طراحی بهینه ریزشبکه‌های به‌هم پیوسته در حضور پارکینگ خودروهای الکتریکی

فرهاد رهبران رنجبر[۱]، کارشناسی ارشد؛ سجاد نجفی روادانق[۲]، دانشیار؛ گئورگ قره‌پتیان[۳]، استاد

۱- آزمایشگاه تحقیقاتی شبکه‌های توزیع هوشمند- گروه مهندسی برق - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - تبریز - ایران - f.rahbaran@azaruniv.edu

۲- آزمایشگاه تحقیقاتی شبکه‌های توزیع هوشمند- گروه مهندسی برق - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - تبریز - ایران - s.najafi@azaruniv.edu

۳- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران - ایران - grptian@aut.ac.it

چکیده: با ایجاد و گسترش ریز شبکه‌ها در شبکه‌های توزیع، تعداد آنها همواره روبه افزایش است. با این فرض، مساله طراحی بهینه شبکه‌های توزیع نوین با چالش‌های جدیدی روبرو گردیده است. در این مقاله، به طراحی بهینه‌ یک شبکه توزیع هوشمند بر اساس ریز شبکه‌های چندگانه و به‌هم پیوسته پرداخته شده است. ذخیره‌سازهای انرژی نقش مهمی در ریزشبکه‌ها و کاهش اثر عدم قطعیت در تولید برخی از منابع دارند و از طرفی با توجه به نقش خودروهای الکتریکی به عنوان ذخیره کننده انرژی، در این طراحی نقش پارکینگ‌های الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله یک شبکه توزیع هوشمند طوری طراحی می‌گردد که قابلیت مرزبندی به مجموعه‌ای از ریزشبکه‌ها وجود داشته باشد و مرزهای بهینه آنها با حفظ معیارهای فنی و اقتصادی، نظیر کاهش هزینه‌های احداث و بهره‌برداری، افزایش قابلیت اطمینان، بهبود پروفیل ولتاژ با درنظرگیری پارکینگ خودروهای الکتریکی به عنوان منابع ذخیره‌ساز می‌باشد، تعیین گردد. برای هر کدام از توابع هدف مرزهای ریزشبکه‌ها، نوع و ظرفیت منابع هر ریزشبکه و آرایش کلی شبکه توزیع به صورت بهینه مشخص می‌گردد. نتایج مطالعه به صورت گرافیکی و جدولی ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های توزیع هوشمند، ریزشبکه، ریزشبکه‌های به‌هم پیوسته، ذخیره‌سازهای انرژی، خودروهای الکتریکی، پارکینگ خودروهای الکتریکی

Optimal Planning of Networked-Microgrids in the Presence of EV's Parking Lot

F. Rahbaran[1], PhD Student; S. Najafi Ravadanegh[2], Associate Professor; G. B. Gharhepetian[3], Professor

1- Smart Distribution Grid Research Lab, Electrical Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, Email: f.rahbaran@azaruniv.edu

2- Smart Distribution Grid Research Lab, Electrical Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, Email: s.najafi@azaruniv.edu

3- Faculty of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, Email: grptian@aut.ac.ir

Abstract: With appearance and development of Microgrids (MGs), the number of MGs is continuously increased in smart distribution networks. Hence the future distribution network operation and planning is encountered with new challenges. In this paper, the problem of networked-microgrids based distribution network planning is considered. The parking lot for electric vehicles as storage resources to reduce the impacts of uncertainties on networked-MGs design is investigated. The boundary of MGs is determined and segmented considering techno-economical constraints such as total network planning and operation costs, reliability improvement of MGs, optimal sizing and locating of energy resources within each MGs and the voltage profile improvement in the presence of EV's parking lot as storages. For each objective function, optimal border of each MG, its relevant energy resources and EV parking lot capacity and location as well as optimal layout of smart distribution network is obtained. The results are represented both tabular form and graphically.

Keywords: Smart Distribution Grid, Networked-microgrids, Energy storage, Electric vehicle, Parking lot

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۰

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۰۸، ۱۳۹۶/۰۳/۱۳ و ۱۳۹۶/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۳

نام نویسنده مسئول: سجاد نجفی روادانق

نشانی نویسنده مسئول: ایران – تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - گروه مهندسی برق

۱- مقدمه

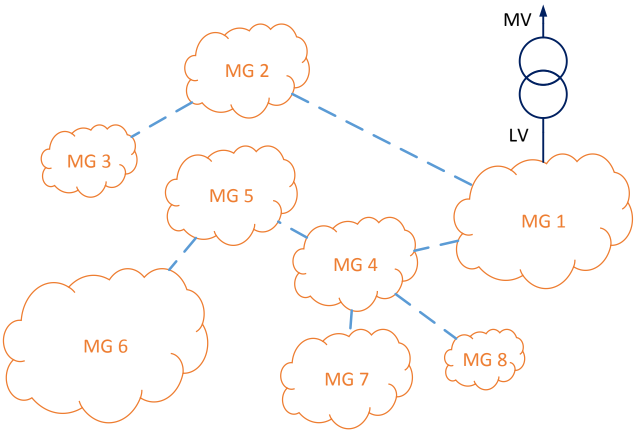
شبکه توزیع، آخرین بخش از یک سیستم الکتریکی است که وظیفه تحویل انرژی به مصرف‌کننده‌ها را برعهده دارد. طراحی و بهره‌برداری نامناسب از این شبکه، تمامی تلاشها و هزینه‌های صرف شده در سایر بخش‌ها (فوق توزیع، انتقال و تولید) را کم اثر خواهد کرد و عدم رضایت مصرف‌کنندگان را به همراه خواهد داشت. بنابراین به دلیل آن که شبکه های توزیع انرژی الکتریکی گسترده‌ترین بخش شبکه قدرت به شمار می آیند و همچنین نزدیکترین بخش از شبکه به مصرف‌کنندگان می‌باشند و نیز رضایت مشترکان و ارائه برق مطمئن و پایدار به آنها از اهمیت خاصی برخوردار است، لذا امروزه توجه خاصی به اتوماسیون توزیع می‌شود[۱]. اگرچه تولید برق از منابع تجدیدپذیر یک جایگزین پاک برای سوخت فسیلی به شمار می‌رود اما ماهیت متغیر و نامعلومی از لحاظ تولید لحظه‌ای دارند. بنابراین ادغام مقیاس بزرگ آنها با سیستم برق قدرت چالش های زیادی را برای اپراتورها و طراحان سیستم ایجاد می‌کند. رزرو چرخان یکی از سرویس‌های فرعی مهم است که برای عملکرد ایمن و قابل اعتماد سیستم قدرت با نفوذ بالای نیروی متناوب تجدیدپذیر ضروری می‌باشد[۲]، [۳]. سیستم ذخیره‌سازی انرژی به عنوان یک سیستم رزرو، در کنار منابع تجدیدپذیر می‌تواند تا حد زیادی مشکلات مربوط به نامعلومی تولید این منابع را پوشش دهد.

اهدافی همچون تاخیر در بروزرسانی سیستم، کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان، انگیزه‌ای برای شرکت‌های برق جهت اتصال محلی منابع انرژی تجدید پذیر و واحدهای ذخیره‌کننده در سطح شبکه توزیع ایجاد کرده است. این موارد می‌تواند سیستم‌های توزیع مرسوم را به سیستم‌های توزیع پیشرفته چندگانه و به‌هم پیوسته تبدیل کند که ریزشبکه نامیده می‌شود. ریزشبکه‌ها سیستم‌های توزیع کوچکی هستند که گروهی از مشتریان الکتریکی را به تعدادی منابع تولید پراکنده و واحدهای ذخیره‌سازی انرژی متصل می‌کند که در برخی موارد توسط مبدل‌های الکترونیک قدرت با هم مرتبط شده‌اند[۴].

طبق تعریف CERTS[۱]، ریزشبکه تجمعی از بارها و منابع کوچک[۲] که هم برق و گرما تولید می‌کنند، می‌باشد. ریزشبکه‌ها به عنوان سیستم منفرد که می‌تواند در صورت بروز مشکلاتی در شبکه قدرت بزرگتر از آن جدا شود (حالت جزیره‌ای)، و در موقع بهبود اوضاع دوباره به شبکه متصل شود[۵]. در واقع ریزشبکه‌ها به عنوان شبکه کوچکی از منابع انرژی تولید پراکنده که گروهی از بارهای توزیع شده را به صورت متصل به شبکه یا جدا از شبکه تغذیه می‌کنند، شناخته می‌شوند. اجزای اصلی ریزشبکه عبارتند از منابع تولید کوچک، ذخیره‌کننده، کنترل‌کننده انرژی و بار.

امروزه مفهوم ریزشبکه‌ها به موضوع کلیدی در شبکه‌های هوشمند به منظور نیاز به یک روش نظام‌مند برای ساختار بهینه آن تبدیل شده است. طبق استاندارد IEEE Std 1547.4 سیستم‌های توزیع بزرگ می‌توانند به تعدادی ریزشبکه تقسیم شوند تا کنترلشان آسان‌تر گردیده و زیرساخت‌های عملیاتی برای شبکه‌های آینده فراهم گردد. از این رو مبحثی جدید با عنوان ریزشبکه‌های چندگانه[۳] از بعدهای مختلف مانند قابلیت اطمینان، امنیت، تاثیر منابع انرژی، واحدهای ذخیره‌کننده انرژی و جبران کننده های مختلف و ... قابل بررسی می‌باشد[۶]–[۱۰]. شکل ۱ یک ساختار نمونه از ریزشبکه‌های چندگانه در کنار یکدیگر را نشان می‌دهد. در این شکل ساختار اتصالی ریز شبکه‌ها با یکدیگر بصورت شعاعی است، اما باید توجه داشت که ارتباط می‌تواند بصورت حلقوی نیز باشد.

هر ریزشبکه می‌تواند بصورت متصل به شبکه بهره‌برداری شود که به موجب آن می‌تواند بصورت آزاد با شبکه بالا دستی مبادله توان داشته باشد. همین‌طور در مواقع اضطراری (مانند خطا در شبکه بالادست) ریزشبکه می‌تواند بصورت مستقل از شبکه بالا دست (به‌شکل جزیره) بهره‌برداری شود[۱۱]، که در آن صورت منحصرا به منابع خود برای تامین تقاضا و تعادل بین قابلیت اطمینان و کیفیت توان متکی خواهد بود[۱۲]–[۱۴].



شکل ۱: نمونه ساختار ریزشبکه‌های چندگانه

غیر قابل پیش‌بینی بودن انرژی های تجدید پذیر، بر نامه‌ریزی ریزشبکه‌ها را با مشکل بزرگی روبه کرده است. به‌همین دلیل، این موضوع در پژوهش‌های طراحی ریزشبکه بسیار مورد توجه قرار گرفته و جزو موضوعات روز به شمار می‌رود[۱۵]–[۱۷].

V2G[۴] مفهوم جدیدی در رابطه با ذخیره‌کننده‌های انرژی می‌باشد که امکان شارش دوطرفه توان به خودروهای برقی می‌دهد[۱۸]. با بکارگیری مناسب و بهینه از خودروهای برقی به عنوان ذخیره‌کننده و بار در سیستم قدرت می توان به هدف کاهش آلاینده‌های زیستی نیز دست یافت[۱۹]–[۲۲]. با این اوصاف یکی از چالش‌های موجود در سیستم‌های توزیع آینده، استفاده بهینه از انرژی ذخیره شده در خودروها خواهد بود. یکی از راههای مناسب برای استفاده بهینه از انرژی ذخیره شده در خودروها استفاده از پارکینگ‌هاست. پارکینگ های خودروهای الکتریکی محلی برای توقف خودروها و شارژ یا دشارژ باتری آنها خواهد بود. پس جایابی پارکینگ خود می‌تواند به عنوان چالش برای طراحی یک شبکه باشد[۲۳]–[۲۵]. در این مقاله، جهت

بررسی اثر منابع ذخیره ساز انرژی پارکینگ خودروهای الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است که پیچیدگی عملیاتی بیشتری نسبت به دیگر ذخیره‌سازها دارند. [۲۶] به روش برنامه‌ریزی بهینه غیرمتمرکز که با درنظرگیری تمام قوانین و نیازهای کل ریزشبکه تحت استراتژی قیمت گذاری پرداخته است. مساله برنامه‌ریزی به شکل برنامه‌ریزی خطی با الزامات فیزیکی ریزشبکه فرمول‌بندی شده است. [۲۷] یک الگوریتم بهینه سازی مدل محور برای تجارت کوتاه مدت انرژی در ریزشبکه‌های چندگانه ارائه کرده است. [۲۸] یک سیستم مدیریت انرژی با وظیفه برنامه‌ریزی بهینه منابع تولیدی ریزشبکه، مدیریت سمت تقاضا و تبادل توان با شبکه بالادست را ارائه می‌دهد. در [۲۹] به طراحی یک اپراتور بازار برق و یک اپراتور شبکه توزیع با در نظرگیری تابع چدهدفه پرداخته است. اهداف مورد مطالعه فراهم سازی توان مورد نیاز شبکه، سود خالص حاصل از مصرف توان دریافت شده، نگه داشتن سطح انرژی ذخیره‌کننده‌های انرژی در سطح ایمن می‌باشد. همین‌طور [۳۰] برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در ریزشبکه با هدف بهبود قابلیت اطمینان، کاهش کلید زنی و کاهش تلفات و [۳۱] به برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و تعیین پارکینگ مقصد خودروها با هدف کاهش قابلیت اطمینان پرداخته است.

در مقالات ارائه شده در حوزه ریزشبکه، توجه کمی به تاثیر حضور خودروهای الکتریکی و پارکینگ خودروهای الکتریکی شده است. این در حالیست که حضور و تاثیر خودروهای الکتریکی واقعیت انکارناپذیر شبکه های آینده می باشد و برای بهره‌برداری بهینه از آن باید برنامه‌ریزی ویژه با در نظرگیری سایر پارامترهای شبکه در نظر داشت.

هدف اصلی در این مقاله ارائه یک متولوژی طراحی جهت طراحی شبکه توزیع هوشمند بر پایه ریزشبکه‌های چندگانه می‌باشد. به عبارت بهتر، طراحی شبکه توزیعی که در آن زیر ساخت‌های شبکه هوشمند فراهم شده است و به چندین ریزشبکه تقسیم‌بندی شده است. طراحی انجام گرفته در این پژوهش با دید بهره‌برداری بلند مدت و با در نظرگیری اثر پارکینگ خودروهای الکتریکی به عنوان منابع ذخیره‌ساز انرژی صورت می‌پذیرد. به بیان بهتر، طراحی انجام گرفته شده شامل انتخاب فیدرها؛ انتخاب مکان، نوع و ظرفیت منابع تولید پراکنده؛ انتخاب مکان و ظرفیت پارکینگ خودروهای الکتریکی و انتخاب مرز ریزشبکه‌ها با در نظرگیری مسائل مربوط به طراحی شبکه و همین‌طور مسائل مربوط به بهره‌برداری مجموعه ریزشبکه‌ها به مدت ۵سال می‌باشد. انجام همزمان طراحی با در نظرگیری چندین پارامتر مختلف چالش‌هایی در پی خواهد داشت که این مقاله به آن پرداخته است.

نوآوری‌های این مقاله را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱- ارائه روش طراحی شبکه هوشمند با ساختار ریزشبکه‌های چندگانه

۲- در نظرگیری منابع تولید پراکنده و پارکینگ خودروهای الکتریکی در طراحی ریزشبکه‌ها

۳- اعمال مدل احتمالاتی با درنظرگیری پارامترهای زمانی و انرژی خودروهای الکتریکی

۴- اعمال برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در مدل‌سازی پارکینگ خودروهای الکتریکی

۵- در نظرگیر مدل ۲۴ ساعتی در مدل‌سازی تمامی قسمت‌های مدل‌سازی

۶- استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه به منظور بررسی چندبعدی مساله

در ادامه در بخش دوم به معرفی الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده در شبیه‌سازی پرداخته خواهد شد، سپس در بخش سوم چگونگی مدل‌سازی مساله مورد مطالعه قرار خواهد گرفت و در بخش چهارم مدل سازی اعمال شده بر روی شبکه نمونه ارائه می شود و در آخر در بخش پنجم نتیجه‌گیری کلی خواهد شد.

۲- معرفی الگوریتم بهینه سازی

مساله بهینه‌سازی در واقع یافتن جواب یا جواب‌هایی بر روی یک مجموعه از گزینه‌های امکان‌پذیر (رعایت قیود مساله) با هدف بهینه کردن معیار یا معیارهای مساله است. مساله بهینه سازی چندهدفه زیر شاخه ای از مجموعه روشهای تصمیم گیری چند معیاره[۵] است که در میان مجموعه نامحدودی از جواب‌های محتمل صورت می‌گیرد. مساله بهینه سازی چندهدفه برخواسته از روش‌های تصمیم‌گیری در دنیای واقعی است که شخص تصمیم گیرنده با مجموعه‌ای از اهداف و معیارهای متضاد و متعارض روبرو ست. در این گونه از مسائل برخلاف مسائل بهینه سازی تک هدفه و به خاطر وجود چند هدف متعارض به جای تنها یک جواب، مجموعه ای از جواب‌ها حاصل می‌شود. از الگوریتم‌های مشهور در زمینه حل مسائل چند هدفه می‌توان NSGA-II[۶]، MOPSO[۷]، SPEA2[۸]، MOEA/D[۹]، PESA-II[۱۰] را نام برد.

صورت کلی مساله بهینه سازی چند هدفه بصورت زیر می‌باشد:

$$Minimize: \quad y=f(x)=\left(f_1(x), f_2(x), \ldots, f_k(x)\right) \qquad (۱)$$

$$Subject\ to: \quad e(x)=\left(e_1(x), e_2(x), \ldots, e_m(x)\right) \qquad (۲)$$

$$Where: \quad x=\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) \in X \qquad (۳)$$

$$y=\left(y_1, y_2, \ldots, y_k\right) \in Y \qquad (۴)$$

x: بردار تصمیم‌گیری با پارامترهای مورد جستجو در مسئله

X: فضای تصمیم گیری

Y: فضای هدف

$f_k(x)$: معادله تابع هدف kام

$e_m(x)$: معادله قید mام

در این مقاله جهت بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب نسخه دوم (NSGA-II) استفاده شده است، لذا در ادامه غالب مباحث مربوط به بهینه‌سازی چند هدفه بر روی این الگوریتم توضیح داده می‌شود.

این الگوریتم با اضافه شدن دو عملگر ضروری به الگوریتم ژنتیک تک هدفه معمولی، به یک الگوریتم چند هدفه تبدیل شده است که به

جای یافتن بهترین جواب، دسته‌ای از بهترین جوابها را می‌دهد که با نام پارتو فرانت شناخته می‌شوند. این دو عملگر عبارتند از:

۱- عملگری که یک معیار برتری (رتبه) بر اساس مرتب‌سازی نامغلوب به اعضای جمعیت اختصاص می‌دهد.

۲- عملگری که تنوع جواب را در میان جواب‌های با رتبه برابر حفظ می‌کند.

۳- مدل سازی مساله

بر اساس تعریف یک ریز شبکه، شبکه‌ای است که دارای تعدادی بار و حداقل یک منبع الکتریکی قابل کنترل بوده و دارای مرزهای مشخص الکتریکی و جغرافیایی است و می‌تواند به صورت متصل به شبکه و یا جدا از آن به کار خود ادامه دهد. هدف اصلی این پژوهش ارائه روش طراحی بهینه یک شبکه توزیع هوشمند و مرزبندی آن به مجموعه‌ای از ریزشبکه‌های به‌هم پیوسته است. برای این منظور به طور همزمان مسیریابی بهینه فیدرهای شبکه، افراز بهینه مرزهای ریزشبکه‌ها، مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده، مکان یابی و برنامه‌ریزی بهینه پارکینگ خودروهای الکتریکی (به عنوان ذخیره ساز) انجام خواهد گرفت. مساله طراحی در افق ۵ ساله مورد مطالعه قرار گرفته است. تابع هدف در این مدل‌سازی بصورت رابطه (۵) می‌باشد.

$$Minimize: \quad F(x) = (VD_{\mathrm{mean}}, Cost_{\mathrm{total}}, ENS, P_{\mathrm{us}}) \qquad (۵)$$

همان‌طورکه مشاهده می‌شود، چهار پارامتر جهت بهینه‌سازی درنظر گرفته شده است:

VD_{mean}: میانگین انحراف ولتاژ (PU)

$Cost_{\mathrm{total}}$: هزینه کل شبکه تا سال افق بهره‌برداری ($)

ENS: انرژی تامین نشده برحسب (kWh/year)

P_{us}: مجموع توان دریافتی از شبکه بالادستی (kW)

$$VD_{mean} = \frac{\sum_{y=1}^{Y_{sim}} \sum_{h=1}^{24} \sum_{b=1}^{N_{bus,total}} \frac{\left|V_{y,h,b}\right| - V_{\mathrm{ref}}}{V_{\mathrm{ref}}}}{Y_{\mathrm{sim}} \times N_{\mathrm{bus}} \times 24} \qquad (۶)$$

$$Cost_{total} = C_{trans} + C_{loss} + C_{ins} + C_{op} \qquad (۷)$$

$$ENS = \sum_{b=1}^{N_{bus,total}} P_b U_b \qquad (۸)$$

$$P_{us} = \sum_{y=1}^{Y_{sim}} \sum_{h=1}^{24} \sum_{n=1}^{N_{MG}} P_{D,y,h,n} + P_{loss,y,h,n} - P_{G,y,h,n} \qquad (۹)$$

در روابط (۶) تا (۹)، اندیس‌های y، h، b و br به ترتیب نمایانگر سال، ساعت، شماره باس و شماره خط می‌باشد و سایر پارامترهای موجود به شرح زیر می‌باشد:

Y_{sim}: سال افق بهره‌برداری

$N_{bus,total}$: تعداد باس‌های موجود در تمامی ریزشبکه‌ها

V_{ref}: ولتاژ مرجع

$V_{y,h,b}$: ولتاژ باس b در ساعت h از یک روز سال y

N_{MG}: مجموع بار ریزشبکه n در ساعت h از یک روز سال y

C_{trans}: هزینه توان دریافتی از شبکه بالادست

C_{loss}: مجموع هزینه تلفات مجموع ریزشبکه‌ها

C_{ins}: هزینه نصب تجهیزات اعم از منابع تولید و کلیدها در ریزشبکه‌ها

C_{op}: هزینه بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها

P_b: توان اکتیو باس b

U_b: دسترس ناپذیری باس b

$P_{D,y,h,n}$: مجموع بار ریزشبکه n در ساعت h از یک روز سال y

$P_{loss,y,h,n}$: مجموع تلفات ریزشبکه n در ساعت h از یک روز سال y

$P_{G,y,h,n}$: مجموع توان تولیدی ریزشبکه n در ساعت h از یک روز سال y

برای محاسبه $P_{loss,y,h,n}$ داریم:

$$P_{loss,y,h,n} = \sum_{y=1}^{Y_{sim}} \sum_{h=1}^{24} \Big(\sum_{n=1}^{N_{MG}} \sum_{l=1}^{N_{MGbranch}} R_{l,n} \times I_{l,n,h,y}^{2} + \sum_{cl=1}^{N_{cl}} R_{cl} \times I_{cl,h,y}^{2} \Big) \qquad (۱۰)$$

$R_{n,l}$: مقاومت شاخه داخلی l در ریزشبکه n

$I_{n,l,h,y}$: جریان شاخه l در ریزشبکه n در ساعت h از سال y

R_{cl}: مقاومت شاخه ارتباطی cl

$I_{cl,h,y}$: جریان شاخه ارتباطی cl در ساعت h از سال y

متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله جهت محاسبه توابع هدف نیز در ادامه بیان شده است:

$$x = (Switch_{loc}, Feeder_{rout}, DG_{aloc}, Parking_{aloc}, EV_{charge}) \qquad (۱۱)$$

در این رابطه:

$Switch_{loc}$: مکان کلیدهای مرزی ریزشبکه‌ها در کل شبکه توزیع را مشخص می‌کند.

$Feeder_{rout}$: خطوط انتخاب‌شده از خطوط کاندید برای طراحی ریزشبکه‌ها را مشخص می‌کند؛ این خطوط باید به‌صورتی انتخاب شوند که شرط شعاعی بودن ریزشبکه‌ها برقرار باشد.

DG_{aloc}: مکان، ظرفیت و نوع منابع تولید پراکنده در ریزشبکه‌ها را مشخص می‌کند.

$Parking_{aloc}$: مکان و ظرفیت محوطه پارکینگ خودروهای الکتریکی را در هر ریزشبکه تعیین می‌کند.

EV_{charge}: میزان شارژ و دشارژ ساعتی هریک از خودروهای الکتریکی در ساعات حضور در پارکینگ را معین می‌کند.

قیود مربوط به این مساله نیز عبارتند از:

- حفظ توپولوژی شعاعی شبکه توزیع
- محدوده مجاز برای ولتاژ باس‌ها

$$V_{\min} \le V_{b,h} \le V_{\max} \qquad \forall b,h. \qquad (۱۲)$$

- محدوده مجاز برای جریان خطوط داخلی ریزشبکه‌ها

$$I_{l,n,h,y} \le I_{\mathrm{maxInt}} \qquad \forall l,n,h,y. \qquad (۱۳)$$

- محدوده مجاز برای جریان خطوط ارتباطی بین ریزشبکه‌ها

$$I_{cl,h,y} \le I_{\mathrm{maxCom}} \qquad \forall cl,h,y. \qquad (۱۴)$$

- محدوده مجاز برای درصد نفوذ منابع تولید پراکنده

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} \mathrm{Size}(DG_i) \le DG_{\mathrm{maxPen}} \tag{۱۵}$$

در روابط (۱۲) تا (۱۵) داریم:

$V_{b,h}$: ولتاژ باس b در ساعت h

$V_{\min}$: کمترین میزان ولتاژ مجاز در شبکه

$V_{\max}$: بیشترین میزان ولتاژ مجاز در شبکه

$I_{l,n,h,y}$: جریان شاخه l مربوط به ریزشبکه n در ساعت h و سال y

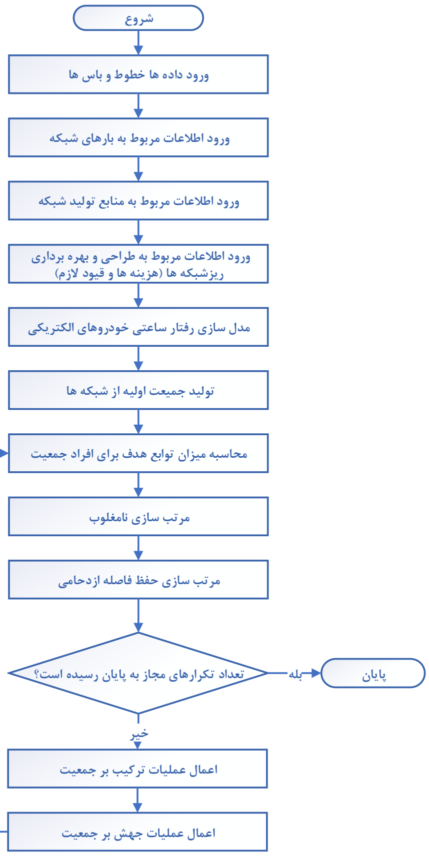
I_{maxInt}: بیشترین میزان جریان مجاز در خطوط داخلی ریزشبکه‌ها

$I_{cl,h,y}$: جریان شاخه ارتباطی cl در ساعت h و سال y

I_{maxCom}: بیشترین میزان جریان مجاز در خطوط ارتباطی ریزشبکه‌ها

DG_{maxPen}: بیشترین میزان نفوذ مجاز منابع تولید پراکنده در شبکه

فلوچارت مربوط به روند الگوریتم بهینه‌سازی اعمال شده در مدل‌سازی انجام گرفته در این مقاله در شکل ۲ نشان داده شده است.



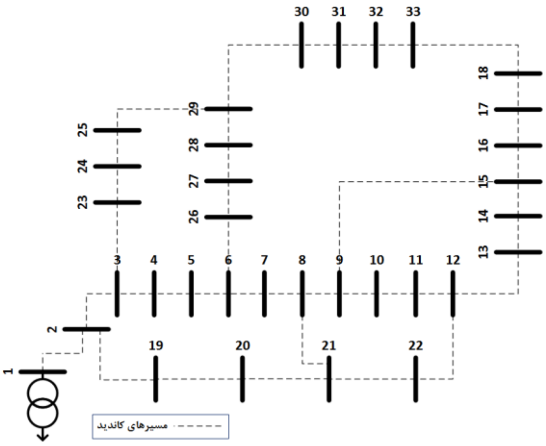
شکل ۲: فلوچارت الگوریتم بهینه سازی اعمال شده

۴- شبکه مورد مطالعه

شبکه مورد مطالعه در این تحقیق یک شبکه ۳۳ باسه ۱۲kV در نظر گرفته شده است. برای طراحی این شبکه، ۳۷ شاخه کاندید موجود است که با توجه به طراحی شعاعی شبکه باید ۳۲ فیدر از این ۳۷ فیدر انتخاب گردد. منابع تولید پراکنده قابل نصب در این شبکه توربین بادی، سیستم فتوولتائیک و منابع تولید قطعی می‌باشد. ساختار کلی شبکه مورد بحث در شکل ۳ ترسیم شده است.

اطلاعات مربوط به پارامترهای استفاده شده در این مدل‌سازی، اعم از اطلاعات خطوط شبکه، هزینه نصب منابع تولید پراکنده، هزینه‌های بهره‌برداری و غیره، از منابع [۳۲]–[۳۴] استخراج شده است.

شبکه مورد بحث از نظر سرپرستی و مدیریت تولید می‌تواند تا ۵ قسمت تقسیم گردد و هر قسمت با مدیریت جداگانه اداره گردد که تعداد و محدوده این بخش‌ها را نتیجه بهینه‌سازی مشخص خواهد کرد. فرض می‌شود مابین این ریزشبکه‌ها کلید قرار داده می‌شود. این کلیدها به صورت معمول متصل خواهند بود (NC)، و درمواقع لزوم قابلیت جدا شدن از دیگر ریزشبکه‌ها را دارا می‌باشند که این خود به قرارداد صاحبان شبکه و شرایط بهره‌برداری شبکه وابسته خواهد بود.

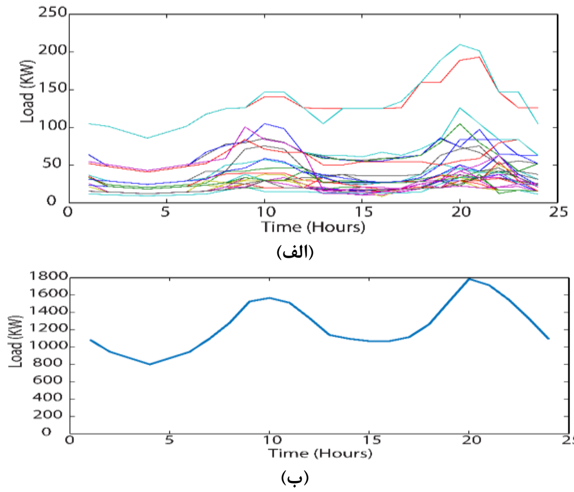


شکل ۳: ساختار کلی شبکه مورد مطالعه

برای مدت بهره‌برداری بهینه ۵ سال مدل‌سازی انجام گرفته با در نظرگیری رشد بار در هر سال بوده و افزایش تعرفه‌های انرژی و تورم سالانه نیز اعمال شده است. برای هر سال یک نماینده یک روزه در نظر گرفته می‌شود که پیک بار سالانه شبکه بوده و به‌صورت ۲۴ساعته مدل‌سازی می‌شود. از این رو، میانگین تقاضای ساعتی هر باس در سال اول به‌صورت شکل ۴ فرض شده است. لازم به‌ذکر است شبکه مفروض از قوانین بازار برق پیروی خواهد کرد و قیمت انرژی برای هر ساعت متفاوت خواهد بود که این قیمت از روز پیشین مشخص می‌شود. در این مطالعه فرض بر متناسب بودن قیمت انرژی و تقاضا می‌باشد.

۴-۱- منابع تولید پراکنده

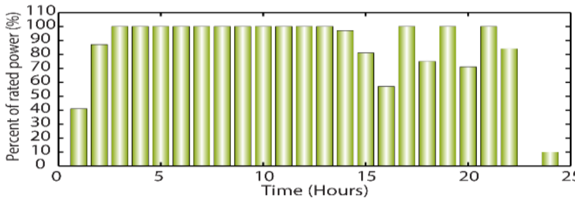
منابع تولید پراکنده در این تحقیق توربین بادی، سیستم فتوولتائیک و منابع تولید قطعی در نظر گرفته شده و برای تولید منابع بادی و خورشیدی رژیم ساعتی متوسط سالانه فرض شده است. برای مدل‌سازی ساعتی منابع تولید غیر قطعی (بادی و فتوولتائیک)، با استخراج متوسط تولید از روی تابع احتمال توابع آن‌ها مدل شده است که در شکل ۵ و ۶ قابل مشاهده است.



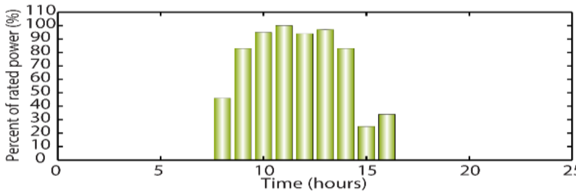
شکل ۴: میانگین بار ساعتی هر باس برای پیک سالانه سال اول (kW) (الف) میانگین بار ساعتی هر باس، (ب) میانگین بار ساعتی کل شبکه

۴-۲-خودروهای الکتریکی

شبکه مورد مطالعه در این مطالعه یک شبکه با نفوذ بالای خودروهای الکتریکی خواهد بود که در آینده اتفاق خواهد افتاد، لذا تاثیر این خودروها بر شبکه اجتناب ناپذیر خواهد بود. این خودروها تماما از نوع V2G فرض شده است که برای مدل‌سازی واقعی‌تر انواع مختلف خودروهای الکتریکی، رفتار احتمالی آنها، مدل‌سازی شده است. باتری هر خودرو در لحظه ورود به پارکینگ دارای میزان شارژ اولیه می‌باشد و قصد دارد در لحظه خروج از پارکینگ باتری دارای سطح شارژ درخواستی باشد. لذا مدیریت شارژ و دشارژهای ساعتی در طول مدت زمان حضور خودرو در پارکینگ باید طوری با شد که علاوه بر عدم کاهش سطح شارژ باتری از حداقل میزان مشخص شده (معمولا ۲۰درصد) در زمان اتمام حضور میزان سطح درخواستی از شارژ باتری



شکل ۵: میانگین رژیم ساعتی تولید توربین‌های بادی



شکل ۶: میانگین رژیم ساعتی تولید فتوولتائیک

تو سط مالک خودرو تأمین گردد. بدیهی ا ست که شارژ و د شارژ بهینه زمانی محقق می شود که در ساعاتی که انرژی بطور نسبی ارزان با شد اقدام به شارژ کرده و در ساعات نسبتا گران‌تر اقدام به دشارژ نماید؛ البته به دلیل محدودیت‌های فنی که در تعداد شارژ و دشارژ باتری‌ها وجود دارد، قیمت هر کیلووات انرژی برای دشارژ ۱۰درصد گران‌تر از قیمت شارژ آن درنظر گرفته شده است.

به‌منظور مدل‌سازی دقیق‌تر، هر یک از باس‌های هر ریزشبکه دارای تعداد م شخ صی خودرو از انواع مختلف فرض شده ا ست که هر یک از این خودروها دارای زمان ورود و خروج مربوط به خود می باشند و همین‌طور سطح شارژ اولیه و شارژ درخوا ستی در موقع خروج (سطح شارژ نهایی) هر خودرو م شخص شده ا ست. هر یک از این م شخصه‌ها دارای تابع توزیع احتمال نرمال مخصوص به خود می‌با شند که با فرض صنعتی بودن شبکه مورد بحث، تولید شده‌اند.

انواع خودروهای به‌کارگرفته شده در مدل‌سازی مذکور از مرجع [۳۵] استخراج شده و در جدول ۱ همراه با مشخصاتشان لیست شده است؛ همین‌طور مقادیر مربوط به میانگین و انحراف معیار توابع توزیع احتمال از اطلاعات ارائه شده در [۳۶] استخراج شده است که در جدول ۲ م شخص شده ا ست. همینطور نتیجه ا ستفاده از این توابع در شکل ۷ تا شکل ۱۰ مشخص شده‌اند.

جدول ۱: انواع خودروهای بکارگرفته شده

	کاربری	ظرفیت باتری (kWh)	نرخ شارژ آهسته (kW)	نرخ شارژ سریع (kW)	نوع تکنولوژی	نوع خودرو
۱	شخصی	۸/۷	۳	-	BEV	L7e
۲	شخصی	۲۸/۵	۳	۵۷	BEV	M1
۳	باری	۲۳	۳	۴۶	BEV	N1
۴	تریلر سبک	۸۵/۳	۱۰	۶۰	BEV	N2
۵	شخصی	۸/۲	۳	-	PHEV	M1
۶	باری	۸/۲	۳	-	PHEV	N1
۷	شخصی	۱۶/۹	۳	-	EREV	M1
۸	باری	۱۶/۹	۳	-	EREV	N1

جدول ۲: مقادیر مربوط به پارامترهای توابع توزیع مدل‌سازی خودروهای الکتریکی

	میانگین	انحراف معیار
زمان ورود	۸/۵۲	۱/۵۸
زمان خروج	۱۷/۶	۱/۷۷
سطح شارژ اولیه	۳۳	۲۰
سطح شارژ درخواستی	۷۰	۳۰

برای باتری هر خودرو در هر لحظه از زمان میزان شارژ یا د شارژ و سطح شارژ تعریف می‌شود که رابطه آنها بصورت رابطه (۱۶) می‌باشد:

$$SOC_h = SOC_{h-1} + \eta_{ch} \times P_{ch,h} - \frac{P_{disch,h}}{\eta_{disch}} \qquad (۱۶)$$

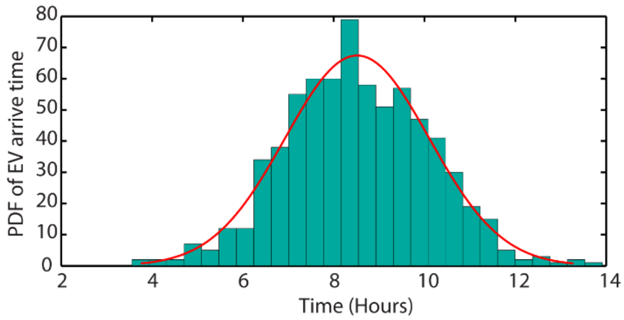
SOC_h: سطح شارژ باتری در ساعت h (kWh)

$P_{ch,h}$: نرخ شارژ باتری در ساعت h (kW)

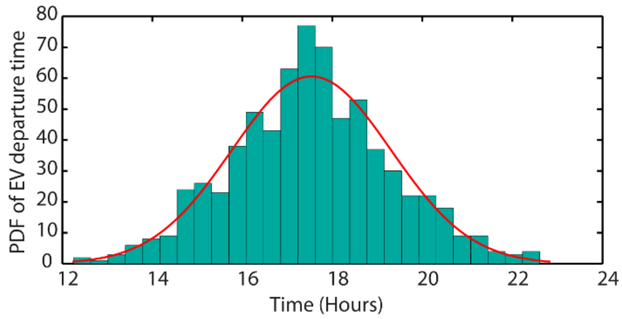
$P_{disch,h}$: نرخ دشارژ باتری در ساعت h (kW)

η_{ch}: بازده شارژ باتری

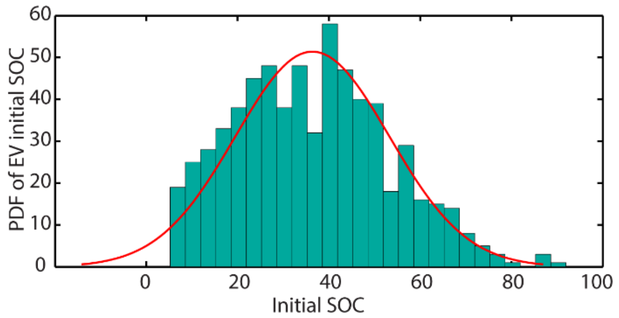
η_{disch}: بازده دشارژ باتری



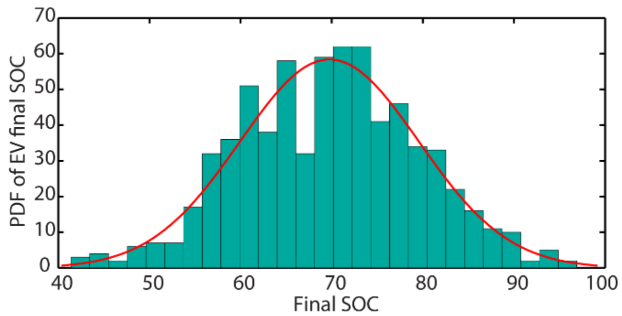
شکل ۷: تابع توزیع احتمال زمان ورود به پارکینگ خودروها



شکل ۸: تابع توزیع احتمال زمان خروج از پارکینگ خودروها



شکل ۹: تابع توزیع احتمال سطح شارژ باتری خودروها در موقع ورود به پارکینگ



شکل ۱۰: تابع توزیع احتمال سطح شارژ درخواستی باتری خودروها در موقع خروج از پارکینگ

قیودی که در این بخش برای هر خودرو باید رعایت شـــوند بدین ترتیب می‌باشند:

$$P_{\mathrm{ch},h} \le P_{\mathrm{maxCh}} \qquad (۱۷)$$

$$P_{\mathrm{disch},h} \le P_{\mathrm{maxDisch}} \qquad (۱۸)$$

$$P_{\mathrm{ch},h} \le \frac{\mathrm{BC} - SOC_{h-1}}{\eta_{\mathrm{ch}}} \qquad (۱۹)$$

$$P_{\mathrm{disch},h} \le (SOC_{h-1} - \mathrm{MS}) \times \eta_{disch} \qquad (۲۰)$$

P_{maxCh}: حداکثر نرخ شارژ باتری (kW)

P_{maxDisch}: حداکثر نرخ دشارژ باتری (kW)

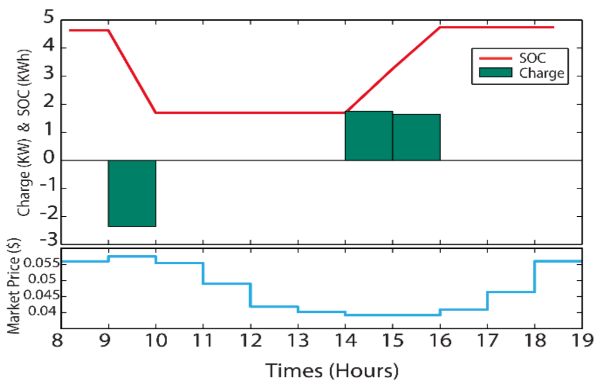
BC: ظرفیت باتری خودرو (kWh)

MS: کمترین میزان مجاز برای سطح شارژ باتری (kWh)

برای نمونه مشـخصـات یکی از خودروهای حاضـر در شـبیه‌سـازی انجام گرفته در جدول ۳ آورده شده و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ آن در شکل ۱۱ ترسیم شده است.

جدول ۳: مشخصات یک خودرو نمونه

نوع خودرو	PHEV_N1
ظرفیت باتری (kWh)	۸/۲
نرخ شارژ آهسته (kW)	۳
نرخ شارژ سریع (kW)	ندارد
کمترین سطح شارژ (kWh)	۱/۶۴
سطح شارژ در ورود به پارکینگ (kWh)	۴/۶
سطح شارژ درخواستی در خروج از پارکینگ (kWh)	۴/۸
زمان ورود به پارکینگ (ساعت)	۸/۲
زمان خروج از پارکینگ (ساعت)	۱۸/۴



شکل ۱۱: برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ برای خودروی نمونه جدول ۳

۵- نتایج مدل‌سازی

همان‌طوریکه که در بخش مدل‌سازی بیان گردید، در این پژوهش چهار تابع هدف برای بهینه سازی اعمال شده است. بعد از اجرای مدل سازی و باقی ماندن مجموعه شبکه‌های جواب الگوریتم NSGA-II به بر سی این جواب ها پرداخته می‌شـــود. اطلاعات مربوط پارامترهای الگوریتم ژنتیک در جدول ۴ آمده است.

قبل از بررســی اصــلی جواب، به بررســی مقاوم بون آن‌ها با توجه شــکل ۱۲ پرداخته می‌شـود. در این شــکل از بالا به پایین به ترتیب چگالی توزیع میانگین انحراف ولتاژ، هزینه کل، ENS و همینطور میانگین تبادل توان شبکه با شبکه بالادستی برای هر ساعت به تصویر

کشیده شده است. در ادامه به بررسی بهترین پاسخها از نظر هر یک از توابع هدف پرداخته می‌شود.

جدول ۴: پارامترهای اجرایی الگوریتم NSGA-II

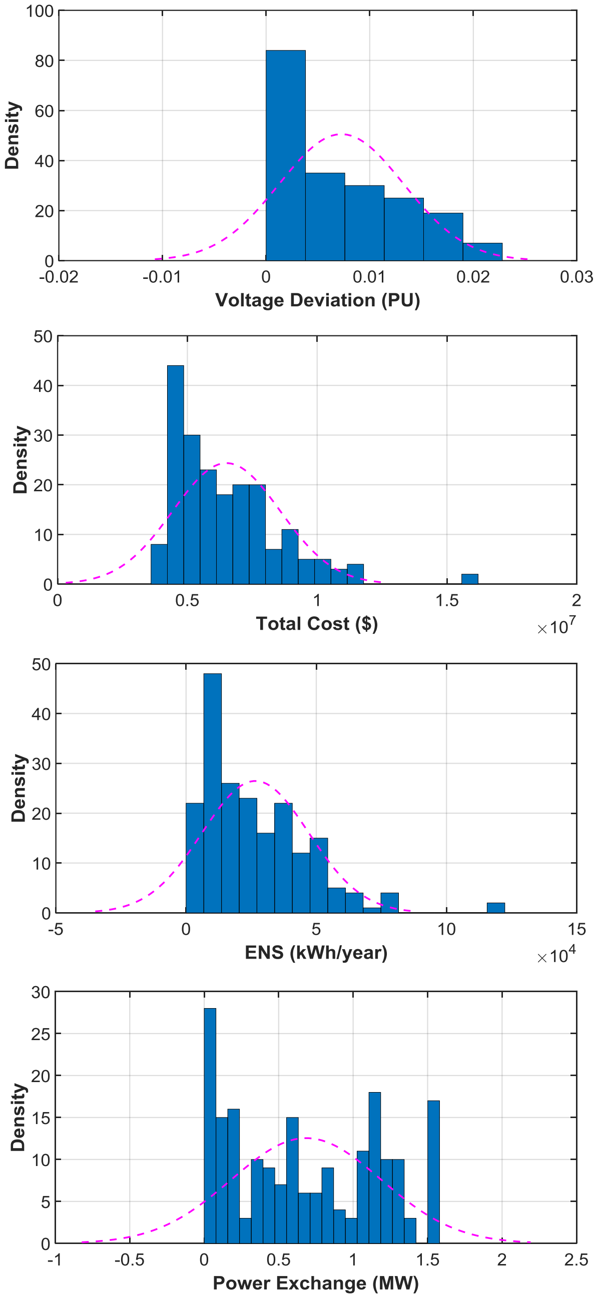
جمعیت اولیه	۱۰۰
تعداد تکرار	۳۰۰
نرخ ترکیب	۰/۲
نرخ جهش	۰/۱

برای بررسی چهار جواب که هر یک از نظر یکی از توابع هدف بهینه می‌باشند، انتخاب می‌شود. در این مقاله، شبکه‌ای که از نقطه نظر پروفیل ولتاژ بهترین است، شبکه A؛ شبکه‌ای که از نقطه نظر هزینه بهترین است، شبکه B؛ شبکه‌ای که از نقطه نظر شاخص قابلیت اطمینان بهترین است، شبکه C و شبکه‌ای که از نقطه نظر میزان دریافت توان از شبکه بالادستی بهترین است، شبکه D نامگذاری می شود. در ابتدا ترکیب‌بندی هر چهار شبکه در شکل ۱۳ نشان داده شده است. بعنوان مثال در شکل ۱۳-A شبکه توزیع هوشمند به پنج ریزشبکه با مرزهای مشخص مرزبندی شده است، در هر ریزشبکه اصول اصلی طراحی ریزشبکه رعایت شده است. در جدول ۵ تا ۸ مشخصات تجهیزات اصلی هر کدام از این ریزشبکه‌ها ارایه گردیده است. با توجه به هر جدول در تمامی ریز شبکه‌های طراحی شده منابع تولید قطعی برای حفظ ولتاژ و فرکانس شبکه در حالت جزیره‌ای ارایه شده است. همچنین برای هر ریزشبکه طراحی شده تعداد، مکان و نوع منابع انرژی تجدید پذیر و نیز ظرفیت و مکان پارکینگ خودروهای الکتریکی مشخص گردیده است. علاوه بر این، مقادیر تابع هدف برای ریز شبکه‌ها آورده شده است. با توجه به سطر آخر این جدول ملاحظه می‌گردد که میزان توان دریافتی هر کدام از ریزشبکه ها از شبکه بالا دستی متفاوت بوده و مقدار آن برای ریز شبکه ۴ به صورت منفی و کوچکتر از سایر ریز شبکه‌ها است و این ریز شبکه بیشترین توان را به شبکه بالادستی ارایه می‌نماید بنابراین ریزشبکه فوق کمترین خاموشی و بارزدایی را در شرایط جزیره‌ای خواهد داشت.

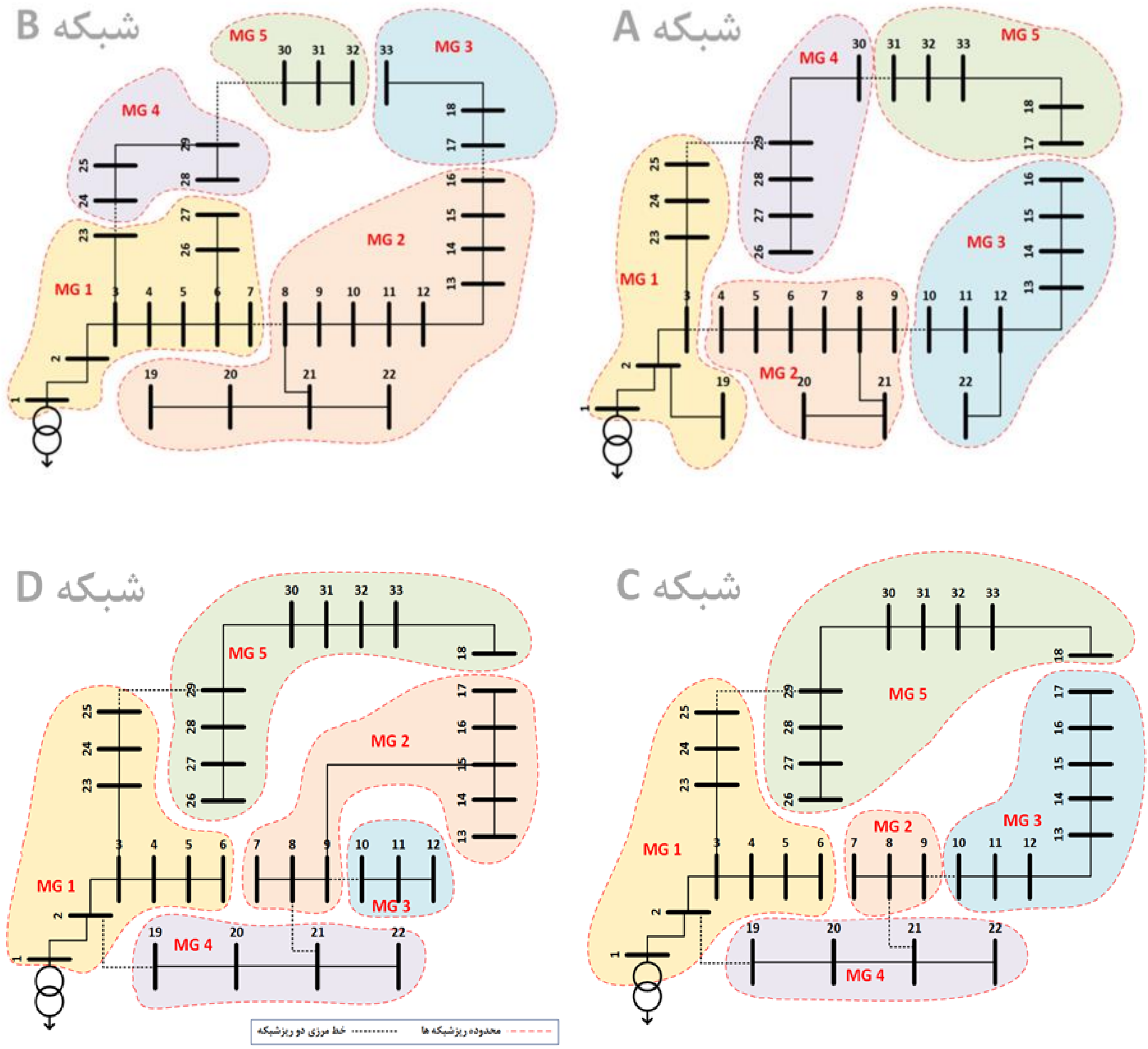
به‌عنوان مثالی دیگر با توجه به جدول ۷ که متناظر با شکل ۱۳-C و با هدف مرزبندی شبکه به مجموعه‌ای از ریزشبکه جهت افزایش قابلیت اطمینان صورت گرفته است، ملاحظه می‌گردد که مقادیر توانهای دریافتی تمامی ریزشبکه‌ها برای این تابع هدف به صورت منفی می‌باشد و به این معنی است که این ریزشبکه‌ها به طور متوسط به شبکه بالادستی توان تزریق می‌نمایند و قابلیت بهره برداری جزیره‌ای و کاهش انرژی از دست رفته را دارا می‌باشند. با توجه به شکل فوق مشاهده می‌گردد که با وجود توابع هدف متفاوت این شبکه همواره به پنج ریزشبکه مرزبندی می‌گردد اما مرزهای ریزشبکه‌ها برای توابع هدف مختلف جابجا می‌گردد.

برای مقایسه شاخص قابلیت اطمینان و هزینه کلی چهار شبکه مورد بحث، جدول ۹ ارائه شده است. میزان تبادل توان ساعتی برای ۵ سال متوالی مجموعه ریزشبکه‌ها با شبکه بالادستی در شکل ۱۴ ترسیم شده است. مقادیر مثبت به معنی میزان توان از شبکه بالادستی و مقادیر منفی به معنی تحویل توان به شبکه بالادستی است.

پروفیل میانگین، بیشینه و کمینه ولتاژ ۲۴ساعته مجموعه باس‌های یکی از ریزشبکه‌ها (برای نمونه) در هر یک از ساختارهای ارائه شده برای ۵ سال متوالی به ترتیب در شکل ۱۵ تا شکل ۱۸ نشان داده شده است. مقادیر ولتاژ در این شکل‌ها در واحد پریونیت می‌باشد. مشاهده می‌گردد که با افزایش حرکت به سمت سال افق به دلیل رشد بار و ثابت ماندن توانایی تولید، شبکه مقدار ولتاژ شبکه افت پیدا می‌کند.



شکل ۱۲: چگالی توزیع هر یک از توابع هدف در جمعیت نهایی



شکل ۱۳: ترکیب‌بندی و تعیین محدوده ریزشبکه‌های شبکه A، B، C و D

جدول ۵: مشخصات ریزشبکه‌های شبکه A

		ریزشبکه ۱	ریزشبکه ۲	ریزشبکه ۳	ریزشبکه ۴	ریزشبکه ۵
توربین بادی	مکان	۲	۹-۶	۱۴	۲۶	۱۷
	ظرفیت (kW)	۱۰۰	۱۰۰-۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
فتوولتائیک	مکان	۳-۲	-	۱۱	۳۰-۲۹	-
	ظرفیت (kW)	۱۰۰-۱۰۰	-	۱۰۰	۱۰۰-۱۰۰	-
منابع تولید قطعی	مکان	۲۳-۲	۲۰-۷-۵-۴	۱۴-۱۳-۱۱	۲۹	۳۳-۱۷
	ظرفیت (kW)	۲۰۰-۱۰۰	۱۰۰-۳۰۰-۱۰۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۰۰-۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰-۱۰۰
محوطه پارکینگ	مکان	۲	۲۰	۱۴	۳۰	۳۱
	ظرفیت (دستگاه)	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰
میانگین انحراف ولتاژ (PU)		۰/۰۰۵۷۳۹	۰/۰۱۳۴۰۸	۰/۰۲۳۴۰۵	۰/۰۱۹۶۲۴۵	۰/۰۲۶۱۴۹
میانگین تلفات (PU)		۰/۱۰۹۰	۰/۱۵۳۷	۰/۰۲۳۴	۰/۰۷۹۸	۰/۰۳۲۵
میانگین توان دریافتی از خارج از ریزشبکه (kW)		۲۰۹/۱۴۹	-۱۳/۲۵۲	-۱۳/۵۷۳	-۴۸/۶۳۷	۱۱۱/۶۸۷

جدول ۶: مشخصات ریزشبکه‌های شبکه B

		ریزشبکه ۱	ریزشبکه ۲	ریزشبکه ۳	ریزشبکه ۴	ریزشبکه ۵
توربین بادی	مکان	-	-	-	۲۴	۳۱
	ظرفیت (kW)	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰
فتوولتائیک	مکان	۲۶	-	-	۲۸-۲۵	-
	ظرفیت (kW)	۱۰۰	-	-	۱۰۰-۱۰۰	-
منابع تولید قطعی	مکان	۷-۲	۱۱	-	۲۵	-
	ظرفیت (kW)	۱۰۰-۱۰۰	۱۰۰	-	۱۰۰	-
محوطه پارکینگ	مکان	۲۷	۱۲	۱۸	۲۸	۳۱
	ظرفیت (دستگاه)	۲۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
میانگین انحراف ولتاژ (PU)		۰/۰۱۲۵۲۱۲	۰/۱۰۴۰۴۷۴	۰/۰۴۰۱۲۲۸	۰/۰۰۷۶۱۴۶	۰/۰۰۸۰۲۸۰
میانگین تلفات (PU)		۰/۲۰۵۵۷	۰/۰۸۰۷۸	۰/۰۰۱۱۹	۰/۰۰۲۱۶	۰/۰۱۸۸۹
میانگین توان دریافتی از خارج از ریزشبکه (kW)		۲۸۷/۳۴۸	۴۵۵/۹۸۳	۱۳۶/۱۴۲	۲۳۷/۵۲۳	۱۷۱/۴۲۰

جدول ۷: مشخصات ریزشبکه‌های شبکه C

		ریزشبکه ۱	ریزشبکه ۲	ریزشبکه ۳	ریزشبکه ۴	ریزشبکه ۵
توربین بادی	مکان	۲۳-۶	-	۱۵	۲۰	-
	ظرفیت (kW)	۲۰۰-۱۰۰	-	۲۰۰	۲۰۰	-
فتوولتائیک	مکان	۳	۸	-	-	۳۲-۲۹
	ظرفیت (kW)	۱۰۰	۱۰۰	-	-	۱۰۰-۱۰۰
منابع تولید قطعی	مکان	۲۴-۵-۳	۹	۱۱-۱۴	-	۳۳-۳۰-۲۹
	ظرفیت (kW)	۲۰۰-۱۰۰-۳۰۰	۱۰۰	۴۰۰-۲۰۰	-	۲۰۰-۳۰۰-۱۰۰
محوطه پارکینگ	مکان	۳	۷	۱۱	۲۲	۳۳
	ظرفیت (دستگاه)	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰
میانگین انحراف ولتاژ (PU)		۰/۰۱۱۸۶۶	۰/۰۱۵۱۹۸	۰/۰۴۲۲۶۸	۰/۰۱۵۶۰۵	۰/۰۴۲۱۳۵
میانگین تلفات (PU)		۰/۲۳۴۷	۰/۰۲۳۴	۰/۷۵۱۲	۰/۶۲۳۱	۰/۲۱۳۵
میانگین توان دریافتی از خارج از ریزشبکه (kW)		-۲۰۳/۶۲۴	-۹۸/۲۵۴	-۲۸۱/۶۳۲	-۶۷/۲۳۰	-۲۵۸/۵۵۶

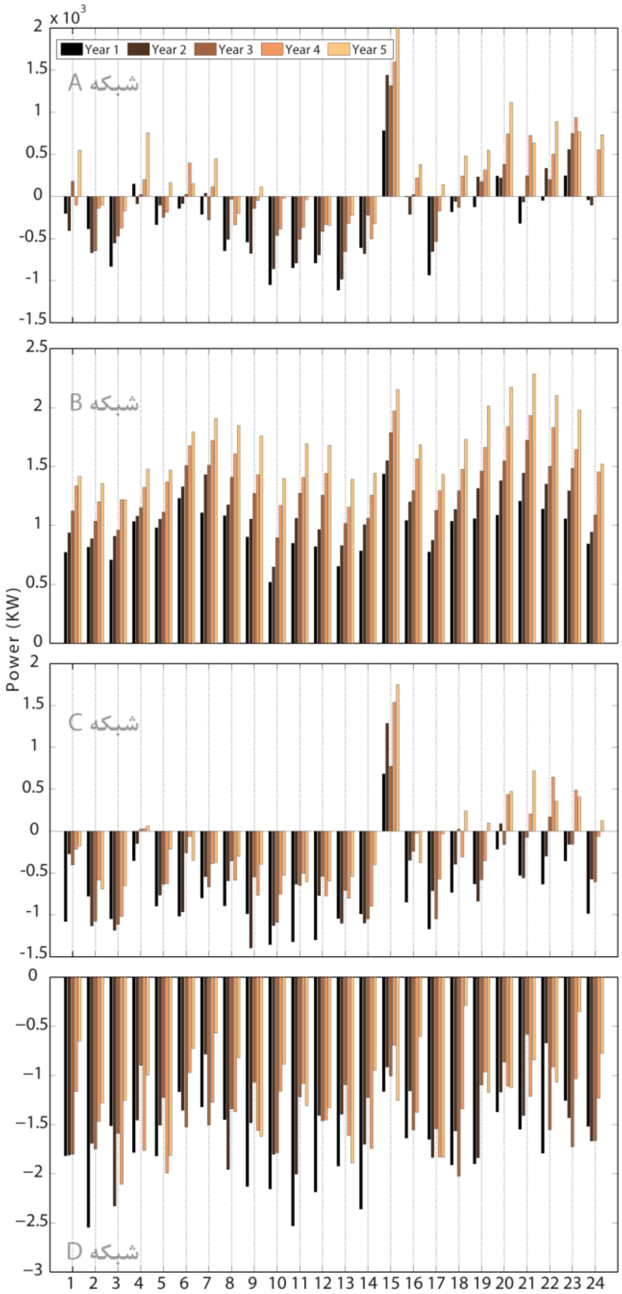
جدول ۸: مشخصات ریزشبکه‌های شبکه D

		ریزشبکه ۱	ریزشبکه ۲	ریزشبکه ۳	ریزشبکه ۴	ریزشبکه ۵
توربین بادی	مکان	۲۵-۲۳-۶-۵	-	-	-	-
	ظرفیت (kW)	۱۰۰-۱۰۰-۱۰۰-۱۰۰۱۰۰	-	-	-	-
فتوولتائیک	مکان	۳	-	-	۲۰	۲۹
	ظرفیت (kW)	۱۰۰	-	-	۱۰۰	۱۰۰
منابع تولید قطعی	مکان	۲۴-۲۳-۵-۳-۲	۱۳-۹-۸-۷	۲۱-۱۹	-	۳۳-۳۱-۳۰-۲۹
	ظرفیت (kW)	۱۰۰-۵۰۰-۸۰۰-۱۰۰-۲۰۰	۱۰۰-۵۰۰-۱۰۰-۱۰۰	۴۰۰-۵۰۰	-	۱۰۰-۴۰۰-۱۰۰-۶۰۰
محوطه پارکینگ	مکان	۶	۱۵	۱۲	۲۱	۳۲
	ظرفیت (دستگاه)	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰
میانگین انحراف ولتاژ (PU)		۰/۰۵۷۳۹	۰/۰۵۷۳۹	۰/۱۳۴۰۸	۰/۲۳۴۰۵	۰/۱۹۶۲۴۵
میانگین تلفات (PU)		۰/۷۴۲۵	۰/۷۴۲۵	۰/۱۱۸۳	۰/۰۰۴۱	۰/۱۵۶۳
میانگین توان دریافتی از خارج از ریزشبکه (kW)		-۸۰۳/۵۹۲	-۸۰۳/۵۹۲	۸/۷۶۰	۸۷/۵۸۵	-۴۰۸/۴۱۹

پروفیل میانگین، بیشـــینه و کمینه ولتاژ ۲۴ســـاعته مجموعه باس‌های یکی از ریزشبکه‌ها (برای نمونه) در هر یک از ساختارهای ارائه شده برای ۵ سال متوالی به ترتیب در شکل ۱۵ تا شکل ۱۸ نشان داده شـده اسـت. مقادیر ولتاژ در این شـکل‌ها در واحد پریونیت می‌باشـد. مشاهده می‌گردد که با افزایش حرکت به سمت سال افق به دلیل رشد بار و ثابت ماندن توانایی تولید، شـــبکه مقدار ولتاژ شـــبکه افت پیدا می‌کند.

جدول ۹: نتیجه ارزیابی قابلیت اطمینان و هزینه کلی شبکه‌ها

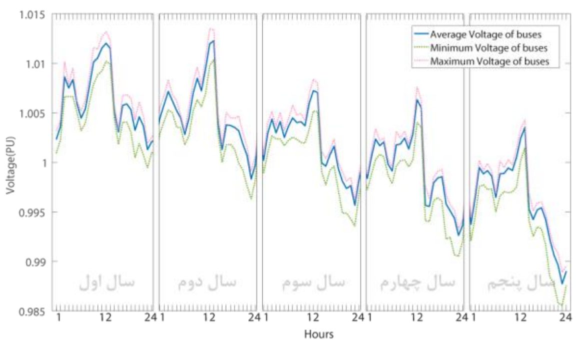
	ENS (kWh/year)	هزینه کل برنامه‌ریزی ۵ ساله ($)
شبکه A	۸۵۵۳۴	۷۹۹۵۵۲۲
شبکه B	۱۱۰۰۷	۴۲۱۴۲۰۲
شبکه C	۴۵۱۲	۸۵۵۲۱۴۸
شبکه D	۱۵۸۱۴۴	۱۱۶۳۸۹۲۲



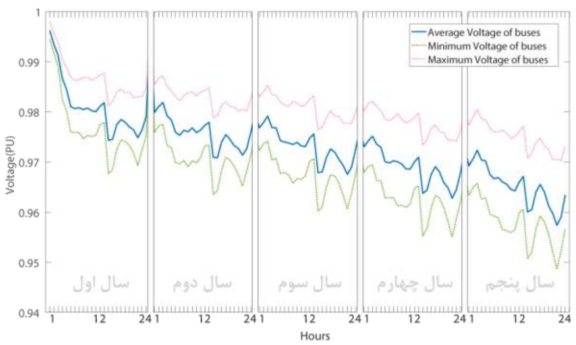
شکل ۱۴: میزان تبادل توان مجموعه ریزشبکه‌های شبکه‌های A، B، C و D با شبکه بالادست

در شکل ۱۹ و شکل ۲۰ به ترتیب میزان ساعتی حضور خودروهای الکتریکی در پارکینگ‌ها و مجموع شارژ و دشارژ ساعتی خودروها با توجه به بهای ساعتی انرژی قابل مشاهده است. ناگفته پیداست که مقادیر منفی به منزله تحویل انرژی به شبکه می‌باشند.

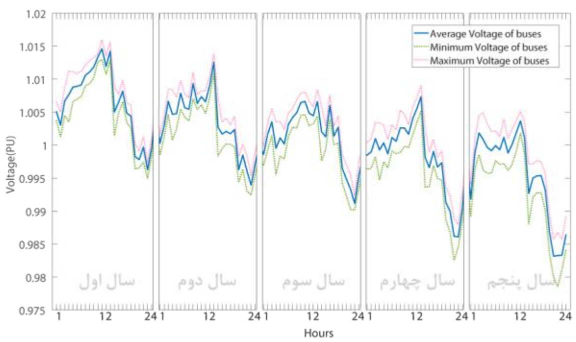
در انتها به بررسی تاثیر پارکینگ خودروهای الکتریکی در شبکه پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا مقایسه رفتار ۲۴ ساعتی تبادل توان با شبکه بالا دستی برای سال اول در شکل ۲۱ ترسیم شده است. بدین صورت که در شبکه‌ای برنامه‌ریزی پارکینگ غیربهینه می‌باشد، تمامی خودروها از لحظه ورود به پارکینگ تا زمانی که به مقدار شارژ مورد نظر برسند اقدام به شارژ کردن می‌کنند و در بقیه زمان‌ها تا خروج از



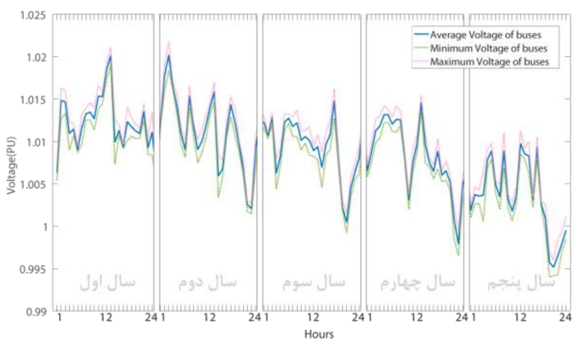
شکل ۱۵: پروفیل ولتاژ باسهای ریزشبکه شماره ۳ در شبکه A



شکل ۱۶: پروفیل ولتاژ باسهای ریزشبکه شماره ۲ در شبکه B



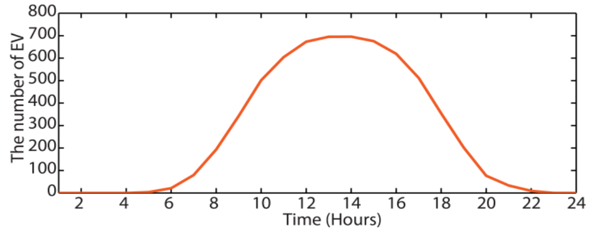
شکل ۱۷: پروفیل ولتاژ باسهای ریزشبکه شماره ۴ در شبکه C



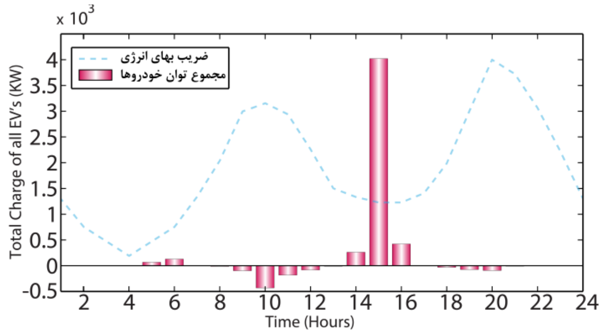
شکل ۱۸: پروفیل ولتاژ باسهای ریزشبکه شماره ۵ در شبکه D

پارکینگ از شبکه جدا می‌شوند. مشاهده می‌شود در حالتی که از پارکینگ بهینه استفاده شده است تبادل توان با شبکه بالادست بصورت بهینه‌تر صورت می‌پذیرد؛ در واقع وجود پارکینگ بهینه باعث می شود زمانی که هزینه انرژی نسبتا گران است انرژی کمتری از شبکه

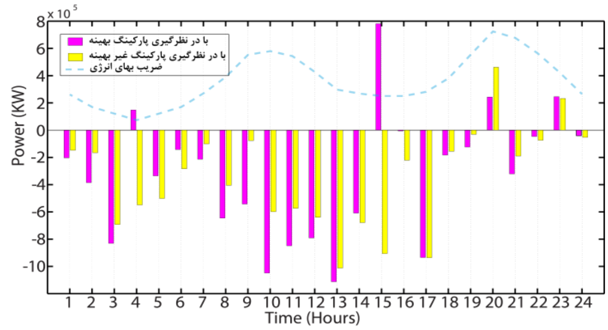
بالادست دریاف شود و در عوض زمانی که انرژی ارزانتر است آن مقدار جبران شود.



شکل ۱۹: منحنی ساعتی تعداد خودروهای حاضر در پارکینگ‌ها



شکل ۲۰: توان ساعتی مجموعه پارکینگ‌ها



شکل ۲۱: مقایسه تبادل توان ۲۴ ساعته برای سال اول شبکه A از دید برنامه ریزی بهینه پارکینگ خودروهای الکتریکی

در این مطالعه اغلب موارد بهبود یکی از توابع هدف به قیمت بدتر شـــدن توابع هدف دیگر می‌انجامد. مثلا در شـــبکه B که از نظر هزینه بهینه می‌باشـد، هزینه حداقل ممکن می‌باشـد ولی از نظر میزان تبادل توان با شـــبکه بالادســـتی در بدترین رتبه قرار می‌گیرد. چرا که بخاطر هزینه کمتر، منابع تولیدی کمتری نصـب شـده اسـت. در شـبکه D همواره شـبکه توانایی تامین توان ریزشـــبکه‌های خود را دارد اما هزینه لازم برای آن بسیار بالا می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

هدف اصـــلی در این مقاله، ارائه یک متدولوژی طراحی جهت طراحی شبکه توزیع هوشمند بر پایه ریزشبکه‌های چندگانه می‌باشد. به عبارت دیگر، در این مقاله شـــبکه توزیعی که در آن زیرســـاخت‌های شـــبکه هوشـمند فراهم شـده اسـت به چندین ریزشـبکه مرزبندی می‌گردد. طراحی ریزشـبکه‌های بهم پیوسـته با چهار هدف مختلف انجام و نتایج آن به صـــورت گرافیکی و جدول ارائه گردید. همین‌طور برای بررســـی مقاوم بودن پا سخ توزیع، جواب‌های م ساله از نظر اهداف انتخاب شده نیز مصور شد.

از نظر تعداد ریز شبکه‌های انتخاب شده در هر چهار نوع تابع هدف تعداد ریز شبکه‌ها ثابت و پنج ریز شبکه ا ست. این بدین دلیل ا ست که تعداد ریزشـــبکه‌ها در پارامتر قابلیت اطمینان تاثیر بســیار چشـــمگیری دارد. از طرف دیگر، طراحی شبکه توزیع با دید ریز شبکه‌های چندگانه افزایش چشمگیری در افزایش امنیت و قابلیت اطمینان کل شبکه دارد، چرا که در آرایش ریزشـــبکه‌های چندگانه به دلیل مدیریت جداگانه و مستقل هر ریزشبکه در شرایط خطا مصرف کنندگان دیگر ریزشبکه‌ها کمترین خاموشـی را احســاس خواهند کرد. درحالی که در شـــبکه‌های مرســـوم در بهترین حالت از نقطه خطادار به ســمت قسـمت‌های پایین د ست شبکه دچار خامو شی خواهند شد. در تابع هدف سوم کاهش انرژی از د ست رفته هر کدام از ریز شبکه‌ها مدنظر بوده ا ست و از اینرو مقدار کل انرژی از د ست رفته از سایر سناریوها ب‍سیار کمتر ا ست. در سناریوی چهارم که با هدف کاهش واب‍ستگی مجموعه ریز شبکه‌ها به شـــبکه بالادســـتی مدنظر بوده اســـت، با وجود رســـیدن به این هدف هزینه‌های طراحی سیستم افزایش یافته ا ست که به دلیل ایجاد منابع مقیاس کوچک بیشتر در ریزشبکه‌ها می‌باشد.

در مورد رفتار خودروها دیده می‌شـــود، با اعمال کنترل بر رفتار الکتریکی خودروهای الکتریکی اثرات ســو ناشــی از نفوذ این تکنولوژی در شبکه‌های آینده نه تنها کاهش می‌یابد، بلکه ماهیت این خودروها را به منابع ذخیره‌ساز تبدیل کرده و به بهبود شرایط شبکه کمک می‌کند.

همان‌طور که م شخص ا ست، کاربرد برر سی‌های انجام گرفته شده در این مقاله در قسمت طراحی شبکه ا ست. دیده می شود، شبکه‌های مدرن آینده دارای چالش های جدیدی در طراحی می باشـــند که در نظرگیری و مدل سازی بهره‌برداری از شبکه طراحی شده تا حد زیادی در بهینگی طراحی انجام گرفته شده موثر خواهد بود.

مراجع

[1] Anil Pahwa and S. Mandal, “Economic Evaluation of Distribution Automation for An Urban and for A Roral system,” *Electr. Comput. Eng. Conf.*, 1999.

[2] A. Zakariazadeh, S. Jadid, and P. Siano, “Economic-environmental energy and reserve scheduling of smart distribution systems: A multiobjective mathematical programming approach,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 78, pp. 151–164, 2014.

[3] H. Falsafi, A. Zakariazadeh, and S. Jadid, “The role of demand response in single and multi-objective wind-thermal generation scheduling: A stochastic programming,” *Energy*, vol. 64, pp. 853–867, 2014.

[4] J. M. Carrasco *et al.*, “Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1002–1016, Jun. 2006.

[5] W. Huang, M. Lu, and L. Zhang, “Survey on Microgrid Control Strategies,” *Energy Procedia*, vol. 12, pp. 206–212, 2011.

"Scenario analysis on future electricity supply and demand in Japan," *Energy*, vol. 38, no. 1, pp. 376–385, Feb. 2012.

[20] M. Pantoš, "Stochastic optimal charging of electric-drive vehicles with renewable energy," *Energy*, vol. 36, no. 11, pp. 6567–6576, Nov. 2011.

[21] B. Soares M.C. Borba, A. Szklo, and R. Schaeffer, "Plug-in hybrid electric vehicles as a way to maximize the integration of variable renewable energy in power systems: The case of wind generation in northeastern Brazil," *Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 469–481, Jan. 2012.

[22] M. Honarmand, A. Zakariazadeh, and S. Jadid, "Integrated scheduling of renewable generation and electric vehicles parking lot in a smart microgrid," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 745–755, Oct. 2014.

[23] F. Fazelpour, M. Vafaeipour, O. Rahbari, and M. A. Rosen, "Intelligent optimization to integrate a plug-in hybrid electric vehicle smart parking lot with renewable energy resources and enhance grid characteristics," *Energy Convers. Manag.*, vol. 77, pp. 250–261, Jan. 2014.

[24] M. Moradijoz, M. Parsa Moghaddam, M. R. Haghifam, and E. Alishahi, "A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 46, pp. 115–122, Mar. 2013.

[25] A. El-Zonkoly and L. dos Santos Coelho, "Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 67, pp. 472–477, May 2015.

[26] P. Li, X. Guan, J. Wu, and D. Wang, "An Integrated Energy Exchange Scheduling and Pricing Strategy for Multi-Microgrid System," 2013.

[27] J. S. Ren *et al.*, "Energy Management of a Multi-Agent Based Multi- Microgrid System," 2014.

[28] N. Parhizi, M. Marzband, Seyyed Maziar Mirhosseini Moghaddam, and Behnam Mohammadi Ivatloo, "The Experimental Implementation of an Energy Management System for a Grid Connected Microgrid by using a Multi-period Imperialist Competition Algorithm," *Tabriz J. Electr. Eng.*, vol. 46, no. 1, 2016.

[29] W. Chiu, H. Sun, and H. V. Poor, "A Multiobjective Approach to Multimicrogrid System Design," vol. 6, no. 5, pp. 2263–2272, 2015.

[30] M. Tourani, P. D. Student, M. R. Aghaebrahimi, and H. R. Najafi, "Scheduling the Charging and Discharging of Electric Vehicles in Microgrid based on Vehicles â€™ Daily Travel," *Tabriz J. Electr. Eng.*, vol. 46, no. 4, pp. 65–76, 2016.

[31] M. Tourani, M. R. Aghaebrahimi, and H. R. Najafi, "Scheduling Parking Lot Area and Charging and Discharging of Electric Vehicles in order to Improve the Reliability of Smart Grids," *Tabriz J. Electr. Eng.*, vol. 47, no. 2, pp. 413–422.

[32] A. Zidan, M. F. Shaaban, and E. F. El-Saadany, "Long-term multi-objective distribution network planning by DG allocation and feeders' reconfiguration," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 105, pp. 95–104, 2013.

[6] S. A. Arefifar, Y. A.-R. I. Mohamed, and T. H. M. EL-Fouly, "Optimum Microgrid Design for Enhancing Reliability and Supply-Security," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1567–1575, Sep. 2013.

[7] M. Javadi, M. Marzband, J. L. Domínguez-García, and M. Mirhosseini Moghaddam, "Non-cooperative game theory based energy management systems for energy district in the retail market considering DER uncertainties," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, no. 12, pp. 2999–3009, Sep. 2016.

[8] M. Marzband, N. Parhizi, M. Savaghebi, and J. M. Guerrero, "Distributed Smart Decision-Making for a Multimicrogrid System Based on a Hierarchical Interactive Architecture," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 31, no. 2, pp. 637–648, Jun. 2016.

[9] M. Marzband, A. Sumper, A. Ruiz-Álvarez, J. L. Domínguez-García, and B. Tomoiagă, "Experimental evaluation of a real time energy management system for stand-alone microgrids in day-ahead markets," *Appl. Energy*, vol. 106, pp. 365–376, 2013.

[10] M. Marzband, A. Sumper, J. L. Domínguez-García, and R. Gumara-Ferret, "Experimental validation of a real time energy management system for microgrids in islanded mode using a local day-ahead electricity market and MINLP," *Energy Convers. Manag.*, vol. 76, pp. 314–322, 2013.

[11] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, "Defining Control Strategies for MicroGrids Islanded Operation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 916–924, May 2006.

[12] N. Nikmehr and S. Najafi Ravadanegh, "Optimal Power Dispatch of Multi-Microgrids at Future Smart Distribution Grids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 4, pp. 1648–1657, Jul. 2015.

[13] S. Najafi Ravadanegh and N. Nikmehr, "Heuristic probabilistic power flow algorithm for microgrids operation and planning," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 9, no. 11, pp. 985–995, Aug. 2015.

[14] N. Nikmehr and S. Najafi Ravadanegh, "A study on optimal power sharing in interconnected microgrids under uncertainty," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 26, no. 1, p. n/a-n/a, Apr. 2015.

[15] M. Mohammadi, S. H. Hosseinian, and G. B. Gharehpetian, "GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 83–92, 2012.

[16] M. Alonso, H. Amaris, and C. Alvarez-Ortega, "Integration of renewable energy sources in smart grids by means of evolutionary optimization algorithms," *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 5, pp. 5513–5522, 2012.

[17] C. Bustos, D. Watts, and H. Ren, "MicroGrid Operation and Design Optimization With Synthetic Wins and Solar Resources," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 10, no. 2, pp. 1550–1562, Mar. 2012.

[18] H. Lund and W. Kempton, "Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G," *Energy Policy*, vol. 36, no. 9, pp. 3578–3587, Sep. 2008.

[19] Q. Zhang, K. N. Ishihara, B. C. Mclellan, and T. Tezuka,

[33] E. Babazadeh, M. R. J. Oskuee, J. Pourmahmoud, and S. N. Ravadanegh, "Optimal Planning o f Smart Distribution Network Based o n Efficiency Evaluation Using Data Envelopment Analysis," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 8, no. 1, pp. 45–61, 2016.

[34] M. R. J. Oskuee, E. Babazadeh, S. Najafi-Ravadanegh, and J. Pourmahmoud, "Multi-Stage Planning of Distribution Networks with Application of Multi-Objective Algorithm Accompanied by DEA Considering Economical, Environmental and Technical Improvements," *J. Circuits, Syst. Comput.*, vol. 25, no. 4, p. 1650025, 2016.

[35] J. Soares, B. Canizes, C. Lobo, Z. Vale, and H. Morais, "Electric Vehicle Scenario Simulator Tool for Smart Grid Operators," pp. 1881–1899, 2012.

[36] W. Su and M. Y. Chow, "Computational intelligence-based energy management for a large-scale PHEV/PEV enabled municipal parking deck," *Appl. Energy*, vol. 96, pp. 171–182, 2012.

زیرنویس‌ها

[1] The Consortium for Electric Reliability Technology Solutions
[2] Microsource
[3] Microgrid
[4] Vehicle-to-grid
[5] MCDM
[6] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II
[7] Multi-Objective Particle Swarm Optimization
[8] Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2
[9] Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition
[10] Pareto Envelope-based Selection Algorithm II