تعیین مکان بهینه‌ی ایستگاه‌های شارژ سریع خودروی برقی با در نظر گرفتن امکان تبادل بین نواحی (مطالعه موردی شهر مشهد)

مهران آزاد[1] محسن قاینی[2]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی سجاد-مشهد- ایران
m.azad@igegroup.ir

۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی سجاد - مشهد - ایران
m_ghayeni@sadjad.ac.ir

چکیده: در این مقاله روش جدیدی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ سریع خودروی برقی با دیدگاه ناحیه‌بندی و با در نظر گرفتن ضریب تبادل بین نواحی پیشنهاد شده است. ابتدا شهر مورد نظر به نواحی مشخصی تقسیم‌بندی می‌گردد و سپس با استفاده از پارامترهای تراکم خودروهای برقی، وجود زمین مورد نیاز و دید اجتماعی ناظر بر منطقه (قیمت زمین)، نقاط کاندید اولیه در هر ناحیه مشخص می‌شود. با در نظر گرفتن قیمت زمین و فاصله از پست توزیع فشار متوسط به عنوان پارامترهای اصلی، مکان‌یابی احداث ایستگاه بصورت یک مسأله‌ی بهینه‌سازی تعریف و با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل می‌گردد. در روش پیشنهادی علاوه بر این که محل احداث ایستگاه مشخص می‌شود، تعداد واحدهای شارژ سریع در هر ایستگاه یعنی ظرفیت آن نیز تعیین می‌گردد. در الگوریتم پیشنهادی با تعریف ضریب تبادل بین نواحی مجاور امکان جابه‌جایی واحدهای شارژ در نظر گرفته شده است تا متناسب با قیمت زمین در هر ناحیه بتوان تعداد واحدهای شارژ را منعطف تعریف کرد. این روش برای کلان شهر مشهد مقدس با در نظرگرفتن ۹ ناحیه مطابق با امور شرکت توزیع برق مشهد پیاده سازی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی آن برای سناریوهای مختلف ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: خودروی برقی، ایستگاه شارژ سریع، جایابی، ناحیه‌بندی، ضریب تبادل، الگوریتم ژنتیک.

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.19.1.319

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۷/۳۰

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۷

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر محسن قاینی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – مشهد – جلال آل احمد۶۴ – دانشگاه صنعتی سجاد – معاونت آموزشی دانشگاه

۱- مقدمه

در یک دهه‌ی اخیر، با توجه به پیشرفت فناوری باتری‌ها و مدیریت شبکه برق، نگرانی‌ها در خصوص قیمت نفت و نیاز به کاهش گازهای گلخانه‌ای، تحولی اساسی در تولید خودروهای برقی صورت گرفته است. گسترش خودروهای برقی رشد بسیار زیادی دارد به طوری که در کشور ژاپن در حال حاضر تعداد ایستگاه های شارژ خودروی برقی از پمپ‌های بنزین آن کشور بیشتر است. ژاپن پس از آمریکا بیشترین تعداد خودروی برقی را داراست[۱]. از سال ۲۰۰۹ تا سپتامبر ۲۰۱۴ تعداد ۹۵ هزار خودروی برقی در این کشور به فروش رفته است. دولت ژاپن در برنامه‌ای که تا سال ۲۰۱۴ میلادی تمدید شد یارانه‌ای حدود ۸۵۰۰ دلار به خریداران خودروی برقی پرداخت می‌کرد. دولت کانادا از ۲۱ ژوئن ۲۰۱۰ تخفیفی به میزان ۵۰۰۰ دلار برای خرید خودروهای برقی تا سقف KWH ۴ و تا ۸۵۰۰ دلار کانادا برای خرید خودروهای برقی تا سقف KWH ۱۷ در نظر گرفته است. این تخفیف به ۱۰،۰۰۰ نفر اولی که به خرید خودروهای برقی در این کشور اقدام می‌کنند، اختصاص می یابد[۱و۲]. با توجه به حمایت های گسترده‌ای که دولت ها از خودروهای برقی دارند می‌توان به جرات گفت طبق پیش‌بینی‌های انجام شده تا پایان سال ۲۰۲۰ بتوان ۳۰٪ از خودروهای کل دنیا را به صورت الکتریکی مشاهده کرد[۳].

مهم‌ترین چالش در بهره‌برداری از خودروهای برقی شارژ باتری‌های این خودروهاست. اگر مالک یک خودروی بنزینی سوخت تمام کند با استفاده از چند لیتر بنزینی که می‌تواند از دیگر خودروها بگیرد خود را به نزدیک‌ترین پمپ بنزین می‌رساند اما در خودروهای برقی در صورتی که شارژ باتری به اتمام برسد تنها راه جابجایی خودرو یدک‌کش کردن آن تا نزدیک‌ترین محل برای شارژ است. بنابراین یکی از دغدغه‌های اصلی، داشتن برنامه‌ریزی مناسب برای شارژ خودروهای برقی است. انواع روش های شارژ را می توان به سه دسته شارژ مسکونی، شارژ عمومی و شارژ سریع دسته بندی کرد[۴].

شارژرهای مسکونی: در این روش شارژ، مشترک می‌تواند خودروی خود را به پریزهایی که به منظور شارژ خودروی برقی در منازل مسکونی تعبیه شده است متصل نماید. شارژ از طریق این روش زمان نسبتاً زیادی نیاز دارد. شارژ کامل یک خودروی برقی با باتری‌های متوسط حدود ۱۵ ساعت به طول می‌انجامد. از نقاط ضعف این نوع شارژرها می‌توان به زمان شارژ طولانی، مشخص نبودن زمان اتصال خودروها به پریز برای شبکه سراسری و لذا تاثیر منفی بر شبکه برق و نیاز به تغییر در سیم کشی ساختمان اشاره کرد و از جمله مزایای این روش می‌توان به دسترسی آسان و قابلیت شارژ در زمان‌های دلخواه اشاره کرد[۵].

شارژرهای عمومی: دولت‌ها برای این که بتوانند مردم را به استفاده از خودروهای برقی ترغیب نمایند در مکان‌های عمومی نظیر پارکینگ‌ها، ادارات و مراکز تفریحی تجاری واحدهای کوچکی برای شارژ رایگان خودروی برقی قرار می‌دهند که مالکین این خودروها می‌توانند در زمان پارک خودروی خود، همزمان کار شارژ را نیز انجام دهند. در این حالت خودرو عموماً خالی از شارژ نیست و همیشه باتری‌ها تا مقداری شارژ دارند از طرفی در این ایستگاه‌های شارژ، نیاز به مدت زمان کمتری نسبت به حالت شارژ مسکونی است. مطالعات متعددی برای مدیریت شارژ خودروها در پارکینگ‌ها انجام شده است.

ایستگاه‌های شارژ سریع[۱]: این ایستگاه‌ها که به مرور زمان جایگزین پمپ‌های بنزین خواهند شد دقیقاً شرایطی مانند پمپ بنزین دارند. در این ایستگاه‌ها عمل شارژ خودروی برقی با سرعت بسیار زیادی صورت می‌پذیرد به طوری که یک خودرو بین ده تا پانزده دقیقه شارژ کامل می‌شود. واحدهای شارژ در این ایستگاه‌ها مانند پمپ‌های بنزین هستند و خودروها به ترتیب به نازل‌های شارژ متصل می‌شوند. این ایستگاه‌ها باید در نقاط مختلف شهرها به مانند جایگاه‌های پمپ بنزین گسترش یابند تا دارندگان خودروهای برقی آرامش روانی در استفاده از این خودروها داشته باشند. از معایب این نوع ایستگاه‌ها می‌توان به سرمایه‌گذاری زیاد، غیرخطی و نامعلوم بودن اندازه‌ی بار شبکه و لذا نیاز به مکان یابی صحیح در شبکه‌ی برق اشاره کرد که در کنار آن مزایایی همچون در دسترس بودن، سرعت شارژ بالا، استفاده بهتر از زمان، ارزان‌تر تمام شدن قیمت سوخت و مدیریت بار شبکه را دارد[۶و۷].

ایستگاه‌های شارژ سریع و جایابی آن از نظر فنی و اقتصادی از دیدگاه سه محور مختلف مالک ایستگاه، مالک خودروی برقی و شرکت برق قابل بررسی است[۸]. بخش اول آن مالک ایستگاه شارژ است، می‌دانیم مالک ایستگاه به دنبال کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و افزایش سود حاصل از فروش انرژی برق است، لذا تابع اقتصادی مالک شامل مسائل گوناگونی از جمله قیمت زمین، هزینه‌ی اتصال به شبکه و نوع تعرفه‌گذاری برای فروش انرژی برق می‌گردد. بخش دوم آن مراجعه‌کنندگان به ایستگاه هستند که تعرفه‌گذاری قیمت برق باید به شکلی باشد که مالک خودرو تمایل داشته باشد برای شارژ خودروی خود به ایستگاه‌های شارژ سریع خودروی برقی مراجعه نماید و از طرفی در دسترس بودن جایگاه و کاهش زمان انتظار اهمیّت بسیار زیادی برای مالک خودروی برقی دارد[۹]. بخش سوم شرکت‌های توزیع برق هستند که وظیفه تأمین انرژی ایستگاه را به عهده دارند. برای آن‌ها مباحثی مانند نحوه‌ی اتصال ایستگاه‌ها به شبکه، ظرفیت خطوط و ترانس‌های شبکه و تلفات شبکه اهمیت دارد[۱۰].

در راه‌اندازی ایستگاه شارژ سریع مباحث گوناگونی مانند تأمین انرژی ایستگاه[۱۱]، طراحی مناسب ساختار الکتریکی آن و جایابی آن مطرح است که در این مقاله موضوع جایابی مورد مطالعه است. جایابی ایستگاه شارژ سریع باید به شکلی باشد که هر سه گروه مرتبط یعنی مالک ایستگاه، دارندگان خودروهای برقی و شرکت‌های برق از رضایت نسبی برخوردار شوند. یکی از نکات اولیه موقعیت جغرافیایی احداث ایستگاه است که هم باید در مسیر جاده ها نصب گردد [۱۲] و هم در

نقاط مختلف شهری در دسترس باشد. مرجع [۱۳] جایابی ایستگاه‌ها در شهر بارسلونا را مورد بررسی قرار داده است. در جایابی پارامترهای متنوعی تاثیرگذار هستند که مهم‌ترین آنها عبارتند از: وجود زمین با قیمت مناسب در محل نصب و راه اندازی ایستگاه، دوری و نزدیکی ایستگاه از شبکه توزیع فشار متوسط، تراکم خودروهای برقی موجود و روند رشد آن در آینده، میزان تأثیر ایستگاه شارژ سریع بر تلفات شبکه برق، تعداد واحدهای شارژی که قرار است در ایستگاه قرار بگیرند که اصطلاحاً به آن اندازه‌ی ایستگاه گفته می‌شود.

در مرجع [۱۴]جایابی ایستگاه‌های شارژ سریع خودروی برقی برای یک ناحیه و با در نظر گرفتن دو پارامتر وضعیت ترافیکی خودروها و تراکم خطوط فوق توزیع به عنوان پارامترهای اصلی انجام شده است. تابع هدف کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری تعریف شده و برای حل مسئله از تئوری کلونی زنبور عسل[۲] بهره گرفته‌اند. در پژوهش دیگری به وجود خودروهای برقی در محل‌های احداث ایستگاه توجه گردیده است بدین نحو که با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان[۳] حضور خودروها در مناطق مختلف را پیش بینی نموده و در مکان‌هایی که بیشترین احتمال حضور خودروی برقی وجود دارد ایستگاه شارژ سریع احداث می گردد [۱۵]. از دیدگاه مالک جایگاه بهترین نقطه برای احداث جایگاه شارژ سریع مکانی است که کمترین هزینه را داشته باشد. هزینه‌های احداث جایگاه شارژ سریع شامل هزینه‌ی زمین که مهمترین هزینه برای سرمایه‌گذار است، هزینه‌ی تجهیزات ایستگاه شارژ که تقریبا ثابت بوده و به ظرفیت جایگاه بستگی دارد و هزینه‌ی اتصال به شبکه، که به فاصله جایگاه از پست یا خطوط توزیع بستگی دارد. در پژوهش دیگری مسأله‌ی بهینه‌سازی را بر اساس بیشترین سود مالک جایگاه بررسی کرده اند، بدین نحو که بهترین مکان احداث ایستگاه محلی است که هزینه سرمایه‌گذاری کمترین بوده و نرخ فروش برق در حداکثر خود قرار دارد[۱۳].

در تعدادی از مقالات توجه اصلی در جایابی، معطوف به شبکه توزیع تغذیه‌کننده‌ی برق ایستگاه شده است[۱۸-۱۶]. در این مقالات پارامترهای متعددی مانند تراکم خطوط و ترانس‌ها، تلفات شبکه و هزینه‌ی احداث ایستگاه تا شبکه در نظر گرفته شده است. در مرجع [۱۹] با در نظر گرفتن یک ریزشبکه در جنوب شهر تهران جایابی انجام شده است. همچنین در مرجع [۲۰] برنامه‌ریزی شبکه‌ی توزیع را با در نظر گرفتن ایستگاه‌های شارژ سریع در شبکه انجام داده است. با توجه به وجود عدم قطعیت در حضور و تراکم خودروهای برقی برای شارژ در ایستگاه، مرجع [۲۱] یک مدل تصادفی برای جایابی ایستگاه شارژ سریع ارائه داده است. دیدگاه ناحیه‌بندی کردن منطقه‌ی مورد مطالعه برای نصب ایستگاه‌های شارژ سریع در مراجع [۲۲] و [۲۳] مطرح که به ترتیب برای سنگاپور و بخشی از تهران انجام شده است.

در این مقاله با رویکردی نوین، مسأله‌ی جایابی ایستگاه شارژ سریع خودروی برقی به صورت الگوریتم سه مرحله‌ای تعریف می‌شود. مرحله‌ی اول ناحیه‌بندی کلان شهر مورد نظر است که می‌خواهیم برای آن مسأله‌ی جایابی را انجام دهیم. مرحله دوم تعیین نقاط کاندید اولیه در هر ناحیه با توجه به وضعیت تراکم خودروهای برقی در هر ناحیه، پارامترهای قیمت زمین و فاصله از شبکه برق و پوشش مناسب کل ناحیه می‌باشد. در مرحله‌ی سوم با تعریف یک مسأله‌ی بهینه‌سازی از بین نقاط کاندید اولیه مکان ایستگاه‌ها مشخص می‌گردد. در روش پیشنهادی علاوه بر مکان ایستگاه‌ها، ظرفیت آن‌ها نیز تعیین می‌شود. نکته‌ی بارز دیگر در روش پیشنهادی، ارتباط داشتن نواحی مجاور یکدیگر با تعریف ضریب تبادل واحد شارژ بین نواحی است. بنابراین نکات بارز کار مقاله را می‌توان بصورت خلاصه زیر بیان کرد:

- تعیین همزمان مکان و ظرفیت ایستگاه‌ها
- جایابی با دیدگاه ناحیه‌بندی با در نظر گرفتن ضریب تبادل بین نواحی
- پیاده سازی برای منطقه واقعی (کلان شهر مشهد) براساس داده‌های استخراجی از شرکت برق و شهرداری

برای رسیدن به اهداف فوق ادامه‌ی مقاله بصورت زیر تدوین شده است:

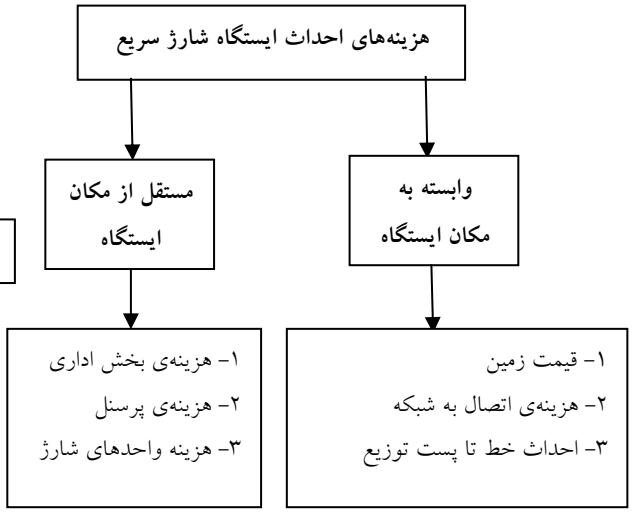
در بخش دوم توضیحات و تعاریفی پیرامون ایستگاه شارژ سریع ارائه می‌گردد. در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی برای حل مسأله‌ی جایابی در یک ناحیه ارائه می‌شود. در بخش چهارم الگوریتم پیشنهادی برای یک منطقه‌ی چند ناحیه‌ای بیان خواهد شد. نتایج شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی برای کلان شهر مشهد با ۹ ناحیه با سناریوهای مختلف در بخش پنجم ارائه و مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان نتیجه‌گیری و جمع بندی مقاله در بخش ششم بیان خواهد شد.

۲- ایستگاه‌های شارژ سریع خودروهای برقی

احداث هر ایستگاه شارژ سریع خودروی برقی شامل هزینه هایی نظیر زمین مورد نیاز جهت احداث، بنای بخش اداری، واحدهای شارژ سریع و تأسیسات اتصال به شبکه می باشد. فضای مورد نیاز جهت احداث یک ایستگاه شارژ در کلان شهرها با توجه به تعداد واحدهای شارژ متفاوت است اما می توان گفت به طور رایج برای بخش اداری جایگاه مساحت مشخصی و به ازای هر واحد نیز به متراژ معلومی فضا مورد نیاز است. جایگاه شارژ سریع خودروی برقی می تواند مانند جایگاه های سوخت فسیلی از یک تا چندین واحد شارژ داشته باشد. با توجه به مصرف بالای ایستگاه‌های شارژ سریع باید این ایستگاه‌ها را به شبکه برق توزیع فشار متوسط متصل و تغذیه کرد لذا هر چه ایستگاه شارژ به پست توزیع نزدیک‌تر باشد علاوه بر کاهش هزینه‌ی اتصال، تلفات در شبکه نیز کاهش پیدا می کند. در شکل(۱) هزینه‌های احداث ایستگاه شارژ سریع برحسب وابسته یا مستقل بودن از مکان ایستگاه تقسیم-بندی شده است[۱۴-۱۹].

مهمترین مسأله در احداث یک ایستگاه شارژ سریع خودروی برقی مشخص کردن مکان مناسب برای احداث و راه اندازی جایگاه است. بحث مکان‌یابی ایستگاه شارژ را می توان از چند منظر مورد بررسی

قرار داد. از نظر شرکت برق بهترین مکان برای احداث یک جایگاه شارژ سریع باید به گونه‌ای مکان یابی شود تا کمترین تلفات در شبکه توزیع رخ دهد و کمترین توسعه در شبکه توزیع از نظر افزودن خط، فیدر اختصاصی و یا ترانس را داشته باشیم، از طرفی بتوان به راحتی ایستگاه را به شبکه متصل نمود. از دید مالک جایگاه باید مکانی برگزیده شود که در آن هزینه‌ها کمترین مقدار را داشته باشد، هزینه‌هایی نظیر قیمت زمین، هزینه‌ی اتصال به شبکه، هزینه‌ی واحدهای شارژ و تعمیر و نگهداری. از طرفی مالکین خودروهای برقی می‌خواهند جایگاه شارژ سریع در دسترس‌ترین نقطه قرار داشته باشد از این رو باید ایستگاه در مکانی احداث گردد که بیشترین تراکم خودروی برقی در آن وجود دارد[۸ و ۲۳].

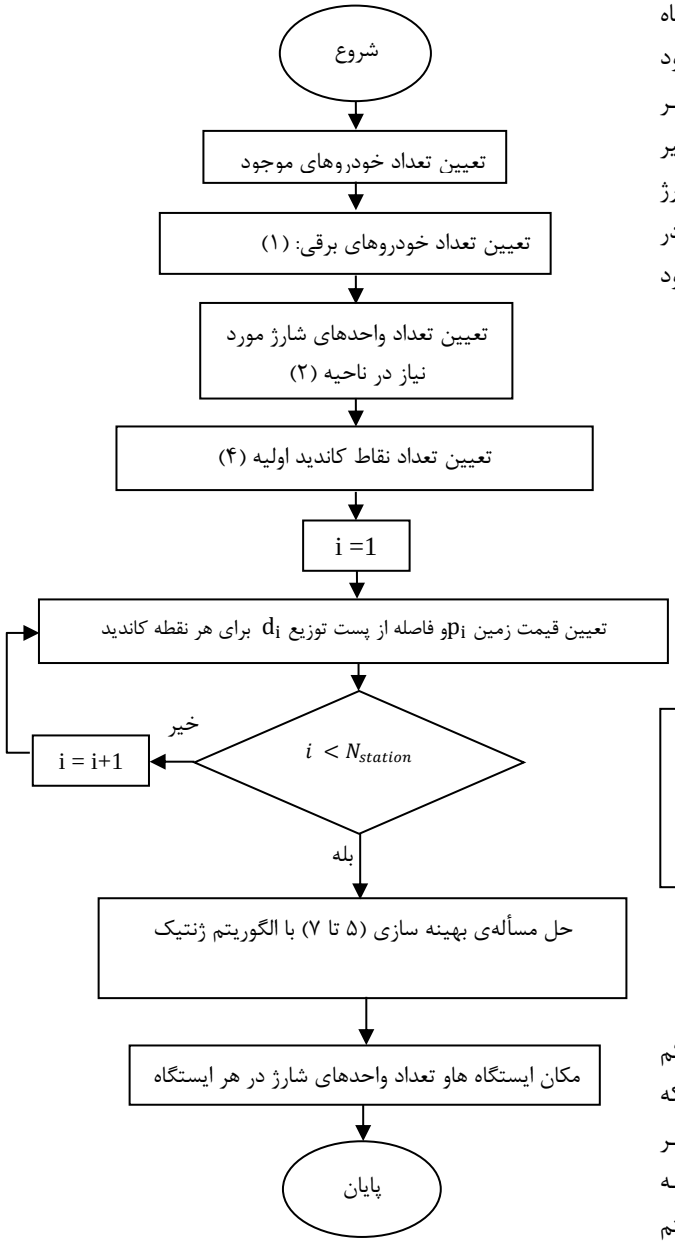


شکل (۱): هزینه‌های احداث جایگاه شارژ سریع

ظرفیت ایستگاه‌های شارژ سریع (تعداد واحدهای شارژ) به تراکم خودروهای برقی بستگی دارد. این تعداد با توجه به وضعیت شبکه موجود و مساحت زمین در دسترس و نیاز سنجی صورت گرفته بر اساس تراکم خودروهای برقی موجود مشخص می‌گردد. از جمله تفاوت‌های بارز این پژوهش با پژوهش‌های دیگر این است که الگوریتم پیشنهادی علاوه بر تعیین مکان احداث ایستگاه شارژ سریع ظرفیت هر ایستگاه (تعداد واحدهای شارژ) را نیز مشخص می‌کند.

۳- الگوریتم پیشنهادی برای جایابی در یک ناحیه

در این بخش روش پیشنهادی برای جایابی ایستگاه‌های شارژ سریع در یک ناحیه بیان می‌شود و در بخش چهارم این روش برای جایابی در یک شهر با حالت چند ناحیه‌ای توسعه داده می‌شود. شکل (۲) فلوچارت روش پیشنهادی برای جایابی در یک ناحیه را نشان می‌دهد.



شکل (۲): فلوچارت روش پیشنهادی جایابی در یک ناحیه

در مرحله اول بایستی تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز متناسب با تعداد خودروهای برقی پیش‌بینی شده تعیین گردد. شارژ هر خودرو توسط یک واحد شارژ نیاز به زمان چند دقیقه‌ای دارد. لذا هر واحد شارژ در یک شبانه روز حداکثر می تواند به تعداد محدودی خودرو سرویس‌دهی کند. در تعیین این تعداد باید توجه داشت که هر واحد شارژ نمی‌تواند به طور مداوم و پیوسته سرویس دهی کند، چرا که در ساعاتی از شبانه روز عملاً خودرویی اقدام به شارژ نمی‌کند. لذا می‌توان متناسب با میزان تردد و ترافیک در منطقه در نظر گرفت که یک واحد شارژ در هر شبانه روز به چه تعداد خودروی برقی سرویس‌دهی می‌کند

و انرژی مورد نیاز آنها را برای شارژ باتری‌ها در اختیارشان قرار می‌دهد. در این مقاله این تعداد با پارامتر β بیان می‌شود.

یکی از داده‌های اولیه‌ی مسأله تعداد خودروهای برقی موجود در کل منطقه است. با توجه به نبود خودروی برقی در شرایط کنونی کشور، سناریویی برای پیش بینی تعداد خودروهای برقی در سال‌های آتی ارائه می‌گردد که آن را به صورت رابطه (۱) بصورت درصدی از تعداد خودروهای موجود در نظر می‌گیریم:

$$N_{ev} = N_v \times \alpha \qquad (۱)$$

N_{ev} :تعداد خودروهای برقی در آینده

N_v :تعداد کل خودروهای موجود

α :پارامتر میزان نفوذ خودروی برقی برحسب درصد

با توجه به این که فرض کردیم به‌ازای هر β خودرو به یک واحد شارژ احتیاج است لذا می‌توان گفت تعداد کل واحدهای شارژ مورد نیاز برای جایابی در ناحیه از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$N_{unit} = \frac{N_{ev}}{\beta} \qquad (۲)$$

N_{unit} : تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز در هر ناحیه

β : تعداد خودروی قابل سرویس‌دهی توسط هر واحد شارژ

به طور کلی روش پیشنهادی از دو بخش تشکیل شده است. بخشی از آن مربوط به بهره گیری از تجربه و شناخت جغرافیایی و اجتماعی در ناحیه مورد نظر است که منجر به انتخاب نقاط کاندید اولیه‌ی پیشنهادی برای نصب ایستگاه می‌شود و به عنوان بخش هوش انسانی مطرح می‌گردد و بخش دوم یک مسأله‌ی بهینه‌سازی است که منجر به تعیین محل ایستگاه‌های شارژ سریع از بین نقاط کاندید همراه با ظرفیت هر یک می‌شود.

۳-۱- تعیین نقاط کاندید اولیه

تعیین تعداد مناسب واحدهای شارژ در هر ایستگاه یکی از نکات مهم جایابی است. با توجه به هزینه‌های بالاسری در صورتی‌که تعداد واحدهای شارژ در یک ایستگاه خیلی کم باشد صرفه‌ی اقتصادی ندارد، از طرفی خیلی بزرگ بودن ایستگاه نیز می‌تواند مشکلات ترافیکی و همچنین نداشتن مشتری لازم را به همراه داشته باشد. لذا برای در نظر گرفتن محدوده‌ی ظرفیت ایستگاه طبق رابطه (۳) تعداد واحدهای شارژ در هر ایستگاه بین یک مقدار N_{min} و N_{max} تعریف می‌شود.

$$N_{\min} \le N_{unit} \le N_{\max} \qquad (۳)$$

با توجه به این که در هر ایستگاه شارژ باید تعداد حداقلی برای واحدهای شارژ در نظر بگیریم، لذا تعداد حداکثر ایستگاه های شارژ و از طرفی تعداد نقاط کاندید اولیه از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد:

$$N_{station} = \frac{N_{unit}}{N_{\min}} \qquad (۴)$$

$N_{station}$: تعداد نقاط کاندید اولیه برای احداث ایستگاه شارژ سریع

با در نظر گرفتن سه پارامتر میزان و نحوه‌ی توزیع تراکم خودروهای برقی، فاصله‌ی ایستگاه از پست توزیع، قیمت و وجود زمین، نقاط اولیه‌ی پیشنهادی بر روی نقشه‌ی جغرافیایی به تعداد نقاط کاندید مورد نیاز مشخص می‌گردد. طبیعتاً در این مرحله کار شناخت فرهنگی و اجتماعی از ناحیه‌ی مورد نظر بسیار تأثیر گذار خواهد بود.

۳-۲- مسأله‌ی بهینه‌سازی تعیین ظرفیت ایستگاه در نقاط کاندید اولیه

در مرحله‌ی دوم با تعریف یک مسأله‌ی بهینه‌سازی، تعداد واحد شارژ بهینه در هر یک از نقاط پیشنهادی تعیین می‌گردد. تابع هدف پیشنهادی با دیدگاه اقتصادی از دو بخش هزینه‌های احداث ایستگاه شامل هزینه‌ی زمین و هزینه‌ی اتصال به شبکه تشکیل شده است که به صورت رابطه (۵) تعریف می‌گردد. در بخش اول آن قیمت زمین به عنوان پارامتر اصلی و در بخش دوم فاصله‌ی مستقیم از نزدیک‌ترین پست توزیع به عنوان پارامتر اصلی مطرح می‌شود. از آنجایی که قیمت تجهیزات به مکان احداث ایستگاه بستگی ندارد لذا تاثیری در مسأله‌ی مکان‌یابی نداشته و نیازی به در نظر گرفتن آن در تابع هدف نیست. با توجه به این که بخش اول موجود در تابع هدف از جنس هزینه است باید بخش دوم نیز از فاصله به هزینه تبدیل گردد، برای این کار متغیر v را در بخش مرتبط با فاصله از پست در نظر می گیریم. این پارامتر میزان هزینه جهت احداث شبکه به ازای هر کیلومتر خط ۲۰ کیلوولت در هر کیلووات توان تعریف می‌شود. پر واضح است که مساحت زمین مورد نیاز برای ایستگاه به تعداد واحدهای شارژ بستگی دارد، علاوه بر آن یک بخش ثابت زمین صرف‌نظر از واحدهای شارژ برای بخش اداری و سایر موارد لازم است. بنابراین در بخش اول تابع هدف، مساحت مورد نیاز بصورت یک تابع خطی از تعداد واحد شارژ در ایستگاه تعریف شده است. همچنین میزان توان مورد نیاز ایستگاه علاوه بر بخش ثابت مربوط به مصرف داخلی، به تعداد واحدهای شارژ نیز وابسته است که در بخش دوم نیز توان مورد نیاز ایستگاه بصورت یک تابع خطی از تعداد واحد شارژ در ایستگاه تعریف شده است.

$$F=\sum_{i=1}^{N_{station}}\left[\begin{array}{l}\left(\left(k_1+k_2\times h_i\right)\times P_i\right)+\\ \left(\left(k_3+k_4\times h_i\right)\times d_i\times v\right)\end{array}\right] \qquad (۵)$$

که در آن :

K_1: مقدار زمین مورد نیاز برای بخش اداری ایستگاه بر حسب متر مربع

K_2: مقدار زمین مورد نیاز به ازای هر واحد شارژ بر حسب متر مربع

h_i: تعداد واحدهای شارژ در نقطه کاندید i ام (متغیرهای تصمیم‌گیری)

P_i : قیمت هر متر مربع زمین به میلیون تومان در نقطه کاندید i ام

K_3: میزان مصرف برق داخلی جایگاه بدون واحدهای شارژ بر حسب KW

K_4: میزان مصرف برق به ازای هر واحد شارژ بر حسب KW

d_i: فاصله‌ی مستقیم نقطه‌ی کاندید i ام از نزدیک‌ترین پست توزیع برحسب کیلومتر

v: هزینه‌ی احداث شبکه ۲۰ کیلوولت به ازای هر KW در هر کیلومتر به میلیون تومان

مطمئناً مجموع تعداد واحدهای شارژ اختصاص یافته در نقاط مختلف کاندید در ناحیه باید به اندازه‌ی مورد نیاز آن ناحیه باشد. این محدودیت به صورت قید (۶) تعریف می‌گردد :

$$\left(\sum_{i=1}^{N_{station}} h_i\right)=N_{unit} \qquad (۶)$$

همانطور که در بخش قبل نیز بیان گردید، تعداد واحدهای شارژ در هر ایستگاه باید در یک محدوده‌ی مشخص قرار گیرند. در مسأله‌ی پیشنهادی در هر نقطه کاندید یا ایستگاه قرار نمی گیرد ($h_i=0$) و یا اگر قرار گیرد باید در محدوده تعریف شده باشد لذا این موضوع به صورت قید (۷) تعریف می گردد:

$$N_{min}<h_i<N_{max} \quad or \quad h_i=0 \qquad (۷)$$

۴- الگوریتم پیشنهادی برای جایابی در یک منطقه‌ی چند ناحیه‌ای

برای جایابی ایستگاه‌های شارژ سریع خودروی برقی در یک شهر بزرگ، اگر به صورت تک ناحیه‌ای عمل شود بیشتر ایستگاه‌ها در مناطق با قیمت زمین کمتر که معمولاً توسعه‌ی خودروهای برقی نیز در آن ها کمتر است هدایت خواهد شد. برای رفع این مشکل، دیدگاه ناحیه‌بندی مطرح می شود. یعنی شهر را به چندین ناحیه‌ی جغرافیایی تقسیم کنیم و در هر ناحیه با توجه به وضعیت خودروهای برقی مسأله‌ی جایابی بخش قبل را پیاده سازی می‌کنیم. به عبارت دیگر هر ناحیه به صورت مستقل محل ایستگاه‌های خود را شناسایی کند.

مشکل این دیدگاه آن است که در نواحی با قیمت زمین بالا که معمولاً زمین بزرگ و مناسب کمتر وجود دارد، هزینه‌ی تمام شده ایستگاه شارژ به شدت بالا خواهد بود و کسی حاضر به سرمایه‌گذاری در این زمینه نخواهد شد. این در حالی است که ممکن است در ناحیه‌ی مجاور آن و با کمی فاصله بتوان زمین با قیمت مناسب و در نتیجه ایستگاه شارژ با قیمت تمام شده‌ی منطقی را احداث کرد. بر این اساس پیشنهاد این مقاله آن است که با تعریف ضریب تبادل بین نواحی، امکان جابه‌جایی واحد شارژ بین نواحی مجاور در نظر گرفته شود تا میزان واحد شارژ مورد نیاز در هر ناحیه، با کمک نواحی مجاور خود پوشش داده شود. برای این منظور قید (۶) در بخش قبل با (۸) برای ناحیه jام جایگزین می‌گردد:

$$\sum_{i=1}^{N_{station}^{j}} h_i^j = N_{unit}^j \pm \gamma_j \qquad j=1,2,3,\ldots \qquad (۸)$$

که در آن :

$N_{station}^{j}$: تعداد نقاط کاندید اولیه در ناحیه j ام

N_{unit}^{j} :تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز در ناحیه j ام

γ_j : ضریب تبادل در افزایش یا کاهش واحدهای شارژ در ناحیه j ام

با این قید می‌توان تعداد واحدهای شارژ در هر ناحیه را انعطاف پذیر کرد و نواحی مجاور می‌توانند با یکدیگر تبادل واحد شارژ و ایستگاه شارژ نمایند. بحث جابجایی ایستگاه و واحد شارژ در الگوریتم این امکان را می‌دهد که با برقراری ارتباط بین نواحی مجاور، در نواحی‌ای که قیمت زمین گران است ایستگاه شارژ کمتر احداث شود و به جای آن ایستگاه مورد نظر به ناحیه‌ی مجاور دارای قیمت زمین کمتر هدایت گردد. براین اساس تابع هدف برای حالت چند ناحیه‌ای بصورت رابطه (۹) تعریف می‌شود.

$$F=\sum_{j=1}^{N_{area}}\left[\sum_{i=1}^{N_{station}^{j}}\left(\begin{array}{l}\left(k_1+k_2\times h_i^j\right)\times p_i^j\\ +\left(k_3+k_4\times h_i^j\right)\times d_i^j\end{array}\right)\right] \qquad (۹)$$

که در آن:

N_{area} : تعداد نواحی موجود در کل منطقه

$N_{station}^{j}$: تعداد نقاط کاندید اولیه در ناحیه j ام

h_i^j : تعداد واحدهای شارژ تخصیص یافته به نقطه کاندیدi ام در ناحیه j ام (متغیرهای تصمیم‌گیری)

p_i^j : قیمت زمین در نقطه کاندیدi ام در ناحیه j ام برحسب میلیون تومان

d_i^j : فاصله مستقیم نقطه کاندیدi ام در ناحیه j ام از نزدیک‌ترین پست توزیع برحسب کیلومتر

قید (۱۰) مجموع واحدهای شارژ در کل شهر مورد نظر را نشان می‌دهد، بر این اساس مجموع تعداد واحدهای شارژ جایابی شده در کل نواحی شهر باید با تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز در کل شهر برابر باشد:

$$\sum_{j=1}^{N_{area}} \left(\sum_{i=1}^{N_{station}^{j}} h_i^j \right) = \sum_{j=1}^{N_{area}} N_{unit}^{j} \qquad (۱۰)$$

به مانند حالت تک ناحیه، تعداد واحدهای شارژ در هر ایستگاه باید در یک محدوده‌ی مشخص قرار گیرند که این موضوع به صورت قید (۷) تعریف گردید.

همچنین رابطه (۱۱) میزان افزایش و یا کاهش واحدهای شارژ در یک ناحیه جهت انتقال به نواحی مجاور را مشخص می‌کند. بر این اساس هر ناحیه‌ای می تواند به طور مستقل درصدی از کل تعداد واحدهای شارژ خود را به نواحی دیگر هدایت کند و یا از نواحی دیگر به میزان مشخصی پذیرنده‌ی واحدهای شارژ باشد.

$$N_{unit}^{j}\left(1-\gamma_j\right) \le \sum_{i=1}^{N_{station}^{j}} h_i^j \le N_{unit}^{j}\left(1+\gamma_j\right) \qquad j=1,2,\ldots,N_{area} \qquad (۱۱)$$

تعیین ضریب تبادل در هر ناحیه بستگی به موقعیت آن در کل شهر، میزان تراکم خودرو و همچنین قیمت زمین در آن ناحیه دارد. این ضریب برای نواحی مرکزی که دارای همسایگی بیشتری با نواحی دیگر هستند در مقایسه با نواحی مرزی شهر باید بزرگتر انتخاب شود. همچنین میزان ضریب در نواحی با تراکم بیشتر خودرو و قیمت بالاتر زمین نیز باید بزرگتر انتخاب گردد.

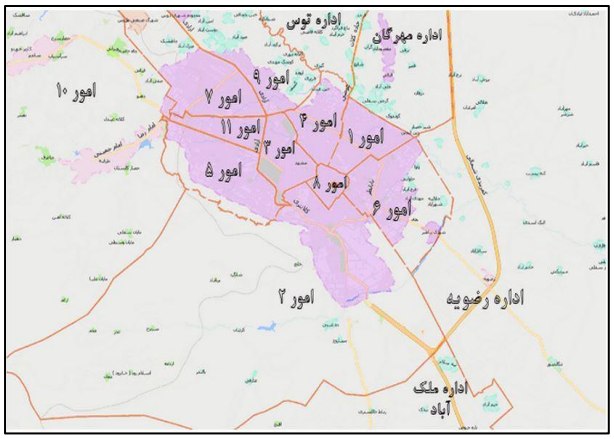
۵- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی در بخش‌های سوم و چهارم، برای کلان شهر مشهد مقدس ارائه می‌گردد. در ابتدا اطلاعات مورد نیاز برای مسأله‌ی جایابی استخراج شده، سپس جایابی در یکی از نواحی برق مشهد (ناحیه ۵ برق مشهد – منطقه وکیل آباد) انجام می‌شود. در ادامه جایابی با دیدگاه ناحیه‌بندی برای کل شهر مشهد با ۹ ناحیه (براساس تقسیم بندی امور توزیع برق) انجام می‌گردد.

۵-۱- استخراج اطلاعات مورد نیاز

براساس آمار اداره راهنمایی و رانندگی در سال ۱۳۹۵ در پورتال جامع شهر مشهد، تعداد ۱/۳۰۰/۰۰۰ خودرو در شهر مشهد وجود دارد[۲۴]. سناریوی پیشنهادی این است که تنها یک درصد از کل خودروهای موجود، در ۵ سال آینده برقی شده و نیاز به ایجاد زیر ساخت لازم جهت نصب ایستگاه‌های شارژ سریع برای آن‌ها وجود دارد. لذا با توجه به این موضوع تعداد خودروهای برقی براساس رابطه (۱) تعداد ۱۳/۰۰۰ تخمین زده می‌شود. شهر مشهد را براساس نقشه‌ی جغرافیایی و امور توزیع برق زیر مجموعه‌ی شرکت توزیع برق مشهد، به ۹ ناحیه تقسیم‌بندی می‌کنیم. در شکل (۳) محدوده‌ی امور نه‌گانه‌ی توزیع برق مشهد نشان داده شده است. امور برق ۱۱ جدیداً از امور توزیع ۵ جدا شده است و هنوز به صورت کاملاً مستقل فعالیت نمی‌کند. لذا در این پژوهش امور برق ۱۱ را با همان امور برق ۵ در نظر می‌گیریم. از طرفی امور برق ۱۰، اداره توس، اداره مهرگان، اداره رضویه و اداره ملک آباد به دلیل آن که خارج از شهر مشهد هستند و نیز تراکم جمعیت و خودرویی بسیار کمی دارند در این مقاله مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند.

حضور خودروهای برقی را در نواحی نه‌گانه مشهد به صورت درصدی از کل خودروهای برقی شهر در نظر گرفته‌ایم. با توجه به وضعیت اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی مناطق مختلف شهر مشهد خودروهای برقی هر ناحیه را به صورت درصدی از کل خودروهای برقی در نظر می‌گیریم. این درصدهای اختصاص داده شده می‌تواند بر اساس شرایط تغییر کند و یا پس از بدست آوردن آمار دقیق جایگزین گردد.



شکل (۳): نقشه شهر مشهد براساس امور شرکت توزیع برق مشهد

در جدول (۱) اطلاعات مربوط به نواحی نه‌گانه شهر مشهد بیان شده است.

جدول(۱): اطلاعات نواحی نه‌گانه شهر مشهد

شماره ناحیه	محدوده‌ی جغرافیایی	درصد خودروی برقی از کل	تعداد خودروی برقی تخمین زده شده	تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز	تعداد نقاط کاندید اولیه
۱	بلوار طبرسی	۵	۶۵۰	۱۳	۵
۲	بلوار شیرودی	۵	۶۵۰	۱۳	۵
۳	سجاد، احمدآباد	۳۰	۳۹۰۰	۷۸	۲۶

۴	بلوار عبدالمطلب	۵	۶۵۰	۱۳	۵
۵	وکیل آباد	۲۵	۳۲۵۰	۶۵	۲۲
۶	پایین خیابان	۳	۳۹۰	۸	۳
۷	شهرک غرب	۱۰	۱۳۰۰	۲۶	۹
۸	حرم مطهر	۱۵	۱۹۵۰	۳۹	۱۳
۹	بلوار توس	۲	۲۶۰	۶	۲

در این جدول براساس محاسبات انجام شده تعداد کل واحدهای شارژ مورد نیاز و تعداد نقاط کاندید اولیه مشخص شده است. برای این که بتوانیم تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز در هر ناحیه را مشخص کنیم نیاز است مقدار پارامتر β را تعیین کنیم. بر اساس مرجع[۲] به ازای هر ۵۰ خودروی برقی نیاز به یک واحد شارژ داریم، لذا در هر ناحیه تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز تعیین می‌گردد. همچنین تعداد حداقل واحد شارژ در هر ایستگاه ۳ و تعداد حداکثر واحد شارژ در هر ایستگاه ۸ در نظر گرفته می‌شود.

بیشترین درصد خودروهای برقی مربوط به ناحیه ۳ و در محدوده‌ی بلوار سجاد، بلوار خیام و احمدآباد می‌باشد که حدود ۳۰ درصد از کل خودروهای برقی شهر برای آن در نظر گرفته شده است. برای این ناحیه ۷۸ واحد شارژ نیاز خواهد بود که ۲۶ نقطه کاندید اولیه در این ناحیه لازم است. این ناحیه‌ی مرکزی شهر گران‌ترین بخش شهر محسوب می‌شود. ناحیه‌ی ۵ مربوط به محدوده‌ی وکیل آباد نیز با ۲۵ درصد خودروهای برقی یعنی ۳۲۵۰ خودرو، رتبه‌ی دوم را دارد که نیازمند ۶۵ واحد شارژ و ۲۲ نقطه‌ی کاندید اولیه است. کمترین درصد خودروهای برقی نیز در نواحی ۶ و ۹ در نظر گرفته شده است که جزو نواحی کم برخوردار شهر محسوب می‌شوند.

مرحله‌ی بعد مشخص کردن نقاط کاندید اولیه و تعیین دو پارامتر قیمت تقریبی زمین و فاصله از نزدیک‌ترین پست توزیع برای هر یک از این نقاط است. برای اینکار ابتدا باید مکان پست های توزیع را بر روی نقشه تعیین کنیم. شهر مشهد دارای ۳۲ عدد پست فوق توزیع است که تعدادی از آن ها 132/20kv و تعدادی نیز 63/20kv هستند. با توجه به تعداد نقاط اولیه‌ی مورد نیاز برای هر ناحیه که در جدول (۱) آمده است، نقاط کاندید اولیه‌ی هر ناحیه را طوری مشخص می‌کنیم که بتوانند کل ناحیه را پوشش دهند و از طرفی زمین مناسب تا حدودی در هر نقطه کاندید وجود داشته باشد و به طور کلی بتوان در نقاط کاندید ایستگاه شارژ سریع احداث کرد.

۵-۲- نتایج جایابی در یک ناحیه

در شهر مشهد منطقه‌ی وکیل آباد (ناحیه۵) را برای جایابی در یک ناحیه انتخاب کرده‌ایم. طبق اطلاعات بخش قبل، در این ناحیه تعداد واحدهای شارژ مورد نیاز ۶۵ عدد و لذا تعداد نقاط کاندید اولیه ۲۲ مورد خواهد شد. برای مقدار ثابت زمین در تابع هدف (K_1) ۵۰ متر مربع و برای مقدار وابسته به تعداد واحدها (K_2) عدد ۲۵ متر مربع در نظر می‌گیریم. همچنین پارامتر مربوط به مصرف برق داخلی ایستگاه شارژ سریع (K_3) را مقدار KW ۱ و پارامتر مصرف برق وابسته به تعداد واحدهای شارژ (K_4) را KW ۸ در نظر می‌گیریم. مقدار پارامتر مربوط به احداث شبکه‌ی فشار متوسط به ازای هر کیلووات در هر کیلومتر (v) ۱۰ میلیون تومان لحاظ می‌گردد. پس از اجرای برنامه از ۲۲ نقطه کاندید اولیه، برای ۱۳ نقطه کاندید عدد صفر قرار گرفته است. بدین معنا که در این نقاط ایستگاه شارژ سریع احداث نشود و برای ۹ نقطه کاندید اعداد غیر صفر به صورت جدول (۲) با تعداد واحد شارژ بین ۳ و ۸ بدست آمده است.

مشاهده می شود که برای نقاطی که فاصله از پست زیاد بوده و قیمت زمین هم بالا بوده است، مانند نقاط شماره ۱۰، ۱۳، ۷، ۱۲، الگوریتم به درستی مقدار صفر واحد شارژ را اختصاص داده است بدین معنا که در این نقطه کاندید ایستگاه شارژ سریع احداث نشود. برای نقاطی که قیمت زمین ارزان است و فاصله‌ی کمی با پست‌های مجاور خود دارند الگوریتم حداکثر تعداد واحدهای شارژ یعنی ۸ واحد را اختصاص داده است بدین معنا که ایستگاه بزرگ احداث شود. شرکت-های برق می‌توانند با اجرای این برنامه برای یک ناحیه نقاط مورد نظر برای احداث ایستگاه شارژ سریع را بدست آورند و آن را در اختیار سرمایه‌گذارانی که می‌خواهند ایستگاه شارژ سریع احداث کنند قرار دهند.

جدول (۲): ایستگاه های شارژ ناحیه ۵ به همراه تعداد واحد شارژ

شماره ایستگاه	شماره نقطه کاندید	محل ایستگاه	تعداد واحد شارژ
۱	۱	رازی	۸
۲	۲	میدان بینش دندانپزشکان	۳
۳	۳	پاچنار	۸
۴	۶	انتهای جلال آل احمد	۸
۵	۹	انتهای بلوار هاشمیه	۷
۶	۱۱	ذکریا	۸
۷	۱۸	ابتدای بلوار نماز	۸
۸	۱۹	تقاطع بلوار کاوه و نماز	۸
۹	۲۰	شهرک آزادگان	۸

۵-۳- نتایج جایابی در کل شهر مشهد (۹ ناحیه)

به دلیل این که در ناحیه‌بندی کل شهر، برخی نواحی با یکدیگر مجاورت ندارند، چنانچه پارامتر γ را برای تمامی نواحی یکسان در نظر بگیریم پیش‌بینی می شود الگوریتم با توجه به این که در نواحی متمول شهر قیمت زمین گران است ایستگاه‌های شارژ را در این نواحی کاهش داده و به نواحی دورتر انتقال دهد، در این صورت جایابی به صورت نادرستی انجام شده است زیرا فردی که در ناحیه‌ی مرکزی و منطقه‌ی برخوردار شهر مالک خودروی برقی باشد نمی‌تواند مسیر زیادی را طی کند تا به ناحیه‌های اطراف شهر رفته و اقدام به شارژ نماید. از این رو باید مقدار پارامتر تبادل واحد شارژ را برای هر ناحیه به صورت مجزا و با دید اجتماعی موجود مشخص کنیم.

براساس ناحیه‌بندی کل شهر در شکل (۳)، در نواحی ۶ و ۹ که در حاشیه‌ی شهر با قیمت زمین کمتر و تعداد خودروی برقی کمتر قرار دارند، مقدار ضریب تبادل ۱۰ درصد، برای نواحی ۱ ، ۲ و ۴ نیز به دلیل تعداد خودروی برقی کمتر مقدار ۱۵ درصد، برای ناحیه‌ی ۷ چون با نواحی کمتری مجاورت دارد و از طرفی هم تعداد خودروی برقی زیادی ندارد مقدار ۲۰ درصد، برای ناحیه میانی ۸ مقدار ۲۵ درصد، برای ناحیه ۵ مقدار ۳۰ درصد و برای ناحیه مرکزی ۳ با دارا بودن بیشترین تعداد خودروی برقی و نیز گران‌ترن قیمت زمین ضریب تبادل ۳۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. پس از اجرای الگوریتم بخش ۴، خروجی‌ها مشخص می‌کنند که با توجه به میزان ضرایب تبادل الگوریتم به طور درست و صحیح واحدهای شارژ را از نواحی دارای نقطه کاندید با قیمت زمین بالا به نواحی مجاور هدایت کرده است. بدین ترتیب عمل جایابی برای کل شهر و با در نظر گرفتن امکان تبادل شارژرها بین نواحی اتفاق می‌افتد.

خروجی برنامه‌ی اجرا شده به فرم زیر گزارش می‌گردد:

ناحیه اول : نقطه کاندید شماره‌ی ۴ با ۸ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۵ با ۶ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۱ با ۳ ایستگاه

ناحیه دوم : نقطه کاندید شماره‌ی ۱ با ۸ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۴ با ۶ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۵ با ۵ ایستگاه

ناحیه سوم : به صورت جدول (۳)

جدول (۳): تعداد واحد شارژ در نقاط کاندید برای ناحیه ۳

ردیف	نقطه کاندید	تعداد واحد شارژ
۱	۱۴	۸
۲	۲۳	۸
۳	۲۴	۸
۴	۱۶	۸
۵	۹	۸
۶	۴	۶
۷	۳	۵

ناحیه چهارم: نقطه کاندید شماره‌ی ۳ با ۸ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۲ با ۶ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۵ با ۵ ایستگاه

ناحیه پنجم: به صورت جدول (۴)

ناحیه ششم: نقطه کاندید شماره‌ی ۲ با ۵ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۳ با ۵ ایستگاه

جدول (۴): تعداد واحد شارژ در نقاط کاندید برای ناحیه ۵

ردیف	نقطه کاندید	تعداد واحد شارژ
۱	۳	۸
۲	۱۸	۸
۳	۱۹	۸
۴	۲۰	۸
۵	۲۱	۸
۶	۲۲	۸
۷	۱۱	۸
۸	۶	۷
۹	۱۷	۷
۱۰	۴	۶
۱۱	۹	۵
۱۲	۱۶	۵

ناحیه هفتم: به صورت جدول (۵)

جدول(۵): تعداد واحد شارژ در نقاط کاندید برای ناحیه ۷

ردیف	نقطه کاندید	تعداد واحد شارژ
۱	۲	۸
۲	۶	۸
۳	۷	۸
۴	۹	۶
۵	۱	۳

ناحیه هشتم: نقطه کاندید شماره‌ی ۱۰ با ۸ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۱۱ با ۸ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۱۲ با ۸ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۱۳ با ۸ ایستگاه

ناحیه نهم: نقطه کاندید شماره‌ی ۲ با ۴ ایستگاه، نقطه کاندید شماره‌ی ۱ با ۳ ایستگاه

جدول(۶): مقایسه‌ی تغییرات واحدهای شارژ نواحی با ضریب تبادل

شماره ناحیه	تعداد واحد شارژ مورد نیاز	تعداد واحد شارژ جایابی شده	میزان جابجایی واحد شارژ	درصد تغییر
۱	۱۳	۱۵	+۲	٪۱۵,۵
۲	۱۳	۱۵	+۲	٪۱۵,۵
۳	۷۸	۵۱	-۲۷	٪۳۴,۶
۴	۱۳	۱۵	+۲	٪۱۵,۵
۵	۶۵	۸۴	+۱۹	٪۲۹
۶	۸	۹	+۱	٪۱۲,۵
۷	۲۶	۳۱	+۵	٪۱۹,۴
۸	۳۹	۳۵	-۴	٪۱۰,۵
۹	۶	۶	۰	٪۰

۶- نتیجه‌گیری

احداث یک ایستگاه شارژ سریع به پارامترهای مختلفی نظیر قیمت زمین، فاصله از پست برق، تراکم این خودروها، وضعیت شبکه‌ی توزیع و فوق توزیع بستگی دارد لذا مکان یابی ایستگاه های شارژ سریع برای یک کلان شهر مانند مشهد یک ضرورت انکار ناپذیر در آینده‌ای نزدیک است. در این مقاله روش جدیدی با دیدگاه ناحیه‌بندی و در نظرگرفتن امکان تبادل بین نواحی پیشنهاد گردید. در الگوریتم

پیشنهادی دو مرحله‌ای، ابتدا نقاط کاندید برای احداث ایستگاه شارژ سریع در هر ناحیه تعیین و سپس با حل مسأله‌ی بهینه‌سازی علاوه بر مشخص کردن مکان احداث ایستگاه شارژ ظرفیت آن (تعداد واحدهای شارژ) نیز مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم به خوبی می‌تواند دو پارامتر قیمت زمین و فاصله از پست توزیع را پوشش دهد. در این الگوریتم با توجه به ظرفیت بدست آمده برای هر ایستگاه، بزرگی و کوچکی آن مشخص می‌شود. در تعدادی از نواحی ممکن است احداث چند ایستگاه کوچک نسبت به احداث یک ایستگاه بزرگ با تعداد واحد شارژ زیاد مقرون به صرفه‌تر باشد. همچنین در نظر گرفتن ضریب تبادل در الگوریتم پیشنهادی این امکان را فراهم می‌کند تا در نواحی مجاور امکان جابجایی ایستگاه شارژ و واحد شارژ فراهم گردد. این ویژگی به ما این امکان را می‌دهد تا در بخش‌هایی از یک شهر که قیمت زمین بسیار بالا است و تراکم خودروهای برقی بیشتر است ایستگاه شارژ کمتر ایجاد کنیم و ایستگاه شارژ مورد نیاز برای آن ناحیه را به نواحی مجاور آن هدایت کنیم.

مراجع

[1] M. Aziz and B. A. Budiman, "Extended Utilization of Electric Vehicles in Electrical Grid Services," 4th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), October 2-5, 2017, Bali, Indonesia.

[2] Electric Mobility Canada, "Driving the rapid adoption of electric vehicles in Canada," Dec. 2010.

[3] S. Bayram, G. Michailidis, M. Devetsikiotis, and F. Granelli, "Electric Power Allocation in a Network of Fast Charging Stations," IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 31, No. 7, July 2013.

[4] J. S. Vardakas, "Electric Vehicles Charging Management inCommunication Controlled Fast Charging Stations," 2014 IEEE 19th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), pp. 115-119, 2014.

[5] M. Yilmaz, and P. T. Krein, "Review of the Impact of Vehicle-to-Grid Technologies on Distribution Systems and Utility Interfaces," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 12, DEC. 2013.

[۶] فرشید ورشوساز، مجید معظمی و بهادر فانی، "برنامه‌ریزی و تخمین تصادفی ظرفیت یک ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی با سقف خورشیدی با استفاده از نظریه صف و جنگل تصادفی"، نشریه انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال شانزدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۸.

[۷] امیر بهادر امیری و محسن قاینی، "بهبود روش شارژ سریع با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ایجاد هماهنگی بین شارژرها در ایستگاه شارژ سریع خودروهای برقی به منظور استفاده بهینه از ظرفیت برق ایستگاه"، نشریه انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال شانزدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۸.

[8] C. Luo, Y. F. Huang, and V. Gupta, "Placement of EV Charging Stations—Balancing Benefits Among Multiple Entities," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 2, pp. 759–768, 2017.

[۹] میر باقر مرتضویان و شهرام جدید، « مکان واندازه بهینه ایستگاههای شارژ سریع خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن هزینه انتظار رانندگان در ایستگاههای شارژ،» سی و یکمین کنفرانس بین المللی برق ایران، آبان ۱۳۹۵، تهران.

[10] H. Zhang, S. J. Moura, Z. Hu, and Y. Song, "PEV Fast-Charging Station Siting and Sizing on Coupled Transportation and Power Networks," IEEE Transactions on Smart Grid, 2017, (Early Access).

[11] Y. Huo, F. Bouffard, and G. Joós, "An Energy Management Approach for ElectricVehicle Fast Charging Station,"IEEE Electrical Power and Energy (EPEC), 2017.

[12] A. Gagarin, and P. Corcoran, "Multiple domination models for placement of electric vehicle charging stations in road networks," ELSEVIER Computers and Operations Research, Vol. 96, pp. 69–79, 2018.

[13] M. Cruz-Zambrano, C. Corchero, L. Igualada-Gonzalez, and V. Bernardo, "Optimal location of fast charging stations in Barcelona: A Flow-Capturing approach," 10th International Conference on the European Energy Market (EEM), pp. 1-6, 2013.

[14] C.H. Dharmakeerthi, N. Mithulananthan, and T.K. Saha, "Modeling and Planning of EV Fast Charging Station in Power Grid," IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-8, 2012.

[15] P. Phonrattanasak, and N. Leeprechanon, "Multiobjective Ant Colony Optimization for Fast Charging Stations Planning in Residential Area," IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), 2014.

[16] C. L. Su, R. C. Leou, J. C. Yang, and C. N. Lu, "Optimal Electric Vehicle Charging Stations Placement in Distribution Systems," 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013.

[17] O. Veneri, C. Capasso, L. Ferraro, and A. Del Pizzo, "Performance Analysis on a Power Architecture for EV Ultra-Fast Charging Station," International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP) , 2017.

[18] G. Mauri, D. Bertini, E. Fasciolo, and S. Fratti, "The impact of EV's fast charging stations on the MV distribution grids of the Milan metropolitan area," 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), 2013.

[19] N. Rastegarfar, B. Kashanizadeh, M. Vakilian, and S.A. Barband, "Optimal Placement of Fast Charging Station in a Typical Microgrid in Iran," 10th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2013.

[20] G. Celli, et al, "Distribution network planning in presence of fast charging stations for EV," 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), 2013.

[21] F. Wu, R. Sioshansi, "stochastic flow-capturing model to optimize the location of fast-charging stations with uncertain electric vehicle flows," ELSEVIER Transportation Research, Vol. 53, No. 4, pp. 354–376, 2017.

[22] Y. Xiong, J. Gan, B. An, C. Miao, and A. L. C. Bazzan, "Optimal Electric Vehicle Fast Charging Station Placement Based on GameTheoretical Framework," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 19, No. 8, 2017.

[23] A. Rajabi-Ghahnavieh, and P. Sadeghi-Barzani, "Optimal Zonal Fast-Charging Station Placement Considering Urban Traffic Circulation," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 66, No. 1, pp. 45–56, 2017.

[۲۴] شهرداری مشهد، پورتال جامع شهر مشهد، www.mashhad.ir

زیرنویس‌ها

[1] Fast charging station
[2] Artificial bee colony algorithm
[3] Ant colony algorithm