

## مدیریت بهینه خودروهای الکتریکی با بهره‌گیری از ایستگاه شارژ هوشمند

مسعود هنرمند<sup>۱</sup>، نادر سالک گیلانی<sup>۲</sup>، هادی مدقق<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

۲- رئیس گروه لوازم اندازه‌گیری، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

۳- معاون سیستم‌های اندازه‌گیری و شبکه هوشمند، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

### چکیده

در این مقاله به تحلیل عملکرد یک ایستگاه هوشمند جهت استفاده‌ی خودروهای الکتریکی پرداخته شده است. با گسترش استفاده از خودروهای الکتریکی در ناوگان حمل و نقل شهری، لزوم مدیریت این خودروها و ایجاد زیرساخت مناسب شارژ برای آنها پررنگ‌تر خواهد شد. یکی از بازیگران تاثیرگذار در این عرصه، ایستگاه هوشمند خواهد بود که ضمن فراهم نمودن زیرساخت مورد نیاز شارژ خودروهای الکتریکی، امکان مدیریت این خودروها را نیز فراهم می‌آورد. رویکرد اصلی در بهره‌گیری از این ایستگاه‌ها کنترل فرآیند شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد تا از این طریق ضمن بهره‌مند شدن از مزایای اقتصادی و زیست محیطی این خودروها، از بروز اوج بارهای ناخواسته در شبکه جلوگیری کرده و از قابلیت این خودروها به عنوان ذخیره‌ساز انرژی در موارد لزوم استفاده گردد. نرم‌افزار ایستگاه هوشمند با مطلع شدن از قیمت بلادرنگ بازار برق از یک سو و دریافت پارامترهای شارژ و دشارژ مورد نظر صاحبان خودروهای الکتریکی از سوی دیگر، اقدام به تخصیص توان به هر یک از خودروهای الکتریکی می‌نماید.

**کلید واژه:** ایستگاه شارژ هوشمند، خودروی الکتریکی، مدیریت بهینه‌ی انرژی.

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، Masoud.honarmand89@gmail.com

<sup>۲</sup> رئیس گروه لوازم اندازه‌گیری، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، Salek@saba.org.ir

<sup>۳</sup> معاون سیستم‌های اندازه‌گیری و شبکه هوشمند، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، Modaghegh@saba.org.ir

## ۱- مقدمه

خودروهای الکتریکی، نسلی نو در صنعت خودروسازی جهان به حساب می آیند. افزایش نگرانی ها در مورد اثرات سوخت های فسیلی، تولیدکنندگان اتومبیل را به سمت طراحی خودروهای الکتریکی سوق داده است. به کارگیری گسترده از خودروهای الکتریکی می تواند راه حل مناسبی برای تقلیل وابستگی به سوخت های فسیلی و نیز کاهش مسائل زیست محیطی از قبیل آلودگی هوا و انتشار روز افزون گازهای گلخانه ای در کلان شهرها باشد. این خودروها مسیری تازه به سوی کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی پیش روی ما قرار داده اند. از آنجا که بخش حمل و نقل یکی از بزرگترین مشارکت کنندگان در بحث تقاضای انرژی، آلودگی هوای شهری و انتشار گازهای گلخانه ای به حساب می آید، امروزه طرح جایگزینی خودروهای سنتی با خودروهای الکتریکی، موضوع بسیاری از تحقیقات قرار گرفته است. [۱-۳].

اگر چه استفاده از خودروهای الکتریکی می تواند راه حل مناسبی برای کاهش مصرف سوخت های فسیلی باشد ولی در صورت فراگیر شدن آنها و اتصال همزمان این خودروها به شبکه برق، امکان ایجاد اختلال در عملکرد سیستم و بروز خسارت های جدی به تجهیزات شبکه قدرت فراهم می گردد [۴]. مهمترین چالش در استفاده از خودروهای الکتریکی، ایجاد ساختارهای مناسب نظارتی و تنظیم کننده مانند ایستگاه های هوشمند می باشد چرا که بدون بهره گیری از آنها بعید به نظر می رسد که خودروهای الکتریکی اثرات مفید مورد انتظار پژوهشگران را محقق سازند [۵].

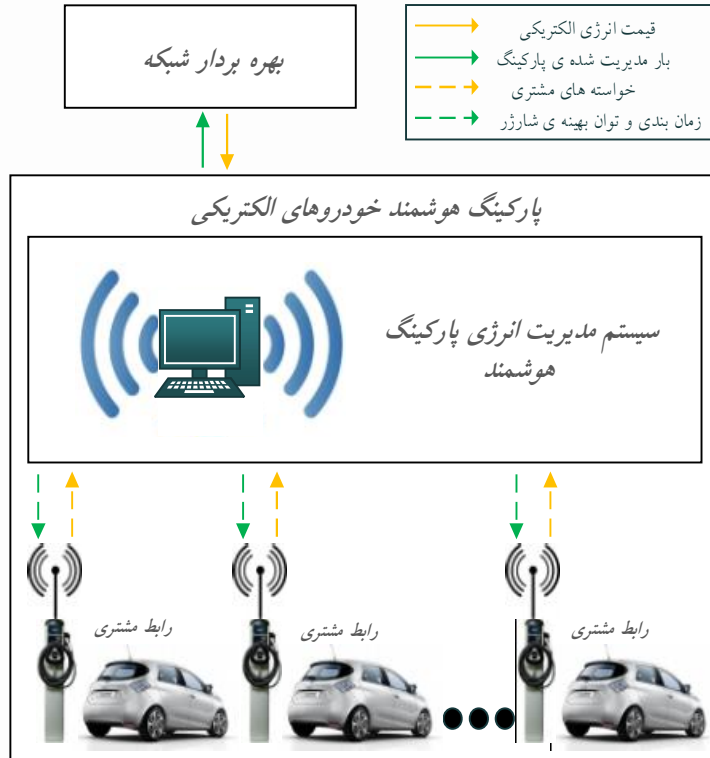
بهره گیری از ایستگاه هوشمند به عنوان یک تجمیع کننده، روشی مناسب و کارآمد برای کنترل فرآیند شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی می باشد که با در نظر گرفتن محدودیت های شبکه و پارامترهای مدنظر صاحبان خودروها، اقدام به تخصیص توان به شارژر آنها می نماید. زمانی که خودروهای الکتریکی به صورت مجزا در نظر گرفته می شوند، نظارت بر پروسه ی شارژ و دشارژ آنها بسیار دشوار خواهد بود. ولی با در نظر گرفتن یک تجمیع کننده برای این خودروها می توان این فرآیند را به راحتی مدیریت نمود .

تابع هدف ایستگاه هوشمند ارائه شده در این مقاله، بیشینه نمودن نرخ شارژ تمام خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه با در نظر گرفتن رضایت مشتریان و برآورده ساختن قیود فنی سیستم در نظر گرفته شده است. درمرجع شماره ی [۶] ایستگاه خودروهای الکتریکی به صورت یک ایستگاه شارژ در نظر گرفته شده است و از قابلیت خودروهای الکتریکی برای فروش انرژی به شبکه بالادستی چشم پوشی گردیده است در حالیکه در مقاله حاضر به بررسی روابط میان ایستگاه شارژ، بهره بردار

شبکه و بازار برق پرداخته شده و از ایستگاه هوشمند به عنوان نهادی برای شرکت دادن خودروهای الکتریکی در بازار برق استفاده شده است .  
در بخش ۲ مقاله، ایستگاه هوشمند خودروهای الکتریکی معرفی و نقش آن در کنترل فرآیند شارژ و دشارژ این خودروها بیان خواهد شد. در بخش ۳ بیان ریاضی مسئله، تابع هدف، قیود فنی و محدودیت های ایستگاه تشریح خواهد شد. در بخش ۴ شبیه سازی ایستگاه هوشمند انجام خواهد گرفت و نهایتاً در بخش ۵ نتیجه گیری ارائه خواهد گشت.

## ۲- ایستگاه هوشمند خودروهای الکتریکی

با افزایش تعداد خودروهای الکتریکی، ضرورت مدیریت بهینه‌ی انرژی آنها جهت جلوگیری از بروز اوج بار ناخواسته در شبکه، بیش از پیش احساس می گردد [۷]. یکی از راه‌های جلوگیری از این پدیده، بهره‌گیری از ایستگاه هوشمند است. هدف از احداث این ایستگاه‌ها در درجه اول کنترل فرآیند شارژ خودروها و در درجه دوم بهره‌گیری از آنها به عنوان منابعی برای فروش انرژی در زمان اوج بار شبکه می باشد به عبارت دیگر این ایستگاه‌ها علاوه بر فراهم نمودن امکان نظارت بر فرآیند شارژ خودروهای الکتریکی، زیر ساخت لازم جهت فروش توان آنها به شبکه را نیز فراهم می آورند [۸].  
در این مقاله به بررسی نقش کنترلی این ایستگاه‌ها بر فرآیند شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی پرداخته می‌شود. تابع هدف ایستگاه مذکور بیشینه نمودن نرخ شارژ و دشارژ تمام خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه در بازه‌ی زمانی معین در نظر گرفته خواهد شد.  
نکته اساسی در بررسی ایستگاه هوشمند ارائه شده، چگونگی ارائه‌ی قیمت انرژی الکتریکی می باشد. برای این منظور فرض می گردد که سیگنال قیمت توسط بهره‌بردار شبکه در اختیار نرم افزار ایستگاه هوشمند قرار می‌گیرد. در این حالت، نرم افزار ایستگاه با دریافت این سیگنال از یکسو و گرفتن قیمت مورد نظر مشتری برای شارژ و دشارژ باتری خودرو به ازای هر kWh از سوی دیگر، میزان توان اختصاص یافته به شارژ هر خودرو را با توجه به توابع هدف مورد نظر بهره‌بردار ایستگاه و همچنین در نظر گرفتن قیود مربوط به شبکه، ایستگاه و خودروها در بازه‌های زمانی مشخص، محاسبه و اعمال می نماید. شمای کلی ایستگاه هوشمند ارائه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار ایستگاه هوشمند پیشنهاد شده

### ۳- بیان ریاضی مسئله

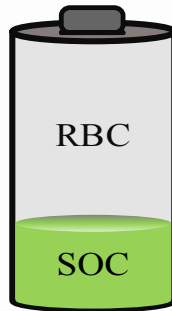
در این مقاله، بیشینه نمودن نرخ شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه هوشمند به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می شود. خودروهای الکتریکی به محض ورود به ایستگاه، پارامترهای درخواستی از سوی نرم افزار ایستگاه را ارائه کرده و از این طریق مشخصات شارژ و دشارژ دلخواه خود را به سیستم اعلام می دارند. در این مدل قیمت انرژی، مدت زمان شارژ، سطح شارژ اولیه خودروها و مقدار توانی که در هر بازه زمانی در اختیار ایستگاه هوشمند قرار می گیرد در نظر گرفته می شوند. مدل ارائه شده قادر است تا نرخ شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه را با توجه به ضرایب وزنی اختصاص یافته به آنها و قیمت انرژی الکتریکی بیشینه نماید. ضرایب وزنی در نظر گرفته شده برای شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی به صورت تابعی از پارامترهای مورد اهمیت صاحبان خودروها به صورت زیر تعریف می گردد:

$$W_{Charging}^{i,t} = f\left(RBC^{i,t}, Price_{Charging}^i, \frac{1}{RT^{i,t}}, \frac{1}{AOB^i}\right) \quad (1)$$

$$W_{Discharging}^{i,t} = f\left(SOC^{i,t}, Price_{Discharging}^i, RT^{i,t}, \frac{1}{AOB^i}\right) \quad (2)$$

$$RBC^{i,t} = (1 - SOC^{i,t}) \quad (3)$$

که در این روابط،  $Price_{Charging}^i$  و  $Price_{Discharging}^i$  به ترتیب بیانگر قیمت‌های دلخواه برای شارژ و دشارژ هستند،  $RT^{i,t}$  بیانگر مقدار باقیمانده از زمان حضور خودروی الکتریکی در ایستگاه است،  $AOB^i$  بیانگر عمر باتری خودروی الکتریکی است و نهایتاً  $RBC^{i,t}$  بیانگر ظرفیت خالی باتری خودروی الکتریکی است که در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲: سطح شارژ باتری

هر خودروی موجود در ایستگاه هوشمند بسته به قیمت‌های پیشنهادی شارژ و دشارژ خود در یکی از سه وضعیت "شارژ"، "دشارژ" و "انتظار" ( $M^{i,t}$ ) قرار می‌گیرد. تعداد دفعات تغییر وضعیت خودرو ( $D^i$ ) پارامتر دیگری است که در بر فرآیند شارژ و دشارژ خودروها تأثیر گذار خواهد بود.

### ۳-۱- تابع هدف

تابع هدف مسئله بدین صورت تعریف می‌گردد:

$$OBJ = \sum_t \sum_i W^{i,t} \times \Delta SOC^{i,t} \quad (4)$$

که در این رابطه  $\Delta SOC^{i,t}$  بیانگر اختلاف بین سطح شارژ خودروهای الکتریکی در دو بازه‌ی زمانی متوالی می‌باشد.

برای مدل‌سازی باتری خودروهای الکتریکی استفاده شده در این مقاله از مدل مراجع [۹] و [۱۰] استفاده شده است. طبق این مدل خواهیم داشت:

$$\Delta SOC^{i,t} = \eta \times I^{i,t} \quad (5)$$

که در این  $\eta$  رابطه بیانگر بازدهی باتری و  $I^{i,t}$  بیانگر جریان تزریقی به باتری یا تحویلی از باتری

می باشد.

ولتاژ مدار باز باتری (OCV) در این مدل از رابطه زیر حاصل می گردد:

$$OCV^{i,t} = V_n + \alpha \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{SOC^{i,t}}{C_n - SOC^{i,t}} \right) \quad (6)$$

که در این رابطه  $V_n$  بیانگر ولتاژ نامی باتری است،  $R$  و  $F$  و  $T$  به ترتیب ثابت گازها، ثابت فارادی و دمای باتری میباشند،  $\alpha$  پارامتر حساسیت باتری است، و نهایتاً  $C_n$  ظرفیت نامی باتری می باشد. ولتاژ مدار بسته باتری (CCV) و توان اختصاص داده شده به شارژر هر یک از خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه به صورت زیر تعریف می گردند:

$$CCV^{i,t} = OCV^{i,t} + R_m \times I^{i,t} \quad (7)$$

$$P_{EV}^{i,t} = CCV^{i,t} \times I^{i,t} \quad (8)$$

که در این رابطه  $R_m$  بیانگر مقاومت درونی باتری خودروهای الکتریکی می باشد. از رابطه‌ی (7) و (8) خواهیم داشت:

$$P_{EV}^{i,t} = OCV^{i,t} \times I^{i,t} + R_m \times (I^{i,t})^2 \quad (9)$$

از آنجا که متغیر مورد نظر در این مدل توان شارژر هر یک از خودروهای الکتریکی می باشد، مقدار جریان هر باتری بر حسب توان شارژر عبارت است از:

$$I^{i,t} = \left( \frac{-OCV^{i,t} + \sqrt{OCV^2 - 4R_m \times P_{EV}^{i,t}}}{2R_m} \right) \quad (10)$$

با جایگزین کردن رابطه‌ی (10) در رابطه‌ی (5)، رابطه‌ی (11) حاصل خواهد شد:

$$\Delta SOC^{i,t} = \eta \times \left( \frac{-OCV^{i,t} + \sqrt{OCV^2 - 4R_m \times P_{EV}^{i,t}}}{2R_m} \right) \quad (11)$$

و نهایتاً با جایگزین کردن رابطه‌ی (11) در رابطه‌ی (4) تابع هدف به صورت رابطه‌ی زیر حاصل خواهد شد:

$$OBJ = \sum_i \sum_i W^{i,t} \times \eta \times \left( \frac{-OCV^{i,t} + \sqrt{OCV^2 - 4R_m \times P_{EV}^{i,t}}}{2R_m} \right) \quad (12)$$

### ۲-۳- قیود مسئله

قیودی که در این مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از:

$$\begin{cases} P_{EV}^{i,t} \leq P_{G2V,max}^i & \text{if: } M^{i,t} = 1 \text{ ; (Charge)} \\ -P_{V2G,max}^i \leq P_{EV}^{i,t} & \text{if: } M^{i,t} = -1 \text{ ; (Discharge)} \end{cases} \quad (13)$$

که در این رابطه  $P_{G2V,max}^i$  و  $P_{V2G,max}^i$  حداکثر توان مجاز شارژر به ترتیب در حالت شارژ و دشارژ می‌باشند.

$$SOC_{min}^i \leq SOC^{i,t} \leq SOC_{max}^i \quad (14)$$

که در این رابطه  $SOC_{min}^i$  و  $SOC_{max}^i$  به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار مجاز برای سطح شارژ باتری خودروهای موجود در ایستگاه می‌باشد.

$$D^i \leq N_{max} \quad (15)$$

که در این رابطه  $N_{max}$  حداکثر تعداد مجاز شارژ و دشارژ هر خودرو می‌باشد به گونه‌ای که با در نظر گرفتن این قید می‌توان طول عمر باتری خودروهای الکتریکی را افزایش داد.

$$\sum_{t=t_a^i}^{t_d^i} |M^{i,t}| = T_p^i \quad (16)$$

که در این رابطه  $t_a^i$  و  $t_d^i$  به ترتیب زمان ورود و خروج خودروی الکتریکی مورد نظر می‌باشند، و  $T_p^i$  مدت زمان تقریبی حضور خودروی الکتریکی مورد نظر در ایستگاه هوشمند است که این مقدار توسط صاحب خودرو در لحظه ورود به ایستگاه به نرم افزار ایستگاه اعلام می‌گردد.

$$P_{EV}^{i,t} . M^{i,t} . \eta_{G2V} . \Delta t \leq RBC^{i,t-1} . Cap^i \quad (17)$$

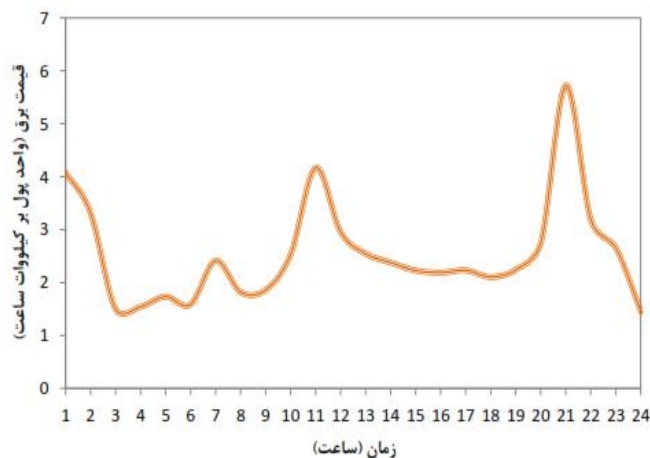
که در این رابطه  $\eta_{G2V}$  بازده شارژ خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه هوشمند می‌باشد.

$$P_{EV}^{i,t} . M^{i,t} . \frac{1}{\eta_{V2G}} . \Delta t \leq SOC^{i,t-1} . Cap^i \quad (18)$$

که در این رابطه  $\eta_{V2G}$  بازده دشارژ خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه هوشمند می‌باشد. شبیه‌سازی ایستگاه هوشمند ارائه شده در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار GAMS انجام پذیرفته است.

#### ۴- شبیه‌سازی

در این مقاله، ۵۰۰ خودروی الکتریکی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ورود و خروج خودروهای الکتریکی به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. به محض ورود هر خودرو به ایستگاه، پارامترهای مورد نظر مشتری دریافت می‌گردد. نرم افزار ایستگاه هوشمند بر اساس قیمت پیشنهادی هر خودرو برای شارژ و دشارژ، زمان ورود، مدت زمان تقریبی حضور خودرو در ایستگاه و قیمت لحظه‌ای برق اقدام به اولویت‌بندی خودروها در هر یک از وضعیت‌های شارژ و دشارژ می‌نماید. منحنی قیمت برق ارائه شده به ایستگاه هوشمند در شکل ۳ نشان داده شده است.



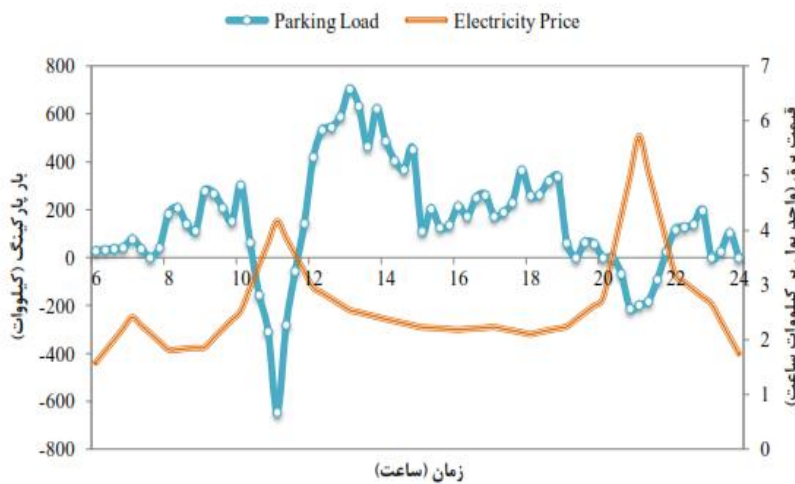
شکل ۳: قیمت ساعتی برق

تمام خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه، خودروی الکتریکی Chevrolet Volt در نظر گرفته می‌شود که ظرفیت نامی باتری آن ۱۶ کیلووات ساعت می‌باشد [۱۱]. سطح شارژ اولیه خودروها بین ۰/۱ و ۰/۷، زمان ورود خودروهای الکتریکی به ایستگاه بین ۶:۰۰ و ۱۸:۰۰، مدت زمان حضور خودروهای الکتریکی در ایستگاه بین ۲ و ۸ ساعت، قیمت مورد نظر مشتری برای شارژ خودرو بین ۲/۵ و ۴/۵ واحد پول و قیمت مورد نظر مشتری برای دشارژ خودرو بین ۳ و ۵ واحد پول به صورت اعداد تصادفی تولید می‌گردند. بازه‌های زمانی در نظر گرفته شده در این مقاله برابر ۱۵ دقیقه می‌باشند که این مقدار برای مطالعه‌ی ۵۰۰ خودروی الکتریکی مقاداری مناسب می‌باشد. در این مقاله دو سناریو بررسی شده است:

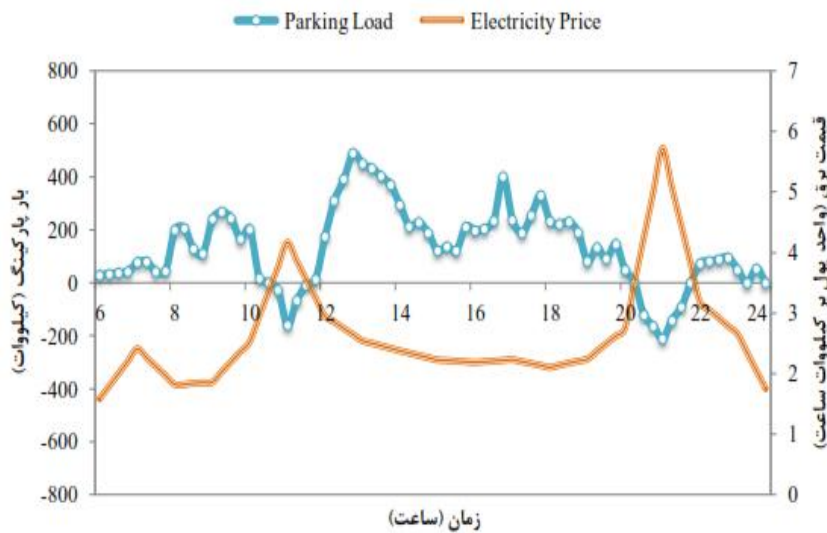
- برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی بدون در نظر گرفتن عمر باتری خودروها
- برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن عمر باتری خودروها



در سناریوی اول هیچ گونه قیدی از سوی ایستگاه بر تعداد شارژ و دشارژ خودروها اعمال نمی‌گردد و نرم‌افزار ایستگاه هوشمند قادر است به صورت آزادانه به هر تعداد که می‌خواهد باتری خودروها را شارژ و دشارژ نماید. در سناریوی دوم با در نظر گرفتن طول عمر باتری هر خودرو، قیدی به مسأله افزوده می‌گردد که این قید آزادی عمل نرم‌افزار ایستگاه را در تعداد تغییر وضعیت خودروها محدود می‌نماید. در شکل‌های ۴ و ۵ برنامه‌ریزی توان در ایستگاه هوشمند مورد بحث نشان داده شده است. همانطور که از شکل‌ها مشخص است، در سناریوی اول توانی که میان ایستگاه هوشمند و شبکه مبادله شده است به مراتب بیشتر از سناریوی دوم می‌باشد. در سناریوی دوم، اصل بر آن است که ضمن بهره‌مند شدن از ظرفیت ذخیره‌سازی خودروهای الکتریکی، از کاهش عمر آنها در اثر شارژ و دشارژ بی‌رویه جلوگیری به عمل آید.

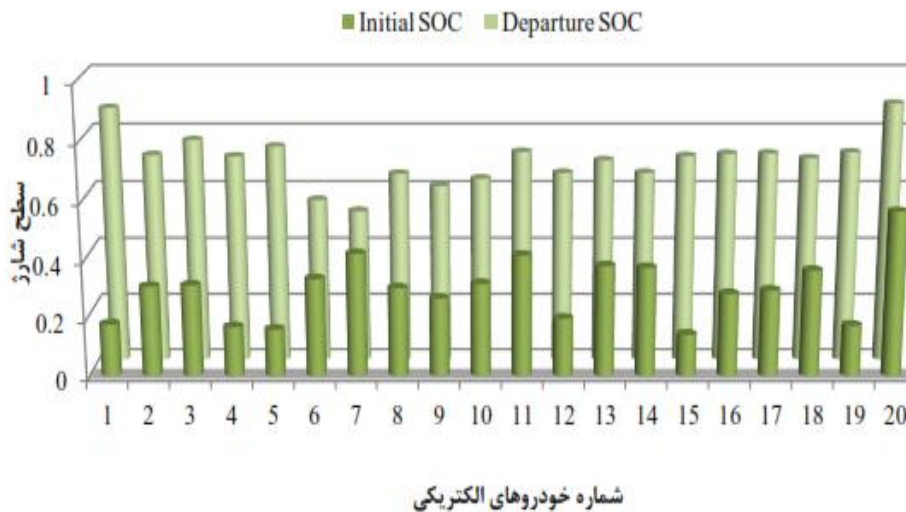


شکل ۴: بار ایستگاه در سناریوی اول

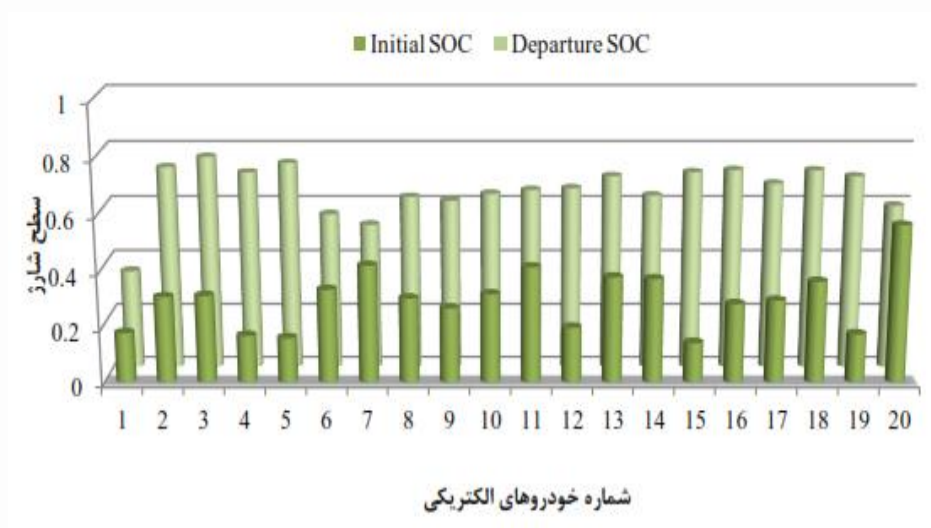


شکل ۵: بار ایستگاه در سناریوی دوم

در شکل‌های ۶ و ۷ سطح شارژ اولیه و نهایی ۲۰ خودروی الکتریکی نمونه نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، در سناریوی اول اغلب خودروهای الکتریکی موجود در ایستگاه توانسته اند به حد بالایی از سطح شارژ دست پیدا نمایند. در سناریوی دوم حد شارژ نهایی خودروها اندکی کاسته شده است ولی با این وجود هنوز دارای مقداری منطقی می‌باشند ضمن اینکه در این حالت راهکاری برای افزایش طول عمر باتری نیز اعمال شده است.

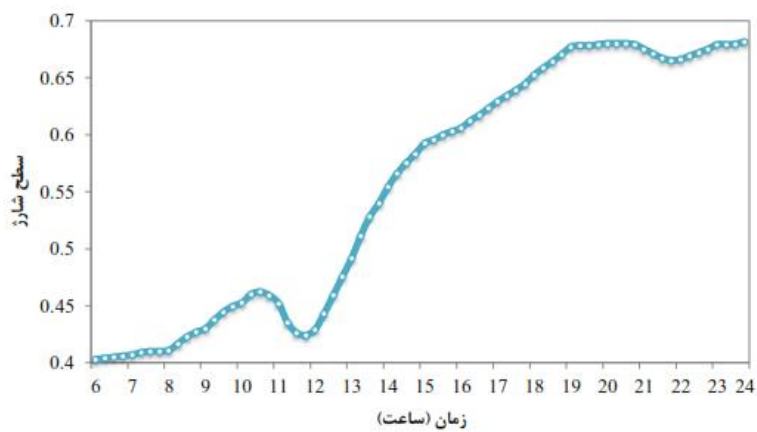


شکل ۶: سطح شارژ ابتدایی و انتهایی ۲۰ خودروی الکتریکی در سناریوی اول



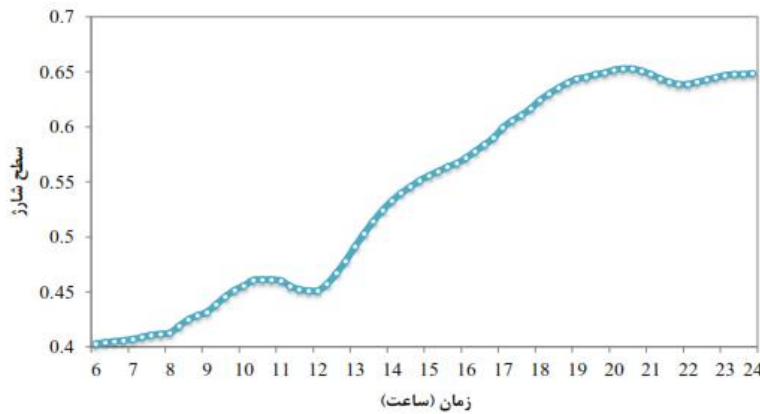
شکل ۷: سطح شارژ ابتدایی و انتهای ۲۰ خودروی الکتریکی در سناریوی دوم

در شکل‌های ۸ و ۹ میانگین سطح شارژ خودروهای موجود در ایستگاه هوشمند نشان داده شده است. همانطور که از شکل‌ها مشخص است، در سناریوی اول نوسانات سطح شارژ میانگین ایستگاه هوشمند به سبب آزادی عمل نرم‌افزار ایستگاه بیشتر بوده است.



شکل ۸: سطح شارژ میانگین ایستگاه هوشمند در سناریوی اول

در سناریوی دوم نوسانات سطح شارژ میانگین ایستگاه هوشمند کاهش پیدا نموده است و این امر گویای آن است که در این حالت باتری هر خودروی الکتریکی موجود در ایستگاه هوشمند نوسانات سطح شارژ کمتری را تجربه نموده است بنابراین طول عمر مفید هر خودرو با استراتژی اتخاذ شده افزایش خواهد یافت [۱۲].



شکل ۹: سطح شارژ میانگین ایستگاه هوشمند در سناریوی دوم

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله، مدلی جدید برای زمان بندی شارژ و دشارژ بهینه‌ی خودروهای الکتریکی در یک ایستگاه هوشمند ارائه شد و مسائل فنی و اقتصادی این امر به صورت همزمان مورد توجه قرار گرفتند. مدل ارائه شده به ایستگاه هوشمند این امکان را می‌دهد که به عنوان یک تجمیع کننده برای مدیریت خودروهای الکتریکی موجود در شبکه ایفای نقش کرده و از بروز اوج بارهای ناخواسته در شبکه جلوگیری به عمل آورد. استفاده از ایستگاه‌های هوشمند برای شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی زمینه‌ی بهره‌مندی از مزایای خودروهای الکتریکی برای شبکه‌های هوشمند آینده را فراهم خواهد نمود. نتایج حاصل شده در این مطالعه نشان داد که شارژ خودروها در ساعاتی انجام خواهد گرفت که قیمت انرژی در آن ساعات پایین تر از میزان قیمت دلخواه صاحبان خودروهای الکتریکی است در حالیکه دشارژ آنها در ساعاتی رخ می‌دهد که قیمت برق از میزان دلخواه صاحبان خودروها برای فروش انرژی به شبکه بیشتر است بنابراین خودروهای الکتریکی زمانی شارژ می‌شوند که شبکه در کم باری خود می‌باشد و زمانی دشارژ می‌گردند که شبکه در پر باری خود قرار دارد و با این عمل ضمن پر نمودن دره‌ی منحنی بار شبکه، از ورود ژنراتورهای اوج بار نیز ممانعت به عمل می‌آورند که این امر موجب تسطیح منحنی بار، بهبود راندمان شبکه و کاهش هزینه‌های تولید انرژی الکتریکی به سبب خاموش ماندن واحدهای گرانتر در ساعات اوج می‌گردد. لازم به ذکر است که با در نظر گرفتن طول عمر باتری خودروها به عنوان قیدی در مدل، زمان بندی بهینه‌ی خودروهای الکتریکی دستخوش تغییرات می‌گردد.

۶- مراجع

- [1] Q. Zhang, N. K. Ishihara, C. B. Mclellan, and T. Tezuka, "Scenario analysis on electricity supply and demand in future electricity system in Japan," *Energy*, vol. 38, pp. 376-385, 2012.
- [2] M. Pantos, "Stochastic optimal charging of electric-drive vehicles with renewable energy," *Energy*, vol. 36, pp. 6567-6576, 2011.
- [3] B. Soares, M. C. Borba, A. Szklo, R. Schaeffer, "Plug-in hybrid electric vehicles as a way to maximize the integration of variable renewable energy in power systems: the case of wind generation in northeastern Brazil," *Energy*, vol. 37, pp. 469-481, 2012.
- [4] Z. Fan, "A distributed demand response algorithm and its application to PHEV charging in smart grids," *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 3, pp. 1280-1290, 2012.
- [5] S. Shao, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, "Challenges of PHEV Penetration to the Residential Distribution Network", *IEEE International Conference on Power & Energy Society General Meeting*, July 2009.
- [6] Wencong Su, and Mo-Yuen Chow, "Performance Evaluation of A PHEV Parking Station Using Particle Swarm Optimization", *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, July 2011.
- [7] Ahmad Karnama, "Analysis of Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Distribution Grid", *Master of Science Thesis*, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden 2009.
- [8] A.Y.Saber, and G.K.Venayagamoorthy, "Optimization of Vehicle-to-Grid Scheduling in Constrained Parking Lots", *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, July 2009.
- [8] Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, J. Baba, and A. Yokoyama, "Autonomous distributed V2G (vehicle-to-grid) satisfying scheduled charging." *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 3, pp. 559-564, 2012.
- [10] M. A. Ortega-Vazquez, F. Bouffard, V. Silva, "Electric vehicle aggregator/system operator coordination for charging scheduling and services procurement," *IEEE Trans Power Syst*, vol. 28, pp. 1806-1815, 2013.
- [11] Chevrolet incorporation. Chevy volt battery characteristics. Available at: [http://www.chevrolet.com/configurator/DDP/chevrolet/US/b2c/en/2013/volt/volt/EVB\\_Detail.html](http://www.chevrolet.com/configurator/DDP/chevrolet/US/b2c/en/2013/volt/volt/EVB_Detail.html).
- [12] S. J. Gunter, K. K. Afridi, and D. J. Perreault, "Optimal design of grid-connected PEV charging systems with integrated distributed resources," *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 4, pp. 956-967, 2013.