ارائه یک مدل احتمالاتی برای پیش‌بینی بار شارژ خودروهای برقی در آیندهٔ شبکه‌های توزیع برق ایران

نیما گنجه‌ای[۱]، سید بابک مظفری[۲]، ماهان یوسفی[۳]

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، گروه قدرت

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

تهران، ایران

[۱]n.ganjeie@srbiau.ac.ir, [۲]mozafari@srbiau.ac.ir, [۳]mahan.yousefi@srbiau.ac.ir

چکیده — پیش‌بینی مصرف انرژی الکتریکی همواره یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی بهره‌برداران سیستم‌های قدرت بوده است. در این میان بواسطه پیشرفت و نفوذ روزافزون خودروهای برقی در شبکه‌های توزیع، تخمین سهم ناشی از شارژ آن‌ها اهمیت وافری در این پیش‌بینی پیدا می‌کند. در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر تکنیک‌های احتمالاتی برای پیش‌بینی منحنی بار شارژ خودروهای برقی در آیندهٔ شبکه‌های توزیع برق ایران ارائه خواهد شد. پارامترهای توابع توزیع احتمالی که در این روش برای مدلسازی بار شارژ خودروهای برقی آینده به کار می‌روند، از طریق پردازش اطلاعات به‌دست آمده از مالکان خودروهای متعارف کنونی تخمین زده می‌شوند. به منظور اثبات عملیاتی بودن روش پیشنهاد شده، این روش بر روی یک جامعهٔ آماری کوچک پیاده‌سازی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی — پیش‌بینی منحنی بار شارژ خودروهای برقی، باتری، داده‌های حمل‌ونقل، توابع توزیع احتمال، شبکه هوشمند

۱. مقدمه

امروزه با گسترش روز افزون استفاده از ماشین‌ها در صنایع مختلف، نیاز به منابعی که بتوانند انرژی لازم برای راندن این ماشین‌ها را بصورت ایمن فراهم کنند بشدت احساس می‌شود. در گذشته سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین منابع تامین انرژی بوده‌اند، اما به‌دلیل نگرانی‌هایی مانند نوسانات قیمتی و موضوعات امنیتی که در رابطه با کشورهای تامین کننده این منابع وجود دارد و هم‌چنین مسائل زیست محیطی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای که استفاده از این منابع بر جای می‌گذارند امروزه صنایع مختلف به‌دنبال جایگزین کردن تکنولوژی‌های تامین انرژی خود افتاده‌اند[۱-۳]. به‌عنوان مثال صنعت برق استفاده از تکنولوژی‌های مبتنی بر منابع تجدیدپذیر را در اولویت خود در تامین انرژی قرار داده‌اند. به دنبال این رویکرد صنعت حمل‌ونقل نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع مصرف‌کننده سوخت به‌دنبال جایگزین‌کردن خودروهای احتراق داخلی خود افتاده‌اند. خودروهای برقی قابل شارژ به دلیل آلودگی پایین و بازدهی بالا به عنوان یکی از بهترین کاندیدها برای جایگزینی خودروهای مبتنی بر سوخت‌های فسیلی پا به عرصه وجود گذاشته‌اند و پیشرفت‌های شگفت‌انگیز اخیر در صنعت باتری، تاسیسات شارژ و شارژر این خودروها باعث شده است که مشکل شارژ این خودروها که بزرگترین مانع بر سر راه گسترش این خودروها بود نیز حل شود [۴و۵] . سازمان‌های انرژی در کشورهای مختلف پیش‌بینی نفوذ بالایی از این تکنولوژی را در بخش حمل‌ونقل نموده‌اند. سازمان انرژی در آمریکا پیش‌بینی کرده است که تا سال ۲۰۱۵ نقریبا یک میلیون خودروی برقی قابل شارژ در جاده‌های آمریکا وجود خواهد داشت و جالب‌تر از آن این‌که تنها در سال ۲۰۱۵، ۴۲۵۰۰۰ دستگاه از این خودروها فروخته خواهد شد که معادل ۲.۵٪ کل خودروهای فروخته شده جدید خواهد بود [۶].

اگرچه نفوذ بالای خودروهای برقی راه‌حل مناسبی جهت کاهش مصرف سوخت به‌شمار می‌آید اما با گسترش زیاد این خودروها مشکلات زیادی برای صنعت برق در رابطه با شارژ کردن آن‌ها پیش خواهد آمد.

از سویی حضور خودروهای برقی در شبکه برای بهره‌برداران به معنای هزینه‌های زیرساخت در بخش‌های تولید توان، بروز در آوردن سیستم توزیع و نصب تاسیسات شارژ خواهد بود [۷] که برای این‌که از هزینه‌های اضافی سرمایه‌گذاری در این موارد جلوگیری شود، درک دقیق منحنی‌های بار شارژ این خودروها یکی از ضروریت‌های اساسی می‌باشد.

از سوی دیگر رفتارهای تصادفی و ناهماهنگ مالکان این خودروها برای شارژ آن‌ها می‌تواند تنش‌های زیادی را برای شبکه‌های توزیع مانند اضافه بار، اضافه ولتاژ، اضافه تلفات و ... بوجود آورد و بنابراین قابلیت اطمینان و امنیت این شبکه‌ها را با مشکلات حادی مواجه سازد [۸]. از این‌رو لازم است این رفتارها همگی کنترل و هماهنگ شود که برای این منظور اولین گام حصول درک صحیح از منحنی بار شارژ کنترل نشده آن‌ها خواهد بود. بنابراین در مجموع، در صورتی که تصمیمات مرتبط با خودروهای برقی بدون اطلاع دقیق و صحیح از منحنی‌های بار شارژ آن‌ها باشد منجر به هزینه‌های اقتصادی و معضلات عملی متعددی خواهد شد.

به‌منظور پیش بینی بار شارژ خودروهای برقی به برخی اطلاعات مانند احتمال وصل روزانه آن‌ها به شبکه[1]، زمان وصل آن‌ها به شبکه[2]، مدت زمان موردنیاز فرآیند شارژ[3] و ظرفیت باتری[4] آن‌ها نیاز است. برای این منظور تاکنون روش‌های مختلفی ارائه گردیده است. روشی که در [۷] برای پیش‌بینی بار ارائه گردیده است بر مبنای اطلاعات حاصل از تجهیزات سیستم موقعیت‌یاب جهانی[5] بوده که بدلیل هزینهٔ بالای نصب این تجهیزات تنها ۷۶ نمونه از خودروها برای این کار انتخاب شده‌اند که بالتبع باعث از دست رفتن دقت اطلاعات خواهد شد. مرجع [۹] برای پیش‌بینی منحنی بار شارژ خودروهای برقی آن کشور از اطلاعات پایگاه داده خودروهای متعارف وزارت حمل‌ونقل آن کشور استفاده کرده است. این مرجع هم‌چنین تنها یک نوع خودروی برقی با توان شارژر مشخص را مبنای عمل قرار داده است که این فرض تاثیر زیادی در جواب‌ها می‌گذارد. هم‌چنین در بسیاری از تحقیقاتی که در آن‌ها به مساله مدیریت و کنترل نحوه و زمان شارژ این خودروها پرداخته شده است مانند [۱۰–۱۵]، فرض بر آن است که اطلاعات لازم تخمین منحنی بار شارژ کنترل نشده از طریق زیرساخت‌های شبکه‌های هوشمند کشورهای مربوطه فراهم است. بنابراین در کشورهای در حال توسعه‌ای همچون ایران که این بسترها فراهم نیست ارائه راهکاری که بتواند میزان سهم این خودروها را در منحنی بار آینده تخمین بزند یکی از ضروریت‌های مهم می‌باشد.

در این مقاله یک راه‌حل جدید برای پیش‌بینی بار شارژ خودروهای برقی ارائه می‌شود. در این روش پس از توزیع پرسش‌نامه در میان مالکان خودرهای متعارف کنونی، اطلاعات لازم برای مدلسازی مساله از آن‌ها کسب می‌شود. بر مبنای اطلاعات بدست آمده خودروها به دسته‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند. هر دسته نمایندهٔ خودروهایی با احتمال وصل به شبکه و توان شارژر یکسان خواهد بود. در هر دسته بار شارژ خودروهای برقی در شکل توابع دوجمله‌ای استخراج می‌شود. سپس بر پایه اصول حاکم بر علم احتمالات توابع دوجمله‌ای هر دسته با توابع توزیع احتمال نرمال تقریب زده می‌شوند و در انتها توابع توزیع احتمال نرمال بدست آمده برای هر دسته با یکدیگر ترکیب خواهند شد و تابع توزیع احتمال کل بار شارژ خودروهای برقی در هر ساعت بدست آورده می‌شود.

در ادامه، ساختار مقاله به شکل زیر خواهد بود: در بخش دوم روش تخمین منحنی بار شارژ خودروهای برقی آینده بر پایهٔ الگوهای رانندگی و پارک خودروهای متعارف کنونی شرح داده می‌شود. بخش سوم به نحوه‌ی پیاده‌سازی روش پیشنهاد شده بر روی یک جامعه‌ی آماری نمونه می‌پردازد. برای این منظور بخش ۱.۳ نحوه‌ی جمع‌آوری اطلاعات لازم را شرح می‌دهد، در بخش ۲.۳ اطلاعات جمع‌آوری شده دسته‌بندی می‌شود و در انتها در بخش ۳.۳ تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهای برقی جامعه نمونه به‌دست آورده می‌شود. در پایان در بخش ۴ نتیجه‌گیری نهایی ارائه می‌شود.

۲. روش مدلسازی

همان‌طور که پیش از این اشاره شد به‌منظور پیش بینی بار شارژ خودروهای برقی به برخی اطلاعات مانند احتمال وصل روزانه آن‌ها به شبکه، زمان وصل آن‌ها به شبکه، مدت زمان موردنیاز فرآیند شارژ و ظرفیت باتری آن‌ها نیاز است.

تا زمانی‌که خودروهای برقی به طور کامل جایگزین خودروهای متعارف کنونی نشوند تخمین دقیق این پارامترها ممکن نخواهد بود. با این حال، می‌توان با فرض این‌که عادت‌های رانندگی و پارک خودروهای برقی مشابه خودروهای متعارف موجود خواهد بود به این اطلاعات دست یافت. با این فرض، این اطلاعات می‌تواند از طریق پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده‌ای

[1] daily plug-in probability
[2] plug-in time
[3] duration of charging process
[4] battery capacity
[5] GPS

که از پرسش‌نامه‌های توزیع شده در میان مالکان خودروهای متعارف کنونی حاصل شده است بدست آید. همچنین لازم است با تشریح ویژگی‌های خودروهای برقی آینده برای این مالکان، نوع خودرویی که قرار است در آینده بخرند مشخص شود. این کار برای مشخص شدن نوع باتری و شارژری که در آن نوع خودرو استفاده می‌شود ضروری است. با این اطلاعات می‌توان به مدل احتمالاتی بار شارژ خودروهای برقی در طی مراحل ذیل دست یافت:

گام اول: تخمین احتمال وصل روزانه خودرو به شبکه، زمان وصل خودرو به شبکه، مدت زمان موردنیاز فرآیند شارژ :

با پردازش زمان رسیدن به خانه خودروی متعارف کنونی که در طول یک دورهٔ زمانی مشخص مانند یک ماه در پرسش‌نامه ثبت می‌شود می‌توان به احتمال وصل روزانه خودروی برقی جایگزین آن خودرو دست یافت. محتمل‌ترین ساعتی که در آن خودرو به خانه می‌رسد زمان وصل روزانه آن خودرو به شبکه و احتمال متناظر آن احتمال وصل روزانه آن خودرو به شبکه در نظر گرفته می‌شود.

مدت زمان موردنیاز فرآیند شارژ برای هر خودرو از طریق توان نامی شارژر باتری و ظرفیت باقی‌مانده برای شارژ باتری بدست می‌آید. ظرفیت باقی‌مانده برای شارژ از (۱) و بر اساس میانگین مسافت طی‌شده روزانه و ظرفیت باتری بدست می‌آید[۷] که این اطلاعات نیز از روی پرسش‌نامه‌های توزیع‌شده بدست می‌آیند.

$$RBC = C - SOC \qquad (۱)$$

$$SOC = 1 - \left(\frac{EC.D}{C}\right)\times 100$$

در این رابطه SOC وضعیت شارژ باتری (kWh)، D میانگین مسافت طی شده (km)، C ظرفیت باتری (kWh) و EC بازهٔ مصرف الکتریکی کلی در هر کیلومتر (kWh/km) را بیان می‌کند.

گام دوم: محاسبه‌ی تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهای برقی که برای اولین بار به شبکه متصل می‌شوند در هر ساعت (یعنی خودرویی که در آن ساعت تازه به خانه رسیده و خودروی خود را برای شارژ به شبکه وصل می‌کند):

برای محاسبهٔ تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهای برقی که برای اولین بار به شبکه متصل می‌شوند یک مدل احتمالاتی بر اساس مرحلهٔ قبل ساخته می‌شود. برای این منظور، ما در هر ساعت خودروهایی را که تازه برای اولین در آن ساعت به شبکه متصل شده‌اند را بر اساس احتمال وصل روزانه یکسان و توان شارژر یکسان به دسته‌های مختلف تقسیم می‌کنیم. در هر دسته احتمال اتصال همزمان خودرهای برقی به شبکه با استفاده از توزیع دوجمله‌ای که در (۲) داده شده است محاسبه می‌شود.

$$P(k)= \binom{n}{k} \rho^k (1-\rho)^{n-k} \qquad for\ k = 0, 1, \ldots, n \qquad (۲)$$

که در آن k تعداد خودروهای وصل شده به شبکه، ° احتمال وصل مشترک و n تعداد کل خودروها در هر دسته است.

از لحاظ ریاضی، نتایج توزیع دوجمله‌ای در صورتی که تعداد داده‌ها به اندازه کافی زیاد باشد می‌تواند با تابع توزیع نرمال تقریب زده شود. بنابراین می‌توان تابع توزیع دوجمله‌ای اتصال همزمان خودروهای قرار گرفته در هر دسته را با تابع توزیع نرمال تقریب زد که پارامترهای آن در (۳) داده شده است.

$$N\,(\,np\,,\,np(1-p)\,) \qquad (۳)$$

در هر دسته برای بدست آوردن تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهای برقی که برای اولین بار به شبکه متصل می‌شوند، تنها لازم است (۳) را از طریق ضرب در مقدار توان نامی یکسان شارژرهای آن دسته اصلاح کنیم که رابطه اصلاح شده آن در (۴) نشان داده شده است. در این رابطه m مقدار توان نامی یکسان شارژرهای هر دسته می‌باشد. انجام این کار بر مبنای این اصل استوار است که متغیر تصادفی X با توزیع نرمال، میانگین » و انحراف معیار ±می‌تواند از طریق (۵) خطی شود.

تابع توزیع احتمال خودروهایی که برای اولین بار به شبکه متصل می‌شوند در هر دسته $\approx N(mn°, m^2 n\rho(1-\rho))$ (۴)

$$\alpha X + \beta = N(\alpha\mu + \beta, \alpha^2\beta^2) \qquad (۵)$$

مرحله‌ی بعدی ترکیب توابع توزیع احتمال نرمال حاصل شده برای خودروهای دسته‌های مختلف است. این کار نیز بر مبنای این اصل تئوری احتمالات انجام می‌شود که اگر X_1 و X_2 دو متغیر رندوم با توزیع نرمال، میانگین‌های $_1$» و $_2$» و انحراف معیارهای $_1$± و $_2$±باشند رابطهٔ زیر در مورد آن‌ها صادق است:

$$X_1 + X_2 \approx N(«_1 + «_2, \pm_1^2 + \pm_2^2) \qquad (۶)$$

بر اساس نظریه بالا، توان ترکیب شدهٔ خودروهای الکتریکی دسته‌های مختلف در ساعاتی که به شبکه متصل می‌شوند با استفاده از (۷) بدست می‌آید.

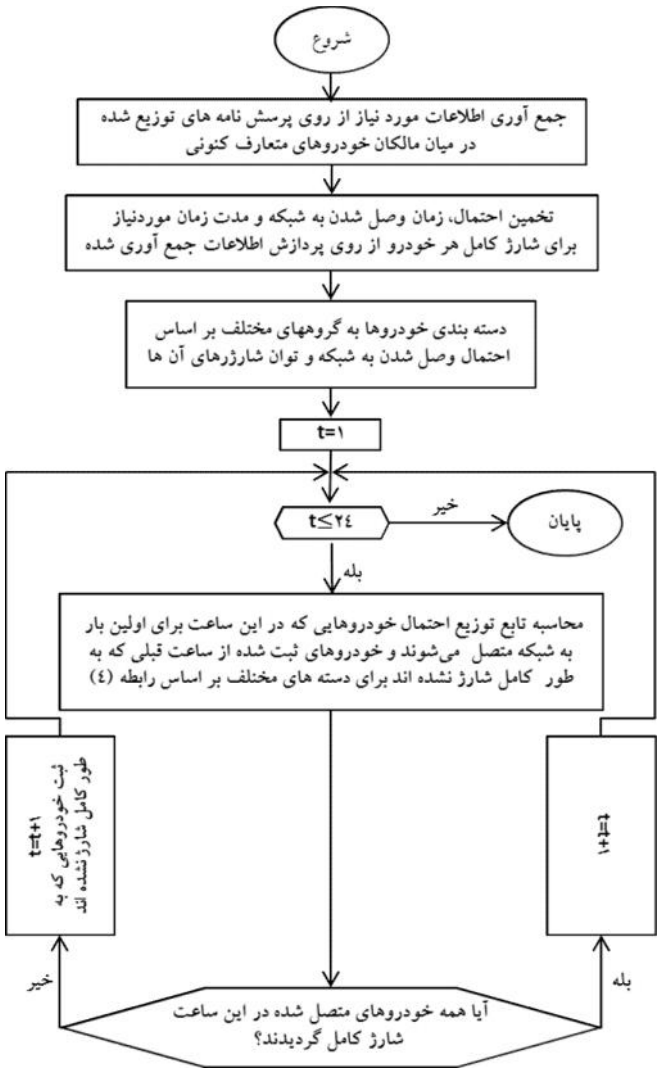
تابع توزیع احتمال ترکیبی خودروهایی که برای اولین بار به شبکه متصل می‌شوند ≈

$$N(\mu_{first\ group}+\ldots+\mu_{last\ group}\ ,\ \sigma^2_{first\ group}+\ldots+\sigma^2_{last\ group}) \qquad (۷)$$

گام سوم: بدست آوردن تابع توزیع احتمال بار کل شارژ خودروهای برقی در هر ساعت

در آخرین گام برای بدست آوردن تابع توزیع احتمال بار کل شارژ خودروهای برقی در هر ساعت باید به نتایج به دست آمده از (۷)، توان شارژر خودروهایی که از ساعت قبلی به شبکه متصل شده‌اند اما هنوز مدت زمان فرآیند شارژ کامل آن‌ها سپری نشده است اضافه کرد. برای این منظور پس از شناسایی خودروهایی که در ساعات قبلی هنوز به طور کامل شارژ نشده‌اند (براساس مدت زمان مورد نیاز برای شارژ خودروها که از گام اول بدست آمده است) برمبنای (۶)، توان شارژر آن‌ها به میانگین منحنی تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهایی که برای اولین بار به شبکه وصل گردیده‌اند اضافه می‌شود. به عبارت دیگر تابع توزیع احتمال توان بار ناشی از شارژ خودروهایی که برای اولین بار به شبکه وصل می‌شوند به‌اندازه مجموع توان شارژر خودروهایی که از ساعت‌های قبل به شبکه متصل شده‌اند اما هنوز شارژ کامل نشده‌اند به سمت راست شیفت داده می‌شود.

در شکل ۱ الگوریتم محاسبه مدل احتمالاتی بار شارژ خودروهای برقی در هر ساعت مشاهده می‌گردد.



شکل ۱: الگوریتم محاسبه مدل احتمالاتی بار شارژ خودروهای برقی

۳. شبیه‌سازی-مطالعه موردی

۳.۱. *جمع‌آوری اطلاعات*

به منظور اثبات کارآیی روش پیشنهاد شده، این روش بر روی یک جامعهٔ آماری کوچک پیاده‌سازی گردید. برای این کار یک جامعهٔ آماری ۱۰۰ نفری از دانشجویان دانشگاه علوم و تحقیقات تهران انتخاب گردیدند و ضمن تشریح نفوذ اجتناب ناپذیر خودروهای برقی در آینده حمل‌ونقل کشور برای این گروه، ضرورت پیش‌بینی بار شارژ آن‌ها برای ایجاد زیرساخت‌های لازم بیان گردید. در گام بعدی تکنولوژی‌های مختلف باتری و شارژر باتری مورد استفاده در این خودروها که دارای ظرفیت و توان‌های شارژر متفاوتی می‌باشند و به‌عبارت بهتر دارای میانگین مسافت قابل پیمایش و مدت زمان لازم برای شارژ کامل متفاوتی می‌باشند برای آن‌ها معرفی گردیدند. لازم بذکر است به منظور سهولت تصمیم‌گیری متقاضیان در انتخاب تکنولوژی‌های مختلف باتری و شارژر باتری خودروهای برقی از ورود به مسائل اقتصادی این تکنولوژی‌ها اجتناب شد و متقاضیان صرفا بر اساس مسافتی که نیاز دارند در طول روز پیمایند ظرفیت باتری مورد نیاز خود را انتخاب می‌کردند و بر اساس مدت زمانی که مدنظر دارند باتری خودروشان شارژر شود اقدام به انتخاب توان شارژر باتری خود کرده‌اند. در آخرین گام با توزیع پرسش‌نامه‌هایی، از آن‌ها خواسته شد علاوه بر این‌که

نوع تکنولوژی را که با شرایط زندگی آن‌ها مطابقت بیشتری دارد و بنابراین در آینده، خودروی کنونی خود را با محصولات دارای آن تکنولوژی جایگزین می‌کنند مشخص کنند، سایر اطلاعات خواسته شده در پرسش‌نامه را نیز پر کنند. در شکل ضمیمه نمونه‌ای از پرسش‌نامه‌های توزیع شده مشاهده می‌گردد.

۲.۳ دسته‌بندی نتایج

پس از استخراج و تحلیل نتایج بدست آمده از پرسش‌نامه‌های توزیع شده در میان دانشجویان، محتمل‌ترین زمان وصل به شبکه، احتمال وصل به شبکه در محتمل‌ترین زمان وصل به شبکه، و مدت زمانی که هر خودرو برای شارژ کامل به شبکه متصل خواهد ماند مشخص گردید. در جدول ۱ اطلاعات دسته‌بندی شده در نخستین ساعتی که خودروها به شبکه متصل خواهند گردید مشاهده می‌شود.

جدول ۱: نتایج دسته‌بندی داده‌های خودروهایی که در نخستین ساعت به شبکه وصل می‌شوند

توان شارژر / احتمال وصل به شبکه	۳.۳ kW	۷ kW	۲۰ kW
...	...	...	...
۰.۳–۰.۴	۰	۱	۰
۰.۴–۰.۵	۱	۱	۴
۰.۵–۰.۶	۲	۳	۴
...	...	...	...
۰.۹–۱	۲	۲	۱

همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌گردد احتمال وصل به شبکه توسط بازه‌های ۰.۱ و توان شارژر خودروها بر اساس مقدار توان برخی از عمومی‌ترین شارژرهای موجود [۱۶–۱۷] از یکدیگر تفکیک گردیده‌اند. هر بلوک تعداد خودروهایی را که به بازهٔ متناظر تعلق دارند نشان می‌دهد.

۳.۳ محاسبهٔ بار شارژ خودروهای برقی جامعه نمونه

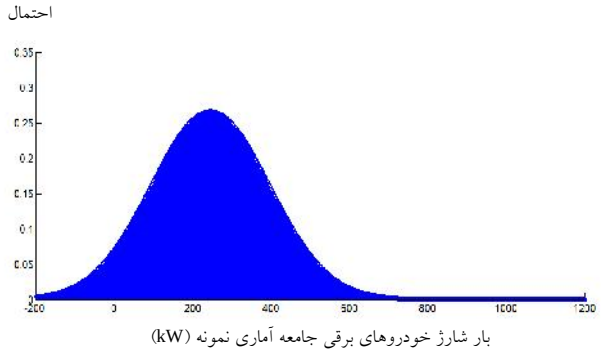
همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در نخستین ساعتی که خودروها به شبکه متصل می‌شوند تعداد ۴ خودرو وجود دارد که احتمال وصل به شبکه و توان شارژر آن‌ها درمحدوده‌ی (۰.۶~۰.۵] و ۲۰ kW قرار می‌گیرد. بنابراین تابع توزیع احتمال بار شارژ این ۴ خودرو در این ساعت با استفاده از (۴) به صورت ذیل بدست می‌آید:

تابع توزیع احتمال $_{۳ و ۴}$ ≈ N (۲۰ × ۴ × ۰۵۵ و ۴۰۰ × ۴ × ۰۵۵ × ۰۴۵)

در این رابطه زیرنویس تابع توزیع احتمال نشان‌دهندهٔ سطر و ستون مربوطه در جدول هستند. هم‌چنین تابع توزیع احتمال باقیماندهٔ دسته‌ها نیز می‌تواند بطریق فوق بدست آید. بدین‌ترتیب از آنجا که هر دسته متناظر با یک متغیر رندوم نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص است، تابع توزیع احتمال بار کل شارژ خودروهای برقی در این ساعت می‌تواند با استفاده از (۷) بطریق ذیل بدست آورده شود که نمودار آن در شکل ۲ رسم شده است.

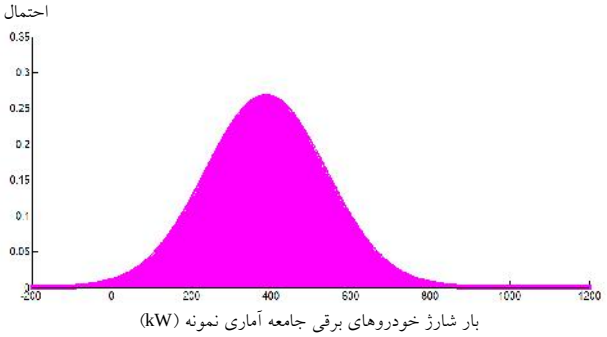
تابع توزیع احتمال = ... + تابع توزیع احتمال $_{۳ و ۴}$ + تابع توزیع احتمال $_{۳ و ۴}$ + ...

تابع توزیع احتمال $_{۳ و ۴}$ + تابع توزیع احتمال $_{۳ و ۴}$ + ...



شکل ۲: تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهای برقی در ساعت اول

برای محاسبهٔ تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروها در ساعت دوم، در اولین گام پس از دسته‌بندی داده‌ها و اتخاذ رویکردی مشابه با ساعت اول، تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهایی که در این ساعت برای اولین بار به شبکه متصل گردیده‌اند بدست می‌آید که در شکل ۳ رسم شده است.



شکل ۳: تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهای برقی که در ساعت دوم برای اولین بار به شبکه متصل شده‌اند.

حال باید مجموع توان شارژرهای خودروهایی کـه در سـاعت قبـل بـه شبکه متصل گردیده‌اند اما هنوز بصورت کامل شارژ نشده‌اند بـه تـابع فـوق اضافه شود. برای این کار در ابتدا مدت زمـان موردنیـاز بـرای شـارژ کامـل خودروهایی که در ساعت اول به شبکه متصل گردیده‌اند بـا اسـتفاده از (۱) محاسبه می‌شود. در ادامه نحوهٔ محاسبه‌ی این زمان بر مبنای اطلاعـات یکـی از مالکان خودروهای متعارف کنونی نشان داده می‌شود.

خودروی شماره ۲۲ :

نوع خودروی برقی که مالک خودرو تمایل دارد جایگزین خودروی متعارف خود کند: ظرفیت باتری ۴.۴ kWh – توان شارژر ۳.۳ kW

محتمل‌ترین ساعت برای وصل به شبکه: ساعت ۱۶

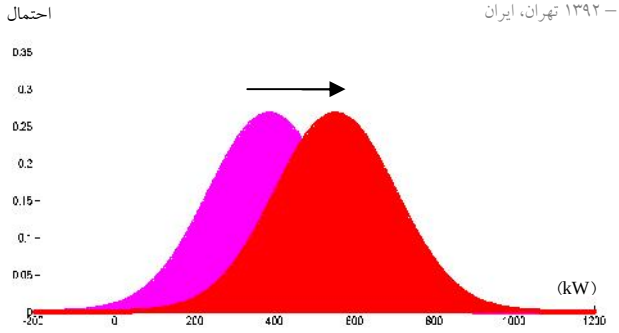
احتمال وصل به شبکه در این ساعت: ۰.۹

میانگین مسافت طی شده در طول روز: ۲۰km

$$RBC = ۴.۴ - ۲۴٪ \times ۴.۴ = ۳.۳\text{kWh}$$

$$SOC = ۱ - ((۱/۶ \times ۲۰) / ۴.۴) \times ۱۰۰ = ۲۴٪$$

بنابراین وقتی این ماشین با شـارژر ۳.۳kW خـود شـارژ شـود حـدود یـک ساعت طول می‌کشد که شارژ کامل شود. به همین ترتیـب ایـن زمـان بـرای سایر خودروهایی که در ساعت اول بـه شـبکه متصـل مـی‌گردنـد محاسـبه می‌شود تا مشخص گردد آیا در همان ساعت اول شارژ کامل شـده‌انـد و یـا هنوز در ساعات بعدی از شبکه برق خواهنـد کشـید. سـپس مجمـوع تـوان شارژر خودروهایی که در ساعت دوم هنوز در منحنی بـار دخالـت خواهنـد داشت، به تابع توزیع احتمال خودروهایی که در ساعت دوم برای اولین بـار به شبکه متصل گردیده‌اند افزوده می‌شود که این فرآیند در شکل ۴ مشـاهده می‌گردد.

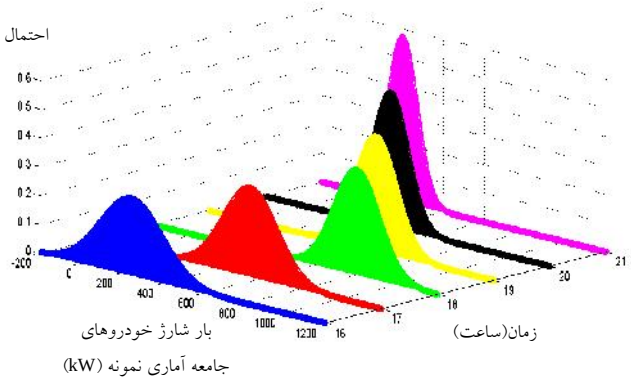


تابع توزیع احتمال بار شارژ خودروهایی که برای اولین بار در ساعت دوم به شبکه وصل شده‌اند

تابع توزیع احتمال بار کل شارژ (شامل خودروهایی که برای اولین بار در سـاعت دوم به شبکه وصل شده‌اند و خودروهـایی از سـاعت اول کـه هنـوز شـارژ کامـل نشده‌اند)

شکل ۴: تابع توزیع احتمال بار کل شارژ خودروهای برقی در ساعت دوم

با ادامه این روش تابع توزیع احتمال بـار شـارژ خودروهـای برقـی جامعـهٔ آماری نمونه بدست آورده می‌شود که نتایج نهایی در شکل ۵ مشـاهده مـی‌گردد.



شکل ۵: تابع توزیع احتمال بار کل شارژ خودروهای برقی جامعه آماری نمونه

۴. نتیجه‌گیری

به‌منظور شناسایی چالش‌های حضور خودروهای برقی در آینده شبکه توزیع ضروری است که در اولین گام منحنی بار شارژ آن‌هـا تخمـین زده شـود. از آنجا که الگوهای اتصال به شبکه این خودروها به طـور مشـخص بـه رفتـار مالکان آن‌ها بستگی دارد، در این مقاله از این ایده استفاده گردیده و بر مبنای رفتار مالکان خودروهای متعارف کنونی در رانندگی یک راه‌حل عملی بـرای

پیش‌بینی این بار ارائه گردید. به‌منظور اثبات کارایی روش پیشنهاد شده این روش بر روی یک جامعه آماری کوچک نمونه پیاده‌سازی گردید و نتایج پیش‌بینی در قالب منحنی‌های توابع توزیع احتمال در هر ساعت ارائه گردید. هم‌چنین از آن‌جا که تکنولوژی‌های مختلف خودروهای برقی تاثیر زیادی بر روی نتایج پیش‌بینی خواهد گذاشت در روش پیشنهادشده این مسائل نیز مدلسازی گردید.

منابع

[1] J. Eastin, R. Grundmann, A. Prakash, “The two limits debates: Limits to Growth and climate change,” Futures, vol. 43 (1), pp. 16–26, 2010.

[2] Y. Cancino-Solo´rzano, et al, “Electricity sector in Mexico: current status. Contribution of renewable energy sources,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14 (1), pp. 454–61, 2010.

[3] AM. Omer, “Energy, environment and sustainable development,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12 (9), pp. 2265–300, 2008.

[4] X. Oua, X. Zhanga, and S. Changa, “Scenario analysis on alternative fuel/vehicle for china’s future road transport: Life-cycle energy demand and GHG emissions,” Energy Policy, vol. 38, pp. 3943–3956, 2010.

[5] R. Sioshansi and P. Denholm, “Emissions impacts and benefits of plug-in hybrid electric vehicles and vehicle-to-grid services,” Environ. Sci. Technol., vol. 43, pp. 1199–2004, 2009.

[6] W. Su, MY. Chow, “Performance Evaluation of an EDA-Based Large-Scale Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging Algorithm,” IEEE Transactions on smart grid, vol. 3 (1), pp. 1-8, 2012.

[7] A. Ashtari, E. Bibeau, S. Shahidinejad, T. Molinski, “PEV Charging Profile Prediction and Analysis Based on Vehicle Usage Data,” IEEE transactions on smart grid, vol. 3, no. 1, march 2012

[8] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile,” IEEE Transactions on smart grid, vol. 2, no. 3, september 2011

[9] A. Lojowska, D. Kurowicka, G. Papaefthymiou, L. Sluis, “From Transportation Patterns to Power Demand: Stochastic Modeling of Uncontrolled Domestic Charging of Electric Vehicles,” power and energy society general meeting, IEEE, 24-29 july 2011, p.p 1-7.

[10] K. Mets, T. Verschueren, W. Haerick, C. Develder, and F. De Turck, “Optimizing smart energy control strategies for plug-in hybrid electric vehicle charging,” in Proc. 2010 IEEE/IFIP Network Oper. Manage. Symp. Workshops (NOMS), pp. 293–299.

[11] A. Rashid and D. Waraichs, “Plug-in hybrid electric vehicles and smart grid: Investigations based on a micro-simulation,” ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, IVT, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, pp. 1–23, 2009.

[12] D. Westermann, M. Agsten, and S. Schlegel, “Empirical BEV model for power flow analysis and demand side management purposes,” in Modern Elect. Power Syst. 2010,Wroclaw, Poland [Online]. Available:http://www.meps10.pwr.wroc.pl/submission/data/papers/12.6.pdf

[13] T. Markel, M. Kuss, and P. Denholm, “Communication and control of electric drive vehicles supporting renewables,” in Proc. 2009 IEEE Veh. Power Propulsion Conf., pp. 27–34.

[14] G. B. Shrestha and B. C. Chew, “Study on the optimization of chargedischarge cycle of electric vehicle batteries in the context of Singapore,” in Proc. 2007 AUPEC Conf., pp. 1–7.

[15] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, and Y. Yuan, “Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems,” IEEE Trans. Power Syst., pp. 1–9, Aug. 2010.

[16] http://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772

[17] http://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station

ضمیمه

نمونه‌ای از پرسش‌نامه‌ی پیش‌بینی بار شارژ خودروهای برقی

انتخاب نوع تکنولوژی باتری و شارژر باتری خودروی برقی:

در صورت تمایل به جایگزینی خودروی خود با خودروی برقی از کدام یک از تکنولوژی‌های باتری و شارژر باتری ذیل استفاده خواهید کرد؟

ظرفیت باتری بالاتر : مسافت قابل پیمایش بیشتر

توان شارژر بالاتر: زمان موردنیاز کمتر برای شارژ کامل

ظرفیت باتری ۴.۴ kWh			ظرفیت باتری ۷.۷ kWh			ظرفیت باتری ۱۶ kWh			ظرفیت باتری ۲۵ kWh		
توان شارژر ۳.۳ kW	توان شارژر ۷ kW	توان شارژر ۲۰ kW	توان شارژر ۳.۳ kW	توان شارژر ۷ kW	توان شارژر ۲۰ kW	توان شارژر ۳.۳ kW	توان شارژر ۷ kW	توان شارژر ۲۰ kW	توان شارژر ۳.۳ kW	توان شارژر ۷ kW	توان شارژر ۲۰ kW

ثبت اطلاعات رانندگی:

زمان رسیدن به خانه: زمان رسیدن به خانه در طول ۴ هفته متوالی را ثبت کنید.

مثال: هفته اول	ساعت								
روز	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
شنبه									
یکشنبه									
دوشنبه									
سه‌شنبه									
چهارشنبه									
پنج‌شنبه									
جمعه									

میانگین مسافت طی شده در طول روز: