

ارائه یک الگوریتم زمان حقیقی جهت بهبود مدیریت انرژی در ایستگاههای شارژ

خودروهای الکتریکی

کسری سلیمان پور

کارشناسی ارشد، برق قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آشتیان

چکیده

در این مقاله، یک الگوریتم زمان حقیقی جهت بهبود مدیریت انرژی در ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی ارائه شده است. در این راستا، نخست، روشی جهت محاسبه احتمال پذیرش خودروهای الکتریکی در پارکینگ ارائه گردیده است. در ادامه، روش تخمین تعداد خودروهای الکتریکی مراجعه کننده به پارکینگ ارائه و معرفی شده است. همچنین، روشی جهت محاسبه انرژی مورد نیاز برای رسیدن خودروهای الکتریکی به پارکینگ ارائه گردیده است. علاوه بر این، یک الگوریتم زمان حقیقی جهت برنامه ریزی بهینه شارژ و دشارژ و مدیریت انرژی در ایستگاههای شارژ خودروهای الکتریکی ارائه شده است. برای حل مسأله بهینه سازی نیز از الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب استفاده شده است. عدم قطعیت های مسأله مدیریت بهینه انرژی در ایستگاههای شارژ هم با استفاده از روش تخمین نقطه مدل سازی شده اند. روش پیشنهادی روی یک پارکینگ نوعی پیاده سازی شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که با بکارگیری الگوریتم زمان حقیقی پیشنهادی، در مورد هر خودرو، بازه های زمانی که خودرو باید شارژ یا دشارژ شود مشخص شده است. بررسی تعاملات مالی صاحبان خودروهای الکتریکی با بهره بردار پارکینگ نشان می دهد که بهره بردار پارکینگ توانسته است با استفاده از الگوریتم زمان حقیقی پیشنهادی، سود صاحبان خودروها را حداکثر نماید. همچنین، با در نظر گرفتن سیاست های تشویقی و تنبیهی توانسته است به آن دسته از خودروهای الکتریکی که مطابق با برنامه ریزی بهینه پارکینگ عمل کرده اند، سود بیشتری نیز در قالب برنامه های تشویقی پرداخت کند. روش پیشنهادی قادر است افزون بر برنامه ریزی بهینه خودروهای الکتریکی، برنامه تزریق و جذب بهینه پارکینگ را نیز برای کسب سود حداکثری ارائه نماید.

واژگان کلیدی: مدیریت بهینه انرژی، ایستگاههای شارژ، خودروهای الکتریکی، الگوریتم زمان حقیقی، عدم قطعیت.

مقدمه

با افزایش سطح نفوذ خودروهای الکتریکی، ممکن است در برخی از زمان ها تعداد زیادی از این خودروها به صورت همزمان در حالت شارژ قرار گیرند و بدین ترتیب، شبکه دچار اضافه بار شود (Liu et al, 2019). این امر، ضرورت شارژ هماهنگ و برنامه ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی را بیش از پیش نمایان ساخته است (Mirzaei & Kazemi, 2020). هرچند صاحبان خودروهای الکتریکی می توانند از امکان ذخیره سازی انرژی در باتری خود جهت کسب درآمد استفاده کنند (Kazemi et al, 2016)، اما انتظارات آن ها فقط جنبه مالی ندارد بلکه فاکتورهای نظیر صرفه جویی در زمان و انرژی نیز را نیز در برمی گیرد (Xie et al, 2019). بنابراین، بایستی رویکرد پیشنهادی برای برنامه ریزی خودروهای الکتریکی، جوانب مختلف مسأله را مورد توجه قرار داده و تنها محدود به تعیین بازه های زمانی بهینه برای شارژ و دشارژ خودروها نشود. نکته حائز اهمیت دیگر این است که به سبب محدودیت هایی از جمله فضا و هزینه، پارکینگ های خودروهای الکتریکی دارای ظرفیتی محدود و مشخص برای پذیرش خودروها می باشند (Mirzaei et al, 2015). مراجعه بیش از حد مجاز خودروها به یک پارکینگ می تواند افزون بر ایجاد ازدحام، سبب اتلاف وقت صاحبان خودرو شود. بنابراین، در برنامه ریزی خودروها باید رویکردی به منظور اطلاع صاحبان خودروها از احتمال پذیرش خودروی آن ها در پارکینگ پیش از مراجعه به پارکینگ ارائه شود.

با استفاده از منحنی مشخصه شارژ و دشارژ باتری یعنی مشخصه سطح شارژ بر حسب زمان، می توان زمان دقیق رسیدن سطح شارژ به یک مقدار مشخص را تعیین نمود. از این رو، ارائه یک روش برنامه ریزی مبتنی بر منحنی مشخصه شارژ و دشارژ باتری می تواند بازه های زمانی شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی را تعیین کند.

فرآیند برنامه ریزی شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی نه از لحظه اتصال آن ها به تجهیزات شارژ و دشارژی بلکه از زمان اتخاذ تصمیم صاحب خودرو برای مراجعه به پارکینگ آغاز می شود زیرا فرآیند انتخاب پارکینگ توسط صاحب خودرو بر زمان رسیدن به پارکینگ و دستیابی به تجهیزات شارژ و دشارژ و همچنین، انرژی مورد نیاز خودروی الکتریکی برای رسیدن به پارکینگ اثرگذار است.

به طور کلی، سه عامل می توانند بر انتخاب مناسب ترین و مؤثرترین پارکینگ برای هر خودرو اثرگذار باشند. عامل اول، میزان انرژی مورد نیاز برای رسیدن خودرو به پارکینگ است که خود، به عوامل مختلفی نظیر سرعت متوسط حرکت خودرو در طی مسیر، نوع خودرو و همچنین، شرایط ترافیکی و توپولوژی مسیر بستگی دارد. لذا، باید رویکردی به منظور محاسبه میزان انرژی مورد نیاز برای رسیدن خودرو به پارکینگ ارائه شود. عامل دوم، زمان مورد نیاز جهت دستیابی به تجهیزات شارژ و دشارژ است که از مجموع زمان مورد نیاز برای رسیدن خودرو به پارکینگ و زمان انتظار در صف جهت اتصال به تجهیزات شارژ و دشارژ به دست می آید. در این راستا، باید رویکردی به منظور محاسبه زمان مورد نیاز جهت دستیابی به تجهیزات شارژ و دشارژ و همچنین، حداقل سازی زمان انتظار خودروهای الکتریکی در صف اشاره نمود. عامل سوم، احتمال پذیرش خودروهای الکتریکی برای انجام فرآیند شارژ و دشارژ است که به میزان شلوغ بودن و ازدحام پارکینگ ها، تحت تأثیر قرار می گیرد. در واقع، ممکن است زمان و انرژی مورد نیاز برای رسیدن یک خودرو به یک پارکینگ، در شرایط مطلوبی باشد اما بهره بردار پارکینگ به دلیل تکمیل بودن ظرفیت پارکینگ در آن زمان، امکان پذیرش خودروی جدید نداشته باشد. لذا، باید رویکردی به منظور محاسبه احتمال پذیرش خودروهای الکتریکی به پارکینگ برای انجام فرآیند شارژ و دشارژ ارائه شود به نحوی که صاحب خودرو پیش از مراجعه به پارکینگ، از احتمال پذیرفته شدن توسط بهره بردار آن پارکینگ، مطلع شود. این امر می تواند ضمن صرفه جویی در زمان صاحبان خودرو، از ازدحام خودروها مقابل پارکینگ هایی که از ظرفیت کافی برای پذیرش خودروهای جدید برخوردار نیستند نیز جلوگیری به عمل آورد.

پس از اطمینان از انتخاب مناسب ترین پارکینگ برای هر خودرو، یعنی دستیابی خودرو به تجهیزات شارژ و دشارژ با صرف حداقل میزان انرژی در کمترین زمان، چالش باقیمانده دیگر، برنامه ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروها می باشد به نحوی که سود صاحبان خودروها حداکثر شود. در بسیاری از مطالعات قبلی، پارامترهایی نظیر زمان ورود خودروهای الکتریکی به پارکینگ و همچنین، سطح شارژ اولیه آن ها به عنوان پارامترهای دارای عدم قطعیت در نظر گرفته شده و مدل سازی شده اند. علی رغم کارایی روش های مدل سازی پارامترهای دارای عدم قطعیت، طبیعی است که در مقایسه با شرایط و مقادیر واقعی، همواره این روش ها مقداری خطا داشته باشند. لذا، باید رویکردی زمان حقیقی ارائه شود که نیازمند مدل سازی این پارامترها به صورت پارامترهای نامعین نباشد زیرا مقدار آن ها در زمان مراجعه خودرو به پارکینگ به صورت دقیق مشخص است. همچنین، مجموعه ای از روابط و معادلات بر برنامه ریزی خودروهای الکتریکی در پارکینگ حاکم است که می توان به کمک آن ها و بدون نیاز به استفاده از الگوریتم های ابتکاری و فراابتکاری، مسأله برنامه ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی را حل نمود. بنابراین، ضروری است یک مدل برنامه ریزی زمان حقیقی ارائه شود که بتواند بدون نیاز به مدل سازی پارامترهای مسأله به عنوان پارامترهای دارای عدم قطعیت و با تکیه بر منحنی مشخصه شارژ و دشارژ باتری خودروها و قوانین حاکم بر برنامه ریزی خودروها در پارکینگ، زمان های شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی را تعیین کند به نحوی که سود صاحبان خودروها حداکثر شود.

همان طور که مشاهده می شود، ورودی های مسأله از منابع مختلفی از جمله صاحبان خودروهای الکتریکی، شبکه بالادست، کارخانه های سازنده خودرو، پارکینگ ها و اپلیکیشن های مسیریابی نظیر Waze دریافت می شود. سپس، با استفاده از رویکرد پیشنهادی، احتمال پذیرش خودروها در هر پارکینگ با استفاده از روش مبتنی بر پوآسون و همچنین، انرژی مورد نیاز برای رسیدن به پارکینگ توسط روش درونیایی چندجمله ای و حداقل زمان مورد نیاز برای دستیابی به تجهیزات شارژ و دشارژ محاسبه می شود. همچنین، شاخص ورود خودروی الکتریکی به هر یک از پارکینگ ها محاسبه می شود. در نهایت، با استفاده از روش برنامه ریزی پیشنهادی که مبتنی بر منحنی مشخصه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی و قوانین حاکم بر برنامه ریزی پارکینگ است، زمان های بهینه شارژ و دشارژ هر خودرو توسط مرکز کنترل محاسبه می شود. مهم ترین خروجی های مسأله نیز شامل پیشنهاد مناسب ترین پارکینگ به هر خودرو جهت مراجعه، بازه های زمانی شارژ و دشارژ بهینه و حداقل هزینه شارژ خودروها می باشد. مهم ترین جنبه های نوآوری این مقاله به شکل زیر می باشد:

(۱) ارائه یک مدل زمان حقیقی مبتنی بر منحنی مشخصه شارژ/ دشارژ باتری و دستگاه معادلات حاکم بر پارکینگ برای برنامه ریزی بهینه شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی

(۲) ارائه یک روش مبتنی بر درونیایی چندجمله ای به منظور محاسبه حداقل انرژی مورد نیاز برای رسیدن خودروی الکتریکی به یک پارکینگ.

مروری بر ادبیات

تا کنون، مطالعات زیادی در این حوزه انجام شده است که در این بخش، تعدادی از مهمترین آن ها معرفی و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

(Einaddin & Yazdankhah, 2020)، ضمن ارائه یک مدل جامع برای ادغام شبکه های توزیع هوشمند با خودروهای الکتریکی، یک مدل چند هدفه به منظور بهره برداری بهینه از آن ها ارائه داده اند که اهدافی نظیر اصلاح بار اوج، به حداقل رساندن تلفات و به حداکثر رساندن سود صاحبان خودروهای الکتریکی را دنبال می کند. از مهم ترین مزایای این مدل می توان به امکان تخمین ظرفیت میزبانی شبکه های توزیع برای حضور خودروهای الکتریکی در آن و همچنین، کارایی آن برای مسائل در مقیاس بزرگ اشاره نمود. نتایج به دست آمده بیانگر کارایی رویکرد پیشنهادی در برآورده نمودن اهداف فنی شبکه توزیع و بیشینه نمودن سود صاحبان خودروهای الکتریکی می باشد. علاوه بر این، (Sedighzadeh et al, 2020)، حداکثر نمودن سود بهره بردار ریزشبکه و حداقل نمودن آلایندگی های

هوا را از مهم ترین اهداف روش ارائه شده برای بهره برداری بهینه از ریز شبکه با حضور خودروهای الکتریکی قرار داده اند. به منظور حل مسأله از یک چارچوب تصادفی مبتنی بر ϵ -constrained استفاده شده است. پیاده سازی مدل پیشنهادی، بیانگر کارایی اقتصادی و زیست محیطی آن است. (Kanellos, 2020)، روشی به منظور کنترل بلا درنگ و برنامه ریزی بهره برداری بهینه از شبکه های توزیع با نفوذ زیاد خودروهای الکتریکی ارائه نموده است. از مهم ترین اهداف این روش می توان به حداقل نمودن هزینه شارژ خودروها و برآورده نمودن محدودیت های شبکه توزیع و خودروهای الکتریکی با بکارگیری مدل های دقیق با نیازهای محاسباتی کم اشاره نمود. هم چنین، یک سیستم چند عاملی سلسله مراتبی به منظور مقابله با پیچیدگی فرآیند کنترل و جمع آوری اطلاعات لازم ارائه شده است. نتایج بیانگر مستقل بودن عملکرد روش پیشنهادی از تعداد خودروهای الکتریکی، دقت بالا و همگرایی مطلوب روش پیشنهادی می باشد. (Lai et al, 2020)، چارچوبی برای برنامه ریزی بهینه شارژ خودروهای الکتریکی با هدف به حداقل رساندن زمان تحویل مشتریان و هزینه شارژ به طور همزمان ارائه داده اند. در این راستا، ضمن در نظر گرفتن انتظارات مشتریان، یک مکانیزم قیمت گذاری در زمان استفاده برای تعیین قیمت مورد نیاز برای شارژ خودروها پیشنهاد شده است. بررسی نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی نشان می دهد که با بکارگیری روش پیشنهادی می توان تا ۱۸/۵ درصد در هزینه ها صرفه جویی نمود. علاوه بر این، (Fallah-Mehrjardi et al, 2020)، یک مدل برنامه ریزی شارژ تصادفی چند مرحله ای برای حداقل نمودن هزینه تأمین کل انرژی مورد انتظار برای یک پارکینگ عمومی در افق زمانی محدود ارائه و با استفاده از درخت سناریوی محدود تقریب زده شده است. هم چنین، برای حل مسأله یک روش برنامه نویسی پویا دوگانه تصادفی (SDDP) پیشنهاد شده است. به دلیل زمانبر بودن حل مسأله با استفاده از این روش، یک بار در حالت آفلاین اجرا شده و سپس نتایج برای حالت آنلاین به کار برده شده است. نتایج بیانگر این است که روش پیشنهادی قادر به حداقل نمودن هزینه تأمین انرژی در مقایسه با روش های قبلی می باشد. (Razipour et al, 2019)، یک رویکرد تصادفی جدید به منظور برنامه ریزی شارژ/دشارژ خودروهای الکتریکی در پارکینگ های هوشمند ارائه داده اند که از سیستم ذخیره سازی هیدروژن (HSS) برای مدیریت توان استفاده می کند. هدف این رویکرد، حداقل سازی هزینه های بهره برداری شامل هزینه خرید انرژی از شبکه بالادستی و هزینه شارژ خودروها می باشد. نتایج بیانگر کارایی این رویکرد در تحقق اهداف فنی و مالی مورد نظر می باشد. هم چنین، (Wang et al, 2020)، یک استراتژی برنامه ریزی دو مرحله ای برای خودروهای الکتریکی در مقیاس بزرگ ارائه داده اند که هدف آن، کاهش اثرات نامطلوب شارژ کنترل نشده خودروهای الکتریکی بر شبکه توزیع است. در مرحله اول، خودروهای الکتریکی و واحدهای thermal power با هدف حداقل سازی هزینه و انحراف استاندارد منحنی بار کل به طور مشترک برنامه ریزی می شوند. در مرحله دوم، مرکز مدیریت و کنترل بار خودروهای الکتریکی، برنامه های شارژ و دشارژ بهینه ای را برای صاحبان خودروها ارائه می دهد. در این راستا، هزینه جبران دشارژ خودروها برای بهبود تمایل صاحبان خودرو به مشارکت در برنامه ریزی در نظر گرفته شده است. این روش قادر است هزینه های شارژ و اثرات نامطلوب ناشی از شارژ کنترل نشده خودروها بر شبکه توزیع را به نحو مؤثری کاهش دهد. علاوه بر این، (Ghotge et al, 2020)، یک رویکرد شارژ هوشمند مبتنی بر کنترل پیش بینی مدل ارائه داده اند که در آن، پارامترهایی نظیر زمان ورود خودروهای الکتریکی به پارکینگ و میزان دیماند انرژی به عنوان پارامترهای دارای عدم قطعیت در نظر گرفته شده اند. هدف رویکرد پیشنهادی، کاهش میزان پیک تقاضای برق در پارکینگ است. نتایج بیانگر این است که تخمین دیماند خودروهای الکتریکی تأثیر قابل توجهی بر بهبود عملکرد سیستم دارد. هم چنین، رویکرد پیشنهادی می تواند پیک تقاضای برق را تا ۳۹ درصد در یک پارکینگ اداری کاهش دهد و بدین ترتیب، توسعه شبکه را به تعویق بیندازد.

روش تحقیق

احتمال پذیرش خودروهای الکتریکی در پارکینگ

تعداد خودروهای ورودی به هر یک از پارکینگ ها، با فاصله خودروها از آن پارکینگ رابطه عکس دارد. بنابراین، همان طور که در

رابطه (۱) نشان داده شده است، هر چه مجموع فواصل خودروها از پارکینگ کمتر باشد، احتمال مراجعه خودروها به آن پارکینگ بالاتر می باشد.

$$k_{(i,j)}^p = \frac{\left(\frac{1}{d_{(i,j)}^p} \right)}{\sum_{z=1}^{N_z} \left(\frac{1}{d_{(i,j)}^z} \right)} \quad (1)$$

که در آن، $k_{(i,j)}^p$ احتمال مراجعه خودروهای الکتریکی موجود در نقطه (i,j) ام واقع شده در ناحیه همپوشانی شده به پارکینگ p ام، $d_{(i,j)}^z$ فاصله نقطه (i,j) ام از محل پارکینگ z ام و N_z تعداد پارکینگ هایی که نقطه (i,j) ام در ناحیه آن ها قرار می گیرد. دقت شود که چنانچه نقطه (i,j) ام تنها در محدوده یک پارکینگ قرار بگیرد مقدار $k_{(i,j)}^p$ برابر یک می شود. در این شرایط، احتمال رفتن خودروهای موجود در نقطه (i,j) ام به پارکینگ با توجه به فاصله این نقطه از پارکینگ تعیین می شود که این موضوع در فرمول بندی مربوط به تخمین تعداد خودروهای الکتریکی ورودی به هر پارکینگ مورد توجه قرار گرفته است.

تخمین تعداد خودروهای الکتریکی مراجعه کننده به پارکینگ

با در اختیار داشتن احتمال ورود خودروهای الکتریکی به هر پارکینگ و با توجه به درصد رشد خودروهای الکتریکی، می توان، تعداد خودروهای الکتریکی که برای فرآیند شارژ و دشارژ در سال γ ام به پارکینگ b ام مراجعه می کنند را از رابطه زیر به دست آورد.

$$N_v^{b,\gamma} = \min \left(\sum_{(i,j)} N_v^0(i,j) \times k_{(i,j)}^b \times \prod_{y=1}^{\gamma} (1 + \lambda_y), \sum_{y=y_b}^{\gamma} C_{park}^{b,y} \right) \quad (2)$$

که در آن، $N_v^{b,\gamma}$ تعداد خودروهای الکتریکی است که برای انجام فرآیند شارژ و دشارژ در سال γ ام به پارکینگ b ام مراجعه می کنند. همچنین، $N_v^0(i,j)$ تعداد خودروهای الکتریکی اولیه موجود در هر نقطه از شبکه (تعداد خودروهای موجود در هر نقطه از شبکه در ابتدای افق برنامه ریزی که از الگوی توزیع خودروهای الکتریکی در شبکه به دست می آید) و λ_y درصد رشد خودروهای الکتریکی در سال γ ام می باشد. علاوه بر این، y_b سال احداث پارکینگ b ام و $C_{park}^{b,y}$ ظرفیت اضافه شده به پارکینگ b ام در سال γ ام می باشد.

محاسبه انرژی مورد نیاز برای رسیدن خودروهای الکتریکی به پارکینگ

چنانچه تعداد n زوج داده متناظر داشته باشیم و بخواهیم یک چندجمله ای از همه آن ها عبور کند، اولاً بایستی مرتبه چندجمله ای برابر $n - 1$ باشد، ثانیاً، باید ضرایب معادله چندجمله ای از حل دستگاه معادلات خطی زیر به دست آید.

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= a_0 + a_1 v_0^1 + \dots + a_{n-1} v_0^{n-1} \\ E_1 &= a_0 + a_1 v_1^1 + \dots + a_{n-1} v_1^{n-1} \\ &\dots \\ E_{n-1} &= a_0 + a_1 v_{n-1}^1 + \dots + a_{n-1} v_{n-1}^{n-1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & v_0 & \dots & v_0^{n-1} \\ 1 & v_1 & \dots & v_1^{n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & v_{n-1} & \dots & v_{n-1}^{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_0 \\ E_1 \\ \dots \\ E_{n-1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

با حل دستگاه معادلات فوق و یافتن مقادیر ضرایب a_0, a_1, \dots, a_{n-1} ، نهایتاً می توان با استفاده از رابطه زیر میزان انرژی مصرفی خودروی الکتریکی γ ام پس از طی کردن مسافت یک کیلومتر را در هر سرعت دلخواهی محاسبه نمود.

$$E_i^v = a_{i,0} + a_{i,1}v_i + \dots + a_{i,n-1}v_i^{n-1} \quad (4)$$

که در آن، E_i^v ، میزان انرژی مصرفی خودروی الکتریکی i ام پس از طی کردن مسافت یک کیلومتر را در سرعت v می باشد.

از سوی دیگر، صاحب خودروی الکتریکی می تواند در هر مکان و در هر زمان، سرعت متوسط مورد نیاز خودرو برای رسیدن به پارکینگ مورد نظر را محاسبه نماید. برای این کار می توان از اپلیکیشن هایی نظیر Waze استفاده نمود. با توجه به اینکه این اپلیکیشن، میزان مسافت تا مقصد مورد نظر و همچنین، مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن به آن مقصد را با در نظر گرفتن عواملی نظیر فاصله، توپولوژی مسیر و وضعیت ترافیک مشخص می کند، بنابراین، می توان سرعت متوسط مورد نیاز خودرو برای رسیدن از نقطه حضور خودرو تا پارکینگ مورد نظر را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$V_{avg}^{i,p} = \frac{Dis_i^p}{T_i^p} \quad (5)$$

که در آن، $V_{avg}^{i,p}$ ، سرعت متوسط مورد نیاز خودروی الکتریکی i ام برای رسیدن به پارکینگ p ام، Dis_i^p ، فاصله خودروی i ام از پارکینگ p ام و T_i^p ، مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن خودروی الکتریکی i ام به پارکینگ p ام می باشد.

با محاسبه میزان سرعت متوسط مورد نیاز خودرو برای رسیدن به پارکینگ مورد نظر از رابطه (۵) و انرژی مورد نیاز برای طی کردن مسافت یک کیلومتر با این سرعت از رابطه (۴)، نهایتاً، می توان انرژی مورد نیاز خودروی i ام برای رسیدن از هر نقطه دلخواه به پارکینگ p ام است که از رابطه زیر به دست می آید.

$$E_r^{i,p} = \sqrt{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2} \times E_i^v \quad (6)$$

که در آن، $E_r^{i,p}$ ، انرژی مورد نیاز خودروی i ام برای رسیدن از هر نقطه دلخواه به پارکینگ p ام و (x_i, y_i) ، مختصات مبدأ حرکت خودروی i ام و (x_p, y_p) ، مختصات مربوط به پارکینگ p ام است.

ارائه الگوریتم زمان حقیقی جهت برنامه ریزی بهینه شارژ و دشارژ و مدیریت انرژی در ایستگاه های شارژ خودروهای الکتریکی

مجموع مدت زمان شارژ و مدت زمان دشارژ خودروهای الکتریکی برابر با کل مدت زمان حضور خودرو در پارکینگ می باشد.

$$T_{Ch}^i + T_{Dch}^i = T_E^i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_v \quad (7)$$

که در آن، T_{Dch}^i و T_h^i ، به ترتیب، مدت زمان های شارژ و دشارژ و T_E^i ، کل مدت زمان حضور خودروی الکتریکی i ام در پارکینگ می باشد. همچنین، N_v ، تعداد کل خودروهای الکتریکی می باشد.

همان طور که در رابطه (۸)، نشان داده شده است، اختلاف میان مقادیر شارژ و دشارژ خودرو در زمان حضور خودروی الکتریکی در پارکینگ، برابر با اختلاف بین سطوح شارژ اولیه و نهایی است.

$$R_{Ch}^i \times T_{Ch}^i \times \eta_{Ch}^i - R_{Dch}^i \times T_{Dch}^i \times \frac{1}{\eta_{Dch}^i} = SOC_d^i - SOC_a^i \quad (8)$$

که در آن، R_{Dch}^i و R_{Ch}^i به ترتیب، نرخ های شارژ و دشارژ خودروی الکتریکی i ام، η_{Dch}^i و η_{Ch}^i به ترتیب، بهره وری شارژ و دشارژ برای خودروی الکتریکی i ام می باشند. همچنین، T_{Dch}^i و T_{Ch}^i به ترتیب، بیان گر کل زمان شارژ و کل زمان دشارژ خودروی الکتریکی i ام در طول مدت زمان حضور آن در پارکینگ می باشند. علاوه بر این، SOC_a و SOC_d به ترتیب، نشان دهنده سطح شارژ نهایی مطلوب و سطح شارژ اولیه خودروی الکتریکی می باشد.

مقادیر پارامترهای R_{Dch}^i ، R_{Ch}^i ، η_{Dch}^i و η_{Ch}^i معلوم می باشند. علاوه بر این، پارامترهای T_E ، SOC_d و SOC_a نیز با مدل سازی احتمالاتی محاسبه می شوند. بنابراین، در روابط (۷) و (۸)، دو پارامتر T_{Dch}^i و T_{Ch}^i ، پارامترهایی مجهول می باشند. با جایگذاری رابطه (۷) یعنی $(T_{Dch}^i = T_E^i - T_{Ch}^i)$ ، در رابطه (۸)، رابطه زیر حاصل می شود.

$$T_{Dch}^i = \frac{\eta_{Dch}^i (R_{Ch}^i \times \eta_{Ch}^i \times T_E^i + SOC_a^i - SOC_d^i)}{R_{Ch}^i \times \eta_{Ch}^i \times \eta_{Dch}^i + R_{Dch}^i} \quad (9)$$

پس از محاسبه T_{Dch}^i از رابطه فوق و قرار دادن آن در رابطه (۷)، T_{Ch}^i نیز به دست می آید.

نکته قابل توجه این است که ممکن است مقادیر T_{Dch}^i و T_{Ch}^i برای یک خودرو، به صورت اعداد اعشاری محاسبه گردند. این امر بدین معنی است، که خودرو باید در بخشی از یک بازه زمانی، شارژ و در بخش دیگر همان بازه زمانی، دشارژ شود (در این رساله، این بازه، بازه زمانی مشترک نامیده می شود). این امر، قید بیان شده در رابطه (۱۰)، را نقض می کند. این قید بیان می کند که خودروهای الکتریکی نمی توانند در یک بازه زمانی هم شارژ و هم دشارژ شوند.

$$X_{EV}^{i,t} + Y_{EV}^{i,t} \leq 1, \quad X_{EV}^{i,t}, Y_{EV}^{i,t} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, N_v, \quad \forall t \in [t_a^i, t_d^i]$$

که در آن، $X_{EV}^{i,t}$ یک متغیر باینری است که نشان دهنده وضعیت شارژ یا عدم شارژ i امین خودروی الکتریکی در t امین بازه زمانی است. همچنین، $Y_{EV}^{i,t}$ یک متغیر باینری است که نشان می دهد وضعیت دشارژ یا عدم دشارژ خودروی الکتریکی i ام در بازه زمانی t ام می باشد. علاوه بر این، t_a^i و t_d^i به ترتیب، زمان های ورود و خروج خودروی الکتریکی i ام از پارکینگ می باشند.

برای حل مشکل همزمانی شارژ و دشارژ در بازه زمانی مشترک، باید زمان های شارژ و دشارژ به دست آمده، اصلاح شوند. لذا، ابتدا، اختلاف بین توان های شارژ و دشارژ شده در بازه زمانی مشترک محاسبه می شود.

$$P_{req}^i = \left| \underbrace{(T_{Dch}^i - [T_{Dch}^i]) \times \frac{R_{Dch}^i}{\eta_{Dch}^i}}_{L_1} - \underbrace{(T_{Ch}^i - [T_{Ch}^i]) \times R_{Ch}^i \times \eta_{Ch}^i}_{L_2} \right| \quad (11)$$

که در آن، P_{req}^i مقدار توانی است که خودروی الکتریکی i ام باید در بازه زمانی مشترک با پارکینگ مبادله نماید. $[T_{Dch}^i]$ و $[T_{Ch}^i]$ ، به ترتیب، بخش صحیح T_{Dch}^i و T_{Ch}^i می باشند. بنابراین، $T_{Dch}^i - [T_{Dch}^i]$ و $T_{Ch}^i - [T_{Ch}^i]$ به ترتیب، بیان گر بخش اعشاری T_{Dch}^i و T_{Ch}^i می باشند.

با مشخص بودن میزان توان شارژ و دشارژ شده در هر بازه زمانی و همچنین، قیمت انرژی الکتریکی در هر بازه زمانی، می توان حداکثر سود یا به عبارت دیگر، حداقل هزینه صاحب خودرو را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$Cost_i = \sum_{t=t_d^i}^{t_d^i} X_{EV}^{i,t} \times (R_{Ch}^i \times \Delta t \times \eta_{Ch}^i \times Pr^t) - Y_{EV}^{i,t} \times \left(R_{Dch}^i \times \Delta t \times \frac{I}{\eta_{Dch}^i} \times Pr^t \right) - \frac{Pr_{batt}^i}{S_N^i} \times \max(S_L^i - S_d^i, 0) \quad (12)$$

که در آن، $Cost_i$ ، کل هزینه خودروی الکتریکی نام در مدت زمان حضور در پارکینگ است. t_d^i و t_a^i به ترتیب، زمان ورود به پارکینگ و زمان خروج از پارکینگ برای خودروی الکتریکی نام می باشند. Pr^t ، قیمت انرژی الکتریکی در بازه زمانی نام می باشد. همچنین، Pr_{batt}^i ، قیمت باتری خودروی الکتریکی نام، S_N^i ، حداکثر تعداد دفعات کلیدزنی ممکن بین حالات شارژ و دشارژ برای باتری خودروی نام می باشد. علاوه بر این، S_L^i ، تعداد دفعات کلیدزنی باتری خودروی نام در مدت زمان حضور آن در پارکینگ و S_d^i ، تعداد دفعات مجاز کلیدزنی باتری بین حالات شارژ و دشارژ در مدت زمان حضور خودروی نام در پارکینگ می باشد.

تجزیه و تحلیل نتایج

معرفی داده های ورودی مسأله

به منظور ارزیابی عملکرد رویکرد پیشنهادی برای بهره برداری بهینه از پارکینگ خودروهای الکتریکی، پیاده سازی آن روی یک پارکینگ انجام شده است. تعداد خودروهای الکتریکی ۱۲۰ فرض شده است. این داده ها بر اساس مطالعه آماری انجام شده روی پارکینگ در ایالات متحده استخراج شده است. ساعت کار پارکینگ از ۷ صبح تا ۷ بعدازظهر و طول هر بازه زمانی برای فرآیند شارژ و دشارژ ۱ ساعت در نظر گرفته شده است.

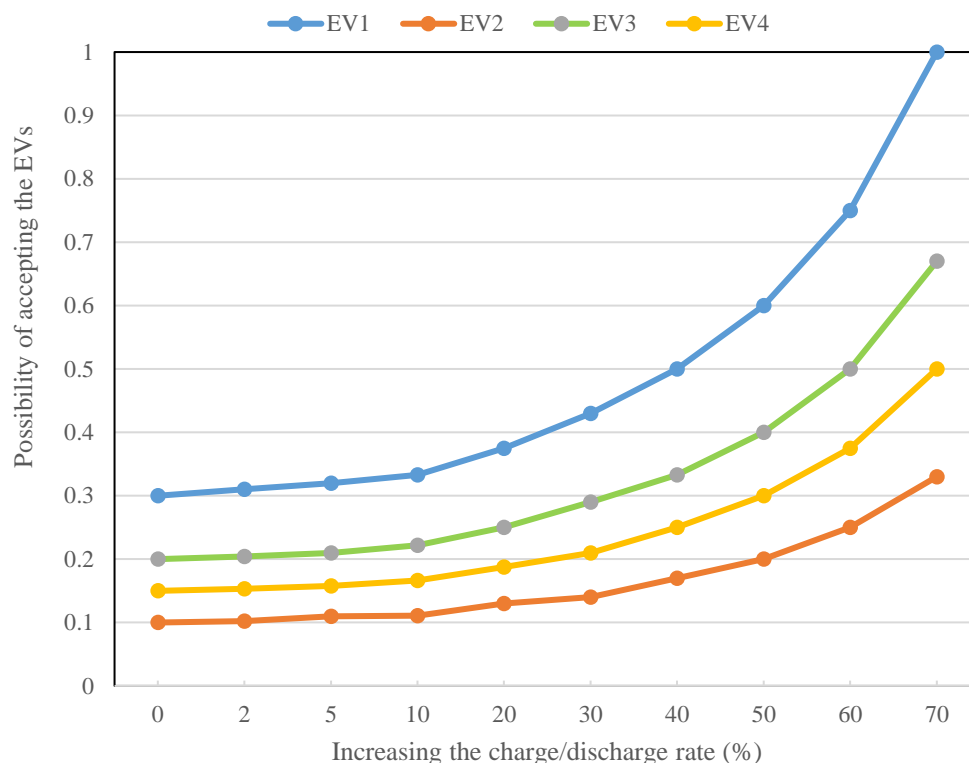
همچنین، به منظور جهان واقعی بودن داده ها، از مشخصات سه نوع خودروی الکتریکی واقعی در شبیه سازی ها استفاده شده است که مشخصات آن ها به صورت نشان داده شده در جدول (۱)، می باشد (Mirzaei, & Siano, 2022). علاوه بر این، داده های مربوط به قیمت انرژی الکتریکی نیز از مرجع (Mirzaei & Kazemi, 2020)، استخراج شده است.

نتایج و بحث

نرخ شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی ممکن است احتمال پذیرش خودروهای الکتریکی توسط بهره بردار پارکینگ را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، احتمال پذیرش چهار خودروی نوعی به ازای مقادیر مختلف افزایش میزان نرخ شارژ و دشارژ خودروها در شکل (۱)، نشان داده شده است.

جدول (۱): داده های مربوط به خودروهای الکتریکی

نوع خودرو	بهره وری شارژ و دشارژ	ظرفیت باتری (کیلووات ساعت)	نرخ شارژ و دشارژ (کیلووات ساعت)
Tesla S Performance (T)	۰/۹۵	۹۵	۱۳/۵۷
Nissan Leaf (N)	۰/۹۵	۳۸	۳/۰۴
Peugeot iOn (P)	۰/۹۱	۱۴/۵	۳/۰۵



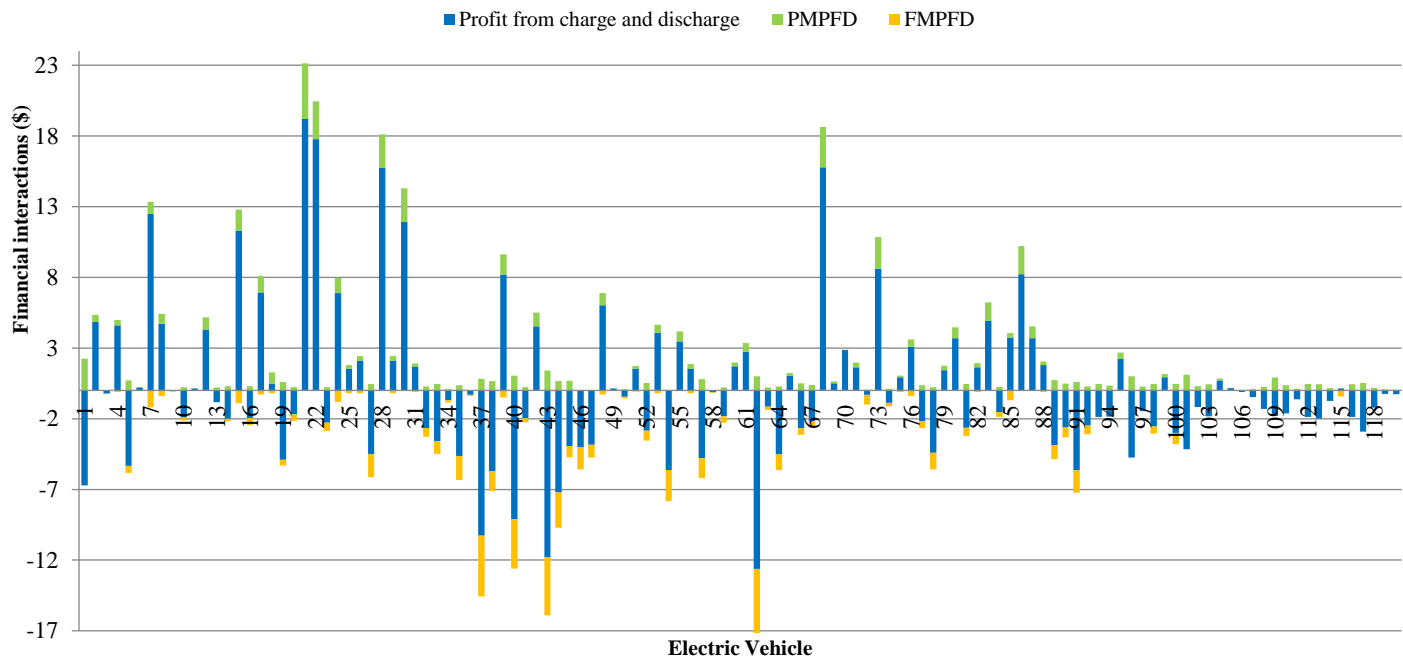
شکل (۱): احتمال پذیرش خودروهای مختلف به ازای مقادیر مختلف افزایش میزان نرخ شارژ و دشارژ خودروها

همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر چه میزان افزایش نرخ شارژ و دشارژ خودروهای موجود در پارکینگ بیشتر باشد، احتمال پذیرش خودروی جدید نیز با شیب بیشتری افزایش می‌یابد. هم‌چنین، هر چه احتمال پذیرش اولیه خودروی الکتریکی در پارکینگ کمتر باشد، تأثیر افزایش نرخ شارژ و دشارژ بر افزایش احتمال پذیرش آن کمتر خواهد بود. با افزایش نرخ شارژ و دشارژ، فرآیند شارژ و دشارژ خودروها با سرعت بالاتری انجام می‌شود. در نتیجه، خودروها نیازمند زمان کمتری برای حضور در پارکینگ و رسیدن به سطح شارژ نهایی مطلوب خواهند شد. بنابراین، پارکینگ را سریع‌تر ترک نموده و بدین ترتیب، ظرفیت خالی پارکینگ افزایش یافته و احتمال پذیرش خودروهای الکتریکی جدید افزایش خواهد یافت.

میزان سود مربوط به صاحبان خودروهای الکتریکی در طی مدت زمان حضور خودروی آن‌ها در پارکینگ در شکل (۲)، نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، علاوه بر سود حاصل از شارژ در ساعات با قیمت انرژی پایین و دشارژ در ساعات با قیمت انرژی بالا، سود تشویقی حاصل از همسو بودن جهت شارژش توان در خودروها با جهت مرود نظر پارکینگ (PMPFD) نیز به برخی از خودروهای الکتریکی تعلق گرفته است. علت این امر، این است که زمان شارژ و دشارژ این خودروها با زمان‌های شارژ و دشارژ بهینه پارکینگ منطبق بوده است. یعنی در زمانی که پارکینگ بر اساس برنامه بهینه جهت کسب حداکثر سود نیازمند تزریق توان به شبکه بوده است، این خودروهای الکتریکی در حالت دشارژ قرار گرفته و در این امر به بهره‌بردار پارکینگ کمک کرده‌اند. هم‌چنین، در وضعیتی که پارکینگ بر اساس برنامه بهینه برای حداکثر شدن سود خود نیازمند خرید توان از شبکه بوده است، خودروها در حالت شارژ قرار گرفته و مجدداً هم راستا با جهت تزریق مورد نظر بهره‌بردار پارکینگ عمل کرده‌اند. لذا، در این

حالت، یک سود تشویقی مازاد بر سود حاصل از شارژ و دشارژ خودرو نیز از طرف بهره‌بردار پارکینگ به آن‌ها تعلق قرار گرفته است.

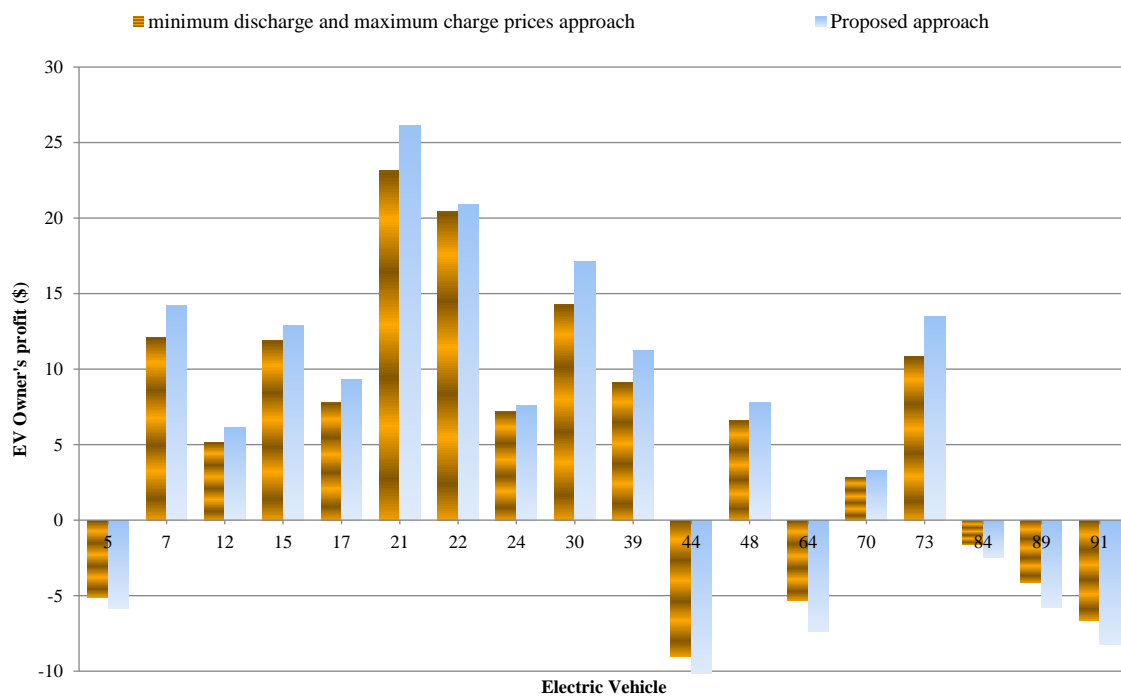


شکل (۲): تعاملات مالی صاحبان خودروهای الکتریکی با پارکینگ

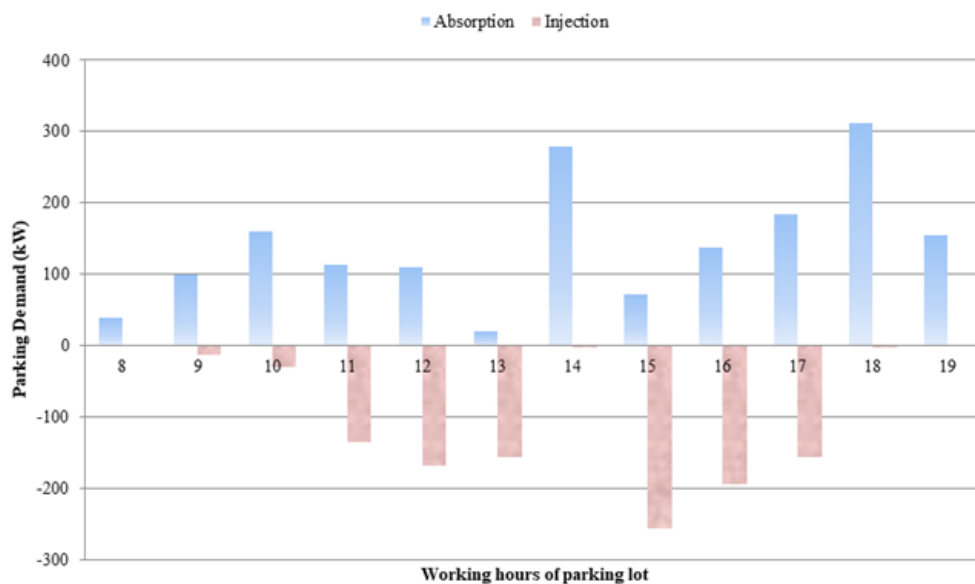
علاوه بر این، مشاهده می‌شود که برخی از خودروهای الکتریکی مجبور به پرداخت جریمه (FMPFD) شده‌اند. دلیل این امر، این است که جهت تبادل توان این خودروها، با جهت مطلوب بهره‌بردار پارکینگ ناسازگار بوده است. یعنی در هنگامی که پارکینگ در وضعیت تزریق توان به شبکه قرار داشته است، این خودروها در حالت شارژ قرار گرفته‌اند و همچنین، در زمانی که پارکینگ در حال جذب توان از شبکه بوده است، این خودروها در حالت دشارژ قرار گرفته‌اند. در این حالت، بهره‌بردار پارکینگ از ارائه خدمات به صاحبان این خودروها امتناع نکرده است اما به دلیل اینکه سود بهره‌بردار پارکینگ به سبب ارائه خدمات به این خودروها نسبت به حالت بهینه کاهش یافته است، جریمه‌ای برای این خودروها در نظر گرفته شده است که میزان این جریمه متناسب با تأثیرگذاری هر خودرو بر سود پارکینگ بوده است.

علاوه بر این، تبادل توان تعدادی از خودروهای الکتریکی در برخی از بازه‌های زمانی منطبق با برنامه بهینه پارکینگ و در برخی دیگر از بازه‌ها با آن ناسازگار است. در نتیجه به این خودروها هم PMPFD و هم FMPFD تعلق گرفته است.

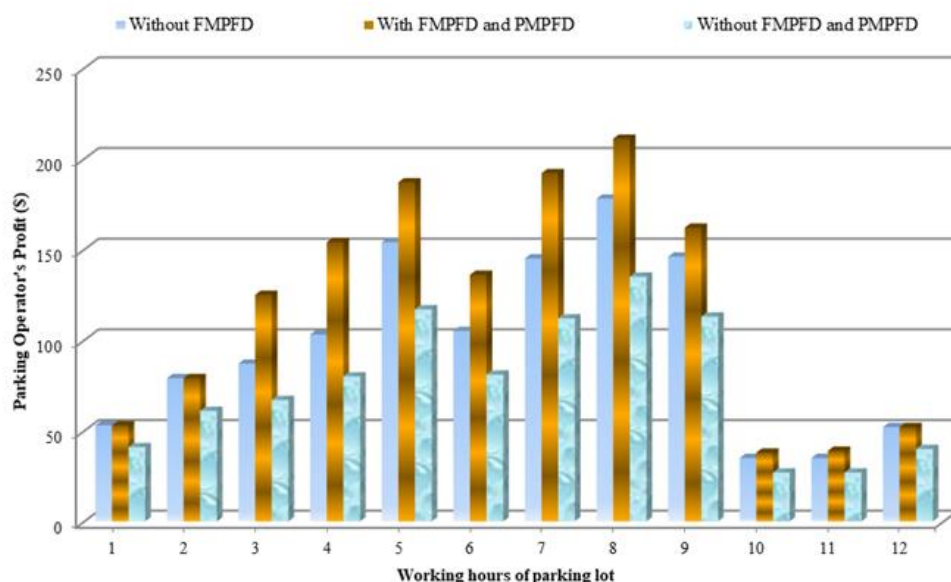
سود خالص صاحبان خودروهای الکتریکی از کسر مقادیر جریمه از مجموع سود آن‌ها حاصل می‌شود. مقایسه سود پارکینگ با بکارگیری رویکرد ارائه شده توسط (Zakariazadeh, 2014) و رویکرد پیشنهادی برای تضمین حداکثر شدن سود صاحبان خودروهای الکتریکی در شکل (۳)، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سود ۱۸ نفر از صاحبان خودروهای الکتریکی در رویکرد پیشنهادی بیشتر از رویکرد دیگر است که نشان دهنده برتری رویکرد اصلاح شده‌ای است که در این مقاله ارائه شده است. لازم به ذکر است در مورد بقیه خودروها، هر دو رویکرد نتایج یکسانی ارائه می‌دهند.



شکل (۳): مقایسه سود پارکینگ با بکارگیری دو رویکرد مختلف برای تضمین حداکثر شدن سود صاحبان خودروهای الکتریکی



شکل (۴): دیمانند پارکینگ



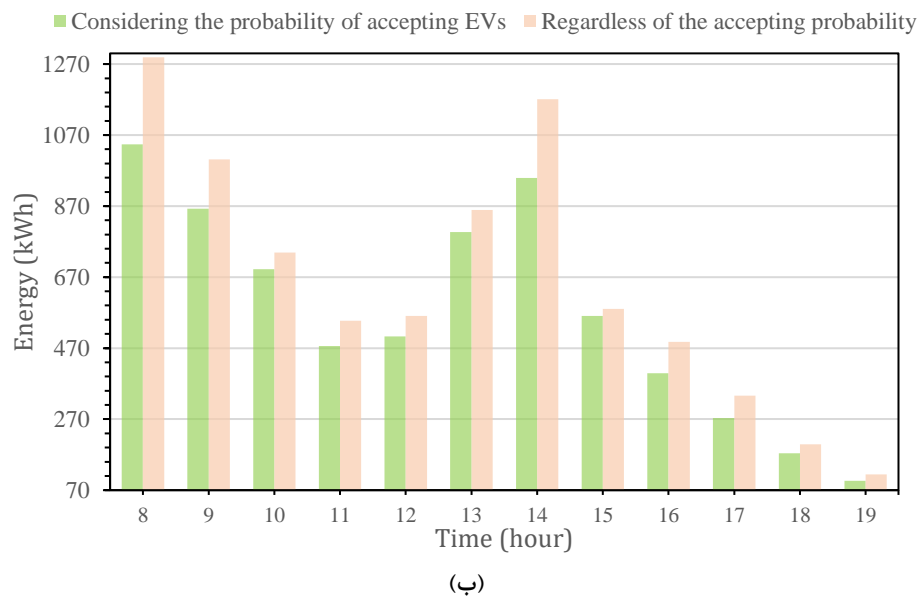
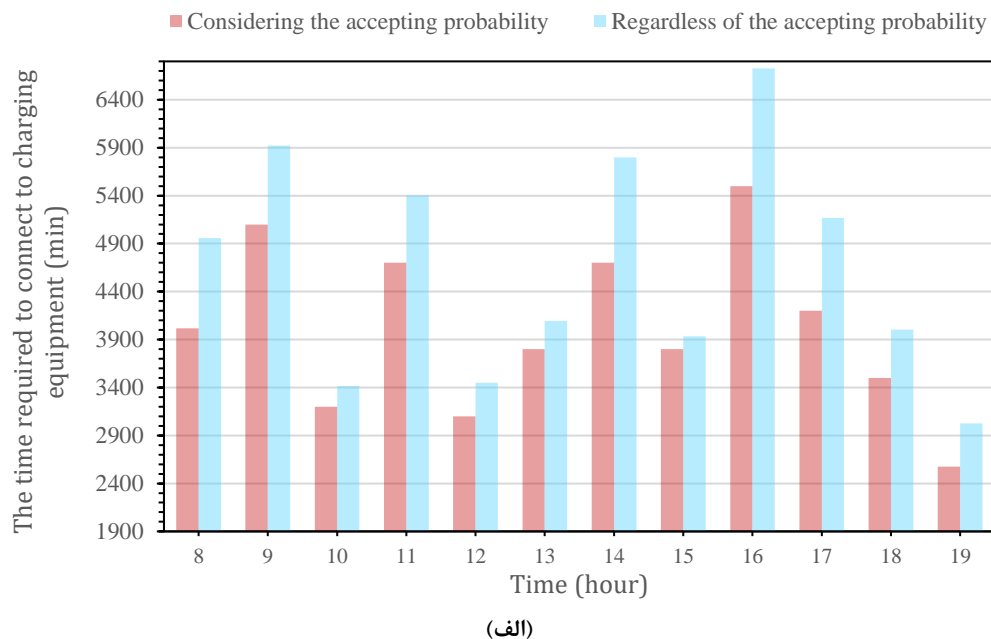
شکل (۵): سود بهره‌بردار پارکینگ در حالات مختلف

دیماند پارکینگ در ساعات مختلف در شکل (۴)، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این مقادیر با برنامه بهینه پارکینگ نیز سازگار است.

سود بهره‌بردار پارکینگ در سه حالت بدون در نظر گرفتن جریمه، بدون در نظر گرفتن سود و جریمه و با در نظر گرفتن سود و جریمه در شکل (۵)، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بدون در نظر گرفتن سیاست‌های تشویقی و تنبیهی برای صاحبان خودروهای الکتریکی، سود بهره‌بردار پارکینگ در کمترین مقدار قرار دارد. همچنین، استفاده از رویکرد پیشنهادی منجر به افزایش سود پارکینگ شده است زیرا صاحبان خودروهای الکتریکی را به هماهنگ کردن زمان‌های شارژ و دشارژ خود با برنامه بهینه پارکینگ ترغیب نموده است.

به منظور ارزیابی عملکرد رویکرد پیشنهادی به منظور محاسبه احتمال پذیرش خودروهای الکتریکی توسط بهره‌بردار پارکینگ، مطالعات در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن احتمال پذیرش خودروها توسط بهره‌بردار پارکینگ، انجام شده و نتایج در شکل (۶) با یکدیگر مقایسه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بدون در نظر گرفتن احتمال پذیرش خودرو توسط بهره‌بردار پارکینگ، انرژی مورد نیاز برای رسیدن به پارکینگ و زمان مورد نیاز برای اتصال خودروها به تجهیزات شارژ و دشارژ افزایش می‌یابد. ممکن است خودروها به پارکینگ مراجعه کنند و بهره‌بردار پارکینگ به دلیل تکمیل ظرفیت پارکینگ در آن ساعت، از ورود خودرو به پارکینگ جلوگیری نماید. به همین دلیل، صاحبان خودرو باید به پارکینگ دیگری مراجعه کنند.



شکل (۶): مقایسه نتایج در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن احتمال پذیرش خودروها توسط بهره‌بردار پارکینگ (الف) زمان مورد نیاز برای دستیابی به تجهیزات شارژ و دشارژ (ب) انرژی مورد نیاز برای دستیابی به پارکینگ

در نتیجه انرژی مورد نیاز برای رسیدن به پارکینگ و زمان مورد نیاز برای اتصال خودروها به تجهیزات شارژ و دشارژ افزایش می‌یابد. در حالی که با در نظر گرفتن احتمال پذیرش خودرو توسط بهره‌بردار پارکینگ، طبیعتاً صاحبان خودرو از مراجعه به پارکینگ‌هایی که ظرفیتی خالی برای پذیرش خودرو ندارند یا احتمال پذیرش خودروها در آن‌ها پایین است، خودداری می‌کنند و بدین ترتیب، انرژی مورد نیاز برای رسیدن به پارکینگ و زمان مورد نیاز برای اتصال خودروها به تجهیزات شارژ و دشارژ کاهش می‌یابد.

با در نظر گرفتن احتمال پذیرش خودروها در پارکینگ، از ازدحام خودروها در برخی از پارکینگ‌ها جلوگیری می‌شود. به عبارت دیگر، خودروها به طور یکنواخت‌تر بین پارکینگ‌های مختلف تقسیم می‌شوند.

نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی در این مقاله، به شرح زیر می‌باشد:

نتایج نشان می‌دهد که با بکارگیری الگوریتم زمان حقیقی پیشنهادی، در مورد هر خودرو، بازه‌های زمانی که خودرو باید شارژ یا دشارژ شود مشخص شده است. همچنین، در بازه‌های زمانی مشترک، خودروهای الکتریکی یا شارژ می‌شوند یا دشارژ و شارژ و دشارژ به صورت همزمان انجام نمی‌شود.

بررسی تعاملات مالی صاحبان خودروهای الکتریکی با بهره‌بردار پارکینگ نشان می‌دهد که بهره‌بردار پارکینگ توانسته است با استفاده از الگوریتم زمان حقیقی پیشنهادی، سود صاحبان خودروها را حداکثر نماید. همچنین، با در نظر گرفتن سیاست‌های تشویقی و تنبیهی توانسته است به آن دسته از خودروهای الکتریکی که مطابق با برنامه‌ریزی بهینه پارکینگ عمل کرده‌اند، سود بیشتری نیز در قالب برنامه‌های تشویقی پرداخت کند.

سود خالص صاحبان خودروهای الکتریکی از کسر مقادیر جریمه از مجموع سود آن‌ها حاصل می‌شود. مقایسه سود پارکینگ با بکارگیری رویکرد ارائه شده در مطالعات پیشین و رویکرد پیشنهادی برای تضمین حداکثر شدن سود صاحبان خودروهای الکتریکی نشان داده است که سود برخی از صاحبان خودروهای الکتریکی در رویکرد پیشنهادی بیشتر از رویکرد دیگر است که نشان دهنده برتری رویکرد اصلاح شده‌ای است که در این مقاله ارائه شده است.

بدون در نظر گرفتن سیاست‌های تشویقی و تنبیهی برای صاحبان خودروهای الکتریکی، سود بهره‌بردار پارکینگ در کمترین مقدار قرار دارد. همچنین، استفاده از رویکرد پیشنهادی منجر به افزایش سود پارکینگ شده است زیرا صاحبان خودروهای الکتریکی را به هماهنگ کردن زمان‌های شارژ و دشارژ خود با برنامه بهینه پارکینگ ترغیب نموده است.

منابع

Alireza Zakariazadeh, and Shahram Jadid. "Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle-to-grid concept and battery condition." *Energy* 65 (2014): 572-579.

Einaddin, A. H., & Yazdankhah, A. S. (2020). A novel approach for multi-objective optimal scheduling of large-scale EV fleets in a smart distribution grid considering realistic and stochastic modeling framework. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105617.

Fallah-Mehrjardi, O., Yaghmaee, M. H., & Leon-Garcia, A. (2020). Charge scheduling of electric vehicles in smart parking-lot under future demands uncertainty. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(6), 4949-4959.

Ghotge, R., Snow, Y., Farahani, S., Lukszo, Z., & van Wijk, A. (2020). Optimized scheduling of EV charging in solar parking lots for local peak reduction under EV demand uncertainty. *Energies*, 13(5), 1275.

Kanellos, F. D. (2020). Optimal scheduling and real-time operation of distribution networks with high penetration of plug-in electric vehicles. *IEEE Systems Journal*, 15(3), 3938-3947.

Kazemi, M. A., Sedighizadeh, M., Mirzaei, M. J., & Homaei, O. (2016). Optimal siting and sizing of distribution system operator owned EV parking lots. *Applied energy*, 179, 1176-1184.

Lai, K., Chen, T., & Natarajan, B. (2020). Optimal scheduling of electric vehicles car-sharing service with multi-temporal and multi-task operation. *Energy*, 204, 117929.

Liu, W. L., Gong, Y. J., Chen, W. N., Liu, Z., Wang, H., & Zhang, J. (2019). Coordinated charging scheduling of electric vehicles: A mixed-variable differential evolution approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(12), 5094-5109.

Mirzaei M. J, Homaei O, Kazemi A (2015), A probabilistic approach to determine optimal capacity and location of electric vehicles parking lots in distribution networks. *IEEE Trans on industrial informatics*, 12: 1963-1972.

Mirzaei, M. J., & Kazemi, A. (2020). A dynamic approach to optimal planning of electric vehicle parking lots. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 24, 100404.

Mirzaei, M. J., & Kazemi, A. (2020). A dynamic approach to optimal planning of electric vehicle parking lots. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 24, 100404.

Mirzaei, M. J., & Siano, P. (2022). Dynamic long-term expansion planning of electric vehicle parking lots considering lost opportunity cost and energy saving. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 140, 108066.

Razipour, R., Moghaddas-Tafreshi, S. M., & Farhadi, P. (2019). Optimal management of electric vehicles in an intelligent parking lot in the presence of hydrogen storage system. *Journal of Energy Storage*, 22, 144-152.

Sedighizadeh, M., Alavi, S. M. M., & Mohammadpour, A. (2020). Stochastic optimal scheduling of microgrids considering demand response and commercial parking lot by AUGMECON method. *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 16(3), 393-411.

Wang, X., Sun, C., Wang, R., & Wei, T. (2020). Two-stage optimal scheduling strategy for large-scale electric vehicles. *IEEE Access*, 8, 13821-13832.

Xie, L., Luo, Y., Zhang, D., Chen, R., & Li, K. (2019). Intelligent energy-saving control strategy for electric vehicle based on preceding vehicle movement. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 130, 484-501.



Presenting a real-time algorithm to improve energy management in electric vehicle charging stations

Kasra Soleimanpour

Master's degree, Power Engineering, Islamic Azad University, Ashtian branch

Abstract

In this paper, a real-time algorithm is presented to improve energy management in electric vehicle charging stations. In this regard, first, a method for calculating the probability of accepting electric vehicles in the parking lot has been presented. In the following, the method of estimating the number of electric vehicles referring to the parking lot is presented and introduced. Also, a method for calculating the energy required for electric vehicles to reach the parking lot has been provided. In addition, a real-time algorithm for optimal charging and discharging planning and energy management in electric vehicle charging stations has been presented. To solve the optimization problem, the genetic pattern with non-dominant sorting has been used. The uncertainties of the problem of optimal energy management in charging stations have been modeled using the point estimation method. The proposed method is implemented on a kind of parking lot. The obtained results show that by using the proposed real-time algorithm, for each car, the time intervals when the car should be charged or discharged have been determined. Investigating the financial interactions of electric car owners with the parking operator shows that the parking operator has been able to maximize the profit of the car owners by using the proposed real time algorithm. Also, by taking into account incentive and punishment policies, it has been able to pay more profit in the form of incentive programs to those electric vehicles that have acted according to the optimal parking planning. In addition to the optimal planning of electric vehicles, the proposed method is able to provide the optimal parking injection and absorption program to obtain maximum profit.

Keywords: Optimal energy management, charging stations, electric vehicles, real time algorithm, uncertainty.