

Optimal location and operation planning of charging and discharging stations of electric vehicles using metaheuristic algorithms

 <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222344.1400.10.3.8.7>

Monireh Ahmadi¹, Seyed Hossein Hosseini^{1,2}, Murtaza Farsadi^{1,3}

¹Department of Electrical Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran.

¹elec.ahmadi@gmail.com

²Engineering Faculty, Near East University, 99138Nicosia, North Cyprus, Mersin 10, Turkey.

²hosseini@tabrizu.ac.ir

³ Istanbul Aydin University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering Istanbul, Turkey.

³murtazafarsadi@aydin.edu.tr

Abstract: Charging stations are one of the most important pieces of equipment for electric vehicles (EV). One of the most important challenges of charging stations is their optimal location, which practically puts the operation of the system components in the maximum area. Distribution networks are the final link in the electricity supply chain for consumers. Therefore, the economic and technical efficiency of these networks guarantees a stable and secure future in the electricity industry. In this regard, it is very important to study the role of EVstations. This paper investigates, the optimal location of charging and discharging stations and the optimal operation planning of Evs in a distribution network. The effective factors in choosing the location and the optimal charging and discharging rate in the stations are a combination of technical and economic issues. Regarding technical issues, the minimization of losses, the minimization of voltage drop in feeders and the uniformity of the network load curve were considered. In the economic field, the stations were located and the charging and discharging rates were determined in such a way that the charge and discharge costs in the stations and the total cost paid for the purchase of power were minimized as much as possible. In order To manage the load on the consumer side and to unify the load curve, the price-based demand response program was considered and implemented in the simulations.To find the optimal working point, genetic metaheuristic algorithms, genetic combination-particle swarm and genetic combination-colonial competition were used. All simulations were performed in MATLAB software To evaluate the proposed methods, validation was performed in each part on the IEEE standard testing system with a bus number of 69.

Keywords: Optimal placement, Electric Vehicles, Charging Stations, Load Response Program, Metaheuristic Algorithms

Received: 2020 October 18

Accepted: 2021 July 10

جایابی و برنامه ریزی بهره برداری بهینه ایستگاه های شارژ و دشارژ خودروهای برقی با کمک الگوریتم های فراابتکاری

نوع مطالعه: پژوهشی

 <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222344.1400.10.3.8.7>

منیره احمدی^۱، دانشجوی دکتری، سید حسین حسینی^{۲،۱}، استاد، مرتضی فرسادی^{۳،۱}، استاد

1- گروه مهندسی برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

Elec.ahmadi@gmail.com

2- The Engineering Faculty, Near East University, 99138Nicosia, North Cyprus, Mersin 10, Turkey

hosseini@tabrizu.ac.ir

3- Istanbul Aydin University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineerin Istanbul-Turkey

murtazafarsadi@aydin.edu.tr

چکیده: ایستگاه های شارژ یکی از مهمترین تجهیزات شارژ برای خودروهای برقی (EV) محسوب می شوند. یکی از مهم ترین چالش های ایستگاه های شارژ جایابی بهینه آن می باشد که عملاً بهره برداری از اجزای سیستم را در ناحیه ماکزیمم قرار می دهد. شبکه های توزیع حلقه نهایی زنجیره تامین انرژی الکتریکی برای مصرف کنندگان می باشد. لذا کارایی اقتصادی و فنی هر چه بیشتر این شبکه ها تضمین کننده یک آینده پایدار و مطمئن در صنعت برق می باشد در این راستا بررسی نقش ایستگاه های خودروهای الکتریکی بسیار مهم خواهد بود. در این مقاله جایابی بهینه ایستگاه های شارژ و دشارژ و برنامه ریزی بهره برداری بهینه خودروهای برقی در یک شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. فاکتورهای موثر در انتخاب محل و میزان شارژ و دشارژ بهینه در ایستگاه ها ترکیبی از مسائل فنی و اقتصادی می باشد. در خصوص مسائل فنی، حداقل سازی تلفات، حداقل سازی افت ولتاژ در فیدرها و یکنواخت سازی منحنی بار شبکه مدنظر قرار گرفته است. در زمینه اقتصادی، جایابی ایستگاه ها و میزان شارژ و دشارژ به نحوی صورت پذیرفته است که هزینه های شارژ و دشارژ در ایستگاه ها و هزینه کل پرداخت شده بابت خرید توان به حداقل مقدار ممکن برسد. به منظور مدیریت بار در سمت مصرف کننده و همچنین یکنواخت سازی منحنی بار، برنامه پاسخ تقاضای قیمت محور در نظر گرفته شده و در شبیه سازی ها پیاده سازی شده است. جهت یافتن نقطه کار بهینه از الگوریتم های فراابتکاری ژنتیک، ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات و ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری استفاده شده است. کلیه شبیه سازی ها در نرم افزار MATLAB انجام شده و به منظور ارزیابی روش های ارائه شده، صحت سنجی در هر قسمت بر روی سیستم تست استاندارد IEEE با تعداد شین ۶۹ صورت پذیرفته است.

واژه های کلیدی: جایابی بهینه، خودروهای برقی، ایستگاه های شارژ، برنامه پاسخگویی بار، الگوریتم های فراابتکاری

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۹/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

نام نویسنده ی مسئول : دکتر سید حسین حسینی

نشانی نویسنده ی مسئول : گروه مهندسی برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

۱- مقدمه

متعددی به بررسی مسئله جایابی بهینه ایستگاه های شارژ خودروهای برقی و مدل های شارژ این خودروها پرداخته اند.

در [۵]، جایابی بهینه ایستگاه های شارژ خودروهای برقی با استفاده از یک روش بهینه سازی دو مرحله ای پیشنهاد شده است. مطابق مدل ارائه شده، در مرحله اول محل بهینه ایستگاه های شارژ با توجه به شاخص های محیطی و شعاع سرویس دهی هر ایستگاه شارژ تعیین میگردد در مرحله دوم، ظرفیت بهینه این ایستگاه های شارژ از طریق کمینه سازی هزینه های متداول ایستگاه های شارژ اعم از هزینه سرمایه گذاری، هزینه نگهداری، هزینه بهره برداری و هزینه تلفات برنامه ریزی میشود.

در [۶]، مطالعاتی در مورد پروفیل شارژ بهینه برای افزایش مصرف در ساعات کم باری انجام گرفته است. همچنین به بررسی تأثیر پروفایل شارژ بر شبکه توزیع پرداخته است. جایابی پارکینگ خودروهای متصل به شبکه با لحاظ کردن قیود تلفات و قابلیت اطمینان به صورت قیود اقتصادی پیاده سازی شده است.

تولید خودرو های الکتریکی و نیاز به وجود قابلیت سفر در مسافت های طولانی موجب پیدایش نیاز به گسترش ایستگاه های شارژ الکتریکی می شود. ایستگاه هایی که بتوانند شرایط لازم برای ارائه مقدار قابل توجهی از انرژی الکتریکی را به خودرو ها فراهم کنند. با توجه به امکان فراگیر شدن استفاده از خودروهای الکتریکی در ایران و جهان، نیاز به بهره برداری از ایستگاه های شارژ در آینده ای نزدیک در بسیاری از کشور ها احساس خواهد شد. بدین دلیل، از هم اکنون پژوهش های گسترده ای در زمینه جنبه های مختلف برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری از ایستگاه های شارژ الکتریکی به انجام رسیده یا در حال انجام است. در [۷]، در جایابی توأمان منابع تولید پراکنده و پارکینگ خودروی برقی در شبکه توزیع شعاعی مطالعه شده اند. شبکه توزیع مورد مطالعه با حضور پارکینگ ها و منابع تولید پراکنده به گونه ای ارتقا می یابد که علاوه بر تأمین قابلیت اطمینان مورد نظر، تلفات نیز به سطح بهینه برسد.

در [۸]، نویسندگان در این مقاله یک الگوریتم چند هدفه را ارائه کرده اند که با پیاده سازی آن تعداد پارکینگ های خودرو های الکتریکی، محل و ظرفیت این پارکینگ ها و همچنین زمان بندی انرژی منابع تأمین کننده توان در سیستم تعیین می گردند

در [۹]، با توجه به افزایش استفاده از EV در مناطق شهری، محققان در [۱۰، ۱۱] مدل های تقاضای شارژ EV برای تنظیمات شهری را بررسی کرده اند. و در [۱۲] یک مدل زمان-فضا را توسعه داده اند که یک آنالیز حمل و نقل را با یک آنالیز سیستم قدرت ادغام کرده است. و در [۱۳] یک مدل پیش بینی تقاضای شارژ EV مبتنی

با توجه به روند پیشرفت فناوری خودروهای الکتریکی قابل شارژ، انتظار می رود به زودی تعداد زیادی از خودروهای الکتریکی جهت شارژ به شبکه قدرت متصل شوند. انرژی مورد نیاز برای شارژ این خودروها به صورت انرژی لازم جهت تغذیه یک مجموعه بار اضافه برای شبکه قدرت قابل مدل سازی است. درک اثرات فنی بار اضافی تحمیل شده از طرف این خودروها بر عملکرد شبکه قدرت، اهمیت بسیاری برای متصدیان شبکه دارد. زیرا به کمک این مطالعات، متصدیان شبکه های قدرت قادر خواهند بود برنامه ریزی تقویت و توسعه آینده شبکه را به گونه ای انجام دهند که اولاً شبکه توانایی تغذیه خودروهای الکتریکی را داشته باشد و ثانیاً عملکرد شبکه هنگام اتصال این خودروها به صورت بهینه یا نزدیک به بهینه انجام شود. با وجود مزایای محیطی و اقتصادی شارژر وسایل نقلیه تاثیرات منفی بر روی عملکرد شبکه دارد. با اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه به علت شارژ و دشارژ متوالی شبکه برق دچار هارمونی و اعوجاج میگردد که بهترین راه برای برطرف کردن این مشکل استفاده از ایستگاه های شارژ منابع انرژی تجدیدپذیر (خورشیدی و ...) به منظور تأمین انرژی خودروها الکتریکی است [۱].

استراتژی های مختلف عمدتاً در دو مرحله مسئله مدیریت انرژی را حل می نمایند، ابتدا ساختار کنترل کننده را تعیین می کنند و سپس به دنبال انتخاب مناسب و بهینه ای برای پارامترهای سیستم کنترل کننده می گردند تا اجزای سیستم هایبرید در ناحیه ماکزیمم بازدهی خود قرار بگیرند. سیاست های تشویقی دولت ها در خصوص انرژی، انگیزه زیادی را برای افزایش کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر پراکنده ایجاد کرده است. برای کاربرد موفق تولید پراکنده تجسم کلی از سیستم نیاز است تا بتوان منابع تولید، ذخیره و بارهای یک محدوده خاص را به عنوان یک ریزسیستم مستقل و یکپارچه و یا به عنوان میکروگرید در نظر گرفت. میکروگرید یک شبکه متمرکز و پایدار است که شامل انواع بارهای الکتریکی، منابع تولید و ذخیره انرژی می باشد. اجزاء میکروگرید شامل منابع انرژی توزیع شده، ریزسیستم های کنترل و مدیریت، ارتباطات و اتصال ایمن، و مدیریت اطلاعات مطمئن می باشد [۲]. در دهه های اخیر مفهوم شبکه های هوشمند توجه پژوهشگران را به عنوان یک راه حل قابل قبول برای چالش های سیستم قدرت که به علت رشد بار، افزایش نفوذ انرژی های نو و تجدیدپذیر و آرایش منابع تولید پراکنده در سطح توزیع مواجه می شود را جلب کرده است [۳]. در [۴] جایابی و تعیین نامناسب ظرفیت ایستگاه های شارژ میتواند اثرات ناخوشایندی بر توسعه خودروهای برقی، آرایش شبکه ترافیکی شهری و راحتی رانندگان خودروها داشته و نهایتاً سبب افزایش تلفات سیستم و کاهش درجه پروفیل ولتاژ در برخی از شینه های شبکه گردد. از منظر صاحبان خودروهای الکتریکی، محل ایستگاه های شارژ می بایست سبب راحتی در تردد آنها شده و در نزدیکی محل تقاضای شارژ باشد. تاکنون مقالات

باشد، می توان از وزندهی به قیود استفاده و آن‌ها را به صورت جزئی از تابع هدف در نظر گرفت و تعداد قیود را کاهش داد. در مراجع [۲۶-۲۵] از الگوریتم‌های تکاملی برای حل مساله فوق در حالت چند قیدی استفاده شده است. در مراجع [۲۷،۲۸] میزان دسترسی به ایستگاه‌های شارژ و هزینه هر مسافرت به عنوان پارامترهای مساله در نظر گرفته شده است. در برخی از EMS های پیشنهاد شده، مفاهیم مربوط به بحث های اقتصادی بررسی و توسعه استراتژی هایی به منظور رسیدن به حداکثر سود گزارش شده است [۲۹]. باتوجه به محدودیت های استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی، روش های گوناگونی برای برقراری تعادل انرژی در ریزشبهک ها ارائه شده است [۳۰].

در مرجع [۳۱] برای حذف مشکلات ناشی از عدم تعادل انرژی، سیستم های تجدیدپذیر با ذخیره کننده انرژی ترکیب شده است. علاوه بر پیشرفت های اخیر در تکنولوژی شبکه های هوشمند، برنامه ریزی پاسخ تقاضا، با استفاده از نرم افزاری که از منابع سمت تقاضا، به صورت بهینه استفاده می نماید امکان پذیر شده است. در مرجع [۳۲] با یکپارچگی سیستم آرایه فتوولتائیک و شارژرهای DC-DC دو جهته، ایستگاه های شارژ خورشیدی انعطاف پذیری بیشتری در مقایسه با ایستگاه شارژ معمولی دارند. ساختار ایستگاه های خورشیدی مبتنی بر ترانسفورماتور حالت جامد متشکل از کنترلر SST، ماژول مبدل DC/AC دو جهته، ماژول مبدل DC/DC دو جهته ایزوله، ماژول DC/DC تک جهته برای پانل های آرایه فتوولتائیک، و شارژرهای DC/DC دو جهته برای خودروهای برقی می باشد. ایستگاه های شارژ خورشیدی (PVCS) به عنوان یک واحد قابل کنترل می باشد که به عنوان یک بار فعال عمل می نماید. ترانسفورماتور فرکانس متوسط برای انتقال توان به کارگرفته می شود و حجم PVCS را بسیار کوچکتر خواهد نمود. کنترلرهای شارژرهای DC/DC دو جهته و کنترل توان خودروهای برقی راحت تر می باشد. با استفاده از ترانسفورماتور حالت جامد، دستگاه ها یکپارچه شده و بنابراین هزینه سیستم یکپارچه کاهش پیدا می کند.

با توجه به مطالعات انجام شده پژوهشی در زمینه مکان یابی بهینه ایستگاه شارژ خودروهای برقی با لحاظ پاسخگویی بار و و شاخص های فنی و اقتصادی و در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده انجام نگرفته است در این مقاله با بکارگیری از الگوریتم های فراابتکاری ژنتیک، ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات و ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری استفاده شده است که در ادامه ساختار مقاله بصورت زیر می باشد در بخش دوم فرمولاسیون روابط مساله بیان میگردد در بخش سوم به بیان روش پیشنهادی و داده های مساله پرداخته میشود. و در بخش چهارم با توجه به برنامه های پاسخگویی بار در سناریو های مختلف نتایج و خروجی های شبیه سازی آورده شده و در نهایت در بخش نهایی نتیجه گیری کلی بیان گردیده است.

بر زمان با ایستگاه های شارژ چندگانه در یک منطقه شهری را ارائه داده اند. آنها نرخ ورود EV در یک ایستگاه شارژ را با یک مدل ترافیک انتقال سلول پیش بینی کرده است. و همچنین [۱۴] جنبه زمان- فضای قرار گیری ایستگاه شارژ را با استفاده از مدل سازی و شبیه سازی بر مبنای داده های ترافیک واقعی تخمین زده اند. در [۱۵]-در مسئله مدلسازی پارکینگ های هوشمند از منظر یک یکپارچه ساز خودرو های برقی در جهت حداکثر سازی سود خود حل شده است. در مدل ارائه شده چندین شاخص اقتصادی و فنی به همراه قیود امنیتی سیستم در نظر گرفته شده است.

در [۱۶] یک مدل ابتکاری دوگانه پیشنهاد شده است که در سطح اول، یک مدل جدید برای پارکینگ شارژ خودروهای برقی ارائه شده است که ویژگی های EVs را به روش دقیق مدل می کند. در سطح دوم، یک مدل جدید برای اطمینان از اینکه محدودیت های فنی در شبکه های توزیع در حالی که به حداقل رساندن هزینه های کلی سیستم توسعه یافته است در نظر گرفته شده. علاوه بر این، ورود منابع تجدید پذیر همچون PV و باد خورشیدی را هم لحاظ شده است.

توسعه خودروهای برقی (EV)، تجهیزات شارژ خورشیدی به عنوان یک زیرساختار تامین انرژی پاک و بالقوه برای خودروهای برقی در نظر گرفته شده اند [۱۷]. اساساً ایستگاه های شارژ خورشیدی در ساختمان های تجاری، مجتمع های مسکونی و غیره مستقر می شوند [۱۸]. تلاش های قابل ملاحظه ای جهت بررسی استراتژی مدیریت انرژی ایستگاه های شارژ خورشیدی صورت گرفته اند. استراتژی های شارژ خودروهای برقی هیبریدی قابل اتصال به شبکه (PHEV)، در مرجع [۱۹] مطرح شده است. از طرفی دیگر یکی از بزرگترین چالش های پیش رو بهره برداری از خودروهای برقی، مدت زمان زیاد شارژ و محدودیت موجود در مدت زمان بهره برداری (به علت تخلیه باتری خودرو) می باشد. بنابراین انتخاب محل ایستگاه های شارژ باید به نحوی باشد که ارائه سرویس شارژ در ظریف نفوذ بالای خودروهای برقی را تضمین نماید. این موضوع می تواند با انتخاب محل هایی برای احداث ایستگاه های شارژ که در آن ها دسترسی خودروهای برقی راحت تر باشد، صورت پذیرد [۲۰]. علاوه بر این ظرفیت ایستگاه های شارژ باید متناسب با میزان مراجعه خودروها باشد به طوری که هیچ گونه ترافیکی ایجاد نشده و میزان معطلی مالکان خودروهای برقی حداقل مقدار ممکن شود. چندین راه حل در مقالات برای طراحی این مساله ارائه شده است که تحت عنوان مکان یابی ایستگاه های شارژ تعریف شده است [۲۱]. برخی از طرح ها بر اساس تامین تقاضای مورد نیاز خودروهای برقی هستند. در این طرح ها میزان توان درخواستی توسط خودروها در ابتدا تخمین زده می شود [۲۲]. در برخی از طرح ها ایستگاه های شارژ سایز بندی شده و به نحوی مکان یابی می شوند که میزان جاده های تحت پوشش را افزایش دهند [۲۳-۲۴]. با توجه به این که در این حالت حجم قیود مساله زیاد می-

۲- بیان مسأله

تابع هدف اصلی این مقاله با در نظر گرفتن کلیه عوامل در رابطه‌ی (۱) نمایش داده شده است. رابطه‌ی (۱) دارای آیتم‌های مالی و فنی می‌باشد.

$$\text{Objective Function} = \min[(W_1 \times f_1 + W_2 \times f_2 + W_3 \times f_3) + W_4 \times f_4] \quad (1)$$

در رابطه بالا W_1, W_2, W_3, W_4 ضرایب وزنی می‌باشند. f_1 بیان‌کننده مجموع تلفات در شبکه در طول ۲۴ ساعت بوده و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$f_1 = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{\text{line number}} R_{line_i} |I_{line_i,t}|^2 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، $I_{line_i,t}$ بیان‌کننده جریان عبوری از خط i ام در ساعت t ام بوده و R_{line_i} نیز بیان‌کننده مقاومت خط i ام می‌باشد.

در رابطه (۱)، f_2 بیان‌کننده میزان مجموع افت ولتاژ در شبکه در طول ۲۴ ساعت (پس از ورود منابع تجدید پذیر) بوده و به صورت رابطه‌ی (۳) تعریف می‌شود.

$$f_2 = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{\text{bus number}} |1 - V_{i,t}| \quad (3)$$

در رابطه‌ی (۳)، $V_{i,t}$ بیان‌کننده ولتاژ در شین i ام در ساعت t ام می‌باشد.

رابطه‌ی (۱)، f_3 بیان‌کننده میزان هزینه مصرف انرژی است. تابع هزینه مصرف انرژی شامل سه بخش اصلی است که به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد:

۱- هزینه‌ای که بابت مصرف در شبکه به شرکت توزیع بایستی پرداخت گردد.

برای پرداخت این هزینه ابتدا بایستی توان کل دریافتی از شرکت توزیع محاسبه شود. با توجه به وجود منابع تجدیدپذیر و خودروهای برقی در شبکه، توان دریافتی از شرکت توزیع در ساعت t ام به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$P_{sub,t} = \sum_{i=1}^{Nbus} P_{d,i,t} + \sum_{j=1}^{Nline} P_{loss,j,t} - \sum_{k=1}^{Nstation} P_{disch,k,t} + \sum_{k=1}^{Nstation} P_{ch,k,t} - P_{wind,t} - P_{pv,t} \quad (4)$$

در رابطه‌ی (۴)، پارامترهای استفاده شده به شرح زیر هستند:

- $P_{sub,t}$: توان دریافتی از شرکت توزیع بر حسب کیلووات در ساعت t ام
- $P_{d,i,t}$: بار مصرفی در شین i ام در ساعت t ام بر حسب کیلووات
- $P_{loss,j,t}$: تلفات در خط j ام در ساعت t ام بر حسب کیلووات
- $P_{disch,k,t}$: توان تخلیه شده از خودروهای برقی به شبکه در ایستگاه k ام در ساعت t ام بر حسب کیلووات

- $P_{ch,k,t}$: توان شارژ شده از شبکه به خودروهای برقی در ایستگاه k ام در ساعت t ام بر حسب کیلووات
- $P_{wind,t}$: توان تولید شده در بخش بادی واحد تولید تجدیدپذیر در ساعت t ام بر حسب کیلووات
- $P_{pv,t}$: توان تولید شده در بخش خورشیدی واحد تولید تجدیدپذیر در ساعت t ام بر حسب کیلووات
- $Nstation, Nline, Nbus$ به ترتیب تعداد شین، خط و ایستگاه‌های شارژ و دشارژ خودروهای برقی در شبکه هستند. با محاسبه توان دریافتی از شرکت توزیع (با استفاده از رابطه‌ی (۴))، می‌توان از رابطه‌ی (۵) هزینه‌ای که باید به شرکت توزیع پرداخته شود محاسبه کرد. در این رابطه فرض شده است که شرکت توزیع سود ۲۰ درصدی برای خود در نظر بگیرد.

$$f_5 = \sum_{t=1}^{24} 1.2 * P_{sub,t} * C_t \quad (5)$$

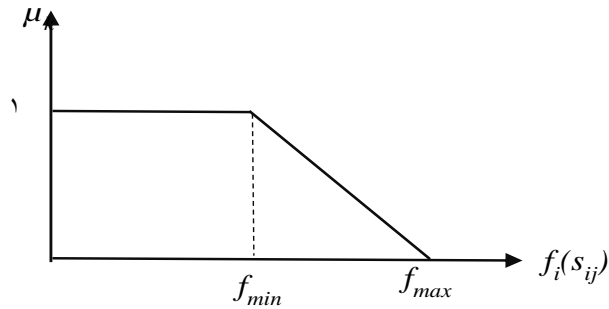
در رابطه‌ی (۵)، C_t بیان‌کننده هزینه انرژی خریداری شده توسط شرکت توزیع در ساعت t ام از واحدهای نیروگاهی شبکه می‌باشد. در جدول (۱)، قیمت انرژی در هر ساعت بر حسب دلار (با در نظر گرفتن سه بازه زمانی، کم باری، میان باری و پیک بار) نمایش داده شده است. هزینه شارژ و دشارژ خودروهای برقی در ایستگاه‌های شارژ علاوه بر هزینه‌ای که بابت مصرف انرژی در کل شبکه به شرکت توزیع پرداخته می‌شود، دو هزینه زیر که ناشی از حضور خودروهای برقی در شبکه می‌باشد نیز باید در نظر گرفته شود:

- ۲- هزینه‌ای که به هنگام شارژ خودروهای برقی در ایستگاه‌ها باید از مالکین خودرو دریافت گردد.
- ۳- هزینه‌ای که به هنگام تخلیه باتری خودروهای برقی به شبکه به مالکان آنها باید پرداخت گردد.

مجموع این هزینه‌ها در رابطه‌ی (۶)، نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این رابطه دیده می‌شود به منظور تشویق مشتریان (مالکان خودرو) جهت تخلیه توان باتری‌های خود به شبکه، هزینه تخلیه یک کیلووات توان به شبکه ۱۰ درصد بیشتر از هزینه شارژ خودرو به میزان یک کیلووات از طریق شبکه است، که با توجه به افزایش قیمت ذاتی قیمت انرژی در ساعات پیک بار، سود قابل قبولی توسط مالکین خودرو دریافت خواهد شد.

$$f_6 = \sum_{t=1}^{24} (C_t * \sum_{k=1}^{Nstation} P_{ch,k,t} - 1.1 * C_t * \sum_{k=1}^{Nstation} P_{disch,k,t}) \quad (6)$$

میزان سود و هزینه مالک خودروهای برقی در جدول (۱) نمایش داده شده است:



شکل (۱) سطح موفقیت برای اهداف فازی

در هر تکرار مقدار هر تابع هدف با توجه به تابع عضویت فازی طبق رابطه (۹) محاسبه می‌شود که:

$$\mu_k(F_i) = \begin{cases} 1 & F_i \leq F_{i \min} \\ \frac{F_i - F_{i \min}}{F_{i \max} - F_{i \min}} & F_{i \min} \leq F_i \leq F_{i \max} \\ 0 & F_i \geq F_{i \max} \end{cases}$$

این امر موجب می‌شود که هر چهار تابع هدف همواره عددی در بازه [۰، ۱] و به صورت نرمالیزه باشد [۳۲]. پس از نرمالیزه شدن، تابع هدف جدید حداقل کردن ماکزیمم توابع هدف نرمالیزه شده می‌باشد، یعنی در هر تکرار، برانندگی هر بردار در الگوریتم ICA برابر است با بزرگترین تابع هدف نرمالیزه شده در بین چهار تابع هدف نرمالیزه شده می‌باشد. بنابراین تابع هدف نهایی به صورت رابطه (۱۰) خواهد شد.

(۱۰)

$$\min(\max(\mu(f_1), \mu(f_2), \mu(f_3), \mu(f_4)))$$

۲-۲- قیود مساله

قیودی که برای مساله در نظر گرفته شده است را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- قید میزان شارژ و دشارژ

میزان شارژ و دشارژ در هر لحظه در هر ایستگاه بایستی از ظرفیت آن ایستگاه همواره کوچکتر باشد.

$$0 \leq CH_{it} \leq Cap_i \quad i = 1:n$$

$$0 \leq DisCH_{it} \leq Cap_i \quad i = 1:n \quad (۹)$$

در رابطه (۹)، CH_{it} و $DisCH_{it}$ به ترتیب بیان‌کننده میزان شارژ و دشارژ در ایستگاه شماره i در ساعت t می‌باشند. Cap_i بیان‌کننده ظرفیت ایستگاه شماره i بوده و n نیز بیان‌کننده تعداد ایستگاه‌های شارژ و دشارژ می‌باشد.

۲- قید مجموع شارژ و دشارژ

در هر ایستگاه چندین دستگاه شارژ و دشارژ دو سویه کوچک استفاده می‌شود و این دستگاه‌ها ممکن است در هر ساعتی تعدادی در

جدول (۱) محاسبه سود مالکان خودروهای برقی

دوره	کم باری	میان‌باری	اوج بار
بازه زمانی	[۹-۲۳]	[۱۸-۱۰]	[۲۲-۱۹]
قیمت هر کیلووات ساعت (بر حسب دلار)	۱۰	۱۵	۲۰
قیمت خریداری انرژی توسط مالک خودرو از شرکت توزیع	۱۲	۱۸	۲۴
قیمت فروش انرژی به شرکت توزیع توسط مالک خودرو	۱۱	۱۶/۵	۲۲

همان‌گونه که در جدول (۱) دیده می‌شود، مالکان خودرو می‌توانند انرژی الکتریکی را در ساعات کم‌باری و میان‌باری (که قیمت انرژی کمتر است) خریداری نموده و در ساعات پیک بار (که قیمت انرژی بالاتر است) می‌توانند انرژی را به فروش برسانند. در رابطه ی (۱)، f_3 بیان‌کننده تابع هزینه بوده و به صورت رابطه ی (۷) محاسبه خواهد شد.

$$f_3 = f_5 + f_6 \quad (۷)$$

با توجه به این‌که پارامترهای مورد استفاده در تابع هدف (که شامل هزینه، تلفات و افت ولتاژ می‌باشند) از یک نوع نیستند، لذا بایستی تابع هدف با پروپونیت‌سازی این کمیت‌ها نسبت به حالت اولیه (حالتی که در آن ایستگاه شارژ خودروهای برقی وجود ندارد) اصلاح شود. در رابطه ی (۱)، f_4 بیان‌کننده تاثیر قیود ناشی از عملکرد خودروهای برقی است و در صورتی که قیود مساله رعایت گردند، مقدار f_4 برابر با صفر خواهد شد به طور کلی مقدار f_4 به صورت رابطه ی (۸)، محاسبه می‌شود:

$$f_4 = n * k_{gr} \quad (۸)$$

در رابطه ی (۸)، n تعداد قیود رعایت نشده‌اند و k_{gr} یک عدد ثابت می‌باشد. معمولاً بزرگ‌تر از مقادیر مربوط به بخش‌های اصلی تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. تابع f_4 به منظور تبدیل مساله به یک مساله قابل حل با الگوریتم فراابتکاری و دخالت دادن قیود در تابع هدف تعریف شده است.

۲-۱- چند هدفه فازی

با توجه به این‌که توابع هدف ارائه شده در این تحقیق بیشتر از یک تابع هدف می‌باشد، برای حل این مساله بهینه‌سازی چند هدفه باید از روش‌های چند هدفه استفاده کرد. بنابراین می‌بایست روشی برای به دست آوردن یک پاسخ بینابین این توابع هدف پیدا کنیم، زیرا ممکن است بهبود یکی از توابع هدف موجب بدتر شدن سایر توابع شود. در این تحقیق از روش فازی‌سازی برای این کار استفاده شده. بر این اساس ابتدا مقدار حداکثر و حداقل هر یک از توابع هدف به طور جداگانه محاسبه می‌شود. در مرحله بعد برای بهینه‌سازی همزمان این توابع، هر کدام به عنوان یک تابع عضویت برای فازی‌سازی معرفی می‌شود. شکل (۱) سطح موفقیت تابع عضویت‌ها را در این تحقیق نشان می‌دهد.

شود. این ضریب حساسیت همواره مثبت است. جزئیات مربوط به توصیف ریاضی مساله در این حالت به شرح زیر است:

۱- زمانی که $s = t$ ، e_{st} ضریب حساسیت، خودی نامیده می شود. تنها قطع بار می تواند اتفاق بیفتد و e_{st} همواره منفی خواهد بود.

۲- زمانی که $s \neq t$ باشد، e_{st} ، ضریب حساسیت متقاطع نامیده می شود. در این حالت شیفت بار می تواند اتفاق بیفتد و e_{st} همواره مثبت خواهد بود و در ادامه تغییرات بار نیز مثبت خواهد بود.

تغییرات بار (L_t)، پس از برنامه پاسخ بار قیمت محور، طبق رابطه (۱۳) به صورت زیر محاسبه خواهد شد.

$$L_t = L_t^0 \times \left\{ 1 + e_{tt} \times \frac{[P_t - P_t^0]}{P_t^0} + \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq t}}^{24} e_{st} \times \frac{[P_s - P_s^0]}{P_s^0} \right\} \quad (13)$$

که در این رابطه، L_t تغییرات بار پس از برنامه پاسخ بار قیمت محور است.

با استفاده از برنامه پاسخ بار قیمت محور، درآمد به دست آمده از فروش توان تغییر خواهد کرد. اختلاف درآمد ناشی از فروش توان، قبل و بعد از اجرای برنامه پاسخ بار مبتنی بر زمان با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه خواهد شد. این اختلاف را نمایش می دهد.

$$\pi_t^{PB} = P_t^0 L_t^0 - (P_t^0 + \Delta P_t) L_t \quad (14)$$

در برنامه پاسخ تقاضا، ضریب حساسیت بار نسبت به تغییرات زمانی قیمت نقش مهمی در محاسبات مربوط به برنامه پاسخ تقاضا دارد. این ضریب که ناشی از میزان عکس العمل مشتریها نسبت به تغییر قیمت می باشد و به پارامترهایی مهمی از قبیل رفتار اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی بستگی دارد. ضریب حساسیت در این مقاله از مرجع [۱۱] به دست آمده است

جدول (۲) ضریب حساسیت بار نسبت به تغییرات قیمت در طول

دوره های های مختلف

	کم باری	میان باری	پیک بار
کم باری	-۰/۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶
میان باری	۰/۰۱	-۰/۲	۰/۰۰۸
پیک بار	-۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	-۰/۲

حداکثر میزان تغییرات مجاز بار در برنامه پاسخ تقاضای قیمت محور بایستی محدود گردد تا از انتقال بیش از حد بارها به کم باری جلوگیری شود چون در غیر این صورت با انتقال محدود نشده بارها از پیک بار و میان باری، به سمت کم باری، یک پیک بار جدید ایجاد خواهد شد. در این مقاله حداکثر میزان تغییرات مجاز بار در برنامه پاسخ تقاضا به ده درصد بار اولیه پیش بینی شده محدود شده است. در واقع بارها تنها مجاز به ده درصد کاهش یا افزایش بار در طول ساعت های مختلف می باشند.

حال شارژ و تعدادی در حال دشارژ خودروهای برقی باشند. مجموع ظرفیت توان تبادل شده در این دستگاهها ظرفیت کلی ایستگاه را تعیین می نماید. در هر ایستگاه مجموع کل توان شارژ و دشارژ بایستی از ظرفیت ایستگاه کوچکتر باشد:

$$0 \leq CH1_{i,t} + DisCH1_{i,t} \leq Cap_i, \quad i = 1:n \quad (10)$$

۳- قید مربوط به پیش بینی صورت پذیرفته از نحوه تبادل خودروهای برقی باشکده

مجموع توان شارژ شده به خودروهای برقی (از شبکه) منهای مجموع توان دشارژ شده به شبکه (از خودروهای برقی) بایستی برابر با میزان توان پیش بینی شده باشد. در واقع می توان رابطه ای به صورت زیر برای این قید در نظر گرفت:

$$\sum_{i=1}^n P_{Ch\ i,t} - \sum_{i=1}^n P_{Disch\ i,t} = P_{predict,t} \quad (11)$$

در رابطه بالا $P_{predict,t}$ میزان توان مصرفی پیش بینی شده برای مجموعه خودروهای برقی در شبکه در ساعت t را نمایش می دهد.

۳- پیاده سازی برنامه پاسخ تقاضا

در مدل برنامه پاسخ بار قیمت محور ارائه شده در این مقاله، شیفت بار و قطع بار هر دو در مدل برنامه پاسخ بار قیمت محور می تواند اتفاق بیفتد و رفتار مشتریها با قیمت بندی زمان های مصرف و انتقال تقاضا از زمان پیک بار به زمان های کم باری، رفتار مشتری را بهینه خواهد شد. تاثیر برنامه پاسخ بار قیمت محور، بر روی میزان مصرف مشتریها، می تواند توسط ضریب حساسیت به صورت زیر تعریف شود:

$$e_{st} = \frac{\Delta L_s / L_s^0}{\Delta P_t / P_t^0} \begin{cases} e_{st} \leq 0, & \text{if } s = t \\ e_{st} \geq 0, & \text{if } s \neq t \end{cases} \quad (12)$$

در این رابطه s بیان کننده زمان است ($s=1,2,3,\dots,T$). در رابطه (۱۲) پارامترهای موجود در رابطه به صورت زیر تعریف شده اند: ΔL_s : تغییرات بار مصرفی پس از اجرای برنامه پاسخ بار قیمت محور (قیمت محور)

L_s^0 : بار مصرفی قبل از برنامه پاسخ بار قیمت محور

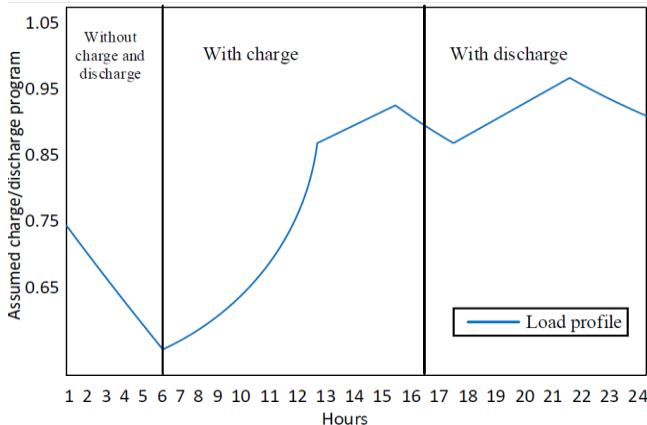
ΔP_t : تغییرات قیمت برق پس از اجرای برنامه پاسخ بار قیمت محور

P_t^0 : قیمت برق قبل از برنامه پاسخ بار قیمت محور

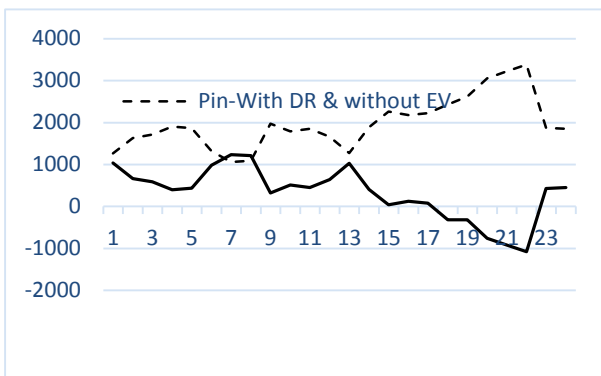
اگر قیمت برق در دوره های مختلف تفاوت کند، پاسخ مشتری می تواند به دو صورت باشد. پاسخ اول به این صورت است که، مشتری می تواند تنها برخی از بارهایی که نمی تواند آنها به دوره های دیگر منتقل کند را روشن نماید (منظور بارهای روشنایی). چنین بارهایی که تنها در یک دوره دارای حساسیت می باشند، بارهای حساس به خود نامیده می شوند. ضریب حساسیت برای این نوع بارها همواره منفی است. پاسخ دوم به این صورت است که، می توان برخی از بارها را از دوره پیک به دوره های غیر پیک یا کم مصرف منتقل نمود. چنین رفتاری حساسیت چند مرحله ای نامیده شده و با ضریب حساسیت متقاطع ارزیابی می -

نیز اجرا نمی‌شود، برابر با ۷۳ مگاوات است. زمانی که دو منبع تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود میزان توان درخواستی از شبکه به ۴۷ مگاوات کاهش می‌یابد. در این مقاله با داشتن انرژی کل روزانه ۴۷ مگاوات (در مجموع ۲۴ ساعت)، خودروهای برقی را طوری استفاده خواهیم کرد که حداقل نوسانات فرکانسی را داشته باشیم و صاف ترین منحنی بار را داشته باشیم. در واقع رفتار خودروهای برقی را با رعایت حداقل سازی انحراف فرکانسی و یکنواخت کردن منحنی بار برنامه‌ریزی کرده‌ایم.

لازم به اشاره است که زمان ورود و خروج خودروها به جایگاه شارژ با توجه به تابع توزیع ذکر شده به صورت تصادفی تولید میگردد و حضور خودروها در جایگاه شارژ با سطح نفوذ ۳۰ درصد در نظر گرفته میشود، سپس مطابق با منحنی بار، در شکل (۳) منحنی برنامه های شارژ/دشارژ خودروها انجام می گیرد.



شکل (۳) برنامه های شارژ/دشارژ خودروها در سیستم مورد مطالعه



شکل (۴) میزان مصرف خودروهای برقی و سایر بارها در شبکه ۶۹ شین استاندارد IEEE

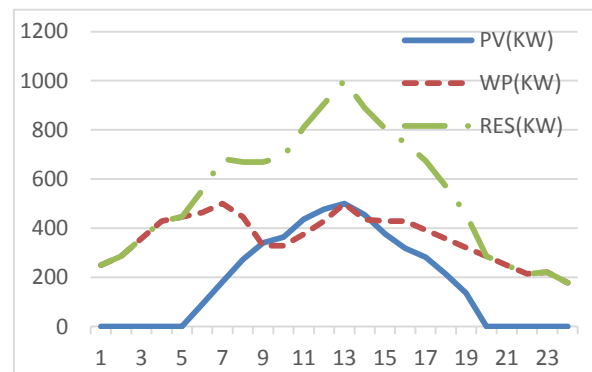
۵- حل مساله با استفاده از الگوریتم‌های فرا-ابتکاری

۵-۱- حل مساله با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در شبیه‌سازی‌های صورت پذیرفته در این بخش از الگوریتم ژنتیک باینری استفاده شده است. از اپراتور تقاطع چند سطحی بر روی ۸۰

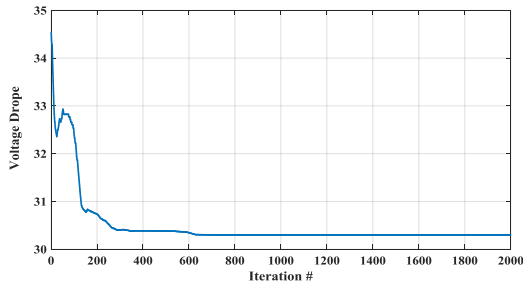
۴- حل مساله در شبکه تست نمونه

شبکه ۶۹ شین استاندارد IEEE به عنوان شبکه تست در این مقاله مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. به منظور حل مساله فوق از الگوریتم‌های فرابتکاری ژنتیک، ازدحام ذرات و رقابت استعماری استفاده شده است. در طول شبیه‌سازی‌ها ابتدا مساله با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده و نتایج به دست آمده در الگوریتم ژنتیک به عنوان ورودی به دو الگوریتم ازدحام ذرات و رقابت استعماری ارائه شده است. متغیرهای مساله شامل مکان احداث ایستگاه‌های شارژ و دشارژ بوده و وضعیت شارژ و دشارژ در ایستگاه‌ها می‌باشد. فرض شده است که دو منبع تجدیدپذیر در شین‌های ۶۳ و ۶۱، موجود باشند. علاوه بر این مجموع توان مصرفی در مجموع خودروهای برقی در شبکه در هر لحظه مشخص بوده و جزء داده های مساله می باشد. از عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر صرف نظر شده است و فرض شده است که پروفایل تولید توان الکتریکی در منابع بادی و خورشیدی به صورت شکل (۲) باشد. هر واحد تجدیدپذیر دارای هر دو منبع بادی و خورشیدی می‌باشد. حداکثر توان قابل تولید در کل مجموعه بادی و خورشیدی برابر با ۱ مگاوات در نظر گرفته شده است و فرض شده است که هر یک از منابع بادی و خورشیدی توانایی تولید حداکثر ۰/۵ مگاوات را داشته باشند. منابع تجدیدپذیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک مکان‌یابی شده‌اند. مکان آنها به نحوی انتخاب شده است که تلفات شبکه و افت ولتاژ در شبکه توزیع حداقل گردند.

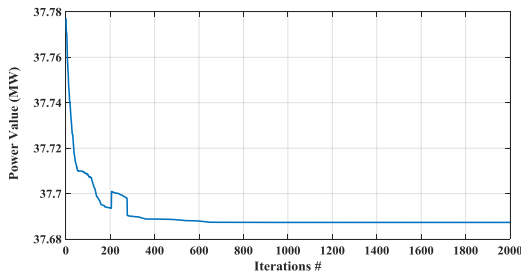


شکل (۲) توان تولیدی در منبع تجدید پذیر (برحسب کیلووات) در زمان های مختلف شبانه روز

در شبکه تست مورد بحث، فرض شده است که دو ایستگاه شارژ خودروهای برقی با ظرفیت ۱/۵ مگاوات داشته باشیم. در شکل (۴)، مجموع بار مصرفی خودروهای برقی نمایش داده شده است. در شکل فوق در ساعت‌هایی که میزان مصرف خودروهای برقی منفی می‌باشد به این معنی است که مجموعه‌ی خودروهای برقی در حال تزریق توان اکتیو به شبکه هستند و در ساعت‌هایی که میزان مصرف خودروهای برقی مثبت باشد به این معنی است که خودروهای برقی در حال دریافت انرژی از شبکه هستند. در شبکه ۶۹ شین مورد بحث میزان مصرف توان اکتیو (در مجموع ۲۴ ساعت) در شبکه در حالتی که هیچ گونه منبع تجدیدپذیر و خودرو برقی وجود ندارد و برنامه پاسخ تقاضا

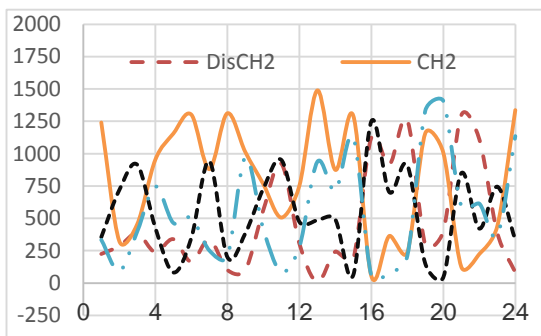


شکل (۹) منحنی مربوط به مجموع افت ولتاژ شبکه در طول الگوریتم ژنتیک



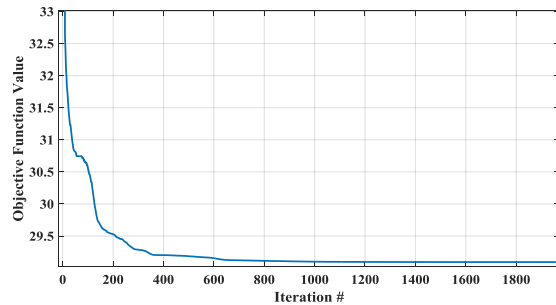
شکل (۱۰) منحنی مربوط به مجموع توان کل کشیده شده در شبکه در طول الگوریتم ژنتیک

نتایج به دست آمده در شکل های (۵) الی (۱۰) نشان می دهد که در طول الگوریتم ژنتیک، تابع هدف، تلفات، افت ولتاژ و توان کشیده شده از شین مرجع کاهش می یابند ولی هزینه های شارژ و دشارژ خودروهای برقی در شبکه افزایش می یابد. در واقع در نقطه کار بهینه، میزان بهره برداری از خودروهای برقی در شبکه افزایش یافته و خودروهای برقی نفوذ بیشتری در شبکه خواهند داشت. میزان توان کل کشیده شده در طول الگوریتم کاهش می یابد. در نقطه کار بهینه توان کشیده شده از منبع کاهش یافته و در نتیجه میزان تلفات خطوط و همچنین افت ولتاژ در شبکه نیز کاهش خواهد یافت. در این حالت مکان های بهینه برای ایجاد ایستگاه شارژ و دشارژ خودروهای برقی شین های شماره چهار و شین شماره یک می باشند. میزان شارژ و دشارژ بهینه در دو ایستگاه در شکل (۱۱) در طول ۲۴ ساعت نمایش داده شده است. زمانی که میزان شارژ و دشارژ در دو ایستگاه به صورت شکل (۱۱) باشد، هزینه ها و هم چنین تلفات توان و افت ولتاژ حداقل مقدار ممکن خواهد بود.

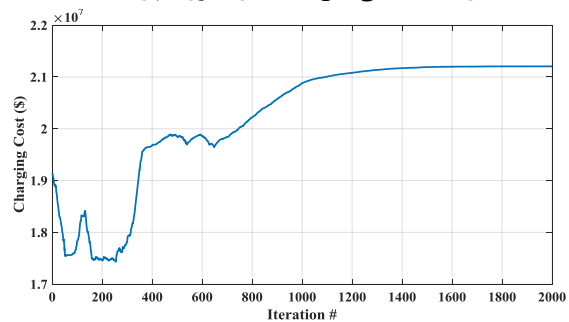


شکل (۱۱) میزان شارژ و دشارژ بهینه در ایستگاه ها

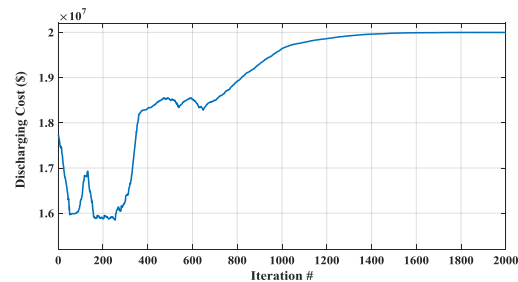
درصد اعضای هر نسل استفاده شده و اپراتور جهش بر روی ۳۰ درصد از اعضای هر نسل و بر روی ۳۰ درصد از بیت های هر کروموزوم اعمال شده است. در ادامه نتایج مربوط به شبیه سازی های این بخش در شکل های (۵) الی (۱۰) نمایش داده شده است.



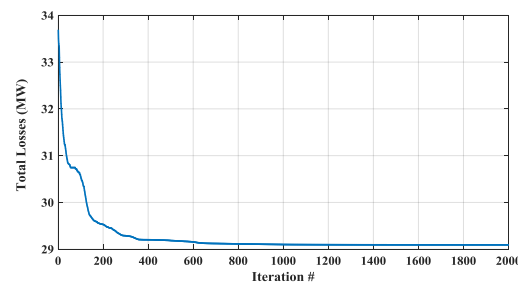
شکل (۵) منحنی تابع هدف در الگوریتم ژنتیک



شکل (۶) منحنی مجموع هزینه های شارژ خودروها در اعضای نسل در طول الگوریتم ژنتیک



شکل (۷) منحنی مجموع هزینه های دشارژ خودروها در اعضای نسل در طول الگوریتم ژنتیک



شکل (۸) منحنی مربوط به مجموع تلفات شبکه در مجموعه اعضای نسل در طول الگوریتم ژنتیک

۲-۵- حل مساله با الگوریتم ترکیبی ژنتیک -

ازدحام ذرات

در عوض پارامترهای جدید (موارد هزینه های ذکر شده) کاهش یافته و در کل تابع هدف جدید روندی نزولی به سمت پاسخ بهینه داشته باشد. البته باید این نکته را نیز در نظر گرفت که آنالیزهای صورت پذیرفته در این بخش بر روی جمع پاسخهای به دست آمده بر روی مجموعه ذرات بحث شده است و در ادامه آنالیز نتایج بر روی پاسخ بهینه نهایی صورت خواهد پذیرفت.

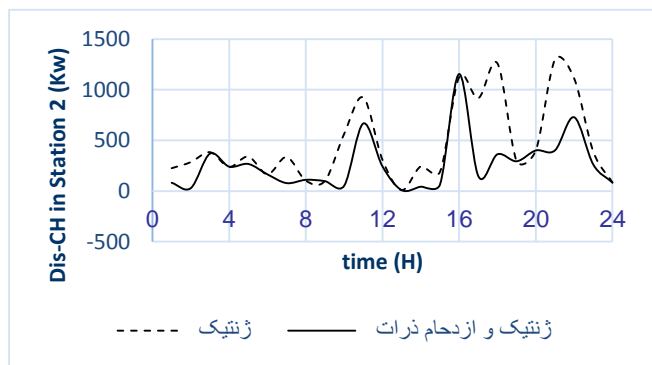
در ادامه پاسخ بهینه نهایی که با استفاده از آنالیز ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات به دست آورده ایم را مشخص خواهیم کرد و سپس پاسخ بهینه به دست آمده در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات را با پاسخ بهینه به دست آمده در الگوریتم ژنتیک مقایسه خواهیم کرد. در جدول (۳)، پاسخ بهینه به دست آمده در دو حالت استفاده از الگوریتم ژنتیک و استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات نمایش داده شده است.

همان گونه که در جدول (۳) دیده می شود، نتایج به دست آمده در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات شبیه هم بوده و تنها پارامتر افت ولتاژ نسبت به الگوریتم ژنتیک بهبود قابل توجهی داشته است. در مورد هزینه های مربوط به شارژ و دشارژ خودروهای برقی نیز میزان کاهش نسبتاً قابل توجه می باشد. الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات، محل بهینه برای ایجاد ایستگاه شارژ خودروهای برقی را شین های شماره یک و سیزده پیشنهاد می کند، در حالی که در الگوریتم ژنتیک شین های شماره یک و شماره چهار به عنوان محل ایجاد ایستگاه های شارژ خودروهای برقی پیشنهاد شده بود. با توجه به این که تابع هدف در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات مقدار کمتری دارد لذا محل مناسب تر برای ایجاد ایستگاه های شارژ خودروهای برقی، شین های شماره سیزده و شماره یک بایستی در نظر گرفته شود.

شکل های (۱۲) و (۱۳) به ترتیب بیان کننده میزان شارژ در ایستگاه های شماره یک و شماره دو می باشند. همان گونه که در این دو شکل دیده می شود منحنی شارژ دو ایستگاه تقریباً شبیه هم بوده و در ایستگاه شماره دو این شباهت بیشتر می باشد. در ایستگاه شماره یک میزان شارژ در الگوریتم ترکیبی نسبت به الگوریتم ژنتیک کاهش داشته است. شکل های (۱۴) و (۱۵)، به ترتیب بیان کننده میزان دشارژ در ایستگاه های شماره یک و شماره دو می باشند. همان گونه که در این دو شکل دیده می شوند منحنی های مربوط به دشارژ دو ایستگاه در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات شباهت زیادی دارند، که البته این شباهت در منحنی دشارژ ایستگاه شماره یک بیشتر بوده و در منحنی های دشارژ ایستگاه شماره دو، در الگوریتم ترکیبی میزان دشارژ نسبت به الگوریتم ژنتیک کاهش یافته است. جمع بندی کلی آنالیز این بخش را می توان به این صورت انجام داد که هر دو الگوریتم ژنتیک و ترکیبی به نتایجی تقریباً مشابه هم رسیده است که این موضوع صحت نتایج به دست آمده را تایید می کند و هم- چنین با توجه به این که اندازه تابع هدف به دست آمده در الگوریتم

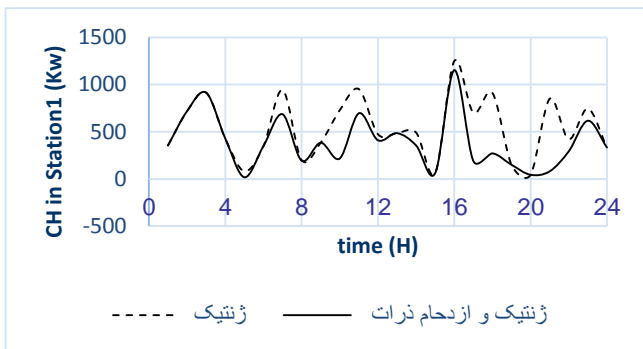
در این بخش مساله جایابی بهینه و عملکرد بهینه ایستگاه های شارژ خودروهای برقی را با استفاده از یک الگوریتم ترکیبی حل خواهیم کرد. در این الگوریتم ترکیبی از الگوریتم های ژنتیک و ازدحام ذرات (PSO) در کنار یکدیگر استفاده خواهیم کرد. در الگوریتم ترکیبی مورد نظر تابع هدف به دو قسمت مجزا تقسیم شده و در ابتدا جواب بهینه با در نظر گرفتن تلفات شبکه و افت ولتاژ شبکه توسط الگوریتم ژنتیک مشخص خواهد شد. در ادامه جواب های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک به عنوان ورودی به الگوریتم ازدحام ذرات داده خواهد شد. در الگوریتم ازدحام ذرات هزینه خرید توان از شبکه، هزینه های مربوط به شارژ خودروهای برقی و هزینه های مربوط به دشارژ خودروهای برقی بهینه خواهند شد. در هر دو الگوریتم متغیرهای مساله مشابه هم بوده و در واقع متغیرهای مساله همان موقعیت دو ایستگاه شارژ و هم چنین وضعیت شارژ و دشارژ در دو ایستگاه شارژ می باشد. برای حل مساله جایابی بهینه ایستگاه شارژ خودروهای برقی و عملکرد بهینه خودروهای برقی در شبکه از الگوریتم ازدحام ذرات باینری استفاده خواهیم کرد. در الگوریتم انبوه ذرات باینری فضای جستجو (جوابها) کمیت هایی باینری بوده و تمامی متغیرها رشته هایی (مانند کروموزوم های الگوریتم ژنتیک) از صفر و یک هستند. در واقع در مساله ما هر جواب (مکان هر ذره یا ذره) یک رشته ای از صفر و یک با تعداد بیت هایی برابر با تعداد شین های مساله خواهد بود. هم چنین سرعت نیز رشته ای از مقادیر صفر و یک خواهد بود.

به طور کلی نتایج به دست آمده در این بخش نشان می دهد که در پاسخ بهینه نهایی پس از ۱۵۰۰ مرحله در الگوریتم ازدحام ذرات، میزان تلفات و هزینه کل در طول الگوریتم ازدحام ذرات (نسبت به موقعیت اولیه ذرات که خروجی های الگوریتم ژنتیک هستند) به ترتیب ۰/۰۹٪ و ۰/۰۱٪ افزایش داشته اند. اما هزینه های مربوط به شارژ و دشارژ خودروهای برقی و هم چنین افت ولتاژ و تابع هدف بترتیب ۰/۲۷٪، ۰/۳٪، ۰/۴٪ و ۱۲/۴٪ کاهش یافته اند. در واقع با توجه به این که تابع هدف به میزان ۳/۴۸٪ کاهش یافته است لذا روند مشاهده شده در الگوریتم ازدحام ذرات مورد تایید می باشد چون تابع هدف روندی نزولی داشته است. البته ذکر این نکته نیز لازم است که در پارامترهای که افزایش داشته اند میزان افزایش بسیار ناچیز بوده و حداکثر مقدار افزایش در حدود ۰/۰۹٪ می باشد. علت افزایش برخی پارامترها که بایستی در کل روندی نزولی باید داشته باشند را می توان این گونه تفسیر کرد که چون در بخش ژنتیک و بخش ازدحام ذرات الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات، تابع هدف متفاوت می باشد و در بخش ژنتیک الگوریتم ترکیبی هزینه های مربوط به شارژ و دشارژ و هزینه خرید توان در نظر گرفته نشده اند، لذا برخی پارامترهای بهینه شده در الگوریتم ژنتیک زمانی که با در نظر گرفتن پارامترهای دیگر در الگوریتم ازدحام ذرات بهینه می شوند لذا کمی افزایش می یابند تا



شکل (۱۵) مقایسه میزان دشارژ بهینه در ایستگاه شماره دو در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات

ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک کوچکتر می باشد لذا پاسخ بهینه تر را می توان همان نتایج بهینه به دست آمده در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات در نظر گرفت.

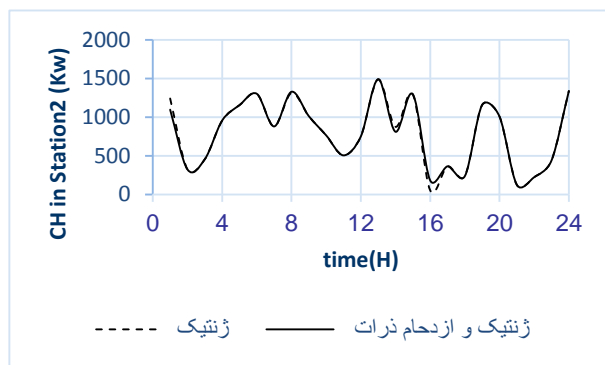


شکل (۱۲) مقایسه میزان شارژ بهینه در ایستگاه شماره یک در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات

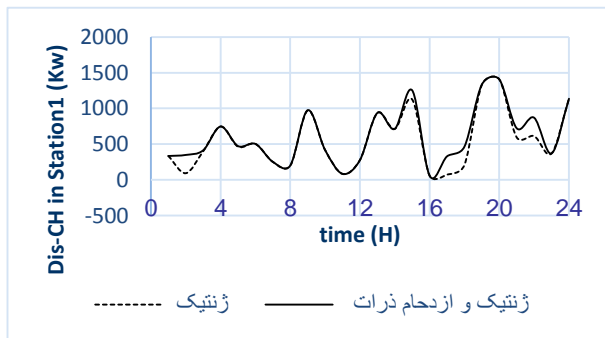
۳-۵- حل مساله با الگوریتم ترکیبی ژنتیک - رقابت استعماری

در این بخش مساله جایابی و برنامه ریزی بهینه ایستگاه های شارژ خودروهای برقی را با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک-رقابت استعماری حل خواهیم کرد. در این بخش کلیه پارامترهای مربوط به مساله که شامل تلفات شبکه، افت ولتاژ و هزینه های شارژ و دشارژ و هزینه خرید توان از شبکه هستند را در نظر گرفته و هم چنین پاسخ های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک به دست آمده را به عنوان جواب های اولیه در نظر خواهیم گرفت. در الگوریتم ژنتیک تنها دو عامل تلفات و افت ولتاژ در شبکه به عنوان پارامترهای تابع هدف در نظر گرفته شده بودند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک این دو مقدار بهینه گردیده اند. در ادامه الگوریتم ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری، نتایج به دست آمده برای تلفات و افت ولتاژ در الگوریتم ژنتیک به عنوان ورودی (وضعیت اولیه کشورها) به بخش رقابت استعماری الگوریتم ترکیبی داده شده و سپس در بخش رقابت استعماری الگوریتم ترکیبی، با در نظر گرفتن پارامترهای تلفات، افت ولتاژ، هزینه های شارژ و دشارژ و هزینه خرید توان از شبکه، پاسخ بهینه نهایی مساله مشخص خواهد گردید. در شبیه سازی های صورت پذیرفته در الگوریتم رقابت استعماری، تعداد اولیه کشورها برابر با ۵۰ عدد در نظر گرفته شده و تعداد امپراطورهای برابر با ۱۰ عدد می باشد.

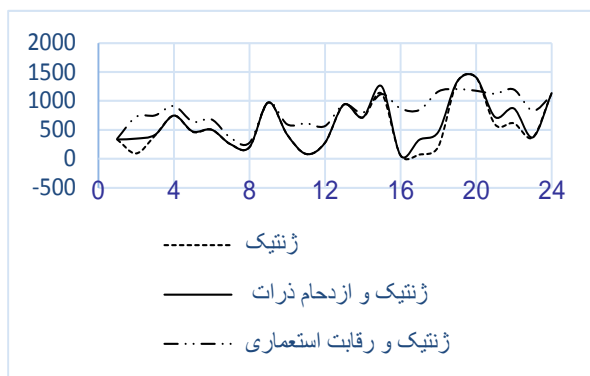
در جدول (۴) نتایج به دست آمده برای بخش های مختلف تابع هدف در سه الگوریتم ژنتیک، ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات و ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری نمایش داده شده است. همان گونه که در این جدول دیده می شود نتایج به دست آمده برای الگوریتم ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری بهتر از الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات بوده و نتایج به دست آمده در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری بهتر از نتایج به دست آمده در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات می باشد. محل بهینه ایجاد ایستگاه شارژ خودروهای برقی در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری، شین های شماره دو و پانزده می باشد در حالی که الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات شین های



شکل (۱۳) مقایسه میزان شارژ بهینه در ایستگاه شماره دو در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات



شکل (۱۴) مقایسه میزان دشارژ بهینه در ایستگاه شماره یک در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات



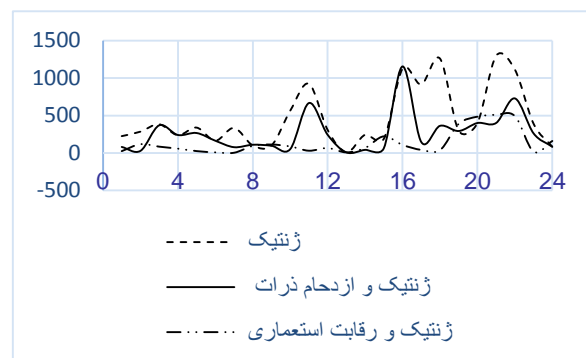
شکل (۱۹) الگوی دشارژ بهینه در ایستگاه شماره یک در الگوریتم های ژنتیک، ژنتیک- ازدحام ذرات و ژنتیک- رقابت استعماری

در شکل های (۱۶) الی (۱۹) الگوهای شارژ بهینه در طول ۲۴ ساعت شبانه روز در سه الگوریتم ژنتیک، ژنتیک- ازدحام ذرات و ژنتیک- رقابت استعماری نمایش داده شده اند. همان گونه که در این شکل ها دیده می شوند، پاسخ های به دست آمده در سه الگوریتم الگوی تقریباً مشابهی را برای شارژ و دشارژ در ایستگاهها پیشنهاد می کنند با توجه به این که اهداف تابع هدف (شامل کاهش هزینه ها، کاهش تلفات و کاهش افت ولتاژ) در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری بیشتر برآورده شده بود لذا الگوی شارژ و دشارژ ارائه شده در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری به عنوان پاسخ بهینه نهایی در نظر گرفته خواهد شد.

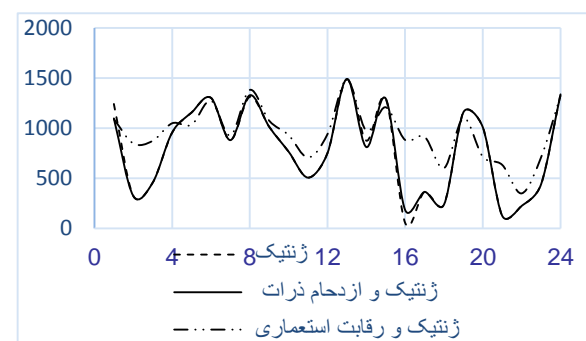
۵- نتیجه گیری

در این مقاله مکان یابی احداث ایستگاه های شارژ و دشارژ و برنامه ریزی بهینه خودروهای برقی در ایستگاهها مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع هدف اصلی این مقاله دستیابی به الگوهای شارژ و دشارژ بهینه در محل های مناسبی از شبکه است، به نحوی که این کار هزینه ها را کاهش داده و برخی اهداف تکنیکال را در شبکه توزیع به دنبال داشته باشد. همچنین در این مقاله یک الگوی اولیه از میزان شارژ و دشارژ کلی در شبکه ارائه شده است. میزان شارژ و دشارژ کلی در شبکه طوری در نظر گرفته شده است که میزان توان جذب شده در کل شبکه تقریباً یکنواخت باشند. البته قبل از برنامه ریزی میزان شارژ و دشارژ از منابع تولید پراکنده در شبکه استفاده شده و همچنین برنامه پاسخ تقاضا نیز اجرا شده است. استفاده از منابع تولید پراکنده باعث میزان کاهش توان ورودی به شبکه شده و دستیابی به اهداف مقاله که شامل کاهش تلفات، افت ولتاژ و هزینه های بهره برداری می شود را میسر می سازد. در ادامه با در نظر گرفتن ایستگاه های شارژ در چند نقطه از شبکه، محل ایستگاهها و همچنین میزان شارژ و دشارژ در هر ایستگاه در هر ساعت طوری محاسبه شده است که میزان تلفات شبکه، میزان افت ولتاژ در شبکه و میزان هزینه پرداخت شده بابت خرید توان کل مصرفی شبکه کاهش یابد. مساله فوق در یک شبکه ۶۹ شین استاندارد IEEE مورد بررسی قرار گرفته است. برای حل مساله از سه

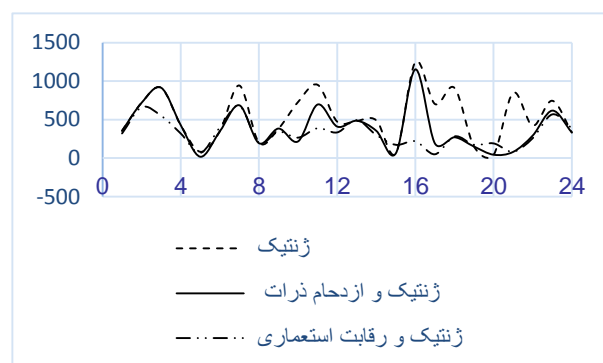
شماره یک و سیزده و الگوریتم ژنتیک شین های شماره یک و چهار را پیشنهاد می کرد. با توجه به این که الگوریتم رقابت استعماری پاسخ های بهتری را نمایش می دهد لذا محل احداث ایستگاه های شارژ خودروهای برقی را شین های شماره دو و پانزده انتخاب می کنیم. با توجه به موقعیت شین ها در شبکه، جواب های به دست آمده در خصوص محل احداث شین ها تقریباً در دو الگوریتم مشابه بوده و تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند.



شکل (۱۶) الگوی دشارژ بهینه در ایستگاه شماره دو در الگوریتم های ژنتیک، ژنتیک- ازدحام ذرات و ژنتیک- رقابت استعماری



شکل (۱۷) الگوی شارژ بهینه در ایستگاه شماره دو در الگوریتم های ژنتیک، ژنتیک- ازدحام ذرات و ژنتیک- رقابت استعماری



شکل (۱۸) الگوی شارژ بهینه در ایستگاه شماره یک در الگوریتم های ژنتیک، ژنتیک- ازدحام ذرات و ژنتیک- رقابت استعماری

رقابت استعماری و ازدحام ذرات ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، الگوریتم ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری نسبت به دو الگوریتم دیگر، همگرایی بالا و نتایج بهتری جهت کاهش توابع هدف را داشته و به همین دلیل مکان ایستگاه های شارژ، همان مکان انتخاب شده با این الگوریتم بهینه سازی ترکیبی خواهد بود.

الگوریتم فراابتکاری ژنتیک، ازدحام ذرات و رقابت استعماری استفاده شده است. در ابتدا مساله با در نظر گرفتن تمامی اجزاء تابع هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است و در ادامه مجدداً مساله با در نظر گرفتن بخشی از تابع هدف در الگوریتم ژنتیک حل شده و نتایج به دست آمده در الگوریتم ژنتیک به عنوان ورودی به دو الگوریتم

جدول (۳) مقایسه نتایج به دست آمده در الگوریتم ژنتیک با نتایج به دست آمده در الگوریتم ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات

الگوریتم	تلفات	افت ولتاژ	هزینه شارژ	هزینه دشارژ	هزینه خرید توان	هزینه کل	توان کل خریداری شده
ژنتیک	۱/۷۳۴ مگاوات	۲۱/۶۹ پریونیت	۴۲۴۱۰۰ دلار	۳۹۹۹۶۷ دلار	۸۸۶۶۱۷ دلار	۹۱۰۷۵۰ دلار	۵۵/۰۸۴ مگاوات
ژنتیک- ازدحام ذرات	۱/۷۵۱۱ مگاوات	۱۸/۹ پریونیت	۳۶۸۰۹۵ دلار	۳۳۸۳۶۱ دلار	۸۸۶۵۸۴ دلار	۹۱۶۳۱۸ دلار	۵۵/۰۸۸ مگاوات

جدول (۴) مقایسه نتایج به دست آمده در الگوریتم های ژنتیک، ترکیبی ژنتیک- ازدحام ذرات و ترکیبی ژنتیک- رقابت استعماری

الگوریتم	تلفات	افت ولتاژ	هزینه شارژ	هزینه دشارژ	هزینه خرید توان	هزینه کل	توان کل خریداری شده
ژنتیک	۱/۷۳۴ مگاوات	۲۱/۶۹ پریونیت	۴۲۴۱۰۰ دلار	۳۹۹۹۶۷ دلار	۸۸۶۶۱۷ دلار	۹۱۰۷۵۰ دلار	۵۵/۰۸۴ مگاوات
ژنتیک- ازدحام ذرات	۱/۷۵۱۱ مگاوات	۱۸/۹ پریونیت	۳۶۸۰۹۵ دلار	۳۳۸۳۶۱ دلار	۸۸۶۵۸۴ دلار	۹۱۶۳۱۸ دلار	۵۵/۰۸۸ مگاوات
ژنتیک- رقابت استعماری	۱/۵۵ مگاوات	۱۳/۲۲ پریونیت	۳۹۷۹۶۵ دلار	۳۷۱۲۱۸ دلار	۸۸۶۵۴۸ دلار	۹۱۳۳۳۱ دلار	۵۵/۰۳۷ مگاوات

HPSO-TVAC-based dynamic economic dispatch of generating units. *Electric Power Components and Systems*, 47(19-20), 1826-1840.

Shamshirband, M., Salehi, J., & Gazijahani, F. S. (2019). Look-ahead risk-averse power scheduling of heterogeneous electric vehicles aggregations enabling V2G and G2V systems based on information gap decision theory. *Electric Power Systems Research*, 173, 56-70.

Zand, M., Chamorro, H. R., Nasab, M. A., & Hosseinian, S. H. Optimal reactive power dispatch using θ -social mimic optimization (θ -SMO). *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-15.

Tightiz, L., Nasab, M. A., Yang, H., & Addeh, A. (2020). An intelligent system based on optimized ANFIS and association rules for power transformer fault diagnosis. *ISA transactions*, 103, 63-74.

Zheng, Y., Niu, S., Shang, Y., Shao, Z., & Jian, L. (2019). Integrating plug-in electric vehicles into power grids: A comprehensive review on power interaction mode, scheduling methodology and mathematical foundation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 424-439.

Mouli, G. C., Bauer, P., & Zeman, M. (2016). System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces. *Applied Energy*, 168, 434-443.

Zand, M., Eskandari, M., Nasab, M. A., Moradi, M. H., & Abedini, M. (2021). A Hybrid Scheme for Fault Locating in Transmission Lines Compensated by the Thyristor-Controlled Series Capacitors. In *IPAPS*.

Zand, M., Nasab, M. A., Neghabi, O., Khalili, M., & Goli, A. (2019). Fault locating transmission lines with thyristor-controlled series capacitors By fuzzy logic method. In *2020 14th International Conference on Protection and Automation of Power Systems (IPAPS)* (pp. 62-70). IEEE.

Hafez, O., & Bhattacharya, K. (2017). Optimal design of electric vehicle charging stations considering various energy resources. *Renewable energy*, 107, 576-589.

Tabatabaee, S., Mortazavi, S. S., & Niknam, T. (2017). Stochastic scheduling of local distribution systems considering high penetration of plug-in electric vehicles and renewable energy sources. *Energy*, 121, 480-490.

مراجع

Canale, L., Di Fazio, A. R., Russo, M., Frattolillo, A., & Dell'Isola, M. (2021). An Overview on Functional Integration of Hybrid Renewable Energy Systems in Multi-Energy Buildings. *Energies*, 14(4), 1078.

Zand, M., Nasab, M. A., Hatami, A., Kargar, M., & Chamorro, H. R. (2020, August). Using adaptive fuzzy logic for intelligent energy management in hybrid vehicles. In *2020 28th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 1-7). IEEE.

Ahmadi-Nezamabad, H., Zand, M., Alizadeh, A., Vosoogh, M., & Nojavan, S. (2019). Multi-objective optimization based robust scheduling of electric vehicles aggregator. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101494.

Ahmadi, S., Arabani, H. P., Haghghi, D. A., Guerrero, J. M., Ashgevari, Y., & Akbarimajd, A. (2020). Optimal use of vehicle-to-grid technology to modify the load profile of the distribution system. *Journal of Energy Storage*, 31, 101627.

Solanke, T. U., Ramachandramurthy, V. K., Yong, J. Y., Pasupuleti, J., Kasinathan, P., & Rajagopalan, A. (2020). A review of strategic charging-discharging control of grid-connected electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 28, 101193.

Zand, M., Nasab, M. A., Khoobani, M., Jahangiri, A., Hosseinian, S. H., & Kimiai, A. H. (2021, February). Robust Speed Control for Induction Motor Drives Using STSM Control. In *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)* (pp. 1-6). IEEE.

Jannati, J., & Nazarpour, D. (2018). Multi-objective scheduling of electric vehicles intelligent parking lot in the presence of hydrogen storage system under peak load management. *Energy*, 163, 338-350.

Fathy, A., & Abdelaziz, A. Y. (2020). Competition over resource optimization algorithm for optimal allocating and sizing parking lots in radial distribution network. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121397.

Ghasemi, M., Akbari, E., Zand, M., Hadipour, M., Ghavidel, S., & Li, L. (2019). An efficient modified

- Jiang, X., Wang, J., Han, Y., & Zhao, Q. (2017). Coordination dispatch of electric vehicles charging/discharging and renewable energy resources power in microgrid. *Procedia Computer Science*, 107, 157-163.
- Rahmani-andebili, M. (2016). Modeling nonlinear incentive-based and price-based demand response programs and implementing on real power markets. *Electric Power Systems Research*, 132, 115-124.
- Moradi, M. H., Abedini, M., Tousi, S. R., & Hosseinian, S. M. (2015). Optimal siting and sizing of renewable energy sources and charging stations simultaneously based on differential evolution algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 1015-1024.
- Kühnbach, M., Bekk, A., & Weidlich, A. (2021). Prepared for regional self-supply? On the regional fit of electricity demand and supply in Germany. *Energy Strategy Reviews*, 34, 100609.
- Chondrogiannis, S., Poncela-Blanco, M., Marinopoulos, A., Marneris, I., Ntomaris, A., Biskas, P., & Bakirtzis, A. (2021). Power system flexibility: A methodological analytical framework based on unit commitment and economic dispatch modelling. In *Mathematical Modelling of Contemporary Electricity Markets* (pp. 127-156). Academic Press.
- Basu, M. (2021). Heat and power generation augmentation planning of isolated microgrid. *Energy*, 223, 120062.
- Alismail, F., Abdulgalil, M. A., & Khalid, M. (2021). Optimal Coordinated Planning of Energy Storage and Tie-Lines to Boost Flexibility with High Wind Power Integration. *Sustainability*, 13(5), 2526.
- Parsa, N., Bahmani-Firouzi, B., & Niknam, T. (2021). A social-economic-technical framework for reinforcing the automated distribution systems considering optimal switching and plug-in hybrid electric vehicles. *Energy*, 220, 119703.
- Lugovoy, O., Gao, S., Gao, J., & Jiang, K. (2021). Feasibility study of China's electric power sector transition to zero emissions by 2050. *Energy Economics*, 96, 105176.
- Alshaalan, A. (2021). Basic Concepts of Electric Power System Planning: Contracting for Reliability and Cost Effectiveness. In *Innovative and Agile Contracting for Digital Transformation and Industry 4.0* (pp. 306-325). IGI Global.
- Zand, M., Nasab, M. A., Sanjeevikumar, P., Maroti, P. K., & Holm-Nielsen, J. B. (2020). Energy Management Strategy for Solid State Transformer based Solar Charging Station for Electric Vehicles in Smart Grids. *IET Renewable Power Generation*, 14(18), 3843-3852.