

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 آلاینده‌گی 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 مصرف‌کنندگان 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 GAMS و DigSILENT 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.

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

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

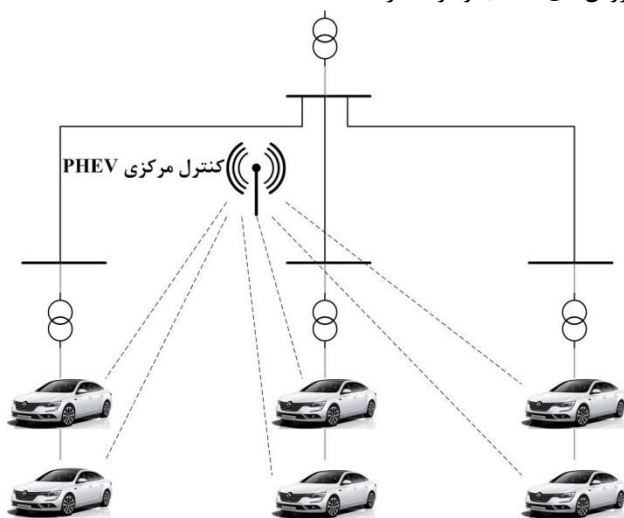
نام نویسنده‌ی مسئول: رضا اسلامی

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

۱- مقدمه

خودروهای برقی اتصال به شبکه با در نظر گیری 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-بایستی 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 می-باشد. همچنین در این مطالعات، مسئله بهینه سازی توسط روش های محدب حل می-شود. با توجه به آنکه قیود مسئله ناشی از معادلات پخش بار، غیرمحدب می-باشند، لذا امکان حل مسئله به کمک روش های محدب وجود ندارد.



شکل (۱): زیرساخت مخابراتی مورد نیاز برای کمینه کردن تلفات

انرژی در روش های [۱۸، ۱۹]

براین اساس در این مقاله یک روش جدید بهینه سازی دو مرحله ای برای مدیریت بهینه شارژ و دشارژ PHEV ارائه شده است. در این روش، مسئله بهینه سازی در دو مرحله حل می-گردد. در مرحله اول مدیریت بهینه توان اکتیو این خودروها انجام می-شود و در مرحله دوم مدیریت بهینه توان راکتیو آن ها انجام می-شود. استفاده از روش بهینه سازی پیشنهادی، امکان ورود فاکتورهای تاثیرگذار بر مدیریت بهینه این خودروها را میسر می-سازد که در مطالعات گذشته صورت پذیرفته در این حوزه، در نظر گرفته نشده اند. براین اساس در مقاله حاضر رفتار احتمالی مصرف کنندگان شبکه توزیع، رفتار احتمالی PHEV ها، عملکرد در حالت V2G و عملکرد در حالت انتقال توان از شبکه به خودرو ($G2V$)، پیوسته در نظر گرفتن پارامترهای کنترلی خودروها شامل توان های اکتیو و راکتیو و قابلیت تزریق توان راکتیو به صورت همزمان در مدیریت بهینه شارژ PHEV ها مدنظر قرار گرفته اند. روش جدید پیشنهادی بر روی شبکه 20 kV سیرجان در استان کرمان برای سناریوهای مختلف پیاده سازی 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 می-کنند، 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 پربازده تر هستند [۱، ۲]. در واقع بررسی ها نشان می-دهند که خودروهای برقی ۵۶٪ از انرژی ورودی را به انرژی حرکتی تبدیل می-کنند. در این میان با توجه به رشد مصرف انرژی الکتریکی و افزایش هزینه های تولید آن، می-بایست 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 بستری 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 آن ها می-توانند نقش بسزایی داشته باشند، کاهش تلفات شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ است. در واقع اگرچه روش هایی چون انتخاب بهینه هادی ها [۵، ۶]، خازن گذاری [۷-۹]، جایابی تولیدات پراکنده [۱۰، ۱۱] و تغییر آرایش شبکه [۱۲، ۱۳] برای کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در شبکه های توزیع و ریز شبکه ها پیشنهاد شده اند، اما در سالیان اخیر با پیشرفت تکنولوژی استفاده از PHEV ها به عنوان بارهای قابل کنترل و ژنراتورهای کنترل پذیر، در رسیدن به این اهداف مدنظر قرار گرفته اند [۱۴].

دستیابی به اهداف بهبود پارامترهای شبکه (تلفات و پروفیل ولتاژ) با شارژ هماهنگ خودروهای الکتریکی محقق می-گردد. در [۱۵] نشان داده شده است که شارژ غیر هماهنگ، نه تنها نمی-تواند مزایای مدنظر را ایجاد نماید بلکه موجب افزایش پیک بار و تلفات شده و نیز ولتاژ و ضریب توان را کاهش می-دهد. از سوی دیگر مدیریت بهینه شارژ با مدلسازی درست و دقیق مسئله و فاکتورهای تاثیرگذار بر آن ایجاد می-شود. با این وجود تعدد فاکتورهای تاثیرگذار بر مدیریت بهینه شارژ موجب بزرگ شدن مسئله بهینه سازی و پیچیدگی آن می-شود که با روش های عادی حل این مسائل، همگرا نخواهد شد. در [۱۶] روشی به منظور شارژ بهینه PHEV ارائه شده است که در آن با استفاده از مدل های واقعی باتری PHEV، نرخ مصرف برق توسط مشترکین در زمان های مختلف و داده های واقعی تقاضای خانوارها، مدلی برای سیستم در حالت عملکرد انتقال توان از خودرو به شبکه ($V2G^1$) پیشنهاد شده است. همچنین در [۱۷] بهینه سازی هزینه شارژ

² Grid to Vehicle

¹ Vehicle to Grid

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.

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

Control Parameters : X

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

در این رابطه R_j مقاومت j امین 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 $P_{PHEV,n}^{TS}$ و $Q_{PHEV,n}^{TS}$ 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.

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

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

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

$$p_{PHEV,n}^t + q_{PHEV,n}^t \leq S_{Rated,n}^2 \quad \forall n \in V$$

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

در این روابط M مجموعه گره های سیستم قدرت، m و m' شماره گره ها و t زمان است. براین اساس p_m^t توان اکتیو تزریقی در m امین گره در زمان t ، q_m^t توان راکتیو تزریقی در m امین 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 مدلی 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

۲-۱- تابع هدف پیشنهادی

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

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

در این رابطه R_l مقاومت خط l ام، $I_{j,t}$ جریان خط l ام 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.

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

$$\sum_t S_{m,t} = E_{Total,m}$$

$$S_{min,m,t} \leq S_{m,t} \leq S_{max,m,t} \quad (3)$$

$$I_{m,t} = I_{l,t} - I_{l+1,t}$$

در این روابط $S_{m,t}$ بار در گره m در زمان t ، $S_{min,m,t}$ حداقل بار مجاز در گره m در زمان t ، $S_{max,m,t}$ حداکثر بار مجاز در گره m در زمان t ، $V_{m,t}$ ولتاژ در گره m ام در زمان t ، $I_{m,t}$ جریان در گره m ام در زمان t و $E_{Total,m}$ انرژی کلی تحویل شده به گره m ام 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 ها در قالب روش دو مرحله‌ای پیشنهادی، فلوچارت شکل (۲) ارائه شده است.

۲-۲-۱- 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 [۲۱، ۲۲]. به کمک روش ذکر شده در [۲۱، ۲۲] 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 ۱-۳-۲ ارائه شده است.

به همین ترتیب انرژی روزانه مورد نیاز PHEV ها با توجه به روش‌های موجود و مدل‌سازی رفتار PHEV ها 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 انتگرال‌گیری توان بارها در دوره ۲۴ ساعته مطابق رابطه (۱۱) قابل محاسبه می‌باشد.

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

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 n امین PHEV در زمان t ، $S_{Rated,n}$ توان نامی n امین PHEV و B_n ظرفیت باتری n امین PHEV می‌باشند.

۲-۲-۲- 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 PHEV ها 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 ، متناسب با مربع توان عبوری از شاخه j ام می‌باشد [۲۰]. بنابراین با اصلاح رابطه (۱)، تلفات توان ظاهری شاخه j ام در زمان t ($Apparent\ Power_j^t$) به صورت رابطه (۹) خواهد بود.

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

در این رابطه P_j^t توان اکتیو عبوری از شاخه j ام در زمان t ، Q_j^t توان راکتیو عبوری از شاخه j ام در زمان t ، V_M ولتاژ نامی شبکه قدرت 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.

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

مطابق رابطه (۱۰) می‌توان مسئله کمینه نمودن تلفات انرژی (مدیریت همزمان توان اکتیو و راکتیو PHEV ها) را به دو مسئله مجزای بهینه‌سازی شامل مدیریت توان اکتیو PHEV ها به عنوان مرحله اول و مدیریت توان راکتیو PHEV ها 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 ۰/۸۵ می‌باشد. ثانیاً باطری PHEV ها در انتهای بازه زمانی می‌بایستی 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 می باشد. ابتدا تابعی به عنوان تلفات شبه انرژی به صورت رابطه (۱۲) تعریف می شود.

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

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

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

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

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

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 شبه انرژی خواهد شد. مطابق رابطه (۱۲) تلفات شبه انرژی زمانی کمینه خواهد شد که رابطه (۱۵) برقرار باشد.

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

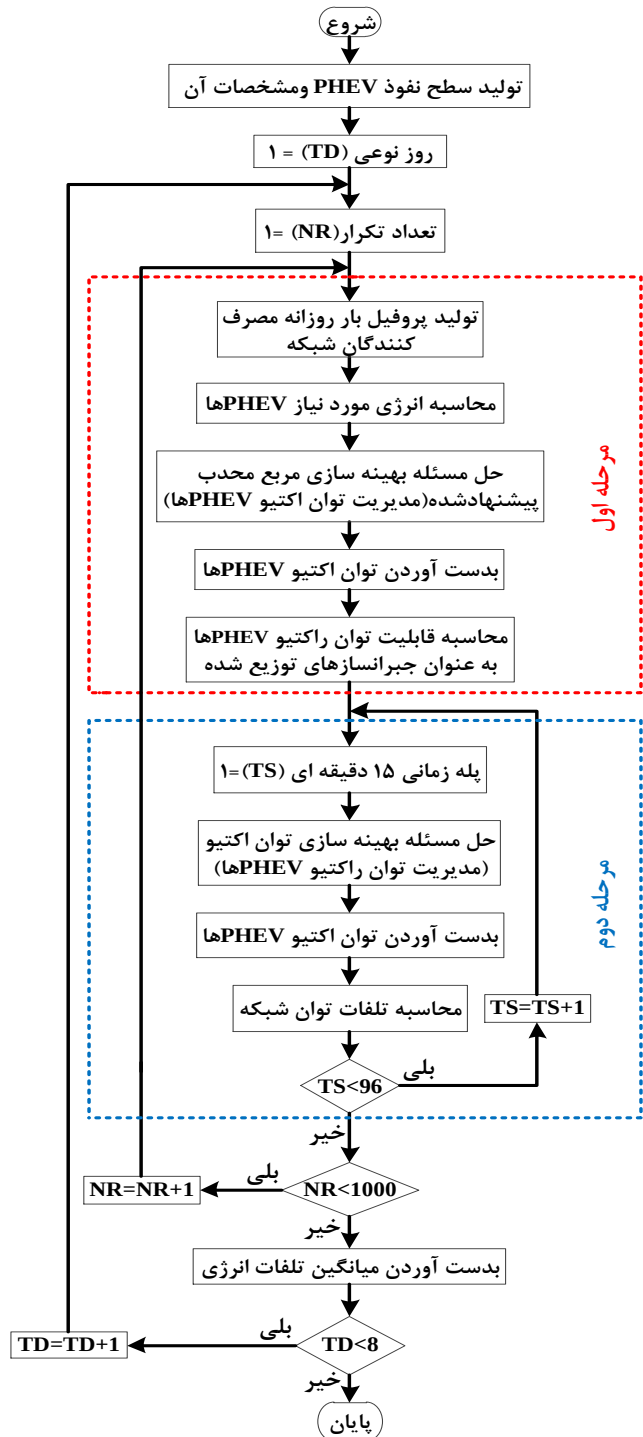
به عبارت دیگر، تلفات شبکه با حضور بارهای کاملاً کنترل پذیر زمانی حداقل خواهد شد که مقدار بار در طی بازه زمانی T کاملاً ثابت باشد و منحنی بار در این حالت برابر با یک خط صاف خواهد شد. با جایگزینی رابطه (۱۵) در رابطه (۱۱)، رابطه (۱۶) حاصل می شود.

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

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 پی آن کمینه کردن تلفات وجود نخواهد داشت. بنابراین لازم است تا روش ارائه شده با توجه به تمامی قیود موجود، تلفات شبکه را حداقل نماید. بر همین اساس رابطه مدیریت اکتیو PHEV ها به عنوان مرحله اول بهینه سازی در بازه زمانی T به صورت رابطه (۱۷) خواهد بود.

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

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



شکل (۲): فلوچارت روش پیشنهادی بهینه سازی دو مرحله ای

PHEV ها به عنوان بارهای وقفه پذیر و کنترل پذیر در مد عملکردی G2V و به عنوان سیستم ذخیره انرژی کنترل پذیر در حالت V2G می توانند شکل منحنی بار را تغییر دهند. بنابراین با حضور PHEV ها تعداد زیادی منحنی تقاضا را می توان ترسیم نمود که در رابطه (۱۱) صدق نماید. اما در میان آن ها، با توجه به معادله (۵) منحنی می بایست 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 -

PHEV ها مانند خازن های توزیع شده عمل کرده و تلفات شبکه را کاهش می دهند. بنابراین با توجه به مطالب ارائه شده، تابع هدف پیشنهادی جهت کاهش تلفات شبکه در مرحله دوم، مشابه توابع ارائه شده در مسائل متداول جایابی بهینه خازن در شبکه های توزیع می باشد. بنابراین تابع هدف در مرحله دوم جهت کاهش تلفات به کمک مدیریت توان PHEV ها به صورت رابطه (۱۸) خواهد بود.

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

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

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

که در آن Z ماتریس پارامترهای کنترلی در این مسئله بهینه سازی می باشد.

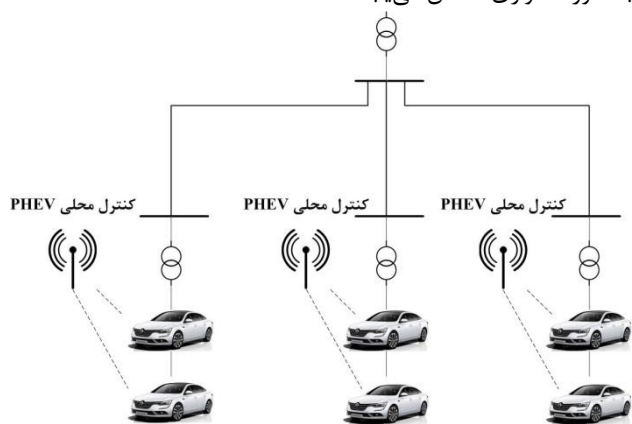
همان طور که از رابطه (۱۸) قابل استنتاج است، حل مسئله بهینه سازی در مرحله دوم به توپولوژی شبکه وابسته بوده و در نتیجه لازم است که توان راکتیو به صورت غیر محلی و به صورت کلی در مرکز کنترل مرکزی مدیریت شود. از طرف دیگر، این مرحله از بهینه سازی مستقل از زمان بوده و جهت دستیابی به تلفات توان حداقل لازم است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

باتوجه به مطالب ذکر شده می توان ادعا نمود که روش پیشنهادی می تواند 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 PHEV ها، لازم است تا مرکز کنترل مرکزی در پست اولیه و مراکز کنترل محلی در پست های ثانویه تاسیس شوند. براین اساس جهت کنترل توان راکتیو خودروهای برقی در مرحله دوم مدیریت شارژ پیشنهادی، لازم است بسترهای گسترده مخابراتی ایجاد شود (مانند سیستم های وایرلس) تا از 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 فرمان های این سرور، بهینه نمایند.

بنابراین طبق فلوجارت نشان داده شده در شکل (۲)، پیشنهاد می گردد که مدیریت توان اکتیو PHEV ها در مرحله اول به صورت محلی در مراکز کنترل محلی و با روش بهینه سازی 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 PHEV ها در مرحله دوم به صورت کلی در مرکز کنترل مرکزی و با روش بهینه سازی غیر محدب انجام گیرد. در روش دو مرحله ای 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 PHEV ها در یک شبکه

قیود بهینه سازی تابع هدف رابطه (۱۷)، روابط (۷) و (۸) می باشد که در آن Y ماتریس پارامترهای کنترلی در این مسئله بهینه سازی می باشد.

از رابطه (۱۷) می توان دریافت که توان اکتیو PHEV ها می تواند 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 و وجود مرکز کنترل مرکزی نمی باشد بلکه کلیه خودروها از طریق لینک های مخابراتی با کنترل کننده های محلی خود در ارتباط بوده و فرآیند مدیریت شارژ آن ها توسط این کنترل کننده های محلی هدایت می شود. این امر بدین معنی است که زمان حل مسئله بهینه سازی متداول ذکر شده در بخش قبل به چندین مسئله بهینه سازی قابل حل به صورت موازی کاهش می یابد.



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

استفاده از کنترل کننده محلی در مسئله بهینه سازی ارائه شده موجب می شود در این مسئله نیاز به حل پخش بار در شبکه نباشد. بنابراین مسئله بهینه سازی ارائه شده مستقل از توپولوژی شبکه خواهد بود ضمن آنکه عدم استفاده از پخش بار برای حل مسئله بهینه سازی پیشنهادی موجب کاهش زمان حل این مسئله می گردد. علاوه بر این، تابع هدف پیشنهاد شده در مرحله اول یک تابع مربع محدب با قیود محدب در مقایسه با تابع هدف متداول با قیود غیر محدب می باشد. بنابراین مسئله بهینه سازی غیر محدب تبدیل به یک مسئله بهینه سازی محدب شده است. لازم به ذکر است که یکی از خاصیت های اصلی در مسئله های بهینه سازی محدب این است که نقاط بهینه محلی همان نقاط بهینه سراسری می باشد.

۲-۲-۲- مرحله دوم: کاهش تلفات با مدیریت توان راکتیو PHEV ها

در این مرحله از بهینه سازی، مدیریت توان راکتیو PHEV ها جهت کاهش تلفات انجام خواهد گرفت. یکی از روش های کاهش تلفات در شبکه های قدرت استفاده از طرح های جبران سازی توان راکتیو می باشد [۲۳]. PHEV ها امکان تزریق توان راکتیو را دارا هستند. در این حالت

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

شماره کلاس	۱	۲	۳	۴
$Average_{pers}^{Class}$	۰.۲	۰.۳	۰.۳	۰.۲

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 ($BatteryCapacity_{min}^{Class,i}$ (kWh) و حداکثر ظرفیت ($BatteryCapacity_{max}^{Class,i}$ (kWh) باشند.

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

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

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

شماره کلاس	۱	۲	۳	۴
$RequiredEnergy_{1km}^{Class,i}$	۰.۱۹	۰.۲	۰.۲۲	۰.۲۴

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 (حاصل ضرب 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 ایمنی باتری خودروها در این مقاله، حد بالا و پایین SOC به ترتیب برابر 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 کامل ۰.۸ ($SOC_{Leaving} = 0.8$) از خانه خارج و با یک SOC تصادفی به خانه برمی گردند. رابطه (۲۱) ارتباط بین $SOC_{Leaving}$ و $SOC_{Arriving}$ را در همان روز نشان می دهد.

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

۳-۲- مدل سازی

همانطور که قبلاً 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 مسئله موجب خواهد شد تا نتایج حاصل شده از حالت ایده آل دور شده و به واقعیت نزدیک تر باشند.

۳-۱- 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].

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

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

۳-۲- مدل سازی PHEV

با توجه به تصادفی بودن زمان اتصال خودروها به شبکه، SOC (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.

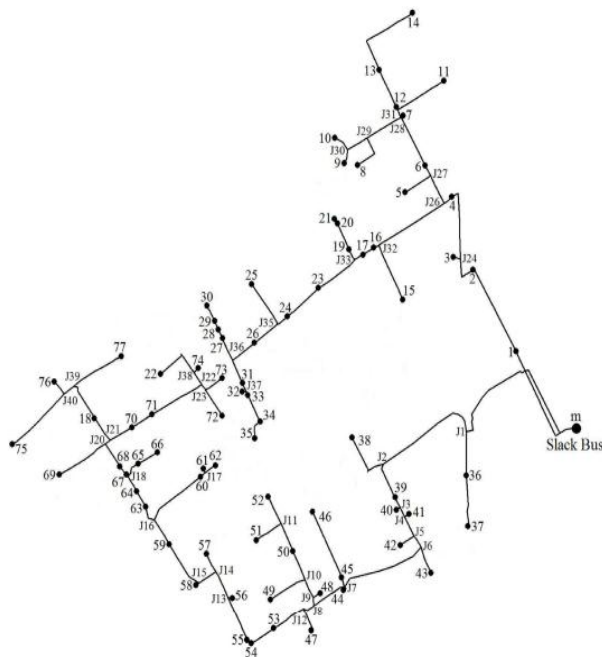
از طرفی دیگر انواع PHEV ها که در یک شهر تردد می کنند، در ۴ کلاس خودرو کوچک (کلاس ۱)، خودرو کم مصرف (کلاس ۲)، خودرو متوسط (کلاس ۳) و خودروهای سنگین (کلاس ۴) تقسیم بندی شده است که برای کلاس های مختلف رابطه (۲۰) را می توان نوشت.

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

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

¹ State of charge

جهت انجام شبیه سازی و مقایسه نتایج در نظر گرفته شده است. این سناریوها در ادامه معرفی می شوند.



شکل (۴): شبکه توزیع سیرجان برای پیاده سازی روش پیشنهادی

۳-۱-۱- سناریو مرجع

در این سناریو هیچ PHEV ی به شبکه متصل نشده است. مطابق شبیه سازی انجام یافته، تلفات انرژی برای این سناریو برابر ۱۰۸۹ مگاوات ساعت می باشد که بیشترین توان در ساعت ۲۱:۰۰ بوده و مقدار آن ۷۳.۹۲ کیلووات می باشد.

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

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

$$\frac{Traveled\ distance_{daily} \times Required\ Energy_{Class,i}}{Battery\ Capacity} \quad (21)$$

+Fossil Fuels

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

در مدل سازی رفتاری PHEV ها فرض بر آن است که تمامی خودروها به محض بازگشت به خانه شارژ شوند. اگر قبل از بازگشت به خانه مقدار شارژ خودرو از حداقل مقدار $SOC_{Arriving}$ پایین تر آمد، خودرو تا رسیدن به خانه و انجام مجدد شارژ از سوخت های فسیلی استفاده می کند. این مسئله دلیل حضور متغیر $Fossil\ Fuels$ در رابطه (۲۱) است.

به منظور مدل سازی بهتر، توزیع در نظر گرفته شده برای زمان های 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 زمان های

ورود و خروج از خانه PHEV ها

زمان خروج (Leaving Time) (ساعت)		زمان ورود (Arriving time) (ساعت)		
طول هفته	آخر هفته	طول هفته	آخر هفته	
۷	۹	۱۷	۱۵	μ میانگین
۱	۶	۲	۶	σ ² واریانس

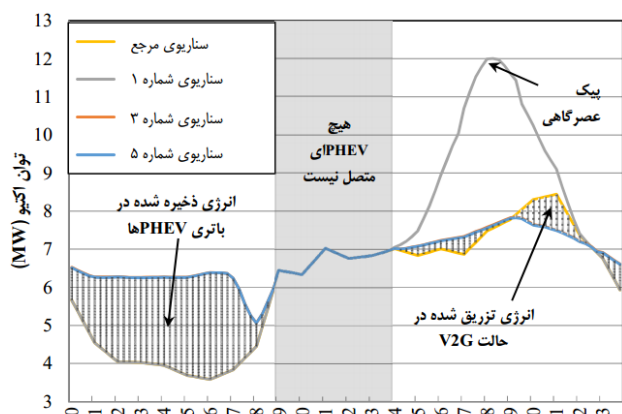
۳- شبیه سازی و تحلیل نتایج

۳-۱- شبکه نمونه و سناریوهای مورد بررسی

بمنظور ارزیابی روش پیشنهادی، این روش بر روی شبکه توزیع ۲۰ کیلوولت سیرجان در استان کرمان پیاده سازی 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 ۱۲۳ خط و ۷۷ گره است که در تمامی گره ها ترانسفورماتورهایی برای تبدیل ۲۰ kV به ۴۰۰ V قرار دارند. در این شبکه از ۴ نوع هادی DOG, FOX, MINK, WEZEL استفاده شده است.

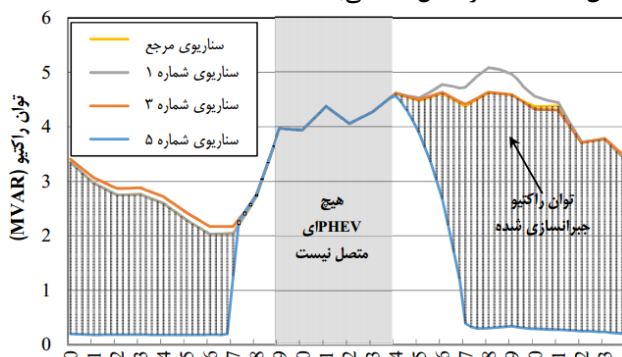
شبکه تحت مطالعه براساس فلوچارت شکل (۲) و برای ضریب نفوذهای مختلف از ۱۰٪ تا ۹۰٪ در پله های ۱۰ درصدی و با انجام ۱۰۰۰ تکرار مونت کارلو برای یک روز کاری تابستان مورد بررسی قرار گرفته است. برای حل مسائل بهینه سازی مراحل اول و دوم پیشنهادی از نرم افزار GAMS استفاده شده و در انتها برای محاسبات تلفات مقادیر خروجی نرم افزار GAMS در اختیار نرم افزار DiGSILENT قرار داده شده است. در این مقاله ۵ 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 اختلاط منحنی ها از ترسیم نتایج سناریوهای ۲ و ۴ صرف نظر شده است.



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

از آنجاییکه PHEV ها می توانند در دو مد کاری G2V و V2G در سناریوهای ۳ و ۵ کار کنند، توان اکتیو مربوط به سناریوهای ۳ و ۵ در ساعات 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 ۹۰٪ PHEV ها

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 سناریوها 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 PHEV ها (سناریو شماره ۱) پروفیل بار دارای پیک بزرگتری در مقایسه با دیگر سناریوها می شود که موجب پیک عصرگاهی خواهد شد. این پیک عصرگاهی 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، حداکثر تلفات توان در ساعت ۱۸:۰۰ رخ داده و مقدار آن ۱۴۷۰۱ کیلووات می باشد، در حالیکه تلفات انرژی برای این سناریو ۱۳۷۵ 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 توان اکتیو خودروها انجام گرفته است. در این حالت فرض شده است که قابلیت عملکرد در مد کاری V2G وجود ندارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ۹۰٪ PHEV ها برابر ۱۲۴۴ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریوی اول، ۱۰٪ کاهش داشته است.

۳-۱-۴- 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 مد کاری G2V و V2G وجود دارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ۹۰٪ PHEV ها برابر ۱۲۴۰ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریوی شماره ۲، ۴ کیلووات کاهش داشته است.

۳-۱-۵- 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 مد کاری V2G وجود ندارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ۹۰٪ PHEV ها برابر ۱۰۶۶ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریو ۲، ۱۷٪ کاهش داشته است.

۳-۱-۶- سناریو شماره ۵

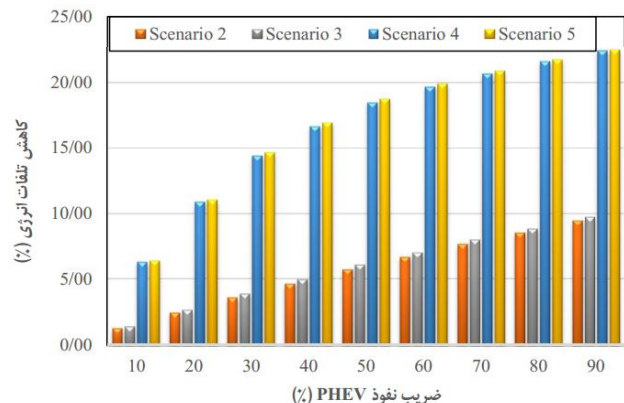
در این سناریو مدیریت شارژ و دشارژ توان اکتیو و راکتیو خودروها انجام گرفته است. در این حالت فرض شده است که قابلیت عملکرد در هر دو مد کاری G2V و V2G وجود دارد. تلفات انرژی شبکه برای ضریب نفوذ ۹۰٪ PHEV ها برابر ۱۰۶۶ مگاوات ساعت می باشد که نسبت به سناریو ۴، کاهشی نداشته است.

۳-۲- 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

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

شکل (۸) درصد کاهش تلفات انرژی شبکه در مقایسه با سناریو شماره ۱ را برای سطح نفوذهای متفاوت با استراتژی‌های متفاوت مدیریت توان PHEV 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 PHEV بر کاهش تلفات انرژی شبکه

۴- نتیجه‌گیری

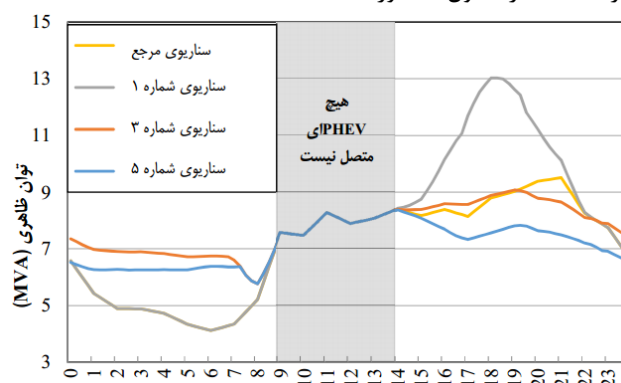
شارژ PHEV می‌تواند بار اضافی به شبکه تحمیل کند و تلفات شبکه را افزایش دهد. در این مقاله روش دو مرحله‌ای جهت مدیریت توان خودروها با رویکرد کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ پیشنهاد شد. در مرحله اول مدیریت توان اکتیو PHEV ها به صورت محلی و در مرحله دوم مدیریت توان راکتیو خودروها به صورت سراسری انجام گرفت. مسئله بهینه‌سازی در مرحله دوم بر خلاف مرحله اول، وابسته به ساختار شبکه بود. در این مرحله توان راکتیو 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 PHEV ها 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 PHEV ها در شبکه و با در نظرگیری امکان تبادل توان راکتیو خودروها با شبکه (در نظرگیری 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 PHEV ها 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 PHEV ها و تمامی سناریوهای در نظر گرفته شده در جدول (۶) آورده شده است.



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

براساس جدول (۶)، تلفات ناشی از عملکرد سیستم در طول شبانه‌روز با اعمال سناریوهای مختلف بهره‌برداری از PHEV ها در محدوده ۱۰۰۰ تا ۱۳۷۵ مگاوات ساعت برای ضریب نفوذهای مختلف PHEV ها 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 سناریوها مشاهده می‌شود. علاوه بر این، با مقایسه مقادیر مربوط به سناریوهای ۴ و ۵، مشاهده می‌شود که افزایش ضریب نفوذ به ۹۰٪ نه تنها باعث افزایش تلفات انرژی نخواهد شد، بلکه باعث کاهش آن در مقایسه با عدم حضور PHEV ها خواهد شد. دلیل این امر تزریق توان راکتیو توسط PHEV ها در سناریوهای ۴ و ۵ می‌باشد.

جدول (۶): تلفات انرژی روزانه برای سناریوهای مختلف

درصد نفوذ	تلفات انرژی (MWh)				
	سناریو شماره ۱	سناریو شماره ۲	سناریو شماره ۳	سناریو شماره ۴	سناریو شماره ۵
۰	۱.۰۸۹	۱.۰۸۹	۱.۰۸۹	۱.۰۸۹	۱.۰۸۹
۱۰	۱.۱۱۷	۱.۱۰۲	۱.۱۰۱	۱.۰۴۶	۱.۰۴۵
۲۰	۱.۱۴۴	۱.۱۱۶	۱.۱۱۴	۱.۰۱۹	۱.۰۱۸
۳۰	۱.۱۷۴	۱.۱۳۲	۱.۱۲۹	۱.۰۰۵	۱.۰۰۲
۴۰	۱.۲۰۳	۱.۱۴۸	۱.۱۴۴	۱.۰۰۳	۱.۰۰۰
۵۰	۱.۲۳۸	۱.۱۶۷	۱.۱۶۲	۱.۰۰۹	۱.۰۰۶
۶۰	۱.۲۶۹	۱.۱۸۴	۱.۱۷۹	۱.۰۱۹	۱.۰۱۶

- [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. Ioaneş 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. Mithulananthan, "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. ایبانه، "انتخاب هادی‌ها، خازن‌ها و آرایش شبکه توزیع انرژی به منظور بهینه‌سازی تلفات در شرکت توزیع نیروی برق جنوب کرمان"، ۱۳۸۹.