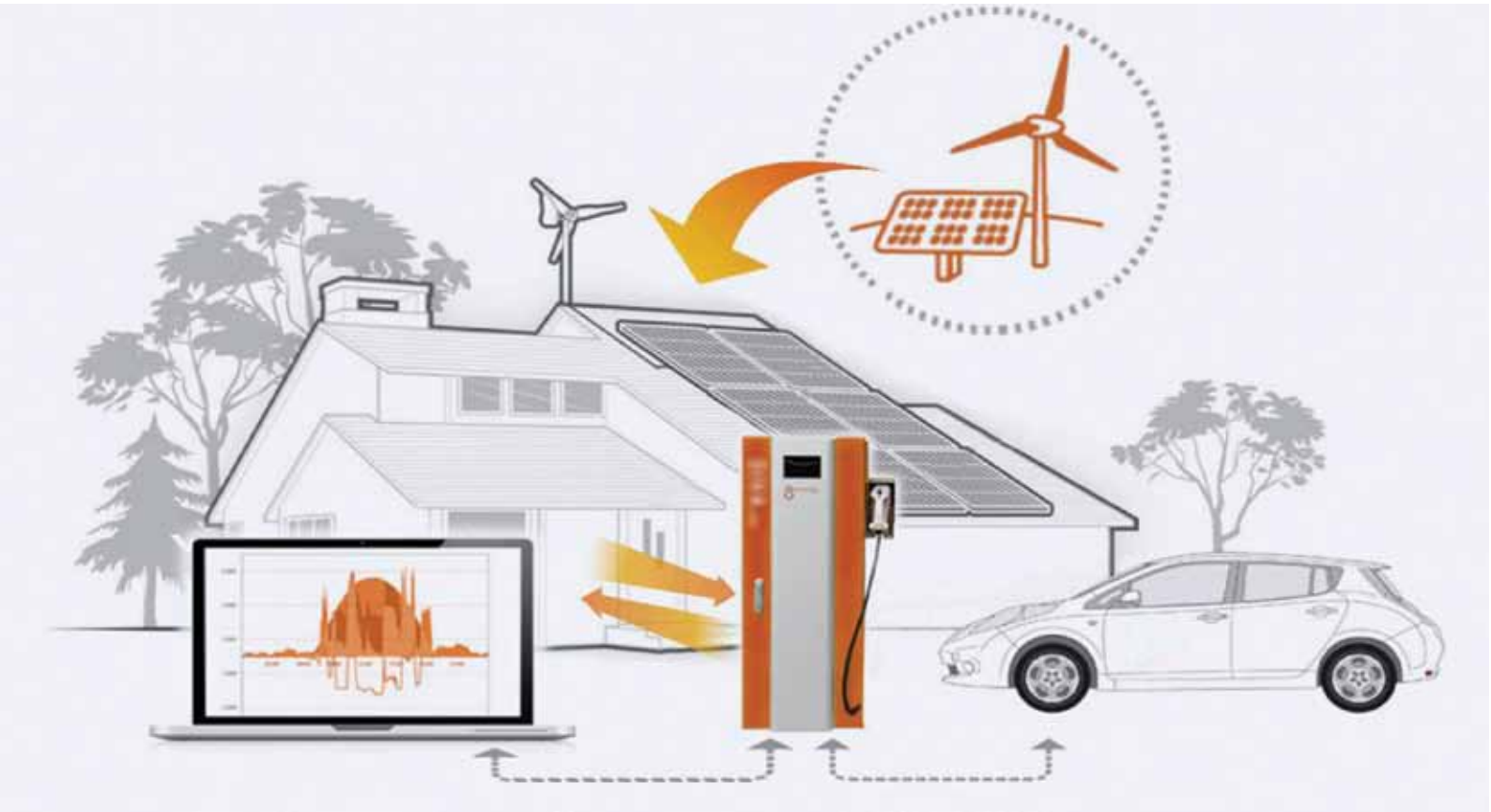


مدیریت تامین انرژی در ایستگاه‌های شارژ سریع خودروی برقی دارای سیستم فتوولتاییک و بانک باتری

رضا مروی خیابانی/دانشجوی کارشناسی ارشد برق- قدرت/ دانشگاه صنعتی سجاد مشهد
marvi1986@gmail.com

محسن قاینی/استادیار دانشکده برق دانشگاه صنعتی سجاد مشهد
m_ghayeni@sadjad.ac.ir

چکیده

در این مقاله مدیریت تامین انرژی برق برای ایستگاههای شارژ سریع خودروی برقی دارای سیستم فتوولتاییک و بانک باتری انجام شده است. در واقع با در نظر گرفتن امکان تولید انرژی خورشیدی در ایستگاه و تعرفه‌بندی قیمت خرید انرژی از شبکه روشی جهت مدیریت شارژ و دشارژ بانک باتری ارایه شده است. در این روش با ارائه یک مساله بهینه‌سازی در یک دوره ۲۴ ساعته، بانک باتری در ساعات کم باری که قیمت خرید انرژی از شبکه کمتر است شارژ می‌گردد و در ساعات پیک بار که قیمت خرید انرژی از شبکه بیشتر است دشارژ شده و انرژی خود را به ایستگاه تزریق می‌کند حتی ممکن است در صورت زیاد بودن انرژی دشارژ شده بانک باتری نسبت به مصرف ایستگاه، مازاد آن به شبکه فروخته شود. نتایج شبیه‌سازی نشان میدهد که حضور بانک باتری می‌تواند تاثیر بسزایی در هزینه تامین انرژی برق ایستگاه داشته باشد که برای ظرفیت‌های مختلف بانک باتری نتایج گزارش شده است.

کلمات کلیدی: خودروی برقی، ایستگاه شارژ سریع، مدیریت تامین انرژی، انرژی خورشیدی، بانک باتری.

۱-مقدمه

در سال‌های اخیر کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، نگرانی‌های زیست‌محیطی و مسایل مربوط به امنیت تامین انرژی سبب گردیده‌اند که در بسیاری از کشورها اهداف معینی به منظور جایگزینی خودروهای سوخت فسیلی با خودروهای الکتریکی ایجاد شود و از این‌رو پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ای نزدیک استفاده از این خودروها به سرعت گسترش یابد. بنابراین برای شارژ این خودروها علاوه بر شارژرهای خانگی، نیازمند ایستگاه‌هایی جهت شارژ سریع آنها می‌باشیم تا علاوه بر تسریع سرعت شارژ، در هزینه‌های برق مصرفی توسط مالک خودرو صرفه‌جویی شود و همچنین آثار مخرب شارژرهای خانگی بر کیفیت توان برق شبکه کمتر شود. همچنین باید توجه داشت که تنها به صرف جایگزین کردن خودروهای الکتریکی با خودروهای احتراقی نمی‌توان در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی موثر باشیم و با این کار فقط محل تولید آلودگی را از داخل شهر به محل نیروگاه منتقل کرده‌ایم ولی راهکار آن اینست که همزمان با گسترش استفاده از خودروهای الکتریکی استفاده از منابع تجدیدپذیر همانند انرژی خورشیدی یا انرژی باد برای تامین این انرژی نیز افزایش یابد.

بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده در (Zou et al, 2015) یک ایستگاه شارژ دارای سیستم فتوولتاییک برای سودآوری بیشتر می‌تواند با شبکه تعامل و تبادل توان داشته باشد که در این مقاله پس از مدل‌سازی مصرف ایستگاه ناشی از خودروها و تولید توان توسط پنل‌های خورشیدی و بدست آوردن رابطه مناسب بین تولید و تقاضا در ایستگاه، زمان مناسب خرید و فروش انرژی با شبکه بدست آمده

و نتایج آن در دو حالت مستقل از شبکه و مشارکت با شبکه مقایسه شده است.

در (Li et al, 2013) یک ایستگاه شارژ کاملا مستقل از شبکه، پنل‌های خورشیدی، بانک ذخیره باتری و توربین بادی در نظر گرفته شده است و روشی جهت کمینه کردن هزینه‌های احداث و بدست آوردن مقادیر بهینه ظرفیت پنل‌های خورشیدی و توربین بادی و بانک باتری بر اساس تقاضای مصرف ایستگاه ارایه شده است که بر اساس تابع هزینه هر کدام از اجزاء تشکیل دهنده می‌باشد. در مرجع (Negarestani et al, 2016) روشی جهت انتخاب مناسب ظرفیت بانک باتری ایستگاه به منظور کاهش هزینه‌های ایستگاه و کاهش اثرات مخرب ایستگاه بر کیفیت توان شبکه در ساعات پیک بار ارایه شده است. در (Lu et al, 2014) با ترکیب استفاده از پنل‌های خورشیدی و بانک باتری در ایستگاه و مشارکت با شبکه روشی برای کاهش هزینه‌های تامین انرژی مورد نیاز ایستگاه ارایه شده است. در (Shariful Islam et al, 2015) با نگرش تامین خدمات جانبی با مشارکت خودروهای حاضر در ایستگاه نگاه شده است و به روشی برای دستیابی به مقادیر بهینه ظرفیت پنل‌های خورشیدی و بانک باتری و توان دریافتی از شبکه اشاره شده است.

در این مقاله نیز با تعریف یک فرمت جدید از مساله بهینه‌سازی با در نظر گرفتن امکان خرید و فروش انرژی با شبکه، سیستم فتوولتاییک و بانک ذخیره باتری، هزینه تامین انرژی ایستگاه شارژ کمینه شده است. در روش پیشنهادی قیمت خرید انرژی از شبکه به صورت سه تعرفه‌ای در نظر گرفته شده است. می‌خواهیم به جهت حداقل کردن هزینه خرید انرژی از شبکه حالت بهینه‌ای را بدست آوریم که در کنار استفاده از انرژی شبکه و پنل خورشیدی بتوانیم بهترین حالت را از لحاظ زمانی و مقدار ظرفیت برای شارژ و دشارژ بانک باتری تعیین نموده که مسلما در ساعاتی از شبانه روز که تعرفه قیمت خرید انرژی از شبکه ارزان است بانک باتری را شارژ نموده و در ساعات با تعرفه گرانتر آن را دشارژ نموده و حتی در صورت مازاد بودنش آن را به شبکه تزریق نماییم. همچنین تاثیر ظرفیت باتری بر هزینه تامین انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

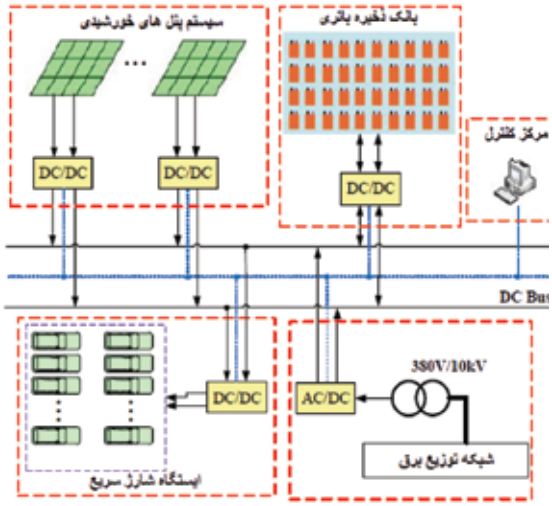
برای رسیدن به اهداف بالا ادامه مقاله بدین شکل تدوین شده است که در بخش دوم ساختار الکتریکی ایستگاه شارژ سریع مورد بررسی قرار می‌گیرد، در بخش سوم مدیریت تامین انرژی ایستگاه از لحاظ حالت‌های مختلف بوجود آمده در تامین انرژی ایستگاه بررسی می‌شود. در بخش چهارم، مساله بهینه‌سازی به شکل ریاضی تعریف و مدل‌سازی می‌شود و تابع هدف و قیود مشخص می‌گردند، در بخش پنجم مقاله نتایج شبیه‌سازی مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری مقاله بیان شده است.

۲-ساختار الکتریکی ایستگاه شارژ سریع

یک ایستگاه شارژ سریع خودرو برقی دارای پنل‌های فتوولتاییک و بانک ذخیره باتری در کنار استفاده از انرژی دریافتی از شبکه، همان‌گونه که در شکل شماره (۱) مشاهده می‌شود از چندین بخش مختلف تشکیل شده است که بشتر آنها عبارتست از: سیستم پنل‌های خورشیدی، بانک ذخیره باتری، مرکز کنترل، مبدل‌های DC/DC و AC/DC و بالعکس.

سیستم پنل‌های خورشیدی تشکیل شده از سلول‌های خورشیدی که بصورت سری یا موازی به هم متصل شده‌اند و در اثر تابش نور خورشید انرژی الکتریسیته تولید می‌کند که از نوع DC است.

بانک ذخیره باتری تشکیل شده از تعدادی باتری است که بصورت سری یا موازی به هم متصل شده‌اند و انواع مختلفی دارند اما نوع رایج آن لیتیوم یون است که دارای مشخصات مناسب از لحاظ طول عمر، تعداد دفعات شارژ و دشارژ و بیشترین عمق شارژ و دشارژ می‌باشد.



شکل ۱: ساختار اصلی یک ایستگاه شارژ سریع مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر

یکی دیگر از مهم‌ترین قسمت‌های یک ایستگاه شارژ، قسمت مرکز کنترل آن است که در آن اطلاعات بخش‌های مختلف جایگاه نظیر توان موجود در بانک ذخیره باتری، میزان توان تولیدی توسط پنل‌های خورشیدی، میزان توان مصرفی توسط خودروها در ایستگاه و . . . بررسی و پردازش شده و تصمیم‌گیری صحیح انجام می‌گیرد.

مبدل‌های DC/DC و AC/DC وظیفه تبدیل نوع انرژی در قسمت‌های مختلف ایستگاه را دارند مانند تبدیل برق AC به DC جهت شارژرها و تبدیل DC بانک ذخیره باتری به AC جهت تزریق به شبکه.

۳-مدیریت تامین انرژی ایستگاه

برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه انرژی در ایستگاه مورد مطالعه در یک دوره ۲۴ ساعته بررسی و تعریف شده است و به گونه‌ای می‌باشد که با توجه به سه تعرفه‌ای بودن قیمت برق خریداری شده از شبکه، در ساعات کم‌باری که تعرفه قیمت خرید انرژی از شبکه ارزان است بانک باتری در حالت شارژ قرار گیرد و در ساعات پیک که تعرفه قیمت خرید انرژی از شبکه گران است، در حد ممکن از توان ذخیره شده در بانک باتری جهت تغذیه ایستگاه استفاده شود و حتی در صورت مازاد بودن انرژی ذخیره شده نسبت به انرژی تحویلی به خودروها بتوان آن را به شبکه تزریق نمود.

در الگوریتم پیشنهادی، شبکه توزیع به‌عنوان یک منبع برای تامین انرژی ایستگاه فرض می‌شود بنابراین علامت مثبت برای توان در نقطه اتصال به شبکه به معنی دریافت توان از شبکه و علامت منفی به معنی تزریق توان به شبکه است. همچنین بانک باتری در حالت کلی به شکل تولید کننده در نظر گرفته شده است از این‌رو علامت مثبت در

توان باتری بیانگر دشارژ شدن و تزریق توان به ایستگاه است و علامت منفی بیانگر دریافت انرژی توسط باتری برای شارژ است. بنابراین باتری یک المان تاثیرگذار در سیستم است و همان‌طورکه در شکل (۲) نشان داده شده است، در حالت دشارژ به عنوان تولید کننده و در حالت شارژ به‌عنوان مصرف کننده در سیستم الکتریکی ایستگاه در نظر گرفته شده است.

بنابراین تعیین وضعیت شارژ یا دشارژ باتری پارامتر اصلی تصمیم‌گیری است. در روش پیشنهادی متغیرهای مساله بهینه‌سازی توان باتری در ساعت‌های مختلف برای یک دوره ۲۴ ساعته است.

شکل ۲: شمای کلی توانهای ورودی و خروجی به ایستگاه

۴-تعریف ریاضی مساله بهینه سازی

با توجه به مطالب ذکر شده برای مدیریت بهینه انرژی باید تابع هدف و قیود مساله تعریف و سپس نسبت به بهینه‌سازی آن اقدام نمود، از این رو مساله بالا که با رویکرد اقتصادی در زمینه کاهش هزینه خرید انرژی از شبکه نگاه شده است، تابع هدف کمینه کردن هزینه خرید انرژی از شبکه برای یک دوره ۲۴ ساعته در نظر گرفته می‌شود که بصورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$min \sum_{h=1}^{24} P_{net_h} * tariff_h \qquad (۱)$$

که د، ابن رابطه:

P_{net_h} : توان مبادله شده با شبکه در ساعت h می‌باشد که در حالت دریافت از شبکه با علامت مثبت و در حالت تزریق به شبکه با علامت منفی است.

$tariff_h$: تعرفه قیمت برق شبکه در ساعت h می‌باشد.

همان‌طورکه در بخش قبلی مقاله بیان گردید متغیر اصلی مساله توان باتری در هر ساعت است بنابراین با استفاده از رابطه (۲) توان شبکه بر حسب متغیرهای روش یعنی توان باتری بیان می‌گردد.

$$P_{net_h} = P_{ev_h} - P_{batt_h} - P_{pv_h}$$
$$\Downarrow$$
$$min \sum_{h=1}^{24} (P_{ev_h} - P_{batt_h} - P_{pv_h}) * tariff_h \qquad (۲)$$

که در این رابطه:

P_{ev_h}: میزان توانی که خودروهای حاضر در ایستگاه در ساعت h مصرف می‌کنند.

P_{batt_h}: میزان توانی که باتری در ساعت h شارژ یا دشارژ می‌شود.

P_{pv_h} : میزان توانی که پنل‌های فتوولتاییک در ساعت h تولید می‌کنند.

هر نوع باتری بر اساس ساختار فیزیکی و فناوری ساخت دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که یکی از آنها محدودیت ظرفیت شارژ و دشارژ در هر ساعت است که به صورت رابطه (۳) نشان داده می‌شود.

$$P_{batt}^{min} \leq P_{batt_h} \leq P_{batt}^{max} \qquad (۳)$$

یکی دیگر از متغیرهای مربوط به باتری، حالت شارژ باتری (SOC:State of charge) است که در حالت شارژ کامل مقدار آن یک است و در حالت دشارژ کامل باتری مقدار آن صفر است. این متغیر در هر ساعت از روی حالت ساعت قبل و توان باتری در آن ساعت براساس رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$SOC_h = SOC_{h-1} - \left(\frac{P_{batt_h}}{E_{batt}}\right) \qquad (۴)$$
$$h = 1,2,\dots,24$$

که در این رابطه:

SOC_h :حالت شارژ باتری در ساعت h می‌باشد.

E_{batt} :توان نامی باتری است.

میزان توانی که در هر ساعت برای باتری بدست می‌آید باید به گونه‌ای باشد که در حالت شارژ باتری، SOC از یک بیشتر نشود و در حالت دشارژ باتری به‌صورت کامل تخلیه نگردد، یعنی SOC صفر نشود که با تعریف رابطه (۵) این قید را در هر ساعت بیان می‌کنیم.

$$1 - D \leq SOC_h \leq 1 \qquad (۵)$$
$$h = 1,2,\dots,24$$

که در این رابطه پارامتر D بیانگر بیشترین عمق دشارژ باتری است به عنوان مثال اگر پارامتر D=0.8 فرض شود، نباید از ۰,۲ کمتر شود، یعنی در زمان دشارژ باتری باید حداقل ۲۰% شارژ آن باقی بماند.

با توجه به اینکه متغیرهای مساله بهینه‌سازی P_{batt_h} در ۲۴ ساعت هستند، بایستی قیود رابطه ۵ را برحسب P_{batt_h} از روی رابطه (۴) بدست آوریم که نتیجه در روابط (۶) و (۷) آورده شده است.

$$\sum_{h=1}^{J} P_{batt_h} \leq (SOC_0 - (1-D)) * E_{batt} \qquad (۶)$$
$$J=1,2,\dots,24$$

$$\sum_{h=1}^{J} P_{batt_h} \geq (SOC_0 - 1) * E_{batt} \qquad (۷)$$
$$J=1,2,\dots,24$$

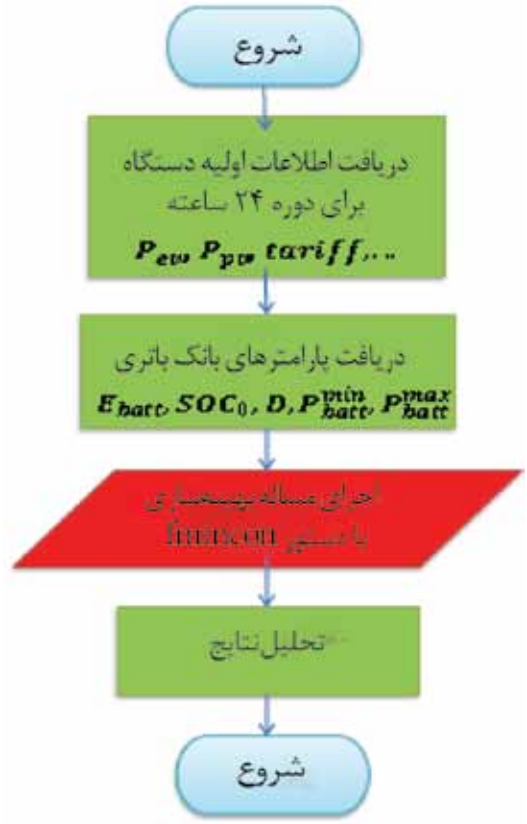
بر اساس مساله فوق روند انجام کار بصورت خلاصه در فلوچارت شکل

(۳) نشان داده شده است که برای حل مساله از دستور fmincon نرم افزار متلب استفاده شده است.

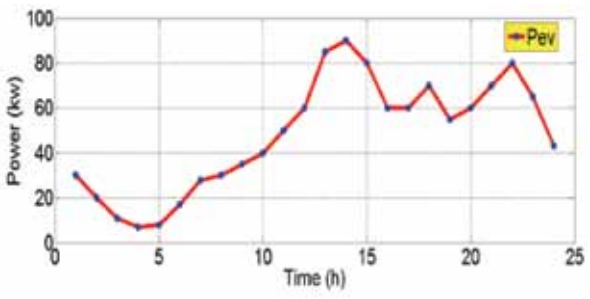
۵-نتایج شبیه سازی

۵-۱-اطلاعات اولیه مساله

تعداد خودروهایی که در ساعت‌های مختلف وارد ایستگاه میشوند متفاوت است و در نتیجه توان مصرفی ایستگاه ناشی از شارژ خودروها یکسان نیست که با استفاده از اطلاعات مرجع (Lu et al, 2014) توان مصرفی خودروها را در یک بازه ۲۴ ساعته به صورت نمودار شکل شماره (۴) در نظر می‌گیریم.



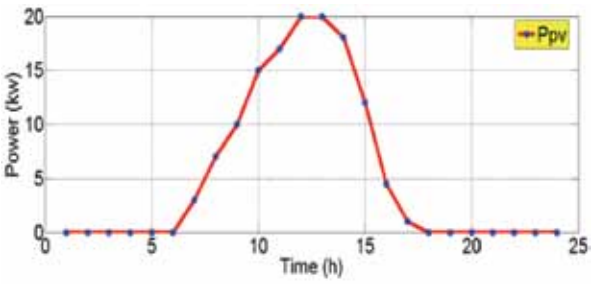
شکل ۳: فلوچارت روند انجام کار مساله بهینه‌سازی



شکل ۴: نمودار توان مصرفی خودروها در یک دوره ۲۴ ساعته

ظرفیت پنل خورشیدی در این مقاله ۲۰ کیلووات در نظر گرفته شده است. میزان توان تولیدی در بازه طلوع تا غروب خورشید با توجه به وضعیت جوی و زاویه تابش نور خورشید متغیر می‌باشد که بر اساس مرجع (Lu et al, 2014) به صورت نمودار شکل (۵) فرض می‌شود.

همچنین تعرفه برق در طول شبانه روز یک متغیر تاثیرگذار در حل مساله می‌باشد که در این مقاله به صورت سه تعرفه‌ای بر اساس دستورالعمل تعرفه برق وزارت نیرو در سال ۱۳۹۵ طبق جدول شماره (۱) در نظر میگیریم.



شکل ۵: نمودار توان تولیدی پنل‌های خورشیدی در یک دوره ۲۴ ساعته

جدول ۱: تعرفه قیمت خرید برق در یک دوره ۲۴ ساعته

حالت بار	ساعت	نرخ تعرفه (ریال)
پیک بار	۱۸ – ۲۲	۱۱۱۴
عادی	۶ – ۱۸	۵۵۷
کم باری	۲۲ - ۶	۲۷۸,۵

همچنین بقیه پارامترهای لازم جهت حل مساله بهینه‌سازی به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

$$\begin{cases} E_{batt} = 20kw \\ SOC_0 = 0 \\ P_{batt}^{min} = -5kw \\ P_{batt}^{max} = 5kw \\ D = 0.9 \end{cases}$$

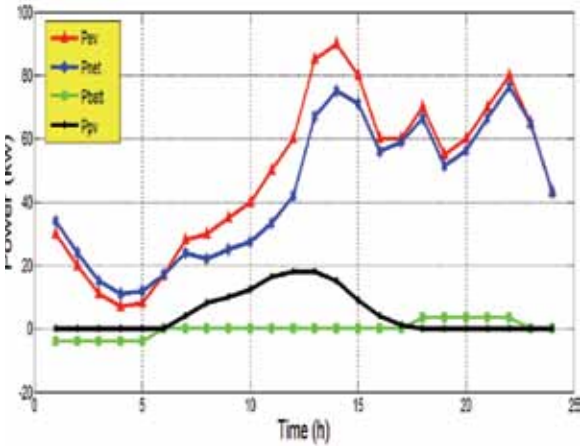
۵-۲-نتایج اجرای برنامه

پس از اجرای برنامه بهینه‌سازی نتایج نشان داده شده در نمودار شکل‌های شماره (۷) و (۸) حاصل گردید. همان‌گونه که انتظار می‌رفت در ساعات کم باری که دارای تعرفه ارزان است، بانک ذخیره باتری در حالت شارژ قرار گرفته و در ساعات پیک بار که دارای تعرفه گران است از توان ذخیره شده در بانک باتری استفاده می‌گردد.

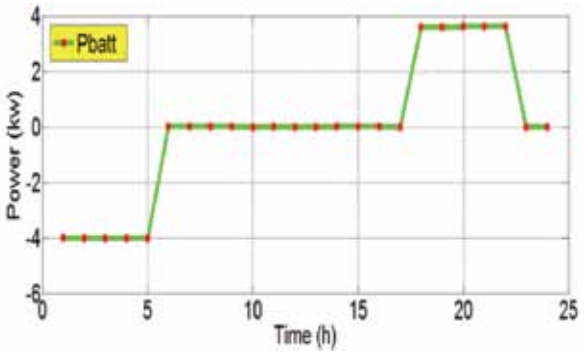
به عبارتی دیگر در زمان‌هایی که P_{net} و P_{ev} منطبق بر یکدیگر هستند، انرژی مورد نیاز ایستگاه ناشی از شارژ خودروها فقط از طریق شبکه تامین می‌شود و در زمان‌هایی که P_{net} بیشتر از P_{ev} می‌باشد، علاوه بر تامین انرژی خودروهای حاضر در ایستگاه از طریق شبکه، بانک باتری در حالت شارژ قرار گرفته است. همچنین در زمان‌هایی که P_{ne} کمتر از P_{ev} می‌باشد، قسمتی از انرژی مورد نیاز خودروها به وسیله دشارژ بانک باتری یا پنل‌های خورشیدی در حال تامین می‌باشد.

همچنین می‌توان برای بررسی دقیق‌تر نقش بانک ذخیره باتری مقدار ظرفیت بانک باتری را تغییر داد و تاثیر آن را بر هزینه تامین انرژی ایستگاه بررسی کرد. برای انجام این کار ابتدا مقدار ظرفیت آن را برابر با صفر قرارداده و سپس به صورت مرحله به مرحله به میزان ظرفیت

آن می‌افزاییم.



شکل ۷: توان در بخش‌های مختلف در یک دوره ۲۴ ساعته



شکل ۸: توان باتری در یک دوره ۲۴ ساعته

جدول ۲:مقایسه نتایج حالتهای مختلف شبیه‌سازی

ظرفیت بانک باتری (کیلووات)	هزینه توان مبادله شده با شبکه (ریال)	تفاوت هزینه به ازاء افزایش KW1 بانک باتری (ریال)
۰	۷۱۳۵۱۷	۰
۱۰	۷۰۶۲۸۰	۷۲۳,۷
۲۰	۶۹۹۰۴۰	۷۲۳,۸۵
۳۰	۶۹۱۷۹۴	۷۲۴,۱
۴۰	۶۸۴۵۵۳	۷۲۴,۱
۵۰	۶۷۷۳۱۲	۷۲۴,۱
۹۰	۶۴۸۳۴۸	۷۲۴,۱
۱۰۰	۶۴۱۱۱۰	۷۲۴,۰۷

همان‌گونه که در جدول شماره (۲) مشاهده می‌شود از مقایسه نتایج بدست آمده برای یک دوره ۲۴ ساعته به این نتیجه می‌رسیم که با حذف بانک باتری، بیشترین هزینه بابت خرید انرژی از شبکه به بهره بردار اعمال می‌شود ولی با افزایش ظرفیت بانک باتری از میزان این هزینه کاسته می‌شود تا در نهایت از ظرفیت ۳۰ کیلووات به بعد این افزایش ظرفیت کاهش نامحسوسی در هزینه خرید انرژی از شبکه ایجاد می‌نماید و از لحاظ هزینه‌های اولیه احداث ایستگاه مقرون به صرفه نمی‌باشد.

۶-نتیجه گیری

در این مقاله روش ریاضی جهت بهینه‌سازی و کمینه کردن هزینه خرید انرژی از شبکه برای یک ایستگاه شارژ سریع خودرو برقی مبتنی بر انرژی خورشیدی و استفاده از بانک ذخیره باتری ارائه شد و با تحلیل و بررسی نتایج حالت‌های مختلف اعمال شده در شبیه‌سازی مساله به این نتیجه‌گیری می‌رسیم در حالتی که بانک ذخیره باتری وجود نداشته باشد، بیشترین هزینه خرید انرژی به ایستگاه اعمال میشود زیرا دقیقا برابر با مقدار مصرف خودروهای حاضر در ایستگاه در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز بدون توجه به تعرفه قیمت برق در همان ساعت همان مقدار توان از شبکه خریداری می‌شود.

اما با اضافه کردن یک بانک باتری در این هزینه‌ها تغییر محسوسی ایجاد می‌شود زیرا بانک باتری در ساعات کم باری که تعرفه قیمت خرید برق از شبکه ارزان است از شبکه توان دریافت کرده و ذخیره می‌نماید و از آن برای تغذیه ایستگاه در ساعات پیک بار که تعرفه قیمت خرید برق گران است استفاده می‌کند.

همچنین مشاهده می‌کنیم با اضافه کردن ظرفیت بانک باتری، هزینه خرید انرژی از شبکه بیشتر کاهش می‌یابد ولی در نهایت از یک مقدار به بعد کاهش این هزینه‌ها بصورت نامحسوس می‌شود و از لحاظ هزینه‌های احداث جایگاه توجیح اقتصادی نخواهد داشت.

منابع

[۱] معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی وزارت نیرو، دفتر سرمایه‌گذاری و تنظیم مقررات بازار آب و برق. (۱۳۹۵). تعرفه‌های برق و شرایط عمومی آنها.

[2] Zou, Liu And Chen. (2015). Multi-Party energy management for EV charging station cooperated with PV system in smart grid. IEEE innovative smart grid technologies.

[3] Li, Liu, Ji, Li And Jia. (2013). Design of a hybrid solar-wind powered charging station for electric vehicles. International conference on materials for renewable energy and environment.

[4] Negarestani, Fotuhi-Firuzabad, rastegar And Rajabi-Ghahnavieh. (2016). Optimal sizing of storage system in a fast charging station for plug-in hybrid electric vehicles. IEEE transactions on transportation electrification.

[5] Lu, Liu, Chen And Zhang. (2014). Multi-Objective optimal scheduling of a DC microgrid consisted of PV system and EV charging station. IEEE innovative smart grid technologies.

[6] Shariful Islam, Mithulananthan, Bhumkittipich And Sode-yome. (2015). EV charging station design with PV and energy storage using energy balance analysis. IEEE innovative smart grid technologies

***