برنامه ریزی بهینه تجمیع‌گر خودروی الکتریکی با هدف ارائه هم‌زمان خدمات کنترل فرکانس در ریزشبکه‌ها

ملیحه دست‌پاک، سعید سید مهدوی چابک، محمدرضا برازش و محمدحسین جاویدی دشت بیاض

چکیده –در این تحقیق، با توجه به پتانسیل موجود در باتری خودرو الکتریکی، ساختاری برای عملکرد بهینه تجمیع‌گر خودروی الکتریکی به منظور کنترل فرکانس در ریزشبکه‌ها ارائه شده است. با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله، تجمیع‌گر می‌تواند با برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ باتری الکتریکی، خدمات متعادل‌سازی توان و تنظیم فرکانس را فراهم آورد. برنامه بهینه شارژ و دشارژ بین تجمیع‌گر و خودروی الکتریکی هماهنگ، می‌تواند خدمت جانبی تنظیم فرکانس را ارائه دهد.در این مقاله، برنامه بهینه‌ای برای تجمیع‌گر تعدادی خودروی الکتریکی، در جهت کمینه سازی هزینه هر خودرو جهت شارژ در نظر گرفته شده است تا دارندگان خودرو انگیزه کافی برای استفاده از این روش را داشته باشند و در ضمن خودروها بتوانند در برنامه تنظیم فرکانس نیز شرکت کنند. هر خودرو در انتهای برنامه به سطح شارژ مطلوب خود می‌رسد و همچنین در این برنامه، محدودیت‌های واقعی جهت تعداد خودروها در هر بازه زمانی دیده شده است.

***واژه‌های کلیدی*- باتری، خودروی الکتریکی، ریز شبکه، کنترل فرکانس، تجمیع‌گر**

۱- مقدمه

۱-۱- انگیزه تحقیق

در سال های اخیر از منابع انرژی کوچک مانند دیزل ژنراتورها و یا منابع انرژی تجدید پذیر برای تولید انرژی در مناطقی که فاصله زیادی با شبکه اصلی برق دارند، استفاده می‌گردد. معمولاً این مقیاس کوچک از شبکه اصلی برق که ریزشبکه نامیده می‌شود در دو حالت جدا و متصل به شبکه می‌تواند کار کند [۱]. ریز شبکه‌ها می‌توانند نسبت به شبکه اصلی باصرفه‌تر بوده و قابلیت اطمینان بالاتری داشته باشند. از طرف دیگر، کنترل ریز شبکه ها در حالت مجزا، به دلیل اینرسی پایین دارای پیچیدگی بیشتری است.

با توجه به چالش مهمی که در کنترل فرکانس ریز شبکه‌ها در حالت جزیره‌ای با آن مواجه هستیم به دلیل اینرسی کم و قیمت بالای ذخیره سازهای انرژی، انگیزه اصلی این تحقیق برنامه‌ریزی بهینه تجمیع‌گر برای خودروهای الکتریکی است. پتانسیلی که در خودروهای برقی جهت فراهم کردن سرویس‌های خدمات جانبی مثل تنظیم فرکانس با استفاده از ظرفیت ذخیره انرژی باتری آن‌ها موجود است می‌تواند، گزینه مناسبی جهت حل مشکل کنترل فرکانس در ریز شبکه‌ها در حالت جزیره‌ای باشند.

۱-۲- مرور ادبیات

تحقیقات موجود برای کنترل سرویس‌های رگولاسیون V2G[۱] به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: [۲]

۱-روش نوسانات فرکانس

۲-روش‌های تشویقی

در روش نوسانات فرکانس هدف اصلی کمینه کردن نوسانات فرکانس بلادرنگ [۳] و [۴] در شبکه بر اساس ویژگی‌های دروپ و اندازه‌گیری‌های فرکانس محلی است. روش‌های تشویقی، تجمیع گرها یا دارندگان EVها را به فراهم کردن سرویس‌های رگولاسیون به وسیله EVها تشویق می‌نمایند. تجمیع‌گر توان کوچک نسبی را از هر EV جمع می‌کند در نتیجه ناوگانی از EV ها می‌توانند یک سیستم ذخیره انرژی عظیم فراهم نمایند و [۵] یک سیاست شارژ را به گونه‌ای پیشنهاد کرده است که سودی که توسط هر EV بدست می‌آید را بیشینه می‌کند. در [۶] روش ارائه شده در[۵] گسترش داده شده است تا بتواند مشکلات دشارژ را توسط کنترل غیرمتمرکز حل نماید. با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های قیمت‌های بازار و سیگنال‌های رگولاسیون نویسندگان مقاله [۷] توانسته‌اند مسأله تصمیم مارکوف را فرموله کنند.در مراجع [۸] و [۹] مسأله کنترل شارژ و دشارژ بلادرنگ مطالعه شده است.

عیب روش‌های تشویقی در [۵] و [۷] - [۹] این است که ممکن است V2G در فراهم کردن توان برای رگولاسیون فرکانسی ناتوان

ملیحه دست‌پاک، آزمایشگاه تجدید ساختار، دانشکده‌ی مهندسی ، دانشگاه فردوسی مشهد maliheh. dastpak@gmail.com
سعیدسیدمهدوی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، saeed.seyyedmahdavi@gmail.com
محمدرضا برازش، آزمایشگاه تجدید ساختار، دانشکده‌ی مهندسی ، دانشگاه فردوسی مشهد barazeah.mr90@gmail.com
محمدحسین جاویدی دشت بیاض، دانشکده‌ی مهندسی ، دانشگاه فردوسی مشهد h-javidi@um.ac.ir

[۱] : Vehicle to grid

باشد درحالی‌که فراهم‌کنندگان سرویس یا همان تجمیع‌گرهای خودرو الکتریکی به جای بهینه کردن کیفیت سرویس‌های رگولاسیون که توسط شبکه دریافت می‌گردد، فقط به دنبال بیشینه کردن سود خود هستند. در [۲] یک روش کنترل هماهنگ برای هر EV ارائه شده است که این روش یک بهینه سراسری ایجاد می‌کند و همچنین کیفیت سرویس‌های رگولاسیون درآن لحاظ شده است. در [۱۰] و [۱۱] فقط کنترل شارژ EV ها در نظر گرفته شده است و پیش‌بینی تقاضاهایی غیر از EV ها برای مراحل برنامه‌ریزی در آن‌ها ضروری است. درحالی‌که در [۲] از EV ها زمانی برای فراهم کردن سرویس‌های رگولاسیون استفاده می‌کند که نیازهای شارژ هر EV برطرف شده است و ویژگی انرژی صفر برای سرویس‌های رگولاسیون در جهت به راه انداختن یک روش برنامه‌ریزی بلادرنگ که احتیاجی به پیش‌بینی مقدار تقاضا جهت رگولاسیون برخلاف مقالات ذکرشده ندارد بکار گرفته شده است .این روش در مقایسه با روش پیشنهادی در مقالات [۳] و [۴] که از روش نوسانات فرکانس استفاده کرده‌اند، مزایایی دارد. اول اینکه روش آخر فقط تلاش کرده است که نوسانات متوسط توسط کنترل محلی حذف شود درحالی‌که در [۲] مسأله بهینه‌سازی سراسری را فرموله کرده است که هدف در آن به دست آوردن برنامه شارژ و دشارژ بهینه برای EV ها در افق زمانی داده شده است و دوم اینکه برخلاف روش‌های تشویقی [۵] و [۶] - [۹] تابع هدف کنترلی پیشنهاد شده است که در جهت بهینه‌سازی کیفیت سرویس‌های رگولاسیون تلاش می‌کند و در آن سود فراهم‌کنندگان سرویس به طور صریح در نظر گرفته نشده است. در مراجع [۵]، [۶]- [۹]، مطمئن می‌شود که هر EV تا وضعیت شارژ(SOC[۲]) مطلوب خود می‌رسد.

در [۱۳] طرح‌هایی برای توزیع توان برای سرویس‌های رگولاسیون V2G در زمانی که این سرویس‌ها توسط تجمیع‌گر مدیریت می‌شوند، در نظر گرفته شده است. به جای آنکه صرفاً تلاش شود سود تجمیع گر بهینه گردد تمرکز بر روی توزیع توان بین EV ها است.

در [۱۴] نمونه جدید نظریه بازی‌ها برای درک بهتر ارتباطات بین EV ها و تجمیع‌گرها در بازار V2G ارائه شده است .

۱-۳- نوآوری‌های تحقیق

با توجه به چالشی که ریز شبکه‌ها در حالت جزیره‌ای برای کنترل فرکانس با آن مواجه می‌گردند و از سوی دیگر، پتانسیلی که در باتری‌های خودروی الکتریکی و در سیستم‌های V2G برای فراهم کردن خدمات جانبی از جمله رگولاسیون فرکانس وجود دارد، به دنبال دستیابی به ساختاری برای مدیریت بهینه برای تجمیع‌گر خودروهای الکتریکی هستیم. با مدیریت بهینه برنامه شارژ و دشارژ باتری‌های خودروی الکتریکی، خدمات متعادل‌سازی توان و تنظیم فرکانس را می‌توان فراهم آورد.

اگر در این برنامه‌ریزی فقط کیفیت سرویس ارائه‌شده در نظر گرفته شود برای دارندگان خودرو انگیزه کافی برای شرکت در سیستم V2G پدید نمی‌آید، بنابراین باید در این زمینه علاوه بر توجه کافی به بهینه‌سازی کیفیت سرویس‌های رگولاسیون، سود فراهم‌کنندگان سرویس نیز در نظر گرفته شود. در این مقاله برخلاف اکثر مقالات که تنها به کیفیت سرویس ارائه‌شده توجه نموده‌اند، علاوه بر کیفیت سرویس، به سود دارندگان خودرو نیز توجه ویژه گردیده است تا محرک اصلی برای شرکت در سیستم V2G وجود داشته باشد.

موضوع بعدی که مستلزم توجه کافی است اطمینان از رسیدن هر خودرو به سطح شارژ مطلوب در انتهای برنامه می‌باشد. در تعداد زیادی از مقالات به این مقوله مهم توجه نگردیده است و در تعداد محدودی از مقالات این موضوع به صورت ضریب جریمه در تابع هدف لحاظ شده است که سبب ارضا نگردیدن این قید به صورت مطلوب می‌گردد. در این مقاله این موضوع به صورت یک قید در بهینه‌سازی جهت برآورد شدن کامل لحاظ گردیده است.

در این مقاله در راستای واقعی‌تر شدن مسأله، محدودیت موجود در توان تحویلی به خودروهای الکتریکی توسط ریز شبکه‌ها در یک بازه زمانی مشخص به صورت قید در برنامه‌ریزی بهینه تجمیع‌گر خودروهای الکتریکی مد نظر قرار گرفته است. همچنین این برنامه برای مجموعه‌ای از خودروها طراحی شده است.

۱-۴- ساختار مقاله

در بخش دوم مقاله، خودروهای برقی و مزایای سیستم‌های V2Gبررسی می‌گردد. در بخش سوم تعریف مسأله برنامه‌ریزی بهینه تجمیع‌گر خودروهای الکتریکی با کمینه کردن هزینه‌های پرداختی انجام می‌گیرد. در فصل چهارم مطالعه موردی و نتایج شبیه‌سازی بررسی می‌گردد و نهایتاً، در فصل پنجم نتایج مقاله جمع بندی می‌گردد.

۲- خودروی برقی به عنوان راهکاری برای کنترل فرکانس

خودروی برقی به خودرویی گفته می‌شود که همه یا بخشی از

[۲] : State of charge

نیروی محرکه آن از انرژی برق تأمین می‌شود.

۲-۱- سیستم V2G

V2G به مفهوم استفاده از خودروهای الکتریکی متصل به شبکه می‌باشد که توان و انرژی مورد نیاز شبکه را تأمین می‌کنند. شبکه به باتری اتصال یافته روی خودروهای الکتریکی، به دید یک ذخیره‌ساز انرژی توزیع شده نگاه می‌کند. شارش توان در خودروهای برقی می‌تواند یک سویه باشد و سرویس‌های خدمات جانبی با تغییر سرعت شارژ فراهم می‌شوند.در هنگام دشارژ باتری خودروهای الکتریکی و برگرداندن انرژی به شبکه، شارش توان می‌تواند دو سویه باشد.

وقتی با افزایش استفاده از خودروهای برقی مواجه باشیم، V2G می‌تواند از طریق فراهم آوردن خدمات جانبی مثل رگولاسیون فرکانس، ذخیره‌های چرخان و حمایت از توان راکتیو سبب افزایش پایداری، قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری شبکه شوند. رگولاسیون فرکانس خدماتی است که برای جبران نوسانات اتفاقی توان در شبکه تعریف می‌شود. بسته به شروع به کار سریع باتری‌های ذخیره ساز،EV ها برای فراهم کردن سرویس‌های رگولاسیون مناسب هستند [۲].

۲-۲- مزایای سیستم V2G

قابلیت V2G خودروها به عنوان پشتیبان منابع انرژی تجدید پذیر مانند باد و خورشید استفاده می‌شود. سیستم‌های V2G مزایایی از جمله پشتیبانی توان راکتیو، تنظیم توان اکتیو، تعادل بار از طریق پر کردن دره‌ها، اصلاح بار پیک و فیلتر هارمونیک جریان برای اپراتور شبکه دارند. این سیستم‌ها می‌توانند خدمات جانبی از جمله کنترل فرکانس و رزرو چرخان ارائه دهند و باعث بهبود بازدهی شبکه، قابلیت اطمینان و پایداری شوند. [۱۴]

۳- تعریف مساله

در این مقاله سعی شده است که حضور EV ها برای بهینه سازی مصرف برق در جهت کنترل فرکانس به نحو مطلوبی مدیریت گردد.

در راستای ترغیب دارندگان خودرو به شرکت در سیستم V2G تلاش شده است تا هزینه‌های شارژ هر خودرو کمینه گردد. در نتیجه، تابع هدف اصلی ما کمینه سازی هزینه تجمیع‌گر است که متناظر با بیشینه سازی سود تجمیع‌گر نیز تعریف می‌شود. وقتی خودروی الکتریکی در برنامه تنظیم فرکانس شرکت می‌کند شبکه مبلغی تحت عنوان هزینه رگولاسیون به آن پرداخت می‌نماید و از سوی دیگر، هنگامی که خودرو شارژ می‌شود این خودرو است که مبلغی تحت عنوان هزینه شارژ به شبکه پرداخت می‌نماید. تابع هدف پیشنهادی به شرح ذیل است:

$$C = \sum_{k=1}^{10}\sum_{t=1}^{12}[U(t,k).(P_R(t)+P_C(t))] - \sum_{t=1}^{12}P_R(t) \quad (۱)$$

به طوری که:

$$X(t,k) = \sum_{m=1}^{t}[U(m,k).w] + I(k) \quad \forall t,k \quad (۲)$$

$$X(t_{end},k) \geq D \quad (۳)$$

$$X(t_{end},k) \leq F \quad (۴)$$

$$\sum_{k=1}^{10}U(t,k) \leq L \quad (۵)$$

t	مدت زمان اتصال خودرو به شبکه (h)
k	تعداد خودروها
$P_R(t)$	قیمت رگولاسیون واحد برای هر خودرو ($/MW)
$P_C(t)$	قیمت خرید هر واحد انرژی از شبکه ($/MWh)
C	هزینه تجمیع گر ($)
U(t,k)	تابع پله- که فقط می‌تواند در هربازه صفر و یا یک باشد
X	مقدار شارژ هر خودروی الکتریکی در هر بازه زمانی (SOC)
t_{end}	آخرین بازه زمانی
D	مقدار شارژ مطلوب برای هر خودروی الکتریکی- Desire SOC
L	قید محدودیت‌های شبکه- تعداد خودروهای مجاز برای شارژ
W	نرخ شارژ جهت هر خودرو در هر بازه زمانی
I(K)	مقدار شارژ اولیه هر خودروی الکتریکی
F	مقدار شارژ نهایی جهت هر خودروی الکتریکی

دررابطه *(1)* همانطور که ذکر گردید C تابع هزینه تجمیع‌گر می‌باشد که هدف کمینه سازی آن است. متغیر K تعداد خودروهای الکتریکی است و t بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشد که در این گونه مسأله‌ها معمولا برحسب ساعت فرض می‌گردد. $P_R(t)$ قیمت رگولاسیون در هربازه زمانی می‌باشد بدان معنی که در هربازه زمانی که خودرو آمادگی جهت کنترل فرکانس را دارد از طرف شبکه به تجمیع‌گر پرداختی به آن مقدار صورت می‌گردد. P_C هزینه شارژ هر خودرو در هربازه زمانی لحاظ شده است که توسط تجمیع‌گر به شبکه پرداخت می‌گردد. P_R و P_C داده‌های ورودی

مسأله هستند.

نکته ای که باید توجه گردد رابطه بین سود تجمیع‌گر و سود هر خودرو است چون سود تجمیع‌گر، پرداخت شبکه در قبال ارائه بیشترین ظرفیت توانی ممکن توسط خودروهای الکتریکی به شبکه برای تنظیم فرکانس می‌باشد. ظرفیت توانی ارائه شده توسط تجمیع‌گر در واقع مجموع توان‌های ارائه شده توسط خودروهای الکتریکی می‌باشد پس در نتیجه سود هر خودرو هم راستا با سود تجمیع‌گر می‌باشد و با کمینه کردن هزینه تجمیع‌گر در واقع هزینه هر خودرو کمینه می‌گردد.

فرض مقاله برآن است که هرخودرو در هر بازه زمانی یا شارژ می‌گردد و یا رگولاسیون انجام می‌دهد. تابع U همیشه مقادیر ثابت صفر و یا یک به خود می‌گیرد و یک تابع پله است.

دررابطه *(۲)* هرگاه خودروی الکتریکی شارژ گردد سرعت شارژ در آن ثابت و برابر W فرض گردیده است. رابطه *(۲)* یکی از قیود مسأله است که مقدار شارژ هر خودرو (SOC) را در هر بازه زمانی نشان می‌دهد. اگر خودرو در حال شارژ باشد پس تابع U آن مقدار یک به خود می‌گیرد و در سرعت W ضرب شده و با مقدار اولیه SOC جمع می‌گردد.

در رابطه *(۳)* یکی از قیود مسأله تعریف گردیده است که تمام خودروها در آخرین بازه زمانی خود باید به SOC مطلوب (D) که توسط مسأله تعریف شده است برسند تا نیاز و رضایت دارندگان خودرو برآورده شود و تمایل بیشتری جهت شرکت در برنامه V2G داشته باشند.

رابطه *(۴)* قید دیگری را بیان می‌کند که شارژ هر خودرو در آخرین بازه زمانی باید کوچکتر یا مساوی شارژ نهایی جهت هر خودرو باشد که در این رابطه شارژ نهایی جهت هر خودرو با F نمایش داده شده است.

در هر بازه زمانی مشخص به خاطر محدودیت‌های شبکه تعداد مشخصی خودرو می‌توانند شارژ شوند، این محدودیت به خاطر واقعی‌تر شدن مسأله در قیدهای برنامه لحاظ گردیده است.

رابطه *(۵)* نشان دهنده این قید در جهت محدودیت‌های شبکه می‌باشد.

در این مقاله محدودیت‌ها و فرضیات دیگری به شرح ذیل لحاظ شده است:

محدودیت‌های انرژی: بدلیل محدودیت باتری خودروهای الکتریکی شارش توان در سیستم V2G با محدودیت‌هایی مواجه می‌باشد که در طراحی بایستی لحاظ گردد. محدودیت‌های باتری خودرو الکتریکی شامل محدودیت‌های کابل رابط، مشخصات شیمیایی و رله مربوطه می‌باشد. مورد بعدی که سبب محدودیت باتری می‌گردد SOC می‌باشد که شارژ و دشارژ از بالا و پایین توسط SOC محدود می‌گردند.

رفتار دارندگان خودرو: خروج خودرو از سیستم V2G بدون اطلاع به تجمیع‌گر، یک داده کمی نمی‌باشد بنابراین قابل اندازه گیری و محاسبه نیست. حال آن‌که SOC و محدودیت‌های توان داده‌های کمی می‌باشند. دارندگان خودرو طبق قراردادی که با تجمیع‌گر دارند باید در ساعات مشخص شده به شبکه متصل باشند و از برنامه خارج نشوند تا از طرح‌های تشویقی مثل گارانتی مادام العمر باتری برخوردار گردند. اگر دارندگان خودروها به قرارداد خود پایبند نباشند و بدون اطلاع از سیستم V2G خارج شوند، تجمیع‌گر برای انجام تعهدات خود دچار مشکل می‌شود و ارائه کیفیت مطلوب جهت کنترل فرکانس دچار اختلال می‌گردد. با این وجود هنگامی که تعداد خودروها موجود در برنامه زیاد باشد (معمولاً صد تا هزار خودرو) نرخ خروج بدون اطلاع خودروها، عدد ثابت در نظر گرفته می‌شود و قابل پیش بینی است و نگرانی‌ها دربرنامه ریزی برطرف می‌گردد. در مطالعات این مقاله از ملزومات شبکه بالادستی به جز محدودیت جریان مصرفی، صرف نظر شده است.

یکی دیگر از فرضیات لحاظ شده آن است که SOC مطلوب همیشه بیشتر از SOC اولیه می‌باشد و SOC مطلوب به جای بازه به صورت نقطه‌ای لحاظ شده است.

۴- مطالعه موردی

۴-۱- اطلاعات ورودی

اطلاعات ورودی قیمت انرژی برای هرساعت شارژ خودرو و قیمت رگولاسیون از بازار PJM مطابق با شکل ۱ برداشت شده است.

برنامه ریزی جهت ۱۰ خودرو و برای ۱۲ ساعت انجام گردیده است و همچنین قید محدودیت توان شبکه سبب شد که تعداد خودروهای متصل به شبکه در یک بازه زمانی حداکثر ۵ خودرو (L) در نظر گرفته شود.

مقدار SOC مطلوب (D) ۰/۸ و مقدار SOC اولیه (I) برای خودروهای الکتریکی طبق شکل ۲ فرض شده است. مقدار SOC نهایی برای هر خودرو که با F نمایش داده شده است مقدار ثابت یک می‌باشد. برای U(t) یک متغیر باینری و برای X(t) که معرف SOC هاست یک متغیر مثبت فرض شده است.

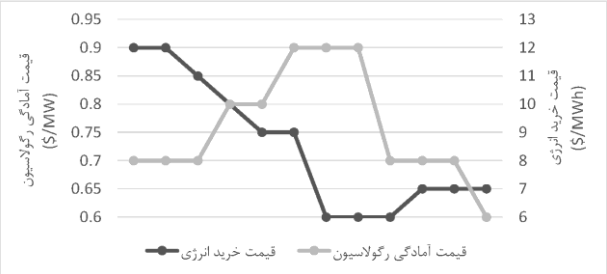
درصد شارژ (W) در هر ساعت برای هر خودرو ۰/۱ فرض شده است.

این مسأله که یک مسأله MILP می باشد توسط نرم افزار GAMS شبیه‌سازی شده است و توسط CPLEX 12.5 حل گردیده است.

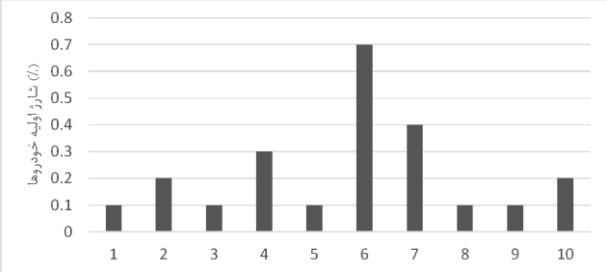
۴-۲- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش، نتایج شبیه‌سازی برای حالتی که قید محدودیت انرژی تجمیع‌گر منظور نشده باشد، با حالت اصلی که این قید در آن لحاظ گردیده مقایسه شده است. شکل ۳ نشان دهنده تعداد خودروهای در حال شارژ در هر بازه زمانی بدون منظور نمودن قید محدودیت انرژی است. همانطور که مشاهده می‌شود، به دلیل پایین بودن قیمت انرژی در ساعات پایانی، الگوریتم به درستی شارژ تمام خودروها را به این ساعات موکول کرده است که نتیجه آن تراکم زیاد خودروها و بیشتر شدن خودروهای درحال شارژ از محدودیت پنج خودرو است، اما هنگامی که قید محدودیت انرژی در مساله در نظر گرفته شود، الگوریتم مجبور به شارژ خودروها در ساعات اولیه بازه نیز خواهد بود که به افزایش هزینه های تجمیع‌گر منجر خواهد شد. شکل ۴ تعداد خودروهای درحال شارژ در هر بازه را در این حالت نشان می‌دهد.

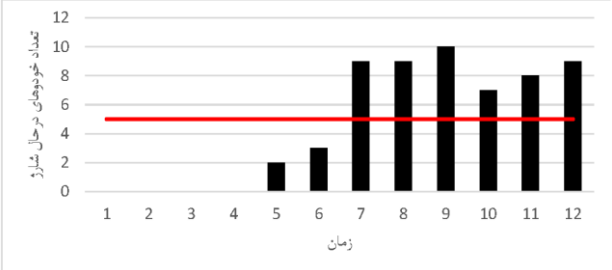
در جدول هزینه‌ها و درآمدهای تجمیع‌گر در حالت با و بدون قید محدودیت انرژی مقایسه شده است. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در نظر گرفتن قید محدودیت انرژی سبب افزایش هزینه‌های کلی تجمیع‌گر خواهد شد که این افزایش هزینه به دو



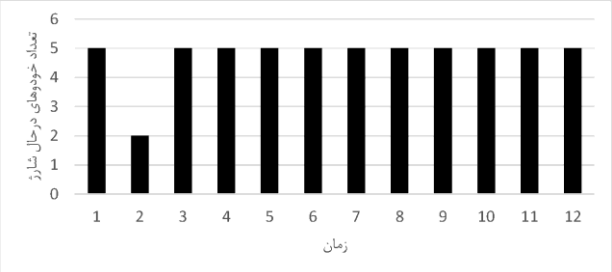
شکل ۱- قیمت خریداری‌شده توان از شبکه در قبال شارژ خودرو و قیمت رگولاسیون پرداختی توسط شبکه به تجمیع گر



شکل ۲- شارژ اولیه فرض شده برای خودروهای الکتریکی



شکل ۳- تعداد خودروهای در حال شارژ در هر بازه زمانی بدون در نظر گرفتن قید محدودیت انرژی



شکل ۴- تعداد خودروهای در حال شارژ در هر بازه زمانی با درنظرگرفتن قید محدودیت انرژی

جدول ۱- مقایسه هزینه‌های تجمیع گر در حالت‌های با و بدون قید محدودیت انرژی

	با قید	بدون قید
هزینه شارژ	۴۷۴	۳۸۱
درآمد رگولاسیون	۵۱,۲	۵۵,۵
هزینه کل (تابع هدف)	۴۲۲,۸	۳۲۵,۵

دلیل افزایش هزینه شارژ خودرو و کاهش درآمد ارائه رگولاسیون اتفاق می‌افتد. علت اصلی افزایش هزینه شارژ این است که تجمیع-گر مجبور به شارژ خودرو در ساعات گران شده است. از سوی دیگر

به دلیل آماده بودن خودروها در ساعت‌های ارزان‌تر رگولاسیون درآمدهای این بخش نیزکاهش یافته است.

۵- نتیجه گیری

کنترل فرکانس در ریز شبکه‌ها در حالت جزیره‌ای به دلیل اینرسی کم آن‌ها چالشی بزرگ است. از سوی دیگر، استفاده از خودروهای الکتریکی علاوه بر کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی، پتانسیل فراهم کردن خدمات جانبی از جمله تنظیم فرکانس را دارا می‌باشند. هدف این مقاله، ارائه برنامه‌ای بهینه برای عملکرد تجمیع‌گر خودروی الکتریکی در ریز شبکه‌ها است که در آن ضمن تأمین شارژ به موقع خودروها در خدمات تنظیم فرکانس نیز با کمترین هزینه مشارکت نمایند. در این برنامه رضایت دارندگان خودرو با معرفی قیدی برای رسیدن خودروها به سطح شارژ مطلوب در نظر گرفته شده است. همچنین محدودیت‌های فیزیکی مصرف انرژی تجمیع‌گر به منظور واقعی‌تر شدن مدل لحاظ گردیده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که وجود محدودیت مصرف انرژی به دلیل افزایش هزینه‌های شارژ و کاهش درآمد رگولاسیون موجب افزایش هزینه‌های کلی تجمیع‌گر خواهد شد.

۶- مراجع

[1] I. C. Marinescu, and C. P. Ion, “Optimum Control for an Autonomous Micro Hydro Power Plant with Induction Generator,” Power tech, pp. 1–6, 2009.

[2] J. Lin, K.-C. Leung, and V. O. K. Li, “Optimal Scheduling With Vehicle-to-Grid Regulation Service,” IEEE Internet Things Journal, vol. 1, no. 6, pp. 556–569, 2014.

[3] 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, no. 1, pp. 559–564, 2012.

[4] H. Yang, C. Y. Chung, and J. Zhao, “Application of Plug-In Electric Vehicles to Frequency Regulation Based on Distributed Signal Acquisition Via Limited Communication,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 2, pp. 1017–1026, 2013.

[5] S. Han, and K. Sezaki, “Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, no. 1, pp. 65–72, 2010.

[6] S. Han and K. Sezaki, “Optimal control of the plug-in electric vehicles for V2G frequency regulation using quadratic programming,” Innov. Smart Grid Technol. pp. 1–6, 2011.

[7] J. Donadee and M. D. Ilić, “Stochastic Optimization of Grid to Vehicle Frequency Regulation Capacity Bids,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 2, pp. 1061–1069, 2014.

[8] W. Shi and V. W. S. Wong, “Real-Time Vehicle-to-Grid Control Algorithm under Price Uncertainty,” IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun, pp. 261–266, 2011.

[9] R. Wang, Y. Li, P. Wang, and D. Niyato, “Design of a V2G aggregator to optimize PHEV charging and frequency regulation control,” 2013 IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun., pp. 127–132, 2013.

[10] L. Gan, U. Topcu, and S. Low, “Optimal Decentralized Protocol for Electric Vehicle Charging,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 2, pp. 940–951, 2013.

[11] E. Sortomme, M. M. Hindi, S. D. J. MacPherson, and S. S. Venkata, “Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 2, no. 1, pp. 186–193, 2011.

[12] J. J. Escudero-Garzas, A. Garcia-Armada, and G. Seco-Granados, “Fair design of plug-in electric vehicles aggregator for V2G regulation,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 61, no. 8, pp. 3406–3419, 2012.

[13] C. Wu, H. Mohsenian-Rad, and J. Huang, “Vehicle-to-aggregator interaction game,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 434–442, 2012.

[14] M. Yilmaz and P. T. Krein, “Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 12, pp. 5673–5689, 2013.