

مکان‌یابی احتمالاتی پارکینگ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری

محمد مهدی قاسمی‌پور^۱، ابوالفضل صدقی^۲، محمدرضا آقا‌ابراهیمی^۳، مریم رمضانی^۴

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه بیرجند

بیرجند، ایران

¹ mahdi.ghasemipour@birjand.ac.ir, ² abolfazl.sedghi@birjand.ac.ir, ³ aghaebrahimi@birjand.ac.ir,
⁴ mramezani@birjand.ac.ir

۱. مقدمه

چکیده — در آینده نزدیک، الکتریکی کردن ناوگان حمل و نقل راه‌کار مهمی برای کاهش آلودگی محیط زیست خواهد بود. با اتخاذ استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری از خودروهای الکتریکی، پارکینگ این خودروها در دو نقش بار و یا منبع تولید انرژی برای شبکه توزیع عمل می‌کند. این استراتژی‌ها شامل شارژ کنترل نشده، شارژ کنترل شده و شارژ و دشارژ هوشمند می‌باشند. بنابراین مکان قرار گرفتن این پارکینگ‌ها برای شرکت‌های توزیع برق از نقطه نظر تلفات و ولتاژ شبکه بسیار حائز اهمیت است. مشخصه توان پارکینگ خودروهای الکتریکی ماهیتی غیر قطعی و احتمالاتی دارد. از دیگر سو توان تزریقی پارکینگ‌ها می‌تواند، موجب جابه‌جایی ساعات پیک بار سیستم گردد. بنابراین مکان‌یابی پارکینگ براساس بار پیک سیستم پاسخ حقیقی این مسئله را در بر نخواهد داشت. در این مقاله تاثیر استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری از خودروهای الکتریکی بر مکان‌یابی پارکینگ‌های اداری و مسکونی، تلفات و ولتاژ شبکه توزیع بررسی گردیده است. مکان‌یابی با در نظر گرفتن مدل احتمالاتی بار و تولید پارکینگ‌ها و تقریب مناسبی از بار سالیانه ساعتی صورت پذیرفته است. بهینه‌سازی بر پایه یک روش ترکیبی جدید شامل الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و شبیه‌سازی مونت کارلوی ترتیبی، انجام شده است.

واژه‌های کلیدی — مکان‌یابی پارکینگ؛ خودروهای الکتریکی؛ شبکه

توزیع؛ الگوریتم بهینه‌سازی فاخته؛ مونت کارلوی ترتیبی؛

امروزه منابع تولید پراکنده برای صنعت برق از جاذبه ویژه‌ای برخوردارند. این منابع در برخی مواقع جایگزین پروژه‌های توسعه، تولید یا انتقال گردیده و یا آن‌ها را به تعویق می‌اندازند و بدین گونه باعث افزایش سودآوری شرکت‌های برق می‌شوند. با پیشرفت تکنولوژی باتری، استفاده از خودروهای الکتریکی (EV) در برخی کشورها به سرعت در حال رشد می‌باشد. براساس مطالعه‌ای از سازمان مهارت و نوآوری انگلستان انتظار می‌رود ۳۷٪ از ناوگان خودروها تا سال ۲۰۳۰ خودروهای الکتریکی باشند [۱]. با افزایش نفوذ EVها، به دلیل ماهیت تصادفی شارژ باتری و حضور در مکان‌های مختلف این خودروها، به شبکه توزیع بار تحمیل می‌گردد. اگر این تحمیل بار در زمان پیک اتفاق بیافتد باعث تاثیرات نامطلوب بر شبکه توزیع از جمله افزایش تلفات و افت ولتاژ می‌گردد [۲]. از طرفی با رشد شبکه‌های هوشمند می‌توان با کنترل آنلاین، از قابلیت تبادل دو‌جهته توان EVها و به‌خصوص قابلیت دشارژ (V2G) خودروها استفاده کرد. از این رو می‌توان از پارکینگ خودروهای الکتریکی (EVP) به‌عنوان نمونه جدیدی از منابع تولید پراکنده در آینده استفاده کرد [۳]. با اتخاذ استراتژی هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در محدوده پارکینگ های اداری و مسکونی می‌توان انرژی ذخیره شده در باتری خودروها را در بار پیک دشارژ و در

¹ Electric Vehicle

² Vehicle to Grid

³ Electrical Vehicles Parking

۲. مدل احتمالاتی بار و تولید پارکینگ

برای بهره‌وری بیشتر از EVها باین از این خودروها به صورت مجموعه خودرو توسط مجتمع‌کننده بهره‌بردار ی کرد [۱۰]. با توجه به ماهیت احتمالاتی خودروها باید از مدل احتمالاتی برای تعیین مدل خودروها استفاده کرد [۱۱]. این احتمالات شامل ظرفیت باتری خودرو، مسافت طی شده توسط خودرو، زمان خروج خودرو از خانه، مدت زمان سفر و مدت زمان پارک خودرو در پارکینگ اداری و مسکونی می‌باشد. که برای به دست آوردن این متغی‌های تصادفی از تابع توزیع نرمال محدود شده در [۱۱] جهت محدود کردن تولید متغی تصادفی در بازه دلخواه، استفاده شده است. شایان ذکر است مقادیر میانگین و انحراف معیار متغی‌های تصادفی از [۱۱] استخراج گردیده است. با به دست آمدن مسافت طی شده توسط هر خودرو، وضعیت شارژ (SOC) اولیه آن مطابق (۱) حاصل می‌گردد [۱۲].

$$SOC_{int}^i = \left(1 - \frac{D^i}{D_{max}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

در (۱)، D^i مسافت طی شده توسط خودروی i ام و D_{max} حداکثر مسافتی است که خودرو می‌تواند سفر کند. مقدار پارامتر D_{max} ۱۲۸ کیلومتر در نظر گرفته شده است [۱۲]. میزان شارژ باتری خودروی الکتریکی در هنگام شارژ و دشارژ در پارکینگ از (۲) به دست می‌آید.

$$SOC_t^i = [SOC_{t-1}^i \pm A_t \cdot (Ch_{rate} \text{ or } Dch_{rate})] \times 100\% \quad (2)$$

در (۲)، A_t گام زمانی در بازه مورد مطالعه، Ch_{rate} نرخ شارژ باتری و Dch_{rate} نرخ دشارژ باتری خودرو می‌باشد. انرژی تولیدی یا مصرفی مجموعه باتری خودروها توسط مجتمع‌کننده در هر لحظه از زمان، از (۳) به دست می‌آید [۱۱].

$$E_{agg}^t = \sum_{i=1}^B K^i \Psi_t^i SOC_t^i \quad (3)$$

در (۳)، K^i ظرفیت باتری خودروی i ام و Ψ_t^i بیانگر وضعیت اتصال یا عدم اتصال خودروی i ام به شبکه است. اگر Ψ_t^i برابر ۱ باشد، به معنای اتصال خودرو به شبکه و در صورتی که مقدار این پارامتر ۰ باشد، به معنای عدم اتصال به شبکه می‌باشد. مجتمع‌کننده به منظور بهینه‌سازی مدل بار و تولید، باید با استفاده از قابلیت ارتباط آنلاین به برنامه‌ریزی هوشمند شارژ و دشارژ باتری خودروها در محدوده پارکینگ‌ها پردازد. از این رو تابع برازندگی و قیود مساله مکان‌یابی در ادامه بیان می‌گردد.

دره بار شارژ نمود و سبب اصلاح منحنی بار شد. بنابراین لازم است برای حضور بهینه EVها برنامه‌ریزی دقیقی صورت پذیرد. مطالعات متعددی پیرامون تاثیر EVها بر سیستم قدرت و مخصوصاً سیستم توزیع انجام گردیده که برخی مطالعات فقط تاثیر شارژ خودروها، برخی دیگر فقط به جنبه دشارژ این خودروها پرداخته و برخی دیگر به جنبه احتمالاتی رفتار صاحبان خودروها توجهی نکرده‌اند.

در [۴] و [۵] نشان داده شده که با اتخاذ استراتژی‌های هوشمند در بهره‌برداری از EVها تاثیر نامطلوب این خودروها بر سیستم قدرت کاهش می‌یابد. مرجع [۳] مکان‌یابی چندهدفه EVP را به منظور بهبود ولتاژ، قابلیت اطمینان و کاهش هزینه، بدون در نظر گرفتن مدل شارژ باتری خودروها انجام داده است. در [۶] و [۷] مکان‌یابی پارکینگ به منظور کاهش تلفات توان بدون در نظر گرفتن مدل احتمالاتی EVP و نیاز باتری خودروها به شارژ انجام پذیرفته است. مرجع [۸] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی مونت کارلو به مکان‌یابی و تعیین ظرفیت EVP و منابع تولید پراکنده برای شارژ باتری خودروها پرداخته است. در [۹] نیز به تعیین ظرفیت و مکان EVP برای شارژ باتری EVها پرداخته شده است. در صورتی که مدل‌سازی دقیق EVP، نیازمند در نظر گرفتن هم‌زمان اثر شارژ و دشارژ و رفتار احتمالاتی خودروهای الکتریکی می‌باشد. از دیگر سو، در بسیاری از مطالعات مکان‌یابی منابع تولید پراکنده، بار پیک به عنوان بار شبکه در نظر گرفته شده و تلفات فیدر در سال بر مبنای آن محاسبه شده است. در حالیکه میزان بار در طول روز متغیر است و مقدار تلفات در ساعات مختلف متفاوت می‌باشد. علاوه بر این، با اعمال استراتژی کنترلی هوشمند، به سبب دشارژ باتری خودروها در ساعات پیک، امکان جابه جایی ساعت پیک در سیستم توزیع وجود دارد. در نتیجه نتایج واقعی با آنچه از مطالعه با بار پیک حاصل شده متفاوت خواهد بود.

در این مقاله ابتدا مدل کاملی از رفتار احتمالاتی حضور خودروها در پارکینگ‌های اداری و مسکونی ارائه شده است. شارژ و دشارژ هوشمند خودروها نیز توسط یک روش ترکیبی جدید، شامل الگوریتم بهینه سازی فاخته و شبیه سازی مونت کارلو ترکیبی صورت می‌پذیرد. در نهایت به منظور کاهش تلفات و بهبود ولتاژ شبکه توزیع، مجدداً توسط الگوریتم بهینه‌سازی فاخته مکان احداث پارکینگ‌های اداری و مسکونی تعیین گردیده است. مطالعات ذکر شده به دلیل بررسی هم‌زمان اثر شارژ و دشارژ خودروها و تفاوت الگوی رانندگی در روزهای کاری و آخر هفته، بر پایه بار ساعتی روزهای کاری و آخر هفته فصول مختلف سال صورت پذیرفته است.

۲.۱. تابع برازندگی و قیود مدل بار و تولید

Dch_{rate} است. شارژ خودروها نیز در ساعاتی که بار کم‌تر از $X_{op}\%$ باشد، با نرخ Dch_{rate} صورت می‌پذیرد.

با بهینه شدن پارامترهای کنترلی، به دلیل احتمالاتی بودن رفتار خودروها، لازم است مدل نهایی بار و تولید توسط شبیه‌سازی مونت‌کارلوی ترتیبی استخراج گردد. در شبیه‌سازی مونت‌کارلو فرآیند شارژ و دشارژ و سفر روزانه خودروها، بر اساس پارامترهای احتمالاتی و بهینه شده برای یک دوره طولانی شبیه‌سازی می‌گردد. پس از برقراری معیار هم‌گرایی شبیه‌سازی متوقف شده و میانگین مدل بار و تولید استخراج می‌شود. در این مقاله معیار هم‌گرایی مورد نظر، ضریب پراکندگی σ میانگین و پیک بار و تولید پارکینگ‌ها می‌باشد.

بهره‌برداری از خودروهای الکتریکی شامل شارژ کنترل نشده (UCM)، شارژ کنترل شده (CCM) و شارژ و دشارژ هوشمند (SCDM) می‌باشد. در حالت شارژ کنترل نشده، هیچ‌گونه کنترلی بر شارژ باتری خودروها وجود ندارد و خودروها به محض اتصال به شبکه شارژ می‌گردند. برای دو حالت دیگر به منظور بهینه‌سازی شارژ و دشارژ و در نتیجه مدل بار و تولید، تابع برازندگی جدیدی به منظور پیک‌سایی و پرکردن دره منحنی بار تعریف شده است، که در (۴) آمده است.

$$Min \text{ Fit} = (a \times C_p \times N_h^2) + (b \times C_{op}^{-1} \times N_L^2) + (c \times MSE_h) \quad (4)$$

در (۴) a ، b و c ضرایب تعدیل تابع برازندگی، C_p پیک بار، C_{op} کمینه بار، N_h مجموع دقایقی که بار از درصد پیک‌سایی ($X_p\%$) تجاوز کرده باشد، N_L مجموع دقایقی که بار از درصد دره افزایشی ($X_{op}\%$) بار کمتر باشد و MSE_h مجموع مربعات خطا بین درصد پیک‌سایی و پیک بار می‌باشد. شایان ذکر است که در حالت CCM ضرایب a و b به دلیل در نظر نگرفتن دشارژ برابر صفر و در حالت SCDM این ضرایب به‌طور تجربی به دست آمده است. قیود بهینه‌سازی شامل میزان شارژ و نرخ شارژ و دشارژ باتری می‌باشد که به ترتیب از (۵) تا (۷) مشاهده می‌گردد.

$$S.t. \quad SOC_{min} \leq SOC^i \leq 1 \quad (5)$$

$$S.t. \quad Ch_{rate}^{min} \leq Ch_{rate} \leq Ch_{rate}^{max} \quad (6)$$

$$S.t. \quad Dch_{rate}^{min} \leq Dch_{rate} \leq Dch_{rate}^{max} \quad (7)$$

در (۵)، SOC_{min} برای پارکینگ اداری به اندازه‌ای است که باتری خودرو SOC کافی جهت سفر بازگشت به خانه را داشته باشد، هم‌چنین این پارامتر برای پارکینگ مسکونی تا قبل از نیمه‌شب با عمق دشارژ باتری محدود می‌گردد و پس از آن به میزانی است که سفر روزانه خودرو تضمین شود. در (۶) و (۷)، Ch_{rate}^{min} و Dch_{rate}^{min} کمینه نرخ شارژ و دشارژ و Ch_{rate}^{max} و Dch_{rate}^{max} حداکثر نرخ شارژ و دشارژ می‌باشند.

پارامترهای بهینه‌سازی عبارتند از $X_p\%$ ، $X_{op}\%$ ، Ch_{rate} و Dch_{rate} ساعاتی که بار بیشتر از $X_p\%$ باشد، ساعات مجاز برای دشارژ با نرخ

۲.۲. تابع برازندگی و قیود مکان‌یابی پارکینگ

برای بهینه‌سازی مکان پارکینگ‌های اداری و مسکونی نظیر به معرفی تابع برازندگی می‌باشد. تابع برازندگی استفاده شده به منظور بهبود ولتاژ و کاهش تلفات در (۸) آمده است.

$$Min \text{ Fitness} = C_{loss} + k \times (dif_{hV} + dif_{LV}) \quad (8)$$

$$C_{loss} = \sum_{d=1}^D W_d \times P_{lm}^d \quad (9)$$

$$P_{loss}^h = \sum_{i,j=1}^n (R_{ij} \times |I_{ij}|^2) \quad i \neq j \quad (10)$$

در (۸)، C_{loss} هزینه تلفات، dif_{hV} مجموع بالازدگی ولتاژ باس‌های با ولتاژ بیش از ۱ پریونیت، dif_{LV} مجموع پایین‌زدگی ولتاژ باس‌های با ولتاژ کم‌تر از ۱ پریونیت و k ضریب تعدیل است. در (۹)، D تعداد روزهای مورد مطالعه است و W_d ضریب اهمیت روز کاری و آخر هفته است، که برای روز کاری و آخر هفته به ترتیب مقادیر $\frac{6}{V}$ و $\frac{1}{V}$ دارد. هم‌چنین P_{loss}^h تلفات پیک در ساعت h و P_{lm}^d حداکثر تلفات روز d می‌باشد. در (۱۰)، R_{ij} و I_{ij} مقاومت و جریان خط بین باس i و j است. قیود مسئله مکان‌یابی شامل قیود پخش بار، تعادل توان در حالت بار و تولید و محدودیت بارگذاری می‌باشد، که به ترتیب در (۱۱) تا (۱۵) آورده شده است.

$$P_g + \sum P_{V2G}^i = P_D + P_{loss} \quad (11)$$

¹ Uncontrolled Charging Mode

² Controlled Charging Mode

³ Smart Charge/Discharge Mode

⁴ Coefficient of variation

برآورده شود. در [۱۳] شبکه‌کد این الگوریتم مانند آنچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، آمده است.

$$P_g = P_D + \sum P_{G2V}^i + P_{loss} \quad (12)$$

$$Q_g = Q_D + Q_{loss} \quad (13)$$

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (14)$$

$$|I_{ij}| \leq |I_{ij}|^{max} \quad (15)$$

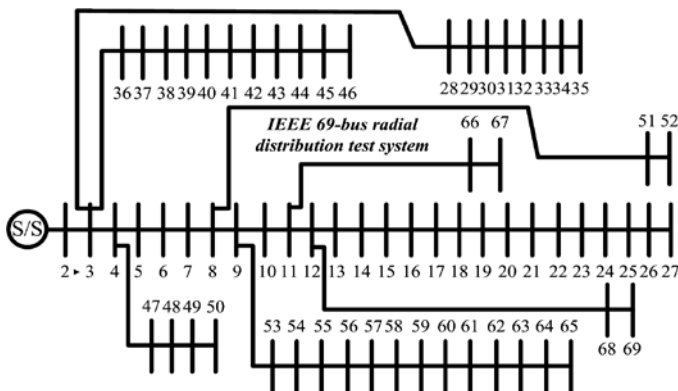
در معادلات بالا، P_g و Q_g توان اکتیو و راکتیو تولیدی است. در (۱۱)، P_{V2G}^i توان تولیدی است. در (۱۲)، P_{G2V}^i توان مصرفی خودروی i ، P_D و Q_D دیماندا اکتیو و راکتیو مصرفی، P_{loss} و Q_{loss} تلفات اکتیو و راکتیو و V_i^{min} و V_i^{max} به ترتیب کمینه و بیشینه ولتاژ مجاز در باس i می‌باشد. در (۱۵)، $|I_{ij}|^{max}$ اندازه حداکثر جریان قابل عبور بین باس i و j می‌باشد.

۱. تعیین مکان زندگی فاخته‌ها به صورت تصادفی
۲. اختصاص تعدادی تخم برای هر فاخته
۳. تعیین شعاع تخم‌گذاری هر فاخته
۴. تخم‌گذاری هر فاخته در شعاع تخم‌گذاری
۵. از بین بردن تخم‌های شناسایی شده توسط پرنده میزبان
۶. رشد و نمو جوجه‌های حاصل از تخم‌ها
۷. تعیین مکان زندگی برای جوجه فاخته‌های بالغ شده
۸. جهت ثابت ماندن تعداد جمعیت، فاخته‌هایی که در مکان مناسبی نیستند از بین می‌روند.
۹. دسته‌بندی فاخته‌ها و تعیین مکان زندگی هدف بر اساس اطلاعات بهترین دسته
۱۰. مهاجرت فاخته‌های جدید به مکان زندگی هدف
۱۱. توقف الگوریتم در صورت برقراری شرط توقف، در غیر اینصورت ادامه از گام ۲

شکل ۱: شبکه‌کد الگوریتم بهینه‌سازی فاخته [۱۳]

۴. سیستم مورد مطالعه و فرآیند مکان‌یابی

در این مقاله برای مکان‌یابی پارکینگ‌های مسکونی و اداری، از شبکه ۶۹ باس^۱ IEEE [۱۴]، مطابق با شکل ۲ استفاده شده است.



شکل ۲: شبکه ۶۹ باس^۱ IEEE [۱۴]

پارکینگ خودروهای الکتریکی به دلیل محدودیت‌هایی از قبیل مکان احداث، توانایی نصب در هر مکان را ندارند؛ از این رو باس‌های کاندید برای احداث پارکینگ‌های مسکونی و اداری در جدول ۱ آمده است. برای اعمال استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری از EVها بر مکان‌یابی EVP، ابتدا مدل بار و تولید برای استراتژی‌های مختلف، طبق آنچه بیان شد استخراج می‌گردد. در ادامه الگوریتم فاخته، بهینه‌سازی مکان احداث پارکینگ‌ها را عهده‌دار می‌شود. تخم‌های هر فاخته در واقع مکان احداث هر پارکینگ هستند. به منظور اعمال تاثیر مدل بار و تولید هر پارکینگ بر شبکه، مقدار خروجی این مدل با بار باس انتخاب شده جمع می‌گردد. سپس برآورد زندگی هر فاخته بر اساس تلفات و ولتاژ باس‌های شبکه محاسبه می‌گردد، بدین منظور از پخش بار جاروب رفت و برگشت استفاده شده است [۱۵].

۳. الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

الگوریتم بهینه‌سازی فاخته یکی روش تکاملی جدیدی بوده که از زندگی پرنده‌های موسوم به فاخته الهام گرفته است. فاخته‌ها در محل زندگی، دارای محدوده مشخصی برای تخم‌گذاری هستند. این پرنده‌ها در لانه تعدادی از پرندگان میزبان شروع به تخم‌گذاری کرده و تعدادی از این تخم‌ها که شباهت بیشتری به تخم‌های پرنده میزبان دارند شانس بیشتری برای رشد و بالغ شدن خواهند داشت. سالی تخم‌ها توسط پرنده میزبان از بین می‌روند. وقتی جوجه فاخته‌ها بالغ شدند برای تخم‌گذاری به محل‌های سکونت بهتر که در آنجا شانس بیشتر زنده ماندن تخم‌ها وجود دارد مهاجرت می‌کنند. پس از تشکیل گروه‌های فاخته در مناطق مختلف، گروه دارای بهترین موقعیت به عنوان نقطه هدف برای سایر فاخته‌ها جهت مهاجرت انتخاب می‌شود و فاخته‌های بالغ در این مکان، مجدداً تخم‌گذاری می‌کنند [۱۳].

در الگوریتم فاخته، هر پرنده به منزله یک پاسخ و تخم هر پرنده به منزله یک بُعد پاسخ می‌باشد که با تخم‌گذاری پرندگان جمعیت اولیه برای بهینه‌سازی شکل می‌گیرد. پرندگان دارای شعاع تخم‌گذاری^۱ (ELR) مشخص بوده و باید در این محدوده تخم‌گذاری کنند. پس از تخم‌گذاری پرندگان، تخم‌هایی که شباهت بیشتری به تخم‌های پرنده فاخته دارند رشد یافته و تبدیل به جوجه می‌گردند و مابقی تخم‌ها از بین می‌روند. پس از بالغ شدن جوجه‌ها، فاخته‌های جدید به دسته‌های مختلف تقسیم شده و بهترین مکان برای تخم‌گذاری مجدد پرندگان انتخاب و پرندگان به آن موقعیت مهاجرت می‌کنند. این فرآیند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که شرط توقف

¹ Egg Laying Radius

جدول ۲: مشخصات بارهای نماینده بار سالیانه

روز	نماد	نسبت پیک بار به پیک بار کل
کاری بهار و پاییز	FSD	۰.۸
آخر هفته بهار و پاییز	FSE	۰.۸×۰.۷۵
کاری تابستان	SD	۰.۹
آخر هفته تابستان	SE	۰.۹×۰.۷۵
کاری زمستان	WD	۱
آخر هفته زمستان	WE	۱×۰.۷۵

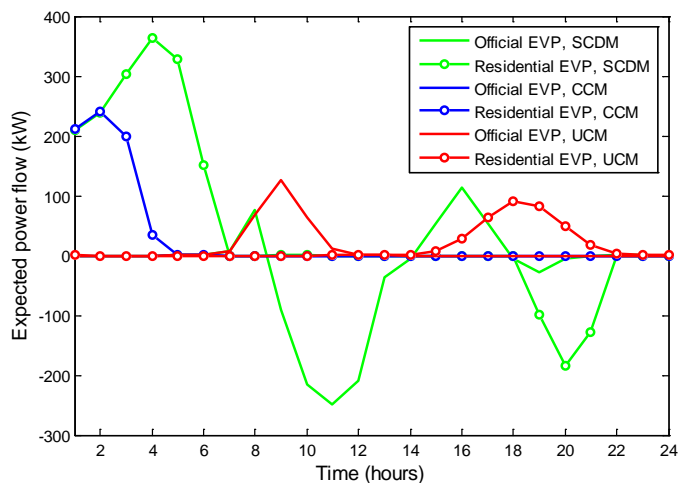
جدول ۱: باس‌های کاندید پارکینگ‌های مسکونی و اداری

باس‌های کاندید	ظرفیت (خودرو)	نوع پارکینگ
۵۳-۶۵	۱۱۰	اداری
۳۶-۴۶	۴۰	مسکونی ۱
۱۴-۲۷	۷۰	مسکونی ۲

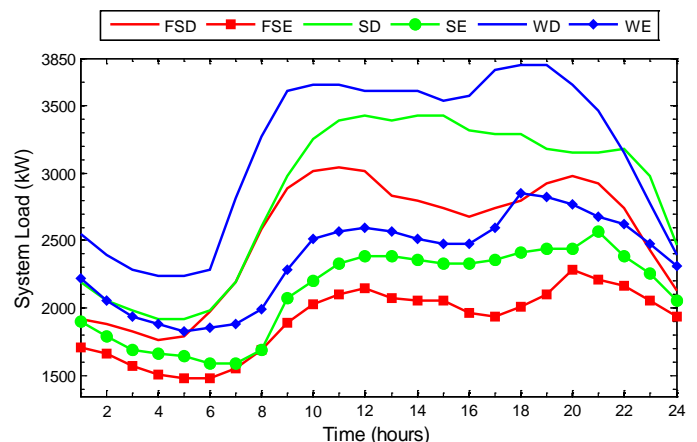
فرآیند شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی دارای ترتیب زمانی است، از این رو لازم است مطالعات بر اساس بار ساعتی سیستم صورت پذیرد. از دیگر سو به دلیل دشارژ خودروها در ساعات پیک، امکان جابه‌جایی ساعت پیک وجود دارد. بنابراین در نظر گرفتن بار پیک به‌عنوان نماینده بار شبکه برای مطالعه مکان‌یابی پاسخ حقیقی مساله را در بر نخواهد داشت. این امر دلیل مهم دیگری بر لزوم استفاده از مدل بار ساعتی سیستم است. در بسیاری از مطالعات، بررسی تاثیر EVها با بار یک روز نمونه مورد مطالعه قرار گرفته است. این در حالی است که سطح بار در طول سال متغیر است. از این رو در این مقاله از مدل بار ساعتی و سالیانه IEEE-RTS [۱۶] به‌عنوان بار شبکه ۶۹ باس، با پیک بار ۳۰۸۰۱.۹ کیلووات استفاده گردیده است. بررسی بار سالیانه برای مکان‌یابی نیاز به اعمال ۸۷۶۰ پخش بار برای هر فاصله دارد که بسیار زمان‌بر خواهد بود. با توجه به تفاوت الگوی رانندگی در روزهای کاری و آخر هفته، یک روز کاری و یک روز آخر هفته از هر فصل به‌عنوان بار نماینده آن فصل انتخاب می‌گردد. از طرف دیگر، باتوجه یکسان بودن الگوی بار در طول یک فصل و فصول پاییز و بهار در بار RTS، ۳ روز کاری و ۳ روز آخر هفته، نماینده بار سالیانه خواهند بود. روزهای نماینده دارای بیشترین پیک بار در روزهای کاری و آخر هفته آن فصل می‌باشند. شکل ۳ و جدول ۲ به ترتیب الگوی بار و مشخصات بارهای نماینده فصول مختلف سال را نشان می‌دهند.

۵. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

در این بخش به مکان‌یابی ۲ پارکینگ مسکونی به ظرفیت‌های ۴۰ و ۷۰ خودرو و ۱ پارکینگ اداری به ظرفیت ۱۱۰ خودرو در استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری پرداخته شده است. شکل ۴ مشخصه بار و تولید مورد انتظار پارکینگ‌های مسکونی و اداری روز کاری بهار و پاییز را بر اساس استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری نشان می‌دهد.



شکل ۴: مشخصه بار و تولید پارکینگ‌ها در استراتژی‌های بهره‌برداری مختلف با مقایسه شکل ۴ و مدل بار روز کاری بهار و پاییز در شکل ۳ مشاهده می‌شود که در UCM، کنترلی بر شارژ باتری خودروها صورت پذیرفته و خودروها در پارکینگ‌های مسکونی و اداری، گاهاً در پیک بار شارژ گردیده‌اند. در CCM شارژ باتری خودروها کنترل گردیده و در زمان کم‌باری که در پارکینگ‌های مسکونی هستند شارژ می‌گردند. در SCDM باتری خودروهای موجود در پارکینگ‌های اداری و مسکونی در کم‌باری شارژ و در پیک بار دشارژ می‌شوند. با به‌دست آمدن مدل بار و تولید پارکینگ‌ها، مکان‌یابی پارکینگ‌ها توسط الگوریتم فاصله‌گرفته صورت می‌پذیرد، که نتایج آن در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

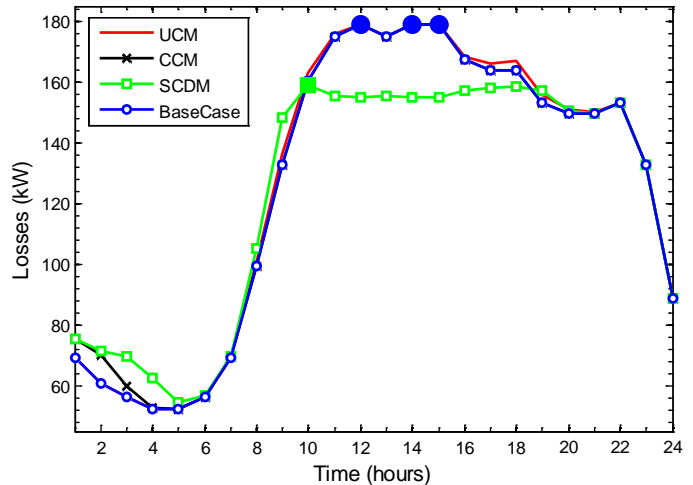


شکل ۳: بار نماینده روزهای کاری و آخر هفته بار سالیانه

جدول ۳: تاثیر استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری بر مکان‌یابی EVP

استراتژی بهره‌برداری	شماره باس پارکینگ			هزینه تلفات	برازندگی
	اداری	مسکونی ۱	مسکونی ۲		
UCM	۵۳	۳۶	۱۴	۶۴۳.۵	۶۶۷.۹
CCM	۶۱	۴۰	۲۲	۶۳۶.۹	۶۵۸.۶
SCDM	۶۵	۴۵	۲۱	۵۸۶.۷	۶۰۵.۲

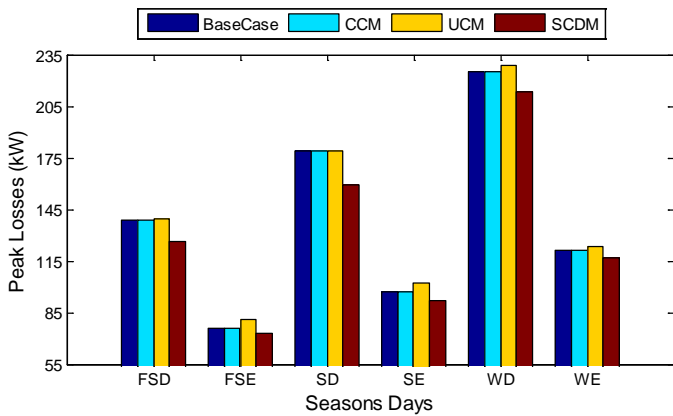
از جدول ۳ مشاهده می‌گردد که استراتژی بهره‌برداری بر مکان‌یابی EVP و هزینه تلفات پیک روزهای مورد مطالعه تاثیر می‌گذارد. برای بررسی دقیق‌تر در شکل ۵ تلفات ساعتی روز کاری تابستان آمده است.



شکل ۵: تلفات ساعتی روز کاری تابستان

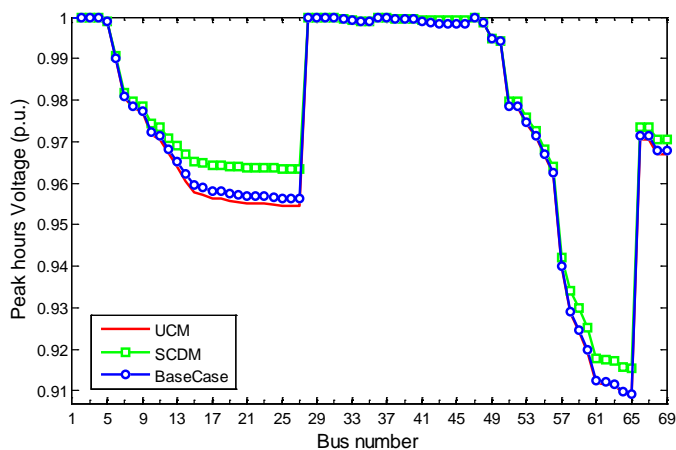
با توجه به شکل ۵، مشاهده می‌شود که SCDM با شارژ باتری EVها در ساعات کم‌باری و دشارژ آن‌ها در ساعات پیک، باعث کاهش تلفات پیک از ۱۷۸.۹ به ۱۵۹.۲ کیلووات و تغییر ساعت پیک از ساعات ۱۲، ۱۴، ۱۵ به ساعت ۱۰ گردیده است. به همین دلیل مطالعه تاثیر EVها بر مکان‌یابی EVP با فرض بار پیک به‌عنوان بار سیستم صحیح نمی‌باشد.

شکل ۶ تاثیر استراتژی‌های بهره‌برداری را بر تلفات در روزهای کاری و آخر هفته فصول مختلف نشان می‌دهد. در شکل ۶ مشاهده می‌گردد که UCM به خاطر عدم کنترل شارژ باتری EVها، سبب افزایش مجموع تلفات پیک شده است. در CCM به دلیل کنترل شارژ باتری‌ها، در بار پیک به شبکه بار تحمیل نمی‌گردد. به همین دلیل تلفات برای CCM با تلفات حالت پایه برابر می‌باشد. در SCDM با برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ می‌توان تلفات پیک سیستم را به‌خوبی کاهش داد. به‌عنوان مثال تلفات روز کاری زمستان که دارای بیشترین مقدار در تمام فصول و به میزان ۲۲۴.۹ کیلووات می‌باشد، در UCM افزایش یافته و به ۲۲۸.۷ کیلووات می‌رسد؛ در حالی‌که تلفات برای SCDM با کاهش به ۲۱۳.۱ کیلووات می‌رسد.



شکل ۶: تلفات پیک روزهای کاری و آخر هفته فصول مختلف

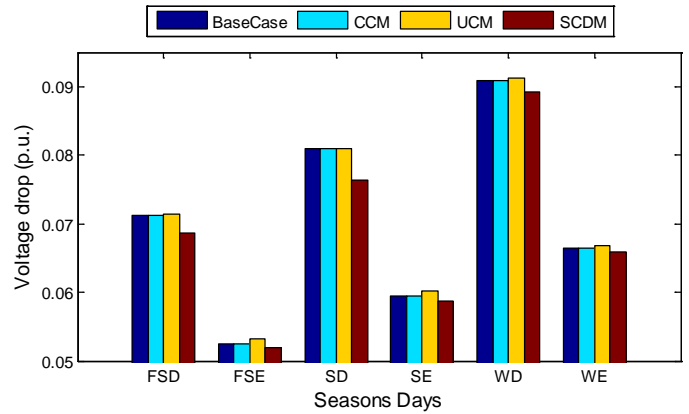
برای بررسی ولتاژ باس‌های شبکه ۶۹ باسه، ولتاژ تمام باس‌ها در پیک بار روز کاری زمستان، در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بیشترین افت ولتاژ مربوط به باس ۶۵ است. برای SCDM بهبود پروفیل ولتاژ و برای UCM کاهش ولتاژ برای برخی باس‌ها قابل مشاهده است.



شکل ۷: پروفیل ولتاژ شبکه ۶۹ باسه در پیک بار روز کاری زمستان

شکل ۸ تاثیر استراتژی‌های بهره‌برداری بر ولتاژ باس ۶۵ برای روزهای کاری و آخر هفته همه فصول را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌گردد که اعمال SCDM، سبب بهبود افت ولتاژ در بدترین باس شبکه برای بار فصول مختلف می‌گردد. به‌عنوان مثال برای روز کاری زمستان و باس ۶۵ که دارای بیشترین افت ولتاژ برابر ۰.۰۹۰۸۱ پریونیت می‌باشد، ولتاژ پایه برابر ۰.۹۰۹۲ است. در حالیکه ولتاژ این باس برای SCDM به ۰.۹۱۰۸ پریونیت افزایش می‌یابد و برای UCM با کاهش نسبت به حالت پایه، به ۰.۹۰۸۸ پریونیت می‌رسد.

- [3] M. Moradipoor, M. Parsa Moghaddam, M. R. Haghifam, and E. Alishahi, "A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network," *Int. J. Elect. Power & Energy Syst.*, vol. 46, pp. 115-122, Mar. 2013.
- [4] 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. 198-205, Mar. 2011.
- [5] E. L. Karfopoulos and N. D. Hatzigrygiou, "A multi-agent system for controlled charging of a large population of electric vehicles," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 2, pp. 1196-1204, May. 2013.
- [6] H. Shariatpanah, M. Sabourikenari, M. Mohammadian, and M. Rashidinejad, "Optimal placement and determine parking capacity of electric vehicles to improve VSM and congestion," in *Proc. 2nd Iranian Conf. Smart Grids*, Tehran, 2012, pp. 1-6.
- [7] M. Moradipoor, A. Ghazanfarimeymand, M. P. Moghaddam, and M. R. Haghifam, "Optimum placement of distributed generation and parking lots for loss reduction in distribution networks," in *Proc. 17th Conf. Elect. Power Distrib. Networks*, Tehran, 2012, pp. 1-5.
- [8] Z. Liu, F. Wen, and G. Ledwich, "Optimal siting and sizing of distributed generators in distribution systems considering uncertainties," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 26, no. 4, pp. 2541-2551, Oct. 2011.
- [9] Z. Liu, F. Wen, and G. Ledwich, "Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 28, no. 1, pp. 102-110, Jan. 2013.
- [10] C. Guille and G. Gross, "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation," *Energy Policy*, vol. 37, no. 11, pp. 4379-4390, Nov. 2009.
- [11] M. M. H. Bioki, M. Z. Jahromi, and M. Rashidinejad, "A combinatorial artificial intelligence real-time solution to the unit commitment problem incorporating V2G," *Electr. Eng.*, pp. 1-15, Nov. 2012.
- [12] M. L. Di Silvestre, E. R. Sanseverino, G. Zizzo, and G. Graditi, "An optimization approach for efficient management of EV parking lots with batteries recharging facilities," *J. Ambient Intell. Human. Comput.*, pp. 1-9, Feb. 2013.
- [13] R. Rajabioun, "Cuckoo optimization algorithm," *Appl. Soft Comput.*, vol. 11, no. 8, pp. 5508-5518, Dec. 2011.
- [14] M. E. Baran and F. F. Wu, "Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 1, pp. 735-743, Jan. 1989.
- [15] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, and G. X. Luo, "A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 3, no. 2, pp. 753-762, May 1988.
- [16] "IEEE reliability test system," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-98, no. 6, pp. 2047-2054, Nov. 1979.



شکل ۸: افت ولتاژ باس ۶۵ روزهای کاری و آخر هفته فصول مختلف

۶. نتیجه گیری

در این مقاله مدل احتمالاتی بار و تولید برای پارکینگ‌های اداری و

مسکونی خودروهای الکتریکی برای استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری استخراج گردید. مدل‌سازی بر اساس پارامترهای بهینه شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و روش شبیه‌سازی مونت کارلوی ترتیبی صورت پذیرفت. در ادامه تاثیر استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری از EVها بر مکان قرارگیری پارکینگ‌ها، تلفات و ولتاژ شبکه بر اساس تقریبی از بار سالیانه، توسط الگوریتم بهینه‌سازی فاخته ارزیابی شد. با بررسی استراتژی‌های مختلف مشخص گردید، استراتژی UCM به دلیل عدم کنترل شارژ باتری EVها، تاثیر نامطلوب بر تلفات و ولتاژ شبکه توزیع خواهد داشت. در CCM به دلیل کنترل شارژ باتری EVها و شارژ شدن آنها در کم‌باری، تلفات و ولتاژ پیک تغییری نمی‌کند. در SCDM به دلیل شارژ باتری EVها در کم‌باری و دشارژ آنها در پیک بار، تلفات و ولتاژ پیک کاهش یافته و متعاقب آن بارپذیری سیستم افزایش می‌یابد. علاوه بر نتایج فوق نشان داده شد که مقدار و ساعت پیک بار به جهت شارژ و دشارژ باتری خودروها ممکن است نسبت به حالت پایه تغییر کند. از این‌رو در نظر گرفتن بار پیک به‌عنوان بار شبکه برای مطالعات مکان‌یابی، فرضیه مناسبی نبوده و باید از مدل بار ساعتی استفاده شود.

منابع

- [1] Department for Business, Innovation & Skills, [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/organisations/departement-for-business-innovation-skills/>, [Accessed: Mar. 14, 2013].
- [2] M. Singh, P. Kumar, and I. Kar, "A Multi Charging Station for Electric Vehicles and Its Utilization for Load Management and the Grid Support," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 1026-1037, Jun. 2013.