Computational Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 8, No. 3, Autumn 2017

Smart Charge and Discharge Scheduling of Electric Vehicle (EV) to maximize the profit of EV owner

Amin Alavi Eshkaftaki[1], Ali Ghiasian[2], Abdorreza Rabiee[3]
[1] Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[2] Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[3.] Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Abstract:

Electric Vehicle (EVs) usage causes to decrease the consumption of fossil fuel resources and pollution. If such EVs include vehicle to grid (V2G) capability, then a smart scheduling can be used in order to obtain more profit. The goal of this paper is to present a charge and discharge scheduling to maximize the profit of EV owner, using genetic algorithm (GA). The suggested method can be applicable without deteriorating the normal usage of EV. Besides that, in this method the hourly traveled distance and state of charge (SOC) of EV are considered in each hour of day and night. To evaluate the accuracy of this algorithm, stochastic data are generated and the algorithm is repeated 1000 times. Finally, the expected profit of EV owner is calculated for 3 modes named without V2G ability, with V2G and 72 ampere charger and with V2G and supercharger. The results show that the 3rd mode is more profitable than the other ones.

Keywords: charge scheduling, discharge scheduling, genetic algorithm (GA), electric vehicle (EV), stochastic data, supercharger

Archive of SID

www.SID.ir

برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروی الکتریکی به‌منظور بیشینه‌کردن سود صاحب خودرو با استفاده از الگوریتم ژنتیک

امین علوی اشکفتکی[۱]، علی قیاسیان[۲]، عبدالرضا ربیعی[۳*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه شهرکرد – شهرکرد - ایران
alavi@stu.sku.ac.ir
۲- استادیار، دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه شهرکرد – شهرکرد - ایران
ghiasian.ali@eng.sku.ac.ir
۳- استادیار، دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه شهرکرد – شهرکرد - ایران
rabiee@eng.sku.ac.ir

چکیده: استفاده از خودروی الکتریکی باعث کاهش مصرف ذخایر رو به پایان سوخت‌های فسیلی و همچنین کاهش آلودگی می‌شود. اگر خودروی الکتریکی قابلیت اتصال به شبکه را داشته باشد، با یک برنامه‌ریزی هوشمندانه حتی سودآور است. هدف مقاله، ارائهٔ برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ برای بیشینه‌کردن سود صاحب خودرو است. برای بهینه‌سازی تابع هدف (بیشینه‌کردن سود صاحب خودرو) از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. روش پیشنهادی، ضمن استفاده معمولی و با آسایش از خودرو، برای صاحب خودرو نیز سود در بر خواهد داشت؛ بنابراین نگاه این بررسی متفاوت است و سودآوری صاحب پارکینگ، شبکهٔ توزیع و جمع‌کننده مدنظر نیست. علاوه بر آن، در روش ارائه‌شده، مسافت طی‌شده و همچنین وضعیت شارژ در هر ساعت از شبانه‌روز مدنظر قرار می‌گیرند. برای بررسی صحت عملکرد این الگوریتم، داده‌های تصادفی، تولید و برنامه ۱۰۰۰ دفعه تکرار می‌شود. درنهایت، سود انتظاری صاحب خودرو برای سه حالت مختلف، وجودنداشتن قابلیت اتصال به شبکه، وجود این قابلیت و استفاده از شارژر ۷۲ آمپری و درنهایت، وجود قابلیت اتصال به شبکه و استفاده از سوپرشارژر محاسبه و بررسی شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند حالت سوم، نسبت به دو حالت دیگر، سودآورتر است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی شارژ، برنامه‌ریزی دشارژ، الگوریتم ژنتیک، خودروی الکتریکی، داده تصادفی، سوپرشارژر

۱- مقدمه

مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی اتومبیل‌ها در سرتاسر جهان و روند رو به کاهش این نوع سوخت از یک‌سو و از سوی دیگر، معضل آلودگی در بیشتر شهرها باعث شده است در سال‌های اخیر توجه به منبع انرژی سبز و تجدیدپذیر برای خودروها افزایش یابد. خودروهای الکتریکی (EV[۱]) باتری الکتریکی دارند که انرژی لازم برای موتور و سایر تجهیزات اتومبیل را تأمین می‌کنند. این باتری با شبکه[۲]، پیل‌های خورشیدی و یا حتی انرژی ترمزگیری خودرو شارژ می‌شود. از مزایای این نوع خودروها، سروصدای کم، ایجادنکردن آلودگی و بازدهی بالاست و شاید از معایب آن، مسافت کم طی‌شدهٔ خودرو و زمان نسبتاً زیاد برای شارژ باشد؛ البته با پیشرفت تکنولوژی این مشکل تا حد بسیار زیادی مرتفع شده است؛ تاجایی‌که امروزه از خودروهای الکتریکی با ظرفیت باتری بالا استفاده می‌شود که قادرند مسافت زیادی را طی کنند و مدت زمان شارژ

[۱] تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۲
نام نویسندهٔ مسئول: عبدالرضا ربیعی
نشانی نویسندهٔ مسئول: ایران – شهرکرد – دانشگاه شهرکرد – دانشکدهٔ فنی مهندسی

Archive of SID
www.SID.ir

کوتاهی را به خود اختصاص دهند. در صورتی که این خودروها قابلیت اتصال به شبکه (V2G[۳]) را داشته باشند، می‌توان با در نظر گرفتن الگوریتم بهینه‌سازی، در ساعات مشخصی، برق را به شبکه فروخت که همین موضوع باعث می‌شود خودروهای الکتریکی با قابلیت اتصال به شبکه (PEV[۴])، در عین کارایی معمولی به‌عنوان خودرو، حتی برای صاحب خودرو سودآور باشند.

دربارهٔ برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی مقالات مختلفی ارائه شده‌اند. در [۱]، الگوی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در شبکهٔ توزیع ارائه شده است که در آن، به دلیل اینکه برنامه‌ریزی بهینه مطلق عملیاتی نیست، از برنامه بهینه‌سازی محلی برای کمینه کردن هزینهٔ خودروهای الکتریکی استفاده شده است. در [۲] چارچوب عملیاتی برای جمع‌کننده[۵] خودروهای الکتریکی ارائه شده که در آن، نخست الگوریتم برای کمینه‌کردن هزینه و سپس الگوریتم توزیع دینامیکی مطرح شده‌اند. در مقاله دیگر، برنامه‌ریزی خودروهای الکتریکی براساس قیمت لحظه‌ای و با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت صورت گرفته است که در تابع هدف آن، هزینهٔ تنزل باتری هنگام اتصال به شبکه و نیز تأمین انرژی لازم برای حرکت خودرو نیز در نظر گرفته شده‌اند [۳]. تابع هدف ارائه‌شده در [٤] کمینه‌کردن کل هزینهٔ انرژی خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن عملکرد با آسایش مصرف‌کننده است و نشان داده می‌شود این الگوریتم ذخیرهٔ مناسب در انرژی الکتریکی، انعطاف‌پذیری بیشتر بین هزینه و آسایش مصرف‌کننده و کاهش دیماند انرژی در طول ساعات پیک را فراهم می‌کند؛ بنابراین در این روش هم به منافع مصرف‌کننده و هم به منافع شبکهٔ توزیع توجه شده است. در مقاله [۵] برنامه‌ریزی مبتنی بر ریسک یک روز قبل[۶] و لحظه‌ای[۷] برای شارژ خودروهای الکتریکی از دید جمع‌کننده‌ها صورت گرفته است. تابع هدف، کمینه‌کردن هزینهٔ انرژی الکتریکی خودروها و ریسک بین بار پیش‌بینی‌شده و بار واقعی خودروهای الکتریکی، با در نظر گرفتن رفتار تصادفی رانندگی این نوع خودروهاست. در [٦]، الگوی لحظه‌ای شارژ خوروهای الکتریکی در سیستم توزیع خانگی با ولتاژ پایین مطرح شده است که در این الگو، شبکهٔ توزیع از اهمیت زیادی برخوردار است. در مقاله‌ای دیگر، برنامه‌ریزی شارژ خودروهای الکتریکی در فضای پارکینگ براساس الگوی حرکت اتومبیل‌ها، برای افزایش درآمد پارکینگ و افزایش تعداد خودروهای الکتریکی ارائه شده است [۷]. در مرجع [۸] برنامه‌ریزی بهینه برای شارژ خودروهای الکتریکی با قابلیت اتصال به شبکه ارائه شده است که در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی استفاده می‌شود و در آن، الگوریتم بهینه‌سازی از دو قسمت محاسبات پخش بار و بهینه‌سازی خطی تشکیل شده است. در [۹] الگوریتم در دو گام برای برنامه‌ریزی شارژ خودروهای الکتریکی ارائه شده است. در گام نخست، تعداد خودروهایی که در هر ساعت، در بازار یک روز قبل، درخواست شارژ داشته‌اند، بهینه می‌شوند و در گام دوم، تعداد بیشینه خودروهایی تعیین می‌شود که می‌توانند شارژ بشوند. در این روش نیز به شبکهٔ توزیع توجه می‌شود. همچنین مسئله برنامه‌ریزی شارژ خودروهای الکتریکی در فضای پارکینگ با استفاده از نظریهٔ بازی غیرمشارکتی[۸] انجام شده است که در این روش، میزان شارژ کل، با ظرفیت ترانس تعیین می‌شود [۱۰].

در بسیاری از این مقالات، بهینه‌سازی از نگاه صاحب پارکینگ، شبکهٔ توزیع، جمع‌کننده و ... صورت گرفته است؛ ولی در این مقاله سعی شده است دید بهینه‌سازی کمی متفاوت باشد؛ یعنی به مسئله، ازسوی صاحب خودرو نگاه شود. تغییر دیدگاه به این سمت باعث می‌شود صاحب خودرو با انگیزه کافی در برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودرو شرکت کند. نکته مهم مطرح‌شده در این مقاله، استفاده معمولی و با آسایش از خودرو برای کارهای روزمره بدون ایجاد هیچ‌گونه محدودیتی است. این موضوع باعث می‌شود روش پیشنهادی جنبه عملیاتی بیشتری نیز داشته باشد.

۲- برنامه‌ریزی هوشمندانه شارژ و دشارژ

همان‌طور که در مقدمه نیز ذکر شد، فرمول‌بندی مسئله بر مبنای بیشنیه‌کردن سود صاحب خودرو عمل می‌کند. ازطرفی در این روابط هزینهٔ انرژی الکتریکی در طول روز ثابت نیست؛ زیرا اگر ثابت فرض شود، رغبتی برای استفاده از این الگوریتم‌های بهینه‌سازی وجود نخواهد داشت. نکته دیگر آنکه این الگوریتم برای هر ساعت از شبانه‌روز، میزان

Archive of SID

www.SID.ir

شارژ، دشارژ و سایر اطلاعات و متغیرها را خواهد داد. فرمول‌بندی مسئله به‌صورت زیر است.

Objective Function: Maximize Ω

$$\Omega = \sum_{t=0}^{23} \text{Price}_t \times (\eta_{dch} \times E_{dch,t} - \frac{E_{ch,t_t}}{\eta_{ch}}) \quad (۱)$$

$$\text{E}_{t+1} = \text{E}_t - E_{dch,t} + E_{dch,t} + Dist_t \times C_{EV} \quad (۲)$$

$$0 \le I_t \le 1 \quad (۳)$$

$$0 \le E_{ch,t} \le \frac{I_t}{I_t + \varepsilon} \times Rate_{ch} \quad (۴)$$

$$0 \le E_{dch,t} \le \frac{I_t}{I_t + \varepsilon} \times Rate_{dch} \quad (۵)$$

$$Dist_t \times I_t = 0 \quad (۶)$$

$$E_{ch,t} \times E_{dch,t} = 0 \quad (۷)$$

$$E_{min} \le E_t \le E_{max} \quad (۸)$$

$$SOC_t = E_t \frac{100}{Cap_{bat}} \quad (۹)$$

$$E_{t_0} = SOC_{t_0} \frac{Cap_{bat}}{100} \quad (۱۰)$$

که متغیرهای به‌کاررفته در فرمول‌بندی فوق و ورودی‌های مسئله نیز در زیر مشاهده می‌شوند.

ورودی‌های مسئله

$Price_t \left(\frac{\$}{kWh}\right)$	قیمت انرژی الکتریکی در هر ساعت از روز
η_{ch}	بازدهی مبدل و باتری هنگام شارژ
η_{dch}	بازدهی مبدل و باتری هنگام دشارژ
$Dist_t\ (km)$	میزان مسافت طی‌شده در هر ساعت از روز
$C_{EV}\ (\frac{kWh}{km})$	میزان مصرف خودروی الکتریکی
$Rate_{ch}\ (\frac{kWh}{hr})$	میزان شارژ
$Rate_{dch}\ (\frac{kWh}{hr})$	میزان دشارژ
$E_{min}\ (kWh)$	کمینه مقدار انژری خودرو
$E_{max}\ (kWh)$	بیشینه مقدار انژری خودرو
ϵ	یک عدد بسیار کوچک (Epsilon)
$Cap_{bat}(kWh)$	ظرفیت باتری
SOC_{t_0} (%)	وضعیت شارژ باتری[9] در شرط اولیه
$E_{t_0}\ (kWh)$	میزان انرژی در شرط اولیه
$t_0\ (hr)$	زمان مربوط به شرط اولیه

متغیرهای مسئله

Ω ($)	میزان سود صاحب خودرو
$E_{dch,t}\ (kWh)$	انرژی فروخته‌شده به شبکه در زمان t
$E_{ch,t}\ (kWh)$	انرژی خریداری‌شده از شبکه در زمان t
$E_t\ (kWh)$	انرژی خودرو در زمان t
$0 \le I_t \le 1$	متغیر کمکی
SOC_t (%)	وضعیت شارژ باتری در زمان t
t	زمان بر حسب ساعت

در این مسئله، رابطه (۱) میزان سود صاحب خودرو در طول ۲۴ ساعت (تابع هدف) را نشان می‌دهد. رابطه (۲) میزان انرژی خودرو را در هر ساعت محاسبه می‌کند. رابطه (۳) متغیری کمکی است که برای سهولت در مسئلهٔ بهینه‌سازی و کاهش تعداد متغیرهای مسئله در روابط (۴) تا (۶) استفاده شده است. رابطه (۷) مشخص می‌کند در هر ساعت، خودرو نمی‌تواند همزمان شارژ و دشارژ شود. رابطه (۸) نشان می‌دهد میزان انرژی خودرو در هر ساعت، باید در محدودهٔ مجاز خود باشد. رابطه (۹) میزان شارژ باقیمانده باتری در هر ساعت را محاسبه می‌کند. نکته جالب توجه آن است که در روش ارائه‌شده، برخلاف بسیاری از مقالات، SOC در هر ساعت از روز ارائه می‌شود. همچنین رابطه (۶) نشان می‌دهد مسافت طی‌شده در هر ساعت از شبانه‌روز مدنظر است؛ زیرا در بسیاری از مقالات به مسافت کل طی‌شده در روز توجه می‌کنند. با توجه به رابطه (۱۰)، حل مسئله نیازمند شرط اولیه است که در زمان t_0 اتفاق می‌افتد. این زمان زمان برگشت به خانه در نظر گرفته می‌شود.

برای توضیح روابط (۴) تا (۶) ابتدا لازم است حالت‌های مختلف ممکن برای خودرو در نظر گرفته شوند. به‌طورکلی، حالات مختلف ممکن برای خودرو در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. با توجه به جدول (۱)، چهار حالت مختلف در هر ساعت برای خودرو متصور می‌شود. برای الگوکردن مسئله در قالب بهینه‌سازی، دو راهکار وجود دارد. راهکار نخست عبارت است از تعریف چهار متغیر باینری برای هرکدام از چهار حالت. این کار باعث افزایش تعداد متغیرهای مسئلهٔ بهینه‌سازی و درنتیجه، کاهش سرعت محاسبات می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۱): چهار حالت مختلف خودروی الکتریکی

حالت اول	ایستاده و شارژ	مسافت طی‌شده صفر و ضریب I_t مخالف صفر است.
حالت دوم	ایستاده و دشارژ	مسافت طی‌شده صفر و ضریب I_t مخالف صفر است.
حالت سوم	ایستاده بدون شارژ و دشارژ	مسافت طی‌شده برابر صفر بوده و ضریب I_t می‌تواند صفر باشد یا نه.
حالت چهارم	حرکت	مسافت مخالف صفر و ضریب I_t حتما صفر است.

راهکار دوم، الگوکردن مسئله در قالب روابط (٤) تا (۷) است. این روش در عین سادگی، همه حالت‌های مختلف را پوشش می‌دهد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. با توجه به رابطه (٤)، اگر Dis_t مخالف صفر باشد، (خودرو در ساعت t در حال حرکت باشد)، متغیر I_t حتماً برابر صفر خواهد شد؛ اما اگر خودرو در ساعت t در حال حرکت نباشد (Dis_t مساوی صفر)، در این صورت متغیر I_t می‌تواند مخالف صفر باشد؛ بنابراین با توجه به روابط (۵) تا (۷)، امکان شارژ یا دشارژ برای خودرو وجود خواهد داشت. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، خودرو شارژ یا دشارژ شود، امکان وقوع همزمان این دو وجود ندارد. این موضوع در رابطه (۷) مشاهده می‌شود.

۳- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

برای شبیه‌سازی روش ارائه‌شده، از سه نوع خودروی الکتریکی تسلا موتور استفاده شده که اطلاعات مربوط و نیز زمان لازم برای شارژ کامل آنها به ترتیب در جداول (۲) و (۳) آورده شده‌اند [۱۱].

در این مقاله، خودروی P90D (Ludicrous) برای شبیه‌سازی انتخاب شده است. شبیه‌سازی یک‌بار برای شارژر ۷۲ آمپری و بار دیگر برای سوپرشارژر انجام می‌شود. انتظار می‌رود در آینده‌ای نه‌چندان‌دور، تمامی شارژرها قابلیت سوپرشارژ را داشته باشند. به هر حال، اطلاعات ورودی مسئله که مربوط به خودرو هستند، در جدول (٤) مطرح شده‌اند.

جدول (۲): اطلاعات سه نوع الگو از خودروهای تسلاموتور

نام خودرو	نوع خودرو	ظرفیت باتری (kWh)	رنج (miles)	حداکثر سرعت (mph)
Tesla Model s	P90D (Ludicrous)	۹۰	۲۷۰	۱۵۵
Tesla Model s	90D	۹۰	۲۹٤	۱۵۵
Tesla Model s	60D	٦۰	۲۱۸	۱۳۰

جدول (۳): زمان لازم برای شارژ کامل باتری

نوع خودرو	زمان لازم برای یک بار شارژ کامل توسط		
	شارژر ٤۸ آمپری (ساعت)	شارژ ۷۲ آمپری (ساعت)	سوپرشارژر (ساعت)
P90D (Ludicrous)	۷:۵۰	۵:۱۲	۱:۰۵
90D	۸:۳٤	۵:٤۱	۱:۱۳
60D	٦:۲۳	٤:۱٤	۰۰:٤۷

جدول (٤): اطلاعات ورودی مربوط به خودرو

$\mathbf{E_{min}}$ **(kWh)**	$\mathbf{Rate_{ch}}$ **(kWh/hr)** (72 A Charger)	۰	۱۷/۵۷
$\mathbf{E_{max}}$ **(kWh)**	$Rate_{dch}$ (kWh/hr) (72 A Charger)	۹۰	۱۷/۵۷
ϵ	$Rate_{ch}$ (kWh/hr) Supercharger	$۱۰^{-۲۰}$	۸۵/۷۱
Cap_{bat} (kWh)	$Rate_{dch}$ (kWh/hr) Supercharger	۹۰	۸۵/۷۱
η_{ch}&η_{dch}	E_{t_0} (kWh)	۹۵٪	۰ و ۵
C_{EV} (kWh/km)	t_0 (hr)	۰/۲۰۷۳	تصادفی بر اساس زمان برگشت به خانه

همچنین قیمت انرژی الکتریکی با توجه به [۱۲] در سه‌بازه قیمتی به‌صورت زیر است.

جدول (۵): قیمت انرژی الکتریکی

ساعت	۸–۱۰	۱۰–۱۷	۱۷–۲۲	۲۲–۸
قیمت انرژی الکتریکی (¢/kWh)	۱۰/۳۵	۱۵/۰۲	۱۰/۳۵	٦/۵۳۸

Archive of SID

www.SID.ir

تنها دادهٔ ورودی که تکلیف آن مشخص نیست، مسافت طی‌شده در ساعات مختلف ($Dist_t$) است. برای این منظور، چهار کار پرتکرار در طول روز در نظر گرفته شده و برای هر یک از این کارها بازهٔ زمانی و مسافت طی‌شده مدنظر قرار می‌گیرد. این چهار کار پرتکرار عبارت‌اند از: رفتن سر کار، پیاده‌کردن فرد، بازگشت به خانه و انجام خرید خانه. برای ارزیابی کارایی الگوریتم مطرح‌شده باید آن را به‌ازای داده‌های تصادفی مختلف آزمود. به همین دلیل برای چهار کار پرتکرار مطرح‌شده، هشت توزیع در نظر گرفته می‌شود که از میان آنها چهار توزیع بر حسب مسافت طی‌شده و چهار توزیع مبتنی بر بازهٔ زمانی حرکت خواهند بود. توزیع‌های در نظر گرفته شده در نمودارهای شکل (۱)، از نوع ویبال[10] با ضرایبی است که در جدول (٦) ذکر شده‌اند [۱۳،۱٤]. رابطه (۱۱) بیان‌کنندهٔ توزیع ویبال است.

$$f = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}} \qquad (11)$$

جدول (٦): ضرایب مربوط به توزیع‌های ویبال مسافت و بازهٔ زمانی حرکت

چهار کار پرتکرار در روز	ضرایب توزیع ویبال مسافت		ضرایب توزیع ویبال زمان	
رفتن سر	α	۱۲/۲۱	α	۷/٦۷٤٥٤
کار	β	۱۰	β	۲۰/۳۸۱۲
پیاده‌کردن	α	۳/۲٤	α	۸/٦۷٤٥٤
فرد	β	۲	β	۲۱/۳۸۱۲
بازگشت به	α	۱٤/٤۲	α	۱۷/٦۷٤٥٤
خانه	β	۱٥	β	۲۱/۳۸۱۲
انجام خرید	α	۳/۱٦	α	۱۹/٦۷٤٥٤
خانه	β	۳	β	۲۱/۳۸۱۲

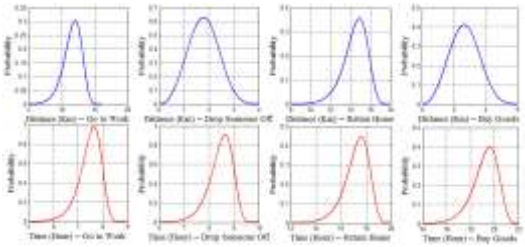
اکنون تمامی داده‌های ورودی کاملاً مشخص شده‌اند و باید داده‌های تصادفی از هشت توزیع ویبال که چهارتای آن برحسب زمان و چهارتای آن برحسب مسافت است، با روابط (۱۲) و (۱۳) در نرم‌افزار MATLAB تولید شوند.

$$t = \alpha(-\ln(1-R))^{\frac{1}{\beta}} \qquad (12)$$

$$dist = \alpha(-\ln(1-R))^{\frac{1}{\beta}} \qquad (13)$$

در روابط فوق، R به‌صورت تصادفی بین ۰ تا ۱ انتخاب می‌شود.

به دلیل آنکه متغیرهای مسئله پیوسته فرض شدند، مسئله بهینه‌سازی، از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) است.



شکل (۱): نمودارهای مربوط به توزیع‌های ویبال مسافت و بازهٔ زمانی حرکت

برای بیشینه‌سازی تابع هدف (سود دارندهٔ خودرو) که در رابطه (۱) آورده شده است، از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. برای محاسبه سود انتظاری[11] این کار ۱۰۰۰ بار تکرار خواهد شد.

۳-۱- بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، یکی از الگوریتم‌های مبتنی بر روند تکاملی است. این الگوریتم راه‌حل‌های بالقوّه مسئله را در قالب کروموزوم‌های ساده‌ای کد می‌کند و سپس عملگرهای ترکیبی را بر روی این ساختارها اعمال می‌کند. الگوریتم ژنتیک بیشتر روشی برای بهینه‌سازی توابع شناخته می‌شود.

در این مقاله نیز برای به دست آوردن الگوی بهینه شارژ و دشارژ خودروی الکتریکی از روش مذکور استفاده می‌شود. رابطه (۱) در قسمت قبل بیان‌کنندهٔ تابع هدف و روابط (۲) تا (۱۰) نیز مربوط به قیود تساوی و نامساوی خطی و غیرخطی‌اند. برای اعمال‌کردن قیود در الگوریتم ژنتیک، از تابع جریمه مطرح‌شده در رابطه (۱۵) استفاده می‌شود. در این روابط w_i، توابع قیود تساوی و g_i، توابع قیود نامساوی است و V برداری است که در رابطه (۱۵) ارائه شده است. شروط مربوط به توابع قیود برابری و نابرابری نیز در روابط (۱٦) و (۱۷) ارائه شده‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir

$$f = -\Omega - R \times V \quad (۱۴)$$

$$V = \max\{0, w_1(x), \dots, w_{N_{ec}}(x), \dots, g_1(x), \dots, g_{N_{iec}}(x)\} \quad (۱۵)$$

$$w_i(x) = 0 \quad (۱۶)$$

$$g_i(x) \le 0 \quad (۱۷)$$

در رابطه (۱۴)، پارامتر R، ضریب جریمه مربوط به تابع نگارش‌شده و N_{ec} و N_{iec} به‌ترتیب تعداد قیود برابری و نابرابری‌اند. x نیز بردار متغیرهای به کار گرفته شده در مسئله‌اند. الگوریتم ژنتیک ذاتاً الگوریتم مینیم‌ساز است؛ ولی تابع هدف بیشنه‌کردن سود صاحب خودرو است؛ بنابراین، در روند استفاده از الگوریتم ژنتیک علامت منفی منظور می‌شود. این موضوع در تابع جریمه مطرح‌شده هم مشاهده می‌شود؛ بنابراین کمینه‌کردن تابع جریمه ذکرشده در روابط فوق به بیشینه‌کردن تابع هدف اصلی مسئله در رابطه (۱) منجر خواهد شد.

برای پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک جمعیت اولیه با تعداد ۵۰ کروموزوم در نظر گرفته می‌شود. طبیعتاً هرچه تعداد جمعیت اولیه و همین‌طور کیفیت آن افزایش یابد، دقت نتیجه به‌دست‌آمده بیشتر خواهد شد؛ ولی مدت زمان اجرای برنامه نیز افزایش محسوسی خواهد داشت. ژن‌های این کروموزوم متغیرهای مسئله یعنی انرژی الکتریکی، انرژی فروخته‌شده، انرژی خریداری‌شده و متغیر کمکی‌اند که هر کروموزوم شامل ۹۶ ژن است. این موضوع در شکل (۲) مشاهده می‌شود.

شکل (۲): کروموزوم استفاده‌شده در الگوریتم ژنتیک

ژن‌های xi در شکل (۲) بیان‌کنندهٔ متغیرهایی‌اند که در رابطه (۱۸) مشاهده می‌شوند.

$$X = [E_0, \dots E_{23}, E_{dch,0}, \dots, E_{dch,23}, \dots, E_{ch,0} \dots E_{ch,23}, I_0, \dots, I_{23}]_{1\times 96} \quad (۱۸)$$

درصد کرموزوم‌های دو رگه حاصل عمگر تقاطع[۱۲] ۰/۸ و روش ایجاد آن از نوع پراکنده[۱۳] و همچنین درصد کروموزم‌های جهش‌یافته[۱۴] ۰/۲ و الگوی تولید آن از نوع متحدالشکل[۱۵] فرض می‌شود. تعداد حداکثر تکرار ۲۰۰ در نظر گرفته می‌شود. طبیعتاً هرچه تعداد تکرارها افزایش یابد، دقت جواب نیز بهبود خواهد داشت؛ همچنین مدت زمان اجرای برنامه افزایش می‌یابد؛ ولی انتظار می‌رود معیار پایان‌دهندهٔ تکرار برنامه، میزان خطای جواب (مثلا 10^{-6}) باشد، نه تعداد حداکثر تکرار. در این مقاله معیار توقف الگوریتم ژنتیک میزان خطای جواب و برابر 10^{-3} در نظر گرفته شده است. اگر چنانچه بعد از ۲۰۰ تکرار معیار میزان خطای جواب هنوز برآورده نشده باشد، تعداد تکرار الگوریتم ژنتیک ادامه خواهد یافت.

۳-۲- تحلیل نتایج حاصل

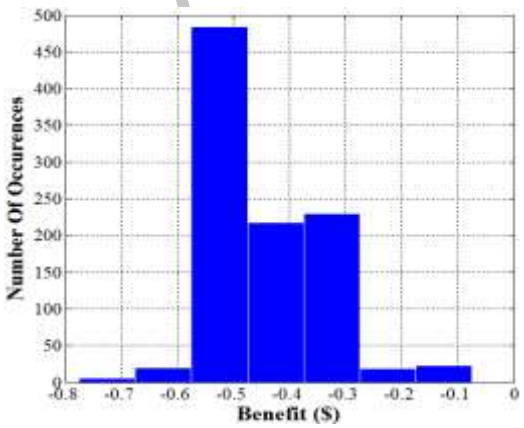
برنامه ارائه‌شده در سه شرایط مختلف زیر بررسی شده است.

۱) وجودنداشتن قابلیت V2G و استفاده از شارژر ۷۲ آمپری

۲) وجود قابلیت V2G و استفاده از شارژر ۷۲ آمپری

۳) وجود قابلیت V2G و استفاده از سوپرشارژر

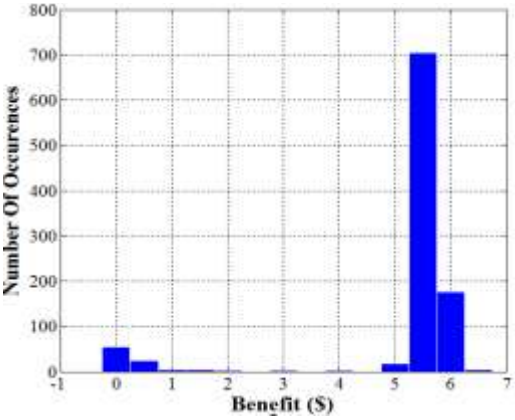
نمودار فراوانی به‌دست‌آمده برای سود صاحب خودرو به‌ازای سه وضعیت مختلف بالا در شکل‌های (۳) تا (۵) ارائه شده‌اند. در اولین حالت، شرط آغازین، صفر و برای دو حالت دیگر، ۵ فرض می‌شود.



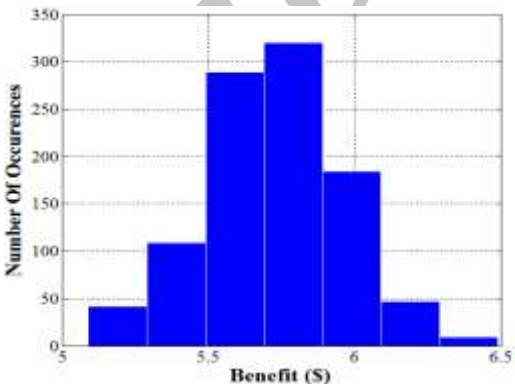
شکل (۳): نمودار فراوانی وضعیت اول (وجودنداشتن قابلیت اتصال به شبکه و استفاده از شارژر ۷۲ آمپری)

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (٤): نمودار فراوانی وضعیت دوم (وجود قابلیت اتصال به شبکه و استفاده از شارژر ۷۲ آمپری)



شکل (٥): نمودار فراوانی وضعیت سوم (وجود قابلیت اتصال به شبکه و استفاده از سوپرشارژر)

مقادیر انتظاری سود صاحب خودرو با توجه به نمودارهای فراوانی فوق، به‌ترتیب ۰/٤۲۰٥-، ٥/٤ و ٥/۸۳٤٤ برای حالت‌های اول، دوم و سوم به دست می‌آیند. همان‌طور که انتظار می‌رفت میزان متوسط سود در وضعیت سوم بیشتر از بقیه خواهد بود؛ دلیل این امر استفاده از سوپرشارژر و وجود قابلیت اتصال به شبکه است. به عبارتی، در این حالت برای انجام کارهای عادی و روزمره با یک خودروی الکتریکی، هزینه‌ای پرداخت نمی‌شود و در طول روز نیز با شرایطی که ذکر شد، درآمد چشمگیری به دست می‌آید. وضعیت نخست طبیعتاً درآمدی ایجاد نخواهد کرد؛ زیرا خودرو به شبکه متصل نیست؛ بنابراین سود آن منفی خواهد شد. سود انتظاری وضعیت دوم مناسب است؛ ولی از مورد سوم کمتر است و دلیل آن، استفاده از شارژر ۷۲ آمپری است. مشاهده می‌شود در این وضعیت به‌ازای برخی حالات تصادفی، سود، منفی نیز می‌شود؛ ولی مقدار انتظاری پذیرفتنی است.

تا کنون هدف، بررسی کارآمدبودن روش با استفاده از داده‌های تصادفی برای ۱۰۰۰ تکرار بود. اکنون به‌ازای داده‌های قطعی جدول (۸)، برای مسافت طی‌شده و بازهٔ زمانی چهار کار پرتکرار، مقادیر شارژ و دشارژ و سایر متغیرها برای وضعیت سوم در جدول (۹) ذکر شده‌اند.

جدول (۷): داده‌های قطعی ورودی به الگوریتم

کار پرتکرار	رفتن سر کار	پیاده‌کردن یک فرد	بازگشت به خانه	خرید خانه
بازه زمانی (ساعت)	۷–۸	۸–۹	۱۷–۱۸	۱۹–۲۰
مسافت (کیلومتر)	۱۲/۲۱	۳/۲٤	۱٤/٤۲	۳/۱٦

جدول (۸): داده‌های قطعی ورودی به الگوریتم

کار پرتکرار	رفتن سر کار	پیاده‌کردن یک فرد	بازگشت به خانه	خرید خانه
بازه زمانی (ساعت)	۷–۸	۸–۹	۱۷–۱۸	۱۹–۲۰
مسافت (کیلومتر)	۱۲/۲۱	۳/۲٤	۱٤/٤۲	۳/۱٦

جدول (۹): خروجی‌های برنامه به‌ازای ورودی‌های قطعی جدول (۸)

بازه زمانی	۰	۱	۲	۳	٤	٥
(ساعت)	۱	۲	۳	٤	٥	٦
$E_{dch,t}$ (kWh)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
$E_{ch,t}$ (kWh)	۰/۰۹٤	۰/۰۷۲	۱/۷۲۲	۱/۷۲۲	۰/٥۱۱	۰/۱٦۸
E_t (kWh)	۰/۰۹٤	۰/۱٦٦	۱/۸۸۹	۳/٦۱۱	٤/۱۲۲	٤/۲۹۰
SOC_t (%)	۰/۱۰٥	۰/۱۸٥	۲/۰۹۹	٤/۰۱۲	٤/٥۸۰	٤/٧٦٧
بازه زمانی	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
(ساعت)	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
$E_{dch,t}$ (kWh)	۰	۰	۰	۰	۸٥/۷۱۰	۰
$E_{ch,t}$ (kWh)	۸٥/۷۱	۰	۰	۳/۲۰۳	۰	۰
E_t (kWh)	۹۰	۸۷/٤٦۹	۸٦/۷۹۷	۹۰	٤/۲۹۰	٤/۲۹۰
SOC_t (%)	۱۰۰	۹۷/۱۸۸	۹٦/٤٤۱	۱۰۰	٤/٧٦٧	٤/٧٦٧
بازه زمانی	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷
(ساعت)	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸
$E_{dch,t}$ (kWh)	۱/۳۰	۰	۰	۰	۰	۰
$E_{ch,t}$ (kWh)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
E_t (kWh)	۲/۹۹۰	۲/۹۹۰	۲/۹۹۰	۲/۹۹۰	۲/۹۸۹	٥/٦٥٥
SOC_t (%)	۳/۳۲۳	۳/۳۲۳	۳/۳۳۳	۳/۳۳۳	۳/۳۲۱	٦/۲۸۳
بازه زمانی	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
(ساعت)	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤
$E_{dch,t}$ (kWh)	۰	۰	۳/۷٥	۱/۲٥	۰	۰
$E_{ch,t}$ (kWh)	٥/٦٥٥	۰	۰	۰	۰	۰
E_t (kWh)	٥	۱/۲٥	۰	۰	۰	۰
SOC_t (%)	٥/٥٥٦	۱/۳۸۹	۰	۰	۰	۰
Ω ($)						
٥/۷٤۸						

www.SID.ir

٤- نتیجه‌گیری

برای افزایش انگیزهٔ اقتصادی صاحبان خودرو، در این مقاله به بیشینه‌کردن سود آنها با برنامه‌ریزی هوشمندانه شارژ و دشارژ خودروی الکتریکی پرداخته شد که در آن SOC ساعتی باتری نیز در نظر گرفته شده است. همچنین مسافت طی‌شدهٔ خودرو در هر ساعت در مسئله دیده شده است. با استفاده از روش ارائه‌شده، صاحب خودرو ضمن انجام کارهای روزمره خود با خودروی الکتریکی، سود هم به دست می‌آورد. نتایج به‌دست‌آمده برای سود صاحب خودرو و همین‌طور مقدار انتظاری آن، کارآمدبودن روش ذکرشده و صحت آن را به اثبات رسانید. بهترین وضعیت هم مربوط به استفاده از سوپرشارژرها و با در نظر گرفتن قابلیت اتصال به شبکه بود. همچنین در قسمت سوم برنامه‌ریزی قطعی نیز برای اتوموبیل مطرح شد که جنبهٔ عملیاتی دارد. شرایط اولیه برنامه از شارژ باقی‌مانده در خودرو به دست می‌آید و با واردکردن رفتار رانندگی در روز به این برنامه خروجی شارژ و دشارژ بهینه به دست آمده است که به‌صورت هوشمند به خودرو منتقل می‌شود. لازمهٔ عملیاتی‌شدن آن، وجود ایستگاه‌های شارژ بیشتر در نقاط مختلف، پیشرفت شارژرها، پیشرفت صنعت باتری خودرو و درنهایت، هوشمندشدن شبکهٔ برق است که به نظر می‌آید رسیدن به این نقطه در آینده‌ای نه‌چندان‌دور، امکان‌پذیر باشد.

مراجع

[1] Y. He, B. Venkatesh and L. Guan, "Optimal Scheduling for Charging and Discharging of Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 3, No. 3, pp. 1095-1105, Sept. 2012.

[2] D. Wu, D. C. Aliprantis and L. Ying, "Load Scheduling and Dispatch for Aggregators of Plug-In Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 3, No. 1, pp. 368-376, March 2012.

[3] M. A. Ortega-Vazquez, "Optimal scheduling of electric vehicle charging and vehicle-to-grid services at household level including battery degradation and price uncertainty," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 8, No. 6, pp. 1007-1016, June 2014.

[4] D. T. Nguyen and L. B. Le, "Joint Optimization of Electric Vehicle and Home Energy Scheduling Considering User Comfort Preference," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 5, No. 1, pp. 188-199, Jan. 2014.

[5] L. Yang, J. Zhang and H. V. Poor, "Risk-Aware Day-Ahead Scheduling and Real-time Dispatch for Electric Vehicle Charging," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 5, No. 2, pp. 693-702, March 2014.

[6] X. Luo and K. W. Chan, "Real-time scheduling of electric vehicles charging in low-voltage residential distribution systems to minimise power losses and improve voltage profile," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 8, No. 3, pp. 516-529, March 2014.

[7] M. Ş Kuran, A. CarneiroViana, L. Iannone, D. Kofman, G. Mermoud and J. P. Vasseur, "A Smart Parking Lot Management System for Scheduling the Recharging of Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 6, No. 6, pp. 2942-2953, Nov. 2015.

[8] F. Baccino, S. Grillo, S. Massucco and F. Silvestro, "A Two-Stage Margin-Based Algorithm for Optimal Plug-in Electric Vehicles Scheduling," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 6, No. 2, pp. 759-766, March 2015.

[9] V. Aravinthan and W. Jewell, "Controlled Electric Vehicle Charging for Mitigating Impacts on Distribution Assets," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 6, No. 2, pp. 999-1009, March 2015.

[10] L. Zhang and Y. Li, "A Game-Theoretic Approach to Optimal Scheduling of Parking-Lot Electric Vehicle Charging," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 65, No. 6, pp. 4068-4078, June 2016.

[11] Performance and safety. (2016). Retrieved from https://www.teslamotors.com/models.

[12] H. Sugihara, K. Yokoyama, O. Saeki, K. Tsuji and T. Funaki, "Economic and Efficient Voltage Management Using Customer-Owned Energy Storage Systems in a Distribution Network With High Penetration of Photovoltaic Systems," in *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 28, No. 1, pp. 102-111, Feb. 2013.

[13] E. Pashajavid and M. A. Golkar, "Charging of plug-in electric vehicles: Stochastic modelling of load demand within domestic grids," *20th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2012)*, Tehran, 2012, pp. 535-539.

[14] D. Tang and P. Wang, "Probabilistic Modeling of Nodal Charging Demand Based on Spatial-Temporal Dynamics of Moving Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 7, No. 2, pp. 627-636, March 2016.

[1] Electric Vehicle
[2] Grid
[3] Vehicle to Grid
[4] Plug In Electric Vehicle
[5] Aggregator
[6] Day-ahead
[7] Real –time
[8] Non-Cooperative Game Theory
[9] State of Charge
[10] Weibull
[11] Expected Profit
[12] Cross-over
[13] Scattered
[14] Mutation
[15] Uniform

Archive of SID

www.SID.ir