

اثرات شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی در مدیریت تراکم سیستم های توزیع

محمد رضا زرگر شوشتری^۱، محسن صنیعی^۲

^۱گروه برق، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، Mr.zargar54@gmail.com

^۲گروه برق، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، Mohsen.saniei@gmail.com

چکیده - در این مقاله اثرات شارژ و دشارژ خودروهای برقی جهت مدیریت تراکم در سیستم های توزیع ارائه شده است. قیود مسئله عبارتند از پخش بار AC، تأمین بار عادی مصرف کنندگان، تأمین شارژ مورد نیاز خودروهای برقی در زمان اتصال آنها به شبکه، محدودیت اندازه ولتاژ باس ها، محدودیت توان انتقالی خطوط و محدودیت توان ترانسفورماتورهای پست می باشد. سه حالت مختلف در نظر گرفته شده است: شارژ غیرهوشمند، شارژ هوشمند و شارژ / دشارژ هوشمند. نتایج نشان می دهد که تراکم می تواند در هر دو حالت دوم و سوم کنترل و مدیریت شود در حالیکه در حالت اول نیاز به توسعه تولید وجود دارد. علاوه بر این، هزینه در حالت شارژ / دشارژ هوشمند بیشتر از حالت شارژ هوشمند کاهش پیدا می کند. در نهایت، ولتاژ در حالت شارژ غیرهوشمند از محدوده مجاز خود بالاتر رفته، در حالیکه در حالت های دوم و سوم در رنج مجاز خود باقی می ماند. در حالت سوم به صورت قابل ملاحظه ای تغییرات پروفیل ولتاژ کمتر از حالت دوم می باشد. نتایج شبیه سازی برای نشان دادن اعتبار و اثر بخشی روش با استفاده از نرم افزار GAMS برای سیستم ۶۹ باس ارائه شده است. کلید واژه- مدیریت تراکم، خودروهای برقی، شارژ هوشمند، سیستم توزیع، بهره برداری.

ذخیره انرژی نیاز به وصل به برق جهت شارژ دارد. تعداد زیادی از خودرو برقی ها هستند که هر کدام دارای ویژگی های مختلفی می باشند.

۱- مقدمه

امروزه وسایل نقلیه الکتریکی PEV ها در حال رشد هستند و جایگزین اتومبیل های معمولی مبتنی بر سوخت می شوند. تمام شدن ذخایر نفت خام و سوخت های فسیلی، افزایش هزینه های بنزین و همچنین افزایش مقررات دولتی به اتخاذ فناوری های سازگار با محیط زیست باعث توسعه وسایل نقلیه الکتریکی گردیده است [۱]. نیسان، میتسوبیشی، جنرال موتورز و شورلت در حال حاضر شروع به تولید PEV ها در خطوط تولید خود کرده اند و بسیاری از کمپانی ها وعده داده اند که قیمت PEV ها به سرعت کاهش یافته و به بازار می آیند [۲]. خودروهای الکتریکی هیبریدی HEV ها، خودروهای الکتریکی باتری دار BEV ها و خودروهای الکتریکی هیبریدی متصل شونده PHEV ها بیشتر در حال شهرت یافتن هستند PHEV ها نسبت به HEV ها باتری های با اندازه بزرگتر و موتورهای قدرتمندتر دارند اما دامنه آن ها هم چنان بسیار محدود است. استفاده از PEV ها نیاز به بنزین و گازوئیل را کاهش می دهد. این ماشین یا کامیون برای

۱-۱ اثرات نفوذ خودروهای برقی بر سیستم توزیع

بهره برداری از PEV ها در یک سیستم توزیع یک چالش در مدیریت سمت تقاضا خواهد بود که این مشکل به دلیل ابزارهایی است که برای شارژ باتری PEV ها، بار قابل ملاحظه ای را وارد شبکه می کند و این اضافه بار به وجود آمده باعث به وجود آمدن اثرات خاصی بر روی شبکه توزیع می شود. شارژ PHEV ها اثراتی را بر روی شبکه توزیع دارد به دلیل این که خودروها یک مقدار بزرگ انرژی الکتریکی را مصرف می کنند و این نیاز به توان الکتریکی می تواند باعث پیک های بسیار بزرگ و نامطلوب در مصرف برق شود. دو مکان عمده ای که باتری های PHEV ها می توانند شارژ شوند پارکینگ های عمومی یا خصوصی و خانه ها می باشند. این سناریو پذیرفته شده و قابل قبول است که صاحبان بسیاری از PEV ها بعد از اینکه از محل کار خود به خانه بر می گردند بلافاصله شارژر وسیله

1. Plug-in electric vehicle

2. Plug-in hybrid electric vehicle

۳- مدل سازی شبکه توزیع

شبکه توزیع همانند تمامی مدارهای الکتریکی از قوانین ولتاژ و جریان کیرشهف تبعیت می کند. در مقایسه با شبکه انتقال، خطوط در شبکه توزیع بسیار کوتاه تر بوده و در نتیجه دارای سوسپتانس موازی بسیار کمی می باشند که می توان به راحتی از آن صرف نظر نمود. در نتیجه می توان هر خط را با یک امپدانس به صورت زیر مدل نمود:

$$z_{ij} = r_{ij} + jx_{ij} \quad (1)$$

که در آن z_{ij} امپدانس خط متصل کننده i به j ، r_{ij} مقاومت و x_{ij} راکتانس خط می باشند.

ویژگی دیگر سیستم توزیع شعاعی بودن آن می باشد. مهمترین دلیل شعاعی بودن شبکه های توزیع ایجاد امکان تعمیرات راحت آن و جلوگیری از بروز حادثه در زمان تعمیرات می باشد. در این شرایط می توان به راحتی و بدون بروز برق گرفتگی به تعمیرات پرداخت. نتیجه این ساختار شعاعی، عبور تمامی توان ورودی به شبکه از پست توزیع و در نتیجه ترانسفورماتورهای آن می باشد. مهمترین مشخصه ای که در بهینه سازی برای پست توزیع می توان در نظر گرفت محدود بودن توان ظاهری انتقالی آن است:

$$SP_t \leq SP^{\max} \quad (2)$$

$$SP_t^2 = PP_t^2 + QP_t^2 \quad (3)$$

که در آن SP_t ، PP_t و QP_t به ترتیب توان ظاهری، اکتیو و راکتیو شبکه توزیع در ساعت t و SP^{\max} بیشینه توان ظاهری شبکه توزیع می باشد.

نکته قابل توجه در این مدل سازی آن است که با محدود نمودن توان ترانسفورماتور پست توزیع به مقدار بیشینه آن در عمل، توان انتقالی خطوط نیز به مقادیر بیشینه آنها محدود شده و دیگر نیازی به اعمال مستقیم قید محدودیت توان انتقالی برای خطوط نمی باشد. به عبارت دیگر بیشینه توان انتقالی پست توزیع برابر است با کمینه بیشینه مجاز توان انتقالی ترانسفورماتور و خطوط شبکه. با محدود نمودن توان در ورودی به پست، دیگر امکان وقوع اضافه بار بر روی خطوط شبکه توزیع وجود ندارد.

بر خلاف شبکه انتقال در شبکه توزیع نسبت x_{ij}/r_{ij} زیاد نبوده و بر این اساس نمی توان از مدل سازی DC پخش بار برای آن استفاده نمود. علاوه بر این در شبکه توزیع فرض ثابت بودن

نقلیه خود را به برق وصل می کنند که این امر باعث می شود یک پیک بار بسیار زیاد در یک دوره زمانی کوتاه به وجود آید. این شارژ کردن های برنامه ریزی نشده و تصادفی می تواند به شبکه توزیع فشار وارد کند و می تواند باعث نوسانات شدید ولتاژ، از بین رفتن اثرگذاری و اقتصاد سیستم، میزان تولید کمتر از حد مطلوب و افزایش احتمال خاموشی به علت اضافه بار شبکه گردد. دو روند عمده در فناوری وجود دارد که ممکن است نقش های مهمی در انتقال سیستم به سمت انرژی کم کربن و معرفی سیستم انرژی های تجدیدپذیر (RES) و ظهور خودروهای برقی (EV) ها [۴]-[۵] ایفا می کند. به هر حال نفوذ در پیشرفت (RES) ها، برق به طور افزایش یافته ای توسط منابع آب و هوا و منابع خورشیدی و انرژی باد عرضه خواهد شد این پیامد برای عملکرد سیستم های الکتریکی به وجود می آید. یک نمونه برخورد با رفتار متغیرهای (RES) ها وجود دارد که این یک مفهوم شبکه هوشمند که پاسخ و تقاضا را راحت تر می کند. در حال حاضر، قیمت قابلیت ارتجاعی تقاضای برق کم است و توانایی تغییر بار به ویژه مصرف کنندگان کوچک محدود می باشد. (EV) ها می توانند برعکس، بار را ثابت نگهدارند و آنها در نتیجه قادر به واکنش موثر بر قیمت برق کلی هستند و آنها با انجام این کارها می توانند به عنوان پشتیبانی برای انرژی های تجدید پذیر باشند [۶].

۲- مدیریت تراکم شبکه های توزیع با استفاده از برنامه

شارژ خودروها

در این مقاله مدیریت تراکم شبکه های توزیع با هدف برنامه ریزی بهره برداری سیستم های توزیع با در نظر گرفتن خودروهای برقی می باشد. این مسئله از دیدگاه بهره بردار سیستم توزیع که وظیفه تأمین پیوسته بار و حفظ قیود شبکه را بر عهده دارد برای روز پیش رو [۳] انجام خواهد شد.

در این راستا در ابتدا مقدار بار عادی سیستم، تعداد خودروهای برقی متصل شده و نیاز آنها برآورد خواهد شد. سپس بهره بردار سیستم توزیع اقدام به برنامه ریزی شارژ خودروهای برقی با هدف کمینه نمودن هزینه ی خرید برق از شبکه می نماید. هزینه تأمین برق شامل هزینه های تأمین بار عادی و مصرف خودروهای برقی می باشد.

از دیگر موارد مهم در بهره برداری سیستم قدرت و سیستم های توزیع محدود نمودن اندازه ولتاژ می باشد. دلیل این امر آن است که تمامی وسایل به صورت طراحی شده اند که در اندازه ولتاژ نامی یا نزدیک به آن کار نمایند و فاصله گرفتن ولتاژ از این اندازه مجاز می تواند منجر به آسیب دیدن تجهیزات مصرف کنندگان شود.

در نتیجه محدوده تغییرات ولتاژ باید محدود شوند. بر این اساس داریم:

$$v_i^{\min} \leq v_{i,t} \leq v_i^{\max} \quad (12)$$

که در آن v_i^{\min} و v_i^{\max} به ترتیب بیشینه و کمینه ولتاژ می باشند. نمونه های عملی برای این مقادیر در سیستم های توزیع به ترتیب ۰/۹۵ و ۱/۰۵ پریونیت می باشند.

۳-۱ تابع هزینه

با این توضیحات می توان تابع هدف بهره برداری را هزینه تأمین برق در نظر گرفت که به صورت زیر بیان می شود:

$$\text{cost} = \sum_t \pi_t \times P_{\text{post},t} \quad (13)$$

که در آن cost هزینه بهره برداری برای کل بازه ۲۴ ساعته روزانه و π_t قیمت برق در ساعت t می باشد.

۴- مدل سازی خودروی برقی

خودروهای برقی در شبکه های توزیع متصل می شوند به صورت دسته ای مدل سازی می شوند. هر دسته خودرو برقی تعدادی خودرو می باشند که در یک ساعت مشخص از خانه های متصل به یک باس شبکه توزیع خارج شده و در ساعت دیگر به این باس برمی گردند.

در ابتدا نیاز است که شارژ و دشارژ دسته به مقادیر بیشینه آنها محدود گردد. بر این اساس داریم:

$$0 \leq P_{v,t}^{ch} \leq P_v^{ch,max} \times N_{v,t} \quad (14)$$

که در آن $P_{v,t}^{ch}$ نرخ شارژ دسته v در ساعت t می باشد. قید بالا بیان می کند که نرخ شارژ دسته یک متغیر مثبت است که در صورتی که دسته به شبکه متصل باشد نرخ شارژ خودروهای برقی محدود به بیشینه آن $P_v^{ch,max}$ در هر ساعت باید باشد.

به صورت مشابه داریم:

$$0 \leq P_{v,t}^{dch} \leq P_v^{dch,max} \times N_{v,t} \quad (14)$$

ولتاژ در ۱ پریونیت یا تغییرات اندک آن فرض مناسبی نمی باشد. در نهایت آن که در بسیاری از شبکه های توزیع برخلاف سیستم انتقال، توان راکتیو به صورت کامل جبران سازی شده و در نتیجه لازم است که توان راکتیو در محاسبات در نظر گرفته شود.

بر این اساس در این پایان نامه مدل AC پخش بار برای مدل سازی شبکه توزیع استفاده می شود. متغیرهای مستقل در مدل سازی پخش بار AC ، اندازه (v_{it}) و زاویه (δ_{it}) ولتاژ باس های شبکه می باشد. لازم به ذکر است که نیاز است که زاویه یک باس به منظور جلوگیری از تکینگی برابر با مقدار ثابتی قرار داده شود. در این پایان نامه، اندازه زاویه ولتاژ باس پست را برابر با ۰ قرار می دهیم به این دلیل که راه حل ما دارای جواب باشد و به بی نهایت نرود:

$$\delta_{\text{post},t} = 0 \quad (4)$$

در ابتدا امپدانس خط را به ادمیتانس آن تبدیل می کنیم:

$$y_{ij} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} = |y_{ij}| < \theta_{ij} \quad (5)$$

که در آن $|y_{ij}|$ اندازه و θ_{ij} زاویه ادمیتانس خط می باشد.

توان های اکتیو، راکتیو خط را می توان بر حسب متغیرهای مستقل اندازه و زاویه ولتاژ به صورت زیر نمایش داد:

$$PL_{ij} = v_i^2 \times |y_{ij}| \times \cos(\theta_{ij}) - v_i \times v_j \times |y_{ij}| \times \cos(\delta_{i,t} - \delta_{j,t} - \theta_{ij}) \quad (6)$$

$$QL_{ij} = v_i^2 \times |y_{ij}| \times \sin(\theta_{ij}) - v_i \times v_j \times |y_{ij}| \times \sin(\delta_{i,t} - \delta_{j,t} - \theta_{ij}) \quad (7)$$

که در آن PL_{ij} و QL_{ij} به ترتیب توان های اکتیو و راکتیو می باشند. با مشخص شدن توان انتقالی اکتیو و راکتیو خطوط می توان قیود تعادل توان های اکتیو و راکتیو را به صورت زیر نوشت:

$$P_{\text{post},t} - PD_{\text{post},t} = \sum_{i \neq \text{post}} PL_{\text{post},j} \quad (8)$$

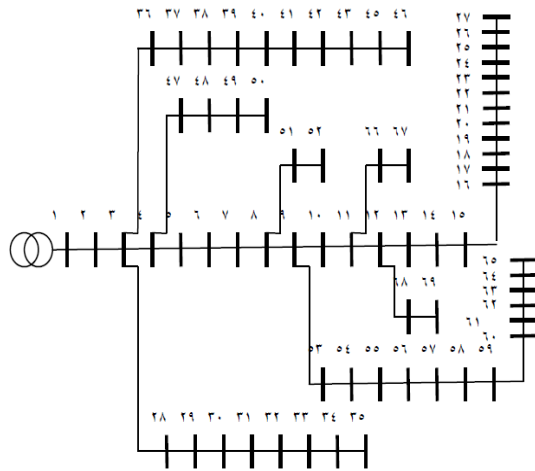
$$Q_{\text{post},t} - QD_{\text{post},t} = \sum_{i \neq \text{post}} QL_{\text{post},j} \quad (9)$$

که در آن PD و QD بارهای اکتیو و راکتیو می باشند. و برای باس های دیگر داریم:

$$-PD_{i,t} = \sum_{j \neq i} PL_{i,j} \quad (10)$$

$$-QD_{\text{post},t} = \sum_{j \neq i} QL_{i,j} \quad (11)$$

۲۰۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

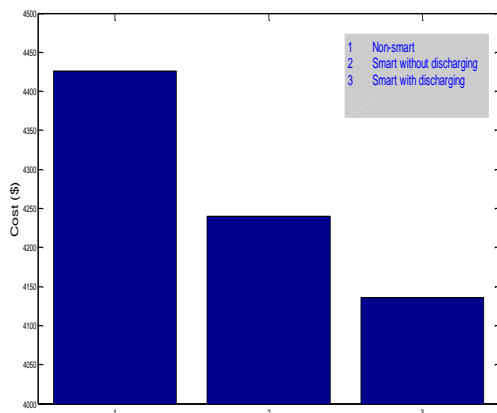


شکل ۱- شبکه نمونه ۶۹ باسه

شبکه نمونه استفاده شده در این تحقیق یک شبکه واقعی و متعلق به شرکت برق و گاز پسفیک می باشد.

۶- نتایج شبیه سازی

هزینه کلی بهره برداری شبکه برای حالت های مختلف در شکل ۲ نمایش داده شده است. هزینه برای حالت عادی که خودروهای برقی به صورت غیر هوشمند و به محض اتصال به شبکه شارژ می شوند برابر با ۴۴۲۵ دلار، برای شارژ هوشمند و عدم امکان دشارژ ۴۲۳۹ دلار و برای حالت شارژ و دشارژ هوشمند ۴۱۳۵ دلار می باشد.



شکل ۲- هزینه کلی در حالت های مختلف

که در آن $P_{v,t}^{dch}$ نرخ دشارژ دسته v در ساعت t می باشد. به صورت مشابه این قید بیان می کند که نرخ دشارژ دسته یک متغیر مثبت است که در صورتی که دسته به شبکه متصل باشد به بیشینه آن $P_{v,t}^{dch,max}$ در هر ساعت محدود می شود.

علاوه بر محدود نمودن نرخ های شارژ و دشارژ، انرژی ذخیره شده در باتری خودروهای برقی نیز باید محدود شود. بر این اساس داریم:

$$E_v^{min} \leq E_{v,t} \leq E_v^{max} \quad (15)$$

که در آن $E_{v,t}$ انرژی ذخیره شده در باتری دسته خودرو برقی v در ساعت t می باشد که به مقادیر کمینه و بیشینه آن محدود شده است.

نرخ کاهش انرژی دسته خودرو v را با در نظر گرفتن بازده شارژ / دشارژ می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$E_v^{net} \leq E_{v,t}^{dch} - \eta_v \times P_{v,t}^{ch} \quad (16)$$

همچنین نرخ تولید توان توسط یک دسته به صورت زیر می باشد:

$$P_{v,t} = P_{v,t}^{dch} - P_{v,t}^{ch} \quad (17)$$

توجه داریم که $P_{v,t}$ یک متغیر آزاد می باشد که هم می تواند مقادیر مثبت و هم مقادیر منفی اختیار نماید.

با استفاده از نرخ کاهش انرژی دسته خودرو می توان قید تعادل انرژی باتری های دسته خودروها را برای ساعت اول و دیگر ساعات بهره برداری به صورت زیر نوشت:

$$E_{v,t}^{net} = E_{v,0}^{net} - E_{v,t}^{net} - (1 - N_{v,t}) \times DR_{v,t} \quad (17)$$

$$E_{v,t}^{net} = E_{v,t-1}^{net} - E_{v,t}^{net} - (1 - N_{v,t}) \times DR_{v,t} \quad (18)$$

۵- مورد مطالعاتی

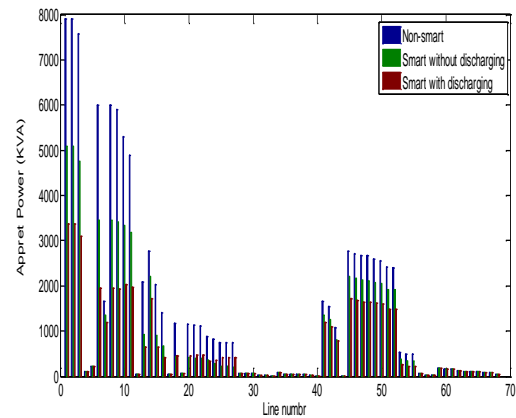
در این بخش شبیه سازی بر روی یک شبکه نمونه ارائه خواهد شد. سه حالت مختلف برای شبیه سازی در نظر گرفته شده است. در حالت اول شبیه سازی بدون شارژ هوشمند خودروهای برقی صورت می گیرد. در حالت دوم شارژ هوشمند خودروهای برقی در نظر گرفته می شود ولی دشارژ آنها برابر صفر در نظر گرفته می شود. در حالت سوم هم شارژ و هم دشارژ هوشمند در نظر گرفته می شود. نتایج نشان دهنده کاهش قابل توجه هزینه بهره برداری به هنگام استفاده از شارژ هوشمند می باشد. شبیه سازی بر روی یک شبکه نمونه واقعی ۶۹ باسه صورت گرفته است.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله اثرات شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی در مدیریت تراکم ارائه شد. با توجه به نتایج بدست آمده در روش اول شارژ خودروهای برقی کنترل می شود. این روش در نتایج منجر به هزینه های کمتر بهره برداری شده، توان پست توزیع در محدوده مجاز خود باقی مانده و در نهایت ولتاژ نیز در محدوده مجاز ۵٪ باقی می ماند. دلیل اصلی این مزایا شارژ خودروها در ساعات شب می باشد که در این ساعت بار عادی شبکه کم و قیمت برق کم می باشد. در نتیجه بهره برداری به هزینه های کمتر منجر شده و مصرف آنقدر زیاد نمی شود که نیاز به گسترش پست اتفاق بیفتد. بر این اساس می توان به راحتی با کنترل شارژ خودروهای برقی، تراکم در شبکه توزیع را کنترل کرد. در روش سوم علاوه بر شارژ هوشمند خودروهای برقی، امکان دشارژ آنها نیز در نظر گرفته شد. در این روش هزینه های بهره برداری حتی بیشتر از روش اول کاهش پیدا کرده و همچنین محدودیت های توان انتقالی پست و ولتاژ حفظ می شوند. دلیل این امر شارژ خودروهای برقی در ساعات ارزان پس از اتصال و سپس دشارژ شدن آنها در ساعات گران شب می باشد.

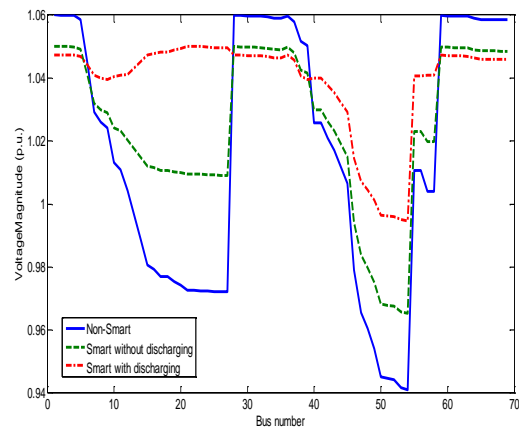
مراجع

- [1] Liu R, Dow L, Liu E. 2011. A survey of PEV impacts on electric utilities. in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), IEEE PES, pp. 8-1.
- [2] Deilami S, Masoum A.S, Moses P.S, Masoum M.A.S. 2011. Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile. Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 2, pp. 456-467
- [3] O'Connell N, Wu Q, Østergaard J, Nielsen A.H, Cha S.T, Ding Y. 2012. Day-ahead tariffs for the alleviation of distribution grid congestion from electric vehicles. Electric Power Systems Research, vol. 92, pp. 106-114.
- [4] Verzijlbergh R.A, Lukszo Z, Ilic M.D, 2012. Comparing different EV charging strategies in liberalized power systems. in European Energy Market (EEM), 9th International Conference on the, pp. 1-8.
- [5] Bessa R.J, Matos M.A, Soares F.J, Lopes J.A.P. 2012. Optimized Bidding of a EV Aggregation Agent in the Electricity Market. Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 443-452.
- [6] Lund H, Kempton W. 2008. Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. Energy Policy, vol. 36, pp. 3578-3587



شکل ۳- توان ظاهری کلیه خطوط در ساعت ۱۸

در شکل ۳ توان ظاهری تمامی خطوط برای ساعت ۱۸ که بیشینه مصرف (مصرف عادی و شارژ خودروهای برقی) در حالت اول رخ می دهد و تمامی حالات نمایش داده شده است.



شکل ۴- اندازه ولتاژ در باس های مختلف شبکه در ساعت ۱۸

در ادامه به منظور بررسی حالات مختلف بر روی ولتاژ، ولتاژ در ساعت ۱۸ که بیشینه مصرف (مصرف عادی و شارژ خودروهای برقی) در حالت اول رخ می دهد در شکل ۴ نمایش داده شده است. در حالت های دوم و سوم - شارژ هوشمند و شارژ و دشارژ هوشمند - ولتاژ در محدوده ۵٪ درصدی از ولتاژ نامی محدود ماند ولی برای حالت اول با این محدودیت ولتاژ الگوریتم همگرا نشد. به منظور بررسی بیشتر، محدوده ولتاژ به ۶٪ از مقدار نامی در حالت اول تغییر داده شد که در این حالت الگوریتم همگرا شد.