



چالش‌های پیش روی صنعت برق در مسیر توسعه پایدار سیستم‌های حمل و نقل برقی

مصطفی اسماعیلی^۱

۱- استادیار دانشگاه صنعتی بیرجند، دانشکده مهندسی صنایع و کامپیوتر

چکیده

با توجه به نقش حمل و نقل برقی در کاهش آلودگی هوا، توسعه پایدار این فناوری در برنامه توسعه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. با مطرح شدن مفهوم شبکه هوشمند برق و ویژگی‌های ارتباطی آن در سال‌های اخیر، توجه ویژه‌ای به بحث حمل و نقل برقی شده است. در این راستا، توسعه خودروهای برقی عمومی و شخصی در کشور ایران مورد توجه قرار گرفته است. خودرو برقی با وجود مزایای متعددی که دارد اما یک فناوری جدید است که هنوز به بلوغ نرسیده است و برای پذیرش عمومی باید بر چالش‌های متعدد اقتصادی، فنی و اجتماعی غلبه نماید. مهم‌ترین این چالش‌ها شامل فرسودگی باتری، تأثیر بر تجهیزات شبکه توزیع برق، افزایش هزینه سرمایه‌گذاری و تلفات انرژی، سیستم ارتباطی بین خودروها و شبکه برق و موانع اجتماعی می‌گردد. در این مقاله چالش‌های پیش روی صنعت برق برای توسعه پایدار حمل و نقل برقی و مشخصاً خودروهای برقی به منظور استفاده حداکثری از منافع این خودروها بررسی و راهکارهای مقابله با این چالش‌ها ارائه می‌گردد. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که برای مدیریت این چالش‌ها علاوه بر توسعه زیرساخت شبکه‌های برق‌رسانی لازم است زیرساخت‌های مخابراتی و اندازه‌گیری لازم برای کنترل رفتار شارژ خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه نیز فراهم گردد.

کلید واژه: برنامه‌ریزی توسعه، حمل و نقل، خودرو برقی، شبکه هوشمند برق.



۱- مقدمه

آلایندگی سیستم‌های حمل و نقل متداول باعث توجه کشورهای توسعه یافته به حمل و نقل برقی و به طور خاص خودروهای برقی شامل اتوبوس‌های برقی و خودروهای شخصی برقی در دهه اخیر شده است. خودرو برقی یک گزینه جایگزین حمل و نقل می‌باشد که گازهای آلاینده خروجی خودرو را حذف و حداقل نویز را تولید می‌کند. خودرو برقی از موتور الکتریکی و انرژی باتری برای پیشران استفاده می‌کند که در مقایسه با خودروهای متداول بنزینی درون‌سوز بازدهی بالاتر و هزینه بهره‌برداری کم‌تری دارند. خودروهای برقی را به طور کلی می‌توان به دو گروه بزرگ تقسیم نمود: خودروهای برقی مستقل از شبکه که نیازی به شارژ باتری از طریق برق شهری ندارند و خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه^۱ (PEVs) که از برق شهر برای شارژ باتری خودرو استفاده می‌نمایند. هر یک از این گروه‌ها خود به دسته‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شوند که به طور کامل در [۱] شرح داده شده است. اخیراً، معرفی مفهوم شبکه هوشمند با ویژگی‌های مخابراتی اضافه شده سیستم قدرت را مدرن نموده است. مفهوم خودرو متصل به شبکه^۲ (V2G) یکی از فناوری‌های شبکه هوشمند است که شامل خودرو برقی برای بهبود بهره‌برداری سیستم قدرت می‌گردد. مفهوم V2G اجازه می‌دهد که انرژی بین خودرو برقی و شبکه قدرت مبادله شود که می‌تواند خدمات متعددی برای شبکه قدرت فراهم نماید. ضمناً مالکان خودروهای برقی می‌توانند بابت مشارکتشان در خدمات V2G از درآمدهای جذابی بهره‌مند شوند.

به کارگیری PEVها می‌تواند فواید بسیاری را در بحث اثرات زیست محیطی و بهبود عملکرد شبکه به همراه داشته باشد و به طور کلی خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه، میزان مصرف انرژی را در بخش حمل و نقل کاهش خواهند داد. اما بهره‌مندی کامل از مزایای خودروهای برقی با پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند و در قالب V2G محقق می‌گردد. مهم‌ترین مزایای استفاده از این فناوری را می‌توان در پنج دسته شامل کاهش آلاینده‌ها، فراهم کردن خدمات جانبی، پشتیبانی توان اکتیو، جبران‌سازی توان راکتیو و پشتیبانی از منابع انرژی تجدید پذیر تقسیم بندی نمود که مطالعه جامعی در این زمینه در [۱] ارائه شده است. خودروهای برقی در کنار مزایا و جذابیت‌هایی که برای بهبود سیستم‌های حمل و نقل و توزیع برق ارائه می‌دهند، چالش‌هایی را نیز مطرح می‌سازند که در صورت عدم مدیریت صحیح این چالش‌ها، نه تنها مزایای فوق محقق نخواهد شد بلکه خودروهای برقی تبدیل به معضل جدیدی برای جامعه خواهند شد. به عنوان نمونه، شارژ تعداد زیادی از خودروهای برقی به صورت هم‌زمان می‌تواند تقاضای توان اوج را تا حدود ۵۰٪ برای مشرکین خانگی یا اداری و تا ۶۲٪ برای سایر مکان‌ها افزایش دهد [۲]. هر PEV بسته به اندازه

¹ Plug-in Electric Vehicles

² Vehicle to Grid



شارژر و شیوه شارژ، می‌تواند ۵۶۰ تا ۹۱۰ وات در زمان اوج به تقاضای بار الکتریکی سیستم اضافه کند. در [۲] گزارش شده است که در دسترس بودن ایستگاه‌های شارژ در مکان‌های اداری مصرف روزانه انرژی الکتریکی را بین ۲۴٪ تا ۲۹٪ افزایش می‌دهد.

در این مقاله چالش‌های متعددی که برای گسترش خودروهای برقی به عنوان بخشی از برنامه توسعه پایدار حمل و نقل برقی باید مورد توجه قرار گیرد، تحلیل و بررسی می‌شود. بخشی از چالش‌های مورد بررسی مربوط به فناوری‌های موجود و در حال توسعه است که انتظار می‌رود در آینده نزدیک برطرف گردد. بخش دیگری از این چالش‌ها به فراهم نمودن زیرساخت‌های مورد نیاز برای توسعه و گسترش خودروهای برقی در جامعه و فرهنگ‌سازی و پذیرش عمومی این خودروها از سوی مردم برمی‌گردد. اما بخش عمده‌ای از این چالش‌ها با نحوه اتصال خودروهای برقی به شبکه و رویکرد شارژ خودروهای برقی مرتبط می‌باشد. از این رو در بخش دوم مقاله دو رویکرد اصلی شارژ خودروهای برقی معرفی می‌گردد و به بررسی مزایا و معایب هر یک و الزامات مورد نیاز آن‌ها پرداخته می‌شود. در بخش سوم، چالش‌های متعددی که در مسیر توسعه خودروهای برقی قرار دارد به تفصیل بررسی می‌گردد. شناخت این چالش‌ها سبب می‌گردد که ضمن توسعه تدریجی خودروهای برقی، اقدامات لازم برای مواجهه با این چالش‌ها نیز صورت گیرد. در پایان نیز از مباحث مطرح شده نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

۲- رویکرد شارژ خودروهای برقی

هزینه‌های اقتصادی، آلاینده و اثرات خودروهای برقی بر سیستم توزیع به نفوذ PEVها و استراتژی‌های شارژ و دشارژ بستگی دارد. به کارگیری کنترل نشده خودروهای برقی در مقیاس بزرگ می‌تواند اثرات مخرب و ناپایدار کننده‌ای بر شبکه برق داشته باشد چرا که هر چه سطح نفوذ افزایش می‌یابد، تقاضای کل انرژی الکتریکی سالانه نیز افزایش می‌یابد. بنابراین تأثیرگذاری PEVها بر سیستم توزیع برق به سطح نفوذ آن‌ها و رویکردهای شارژ و دشارژ بستگی دارد. این رویکردها به دو دسته کلی شارژ غیر هماهنگ یا کنترل نشده و شارژ هماهنگ یا کنترل شده تقسیم می‌گردند.

۲-۱- شارژ کنترل نشده

شارژ کنترل نشده اشاره به وضعیتی دارد که باتری‌های PEV هنگام اتصال به پریز فوراً یا بعد از یک تأخیر زمانی ثابت قابل تنظیم توسط کاربر شروع به شارژ نمایند و تا زمانی که کاملاً شارژ شوند یا اتصال قطع گردد به شارژ شدن ادامه دهند [۳]. بهره‌برداری‌های شارژ کنترل نشده منجر به افزایش بار در ساعات اوج



می شود و می تواند موجب مشکلاتی برای شبکه توزیع برق شامل اضافه بار در ترانسفورماتورهای توزیع و کابل ها، افزایش تلفات توان، افزایش هزینه و کاهش قابلیت اطمینان شبکه گردد. در [۴] نشان داده شده است که نفوذ ۱۰٪ PEV در بریتانیا، تقاضای اوج روزانه را تا ۱۷/۹٪ افزایش می دهد در حالی که نفوذ ۲۰٪ PEV ها منجر به افزایش ۳۵/۸٪ بار اوج برای شارژ غیر هماهنگ در سیستم توزیع می گردد. اگر بار از ظرفیت اوج تجاوز کند، بهره بردار شبکه باید تولید توان اوج را افزایش دهد که این هزینه ها به مالکین خودروها منتقل می شود. در [۵]، نشان داده شده است که شارژ کنترل نشده می تواند موجب افزایش در صورت حساب ماهانه برق تا ۲۲٪ به دلیل تقاضای شارژ حتی تنها در نفوذ ده درصدی PEV گردد.

۲-۲- شارژ کنترل شده

مفهوم شارژ کنترل شده به رویکردهای متمرکز و غیرمتمرکز تقسیم می شود. رویکردهای غیرمتمرکز به PEV اجازه می دهد رفتار شارژ خود را بر اساس یک اعلام سیگنال قیمت بهینه کند. رویکرد متمرکز روی واحدهای متمرکزی توجه دارد که مستقیماً شارژ PEV را کنترل می کند. شارژ کنترل شده دستیابی به بالاترین سطح نفوذ PEV را بدون تخلف از محدودیت های فنی شبکه توزیع میسر می سازد [۶]. در جدول ۱، مقایسه جامعی بین این دو روش ارائه شده است.

جدول ۱ : مقایسه روش های شارژ خودروهای برقی متصل به شبکه

شارژ کنترل نشده	شارژ کنترل شده	
<ul style="list-style-type: none"> - شارژ در طول کم باری (در ساعات غیر اوج، شبانه) - دشارژ در زمان بار اوج روزانه 	<ul style="list-style-type: none"> - شارژ در طول کم باری (در ساعات غیر اوج، شبانه) - دشارژ در زمان بار اوج روزانه 	زمان شارژ یا دشارژ
<ul style="list-style-type: none"> - هیچ الزام، هماهنگی و تجمیعی نیاز نیست. - شارژ PEV ارزان است. 	<ul style="list-style-type: none"> - وسایل اندازه گیری هوشمند روی خودرو و بیرون آن - ارتباط مخابراتی و کنترل - زیرساخت های شارژ یا دشارژ 	الزامات و هزینه ها
<ul style="list-style-type: none"> - افزایش بار در ساعات اوج - انحراف های ولتاژ - تلفات توان اضافی - ضریب بار پایین - اضافه بار تجهیزات شبکه - افزایش صورت حساب برق ماهانه 	<ul style="list-style-type: none"> - بهینه سازی تقاضای توان - متعادل سازی الگوی بار روزانه و پروفیل ولتاژ - اجتناب از سرمایه گذاری اضافی و تلفات انرژی زیاد - حداکثر به کارگیری منابع تجدیدپذیر 	تأثیر بر سیستم توزیع برق



شبکه برق از تمام ظرفیت در شب استفاده نمی کند و تقاضای توان PEV می تواند به وسیله شارژ هوشمند منتقل شود تا از افزایش بار اوج در زمان نفوذ گروهی خودروهای برقی جلوگیری کند [۷]. شارژ هوشمند پتانسیل زیادی برای افزایش پشتیبانی از مالکان خودروهای برقی و شبکه دارد [۸]. در [۹] نشان داده شده است که زمان بندی شارژ هوشمند، هزینه برق روزانه برای رانندگی را از ۰/۴۳ به ۰/۲۰ دلار در روز در کالیفرنیا کاهش می دهد. انحرافات ولتاژ برای نفوذ ۳۰ درصدی در شبکه ی توزیع مسکونی کمتر از ۱۰ درصد گزارش شده است [۱۰]. شارژ و دشارژ هوشمند PEV ها، که در آن خودروهای برقی از منابع تجدیدپذیر شارژ می شوند و در هنگام بار اوج به شبکه توان تحویل می دهند، به عنوان پیشنهادی برای بهترین راهکار بالقوه برای حداکثر استفاده از منابع تجدیدپذیر جهت کاهش هزینه و انتشار آلاینده گزارش شده است [۱۱]. در [۱۲] نشان داده شده است که استراتژی های شارژ هماهنگ می تواند استفاده نسبی از توان بادی را تا ۱۴/۷ درصد برای کارمندان و ۱۵/۶ درصد برای مشتری های بازنشسته خودروهای برقی در سیستم قدرت آلمان افزایش دهد.

۳- چالش های اتصال خودروهای برقی به شبکه توزیع برق

به منظور فراگیر شدن فناوری خودرو برقی قابل اتصال به شبکه نیاز است بر چالش های متعدد اقتصادی، فنی و اجتماعی غلبه شود. مهم ترین این چالش ها شامل فرسودگی باتری، تأثیر بر تجهیزات توزیع، افزایش هزینه سرمایه گذاری و تلفات انرژی، سیستم ارتباطی بین خودروها و شبکه برق و موانع اجتماعی می گردد که برخی از این موارد می توانند چالشی جدی برای شرکت های توزیع در آینده نه چندان دور باشند.

۳-۱- کاهش عمر باتری

سلول های باتری به تدریج در دوره های شارژ و دشارژ های فرسوده می شوند. واکنش شیمیایی برگشت ناپذیر در باتری، مقاومت درونی را افزایش و ظرفیت مفید باتری را کاهش خواهد داد [۱۳]. نرخ پیری باتری به عوامل متعددی بستگی دارد که شامل نرخ های شارژ و دشارژ، ولتاژ، عمق تخلیه^۱ (DOD) و دما می گردد. مشارکت خودروهای برقی در فناوری V2G دو جهته مستلزم دوره های شارژ و دشارژ باتری بیشتری است که احتمالاً منجر به فرسودگی سریع تر باتری خواهد شد. در [۱۴] نشان داده شده است که دوره های سریع شارژ و دشارژ باتری منجر به فرسودگی بیشتر باتری در مقایسه با دوره های کم تر خواهد شد. تخمین هزینه فرسودگی باتری مشکل است زیرا فناوری ها در حال پیشرفت هستند. مقاومت سری معادل^۲ (ESR) پارامتری است که برای پیش بینی دوره عمر باتری استفاده می شود. DOD عمیق تر باتری و دوره های شارژ

¹ Depth of Discharge

² Equivalent Series Resistance



و دشارژ پی در پی باتری منجر به افزایش ESR باتری خواهد شد. مطالعات در [۱۵] و [۱۶] نشان می‌دهد که ESR باتری در دمای پایین باتری و در حد انتهایی وضعیت شارژ^۱ (SOC) باتری کاهش می‌یابد. بنابراین، دوره باتری باید حول گستره میانی SOC حفظ شود تا نرخ افزایشی ESR را حداقل سازد. فاکتور مهم دیگر برای کاهش فرسودگی باتری، DOD باتری می‌باشد. مطالعه در [۱۷] نشان می‌دهد که به منظور حفظ دوره عمر باتری در یک گستره قابل قبول، حفظ DOD باتری کم‌تر از ۶۰ درصد بسیار مهم می‌باشد. بنابراین بهترین گستره استفاده از باتری بین ۳۰ درصد SOC تا ۹۰ درصد SOC قرار می‌گیرد.

در [۱۸] استفاده از فناوری V2G برای ذخیره انرژی تولیدی در ساعات غیر اوج و تحویل آن به شبکه در ساعات اوج از نظر اقتصادی بررسی شده است. در این مطالعه یک خودرو با باتری ۱۶ kWh در نظر گرفته شده و فرض شده است که همواره این امکان وجود دارد که خودرو در ساعات پایانی شب با گرفتن توان از شبکه شارژ شود به گونه‌ای که باتری در هر صبح دارای شارژ کامل باشد. در این مطالعه مدلی ارائه شده است که هزینه فرسودگی باتری با یک رابطه ریاضی بر حسب هزینه تعویض باتری و میزان استفاده از آن تعیین می‌شود. با فرض این که هزینه تعویض باتری پنج هزار دلار باشد، با استفاده از این مدل، هزینه فرسودگی باتری ۴/۲ سنت بر کیلووات ساعت تعیین شده است. برای یک ناحیه واقعی، سود سالانه برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ با روش پیشنهادی [۱۸]، در جدول ۲ نشان داده شده است. حداکثر سود سالانه به میزان ۱۱۸ دلار در سال ۲۰۰۸ اتفاق می‌افتد. با افزایش هزینه باتری سود به سرعت کاهش می‌یابد و پس از رسیدن هزینه تعویض باتری به ۱۰ هزار دلار، سود تقریباً نزدیک به صفر می‌گردد.

جدول ۲: حد بالای سود سالانه در یک ناحیه واقعی برای یک خودرو برقی با باتری ۱۶ kWh [۱۸].

سال	سود (دلار)	معامله (kWh)
۲۰۰۳	۲۲	۱۲۸۶
۲۰۰۴	۱۷	۱۱۲۰
۲۰۰۵	۱۱۰	۲۴۵۸
۲۰۰۶	۵۸	۱۴۷۱
۲۰۰۷	۹۵	۲۲۲۳
۲۰۰۸	۱۱۸	۲۲۶۴

نتایج فوق نشان می‌دهد که با فناوری موجود باتری‌ها، مالکان خودروهای برقی احتمالاً مشوق کافی را از معاملات برق برای تحریک شدن جهت استفاده گسترده از باتری‌های خودرو به منظور ذخیره‌سازی انرژی شبکه دریافت نمی‌کنند و لازم است فناوری باتری‌ها به سرعت ارتقا یابد.

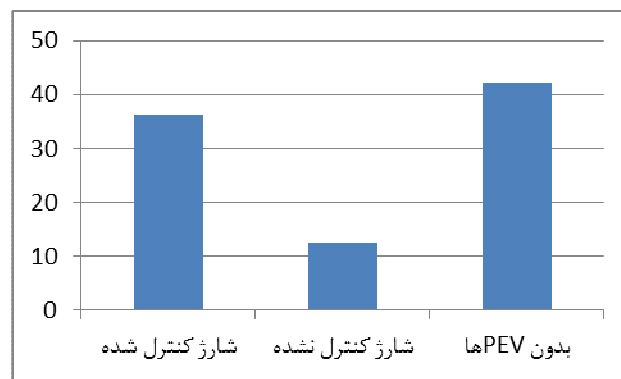
¹ State of Charge



۳-۲- تأثیر منفی روی تجهیزات شبکه توزیع برق

بسته به سناریوهای نفوذ خودروهای برقی، شارژرهای باتری می‌توانند تجهیزات توزیع محلی را دچار اضافه بار نمایند و موجب افزایش تلفات ترانسفورماتورهای توزیع، انحراف‌های ولتاژ، اعوجاج هارمونیک و تقاضای اوج گردند [۱۹]. مقابله با این امر مستلزم سرمایه‌گذاری اضافی در کابل‌های زمینی، خطوط هوایی بزرگتر و ظرفیت ترانسفورماتوری بیشتر می‌باشد. این هزینه می‌تواند به میزان قابل توجهی بر قابلیت اطمینان، امنیت، بازدهی و اقتصاد شبکه‌های هوشمند در حال توسعه به دلیل کاهش احتمالی عمر ترانسفورماتور تأثیر گذارد. تنزل در عمر یک ترانسفورماتور توزیع می‌تواند با استفاده از یک طرح شارژ کنترل شده به میزان قابل توجهی کاهش یابد [۲۰].

یک راه حل برای جلوگیری از تنزل عمر ترانسفورماتورهای توزیع می‌تواند استفاده از یک طرح شارژ کنترل شده برای خودروهای برقی متصل به شبکه باشد، اگرچه شدت مشکلات فوق به سطح نفوذ خودروهای برقی در شبکه توزیع بستگی دارد. در شکل ۱ بر اساس مطالعه انجام شده در [۲۱]، طول عمر ترانسفورماتورها برای سطح نفوذ ۵۰٪ در یک شهر نمونه تحت شارژ کنترل نشده و کنترل شده مقایسه شده است.



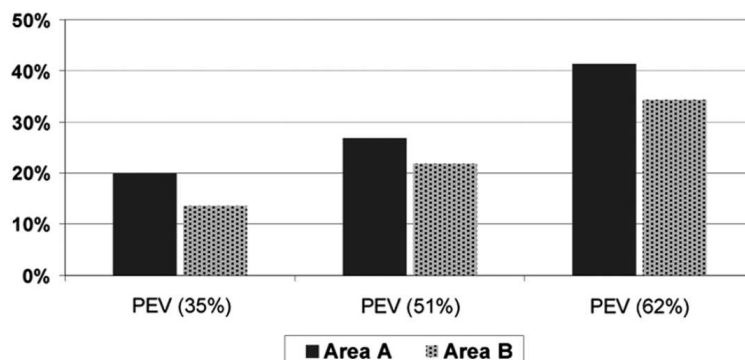
شکل ۱: مقایسه عمر ترانسفورماتورها در حالت‌های مختلف (بر حسب سال).

همان گونه که مشاهده می‌شود، نفوذ گسترده PEVها، مخصوصاً با هماهنگی ضعیف زمان‌های شارژ، می‌تواند تأثیر بزرگی بر شبکه قدرت داشته باشد. در سطح نفوذ ۵۰٪ PEVها، عمر ترانسفورماتور به میزان ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد با شارژ کنترل نشده در مقایسه با حالت پایه کاهش می‌یابد. شارژ کنترل شده متوسط طول عمر ترانسفورماتور را تا بیش از ۲۰۰٪ در مقایسه با شارژ کنترل نشده افزایش می‌دهد. البته باید توجه داشت که پیاده سازی شارژ کنترل شده مطابق با جدول ۱ نیازمند زیرساخت مخابراتی و وسایل اندازه‌گیری لازم و صرف هزینه می‌باشد.



۳-۳- افزایش هزینه سرمایه‌گذاری و تلفات انرژی

چالش دیگری که سر راه توسعه خودروهای برقی وجود دارد، هزینه سرمایه‌گذاری زیادی است که برای ارتقای سیستم قدرت نیاز می‌باشد. برای پیاده‌سازی تبادل توان دو طرفه بین خودروهای برقی و شبکه برق، بهبودهایی در زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری نیاز می‌باشد. هر خودرو برقی که در سیستم V2G مشارکت می‌کند به یک شارژر باتری دوجبهته نیاز خواهد داشت. یک شارژر باتری دوجبهته سخت‌افزاری است که شامل کنترل کننده پیچیده و کابل کشی تحت تنش زیاد با الزامات ایمنی سفت و سخت می‌باشد. همچنین در تحلیل جامعی که توسط آزمایشگاه ملی اوکریج در ایالات متحده درباره نفوذ PEVها در شبکه‌های برق چند منطقه انجام شده است [۲۲]، گزارش شده است که تمام مناطق نیاز به سرمایه‌گذاری اضافی در بخش تولید به منظور تأمین تقاضای مازاد PEVها دارند. در [۲۳] اثرات سطوح نفوذ مختلف PEVها بر سرمایه‌گذاری شبکه توزیع ارائه شده است. بسته به رویکرد شارژ، زمانی که ۶۰٪ از کل خودروها از نوع PEV باشند لازم است تا ۱۵٪ از کل هزینه‌های شبکه توزیع واقعی سرمایه‌گذاری شود. علاوه بر این، V2G پتانسیل افزایش تلفات انرژی را دارد که موضوع نامطلوب دیگری در سیستم قدرت است زیرا رابطه مستقیمی با زیان‌های مالی دارد. پیاده‌سازی V2G نیازمند چرخه‌های شارژ و دشارژ مکرر است و این فرایندها شامل تبدیل انرژی‌هایی است که منجر به تلفات تبدیلی بیشتر خواهد شد. تبدیلات انرژی متعدد برای فرایندهای شارژ و دشارژ گروه‌های بزرگ خودروهای برقی می‌تواند به معنی تلفات جدی انرژی در سیستم قدرت باشد [۲۴]. در [۲۳] اثر اتصال PEVها بر تلفات انرژی در ساعات غیر اوج زمانی که بیشتر PEVها متصل و در حال شارژ باتری هستند در دو ناحیه توزیع واقعی بررسی شده است. تلفات انرژی نسبت به وضعیت مرجع در ساعات غیر پیک بدون اتصال PEVها به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در ۲۰٪، تلفات انرژی اضافی نمایش داده شده است.



شکل ۲: تلفات انرژی اضافی در ساعات غیر اوج [۲۳].



مشاهده می‌شود که این تلفات چگونه با سطح نفوذ PEV افزایش می‌یابد. علاوه بر این، تغییرات افزایش در ناحیه ۱ اندکی بیشتر از ناحیه ۲ است زیرا چگالی بار در ناحیه ۱ بیشتر از ناحیه ۲ می‌باشد.

۳-۴- فراهم ساختن سیستم ارتباطی بین خودروها و شبکه

چالش‌های اصلی به کارگیری PEVها قابلیت پایش با وجود داده‌های گسترده جمع شده، تحلیل پیشرفته برای پشتیبانی کنترل سیستم و امنیت توان پیشرفته برای تأمین تقاضای توان و همچنین کاهش اثر خودروهای برقی بر سیستم توزیع فشار ضعیف می‌باشد. بنابراین جدا از فناوری‌های خاص، لازم است دولت‌ها و شرکت‌ها در زمینه توسعه شبکه‌های مدرن با قابلیت انجام وظایف مورد نیاز برای شبکه هوشمند جمع شده با خودرو تحقیق نمایند [۲۵].

برای بررسی تأثیر PEVها بر شبکه توزیع لازم است توانایی شبکه توزیع در مواجهه با نفوذ گسترده آن‌ها ارزیابی گردد. وظایف مهمی از قبیل هماهنگی زمانی شبکه توزیع و شارژ PEVها، تنها با استفاده از سیستم ارتباطی به هنگام^۱ میسر است. به عنوان بخشی از پروژه‌های PEV، برخی از کشورهای توسعه یافته به کارگیری ارتباطات به هنگام بدون سیم (وایرلس) را به منظور مدیریت عملکرد ایستگاه‌های شارژ، انتقال داده‌های مورد استفاده و ایجاد دسترسی به هنگام به رانندگان خودروهای برقی، آغاز خواهند کرد [۲۶]. از نگاه مالکین خودروها، این فناوری جمع سریع زیرساخت‌های خودرو برقی با شبکه توزیع را میسر خواهد ساخت [۲۷]. در [۲۸] چارچوب مفهومی مقررات برای جمع خودروهای برقی با شبکه توزیع برق شناسایی شده است. علاوه بر این پیشنهادها متعددی راجع به تعریف جمع‌کننده، مالکیت زیرساخت شارژ و همچنین حالت‌های آتی شارژ خودروهای برقی با ارتباطات تجاری بین کارگزاران مشارکت کننده ارائه شده است.

حضور گسترده خودروهای برقی در سیستم توزیع چالش‌های جدیدی را در زمینه مقررات، مدل‌های تجاری و امنیت شبکه مطرح می‌سازد. در بسیاری از کارهای پژوهشی، تمرکز بر روی این مطلب است که آیا زیر ساخت تأمین برق می‌تواند از عهده رشد مقبولیت خودروهای برقی برآید؟ شبکه‌های هوشمندتر، رویکرد توسعه آینده شبکه‌های هوشمند جمع شده با خودرو هستند که می‌توانند سیستم اطلاعاتی گسترده دو جهت را فراهم نمایند. با دستیابی تدریجی به PEVها و توسعه سیستم‌های توزیع، مراکز کنترل باید قدرت بالایی در محاسبه و قابلیت جمع‌آوری، جمع و تحلیل اطلاعات داشته باشند. به کارگیری گسترده خودروهای برقی می‌تواند چالش‌های بزرگی برای بهره‌برداری سیستم قدرت و سرمایه‌گذاری

¹ Real-Time Communications



نیروگاه به ارمغان آورد و برای حل این چالش‌ها لازم است از تجهیزات و سیستم‌های ارتباطی و مدیریت توان هوشمند استفاده شود.

۳-۵- موانع اجتماعی

مشارکت یک تعداد زیاد از خودروهای برقی برای توسعه خودروهای برقی و پیاده‌سازی V2G تعیین کننده است. اما موانع اجتماعی مانع پذیرش عمومی فناوری V2G شده است و به نظر می‌رسد که این امر یک چالش عظیم برای گسترش V2G باشد. در بسیاری از موارد، مالکان خودرو برقی نسبت به یک مقدار تضمین شده‌ای از انرژی ذخیره شده در باتری خودرو برقی برای استفاده اضطراری و سفرهای پیش‌بینی نشده، مراقبت خواهند کرد [۲۹]. از آنجا که نقش‌آفرینی در فناوری V2G لازم دارد که مالکان خودروها انرژی باتری‌های خودروهای برقی را با شبکه به اشتراک بگذارند، این امر می‌تواند اضطراب محدوده مسافت در بین مالکان خودروهای برقی ایجاد کند [۳۰]. فقدان امکانات شارژ وضعیت را بدتر می‌نماید.

به منظور کاهش موانع اجتماعی برای پیاده‌سازی V2G، یک شبکه شارژ خودروهای برقی که به خوبی برنامه‌ریزی شده است ضروری می‌باشد. علاوه بر این، کنترل مدیریت V2G نیاز به اطلاع از سطح SOC خودرو برقی دارد و لازم است زمانی که SOC خودرو برقی کمتر از یک درصد از پیش تعیین شده است، اتصال V2G قطع شود [۳۱] تا تضمین نماید که باتری خودرو برقی انرژی کافی برای مصرف رانندگی روزانه را داشته باشد.

۴- نتیجه‌گیری

مشکلات سیستم‌های حمل و نقل فعلی از یک طرف و پیشرفت تکنولوژی در سال‌های اخیر از طرف دیگر، موجب توجه برنامه‌ریزان مدیریت شهری به سیستم‌های حمل و نقل برقی شده است که در این بین توسعه خودروها و اتوبوس‌های برقی حائز اهمیت می‌باشد. خودروهای برقی علاوه بر کاهش آلودگی هوا موجب مصرف بهینه انرژی در بخش حمل و نقل و بهبود عملکرد سیستم‌های قدرت الکتریکی می‌گردند. اما با این وجود، خودروهای برقی چالش‌های جدیدی نیز به همراه دارند که تأثیر آن‌ها با افزایش سطح نفوذ خودروهای برقی تشدید می‌گردد. از این رو شناسایی این چالش‌های پیش رو و مدیریت آن‌ها در کنار توسعه خودروهای برقی باید مورد توجه قرار گیرد.

چالش‌های مورد بررسی در این مطالعه شامل فرسودگی باتری، تأثیر بر تجهیزات توزیع، افزایش هزینه سرمایه‌گذاری و تلفات انرژی، سیستم ارتباطی بین خودروها و شبکه برق و موانع اجتماعی می‌گردد. برخی از این چالش‌ها ناشی از ضعف فناوری‌های موجود است و انتظار می‌رود که در آینده برطرف گردد. اما بخش عمده این چالش‌ها به رویکرد شارژ خودروهای برقی برمی‌گردد. شارژ کنترل نشده خودروهای برقی عامل



بسیاری از مشکلات فوق می‌باشد. با فراهم نمودن زیرساخت‌های لازم و سرمایه‌گذاری در شبکه‌های توزیع برق امکان مدیریت شارژ خودروهای برقی به صورت کنترل شده و به تبع آن مقابله با چالش‌ها فراهم می‌گردد. البته هزینه پیاده‌سازی این سیستم می‌تواند قابل توجه باشد. از این رو بهتر است در طی یک دوره زمانی چند ساله و با برنامه‌ریزی مشخص در کنار توسعه تدریجی خودروهای برقی، ساختارهای فیزیکی و ارتباطی شبکه‌های توزیع برق نیز ارتقا یابند.

۵- قدرتدانی

این مقاله بخشی از پروژه‌ای با عنوان «بررسی منافع و چالش‌های ناشی از حضور خودروهای برقی در شبکه توزیع و وضعیت زیر ساخت شبکه توزیع خراسان جنوبی به منظور بهره‌مندی از آن» است که با حمایت شرکت توزیع نیروی برق خراسان جنوبی انجام شده است. لذا بر خود لازم می‌دانم از حمایت‌های مادی و معنوی این شرکت در جهت تحقق اهداف پروژه تشکر و قدرتدانی نمایم.

۶- مراجع

- ۱- اسماعیلی م.، شرکا م.، دادگر م.، معرفی مزایای اتصال خودروهای برقی به شبکه توزیع برق و بررسی الزامات مورد نیاز، دومین کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در برق و کامپیوتر، مهر ۱۳۹۵.
- 2- C. Weiller, "Plug-in hybrid electric vehicle impacts on hourly electricity demand in the United States," *Energy Policy*, vol. 39, pp. 3766-3778, 2011.
- 3- O. Van Vliet, A. S. Brouwer, T. Kuramochi, M. van Den Broek, and A. Faaij, "Energy use, cost and CO 2 emissions of electric cars," *Journal of Power Sources*, vol. 196, pp. 2298-2310, 2011.
- 4- K. Qian, C. Zhou, M. Allan, and Y. Yuan, "Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, pp. 802-810, 2011.
- 5- A. Halbleib, M. Turner, and J. Naber, "Control of battery electric vehicle charging for commercial time of day demand rate payers," in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, pp. 1-5, 2012.
- 6- J. Lopes, F. Soares, and P. Almeida, "Integration of electric vehicles in the electric power system," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, pp. 168-183, 2011.
- 7- K. Schneider, C. Gerkenmeyer, M. Kintner-Meyer, and R. Fletcher, "Impact assessment of plug-in hybrid vehicles on pacific northwest distribution systems," in *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008 IEEE, pp. 1-6, 2008.



- 8- A. Aabrandt, P. B. Andersen, A. B. Pedersen, S. You, B. Poulsen, N. O'Connell, et al., "Prediction and optimization methods for electric vehicle charging schedules in the EDISON project," in 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 1-7, 2012.
- 9- N. Rotering and M. Ilic, "Optimal charge control of plug-in hybrid electric vehicles in deregulated electricity markets," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, pp. 1021-1029, 2011.
- 10- K. Clement-Nyns, E. Haesen, and 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.
- 11- A. T. Al-Awami and E. Sortomme, "Coordinating vehicle-to-grid services with energy trading," IEEE Transactions on smart grid, vol. 3, pp. 453-462, 2012.
- 12- A. Schuller, J. Ilg, and C. van Dinther, "Benchmarking electric vehicle charging control strategies," in 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 1-8, 2012.
- 13- J. D. Dogger, B. Roossien, and F. D. Nieuwenhout, "Characterization of Li-ion batteries for intelligent management of distributed grid-connected storage," Energy Conversion, IEEE Transactions on, vol. 26, pp. 256-263, 2011.
- 14- S. B. Peterson, J. Apt, and J. Whitacre, "Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization," Journal of Power Sources, vol. 195, pp. 2385-2392, 2010.
- 15- P. T. Krein, "Battery management for maximum performance in plug-in electric and hybrid vehicles," in 2007 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp. 2-5, 2007.
- 16- S. Han, S. Han, and K. Sezaki, "Economic assessment on V2G frequency regulation regarding the battery degradation," in 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 1-6, 2012.
- 17- A. Millner, "Modeling lithium ion battery degradation in electric vehicles," in IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply (CITRES), pp. 349-356, 2010.
- 18- S. B. Peterson, J. Whitacre, and J. Apt, "The economics of using plug-in hybrid electric vehicle battery packs for grid storage," Journal of Power Sources, vol. 195, pp. 2377-2384, 2010.
- 19- S. Raghavan and A. Khaligh, "Impact of plug-in hybrid electric vehicle charging on a distribution network in a Smart Grid environment," in IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012.
- 20- J. C. Gómez and M. M. Morcos, "Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, pp. 975-981, 2003.
- 21- Q. Gong, S. Midlam-Mohler, V. Marano, and G. Rizzoni, "Study of PEV charging on residential distribution transformer life," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 1, pp. 404-412, 2012.
- 22- S. W. Hadley and A. A. Tsvetkova, "Potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on regional power generation," The Electricity Journal, vol. 22, pp. 56-68, 2009.



- 23- L. P. Fernandez, T. G. San Roman, R. Cossent, C. M. Domingo, and P. Frías, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, pp. 206-213, 2011.
- 24- E. S. Dehaghani and S. S. Williamson, "On the inefficiency of vehicle-to-grid (V2G) power flow: Potential barriers and possible research directions," in *2012 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, pp. 1-5, 2012.
- 25- J. A. G. Sánchez, J. M. L. Martínez, J. L. Martín, M. N. F. Holgado, and H. A. Morales, "Impact of Spanish electricity mix, over the period 2008–2030, on the life cycle energy consumption and GHG emissions of electric, hybrid diesel-electric, fuel cell hybrid and diesel bus of the Madrid transportation system," *Energy Conversion and Management*, vol. 74, pp. 332-343, 2013.
- 26- J. Kassakian, R. Schmalensee, G. Desgroseilliers, T. Heidel, K. Afridi, A. Farid, et al., "MI of Technology, The Future of the Electric Grid: An Interdisciplinary MIT Study," ed: Cambridge, MA: MIT Press, 2011.
- 27- A. M. Haidar, K. M. Muttaqi, and D. Sutanto, "Technical challenges for electric power industries due to grid-integrated electric vehicles in low voltage distributions: A review," *Energy Conversion and Management*, vol. 86, pp. 689-700, 2014.
- 28- C. Guille and G. Gross, "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation," *Energy policy*, vol. 37, pp. 4379-4390, 2009.
- 29- M. A. Fasugba and P. T. Krein, "Cost benefits and vehicle-to-grid regulation services of unidirectional charging of electric vehicles," in *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp. 827-834, 2011.
- 30- X. Yuan, X. Liu, and J. Zuo, "The development of new energy vehicles for a sustainable future: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 298-305, 2015.
- 31- S. Bashash and H. K. Fathy, "Optimizing demand response of plug-in hybrid electric vehicles using quadratic programming," in *2013 American Control Conference*, pp. 716-721, 2013.



Challenges of Electric Power Industry toward the Sustainable Development of Electrical Transportation Systems

Mostafa Esmaeeli¹

1-Assitant Professor, Faculty of Industrial and Computer Engineering, Birjand University of Technology

Abstract

With attention to the role of electric transportation in reducing the air pollution, sustainable development of this technology has been considered in the development plan of many countries. After introducing the concept of smart grid and its communication features in recent years, particular attention is paid to electric transportation issues. In this regard, development of public and private electric vehicles is considered in Iran. Despite the several benefits of electric vehicles, but this technology is still not mature, and should overcome multiple economic, technical and social challenges for public admission. Most important of these challenges include battery exhaustion, affecting the distribution network equipment, increase investment costs and energy losses, communication system between vehicle and power grid, and social barriers. In this paper, the challenges ahead of electric power industry toward the sustainable development of electric transportation, specifically electric vehicles, are analyzed to maximize benefits of these vehicles. In addition, appropriate approaches to cope with these challenges are presented. The results of this study show that management of these challenges required providing communications and measuring infrastructure to control charging behavior of plug-in electric vehicles as well as upgrading power grid infrastructure.

Keywords: *Development planning, Transportation, Electric vehicle, Smart grid.*

¹ Assistant Professor of Electrical Engineering, esmaeeli@birjandut.ac.ir