

ارائه روشی جدید به منظور بهینه‌سازی مدیریت شارژ و دشارژ PHEV‌ها با هدف بهبود پارامترهای الکتریکی شبکه

رضا اسلامی^۱, حامد نفیسی^۲ و سیدامیر حسینی^۳

۱- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی سهند تبریز- تبریز- ایران

eslami@sut.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران- ایران

nafisi@aut.ac.ir

۳- گروه مهندسی برق- دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان- اصفهان- ایران

hosseini.amir@gut.ac.ir

چکیده: مشکلات مربوط به هزینه و آلاجندگی سوخت‌های فسیلی موجب افزایش انگیزه در بهره‌برداری از خودروهای الکتریکی

شده است. با این وجود، استفاده از این خودروها بدلیل بار الکتریکی مضاعفی که به شبکه برق تحمیل می‌کنند، با چالش همراه است. براین اساس در این مقاله روشی ارائه شده است که با مدیریت بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی هیبریدی (PHEV)، پارامترهای الکتریکی شبکه شامل تلفات و پروفیل ولتاژ بهبود یابند. مدیریت بهینه مدنظر مقاله حاضر، مدیریت همزمان توان اکتیو و راکتیو PHEV‌ها را شامل می‌شود. بمنظور اجرای مدیریت بهینه، در این مقاله رفتار احتمالی مصرف کنندگان و PHEV‌ها براساس فاکتورهای تاثیرگذار در آن‌ها مدلسازی شده است. با توجه به تعدد فاکتورهای مدنظر و عدم همگرایی مسئله توسط روش‌های عادی بهینه‌سازی، روش بهینه‌سازی دو مرحله‌ای پیشنهاد داده شده است که با مدیریت توان اکتیو و راکتیو PHEV‌ها، امکان دستیابی به اهداف مدنظر را فراهم می‌کند. از مزیت‌های روش پیشنهادی می‌توان به کاهش حجم محاسبات با توجه به حل مساله در هر پله زمانی به صورت مستقل و در نتیجه کاهش زمان حل مساله بهینه‌سازی اشاره کرد. روش پیشنهادی با انجام تکرارهای مونت کارلو بر روی شش سناریوی مدیریت توان مختلف توسط نرم‌افزارهای DIGSILENT و GAMS بر روی شبکه واقعی ۲۰kV توزیع سیرجان در استان کرمان پیاده‌سازی شده است. نتایج حاصل از انجام سناریوهای مختلف نشان می‌دهند که مدیریت اعمالی بر شارژ و دشارژ PHEV‌ها موجب صاف‌تر شدن پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات شبکه گردیده است. بنابراین با استفاده از روش پیشنهادی، بار الکتریکی مضاعف تحمیل شده به شبکه توسط خودروهای برقی نه تنها باعث افزایش تلفات انرژی نخواهد شد، بلکه با مدیریت صحیح PHEV‌ها، تلفات شبکه در مقایسه با عدم حضور آن‌ها کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تلفات انرژی- خودرو الکتریکی هیبریدی (PHEV)- ریزشبکه- مدیریت توان

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

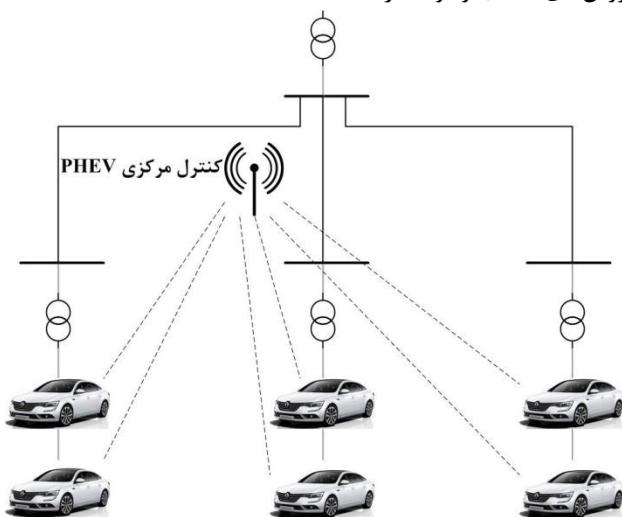
نام نویسنده‌ی مسئول: رضا اسلامی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی سهند تبریز- تبریز- ایران

۱- مقدمه

خودروهای برقی اتصال به شبکه با درنظرگیری اثر پیری در حالت V2G انجام یافته است.

استفاده از مرکز کنترل مانند آنچه در شکل (۱) نشان داده شده است، راهکار پیشنهادی مطالعات [۱۸، ۱۹] برای حل مسئله کمینه کردن تلفات انرژی در یک شبکه وسیع با ضریب نفوذ بالای خودروها است. در این روش با توجه به آنکه تمامی خودروهای موجود در شبکه می-باشیست با یک مرکز کنترل مرکزی در ارتباط باشند و تمامی اطلاعات مربوط به هر خودرو به این مرکز ارسال شود، بنابراین نیاز به یک شبکه مخابراتی بسیار گسترده با قابلیت ارسال و دریافت اطلاعات در ابعاد وسیع می‌باشد. همچنین در این مطالعات، مسئله بهینه‌سازی توسط روش‌های محاسب حل می‌شود. با توجه به آنکه قیود مسئله ناشی از معادلات پخش بار، غیرمحاسب می‌باشند، لذا امکان حل مسئله به کمک روش‌های محاسب وجود ندارد.



شکل (۱): زیرساخت مخابراتی مورد نیاز برای کمینه کردن تلفات انرژی در روش‌های [۱۹، ۱۸]

براین اساس در این مقاله یک روش جدید بهینه‌سازی دو مرحله‌ای برای مدیریت بهینه شارژ و دشارژ PHEV‌ها ارائه شده است. در این روش، مسئله بهینه‌سازی در دو مرحله حل می‌گردد. در مرحله اول مدیریت بهینه توان اکتیو این خودروها انجام می‌شود و در مرحله دوم مدیریت بهینه توان راکتیو آن‌ها انجام می‌شود. استفاده از روش بهینه‌سازی پیشنهادی، امکان ورود فاکتورهای تاثیرگذار بر مدیریت بهینه این خودروها را میسر می‌سازد که در مطالعات گذشته صورت پذیرفته در این حوزه، در نظر گرفته نشده‌اند. براین اساس در مقاله حاضر رفتار احتمالی مصرف کنندگان شبکه توسعه، رفتار احتمالی PHEV‌ها، عملکرد در حالت V2G و عملکرد در حالت انتقال توان از شبکه به خودرو (G2V^۲)، پیوسته در نظر گرفتن پارامترهای کنترلی خودروها شامل توان‌های اکتیو و راکتیو و قابلیت تزریق توان راکتیو به صورت همزمان در مدیریت بهینه شارژ PHEV‌ها مدنظر قرار گرفته‌اند. روش جدید پیشنهادی بر روی شبکه ۲۰ kV سیرجان در استان کرمان برای سناریوهای مختلف پیاده‌سازی شده است. نتایج حاصل از انجام

سهم چشمگیر خودروهای شهری در آلودگی روز افزون شهرها، بالا بودن هزینه تامین و مصرف سوخت فسیلی برای این خودروها و همچنین پایین بودن بازده این نوع خودروها که تنها ۱۶٪ از انرژی ورودی خود را به انرژی حرکتی تبدیل می‌کنند، موجب شده است که خودروهای با سوخت فسیلی توجیه اقتصادی و زیست محیطی نداشته باشند. این مسائل از جمله مهمترین دلایل گرایش به سمت خودروهای الکتریکی است که در مقایسه با خودروهای دیزلی و بنزینی بسیار پرپایزاده‌تر هستند [۲، ۱]. در واقع بررسی‌ها نشان می‌دهند که خودروهای برقی ۵۶٪ از انرژی ورودی را به انرژی حرکتی تبدیل می‌کنند. در این میان با توجه به رشد مصرف انرژی الکتریکی و افزایش هزینه‌های تولید آن، می‌باشد سازوکار کنترل و مدیریت این خودروها توسط صنعت برق حاکم شود [۳].

با توجه به افزایش استفاده از خودروهای الکتریکی هیبریدی (PHEV)، ضروری است که بسترهای فراهم شود تا هم از مواجه شدن شبکه قدرت با مشکلات ایجاد شده به دلیل حضور وسیع این‌گونه بارها جلوگیری شود و هم امکان استفاده از این خودروها به عنوان بارهای کنترل پذیر جهت بهبود پارامترهای شبکه مهیا شود [۴]. پارامترهای مهمی که این خودروها در بهبود آن‌ها می‌توانند نقش بسزایی داشته باشند، کاهش تلفات شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ است. در واقع اگرچه روش‌هایی چون انتخاب بهینه‌های هادی‌ها [۶، ۵]، خازن‌گذاری [۹-۷]، جایابی تولیدات پراکنده [۱۰، ۱۱] و تغییر آرایش شبکه [۱۲، ۱۳] برای کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در شبکه‌های توزیع و ریزشبکه‌ها پیشنهاد شده‌اند، اما در سالیان اخیر با پیشرفت تکنولوژی استفاده از PHEV‌ها به عنوان بارهای قابل کنترل و ژنراتورهای کنترل پذیر، در رسیدن به این اهداف مدنظر قرار گرفته‌اند [۱۴].

دستیابی به اهداف بهبود پارامترهای شبکه (تلفات و پروفیل ولتاژ) با شارژ هماهنگ خودروهای الکتریکی محقق می‌گردد. در [۱۵] نشان داده شده است که شارژ غیر هماهنگ، نه تنها نمی‌تواند مزایای مدنظر را ایجاد نماید بلکه موجب افزایش پیک بار و تلفات شده و نیز ولتاژ و ضریب توان را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر مدیریت بهینه شارژ با مدل‌سازی درست و دقیق مسئله و فاکتورهای تاثیرگذار بر آن ایجاد می‌شود. با این وجود تعدد فاکتورهای تاثیرگذار بر مدیریت بهینه شارژ موجب بزرگ شدن مسئله بهینه‌سازی و پیچیدگی آن می‌شود که با روش‌های عادی حل این مسائل، همگرا نخواهد شد. در [۱۶] روشی به منظور شارژ بهینه PHEV ارائه شده است که در آن با استفاده از مدل‌های واقعی باتری PHEV، نرخ مصرف برق توسط مشترکین در زمان‌های مختلف و داده‌های واقعی تقاضای خانوارها، مدلی برای سیستم در حالت عملکرد انتقال توان از خودرو به شبکه (V2G) پیشنهاد شده است. همچنین در [۱۷] بهینه‌سازی هزینه شارژ

در رابطه (۴) اگر PHEV در گره m وجود داشته باشد، $Presence_{PHEV,m}$ برابر یک است، در غیر اینصورت این مقدار برابر صفر است. لازم به ذکر است که در این رابطه $P_{max,PHEV,m,t}$ حداکثر توان کشیده شده از شبکه توسط PHEV در گره m می باشد.

برخلاف مطالعات گذشته، در روش پیشنهادی در مقاله حاضر، علاوه بر توان اکتیو، توان راکتیو خودروها نیز در هر لحظه به عنوان متغیرهای کنترلی در نظر گرفته می شوند. بنابراین روابط کمینه کردن تلفات انرژی در شبکه توزیع در بازه زمانی T به صورت رابطه (۵) پیشنهاد می شود.

$$Objective\ Function = F(x) = \minimize(\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} R_j (I_{j,t})^2)$$

Control Parameters : X

$$\begin{pmatrix} P_{PHEV,1}^l & Q_{PHEV,1}^l & P_{PHEV,1}^2 & Q_{PHEV,1}^2 & \dots & P_{PHEV,1}^{TS} & Q_{PHEV,1}^{TS} \\ P_{PHEV,2}^l & Q_{PHEV,2}^l & P_{PHEV,2}^2 & Q_{PHEV,2}^2 & \dots & P_{PHEV,2}^{TS} & Q_{PHEV,2}^{TS} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ P_{PHEV,n}^l & Q_{PHEV,n}^l & P_{PHEV,n}^2 & Q_{PHEV,n}^2 & \dots & P_{PHEV,n}^{TS} & Q_{PHEV,n}^{TS} \end{pmatrix} \quad (5)$$

در این رابطه R_j مقاومت زامین خط، X ماتریس پارامترهای کنترلی تابع هدف، TS تعداد پله های زمانی در نظر گرفته شده در بازه زمانی T ، N تعداد PHEV ها و $P_{PHEV,n}^{TS}$ به ترتیب توان اکتیو و راکتیو مصرفی n امین PHEV در زمان TS می باشند.

برای حل تابع هدف رابطه (۵)، قیود بهینه سازی شامل روابط پخش بار غیر محدب در رابطه (۶)، قیود مربوط به منحنی های عملکردی PHEV ها در رابطه (۷) و قید شارژ کامل PHEV ها در انتهای بازه زمانی در رابطه (۸) آورده شده است.

$$p_{m'}^t = \sum_{m' \in N} V_m^t V_{m'}^t Y_{mm} \cos(\theta_{mm'} - \delta_m^t + \delta_{m'}^t) \quad \forall m \in M \quad (6)$$

$$q_{m'}^t = \sum_{m' \in N} V_m^t V_{m'}^t Y_{mm'} \sin(\theta_{mm'} - \delta_m^t + \delta_{m'}^t) \quad \forall m \in M$$

$$p_m^t + jq_m^t = S_{customer}^t + S_{PHEV,n}^t \quad \forall m \in N \quad (7)$$

$$p_{PHEV,n}^t + Q_{PHEV,n}^t \leq S_{Rated,n}^t \quad \forall n \in V$$

$$\sum_{t \in T} P_{PHEV,n}^t = B_n \quad \forall m \in M \quad (8)$$

در این روابط M مجموعه گره های سیستم قدرت، m' و m شماره گره ها و t زمان است. برای اساس p_m^t توان اکتیو تزریقی در m گره در زمان t ، q_m^t توان راکتیو تزریقی در m گره در زمان t ، V_m^t دامنه ولتاژ در m امین گره در زمان t ، δ_m^t زاویه ولتاژ در

سناریوهای مختلف نشان می دهند که مدیریت اعمالی بر شارژ و دشارژ PHEV ها (توسط کنترل توان اکتیو و راکتیو آن ها)، موجب صاف تر شدن پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات شبکه گردیده است. ساختار این مقاله بدین شکل است. در بخش دوم، تابع هدف جدید پیشنهادی برای کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با کنترل بهینه توان اکتیو و راکتیو PHEV ها ارائه می شود. همچنین در این بخش روش بهینه سازی دو مرحله پیشنهادی جهت مدیریت بهینه شارژ و دشارژ این خودروها بمنظور نیل به هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ ارائه خواهد شد. ارائه مدل دقیق از بارهای شبکه و PHEV ها با درنظر گرفتن عدم قطعیت های تاثیرگذار در آن ها از جمله دیگر موارد ارائه شده در بخش دوم مقاله حاضر است. در بخش سوم مقاله نیز، روش پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه در شش سناریوی مختلف پیاده سازی شده و نتایج مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته اند.

۲- روش پیشنهادی

۱- تابع هدف پیشنهادی

همانطور که بیان شد هدف از ارائه مقاله حاضر بهینه نمودن مدیریت شارژ و دشارژ خودروهای بر قی بمنظور کاهش تلفات شبکه است. بدین منظور تابع هدف رابطه (۱) ارائه شده است.

$$Objective\ Function = \minimize(\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J R_j I_{j,t}^2) \quad (1)$$

در این رابطه R_j مقاومت خط زام، $I_{j,t}$ جریان خط زام در زمان t ، J تعداد خطوط شبکه و T بازه زمانی محاسبه تلفات انرژی است. بمنظور دستیابی به تابع هدف رابطه (۱) لازم است قیود ارائه شده در روابط (۲) و (۳) که مرتبط با توان و جریان مجاز گره ها هستند، محقق شوند.

$$S_{m,t} = V_{m,t} (I_{m,t})^* \quad (2)$$

$$\sum_t S_{m,t} = E_{Total,m} \quad (3)$$

در این روابط $S_{m,t}$ بار در گره m در زمان t در حداقل بار مجاز در گره m در زمان t ، $S_{min,m,t}$ و $S_{max,m,t}$ حداکثر بار مجاز در گره m در زمان t ، $V_{m,t}$ ولتاژ در گره m در زمان t ، $I_{m,t}$ جریان در گره m در زمان t و $E_{Total,m}$ انرژی کلی تحويل شده به گره m در بازه زمانی T می باشد. در رابطه (۲) حداکثر بار مجاز در هر گره از رابطه (۴) قابل استحصال است.

$$S_{max,m,t} = S_{min,m,t} + Presence_{PHEV,m} \times P_{max,PHEV,m,t} \quad (4)$$

بمنظور حل مسئله بهینه‌سازی مدیریت توان اکتیو و راکتیو PHEV در قالب روش دو مرحله‌ای پیشنهادی، فلوچارت شکل (۲) ارائه شده است.

۲-۱-۲- مرحله اول: کاهش تلفات با مدیریت توان اکتیو PHEV ها

مطابق رابطه (۷) مقدار بار هر گره می‌تواند شامل بار مصرف‌کننده و بار PHEV باشد. پروفیل بار مصرف‌کنندگان را می‌توان با روش‌های پیش‌بینی بار با خطای کمی پیش‌بینی نمود [۲۲، ۲۱]. به کمک روش ذکر شده در [۲۲، ۲۱] می‌توان مقدار توان اکتیو بارهای خانگی را در هر لحظه تعیین نمود اما در این روش‌ها، عدم قطعیت‌های موجود در بارها مدنظر قرار نگرفته است. براین‌اساس، مقاله حاضر استفاده از توزیع نرمال مستقل را برای مدل‌سازی بارها با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در آن‌ها در پیشنهاد داده است. این مدل در بخش ۲-۳-۱ ارائه شده است.

به همین ترتیب انرژی روزانه مورد نیاز PHEV‌ها با توجه به روش‌های موجود و مدل‌سازی رفتار PHEV‌ها قابل تخمین می‌باشد (که در بخش ۲-۳-۲ مقاله حاضر انجام شده است). بنابراین مقدار انرژی روزانه برای هر گره قابل پیش‌بینی بوده و با انتگرال گیری توان بارها در دوره ۲۴ ساعته مطابق رابطه (۱۱) قابل محاسبه می‌باشد.

$$\text{Total Energy}_m^T = \sum_{t=0}^T P_m^t = D \quad (11)$$

که در آن Total Energy_m^T انرژی مورد نیاز m امین گره در بازه زمانی T و D مقداری ثابت است.

امین گره در زمان t ، دامنه ادمیتانس بین m' امین گره و m امین گره، $\theta_{mm'}$ زاویه ادمیتانس بین m امین گره و m' امین گره، $S_{customer}^t$ مقدار بار مصرفی مشترکین متصل شده به m امین گره در زمان t (بدون بار PHEV)، $S_{PHEV,n}^t$ توان ظاهری مصرفی PHEV در زمان t و $S_{Rated,n}^t$ توان نامی n امین PHEV و ظرفیت باتری n امین PHEV می‌باشد.

۲-۲- روش بهینه‌سازی دو مرحله‌ای پیشنهادی

همانطور که در رابطه (۱) بیان شد، هدف از ارائه مقاله حاضر کاهش تلفات شبکه با استفاده از کنترل توان اکتیو و راکتیو PHEV‌ها است (پارامتر کنترلی X). براین‌اساس اگر ولتاژ در تمامی نقاط شاخه ثابت در نظر گرفته شود، آنگاه تلفات توان ظاهری خط j ام در زمان t ام، مناسب با مربع توان عبوری از شاخه j ام می‌باشد [۲۰]. بنابراین با اصلاح رابطه (۱)، تلفات توان ظاهری شاخه j ام در زمان t ام ($Apparent Power_j^t$) به صورت رابطه (۹) خواهد بود.

$$Apparent Power_j^t = \frac{R_j \left(\left(P_j^t \right)^2 + \left(Q_j^t \right)^2 \right)}{V_M^2} = CR_j \left(\left(P_j^t \right)^2 + \left(Q_j^t \right)^2 \right) \quad (9)$$

در این رابطه P_j^t توان اکتیو عبوری از شاخه j ام در زمان t ، Q_j^t ولتاژ نامی شبکه V_M در زمان t ، R_j و C ضریب ثابت می‌باشند.

تلفات انرژی شاخه j ام در بازه زمانی مشخص برابر است با انتگرال تلفات توان ظاهری در همان بازه (به عنوان مثال در بازه ۲۴ ساعته) و بنابراین می‌توان تلفات انرژی شاخه j ام در زمان T ($Energy Losses_j^T$) را به صورت رابطه (۱۰) محاسبه نمود.

$$Energy Losses_j^T = \sum_{t \in T} Apparent Power_j^t = CR_j \sum_{t \in T} \left(\left(P_j^t \right)^2 + \left(Q_j^t \right)^2 \right) \quad (10)$$

مطابق رابطه (۱۰) می‌توان مسئله کمینه نمودن تلفات انرژی (مدیریت همزمان توان اکتیو و راکتیو PHEV‌ها) را به دو مسئله مجزای بهینه‌سازی شامل مدیریت توان اکتیو PHEV‌ها به عنوان مرحله اول و مدیریت توان راکتیو PHEV‌ها به عنوان مرحله دوم تبدیل نمود. این امر به دو دلیل میسر گردیده است. اولاً توان اکتیو بارهای موجود در شبکه توزیع بزرگتر از توان راکتیو همان بارها در همان زمان می‌باشد. به عبارت دیگر توان اکتیو و راکتیو بارها دارای الگو یکسان بوده و ضریب توان بارهای موجود در شبکه عموماً بیش از ۸۵٪ می‌باشد. ثانیاً باطری PHEV‌ها در انتهای بازه زمانی می‌باشند کاملاً شارژ شود (طبق رابطه (۸)).

باشد. به عبارت دیگر، پاسخ تقاضای کامل منجر به کمینه کردن تلفات انرژی در سیستم قدرت خواهد شد. این مسئله به صورت زیر قابل اثبات می‌باشد. ابتدا تابعی به عنوان تلفات شبکه انرژی به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود.

$$Coenergy\ Losses_m^T = \sum_{t \in T} \left(P_m^t - F \right)^2 \quad (12)$$

که در آن $Coenergy\ Losses_m^T$ تلفات شبکه انرژی در m امین گره در طی بازه زمانی T و F مقداری ثابت است. بازکردن رابطه (۱۲) رابطه (۱۳) حاصل می‌شود.

$$Coenergy\ Losses_m^T = \sum_{t \in T} \left(P_m^t \right)^2 + \sum_{t \in T} F^2 - 2F \sum_{t \in T} P_m^t \quad (13)$$

و با جایگذاری رابطه (۱۱) در رابطه (۱۳)، رابطه (۱۴) بدست می‌آید.

$$Coenergy\ Losses_m^T = Energy\ Losses_j^T + T \times F^2 - 2F \times D \quad (14)$$

از معادله بالا کاملاً واضح است که کمینه کردن تلفات انرژی خطوط یا به عبارت بهتر کمینه کردن تلفات شبکه به کمک مدیریت توان $PHEV$ ها، $Energy\ Losses_j^T$ ، منجر به کمینه کردن تلفات شبکه انرژی خواهد شد. مطابق رابطه (۱۲) تلفات شبکه انرژی زمانی کمینه خواهد شد که رابطه (۱۵) برقرار باشد.

$$P_m^t = F \quad (15)$$

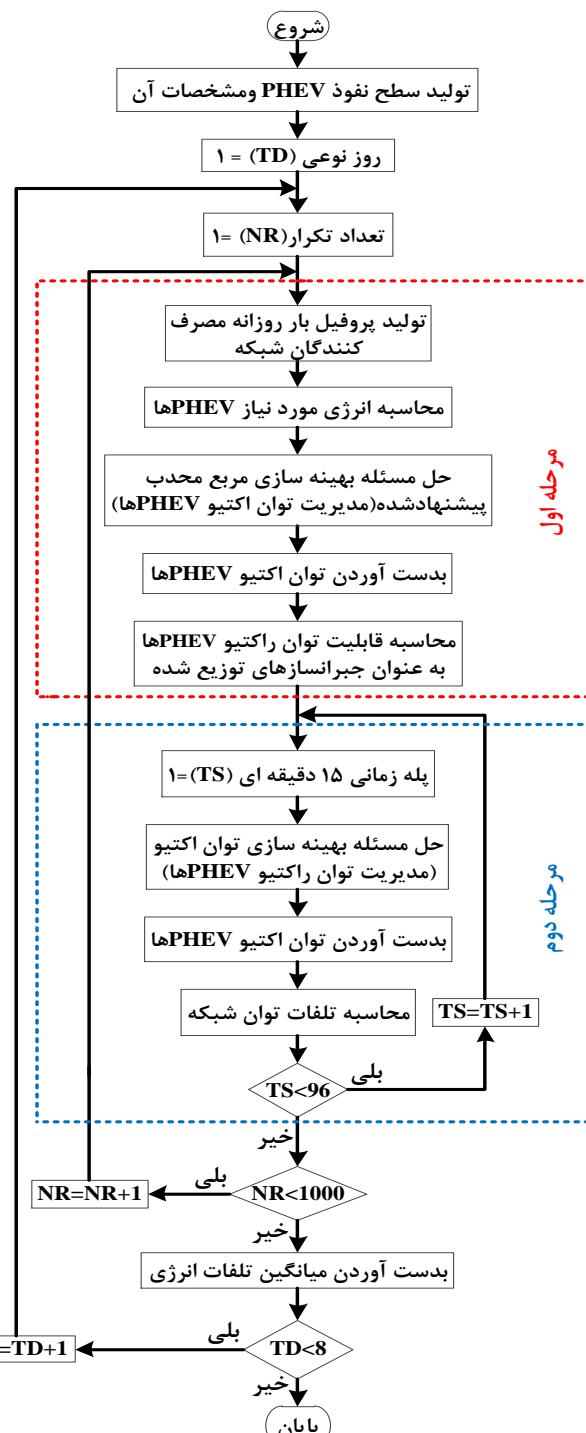
به عبارت دیگر، تلفات شبکه با حضور بارهای کاملاً کنترل پذیر زمانی حداقل خواهد شد که مقدار بار در طی بازه زمانی T کاملاً ثابت باشد و منحنی بار در این حالت برابر با یک خط صاف خواهد شد. با جایگزینی رابطه (۱۵) در رابطه (۱۱)، رابطه (۱۶) حاصل می‌شود.

$$F = \frac{Total\ Energy_m^T}{T} \quad (16)$$

معادله بالا بدین معنی است که در صورتی که مقدار توان مورد نیاز هر گره در زمان t در طول بازه زمانی T ثابت بوده و برابر با میانگین انرژی مورد نیاز گره در همان بازه باشد، تلفات انرژی شبکه در آن بازه حداقل خواهد بود. با توجه به اینکه در واقعیت امکان کنترل تمامی بارهای موجود در شبکه وجود ندارد، بنابراین امکان دستیابی به پروفیل بار کاملاً صاف و در بی آن کمینه کردن تلفات وجود نخواهد داشت. بنابراین تلفات شبکه را حداقل نماید. بر همین اساس رابطه مدیریت $PHEV$ ها به عنوان مرحله اول بهینه سازی در بازه زمانی T به صورت رابطه (۱۷) خواهد بود.

$$Objective\ Function = G(Y) = \underset{t \in T}{\text{minimize}} \left(\sum_{m \in M} \left(P_m^t - \frac{TE_n^T}{T} \right)^2 \right) \quad \forall m \in M \quad (17)$$

$$Y = \begin{pmatrix} P_{PHEV,1}^1 & P_{PHEV,1}^2 & \dots & P_{PHEV,1}^{Tl} \\ P_{PHEV,2}^1 & P_{PHEV,2}^2 & \dots & P_{PHEV,2}^{Tl} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{PHEV,n}^1 & P_{PHEV,n}^2 & \dots & P_{PHEV,n}^{Tl} \end{pmatrix} \quad (17)$$



شکل (۲): فلوچارت روش پیشنهادی بهینه سازی دو مرحله‌ای

$PHEV$ ها به عنوان بارهای وقفه‌پذیر و کنترل پذیر در مدل عملکردی V2G و به عنوان سیستم ذخیره انرژی کنترل پذیر در حالت می‌توانند شکل منحنی بار را تغییر دهند. بنابراین با حضور $PHEV$ تعداد زیادی منحنی تقاضا را می‌توان ترسیم نمود که در رابطه (۱۱) صدق نماید. اما در میان آن‌ها، با توجه به معادله (۵) منحنی می‌بایست انتخاب شود که کمینه تلفات انرژی را تضمین نماید. در شرایط کلی و بدون در نظر گرفتن قیود دیگر مسئله، پاسخ یک خط صاف افقی می‌-

PHEV‌ها مانند خازن‌های توزیع شده عمل کرده و تلفات شبکه را کاهش می‌دهند. بنابراین با توجه به مطالب ارائه شده، تابع هدف پیشنهادی جهت کاهش تلفات شبکه در مرحله دوم، مشابه توابع ارائه شده در مسائل متدالو جایابی بهینه خازن در شبکه‌های توزیع می‌باشد. بنابراین تابع هدف در مرحله دوم جهت کاهش تلفات به کمک مدیریت توان PHEV‌ها به صورت رابطه (۱۸) خواهد بود.

$$\text{Objective Function} = H(Z) =$$

$$\underset{j \in L}{\text{minimize}} \left(\sum_{j \in L} R_j \left(I_j^t \right)^2 \right) \quad \forall t \in T \quad (18)$$

$$Z = \begin{bmatrix} Q_{PHEV,1}^t & Q_{PHEV,2}^t & \dots & Q_{PHEV,n}^t \end{bmatrix}$$

که در آن Z ماتریس پارامترهای کنترلی در این مسئله بهینه‌سازی می‌باشد.

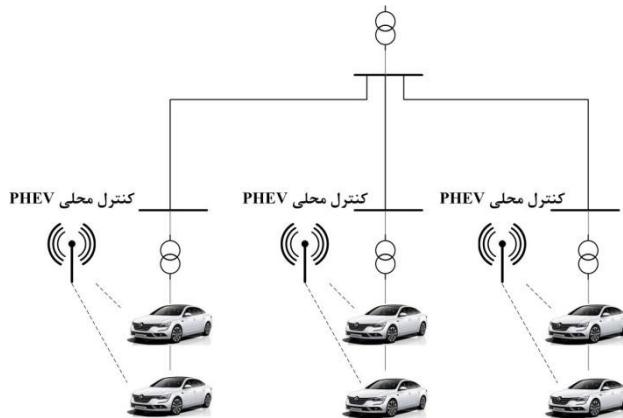
همان طور که از رابطه (۱۸) قابل استنتاج است، حل مسئله بهینه‌سازی در مرحله دوم به توبولوژی شبکه وابسته بوده و در نتیجه لازم است که توان راکتیو به صورت غیر محلی و به صورت کلی در مرکز کنترل مرکزی مدیریت شود. از طرف دیگر، این مرحله از بهینه‌سازی مستقل از زمان بوده و جهت دستیابی به تلفات توان حداقل لازم است که بهینه‌سازی در هر پله زمانی انجام گیرد. بنابراین حجم محاسبات با توجه به حل مسئله در هر پله زمانی به صورت مستقل کاهش می‌یابد.

باتوجه به مطالب ذکر شده می‌توان ادعا نمود که روش پیشنهادی می‌تواند در عمل مورد استفاده قرار گیرد. بر همین اساس جهت دستیابی به تلفات انرژی حداقل در یک شبکه توزیع با استفاده از مدیریت توان اکتیو و راکتیو PHEV‌ها، لازم است تا مرکز کنترل مرکزی در پست اولیه و مراکز کنترل محلی در پست‌های ثانویه تاسیس شوند. بنابراین اساس جهت کنترل توان راکتیو خودروهای برقی در مرحله دوم مدیریت شارژ پیشنهادی، لازم است بسترها گستردۀ مخابراتی ایجاد شود (مانند سیستم‌های واپرس) تا این طریق کلیه خودروها بتوانند با سرور مرکزی که در پست اولیه قرار دارد تبادل اطلاعات نموده و فرآیند کنترل توان راکتیو خود را از طریق فرمان‌های این سرور، بهینه نمایند.

بنابراین طبق فلوچارت نشان داده شده در شکل (۲)، پیشنهاد می‌گردد که مدیریت توان اکتیو PHEV‌ها در مرحله اول به صورت محلی در مراکز کنترل محلی و با روش بهینه‌سازی مربع محدب برای بازه زمانی ۲۴ ساعته انجام گرفته و سپس برای هر پله زمانی و با توجه به اطلاعات بدست آمده از مرحله قبل، مدیریت توان راکتیو PHEV‌ها در مرحله دوم به صورت کلی در مرکز کنترل مرکزی و با روش بهینه‌سازی غیر محدب انجام گیرد. در روش دو مرحله‌ای پیشنهادی نیاز به وجود لینک ارتباطی جهت تبادل اطلاعات بین مراکز محلی و مرکزی وجود دارد. مزیت اصلی روش پیشنهادی این است که کاهش تلفات در شبکه توزیع به کمک مدیریت اکتیو و راکتیو PHEV‌ها دریک شبکه

قيود بهینه‌سازی تابع هدف رابطه (۱۷)، روابط (۷) و (۸) می‌باشد که در آن Y ماتریس پارامترهای کنترلی در این مسئله بهینه‌سازی می‌باشد.

از رابطه (۱۷) می‌توان دریافت که توان راکتیو PHEV‌ها می‌تواند به صورت محلی در نظر گرفته شده مطابق شکل (۳) جهت دستیابی به تلفات انرژی کمینه شبکه مدیریت شود. در این حالت نیازی به ارتباط وجود مرکز کنترل مرکزی نمی‌باشد بلکه کلیه خودروها از طریق لینک‌های مخابراتی با کنترل کننده‌های محلی خود در ارتباط بوده و فرآیند مدیریت شارژ آن‌ها توسط این کنترل کننده‌های محلی هدایت می‌شود. این امر بدین معنی است که زمان حل مسئله بهینه‌سازی متدالو ذکر شده در بخش قبل به چندین مسئله بهینه‌سازی قابل حل به صورت موازی کاهش می‌باشد.



شکل (۳): زیرساخت مخابراتی مورد نیاز برای کمینه کردن تلفات شبکه توسط کنترل محلی PHEV‌ها (گام اول مدیریت پیشنهادی)

استفاده از کنترل کننده محلی در مسئله بهینه‌سازی ارائه شده موجب می‌شود در این مسئله نیاز به حل پخش بار در شبکه نباشد. بنابراین مسئله بهینه‌سازی ارائه شده مستقل از توبولوژی شبکه خواهد بود ضمن آنکه عدم استفاده از پخش بار برای حل مسئله بهینه‌سازی پیشنهادی موجب کاهش زمان حل این مسئله می‌گردد. علاوه بر این، تابع هدف پیشنهاد شده در مرحله اول یک تابع مربع محدب با قیود محدب در مقایسه با تابع هدف متدالو با قیود غیر محدب می‌باشد. بنابراین مسئله بهینه‌سازی غیر محدب تبدیل به یک مسئله بهینه‌سازی مربع شده است. لازم به ذکر است که یکی از خاصیت‌های اصلی در مسئله‌های بهینه‌سازی محدب این است که نقاط بهینه محلی همان نقاط بهینه سراسری می‌باشد.

۲-۲-۲-۲- مرحله دوم: کاهش تلفات با مدیریت توان راکتیو PHEV‌ها

در این مرحله از بهینه‌سازی، مدیریت توان راکتیو PHEV‌ها جهت کاهش تلفات انجام خواهد گرفت. یکی از روش‌های کاهش تلفات در شبکه‌های قدرت استفاده از طرح‌های جبران‌سازی توان راکتیو می‌باشد [۲۳]. PHEV‌ها امکان تزریق توان راکتیو را دارا هستند. در این حالت

جدول (۱): متوسط توزیع PHEV ها در هر کلاس

۴	۳	۲	۱	شماره کلاس
۰.۲	۰.۳	۰.۳	۰.۲	Average _{pers} ^{Class}

که در آن $Average_{pers}^{Class}$ میانگین تعداد PHEV ها در هر کلاس است.

محدوده ظرفیت باتری ها در هر کلاس نیز در جدول (۲) آورده شده است [۲۶]. براساس این جدول، خودروهای کلاس i ام می توانند دارای مقدار ظرفیت تصادفی بین حداقل ظرفیت ($Battery Capacity_{min}^{Class,i}$ kWh) و حداکثر ظرفیت ($Battery Capacity_{max}^{Class,i}$ kWh) باشند.

جدول (۲): محدوده ظرفیت باتری های استفاده شده در PHEV ها

$Battery Capacity_{max}^{Class,i}$ (kWh)	$Battery Capacity_{min}^{Class,i}$ (kWh)	کلاس
۱۲	۸	۱
۱۴	۱۰	۲
۲۱	۱۷	۳
۲۳	۱۹	۴

جدول (۳): میزان انرژی مورد نیاز هر کدام از کلاس های PHEV به ازای یک کیلومتر مسافت

۴	۳	۲	۱	شماره کلاس
۰.۲۴	۰.۲۲	۰.۲	۰.۱۹	Required Energy _{1km} ^{Class,i}

از پارامترهای مهم دیگر تاثیرگذار در تعیین نحوه شارژ PHEV ها، مسافت طی شده روزانه توسط این خودروهاست به طوریکه میزان مسافت طی شده به مقدار انرژی دریافتی توسط خودرو از شبکه بستگی دارد. بنابراین در جدول (۳) میزان انرژی مورد نیاز هر کدام از کلاس های PHEV ها به ازای یک کیلومتر مسافت طی شده (Required Energy_{1km}^{Class,i}) آورده شده است که با استفاده از حاصلضرب مقادیر این جدول در میزان مسافت طی شده روزانه، میزان انرژی مورد نیاز خودرو در طی یک روز به دست می آید [۲۵].

SOC از دیگر پارامترهای موثر در مدل سازی و تعیین انرژی مورد نیاز PHEV ها می باشد. لازم به ذکر است که برای رعایت الزامات اینمی باتری خودروها در این مقاله، حد بالا و پایین SOC به ترتیب برابر ۰.۸۰٪ و ۱۰٪ در نظر گرفته شده است. همچنین فرض بر آن است که خودروها از زمان ترک خانه ($SOC_{Leaving}$) تا برگشت مجدد به خانه ($SOC_{Arriving}$) در محل دیگری شارژ نمی شوند و هنگام ترک خانه با $SOC_{Leaving} = 0.8$ و $SOC_{Arriving} = 0.8$ از خانه خارج و با یک $SOC_{Leaving}$ کامل تصادفی به خانه بر می گردند. رابطه (۲۱) ارتباط بین $SOC_{Leaving}$ و $SOC_{Arriving}$ را در همان روز نشان می دهد.

بزرگ با ضرب نفوذ بالای خودروها مسیر خواهد بود که به کمک روش های متداول میسر نمی باشد.

۳-۲- مدل سازی

همانطور که قبل این نیز اشاره شد، بمنظور پیاده سازی فلوچارت پیشنهادی شکل (۲)، لازم است مدل دقیقی از بارهای شبکه و PHEV ها ایجاد شود. بدین منظور بارهای شبکه با استفاده از توزیع نرمال مدل سازی شده اند و در مدل ارائه شده برای PHEV ها تاثیر فاکتورهای مختلف دخیل در این امر، لحاظ شده است. این مستله موجب خواهد شد تا نتایج حاصل شده از حالت ایده آل دور شده و به واقعیت نزدیک تر باشند.

۳-۲-۱- مدل سازی بار مصرف کنندگان

تعیین توان مورد نیاز در شبکه توزیع به دلیل رفتار احتمالاتی مصرف کنندگان، تغییرات فصلی و امری بسیار سخت است. در این مقاله از توزیع نرمال مستقل از زمان مطابق رابطه (۱۹) برای تخمین بار مصرف کنندگان استفاده شده است [۲۴].

$$f(P_{k,t}) = \frac{1}{\sigma_{k,t} \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(P_{k,t} - \bar{P}_{k,t})^2}{2\sigma_{k,t}^2}} \quad (19)$$

که در آن $P_{k,t}$ مقدار بار، $\bar{P}_{k,t}$ میانگین و $\sigma_{k,t}$ انحراف معیار استاندارد در هر پله زمانی t در ترانسفورماتور ثانویه k می باشد.

۳-۲-۲- مدل سازی PHEV

با توجه به تصادفی بودن زمان اتصال خودروها به شبکه، SOC1 (درصد انرژی باقیمانده در باتری خودرو)، میزان مسافت پیموده شده در روز توسط خودرو و انرژی مورد نیاز خودروها برای دریافت از شبکه در طول روز یک مدل احتمالاتی برای PHEV ها در نظر گرفته شده است.

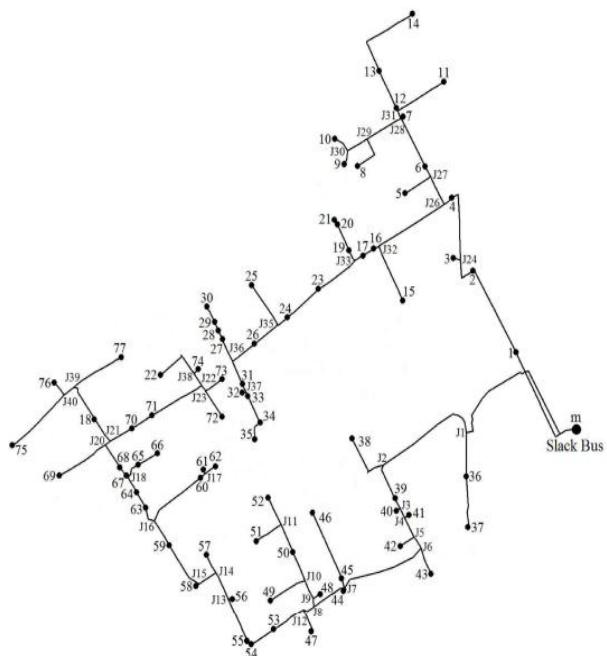
از طرفی دیگر انواع PHEV ها که در یک شهر تردد می کنند، در ۴ کلاس خودرو کوچک (کلاس ۱)، خودرو کم مصرف (کلاس ۲)، خودرو متوسط (کلاس ۳) و خودروهای سنگین (کلاس ۴) تقسیم بندی شده است که برای کلاس های مختلف رابطه (۲۰) را می توان نوشت.

$$\sum_{i=1}^4 perc_{Class,i} = perc_{Class,1} + perc_{Class,2} + perc_{Class,3} + perc_{Class,4} = perc_{PHEV} \quad (20)$$

که در آن $perc_{Class,i}$ درصد PHEV ها در کلاس i و $perc_{PHEV}$ درصد تعداد PHEV ها از کل انواع خودروهای است. توزیع خودروها در هر کلاس به صورت جدول (۱) می باشد [۲۵].

¹ State of charge

جهت انجام شبیه‌سازی و مقایسه نتایج در نظر گرفته شده است. این سناریوها در ادامه معرفی می‌شوند.



شکل (۴): شبکه توزیع سیرجان برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی

۳-۱-۱- سناریو مرجع

در این سناریو هیچ PHEV به شبکه متصل نشده است. مطابق شبیه‌سازی انجام یافته، تلفات انرژی برای این سناریو برابر 10.89 MWh مگاوات ساعت می‌باشد که بیشترین توان در ساعت ۲۱:۰۰ بوده و مقدار آن 73.92 kW کیلووات می‌باشد.

۳-۱-۲- سناریو شماره ۱

جدول(۵): تلفات توان در ۲۴ ساعت برای سناریو شماره ۱

تلفات توان (kW)	زمان	تلفات توان (kW)	زمان	تلفات توان (kW)	زمان	تلفات توان (kW)	زمان
۱۴۷.۰۱	۱۸:۰۰	۶۱.۰۰	۱۲:۰۰	۱۵.۶۵	۰۶:۰۰	۳۵.۷۷	۰۰:۰۰
۱۴۵.۳۶	۱۸:۳۰	۵۸.۰۷	۱۲:۳۰	۱۴.۸۲	۰۶:۳۰	۲۹.۸۲	۰۰:۳۰
۱۳۶.۸۸	۱۹:۰۰	۵۵.۲۸	۱۳:۰۰	۱۴.۰۳	۰۷:۰۰	۲۴.۴۸	۰۱:۰۰
۱۱۶.۷۵	۱۹:۳۰	۵۶.۵۳	۱۳:۳۰	۱۴.۸۶	۰۷:۳۰	۲۲.۰۹	۰۱:۳۰
۱۰۳.۲۷	۲۰:۰۰	۵۷.۸۳	۱۴:۰۰	۱۵.۷۴	۰۸:۰۰	۱۹.۸۶	۰۲:۰۰
۹۱.۸۸	۲۰:۳۰	۶۰.۱۷	۱۴:۳۰	۲۰.۰۱	۰۸:۳۰	۱۹.۸۲	۰۲:۳۰
۸۴.۰۹	۲۱:۰۰	۶۳.۱۹	۱۵:۰۰	۲۵.۴۱	۰۹:۰۰	۱۹.۷۹	۰۳:۰۰
۶۸.۴۶	۲۱:۳۰	۶۴.۶۱	۱۵:۳۰	۳۷.۰۵	۰۹:۳۰	۱۹.۱۵	۰۳:۳۰
۵۶.۰۶	۲۲:۰۰	۶۷.۶۹	۱۶:۰۰	۵۱.۰۸	۱۰:۰۰	۱۸.۵۳	۰۴:۰۰
۵۲.۰۳	۲۲:۳۰	۷۷.۱۵	۱۶:۳۰	۵۰.۲۷	۱۰:۳۰	۱۷.۴۵	۰۴:۳۰
۴۸.۷۹	۲۳:۰۰	۱۱۸.۹۲	۱۷:۰۰	۴۹.۴۷	۱۱:۰۰	۱۷.۱۶	۰۵:۰۰
۴۱.۹۹	۲۳:۳۰	۱۰۱.۷۷	۱۷:۳۰	۵۵.۰۶	۱۱:۳۰	۱۷.۰۴	۰۵:۳۰

$$SOC_{Arriving} = SOC_{Leaving}$$

$$\frac{\text{Traveled distance}_{\text{daily}} \times \text{Required Energy}_{1\text{km}}^{\text{Class},i}}{\text{Battery Capacity}} \quad (21)$$

+Fossil Fuels

که در آن Fossil Fuels درصد میزان سوخت فسیلی مصرف شده، مسافت طی شده روزانه و Traveled distance_{daily} ظرفیت باتری PHEV Battery Capacity می‌باشد.

در مدل سازی رفتاری PHEV‌ها فرض برآن است که تمامی خودروها به محض بازگشت به خانه شارژ شوند. اگر قبل از بازگشت به خانه مقدار شارژ خودرو از حداقل مقدار SOC_{Arriving} پایین‌تر آمد، خودرو تا رسیدن به خانه و انجام مجدد شارژ از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کند. این مسئله دلیل حضور متغیر Fossil Fuels در رابطه (۲۱) است.

به منظور مدل سازی بهتر، توزیع در نظر گرفته شده برای زمان‌های ورود و خروج از خانه به صورت تابع توزیع نرمال در نظر گرفته شده است که در جدول (۴) پارامترهای توزیع نرمال استفاده شده در روزهای طول هفته و آخر هفته آورده شده است.

جدول (۴): توزیع نرمال در نظر گرفته شده برای مدل سازی زمان‌های

ورود و خروج از خانه PHEV

(Arriving time) زمان ورود (ساعت)		(Leaving Time) زمان خروج (ساعت)	
آخر هفته	طول هفته	آخر هفته	طول هفته
۱۵	۱۷	۹	۷
۶	۲	۶	۱

μ میانگین σ^2 واریانس

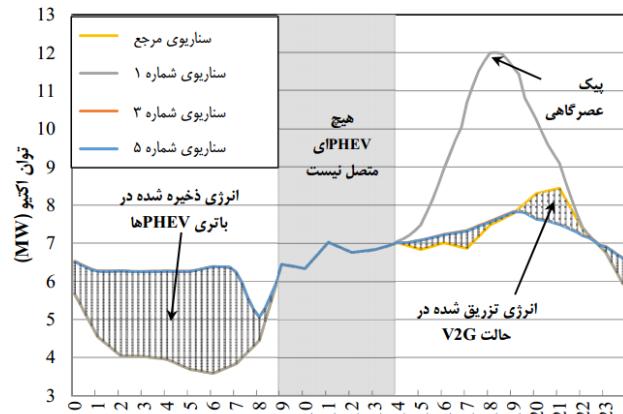
۳- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

۳-۱- شبکه نمونه و سناریوهای مورد بررسی

بمنظور ارزیابی روش پیشنهادی، این روش بر روی شبکه توزیع کیلوولت سیرجان در استان کرمان پیاده‌سازی شده است. دیاگرام تک خطی این شبکه در شکل (۴) آورده شده است. اطلاعات مربوط به خطوط و بارهای متصل به این شبکه در [۲۷] آورده شده است. این شبکه دارای 123 خط و 77 گره است که در تمامی گره‌ها ترانسفورماتورهایی برای تبدیل ۲۰ kV به ۴۰۰ V قرار دارند. در این شبکه از 4 نوع هادی FOX.MINK.WEZEL.DOG استفاده شده است.

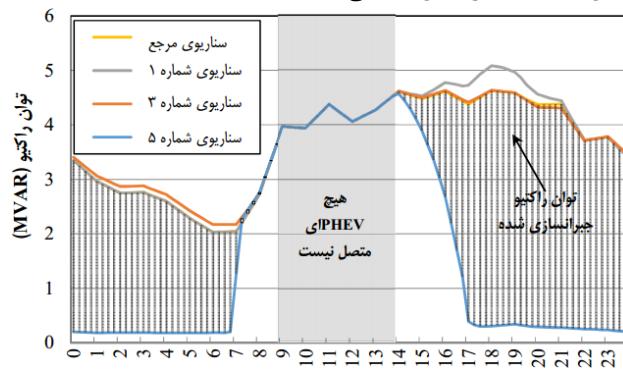
شبکه تحت مطالعه براساس فلوچارت شکل (۲) و برای ضریب نفوذ‌های مختلف از ۱۰% تا ۹۰% در پلهای 10 درصدی و با انجام 1000 تکرار مونت کارلو برای یک روز کاری تابستان مورد بررسی قرار گرفته است. برای حل مسائل بهینه‌سازی مراحل اول و دوم پیشنهادی از نرم‌افزار GAMS استفاده شده و در انتها برای محاسبات تلفات مقادیر خروجی نرم‌افزار GAMS در اختیار نرم‌افزار DIGSILENT قرار داده شده است. در این مقاله 5 سناریو به همراه سناریو مرجع

و شماره ۵ در یک روز تابستانی با بیشترین سطح نفوذ PHEV ها (٪۹۰) به ترتیب در شکل های (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است. با توجه به اینکه نتایج سناریوهای شماره ۲ و شماره ۴ بسیار نزدیک به نتایج حاصل از سناریوهای شماره ۳ و شماره ۵ بوده، بنابراین جهت پرهیز از اختلال منحنی ها از ترسیم نتایج سناریوهای ۲ و ۴ صرف نظر شده است.



شکل (۵): توان اکتیو شبکه برای سناریوهای مختلف با ضریب نفوذ PHEV ٪۹۰

از آنجاییکه PHEV ها می توانند در دو مدد کاری G2V و V2G در سناریوهای ۳ و ۵ کار کنند، توان اکتیو مربوط به سناریوهای ۳ و ۵ در ساعت پیک کمتر از مقادیر مشابه در سناریوهای مرجع و شماره ۱ نشان داده شده در شکل (۵) می باشد.



شکل (۶): توان راکتیو شبکه برای سناریوهای مختلف با ضریب نفوذ PHEV ٪۹۰

همانطور که گفته شد در سناریوی ۵ فرض شده است که خودروها امکان تبادل توان راکتیو با شبکه دارند. بنابراین مطابق شکل (۶) توان راکتیو دریافتی از شبکه در مقایسه با سایر سناریوهای کاهش می یابد. با توجه به شکل های (۵) و (۷) نتیجه می گیریم که با تحمیل بار شارژ PHEV ها به پست های توزیع بدون اعمال مدیریت توان (سناریو شماره ۱) پروفیل بار دارای پیک بزرگتری در مقایسه با دیگر سناریوهای می شود که موجب پیک عصر گاهی خواهد شد. این پیک عصر گاهی به دلیل آن است که دارندگان PHEV ها به محض ورود به منزل خودروی خود را جهت شارژ به پریز متصل می کنند.

در این سناریو PHEV ها بدون هیچ مدیریت شارژی در نظر گرفته شده اند. به عبارتی فرض شده است که خودروها به محض ورود به منزل به شبکه متصل می شوند. در این سناریو برای ضریب نفوذ ٪۹۰ PHEV ها، تلفات توان در ۲۴ ساعت با پله های ۳۰ دقیقه ای در جدول (۵) آورده شده است. همانطور که از این جدول مشخص است، حداقل تلفات توان در ساعت ۱۸:۰۰ رخ داده و مقدار آن ۱۴۷.۰ ۱ کیلووات می باشد، در حالیکه تلفات انرژی برای این سناریو ۱.۳۷۵ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریو مرجع ٪۲۶ افزایش یافته است.

۳-۱-۳- سناریو شماره ۲

در این سناریو تنها مدیریت شارژ و دشارژ توان اکتیو خودروها انجام گرفته است. در این حالت فرض شده است که قابلیت عملکرد در مدد کاری V2G وجود ندارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ٪۹۰ PHEV ها برابر ۱.۲۴۴ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریوی اول، ۱۰٪ کاهش داشته است.

۴-۱-۳- سناریو شماره ۳

در این سناریو تنها مدیریت شارژ و دشارژ توان اکتیو خودروها انجام گرفته است. در این حالت فرض شده است که قابلیت عملکرد در هر دو مدد کاری G2V و V2G وجود دارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ٪۹۰ PHEV ها برابر ۱.۲۴۰ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریوی شماره ۲، ۴ کیلووات کاهش داشته است.

۵-۱-۳- سناریو شماره ۴

در این سناریو مدیریت شارژ توان اکتیو و راکتیو خودروها انجام گرفته است. در این حالت فرض شده است که قابلیت عملکرد در مدد کاری V2G وجود ندارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ٪۹۰ PHEV ها برابر ۱.۰۶۶ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریو ۲، ۱۷٪ کاهش داشته است.

۶-۱-۳- سناریو شماره ۵

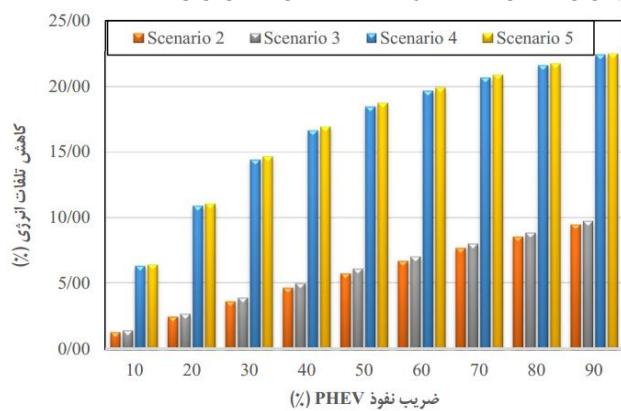
در این سناریو مدیریت شارژ و دشارژ توان اکتیو و راکتیو خودروها انجام گرفته است. در این حالت فرض شده است که قابلیت عملکرد در هر دو مدد کاری G2V و V2G وجود دارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ٪۹۰ PHEV ها برابر ۱.۰۶۶ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریو ۴، کاهشی نداشته است.

۲-۳- مقایسه و تحلیل نتایج

جهت مقایسه نتایج حاصل از اعمال سناریوهای مختلف توان های اکتیو، راکتیو و توان ظاهری برای سناریوهای مرجع، شماره ۱، شماره ۳

۱.۰۳۰	۱.۰۳۳	۱.۱۹۸	۱.۲۰۲	۱.۳۰۳	۷۰
۱.۰۴۷	۱.۰۴۹	۱.۲۱۹	۱.۲۲۳	۱.۳۳۸	۸۰
۱.۰۶۶	۱.۰۶۶	۱.۲۴۱	۱.۲۲۴	۱.۳۷۵	۹۰

شکل (۸) درصد کاهش تلفات انرژی شبکه در مقایسه با سناریو شماره ۱ را برای سطح نفوذ‌های مختلف با استراتژی‌های مختلف مدیریت توان PHEV‌ها نشان می‌دهد. مطابق شکل (۸) درصد کاهش تلفات با افزایش خودروها افزایش می‌یابد. به عنوان مثال سناریو ۵ منجر به بهترین کاهش تلفات خواهد شد که این مقدار برابر ۲۲.۵٪ است.



شکل (۸): تاثیر مدیریت توان PHEV‌ها بر کاهش تلفات انرژی شبکه

۴- نتیجه‌گیری

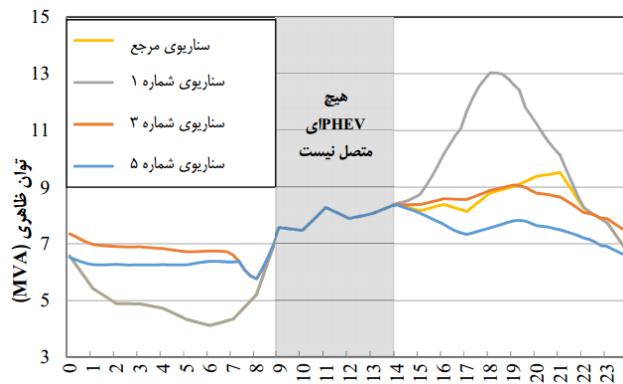
شارژ PHEV‌ها می‌تواند بار اضافی به شبکه تحمیل کند و تلفات شبکه را افزایش دهد. در این مقاله روش دو مرحله‌ای جهت مدیریت توان خودروها با رویکرد کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ پیشنهاد شد. در مرحله اول مدیریت توان اکتیو PHEV‌ها به صورت محلی و در مرحله دوم مدیریت توان راکتیو خودروها به صورت سراسری انجام گرفت. مسئله بهینه‌سازی در مرحله دوم برخلاف مرحله اول، وابسته به ساختار شبکه بود. در این مرحله توان اکتیو به صورت غیر محلی و به صورت کلی مدیریت گردید. با ارزیابی روش پیشنهادی بر روی شبکه توزیع سیرجان، نشان داده شد که با استفاده از روش پیشنهادی امکان کمینه کردن تلفات انرژی در ریزشبکه با تعداد بالای PHEV‌ها وجود دارد. مزیتی که در مابقی تحقیقات گذشته به آن پرداخته نشده است. همچنین نشان داده شد که تلفات انرژی در دو حالت مدیریت شارژ و دشارژ توان اکتیو و راکتیو خودروها و مدیریت شارژ توان اکتیو و راکتیو خودروها تفاوت اندکی با یکدیگر داشته و در موارد عملی می‌توان از مدیریت شارژ توان اکتیو و راکتیو خودروها جهت کمینه کردن تلفات استفاده نمود.

مراجع

- [۱] B. Zhang, et al., "Electrical Vehicle Path Tracking Based Model Predictive Control with a Laguerre Function and Exponential Weight", IEEE Access, pp. 1-1, 2019.

باتوجه به شکل (۷) به راحتی می‌توان دریافت که حتی با ضریب نفوذ ۹۰ درصدی PHEV‌ها در شبکه و با در نظر گیری امکان تبادل توان راکتیو خودروها با شبکه (در نظر گیری مدیریت توان هوشمند) نه تنها پروفیل بار در ساعات پیک افزایش پیدا نکرده بلکه باعث کاهش آن در ساعات پیک مصرف خواهد شد و همچنین موجب افزایش تقاضا در ساعات غیر پیک خواهد شد. به عبارت بهتر، مدیریت شارژ و دشارژ PHEV‌ها یکی از روش‌های پاسخ تقاضا بوده که منجر به صاف‌تر شدن پروفیل بار و کاهش تلفات در شبکه خواهد شد.

جهت مقایسه کامل نتایج سناریوهای مختلف، تلفات انرژی روزانه برای تمامی ضریب نفوذ‌های مختلف PHEV‌ها و تمامی سناریوهای در نظر گرفته شده در جدول (۶) آورده شده است.



شکل (۷): توان ظاهری شبکه برای سناریوهای مختلف با ضریب نفوذ PHEV %۹۰

براساس جدول (۶)، تلفات ناشی از عملکرد سیستم در طول شباهنگ روز با اعمال سناریوهای مختلف بهره‌برداری از PHEV‌ها در محدوده ۱.۰۰۰ تا ۱.۳۷۵ مگاوات ساعت برای ضریب نفوذ‌های مختلف PHEV‌ها قرار می‌گیرد. نکته قابل توجه در جدول (۶) این است که بدون اعمال مدیریت شارژ (سناریو شماره ۱) افزایش قابل توجهی در اندازه تلفات انرژی با افزایش سطح نفوذ در مقایسه با سایر سناریوهای مشاهده می‌شود. علاوه بر این، با مقایسه مقادیر مربوط به سناریوهای ۴ و ۵، مشاهده می‌شود که افزایش ضریب نفوذ به ۹٪ نه تنها باعث افزایش تلفات انرژی نخواهد شد، بلکه باعث کاهش آن در مقایسه با عدم حضور PHEV‌ها خواهد شد. دلیل این امر تزییق توان راکتیو توسط PHEV‌ها در سناریوهای ۴ و ۵ می‌باشد.

جدول (۶): تلفات انرژی روزانه برای سناریوهای مختلف

درصد نفوذ	تلفات انرژی (MWh)				
	سناریو ۵ شماره ۱	سناریو ۴ شماره ۲	سناریو ۳ شماره ۳	سناریو ۲ شماره ۴	سناریو ۱ شماره ۵
۰	1.089	1.089	1.089	1.089	1.089
۱۰	1.045	1.046	1.101	1.102	1.117
۲۰	1.018	1.019	1.114	1.116	1.144
۳۰	1.004	1.005	1.129	1.132	1.174
۴۰	1.000	1.003	1.144	1.148	1.203
۵۰	1.006	1.009	1.162	1.167	1.238
۶۰	1.016	1.019	1.179	1.184	1.269

- [۱۴] K. Clement-Nyns, et al., "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, pp. 371-380, 2010.
- [۱۵] B. Khushalani, et al., "Coordinated charging strategies for plug-in hybrid electric vehicles", *North American Power Symposium (NAPS)*, pp. 1-5, 2017.
- [۱۶] X. Wang and Q. Liang, "Energy Management Strategy for Plug-In Hybrid Electric Vehicles via Bidirectional Vehicle-to-Grid", *IEEE Systems Journal*, vol. 11, pp. 1789-1798, 2017.
- [۱۷] A. Bocca, Y. Chen, A. Macii, E. Macii, and M. Poncino, "Aging and Cost Optimal Residential Charging for Plug-In EVs", *IEEE Design & Test*, vol. 35, pp. 16-24, 2018.
- [۱۸] S. Gao, et al., "Optimal Control Framework and Scheme for Integrating Plug-in Hybrid Electric Vehicles into Grid", *Journal of Asian Electric Vehicles*, vol. 9, pp. 1473-1481, 2011.
- [۱۹] S. Acha, et al., "Effects of optimised plug-in hybrid vehicle charging strategies on electric distribution network losses", *IEEE PES T&D*, pp. 1-6, 2010.
- [۲۰] V. Farahani, et al., "Energy Loss Reduction by Conductor Replacement and Capacitor Placement in Distribution Systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 2077-2085, 2013.
- [۲۱] S. Arora and J. W. Taylor, "Short-Term Forecasting of Anomalous Load Using Rule-Based Triple Seasonal Methods", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 3235-3242, 2013.
- [۲۲] E. Paparoditis and T. Sapatinas, "Short-Term Load Forecasting: The Similar Shape Functional Time-Series Predictor", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 3818-3825, 2013.
- [۲۳] L. Wang, et al., "Multifunctional Hybrid Structure of SVC and Capacitive Grid-Connected Inverter (SVC//CGCI) for Active Power Injection and Nonactive Power Compensation", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, pp. 1660-1670, 2019.
- [۲۴] S. Conti and S. Raiti, "Probabilistic load flow using Monte Carlo techniques for distribution networks with photovoltaic generators", *Solar Energy*, vol. 81, pp. 1473-1481, 2007.
- [۲۵] S. W. Hadley and A. A. Tsvetkova, "Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation", *The Electricity Journal*, vol. 22, pp. 56-68, 2009.
- [۲۶] S. Shao, et al., "Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network," *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, pp. 1-8, 2009.
- [۲] M. Ye, et al., "A Novel Dynamic Performance Analysis and Evaluation Model of Series-parallel Connected Battery Pack for Electric Vehicles", *IEEE Access*, pp. 1-1, 2019.
- [۳] J. Pahasa and I. Ngamroo, "Coordinated PHEV, PV, and ESS for Microgrid Frequency Regulation Using Centralized Model Predictive Control Considering Variation of PHEV Number", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 69151-69161, 2018.
- [۴] S. Han, et al., "Development of an Optimal Vehicle-to-Grid Aggregator for Frequency Regulation," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, pp. 65-72, 2010.
- [۵] O. D. Montoya, et al., "Optimal Conductor Size Selection in Radial Distribution Networks Using a Mixed-Integer Non-Linear Programming Formulation", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, pp. 2213-2220, 2018.
- [۶] S. Manikandan, et al., "Analysis of optimal conductor selection for radial distribution systems using DPSO", *3rd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, pp. 96-101, 2016.
- [۷] A. Ioanăs and R. Tîrnovan, "Optimum location and size of capacitor banks to reduce losses in power distribution networks using genetic algorithm", *International Conference on Energy and Environment (CIEM)*, pp. 49-53, 2017.
- [۸] Y. Xu, et al., "Optimal Capacitor Placement to Distribution Transformers for Power Loss Reduction in Radial Distribution Systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 4072-4079, 2013.
- [۹] Z. Yuan, J. Fu, Y. Yang, and J. Lin, "Research on optimal allocation of reactive power compensators in substation", *IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, pp. 1-5, 2016.
- [۱۰] D. Q. Hung and N. Mithulanthan, "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, pp. 1700-1708, 2013.
- [۱۱] N. Jain, et al., "A Generalized Approach for DG Planning and Viability Analysis Under Market Scenario", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, pp. 5075-5085, 2013.
- [۱۲] R. S. Rao, et al., "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 317-325, 2013.
- [۱۳] A. A. M. Zin, et al., "Two Circular-Updating Hybrid Heuristic Methods for Minimum-Loss Reconfiguration of Electrical Distribution Network", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 1318-1323, 2013.

[۲۷] ح. عسکریان، ابیانه، "انتخاب هادی‌ها، خازن‌ها و آرایش شبکه توزیع انرژی به منظور بهینه‌سازی تلفات در شرکت توزیع نیروی برق جنوب کرمان"، ۱۳۸۹.