

# برنامه‌ریزی و تخمین تصادفی ظرفیت یک ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی با سقف خورشیدی با استفاده از نظریه صف و جنگل تصادفی

فرشید ورشوساز<sup>۱</sup> مجید معظمی<sup>۲</sup> بهادر فانی<sup>۳</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

vfarshid68@gmail.com

استادیار - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

m\_moazzami@pel.iaun.ac.ir

استادیار - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

bahador.fani@gmail.com

**چکیده:** ظرفیت توان ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی با نصب آرایه‌های خورشیدی بر روی سقف آنها قابل افزایش است. در چنین ایستگاه شارژی انتقال توان در صورت نیاز می‌تواند دو طرفه باشد. در این مقاله یک روش جدید با استفاده از تئوری صف و جنگل تصادفی برای محاسبه توان خالص ایستگاه شارژ با توجه به تصادفی بودن سطح شارژ خودروهایی که وارد آن می‌شوند ارائه شده است. با توجه به محدود بودن زمان تخمین، برای مدلسازی ورود و خروج خودروها از سیستم صف با ورودی محدود و ظرفیت محدود استفاده شده و رابطه‌ای برای محاسبه زمان خدمات متناسب با سطح شارژی که خودروهای الکتریکی در آن وارد ایستگاه شارژ می‌شوند ارائه شده است. برای وارد کردن تاثیر سقف‌های فوتولتاییک در ظرفیت ایستگاه شارژ از یک روش تخمین توان ماکزیمم آرایه‌های فوتولتاییک با استفاده از روش جنگل تصادفی استفاده شده است. عملیات شارژ و دشارژ برای خودروهای الکتریکی نیسان و تسلا با نوشتن یک لیست حق تقدم انجام شده و در روند شبیه‌سازی بازده واقعی اینورتر در سطح شارژ دوم در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی یک مدل دقیق و کارآمد برای برنامه‌ریزی و تخمین ظرفیت پارکینگ‌های خودروهای الکتریکی با سقف فوتولتاییک می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ایستگاه شارژ، آرایه خورشیدی، شبکه توزیع برق، زمان خدمات، نظریه صف، مدل صف با ورودی محدود، مدل صف با ظرفیت محدود، جنگل تصادفی.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۷

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مجید معظمی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - اصفهان - نجف‌آباد - میدان دانشگاه - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد - دانشکده‌ی برق

شارژ واقعی با سایبان خورشیدی در محیط شبکه هوشمند بررسی شده و راه حلی برای اکتساب داده ارائه شده است. در [۱۱] معیارهایی برای سوددهی روش‌های هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای متصل به شبکه برق ارائه شده و کنترل شارژ خودروهای الکتریکی با استفاده از بهینه‌سازی هوشمند و مدیریت زمان شارژ و دشارژ خودروها انجام شده است. در [۱۲] روشی برای تنظیم اتصال تک جهتی خودروهای الکتریکی به شبکه برق انجام شده است. همچنین با در نظر گرفتن قیود بار و قیمت توان، بهینه‌سازی برای حداکثر نمودن سود اقتصادی آن انجام شده است. در [۱۳] روشی برای کنترل بار به منظور اتصال تعداد زیادی خودروهای الکتریکی در یک شبکه هوشمند و کاهش تلفات انجام شده است. در [۱۴] نقش پارکینگ‌های اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه، به عنوان منابعی برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع برق مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در زمان خاموشی بررسی شده است. در [۱۵] روشی ترکیبی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح برای هماهنگی شارژ بهینه خودروهای الکتریکی در سیستم‌های توزیع با منابع تولیدات پراکنده ارائه شده است. در [۱۶] روشی برای برنامه‌ریزی روز-پیش و مدیریت نامتمرکز شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در شبکه توزیع همراه با فراهم کردن خدمات جانبی پیشنهاد شده است. در مرجع [۱۷، ۱۸] از تئوری صف نامتناهی  $m/m/n$  برای مدلسازی رفتار خودروها استفاده شده است. در [۱۹] از یک پارکینگ خورشیدی به منظور افزایش ظرفیت سیستم توزیع برق استفاده شده است و در آن رابطه‌ای برای وارد کردن تأثیر بازده شارژ و اینورتر ارائه شده است. همچنین تأثیر بازده شارژ بر مقدار توان مورد نیاز و تأثیر بازده اینورتر بر مدت زمان دشارژ شدن باتری خودروی الکتریکی مورد توجه قرار گرفته است اما در نهایت برای شبیه‌سازی مقادیر بازده شارژ و اینورتر برابر با ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده که موجب بی‌اثر شدن آن در نتایج به دست آمده شده است.

در مطالعات قبلی تئوری صف نامتناهی  $m/m/n$  برای مدلسازی رفتار خودروها استفاده شده است. در این مدلها، مدلسازی پارکینگ غیرواقعی بوده و روشهای مورد استفاده نشان نمی‌دهد که در مدت محدود ظرفیت پارکینگ مد نظر چه اندازه خواهد بود. در این مدلها حق تقدم خودروها با توجه به نوع آنها، ظرفیت باتری و سیستم شارژ در نظر گرفته نشده است. در این مطالعات توان خروجی آرایه خورشیدی ثابت در نظر گرفته شده است و تأثیر عدم قطعیت‌های آب و هوا بر توان تولید شده به شکل کاربردی تعیین نشده است.

با توجه به مشکلات یاد شده در مطالعات قبلی، در این مقاله یک روش جدید تصادفی مبتنی بر تئوری صف متناهی و جنگل تصادفی برای محاسبه توان خالص ایستگاه شارژ مجهز به سقف فتوولتاییک ارائه شده است. برای مدلسازی تأثیر عدم قطعیت‌های آب و هوا بر خروجی آرایه خورشیدی از یک مدل رگرسیون جنگل تصادفی برای تخمین روز-پیش توان خروجی آرایه خورشیدی استفاده شده است که

با افزایش استفاده از خودروهای الکتریکی از جمله خودروهای الکتریکی دوگانه سوز با درگاه شارژ<sup>۱</sup> و خودروهای الکتریکی باتری‌دار<sup>۲</sup>، نیاز به ساختن ایستگاه‌های شارژ عمومی که با ولتاژ و جریان بالاتری نسبت به شارژهای خانگی باتری خودروهای الکتریکی را شارژ می‌کنند احساس می‌شود. شرکت‌های برق منطقه‌ای دولتی یا خصوصی می‌توانند چنین ایستگاه‌های شارژی را در یک مکان عمومی مانند خیابان یا یک مرکز خرید احداث کنند. این ایستگاه شارژ می‌تواند یک پارکینگ باشد که با ارائه خدمات پارک به خودروها و شارژ خودروهای الکتریکی کسب درآمد نماید. همچنین می‌توان از ظرفیت چنین پارکینگی برای ارائه خدماتی مثل تنظیم فرکانس<sup>۳</sup> در بازار خدمات جانبی استفاده نمود و از این طریق موجب سوددهی بیشتر ایستگاه شارژ شد. برای بهره‌وری موثرتر از این پارکینگ می‌توان یکی از منابع انرژی الکتریکی تجدیدپذیر و پاک را در کنار شبکه برق برای تأمین توان مورد نیاز، برای شارژ باتری خودروهای الکتریکی قرار داد. نصب آرایه‌های فتوولتاییک بر روی سایبان پارکینگ روشی مناسب برای تأمین درصدی از توان مورد نیاز پارکینگ است. این پارکینگ می‌تواند مواقعی که بیشتر از نیاز خود تولید توان دارد مازاد آن را به شبکه برق منتقل نماید و موجب کاهش هزینه لازم برای تأمین توان پارکینگ شود. همچنین مسائل دیگری وجود دارد که اتصال خودرو به شبکه می‌تواند به روند آنها کمک نماید یا آنکه باید در آنها مورد توجه قرار گیرد. اتصال خودرو به شبکه می‌تواند در مسائلی همچون ایجاد تعامل میان ساختمانهای هوشمند [۱] و شبکه توزیع کاربرد داشته باشد. از دیگر مسائلی که اتصال خودرو به شبکه باید در آن در نظر گرفته شود می‌توان به برنامه‌ریزی انرژی و توان در میکروگریدها [۲] و ایجاد نیروگاه مجازی برای ارائه خدمات جانبی اشاره کرد [۳].

در [۴] خودروهای الکتریکی در مجاورت ژنراتورهای بادی به شبکه متصل شده‌اند تا بتوانند با پاسخ‌گویی سریع، نوسانات باد و اثر نوسانات توان را در شینه‌ای که ژنراتورهای بادی به آن متصل شده‌اند جبران کنند. در [۵] برنامه‌ریزی برای اتصال خودروها به شبکه و بررسی امنیت و دقت آن با هدف کاهش آلودگی هوا انجام شده است. بررسی پارامترهایی مانند پایداری ولتاژ، تلفات توان و تلفات انرژی برای نظارت بر شبکه و مدیریت آن پس از اتصال خودروهای الکتریکی در [۶] ارائه شده است. از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به بهبود برنامه‌ریزی تصادفی پویا<sup>۴</sup> برای استفاده از آن به‌منظور بهینه‌سازی روند شارژ شدن خودروها و تنظیم فرکانس نام برد [۷]. بررسی رفتار خودروهای الکتریکی هنگام اتصال به شبکه و چالش‌های جدیدی که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی بادی در کنار آن ایجاد کرده است در [۸] بررسی شده است. استفاده از برنامه‌ریزی پویا<sup>۵</sup> برای تخمین ظرفیت الکتریکی در ساختمان محل اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه در [۹] بررسی شده است. در [۱۰] یک ایستگاه

خطای محاسبات ظرفیت ایستگاه شارژ را کاهش می‌دهد. خودروها در عمل با سطح شارژ تصادفی وارد پارکینگ می‌شوند. بنابراین فرمول-بندی جدید بر اساس سطح شارژ خودروها در هنگام ورود به پارکینگ انجام گرفته است. برای محاسبه مدت زمان شارژ و دشارژ باطری خودروهای الکتریکی از روابط تناسبی که بیانگر رابطه بین سطح شارژ خودروها در هنگام ورود به پارکینگ، مدت زمان لازم برای شارژ خودرو، رابطه بین سطح شارژ خودروی الکتریکی در زمان انتقال توان به شبکه و مدت زمان لازم برای دشارژ شدن باطری خودرو است، استفاده شده است. از آنجا که مدت زمان تخمین ظرفیت پارکینگ محدود است، تعداد ورود و خروج خودروها محدود خواهد بود. بنابراین باید از یک سیستم صف با تعداد ورودی متناهی برای مدل‌سازی ورود و خروج خودروها استفاده کرد. در ساختار پیشنهادی از روش برنامه‌ریزی بر اساس تئیه یک لیست حق تقدم برای انجام عملیات شارژ و دشارژ خودروها در پارکینگ استفاده شده است.

در ادامه در بخش دوم توصیف پارکینگ مورد مطالعه و در بخش سوم محاسبه توان و انرژی در ایستگاه شارژ ارائه شده است. روش برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در بخش چهارم، نتایج شبیه‌سازی در بخش پنجم و در نهایت نتیجه‌گیری مقاله در بخش ششم ارائه شده است.

## ۲- پارکینگ اتصال خودرو به شبکه

### ۱-۲- تجهیزات شارژ

با توجه به نرخ شارژ باطری خودروهای الکتریکی سه سطح شارژ وجود دارد [۲۰]. سطح شارژ جریان متناوب نوع اول<sup>۶</sup> و دوم<sup>۷</sup> و سطح شارژ جریان مستقیم<sup>۸</sup>. تجهیزات سطح شارژ جریان متناوب نوع اول عملیات شارژ را از طریق یک درگاه ۱۲۰ ولت جریان متناوب برای خودروی الکتریکی فراهم می‌نماید که پیمودن ۳/۲ تا ۸ کیلومتر به ازای یک ساعت شارژ را ممکن می‌سازد. در این سطح شارژ پیمودن ۱۶ تا ۳۲ کیلومتر به ازای یک ساعت شارژ ممکن می‌گردد. تجهیزات سطح شارژ جریان متناوب نوع اول و دوم از رابط استاندارد J1772 استفاده می‌کنند. تجهیزات شارژ جریان مستقیم عملیات شارژ سریع امکان پیمودن ۸۰ تا ۱۱۲ کیلومتر به ازای ۲۰ دقیقه شارژ را فراهم می‌کند. با توجه به نوع سیستم شارژ جریان مستقیم، درگاه‌های J1772، CHAdeMO، combo و Tesla combo در این سطح شارژ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

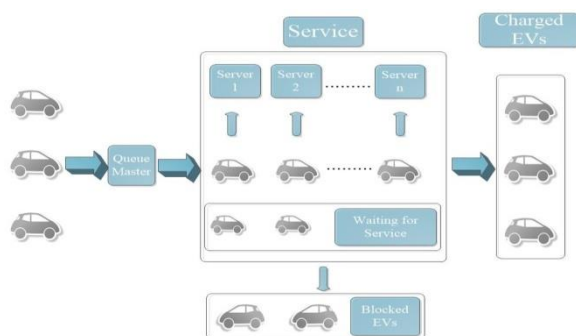
### ۲-۲- مدل‌سازی ورود و خروج خودروها با استفاده از

#### تئوری صف متناهی

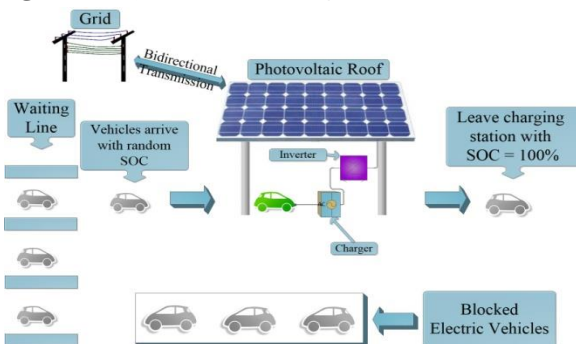
در مطالعات قبلی که در زمینه مدل‌سازی ورود و خروج خودروها به یک ایستگاه شارژ خودروهای الکتریکی انجام شده است، زمان یک عامل تعیین‌کننده نبوده است و در نتیجه در زمان نامحدود، ورود

خودروها به پارکینگ نامحدود خواهد بود. در تخمین روز-پیش ظرفیت یک پارکینگ اتصال خودروهای الکتریکی به شبکه برق، زمان عاملی محدودکننده است. در تخمین روز-پیش قرار است که بررسی در زمان ۲۴ ساعت صورت گیرد و کاملاً روشن است که ظرفیت ورود خودروها به پارکینگ محدود خواهد بود. عامل محدودکننده دیگری که وجود دارد تعداد سرورهایی است که قرار است عملیات شارژ و دشارژ باطری خودروهای الکتریکی را انجام دهند که تعیین‌کننده اصلی ظرفیت پارکینگ اتصال خودرو به شبکه برق است. از این نظر برای مدل‌سازی ورود و خروج خودروها باید از سیستم صفی با ظرفیت ورود تعداد محدود خودرو و ظرفیت ارائه خدمات محدود استفاده کنیم. فرض کنید پارکینگ مورد نظر در طول ۲۴ ساعت  $n$  مراجعه‌کننده داشته باشد. اگر این پارکینگ دارای  $r$  سرور برای سرویس‌دهی به خودروها در طول یک دوره سرویس‌دهی باشد آنگاه ظرفیت این پارکینگ در یک دوره سرویس‌دهی نیز برابر با  $r$  خواهد بود.

شکل (۱) مدل ورود و خروج خودروها را نشان می‌دهد. مدل‌سازی چنین پارکینگی با استفاده از سیستم صف  $M/M/r/r/n$  امکان‌پذیر است. چنین پارکینگی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۱): مدل ورود و خروج خودروها در سیستم صف متناهی



شکل (۲): پارکینگ شارژ خودروهای الکتریکی

اگر  $k$  خودرو وارد شوند، نرخ میانگین ورود خودروها به پارکینگ برابر است با:

$$\lambda_k = (n-k)\lambda, \quad 0 \leq k \leq r \quad (1)$$

نرخ میانگین خدمات‌رسانی هر یک از سرورها از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$\mu_k = k \cdot \mu, \quad 1 \leq k \leq r \quad (2)$$

آزمایشی که بر روی داده‌های نمونه انجام می‌دهد تعیین می‌کند کدام داده‌ها به گره‌های سمت راست و کدام داده‌ها به گره‌های سمت چپ فرستاده شوند.

بردار  $X$  بردار ورودی،  $T$  مجموعه درخت‌های تصمیم‌گیری و  $Y$  بردار مقادیر خروجی به شکل زیر است.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (8)$$

$$\text{for } K \text{ trees: } T = \{T_1(x), T_2(x), \dots, T_K(x)\} \quad (9)$$

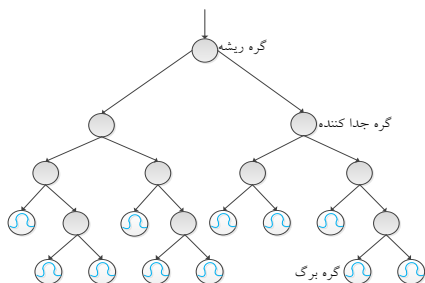
$$Y = \{\hat{Y}_1 = T_1(X), \dots, \hat{Y}_m = T_m(X)\}, m = 1, \dots, K \quad (10)$$

خروجی نهایی میانگین همه خروجی‌هایی است که توسط هر یک از درختان تصمیم‌گیری در جنگل تصادفی تخمین زده شده‌اند [22]:

$$\text{Predict}_{RF}(x) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \hat{Y}_k(x) \quad (11)$$

مجموعه آموزش برابر است با:

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\} = \{(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)\} \quad (12)$$



شکل (۳): ساختار جنگل تصادفی [24]

به منظور تخمین توان پارکینگ باید توان تولید شده توسط آرایه فوتوولتاییک را تخمین بزنیم. ورودی‌های جنگل تصادفی سری‌های زمانی داده‌های تابش خورشید شامل تابش نور مستقیم دریافت شده و تابش نور افقی پراکنده، سرعت باد و دمای هوا هستند و هدف توان خروجی آرایه خورشیدی است. آرایه فوتوولتاییک مورد نظر از پنل‌های ۲۲۰ وات با سلول‌های خورشیدی پلی کریستالی تشکیل شده است که توان ماکزیمم آرایه نصب شده ۱۸/۵ کیلووات می‌باشد. مشخصات فنی این سلول‌های خورشیدی در جدول (۱) آمده است. توان تولید شده به وسیله آرایه فوتوولتاییک در یک روز، در دوره‌های نیم ساعته تخمین زده شده و با یکدیگر جمع می‌شود تا مجموع توان تزریق شده به پارکینگ اتصال خودرو به شبکه در یک روز تعیین گردد. توانی که از پنل‌های فوتوولتاییک در یک روز به پارکینگ اتصال خودرو به شبکه داده می‌شود برابر است با:

$$P_{PV} = \sum_{i=0}^{n_p} P_{\max PV, i} \quad (13)$$

جدول (۱): مشخصات فنی پنل خورشیدی

نوع سلول	ابعاد سلول (mm)	ابعاد پنل (mm)	وزن پنل (kg)
پلی کریستال	۱۵۶×۱۵۶	۱۶۵۵×۹۹۲×۴۵	۲۲/۵۰

اگر ظرفیت پارکینگ برابر با تعداد خودروهایی باشد که وارد پارکینگ می‌شوند هیچ خودرویی را از دست نخواهیم داد. اما در صورتی که خودرو مایل به منتظر ماندن نباشد و یا دیگر زمانی برای ارائه خدمات باقی نمانده باشد، خودرو را از دست خواهیم داد. احتمال اینکه  $k$  خودرو در پارکینگ به سرور متصل باشند برابر است با:

$$P_k = \binom{n}{k} \left(\frac{\rho}{1+\rho}\right)^k \left(\frac{1-\rho}{1+\rho}\right)^{n-k} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4)$$

$\rho$  شدت ترافیک نام دارد و میانگین تعداد خودروهای متصل به سرور در پارکینگ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\bar{N} = \sum_{k=0}^r k P_k \quad (5)$$

تعداد خودروهایی که در دوره  $i$  وارد پارکینگ می‌شوند و در انتظار متصل شدن به سرور هستند از رابطه (۶) بدست می‌آید:

$$\bar{m}_i = n_i - \bar{N}_i \quad (6)$$

که  $\bar{N}_i$  تعداد خودروهای متصل به سرور در هر دوره اتصال به سرور است. تعداد خودروهایی که وارد پارکینگ می‌شوند اما سروری برای اتصال به آن نمی‌یابند و پارکینگ را ترک می‌کنند برابر است با:

$$N_{Blocked} = n - \sum_{i=1}^{n_p} \bar{N}_i \quad (7)$$

## ۲-۳- مدل تخمین توان خروجی آرایه فوتوولتاییک با استفاده از روش جنگل تصادفی

با ساخت سایبان برای ایستگاه شارژ، خودروهای الکتریکی از تابش مستقیم نور خورشید حفظ می‌شوند و در روزهای گرم تابستان خودرو از گرم شدن بیش از حد در امان می‌ماند [۱۹]. می‌توان روی این سایبان پنل‌های خورشیدی نصب کرد و از توان تولید شده توسط آرایه فوتوولتاییک برای تأمین بخشی از نیاز ایستگاه شارژ استفاده نمود. ولتاژ خروجی آرایه فوتوولتاییک جریان مستقیم است. از این رو با نصب تجهیزات شارژ جریان مستقیم سریع در ایستگاه شارژ، خروجی آرایه فوتوولتاییک می‌تواند به طور مستقیم باطری خودروی الکتریکی را شارژ نماید. در صورتی که تجهیزات شارژ جریان متناوب در ایستگاه شارژ نصب شده باشد باید ابتدا به وسیله یک اینورتر خروجی جریان مستقیم آرایه فوتوولتاییک را به جریان متناوب تبدیل نماییم. روش جنگل تصادفی مجموعه‌ای از پیش‌بینی کننده‌های وابسته به درختان تصمیم‌گیری است که به هر کدام یک مقدار تصادفی به عنوان ورودی داده می‌شود. [۲۳، ۲۲] این روش فضای پیچیده ورودی‌ها را به فضاهای خروجی ساده‌تر مرتبط می‌سازد. غیرخطی بودن مسئله با تقسیم مسئله اصلی به چند زیرمسئله قابل مدیریت خواهد بود. این کار به نحوی انجام می‌شود که هر یک از زیرمسئله‌ها با مدلی ساده قابل حل شوند. همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است، ساختار جنگل تصادفی از سه نوع گره تشکیل شده است [۲۴]. گره ابتدایی یا گره ریشه، گره جداکننده و گره برگ. گره جداکننده با

### ۳- محاسبه توان و انرژی

توان لحظه‌ای شارژ باتری از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود [17-19]:

$$P_{EV}(t) = P_{max} (1 - e^{-\alpha \eta_r \frac{t}{t_{max}}}) + P_{EV0} \quad (14)$$

در رابطه بالا  $P_{max}$  برابر با حداکثر ظرفیت توان معادل با حداکثر انرژی الکتریکی می‌باشد که در باتری خودرو ذخیره می‌شود.  $\alpha$  برابر با ثابت شارژ باتری،  $\eta_r$  برابر با بازده شارژر،  $t$  مدت زمان لازم برای شارژ باتری خودرو،  $t_{max}$  حداکثر زمان لازم برای شارژ باتری خودرو و  $P_{EV0}$  توان اولیه در باتری خودرو الکتریکی است. فرض می‌شود یک خودروی الکتریکی با سطح شارژ اولیه‌ای برابر با  $SOC_{init}$  که درصد شارژ باقیمانده در باتری خودرو را نشان می‌دهد و با هدف شارژ کامل وارد پارکینگ شده است. آنگاه توان اولیه‌ی ذخیره شده در باتری این خودرو می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

$$P_{initial} = SOC_{init} \cdot P_{max} \quad (15)$$

که  $P_{initial}$  نشان‌دهنده توان اولیه‌ای است که در باتری خودرو ذخیره شده است. توان لازم برای شارژ باتری خودرو از میزان شارژ اولیه ذخیره شده در باتری  $P_{initial}$ ، تا حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی توان در باتری  $P_{max}$ ، برابر با توانی است که باید از شبکه برق برای شارژ باتری خودروی الکتریکی دریافت شود:

$$P_{imp} = P_{max} - P_{initial} \quad (16)$$

با جایگذاری رابطه (۱۵) در رابطه (۱۶) داریم:

$$P_{imp\_init} = P_{max} (1 - SOC_{init}) \quad (17)$$

با استفاده از روابط (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) داریم:

$$P_{imp}(t) = P_{max} (1 - SOC_{init}) (1 - e^{-\alpha \eta \frac{t_{imp}}{t_{max}}}) \quad (18)$$

در رابطه بالا  $P_{imp}(t)$  توانی است که باید از شبکه برق برای شارژ باتری خودروی الکتریکی در مدت زمان  $t_{imp}(t)$  دریافت شود را نشان می‌دهد. رابطه (۱۸) را می‌توانیم برای تعداد  $n$  خودروی الکتریکی به صورت رابطه (۱۹) بسط دهیم. در رابطه (۱۹)،  $i$  نشان‌دهنده نوع خودرو در پارکینگ و  $j$  شماره خودروی مورد نظر را نشان می‌دهد.

$$P_{imp}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_{ev}} P_{max_i} (1 - SOC_{init,i,j}) (1 - e^{-\alpha_i \eta_i \frac{t_{imp,i,j}}{t_{max_i}}}) \quad (19)$$

یک خودروی الکتریکی را در نظر بگیرید که سطح شارژ آن برابر با  $SOC_{dep}$  است و قصد دارد عملیات شارژ شدن را قطع کرده و توان معادل با انرژی الکتریکی ذخیره شده در باتری خود را به شبکه برق تزریق نماید. توان این خودرو برابر است با:

$$P_{dep} = SOC_{dep} \cdot P_{max} \quad (20)$$

برابر با توان خودروی الکتریکی در لحظه‌ی قطع شارژ است، یعنی توانی که خودروی الکتریکی می‌خواهد به شبکه تزریق نماید. توان تزریق شده به شبکه را می‌توان از روابط زیر محاسبه کرد:

$$P_{discharge}(t) = P_{dep} \cdot e^{-\beta \frac{t_{inj}}{t_{max}}} - P_{lim} \quad (21)$$

$$P_{inj} = P_{dep} - P_{discharge} \quad (22)$$

میزان توانی است که باید در باتری خودرو باقی بماند تا توان اولیه برای استارت زدن را تأمین نماید. از جایگذاری رابطه (۲۱) در رابطه (۲۲) داریم:

$$P_{inj}(t) = P_{dep} (1 - e^{-\beta \frac{t_{inj}}{t_{max}}}) - P_{lim} \quad (23)$$

رابطه (۲۳) توان داده شده به شبکه از یک خودروی الکتریکی را نشان می‌دهد. این رابطه را می‌توان برای  $n$  خودروی الکتریکی بسط دهیم:

$$P_{inj}(t) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N_{ev}} P_{dep_{i,j}} (1 - e^{-\beta_i \eta_i \frac{t_{inj_{i,j}}}{t_{max_{i,j}}}}) - P_{lim} \quad (24)$$

توان خالص در ایستگاه شارژ برابر است با:

$$P_{n_{ev}} = P_{max} (1 - SOC_{init}) (1 - e^{-\alpha \eta \frac{t_{imp}}{t_{max}}}) - (P_{dep} \cdot (1 - e^{-\beta \eta \frac{t_{inj}}{t_{max}}}) - P_{lim}) \quad (25)$$

انرژی خالص در پارکینگ برابر با انتگرال توان خالص در پارکینگ می‌باشد. با محاسبه حاصل انتگرال داریم:

$$E_n = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_{ev}} (P_{imp\_init} - P_{dep} + P_{lim} + P_{dep} \cdot e^{-\beta_i \eta_i \frac{t_{inj_{i,j}}}{t_{max_{i,j}}}}) + \frac{P_{imp\_init} \cdot t_{max} \cdot e^{-\alpha_i \eta_i \frac{t_{imp_{i,j}}}{t_{max_{i,j}}}}}{\alpha_i \cdot \eta_i} \quad (26)$$

زمان خدمات برای هر خودروی الکتریکی در عملیات شارژ یا دشارژ را می‌توان از یک رابطه تناسب و با استفاده از حداکثر توانی که باتری خودرو می‌تواند در خود ذخیره نماید و مدت زمانی که برای ذخیره حداکثر توان در باتری نیاز است، محاسبه نمود. اگر باتری یک خودروی الکتریکی از توان  $P_{limit}$  تا توان  $P_{max}$  در زمان  $t_{max}$  شارژ نماید آنگاه:

$$t_{imp} = \frac{P_{max} (1 - SOC_{init}) \cdot t_{max}}{P_{max} - P_{limit}} \quad (27)$$

اگر باتری یک خودروی الکتریکی توان  $P_{max}$  تا توان  $P_{limit}$  در زمان  $t_{max}$  به شبکه انتقال دهد آنگاه:

$$t_{inj} = \frac{((SOC_{dep} \cdot P_{max}) - P_{limit}) \cdot t_{max}}{P_{max} - P_{limit}} \quad (28)$$

توانی که از طریق پانل‌های فوتولتائیک به پارکینگ تزریق می‌شود موجب کاهش نیاز آن به دریافت توان از شبکه برق می‌گردد. این کار از نظر اقتصادی موجب کاهش هزینه‌ها در پارکینگ می‌گردد. همچنین باید گفت که انرژی خورشیدی منبع تجدیدپذیر و پاک است

و موجب کاهش آلودگی زیست محیطی خواهد شد. در این حالت توان خالص ایستگاه شارژ اتصال خودرو به شبکه برابر است با:

$$P_n = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_{ev}} P_{imp\_initi} \cdot (1 - e^{-\alpha_i \eta_i \frac{t_{i,j}}{t_{maxi}}} ) - (P_{dep,i,j} (1 - e^{-\beta_i \eta_{inv,i} \frac{t_{i,j}}{t_{maxi}}} ) - P_{pv}) \quad (29)$$

انرژی خالص در ایستگاه شارژ از رابطه (۳۰) محاسبه می‌شود:

$$E_n = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_{ev}} \{ t_{imp,i,j} (P_{imp\_initi,j} - P_{dep,i,j} - P_{pv} + P_{lim,i,j} + P_{dep,i,j} \cdot e^{-\beta_i \eta_{inv,i} \frac{t_{imp,i,j}}{t_{maxi}}} ) + \frac{P_{imp\_initi,j} \cdot e^{-\alpha_i \eta_i \frac{t_{imp,i,j}}{t_{maxi}}}}{\alpha_i \eta_i} \} \quad (30)$$

#### ۴- برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی

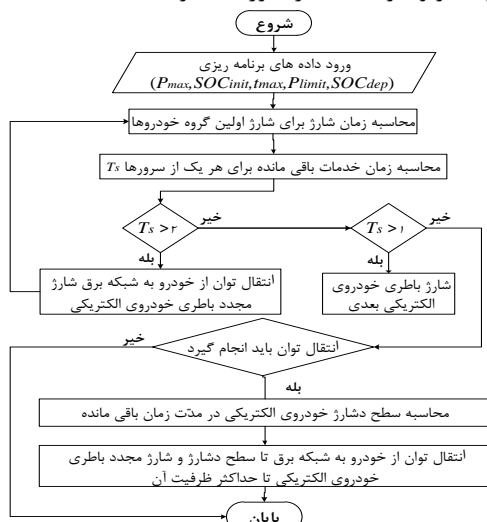
برای انجام عملیات شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در یک پارکینگ باید برنامه‌ریزی انجام گیرد تا مدت زمان خدمات‌رسانی از ۲۴ ساعت بیشتر نشود. برای این کار اولویت شارژ و دشارژ با خودروهایی است که باتری آنها ظرفیت بالاتری برای ذخیره انرژی داشته باشد. نوع شارژرها که تعیین‌کننده سطح شارژ است باید مشخص شود زیرا مدت زمان شارژ وابسته به نوع شارژرها و سطح شارژ است. فلوچارت برنامه‌ریزی برای شارژ خودروها در شکل (۴) نشان داده شده است.

در ابتدا باید پارامترهای برنامه‌ریزی مشخص شوند. این پارامترها شامل حداکثر ظرفیت باتری خودروی الکتریکی، سطح شارژ خودروی الکتریکی در هنگام ورود به ایستگاه شارژ، حداکثر زمان مورد نیاز برای شارژ باتری خودروی الکتریکی، حداقل توانی که باید در باتری خودرو باقی بماند و سطح شارژ باتری خودروی الکتریکی در هنگام توقف شارژ می‌باشد. سپس زمان لازم برای اولین دوره شارژ خودروهای الکتریکی با توجه به نوع خودرو و نوع شارژر باید محاسبه گردد. در مرحله بعد زمان باقیمانده از ۲۴ ساعت که باید برنامه‌ریزی شود برای هر یک از سرورها محاسبه می‌شود.

اگر تعداد دفعاتی که انجام عملیات شارژ و دشارژ کامل ممکن است از دو بار بیشتر باشد می‌توان باتری خودروی الکتریکی را تا سطح  $P_{lim}$  دشارژ نمود و سپس آنرا تا حداکثر ظرفیت دوباره شارژ کرد. سپس به مرحله محاسبه زمان باقیمانده باز می‌گردیم و یک بار دیگر مراحل فوق تکرار می‌شود و اگر تعداد دفعاتی که انجام عملیات شارژ و دشارژ کامل ممکن است بزرگتر یا مساوی یک بار باشد خودروی بعدی تا حداکثر ظرفیت باتری  $P_{max}$  شارژ می‌شود. در صورتی که تعداد دفعات انجام عملیات شارژ و دشارژ کامل برای یک بار هم ممکن نباشد و پارکینگ متعهد به انتقال توان به شبکه برق باشد، مرحله بعدی بررسی می‌گردد و در غیر این صورت مراحل برنامه‌ریزی به پایان می‌رسد.

اگر فرض شود خودروهایی که وارد ایستگاه شارژ می‌شوند باید با حداکثر ظرفیت توان آنرا ترک کنند، باید پس از دشارژ انرژی ذخیره

شده در باتری خودروهای الکتریکی، یک بار دیگر تا حداکثر ظرفیت شارژ شوند. سطح شارژی که بتوان باتری خودرو را تا آن حد دشارژ کرد و دوباره شارژ نمود محاسبه می‌شود. خودروی الکتریکی تا آن سطح دشارژ شده و توان ذخیره شده در باتری خود را به شبکه انتقال می‌دهد و سپس تا حداکثر ظرفیت باتری خود شارژ می‌گردد. در انجام عملیات شارژ و دشارژ اولویت با خودرویی است که نرخ شارژ و نرخ دشارژ بالاتر و ظرفیت ذخیره انرژی بالاتری داشته باشد.



شکل (۴): فلوچارت برنامه‌ریزی انجام عملیات شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی

در زمانی که هیچ خودروی الکتریکی در ایستگاه شارژ وجود ندارد، حق تقدّمها در نظر گرفته نمی‌شود. تا وقتی شارژر آزاد وجود دارد با ورود خودرو الکتریکی از هر حق تقدّمی خدمات شارژ ارائه خواهد شد. به این منظور می‌توان شاخصی تعیین کرد که براساس آن خودروها را دسته‌بندی کرد. این شاخص در دوره‌های زمانی مختلف می‌تواند متفاوت باشد.

با توجه به چند مرحله‌ای بودن خدمات در پارکینگ اتصال خودرو به شبکه، برای تعیین اولویت ارائه خدمات به خودروهای الکتریکی باید ملاک‌هایی در نظر گرفته شود. خدمات در یک، دو یا سه مرحله انجام خواهد شد. شاخص حق تقدّم برای انجام خدمات چند مرحله‌ای از روابط زیر بدست می‌آید:

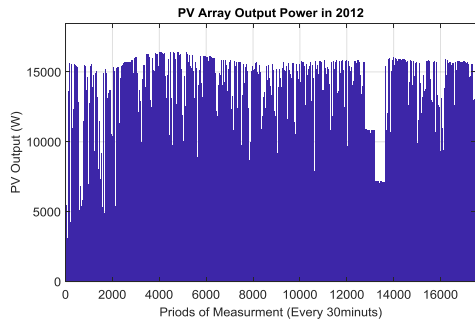
$$\pi_{1\varphi} = -\delta_{1,1} \varphi^1 s \quad (31)$$

$$\pi_{2\varphi} = \delta_{1,2} \varphi^{SOC_{init}} + \delta_{2,2} \varphi^{\alpha} - \delta_{3,2} \varphi^1 s \quad (32)$$

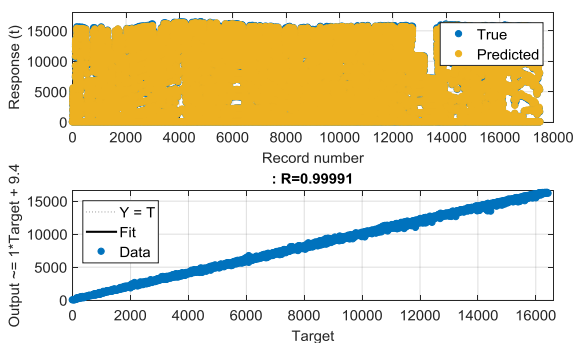
$$\pi_{3\varphi} = \delta_1 P_{max} + \delta_2 SOC_{init} + \delta_3 \alpha + \delta_4 t_{P_{max}} \quad (33)$$

در روابط فوق  $\pi_{1\varphi}$  شاخص تقدم برای خدمات شارژ،  $\pi_{2\varphi}$  شاخص حق تقدم برای خدمات دو مرحله‌ای شامل انتقال توان و شارژ مجدد و  $\pi_{3\varphi}$  شاخص حق تقدم برای خدمات سه مرحله‌ای شامل شارژ تا مقدار ممکن، انتقال توان و شارژ مجدد است.  $\delta$  ضریب اهمیت هر عامل است و باید توجه داشت که در دوره‌های زمانی مختلف اهمیت عوامل مؤثر بر شاخص تعیین حق تقدم متفاوت است و مقداری که هر یک از این ضرایب به خود اختصاص می‌دهد می‌تواند متغیر باشد. خدمات سه

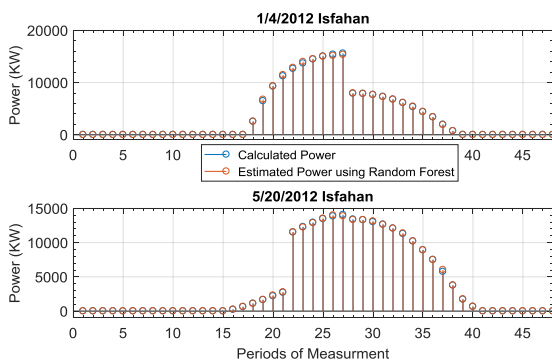
در این مقاله برای روزهای چهارم ژانویه ۲۰۱۲ و بیستم می ۲۰۱۲ را در دوره‌های نیم ساعته به عنوان نمونه نشان می‌دهد.



شکل (۵): توان خروجی آرایه خورشیدی در سال ۲۰۱۲



شکل (۶): پاسخ مدل به داده‌های آموزش و رگرسیون خطی



شکل (۷): توان ماکزیمم تخمین زده شده با استفاده از مدل جنگل تصادفی برای روز چهارم ژانویه و بیستم می ۲۰۱۲ در اصفهان

## ۵-۲- توان و انرژی در ایستگاه شارژ

از آنجایی که مدت زمان شارژ کامل برای خودروی  $TMXEV$  کمتر از نصف مدت زمان شارژ کامل خودروی  $NLEV$  است و همچنین نرخ شارژ و دشارژ خودروی  $TMXEV$  بالاتر از نرخ شارژ و دشارژ خودروی  $NLEV$  است، احتمال آنکه یک خودروی  $TMXEV$  به سرور متصل باشد دو برابر احتمال وصل بود یک خودروی  $NLEV$  به سرور است. یعنی  $P_n(TMXEV) = 2 \times P_n(NLEV)$ . برای چنین پارکینگی تعداد سرورها برای خودروهای  $TMXEV$  دو برابر سرورهای تعیین شده برای خودروهای  $NLEV$  است زیرا ظرفیت ذخیره‌سازی باتری آن دو برابر خودرو  $NLEV$  است. حداکثر زمان مورد نیاز برای شارژ کامل باتری

فازی ممکن است با تأخیر انجام شود پس باید مدت زمان حضور در ایستگاه در این شرایط به اندازه کافی باشد و ظرفیت باتری خودروی انتخاب شده ارزش انجام عملیات را داشته باشد.

انصراف از ورود به ایستگاه شارژ تابعی از تعداد خودروهای درون ایستگاه است. در صورتی که تمامی شارژرهای درون ایستگاه اشغال باشند و بخشی از محل انتظار یا کل آن اشغال باشد انصراف از ورود به ایستگاه رخ می‌دهد.

$$B = \begin{cases} 0 & \text{if } n_c < S + n_w \\ 1 & \text{if } n_c = S + n_w \end{cases} \quad (34)$$

در رابطه فوق  $n_c$  تعداد خودروهای حاضر در پارکینگ،  $S$  تعداد شارژرهای اشغال شده و  $n_w$  نشان دهنده تعداد خودروهای الکتریکی حاضر در محل انتظار است.

## ۵- نتایج شبیه‌سازی

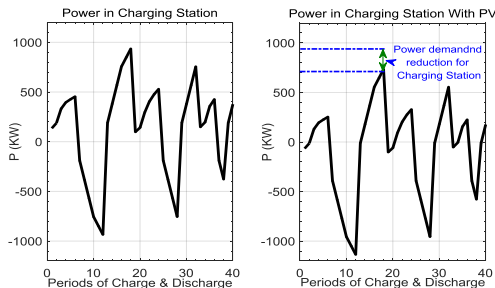
برای نشان دادن روش ارائه شده در مقاله شبیه‌سازی‌ها برای یک ایستگاه شارژ در ایران، در منطقه اصفهان در محدوده خیابان آیت‌الله طالقانی امکان‌سنجی شده است. اطلاعات لازم مربوط به نوع و تعداد شارژرها از ایستگاه شارژ بررسی شده در [۱۰] برای این کار در نظر گرفته شده است. این ایستگاه شش شارژر جریان متناوب نوع دوم دارد. خودروها با شارژ تصادفی وارد پارکینگ می‌شوند و پس از شارژ شدن بطور کامل می‌توانند خود را تا حد  $P_{limit}$  به شبکه منتقل نمایند. خودروهای الکتریکی دوگانه‌سوز با درگاه شارژ که باطری آنها در حین حرکت شارژ می‌شوند می‌توانند موجود در باطری خود را به شبکه منتقل نمایند و با استفاده از سوخت اصلی ایستگاه شارژ را ترک نمایند. در صورتی که خودروهای الکتریکی فقط از توان ذخیره شده در باطری می‌توانند استفاده نمایند. خودروهایی که وارد پارکینگ می‌شوند از دو نوع  $TMXEV^*$  و  $NLEV^*$  در نظر گرفته شده‌اند تا تأثیری که تفاوت در ویژگی‌های خودروها بر ظرفیت کل پارکینگ می‌گذارد، نشان داده شود.

## ۵-۱- تخمین توان تولیدی توسط سایبان خورشیدی

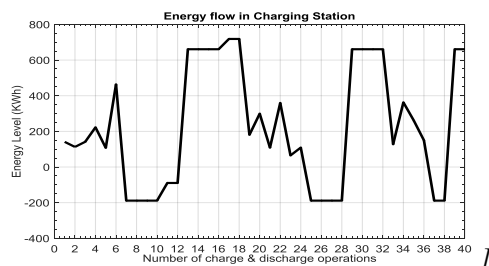
همانطور که در بخش (۲-۳) توضیح داده شد، برای تخمین روز-پیش توان تولید شده توسط سایبان خورشیدی نصب شده بر روی ایستگاه شارژ بر اساس اطلاعات تابش خورشید در سال ۲۰۱۲ [25] یک مدل جنگل تصادفی آموزش داده می‌شود. توان خروجی آرایه خورشیدی قابل استحصال که بر اساس آن جنگل تصادفی آموزش داده می‌شود، در شکل (۵) نشان داده شده است. شکل (۶) پاسخ مدل آموزش دیده به داده‌های آموزش و رگرسیون خطی مدل تخمین جنگل تصادفی مدل آموزش دیده را نشان می‌دهد.

همانطور که از نتایج شکل (۶) مشخص است، عملکرد سیستم پیش‌بینی جنگل تصادفی بسیار موثر و خطای تخمین مناسب می‌باشد. شکل (۷) توان پیش‌بینی شده با استفاده از مدل پیش‌بینی پیشنهادی

صدور توان به شبکه کاهش می‌یابد. می‌توان با صاحبان خودروهای الکتریکی و شبکه برق قراردادهای دو طرفه‌ای منعقد نمود تا بتوان سود ایستگاه شارژ را از این طریق حداکثر نمود. شکل (۱۰) کاهش توان تقاضا شده از شبکه برق و افزایش توان صادر شده به شبکه با وجود آرایه خورشیدی را نشان می‌دهد و جریان انرژی در ایستگاه در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۱۰): روند شارژ و دشارژ در کل پارکینگ



شکل (۱۱): انرژی در ایستگاه شارژ

شکل (۱۱) نشان می‌دهد خودروها در زمان شارژ شدن چه میزان انرژی از شبکه دریافت نموده و در زمان دشارژ چه سطحی از انرژی الکتریکی را بر حسب کیلووات ساعت به شبکه برق تزریق نموده است. قسمت‌های خطی با سطح انرژی منفی مربوط به خودروهای است که در عملیات انتقال توان به شبکه برق شرکت کرده‌اند و قسمت‌های خطی مثبت شارژ مجدد این خودروها را نشان می‌دهند. سطح هر یک از قسمت‌های خطی نشان‌دهنده شرکت یک نوع خودرو در عملیات دریافت و انتقال توان توسط خودروهای الکتریکی در ایستگاه شارژ است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند توان خالص در پارکینگ در یک بازه زمانی به مدت زمان حضور، ویژگی‌های فنی و نوع خودرو الکتریکی وابسته است. نوع مشارکت خودروهای الکتریکی در عملیات شارژ و دشارژ باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که ایستگاه شارژ به سوددهی برسد.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید تصادفی مبتنی بر تئوری صف متناهی و جنگل تصادفی برای محاسبه توان خالص ایستگاه شارژ مجهز به سقف فتوولتائیک ارائه شده است. روش پیشنهادی تأثیر سطح شارژ اولیه‌ای که خودرو با آن وارد پارکینگ می‌شود و ظرفیت شارژی که خودرو در آن تصمیم به انتقال توان می‌گیرد را بر ظرفیت پارکینگ نشان می‌دهد. استفاده از سیستم صف با ورودی و ظرفیت

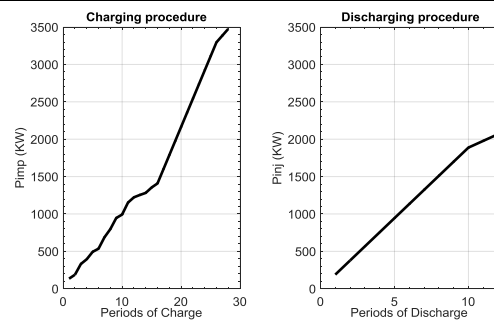
$TMXEV$  کمتر از نیمی از حداکثر زمان مورد نیاز برای شارژ کامل باطری  $NLEV$  است و نرخ شارژ باطری  $TMXEV$  بیشتر از نرخ شارژ باطری  $NLEV$  است. به این دلایل حق تقدم شارژ با  $TMXEV$  است:

$$N_{server}(NLEV)=2, N_{server}(TREV)=4$$

اگر حداقل سطح شارژ خودروها در زمان ورود به پارکینگ  $SOC_{init}$  را ۱۵٪ در نظر بگیریم هر یک از سرورهایی که خودروی  $TMXEV$  به آن متصل است حداقل ۸ بار می‌تواند عملیات شارژ و دشارژ را انجام دهد و هر یک از سرورهایی که خودروی  $NLEV$  به آن متصل است حداقل ۴ بار می‌تواند عملیات شارژ و دشارژ را انجام دهد. بنابراین در ۲۴ ساعت داریم:  $\bar{N} = 16, \bar{m} = 14, N_{Blocked} = 4$ . اطلاعات شبیه‌سازی در جدول (۲) آمده است. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، توان گرفته شده بیشتر از توانی است که به شبکه منتقل شده است. با فروش توان مازادی که به شبکه برق صادر می‌شود، هزینه تأمین توان کاهش می‌یابد. بنابراین باید هزینه ارائه خدمات را به شکلی تنظیم نمود که ایستگاه شارژ به سوددهی برسد.

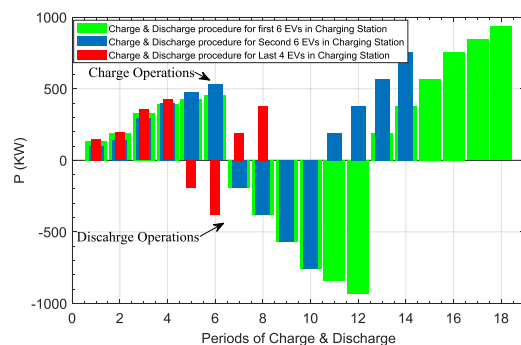
جدول (۲): اطلاعات شبیه‌سازی

	$P_{max}(KW)$	$\alpha$	$t_{max}(h)$	$P_{lim}(KW)$	$\eta(\%)$
TMXEV	۱۸۹	۱۰/۱۳۷۵	۳/۵	۰/۲	۸۶/۵
NLEV	۹۰	۸/۴۴۳۲	۸	۰/۲	۸۶/۵



شکل (۸): دریافت و انتقال توان در ۲۴ ساعت

در شکل (۹) دوره‌های انجام عملیات شارژ و دشارژ خودروها نشان داده شده است.



شکل (۹): دوره‌های شارژ و دشارژ توان در ۲۴ ساعت

نمودار سبز رنگ مربوط به دوره اول، آبی رنگ مربوط به دوره دوم و قرمز رنگ مربوط به دوره سوم برنامه‌ریزی برای شارژ و دشارژ خودروها را نشان می‌دهد. زمان در پیش‌بینی روز-پیش‌ظرفیت پارکینگ عاملی محدودکننده است. همانطور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، هر چه به پایان ۲۴ ساعت نزدیک می‌شویم تعداد دوره‌های



- Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile", IEEE Trans. Smart Grid, VOL. 2, NO. 3, pp. 456-467, September 2011.
- [14] Farzin, H., Fotuhi-Firuzabad, M., Moeini-Aghtaie, M., "Reliability Studies of Modern Distribution Systems Integrated with Renewable Generation and Parking Lots", IEEE Trans. Sustainable Energy, VOL. 8, NO. 1, pp. 431-440, January 2017.
- [15] Antúnez, C.S., Franco, J.F., Rider, M.J., Romero, R., "A New Methodology for the Optimal Charging Coordination of Electric Vehicles Considering Vehicle-to-Grid Technology", IEEE Trans. Sustainable Energy, VOL.7, NO. 2, pp. 596-607, April 2016.
- [16] Karfopoulos, E.L., Panourgias, K.A., Hatzigiorgiou, N.D., "Distributed Coordination of Electric Vehicles providing V2G Regulation Services", IEEE Trans. Power Syst, VOL. 31, NO. 4, pp. 2834 – 2846, July 2016.
- [17] Garcia-Valle, R., Vlachogiannis, H.G., "Letter to the editor: Electric vehicle demand model for load flow studies", Elect. Power Compon. Syst., vol. 37, pp. 577–582, 2009.
- [18] Chukwu, U.C., Mahajan, S.M., "V2G electric power capacity estimation and ancillary service market evaluation", in Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting, Jul. 24–29, 2011, pp. 1–8.
- [19] Chukwu, U.C., Mahajan, S.M., "V2G Parking Lot With PV Rooftop for Capacity Enhancement of a Distribution System", IEEE Trans. Sustainable Energy, Vol.5, pp.119 – 127, January 2014.
- [20] "Developing Infrastructure to Charge Plug-In Electric Vehicles", [Online], Available: [http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity\\_infrastructure.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity_infrastructure.html)
- [21] Narayan Bhat, U., "An Introduction to Queueing Theory Modeling and Analysis in Applications", 2nd ed, Southern Methodist University, Springer Science Birkhauser, 2015.
- [22] Liu, M., Liu, X., Liu, D., Ding, C., Jiang, J., "Multivariable integration method for estimating sea surface salinity in coastal waters from in situ data and remotely sensed data using random forest algorithm", Comput. Geosci., vol. 75, pp. 44-56, Feb. 2015.
- [23] Geurts, P., Ernst, D., Wehenkel, L., "Extremely randomized trees", Mach. Learn., vol. 63, no. 1, pp. 3–42, 2006.
- [24] Phan, H., Maaß, M., Mazur, R., Mertins, A., "Random Regression Forests for Acoustic Event Detection and Classification", IEEE/ACM Trans. audio, speech, and Language processing, VOL. 23, NO. 1, pp. 20-31, January 2015.
- [25] Hourly weather data available online: <http://reports.irimo.ir>

## زیر نویس ها

- 1 Plug-in hybrid electric vehicles
- 2 Battery electric vehicles
- 3 Frequency Regulation
- 4 Stochastic dynamic programming
- 5 Dynamic programming
- 6 AC Level 1 Charging
- 7 AC Level 2 Charging
- 8 DC Fast Charging
- 9 Tesla Model X Electric Vehicle
- 10 Nissan Leaf Electric Vehicle

متناهی منجر به ایجاد نتایج کاملاً منطبق بر واقعیت می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از مدل صف با ورودی و محل انتظار محدود، پیش‌بینی ظرفیت پارکینگ اتصال خودرو به شبکه برق با وجود محدودیت زمان که عاملی تأثیرگذار در توان خالص است ممکن می‌گردد. همچنین استفاده از مدل تخمین زنده توان آرایه خورشیدی علاوه بر نشان دادن تأثیر عدم قطعیت‌های شرایط آب و هوایی تخمین دقیقی از ظرفیت ایستگاه شارژ ارائه می‌نماید.

## مراجع

- [۱] امنیان، مهدی، جدید، شهرام، "مدیریت انرژی بهینه در ساختمان های هوشمند با قابلیت دادوستد انرژی"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۳ (۳)، ۱۱۶-۱۰۵، ۱۳۹۵.
- [۲] بامدادیان محمد مهدی، سیفی حسین، شیخ‌الاسلامی محمد کاظم، "برنامه‌ریزی کوتاه مدت انرژی و توان راکتیو در میکروگرید چندگانه با در نظر گرفتن بازار بالادست"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۳ (۱)، ۷۱-۸۴، ۱۳۹۵.
- [۳] نظام‌آبادی حسین، ستایش‌نظر مهرداد، "راهبرد پیشنهاددهی همزمان نیروگاه مجازی در بازار انرژی و خدمات جانبی رزرو چرخان و توان راکتیو"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۳ (۳)، ۱۱۷-۱۳۰، ۱۳۹۵.
- [4] Gao, S., Chau, K.T., and Liu, C., Wu, D., Chan, C.C., "Integrated Energy Management of Plug-in Electric Vehicles in Power Grid With Renewables", IEEE Trans.Vehicular Technology, Vol.63, No.7, pp.3019 – 3027, 11 September 2014.
- [5] Saber, A.Y., and Venayagamoorthy, G.K., "Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reduction", IEEE Trans. Ind Electron, Vol.58, No.4, pp.1229-1238, April 2011.
- [6] Chukwu, U.C., Mahajan, S.M., "Real-Time Management of Power Systems With V2G Facility for Smart-Grid Applications", IEEE Trans. Sustainable Energy, Vol.5, No.2, pp.558-566, April 2014.
- [7] Donadee, J., Ilic, M.D., "Stochastic Optimization of Grid to Vehicle Frequency Regulation Capacity Bids", IEEE Trans.Smart Grid, Vol.5, No.2, pp.1061-1069, March 2014.
- [8] Kavousi-Fard, A., Niknam, T., Fotuhi-Firuzabad, M., "Stochastic Reconfiguration and Optimal Coordination of V2G Plug-in Electric Vehicles Considering Correlated Wind Power Generation", IEEE Trans. Sustainable Energy, Vol.6, No.3, pp.822-830, July 2015.
- [9] Nandha Kumar, K., Sivanisan, B., Cheah, P.H., So, P.L., Wang, D.Z.W., "V2G Capacity Estimation Using Dynamic EV Scheduling", IEEE Trans. Smart Grid, Vol.5, No.2, pp.1051-1060, March 2014.
- [10] Tian, W., Jiang, Y., Shahidepour, M., Krishnamurthy, M., "Vehicle charging stations with solar canopy: A realistic case study within a smart grid environment", Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 15-18 June 2014.
- [11] Schuller, A., Dietz, B., Flath, C.M., Weinhardt, C., "Charging Strategies for Battery Electric Vehicles: Economic Benchmark and V2G Potential", IEEE Trans. Power Syst, vol. 29, pp. 2014 – 2022, September 2014.
- [12] Sortomme, E., El-Sharkawi, M.A., "Optimal Charging Strategies for Unidirectional Vehicle-to-Grid", IEEE Trans. Smart Grid, vol. 2, No.1, pp. 131 – 138, March 2011.
- [13] Deilami, S., Masoum, A.S., Moses, P.S., Masoum, M.A.S., "Real-Time Coordination of Plug-In Electric