

مکان یابی و تعیین محدوده‌ی پارکینگ خودروهای الکتریکی با هدف بهبود قابلیت اطمینان شبکه و با در نظر گرفتن کاهش مسافت پیموده شده توسط خودروها

محمد رضا آقالبراهیمی^۱، مهدی تورانی^۲

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

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

چکیده: خودروهای الکتریکی از جمله عناصری هستند که می‌توانند نقش تأثیرگذاری در بهبود قابلیت اطمینان شبکه ایفا کنند. برای بهره‌گیری از این پتانسیل، با استفاده از ایجاد مطلوبیت در صاحبان خودرو می‌توان موجب مشارکت هر چه بیشتر آنان در طرح‌های ارائه شده از سوی شرکت‌های توزیع برق گردید. از همین‌رو، کاهش مسیر پیموده شده توسط خودروها از محل اولیه پارک تا پارکینگ، در کنار پرداخت سود حاصل از مشارکت در طرح، از جمله مواردی است که می‌تواند باعث افزایش این همکاری گردد. در این مقاله با ارائه یک مدل احتمالاتی از خودروهای الکتریکی و با طرح دو استراتژی انتخاب پارکینگ توسط صاحبان آن‌ها، در کنار کاهش مسافت طی شده توسط خودروها، به بهبود اهداف شبکه و نیز تأثیر مسافت خودرو تا پارکینگ در ترکیب با این اهداف بر مکان یابی و تعیین ظرفیت انتخاب پارکینگ بر بهبود اهداف شبکه و نیز تأثیر مسافت خودرو تا پارکینگ در ترکیب با این اهداف بر مکان یابی و تعیین ظرفیت پارکینگ‌ها از نوآوری‌های این مقاله هستند. ترکیب اهداف با استفاده از توابع فازی، به همراه بهره‌گیری و مقایسه عملکرد الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات و جستجوی گرانشی از دیگر اهداف این مقاله می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مکان پارکینگ خودروهای الکتریکی، محدوده پارکینگ، مدل احتمالاتی خودروها، نزدیکترین پارکینگ، کاهش مسافت پیموده شده خودروها، قابلیت اطمینان شبکه، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)، الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، الگوریتم ژنتیک (GA)

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۷/۱۳

نام نویسنده‌ی مسئول: محمد رضا آقالبراهیمی، دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران، بیرجند، دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

پارکینگ خودروهای الکتریکی انجام شده است. در مرجع [۱۹]، به منظور کاهش حالات کاندید و تسريع در رسیدن به پاسخ در مکان یابی خودروها، استفاده از اطلاعات جغرافیایی و وسعت مناطق شهری پیشنهاد گردیده است.

یکی از مباحثی که تاکنون کمتر به آن پرداخته شده است، نقش صاحبان خودرو در پیشبرد عملی اهداف خودروهای الکتریکی در ترکیب با اهداف شبکه است. در صورتی که در کنار اهداف برقی، رضایت و مطلوبیت صاحبان خودرو برآورده نشده باشد چه بسا طرح در مرحله اجرا دچار مشکل شود. به عبارت دیگر، نقش انسانی در بخش خودروهای الکتریکی برنگ بوده و بایستی به آن توجه ویژه ای شود. برای بررسی این موضوع در این مقاله پس از ارائه یک مدل احتمالاتی از خودروها، به ایجاد مطلوبیت در صاحبان خودروها، از طریق کاهش مسافت پیموده شده توسط خودروها برای حضور در پارکینگ، در ترکیب با اهداف شبکه نظری قابلیت اطمینان پرداخته می شود. در صورتی که مسافت پیموده شده توسط خودروها برای رسیدن به پارکینگ ها زیاد باشد، صاحبان خودرو از مراجعه به پارکینگ منصرف شده و در نتیجه طرح های مورد نظر شبکه در اولین گام با شکست مواجه خواهند شد. از همین رو بایستی به طریقی این مطلوبیت در طرح های ارائه شده گنجانده شود. برای این منظور در این مقاله به کاهش مسافت پیموده شده توسط خودروها با در نظر گرفتن ماهیت احتمالاتی آن ها در کنار سایر اهداف شبکه پرداخته می شود. تأثیر رفتار صاحبان خودرو در انتخاب پارکینگ بر بهبود اهداف شبکه و نیز تأثیر مسافت خودرو تا پارکینگ در ترکیب با این اهداف بر مکان یابی و تعیین ظرفیت پارکینگ ها از نوآوری های این مقاله است.

از آنجایی که جنس اهداف در این مقاله متفاوت است، از الگوریتم فازی در ترکیب با سایر الگوریتم های هوشمند برای حل مسئله استفاده شده و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار می گیرد. در ادامه، ابتدا در بخش دوم به مدلسازی احتمالاتی خودروها و سپس در بخش سوم به تعریف مسئله پرداخته می شود. اهداف مسئله و تابع ارزش یابی در بخش ۴ و ۵ بیان می گردد. روش بهینه سازی مدل، که برگرفته از سه الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، جستجوی گرانشی (GSA) و الگوریتم ژنتیک (GA) است، در ترکیب با روش فازی در بخش ۶ ارائه و سپس نتایج مدلسازی به همراه شبهه سازی این الگوریتم ها در بخش ۷ مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرد. در انتهای، در بخش ۸ جمع بندی مقاله بیان گردیده است.

۲- مدل سازی احتمالاتی خودروهای الکتریکی

در این بخش به بررسی رفتار احتمالاتی خودروها در هنگام تزریق توان به شبکه پرداخته می شود. از آنجایی که یک خودرو قبل از رسیدن به پارکینگ در طول روز ممکن است مسافت های متفاوتی را طی کند،

خودروهای الکتریکی از جمله فناوری های دهه های اخیر هستند که توانسته اند با جایگزینی سوخت پاک در خودروهای بنزینی کمک بسزایی به بهبود شرایط محیط زیست بنمایند. با توجه به خاصیت شارژ و دشارژ در باتری های خودروهای الکتریکی، صنعت برق نیز می تواند از مزایای این حضور بهره مند شود. امکان شارژ در ساعت خاص و نیز قابلیت برگشت آن به شبکه در صورت لزوم، از ویژگی های مهم این خودروها می باشد. بهبود قابلیت اطمینان شبکه، کاهش تلفات، تأمین نیاز پیک بار و در نتیجه آن کاهش هزینه های شرکت برق از جمله مزیت های برجسته خودروهای الکتریکی به شمار می رود. مکان و اندازه پارکینگ های این خودروها بایستی به نحوی باشد که بهره بردار شبکه را در بهبود شرایط سیستم یاری رساند. بدیهی است که انتخاب مطلوب این پارامترها می تواند باعث افزایش بهره وری شبکه گردد. در مقالات بسیاری به مسئله بهینه سازی حضور خودروهای الکتریکی پرداخته شده است. در مرجع [۱] مطالعاتی بر روی آسالیز هزینه-فایده و تأثیر خودروهای هیبریدی برقی متصل شونده به شبکه (PHEV^۱) انجام شده است. در مرجع [۲] نویسنده یک روش شارژ برای PHEV با تنظیم تقاضای مصرف بر اساس اطلاعات قیمت ارائه می کند. در مراجع [۳-۶] تأثیر خودروهای الکتریکی بر سیستم توزیع، بویژه اثر آن بر روی امنیت شبکه، بررسی می شود. مطالعات بر روی پروفایل بهینه شارژ برای تشدید بار در ساعت غیر پیک در مرجع [۷] انجام شده است. سود شرکت دادن PHEV در انواع بازارهای برق در مرجع [۸] بحث گردیده است. در این میان، مکان بهینه خودروهای برقی در شبکه توزیع یکی از موضوعات چالشی به شمار می آید. در مرجع [۹]، نویسنده گان به مکان یابی بهینه خودروهای الکتریکی به منظور کاهش تلفات پرداخته اند. در مرجع [۱۰]، علاوه بر پارکینگ خودروها، واحدهای تولید پراکنده نیز به فرایند مکان یابی اضافه شده اند. در مرجع [۱۱] مکان یابی و تعیین ظرفیت خودروهای الکتریکی با اهداف متفاوتی صورت گرفته است. حل این مسئله سبب بهبود اهدافی نظری حاشیه امنیت ولتاژ، هزینه و پایداری ولتاژ شبکه گردیده است. در مرجع [۱۲]، مکان یابی پارکینگ خودرو با هدف افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات و هزینه سرمایه گذاری صورت گرفته است. در مرجع [۱۳]، ابتدا یک مدل احتمالاتی از رفتار صاحبان خودرو بر اساس قیمت برق، قیمت سوخت، خاصیت شارژ سریع و خاصیت کنترلی شارژ خودروها معرفی و سپس با استفاده از توابع هدف، مکان یابی خودروهای الکتریکی صورت پذیرفته است. در مرجع [۱۴]، مدل احتمالاتی خودرو بر اساس عدم قطعیت در مسافت پیموده شده، ساعت ورود به پارکینگ و ... در نظر گرفته شده و سپس مکان یابی

^۱ Plug-in Hybrid Electric Vehicles

سناریوی اول: تعیین مکان، محدوده و اندازه پارکینگ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن مراجعه خودروها به نزدیک ترین پارکینگ

در این سناریو، فرض برآن است که مالکان خودروهای الکتریکی همکاری کمتری با شرکت‌های برق داشته و تمایل دارند خودروی خود را در نزدیک‌ترین پارکینگ قرار دهند. به عبارت دیگر، مالکان در هر پاسخ کاندیدا، پارکینگی را از بین پارکینگ‌های موجود انتخاب می‌کنند که نزدیک‌ترین فاصله را نسبت به آن‌ها داشته باشند. بدین ترتیب، در این حالت ابتدا با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند مکان کاندیدا برای نصب پارکینگ مشخص می‌شود. سپس، جایابی خودروها با توجه به زمان مراجعه به پارکینگ، بر اساس کمترین مسافت پیموده شده صورت گرفته و محدوده هر پارکینگ و اندازه آن بدست می‌آید. با داشتن مکان کاندیدای نصب، محدوده و اندازه هر پارکینگ و با توجه به منحنی توان تولیدی پارکینگ و منحنی توان مصرفی مشترکین، بوسیله‌ی تابع ارزشیابی به هر پاسخ کاندیدا بر اساس اهداف تعیین شده یک ارزش اطلاق می‌شود که با مقایسه ارزش پاسخ‌ها، بهترین جواب به عنوان پاسخ نهایی مدل در این سناریو مشخص می‌گردد.

سناریوی دوم: تعیین مکان، محدوده و اندازه پارکینگ خودروهای الکتریکی بدون محدودیت

مراجعه خودروها

در این سناریو، مکان و محدوده کاندیدای پارکینگ برای خودروهای الکتریکی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند تعیین می‌شود. برخلاف حالت قبل، هیچ محدودیتی از طرف مالکان خودرو برای مراجعه به پارکینگ نبوده و در این زمینه مالکان همکاری لازم را خواهند داشت. بدین ترتیب، در هر مرحله یک مکان و محدوده برای هر پارکینگ به عنوان پاسخ کاندیدا تعیین می‌شود. سپس، بر اساس خودروهای موجود در هر محدوده و با توجه به زمان مراجعه خودروها به پارکینگ، اندازه پارکینگ‌ها بدست می‌آید. با داشتن مکان کاندیدای نصب، محدوده و اندازه هر پارکینگ و با توجه به منحنی توان تولیدی پارکینگ و منحنی توان مصرفی مشترکین، بوسیله‌ی تابع ارزشیابی، به هر پاسخ کاندیدا بر اساس اهداف تعیین شده یک ارزش اطلاق می‌شود که با مقایسه ارزش پاسخ‌ها، بهترین جواب به عنوان پاسخ نهایی مدل در این سناریو مشخص می‌گردد.

۴- اهداف مسئله

در این بخش اهداف مسئله بیان می‌شوند.

۴-۱- بهبود قابلیت اطمینان شبکه

یکی از مهمترین کاربردهای بالقوه خودروهای الکتریکی، بهبود کارائی سیستم قدرت است. از جمله این کاربردها می‌توان به کاهش تلفات،

سطح شارژ (SOC) آن در لحظه رسیدن به پارکینگ متفاوت خواهد بود. برای مدلسازی مسافت پیموده شده خودرو هنگام رسیدن به پارکینگ، با توجه به مرجع [۱۴]، از تابع توزیع احتمالاتی لگاریتمی زیر استفاده شده است:

$$D = e^{(\mu_m + \sigma_m N)} \quad (1)$$

$$\mu_m = \ln\left(\frac{\mu_{md}^2}{\sqrt{\mu_{md}^2 + \sigma_{md}^2}}\right) \quad (2)$$

$$\sigma_m = \sqrt{\ln\left(\frac{\mu_{md}^2 + \sigma_{md}^2}{\mu_{md}^2}\right)} \quad (3)$$

که در آن N عدد تصادفی با تابع توزیع نرمال بوده و پارامترهای μ_{md} و σ_{md} نیز، از روی داده‌های تاریخی بدست می‌آیند.

در نتیجه این مدلسازی، سطح شارژ یک خودرو در هنگام رسیدن به پارکینگ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$SOC_{ariv} = SOC_{int} - D \times E_m \quad (4)$$

در رابطه بالا، SOC_{ariv} سطح شارژ خودرو هنگام رسیدن به پارکینگ، SOC_{int} سطح شارژ اولیه خودرو و E_m ، مقدار شارژ مصرفی به ازای هر واحد پیمایش خودرو می‌باشد.

از سویی دیگر، زمان رسیدن به پارکینگ نیز در خودروها دارای عدم قطعیت می‌باشد. این عدم قطعیت را می‌توان با توجه به مرجع [۱۴] با استفاده از تابع توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص μ_{ariv} و σ_{ariv} مدلسازی نمود:

$$t_{ariv} = \mu_{ariv} + \sigma_{ariv}N \quad (5)$$

با مدلسازی احتمالاتی خودروها، منحنی توان تولیدی در پارکینگ‌ها قابل محاسبه بوده و می‌توان با توجه به منحنی بار مصرفی وضعیت شبکه را مشخص نمود.

۳- تعریف مسئله

در این بخش به معرفی مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی شبکه در حوزه قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن کاهش مسافت پیموده شده توسط خودروهای الکتریکی پرداخته می‌شود.

از آنجایی که معمولاً خودروهای الکتریکی در سطح یک منطقه پراکنده هستند، بایستی پارکینگ‌ها به نحوی قرار گیرند که خودروها کمترین مسیر ممکن را برای رسیدن به آن‌ها طی نمایند. هرچه قدر این مسیر کوتاه‌تر باشد رغبت مشترکین به شرکت کردن در طرح بیشتر و نیز خسارت پرداختی شرکت به صاحبان خودرو، برای جبران پیمودن این مسیر اضافه، کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر، مکان این پارکینگ‌ها باید به صورتی باشد که ضمن برآورده ساختن اهداف شبکه، رضایت صاحبان خودروها را بوسیله‌ی کاهش مسیر انتقال خودرو تا پارکینگ فراهم آورد. بدین منظور، در این مقاله دو سناریو ارائه می‌گردد.

۳-۴- کاهش هزینه های طرح

کاهش هزینه های طرح یکی دیگر از اهداف مسئله است. این هزینه ها شامل هزینه زمین، ساخت و تأمین لوازم پارکینگ، هزینه جبران طی مسافت مزاد توسط خودروها از محل اولیه پارک تا مکان پارکینگ ها و تلفات است. برای بدست آوردن تلفات در این مقاله از روش جاروب رفت و برگشت استفاده شده است. البته سایر هزینه های نیز می توانند در این قسمت گنجانده شوند که در این مقاله از آنها صرفنظر می شود. رابطه ۱۰ هزینه های طرح و رابطه ۱۲، هزینه های مربوط به پارکینگ ها را مشخص می کنند:

$$Cost = C_p + vehicle\ Cost \times PW + Losses\ Cost \times PW \quad (10)$$

$$PW = \sum_{i=1}^T \left(\frac{1+f}{1+d} \right)^i \quad (11)$$

$$C_p = (C_{accessories} + S_{vehicle} \times C_{ground}) \quad (12)$$

که در آن $Cost$ هزینه کل (\$), C_p هزینه مربوط به پارکینگ (\$) شامل هزینه زمین ($\$/m^2$)، هزینه لوازم مورد نیاز پارکینگ برای هر خودرو طی مسافت مزاد خودرو تا پارکینگ ($\$/m$), $C_{accessories}$ $vehicle\ Cost$, (\$) $S_{vehicle}$ مساحت مورد نیاز برای هر خودرو (m^2), PW ارزش در زمان حال, f نرخ تورم, d نرخ بهره و T بازه طراحی می باشد.

۵-تابع ارزشیابی

برای انتخاب پاسخ بهینه و به منظور مقایسه حالات ممکن جواب و ارزش گذاری هر کدام از آن ها، از تابع ارزشیابی استفاده می شود. این تابع شامل ارزش هر یک از اهداف بوده و مطلوبیت آن ها را به صورت عددی تعیین می کند. از آنجایی که در این مسئله اهداف مختلف با واحدهای مختلف وجود دارند، از الگوریتم های فازی جهت ترکیب آن ها بهره گیری می شود. برای این کار، با استفاده از بهترین و بدترین مقدار ارزش هر کدام از اهداف، تابع عضویت هر هدف تشکیل و میزان مطلوبیت هر هدف در هر پاسخ ممکن، بوسیله این تابع عضویت سنجیده می شود. از آنجایی که عدد تعیین شده توسط تابع عضویت بدون واحد است می توان خروجی تمام توابع عضویت را با یکدیگر ترکیب و از آن به عنوان ارزش پاسخ استفاده نمود.

$$G_1 = SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \quad (13)$$

$$G_2 = SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T} \quad (14)$$

$$G_3 = MAIFI = \frac{\sum \lambda_{mi} N_i}{N_T} \quad (15)$$

$$G_4 = C_p + vehicle\ Cost \times PW + Losses\ Cost \times PW \quad (16)$$

$$G_5 = Distance = \sum_{i=1}^n (x_{vehicle_i} \times p_{vehicle_i})^2 \quad (17)$$

تأمین نیاز پیک مصرف و بهبود شاخص های قابلیت اطمینان اشاره کرد. در این مقاله به بررسی بهبود شاخص های قابلیت اطمینان شبکه با استفاده از خودروهای الکتریکی پرداخته می شود. شاخص های متعددی برای تعیین قابلیت اطمینان تعریف شده اند که از میان آن ها می توان به شاخص SAIDI و SAIFI اشاره کرد. این دو شاخص در برگیرنده ای وقته های مانا بوده که مدت زمان رفع عیب در آن ها بیشتر از پنج دقیقه است. در صورتی که لازم باشد شبکه به صورت دقیق تر مورد بررسی قرار گیرد، می توان از شاخص MAIFI برای بهبود آنالیز بهره گیری کرد. این شاخص مرتبط با وقته های گذرا بوده و شامل خطاهایی می شود که زمان رفع عیب در آن ها کمتر از پنج دقیقه است.

$SAIDI = System\ Average\ Interruption\ Duration$

$$Index = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \quad (6)$$

$SAIFI = System\ Average\ Interruption\ Frequency$

$$Index = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T} \quad (7)$$

$MAIFI = Momentary\ Average\ Interruption$

$$Frequency\ Index = \frac{\sum \lambda_{mi} N_i}{N_T} \quad (8)$$

در این روابط، r_i زمان بازیابی خط، N_i تعداد مشترکین خاموش شده، N_T تعداد کل مشترکین، λ_i نرخ خرابی خطاهای مانا و λ_{mi} نرخ خرابی خطاهای گذرا می باشد. در این مقاله به منظور توجه به اهمیت وقته گذرا و نیز وقته های مانا، از ترکیب این سه شاخص برای ارزیابی بهبود قابلیت اطمینان بهره گیری شده است [۱۵].

۶- جلب رضایت صاحبان خودرو

یکی از اهدافی که در این مقاله به آن پرداخته می شود، جلب رضایت صاحبان خودرو برای مشارکت بیشتر در طرح های ارائه شده است. برای این منظور، ضمن پرداخت هزینه های مربوط به طرح، سعی بر آن است تا مسافت پیموده شده توسط خودرو تا پارکینگ حداقل گردد. به همین خاطر، از شاخص مسافت استفاده می گردد. این شاخص از محاسبه فاصله و توان خودروها تا مکان پارکینگ بدست می آید:

$$Distance = \sum_{i=1}^n (x_{vehicle_i} \times p_{vehicle_i})^2 \quad (9)$$

که در آن $x_{vehicle_i}$ فاصله هر خودرو محدوده i ام تا پارکینگ i ام، $p_{vehicle_i}$ توان هر خودرو محدوده i ام، n تعداد پارکینگ ها و $Distance$ شاخص مسافت است.

در متغیرهای مکان پارکینگ نیز شماره مرتبط با باس مکان پارکینگ قرار دارد. با بدست آوردن محدوده و مکان هر پارکینگ، اندازه آن نیز بر اساس خودروهای موجود در آن ناحیه و با توجه به زمان مراجعه خودروها به پارکینگ تعریف می‌شود.

برای مقایسه هر یک از پاسخ‌ها با یکدیگر و برازش آن‌ها، ازتابع ارزشیابی استفاده می‌شود. همانطور که بیان شد، چون جنس اهداف متفاوت است از روش فازی برای بهبود عملکرد الگوریتم‌ها بهره‌گیری شده است. در روش فازی با استفاده از توابع عضویت، اهداف مختلف دارای ارزش هم واحد شده و در نتیجه می‌توان ارزش اهداف را با یکدیگر ترکیب نمود.

در این مقاله، نحوه عملکرد تابع عضویت بدین صورت است که به بهترین پاسخ هر هدف مقدار صفر و به بدترین پاسخ مقدار یک نسبت داده می‌شود. در سایر پاسخ‌ها، بسته به مطلوبیت هدف در آن پاسخ و به نسبت بهترین و بدترین جواب در آن هدف خاص، عددی مابین صفر و یک نسبت داده خواهد شد.

لازم به توضیح است که بدترین و بهترین پاسخ برای هر هدف با توجه به فضای مساله تعیین می‌شود. با ترکیب اعداد بدست آمده از توابع عضویت هر هدف برای هر پاسخ ممکن، یک مقدار مشخص بدست می‌آید که این مقدار برای پاسخ بهینه باید در کمترین حد خود باشد.

۷- مطالعات عددی و نتایج

به منظور اعتبار بخشیدن به مدل ارائه شده در این مقاله و بررسی نتایج حاصل از آن از شبکه تست ۶۹ باسه IEEE استفاده شده است [۱۸]. بر روی شاخه‌های این شبکه، مطابق شکل شماره ۱، چندین فیوز به همراه یک کلید مدارشکن در ابتدای مدار فرض شده است.

بار تمامی مشترکین یکسان بوده ولی تعداد آن‌ها در باس‌های متفاوت متغیر است. بار مصرفی هر باس در بازه زمانی بهره‌برداری از توان تزریقی خودروها به سه بازه مطابق جدول ۱ تقسیم می‌شود.

جدول ۱، منحنی بار مصرفی مشترکین

توان مصرفی	بازه اول	بازه دوم	بازه سوم
۱۰۰٪ / بار پیک	۸۰٪ / بار پیک	۱۰٪ / بار پیک	

مقدار بار پیک بر اساس بار پیک شبکه تست ۶۹ باسه IEEE برای هر باس تعیین شده است.

در این شبکه، حداکثر تعداد نصب پارکینگ ۵ عدد بوده و نیز امکان نصب پارکینگ در باس تقدیمه اصلی وجود ندارد. حداکثر توان اولیه قابل تزریق در هر ساعت برای هر خودرو الکتریکی ۲/۵ کیلووات می‌باشد. خودروها پیش از انجام طرح در ساعات کم مصرف، شارژ شده‌اند. کسری از توان اولیه قابل تزریق، در مسافت روزانه مصرف شده و باقیمانده با توجه به مدل احتمالاتی ارائه شده، قابل استفاده در پارکینگ خواهد بود.

$$\text{Min } \text{Fitness} = \sum_i^n \alpha_i \mu_i(G_i) \quad (18)$$

در روابط بالا *Fitness*، ارزش فازی ناشی از ترکیب اهداف، G_i هدف i ام، r_i زمان بازیابی خطاب، N_i تعداد مشترکین خاموش شده، N_T تعداد کل مشترکین، λ_{mi} نرخ خرابی خطاهای مانا، PW ضریب ارزش حال، C_p (\$) هزینه مربوط به پارکینگ شامل هزینه زمین C_{ground} (\$) و هزینه لوازم موردنیاز پارکینگ برای طی مسافت مازاد خودرو تا پارکینگ $C_{\text{accessories}}$ C_{losses} Cost (\$/m) S_{vehicle} هزینه تلفات (\$)، N تعداد خودرو داخل پارکینگ‌ها، x_{vehicle_i} مساحت مورد نیاز برای هر خودرو (m)، p_{vehicle_i} توان هر خودرو محدوده i ام تا پارکینگ i ام (m)، n تعداد پارکینگ‌ها، α_i ضرایب تاثیر اهداف هستند.

۶- روش بهینه سازی مسأله

با توجه به نوع مسأله مطرح شده در این مقاله، الگوریتم‌های جستجوی تصادفی می‌توانند کارایی مطلوبی در یافتن پاسخ بهینه مدل داشته باشند. این الگوریتم‌ها به صورت هوشمند در محیط جواب به سمت پاسخ بهینه حرکت می‌کنند. هرچه قدر سرعت رسیدن به پاسخ نهایی، و نیز دقت آن، بیشتر باشد الگوریتم دارای ارجحیت و ارزش بالاتری خواهد بود. در این مقاله از سه الگوریتم جستجوی گرانشی، ژنتیک و ازدحام ذرات برای مطالعه مدل ارائه شده بهره‌گیری شده و کارایی هر یک از نظر سرعت و دقت مورد بررسی قرار گرفته است. در تمامی این روش‌ها ابتدا جواب‌های ممکن کدگذاری می‌شوند. هر چقدر این کدگذاری هوشمندانه تر انجام گیرد دقت و سرعت همگرایی روش افزایش می‌یابد.

بدین منظور، در سناریوی اول به تعداد حداکثر پارکینگ‌ها موردنظر، متغیر تعریف می‌شود که در هر متغیر یک شماره باس قرار می‌گیرد. این شماره باس نشان دهنده مکان نصب پارکینگ است. پس از انتخاب محل نصب کاندیدا، خودروهای الکتریکی با توجه به زمان مراجعه به پارکینگ و مسافت آن‌ها تا پارکینگ‌ها، جایابی شده و به نزدیک ترین پارکینگ کاندیدا و حداکثر تعداد خودروهای ورودی به آن، احداث پارکینگ کاندیدا و حداکثر تعداد خودروهای ورودی به آن، ظرفیت پارکینگ محاسبه می‌شود.

در سناریوی دوم، کدگذاری تا حدودی متفاوت است. برای کدگذاری در این حالت از چند متغیر استفاده شده است که تعدادی نشان دهنده مرز یک ناحیه و تعدادی دیگر نیز تعیین کننده مکان پارکینگ‌ها در هر محدوده هستند. بدین ترتیب، مناسب با حداکثر تعداد پارکینگ‌ها و نیز تعداد مرزها، متغیرهای اولیه الگوریتم تعریف می‌شوند. در متغیرهای مربوط به مرزها، در هر حالت یک شماره باس در داخل آنها قرار می‌گیرد که این شماره باس مرز هر محدوده را تعیین می‌کند.

بهترین و بدترین پاسخ هر هدف، سایر جواب‌ها ارزش گذاری شده و در نهایت با هم مقایسه می‌شوند. از آنجایی که سناریوی دوم دارای محدودیت برای مکان و محدوده پارکینگ خودروهای الکتریکی نیست، برای یافتن بهترین و بدترین پاسخ اهداف، از این سناریو استفاده شده است.

بدین منظور، ابتدا برنامه شبیه سازی صرفا برای یافتن پارکینگ خودروهای الکتریکی با کمترین مسافت پیموده شده اجرا می‌شود. در این حالت، اثر سایر اهداف صفر قرار داده شده است. با توجه به اینکه یک هدف در شبیه سازی وجود دارد، نیازی به استفاده از توابع فازی نبوده و فقط ارزش آن هدف بهینه می‌گردد. جدول ۳ نتایج مربوط به این شبیه سازی را نشان می‌دهد.

جدول(۳)، نتایج شبیه سازی با هدف کاهش مسافت خودروها تا پارکینگ

هزینه	شاخص مسافت
$6/4410 \times 10^9$	SAIFI
$7/7240$	MAIFI
$0/0361$	SAIDI
$0/4460$	SAIFI
$8/7937$	شاخص مسافت

با اجرای این برنامه، مقدار ۸۷۹۳۷ واحد به عنوان بهترین پاسخ برای شاخص مسافت در تابع عضویت کاهش مسافت طی شده تا پارکینگ، لحاظ می‌شود.

در حالت بعد در صورتی که برنامه شبیه سازی تنها با هدف بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان اجرا شود نتایج جدول ۴ حاصل می‌گردد.

جدول(۴)، نتایج شبیه سازی با هدف بهبود قابلیت اطمینان

هزینه	شاخص مسافت
$8/5643 \times 10^9$	SAIFI
$4/5354 \times 10^6$	MAIFI
$6/6240$	SAIDI
$0/0335$	SAIFI
$0/3736$	شاخص مسافت

شاخص‌های قابلیت اطمینان حاصل از اجرای این برنامه، بهترین پاسخ برای تابع عضویت فازی مربوط به هدف بهبود قابلیت اطمینان هستند. بدترین پاسخ برای این هدف، مقدار شاخص قابلیت اطمینان مربوط به اجرای برنامه شبیه سازی با هدف کاهش مسافت طی شده است.

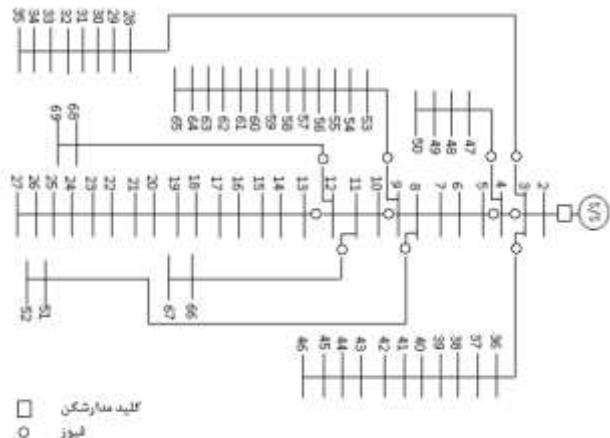
از نظر هزینه نیز برای بدترین پاسخ، هزینه مربوط به اجرای برنامه با هدف بهبود قابلیت اطمینان و برای کمترین هزینه (بهترین پاسخ هدف هزینه‌ها)، هزینه‌های انجام شده با هدف کاهش مسافت در تابع عضویت هزینه لحاظ می‌شود.

برای بدترین حالت شاخص مسافت، شاخص مسافت مربوط به اجرای برنامه با هدف بهبود قابلیت اطمینان در تابع عضویت مربوطه لحاظ می‌شود.

طول مسیر بین تمامی نقاط شبکه در یک ماتریس قرار داده شده است. هزینه انتقال خودرو از محل مراجعته اولیه تا پارکینگ توسط شرکت پرداخت می‌شود که این هزینه در مدل لحاظ شده است. در جدول پیوست محل مراجعته اولیه خودروها به همراه تعداد آن‌ها در طول بازه دشارژ، بر روی باس‌ها مشخص شده است. قبل از اجرای شبیه سازی با استفاده از مدل احتمالاتی تعریف شده برای خودروها، توان قابل دسترسی هر خودرو در هنگام مراجعته به پارکینگ و نیز بازه مراجعته خودروها به پارکینگ بدست می‌آید و در فرآیند شبیه سازی قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، منحنی توان تولیدی پارکینگ‌ها بدست آمده که با داشتن آن و منحنی مصرف مشترکین، وضعیت شبکه برای هر حالت کاندیدای مکان و ظرفیت پارکینگ قابل محاسبه است.

هزینه مربوط به پارکینگ شامل هزینه زمین و هزینه لوازم مورد نیاز برای هر خودرو بوده که در این مقاله هزینه زمین برابر ۱۰۰۰ دلار بر متر مربع و هزینه لوازم مورد نیاز برای خودرو نیز ۶ متر مربع است [۲]. در این مقاله نرخ تورم ۰/۰۸، نرخ بهره ۱/۱۴ و بازه طراحی ۳۵ سال در نظر گرفته شده است.

به منظور بررسی قابلیت اطمینان، با توجه به ادوات به کار رفته در شبکه تست از اطلاعات جدول شماره ۲ که از مقاله [۱۷] برداشت شده است استفاده می‌شود. در این جدول نرخ خرابی مانا، نرخ خرابی گذرا و مدت زمان رفع عیوب برای هر یک از تجهیزات مورد نیاز آورده شده است.



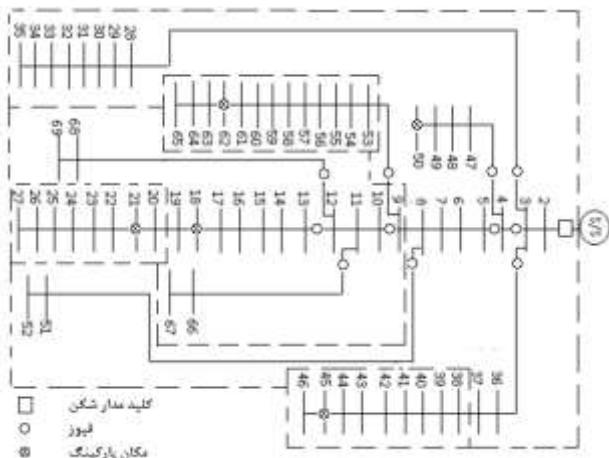
شکل (۱)، شبکه تست ۶۹ باسه IEEE به همراه تجهیزات حفاظتی

جدول(۲)، مشخصات قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه

نرخ خرابی مانا	نرخ خرابی گذرا	زمان تعییر (ساعت)	
۳۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۳۶	کلید مدار از کش
۱۸	۰/۰۰۱۵	۰/۰۳۵	کابل
۵	-	۰/۰۰۴	فیوز

همانطور که اشاره شد، برای ارزشیابی اهداف در این مقاله از توابع عضویت فازی بهره گیری می‌شود. در این توابع فازی، با استفاده از

الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک در رسیدن به پاسخ بهینه عملکرد بهتری نسبت به روش جستجوی گرانشی دارند. همانطور که بیان شد، در این سناریو خودروها به نزدیک‌ترین پارکینگ مراجعه می‌کنند. مکان و محدوده‌ی خودروهای ورودی به هر پارکینگ در پاسخ الگوریتم PSO در شکل شماره ۲ مشخص شده است.



شکل(۲)، مکان پارکینگ و خودروهای مربوط به هر پارکینگ در PSO الگوریتم

قابلیت اطمینان در پاسخ الگوریتم PSO برای شاخص SAIDI بهبود ۱۸/۱۴ درصدی، در شاخص ۱۸/۱۲ SAIFI درصد و برای شاخص MAIFI رشد ۱۷/۸۸ درصدی را نسبت به وضعیت اولیه شبکه نشان می‌دهد. جدول شماره ۶ مقدار شاخص‌های قابلیت اطمینان را پس از بهینه سازی نشان می‌دهد.

جدول(۶)، شاخص‌های قابلیت اطمینان در الگوریتم PSO

SAIDI	SAIFI	MAIFI	شاخص
۸/۷۹۲۳	۰/۴۹۵۸	۰/۰۴۲۵	مقدار بیشینه
۷/۱۹۷۴	۰/۴۰۵۹	۰/۰۳۴۹	مقدار بهینه
۶/۶۲۴۰	۰/۳۷۳۶	۰/۰۳۳۵	مقدار کمینه
٪۱۸/۱۴	٪۱۸/۱۳	٪۱۷/۸۸	بهبود

از نظر سرعت همگرایی الگوریتم‌ها، در صورتی که تعداد تکرار تا رسیدن به پاسخ نهایی به عنوان ارزش در نظر گرفته شود، روش جستجوی گرانشی نسبت به الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات سرعت بهتری را دارد. نمودار همگرایی سه الگوریتم در شکل شماره ۳ آمده است.

شود. در این حالت خودروها ضمن داشتن آزادی در پیمودن مسیر تا پارکینگ و پرداختن هزینه آن توسط شرکت، بهترین وضعیت را برای قابلیت اطمینان شبکه فراهم می‌آورند، در نتیجه جایه جایی بیشتر خودروها ضروری به نظر نمی‌رسد.

پس از انتخاب بدترین و بهترین پاسخ‌ها برای توابع عضویت فازی، با اجرای برنامه شبیه سازی پاسخ بهینه با در نظر گرفتن تمامی اهداف مدل توسط الگوریتم‌های ژنتیک، ازدحام ذرات و جستجوی گرانشی بدست می‌آید. در این حالت تمامی اهداف حضور داشته و به صورت فازی با استفاده از جداول ۳ و ۴ ارزشیابی می‌شوند.

سناریوی اول : تعیین مکان، محدوده و اندازه پارکینگ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن

مراجعه خودروها به نزدیک ترین پارکینگ

در این سناریو فرض بر این است که صاحبان خودرو تمایل دارند به نزدیک ترین پارکینگ مراجعه نمایند. در نتیجه با انتخاب هر پاسخ کاندیدا و تعیین مکان احداث، هر خودرو با توجه به زمان مراجعه به پارکینگ‌ها، به پارکینگی خواهد رفت که کمترین مسافت را با خودرو، نسبت به سایر پارکینگ‌ها، طی کند. با این فرض و با اجرای برنامه شبیه سازی در این سناریو، نتایج در جدول شماره ۵ آمده است. لازم به یادآوری است که در حل این مسئله از سه الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات و جستجوی گرانشی بهره گیری شده و عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول (۵)، نتایج حاصل از شبیه سازی

مکان پارکینگ	۱۸	۲۱	۴۵	۵۰	۶۲	۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
ظرفیت خودرویی پارکینگ	۶۰	۱۸	۳۳	۹۷	۶۳	۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
ارزش فازی			۰/۹۹۵۲			۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
تکرار همگرایی	۲۰					۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
مکان پارکینگ	۱۸	۲۱	۴۵	۵۰	۶۲	۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
ظرفیت خودرویی پارکینگ	۶۰	۱۸	۳۳	۹۷	۶۳	۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
ارزش فازی			۰/۹۹۵۲			۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
تکرار همگرایی	۳۴					۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
مکان پارکینگ	۲۲	۴۱	۵۰	۶۰	۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶	۱۲۹
ظرفیت خودرویی پارکینگ	۵۶	۴۳	۸۷	۸۴	۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶	۱۲۹
ارزش فازی			۱/۱۳۷۱			۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶
تکرار همگرایی	۱۱					۷۴	۸۷	۹۰	۹۷	۱۰۳	۱۱۶

با توجه به معادله شماره ۱۸ بهترین پاسخ زمانی است که تابع ارزشیابی فازی کمینه گردد. از همین رو نتایج نشان می‌دهد که



تأثیر مسافت خودرو تا پارکینگ در ترکیب با این اهداف بر مکان یابی و تعیین ظرفیت پارکینگ‌ها از نوآوری‌های این مقاله هستند. در این مقاله برای تجمعی اهداف مختلف مدل‌ها و بدلیل ماهیت متفاوت اهداف، از توابع عضویت فازی بهره گیری شد. این توابع در ترکیب با الگوریتم‌های ژنتیک، ازدحام ذرات و جستجوی گرانشی، پاسخ‌های ممکن برای حل مسئله را برسی و بهترین پاسخ را بدست می‌آورند. همچنین، در این مقاله عملکرد هر یک از این الگوریتم‌ها، از نظر دقت و سرعت همگرایی، با یکدیگر مقایسه و بهترین روش برای حل مسئله معرفی شد.

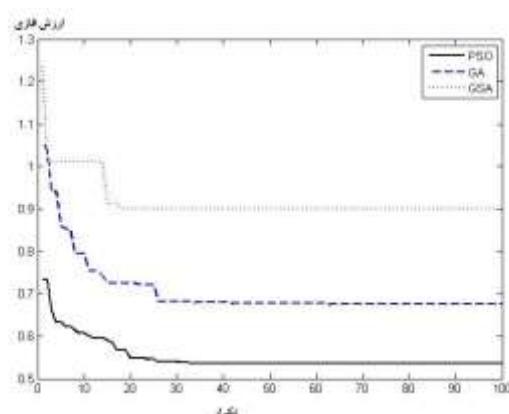
ضمایم

جدول مکان پارک اولیه خودروها در طول بازه دشارژ

(شماره باس – تعداد خودروی پارک شده)

	تعداد خودرو باس					
۱	۱۲	۲۴	۰	۴۷	۱۲	
۲	۱۶	۲۵	۰	۴۸	۲۰	
۳	۱۲	۲۶	۰	۴۹	۰	
۴	۸	۲۷	۰	۵۰	۰	
۵	۱۲	۲۸	۲۰	۵۱	۱۲	
۶	۸	۲۹	۱۲	۵۲	۰	
۷	۱۶	۳۰	۱۶	۵۳	۱۶	
۸	۴	۳۱	۲۰	۵۴	۱۲	
۹	۸	۳۲	۸	۵۵	۱۶	
۱۰	۱۲	۳۳	۰	۵۶	۱۲	
۱۱	۱۶	۳۴	۰	۵۷	۲۰	
۱۲	۱۲	۳۵	۰	۵۸	۱۲	
۱۳	۴	۳۶	۱۲	۵۹	۲۰	
۱۴	۱۲	۳۷	۸	۶۰	۲۰	
۱۵	۸	۳۸	۱۶	۶۱	۱۲	
۱۶	۸	۳۹	۱۲	۶۲	۰	
۱۷	۱۲	۴۰	۲۰	۶۳	۰	
۱۸	۱۶	۴۱	۲۰	۶۴	۰	
۱۹	۸	۴۲	۱۶	۶۵	۰	
۲۰	۱۶	۴۳	۰	۶۶	۱۲	
۲۱	۲۰	۴۴	۰	۶۷	۰	
۲۲	۱۲	۴۵	۰	۶۸	۱۲	
۲۳	۰	۴۶	۰	۶۹	۰	

الگوریتم‌های ارائه شده برگزیده می‌شود. نمودار همگرایی هر سه الگوریتم در شکل شماره ۵ آمده است.



شکل (۵)، نمودار همگرایی PSO، GA و GSA

با توجه به نتایج شبیه سازی و جداول ۵ و ۷، در بین دو استراتژی انتخاب پارکینگ و برای بهترین الگوریتم جستجو، سناریوی دوم - تعیین مکان، محدوده و اندازه پارکینگ خودروهای الکتریکی بدون محدودیت مراجعه خودروها - نسبت به سناریوی اول دارای عملکرد بهتری در بهبود هدف ترکیبی معادله ۱۸ است که این را می‌توان در جدول شماره ۹ مشاهده نمود.

جدول (۹)، مقایسه ارزش فازی دو استراتژی انتخاب پارکینگ

سناریوی اول	سناریوی دوم
۰/۹۹۵۲	۰/۵۳۶۶

بر اساس مدل ارائه شده در این مقاله، بهترین پاسخ زمانی است که ارزش فازی کمینه مقدار خود گردد.

۸- نتیجه گیری

استفاده از ویژگی ذخیره سازی انرژی در باتری‌های خودروهای الکتریکی زمینه مناسبی را برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت بوجود آورده است. این خودروها قادرند ضمن فعالیت در صنعت حمل و نقل، با حضور در پارکینگ‌های ویژه باعث بهبود کارائی شبکه برق گردند. در این میان برای بهره گیری از پتانسیل این خودروها نباید نقش موثر صاحبان خودرو را نادیده گرفت. ایجاد مطلوبیت در صاحبان خودرو سبب مشارکت هر چه بیشتر آنان در طرح‌های ارائه شده از سوی شرکت‌های توزیع می‌شود. از همین‌رو، کاهش مسیر پیموده شده توسط خودروها از محل اولیه پارک تا پارکینگ، در کنار پرداخت سود حاصل از مشارکت، از جمله مواردی است که می‌تواند باعث افزایش این همکاری گردد. در این مقاله با ارائه یک مدل احتمالاتی از خودروهای الکتریکی و با طرح دو استراتژی انتخاب پارکینگ توسط صاحبان آنها، در کنار کاهش مسافت طی شده توسط خودروها، به بهبود قابلیت اطمینان شبکه پرداخته شد. بررسی تأثیر رفتار صاحبان خودرو در انتخاب پارکینگ بر بهبود اهداف شبکه و نیز

مراجع

- [1] K. Morrow, D. Karner, and J. Francfort, "Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review", The Idaho National Laboratory, Tech. Rep., 2008.
- [2] Z. Fan, "A Distributed Demand Response Algorithm and Its Application to PHEV Charging in Smart Grids",

- [18] R. Parasher, "Load Flow Analysis of Radial Distribution Network using Linear Data Structure", Master of Technology, Rajasthan Technical University, Kota, October, 2013
- [۱۹] محمد رضا آقاپرایمی، مهدی تورانی، محمد مهدی قاسمی پور، "مکانیابی پارکینگ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن اطلاعات GIS و وسعت مناطق شهری"، هوش محاسباتی در مهندسی برق، سال پنجم، شماره چهارم، صفحه ۸۴ - ۷۱، دانشگاه اصفهان، زمستان ۹۳
- [3] IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 3, PP. 1280-1290, Sept. 2012.
- [4] W. Kempton, and J. Tomic, "Vehicle-to-Grid Power Implementation: From Stabilizing the Grid to Supporting Large-scale Renewable Energy", J. Power Sources, Vol. 144, No. 1, PP. 280-294, 2005.
- [5] J. R. Pillai, and B. Bak-Jensen, "Impacts of Electric Vehicle Loads on Power Distribution Systems," in Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Sept. 2010.
- [6] Z. Darbai, and M. Ferdowsi, "Aggregated Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Electricity Demand Profile," IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 2, No. 4, PP. 501-508, Oct. 2011.
- [7] S. Shao, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Grid Integration of Electric Vehicles and Demand Response with Customer Choice," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1, PP. 543-550, Mar. 2012.
- [8] X. Yu, "Impacts Assessment of PHEV Charge Profiles on Generation Expansion Using National Energy Modeling System", in Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, PP. 1_5, 2008.
- [9] W. Kempton, "A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System", Results from an Industry- University Research Partnership, 2008.
- [10] M. Moradijooz, and M. Parsa Moghaddam, "Optimum Allocation of Parking Lots in Distribution Systems for Loss Reduction", IEEE PES General Meeting, 2012.
- [11] M. Moradijooz, A. Ghazanfarimeymand, M. Parsa Moghaddam, and M. R. Haghifam, "Optimum Placement of Distributed Generation and Parking Lots for Loss Reduction in Distribution Systems ", Electrical Power Distribution Networks (EPDC) Conference, Tehran, Iran, 2012.
- [12] H. Shariatpanah, M. Sabourikenari, M. Mohamadian, and M. Rashidinejad, "Optimal Placement and Determine Parking Capacity of Electric Vehicles to Improve VSM and Congestion", Smart Grid Conference, Tehran, Iran, 2012.
- [13] M. amini, I. Sarwat, "Optimal Reliability-based Placement of Plug-In Electric Vehicles in Smart Distribution Network", International Journal of Energy Science (IJES), Vol.4, P.P 43-49, April 2014.
- [14] M. H. Amini, and A. Islam, "Allocation of Electric Vehicles' Parking Lots in Distribution Network", Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Washington, DC, 2014
- [15] S. A. Arefifar, Y. A.- R. I. Mohamed, and T. H. M. EL-Fouly, "Optimum Microgrid Design for Enhancing Reliability and Supply-Security", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 4, PP. 1567 – 1575, Aug. 2013.
- [16] H. R. Esmaeilian, M. M. Hosseini Bioki, M. Rashidinejad, and A. Abdollahi, "Economic-Driven Measure in Constructing a V2G Parking Lot from DisCo Perspective", International Journal of Economics and Management Engineering (IJEME), Vol. 2, Issue 3, PP. 117-124, Aug. 2012.
- [17] Y. M. Attwa, and E. F. El-Saadany, "Reliability Based Analysis for Optimum Allocation of DG", IEEE Canada Electrical Power Conference, 2007.