع انرژی در ریز شبکه m است و N_{DER} تعداد این منابع در ریز شبکه m می باشد. بدیهی است که هر کدام از منابع در برخی از ریز شبکه ها موجود می باشند و ممکن است در ریز شبکه دیگر موجود نباشند که در این صورت مقادیر آنها در تمام طول مطالعه صفر فرض می گردد. برای هر ریز شبکه m بار هر باسبار b با $P_{Lb,t}$ بیان می گردد. در این حالت بار کل هر ریز شبکه در ساعت t از رابطه زیر محاسبه خواهد شد.

$$P_{LM,t} = \sum_b^{B_m} P_{Lb,t} \quad (2)$$

که در آن B_m تعداد کل باسبارهای ریز شبکه m است. برای هر ریز شبکه در حالت متصل به شبکه اصلی و یا متصل به ریز شبکه های دیگر معادله تعادل توان به صورت زیر است. در صورتیکه ریز شبکه در حالت متصل به شبکه و نیز متصل به ریز شبکه های دیگر باشد معادله تعادل توان از رابطه (۳) محاسبه خواهد شد.

$$\begin{aligned} \sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{der_{m,t,s}} &= \sum_b^{B_m} P_{Lb,t} + P_{LOSS_{m,t,s}} \\ &+ D_{Net_{t,s}} \times P_{Net_{t,s}} + \sum_{mc=1}^{M_C} D_{mc,t,s} P_{mc,t,s}^{Tr} \end{aligned} \quad (3)$$

در معادله (۳) یک عدد صحیحی از مجموعه $\{-1, 0, 1\}$ انتخاب می گردد و نحوه جهت عبور توان بین ریز شبکه و شبکه اصلی را نشان می دهد. همچنین $D_{mc,t,s}$ عدد صحیح از مجموعه $\{-1, 0, 1\}$ بوده و نحوه عبور ترانزیت توان و انرژی $P_{mc,t,s}^{Tr}$ بین ریز شبکه و ریز شبکه های همسایه را در ساعت t نشان می دهد. $P_{Net_{t,s}}$ توان مبادله شده ریز شبکه با شبکه اصلی و توان تبادلی بین ریز شبکه های مجاور و M_C تعداد ریز شبکه های متصل به ریز شبکه m است.

در صورتی که ریز شبکه به تنها بی و مستقل در حالت جزیره ای باشد در این صورت شاخصهای D_{Net} و D_m برای هر لحظه زمانی صفر خواهد شد و معادله فوق به صورت زیر تقلیل خواهد یافت.

$$\sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{m,t,DER} = \sum_b^{B_m} P_{Lb,t} + P_{m,t,Loss} \quad (4)$$

اگر ریز شبکه فوق فقط با شبکه بالادستی مبادله توان داشته باشد در این صورت معادله توان به صورت (۵) خواهد بود.

$$\sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{der_{m,t,s}} = \sum_b^{B_m} P_{Lb,t} + P_{Loss_{m,t,s}} + D_{Net_{m,t,s}} \times P_{Net_{m,t,s}} \quad (5)$$

و در صورتی مجموعه ریز شبکه ها با شبکه توزیع تبادل توان نداشته باشد ولی فقط با یک یا چند ریز شبکه دیگر تبادل توان داشته باشد، معادله به صورت (۶) خواهد بود.

$$\sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{der_{m,t,s}} = \sum_b^{B_m} P_{Lb,t} + P_{Loss_{m,t,s}} + \sum_{\substack{mc=1 \\ mc \neq m}}^{M_C} D_{mc,t,s} P_{mc,t,s}^{Tr} \quad (6)$$

برای یک شبکه توزیع با تعداد MG ریز شبکه معادله تعادل توان را می توان به صورت زیر نیز بیان کرد.

$$\sum_{m=1}^{MG} P_{m,t,s} = \sum_{m=1}^{MG} P_{Lm,t,s} + P_{Loss_{m,t}} \quad (7)$$

با جایگزینی روابط (۲) در معادله (۵) :

$$\sum_{m=1}^{MG} \sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{der_{m,t,s}} = \sum_{m=1}^{MG} \sum_b^{B_m} P_{Lb,m,t,s} + \sum_{m=1}^{MG} P_{Loss_{m,t,s}} \quad (8)$$

معادله فوق بعنوان مهمترین قید تساوی در مدلسازی وارد می گردد.

هر کدام از واحدهای قابل کنترل در داخل ریز شبکه ها دارای توان تولید حداقل و حداکثر می باشند که به صورت زیر بیان می گردد.

$\forall m \in MG :$

$$\begin{aligned} v_{CHP}(t).P_{CHP_{m,t,s}}^{\min} &\leq P_{CHP_{m,t,s}}(t) \leq v_{CHP}(t).P_{CHP_{m,t,s}}^{\max} \\ v_{MT}(t).P_{MT_{m,t,s}}^{\min} &\leq P_{MT_{m,t,s}}(t) \leq v_{MT}(t).P_{MT_{m,t,s}}^{\max} \\ v_{FC}(t).P_{FC_{m,t,s}}^{\min} &\leq P_{FC_{m,t,s}}(t) \leq v_{FC}(t).P_{FC_{m,t,s}}^{\max} \end{aligned} \quad (9)$$

و برای واحدهای انرژی تجدیدپذیر در هر لحظه حداکثر توان قابل استحصال استفاده می گردد.

$\forall m \in MG :$

$$\begin{aligned} 0 \leq P_{WT_{m,t,s}}(t) &\leq v_{WT}(t).P_{WT_{m,t,s}}^{\max} \\ 0 \leq P_{PV_{m,t,s}}(t) &\leq v_{PV}(t).P_{PV_{m,t,s}}^{\max} \end{aligned} \quad (10)$$

قيود مربوط به ولتاژ باسهها، جريان و توان عبوری از فيدرها از رابطه زیر حاصل می گردد.

$\forall m \in MG :$

$$\begin{aligned} V_b^{\min}_{m,t,s} &\leq V_b(t) \leq V_b^{\max}_{m,t,s} \\ I_F^{\min}_{m,t} &\leq I_F(t) \leq I_F^{\max}_{m,t} \\ S_F^{\min}_{m,t} &\leq S_F(t) \leq S_F^{\max}_{m,t,s} \end{aligned} \quad (11)$$

تابع هدف بهینه سازی برای یک شبکه توزیع هوشمند با MG عدد ریز شبکه به صورت زیر می باشد.

$$COST_{DNO} = \sum_{t=1}^{MG} \sum_{m=1}^{N_s} [U_m(t) \times Cost_{m,t,s} + U_{Net}(t) \times Cost_{Net,t,s}] \quad (12)$$

$$Cost_{m,t,s} = Cost_{Dsp_{m,t,s}} + Cost_{NDsp_{m,t,s}} \quad (13)$$

$$Cost_{Dsp_{m,t,s}} = \alpha P_{Dis_{m,t,s}}^2 + \beta P_{Dis_{m,t,s}} + \gamma \quad (14)$$

$$P_{Dis} \in (CHP, MT, FC)$$

و هزینه بهره برداری منابع غیر قابل کنترل از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Cost_{NDsp_{m,t,s}} = aP_{Dis_{m,t,s}}^2 + bP_{Dis_{m,t,s}} + c \quad (14)$$

$$P_{NDis} \in (WT, PV)$$

در این مطالعه ضرایب a و b برای منابع غیرقابل کنترل در تمامی ریز شبکه ها صفر فرض شده است. با توجه به روابط فوق هزینه نهایی مشارکت ریز شبکه ها در برنامه ریزی شبکه های توزیع هوشمند به صورت (۱۵) خواهد بود.

$$COST_{DNO} = \sum_{m=1}^{MG} \sum_{t=1}^{T_s} \sum_{s=1}^{N_s} [U_m(t) \times (Cost_{Dsp_{m,t,s}} + Cost_{NDsp_{m,t,s}})] + U_{Net_{t,s}}(t) \times Cost_{Net_{t,s}} \quad (15)$$

$$COST_{DNO} = \sum_{m=1}^{MG} \sum_{t=1}^{T_s} \sum_{s=1}^{N_s} [U_m(t) \times ((\sum_{k=1}^{N_{CHP,m}} Cost_{CHP_{m,t,s,k}} + \sum_{k=1}^{N_{MT,m}} Cost_{MT_{m,t,s,k}} + \sum_{k=1}^{N_{FC,m}} Cost_{FC_{m,t,s,k}}) + \quad (16)$$

$$(\sum_{k=1}^{N_{WT,m}} Cost_{WT_{m,t,s,k}} + \sum_{k=1}^{N_{PV,m}} Cost_{WT_{m,t,s,k}}) + U_{Net_{t,s}}(t) \times Cost_{Net_{t,s}})$$

قیود محدودیت مجموع توان تولیدی برای هر ریز شبکه به صورت زیر خواهد بود:

$$\forall m \in MG : U_m(t).P_{m,t,s}^{\min} \leq P_m(t) \leq U_m(t).P_{m,t,s}^{\max} \quad (17)$$

$$\forall m \in MG :$$

$$U_m(t).(\sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{DER_{m,t,s}})^{\min} \leq P_m(t) \leq U_m(t).(\sum_{der=1}^{N_{DER}} P_{DER_{m,t,s}})^{\max} \quad (18)$$

قیود مربوط به رعایت حداقل زمان در مدار بودن MUT (متصل بودن به شبکه اصلی) و نیز حداقل زمان خارج از مدار بودن MDT (منفصل بودن از شبکه اصلی) برای هر ریز شبکه از روابط زیر بدست می آید.

$$\forall m \in MG : \begin{cases} (1-U_m(t+1)).MUT_m \leq Don_m(t) & \text{if } U_m(t) = 1 \\ U_m(t+1).MDT_m \leq Doff_m(t) & \text{if } U_m(t) = 0 \end{cases} \quad (19)$$

که در عبارت های فوق Don_m مدت زمانی است که ریز شبکه m به صورت پیوسته در مدار بوده است. همچنین $Doff_m$ زمانی است که ریز شبکه m به صورت پیوسته خارج از مدار بوده است.

۳. الگوریتم بهینه سازی تولید مثل غیر جنسی (ARO)

روش های گوناگونی برای بهینه سازی تابع هدف وجود دارد. الگوریتم ARO از روش بادینگ^۵ در تولید مثل غیر جنسی الهام گرفته شده است. در ARO در نسخه اولیه، هر فرد با یک رشته دوتایی نشان داده می شود؛ این امر دقیقاً همانند بازنمایی $X \in R^n$ که $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ باشد در الگوریتم های تکاملی است. یک بردار متغیر تصمیم X در مسئله بهینه سازی

⁵Budding

یک فرد در ARO نامیده می‌شود و هر متغیر تصمیم x_i به صورت یک کروموزم در نظر گرفته می‌شود که از تعدادی بیت با نام ژن تشکیل شده است. یک کروموزم با طول L در نظر گرفته می‌شود، در این کروموزم، اولین بیت نشان دهنده علامت متغیر است. L_1 بیت اول، بخش صحیح متغیر تصمیم را نشان می‌دهند در حالیکه، L_2 بیت آخر نیز بخش اعشاری متغیر تصمیم را بیان می‌کنند. واضح است هرچه تعداد بیت‌های بخش اعشاری L_2 بزرگتر شود، دقت متغیر تصمیم نیز بیشتر خواهد شد. در نتیجه طول هر کروموزم برابر است با: $l = l_1 + l_2 + \dots + l_n$ و طول هر فرد با $L = n * l$ برابر خواهد بود [۲۲].

فرض بر آن است که هر جواب در فضای جستجو (S)، یک موجود زنده در محیط طبیعی خویش است و در واقع اگر ما فضای جستجو (S) را در نظر بگیریم، این فضا قابل مقایسه با محیطی است که یک موجود زنده در آن زندگی می‌کند و به رشد و متابولیسم تولیدمثل می‌پردازد. به طور مثال، فضای جستجو R^3 برای متغیر $(x_1, x_2) = X$ همانند محیطی است که در آن یک فرد (مثل یک کرم خاص که این نوع تولیدمثل را انجام می‌دهد) زندگی می‌کند. از طرفی منابع موجود در محیط محدود می‌باشند و تنها افرادی که بیشترین شایستگی را دارند، شانس بقا و ادامه حیات دارند. برای شروع، الگوریتم به طور تصادفی با یک فرد، در دامنه مشخص S آغاز می‌شود، آنگاه این فرد یک فرزند با اپراتور خاصی که مکانیزم بازتولید نامیده می‌شود، تولیدمثل می‌کند. والد و فرزندش مطابق یک شاخص عملکردی یا یک تابع برآورده برای بقارابت می‌کنند. اگر فرزند که باد نامیده می‌شود، رابت را ببرد، والدش دور اندخته خواهد شد. بنابراین فرزند جایگزین والدش شده و خود، والد جدیدی خواهد شد. اگر والد پیروز می‌شد، آنگاه باد دور انداخته می‌شد. الگوریتم مراحل تشریح شده را تکرار خواهد کرد تا معیار توقف برآورده شود. شبه کد^۶ الگوریتم، در زیر آورده می‌شود:

Pseudo code of ARO.

```

Begin
t = 1;
P = Initialize (L,U); % Parent Initialization between lower
and upper bound
Fitness_P = fit(P); % Fitness of P is calculated
While stopping conditions are not met % Stopping Criteria
    Bud(t) = Reproduce(P); % P reproduces a Bud
    Fitness_Bud(t) = fit(Bud(t)); % Fitness of Bud(t) is
calculated
    If Fitness_Bud(t) is better than Fitness_P
        P = Bud(t); % Bud(t) is replaced with P
    End
End

```

در واقع شبه کد فوق به عنوان الگوریتم ARO تابع هدف معادله ۱۶ را تحلیل خواهد کرد. انتخاب یک اپراتور بازتولید مناسب، بسیار اساسی و مهم است. در ARO، عملگر تولیدمثل تنها عملگر تغییر است و این در حالی است که بیشتر الگوریتم‌های تکاملی از عملگرهای متعددی استفاده می‌کنند تا بتوانند جستجو در فضا و بهره‌برداری از اطلاعات موجود قبلی را براساس تئوری کنترل سنتی انجام دهند. در ARO، در هر کروموزوم، برای تولیدمثل یک زیررشته که

^۶Pseudo code

دارای g بیت است، یک ژن به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است g دارای توزیع یکنواخت در بازه [L, 1] است. L حداقل تعداد بیت‌ها (ژن‌های) کروموزم است. سپس بیت‌های هر زیرشته جهش پیدا می‌کنند به گونه‌ای که در هر ژن انتخاب شده ۱ جایگزین ۰ و برعکس ۰ جایگزین ۱ می‌شود. در حقیقت، زیرشته که لارو نامیده می‌شود یک شکل جهش‌یافته از والد خود می‌باشد. لارو جستجو در فضا را به شکل مطلوبی انجام می‌دهد اما بهره‌گیری از اطلاعات نسل‌های قبلی را به خوبی انجام نمی‌دهد، در حالیکه، بر اساس تئوری بهینه‌سازی هر دوی اپراتورهای جستجو و بهره‌گیری الزامی است. به همین دلیل به منظور افزایش توان بهینه‌سازی الگوریتم، یک مکانیسم بهره‌گیری نیز، به آن افزوده می‌شود به گونه‌ای که لارو و والدش بتوانند اطلاعات‌شان را احتمالاً با هم ترکیب نمایند؛ در نتیجه فرزند کاملاً مشابه با مدل زیستی‌اش تولید می‌شود، با این ابزار می‌توان اطمینان حاصل نمود که هر دو مکانیسم جستجو و بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در طی تقاطع عمل جهش نیز اتفاق می‌افتد.

۳.۱. گامهای الگوریتم ARO

۱- بازنمایی: بازنمایی در الگوریتم ARO به صورت باینری صورت گرفته است.

۲- جواب اولیه: یک عدد صحیح در بازه مورد نظر به عنوان والد تولید می‌گردد.

۳- اندازه برازنده‌گی این والد با استفاده از تابع هدف اندازه گیری می‌شود.



۴- والد با استفاده از عملگر بازتولید یک باد تولید می‌کند. به شرح زیر:

۵- قبل از برازنده‌گی، موجه بودن باد آزمون می‌شود در صورتیکه موجه نباشد با یک مکانیسم تعمیر می‌گردد و سپس برازنده‌گی باد، اندازه گیری می‌شود.

۶- با مقایسه مقدار تابع هدف والد و باد، هر کدام که از برازنده‌گی بهتری برخوردار باشند برای تولید نسل بعدی انتخاب می‌شوند.

این روند تا رسیدن به شرایط توقف که تعداد تکرار است، ادامه می‌یابد.

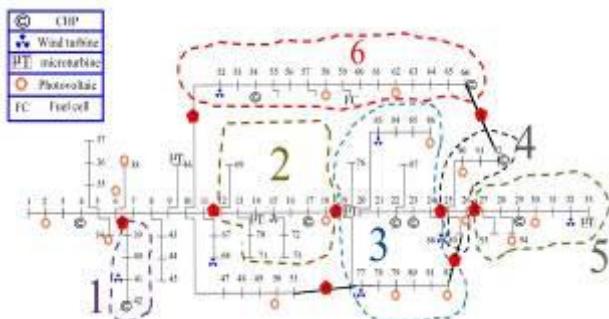
۴. شبیه سازی و تحلیل نتایج

در این بخش ابتدا شبکه‌ی مورد مطالعه معرفی و بررسی وسیله نتایج شبیه‌سازی ارایه شده اند.

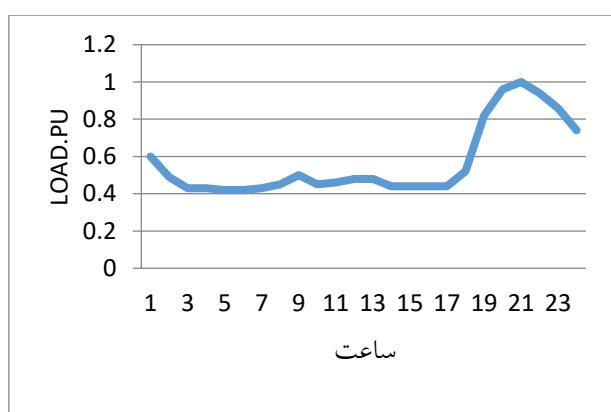
۴.۱. اطلاعات سیستم

شبکه‌ی مورد مطالعه در این مقاله، شبکه‌ی تغیر یافت توزیع شعاعی ۹۴ باشه کشور پرتغال می‌باشد که در شکل (۲) نشان داده شده است [۳۶]. این سیستم، بصورت ۶ ریزشبکه با کاربری‌های گوناگون خانگی، تجاری، صنعتی و دانشگاهی که در آن ریزشبکه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ کاربری خانگی، ریزشبکه ۳ کاربری تجاری، ریز شبکه ۴ دانشگاه و ریز شبکه ۶ با کاربری صنعتی فرض شده است. شکل‌های (۳) الی (۶) پروفیل بار مربوط به هر کاربری را در ۲۴ ساعت نشان میدهد. ریز شبکه ۱ و ۵ با یک کلید، ریز شبکه ۲ و ۶ با دو کلید و ریزشبکه‌های ۳ و ۴ با چهار کلید به شبکه اصلی و سایر ریز شبکه‌ها متصل شده اند که مجموعاً ۹ کلید در کل شبکه فرض شده است. قیود امنیتی مربوط به مدت زمان اتصال و جدا شدن هر ریزشبکه از سایر ریزشبکه‌ها و شبکه اصلی مطابق جدول (۱) فرض شده است. در ریزشبکه‌ها فرض شده منابع تولید پراکنده‌ی مختلف تجدیدپذیر و

غیرتجددی پذیر از قبیل CHP^۷، سلول های فتوولتائیک (PV)^۸، توربین های بادی^۹، میکرو توربین^{۱۰} و پیل سوختی^{۱۱} طبق شکل (۲) وجود دارد.



شکل (۲): شکل کلی سیستم ۹۴ باسه و ۶ ریز شبکه فرض شده همراه با منابع تولید پراکنده



شکل (۳): پروفیل بار در کاربری خانگی

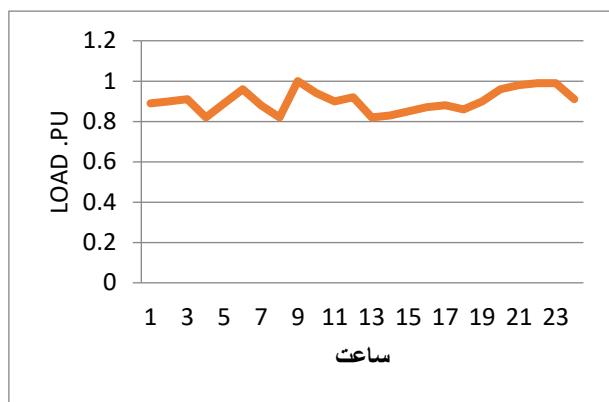
با توجه به نمودار ارایه شده در شکل (۳) بار خانگی در طول روز تقریباً ثابت و از ساعت ۱۶ رشد بار شروع در ساعت ۲۱ به بیشترین مقدار خود میرسد.



شکل (۴): پروفیل بار در ۲۴ ساعت در کاربری دانشگاه

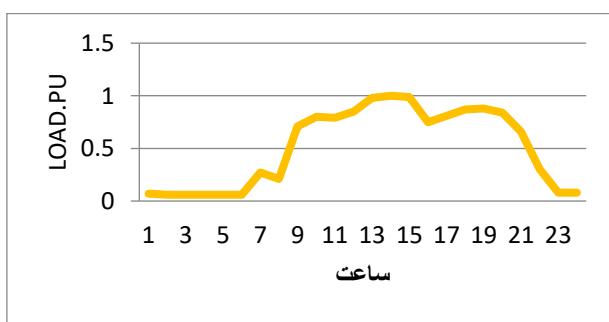
- ^۷ Combined Heat and Power
- ^۸ Photovoltaics
- ^۹ Wind Turbine
- ^{۱۰} Micro Turbine
- ^{۱۱} Fuel Cell

در کاربری دانشگاه رشد بار از ساعت ۷ شروع به رشد کرده در ساعت ۱۲ به بیشترین مقدار خود می‌رسد و سپس تا ساعت ۸ از مقدار آن کاهش می‌یابد.



شکل (۵): پروفیل بار در ۲۴ ساعت در کاربری صنعتی

در کاربری صنعتی پروفیل بار در نظر گرفته شده تقریباً به صورت ثابت و مقدار آن بیشتر است.



شکل (۶): پروفیل بار در ۲۴ ساعت در کاربری تجاری

جدول (۱): کمترین زمان متصل و منفصل بودن ریز شبکه‌ها به شبکه اصلی یا سایر ریز شبکه‌ها

شماره ریز شبکه	MUT(h)	MDT(h)
۱	۲	۳
۲	۵	۲
۳	۳	۱
۴	۱	۲
۵	۲	۴
۶	۳	۳

جدول (۱) کمترین زمان در شبکه بودن ریز شبکه و کمترین زمان جزیره بودن ریز شبکه را نشان می‌دهد. در این جدول منظور از MUT کمترین زمان متصل بودن یک ریز شبکه به شبکه اصلی یا ریز شبکه‌ها و منظور از MDT کمترین زمان منفصل بودن یک ریز شبکه از شبکه اصلی یا ریز شبکه‌های دیگر را نشان می‌دهد.

برای نمونه اگر ریز شبکه شماره ۱ به مدار وصل باشد باید حداقل به مدت ۲ ساعت در آن حالت باقی بماند و اگر به صورت جزیره‌ای فعالیت کند باید حداقل به مدت ۳ ساعت این وضعیت را حفظ کند سپس در صورت نیاز تغییر حالت دهد.

پس از ایجاد آرایش ریز شبکه ها باید آرایش کلید ها یا پکیج کلیدها در ۲۴ ساعت تولید گردد. پیچیدگی و دشواری این کار به این علت می باشد که کنترل برخی از ریز شبکه ها از طریق چند کلید صورت میگیرد به صورتی که برای جزیره کردن ریز شبکه باید تمامی کلید ها قطع گردند ولی برای به مدار آوردن تنها وصل بودن یک کلید کافی می باشد ، این کار نیز همچنین باید وضعیت ریز شبکه متناظر را از لحاظ قیود MUT و MDT در نظر داشت برای مثال اگر ریز شبکه متناظر در حالت جزیره ای باشد و قید MDT آن هنوز ارضا نشده باشد کلید مشترک بین دو ریز شبکه نمی تواند وصل شود.

جدول (۲) نشان میدهد که هر ریز شبکه از طریق کدام کلید ها با شبکه اصلی و یا ریز شبکه های دیگر در ارتباط میباشد، یا میتوان گفت به مدار آوردن هر ریز شبکه به کدام کلید ها بستگی دارد.
برای مثال ریز شبکه شماره ۱ تنها با کلید ۹ به ریز شبکه ها و شبکه اصلی متصل میشود ولی ریز شبکه شماره ۳ از طریق ۴ کلید به سایرین متصل می گردد.

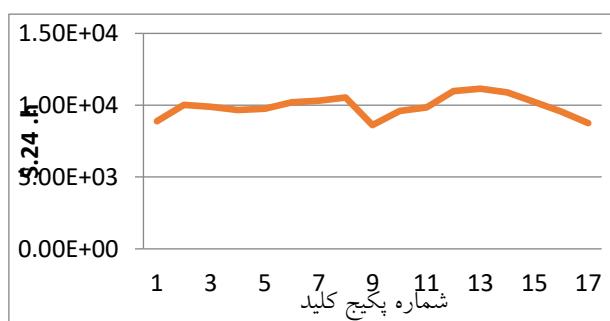
جدول (۲): کلید های متناظر هر ریز شبکه

شماره ریز شبکه	شماره کلید								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۲	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰
۴	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰
۵	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰

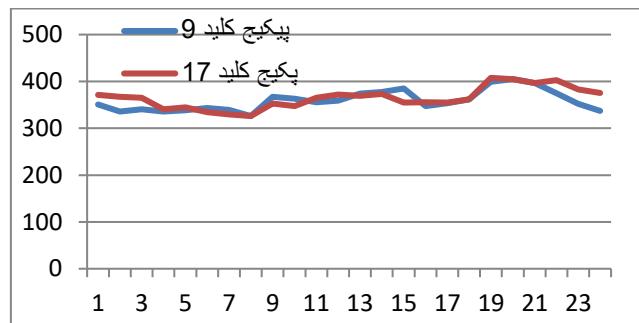
هدف این مقاله تعیین نحوه مشارکت ریز شبکه ها با توجه به قیود امنیتی می باشد . جدول (۱) قیود امنیتی و جدول (۲) کلید های متناظر هر ریز شبکه را نشان می دهد. با قرار گرفتن قیود امنیتی مذکور و سایر اطلاعات اشاره شده در برنامه، پکیج کلید ها در ۲۴ ساعت حاصل میشود. اطلاعات پکیج کلید بدست آمده در برنامه پخش بار در ۲۰ سناریو مختلف قرار میگیرد در صورت رعایت قیود فنی شبکه، نتیجه حاصل می شود و آن پکیج کلید تایید میگردد در صورت عدم رعایت قیود فنی، برنامه همگرا نمی شود و پکیج حاصله مردود اعلام می گردد. حال با توجه به هدف مربوطه که میتواند کمترین هزینه بهره برداری، کمترین تلفات، ولتاژ ایده آل، بیشترین استفاده از منابع تجدید پذیر و ... باشد یکی از پکیج های بدست آمده انتخاب می گردد.

در این بخش هدف کمترین هزینه بهره برداری کل شبکه در ۲۴ ساعت در نظر گرفته شده است ، شکل (۷) نشان میدهد کمترین هزینه بهره برداری به پکیج کلید شماره ۹ با مقدار $8616\$$ می باشد.

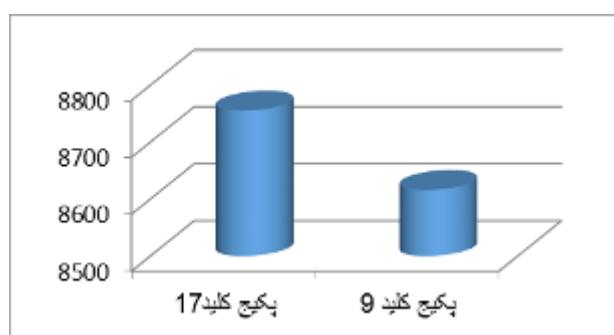
همچنین هزینه بهره برداری کل شبکه با پکیج کلید شماره ۱۷ نیز ارایه شده است. شکل (۸) مقدار هزینه بهره برداری با دو پکیج نامبرده را در ۲۴ ساعت تحت یک سناریوی مشترک (۱۳) مقایسه می کند.



شکل (۷): کمترین هزینه بهره برداری



شکل (۸): مقایسه هزینه بهره برداری کل شبکه با دو پکیج مختلف



شکل (۹): مقایسه هزینه بهره برداری از کل شبکه در ۲۴ ساعت

شکل (۹) هزینه کل بهره برداری با دو پکیج ۹ و ۱۷ دلار می باشد. بنابر این انتخاب پکیج کلید ۹ با توجه به هدف ما که کمترین هزینه بهره برداری می باشد بهتر است. در این حالت آرایش ریزشبکه ها به صورت جدول (۳) می باشد و پکیج کلید ۲۴ ساعته برای آن آرایش حاصل شده که اطلاعات آن در جدول (۴) ارایه شده است. همچنین جدول (۵) و (۶) اطلاعات پکیج کلید ۱۷ و آرایش ریزشبکه ها را در آن حالت نیز نشان میدهد.

جدول (۳): حالت بدست آمده ریزشبکه ها در پکیج کلید شماره ۹۵

ساعت	شماره ریزشبکه					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳	.	۱	۱	۱	.	۱
۴	.	۱	۱	۱	.	۱
۵	.	۱	۱	۱	.	۱
۶	.	.	۱	۱	.	۱
۷	.	.	۱	۱	۱	۱
۸	.	۱	۱	۱	۱	۱
۹	.	۱	۱	.	۱	۱
۱۰	.	۱	۱	.	.	۱
۱۱	.	۱	۱	۱	.	۱
۱۲	۱	۱	۱	۱	.	۱
۱۳	۱	۱	۱	۱	.	.

۱۴	۱	۱	۱	.	.	.
۱۵	۱	۱	۱	.	.	.
۱۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۷	.	۱	۱	۱	۱	۱
۱۸	.	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹	.	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	۱
۲۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول (۴): پکیج کلید شماره ۹

ساعت	کلید ۱	کلید ۲	کلید ۳	کلید ۴	کلید ۵	کلید ۶	کلید ۷	کلید ۸	کلید ۹
۱	.	۱	۱	۱	۱	.	۱	.	۱
۲	۱	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳	۱	۱	.	.	۱	۱	۱	۱	.
۴	۱	.	۱	.	۱	.	۱	۱	.
۵	۱	۱	۱	.	۱	۱	۱	۱	.
۶	۱	۱	۱	۱	.
۷	.	.	.	۱	۱	۱	۱	۱	.
۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.
۹	۱	۱	.	.	۱	۱	.	.	.
۱۰	۱	۱	.	.	۱	۱	.	.	.
۱۱	۱	۱	۱	.	۱	۱	.	۱	.
۱۲	۱	۱	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳	۱	.	۱	.	.	.	۱	.	۱
۱۴	۱	۱	.	.	.	۱	.	.	۱
۱۵	۱	۱	.	.	.	۱	.	.	۱
۱۶	۱	.	۱	۱	.	۱	.	۱	۱
۱۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	.
۱۸	۱	۱	.	۱	۱	۱	.	۱	.
۱۹	۱	۱	۱	۱	۱	.	۱	۱	.
۲۰	۱	۱	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۲	۱	.	.	۱	۱	.	۱	۱	۱
۲۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۴	.	۱	.	۱	۱	۱	.	۱	۱

جدول (۵): حالت بدست آمده ریزشبکه ها در پکیج کلید شماره ۱۷۵

ساعت	ریزشبکه ۱	ریزشبکه ۲	ریزشبکه ۳	ریزشبکه ۴	ریزشبکه ۵	ریزشبکه ۶
۱	۱	۱	۱	۱	۱	.
۲	۱	۱	۱	۱	۱	.
۳	۱	۱	۱	۱	۱	.
۴	۱	۱	۱	.	۱	.
۵	.	۱	۱	.	۱	.
۶	.	۱	۱	۱	۱	.
۷	.	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	.
۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	.
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	.
۱۴	۱	۱	۱	۱	۱	.

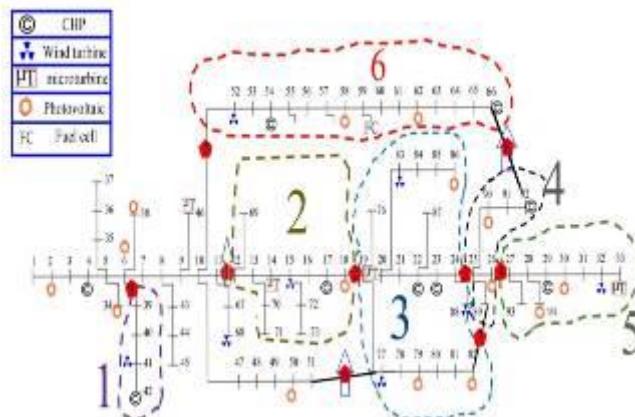
۱۵	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۶	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۷	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۸	.	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۲۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۲۴	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰

جدول (۶): پکیج کلید شماره ۱۷

س اع ت	کلید ۱	کلید ۲	کلید ۳	کلید ۴	کلید ۵	کلید ۶	کلید ۷	کلید ۸	کلید ۹
۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱
۲	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱
۳	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱
۴	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
۵	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰
۶	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰
۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰
۸	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱
۹	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱
۱۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱
۱۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱
۱۲	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱
۱۳	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱
۱۴	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱
۱۵	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۶	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰
۱۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰
۱۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰
۱۹	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱
۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱
۲۲	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱
۲۳	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱
۲۴	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰

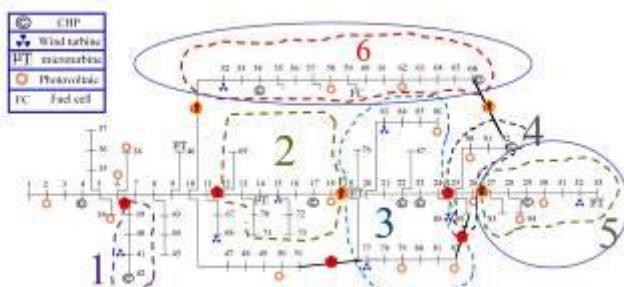
همان گونه که اشاره شد جدول (۳) حالت بدست آمده ریزشبکه ها در کمترین هزینه بهره برداری در ۲۴ ساعت را نشان میدهد. مطابق جدول متصل بودن یا منفصل بودن تمامی ریز شبکه ها به سایر ریزشبکه های و یا شبکه ای ارایه شده است که با مقایسه آن با جدول (۱) میتوان نتیجه گرفت که آرایش بدست آمده تمامی قیود امنیتی هر ریز شبکه را رعایت نموده است. برای مثال با توجه جدول (۱)، ریزشبکه ۱ دارای قید $MUT=2$ و $MDT=3$ می باشد بنابراین اگر میکروگرید ۱ در مدار باشد باید حداقل ۲ ساعت و اگر بصورت جزیره ای باشد باید حداقل ۳ ساعت نیز در آن باقی بماند که با مقایسه این با وضعیت میکروگرید در ۲۴ ساعت (جدول (۳)) مشاهده میشود که میکروگرید ۱ ابتدا از ساعت ۱ الی ۲ به شبکه متصل بوده است سپس از ساعت ۳ الی ۱۱ بصورت جزیره ای به کار خود ادامه داده و از ساعت ۱۲ تا ۱۶ به شبکه متصل و سپس ۳ ساعت به صورت جزیره ای در آمده و پس از آن دوباره به شبکه وصل میگردد این نتیجه با قیود امنیتی کاملاً منطبق میباشد، با مقایسه نتایج حاصله با وضعیت کلید ها با توجه به اینکه ریز شبکه شماره ۱ تنها با یک کلید (کلید شماره ۹) به شبکه وصل می شود این نتیجه حاصل می شود که وضعیت کلید شماره ۹ در ۲۴ ساعت تمامی قیود را رعایت نموده است و مقایسه وضعیت سایر کلید ها نیز نشان میدهد کلید به دست آمده کاملاً صحیح می باشد.

با اعمال پکیج وضعیت کلید ها در برنامه شبیه سازی، ساختار شبکه در زمان های مختلف با توجه به قیود تغییر می یابد که نتیجه را برای برخی از ساعت ها در شکل های (۴)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) نشان داده ایم. همچنین برای تایید پکیج بدست آمده برخی از قیود فنی شبکه را در ساعت ها و شرایط مختلف بررسی نموده ایم.



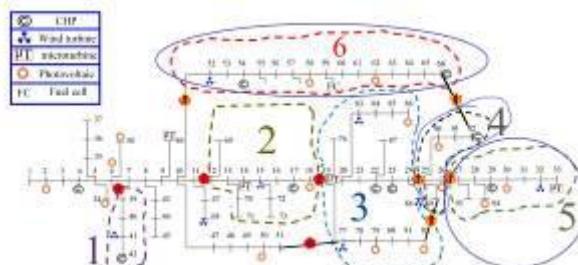
شکل (۱۰): شبکه مورد مطالعه در ساعت ۱

با توجه به جدول (۳) و (۴) در ساعت ۱ کلید های ۱، ۶، ۸ قطع می باشند و لی هیچ ریز شبکه ای به صورت جزیره ای فعالیت نمیکند که شکل (۸) تایید کننده این موضوع می باشد.



شکل (۱۱): شبکه مورد مطالعه در ساعت ۱۳

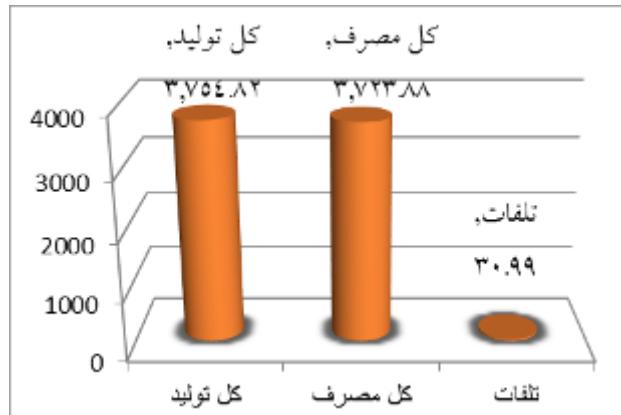
در ساعت ۱۳ کلید های ۱، ۲، ۴، ۵، ۶ و ۸ قطع می باشند ولی تنها ریز شبکه های ۵ و ۶ به صورت جزیره ای فعالیت میکنند که شکل (۱۱) بیانگر این موضوع می باشد.



شکل (۱۲): شبکه مورد مطالعه در ساعت ۱۵

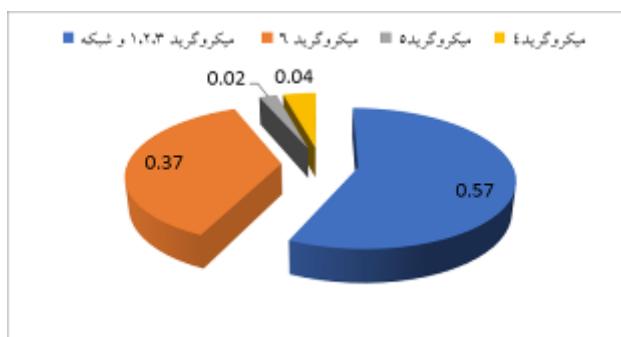
شکل (۱۲) وضعیت تغییر یافته ریز شبکه چندگانه مورد مطالعه در ساعت ۱۵ را نشان میدهد با توجه به جدول (۳) در ساعت ۱۵، کلید های ۱، ۲، ۴، ۵، ۷ و ۸ قطع و بقیه کلید ها وصل میباشند این وضعیت نشان میدهد که میکروگردی های ۴، ۵ و

۶ به صورت جزیره‌ای می‌باشد. با توجه اینکه نتایج حاصله از وضعیت کلیدها و ریز شبکه‌ها کاملاً مطابق قیود می‌باشد، صحبت سایر قیود فنی را نیز به علت زیاد بودن سناریو‌ها و ساعت‌ها فقط بر روی و برخی از سناریو‌ها که احتمال وقوع آن بیشتر از بقیه سناریو‌ها می‌باشد بررسی می‌کنیم.

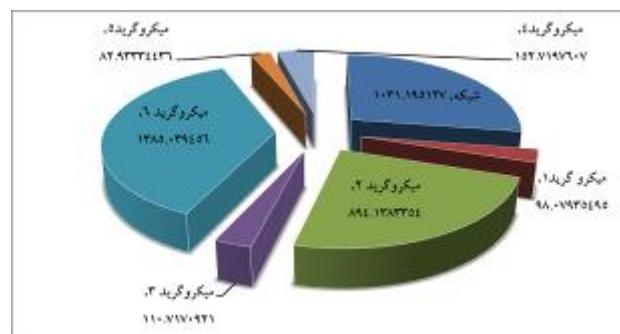


شکل(۱۳): توان تولیدی، توان مصرفی و تلفات در ساعت ۱۵ سناریوی ۲

یکی از مهمترین قید‌ها در به مدار آوردن ریز شبکه‌ها برابری تولید با مجموع مصرف و تلفات می‌باشد، با توجه شکل (۱۳) توان تولیدی در کل ریز شبکه‌ها در ساعت ۱۵ ۳۷۵۴ کیلووات می‌باشد که برابر با مجموع مقدار کل توان مصرفی (۳۷۲۳.۸۸ کیلووات) و تلفات کل (۳۰.۹۹ کیلووات) می‌باشد.



شکل (۱۴): میزان مشارکت در تولید در ساعت ۱۵ به تفکیک ریز شبکه‌های جزیره شده و متصل به هم



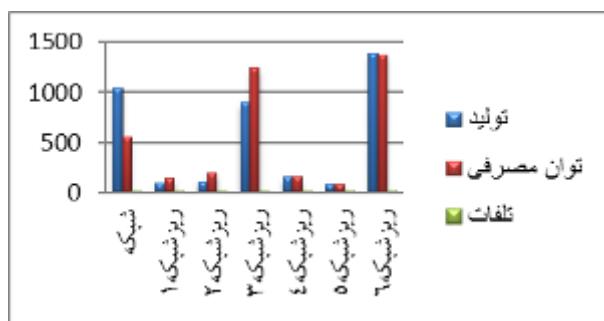
شکل (۱۵): مشارکت ریز شبکه‌ها در تولید در ساعت ۱۳

با توجه به شکل (۱۴) که نشان دهنده ساختار شبکه در ساعت ۱۳ است، شبکه به چهار قسمت تقسیم شده است. شکل (۱۴) نشان دهنده توان تولیدی در ۳ ریز شبکه‌ی جزیره شده و بقیه شبکه را نشان میدهد. و شکل (۱۵) میزان توان تولیدی را به تفکیک هر ریز شبکه نمایش میدهد. که بیشترین توان تولیدی به مقدار ۱۳۸۵,۰۳ کیلووات به ریز شبکه شماره ۶ که کاربری صنعتی دارد مربوط است.

علاوه بر رعایت قید برابری توان تولیدی و با مجموع توان مصرفی و تلفات در کل شبکه این قید باید برای تمامی ریز شبکه‌ها که به صورت جزیره‌ای فعالیت می‌کنند نیز باید رعایت شود که طبق نمودار ارایه شده در شکل (۱۶) برای ریز شبکه‌های ۴، ۵، ۶ صادق می‌باشد، از آنجا که ریز شبکه‌های ۱، ۲ و ۳ به شبکه وصل می‌باشند این قید برای مجموع آنها برابر است. شکل (۱۷) جزئیات میزان توان تولیدی و مصرفی در ریز شبکه‌های ۱، ۲، ۳ و شبکه اصلی را نشان داده است.



شکل (۱۶): میزان توان تولیدی، توان مصرفی و تلفات در ساعت ۱۵ سtarیوی ۲



شکل (۱۷): میزان توان تولیدی، توان مصرفی و تلفات به تفکیک ریز شبکه‌ها در ساعت ۱۵

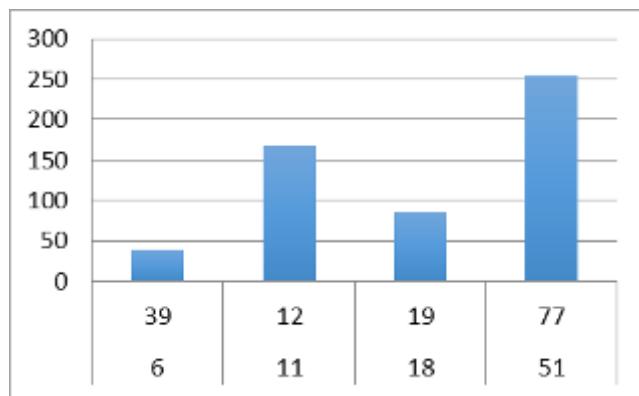
شکل (۱۸) توان عبوری از فیدر‌های مرزی ریز شبکه‌های ۱، ۲، ۳ و شبکه اصلی در ساعت ۱۳ را نشان می‌دهد. فیدر ۶-۳۹ مرز بین شبکه و ریز شبکه ۱، فیدر ۱۱-۱۲ مرز ریز شبکه ۲ و شبکه، فیدر ۱۹-۱۸ مرز بین ریز شبکه ۲ و ریز شبکه ۳، فیدر ۷۷-۵۱ مرز ریز شبکه ۳ و شبکه اصلی می‌باشد. با توجه به نمودار شکل (۱۷) توان تولیدی ریز شبکه‌های ۱، ۲ و ۳ کمتر از توان مصرفی آن‌ها می‌باشد بنابراین تعادل توانی نیاز به واردات توان از شبکه اصلی می‌باشد.

جدول (۷): میزان توان تولیدی، مصرفی و تلفات در ساعت ۱۵

	شبکه	توان تولیدی	توان مصرفی	تلفات	توان اضافی
۱	۱	۵۵۱,۳۱	۱۰۳۱,۱۹	۸,۹۹	۴۷۰,۹۸
۲	۲	۱۳۷,۶۹	۹۸,۰۷	۰,۹۹	-۴۰,۶۱
۳	۳	۱۹۲,۵۱	۱۱۰,۷۱	۵,۴۱	-۸۷,۱۹
	۱، ۲، ۳	۱۲۲۵,۳۵	۸۹۴,۱۳	۱,۹۲	-۳۴۳,۱۲

ریز شبکه ۴	۱۵۲,۴۴	۱۵۲,۷۱	۰,۲۷	۰
ریز شبکه ۵	۸۲,۸۷	۸۲,۹۳	۰,۰۵۸	۰
ریز شبکه ۶	۱۳۷۱,۶۸	۱۳۸۵,۰۳	۱۳,۳	۰

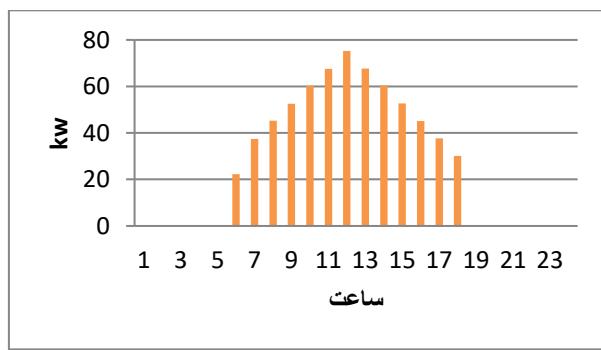
با توجه به داده های جدول (۷) شبکه اصلی ۴۷۰ کیلووات نیاز ۳ ریز شبکه ۱،۲ و ۳ را تامین میکند و این توان ها از طریق فیدر های مرزی انتقال داده میشوند . طبق جدول ریز شبکه ۱ به مقدار ۶۱/۴۰ کیلووات نیاز دارد این توان از طریق تنها فیدر آن (فیدر ۶-۳۹) به آن میرسد. شکل (۱۸) صحت این نتیجه را نشان می دهد.



شکل (۱۸): توان عبوری از فیدر های مرزی ریز شبکه های ۱،۲،۳ و شبکه اصلی در ساعت ۱۵

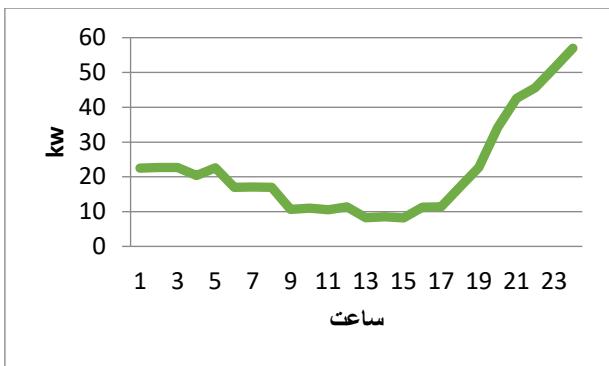
برای سایر فیدر ها نیز این نتیجه صادق بود، این نشان میدهد نتایج بدست آمده از برنامه کاملاً صحیح می باشد.

با توجه به تعداد زیاد منابع تولید پراکنده و تعداد ریز شبکه ها به بررسی برخی از آنها می پردازیم شکل (۱۹) توان تولیدی منابع خورشیدی میکروگرد ۲ را در ۲۴ ساعت نمایش می دهد. با توجه مطابق شکل تولید توان طبق سناریو از ساعت ۶ با طلوع آفتاب شروع و تا غروب آفتاب ساعت ۱۸ ادامه می یابد.



شکل (۱۹): توان تولید توسط منابع خورشیدی میکروگرد ۲ در ۲۴ ساعت

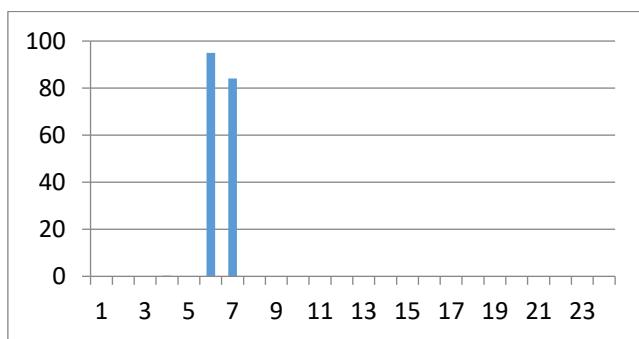
شکل (۲۰) توان تولیدی توسط توربین های بادی ریز شبکه ۲ را در ۲۴ ساعت نشان میدهد وزش باد طبق ۲۰ سناریو مختلف انجام گرفته است که نتایج سناریوی ۲ در شکل اورده شده است. این منبع در باس شماره ۱۵ ریز شبکه شماره ۲ می باشد. شکل (۲۱) توان تولیدی توسط میکروتوربین واقع در باس ۱۴ ریز شبکه ۲ را در ۲۴ ساعت نشان می دهد.



شکل (۲۰): تولید توان توسط توربین های بادی میکروگرد ۲ در ۲۴ ساعت



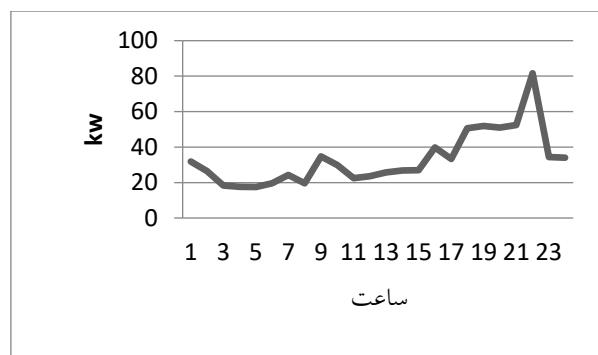
شکل (۲۱): توان تولیدی توسط میکروتوربین میکروگرد ۲ در ۲۴ ساعت



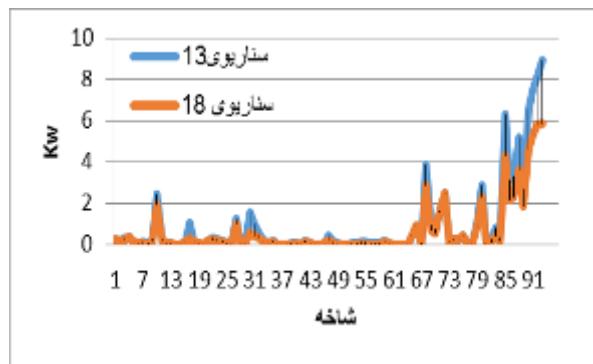
شکل (۲۲): توان تولیدی توسط منبع CHP در ریز شبکه شماره ۲ در ۲۴ ساعت

با توجه جدول (۳) ریز شبکه شماره ۲ تنها در ساعتهای ۶ و ۷ به صورت جزیره ای میباشد بنابراین با توجه به اینکه منبع CHP موجود در این ریز شبکه نسبت به منابع دیگر هزینه بهره برداری بیشتری دارد این ریز شبکه فقط در موقع ضروری از این منبع استفاده میکند و در بقیه موارد توان مورد نیاز خود را از سایر ریز شبکه ها تأمین میکند. طبق شکل (۲۲) تولید توان CHP به طور عمده در ساعت ۶ و ۷ میباشد، مجموع توان تولیدی از این منبع در ۲۴ ساعت ۱۸۱ کیلو وات میباشد. درمنبع شکل (۲۳) مجموع تلفات کل شبکه در ۲۴ را نشان می دهد طبق شکل بیشترین مجموع تلفات مربوط به ساعت ۲۲ میباشد که مقدار آن ۸۱,۶۱ کیلو وات است. در این حالت طبق جدول (۳) و (۴) هیچ ریزشبکه ای به صورت جزیره نمی باشد ولی شبکه به دو قسمت تقسیم شده است که ریزشبکه های ۳,۴,۵ و ۶ در یک طرف و بقیه ریزشبکه ها در طرف دیگر باهم در ارتباط می باشند.

شکل (۲۴) نیز تلفات تمامی باس ها در ساعت ۲۲ در دو سناریوی ۱۳ و سناریوی ۱۸ با هم مقایسه می کند. طبق شکل میزان تلفات در سناریوی ۱۸ کمتر از میزان تلفات در سناریوی ۱۳ در ساعت ۲۲ می باشد.



شکل (۲۳): تلفات کل شبکه در ۲۴ ساعت در سناریو ۱۳



شکل (۲۴): تلفات در ساعت ۲۲ به تفکیک شاخه ها

شکل (۲۵) پروفیل ولتاژ باس ۷۴ میکروگرد شماره ۲ را نشان میدهد. این میکروگرد فقط در ساعت ۶ و ۷ بصورت جزیره ای می باشد و در بقیه ساعت ها به صورت متصل به شبکه فعالیت میکند، ولتاژ این باس که در انتهای فیدر قرار دارد، در کمترین حالت به مقدار 0.985 pu و در بیشترین حالت به میزان 1.005 pu میرسد که این مقادیر نیز طبق قیود فنی می باشند.



شکل (۲۵): پروفیل ولتاژ باس ۷۴ در ۲۴ ساعت در سناریو ۱

نتایج حاصل شده در این بخش به صورت برنامه ریزی ۲۴ ساعته ارایه شده است. با توجه اشکال و جداول خروجی، نتایج حاصل نشان می دهد که توان های تولیدی در ریز شبکه ها با توان مصرفی و تلفات هماهنگ می باشند یعنی توان تولید شده برابر با مجموع مصرف و تلفات می باشد و قیود اشاره شده در فصل قبل ارضاء شده است. نتایج حاصله نشان می دهد با کوچکتر و مورد بهره برداری قرار گرفتن ریز شبکه ها به صورت جزیره، ولتاژ باس ها به مقدار یک پریونیت نزدیک می شود. نتایج این تحقیق نشان می دهد که امکان مدار آوردن ریز شبکه ها با در نظر گرفتن قیود امنیت وجود دارد.

۴.۲ مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با دیگر الگوریتم‌ها

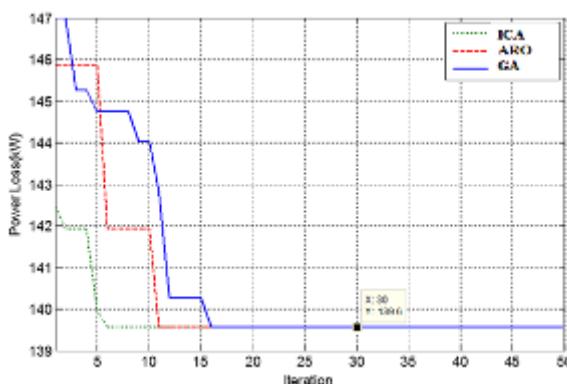
برای سنجش الگوریتم‌های ژنتیک [۲۳]، ICA [۲۴] و الگوریتم ARO ارائه شده، نتایج آن‌ها برای بهینه‌سازی یک شبکه ۳۳ با سه ذکر شده در حالات حضور و عدم حضور تولیدات پراکنده مورد مقایسه قرار می‌گیرد. برای این منظور، در هر حالت، هر یک از الگوریتم‌ها ده بار ران گردیده و هر بار مقدار تلفات توان محاسبه شده است. سپس مقادیر متوسط، انحراف معیار، بهترین و بدترین پاسخ برای آن‌ها بدست آمده است.

در جدول زیر، نتایج هر سه الگوریتم برای بهبود تلفات توان شبکه ۳۳ با سه، در حالت عدم حضور تولیدات پراکنده آورده شده است.

جدول ۸: مقایسه نتایج الگوریتم‌های مختلف برای بهبود تلفات توان در شبکه ۳۳ با سه بدون حضور تولیدات پراکنده

	Genetic	ICA	ARO
10 trial	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۴۳,۹۳۳۹
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۴۶,۲۹۵۲	۱۳۹,۵۵۴۲
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۴۶,۲۹۵۲	۱۳۹,۵۵۴۲
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۴۳,۹۳۳۹	۱۳۹,۵۵۴۲
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۴۳,۹۳۳۹
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲
	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲
	Average	۱۴۱,۳۴۰۴	۱۴۰,۴۳۰۱
STDEV	.	۲,۹۴۶۹۳۶	۱,۸۴۶۶۲۱
Min	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۳۹,۵۵۴۲
Max	۱۳۹,۵۵۴۲	۱۴۶,۲۹۵۲	۱۴۳,۹۳۳۹

در حالت عدم حضور تولیدات پراکنده، شبکه ۳۳ با سه پنج متغیر تصادفی با اینتری مربوط به پنج سوئیچ باز شده خواهد داشت. مقادیر جدول بالا نشان می‌دهد، که هر سه الگوریتم قابلیت پیدا نمودن بهترین پاسخ را داشته‌اند. اما ضعیف‌ترین نتایج مربوط به الگوریتم ICA است. یکی از ایرادات اصلی الگوریتم ICA همگرایی پیش از موعده آنست که موجب می‌شود در بسیاری از اوقات پاسخ بهینه بدست نیاید. همانگونه که مشاهده می‌شود، الگوریتم بهبود یافته (ARO) ارائه شده نسبت به الگوریتم ICA نتایج بهتری داشته، و دارای انحراف معیار و مقدار میانگین مناسب‌تری است. الگوریتم ژنتیک نیز در هر ۱۰ تلاش، بهترین پاسخ را یافته و در نتیجه انحراف معیار آن صفر گردیده است. در شکل زیر نحوه همگرایی هر سه الگوریتم برای حالات ذکر شده در بالا ترسیم گردیده است.



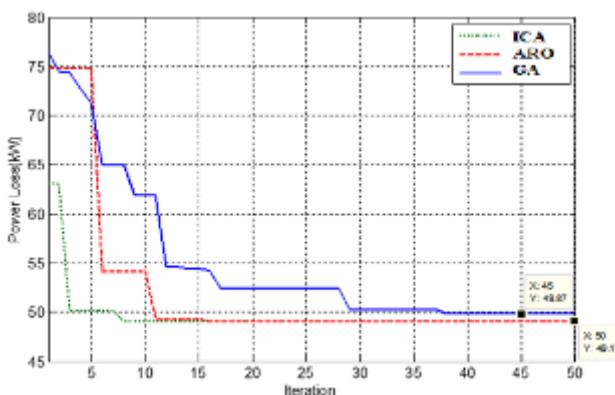
شکل ۲۶ : بهبود تلفات توان شبکه ۳۳ باسه بدون حضور تولیدات پراکنده برحسب تعداد تکرار در الگوریتم‌های مختلف

همانگونه که در هر دو شکل بالا مشاهده می‌شود، الگوریتم ICA در همان تکرارهای اولیه همگرا شده است. اما الگوریتم ARO با تقسیم فضای مسئله و جمعیت تولید شده، تعداد تکرار بیشتری را برای پیدا نمودن پاسخ مناسب صرف نموده، و در عوض نتیجه بهتری بدست آورده است. حال عملکرد این سه الگوریتم را در حالت حضور تولیدات پراکنده مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. نتایج مربوطه برای شبکه ۳۳ باسه در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۹ : مقایسه نتایج الگوریتم‌های مختلف برای بهبود تلفات توان در شبکه ۳۳ باسه با حضور تولیدات پراکنده

	Genetic	ICA	ARO
10 trial	۵۰,۱۵۱۰۲	۴۹,۱۴۶۹۹	۴۹,۱۰۱۱۳
	۵۰,۲۸۰۱۲	۵۳,۷۶۶۳۷	۴۹,۳۹۳۴
	۴۹,۸۷۰۵۵	۵۰,۵۸۰۶۹	۵۱,۰۲۰۷
	۵۳,۱۱۸۳	۵۱,۳۵۶۳۲	۴۹,۱۰۱۱۳
	۵۰,۹۳۷۰۱	۵۰,۲۳۲۱۸	۴۹,۱۰۱۱۳
	۵۰,۳۲۱۲۸	۴۹,۴۱۱۳۹	۴۹,۵۴۴۳۳
	۵۱,۵۹۵۲۲	۴۹,۱۰۱۱۳	۴۹,۱۰۱۱۳
	۵۲,۰۳۶۳۷	۵۰,۱۴۵۵	۴۹,۱۰۱۱۳
	۵۳,۵۹۳۱	۴۹,۱۲۴۴	۵۱,۱۶۵۰۷
	۵۲,۵۵۶۲۹	۵۱,۱۶۵۰۷	۴۹,۴۲۴۶
Average	۵۱,۴۴۵۹۲	۵۰,۴۰۳	۴۹,۶۰۵۳۷
STDEV	۱,۳۳۵۵۲	۱,۴۴۶۰۴۷	۰,۸۰۱۹۷۶
Min	۴۹,۸۷۰۵۵	۴۹,۱۰۱۱۳	۴۹,۱۰۱۱۳
Max	۵۳,۵۹۳۱	۵۳,۷۶۶۳۷	۵۱,۱۶۵۰۷

در حالت حضور تولیدات پراکنده، در شبکه ۳۳ باسه، علاوه بر ۵ متغیر تصادفی باینری مربوط به خطوط، ۸ متغیر تصادفی پیوسته مربوط به اندازه تولیدات پراکنده و ضریب توان آن‌ها به فضای جستجوی مسئله اضافه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در این حالت ضعف الگوریتم ژنتیک نسبت به دو الگوریتم دیگر نمایان شده است. الگوریتم ICA در مسائل پیوسته عموما نتایج مناسب‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک خواهد داشت. اما این الگوریتم همچنان ایراد مربوط به همگرایی پیش از موعد خود را به همراه دارد. نتایج جدول بالا نشان می‌دهد که بهترین نتایج مربوط به الگوریتم ARO ارائه شده می‌باشد. کمترین انحراف معیار، مقدار متوسط، و مقدار ماکریتم توسط الگوریتم ARO بدست آمده است. نحوه‌ی همگرایی این سه الگوریتم در حالت حضور تولیدات پراکنده نیز در شکل‌های زیر ترسیم شده است.



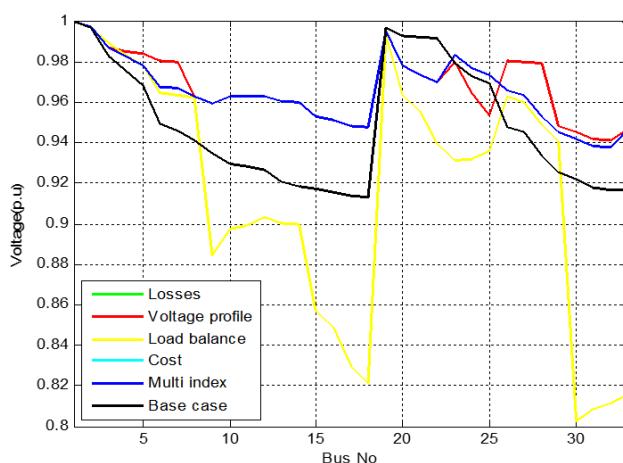
شکل ۲۷: بهبود تلفات توان شبکه ۳۳ باسه با حضور تولیدات پراکنده بر حسب تعداد تکرار در الگوریتم‌های مختلف

شکل بالا نشان دهنده‌ی همگرایی پیش از موعد الگوریتم ICA، و نیز سرعت و قابلیت پایین الگوریتم ژنتیک می‌باشد. الگوریتم ARO ارائه شده، در تکرارهای ابتدایی نتایج ضعیف‌تری داشته، اما جستجوی بهتری در فضای حل مسئله انجام داده، و در ادامه به پاسخ مطلوب همگرا شده است.

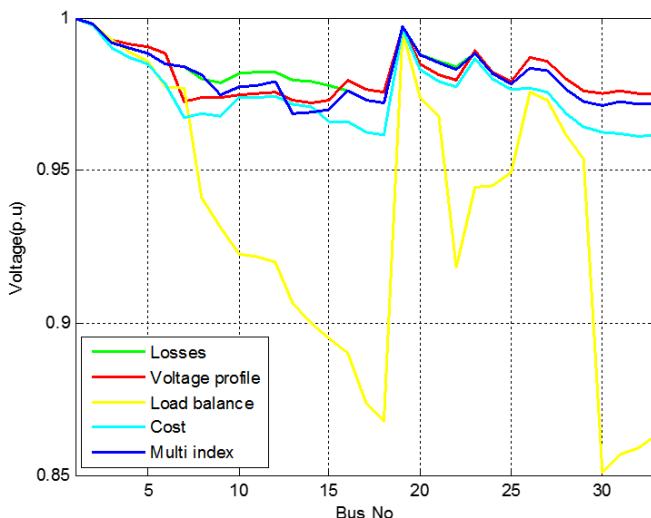
با درنظر گرفتن مباحث مطرح شده، بطور کلی می‌توان گفت:

- الگوریتم ژنتیک در مسائل باینری توانایی مناسبی از خود نشان می‌دهد، در نتیجه در حالت عدم حضور تولیدات پراکنده، پاسخ‌های بسیار مطلوبی بدست آورده است.
- الگوریتم ICA بدلیل همگرایی پیش از موعد خود، در بسیاری از حالات پاسخ مطلوب را بدست نخواهد آورد.
- الگوریتم ARO ارائه شده، با تقسیم فضای جستجو قابلیت سرج بهتری پیدا نموده، و در تمامی حالات ذکر شده پاسخ‌های نسبتاً مطلوبی را بدست آورده است.

در ادامه پروفیل ولتاژ برای حالات گوناگون بهینه‌سازی ARO، ترسیم گردیده است. این شکل‌ها برای شبکه ۳۳ باسه و در حالات عدم حضور و حضور تولیدات پراکنده ترسیم شده است.



شکل ۲۸: پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه در حالت عدم حضور تولیدات پراکنده



شکل ۲۹: پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه در حالت حضور تولیدات پراکنده

همانگونه که مشاهده می‌شود، وضعیت پروفیل ولتاژ شبکه در حالات بهینه نسبت به حالات مبنا بهبود محسوسی یافته است. در حالت حضور تولیدات پراکنده نیز نسبت به عدم حضور این تولیدات بهبود وضعیت ولتاژ مشاهده می‌گردد. بطور کلی می‌توان گفت بهترین وضعیت ولتاژ در حالت بهینه‌سازی پروفیل ولتاژ (منحنی قرمزنگ) بدست آمده است.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله علاوه بر برنامه ریزی در کل شبکه‌ی توزیع فرض شده و تمام ریزشبکه‌ها، مساله‌ی بهینه سازی بهره برداری در داخل هر ریزشبکه با در نظر گرفتن پارامترهای عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفته شده است. به طور کلی دستاوردهای این مقاله به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تولیدالگویی به مدار آوردن بهینه ریز شبکه‌ها و متناظر با آن تعیین حالات کلیدهای متصل
- ۲- انجام پخش بار بهینه تولید مثل غیرجنسی برای تمامی حالات، سناریوها و شرایط بهره برداری مختلف
- ۳- ایجاد سناریو و انجام مطالعات فوق بر اساس سناریو برای هر ساعت
- ۴- ایجاد الگویی به مدار آوردن ریز شبکه در طول ۲۴ ساعت
- ۵- مطالعه مقایسه‌ای خروجی‌های پخش بار بهینه با حالت پایه
- ۶- امکان تعریف ورودی متناظر، شرایط عادی و بحرانی از قبیل شرایط خاص تاب آوری ریزشبکه و تامین قیود مربوطه از قبیل حالات کلیدهای بین ریز شبکه‌ها
- ۷- برتری همگرایی الگوریتم ARO پیشنهادی در مقابل دیگر الگوریتم‌های بهینه سازی همچون ICA و ژنتیک برای توابع هدف مختلف در شبکه توزیع.

مراجع

- [۱] H. Abdi, S. D. Beigvand, and M. L. Scala, "A review of optimal power flow studies applied to smart grids and microgrids," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 742-766, 2017.
- [۲] S. Bahramara, M. Parsa Moghaddam, and M. R. Haghifam, "A bi-level optimization model for operation of distribution networks with micro-grids," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 82, pp. 169-178, 2016.
- [۳] N. Nikmehr and S. Najafi Ravadanegh, "A study on optimal power sharing in interconnected microgrids under uncertainty," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 26, pp. 208-232, 2016.

- [۴] X. Fang, S. Ma, Q. Yang, and J. Zhang, "Cooperative energy dispatch for multiple autonomous microgrids with distributed renewable sources and storages," *Energy*, vol. ۹۹, pp. ۴۸-۵۷, ۲۰۱۶.
- [۵] X. Fang, Q. Yang, J. Wang, and W. Yan, "Coordinated dispatch in multiple cooperative autonomous islanded microgrids," *Applied Energy*, vol. ۱۶۲, pp. ۴۰-۴۸, ۲۰۱۶.
- [۶] D. Gregoratti and J. Matamoros, "Distributed Energy Trading: The Multiple-Microgrid Case," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. ۶۲, pp. ۲۰۰۱-۲۰۰۹, ۲۰۱۰.
- [۷] A. Kavousi-Fard and A. Khodaei, "Efficient integration of plug-in electric vehicles via reconfigurable microgrids," *Energy*, vol. ۱۱۱, pp. ۶۰۳-۶۶۳, ۲۰۱۶.
- [۸] J. Vasiljevska, J. A. Peças Lopes, and M. A. Matos, "Integrated micro-generation, load and energy storage control functionality under the multi micro-grid concept," *Electric Power Systems Research*, vol. ۹۵, pp. ۲۹۲-۳۰۱, ۲۰۱۳.
- [۹] H. Dagdougui, A. Ouammi, and R. Sacile, "Optimal Control of a Network of Power Microgrids Using the Pontryagin's Minimum Principle," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. ۲۲, pp. ۱۹۴۲-۱۹۴۸, ۲۰۱۴.
- [۱۰] N. Nikmehr and S. Najafi-Ravadanegh, "Optimal operation of distributed generations in micro-grids under uncertainties in load and renewable power generation using heuristic algorithm," *IET Renewable Power Generation*, vol. ۹, pp. ۹۸۲-۹۹۰, ۲۰۱۵.
- [۱۱] H. Wang and J. Huang, "Bargaining-based energy trading market for interconnected microgrids," in ۲۰۱۰ IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. ۷۷۶-۷۸۱, ۲۰۱۰.
- [۱۲] E. M. Hammad, A. K. Farraj, and D. Kundur, "Grid-independent cooperative microgrid networks with high renewable penetration," in ۲۰۱۰ IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), pp. ۱-۶, ۲۰۱۰.
- [۱۳] J. Vasiljevska, J. A. P. Lopes, and M. A. Matos, "Multi-microgrid impact assessment using multi criteria Decision Aid methods," in ۲۰۰۹ IEEE Bucharest PowerTech, pp. ۱-۸, ۲۰۰۹.
- [۱۴] M. H. K. Tushar and C. Assi, "Optimal electricity pricing in a microgrid network," in ۲۰۱۱ IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), pp. ۱-۶, ۲۰۱۱.
- [۱۵] L. Xiao, N. B. Mandayam, and H. V. Poor, "Prospect Theoretic Analysis of Energy Exchange Among Microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. ۷, pp. ۶۳-۷۲, ۲۰۱۰.
- [۱۶] S. D. Manshadi and M. E. Khodayar, "Resilient Operation of Multiple Energy Carrier Microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. ۷, pp. ۲۲۸۳-۲۲۹۲, ۲۰۱۰.
- [۱۷] P. P. Vergara, J. C. López, L. C. P. da Silva, and M. J. Rider, "Security-constrained optimal energy management system for three-phase residential microgrids," *Electric Power Systems Research*, vol. ۱۴۶, pp. ۳۷۱-۳۸۲, ۲۰۱۷.
- [۱۸] M. Karami, H. A. Shayanfar, J. Aghaei, and A. Ahmadi, "Scenario-based security-constrained hydrothermal coordination with volatile wind power generation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. ۲۸, pp. ۷۲۱-۷۳۷, ۲۰۱۳.
- [۱۹] M. Nemati, M. Braun, and S. Tenbohlen, "Optimization of unit commitment and economic dispatch in microgrids based on genetic algorithm and mixed integer linear programming," *Applied Energy*, vol. ۲۱۱, pp. ۹۴۴-۹۶۳, ۲۰۱۸.
- [۲۰] Z. Li and Y. Xu, "Optimal coordinated energy dispatch of a multi-energy microgrid in grid-connected and islanded modes," *Applied Energy*, vol. ۲۱۰, pp. ۹۷۴-۹۸۷, ۲۰۱۸.
- [۲۱] B. Li, R. Roche, and A. Miraoui, "Microgrid sizing with combined evolutionary algorithm and MILP unit commitment," *Applied Energy*, vol. ۱۸۸, pp. ۵۴۷-۵۶۲, ۲۰۱۷.
- [۲۲] Mansouri, Taha, and Mohammad Reza Sadeghi Moghadam. "Markowitz-based cardinality constrained portfolio selection using Asexual Reproduction Optimization (ARO)." *arXiv preprint arXiv:2101.03312* (۲۰۲۱).
- [۲۳] Leonori, Stefano, et al. "Optimization strategies for Microgrid energy management systems by Genetic Algorithms." *Applied Soft Computing* ۸۶ (۲۰۲۰): ۱۰۵۹۰۳.
- [۲۴] Wang, Guo, et al. "Optimal planning of multi-micro grids based-on networks reliability." *Energy Reports* ۷ (۲۰۲۰): ۱۲۳۳-۱۲۴۹.