مدل‌سازی احتمالی تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی عمومی

حسین یوسفی، مقداد تورانداز کناری و محمدصادق سپاسیان

چکیده: با توجه به عوامل اقتصادی و زیست‌محیطی، انتظار می‌رود در آینده‌ای نزدیک استفاده از خودروهای الکتریکی به‌خصوص با قابلیت اتصال به شبکه، افزایش قابل توجهی پیدا کند. نفوذ بالای خودروهای الکتریکی می‌تواند شبکه را تحت تأثیر قرار دهد و از این رو در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به اثرات شارژ خودروهای الکتریکی بر روی شبکه پرداخته‌اند. در این مقاله، مدلی احتمالی بر پایه تئوری صف و همچنین شبیه‌سازی مونت‌کارلو با نرم‌افزار ED برای استخراج تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع ارائه شده است، با این فرض که خودروهای مورد بررسی، تاکسی‌های شهرستان آمل در استان مازندران باشند. داده‌های مورد نیاز مانند زمان مراجعه و وضعیت شارژ باتری قبل از شارژگیری، با سه روش از تاکسی‌های درون‌شهری شهرستان آمل جمع‌آوری و استخراج شده است. به دست آوردن منحنی تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی نیازمند داده‌هایی می‌باشد که وابسته به رفتار ترافیکی رانندگان است. از آنجایی که رفتار صاحبان خودرو غیر قطعی می‌باشد، در نتیجه این داده‌ها به‌صورت متغیرهای غیر قطعی تعریف شده و توسط روش‌های احتمالی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

کلیدواژه: **ایستگاه شارژ سریع، بار شارژ، تئوری صف، خودروهای الکتریکی، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، مدل‌سازی احتمالی.**

۱- مقدمه

در طول چند دهه گذشته نگرانی‌هایی مانند تخریب زیست‌محیطی، نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی و همچنین تمایل دولت‌ها برای کاهش وابستگی خود به واردات نفت، علاقه دولت‌ها را به برق‌رسانی در بخش حمل‌ونقل برانگیخته است. به‌طور خاص، بخش حمل‌ونقل از آنجایی که مسئول بیشتر از یک‌چهارم کل مصرف انرژی و یک‌سوم انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد حایز اهمیت است [۱]. در نتیجه خودروهای الکتریکی به‌عنوان جایگزین مناسب و تمیز برای خودروهای سوخت فسیلی در نظر گرفته شده است. به‌منظور استفاده از مزایای پیش‌بینی‌شده از برق‌رسانی در بخش حمل‌ونقل، برخی از دولت‌ها طرح‌هایی در مورد ایجاد انگیزه برای ترویج جذب خودروهای الکتریکی ارائه داده‌اند که از آنها می‌توان به یارانه برای خرید خودروهای الکتریکی، معافیت مالیاتی، مزایای رانندگی از قبیل مجوز پارکینگ در مناطق متراکم شهری (شهر آمستردام هلند)، اجازه رانندگی در خطوط اتوبوس و تاکسی به‌منظور کاهش مدت زمان سفر در ساعات پرترافیک (شهر اسلوی نروژ) اشاره کرد. نفوذ بالای خودروهای الکتریکی و همچنین ایجاد قابلیت سفر در مسافت‌های طولانی، نیازمند گسترش ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی است. یکی از چالش‌های بزرگ در زمینه ایستگاه‌های شارژ عمومی، کاهش مدت زمان شارژ است که این امر می‌تواند با افزایش نرخ انتقال توان محقق گردد. انتظار می‌رود در آینده‌ای نه‌چندان دور، ایستگاه‌های شارژ سریع[1] (FCS) نقشی مشابه پمپ بنزین‌های امروزی را بازی کنند [۲]. اما از آنجایی که در ایستگاه‌های شارژ سریع مقدار قابل توجهی از توان در مدت کوتاهی تأمین می‌شود، به نظر می‌رسد که تأثیر این نوع ایستگاه‌های شارژ بر شبکه قدرت به‌مراتب بیشتر از انواع دیگر روش‌های شارژ است. نفوذ بیش از حد خودروهای الکتریکی برای شارژ ناهماهنگ می‌تواند سیستم توزیع را دچار اضافه‌بار کند و استرس قابل توجهی به شبکه وارد نماید. در نتیجه اگرچه خودروهای الکتریکی قابل شارژ می‌توانند فرصت‌های نوینی را در مباحث امنیت انرژی و محیط زیست سبب گردند، بار الکتریکی اضافه‌ای را به شبکه برق تحمیل می‌نمایند که امکان دارد اثرات مخربی بر جای گذارد. پس لازم است شبکه‌های قدرت مخصوصاً بخش توزیع، تخمین صحیحی از میزان این بار نوظهور داشته باشد تا پیش‌بینی‌های ضروری جهت اعمال تغییرات احتمالی در شبکه صورت پذیرد و تا حد ممکن از بروز مشکلات پایداری در شبکه پیشگیری گردد [۳].

با توجه به اهمیت حضور خودروهای الکتریکی در شبکه، مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است. برای بررسی اثر شارژ خودروهای الکتریکی بر شبکه و مدیریت شارژ آنها ابتدا باید اثر شارژ بر منحنی بار روزانه دیده شود. در نتیجه، در سال‌های اخیر مطالعات زیادی جهت مدل‌سازی تقاضای بار خودروهای الکتریکی انجام شده است. در حالت کلی می‌توان روش‌های به کار رفته جهت مدل‌سازی تقاضای بار خودروهای الکتریکی را به دو گروه کلی روش‌های قطعی[2] و روش‌های تصادفی[3] تقسیم‌بندی نمود. متغیرهایی که برای مدل‌سازی مورد نیاز می‌باشد شامل نوع خودرو، زمان شروع شارژ، وضعیت شارژ (SOC)[4] قبل سوخت‌گیری و سطح شارژ است [۴]. در روش‌های قطعی، تمامی این متغیرها بدون در نظر گرفتن ویژگی عدم قطعیت آن بررسی می‌شود [۵] و [۶]. مرجع [۷] شروع فرایند شارژ باتری تمام خودروها را در یک زمان (۶ بعد از ظهر) در نظر گرفته و فرض نموده که خودروها در هنگام اتصال به شبکه برای شارژ مجدد، دارای باتری کاملاً خالی باشند. اساساً روش‌های قطعی به دلیل عدم قطعیت بالای فاکتورهای مدل‌سازی تقاضای بار ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی نمی‌تواند ابزار مناسبی برای تحلیل

این مقاله در تاریخ ۶ آذر ماه ۱۳۹۶ دریافت و در تاریخ ۲۸ تیر ماه ۱۳۹۷ بازنگری شد.

حسین یوسفی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس شهید عباسپور، تهران، ایران، (email: h2k.yousefi@gmail.com).

مقداد تورانداز کناری (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس شهید عباسپور، تهران، ایران، (email: m_tourandaz@sbu.ac.ir).

محمدصادق سپاسیان، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس شهید عباسپور، تهران، ایران، (email: m_sepasian@sbu.ac.ir).

1. Fast Charging Station
2. Deterministic
3. Stochastic
4. State of Charge

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: قرارداد نمایش توزیع A یا B.

تابع توزیع	کد
نمایی	M
ارلانگ با r مرحله	Er
قطعی	D
کلی	G

رفتار این خودروها باشد. با توجه به ناکارامدی روش‌های قطعی، روش‌های تصادفی کاربرد گسترده‌ای در مدل‌سازی بار خودروهای الکتریکی پیدا نموده‌اند. یکی از این روش‌ها برای مدل‌سازی تصادفی بار خودروهای الکتریکی، استفاده از توزیع‌های احتمال برای متغیرهای تصادفی نام‌برده در بالا می‌باشد. یعنی برای متغیرهای دارای عدم قطعیت، یک تابع چگالی احتمال (PDF)[1] مدل می‌شود تا از طریق آن نمونه‌های تصادفی مورد نیاز تولید شوند [۸] و [۹]. علاوه بر بهره‌گیری از توزیع‌های احتمال می‌توان از سایر روش‌های بررسی عدم قطعیت مانند نظریه صف، زنجیره مارکوف [۱۰] و استدلال فازی [۱۱] نیز جهت مدل‌سازی رفتار خودروهای الکتریکی استفاده نمود که در مقالات مورد توجه قرار گرفته‌اند. تئوری صف نیز از روش‌های مدل‌سازی عدم قطعیت است که در استخراج بار خودروهای الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته است. اگر پارامترهای نظریه صف را به صورت A/B/C در نظر بگیریم، حرف A نشان‌دهنده تابع توزیع فاصله زمانی بین ورود خودروها برای دریافت سرویس، حرف B بیانگر تابع توزیع مدت زمان دریافت سرویس و حرف C نشان‌دهنده تعداد سرورهای موازی است که به‌موازات هم کار یکسانی را انجام می‌دهد. به‌جای A یا B، بر حسب این که چه تابع توزیعی داشته باشند، از حروف جدول ۱ به‌عنوان کد استفاده می‌شود.

مطالعاتی که با استفاده از تئوری صف به مدل‌سازی بار شارژ خودروهای الکتریکی پرداخته را می‌توان در دو بخش شارژ خانگی و شارژ در ایستگاه شارژ مورد ارزیابی قرار داد. مرجع [۱۲] از مدل M/M/∞ برای مدل‌سازی تقاضای بار به کار گرفته شده در پخش بار احتمالی با در نظر گرفتن ترکیبی از تولید توان بادی با دو ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی استفاده می‌کند. در حالی که فاصله زمانی بین دو ورود خودرو برای دریافت شارژ از توزیع نمایی پیروی کند، به این معناست که فرایند ورود خودروها به‌صورت پواسن است. توزیع ورود خودروها به ایستگاه شارژ دارای توزیع پواسن همگن، تابع چگالی احتمال مدت زمان شارژگیری دارای توزیع نمایی و تعداد دستگاه‌های شارژ بی‌نهایت در نظر گرفته شده است. مرجع [۱۳] به پیش‌بینی احتمالی از پروفیل بار خودروهای الکتریکی در اثر شارژ خانگی با استفاده از تئوری صف پرداخته است. مدل به کار گرفته شده، مدل Mt/G/∞ می‌باشد. در اینجا ورود خودروها به‌صورت توزیع پواسن ناهمگن (متغیر با زمان)، PDF مدت زمان شارژگیری به‌صورت تابعی شناخته‌شده و تعداد دستگاه‌های شارژ بی‌نهایت در نظر گرفته شده است. با استفاده از معادلات مربوط به این مدل، میانگین تعداد خودروهایی که در زمان مشخص به‌طور هم‌زمان در حال شارژگیری هستند محاسبه می‌شود. نکته‌ای که در این مقاله وجود دارد این است که تابع نرخ ورود خودروها برای شارژگیری به‌صورت تابع چندجمله‌ای تقریب زده شده و برای PDF مدت زمان شارژگیری از توزیع نمایی استفاده گردیده که این عمل باعث ساده‌ترشدن حل مسئله می‌شود و تا چه حد این تقریب برای داده‌های واقعی ممکن است به واقعیت نزدیک باشد، مشخص نیست. در [۱۴] یک مدل زمانی- مکانی برای تقاضای شارژ خودروهای الکتریکی در ایستگاه‌های شارژ سریع پیشنهاد می‌شود. داده‌های ابتدایی مورد نیاز برای بررسی رفتار ترافیکی رانندگان در این مرجع، با نصب (GPS)[2] بر روی ۲۲۷ خودرو در شهر سنت لوئیس ایالت میسوری آمریکا استخراج شده است. مدل ریاضی بر پایه تئوری صف M/M/N می‌باشد. مرجع [۱۵] از مدل تئوری صف M/M/N برای ارزیابی تعداد خودروهای الکتریکی در ایستگاه شارژ مربوط به یک فروشگاه استفاده می‌کند و سپس الگوریتمی برای حداقل‌کردن تلفات ترانسفورماتور توزیع و حداکثرکردن کیفیت خدمات شارژ ارائه می‌شود. مرجع [۱۶] مدلی بر اساس نظریه صف برای حل مسئله طراحی ایستگاه شارژ با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی ارائه می‌دهد. تعداد بهینه دستگاه‌های شارژ در ایستگاه شارژ برای رسیدن به حداقل هزینه با استفاده از نظریه صف در [۱۷] آورده شده است. مرجع [۱۸] روش جدیدی برای مدل‌سازی پروفیل تقاضای شارژ ۲۴ ساعت از ایستگاه شارژ سریع خودروهای الکتریکی با استفاده از نظریه صف ارائه می‌دهد که داده‌های ابتدایی مورد نیاز برای بررسی رفتار ترافیکی رانندگان از بانک اطلاعات بررسی سفر خانواده‌ها (NHTS)[3] دریافت شده است.

با مرور برخی مراجع می‌توان دریافت که هر یک با مدل‌های مختلفی از نظریه صف به حل مسئله تقاضای شارژ خودروهای الکتریکی پرداخته‌اند. نکته‌ای که حایز اهمیت می‌باشد این است که برخی مراجع مانند [۱۳] برای حل مسئله از ساده‌سازی‌هایی استفاده کرده‌اند که نمی‌توان به طور دقیق در مورد صحیح‌بودن این ساده‌سازی‌ها نظر داد. به عنوان مثال در [۱۳] فرض شده که تابع توزیع مدت زمان شارژگیری، نمایی باشد که این عمل در روند حل مسئله تأثیرگذار است. اما در مقاله حاضر سعی شده با توجه به تحقیقات میدانی، داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری شده و به حل مسئله پرداخته شود. در واقع برخلاف اغلب مطالعات گذشته، داده‌های مورد نیاز مانند زمان مراجعه و وضعیت شارژ باتری قبل از شارژگیری به طور دقیق و آماری استخراج شده‌اند. نکته دیگری که این مقاله را از دیگر مطالعات گذشته متمایز می‌کند، معرفی و استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی بسیار قدرتمند (ED) می‌باشد. به دست آوردن هم‌زمان تابع توزیع احتمال مدت زمان بین ورود خودروها و مدت زمان دریافت شارژ از دیگر بخش‌های مورد توجه در مقاله بوده است. به علاوه، پیش‌بینی تعداد خودروهای در حال شارژ (به طور همزمان) در طول شبانه‌روز با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو به عنوان نوآوری این مقاله مورد توجه بوده است.

در بخش ۲ روش جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز حل مسئله و تحلیل آنها شرح داده می‌شود. با توجه به داده‌های به دست آمده، مدل‌سازی تقاضای شارژ خودروهای الکتریکی با استفاده از "نظریه صف" و "شبیه‌سازی مونت‌کارلو" به ترتیب در بخش‌های ۳ و ۴ آورده شده است. در بخش ۵ اثر شارژ خودروهای الکتریکی بر منحنی بار مصرفی محلی و در بخش ۶ نتیجه‌گیری کلی از مباحث مطرح‌شده بیان می‌گردد.

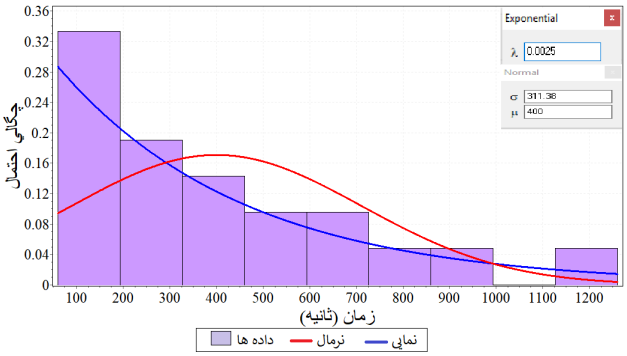
هدف از این مقاله، ارائه مدلی احتمالی برای به دست آوردن تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی با قابلیت اتصال به شبکه (PHEV)[4] با استفاده از روش تئوری صف و همچنین شبیه‌سازی مونت‌کارلو با نرم‌افزار (ED) می‌باشد، با این فرض که تاکسی‌های

1. Probability Density Function

2. Global Positioning Systems
3. National Household Travel Survey
4. Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: داده‌ها و PDF برازش‌شده به صورت نمایی و نرمال از مدت زمان بین ورود خودروها برای ساعت ۱ تا ۵ صبح.

درون‌شهری شهرستان آمل از این نوع خودروها و داده‌های مورد نیاز از رفتار ترافیکی آنها با توجه به تحقیقات میدانی استخراج شود و در نهایت منحنی تقاضای بار ۲۴ ساعت خودروهای الکتریکی به دست آید.

۲- مدل‌سازی تقاضای بار ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی

حل مسئله مدل‌سازی تقاضای بار خودروهای الکتریکی در اثر شارژ، نیاز به داده‌های اولیه‌ای دارد که بسیاری از این داده‌ها وابسته به رفتار صاحبان خودرو می‌باشد. از آنجا که صاحبان خودرو رفتار ثابتی ندارند، در نتیجه این داده‌ها به‌صورت متغیرهای غیر قطعی تعریف می‌شوند. در ادامه، روش جمع‌آوری اطلاعات و استخراج داده‌های مورد نیاز بیان می‌شود.

۲-۱ جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

به دلیل نبود داده‌های واقعی از خودروهای الکتریکی، اطلاعات مورد نیاز با استفاده از رفتار صاحبان خودروهای سوخت ترکیبی داخلی (ICEV)[1] یا همان تاکسی‌های دوگانه‌سوز بنزین و گاز جمع‌آوری شده است. متغیرهای غیر قطعی در نظر گرفته شده در این مطالعه، زمان ورود تاکسی‌ها در طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز به پمپ گاز و همچنین وضعیت سوخت موجود در کپسول سوخت (SoF)[2] قبل از سوخت‌گیری می‌باشد. از سه روش برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده است:

الف) تدوین پرسش‌نامه و توزیع آن بین رانندگان تاکسی در زمان ورود به پمپ گاز و ثبت SoF قبل از سوخت‌گیری در طول یک هفته.

ب) حضور شخصی در پمپ گاز و ثبت داده‌های مورد نظر.

ج) پرسش از رانندگان تاکسی در سطح شهر و ثبت داده‌های مورد نظر.

پمپ گازی که برای ثبت داده در نظر گرفته شده است پمپ گاز مخصوص تاکسی‌ها در شهرستان آمل می‌باشد. با مقایسه نتایج این سه روش، این نتیجه حاصل شده که بهترین روش ثبت داده، همان حضور در پمپ گاز بوده است. مراجع [۱۹] و [۲۰] نیز برای جمع‌آوری اطلاعات به همین صورت داده‌های خود را از خودروهای سوخت ترکیبی داخلی جمع‌آوری کرده‌اند. داده‌های مربوط به زمان و تعداد ورود خودروها به پمپ گاز برای ۱۳ روز در فصل تابستان، ماه مرداد و همچنین مقدار SoF قبل سوخت‌گیری مربوط به مراجعه ۱۰۰۰ خودرو ثبت گردیده است.

1. Internal Combustion Engine Vehicle
2. State of Fuel

۲-۲ استخراج داده‌ها

همان طور که بیان شد از مدل تئوری صف و همچنین شبیه‌سازی مونت‌کارلو با به کارگیری نرم‌افزار ED برای به دست آوردن منحنی تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع خودروهای الکتریکی استفاده می‌شود. در ادامه به مراحل استخراج متغیرهای مورد نیاز و الگوریتم مدل‌سازی برای این دو مدل اشاره می‌شود.

۲-۲-۱ به دست آوردن تابع توزیع احتمال مدت زمان بین ورود خودروها

برای به دست آوردن پارامتر اول تئوری صف یعنی تابع توزیع احتمال مدت زمان بین ورود خودروها به ایستگاه شارژ، با توجه به این که نرخ ورود خودروها در ساعات مختلف روز متفاوت می‌باشد، برای هر ساعت با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، جداگانه توزیعی از مدت زمان بین ورود خودروها محاسبه می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار EasyFit توزیع احتمال مدت زمان بین ورود خودروها به ایستگاه شارژ برای ساعات مختلف روز به دست می‌آید. همچنین برای اثبات درستی در انتخاب تابع توزیع احتمال مورد نظر، از آزمون خی‌دو یا همان کای اسکوئر[3] استفاده شده است.

برای مثال در شکل ۱، تابع توزیع برازش داده شده به صورت نمایی و نرمال برای مدت زمان بین ورود خودروها برای ساعت ۱ بامداد تا ۵ صبح با استفاده از نرم‌افزار EasyFit نشان داده شده است. با توجه به آزمون خی‌دو، تابع توزیع احتمال نمایی برازش بهتری روی مجموعه داده‌ها نسبت به دیگر توابع توزیع احتمال داشته است.

بدین صورت برای تمام بازه‌ها، PDF برازش داده شده از مدت زمان بین ورود خودروها که به‌صورت نمایی بوده است، به دست آورده شد که در شکل ۲ برای ساعات ۷ تا ۸ و ۱۴ تا ۱۵، نشان داده شده است. پس می‌توان نتیجه گرفت که ورود خودروها به ایستگاه شارژ طبق فرایند پواسن صورت می‌گیرد. البته چون در بازه‌های زمانی مختلف، نرخ ورود خودروها متفاوت است، از فرایند پواسن ناهمگن که در تئوری صف به‌صورت Mt نشان داده می‌شود استفاده خواهد شد. پس پارامتر اول تئوری صف به‌صورت Mt مدل می‌گردد.

۲-۲-۲ محاسبه تابع توزیع احتمال مدت زمان دریافت شارژ

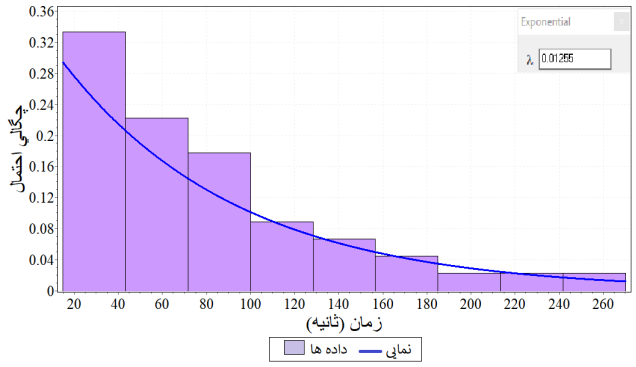
برای به دست آوردن پارامتر دوم تئوری صف یعنی توزیع احتمال مدت زمان دریافت شارژ، ابتدا باید فرضیاتی را در نظر گرفت. فرضیات در نظر گرفته شده شامل الف) ویژگی خودروی الکتریکی در نظر گرفته شده، ب) توان انتقالی هر شارژر ایستگاه شارژ و ج) وضعیت شارژ باتری هنگام خروج از ایستگاه شارژ می‌باشد.

- پارامترهای مربوط به خودروی الکتریکی شامل ظرفیت باتری و مصرف خودرو می‌باشد که به ترتیب برابر ۲۰ kWh، ۶ km/kWh در نظر گرفته شده است.
- برای توان شارژ انتقالی ایستگاه شارژ استانداردهای متفاوتی وجود دارد و ایستگاه شارژی که برای این مطالعه در نظر گرفته شده است ایستگاه شارژ سریع با توان شارژ ۱۲۰ کیلووات برای هر شارژر می‌باشد.
- در این مطالعه مانند [۲۱] فرض شده که خودروهای الکتریکی با شارژ پر باتری از ایستگاه شارژ خارج شوند.

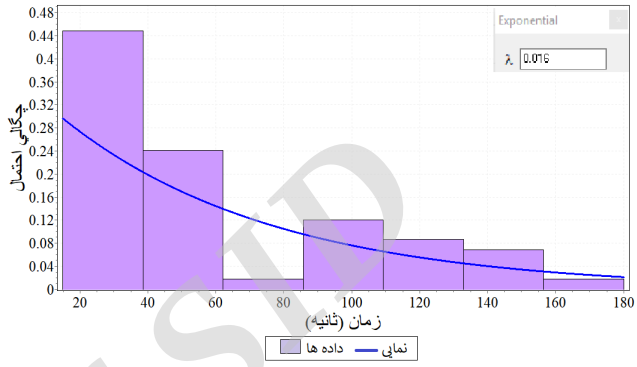
حال برای به‌دست آوردن مدت زمان شارژگیری، لازم است ابتدا مقدار

3. Chi-Square

Archive of SID
www.SID.ir



(الف)



(ب)

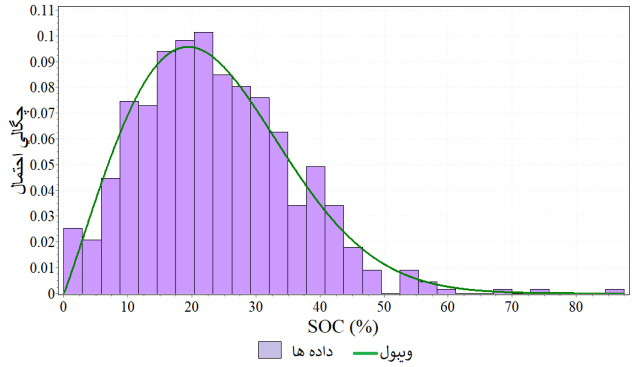
شکل ۲: داده‌ها و PDF برازش‌شده نمایی از مدت زمان بین ورود خودروها برای ساعت (الف) ۷ تا ۸ و (ب) ۱۴ تا ۱۵.

وضعیت شارژ باتری قبل از شارژگیری (SoC^e_{int}) محاسبه شود و سپس با توجه به توان شارژ انتقالی هر شارژر و فرض پرشدن باتری هنگام خروج از ایستگاه شارژ، مدت زمان شارژگیری تخمین زده شود. با توجه به [۲۲] می‌توان (۱) را بین مقدار سوخت موجود در کپسول گاز خودروهای دوگانه‌سوز بنزین و گاز قبل سوخت‌گیری (SoF_{int}) در پمپ گاز و مقدار وضعیت شارژ باتری قبل از شارژگیری (SoC^e_{int}) در ایستگاه شارژ در نظر گرفت. EFF_{ICE} و EFF_{DRV} مربوط به مصرف سوخت و انرژی به ترتیب خودروهای سوخت فسیلی و الکتریکی به ازای طی مسافتی مشخص است. $TANK_{cap}$ و $BATT_{cap}$ ظرفیت کپسول و باتری خودروها می‌باشد

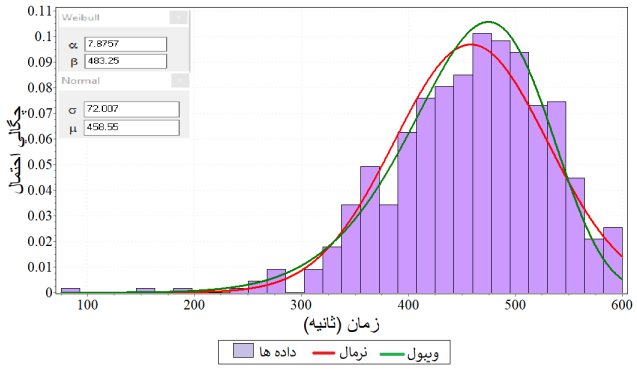
$$SoC^e_{\text{int}} = \frac{SoF_{\text{int}} \times TANK_{cap} \times EFF_{ICE}}{EFF_{DRV} \times BATT_{cap}} \qquad (۱)$$

همان طور که بیان گردید SoF_{int} برای ۱۰۰۰ تاکسی در شهرستان آمل جمع‌آوری شده است. تاکسی‌ها شامل ۴ خودروی سمند، پژو، پراید و پیکان بوده که برای هر کدام، ظرفیت کپسول گاز و مصرف سوخت خودرو در نظر گرفته شده است. در نتیجه برای هر خودرو SoC_{int} به دست می‌آید. با استفاده از نرم‌افزار EasyFit، PDF برازش داده شده به صورت ویبول برای SoC^e_{int}، همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده دارای برازش خوبی روی داده‌های جمع‌آوری شده است. PDF و CDF[1] برای توزیع ویبول ([۲۳] و [۲۴]) به صورت (۲) و (۳) دارای دو پارامتر α و β است که برای SoC^e_{int} به‌صورت $\alpha = ۲/۰۶۸۳$ و $\beta = ۲۶/۷۰۸$ محاسبه شده‌اند

1. Cumulative Distribution Function



شکل ۳: داده‌های جمع‌آوری‌شده و PDF برازش‌داده‌شده به صورت ویبول برای SoC خودروها.



شکل ۴: داده‌های جمع‌آوری‌شده و PDFs برازش‌داده‌شده ویبول و نرمال از مدت زمان دریافت شارژ خودروها.

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \times (\frac{t}{\beta})^{\alpha-1} \times \exp(-(\frac{t}{\beta})^{\alpha}) \qquad (۲)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-(\frac{t}{\beta})^{\alpha}) \qquad (۳)$$

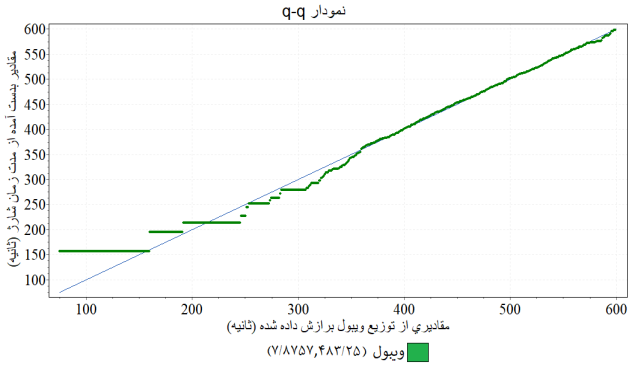
حال با به دست آمدن SoC^e_{int}، با استفاده از (۴) مدت زمان شارژ برای هر خودرو به دست می‌آید. R همان توان شارژ انتقالی هر شارژر در ایستگاه شارژ می‌باشد که در اینجا ۱۲۰ kW فرض شده است

$$T_{service} = (100 - SoC^e_{\text{int}}) \times \frac{BATT_{cap}}{R} \qquad (۴)$$

حال با توجه به در اختیار داشتن مدت زمان شارژ برای ۱۰۰۰ خودرو که توسط محقق جمع‌آوری شده است تابع توزیع احتمال آن که مربوط به پارامتر دوم تئوری صف می‌باشد، به‌صورت توزیع ویبول با پارامتر $\alpha = ۷/۸۷۵۷$ و $\beta = ۴۸۳/۲۵$ در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۴، PDF برازش داده شده به صورت نرمال با میانگین ۴۵۸/۵۵ و انحراف معیار ۷۲/۰۰۷ به رنگ قرمز و منحنی سبزرنگ نیز برای PDF برازش داده شده به صورت ویبول می‌باشد. طبق آزمون خی‌دو، توزیع ویبول برازش بهتری روی مجموعه داده‌ها نسبت به توزیع‌های دیگر داشته و توجه داشته باشید که تمام محاسبات بر حسب ثانیه انجام شده است. همچنین برای اثبات درستی در انتخاب توزیع ویبول، غیر از آزمون خی‌دو می‌توان از نمودار q-q استفاده کرد. حال نمودار q-q برای مقادیر مدت زمان شارژ با توجه به توزیع ویبول به صورت شکل ۵ به دست می‌آید. همان طور که از شکل ۵ پیداست برای توزیع ویبول نقاط به طور قابل قبولی بر روی خط $y = x$ قرار گرفته‌اند که می‌تواند دلیلی بر اثبات درستی انتخاب توزیع ویبول برای مدت زمان شارژ خودروها باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵: نمودار q-q از مقادیر به دست آمده برای مدت زمان شارژ خودروها در برابر توزیع ویبول برازش‌داده‌شده.

در نتیجه پارامتر دوم مربوط به تئوری صف یعنی تابع توزیع احتمال مدت زمان شارژگیری خودروی الکتریکی، به‌صورت تابع توزیع ویبول به‌دست آمده است. پس برای پارامتر دوم مدل صف، نماد G به معنای یک تابع توزیع عمومی و شناخته‌شده در نظر گرفته می‌شود.

۳- تئوری صف برای مدل‌سازی تقاضای بار شارژ PHEV در FCS

با توجه به نتایج به دست آمده در بخش ۲-۲، مدل تئوری صف برای این مطالعه به‌صورت M/G/∞ در نظر گرفته خواهد شد. پارامتر اول، تابع توزیع احتمال مدت زمان بین ورود خودروهاست که در این مطالعه ورود خودروها به ایستگاه شارژ با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده به‌صورت توزیع پواسن وابسته به زمان در نظر گرفته می‌شود. پارامتر دوم، تابع توزیع احتمال مدت زمان شارژگیری خودروها می‌باشد که به‌صورت توزیع ویبول با پارامترهای $\alpha = ۷٫۸۷۵۷$ و $\beta = ۴۸۳٫۲۵$ به دست آمده است. برای پارامتر سوم که مربوط به تعداد سرویس‌دهنده یا همان تعداد شارژرها می‌باشد با توجه به بررسی‌های انجام‌شده این نتیجه حاصل گردیده تا هر خودرو که وارد ایستگاه شارژ می‌شود بلافاصله تحت سرویس قرار بگیرد و شارژ شود. دلیل تصمیم این است که هدف در این مقاله ارائه مدلی برای به دست آوردن منحنی تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی است و بهینه‌سازی در تعداد نازل‌های ایستگاه شارژ مطرح نمی‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان با محدودکردن تعداد نازل‌های شارژ در ایستگاه، تقاضای بار را کنترل و آن را محدود کرد که این موضوع مطلوب تحقیق نمی‌باشد. با توجه به این دلایل و این که هیچ کنترل و مدیریت مرکزی بر شارژ خودروها وجود ندارد و شارژها کنترل نشده‌اند، فرض می‌شود که خودروها به‌محض ورود به ایستگاه شارژ، شروع به شارژگیری کنند. همچنین در [۱۲] که دو ایستگاه شارژ متصل به نیروگاه بادی در نظر گرفته شده است از مدل M/M/∞ استفاده کرده که تعداد نازل‌های سرویس‌دهنده بی‌نهایت فرض شده است. پس با توجه به توضیحات بالا می‌توان گفت که این فرض دور از انتظار نمی‌باشد. در نتیجه مدل را می‌توان بر اساس ویژگی‌های زیر بیان کرد. همچنین روند کلی حل مسئله با استفاده از روش پیشنهادی به صورت شکل ۶ مشاهده می‌شود.

۳-۱ توان انتقالی هر شارژر در ایستگاه شارژ

فرض می‌شود توان هر شارژر (R) برابر با ۱۲۰ کیلووات برای ایستگاه شارژ سریع در نظر گرفته شود و این توان شارژ در تمام سیکل شارژ ثابت باشد [۲۵]. بنابراین اگر تعداد کل خودروهای در حال شارژگیری در زمان t را با $N(t)$ نشان دهند می‌توان بار شارژ کلی خودروها را به‌صورت زیر بیان کرد

$$L_{(t)} = R \times N_{(t)} \qquad (۵)$$

۳-۲ ورود پواسن

همان طور که در بخش ۲-۲-۱ اشاره شد ورود خودروها برای شارژگیری به ایستگاه شارژ از فرایند پواسن ناهمگن با نرخ ورود وابسته به زمان قطعی $\lambda(t)$ در نظر گرفته خواهد شد. λ میانگین داده‌های جمع‌آوری‌شده است که وابسته به زمان است زیرا تعداد ورود خودروها در بازه‌های مختلف در طول شبانه‌روز متفاوت است. همچنین λ قطعی است به این دلیل که از تعداد تاکسی‌های ورودی به پمپ گاز در دو بازه یک ساعته و بازه‌های ده دقیقه‌ای برای ۱۳ روز عادی به‌دست آمده است.

در شکل ۷ نمودار تعداد خودروهای ورودی به ایستگاه شارژ در بازه‌های ده دقیقه‌ای برای ۲۴ ساعت رسم شده است.

۳-۳ مدت زمان خدمت‌دهی

هر خودرو که به شارژر وصل می‌شود، مدت زمان شارژگیری (S) خاص خود را دارد. تابع توزیع تجمعی از مدت زمان شارژگیری به‌صورت $G(S)$ نشان داده می‌شود. همان طور که بیان شد تابع توزیع مدت زمان سرویس‌دهی (شارژگیری)، توزیع ویبول به دست آمده که PDF و CDF آن در (۲) و (۳) آورده شده است.

با توجه به [۱۳] و [۲۵]، نتیجه جالب و کلیدی از مدل M/G/∞ این است که $N(t)$ متغیر تصادفی توزیع پواسن با میانگین $m(t)$ می‌باشد که $m(t)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود

$$m_{(t)} = \int_{\cdot}^{\infty} (۱ - G_{(u)}) \times \lambda_{(t-u)} \mathrm{d}u = E[\int_{t-S}^{t} \lambda_{(u)} \mathrm{d}u] \qquad (۶)$$

همان طور که بیان شد $N(t)$ تعداد خودروهایی هستند که در زمان t به‌طور هم‌زمان در حال شارژگیری می‌باشند که این تعداد از یک توزیع پواسن با میانگین $m(t)$ پیروی می‌کند.

در نتیجه با ترکیب (۵) و (۶) می‌توان گفت میانگین توان شارژ کلی خودروهای الکتریکی $L(t)$ برابر است با

$$E[L_{(t)}] = R \times m_{(t)} \qquad (۷)$$

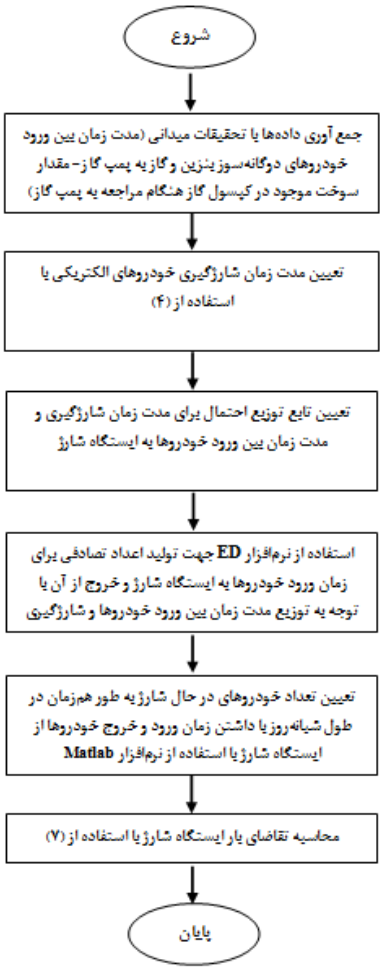
۳-۴ استخراج منحنی تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی در FCS

با توجه به بخش ۳-۲ نرخ ورود خودروها به ایستگاه شارژ (λ) برای بازه‌های ۱۰ دقیقه محاسبه شده است، پس با توجه به (۶) می‌توان $m(t)$ را به دست آورد. با به دست آمدن $m(t)$ یعنی تعداد خودروهایی که به طور هم‌زمان در حال شارژگیری هستند، تقاضای بار ناشی از شارژ خودروهای الکتریکی محاسبه می‌شود. شکل ۸ پروفیل بار روزانه خودروها را به ازای λ برای بازه‌های ۱۰ دقیقه نمایش می‌دهد. همان طور که از شکل ۸ مشخص است پیک بار بین ساعت ۱۲ تا ۱۳ رخ داده و میانگین مقدار تقاضای بار برای این ساعت در حالت بررسی به‌صورت بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای برابر ۱۳۲۰ کیلووات می‌باشد.

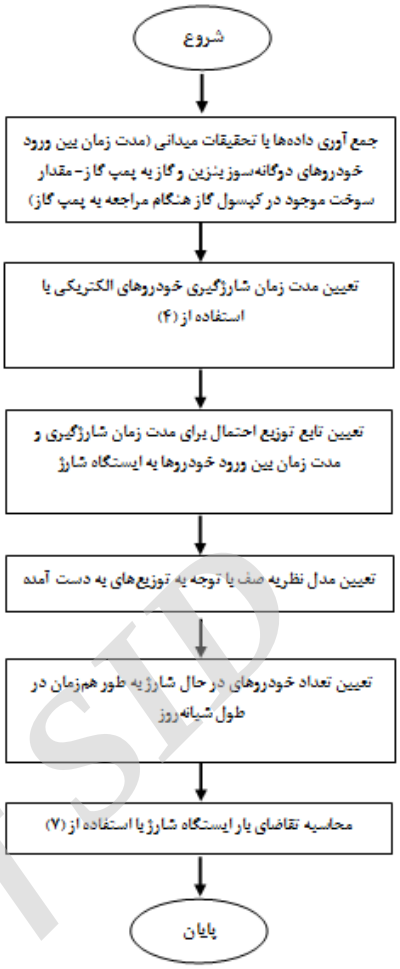
حال با توجه به این که $m(t)$ میانگین توزیع پواسن است پس می‌توان برای هر ساعت توزیع احتمال تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی را به دست آورد. شکل ۹ توزیع احتمال تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی را برای نمونه در ساعت ۱۲ نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

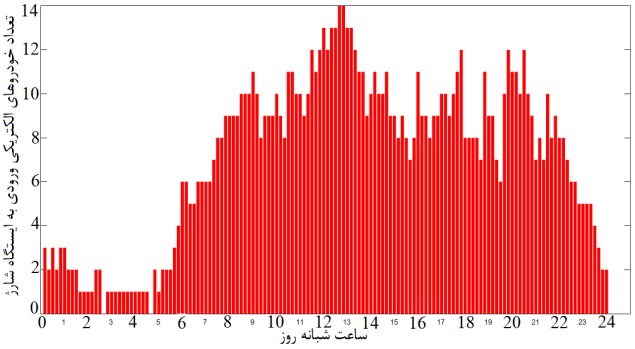


(ب)

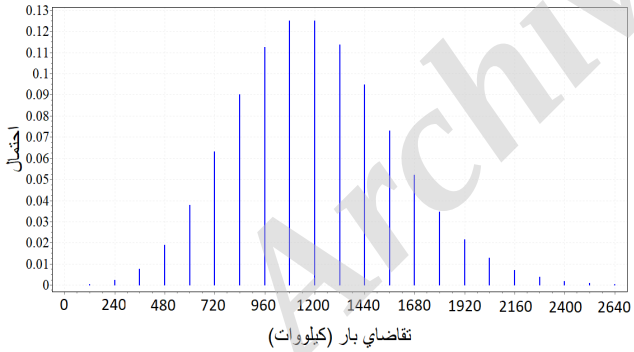


(الف)

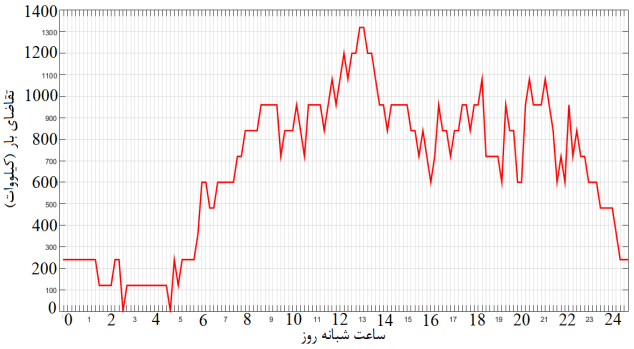
شکل ۶: الگوریتم کلی حل مسئله، (الف) با استفاده از نظریه صف و (ب) به روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو.



شکل ۷: نمودار تعداد خودروهای ورودی به ایستگاه شارژ در بازه‌های ده دقیقه‌ای.



شکل ۹: توزیع احتمالی تقاضای بار ایستگاه شارژ برای ساعت ۱۲.



شکل ۸: پروفیل بار روزانه خودروهای الکتریکی به ازای λ برای بازه‌های ده دقیقه.

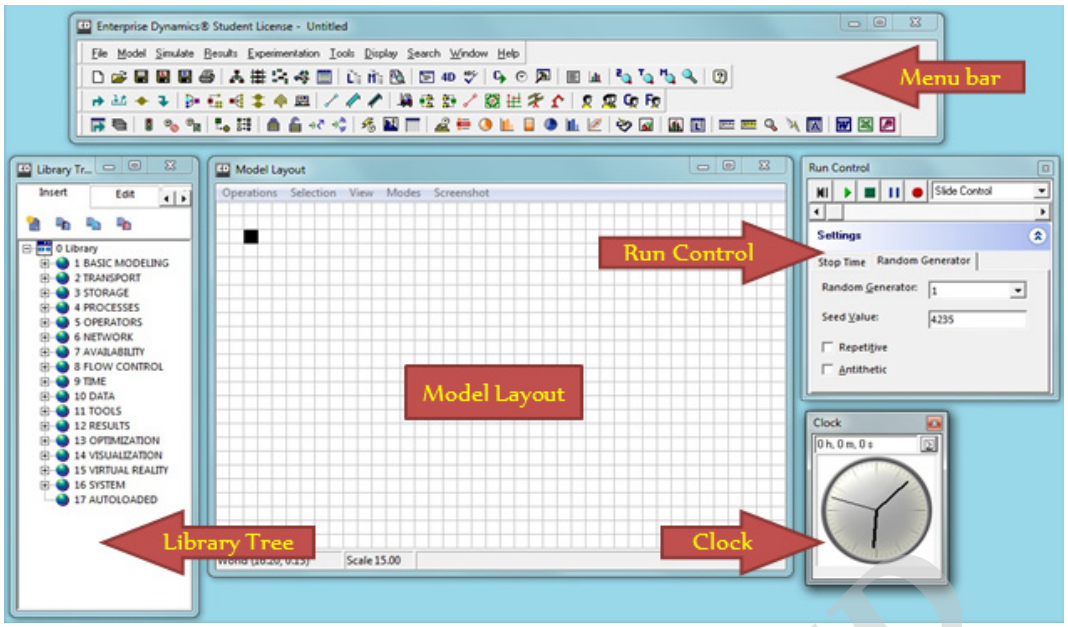
٤- تقاضای بار شارژ PHEV در FCS با شبیه‌سازی مونت‌کارلو

در بخش ۳ به مدل‌سازی تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع بر پایه تئوری صف پرداخته شد. در این قسمت الگوریتم دیگری برای مدل‌سازی احتمالی تقاضای بار خودروهای الکتریکی بر اساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو ارائه می‌شود که برای حل آن از نرم‌افزار شبیه‌سازی ED استفاده می‌گردد.

٤-١ الگوریتم مدل‌سازی بر اساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو

بر اساس نتایج استخراج‌شده در بخش ۲-۲-۱ برای هر یک از

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۰: محیط نرم‌افزار ED.

بازه‌های یک‌ساعته در طول روز، مدت زمان بین ورود خودروها به ایستگاه شارژ از توزیع نمایی با پارامترهای مختلف پیروی می‌کند. در نتیجه می‌توان برای هر ساعت در طول روز با تولید اعداد تصادفی بر اساس توزیع نمایی با پارامتر مختص آن ساعت، زمان ورود خودروها به ایستگاه شارژ را به دست آورد. بر اساس نتایج استخراج‌شده در بخش ۲-۲-۲، مدت زمان شارژ خودروهای الکتریکی از توزیع ویبول پیروی می‌کند. در نتیجه می‌توان برای هر خودروی ورودی به ایستگاه شارژ، مدت زمان شارژی اختصاص داد. با در اختیار قرار داشتن زمان ورود خودرو به ایستگاه و مدت زمان شارژگیری، زمان خروج از ایستگاه شارژ به دست می‌آید. پس می‌توان تعداد خودروهایی را که در هر لحظه در حال شارژگیری هستند محاسبه کرد. به عبارتی یک روز برابر ۸۶۴۰۰ ثانیه می‌باشد که با این الگوریتم مشخص خواهد شد که در هر ثانیه چه تعداد خودرو در ایستگاه شارژ در حال شارژگیری هستند. با به دست آمدن این مقدار و ضرب آن در توان هر شارژر از ایستگاه شارژ، تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی حاصل می‌شود. هر روز یک تکرار مونت‌کارلو محسوب می‌شود. به تعداد تکرارهای تنظیم‌شده مونت‌کارلو این روند تکرار می‌شود تا به معیار توقف مونت‌کارلو برسد. معیار توقفی که برای تعداد تکرارهای مونت‌کارلو فرض شده با توجه به [۱۳] و [۲۲] تعداد ۱۰۰۰۰ تکرار در نظر گرفته گردیده که تعداد تکراری مناسب برای به دست آوردن تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی محسوب می‌شود. پس از پایان تکرارهای مونت‌کارلو، با متوسط‌گیری از مقادیر تقاضای بار شارژ خودروها در هر لحظه می‌توان میانگین بار شارژ خودروها را برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز رسم کرد.

۴-۲ الگوریتم حل مسئله با استفاده از نرم‌افزار ED

نمای اصلی نرم‌افزار ED به صورت شکل ۱۰ است. تمام مدل‌هایی که در این نرم‌افزار ایجاد می‌شوند از عناصری به نام اتم استفاده می‌کنند. اتم‌ها مهم‌ترین عناصر موجود در نرم‌افزار ED هستند. هر عنصری در نرم‌افزار ED می‌تواند یک اتم باشد؛ یک محصول، یک منبع، انواع ماشین‌های صنعتی، انواع وسایل حمل و نقل، ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی و ... .

اتم‌ها در نرم‌افزار بر حسب کاربردشان در دسته‌های مختلف طبقه‌بندی شده‌اند. کلیه اتم‌ها در پنجره Library Tree قرار دارند. به منظور ایجاد ساختار اولیه مدل، ابتدا باید اتم‌های مورد نیاز مدل مربوط را شناسایی کرد و آنها را از پنجره Library Tree به پنجره Model Layout انتقال داد. برای ساخت ساده‌ترین مدل در نرم‌افزار ED به ۵ اتم زیر نیاز است:

$$\text{Product} \Rightarrow \text{Source} \Rightarrow \text{Queue} \Rightarrow \text{Server} \Rightarrow \text{Sink}$$

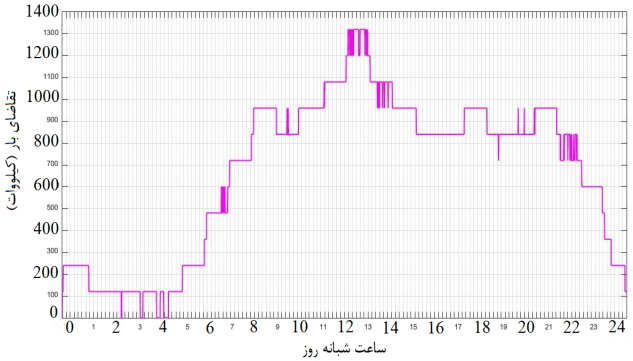
اتم Source برای مسئله ایستگاه شارژ، زمان ورود خودروها به ایستگاه شارژ می‌باشد اما برای داشتن اتم Source ابتدا قبل از آن باید خودروها در اتم Product تعریف و تولید و به اتم Source وارد شوند. برای در نظر گرفتن صف در ایستگاه شارژ به اتم Queue نیاز است. همچنین برای تعداد سرویس‌دهنده و مدت زمان سرویس باید اتم Server در نظر گرفته شود و در انتهای مدل از یک اتم Sink استفاده می‌شود تا خودروها را از سیستم خارج کند. در هر کدام از این اتم‌ها تنظیماتی وجود دارد که با توجه به مسئله مربوط قابل تعریف می‌باشند.

با توجه به نتایج استخراج‌شده از بخش ۲-۲-۱، توزیع احتمال مدت زمان بین ورود خودروها برای هر بازه زمانی حاصل شده که از توزیع نمایی با پارامترهای مختلف پیروی می‌کند. این توزیع‌های نمایی، ورودی اتم Source می‌باشد که در تنظیمات این اتم ثبت می‌شود به طوری که در بازه‌های مختلف، توزیع نمایی با پارامترهای متفاوت تعریف می‌شود. در نتیجه این اتم به تولید اعداد تصادفی از زمان ورود خودروها به ایستگاه شارژ برای ۲۴ ساعت می‌پردازد. اتم بعدی که باید در نظر گرفته شود، اتم Queue است. در این اتم ظرفیت طول صف و نظم صف برای سرویس‌گیری مشخص می‌شود. با توجه به ایستگاه شارژ در نظر گرفته شده برای مسئله، در طول صف محدودیتی وجود ندارد و نظم صف هم از نوع FIFO[1] می‌باشد. بعد از اتم Queue، اتم Server قرار می‌گیرد که در آن تعداد سرویس‌دهنده و مدت زمان سرویس مشخص می‌شود. برای مسئله مورد نظر تعداد سرویس‌دهنده بدون محدودیت و مدت زمان شارژگیری از بخش ۲-۲-۲ به‌صورت توزیع ویبول با پارامترهای $\alpha = ۷٫۸۷۵۷$ و $\beta = ۴۸۳٫۲۵$ حاصل شده است. در این اتم برای هر یک از خودروهای ورودی که در اتم Source وارد ایستگاه شده‌اند، بر

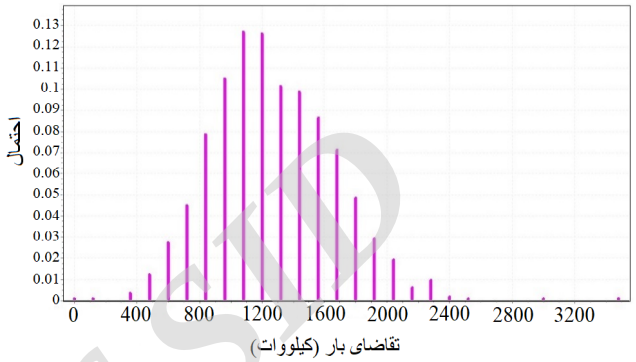
1. First Input First Output

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۱: منحنی تقاضای بار روزانه ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی.



شکل ۱۲: توزیع احتمال تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی در ساعت ۱۲ با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو.

اساس توزیع ویبول یک مدت زمان شارژگیری به آنها اختصاص داده می‌شود و در نتیجه زمان خروج هر یک از خودروها به دست می‌آید. پس به عنوان خروجی، زمان ورود خودروها به ایستگاه شارژ و زمان خروج از آن حاصل می‌شود.

حال با استفاده از نرم‌افزار Matlab برنامه‌ای نوشته می‌شود تا خروجی آن، تعداد خودروهایی باشد که هر لحظه در ایستگاه در حال شارژ هستند. از آنجا که توان هر شارژر از ایستگاه شارژ برابر ۱۲۰ کیلووات می‌باشد، پس با ضرب ۱۲۰ در تعداد خودروهایی که هر لحظه در حال شارژ هستند می‌توان تقاضای بار لحظه‌به‌لحظه ایستگاه شارژ را به دست آورد. همچنین روند کلی حل مسئله با استفاده از روش مونت‌کارلو و همچنین نظریه صف به صورت شکل ۷ مشاهده می‌شود.

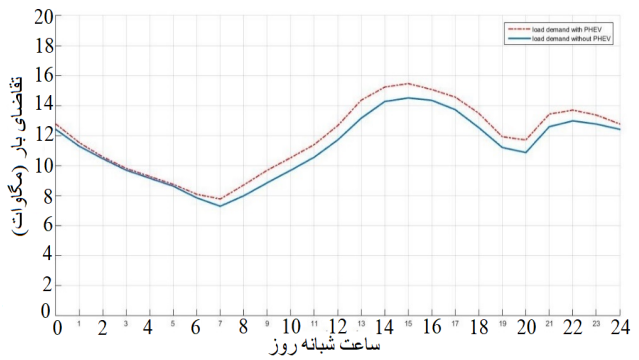
۴-۳ استخراج منحنی تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی در FCS

با هر بار اجرای برنامه، نمونه‌های تصادفی از متغیرهای تصادفی مانند زمان ورود خودرو و مدت زمان شارژ ایجاد می‌شود. حال برای به دست آوردن منحنی تقاضای بار روزانه ایستگاه شارژ، از داده‌های حاصل‌شده از ۱۰۰۰۰ تکرار میانگین گرفته می‌شود و در نتیجه منحنی مورد نظر به صورت شکل ۱۱ به دست می‌آید.

حال برای به دست آوردن توزیع احتمال ساعتی بار خودروها، نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱۲ توزیع احتمال تقاضای بار شارژ خودروهای الکتریکی را برای نمونه در ساعات ۱۲ نشان می‌دهد.

۵- تأثیر شارژ خودروهای الکتریکی بر منحنی بار مصرفی محلی

با توجه به منحنی بار مصرفی روزانه مربوط به منطقه‌ای که محل



شکل ۱۳: منحنی بار مصرفی روزانه در حالت حضور و عدم حضور خودروهای الکتریکی.

قرارگیری ایستگاه شارژ در آنجا فرض شده است، اثر شارژ خودروها بر منحنی بار آن منطقه به صورت شکل ۱۳ به دست می‌آید. منحنی آبی‌رنگ، مربوط به منحنی بار مصرفی روزانه بخشی از شهرستان آمل در تاریخ ۹۵/۵/۱۷ می‌باشد که از برق منطقه‌ای استان مازندران دریافت شده است. منحنی قرمزرنگ، اثر شارژ خودروهای الکتریکی در ایستگاه شارژ سریع بر منحنی بار مصرفی روزانه را نمایش می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی احتمالی برای تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع خودروهای الکتریکی عمومی بر اساس تئوری صف و همچنین شبیه‌سازی مونت‌کارلو با استفاده از نرم‌افزار ED ارائه شد. به دلیل نبود داده‌های واقعی از رفتار ترافیکی خودروهای الکتریکی عمومی که وابسته به رفتار رانندگان می‌باشد، این داده‌ها از رانندگان تاکسی‌های دوگانه‌سوز (بنزین و گاز) داخل شهری شهرستان آمل در یک عملیات میدانی جمع‌آوری شده است. نتایج به دست آمده از دو مدل ارائه‌شده برای تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی عمومی نشان می‌دهد که پیک بار بین ساعت ۱۲ تا ۱۳ رخ داده و مقدار آن برابر ۱۳۲۰ کیلووات می‌باشد. به عبارتی برای مراجعه به طور میانگین ۱۰۲۷ تاکسی به ایستگاه شارژ برای شارژگیری در طول شبانه‌روز، به طور میانگین ۱۱ خودرو به‌طور هم‌زمان آن هم در ساعت بین ۱۲ تا ۱۳ در حال شارژگیری در ایستگاه شارژ هستند که برای هر دو مدل ارائه‌شده چنین جوابی به دست آمده است. با پرسش از رانندگان تاکسی‌های دوگانه‌سوز بنزین و گاز مبنی بر دلیل تصمیم آنها بر سوخت‌گیری در این ساعت روز، پاسخ برخی از آنها این بوده که در این ساعت به دلیل گرمای هوا و ترافیک درون‌شهری، بهتر است که وقت خود را در پمپ‌های گاز بگیرند تا این که به کار بپردازند. همچنین در مورد شکل‌های ۹ و ۱۲ که توزیع احتمالی تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع برای خودروهای الکتریکی با به کارگیری دو روش نظریه صف و روش مونت‌کارلو را در ساعت ۱۲ نشان می‌دهد باید به این نکته اشاره کرد که برای دیگر ساعت‌های شبانه‌روز نیز مانند ساعت ۱۲ توزیع‌های به دست آمده از دو روش به همدیگر شباهت دارند. پس می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم‌های پیشنهادی برای مدل‌سازی تقاضای بار ایستگاه شارژ سریع مناسب می‌باشد و نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. نکته مهمی که وجود دارد این است که با توجه به شکل ۱۳، در ساعاتی که تقاضای بار محلی در حال افزایش است تقاضای شارژ خودروها نیز زیاد می‌باشد که این امر می‌تواند با افزایش تعداد خودروهای الکتریکی اثرات مخربی بر شبکه اعمال کند. در سال‌های اخیر با توجه به کاهش بارندگی و کمبود آب در کشور، بخش عمده ظرفیت نیروگاه‌های آبی از مدار خارج شده و در نتیجه سیستم قدرت با کاهش تولید برق

Archive of SID

www.SID.ir

مواجه شده است. از طرفی به دلیل مصرف بی‌رویه برق، پیک مصرف در حال افزایش می‌باشد به طوری که در تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۲۱ تقریباً ۸۰۰۰ مگاوات کمبود تولید در کشور گزارش شده است (توسط شرکت توانیر) که این امر موجب خاموشی‌هایی در مناطق مختلف کشور شده و مشکلات اساسی را ایجاد کرده است. با در نظر گرفتن روند توسعه و افزایش تعداد خودروهای الکتریکی، پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک ایستگاه‌های شارژ الکتریکی در کشور به طور کمّی و کیفی توسعه یابند. مجموع تقاضای بار این ایستگاه‌ها می‌تواند بر پیک بار کلی شبکه برق کشور تأثیرگذار باشد. تخمین و استخراج بار مصرفی شارژ این خودروها می‌تواند جهت استفاده در بسیاری از امور مربوط به شبکه‌های توزیع مانند طراحی شبکه، پخش بار احتمالی و همچنین انجام مدیریت سمت بار، مفید واقع شود.

مراجع

[1] M. Rahmani-Andebili and G. K. Venayagamoorthy, "SmartPark placement and operation for improving system reliability and market participation," *Electric Power Systems Research*, vol. 123, no. 1, pp. 21-30, Jun. 2015.

[2] S. Schey, Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines British Columbia, Ed: PHEV, 2009.

[3] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid," *Electric Power Systems Research*, vol. 81, no. 1, pp. 185-192, Jan. 2011.

[4] Z. Darabi and M. Ferdowsi, "Aggregated impact of plug-in hybrid electric vehicles on electricity demand profile," *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, vol. 2, no. 4, pp. 501-508, May 2011.

[5] Q. R. Hamid and J. A. Barria, "Distributed recharging rate control for energy demand management of electric vehicles," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 28, no. 3, pp. 2688-2699, Mar. 2013.

[6] E. Sortomme, M. M. Hindi, S. J. MacPherson, and S. Venkata, "Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 198-205, Dec. 2011.

[7] J. C. Gomez and M. M. Morcos, "Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 18, no. 3, pp. 975-981, Jul. 2003.

[8] N. DeForest, J. Funk, A. Lorimer, B. Ur, I. Sidhu, P. Kaminsky, *et al.*, "Impact of widespread electric vehicle adoption on the electrical utility business-threats and opportunities," Center for Entrepreneurship and Technology: Berkeley, CA, USA, 2009.

[9] Z. Luo, Z. Hu, Y. Song, Z. Xu, and H. Lu, "Optimal coordination of plug-in electric vehicles in power grids with cost-benefit analysis-part ii: a case study in China," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 28, no. 4, pp. 3556-3565, Nov. 2013.

[10] Q. Gong, S. Midlam-Mohler, V. Marano, and G. Rizzoni, "Study of PEV charging on residential distribution transformer life," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 404-412, Sept. 2012.

[11] A. Mohamed, V. Salehi, T. Ma, and O. Mohammed, "Real-time energy management algorithm for plug-in hybrid electric vehicle charging parks involving sustainable energy," *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 577-586, Sept. 2014.

[12] J. G. Vlachogiannis, "Probabilistic constrained load flow considering integration of wind power generation and electric vehicles," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 24, no. 4, pp. 1808-1817, Nov. 2009.

[13] N. H. Tehrani and P. Wang, "Probabilistic estimation of plug-in electric vehicles charging load profile," *Electric Power Systems Research*, vol. 124, no. 1, pp. 133-143, Jul. 2015.

[14] S. Bae and A. Kwasinski, "Spatial and temporal model of electric vehicle charging demand," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 394-403, Jul. 2012.

[15] Q. Gong, S. Midlam-Mohler, E. Serra, V. Marano, and G. Rizzoni, "PEV charging control for a parking lot based on queuing theory," in *Proc. American Control Conf.*, pp. 1124-1129, Washington, DC, USA, 17-19 Jun. 2013.

[16] J. Zhu, Y. Li, J. Yang, X. Li, S. Zeng, and Y. Chen, "Planning of electric vehicle charging station based on queuing theory," *The J. of Engineering*, vol. 1, no. 13, pp. 1867-1871, Jan. 2017.

[17] Y. Zhang, D. Qi, W. Jiang, and S. Lei, "Optimal allocation of charging station for electric vehicle based on queuing theory," *Promet-Traffc & Transportation*, vol. 28, no. 5, pp. 497-505, Oct. 2016.

[18] O. Hafez and K. Bhattacharya, "Modeling of PEV charging load using queuing analysis and its impact on distribution system operation," in *Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 5 pp., Denver, CO, USA, 26-30 Jul. 2015.

[19] D. Wu, D. C. Aliprantis, and K. Gkritza, "Electric energy and power consumption by light-duty plug-in electric vehicles," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 26, no. 2, pp. 738-746, Jul. 2011.

[20] A. A. Taylor and M. Alexander, "Evaluation of the impact of plug in electric vehicle loading on distribution system operations," in *Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 6 pp., Calgary, AB, Canada, 26-30 Jul. 2009.

[21] A. F. Ali, M. Abdel-Akher, Z. Ziadi, and T. Senjyu, "Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicle for voltage profile enhancement of distribution systems," in *Proc. IEEE 10th Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems, PEDS'13,* pp. 399-404, Kitakyushu, Japan, 22-25 Apr. 2013.

[22] E. Pashajavid and M. Golkar, "Non-Gaussian multivariate modeling of plug-in electric vehicles load demand," *International J. of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 61, pp. 197-207, Oct. 2014.

[23] M. T. Kenari, M. S. Sepasian, and M. S. Nazar, "Probabilistic voltage stability assessment of distribution networks with wind generation using combined cumulants and maximum entropy method," *International J. of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 95, pp. 96-107, Feb. 2018.

[۲۴] ا. محرمی و س. اسماعیلی، "برنامه‌ریزی توان راکتیو در حضور توربین بادی با در نظر گرفتن نایقینی بار و تولید،" *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، سال ۱۳، شماره ۲- الف، صص. ۱۰۸-۹۷، پاییز ۱۳۹۴.

[25] M. Alizadeh, A. Scaglione, J. Davies, and K. S. Kurani, "A scalable stochastic model for the electricity demand of electric and plug-in hybrid vehicles," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 848-860, Sept. 2014.

حسین یوسفی در سال ۱۳۹۳ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل و در سال ۱۳۹۵ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه شهید بهشتی تهران، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور دریافت نمود. از سال ۱۳۹۶ تاکنون، نام‌برده به عنوان مدیر پروژه در شرکت فنی و مهندسی که مجری پروژه‌های شبکه توزیع و فوق توزیع می‌باشد، مشغول به فعالیت است. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده شامل موضوعاتی مانند تقاضای بار ناشی از شارژ خودروهای الکتریکی و اثرات آن بر شبکه توزیع، مدیریت شارژ خودروهای الکتریکی، طراحی و توسعه شبکه‌های توزیع برق و بهره برداری بهینه از آن می‌باشد.

مقداد تورانداز کناری در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ به ترتیب مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت خود را از دانشگاه علم و صنعت و در سال ۱۳۹۶ مدرک دکتری مهندسی برق- قدرت خود را از دانشگاه شهید بهشتی دریافت نمود. از سال ۱۳۸۷ تاکنون نام‌برده به عنوان مدرس در ۱۲ دانشگاه دولتی و آزاد به کار مشغول بوده است. دکتر تورانداز در پروژه‌های صنعتی مختلف با چندین شرکت و مرکز تحقیقاتی از قبیل پژوهشگاه نیرو و شرکت ادصاب به عنوان همکار و مشاور همکاری داشته است. ایشان از سال ۱۳۹۷ با معاونت هماهنگی توزیع شرکت توانیر همکاری دارد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های هوشمند، شبکه‌های توزیع و منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد.

محمد صادق سپاسیان تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد برق قدرت به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۷۲ از دانشگاه تبریز و دانشگاه تهران و در مقطع دکتری برق قدرت از دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۷۹ به پایان رسانده است و هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه شهید بهشتی می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت و توزیع، مطالعات توان راکتیو و مطالعات پایداری ولتاژ می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir