

بررسی تحلیلی و آماری اثر حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر رفتار تصادفی LMP با کمک تجزیه ساختاری قیمت برق

نوع مطالعه: پژوهشی

محمد ابراهیم حاجی آبادی^۱، دانشیار، حدیثه قنبری^۲، کارشناسی ارشد، مهدی صمدی^۳، دانشیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه حکیم سبزواری - خراسان رضوی - ایران - me.hajiabadi@hsu.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه حکیم سبزواری - خراسان رضوی - ایران - hadise.ghanbari13@gmail.com

۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه حکیم سبزواری - خراسان رضوی - ایران - ma.samadi@hsu.ac.ir

چکیده: هدف اصلی از این مقاله بررسی تحلیلی اثر جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر رفتار آماری قیمت حاشیه‌ای برق (LMP) باس‌ها، با در نظر گرفتن تراکم خط انتقال، می‌باشد. برای رسیدن به این هدف ابتدا در گام اول با استفاده از توسعه تجزیه ساختاری LMP به ۶ قسمت مطابق لم ۱، حساسیت LMP هر باس نسبت به توان تولیدی جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر روی باس‌های مختلف به صورت تحلیلی ارزیابی شده است. با کمک ضرایب تجزیه ساختاری LMP می‌توان باس‌های حساس به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی را بر مبنای میزان تاثیرگذاری بر رفتار تصادفی قیمت برق، رتبه‌بندی نمود. باید توجه نمود که این رتبه‌بندی با ظرفیت جمع‌کننده‌های خودروهای الکتریکی الزاماً برابر نیست. در گام دوم، جهت تایید نتایج تحلیلی، رفتار تصادفی توان تولیدی جمع‌کننده‌های خودروهای الکتریکی در هر باس بر روی شبکه آزمون ۲۴ باسه IEEE شبیه‌سازی شده و انحراف از معیار LMP در تمام باس‌ها ناشی از رفتار تصادفی جمع‌کننده محاسبه شده است. تطابق مقادیر انحراف از معیار با ضرایب تجزیه ساختاری، بیانگر دقت تجزیه ساختاری LMP در پیش‌بینی اثر حضور جمع‌کننده‌های خودروهای الکتریکی بر رفتار تصادفی قیمت برق می‌باشد.

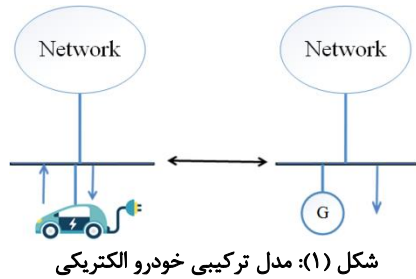
واژه‌های کلیدی: جمع‌کننده خودروهای الکتریکی، تجزیه ساختاری قیمت برق، ضریب حساسیت قیمت برق

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۰۸

نام نویسنده‌ی مسئول: محمد ابراهیم حاجی آبادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران- سبزوار- دانشگاه حکیم سبزواری- گروه برق



۱-۲- هدف، روش، نوآوری

رفتار جمع‌کننده‌های خودرو برقی همراه با عدم قطعیت می‌باشد. با اینحال، مطابق بخش مرور بر سابقه موضوع، تاکنون مطالعه‌ای جامع جهت مدل‌سازی تحلیلی اثر عدم قطعیت حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در رفتار آماری قیمت نقطه‌ای در یک بازار برق مقید به قیود شبکه انتقال صورت نگرفته است. این مقاله با استفاده از توسعه تجزیه ساختاری بازار برق به تحلیل و ارزیابی رفتار آماری قیمت برق نسبت به حضور جمع‌کننده پرداخته است. هدف از این مقاله بررسی تحلیلی اثر حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در شبکه بر رفتار آماری قیمت برق گره‌ای (LMP) می‌باشد. بدین منظور لازم است که با استفاده از توسعه تجزیه ساختاری بازار برق ضریب حساسیت قیمت برق هر باس نسبت به حضور جمع‌کننده بر روی باس‌های مختلف را محاسبه نمود. بنابراین در ادامه و برای رسیدن به این هدف در گام اول ضمن توسعه تجزیه ساختاری بازار برق که در مراجع [۲۱] [۲۲] مطرح شده، قیمت برق گره‌ای LMP را با حضور جمع‌کننده به‌عنوان بازیگر جدید بازار بیان کرده و به محاسبه ضرایب حساسیت قیمت برق هر باس به تغییرات مثبت و منفی بار ناشی از بکارگیری جمع‌کننده بر روی باس‌های مختلف و تحلیل آن پرداخته شده است. در گام دوم مطالعه موردی بر روی شبکه تست ۲۴ باسه IEEE اصلاح شده (MRTS) انجام شده است. پس از بررسی و مقایسه نتایج در شبیه‌سازی ابتدا به رتبه‌بندی باس‌ها جهت بکارگیری جمع‌کننده خودروهای الکتریکی پرداخته شده و سپس با قرارگیری جمع‌کننده بر روی آن‌ها، مطالعات آماری قیمت برق و نیز محاسبه شاخص‌های آماری، از جمله انحراف از معیار صورت گرفته است. دیده شده است که حساسیت قیمت برق باس‌ها نسبت به حضور جمع‌کننده، تطابق مشهودی با تغییر انحراف از معیار قیمت برق ناشی از حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی دارا می‌باشد. همچنین مشخص گردید که اگر در یک باس، حجم کمی از خودروهای الکتریکی حضور داشته باشند ولی ضریب حساسیت قیمت برق مربوط به تغییر بار آن باس بزرگ باشد، می‌تواند رفتار آماری LMP را

فهرست نمادها

L, l, l_{cong}	تعداد خطوط انتقال، شاخص خط، تعداد خطوط مترکم
N, n	تعداد باس‌ها، شاخص باس
G, g	تعداد واحدهای تولیدی، شاخص واحدهای تولیدی
P_n, P_N	بار باس n ام، بردار بار $(p.u)$
a_g, b_g	بردار استراتژی قیمت واحدها $(\$/MWh)$ ، بردار شیب واحدها $(\$/MW2h)$
$P_g, P_g^{min}, P_g^{max}$	بردار تولید واحدهای حدی، حد پایین تمام واحدهای تولیدی، حد بالای تمام واحدها $(p.u)$
$\lambda, \mu_g^{max}, \mu_g^{min}$	ضریب لاگرانژ قیود تساوی، حداکثر و حداقل محدوده تولید واحد g ام
$\Gamma_l^{min}, \Gamma_l^{max}$	ضریب لاگرانژ قیود بالا و پایین فلو خط انتقال l ام
K_{min}, K_{max}	تعداد واحدهایی که به حداقل و حداکثر تولیدشان محدودند در نقطه تعادل بازار
$a_{l,n}, a_{l,g}$	ضریب حساسیت تغییر تولید، ضریب حساسیت تغییر تولید هر واحد
$\gamma_{l,i}$	ضریب توزیع فلو خط l به علت تولید واحد i
$\alpha_l, \bar{\alpha}_l$	محدودیت‌های پایین و بالا، که از حداکثر فلو خط l به دست آمده اند $[MW]$
f_l, f_l^{ma}	توان انتقالی خط l ام و حداکثر توان انتقالی آن خط
P_m	توان یک جمع‌کننده خودروهای الکتریکی روی باس m ام $[MW]$

۱- مقدمه

۱-۱- انگیزه تحقیق

با تجدید ساختار اقتصادی در صنعت برق، قیمت برق نقش کلیدی در مطالعات بازار برق به عهده دارد و می‌توان ادعا نمود که قیمت برق مهم‌ترین کمیت بازار برای تمام بازیگران بازار است [۱]. تحلیل آماری رفتار قیمت برق و بررسی توزیع احتمال آن در شرایط مختلف بار و شبکه می‌تواند به‌خوبی روشنگر نحوه عملکرد بازار برق و بیانگر چگونگی تمایلات و رفتار بازار در شرایط مختلف بهره‌برداری از سیستم باشد [۲]. یکی از عوامل اساسی در ایجاد رفتار تصادفی قیمت برق حضور خودروهای الکتریکی (EV) در شبکه می‌باشد. این خودروها می‌توانند در هنگام شارژ به صورت مصرف‌کننده توان الکتریکی (بار) و هنگام دشارژ به‌عنوان تولیدکننده توان الکتریکی (مولد) برای شبکه‌ی قدرت محسوب شوند. هر خودرو الکتریکی مطابق شکل (۱) به صورت ترکیبی از بار و تولید روی باس‌های شبکه مدل‌سازی می‌شود [۳]. با توجه به نفوذ رو به رشد و روز افزون خودروهای برقی در شبکه مطالعه اثر حضور آنها بر قیمت برق امری اجتناب ناپذیر می‌باشد.

به شدت تحت تاثیر قرار دهد. نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادات مقاله بیان شده است.

۳-۱- ساختار مقاله

در ادامه در بخش دوم به مطالعه جامع سابقه موضوع پرداخته می‌شود، بخش سوم شامل تجزیه ساختاری قیمت برق می‌باشد. در بخش چهارم ضرایب حساسیت بصورت تحلیلی محاسبه شده است. نتایج شبیه سازی بروی سیستم مورد مطالعه در بخش پنجم آمده است. در انتها مقاله در بخش ششم جمع بندی و نتیجه گیری شده است.

۲- سابقه موضوع

۲-۱- جمع‌کننده خودرو برقی

خودروهای الکتریکی به عنوان منابع ذخیره انرژی (ES)، ضمن جبران مقداری از بار پیک می‌توانند فواید مالی و اقتصادی را نیز برای صاحبان خود به ارمغان آورند. این خودروها با ذخیره انرژی در ساعات کم باری و تحویل آن به شبکه در ساعات اوج بار می‌توانند به کاهش اوج بار و متعاقباً قیمت برق کمک کنند [۴]. مسلماً مجموعه‌ای از خودروهای الکتریکی با درصد نفوذ بالا در شبکه می‌تواند به عنوان یک عامل کلیدی رفتار بازار و نتیجتاً رفتار آماری قیمت برق را تحت تاثیر قرار دهد.

از آنجا که ظرفیت نامی باتری‌های خودروهای الکتریکی معمولاً از ۱ کیلووات تا ۲۰ کیلووات است [۵] [۶] [۷]، لذا جهت شرکت آن‌ها در بازار برق نیاز به بازیگری جدید به نام جمع‌کننده می‌باشد. جمع‌کننده‌ها نیز می‌توانند از طرف تعداد زیادی از صاحبان خودروهای الکتریکی در برنامه‌های پاسخ تقاضا [۸] [۹]، ارائه خدمات تنظیم [۱۰] [۱۱]، و به عنوان منابع black-start [۱۲] عمل کنند. مراجع [۱۳] [۴] [۱۴] [۱۵] جمع‌کننده را رابط بین خودروهای الکتریکی و اپراتور سیستم (SO) برق معرفی می‌کنند که مسئول مدیریت و تامین آن‌ها است. جمع‌کننده قادر به تبادل (فروش یا خرید) توان با شبکه با توجه به قیمت‌های بازار انرژی می‌باشد و می‌تواند یک مشارکت بهینه در بازار برق داشته باشد [۱۶] [۱۷]. در [۱۸] جمع‌کننده را خرده‌فروش انرژی معرفی کرده که می‌تواند قراردادهای خاصی با مشتریان توان مسکونی که نمی‌توانند یا نمی‌خواهند مستقیماً در بازار انرژی شرکت کنند، داشته باشد. علاوه بر این در مرجع دیگر به منظور مدیریت تعامل بین خودروهای الکتریکی و شبکه، جمع‌کننده به عنوان یک واسطه عمل نموده و برنامه‌های فرآیند شارژ و دشارژ را کنترل می‌کند [۱۹]. در [۲۰] نیز بیان شده است که جمع‌کننده‌ها به منظور تامین توان مورد نیاز مشتریان خود به عنوان یک بازیگر جدید در بازار روز بعد^۵ رقابت می‌کنند.

۲-۲- تجزیه ساختاری بازار برق

تجزیه ساختاری قیمت برق و همچنین تجزیه ساختاری تولید در مراجع مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله مراجع [۲۱] [۲] به ارائه مدل تحلیلی قیمت برق جهت تعیین ارتباط بین راهبرد قیمت‌دهی واحدهای تولیدی با قیمت برق در هر باس پرداخته‌اند، که در آن قیمت برق در هر باس به صورت ساختاری به سه قسمت تجزیه شده است. در مقاله دیگر جهت محاسبه شاخص قدرت بازار مبتنی بر سود از رویکرد تحلیلی بر مبنای تجزیه ساختاری بازار برق بهره برده است [۲۲]. مرجع [۲۳] با استفاده از تجزیه ساختاری تولید و با توجه به تراکم شبکه، حساسیت توان عبوری هر خط به هر باس بار را تحلیل نموده و یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی هزینه‌های تحلیلی برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا (DSM) با توجه به تلفات انرژی ارائه کرده است. علاوه بر این در [۲۴] جهت بررسی تحلیلی تلفات در سطوح بار مختلف، مولفه‌های ساختاری موثر بر تولید واحدها را با کمک تجزیه ساختاری به دست آورده و سپس به صورت تحلیلی حساسیت تولید هر واحد بر تغییر بار هر باس را بررسی نموده است.

۲-۳- اثر جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر قیمت برق

استراتژی پیشنهاد قیمت جمع‌کننده در بازار برق در [۲۵] بصورت یک مسأله دوسطحی مدل سازی شده که در سطح بالا کمینه کردن هزینه‌های جمع‌کننده و در سطح پایین روند تسویه بازار اجرا می‌شود. طبق نتایج، حتی در درصد نفوذ کم، جمع‌کننده می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر قیمت‌ها داشته باشد [۲۵]. در مرجع [۲۶] خودروهای الکتریکی بصورت خود برنامه‌ریزی شده در بازار تنظیم مقررات مدل سازی شده و تاثیر آن‌ها در تسویه قیمت‌های بازار رزرو و انرژی محاسبه شده است. یک مدل جدید برای جمع‌کننده در بازار برق انحصاری (oligopoly) در [۲۷] ارائه گردیده است. در این مدل فرض شده است که تمام اطلاعات رقبای بازار (به عنوان مثال تابع هزینه واحدهای تولیدی) برای جمع‌کننده موجود نیست. در مطالعه انجام شده مرجع [۲۸]، درآمد حاصل از هر خودرو الکتریکی برای تنظیم قیمت مقررات با استفاده از اطلاعات بازار ارزیابی شده است، اما تاثیر خودروهای الکتریکی بر این قیمت‌ها بررسی نشده است.

مراجع [۲۹] [۳۰] مسأله استراتژی پیشنهاد قیمت یک جمع‌کننده را که در بازار انرژی روز بعد شرکت می‌کند و با عدم قطعیت‌های قیمت بازار و رفتار تصادفی خودروهای الکتریکی مواجه است را با استفاده از سناریوهای مختلف تحلیل و مدل سازی کرده است. در این دو مرجع نیز فرض شده است که جمع‌کننده نمی‌تواند قیمت‌های بازار را تحت تاثیر قرار دهد. در واقع در [۳۰] مطرح گردیده که اگر تعداد خودروهای الکتریکی جمع‌کننده به اندازه کافی زیاد باشد، می‌تواند قیمت‌های بازار را تغییر دهد. در چنین مواردی، لازم است که تسویه بازار به صورت یک مسأله بهینه‌سازی ریاضی با محدودیت‌های تعادلی

مجاز است، یعنی تنها می‌تواند انرژی را خریداری کند و نمی‌تواند انرژی بیش از حد را به بازار انرژی عمده‌فروشی به فروش برساند. بنابراین پیشنهاد قیمت جمع‌کننده بر قیمت تسویه بازار روز بعد و زمان واقعی تاثیر نمی‌گذارد. در مراجع [۴۰] [۴۱] فرض شده است که جمع‌کننده‌ها به‌عنوان قیمت‌پذیر هستند و نمی‌توانند قیمت بازار روز بعد را تغییر دهند. در واقع طبق نتایج، اگر جمع‌کننده‌ها به‌عنوان قیمت‌گذار در نظر گرفته شوند [۴۲]، قیمت بازار روز بعد به تعداد خودروهای الکتریکی تحت کنترل بستگی دارد.

بنابراین در تمام مراجعی که مورد بررسی قرار گرفته، هیچگونه مطالعه تحلیلی و آماری نسبت به حضور جمع‌کننده در شبکه و بازار برق بر روی رفتار آماری قیمت برق صورت نگرفته است.

۳- تجزیه ساختاری بازار برق و محاسبه ضریب حساسیت LMP نسبت به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی

از آنجا که بکارگیری جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در شبکه منجر به تغییرات مثبت و منفی بار باس‌ها می‌گردد (مثبت برای دشارژ و منفی در حالت شارژ)، لذا مدل پیشنهادی این مقاله جهت بررسی تحلیلی اثر حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در شبکه بر رفتار آماری LMP، توسعه تجزیه ساختاری بازار برق و محاسبه ضریب حساسیت قیمت برق هر باس نسبت به حضور جمع‌کننده بر روی باس‌های مختلف می‌باشد. تجزیه ساختاری بازار برق اولین بار در مرجع [۲۱] مطرح شده است. در این مقاله با توسعه تجزیه ساختاری LMP به ۶ قسمت، حساسیت LMP به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی به صورت تحلیلی ارزیابی می‌شود. مسأله بازار تحت پخش بار DC به صورت مسأله حداقل نمودن هزینه کل تامین برق با در نظر گرفتن قیود بهره‌برداری شبکه مطابق رابطه (۱۳) می‌باشد [۲۱].

$$\min_{P_i} \sum_{i=1}^G (a_i \times P_i + \frac{b_i}{2} \times P_i^2) \quad (13)$$

$$st : \sum_{i=1}^G P_i + \sum_{m=1}^N P_m = P_d \quad (\lambda)$$

$$\alpha_l \leq \sum_{i=1}^G \gamma_{li} P_i \leq \bar{\alpha}_l, (\Gamma_l^{\min}, \Gamma_l^{\max}), l = 1, \dots, L$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, (\mu_i^{\min}, \mu_i^{\max}), i = 1, \dots, G$$

در این مطالعه فرض شده است که جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در باس m قیمت خود را بگونه‌ای ارائه می‌نماید که حتماً تمام ظرفیت ارائه شده توسط جمع‌کننده خودروهای الکتریکی (P_m) در شبکه تولید می‌شود. تفاوت جمع‌کننده خودروهای الکتریکی با نیروگاه و بار این است که اولاً جمع‌کننده خودروهای الکتریکی می‌تواند به صورت تولید و یا بار در بازار مشارکت نماید، لذا P_m می‌تواند مثبت (تولید) و یا منفی (بار) باشد. در صورت مثبت بودن (تولید) قیمت ارائه شده به بازار بگونه‌ای است که حتماً در بازار برنده می‌شود. دوماً توان ارائه شده توسط جمع‌کننده خودروهای الکتریکی به‌عنوان بار و یا تولید مقداری

(MPEC) ارائه شده مطابق مرجع [۳۱] در نظر گرفته شود. تاثیر عدم قطعیت قیمت بازار برق و بازار رزرو و همچنین رفتار تصادفی خودروهای الکتریکی برای جمع‌کننده از طریق یک ساختار برنامه‌ریزی تصادفی با هدف حداکثر سود خودروهای الکتریکی و بر اساس تکنیک ARIMA^۱ و SARIMA^۲ جهت تولید سناریوهای مختلف قیمت برق در مرجع [۳۲] بررسی شده است. همچنین در مرجع [۱۳] علاوه بر عدم قطعیت‌های بیان شده در مرجع [۳۲]، عدم قطعیت‌های مربوط به ریسک نیز در نظر گرفته شده و از طریق محدودیت‌های ریسک نزولی (DRC)؛ به بهینه‌سازی سود جمع‌کننده در بازار برق پرداخته است. در واقع درآمد جمع‌کننده از فروش انرژی به صاحب‌های خودروهای الکتریکی و شرکت در بازارهای برق می‌باشد، بنابراین لازم است که یک برنامه بهینه برای به حداکثر رساندن سود کل جمع‌کننده مورد بررسی قرار گیرد [۱۶]. از طرفی در مراجع [۳۳] [۳۴]، مشارکت بهینه یک جمع‌کننده در بازار برق با قیمت‌های نامشخص با روش بهینه‌سازی قوی^۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

برای پیش‌بینی قیمت بازار و ایجاد استراتژی پیشنهاد قیمت موثر جمع‌کننده در بازار برق زمان واقعی^۲ که دارای عدم قطعیت‌هایی از جمله قیمت بازار، تعداد خودروها، زمان‌های اتصال (plug-in) و عدم اتصال (plug-out) و SOC^۳ باتری‌ها می‌باشد، در [۳۵] مدلی بر پایه سناریوهای مختلف پیشنهاد شده است. در مرجع [۳۶] نیز یک مدل دو مرحله‌ای مبتنی بر سناریو برای به دست آوردن استراتژی قیمت‌دهی بهینه یک جمع‌کننده خودروهای الکتریکی شرکت‌کننده در بازارهای آینده و بازار حوضچه توان که با عدم قطعیت‌های قیمت بازار و رفتار خودروهای الکتریکی مواجه است را پیشنهاد کرده است. در مرجع دیگر بهینه‌سازی تصمیمات ریسک‌پذیر روز بعد جمع‌کننده را که در معرض عدم قطعیت‌های گفته شده قرار دارد، با هدف حداکثرسازی سود بیان کرده است [۳۷]. همچنین مسأله پیشنهاد قیمت جمع‌کننده در بازار رقابتی با وجود منابع عدم قطعیت متفاوت از جمله قیمت بازار، تقاضای شارژ / دشارژ خودروها و قیمت‌های ارائه شده توسط رقبا، به صورت یک مسأله دو سطحی در مراجع [۳۸] [۱۷] بررسی شده است. در این مراجع برای مقابله با عدم قطعیت‌های ذکر شده، مسأله ریسک‌پذیری جمع‌کننده را با استفاده از روش شرطی در معرض ریسک^۴ (CVaR) با هدف به حداکثر رساندن سود خودروهای الکتریکی در مدل پیشنهاد شده مورد توجه قرار داده است. در [۳۶] بیان شده است که با افزایش سهم خودروهای الکتریکی در روند دشارژ، نیاز به انرژی کمتر برای خرید از بازار سلف (forward) است. از طرفی اگر تعداد خودروها افزایش یابد، جمع‌کننده باید انرژی بیشتری از بازار forward و بازار حوضچه توان برای تامین تقاضای خودروها خریداری کند و نتیجتاً مشارکت بیشتری در بازار خواهد داشت، زیرا که انرژی به دست آمده از دشارژ ممکن است برای تامین نیازهای خودروهای الکتریکی به اندازه کافی نباشد. در [۳۹] فرض شده است که تنها پیشنهادهای یک طرفه برای جمع‌کننده در بازار برق

$$\begin{aligned} C_4 &= \frac{\text{ones}(l, N)}{C_l} \\ C_3 &= \frac{-\text{ones}(l, K_{\max})}{C_l} \\ B_1 &= \frac{-\text{ones}(l, K_{\min})}{C_l} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} A &= [A_g] = \left[\frac{1}{C_l \times b_g} \right] \quad g \in \{\text{marginal units}\} \\ B_n &= [B_{n,l}] = \left(-a_{l,n} + \sum_{g=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} \frac{a_{l,g}}{b_g C_l} \right) \quad l \in \{\text{congested lines}\} \end{aligned}$$

با جایگذاری رابطه (۱۵) در (۱۷) داریم:

$$\begin{aligned} LMP_n &= A_{l,n} \times f_l^{\max} + A'_{g,n} \times a + A''_{g,n} \times P^{\max} + \\ &\quad A'''_{g,n} \times P^{\min} + A_{n,n} \times P_n + A_{m,n} \times P_m \\ LMP_n &= \sum_{l=1}^{L_{\text{cong}}} A_{l,n} \times f_l^{\max} + \sum_{g=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} A'_{g,n} \times a - \sum_{g=G-K_{\max}+1}^G A''_{g,n} \times P^{\max} - \\ &\quad \sum_{g=1}^{K_{\min}} A'''_{g,n} \times P^{\min} + \sum_{n=1}^N A_{n,n} \times P_n + \sum_{m=1}^{N_{\text{bus}}} A_{m,n} \times P_m \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{cases} A_{l,n} = B_n \times \beta^{-1} \\ A'_{g,n} = A - B_n \times \beta^{-1} \times a \\ A''_{g,n} = B_n \times \beta^{-1} \times A_1 + C_3 \\ A'''_{g,n} = B_n \times \beta^{-1} \times B + B_1 \\ A_{n,n} = C_4 + B_n \times C_2 \times \beta^{-1} \\ A_{m,n} = B_n \beta^{-1} F \end{cases}$$

بنابراین لم ۱ اثبات می‌گردد.

قسمت اول رابطه (۱۴) جمع وزن دار خطوط متراکم می‌باشد. قسمت دوم رابطه جمع وزن دار راهبرد قیمت‌دهی واحدهای حدی است. قسمت سوم و چهارم رابطه، به ترتیب جمع وزن دار تولید واحدهایی است که با حد بالا و پایین خود مواجه شده‌اند. قسمت پنجم رابطه، جمع وزن دار بار باس‌ها می‌باشد. اما قسمت ششم جمع وزن دار توان جمع‌کننده‌های خودروهای الکتریکی است و بیانگر این است که جمع‌کننده m ام روی باس m ، می‌تواند بر روی LMP باس n ام تاثیر بگذارد.

۴- ارزیابی حساسیت قیمت باس m ام به جمع‌کننده خودرو الکتریکی در باس m ام

جمع‌کننده خودروهای الکتریکی با ضریب حساسیت $A_{m,n}$ بر روی LMP اثرگذار است. P_m یک متغیر تصادفی بوده و بیانگر توان تولیدی (با مقدار مثبت) یا مصرفی (با مقدار منفی) جمع‌کننده m ام می‌باشد. ضرایب وزن دار رابطه (۱۹)، حساسیت قیمت برق به فلوهای خطوط متراکم، راهبرد قیمت‌دهی، ظرفیت توان واحدهای تولیدی مختلف و بار و توان جمع‌کننده خودوهای الکتریکی را نشان می‌دهد. حال آنچه که در رابطه (۱۹) مد نظر ما می‌باشد، این است که $A_{m,n} \times P_m$ از جنس (MW) می‌باشد و سهم جمع‌کننده m ام روی باس m ام در قیمت برق باس n ام را نشان می‌دهد. بزرگ بودن مقدار $A_{m,n} \times P_m$

تصادفی است و این بدلیل ماهیت رفتاری جمع‌کننده خودروهای الکتریکی است.

در رابطه (۱۳) قید خطوط انتقال به صورت جمع وزن دار تولید بیان شده است [۲۱]. از حل این مسأله، قیمت برق در هر باس، میزان تولید واحدها و میزان توان انتقالی خطوط محاسبه می‌شود. از روش لاگرانژ جهت حل مسأله (۱۳) استفاده شده است.

لم ۱: برای شبکه با ساختار مشخص و با در نظر گرفتن جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در هر باس، LMP قابل بیان به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} LMP_n &= \sum_{l=1}^{L_{\text{cong}}} A_{l,n} \times f_l^{\max} + \sum_{g=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} A'_{g,n} \times a - \sum_{g=G-K_{\max}+1}^G A''_{g,n} \times P^{\max} - \\ &\quad \sum_{g=1}^{K_{\min}} A'''_{g,n} \times P^{\min} + \sum_{n=1}^N A_{n,n} \times P_n + \sum_{m=1}^{N_{\text{bus}}} A_{m,n} \times P_m \end{aligned} \quad (14)$$

اثبات: ابتدا به بررسی شرایط کاهن-تاکر (KKT) پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا مشابه با [۲۱]، λ و LMP_n به دست می‌آید. همچنین مشابه با [۲۱]، رابطه خطی بین $\Gamma_l^{\max}$ با a_l ها، $f_l^{\max}$ ، $p^{\max}$ ، $p^{\min}$ و P_m (جمع‌کننده خودروهای الکتریکی) به صورت رابطه (۱۵) قابل بیان است.

$$\begin{aligned} \Gamma_l^{\max} &= \beta_l^{-1} f_l^{\max} - \beta_l^{-1} a_l a_g + \beta_l^{-1} A_l P^{\max} + \beta_l^{-1} B_l P^{\min} \\ &\quad + \beta_l^{-1} C_2 P_n - \beta_l^{-1} F_l P_m \end{aligned} \quad (15)$$

که در آن داریم:

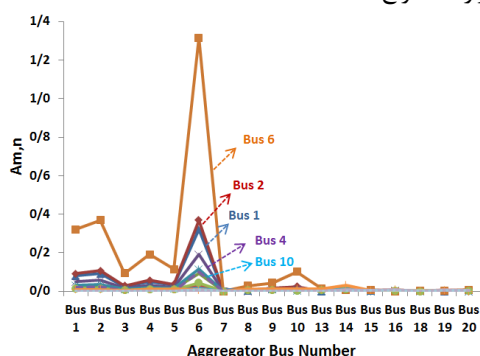
$$\begin{aligned} \alpha_1(l, g) &= \sum_{j=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} \left(\frac{a_{l,j}}{C_l b_g b_j} \right) - \frac{a_{l,g}}{b_g} \\ \beta_1(l, k) &= \sum_{g=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} \left(\left(\sum_{j=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} \frac{a_{k,j} a_{l,g}}{b_j} \right) / C_l b_g - \frac{a_{l,g} a_{k,g}}{b_g} \right) \\ A_1 = [A_{1,g}] = F_1 &= \left[\sum_{g=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} \left(\frac{a_{l,g}}{C_l b_g} \right) - a_{l,g} \right] \\ B_1 = [B_{1,g}] &= \left[\sum_{g=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} \left(\frac{a_{l,g}}{C_l b_g} \right) - a_{l,g} \right] \\ C_2(l, n) &= a_{l,n} - \sum_{g=K_{\min}+1}^{G-K_{\max}} \frac{a_{l,g}}{C_l b_g} \end{aligned} \quad (16)$$

مشابه اثبات لم ۱ در [۲۱]، LMP_n به صورت ماتریسی مطابق رابطه (۱۷) قابل بیان است.

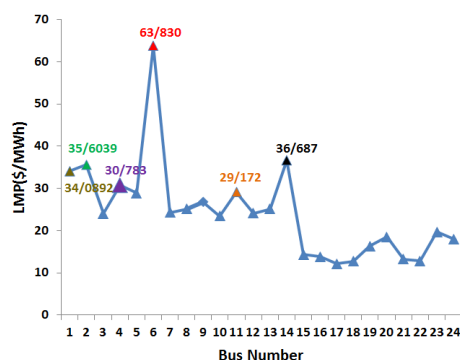
$$\begin{aligned} LMP_n &= C_4 P_n + B_1 \times P^{\min} + C_3 \times P^{\max} + A \times a + B_n \times \Gamma_l^{\max} \\ \Rightarrow LMP_n &= (B_n \times \beta^{-1}) f_l^{\max} + (A - B_n \times \beta^{-1} \times a) a - (B_n \times \beta^{-1} \times B + B_1) P^{\min} \\ &\quad + (B_n \times \beta^{-1} \times A_1 + C_3) P^{\max} + (C_4 + B_n \times C_2 \times \beta^{-1}) P_n - B_n \beta^{-1} F_l P_m \end{aligned} \quad (17)$$

که در آن داریم:

پیوست مقادیر ضریب $A_{m,n}$ را نشان می‌دهد. اعداد جدول (۱) را می‌توان به صورت نمایشی در شکل (۲) مشاهده نمود. در این شکل هر رنگ بیانگر حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در یک باس و تأثیرش بر روی قیمت برق باس‌های دیگر می‌باشد. همانطور که از جدول (۱) و شکل (۲) مشخص است LMP به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در باس‌های ۱، ۲، ۴، ۱۰ و ۱۴ بسیار حساس می‌باشد. شکل (۳) بیانگر میزان قیمت برق در هر باس می‌باشد که از برنامه بازار استخراج شده است.



شکل (۲): حساسیت LMPها نسبت به حضور جمع‌کننده روی باس‌های مختلف



شکل (۳): قیمت برق گره‌ای ۲۴ باس

از تطابق شکل (۳) با شکل (۲) این نکته قابل بیان است که باس‌های حساس به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی غالباً قیمت برق بیشتری نسبت به دیگر باس‌ها دارند. در این میان باس ۱۴ با وجود این که قیمت برق بالایی دارد، اما ضریب حساسیت آن نسبت به سایر باس‌ها مقدار کمتری دارد می‌باشد که در ادامه بررسی می‌شود.

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، قیمت برق باس ۶ دارای حساسیت بالایی نسبت به حضور جمع‌کننده بر روی خودش می‌باشد (۱/۳۱۶) لذا حضور جمع‌کننده در باس ۶ موجب تغییر چشم‌گیر قیمت برق بر روی این باس می‌شود. همچنین همانطور که مشخص است مقادیر ضریب حساسیت مربوط به قیمت برق اکثر باس‌ها خصوصاً باس‌های ۱، ۲، ۴، ۱۰ و ۱۴ نسبت به حضور جمع‌کننده روی باس ۶ نسبتاً بزرگ می‌باشند که نشان‌دهنده تأثیر چشمگیر بکارگیری جمع‌کننده بر روی باس ۶ بر قیمت برق اکثر باس‌ها می‌باشد.

به معنای مشارکت بالای جمع‌کننده m ام روی باس m در قیمت برق باس n می‌باشد. رابطه (۲۰) نشان می‌دهد که $A_{m,n}$ میزان تغییرات قیمت برق باس n نسبت به میزان تغییرات بار باس m در اثر حضور جمع‌کننده m ام بر روی آن می‌باشد.

$$\Delta LMP_n = A_{m,n} \times \Delta P_m \Rightarrow A_{m,n} = \frac{\Delta LMP_n}{\Delta P_m} \quad (20)$$

بزرگ بودن ضریب $A_{m,n}$ به این معنی است که قیمت برق باس n ام به جمع‌کننده m ام روی باس m بسیار حساس است. بنابراین آگاهی داشتن از مقادیر $A_{m,n}$ و $A_{m,n} \times P_m$ در هر نقطه کار برای تعیین قیمت برق در آن نقطه مفید می‌باشد.

۵- مطالعه موردی

جهت بررسی مدل پیشنهادی، برنامه بازار برای شبکه آزمون ۲۴ باسه IEEE-MRTS با بکارگیری جمع‌کننده خودروهای الکتریکی، شبیه‌سازی و اجرا شده و به تحلیل اثر آن بر رفتار آماری قیمت برق هر باس (LMP_n) پرداخته شده است. در این شبکه جهت اعمال استرس به شبکه انتقال، ظرفیت تولید و بار بیشینه شبکه دو برابر شده است [۴۳]. این شبکه دارای ۳۲ واحد تولیدی با ظرفیت تولید ۶۸۱۰ مگاوات، ۱۷ نقطه بار با کل بار ۵۷۰۰ مگاوات و ۳۸ شاخه (شامل خط انتقال و ترانسفورماتور) می‌باشد [۴۴]. در واقع در این مطالعه ابتدا به کمک تجزیه ساختاری قیمت برق در لم ۱ اولویت‌بندی باس‌ها به لحاظ تأثیر جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر قیمت برق انجام می‌شود.

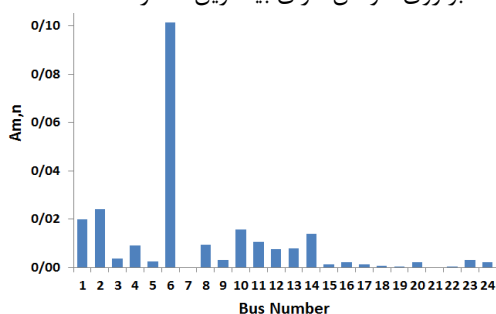
سپس با مدل‌سازی رفتار تصادفی جمع‌کننده خودروهای الکتریکی با این فرض که حداکثر ۱۰ درصد از بار هر باس تحت نفوذ جمع‌کننده خودروهای الکتریکی قرار گرفته و این میزان به صورت تصادفی به بار باس‌ها اضافه یا کم شده است، برنامه بازار در هر تکرار اجرا شده و قیمت برق و انحراف از معیار آن در تمام باس‌ها محاسبه می‌گردد. در نهایت مقادیر انحراف از معیار قیمت برق با ضرایب حساسیت تطبیق داده شده است. نتایج بیانگر کارایی ضرایب حساسیت در اولویت‌بندی باس‌ها می‌باشد.

۵-۱- بررسی حساسیت LMP نسبت به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر روی باس‌های مختلف با کمک تجزیه ساختاری قیمت برق

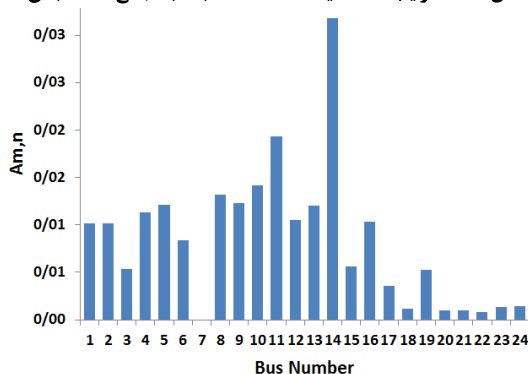
با اجرای برنامه بازار در رابطه (۱۳)، ضرایب تجزیه ساختاری LMP باس‌ها مطابق با لم ۱ در رابطه (۱۴) به دست آورده می‌شود. با کمک این ضرایب و مطابق با رابطه (۲۰) حساسیت قیمت برق هر باس نسبت به حضور جمع‌کننده بر روی باس‌های مختلف ($A_{m,n}$) مشخص می‌شود. با کمک این ضرایب می‌توان باس‌های حساس به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی را بر مبنای میزان تأثیرگذاری بر رفتار تصادفی قیمت برق رتبه‌بندی نمود. جدول (۱) در بخش

شکل (۷): ضرایب حساسیت LMP ها نسبت به جمع‌کننده باس ۴

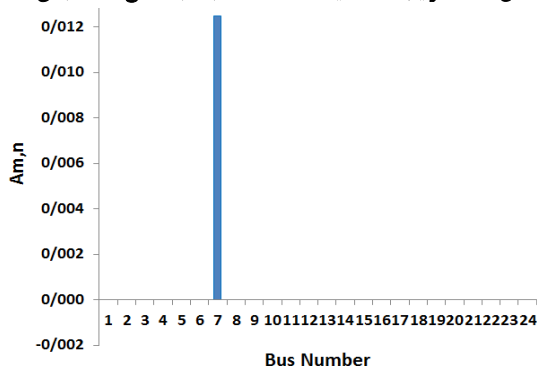
حضور جمع‌کننده بر روی باس ۱۰ بیشترین تاثیر را نیز مطابق شکل (۸)، بر روی قیمت برق باس ۶ و سپس باس‌های ۱، ۲، ۱۰، ۱۴ و ۴ دارد. بیشترین ضریب حساسیت قیمت برق به ازای بکارگیری جمع‌کننده بر روی باس ۱۴، مربوط به باس ۱۴ می‌باشد. بر خلاف سایر باس‌ها حضور جمع‌کننده بر روی باس ۱۴ تاثیر ناچیزی بر قیمت برق باس ۶ دارد زیرا که ضریب حساسیت آن مقدار کوچکی می‌باشد و در شکل (۹) قابل مشاهده است. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، تنها باسی که حضور جمع‌کننده بر روی آن تاثیری بر قیمت برق سایر باس‌ها ندارد، باس ۷ می‌باشد زیرا که طبق جدول (۱) ضریب حساسیت آن نسبت به باس‌های مختلف (به جز باس ۷) دارای مقدار صفر می‌باشد. ضریب حساسیت قیمت برق این باس نسبت به حضور جمع‌کننده بر روی خودش دارای بیشترین مقدار است.



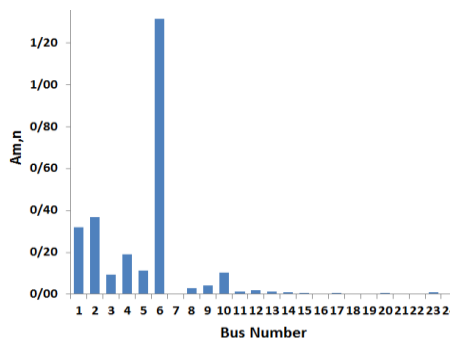
شکل (۸): ضرایب حساسیت LMP ها نسبت به جمع‌کننده باس ۱۰



شکل (۹): ضرایب حساسیت LMP ها نسبت به جمع‌کننده باس ۱۴

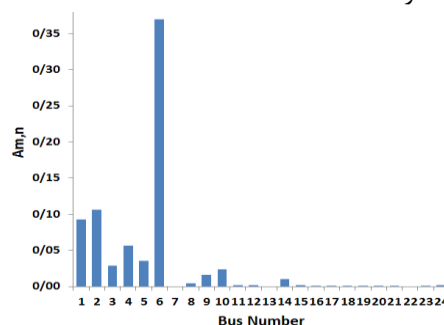


شکل (۱۰): ضرایب حساسیت LMP ها نسبت به جمع‌کننده باس ۷



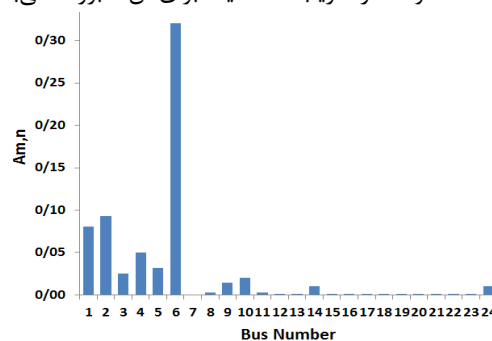
شکل (۴): ضرایب حساسیت LMP ها نسبت به جمع‌کننده باس ۶

تغییر بار باس ۲ در اثر حضور جمع‌کننده بر روی آن مطابق شکل (۵) نیز به ترتیب بیشترین تاثیر را بر روی قیمت برق باس‌های ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و ۱۴ دارد.



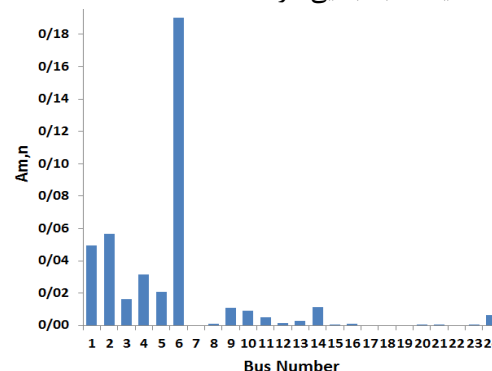
شکل (۵): ضرایب حساسیت LMP ها نسبت به جمع‌کننده باس ۲

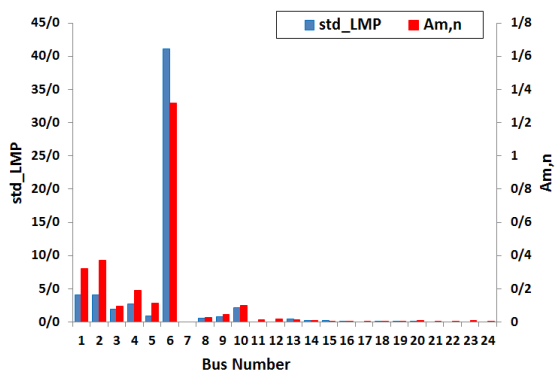
همچنین بیشترین تاثیر حضور جمع‌کننده در باس ۱ مانند آنچه در شکل (۶) مشخص است، را بر روی قیمت برق باس‌های ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و ۱۴ داشته و مقدار ضریب حساسیت برای آن‌ها بزرگ می‌باشد.



شکل (۶): ضرایب حساسیت LMP ها نسبت به جمع‌کننده باس ۱

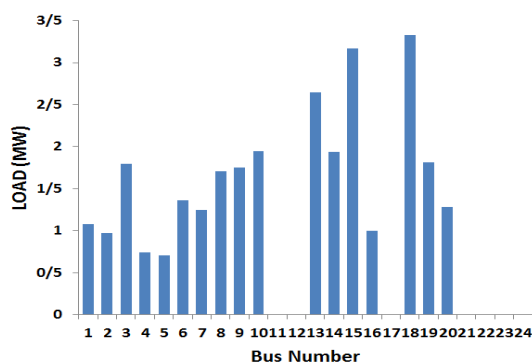
علاوه بر این مطابق شکل (۷) بکارگیری جمع‌کننده بر روی باس ۴ بیشترین تاثیر را بر روی قیمت برق باس‌های ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و ۱۴ با ضریب حساسیت نسبتاً بالایی دارد.





شکل (۱۲): مقایسه انحراف از معیار LMP و ضریب $A_{m,n}$ برای باس ۶

از آنجایی که مطابق شکل (۱۳) بار روی باس ۶ مقدار شاخص و بزرگی ندارد، برای توجیه میزان اثر بخشی بالای حضور جمع کننده بر روی این باس بر قیمت برق، می توان گفت زمانی که جمع کننده خودروهای الکتریکی بر روی باس ۶ قرار می گیرد موجب تغییرات تصادفی بار این باس گردیده و مطابق نتایج به دست آمده از قسمت ۴-۱، ضریب حساسیت قیمت برق اکثر باس ها نسبت به تغییر بار ناشی از حضور جمع کننده بر روی باس ۶، دارای مقادیری بزرگی نیز می باشد. بنابراین قرارگیری جمع کننده بر روی باس ۶ به عنوان یک عامل کلیدی رفتار بازار و نتیجتاً رفتار آماری قیمت برق از جمله انحراف از معیار را تحت تاثیر قرار می دهد.



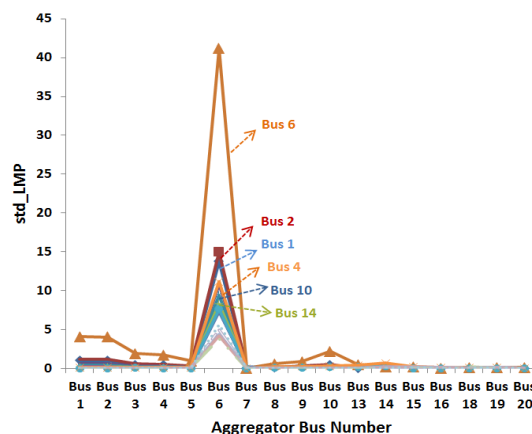
شکل (۱۳): میزان بار بر روی ۲۴ باس

اگر باس ۲ محل قرارگیری جمع کننده خودروهای الکتریکی باشد و بار این باس به طور تصادفی تغییر کند مطابق شکل (۱۴) انحراف از معیار قیمت روی باس های حساس ۶، ۲، ۱، ۴ و ۱۰ مقدار زیادی خواهد داشت. همچنین در قسمت ۴-۱ اثبات شد که ضریب حساسیت قیمت برق این باس ها نسبت به حضور جمع کننده بر روی باس ۲ دارای مقادیری بزرگ می باشد. لذا حضور جمع کننده خودروهای الکتریکی بر روی باس ۲ می تواند رفتار آماری قیمت برق بخصوص انحراف از معیار قیمت برق باس های حساس را تحت تاثیر قرار دهد.

۵-۲- بررسی رفتار آماری قیمت برق با تغییر توان جمع کننده

خودروهای الکتریکی در باس های مختلف

در ادامه شبیه سازی با قرار دادن جمع کننده خودروهای الکتریکی بر روی تک تک باس ها، در حالی که ۱۰ درصد بار باس مربوطه را به صورت تصادفی کاهش (به عنوان تولید و در حالت دشارژ) یا افزایش (به عنوان بار و در حالت شارژ) می دهد، قیمت برق و انحراف از معیار آن به دست آمده است و به مطالعات آماری قیمت برق در سطح بار بیشینه برای یک ساعت بازار پرداخته می شود. نتایج حاصل با ضریب حساسیت قیمت برق به دست آمده در قسمت قبل مقایسه شده و مشاهدات به شرح زیر است. جدول (۲) مربوط به مقادیر انحراف از معیار قیمت برق برای باس های بار در پیوست درج شده است. اعداد جدول (۲) را می توان به صورت نمایشی در شکل (۱۱) مشاهده نمود. در این شکل هر رنگ بیانگر حضور جمع کننده خودروهای الکتریکی در یک باس و تاثیرش بر روی انحراف معیار قیمت برق باس های دیگر می باشد.

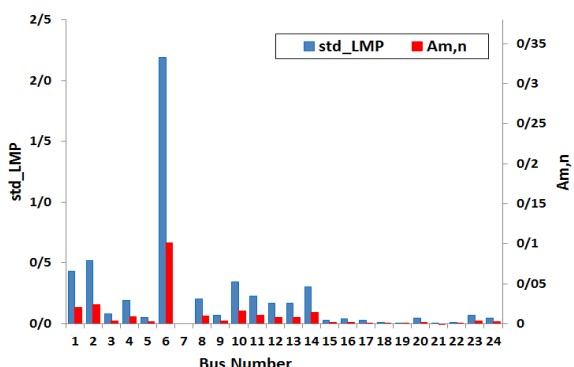


شکل (۱۱): انحراف از معیار LMP ها در حضور جمع کننده بر روی باس های مختلف

با توجه به جدول (۲) و شکل (۱۱) مشاهده می شود که حضور جمع کننده به ترتیب بر روی باس های ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و ۱۴ نیز بیشترین تاثیر را بر انحراف از معیار قیمت برق باس های مختلف دارد از طرفی در قسمت ۴-۱ بررسی شد که ضریب حساسیت قیمت برق باس های مختلف در اثر قرارگیری جمع کننده خودروهای الکتریکی بر روی باس های حساس ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و ۱۴، دارای مقادیر بالایی می باشد، لذا این باس ها، باس های حساسی می باشند.

همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می شود اگر باس ۶ محل قرارگیری یک جمع کننده خودروهای الکتریکی باشد انحراف از معیار قیمت برق اکثر باس ها از جمله باس های حساس ۶، ۲، ۱، ۴ و ۱۰ مقادیری بزرگ خواهد داشت که نشان دهنده تاثیر چشم گیر حضور جمع کننده بر روی باس ۶ بر قیمت برق می باشد.

معیار قیمت برق روی بایس‌های حساس ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و ۱۴، از جمله بایس ۶ مقادیر بزرگی خواهد داشت.



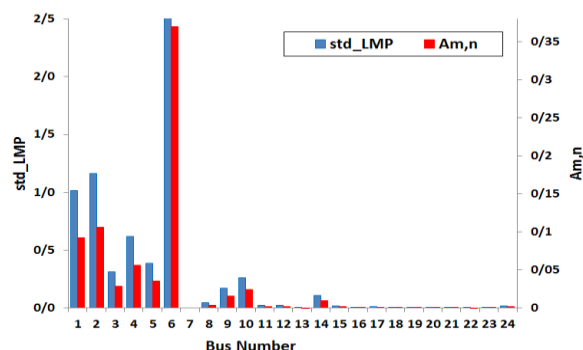
شکل (۱۷): مقایسه انحراف از معیار LMP و ضریب $A_{m,n}$ برای بایس ۱۰

از طرفی مطابق قسمت ۴-۱، ضریب حساسیت قیمت برق نیز برای این بایس‌ها در اثر حضور جمع‌کننده بر روی بایس ۱۰ دارای مقادیری بزرگ می‌باشند. پس حضور جمع‌کننده بر روی بایس ۱۰ می‌تواند رفتار آماری قیمت برق بایس‌های حساس، از جمله انحراف از معیار را تحت تاثیر قرار دهد.

در نتیجه اگر جمع‌کننده خودروهای الکتریکی به ترتیب بر روی بایس‌های ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و ۱۴ قرار بگیرد، رفتار آماری قیمت برق را به شدت تحت تاثیر قرار داده و موجب می‌شود که داده‌های قیمت برق از میانگین فاصله بگیرد و سبب افزایش انحراف از معیار قیمت می‌شود.

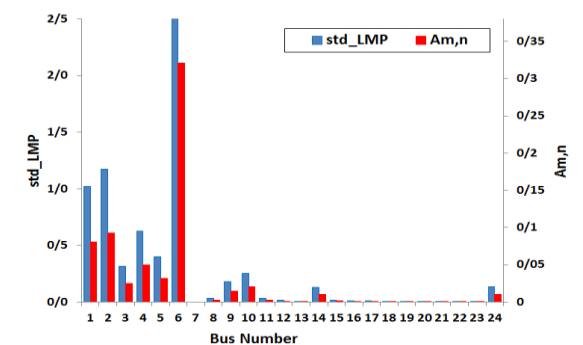
۶- نتیجه‌گیری

هدف اصلی از این مقاله بررسی تحلیلی اثر جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر رفتار آماری LMP بایس‌ها، با در نظر گرفتن تراکم خط انتقال، می‌باشد. از آنجا که قیمت برق مهمترین کمیت خروجی بازار برق است، لذا تحلیل آماری رفتار قیمت برق در شرایط مختلف بار و شبکه می‌تواند بیانگر نحوه عملکرد بازار برق و روشننگر چگونگی رفتار بازار در شرایط مختلف بهره‌برداری از سیستم باشد و نیز راهبردی مفید برای بهره‌بردار بازار جهت تعیین قدرت بازار در فرآیند تعیین قیمت در شبکه می‌باشد. بدین منظور ابتدا با استفاده از توسعه تجزیه ساختاری LMP به ۶ قسمت مطابق لم ۱، حساسیت LMP هر بایس نسبت به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر روی بایس‌های مختلف به صورت تحلیلی ارزیابی گردید. با کمک این ضرایب می‌توان بایس‌های حساس به حضور جمع‌کننده خودروهای الکتریکی را بر مبنای میزان تاثیرگذاری بر رفتار تصادفی قیمت برق، رتبه‌بندی نمود. در این رتبه‌بندی بایس‌های حساس به ترتیب برابر بایس‌های ۶، ۲، ۱، ۴، ۱۰ و سپس بایس ۱۴ می‌باشند. سپس با شبیه‌سازی رفتار تصادفی توان جمع‌کننده خودروهای الکتریکی در هر بایس بر یک شبکه آزمون ۲۴ بایس IEEE، انحراف از معیار LMP در تمام بایس‌ها محاسبه گردید. در نهایت جهت ایجاد ارتباط تحلیلی و آماری، مقادیر انحراف از معیار LMP با ضرایب حساسیت تطبیق داده شد. نتایج بیانگر کارایی ضرایب حساسیت در اولویت‌بندی بایس‌ها جهت بکارگیری جمع‌کننده



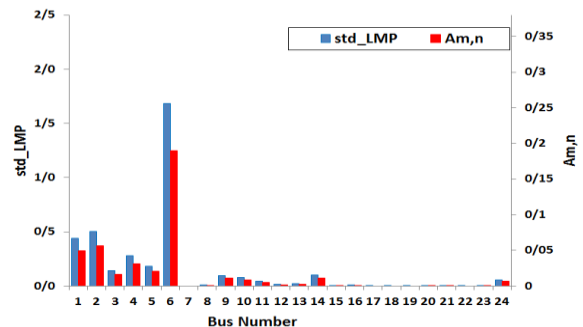
شکل (۱۴): مقایسه انحراف از معیار LMP و ضریب $A_{m,n}$ برای بایس ۱۵

اگر روی بایس ۱ جمع‌کننده خودروهای الکتریکی قرار گیرد، مطابق شکل (۱۵) با تغییر بار این بایس انحراف از معیار قیمت برق روی بایس‌های حساس ۶، ۲، ۱، ۴ و ۱۰ بخصوص بایس ۶ مقدار قابل توجهی خواهد داشت. از طرفی با توجه به قسمت ۴-۱ مقدار ضریب حساسیت قیمت برق نیز برای این بایس‌ها به ازای حضور جمع‌کننده بر روی بایس ۱ زیاد می‌باشد. بنابراین قرارگیری جمع‌کننده بر روی بایس ۱، رفتار آماری قیمت برق بایس‌های حساس از جمله بایس ۶ را تغییر خواهد داد.



شکل (۱۵): مقایسه انحراف از معیار LMP و ضریب $A_{m,n}$ برای بایس ۱

علاوه بر این اگر در بایس ۴ جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بکار گرفته شود، مطابق شکل (۱۶) انحراف از معیار قیمت برق بایس‌های حساس از جمله بایس ۶ مقدار قابل توجهی خواهد داشت. از طرفی با توجه به قسمت ۴-۱ ضریب حساسیت قیمت برق این بایس‌ها نیز نسبت به حضور جمع‌کننده بر روی بایس ۴ دارای مقادیر نسبتاً بزرگی می‌باشد. بنابراین حضور جمع‌کننده بر روی بایس ۴ می‌تواند رفتار آماری قیمت برق بایس‌های حساس خصوصاً بایس ۶ را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.



شکل (۱۶): مقایسه انحراف از معیار LMP و ضریب $A_{m,n}$ برای بایس ۴

اگر جمع‌کننده خودروهای الکتریکی بر روی بایس ۱۰ قرار گیرد، مانند آنچه در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود، با تغییر بار این بایس انحراف از

خودروهای الکتریکی می‌باشد. همچنین مشخص گردید که اگر در یک باس، حجم کمی از خودروهای الکتریکی حضور داشته باشند ولی ضریب حساسیت قیمت برق نسبت به حضور جمع‌کننده در آن باس بزرگ باشد، می‌تواند رفتار آماری LMP را به شدت تحت تاثیر قرار

دهد. لذا این مقاله، پیش‌زمینه مطلوبی برای مطالعات تحلیلی آینده در رابطه با جمع‌کننده خودروهای الکتریکی می‌باشد.

پیوست‌ها

جدول (۱): ضرایب حساسیت Am, n باس‌ها

	۲۰	۱۹	۱۸	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱	۰	-۰/۰۰۱	۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۲۰	۰/۰۱۴	-۰/۰۰۳	۰	۰/۳۲۱	۰/۰۳۱	۰/۰۵۰	۰/۰۲۵	۰/۰۹۳	۰/۰۸۱
۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱۰	۰	-۰/۰۲۴	۰/۰۱۶	-۰/۰۰۴	۰	۰/۳۷۰	۰/۰۳۶	۰/۰۵۷	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰	۰/۰۹۳
۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۹۴	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵
۴	۰	۰	۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۱۹۰	۰/۰۲۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۶	۰/۰۵۷	۰/۰۵۰
۵	۰/۰۰۱	۰	۰	-۰/۰۰۱	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰	۰/۱۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۱	۰/۰۳۶	۰/۰۳۱
۶	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	-۰/۰۱۴	-۰/۰۱۲	۰/۰۴۳	-۰/۰۲۹	۰	۱/۳۱۶	۰/۱۱۴	۰/۱۹۰	۰/۰۹۴	۰/۳۷۰	۰/۳۲۱
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰/۰۰۲	۰	۰	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰	-۰/۰۲۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳
۹	۰/۰۰۱	۰	۰	-۰/۰۰۲	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴
۱۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۴	-۰/۰۲۴	-۰/۰۲۰
۱۳	۰/۰۰۲	۰	۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰	-۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۱
۱۴	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۶	۰/۰۳۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
۱۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰	-۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
۱۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۶	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰	۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱
۱۸	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۰	-۰/۰۰۳	۰	۰	۰	-۰/۰۰۱	۰
۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۰۰۴	۰	۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱
۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰

جدول (۲): انحراف از معیار قیمت برق برای باس‌های بار

	۲۰	۱۹	۱۸	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸	۰/۰۵۱	۰/۳۱۶	۰/۰۱۶	۰/۴۳۳	۰/۲۷۸	۰/۰۵۶	۰	۱۳/۷۵۴	۰/۲۵۹	۰/۴۴۰	۰/۵۰۶	۱/۰۱۴	۱/۰۲۳
۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۸	۰/۰۵۸	۰/۳۱۶	۰/۰۰۷	۰/۵۱۸	۰/۳۰۶	۰/۰۸۱	۰	۱۵/۰۰۰	۰/۲۹۳	۰/۵۰۱	۰/۵۷۵	۱/۱۶۳	۱/۱۷۲
۳	۰/۰۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۵۷	۰/۱۱۴	۰/۰۷۰	۰/۰۸۱	۰/۱۱۶	۰/۰۲۲	۰	۷/۷۸۶	۰/۰۹۰	۰/۱۴۳	۰/۱۷۸	۰/۳۱۲	۰/۳۱۸
۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۲۰	۰/۳۴۱	۰/۰۹۱	۰/۱۹۳	۰/۲۱۱	۰/۰۱۹	۰	۱۰/۸۴۰	۰/۱۷۲	۰/۲۷۹	۰/۳۲۶	۰/۶۱۹	۰/۶۲۸
۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰/۲۵۷	۰/۱۳۵	۰/۰۵۴	۰/۱۷۳	۰/۰۶۳	۰	۹/۴۱۳	۰/۱۲۲	۰/۱۸۶	۰/۲۲۱	۰/۳۸۹	۰/۳۹۸
۶	۰/۱۰۷	۰/۰۹۷	۰/۱۱۶	۰/۰۰۲	۰/۲۲۰	۰/۱۷۸	۰/۴۷۴	۲/۱۹۱	۰/۸۳۵	۰/۵۷۲	۰	۴۱/۱۶۳	۰/۹۴۰	۱/۶۸۵	۱/۹۰۰	۴/۰۴۴	۴/۰۵۸
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۷۸	۷/۳۱۶	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰/۰۲۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۳۰	۰/۲۸۱	۰/۲۱۵	۰/۲۰۷	۰/۰۹۸	۰/۱۴۴	۰	۷/۶۲۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲۲	۰/۰۴۵	۰/۰۳۶
۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۱	۰/۲۶۲	۰/۱۷۱	۰/۰۷۲	۰/۱۳۴	۰/۱۰۰	۰	۸/۲۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۹۷	۰/۱۲۲	۰/۱۷۴	۰/۱۸۲
۱۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۴۹	۰/۳۰۰	۰/۲۶۰	۰/۳۴۲	۰/۰۶۳	۰/۱۸۷	۰	۷/۵۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۸۰	۰/۰۷۸	۰/۲۶۴	۰/۲۵۵
۱۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۳۵۵	۰/۱۹۸	۰/۱۷۲	۰/۱۰۰	۰/۱۲۹	۰	۷/۶۱۴	۰/۰۳۴	۰/۰۲۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷
۱۴	۰/۰۱۴	۰/۱۱۱	۰/۰۴۶	۰/۱۱۷	۰/۱۹۷	۰/۶۷۶	۰/۳۸۹	۰/۳۰۵	۰/۲۳۷	۰/۲۵۸	۰	۱۱/۱۵۸	۰/۱۰۰	۰/۱۰۱	۰/۱۰۸	۰/۱۱۱	۰/۱۲۹
۱۵	۰/۰۴۴	۰/۰۹۳	۰/۰۳۶	۰/۰۶۴	۰/۱۴۰	۰/۱۲۰	۰/۰۱۳	۰/۰۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸	۰	۴/۳۳۳	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۳۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸
۱۶	۰/۰۷۵	۰/۱۵۹	۰/۰۶۳	۰/۱۱۰	۰/۲۰۳	۰/۳۲۰	۰/۰۳۱	۰/۰۴۴	۰/۰۲۹	۰/۰۳۵	۰	۴/۱۸۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۲۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹
۱۸	۰/۰۱۳	۰/۰۲۷	۰/۲۴۵	۰/۰۱۹	۰/۰۳۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰	۳/۸۴۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
۱۹	۰/۰۶۴	۰/۱۲۶	۰/۰۴۷	۰/۰۸۲	۰/۱۵۴	۰/۱۱۳	۰/۰۲۲	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۰۳	۰	۴/۹۵۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۲۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷
۲۰	۰/۰۵۵	۰/۰۹۸	۰/۰۳۴	۰/۰۵۸	۰/۱۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۶۶	۰/۰۴۹	۰/۰۲۴	۰/۰۳۴	۰	۵/۶۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۳۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶

2. حاجی آبادی م. مطالعه آماری قیمت برق و مدل‌سازی آن به کمک قضیه حد مرکزی جهت بررسی سطح رقابت‌پذیری Vol. رساله دکتری. دانشگاه فردوسی مشهد؛ فردوسی مشهد؛ ۱۳۹۲.

3. شاه‌میرزایی ع، قدیری ع. پاراسمقدم م. تأثیر خودروهای الکتریکی بر ر وی تراکم خطوط شبکه و قیمت‌های گره‌ای در شبکه توزیع. چهارمین

مراجع

1. Liu Z, Wu Q, Huang S, Wang L, Shahidehpour M, Xue Y. Optimal day-ahead charging scheduling of electric vehicles through an aggregative game model. IEEE Trans Smart Grid. 2018;9(5):5173–84.

- Ahead and Reserve Markets. In: Electricity Markets. Springer; 2020. p. 199–212.
17. Rashidizadeh-Kermani H, Vahedipour-Dahraie M, Najafi HR, Anvari-Moghaddam A, Guerrero JM. A stochastic bi-level scheduling approach for the participation of EV aggregators in competitive electricity markets. *Appl Sci*. 2017;7(10):1100.
18. Rassaei F, Soh W-S, Chua K-C. Demand response for residential electric vehicles with random usage patterns in smart grids. *IEEE Trans Sustain Energy*. 2015;6(4):1367–76.
19. Vahedipour-Dahraie M, Rashidizadeh-Kermani H, Najafi HR, Anvari-Moghaddam A, Guerrero JM. Coordination of EVs participation for load frequency control in isolated microgrids. *Appl Sci*. 2017;7(6):539.
20. Perez-Diaz A, Gerding E, McGroarty F. Detecting Strategic Manipulation in Distributed Optimisation of Electric Vehicle Aggregators. *arXiv Prepr arXiv181007063*. 2018;
21. Hajiabadi ME, Mashhadi HR. LMP decomposition: A novel approach for structural market power monitoring. *Electr Power Syst Res*. 2013;99:30–7.
22. استیری م. تعیین سطح قدرت بازار واحدهای نیروگاهی در سطوح مختلف بار بر مبنای تغییر سود واحدها با استفاده از تجزیه ساختاری بازار برق. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه حکیم سبزواری؛ ۱۳۹۶. Vol.
23. Ghaznavi A, Hajiabadi ME, Khaliliyan M. Cost-worth analytical assessment of demand-side management (DSM) programs, considering energy losses with the structural generation decomposition: A market-based approach. *Int Trans Electr Energy Syst*. 2018;e2584.
24. غزنوی ع، حاجی‌آبادی م، خلیلیان م. تجزیه ساختاری تولید جهت ارزیابی تحلیلی تلفات شبکه با در نظر گرفتن تراکم شبکه انتقال. مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز. ۱۳۹۷؛ ۱–۱۲.
25. Vayá MG, Andersson G. Optimal bidding strategy of a plug-in electric vehicle aggregator in day-ahead electricity markets under uncertainty. *IEEE Trans Power Syst*. 2015;30(5):2375–85.
26. Dawar V, Lesieutre BC. Impact of electric vehicles on energy market. In: Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 2011 IEEE. IEEE; 2011. p. 1–7.
27. Shafie-Khah M, Moghaddam MP, Sheikh-El-Eslami MK, Catalão JPS. Optimised performance of a plug-in electric vehicle aggregator in energy and reserve markets. *Energy Convers Manag*. 2015;97:393–408.
28. Tomić J, Kempton W. Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. *J Power Sources*. 2007;168(2):459–68.
29. Vagropoulos SI, Bakirtzis AG. Optimal bidding strategy for electric vehicle aggregators in electricity
- کنفرانس سالانه انرژی پاک. کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته؛ ۱۳۹۳.
4. Ortega-Vazquez MA, Bouffard F, Silva V. Electric vehicle aggregator/system operator coordination for charging scheduling and services procurement. *IEEE Trans Power Syst*. 2013;28(2):1806–15.
5. Zhao Y, Feng C, Lin Z, Wen F, He C, Lin Z. Development of Optimal Bidding Strategy for an Electric Vehicle Aggregator in a Real-Time Electricity Market. In: 2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia). IEEE; 2018. p. 288–93.
6. Han S, Han S, Sezaki K. Estimation of achievable power capacity from plug-in electric vehicles for V2G frequency regulation: Case studies for market participation. *IEEE Trans Smart Grid*. 2011;2(4):632–41.
7. Han S, Han SH, Sezaki K. Probabilistic Analysis on the V2G Power Capacity Regarding Frequency Regulation. *IFAC Proc Vol*. 2011;44(1):11707–12.
8. Li B, Wang X, Shahidehpour M, Jiang C, Li Z. Robust Bidding Strategy and Profit Allocation for Cooperative DSR Aggregators with Correlated Wind Power Generation. *IEEE Trans Sustain Energy*. 2018;
9. Pal S, Kumar R. Electric Vehicle Scheduling Strategy in Residential Demand Response Programs With Neighbor Connection. *IEEE Trans Ind Informatics*. 2018;14(3):980–8.
10. Clairand J-M, others. Participation of Electric Vehicle Aggregators in Ancillary Services Considering Users' Preferences. *Sustainability*. 2019;12(1):1–17.
11. Karfopoulos EL, Panourgias KA, Hatziaargyriou ND. Distributed coordination of electric vehicles providing V2G regulation services. *IEEE Trans Power Syst*. 2016;31(4):2834–46.
12. Sun L, Wang X, Liu W, Lin Z, Wen F, Ang SP, et al. Optimisation model for power system restoration with support from electric vehicles employing battery swapping. *IET Gener Transm Distrib*. 2016;10(3):771–9.
13. Tian M-W, Yan S-R, Tian X-X, Kazemi M, Nojavan S, Jermisittiparsert K. Risk-involved stochastic scheduling of plug-in electric vehicles aggregator in day-ahead and reserve markets using downside risk constraints method. *Sustain Cities Soc*. 2020;55:102051.
14. Quinn C, Zimmerle D, Bradley TH. The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services. *J Power Sources*. 2010;195(5):1500–9.
15. Gitizadeh M, Kheradmand Khanekehdani H. Modeling operation of electric vehicles aggregator with energy storage system in reserve services market. *J Renew Sustain Energy*. 2016;8(1):15702.
16. Farahmand-Zahed A, Nojavan S, Zare K. Robust Scheduling of Plug-In Electric Vehicles Aggregator in Day-

- Nordic Market. In: 2nd E-Mobility Power System Integration Symposium. 2018.
38. Rashidizadeh-Kermani H, Najafi H, Anvari-Moghaddam A, Guerrero J. Optimal Decision-Making Strategy of an Electric Vehicle Aggregator in Short-Term Electricity Markets. *Energies*. 2018;11(9):2413.
 39. Xu Z, Hu Z, Song Y, Wang J. Risk-averse optimal bidding strategy for demand-side resource aggregators in day-ahead electricity markets under uncertainty. *IEEE Trans Smart Grid*. 2017;8(1):96–105.
 40. Aliasghari P, Mohammadi-Ivatloo B, Abapour M, Ahmadian A, Elkamel A. Goal Programming Application for Contract Pricing of Electric Vehicle Aggregator in Joint Day-Ahead Market. *Energies*. 2020;13(7):1771.
 41. Moghaddam SZ, Akbari T. Network-constrained optimal bidding strategy of a plug-in electric vehicle aggregator: A stochastic/robust game theoretic approach. *Energy*. 2018;151:478–89.
 42. Gao X, Chan KW, Xia S, Zhou B, Lu X, Xu D. Risk-constrained offering strategy for a hybrid power plant consisting of wind power producer and electric vehicle aggregator. *Energy*. 2019;177:183–91.
 43. Nanduri V, Das TK. A reinforcement learning model to assess market power under auction-based energy pricing. *IEEE Trans Power Syst*. 2007;22(1):85–95.
 44. Kalinowski B, Anders G. A new look at component maintenance practices and their effect on customer, station and system reliability. *Int J Electr Power Energy Syst*. 2006;28(10):679–95.
 - markets. *IEEE Trans power Syst*. 2013;28(4):4031–41.
 30. Sánchez Amaro R, Baringo Morales L. A Stochastic Robust Optimization Approach for the Bidding Strategy of an Electric Vehicle Aggregator. 2017;
 31. Vayá MG, Baringo L, Andersson G. Integration of PEVs into power markets: a bidding strategy for a fleet aggregator. In: *Plug In Electric Vehicles in Smart Grids*. Springer; 2015. p. 233–60.
 32. Alipour M, Mohammadi-Ivatloo B, Moradi-Dalvand M, Zare K. Stochastic scheduling of aggregators of plug-in electric vehicles for participation in energy and ancillary service markets. *Energy*. 2017;118:1168–79.
 33. Barhagh SS, Mohammadi-Ivatloo B, Anvari-Moghaddam A, Asadi S. Risk-involved participation of electric vehicle aggregator in energy markets with robust decision-making approach. *J Clean Prod*. 2019;239:118076.
 34. Cao Y, Huang L, Li Y, Jermisittiparsert K, Ahmadi-Nezamabad H, Nojavan S. Optimal scheduling of electric vehicles aggregator under market price uncertainty using robust optimization technique. *Int J Electr Power Energy Syst*. 2020;117:105628.
 35. Saini D, Saxena A, Bansal RC. Electricity price forecasting by linear regression and SVM. In: *Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 2016 International Conference on. IEEE; 2016. p. 1–7.
 36. Rashidizadeh-Kermani H, Najafi HR, Anvari-Moghaddam A, Guerrero JM. Optimal Decision Making Framework of an Electric Vehicle Aggregator in Future and Pool markets. *J Oper Autom Power Eng*. 2018;1–19.
 37. Dalton J, Herre L, Söder L. Exploring the Business Case of a Risk-Averse Electric Vehicle Aggregator in the

زیر نویس ها

- ¹ Electric Vehicle
- ² Locational Marginal Price
- ³ Energy Storage
- ⁴ System Operator
- ⁵ Day-ahead
- ⁶ demand-side management
- ⁷ Mathematical Program with Equilibrium Constraints
- ⁸ Auto Regressive Integrated Moving Average
- ⁹ Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average
- ¹ Downside Risk Constraint ⁰
- ¹ Robust Optimization Method
- ¹ Real Time ²
- ¹ State Of Charge ³
- ¹ Conditional Value at Risk ⁴
- ¹ Price Taker ⁵
- ¹ Price-Maker ⁶
- ¹ Karush-Kuhn- Tucker ⁷