

## بهینه‌سازی حضور خودروهای الکتریکی در کنار واحدهای تولید توان به منظور بهبود قابلیت اطمینان ریز شبکه

محمد رضا آقا ابراهیمی<sup>۱</sup>، مهدی تورانی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران  
Aghaeabrahimi@birjand.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران  
Tourani.mahdi@birjand.ac.ir

**چکیده:** ریز شبکه‌ها نسل جدیدی از سیستم‌های قدرت در مقیاس کوچک هستند که می‌توانند به صورت مستقل از شبکه اصلی قدرت، نیاز مشترکین خود را تأمین نمایند. از ویژگی‌های این سیستم‌ها، امکان تجمعی تولیدات پراکنده در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، با ماهیت احتمالاتی و نوسانی، است که این موضوع ضرورت بررسی قابلیت اطمینان ریز شبکه و حصول اطمینان از حفظ قابلیت اطمینان، و در صورت نیاز، اتخاذ روش‌هایی برای بهبود آن را برجسته می‌سازد. در این مقاله سعی بر آن است تا با بهره‌گیری از روش‌های احتمالاتی، به بهینه‌سازی ترکیب تولیدات پراکنده و خودروهای الکتریکی با هدف بهبود قابلیت اطمینان ریز شبکه پرداخته شود. بهینه‌سازی ترکیب تولیدات توان در کنار خودروهای الکتریکی به منظور بهبود قابلیت اطمینان ریز شبکه، ارائه روشی نوین در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروها و مدل‌سازی توان تزریقی به ریز شبکه از نوآوری‌های مطرح در این مقاله هستند.

**واژه‌های کلیدی:** بهبود قابلیت اطمینان ریز شبکه، ترکیب بهینه واحدهای تولید توان، الگوریتم مونت‌کارلو، حداکثر توان قابل انتقال به ریز شبکه، خودروهای الکتریکی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۴/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۴/۱۲/۰۴

نام نویسنده مسئول : محمد رضا آقا ابراهیمی

نشانی نویسنده مسئول : دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند

## ۱- مقدمه

هیبریدی برقی متصل شونده به شبکه<sup>۲</sup>(PHEV) انجام شده است. در مرجع [۸] نویسنده یک روش شارژ برای PHEV با تنظیم تقاضای مصرف بر اساس اطلاعات قیمت ارائه می‌کند. در مراجع [۹-۱۲] تأثیر خودروهای الکتریکی بر سیستم توزیع، بهویژه اثر آن بر روحی امنیت شبکه، بررسی شده است. مطالعات بر روی پروفایل بهینه شارژ برای تشدید بار در ساعت‌های غیر پیک در مرجع [۱۳] انجام شده است. سود شرکت دادن PHEV در انواع بازارهای برق نیز در مرجع [۱۴]

موربدجت قرار گرفته است.

استفاده از خودروهای الکتریکی در ریزشبکه، با توجه به عدم قطعیت بالای ناشی از ماهیت واحدهای تجدیدپذیر، سبب کاهش هزینه در خرید ذخیره‌سازهای انرژی می‌شود. در این مقاله سعی بر آن است تا با به کارگیری خودروهای الکتریکی در کنار سایر تولیدکننده‌های توان به بهبود قابلیت اطمینان ریزشبکه پرداخته شود. بهینه‌سازی ترکیب تولیدات توان در کنار خودروهای الکتریکی به منظور بهبود قابلیت اطمینان ریزشبکه، ارائه روشی جدید در برنامه‌ریزی زمان شارژ و دشارژ خودروها و مدل‌سازی حالت اتصال به شبکه در ریزشبکه‌ها، نواوری‌هایی هستند که در این مقاله ارائه می‌شوند. برای این منظور، در بخش دوم به بیان مدل پیشنهادی برای هر موضوع و در بخش سوم به تعریف مسئله پرداخته می‌شود. سپس، در بخش چهارم نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل‌های ارائه شده در مقاله و درنهایت، در بخش پنجم نتیجه‌گیری مقاله بیان می‌گردد.

## ۲- مدل‌های پیشنهادی

قابلیت اطمینان یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی عملکرد ریزشبکه است. برای بهبود این پارامتر، ابتدا با استفاده از سیستم موردمطالعه، شاخص‌هایی تعریف و سپس ارزیابی بر اساس این شاخص‌ها صورت گیرد. در این میان، شاخص‌های متنوعی برای قابلیت اطمینان وجود دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به شاخص عدم تأمین انرژی (EENS) اشاره کرد. از آنجایی که ریزشبکه باید بتواند نیاز مشترکین خود را برآورده سازد، این شاخص توانایی ریزشبکه را در تأمین بار مشترکین بررسی می‌کند. از دیگر ویژگی‌های ریزشبکه، تأمین این نیاز با بیشترین استقلال از شبکه اصلی است تا بدین ترتیب از بروز خاموشی‌های ناخواسته ناشی از شبکه بالادست جلوگیری شود. برای بررسی این پارامتر، نیاز به استفاده از شاخص‌های قابلیت اطمینان مرتبط با ریزشبکه است که نشان‌دهنده میزان وابستگی ریزشبکه به شبکه اصلی هستند. هر چه قدر میزان این وابستگی کمتر باشد، امکان انتقال خاموشی از شبکه اصلی به ریزشبکه کمتر خواهد بود. در این مقاله، در بررسی و ارزیابی قابلیت اطمینان علاوه بر شاخص عدم تأمین انرژی، از شاخص مدت زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی نیز استفاده می‌شود.

<sup>2</sup>Plug-in Hybrid Electric Vehicles

پیوستن تولیدات کوچک و ذخیره‌ای انرژی به سیستم‌های ولتاژ پایین یا متوسط، نوع جدیدی از سیستم قدرت را به نام ریزشبکه تشکیل می‌دهد. این سیستم قادر است به صورت جدا از شبکه مصرف مشترکین خود را تأمین و بدین ترتیب مانع از انتقال خاموشی‌های شبکه اصلی به مشترکین ریزشبکه شود. از سویی دیگر، در صورت عدم توانایی در تأمین بار مشترکین در ساعتی خاص، ریزشبکه قادر خواهد بود با اتصال به شبکه اصلی، کمبود توان خود را جبران نماید. استفاده مؤثرتر از واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر، امکان تأمین تقاضای رشد بار و بهبود عملکرد سیستم، از دیگر ویژگی‌های ریزشبکه به شمار می‌آیند.

افزایش به کارگیری واحدهای تولید توان با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ریزشبکه‌ها سبب توجه به قابلیت اطمینان در این سیستم‌ها شده است. از آنجایی که این قبیل منابع تولیدپراکنده دارای عدم قطعیت بسیار هستند، با استفاده از تدبیر لازم جهت تأمین پایدار توان برای مصرف کننده اندیشیده شود. در این زمینه تاکنون پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. در مرجع [۱] به ارائه یک روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان مشترکین ریزشبکه پرداخته شده است. در [۲]، کاربرد سیستم‌های توزیع با قابلیت اطمینان بالا<sup>۱</sup> (HRDS) در بهره‌برداری اقتصادی ریزشبکه برسی شده است. در مرجع [۳]، نویسنده‌گان به معرفی مجموعه‌ای از استانداردها برای تعریف بهتر ریزشبکه پرداخته‌اند. این استانداردها شامل پارامترهای قابلیت اطمینان برای ریزشبکه در حالت مستقل، شاخص حضور تولیدات پراکنده، شاخص‌های اقتصادی ریزشبکه و ... هستند. در مرجع [۴] به دسته‌بندی شبکه توزیع به منظور تشکیل ریزشبکه‌ها با خصوصیت خودکفایی بهینه پرداخته شده است. در مرجع [۵]، نویسنده‌گان به دسته‌بندی شبکه توزیع درون ریزشبکه‌هایی با قابلیت اطمینان و امنیت تولید بالا پرداخته‌اند. بدین منظور از شاخص‌های SAIDI و SAIFI برای ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده شده است. در مرجع [۶]، دسته‌بندی شبکه توزیع درون ریزشبکه‌ها با لحاظ کردن خاصیت احتمالاتی بار و تولیدپراکنده صورت پذیرفته است. ریزشبکه‌های حاصل، از بهینه‌سازی مسئله با هدف بهبود قابلیت اطمینان و امنیت تولید، به دست می‌آیند.

امری که در این بین قابلیت بررسی بیشتری دارد، تأثیر خودروهای الکتریکی بر قابلیت اطمینان ریزشبکه است. خودروهای الکتریکی وسائل نقلیه‌ای هستند که می‌توانند ضمن فعالیت در فرایند حمل و نقل، به دلیل دارا بودن ذخیره‌سازهای انرژی، مزیت‌های بسیاری را برای شبکه قدرت فراهم آورند. در زمینه خودروهای الکتریکی در مرجع [۷] مطالعاتی بر روی آنالیز هزینه‌فایده و تأثیر خودروهای

<sup>1</sup> High Reliability Distribution System

برای به دست آوردن سری زمانی بار مشترکین از الگوی بار IEEE\_RTS با بار پیک ریزشبكه استفاده شده که اطلاعات آن در مرجع [۱۵] آمده است.

### ب- سری زمانی تولید توان بادی

سری زمانی توان بادی متأثر از مدل سرعت باد و مدل توربین بادی است.

از آنجایی که سرعت باد در هر ساعت بستگی به زمان قبل از آن و نیز اطلاعات تاریخی سرعت باد در همان زمان دارد، با توجه به مرجع [۱۶] از رابطه<sup>۴</sup> برای شبیه‌سازی سرعت باد در هر ساعت استفاده می‌شود.

$$SW_t = \mu_t + \sigma_t \times y_t \quad (4)$$

که در آن  $SW_t$  سرعت وزش باد در زمان  $t$  و  $\mu_t$  و  $\sigma_t$  میانگین و انحراف معیار سرعت باد در زمان  $t$  در سال‌های گذشته هستند.

پارامتر  $\alpha$  تأثیر سرعت باد در زمان‌های قبل از آرا بر روی سرعت باد در زمان  $t$  نشان می‌دهد و می‌توان آن را با استفاده از مدل ARMA به دست آورد.

$$A(q)y_t = C(q)e_t \quad (5)$$

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + a_2q^{-2} + \dots + a_{n_a}q^{-n^a} \quad (6)$$

$$C(q) = 1 + c_1q^{-1} + c_2q^{-2} + \dots + c_{n_c}q^{-n^c} \quad (7)$$

و، خروجی مدل در زمان  $t$  و  $e_t$  نویز سفید نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار  $\sigma_n$  است.  $n_a$  و  $n_c$  درجه آزادی مدل و ضرایب  $a_i$  و  $c_i$  نیز

با استفاده از داده‌های تاریخی به دست می‌آید.  
مدل توربین بادی را نیز می‌توان با استفاده از مرجع [۷] به صورت رابطه<sup>۵</sup> بیان کرد.

$$P_{Wind} = \begin{cases} 0 & V < V_{cut\ in} \\ P_{rated}(aV^2 + bV + c) & V_{cut\ in} \leq V < V_{rated} \\ P_{rated}V_{rated} & V_{rated} \leq V < V_{cut\ out} \\ 0 & V_{cut\ out} \leq V \end{cases} \quad (8)$$

توان خروجی توربین بادی،  $V_{cut\ in}$  سرعت باد،  $P_{Wind}$  سرعت قطع پایین،  $V_{rated}$  سرعت نامی،  $V_{cut\ out}$  سرعت قطع بالا،  $P_{rated}$  توان نامی توربین و  $a$ ,  $b$ ,  $c$  مشخصات وابسته به توربین هستند. مقادیر  $a$ ,  $b$  و  $c$  با توجه به سرعت قطع بالا، سرعت قطع پایین و سرعت نامی قابل محاسبه بوده که روابط آن در مرجع [۱۷] آمده است.

برای محاسبه سری زمانی تولید توان بادی، ابتدا سری زمانی شبیه‌سازی سرعت باد در بازه مورد نظر با توجه به روش ارائه شده تعیین و سپس مطابق سرعت باد در هر ساعت و مدل توربین، سری زمانی تولید بادی به دست می‌آید.

### پ- سری زمانی تولید توان فتوولتاییک

برای به دست آوردن مدل توان تولیدی فتوولتاییک، شدت تابش و مدل پنل‌های خورشیدی موردنیاز هستند. شدت تابش خورشید در زمان  $t$ ،  $G_{h_t}$  را می‌توان با توجه به مرجع [۱۸] ازتابع توزیع نرمال به دست آورد.

از آنجایی که تجمعی گسترشده واحدهای تولیدپراکنده با انرژی‌های تجدیدپذیر از مزایای ریزشبكه‌ها به شمار می‌رود، مبحث عدم قطعیت از مسائل مطرح در این حوزه خواهد بود. برای ارزیابی قابلیت اطمینان با توجه به عدم قطعیت موجود، بایستی از روش‌های احتمالاتی بهره‌گیری نمود. از جمله این روش‌ها، روش مونت‌کارلو است. روش‌های مونت‌کارلو یک دسته از الگوریتم‌های محاسباتی هستند که بر اساس تکرار تصادفی نمونه‌برداری، برای محاسبه نتایج، به کار می‌روند. به دلیل اتکای این روش‌ها به تکرار محاسبات و اعداد تصادفی، این الگوریتم‌ها برای کامپیوترها مناسب هستند. روش‌های متفاوتی برای اجرای الگوریتم مونت‌کارلو وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مونت‌کارلو ترتیبی و مونت‌کارلو غیرترتیبی اشاره کرد که استفاده از هر کدام از این روش‌ها، بسته به نوع مطالعه مشخص می‌شود.

از آنجایی که در این مقاله خودروهای الکتریکی در ریزشبكه وجود دارند

و با توجه به خاصیت شارژ و دشارژ خودروها و واستگی آن‌ها به زمان، از روش مونت‌کارلو ترتیبی در ارزیابی قابلیت اطمینان ریزشبكه استفاده می‌شود.

در روش مونت‌کارلو ترتیبی، ابتدا سری‌های زمانی مربوط به هریک از اجزای ریزشبكه تعریف و سپس با استفاده از این سری‌ها، مطالعات قابلیت اطمینان انجام می‌پذیرد. نحوه ارزیابی قابلیت اطمینان بدین صورت است که در مرحله نخست، یک زمان تصادفی در بازه موردمطالعه انتخاب و سپس وضعیت شبکه از روی سری‌های زمانی مشخص می‌شود. با مشخص شدن وضعیت شبکه، شاخص‌های قابلیت اطمینان محاسبه شده و شرط توقف مونت‌کارلو ترتیبی بررسی می‌شود. در صورت برآورده نشدن شرط توقف، دوباره به مرحله نخست رفته و مرحله بالا تکرار می‌شود. پس از توقف الگوریتم، امید ریاضی شاخص‌های قابلیت اطمینان، از روی پاسخ‌های هر تکرار، به دست خواهد آمد.

$$E(ENS) = \frac{1}{N} (\sum_i^N P_{NS_i}) \times Period \quad (1)$$

$$E(T_{connect}) = \frac{1}{N} (\sum_i^N \alpha_{connect_i}) \times Period \quad (2)$$

$$\alpha_{connect} = \begin{cases} 0 & \text{if microgrid disconnected} \\ 1 & \text{if microgrid is connected} \end{cases} \quad (3)$$

در روابط بالا ENS شاخص انرژی تأمین نشده ریزشبكه، در این امید ریاضی آن،  $T_{connect}$  شاخص مدت زمان اتصال ریزشبكه به شبکه اصلی،  $E(T_{connect})$  امید ریاضی آن، دوره موردنظر و  $N$  تعداد تکرار مونت‌کارلو هستند. معیار همگرایی الگوریتم مونت‌کارلو در این مقاله، ضریب همگرایی<sup>۳</sup> میانگین برای شاخص‌های قابلیت اطمینان است.

## ۱-۲ سری زمانی اجزای ریزشبكه

### الف- سری زمانی بار مشترکین

<sup>3</sup>Coefficient of Variation

مقداری از شارژ باتری دست نخورده باقی بماند. در صورتی که بتوان این مقدار از توان را قبل از خروج خودرو از پارکینگ تأمین نمود، ظرفیت استفاده از باتری خودروها افزایش می‌یابد. در این مقاله، با استفاده از یک سیگنال کنترلی، وضعیت شارژ مجدد خودرو تا زمان خروج محاسبه و در صورت اطمینان از شارژ مجدد باتری، تا بیشترین سطح ممکن، دشارژ می‌شود. البته لازم به ذکر است که همواره یک سطح حداقلی دیگر به منظور جلوگیری از کاهش عمر مفید باتری وجود دارد که به آن عمق تخلیه(DOD)<sup>۴</sup> گفته می‌شود و بایستی در دشارژ خودرو رعایت گردد. با به دست آوردن سیگنال کنترلی از روی زمان ورود و خروج خودروها و با توجه به وضعیت کمبود توان، باتری خودرو با توجه به حداکثر نرخ دشارژ، تخلیه و توان حاصل به شبکه قابل تزریق خواهد بود. مدیریت این تزریق توان به گونه‌ای طراحی شده است که تا حد ممکن، خودروها از اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی جلوگیری نمایند. در صورتی که امکان جلوگیری از اتصال ریزشبکه وجود نداشته باشد - توان لازم برای تأمین مصرف ریزشبکه با وجود خودروها فراهم نشود - شارژ و یا دشارژ خودرو وابسته به وضعیت جدید - کمبود یا مازاد تولید در شبکه اصلی و ریزشبکه - خواهد بود.

### ث- سری زمانی توان تزریقی به ریزشبکه در حالت اتصال به شبکه اصلی

مدل ارائه شده برای توان تزریقی به ریزشبکه در این مقاله بر اساس حداکثر بار قابل انتقال به ریزشبکه، از طرف شبکه اصلی، است. برای به دست آوردن این حداکثر بار، بایستی میزان بار دریافت شده توسط بانس اتصال ریزشبکه تا جایی افزایش داده شود تا قیود سیستم نقض گردد. روش‌های متفاوتی برای تعیین بیشترین توان قابل انتقال به ریزشبکه وجود دارد. یکی از این روش‌ها، که در این مقاله از آن استفاده شده است، روش بهینه‌سازی توان حداکثر است. فرآیند این روش شامل تعیین تابع هدف، تعیین قیود و حل مسئله بهینه‌سازی با استفاده از یک الگوریتم معتبر و کاراست. در این روش، زمان محاسبات نسبت به پخش بار کلاسیک و پخش بار تداومی کمتر است.

فرمول‌بندی این مسئله شامل تعریف تابع هدف و محدودیت‌های مسئله بوده که طبق روابط ۱۳ و ۱۴ قابل بیان است.

$$\text{Max } P_{\text{micro}} \quad (13)$$

$$\text{S.T.} \left\{ \begin{array}{l} P_G^{\text{main}} = P_D^{\text{main}} + P_{\text{micro}} + P_L^{\text{main}} \\ P_G^{\text{min}} \leq P_G^{\text{main}} \leq P_G^{\text{max}} \\ V_i^{\text{min}} \leq V \leq V_i^{\text{max}} \\ I_{ij}^{\text{min}} \leq I \leq I_{ij}^{\text{max}} \end{array} \right. \quad (14)$$

در رابطه بالا  $P_{\text{micro}}$  حداکثر توان تزریقی به ریزشبکه،  $P_G^{\text{main}}$  توان تولیدی شبکه اصلی،  $P_D^{\text{main}}$  توان مصرفی شبکه اصلی،  $P_L^{\text{main}}$  تلفات شبکه اصلی و  $V$  و  $I$  ولتاژ بانس‌ها و جریان عبوری از خطوط در شبکه اصلی هستند.

$$G_{h_t} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{G_t}} \text{EXP}\left(\frac{-(x-\mu_{G_t})^2}{2\sigma_{G_t}^2}\right) \quad (9)$$

$\sigma_{G_t}$  و  $\mu_{G_t}$  انحراف معیار و میانه شدت تابش در ساعت  $t$  هستند که از روی داده‌های ساعتی منطقه در ساعت  $t$  از داده‌های تاریخی سال‌های گذشته در همان ساعت حاصل می‌شوند. مقدار این تابع توزیع حول یک مقدار حداقل و حداکثر محدودشده و به همین علت از تابع توزیع محدودشده استفاده خواهد شد. با داشتن شدت تابش خورشید و با توجه به مرجع [۱۹]، توان تولیدی هر پنل از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$P_{ph_t} = \begin{cases} -0.0622 \times G_{h_t}^2 + 36.5073G_{h_t} + 351.2987 & 0 < G_{h_t} < 190 \\ (0.0022 \times G_{h_t} + 4.8821) \times 10^3 & 190 \leq G_{h_t} < 1000 \end{cases} \quad (10)$$

در رابطه ۱۰،  $P_{ph_t}$  توان پنل فتوولتاییک در ساعت  $t$  را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن سری زمانی تولید فتوولتاییک، ابتدا برای یک ساعت خاص شدت تابش بر اساس تابع توزیع نرمال محدودشده همان ساعت محاسبه شده و سپس با توجه به رابطه ۱۰ مقدار توان تولیدی به دست می‌آید. با ادامه دادن این روش سری زمانی تولید فتوولتاییک کامل خواهد شد.

### ت- سری زمانی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی

برای به کارگیری خودروهای الکتریکی، در این مقاله از پارکینگ‌هایی استفاده شده است که خودروها در هنگام شارژ و یا تزریق توان به شبکه در آن‌ها قرار می‌گیرند. برای مدل‌سازی رفتار این خودروها از قضیه حد مرکزی استفاده شده است [۲۰].

قضیه حد مرکزی: در صورتی که  $X_1, X_2, \dots, X_n$  متغیرهای تصادفی مستقل با تابع توزیع احتمالاتی متفاوت باشند، مجموع آن‌ها یعنی  $X_1 + X_2 + \dots + X_n$  برای  $n$  های بزرگ، دارای تابع توزیع احتمال نرمال خواهد بود.

حال، در صورتی که رفتار صاحبان خودرو را مانند هم در نظر گیریم، می‌توان ساعات خروج و مدت زمان عدم حضور در پارکینگ را با توجه به مرجع [۲۱] مطابق رابطه ۸ و ۹ بیان نمود.

$$T_{\text{exit}_t} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{T_t}} \text{EXP}\left(\frac{-(x-\mu_{T_t})^2}{2\sigma_{T_t}^2}\right) \quad (11)$$

$$\Delta T_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta t}} \text{EXP}\left(\frac{-(x-\mu_{\Delta t})^2}{2\sigma_{\Delta t}^2}\right) \quad (12)$$

$T_{\text{exit}}$  زمان خروج خودروها از پارکینگ،  $T$  مدت زمان عدم حضور خودروها در پارکینگ و  $\sigma_t$  و  $\mu_t$  انحراف معیار و میانه پارامترهای زمان خروج و مدت خروج برای روز  $t$  بوده که از روی داده‌های تاریخی همان روز از سال‌های گذشته به دست می‌آید. بدین ترتیب، پارامترهای رفتاری خودروها برای هر روز - روز کاری هفته و یا آخر هفته در فصول مختلف - متناسب با همان روز تعریف می‌شوند. با توجه به ساعت حضور خودروها در پارکینگ و سری زمانی تولید و مصرف ریزشبکه، می‌توان سری زمانی شارژ و دشارژ ریزشبکه را محاسبه کرد. برای تأمین نیاز صاحبان خودرو در مسافت‌های روزانه، بایستی

<sup>4</sup> Depth of Discharge

در این مقاله برای محاسبه حداکثر توان انتقالی به ریزشبكه، ابتدا با استفاده از الگوی بار IEEE\_RTS برای بار پیک شبکه اصلی، مصرف شبکه اصلی مشخص می‌شود. با داشتن مصرف شبکه اصلی در زمان  $t$  و به‌تبع آن بار مشترکین هر باس، و نیز با استفاده از حداکثر تولید در همان زمان برای شبکه اصلی، حداکثر توان قابل انتقال به ریزشبكه با استفاده از مدل ارائه شده به دست می‌آید. حداکثر تولید برای زمان  $t$  در شبکه اصلی از روی حداکثر توان پست‌های بالادستی و حداکثر توان واحد بادی در شبکه اصلی در زمان  $t$  - حداکثر توان تولیدی باد ناشی از شدت باد در زمان  $t$  است - به دست می‌آید. این توان زمانی برای ریزشبكه قابل دسترس است که کلید ورودی ریزشبكه در حالت خرابی قرار نگرفته باشد. برای مدل سازی خرابی کلید با استفاده از نرخ خرابی و نرخ تعمیرات تجهیز، سری زمانی در مدار بودن کلید به دست می‌آید. برای این کار از ابتدای بازه موردنظر سری زمانی شروع و مدت زمان استمرار حالت سلامت از رابطه<sup>۱۹</sup> مشخص می‌گردد. تا این زمان مقدار سری ۱ قرار داده می‌شود که به مفهوم در مدار بودن کلید است. بعد از این زمان تا مدت استمرار خرابی که از رابطه<sup>۲۰</sup> مشخص می‌شود، مقدار سری زمانی صفر خواهد بود. این روند تا انتهای بازه سری زمانی ادامه پیدا می‌کند.

$$T_h = \frac{-\ln(x)}{\lambda} \quad (19)$$

$$T_{uh} = \frac{-\ln(x)}{\mu} \quad (20)$$

در رابطه<sup>۱۹</sup> و<sup>۲۰</sup>،  $x$  یک عدد تصادفی با تابع توزیع یکنواخت،  $\lambda$  نرخ خرابی کلید و  $\mu$  نرخ تعمیرات آن هستند. بدین ترتیب، درصورتی که واحدهای تولیدی و خودروهای الکتریکی ریزشبكه نتوانند توان موردنیاز ریزشبكه را تأمین نمایند، کمبود موردنیاز توسط توان انتقالی از شبکه اصلی به ریزشبكه -  $P_{micro}$  - جبران خواهد شد. مقدار کمبود جبران شده با توجه به حداکثر توان قابل انتقال و بسته به سری زمانی درمدار بودن کلید ورودی ریزشبكه، سری زمانی تولید، سری زمانی مصرف و سری زمانی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی، سری زمانی تزریق توان ریزشبكه را به دست می‌دهد.

### ۳- تعریف مسئله

هدف تحقیق حاضر، بهینه‌سازی حضور خودروهای الکتریکی در کنار سایر واحدهای تولید توان به منظور بهبود قابلیت اطمینان ریزشبكه است. ظرفیت نصب واحدهای بادی و خورشیدی، مقدار واحدهای دیزل موردنیاز به منظور جبران بخشی از عدم قطعیت ریزشبكه و نیز ظرفیت نصب پارکینگ خودروهای الکتریکی، متغیرهای تولید ریزشبكه هستند که بایستی به نحو بهینه‌ای انتخاب شده تا اهداف طرح محقق شوند. برای این منظور ابتدا توابع هدف مشخص و سپس با استفاده از الگوریتم‌های جستجو به تعیین پاسخ بهینه، از میان حالات ممکن، پرداخته می‌شود. از آنجایی که فضای مسئله دارای عدم قطعیت

روش‌های متفاوتی برای حل مسئله بهینه‌سازی فوق وجود دارد که این روش‌ها را به‌طور کلی می‌توان به دو دسته روش‌های هوشمند یا ابتکاری و روش‌های کلاسیک طبقه‌بندی نمود. روش‌های هوشمند شامل الگوریتم‌های زنگین، اجتماع ذرات، کلونی مورچه و بازپخت فلزات می‌شود. این روش‌ها برای حل مسئله از پخش بار کلاسیک جهت ارزیابی استفاده می‌کنند و از آنجاکه ماتریس ژاکوبین در نزدیکی نقطه فروپاشی ولتاژ دچار مشکل همگرایی می‌شود این روش‌ها در ارائه جواب مناسب در یک زمان معقول کارا نیستند. علاوه بر این، روش‌های هوشمند برای انجام محاسبات به مدت زمان بالایی نیاز دارند. الگوریتم‌های کلاسیک شامل برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی و الگوریتم دور از کرانه است. در این الگوریتم‌ها معمولاً از مشتقات مرتبه دوم معادلات توان استفاده می‌شود. همچنین، این الگوریتم‌ها برای انجام محاسبات به زمان کمتری نیاز دارند. در این بخش، الگوریتم دور از کرانه، که مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرخطی است، به اختصار تشریح می‌شود.

مسئله حداکثر توان انتقالی به ریزشبكه را می‌توان به شکل کلی روابط ۱۵ و ۱۶ نوشت. این روابط بیانگر شکل کلی روابط<sup>۱۳</sup> و<sup>۱۴</sup> هستند.

$$\max: F(x) \quad (15)$$

$$S.T. \begin{cases} G(x) = 0 \\ h_{min} \leq H(x) \leq h_{max}(x) \end{cases} \quad (16)$$

که در آن  $x$ ، متغیر حالت شامل اندازه و زاویه ولتاژ باس‌ها،  $G$  بیانگر قیود مساوی شامل معادلات تعادل توان،  $H$  قیود نامساوی شامل محدودیت ولتاژ باس‌ها و تولید توان ژنراتورها و جریان خطوط هستند.  $F(x)$  تابع هدف شامل حداکترسازی توان انتقالی به ریزشبكه است.  $h_{min}$  و  $h_{max}$  بیانگر حدود بالا و پایین قیود نامساوی هستند. در ابتداء قیود نامساوی از طریق متغیرهای شناور به قیود مساوی به شکل رابطه<sup>۱۷</sup> تبدیل می‌شوند.

$$\begin{cases} H(x) - s_l - h_{min} = 0 \\ H(x) - s_u - h_{max} = 0 \\ s_u, s_l \geq 0 \end{cases} \quad (17)$$

در رابطه بالا،  $s_l$  و  $s_u$  به ترتیب متغیرهای شناور حد پایین و بالا هستند. پس از تبدیل قیود نامساوی به مساوی، توابع لاغرانژ با استفاده از توابع مرزی لکاریتمی و ضرایب لاغرانژ به شکل رابطه<sup>۱۸</sup> تشکیل می‌شوند.

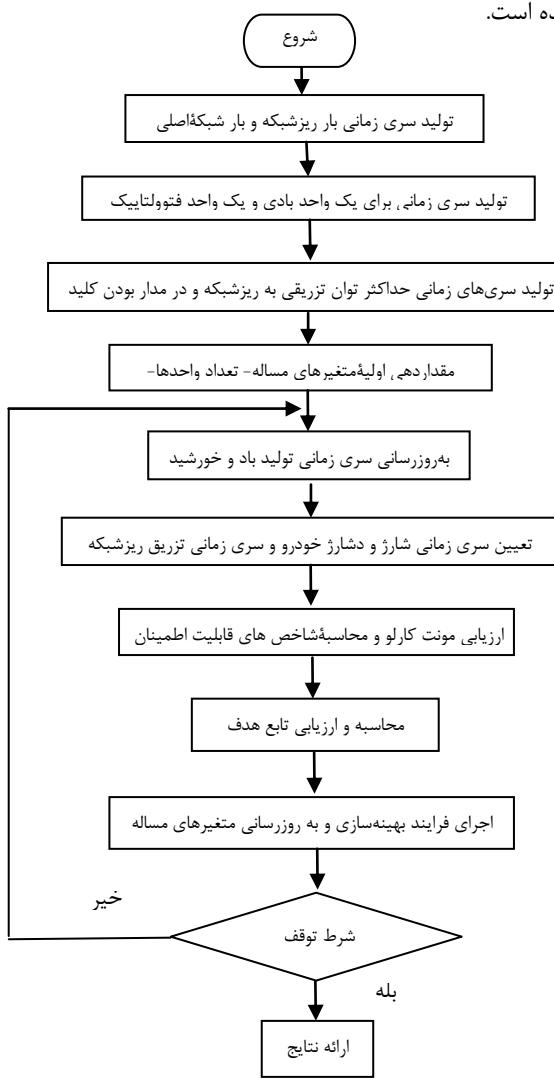
$$L(x, \lambda, s_u, s_l, \pi_l, \pi_u, \mu) = F(x) - \lambda^T G(x) - \pi_l^T (H(x) - s_l - h_{min}) - \pi_u^T (H(x) - s_u - h_{max}) - \mu (\sum_i \ln s_{li} + \sum_i \ln s_{ui}) \quad (18)$$

که در آن  $\lambda$  ضرایب لاغرانژ برای قیود مساوی،  $\pi_l$  ضرایب لاغرانژ برای قید  $(H(x) - s_l - h_{min})$ ،  $\pi_u$  ضرایب لاغرانژ برای قید  $(H(x) - s_u - h_{max})$  و  $\mu$  پارامتر مرزی هستند. در ادامه، برای کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی تابع لاغرانژ از شرایط کاروش-کوهان-تاکر<sup>۵</sup> استفاده می‌شود.

<sup>۵</sup>Karush-Kuhn-Tucker

### ۲-۳- روش بهینه‌سازی

برای جستجو در بین پاسخ‌های ممکن از روش‌های مختلفی می‌توان بهره گرفت. در تحقیق حاضر از روش‌های جستجوی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی گرانشی بهمنظور بررسی مقادیر مختلف ظرفیت نصب واحدهای بادی و خورشیدی، واحدهای دیزل و ظرفیت پارکینگ خودروهای الکتریکی در ریزشبکه استفاده شده است. در این روش ابتدا برای هر یک از متغیرهای جستجو - تعداد واحدهای بادی، تعداد پنلهای خورشیدی، تعداد واحدهای دیزل و ظرفیت خودروهای الکتریکی پارکینگ - یک کد تعریف می‌شود. سپس، برای هر ترکیب از این واحدها و با استفاده از مدل‌های احتمالاتی ارائه شده در این مقاله، سری‌های زمانی، مصرف ریزشبکه، تولید بادی، تولید فتوولتاویک، شارژ و دشارژ خودروها و تزریق توان شبکه اصلی به ریزشبکه، تشکیل می‌شود. از روی این سری‌ها، الگوریتم مونت‌کارلو ترقیبی اجرا و شاخص‌های احتمالاتی قابلیت‌اطمینان به دست می‌آیند. با استفاده از این شاخص‌ها و سایر اهداف تعریف شده، ارزش هر پاسخ تعیین می‌شود. فلوچارت حل مسئله در شکل ۱ نشان داده شده است.



است، برای ارزشیابی هر حالت کاندیدا، از ارزیابی احتمالاتی ارائه شده در بخش دوم استفاده شده است.

### ۱-۳- توابع هدف

در این قسمت به معرفی اهداف مسئله پرداخته می‌شود.

#### الف- بهبود قابلیت‌اطمینان ریزشبکه:

برای ارزیابی قابلیت‌اطمینان، از شاخص عدم تأمین انرژی ریزشبکه و شاخص مدت زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی استفاده می‌شود. هر چهقدر ریزشبکه توانایی بالاتری در تأمین بار مصرفی خود داشته باشد، عملکرد بهتری در حوزه قابلیت‌اطمینان خواهد داشت. از سویی دیگر، استقلال از شبکه اصلی باعث می‌شود خاموشی‌های شبکه اصلی به ریزشبکه منتقل نشده و در نتیجه قابلیت‌اطمینان ریزشبکه بهبود یابد.

به خاطر وجود عدم قطعیت در اجزای سیستم، از شاخص‌های احتمالاتی قابلیت‌اطمینان در توابع هدف استفاده شده است.

$$E(ENS) = \frac{1}{N} \left( \sum_i^N P_{NS_i} \right) \times \text{Period} \quad (21)$$

$$E(T_{connect}) = \frac{1}{N} \left( \sum_i^N \alpha_{connect_i} \right) \times \text{Period} \quad (22)$$

$$\alpha_{connect} = \begin{cases} 0 & \text{if microgrid disconnected} \\ 1 & \text{if microgrid is connected} \end{cases} \quad (23)$$

در روابط بالا ENS شاخص انرژی تأمین نشده ریزشبکه، (ENS) امید ریاضی آن،  $T_{connect}$  شاخص مدت زمان اتصال ریزشبکه به شبکه اصلی،  $E(T_{connect})$  امید ریاضی آن، Period دوره موردنظر و N تعداد تکرار مونت کارلو هستند.

#### ب- کاهش هزینه‌های طرح:

یکی از مهم‌ترین عوامل در موقوفیت طرح، بررسی اقتصادی هزینه‌های طرح است. این هزینه‌ها بایستی جوابگوی اهداف مسئله بوده و بتوانند صرفه اقتصادی را به دنبال داشته باشند. برای این منظور، در این مقاله کاهش هزینه‌های طرح به عنوان یک هدف در نظر گرفته شده است. هزینه‌هایی متفاوتی در اجرای این طرح وجود دارند که در این مسئله تنها به چند هزینه اولیه برای واحدها بسته شده است.

$$Cost = wind cost + solar cost + parking cost \quad (24)$$

که در آن Cost هزینه طرح، wind cost هزینه واحدهای بادی، solar cost هزینه واحدهای فتوولتاویک و parking cost هزینه احداث پارکینگ خودروهای الکتریکی هستند.

#### پ- کاهش استفاده از واحدهای دیزل

از آنجایی که واحدهای تولیدپراکنده با انرژی‌های تجدیدپذیر دارای عدم قطعیت بالا هستند از واحدهای دیزل بهمنظور جبران بخشی از این عدم قطعیت استفاده می‌شود. این واحدها دارای هزینه برهه‌برداری زیاد و نیز آلایندگی بالا هستند که در این هدف به کاهش به کارگیری آن‌ها، تا حد ممکن، پرداخته می‌شود.

جدول(۱)، اطلاعات فنی توربین V-100				
Vcut out	Vcut in	Vr	Pr	توان نامی سرعت قطع پایین سرعت قطع بالا
۲۰ m/s	۳m/s	۱۲m/s	۲MW	

ریزشکه از طریق باس ۱۲ به شبکه CIVANLAR متصل می‌شود. بار پیک ریزشکه ۳/۸ مگاوات است. برای داده‌های ساعتی موردنیاز ریزشکه برای شدت تابش خورشید، از اطلاعات هواشناسی بخش مک هنری در ایالت داکوتای شمالی و از مرجع [۲۴]، در طی ۲۰ سال، از ۱۴ آگوست ۱۹۹۵ تا ۱۴ آگوست ۲۰۱۵، استفاده شده است. از آنجایی که شبکه اصلی و ریزشکه در یک محدوده جغرافیایی قرار دارند، برای داده‌های ساعتی موردنیاز وزش باد نیز در این ریزشکه از اطلاعات شبکه اصلی استفاده می‌شود.

هزینه هر واحد توربین بادی ۲ مگاواتی با توجه به مرجع [۲۵] ۳ میلیون دلار انتخاب و برای هر پنل ۲/۵ کیلوواتی فتوولتاییک بر طبق مرجع [۲۶] ۶۱/۳ سنت بر وات منظور شده است. هزینه ساخت پارکینگ خودروهای الکتریکی و هزینه نصب تجهیزات موردنیاز خودروها مانند مبدل‌ها، با توجه به مرجع [۲۷]، به ترتیب ۳۰۰ دلار بر مترمربع و ۴۰۰۰۰ دلار بر مگاوات فرض شده است. مساحت موردنیاز هر خودرو ۶ مترمربع در نظر گرفته شده است. خودروهای الکتریکی مورداستفاده در این مقاله از نوع شورولت بوده که پارامترهای آن بر طبق مرجع [۲۸] در جدول ۲ آمده‌اند.

جدول(۲)، پارامترهای خودروهای الکتریکی

Chrevolet	Battery Capacity	Electric Mode Range	Maximum Charging Power
	۱۶ کیلووات ساعت	۶۴ کیلومتر	۵ کیلووات

حداکثر نرخ شارژ و دشارژ خودروها در این مقاله یکسان فرض شده و با استفاده از جدول ۲، ۵ کیلووات انتخاب می‌شود. برای مدل‌سازی احتمالاتی خودروهای الکتریکی، پارامترهای مدل برای روزهای کاری و آخر هفته متفاوت فرض شده است. همچنین، دو فصل بهار و تابستان دارای رویه یکسان اما متفاوت با دو فصل دیگر سال - پاییز و زمستان در نظر گرفته شده‌اند.

در این مقاله، هر واحد دیزل نیز ۲۵۰ کیلووات توان نامی دارد. سری‌های زمانی با توجه به الگوی مصرف بار IEEE\_RTS در بازه ۸۷۳۶ ساعته تعریف شده‌اند.

برای بررسی و تحلیل بیشتر مباحث بیان شده در این مقاله، سه سناریو مطرح و نتایج شبیه‌سازی هر کدام از آن‌ها ارائه می‌گردد.  
الف - سناریوی اول: بهینه‌سازی ریزشکه بدون در نظر گرفتن خودروهای الکتریکی

در این سناریو، شبیه‌سازی ترکیب تولیدات توان ریزشکه، به منظور بهبود قابلیت اطمینان، بدون در نظر گرفتن خودروهای الکتریکی

از آنجایی که توابع هدف ارائه شده دارای تنوع هستند، امکان ترکیب این ارزش‌ها با یکدیگر وجود ندارد. به همین خاطر از روش تئوری فازی به منظور تجمعی ارزش اهداف استفاده می‌شود. در این روش با استفاده از توابع عضویت، ارزش هر هدف با یک مقدار حداکثر و حداقل سنجیده شده و مقداری بین صفر تا یک به آن اختصاص می‌یابد. با این روش، مقدار به دست آمده برای همه هدف‌ها را می‌توان با یکدیگر ترکیب نمود.

$$\text{Min } \text{Fitness} = \sum_i^n \alpha_i \mu_i(G_i) \quad (25)$$

$$G_1 = E(\text{ENS}) \quad (26)$$

$$G_2 = E(\text{Tconnect}) \quad (27)$$

$$G_3 = \text{cost} \quad (28)$$

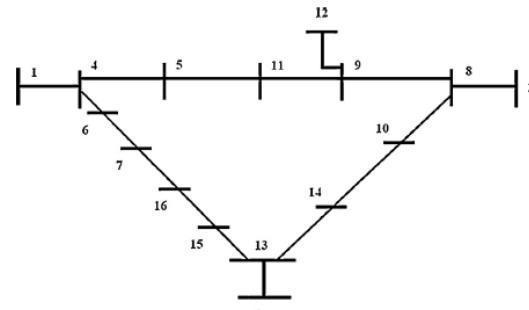
$$G_4 = \text{number of Diesel Generator} \quad (29)$$

در رابطه بالا، Fitness، ارزش فازی ناشی از ترکیب اهداف،  $G_i$  هدف  $i$ ام،  $\alpha_i$  تابع عضویت فازی هدف  $i$ ام و  $\mu_i$  ضرایب تأثیر اهداف هستند.

#### ۴- شبیه‌سازی و نتایج

برای اعتبار بخشیدن به مدل‌های ارائه شده در این مقاله، به شبیه‌سازی آنان بر روی یک شبکه نمونه و ارائه نتایج حاصله پرداخته می‌شود. برای این منظور از شبکه تست توزیع ۱۶ بasse CIVANLAR جهت تغذیه ریزشکه استفاده شده است. اطلاعات خطوط شبکه در مرجع [۲۲] آمده است.

در این شبکه، بار کل مشترکین از الگوی بار IEEE\_RTS برای بار پیک ۲/۸/۷ مگاوات پیروی کرده و به نسبت بار هر باس که در مرجع [۲۲] آمده است، تقسیم می‌گردد.



شکل (۲)، شبکه تست ۱۶.CIVANLAR

شبکه اصلی از طریق دو پست با ظرفیت حداکثر ۱۵ مگاوات در باس ۱ و ۲ و یک واحد بادی با ظرفیت ۲ مگاوات در باس ۳ تأمین می‌شود. توربین نصب شده از نوع V-100 به مرجع [۲۳] بوده که اطلاعات آن از مرجع برداشت شده است.

داده‌های سرعتی باد این توربین مربوط به بخش مک هنری در ایالت داکوتای شمالی بوده و از مرجع [۲۴]، در طی ۲۰ سال، از ۱۴ آگوست ۱۹۹۵ تا ۱۴ آگوست ۲۰۱۵، برداشت شده است.

سیگنال شارژ مجدد، تا قبل از زمان خروج از پارکینگ انرژی موردنیاز مسافرت روزانه را دریافت خواهند کرد.

با شبیه‌سازی مسئله با استفاده از الگوریتم جستجوی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی گرانشی، ظرفیت بهینه هر کدام از واحدها برای بهبود اهداف تعیین شده مطابق جدول ۷ به دست می‌آید.

ترکیب بهینه ارائه شده در جدول ۷، وابسته به اطلاعات هواشناسی منطقه ایجاد ریزشبکه و شبکه اصلی بوده و بسته به موقعیت جغرافیایی آن‌ها، عموماً تغییر خواهد کرد.

جدول (۷)، ترکیب بهینه تولید ریزشبکه

	تعداد واحدهای دیزل	تعداد پنل فتوولتاویک	ظرفیت خودرویی پارکینگ	تعداد دیزل
PSO	۱	۴۵۲۲	۱۰۹۶	۵
GA	۱	۴۵۱۸	۱۰۹۲	۵
GSA	۱	۳۶۹۷	۱۱۴۷	۵

امید ریاضی شاخص‌های قابلیت‌اطمینان ریزشبکه به همراه ارزش فازی پاسخ بهینه برای هر روش در جدول ۸ آمده است.

جدول (۸)، اطلاعات پاسخ بهینه

	شاخص ارزش فازی	تکرار همگرایی	شاخص E(ENS)	شاخص E(T <sub>connect</sub> )
PSO	۰/۳۲۸۱	۴۳	۱۱/۸ مگاوات در سال	۲۴۰/۸۲ ساعت در سال
GA	۰/۳۲۸۲	۴۹	۱۱/۹ مگاوات در سال	۲۴۲/۴ ساعت در سال
GSA	۰/۳۷۴۲	۲	۲۶/۵ مگاوات در سال	۳۱۸/۶ ساعت در سال

همان‌طور که از جدول ۸ مشخص است، از میان الگوریتم‌های اجرشده بر روی مسئله، پاسخ نهایی الگوریتم PSO دارای دقت بیشتری نسبت به الگوریتم ژنتیک و جستجوی گرانشی است. از طرف دیگر، از نظر سرعت همگرایی الگوریتم‌ها، در صورتی که تعداد تکرار تا رسیدن به پاسخ نهایی به عنوان تعریف سرعت در نظر گرفته شود، روش جستجوی گرانشی نسبت به الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات سرعت بهتری را دارا بوده و پس از آن الگوریتم ازدحام ذرات سرعت بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد.

رتبه اول دقت الگوریتم ازدحام ذرات در کنار رتبه دوم سرعت، از میان سه الگوریتم ارائه شده، کارایی بهتر الگوریتم ازدحام ذرات را نسبت به الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی گرانشی در این مسئله نشان می‌دهد.

نمودار همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی گرانشی در شکل ۳ آمده است.

صورت می‌پذیرد. جداول ۳ و ۴ نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات، را نشان می‌دهند.

جدول (۳)، ترکیب بهینه تولید ریزشبکه

تعداد واحدهای دیزل	تعداد پنل فتوولتاویک	تعداد توربین بادی
PSO	۱	۲۷۸۹

امید ریاضی شاخص‌های قابلیت‌اطمینان ریزشبکه به همراه ارزش فازی پاسخ بهینه، در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول (۴)، اطلاعات پاسخ بهینه

شاخص (T <sub>connect</sub> )	شاخص E(ENS)	ارزش فازی	ساعت در سال	مگاوات در سال
PSO	۰/۷۳۷۵	۱۹/۷۱	۱۳۳۹/۲	۰

ب - سناریوی دوم: بهینه‌سازی ریزشبکه در حضور خودروهای الکتریکی بدون نظر گرفتن سیگنال شارژ مجدد این سناریو دربرگیرنده حضور خودروهای الکتریکی در ترکیب با واحدهای تولید پراکنده توان در ریزشبکه است. در این سناریو، به‌منظور تأمین انرژی موردنیاز خودروها برای مسافرت‌های روزانه، یک سطح از شارژ بااتری خودروها، در هر زمان، دست‌نخورده باقی خواهد ماند. جداول ۵ و ۶ نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات را نشان می‌دهند.

جدول (۵)، ترکیب بهینه تولید ریزشبکه

تعداد واحدهای دیزل	ظرفیت خودرویی پارکینگ	تعداد پنل فتوولتاویک	تعداد توربین بادی
PSO	۳۰۶۸	۱۰۴۴	۵

امید ریاضی شاخص‌های قابلیت‌اطمینان ریزشبکه به همراه ارزش فازی پاسخ بهینه در جدول ۶ آمده‌اند.

جدول (۶)، اطلاعات پاسخ بهینه

شاخص (ENS)	شاخص (T <sub>connect</sub> )	ارزش فازی	ساعت در سال	مگاوات در سال
PSO	۰/۳۷۸۶	۲۳/۴۱	۳۹۸	۰

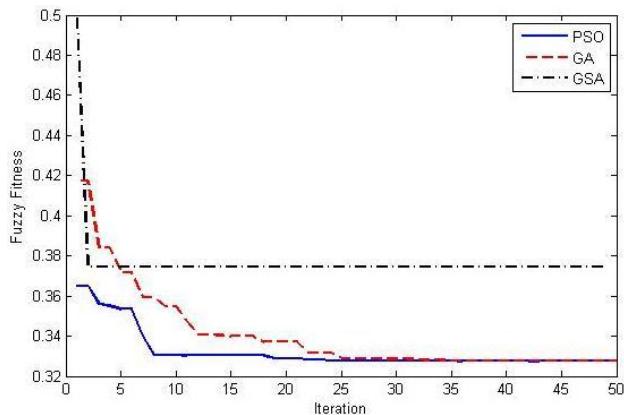
پ - سناریوی سوم: بهینه‌سازی ریزشبکه در حضور خودروهای الکتریکی با توجه به سیگنال شارژ مجدد

این سناریو، کامل‌ترین مدل برای مسئله بهینه‌سازی ترکیب واحدهای تولید توان از بین سناریوهای قبل است. در این حالت، مدیریت شارژ و دشارژ خودروها، با توجه به سیگنال کنترلی شارژ مجدد، صورت می‌گیرد. این سیگنال نشان‌دهنده امکان شارژ خودرو قبل از خروج از پارکینگ است. بدین ترتیب، الزامي به حبس سطح شارژ در تمام ساعت‌های حضور خودرو در پارکینگ نیست، بلکه خودروها با توجه به

به کارگیری خودروهای الکتریکی در ریز شبکه‌ها، با استفاده از سیگنال کنترلی شارژ مجدد، موجب بهبود هدف نهایی - شامل ترکیب فازی اهداف بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، کاهش هزینه و کاهش واحدهای دیزل موردنیاز - در ریز شبکه خواهد شد.

## ۶- مراجع

- [1] Bae,I., Kim,J., "Reliability Evaluation of Customers in a Microgrid", IEEE Transactions on Power System, Vol. 23, P.P. 1416 - 1422, 2008.
- [2] Khodayar,M.E., Barati, M., Shahidehpour,M., "Integration of High Reliability Distribution System in Microgrid Operation", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, P.P. 1997 - 2006, 2012.
- [3] Wang,S., Li,Zh., Wu,L., Shahidehpour,M., Li,Zu., "New Metrics for Assessing the Reliability and Economics of Microgrids in Distribution System", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 28, P.P. 2852 - 2861, 2013.
- [4] Arefifar,S. A., Mohamed, Y. A-R. I., El-Fouly, T.H. M., "Supply-Adequacy-Based Optimal Construction of Microgrids in Smart Distribution Systems", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, P.P. 1491 - 1502, 2012.
- [5] Arefifar,S. A., Mohamed, Y. A-R. I., El-Fouly, T.H. M., "Optimum Microgrid Design for Enhancing Reliability and Supply-Security", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 4, P.P. 1567 - 1575, 2013.
- [6] Arefifar,S. A., Mohamed, Y. A-R. I., El-Fouly, T.H. M., "DG Mix, Reactive Sources and Energy Storage Units for Optimizing Microgrid Reliability and Supply Security", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 5, P.P. 1835 - 1844, 2014.
- [7] K. Morrow, D. Karner, and J. Francfort, "Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review", The Idaho National Laboratory, Tech. Rep., 2008.
- [8] Z. Fan, "A Distributed Demand Response Algorithm and Its Application to PHEV Charging in Smart Grids", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 3, PP. 1280-1290, Sept. 2012.
- [9] W. Kempton, J. Tomic, "Vehicle-to-Grid Power Implementation: From Stabilizing the Grid to Supporting Large-scale Renewable Energy", J. Power Sources, Vol. 144, No. 1, PP. 280-294, 2005.
- [10] J. R. Pillai, and B. Bak-Jensen, "Impacts of Electric Vehicle Loads on Power Distribution Systems," in Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Sept. 2010.
- [11] Z. Darbali, and M. Ferdowsi, "Aggregated Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Electricity Demand Profile," IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 2, No. 4, PP. 501-508, Oct. 2011.
- [12] S. Shao, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Grid Integration of Electric Vehicles and Demand Response with Customer Choice," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1, PP. 543-550, Mar. 2012.
- [13] X. Yu, "Impacts Assessment of PHEV Charge Profiles on Generation Expansion Using National Energy Modeling System", in Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, PP. 1\_5, 2008.
- [14] W. Kempton, "A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System", Results from an Industry-University Research Partnership, 2008.



شکل (۳)، نمودار همگرایی

همان‌طور که از جداول ۴، ۶ و ۸ برای الگوریتم ازدحام ذرات برمی‌آید، با توجه به تمامی اهداف - کاهش هزینه، بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان و کاهش نیاز به واحدهای دیزل - ارزش فازی سناریوی سوم دارای ارجحیت بیشتر و درنتیجه پاسخ مطلوب‌تری نسبت به سایر سناریوهاست. این بدان معناست که به کارگیری خودروهای الکتریکی، با استفاده از سیگنال کنترلی شارژ مجدد، تأثیرات مطلوبی بر روی مسئله بهینه‌سازی دارد. در این پاسخ، درصورتی که مقدار میانگین مصرف در ریز شبکه در بازه تعريف سری‌های زمانی به عنوان مبنای در نظر گرفته شود، درصد قابلیت اطمینان برای شاخص انرژی ازدست‌رفته در همان بازه زمانی، ۰/۰۰۲ درصد و برای شاخص اتصال ریز شبکه به شبکه اصلی ۲/۷۵ درصد خواهد بود. به عبارت دیگر، در بازه تعريف سری‌های زمانی، با این ترکیب از واحدهای تولیدی، ریز شبکه در ۹۹/۹۹۸ درصد توانایی تأمین توان و در ۹۷/۲۵ درصد زمان استقلال خود را حفظ خواهد کرد.

## ۵- نتیجه‌گیری

پیوستن تولیدات کوچک و ذخیره‌ای انرژی در سیستم‌های ولتاژ پایین یا متوسط، نوع جدیدی از سیستم‌های قدرت به نام ریز شبکه‌ها را تشکیل می‌دهند. از ویژگی‌های این سیستم، امکان تجمعیه تولیدات پراکنده در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده که این موضوع قابلیت اطمینان ریز شبکه را بر جسته می‌سازد. ترکیب بهینه واحدهای تولید توان به همراه خودروهای الکتریکی می‌تواند نقش بسزایی در تأمین پایدار انرژی داشته باشد. هر چه قدر وابستگی ریز شبکه به شبکه اصلی، در کنار تأمین مصرف مشترکین، کاهش یابد، قابلیت اطمینان ریز شبکه افزایش خواهد یافت. در این مقاله به بهینه‌سازی حضور خودروهای الکتریکی، در ترکیب با سایر واحدهای تولید توان، به منظور بهبود تأمین بار و کاهش وابستگی ریز شبکه به شبکه اصلی پرداخته شده است. با استفاده از مدل‌های احتمالاتی ارائه شده برای اجزای سیستم و برای حالات مختلف ترکیب واحدهای تولید توان، ارزیابی قابلیت اطمینان به روش‌های احتمالاتی انجام و بهترین پاسخ بهره‌گیری از الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی گرانشی مشخص شد. در این مقاله نشان داده شد که

- [15] A report prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee, "IEEE Test System", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No.6,PP. 2047-2054, Nov./Dec. 1979.
- [16] Billinton, R.,Chen H.,Ghajar, R., " Time-Series Modelsfor ReliabilityEvolutionof Power Systems including Wind Energy", Microelectron. Reliab., Vol. 36, No. 9, PP.. 1253 -1261, 1996
- [17] Giorsetto, P., Utsurogi, K.F., "Development of a new procedure for reliability modeling of wind turbine generators", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vo1. PAS-102,P.P. 134-143, 1983.
- [18] Moharil, R. M., Kulkarni, P. S., "Reliability Analysis of Solar Photovoltaic System using Hourly Mean Solar Radiation Data", Solar Energy, Vol. 84, P.P. 691-702, 2010.
- [19] Moharil, R. M., Kulkarni, P. S., "A case study of solar photovoltaic power system at Sagardeep Island, India", Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 13, no. 3, pp. 673-681, 2009.
- [20] Le Cam,L., "The central limit theorem around 1935," Statistical Science, pp. 78-91, 1986.
- [21] Hosseini Bioki, M. M.,Zareian Jahromi, M.,Rashidinejad, M., "A combinatorial artificial intelligence real-time solution to the unit commitment problem incorporating V2G", Electr. Eng., PP. 1-15, Nov. 2012.
- [22] Nojavan,S., Jalali,M., Zare,K., "Optimal allocation of capacitors in radial/mesh distribution system using mixed integer nonlinear programming approach", Electric Power Systems Research, Vol. 107, P.P. 119– 124, 2014.
- [23] Vestas Company Site, [Online]. Available: [http://www.vestas.com/en/products\\_and\\_services/turbines](http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines), [Accessed: July 4, 2015].
- [24] North Dakota Agricultural Weather Network, [Online]. Available:<http://www.ndawn.ndsu.nodak.edu/>, [Accessed: July 4, 2015].
- [25] <http://www.windustry.org/>, [Accessed: July 4, 2015].
- [26] <http://cleantechnica.com/>, [Accessed: June 29, 2015].
- [27] Esmailian,H. R., Hosseini Bioki, M. M.,Rashidinejad, M., Abdollahi, A., "Economic-Driven Measure in Constructing a V2G Parking Lot from DisCo. Perspective", International Journal of Economics and Management Engineering (IJEME), Vol. 2, Issue 3, PP. 117-124, Aug. 2012.
- [28] He, Y.,Venkatesh, B., Gaun, L., " Optimal Scheduling for Charging and Discharging of Electric Vehicle", IEEE Transactionon Smart Grid, Vol. 3, NO. 3, September 2012.