استراتژی‌های مختلف شارژ خودروهای برقی جهت جلوگیری از کاهش عمر عایق روغن ترانسفورماتورهای توزیع

رحمن انصاری‌پور [۱*]، مصطفی قادری‌پور [۲]

۱-دانشجوی دکتری برق قدرت، شرکت برق منطقه‌ای خوزستان، اهواز، ایران
ansari_۱۳۷۹@yahoo.com
۲- مدرس گروه برق، دانشکده فنی و حرفه¬ای پسران دزفول، دزفول، ایران
mostafa_ghaderipour@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۱

چکیده

حضور گسترده خودروهای برقی به‌صورت کنترل نشده باعث بارگذاری بیش‌ازحد تجهیزات شبکه توزیع می‌شود. یکی از این تجهیزها، ترانسفورماتورهای توزیع است که باید به بارگذاری بیش‌ازحد و کاهش عمر این تجهیز در اثر شارژ خودروهای برقی توجه شود. ابتدا استراتژی‌هایی برای بررسی تأثیر میزان سطح نفوذ خودرو برقی و نحوه شارژ روی تجهیزات شبکه ارائه شده است. از این استراتژی‌ها با کمک روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، مدل‌های شارژ خودرو برقی برای یک شبانه‌روز به‌دست آمده است. استراتژی اول شامل مدل‌سازی شارژ کنترل نشده به‌صورت آهسته و سریع در منطقه مسکونی و محل کار است و استراتژی دوم فقط شارژ در محل کار است. این مدل‌ها با گرفتن پارامترهایی مانند تعداد خودروها، بار پایه، اطلاعات سفری، ضریب نفوذ خودرو برقی، پروفیل بار، ناشی از مجموع بار عادی و بار ناشی از شارژ خودرو برقی را به‌دست می‌دهند. سپس پروفیل بار به مدل حرارتی ترانسفورماتور توزیع داده می‌شود. خروجی مدل حرارتی دمای نقطه داغ ترانسفورماتور توزیع است. از دمای نقطه داغ ترانسفورماتور توزیع، کاهش عمر عایق به‌دست می‌آید که بیانگر کاهش عمر مفید ترانسفورماتور توزیع است. نتایج نشان می‌دهد برای پایین آوردن کاهش عمر ترانسفورماتور توزیع بهتر است از تعرفه‌گذاری قیمت برق، جهت هموار کردن پروفیل بار استفاده شود. برای شبیه‌سازی‌ها از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است.

کلمات کلیدی

شارژ خودرو برقی؛ ترانسفورماتور توزیع؛ شبیه‌سازی مونت‌کارلو؛ ضریب نفوذ خودرو برقی؛ تعرفه‌گذاری قیمت برق

۱- مقدمه

سیاست‌مداران و محققان به دلیل آلودگی هوای شهرها، تغییرات زیست‌محیطی و وابستگی به سوخت‌هایی فسیلیِ ناپایدار و هزینه‌بر مجبور به یافتن راه‌حلی برای جایگزینی موتور خودروهای احتراق داخلی مبتنی بر سوخت فسیلی شده‌اند. استفاده از خودروهای برقی[۱] یکی از راه‌های جایگزین بوده است. استفاده از این وسیله حمل‌ونقل می‌تواند کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای را ناشی شود.

استفاده گسترده از خودروهای برقی چالش‌هایی را همراه دارد. همچنین مزیت‌های ناشی از فرصت‌های ایجادشده به دلیل بار ناشی از دشارژ خودرو برقی نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. سطوح نفوذ متوسط ممکن است اثر کمی روی شبکه داشته باشد. بااین‌حال

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

هرچقدر تعداد خودروها افزایش یابد تأثیرشان در اضافه‌بار شبکه نمایان‌تر می‌شود و این تأثیر بیشتر روی شبکه توزیع نمایان می‌شود.

ترانسفورماتورهای شبکه توزیع[۲] (PDT) یکی از بخش‌های اصلی شبکه توزیع است که به علت حضور بار منحصر به فردی مانند مجموعه خودروهای برقی مشمول ضررهایی می‌شود.

برخی محققان تا به حال در این زمینه تحقیق کرده‌اند و هدف آن‌ها بررسی این بوده که آیا شبکه برق موجود و روغن عایق ترانسفورماتورهای توزیع برق توانایی اداره نفوذ گسترده خودروهای برقی را دارند یا خیر. در مرجع [۱] نویسنده‌ها تمرکزشان را روی ترانسفورماتورهای شبکه توزیع قرار داده‌اند چون این ترانسفورماتورها نسبت به حضور خودروهای برقی آسیب‌پذیرترند و برای این کار از یک مدل احتمالی دوجمله‌ای استفاده کرده‌اند که در آن احتمال اینکه ترانسفورماتور شبکه توزیع اضافه‌بار را تجربه کند مورد بررسی قرار می‌دهد. در مرجع [۲] تأثیر شارژ خودروهای برقی روی ترانسفورماتورهای محلی منطقه مسکونی به کمک شبیه‌سازی مونت‌کارلو مورد بررسی قرار گرفته است که در آن از اطلاعات از پیش تعیین‌شده برای سطح شارژ روزانه در طول رانندگی برای یک مدل خودرو برقی هیبریدی و یک مدل خودرو برقی استفاده شده است.

در مرجع [۳] روشی مورد بررسی قرار گرفته است که در آن تأثیر شارژ خودرو برقی روی ترانسفورماتورهای شبکه توزیع هوایی مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین الگوریتم شارژ هوشمند جدیدی برای تنظیم شارژ خودرو برقی به‌دست آمده است که در آن وابستگی دمایی ترانسفورماتورهای توزیع برق مذکور در نظر گرفته شده است. در مرجع [۴] تأثیرپذیری مدیریت انرژی خانگی و ترانسفورماتورهای توزیع از گسترش نفوذ خودروهای برقی در جهت کاهش تأثیر شارژ باتری خودرو برقی روی ترانسفورماتورها با استفاده از داده‌های واقعی شهر آستین تگزاس مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مرجع [۵] مدلی مورد بررسی قرار گرفته است که در آن تأثیر بازگشت توان ناشی از باتری پر و سطح بالای شارژ خودرو برقی روی خرابی روغن عایق ترانسفورماتورهای توزیع یک شبکه توزیع نوعی انگلستان ارائه شده است.

در مراجع [۶-۸] بار روزانه، دمای نقطه داغ و کاهش عمر ترانسفورماتورهای توزیع در جزیره سائومیگوئل پرتقال مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار دو ترانسفورماتور در نظر گرفته شده است که یکی در منطقه مسکونی نصب شده است و بار خانگی روی آن تحمیل می‌شود و دیگری در منطقه مسکونی قرار دارد و بار شارژ در محل کار روی آن قرار می‌گیرد. از ۴ نوع خودرو برقی با ضریب نفوذهای مختلف و توان‌های شارژ آهسته و سریع مختلف در این مراجع استفاده شده است. نتایج نشان داده شده است حتی اگر در محل کار از شارژ آهسته استفاده شود باتری خودرو برقی به طور کامل شارژ می‌شود و درعین‌حال ترانسفورماتور کاهش عمر کمی پیدا می‌کند.

سیستم عایقی ترانسفورماتور توزیع از کاغذ و روغن تشکیل شده است و این دو ماده با گذشت زمان دچار فرسودگی می‌شوند. بار الکتریکی زیاد باعث افزایش دمای هسته سیم‌پیچ ترانسفورماتور می‌شود که این خود باعث خرابی روغن و کاغذ عایق آن می‌شود. البته توزیع دمایی در ترانسفورماتور یکسان نیست و داغ‌ترین نقطه بیشترین فرسودگی را سبب می‌شود. لذا می‌توان گفت طول عمر ترانسفورماتور توزیع مستقیماً تحت تأثیر دمای نقطه داغ[۳] است. در این تحقیق یک مدل برای بررسی اثر بارگذاری روی کاهش عمر ترانسفورماتور توزیع و همچنین استراتژی‌هایی برای بررسی تأثیر میزان سطح حضور خودروهای برقی در سیستم قدرت ارائه شده است.

۲- مبانی نظری

۲-۱- تخمین بار ناشی از شارژ خودرو برقی

امروزه انواع بسیار متنوعی از روش‌های تصادفی برای تشریح فرآیندهای پیچیده و غیرخطی استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها، روش مونت‌کارلو[۴] است. در این کار برای تخمین بار ناشی از شارژ خودرو برقی از روش مونت‌کارلو استفاده شده است. در این روش به منظور در نظر گرفتن عدم‌قطعیت مربوط به متغیرهای احتمالاتی، از تکنیک حل تکراری مسئله استفاده شده است،

در ادامه دو استراتژی شارژ خودرو برقی[۵] (EVC) برای بررسی تأثیر بار روی شبکه در نظر گرفته شده است. مدل EVC-A تأثیر پروفیل بار شارژ کنترل نشده خودرو برقی و مدل EVC-B یک استراتژی شارژ خودرو برقی مبتنی بر تعرفه‌گذاری متغیر قیمت برق ارائه شده است.

۲-۲- شارژ خودروهای برقی مدل EVC-A

طبق آمار به‌دست آمده از مطالعات انجام‌شده در [۹] الگوهای مسافرت روزانه به‌دست آمده است که طبق آن می‌توان گفت بسیاری از سفرها در زمان‌های بین ساعت ۷ صبح و ۸ صبح شروع می‌شود و برگشت بین ساعت ۴ عصر و ۵ عصر انجام می‌شود. لذا بسیاری از خودروها در طول شب بین ساعت ۵ عصر و ۷ صبح پارک هستند و خودرو برقی در این زمان اجازه شارژ دارد. این اساس سناریوی اول است که یک شارژ کنترل نشده در خانه در طول یک روز هفته را در بر دارد. مدل EVC-A برای بررسی تأثیر میزان سطح نفوذ خودرو برقی و تأثیر نحوه شارژ روی تجهیزات شبکه و تأثیر شارژ خودرو برقی روی پروفیل بار به‌دست آمده است. محل شارژ در خانه یا توقفگاه موقت در نظر گرفته می‌شود و از یک نمونه توزیع احتمال از پیش تعیین‌شده برای استفاده به‌عنوان نیاز به شارژ و لحظه شروع شارژ استفاده می‌شود. این مدل در شکل ۱ نمایش داده شده است.

شارژ خودرو به‌صورت یک پروفیل بار زمان گسسته و بر اساس متغیرهای تصادفی در نظر گرفته شده است. نماد t نشان‌دهنده هر گام

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

زمانی برابر t=1,…,T است که در آن T مجموع تمام گام‌های زمانی است و i نشان‌دهنده هر خودرو است.

در گام ۱ در شکل ۱ ورودی مدل معرفی شده است. متغیرها به‌صورت موردی و خاص هستند. لحظه شروع شارژ موقعی اتفاق می‌افتد که خودرو برقی پارک شده است و در زمان Tc^i به شبکه وصل شده است و این کار تا پر شدن کامل باتری ادامه پیدا می‌کند. در سناریوهای ۱ و ۲ زمان اتصال Tc^i به زمان خروج L^i، مدت‌زمان بیرون از خانه بودن خودرو برقی A^i یا زمان رانندگی D^i وابسته است.

زمان شروع مسافرت همان زمان خروج L^i در نظر گرفته می‌شود. زمان اتصال Tc^i همان زمان رسیدن به خانه یا رسیدن به محل پارک در محل کار در نظر گرفته می‌شود. در سناریو ۱ متغیرهای زمان خروج از خانه L^i، زمان بیرون ماندن A^i و مصرف توان E^i_{SOC} به‌صورت مستقل از هم نمونه‌برداری می‌شوند. این کار باعث می‌شود کاربر خودرو برقی همراه با خودرویش خانه را ترک کند، زمانی از روز را در بیرون از خانه سپری کند و در زمان دلخواه از خودرو برقی استفاده کند. متغیرهای سناریو ۱ باید طوری انتخاب شوند که تضمین کنند ماکزیمم برق مصرفی $E^{max,i}_{SOC}$ از میزانی که در مینیمم زمان بیرون بودن $A^{min,i}$ استفاده می‌شود تجاوز نکند. در این سناریو فرض می‌شود شارژ خودرو برقی در خانه صورت می‌پذیرد و زمان اتصال Tc^i_1 به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{Tc}^{\mathrm{i}}_1 = \mathrm{L}^{\mathrm{i}} + \mathrm{A}^{\mathrm{i}} \qquad (۱)$$

در سناریو ۲ برق مصرفی E^i_{SOC} به زمان رانندگی نمونه‌برداری شده D^i، پارامترهای سرعت v_m و پارامتر مصرف c_m وابسته است و به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{E}^{\mathrm{i}}_{\mathrm{SOC}} = \mathrm{D}^{\mathrm{i}_\mathrm{m}}\mathrm{v}_\mathrm{m}\mathrm{c}_\mathrm{m} \qquad (۲)$$

شارژ خودرو برقی در این سناریو در توقفگاه موقت یا پارکینگ واقع در محل کار صورت می‌پذیرد و زمان اتصال $\mathrm{Tc}^{\mathrm{i}}_2$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{Tc}^{\mathrm{i}}_2 = \mathrm{L}^{\mathrm{i}} + \mathrm{A}^{\mathrm{i}} \qquad (۳)$$

۲-۲-۱- تعیین پروفیل‌های بار

در گام ۲ در شکل ۱ بار ناشی ازEVC محاسبه شده است. بار ناشی از EVC در گام زمانی t برای خودرو i برابر $\mathrm{P}^{\mathrm{t,i}}_{\mathrm{V}}$ است و برحسب توان شارژ $\mathrm{P_c}$ در هنگام شارژ خودرو محاسبه می‌شود. فرض می‌شود تمام خودروهای برقی در خلال دوره زمانی شارژ Ct^i به شبکه متصل می‌مانند تا باتری آن‌ها به طور کامل شارژ شود. Ct^{i} یا همان طول زمان EVC برای خودرو برقی i به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Ct^i = E^i_{SOC}/P_c \qquad (۴)$$

با در نظر گرفتن توان شارژ P_c بار $P^{t,i}_V$ برای هر خودرو برقی i در زمان t به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$P^{t,i}_V = \begin{cases} P_c & \text{در حال شارژ} \\ 0 & \text{دیگر حالت‌ها} \end{cases} \qquad (۵)$$

مقدار مورد انتظار $E[P^t_V]$ برای بار خودرو برقی P^t_V در زمان t با روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای n نمونه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$E[P^t_V] = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P^{t,i}_V \qquad (۶)$$

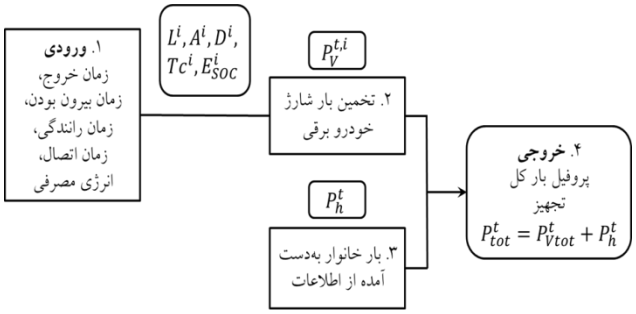
بار الکتریکی کل خودرو برقی P^t_{Vtot} در زمان t برای n خودرو به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$P^t_{Vtot} = N_{tot}E[P^t_V] \qquad (۷)$$

بار خانگی P^t_{base} در زمان t به‌وسیله منحنی بار پایه در دسترس از مرجع [۷-۸] به‌دست می‌آید.

در گام ۴ در شکل ۱ پروفیل بار کل به‌دست آمده است. پروفیل بار کل میانگین P^t_{tot} در زمان t به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$P^t_{tot} = P^t_{Vtot} + P^t_{base} \qquad (۸)$$



شکل(۱): مدل شارژ کنترل نشده EVC-A [۶-۸]

۲-۳- شارژ خودروهای برقی مدل EVC-B

مدل EVC-B به‌صورت یک استراتژی شارژ انفرادی[۶] (ICS) حساس به قیمت در نظر گرفته می‌شود. در این مدل بر اساس الگوهای رانندگی وابستگی مصرف خودرو در حین حرکت به زمان محاسبه‌شده و پروفیل‌های شارژ ناشی از آن به‌دست می‌آید. زمان‌های شروع و پایان حرکت سفرهای خودروهای شخصی برای مدل‌سازی حرکت مورد استفاده قرار می‌گیرد. نیاز به شارژ به‌سرعت و میزان مصرف برق در حین حرکت وابسته است. وقتی شارژ وابسته به زمان در حین حرکت محاسبه شود می‌توان از روی آن نیاز به شارژ، لحظه شروع شارژ و مکان شارژ را به‌صورت تابعی از زمان به‌دست آورد. این مدل در شکل ۲ نمایش داده شده است.

۲-۳-۱- تعیین نحوه استفاده از خودرو برقی

به دلیل رفتار تصادفی مسافرت با خودرو برای شبیه‌سازی میزان استفاده از PHEV از روش مدل‌سازی مارکوف استفاده شده است که در آن سفرها به‌عنوان رویدادهای هستند که از یک فرآیند تصادفی تبعیت می‌کنند. خاصیت مدل مارکوفی که در آن حالت‌های آینده مستقل از حالت‌های اتفاق افتاده از قدیم تا حالت فعلی هستند روی مسافرت‌های انجام‌شده با خودرو به‌کار گرفته شده است. در هر گام زمانی t یک متغیر تصادفی X^t رویداد را توصیف می‌کند. فرآیند

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

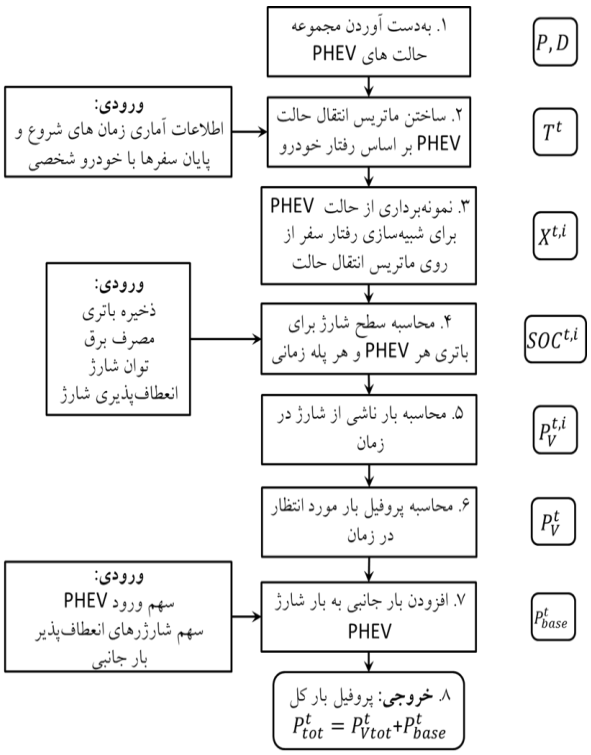
تصادفی به‌صورت $\{X^t; t \in \tau\}$ تعریف می‌شود که در آن τ فاصله زمانی برای زمان‌های گسسته $\tau = \{0, \dots, M\}$ است. زنجیره مارکوف از مجموعه حالت‌های $E = \{1, \dots, M\}$ تشکیل شده است که X^t می‌تواند هر یک از این حالت‌های را داشته باشد. در اینجا $X^{t,i}$ حالت i PHEVام در زمان t را نشان می‌دهد. ماتریس انتقال T^t دارای اندازه $M \times M$ است که المان‌های ماتریس احتمالات انتقال $p_{\mu,\vartheta}$ به ازای $\mu, \vartheta \in E$ هستند. احتمال انتقال از μ به ϑ در یک گام زمانی به‌صورت $p^t_{\mu,\vartheta}$ است و جمع یک ردیف $\sum_\mu p^t_{\mu,\vartheta} = 1$ است.

برای مدل‌سازی حرکت خودرو مجموعه‌ای از حالاتی که PHEV به خود می‌گیرد یعنی $X^{t,i}$ در گام ۱ شکل ۲ محاسبه می‌شود. مجموعه حالت‌ها بر اساس شرایط معمولی خودرو تعیین می‌شود و در مدل EVC-B حالت‌های خودرو می‌تواند یکی از دو حالت زیر را به خود بگیرد:

۱-P (پارک شده). ۲-D (در هر حال رانندگی)

مجموعه حاصل به‌صورت $E = \{P, D\}$ است. اگر حالت P باشد یعنی خودرو پارک شده است و ممکن است شارژ شود. اگر حالت D باشد یعنی خودرو در حال حرکت است و توان خود را از باتری تأمین می‌کند.

برای نمونه‌برداری از حالت‌های i PHEVام، ماتریس انتقال T^t در گام ۲ شکل ۲ مورد نیاز است. احتمال انتقال از یک حالت به حالت دیگر وابسته به زمان است و i PHEVام در هر لحظه از زمان t فقط می‌تواند یکی از حالت‌ها را به خود اختصاص دهد. ماتریس انتقال T^t به‌صورت زیر تعریف می‌شود:



شکل(۲): مدل EVC-B [۶-۸]

$$T^t = \begin{bmatrix} p^t_{PP} & p^t_{PD} \\ p^t_{DP} & p^t_{DD} \end{bmatrix},\ t \in \tau \quad (۹)$$

احتمال حالت اولیه $S^{0,i}$ برای خودرو i به‌صورت زیر است:

$$S^{0,i} = \begin{bmatrix} p^{0,i}_P \\ p^{0,i}_D \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

به همین خاطر می‌توان حالت اولیه $X^{0,i}$ برای i PHEVام نمونه برداشت. در گام ۳ در شکل ۲ دنباله حالت‌های وابسته به زمان برای هر PHEV مورد نمونه‌برداری قرار گرفته است. احتمال اینکه در گام زمانی $t+1$ خودرو iام در حالت P یا D قرار گرفته باشد $S^{t+1,i}$ است. $S^{t+1,i}$ در ماتریس T^t به ردیفی که حالت در پله زمانی t در آن بوده تعلق دارد. اگر $X^{0,i} = P$ باشد ردیف اول T^0 به‌دست می‌آید و نمونه‌های مربوط به حالت بعدی از احتمالات موجود در این ردیف به‌دست می‌آید. این کار به مقایسه احتمالات موجود در این ردیف و اعداد تصادفی نمونه‌برداری شده از توزیع یکنواخت $K \in U(0,1)$ انجام می‌شود و دنباله وابسته به زمان مربوط به i PHEVام به‌دست می‌آید.

برای به‌دست آوردن احتمالات مربوط به المان‌های ماتریس T^t می‌توان از اطلاعات مربوط به عادات سفری خودرو استفاده کرد.

۲-۳-۲- سطح شارژ

برای محاسبه پروفیل بار نیاز به محاسبه سطح شارژ (SOC) در گام ۴ شکل ۲ است. فرض شده است که برای هر خودرو i باتری کاملاً پر است:

$$SOC^{0,i} = SOC^i_{max} \quad (۱۱)$$

$SOC^{t,i} = 0$ کمترین سطح مجاز انرژی باتری است. SOC باتری بین صفر و شارژ کامل با سطح SOC^i_{max} قرار دارد:

$$0 \le SOC^{t,i} \le SOC^i_{max} \quad (۱۲)$$

SOC خودرو i در زمان $t+1$ در خلال EVC با توان شارژ P_c افزایش می‌یابد و با مصرفی به میزان C_m در خلال حرکت کاهش می‌یابد:

$$SOC^{t+1,i} = \begin{cases} SOC^{t+1,i} + P_c \Delta t & \text{در حال شارژ} \\ SOC^{t+1,i} - C_m \Delta t & \text{در حال مصرف} \\ SOC^{t,i} & \text{سایر حالت‌ها} \end{cases} \quad (۱۳)$$

توان مصرفی C_m غالباً در خلال حرکت متغیری وابسته به زمان در نظر گرفته می‌شود ولی برای سادگی ثابت در نظر گرفته شده است. $SOC^{t,i}$ در دو حالت زیر به همان اندازه گام زمانی قبل باقی می‌ماند: اگر خودرو پارک شده باشد و SOC نزدیک به SOC^i_{max} باشد به‌طوری که در پله زمانی بعدی نیاز به شارژ مجدد نداشته باشد خودرو در حال حرکت است ولی آن‌قدر SOC پایینی دارد که در پله زمانی بعدی نمی‌توان از انرژی باتری استفاده کرد

[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

اگر خودرو SOC خیلی پایینی داشته باشد ولی همچنان در حالت D قرار داشته باشد فرض می‌شود خودرو از یک سوخت دوم استفاده می‌کند.

۲-۳-۳- تعیین پروفیل های بار

بار $P_V^{t,i}$ برای EVC خودرو i در پله زمانی t در گام ۵ شکل ۲ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$P_V^{t,i} = \begin{cases} P_c & \text{در حال شارژ} \\ 0 & \text{دیگر حالت‌ها} \end{cases} \quad (۱۴)$$

پروفیل بار مورد انتظار $E[P_V^t]$ برای یک خودرو به‌صورت مقدار میانگین شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای n نمونه در گام ۶ شکل ۲ به‌دست می‌آید:

$$E[P_V^t] \approx \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_V^{t,i} \quad (۱۵)$$

بار کل P_V^t ناشی از EVC در زمان t برای تمام خودروهای N_{tot} در گام ۷ شکل ۲ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{Vtot}^t = N_{tot} E[P_V^t] \quad (۱۶)$$

پروفیل بار کل با اضافه کردن بار کلی روزانه P_B^t به بار میانگین مورد انتظار برای تعداد N_{tot} خودرو در گام ۸ شکل ۲ به‌صورت زیر محاسبه شده است:

$$P_{tot}^t = P_{Vtot}^t + P_B^t \quad (۱۷)$$

۲-۴- محاسبه دمای نقطه داغ

در حالت افزایش دائم پله‌های بار، θ_o (دمای روغن فوقانی بر حسب °C) و θ_h (دمای داغ‌ترین نقطه سیم‌پیچ بر حسب °C) سیم‌پیچ تا رسیدن پله به ضریب بار K (جریان نامی/جریان بار) افزایش پیدا می‌کنند. در نتیجه معادله دمای θ_o برای روغن فوقانی در معادله زیر به‌دست می‌آید [۶]:

$$\theta_0 = \Delta\theta_{0i} + \left\{\Delta\theta_{0r} \times \left[\frac{1+R\times K^2}{1+R}\right]^x - \Delta\theta_{0i}\right\} \times \left(1 - e^{-\frac{t}{k_{11}\times\tau_0}}\right) \quad (۱۸)$$

$\Delta\theta_{oi}$: افزایش دمای روغن فوقانی (داخل تانک)

$\Delta\theta_{or}$: افزایش دمای روغن فوقانی در جریان نامی

R : نرخ تلفات نسبت به تلفات حالت بی باری در جریان نامی

k_{11} ثابت گرمایی مدل و τ_0 میانگین ثابت زمانی روغن است.

افزایش دمای نقطه داغ $\Delta\theta_h$ (بر حسب °C) به‌صورت زیر است [۶]:

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_{hi} + \{\mathrm{H} \times g_r \times k^y - \Delta\theta_{hi}\} \times [k_{21} \times \left(1 - e^{-t/(k_{22}\times\tau_w)}\right) - (k_{21} - 1) \times \left(1 - e^{-t/(k_{22}\times\tau_0)}\right)] \quad (۱۹)$$

$\Delta\theta_{hi}$: اختلاف دمای نقطه داغ نسبت به روغن فوقانی (داخل تانک) در شروع بر حسب K

H : ضریب نقطه داغ

g_r : میانگین اختلاف دمای سیم‌پیچ نسبت به روغن (داخل تانک) در جریان نامی بر حسب K

y : توان نمایی جریان در قبال افزایش دمای سیم‌پیچ (نمای سیم‌پیچ)

k_{21} ثابت گرمایی مدل، k_{22} ثابت گرمایی مدل و τ_w ثابت زمانی سیم‌پیچ است.

برای حالت پله‌های کاهشی بار، θ_o و θ_h سیم‌پیچ تا رسیدن به پله بار متناسب با K کاهش می‌یابد. معادله دمای روغن فوقانی θ_o به‌صورت زیر است [۶]:

$$\theta_0(t) = \Delta\theta_{0r} \times \left[\frac{1+R\times K^2}{1+R}\right]^x + \{\Delta\theta_{0i} - \Delta\theta_{0r} \times \left[\frac{1+R\times K^2}{1+R}\right]^x\} \times \left(e^{-t/(K_{11}\times\tau_0)}\right) \quad (۲۰)$$

x: توان نماییِ تلفات کل در قبال افزایش دمای روغن فوقانی (داخل تانک)

افزایش θ_h به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta\theta_h(t) = H \times g_r \times K^y \quad (۲۱)$$

در نهایت با داشتن θ_o و $\Delta\theta_h(t)$ از روابط ۱۸ و ۱۹ برای حالت پله‌های افزایشی بار، و ۲۰ و ۲۱ برای حالت پله‌های کاهشی بار و با در نظر گرفتن دمای محیط برابر θ_a (بر حسب °C) معادله کامل دمای نقطه داغ θ_h طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\theta_h = \theta_a + \theta_o + \Delta\theta_h(t) \quad (۲۲)$$

۲-۵- محاسبه کاهش عمر PDT

در کاغذ بهبودیافته دمایی معادله نرخ کاهش عمر نسبی (V) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید [۶]:

$$V = e^{\left(\frac{15000}{110+273} - \frac{15000}{\theta_h}\right)} \quad (۲۳)$$

نرخ کاهش عمر نسبی (V) بر فرسودگی عایق کاغذی در دمای θ_hدارد که می‌تواند بالاتر یا پایین‌تر از 110°C باشد. کاهش عمر (L) عایق سلولزی با استفاده از یک روابط دیفرانسیلی و نیز تفاضلی قابل‌دستیابی است. معادله ابتدایی عبارت است از:

$$\frac{dL}{dt} = V \quad (۲۴)$$

و با استفاده از آن به‌دست می‌آید:

$$DL_{(n)} = V_{(n)} \times Dt \quad (۲۵)$$

$L_{(n)}$: کاهش عمر در خلال بازه n

$V_{(n)}$: نرخ فرسودگی نسبی در خلال بازه n

و

$$L_{(n)} = L_{(n-1)} + DL_{(n)} \quad (۲۶)$$

معادله کاهش عمر (LOL) برای L برای بخش زمانی $t_{(n)}$ قابل بازنویسی به‌صورت زیر است:

$$L = \int_{t_1}^{t_2} V dt \quad \cong \quad \sum_{n=1}^{N} V_n \times t_n \quad (۲۷)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

۳- بررسی و تحلیل نتایج

۳-۱- شبکه مورد مطالعه

دو مدل شارژ خودرو برقی مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. در EVC-A تأثیر پروفیل بار شارژ کنترل نشده خودرو برقی روی بار کل دو ترانسفورماتور توزیع بررسی شده است. در EVC-B یک استراتژی شارژ خودرو برقی مبتنی بر تعرفه‌گذاری متغیر قیمت برق انجام شده است و اثر آن روی بارگذاری یک ترانسفورماتور توزیع بررسی شده است. پس از به‌دست آمدن پروفیل بار ناشی از EVC-A و EVC-B بار کل ترانسفورماتور به‌دست آمده است و این بار به‌عنوان ورودی به مدل حرارتی ترانسفورماتور داده شده است. خروجی مدل حرارتی ترانسفورماتور دمای نقطه داغ ترانسفورماتور و کاهش عمر ترانسفورماتور است. در نهایت مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی و مراجع انجام شده است.

به‌منظور آزمودن استراتژی‌های معرفی‌شده، برای شبیه‌سازی از دو ترانسفورماتور توزیع توان PT۸۰ و PT۱۰۹۴ معرفی‌شده در مراجع [۶-۸] استفاده شده است.

دمای محیط و پروفیل بار پایه قرارگرفته روی ترانسفورماتور توزیع ورودی‌های مدل حرارتی هستند. این مقادیر از مراجع [۶-۸] اخذ شده است. شکل ۳ دمای محیط برای یک روز هفته است. شکل ۴ پروفیل بار پایه ترانسفورماتور توزیع توان PT۸۰ است و شکل ۵ پروفیل بار پایه ترانسفورماتور توزیع توان PT۱۰۹۴ است.

اطلاعات خودروهای برقی نمونه شامل BMWi3، Renault ZOE، Nissan Leaf و Kia Soul هستند و توان شارژ، مصرف انرژی و سهمشان از بازار مطابق [۶-۷-۱۰] در جدول ۱ آمده است.

جدول(۱): مشخصات خودروهای برقی موجود [۶-۷-۱۰]

خودرو برقی	سهم بازار	توان شارژ سریع (kW)	توان شارژ آهسته (kW)	مصرف انرژی (kWh/km)
BMWi3	۴۰٪	۷.۴	۲.۴	۰.۱۶۹
Renault ZOE	۲۰٪	۷.۴	۳.۷	۰.۱۰۵
Ford Focus Electric	۲۰٪	۷.۳۶	۳.۶۸	۰.۱۹۹
Nissan Leaf	۱۰٪	۶.۶	۳.۶	۰.۲۱۲
Kia Soul	۱۰٪	۶.۶	۲.۳	۰.۱۹۹

۳-۲- شبیه‌سازی سناریوهای مدل EVC-A

در این مدل تأثیر پروفیل بار شارژ کنترل نشده خودرو برقی روی بار کل ۲ ترانسفورماتور توزیع توان بررسی شده است. برای این کار از اطلاعات آماری برای پارامترهای لازم استفاده شده است. در سناریو اول شارژ خودرو برقی به طور کامل در خانه صورت می‌پذیرد و بار ناشی از شارژ با پروفیل بار خانگی شکل ۴ جمع می‌شود و سپس پروفیل بار کل به همراه دمای محیط نمایش داده‌شده در شکل ۳ به‌عنوان ورودی به مدل حرارتی ترانسفورماتور PT۸۰ داده می‌شود. خروجی مدل حرارتی دمای نقطه داغ و کاهش عمر ترانسفورماتور است. اطلاعات آماری سناریو دوم با سناریو اول متفاوت است و این سناریو روی ترانسفورماتور PT۱۰۹۴ انجام شده است و محل شارژ در محل کار در نظر گرفته شده است و سایر مراحل شبیه‌سازی آن مشابه سناریو اول است. میزان کل بار قرارگرفته روی ترانسفورماتور توزیع توان PT۸۰ به ازای سطح نفوذهای مختلف خودرو برقی در یک شبانه‌روز (۱۴۴۰ دقیقه) برای سناریو ۱ در شکل ۶ و ۷ نمایش داده شده است.

دمای نقطه داغ ترانسفورماتور توزیع توان PT۸۰ به ازای سطح نفوذهای مختلف خودرو برقی برای سناریو ۱ در شکل ۸ نمایش داده شده است.چنانچه در شکل ۶ دیده می‌شود توزیع‌های نرمال در نظر گرفته شده برای شارژ خودرو برقی در سناریو ۱ به ازای ٪۵۰ شارژرها سریع و ٪۵۰ آهسته باعث افزایش بار عصرگاهی ترانسفورماتور توزیع توان شده است و یک پیک بار در پروفیل بار مشهود است اما ترانسفورماتور توزیع توان در این حالت به حد بالای ظرفیت توان خود نرسیده است. چنانچه مشخص است راننده تمایل به شارژ خودرو بلافاصله پس از رسیدن به خانه دارد. در ساعات حدود نیمه شب و پس از آن بار ناشی از شارژ خودرو برقی به حدود صفر می‌رسد که اتفاق خوبی نیست زیرا این ساعات زمان کم‌باری شبکه است و بهتر است بارهای اینچنینی در چنین ساعاتی به شبکه متصل شوند.

چنانچه در شکل ۷ دیده می‌شود توزیع‌های نرمال در نظر گرفته شده برای شارژ خودرو برقی در سناریو ۱ به ازای ٪۱۰۰ شارژرها سریع باعث افزایش سریع بار عصرگاهی ترانسفورماتور توزیع توان شده است و یک پیک بار شدید در پروفیل بار بوجود آمده است و ترانسفورماتور توزیع توان در این حالت به حد بالای ظرفیت توان خود رسیده است. چنین حالتی اصلا مطلوب نیست و تجهیز متحمل خسارت می‌شود و بهتر است کنترلی روی درصد شارژرهای سریع بوجود بیاید.

دمای نقطه داغ در شکل ۸ تابع نمودار شکل ۶ است و چنانچه دیده می‌شود در حدود ساعت ۵ افزایش دما مشهود است و در این ساعات ترانسفورماتور توزیع توان متحمل کاهش عمر بیشتری خواهد شد.

جدول‌های ۲ و ۳ حاوی کاهش عمر ترانسفورماتور توزیع PT۸۰ بر حسب دقیقه به ازای سطح نفوذهای مختلف خودرو برقی هستند. از مقایسه بین جدول‌های ۲ و ۳ می‌توان مشاهده نمود که با افزایش ٪۵۰ به شارژرهای سریع نسبت به حالتی که نیمی از شارژرها آهسته و نیمی دیگر سریع هستند کاهش عمر ٪۳۰ افزایش می‌یابد و نیز با مقایسه شکل‌های ۶ و (۷ مشخص می‌شود که ترانسفورماتور با این کار دچار افزایش بار شده است و دمای نقطه داغ شدیداً بالا رفته است. لذا می‌توان گفت در حالت شارژ کنترل نشده بهتر است تمام شارژرها سریع نباشند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

جدول(۲): کاهش عمر ترانسفورماتور برای سناریو ۱ به ازای ٪۵۰ شارژر سریع و ٪۵۰ شارژآهسته

کاهش عمر (دقیقه)	سطح نفوذ خودرو برقی
۰	۰٪
۳۷.۹۵	۷۵٪
۴۴.۰۷	۸۰٪
۵۸.۸۱	۸۵٪
۸۴.۶۹	۹۰٪
۱۱۳.۲۵	۹۵٪
۱۵۶.۹۱	۱۰۰٪

جدول(۳): کاهش عمر ترانسفورماتور سناریو ۱ به ازای ٪۱۰۰ شارژر سریع

کاهش عمر (دقیقه)	سطح نفوذ خودرو برقی
۰	۰٪
۷۰.۱۷	۷۵٪
۸۸.۶۲	۸۰٪
۱۱۴.۳۰	۸۵٪
۱۵۸.۱۶	۹۰٪
۱۷۱.۱۴	۹۵٪
۲۰۲.۵۹	۱۰۰٪

در این سناریوی ۲ فرض می‌شود امکان شارژ در محل پارک نزدیک محل کار وجود دارد. در این حالت راننده خانه را صبح هنگام با خودرو ترک می‌کند و فرض می‌شود باتری به طور کامل شارژ شده است سپس راننده در محل کار خودرو را به‌صورت متصل به شارژر رها می‌کند و این کار در خلال ساعت‌های کار ادامه پیدا می‌کند. در این سناریو خودرو تنها نیمی از شارژ را مصرف میکند تا به محل کار برسد و دوباره راننده در محل کار خودرو را به شارژر متصل می‌کند.

میزان کل بار قرارگرفته روی ترانسفورماتور توزیع توان PT۱۰۹۴ به ازای سطح نفوذهای مختلف خودرو برقی در یک شبانه‌روز (۱۴۴۰ دقیقه) برای سناریو ۲ در شکل ۹ نمایش داده شده است.

دمای نقطه داغ ترانسفورماتور توزیع توان PT۱۰۹۴ به ازای سطح نفوذهای مختلف خودرو برقی برای سناریو ۲ در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

چنانچه در شکل ۹ دیده می‌شود توزیع‌های نرمال در نظر گرفته‌شده برای شارژ خودرو برقی در سناریو ۲ به ازای ٪۵۰ شارژرها سریع و ٪۵۰ آهسته باعث افزایش سریع بار صبحگاهی ترانسفورماتور توزیع توان منطقه صنعتی شده است و یک پیک‌بار شدید در پروفیل بار به وجود آمده است و ترانسفورماتور توزیع توان در این حالت به حد بالای ظرفیت توان خود رسیده است. در این حالت باوجود تعداد کمتر خودروهای متصل شونده به شبکه به دلیل ماهیت پروفیل بار لحاظ شده و ظرفیت کمتر ترانسفورماتور اضافه‌بار مشاهده می‌شود.

دمای نقطه داغ در شکل ۱۰ تابع نمودار شکل ۹ است و چنانچه دیده می‌شود در حدود ساعت ۸.۳۰ افزایش دما مشهود است و در این ساعات ترانسفورماتور توزیع توان متحمل کاهش عمر بیشتری خواهد شد.

۳-۳- شبیه‌سازی مدل EVC-B

در بخش شبیه‌سازی استراتژی مدل EVC-B که شامل یک سناریو است انجام شده است. در این مدل از استراتژی تعرفه‌گذاری قیمت برق در ساعت‌های مختلف استفاده شده است.

در سناریو ۲ در EVC-A کاربران خودروهای برقی با فرض وجود زیرساخت‌های لازم نیمی از شارژ را در منزل و نیم دیگر را در محل کار انجام می‌دهند. در چنین حالتی کاهش عمر در مقایسه با سناریو ۱ مرجع [۸] نصف می‌شود. لذا می‌توان نتیجه گرفت با توسعه زیرساخت‌های لازم برای شارژ خودرو برقی در منزل و محل کار می‌توان از کاهش عمر بیش‌ازحد ترانسفورماتورهای توزیع توان جلوگیری کرد.

استراتژی در نظر گرفته‌شده در EVC-B از نوع شارژ کنترل‌شده خودرو برقی است. به‌صورتی که اگر قیمت برق از حدی فراتر رود و خودرو شارژ کافی داشته باشد شروع شارژ ر به ساعت ارزان‌تر موکول می‌کند. چنین حالت انعطاف‌پذیری باعث می‌شود بار ناشی از شارژ خودرو برقی در ساعت‌های مختلف پخش شود و از کاهش عمر ترانسفورماتور جلوگیری شود.

با توجه به نتایج خوب حاصل‌شده از سناریو ۲ در EVC-A و استراتژی قیمت‌گذاری در EVC-B می‌توان گفت اگر زیرساخت‌های لازم برای شارژ در منزل و محل کار فراهم باشد و همچنین تعرفه-گذاری قیمت برق به نحو مناسبی صورت پذیرد می‌توان از کاهش عمر تدریجی ترانسفورماتور توزیع توان جلوگیری کرد.

۴- نتیجه‌گیری

خودروهای برقی از برق به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند و استفاده گسترده از آن‌ها چالش‌هایی را همراه دارد که سیستم قدرت الکتریکی باید برای مطابقت با این چالش‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. سطوح نفوذ متوسط ممکن است اثر کمی روی شبکه داشته باشد اما شارژ تعداد زیادی خودرو برقی به طور همزمان باعث ناکافی شدن شبکه از جنبه امنیت و ظرفیت آماده آن می‌شود. بدون درون سازی مناسب، شبکه قدرت ممکن است با افت ولتاژ شدید و تراکم در فیدر روبرو شود. نباید نفوذ بالای خودروهای برقی، شبکه را با اضافه بار روبرو کند. ترانسفورماتورهای شبکه توزیع یکی از بخش‌های اصلی شبکه توزیع است که به علت حضور بار منحصر به فردی مانند مجموعه خودروهای برقی به حدود دمایی خود می‌رسد و مشمول ضررهایی می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی اثر شارژ خودروهای برقی با سطح نفوذهای مختلف در بارگذاری ترانسفورماتورهای شبکه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

توزیع و کاهش عمر آن‌ها بوده است. برای این کار مدل‌هایی برای شارژ خودرو برقی ارائه شد. برای مدل‌های شارژ ارائه‌شده سناریوهایی تعریف شده است و با در نظر گرفتن توزیع‌های آماری و اطلاعات آماری از مراجع سناریوها مورد شبیه‌سازی قرارگرفته‌اند. خروجی این سناریوها تعدادی پروفیل بار است که به ترانسفورماتورهای توزیع تحمیل خواهد شد.

مدل حرارتی ترانسفورماتور توزیع ابتدا با استفاده از دمای محیط و پروفیل بار اعمالی دمای نقطه داغ ترانس به‌دست می‌آید سپس با استفاده از این دما کاهش عمر حاصل می‌شود. پروفیل بار اعمالی به مدل حرارتی ترانسفورماتور توزیع حاصل خروجی سناریوهای شارژ خودرو برقی معرفی شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان‌دهنده کاهش عمر بالای ترانسفورماتور در ضریب نفوذهای بالای خودرو برقی است. این اثر در شرایطی که پیک‌های ناگهانی به وقوع می‌پیوندد مشهودتر است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان‌دهنده تأثیرگذاری طرح قیمت‌گذاری در پایین آمدن کاهش عمر ترانسفورماتور بود و چنانچه دیده شد اگر با قیمت‌گذاری مناسب برق از پیک‌های بار جلوگیری شود و بار ناشی از شارژ در ساعات مختلف پخش می‌شود و عمر ترانس افزایش می‌یابد. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام‌شده می‌توان گفت به وجود آمدن زیرساخت‌های شارژ در محل کار باعث کاهش بار خانگی ناشی از شارژ خودرو برقی خواهد شد و عمر ترانسفورماتور توزیع توان در منطقه مسکونی افزایش خواهد یافت.

مراجع

[1]. J. A. Pecas Lopes, F. J. Soares, P. M. Rocha Almeida, *Integration of Electric Vehicle in the Electric Power System*, Proceeding of the IEEE, vol. 99, pp. 168-183. 2011

[2]. N. Rotering, M. Ilic,*Optimal Charge Control of Plug-in Hybrid Electrical Vehicles in Deregulated Electricity Markets*, IEEE Transaction on power systems, vol. 26, pp. 1021-1029. 2011

[3]. Y. Cao, S. Tang, C. Li, P. Zhang, Y. Tan, Z. Zhang, J. Li, *An Optimized EV Charging Model Considering TOU Price and SOC Curve*, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, pp. 388–393.2012

[4]. P. Richardson, D. Flynn, A. Keane, *Optimal Charging of Electric Vehicles in Low Voltage Distribution Systems*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, pp. 268–279. 2012

[5]. C. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, *The Impact of Charging Plug-in Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 25, pp. 371–380. 2010

[6]. R. Godina, E.M.G. Rodrigues, N.G. Paterakis, O. Erdinc, J.P.S. Catalão, *Innovative Impact Assessment of Electric Vehicles Charging Loads on Distribution Transformers Using Real Data*, Energy Conversion and Management, 120, 206–216. 2016

[7]. Godina R, Paterakis N, Erdinc O, Rodrigues E, Catalão J, *Electric Vehicles Home Charging Impact on a Distribution Transformer in a Portuguese Island*, International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST 2015, Vienna.

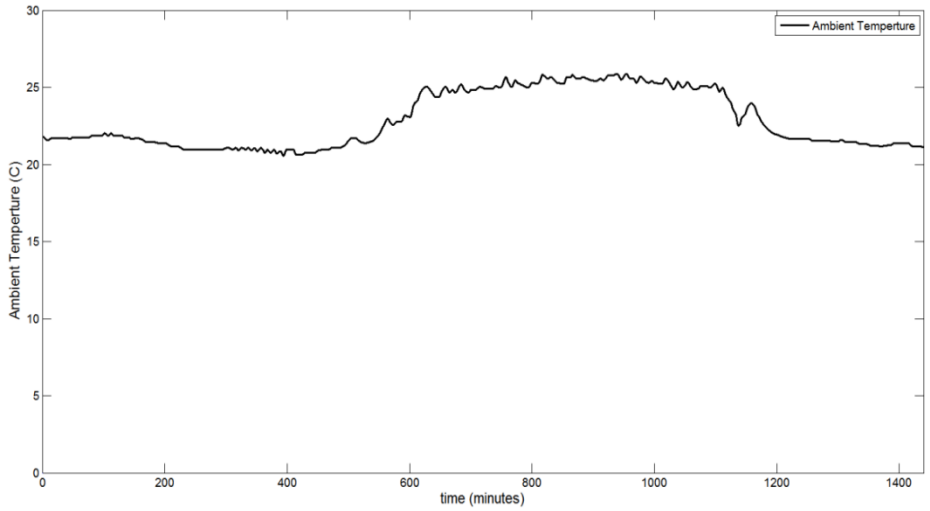
[8]. Godina R, Paterakis N, Erdinc O, Rodrigues E, Catalão J, *Impact of EV Charging at Work on an Industrial Client Distribution Transformer in a Portuguese Island*, Proceedings of the 25th Australasian Universities Power Engineering
Conference AUPEC 2015, Wollongong

[9]. www.trafa.se/In-English/Statistics/National-travel survey RES/. National Travel Survey of 2005-200. 2016

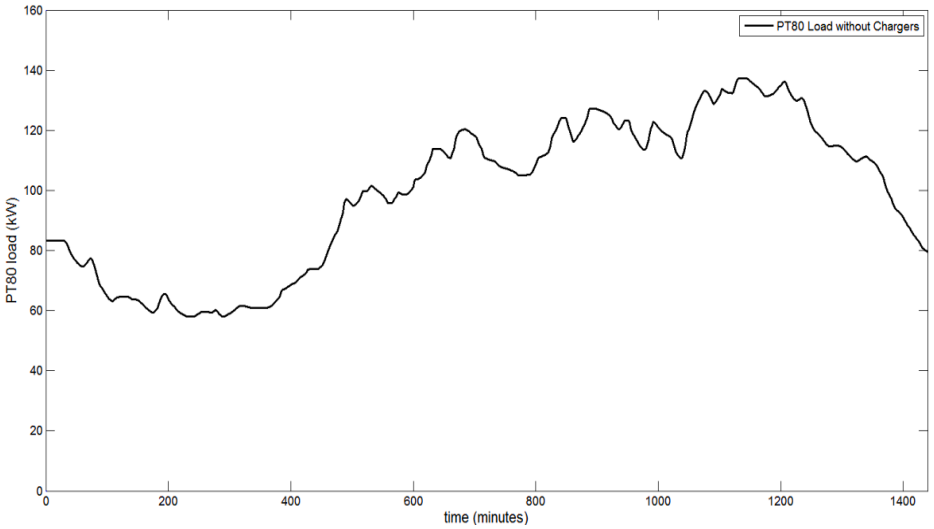
[10]. http://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=34918&id=35601&id=35970&id=36016

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

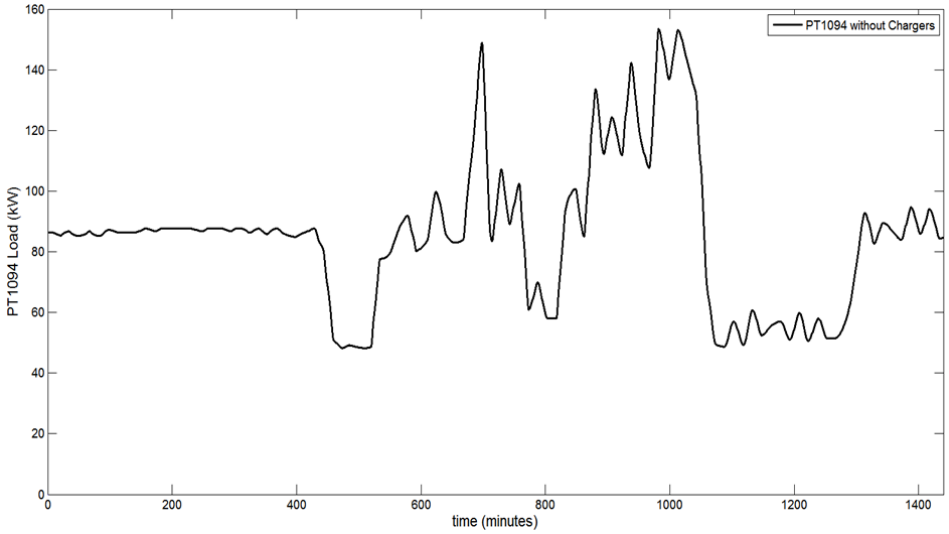
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018



شکل(۳):دمای یک روز نوعی تابستانی[۶]

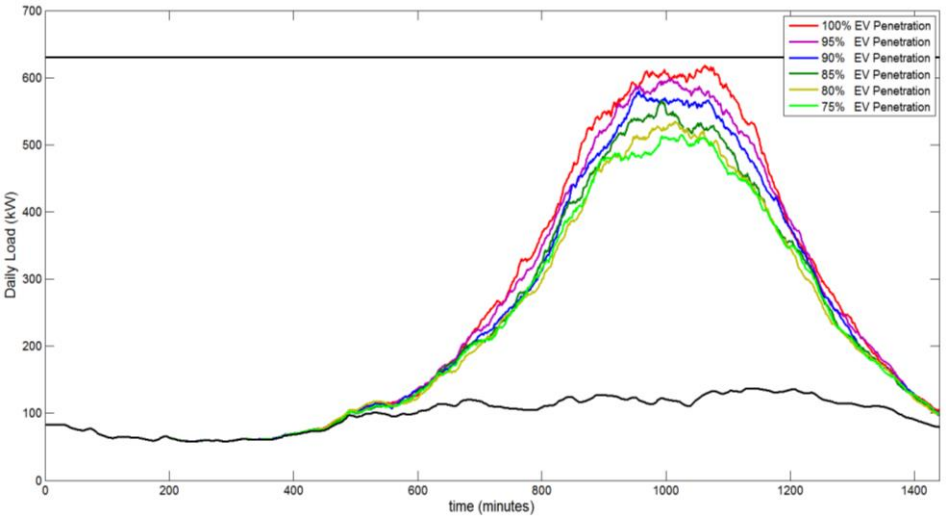


شکل(۴):بار روزانه ترانسفورماتور توزیع توان ایستگاه PT۸۰ [۷]

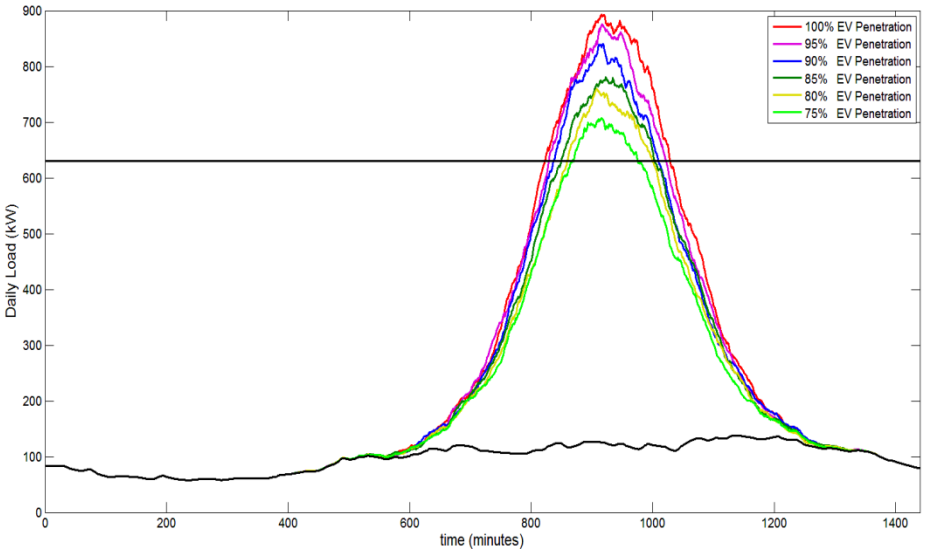


شکل(۵): بار روزانه ترانسفورماتور توزیع توان ایستگاه PT۱۰۹۴ [۸]

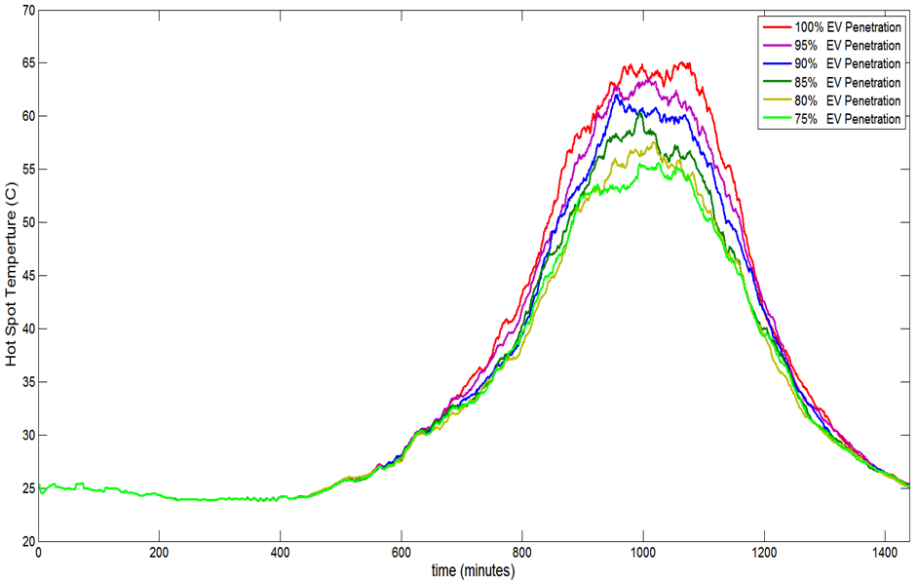
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



شکل(۶):بار کل ترانسفورماتور PT۸۰ برای سناریو۱ به ازای ٪۵۰ شارژرهای سریع و ٪۵۰ آهسته

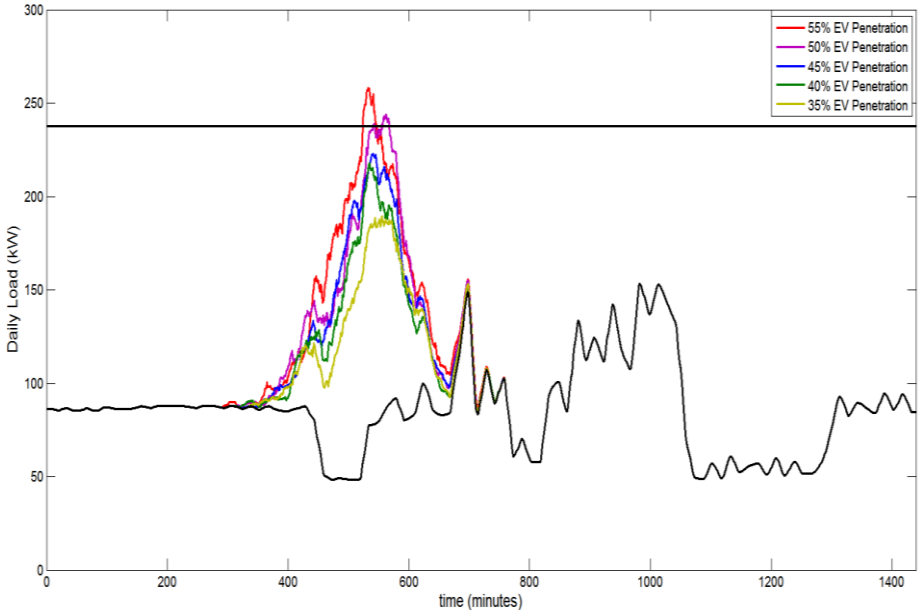


شکل(۷): بار کل ترانسفورماتور PT۸۰ برای سناریو۱ به ازای ٪۱۰۰ شارژرهای سریع

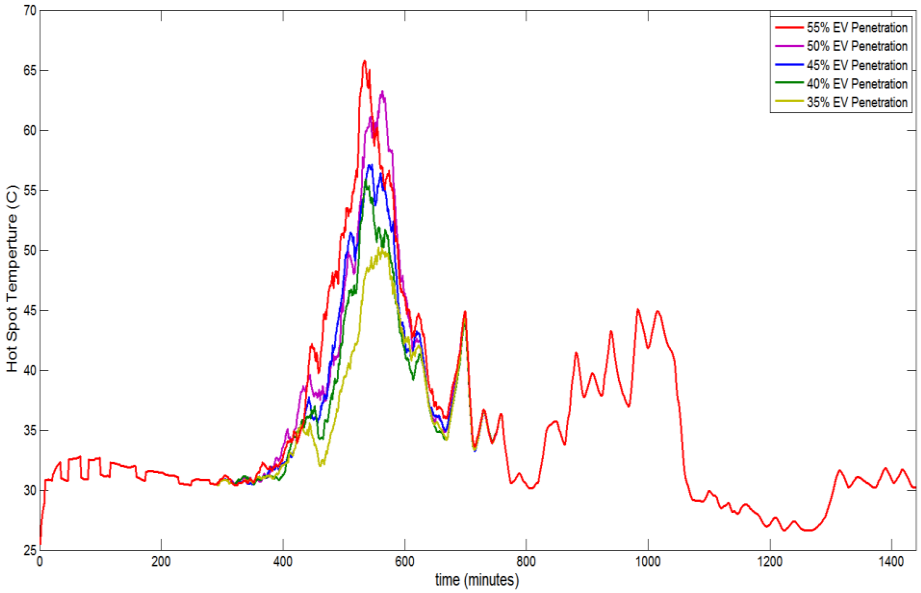


شکل(۸): دمای نقطه داغ ترانسفورماتور PT۸۰ برای سناریو۱ به ازای ٪۵۰ شارژرها سریع و ٪۵۰ آهسته

[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018



شکل(۹): بار کل ترانسفورماتور PT۱۰۹۴ برای سناریو۲ به ازای ٪۵۰ شارژرها سریع و ٪۵۰ آهسته



شکل(۱۰):دمای نقطه داغ ترانسفورماتور PT۱۰۹۴ برای سناریو۲ به ازای ٪۵۰ شارژرها سریع و ٪۵۰ آهسته

زیرنویس‌ها

[1] Electrical Vehicle
[2] Power Distribution Transformer
[3] Hot Spot Temperature
[4] Monte Carlo
5Electrical Vehicle Charging
[6] Individual Charging Strategy

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018

Different Electric Vehicle Charging Strategies to avoid Reducing the Insulation Oil Lifetime of Distribution Transformers

Rahman Ansaripour [1*], Mostafa Ghaderipour [2]
[1] Khuzestan Regional Electricity Company, Ahvaz, Iran,
ansari_1379@yahoo.com
[2]Instructor, Department of Electrical Engineering, Technical School of Dezful Boys', Dezful, Iran,
mostafa_ghaderipour@yahoo.com

Abstract: The widespread presence of uncontrolled electric vehicles causes overloading of distribution network equipment. One of these equipments is distribution transformer, which should pay attention to overloading and reducing lifetime of this equipment due to charging of electric vehicles. First, strategies have been proposed to investigate the effect of electric vehicle penetration level and charging on network equipment. From these strategies, with the help of Monte Carlo simulation, electric vehicle charging models are obtained for 24 hours. The first strategy involves slow and fast uncontrolled charging modeling in the residential and work areas, and the second strategy is charging only in the workplace. In these models with having parameters such as number of cars, base load, trip information, and electric vehicle penetration coefficient, obtain load profile from summation of total normal load and electric vehicle charge. And then load profile will be given to thermal model of distribution transformer. The output of the thermal model is the transformer hot spot temperature. From the hot spot temperature of the distribution transformer, a reduction in the lifetime of the insulator is obtained, which indicates a reduction in the lifetime of the distribution transformer. The results show that to reduce the lifetime of distribution transformer, it is better to use electricity tariff to smooth the load profile. For simulations MATLAB software is used.

Keywords: Electric vehicle charging, Distribution Transformers, Monte Carlo Simulation, Electric vehicle Penetration Coefficient.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1397.7.1.5.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 7-No. 1- Spring & Summer 2018