بهبود الگوی بار مصرفی در شبکه توزیع با بکارگیری سیستم‌های PV

جلال دهقان دهنوی
dehghanj@yahoo.com
محسن پارسا مقدم
parsa@modares.ac.ir
دانشگاه تربیت مدرس- بخش مهندسی برق

کلیدواژه: سیستم فتوولتائیک, مدیریت بار, شبیه‌سازی مونت‌کارلو

چکیده

سیستم‌های فتوولتائیک به دلیل امکان تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی یکی از کاربردهای رایج انرژی خورشیدی هستند که مورد توجه می‌باشند. از موارد استفاده سیستم‌های فتوولتائیک، علاوه بر تأمین توان بصورت محلی، می‌توان به تأثیر آنها در اصلاح منحنی بار مصرفی اشاره نمود. هدف اصلی در این تحقیق, بررسی عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و تأثیر آنها در بهبود ضریب بار و نیز اصلاح پیک بار مصرفی در چند پست نمونه منطقه قشم، با استفاده از اطلاعات بار و تابش منطقه بررسی می باشد. الگوریتم ارائه شده بر مبنای شبیه‌سازی مونت‌کارلو بوده و محدودیتهای فنی واقتصادی به صورت همزمان ملحوظ می شود.

۱- مقدمه

امروزه روشهای تولید پراکنده برق بیشتر وابسته به منابع انرژی تجدیدناپذیر می‌باشد که مشکلات خاصی را از لحاظ زیست محیطی ایجاد می‌کنند. بر این اساس تلاش می‌شود تا از منابع جدید انرژی استفاده شود. مهمترین این منابع، خورشید می‌باشد که انرژی آن به صورتهای مختلفی قابل استفاده است. با توجه به پتانسیل کشور ما در زمینه انرژی تابشی خورشید و همچنین شرایط ویژه آن، بکارگیری انرژی خورشیدی برای مقاصد مختلف حائز اهمیت می‌باشد. از جمله کاربردهای مفید انرژی خورشیدی، بهره‌گیری از سیستم‌های فتوولتائیک به عنوان یکی از فناوریهای تولید پراکنده برق می‌باشد. استفاده از این سیستم ها در شبکه‌های توزیع می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش تلفات، آزادسازی ظرفیت شبکه، بهبود قابلیت اطمینان، بهبود پروفیل ولتاژ و بهبود شاخصهای منحنی بار مصرفی داشته باشد. در این میان، بهبود شاخص ضریب بار مصرفی و در نهایت کاهش پیک منحنی بار، تأثیر زیادی را روی تلفات دوره پیک و قابلیت اطمینان سیستم خواهد داشت. استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در مناطقی که در آنها میزان تابش خورشیدی بالاست و نیز همزمانی بین پیک منحنی بار و تابش وجود دارد می‌تواند در پیک‌سایی منحنی بار و در نتیجه

بهبود شاخص ضریب بار به شرکتهای برق کمک کند. بعلاوه چنانچه بتوان این سیستم‌ها را به ذخیره‌ساز پشتیبان با ظرفیت بهینه مجهز کرد، خواهند توانست تأمین‌کننده پیک بارها در مواقعی همچون روزهای ابری و شب بوده و بهبود دهنده ضریب بار در چنین مواقعی باشند. در این مقاله هدف ما امکان‌سنجی بکارگیری سیستم‌های فتوولتائیک در بهبود مشخصه ضریب بار و در نتیجه اصلاح الگوی بار مناطقی از کشور است که شدت تابش در آنها بالاست. به عبارتی دیگر با توجه به اطلاعات آب و هوایی مناطق مختلف و با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو از سیستم‌های (PV)[1] با مساحت بهینه مجهز به باتری پشتیبان با ظرفیت بهینه، الگوی بار مصرفی را به نحوی اصلاح کنیم که از دیدگاه اقتصادی نیز به صرفه باشد[۳و۴]. در این حالت، با تعیین ظرفیت بهینه باتری پشتیبان و مساحت آرایه فتوولتائیک، ضریب بار منحنی مصرفی سالیانه پست مورد نظر بهبود می‌یابد. با توجه به اطلاعات آب و هوایی منطقه قشم که پیک بار با پیک تولید توان خورشیدی همزمان می‌شود و از طرفی هزینه تغذیه بار توسط شبکه در دوره پیک در مقایسه با دوره‌های دیگر بالاست، نصب سیستم‌هایPV در این منطقه در پشتیبانی شبکه مناسب به نظر می‌رسد. به همین منظور در این مقاله بطور نمونه از سیستم‌هایPV مجهز به باتری پشتیبان در جهت بهبود ضریب بار چند پست نمونه از شبکه توزیع منطقه مورد بررسی استفاده شده است. همچنین جهت اثبات صحت مدلسازی پیشنهادی تأثیر این سیستم‌ها بر روی اصلاح منحنی بار و در نهایت بهبود ضریب بار یک نمونه پست در منطقه اهواز با توجه به میزان تابش متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به مطالعات صورت گرفته در بخشهای بعدی نقش مؤثر این سیستم‌ها را در اصلاح منحنی بار این گونه مناطق نشان می‌دهد [۱ ، ۲ و۳].

۲- تعریف مسئله

هدف کلی از اجرای برنامه‌های مدیریت بخش تقاضا، تأثیرگذاری بر رفتار منحنی بار می باشد. در این تحقیق استفاده از سیستم‌های PV به عنوان یکی از منابع تولید پراکنده برای تغییر منحنی بار (پیک‌سائی) و در عین حال بهبود مشخصه ضریب بار منحنی مورد توجه واقع شده است. ورودیهای این برنامه شبیه‌سازی شده، شامل منحنی تابش آفتاب، شرایط آب و هوایی، منحنی بار وپارامترهای اقتصادی که در قسمت پیوست آورده شده، می‌باشد. در این برنامه با انتخاب مقادیر بهینه سطح PV و ظرفیت بهینه باتری، مقدار بهینه تابع هدف و در نهایت حداکثر کاهش در پیک بار بدست می‌آید. همچنین از دید اقتصادی مقدار بهینه سطح آرایه PV برای داشتن حداقل هزینه برای اصلاح ضریب بار بدست می‌آید. برای مطالعه تأثیر آرایه‌های PV برای اصلاح ضریب بار منطقه مورد نظر اطلاعات آب و هوایی و نیز اطلاعات بار مصرفی مورد نیاز می‌باشد.

۲-۱- اطلاعات آب و هوایی

بیشترین مقدار تابش خورشید در ایران، در نواحی جنوبی و به خصوص مناطق مرکزی می‌باشد. خروجی PV با استفاده از اطلاعات آب و هوایی بصورت تابعی از زاویه برخورد تابش بر روی ماژول PV بدست می‌آید. دقت اطلاعات آب و هوایی استفاده شده در تحقیق، می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر روی این نتایج داشته باشد. زاویه کلکتور نسبت به اشعه تابشی خورشید نیز از عوامل مؤثر در میزان آفتاب‌گیری از خورشید است. بهترین زاویه کلکتور، زاویه (β) که معادل عرض جغرافیایی منطقه است، می‌باشد[۵]. با توجه به اینکه عرض جغرافیایی منطقه قشم۲۷/۹ درجه می‌باشد، بنابراین در این قسمت برای شبیه‌سازیها از داده‌های مربوط به تابش انرژی خورشیدی منطقه قشم استفاده شده است. مقادیر متوسط ماهانه تابش خورشید بر روی یک سطح افقی بعنوان ورودی این برنامه استفاده شده است.

[1] Photovoltaic Systems

۲-۲- اطلاعات بارمصرفی

برای داشتن داده‌های بـار الکتریکـی بـرای یـک دوره زمانی می‌توان از اطلاعات موجود شـبکه‌هـای توزیـع استفاده کرد. در این تحقیق از داده های بار الکتریکـی مربوط به چند پست نمونه در منطقه قشم استفاده شده است.

۳- مدلسازی مسئله

همانطور که در تعریف مسئله بیان شد در این مقاله، هدف بهبود شاخص ضریب بار منحنی با تعیین ظرفیت بهینه باتری و مساحت آرایه PV برای کاهش مؤثر در پیک بار می‌باشد. این مسئله از دو جهت قابل بررسی می‌باشد[۶].

الف- دیدگاه فنی: در این بخش هدف، ماکزیمم کردن ضریب بار با توجه به قیودی نظیر تعیین ظرفیت بهینه باتری، سطح بهینه آرایه PV و بیشترین ضریب نفوذی که سیستم PV می‌تواند بخاطر شرایط دینامیکی و حفاظتی در شبکه ایجاد می‌کند، می‌باشد. در این بخش پارامترهای اقتصادی مدل نشده و تنها شرایط فنی مورد نظر به مسأله اعمال می‌شوند. هدف کلی در این قسمت، کاهش مؤثر در پیک بار می‌باشد. مدل ریاضی این تابع بصورت زیر قابل بیان است:

$$\min f = \left(\sqrt{(1-F_{LD})^2}\right) \qquad (۲)$$

قیود تابع هدف فوق بصورت زیر بیان می شود:

$$\begin{cases} S_{pv} < S_{\max} \\ P_{pv} < \alpha P_{gen} \\ P_{bat} < P_{b\max} \end{cases}$$

در رابطه فوق:

P_{bat}: ظرفیت باتری در هر مرحله از محاسبات

$P_{b\max}$: ماکزیمم ظرفیت باتری

S_{pv} : مساحت آرایه در هر مرحله از محاسبات

$S_{\max}$: ماکزیمم مساحت آرایه PV

P_{pv}: توان تولیدی سیستم PV

P_{gen}: توان تولیدی توسط شبکه

α: ضریب نفوذ سیستم PV در شبکه

در تابع هدف مورد نظر با استفاده از ضرایب پنالتی K_1، K_2 و K_3 قیود مربوط به متغیرهای مسئله اعمال خواهد شد. در واقع مقدار بهینه تابع هدف با قیود اعمال شده مربوط به مساحت سیستمPV و ماکزیمم ظرفیت باتری محدود خواهد شد. با اعمال این ضرایب و قیود, تابع فوق بصورت زیربیان می‌شود:

$$\min f = \left(\sqrt{(1-F_{LD})^2}\right) + K_1.\max(0, P_{bat} - P_{b\max}) + K_2.\max(0, S_{pv} - S_{\max}) + K_3.\max(0, P_{pv} - \alpha P_{gen}) \qquad (۳)$$

ب- دیدگاه اقتصادی: در این قسمت هدف، تعیین مساحت بهینه آرایه PV با توجه به پارامترهای اقتصادی می‌باشد. از دیدگاه اقتصادی پس از تعیین ظرفیت بهینه باتری به منظور بهبود میزان ضریب بار، مساحت بهینه آرایه PV از نظر اقتصادی محاسبه می‌شود. تابع هدف (هزینه طول دوره عمر،[1]TLCC) این قسمت بصورت مدل ریاضی زیر بیان می‌شود [۷]:

$$\min TLCC = C_{invest}(C_{pv}, C_{gen}, C_{bat}) + PWR(r, e, i, n) - PWS(s, i, n) \qquad (۴)$$

قیود تابع هدف فوق بصورت زیر بیان می شود:

$$\begin{cases} S_{pv} < S_{\max} \\ P_{pv} < \alpha P_{gen} \end{cases}$$

تابع هدف فوق شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه سیستم، هزینه کل دوره و سرمایه بازگشتی می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نیز خود تابعی از هزینه سیستمPV، هزینه تولید توان توسط شبکه و هزینه باتری مورد استفاده می‌باشد. هزینه کل دوره، تابع هزینه‌های تکرار شونده، نرخ تورم، نرخ بهره و طول عمر سیستم می‌باشد [۷]:

$$PWR = \frac{r \times [(1+e)/(1+i)] \times \{[(1+e)/(1+i)]^n - 1\}}{[[(1+e)/(1+i)] - 1]} \qquad (۵)$$

PWR: هزینه کل دوره e: نرخ تورم

r: هزینه‌های تکرارشونده i: نرخ بهره

جزء سوم تابع که مربوط به سرمایه‌های بازگشتی می‌باشد تابعی از هزینه اولیه سیستم, نرخ بهره و طول عمر سیستم است [۷]:

[1] Total Life Cycle Cost

$$PWS = \frac{S}{(1+i)^n} \qquad (۶)$$

$$C_{invest} = C_{pv} + C_{gen} + C_{bat} \qquad (۷)$$

C_{pv} : هزینه سیستم PV به ازای سطح مورد نظر

C_{gen} : هزینه تولید توان توسط شبکه

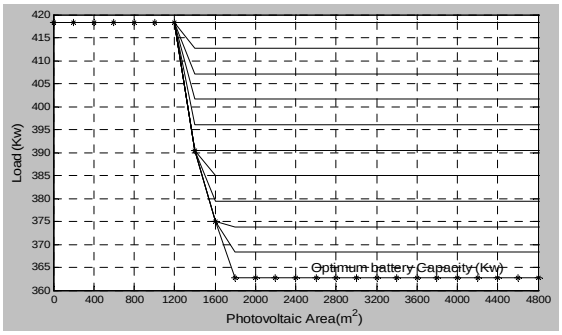
C_{bat} : هزینه باتری مورد استفاده

C_{inves} : هزینه اولیه سیستم

S : ضریبی از هزینه اولیه سیستم

۴- شبیه‌سازی مبتنی بر روش مونت کارلو

با توجه به مدل مسئله که در آن از متغیرهای تصادفی بار الکتریکی و تابش برای مدت یکسال در انتخاب ظرفیت مناسب باتری برای بهبود ضریب بار استفاده می‌شود و از آنجایی که ترکیب متغیرهای ورودی در تعیین ظرفیت بهینه باتری، حالات مختلفی می‌توانند داشته باشند، از چارچوب شبیه‌سازی مونت‌کارلو در تعیین ظرفیت بهینه استفاده شده است. کاربرد این روش بدین شکل است که در تعداد زیادی از این ترکیب‌های ورودی چنانچه برای تعداد زیادی از این ترکیبها ظرفیت مشخصی از باتری تعیین گردد، آن ظرفیت بعنوان ظرفیت بهینه باتری برای تابع هدف مورد نظر انتخاب خواهد شد. بعنوان نمونه در شکل (۱) نحوه انتخاب ظرفیت بهینه برای باتری نشان داده شده است. همانطور که در شکل نیز ملاحظه می‌شود تغییرات ظرفیت باتری به صورت پله‌ای بوده و بر اساس آن و با هدف بهینه‌سازی تابع هدف، ظرفیت بهینه باتری تعیین می‌شود. به همین دلیل بنا به تناسب فضای جستجوی مسئله، در اینجا از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو در تعیین ظرفیت بهینه باتری به ترتیبی که شرح داده شد، استفاده شده است. در قسمت دوم الگوریتم، یعنی تعیین مساحت بهینه آرایه PV از دید اقتصادی، با توجه به اینکه محدوده متغیر تابع هزینه یعنی مساحت محدود می‌باشد بنابراین فضای جستجو برای متغیر مسئله کوچک می‌باشد لذا می‌توان از یک روش ساده مانند روش جستجوی مستقیم در تعیین مساحت بهینه استفاده کرد.



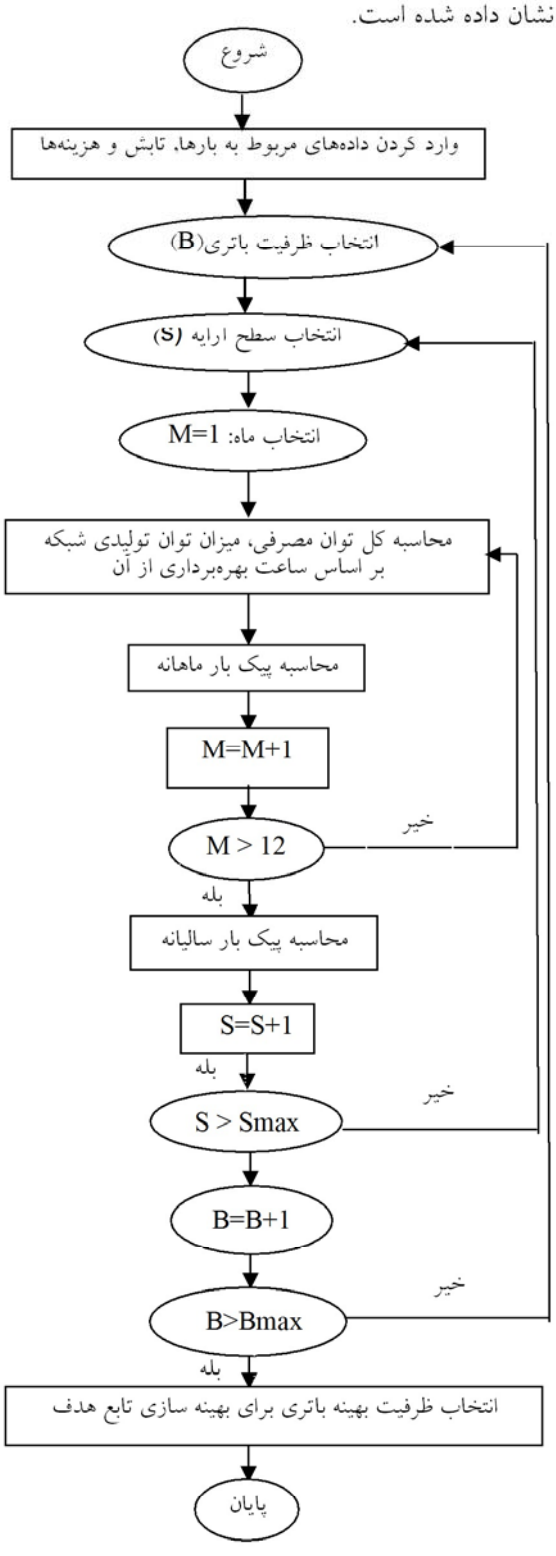
شکل(۱)- نمودار پیک بار مصرفی بر حسب مساحت PV با توجه به ظرفیتهای متفاوت باتری برای نمونه پست مسکونی

۵- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم ارائه شده از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول ظرفیت بهینه باتری به منظور بهینه سازی تابع هدف با استفاده از روش مونت‌کارلو تعیین می‌شود و پس از تعیین ظرفیت بهینه باتری پشتیبان در بخش دوم الگوریتم مساحت بهینه آرایه فتوولتائیک با ظرفیت بهینه تعیین شده باتری در قسمت اول الگوریتم تعیین می‌گردد. در شروع الگوریتم پس از وارد کردن داده‌های مربوطه، نوبت به انتخاب ظرفیت بهینه باتری می‌رسد، در این مرحله محدوده مجاز و ظرفیت‌های قابل دسترس از باتری پشتیبان و نیز ماکزیمم مساحت مجاز برای نصب پانل‌های خورشیدی به برنامه معرفی می‌گردد سپس بر اساس میزان توان تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک، پیک بار ماهانه و نیز سالانه پست مورد نظر، پس از تأثیر سیستم PV برای هر کدام از مراحل انتخاب، ظرفیت باتری و مساحت سیستم PV محاسبه می‌گردد. خروجی این بخش از الگوریتم تعیین ظرفیت بهینه باتری بر اساس روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به منظور بهینه سازی تابع هدف می‌باشد.

در بخش دوم از الگوریتم مساحت بهینه سیستم PV به لحاظ اقتصادی تعیین خواهد شد و با استفاده از نتایج بدست آمده از بخش اول و نیز داده‌های مربوط به هزینه‌ها، مقدار بهینه تابع هزینه کل مورد نظر با استفاده از روش جستجوی مستقیم بدست می‌آید و در نهایت خروجی این بخش نیز مساحت بهینه آرایه PV در محدوده تعیین شده خواهد بود.

در شکلهای (۲) و (۳) فلوچارت الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل (۲)- فلوچارت بهینه‌سازی تابع هدف

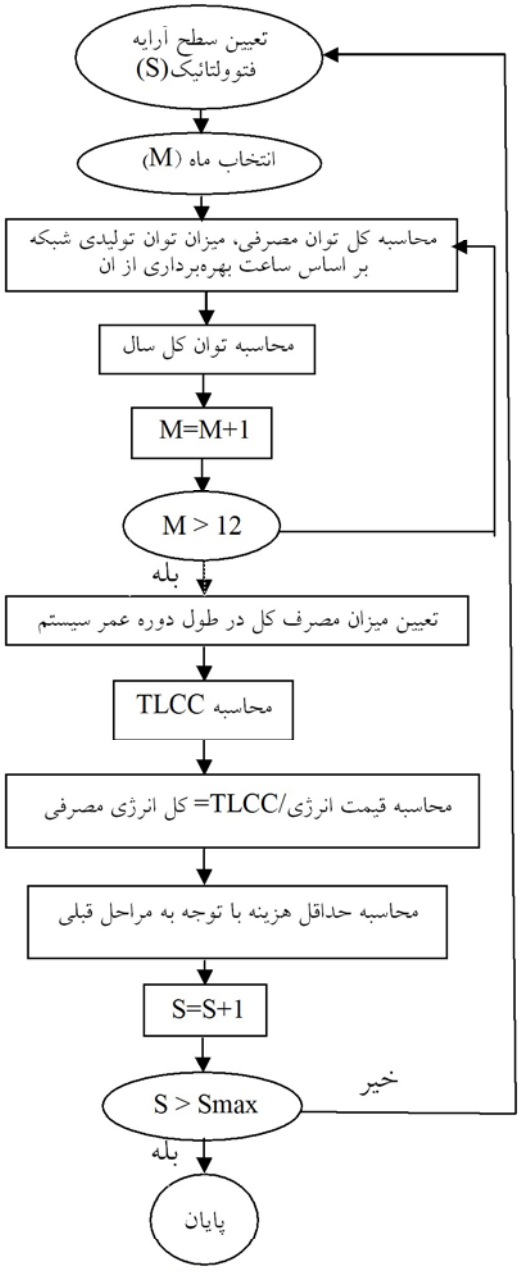
در مطالعات سیستم ترکیبی موارد زیر را در نظر می‌گیریم:

۱- ضریب تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی بین ۱۱ تا ۱۳ درصد می‌باشد.

۲- ضریب تبدیل برای اینورتر حدود ۹۰ درصد است.

۳- تقاضای انرژی در طول دوره یکساله ثابت است.

۵- نرخ بهره برابر ۱۶ درصد و نرخ تورم برابر ۱۵ درصد لحاظ شده است.



شکل (۳)- تعیین مساحت بهینه آرایه PV از دیدگاه اقتصادی

۵-۱- توان خروجی سیستم فتوولتائیک

مقدار تابش خورشید بر پانل‌ها، با واحد وات بر متر مربع اندازه‌گیری می‌شود. خروجی فتوولتائیک، رابطه‌ای تقریباً خطی با میزان تابش دارد [۷].

$$P_{pv,dc} = F_{pv} \times I_{pv} \qquad (۸)$$

$P_{pv,dc}$: توان خروجی سیستم بصورت جریان مستقیم

F_{pv}: ضریب تبدیل به انرژی الکتریکی

I_{pv} : میزان تابش روی کل سطح فتوولتائیک

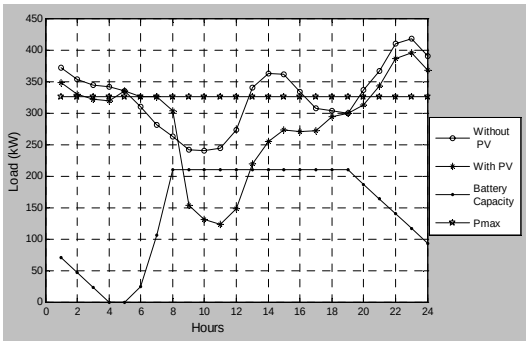
مقدار توان خروجی، از اینورتر سیستم فتوولتائیک (جریان متناوب)، به ضریب اینورتر بستگی دارد:

$$P_{pv,ac} = F_{in} \times P_{pv,dc} \qquad (۹)$$

F_{inv}: ضریب تبدیل اینورتر

۵-۲- الگوی نحوه اشتراک بار بین شبکه برق، فتوولتائیک و سیستم ذخیره

الگوی نحوه اشتراک بار, باید از انرژی تولیدی توسط فتوولتائیک، تا حد امکان استفاده کند (که این انرژی وابسته به وضعیت تابش آفتاب می باشد) و بقیه بار نیز توسط شبکه و باتری پشتیبان تأمین می‌شوند. در این الگوریتم برای روزهای مختلف سال، یک سطح توان حداکثر(Pmax) در نظر گرفته می شود. این توان، حداکثر توانی است که مجاز به گرفتن این سطح توان از شبکه اصلی برق خواهیم بود. به همین دلیل هنگامیکه مقدار انرژی مصرفی از مجموع این توان و توان تولیدی توسط PV کمتر باشد می‌توان از این مقدار اختلاف، برای شارژ باتری استفاده کرد [۸].



شکل(۴)- متوسط کاهش تقاضا برای یک نمونه روز در فصل بهار برای یک نمونه پست مسکونی در منطقه قشم

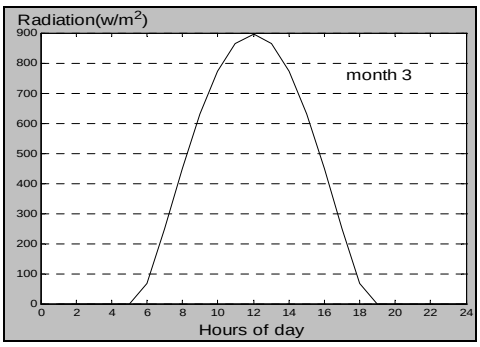
جهت ارائه تصویری واضح از الگوی نحوه اشتراک بار بین شبکه، سیستم PV و باتری پشتیبان، نمونه‌ای از نحوه اشتراک بار برای یک روز از سال در فصل بهار برای منطقه قشم در شکل (۴) نشان داده شده است.

۶- مطالعات عددی

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم ارائه شده، مطالعه نمونه‌ای در منطقه قشم بر روی یک نمونه پست مسکونی صورت گرفته است. هدف مطالعه، امکان‌سنجی قابلیت سیستم PV متصل به شبکه با تعیین ظرفیت بهینه باتری و نیز مساحت بهینه آرایه PV برای تغذیه قسمتی از بار پست مورد بررسی می‌باشد به گونه‌ای که ضریب بار منحنی و در نهایت منحنی بار مصرفی پست بصورت بهینه اصلاح شود. نتایج شبیه‌سازیها کارآیی آرایه PV متصل به شبکه مجهز به باتری پشتیبان را در اصلاح ضریب بار منحنی مصرف این پست نشان می‌دهد. در مرحله بعدی برای اثبات صحت مدلسازی پیشنهادی، تأثیر این سیستم‌ها در اصلاح ضریب بار، برای یک نمونه پست تجاری و همچنین یک نمونه پست صنعتی با داشتن مقادیر بارهای متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است. در مرحله پایانی تأثیر استفاده از سیستم‌های PV بر بهبود ضریب بار برای یک نمونه پست تجاری در منطقه اهواز مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصله، صحت مدلسازی پیشنهادی را تأیید می‌نماید.

۶-۱- مطالعات صورت گرفته برای منطقه قشم

شکل (۵) نمودار تابش ماهانه مورد استفاده در مدلسازی را نشان می‌دهد.



شکل(۵)- نمودار تابش در منطقه قشم [۹]

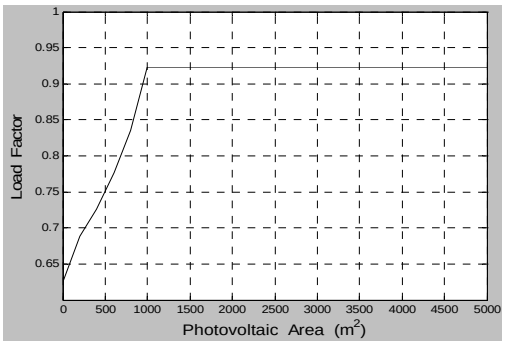
۶-۱-۱- مطالعات پست مسکونی

در اولین بررسی، شبیه‌سازی روی یک بار الکتریکی متغیر برای یک نمونه پست مسکونی انجام شده است. در شکل (۴)

نتایج حاصل از اصلاح منحنی بار در نمونه پست مسکونی را در منطقه قشم با انتخاب سطح حداکثر توان ۳۳۰kW و انتخاب ظرفیت بهینه باتری و نیز مساحت بهینه آرایه PV نشان داده شده است.

الف – بهبود ضریب بار (دیدگاه فنی):

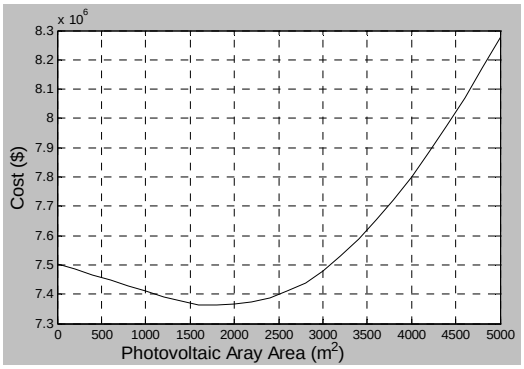
در این قسمت از شبیه‌سازی, ظرفیت بهینه باتری با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای متغیرهای ورودی مسأله شامل سطح آرایه PV و نیز بار ساعتی روزانه برای پست مورد نظر تعیین می‌گردد. در این نمونه از مطالعه ظرفیت بهینه باتری ۷۰۰kW تعیین می‌شود. شکل (۶) منحنی ضریب بار را بر حسب مساحت آرایه PV با توجه به ظرفیت انتخاب شده برای باتری نشان می‌دهد. ملاحظه می شود میزان ضریب بار قبل از ورود سیستم PV به شبکه ۰/۶۴ می‌باشد ولی در زمانی که از آرایه PV مجهز به باتری پشتیبان با ظرفیت بهینه تعیین شده استفاده می‌شود این میزان ضریب بار به ازای سطح ۱۰۰۰ مترمربع به ۰/۹۳ می‌رسد. لازم به ذکر است با توجه به مقدار سطح ماکزیمم توان تعیین شده (Pmax) برای میزان تولید سیستم PV در اصلاح ضریب بار ملاحظه می‌شود برای مساحتهای بالاتر از ۱۰۰۰ متر مربع، تولید سیستم PV هیچ گونه نقشی در اصلاح ضریب بار نخواهد داشت.



شکل (۶)– منحنی ضریب بار به ازای مساحت آرایه PV

ب– دیدگاه اقتصادی:

در این مرحله مساحت بهینه سطح پانل‌ها از نظر اقتصادی تعیین می‌شود. نتایج حاصل از اجرای برنامه برای تعیین سطح بهینه در شکل (۷) نشان داده شده است در این منحنی هزینه طول دوره عمر سیستم برای سطح بهینه سیستم فتوولتائیک, (۱۶۰۰ متر مربع) برابر با $۱۰^{۶}$* ۷/۳۶ دلار ($۱۰^{۱۰}$* ۷/۳۶ ریال) می‌باشد. ملاحظه می‌شود که با انتخاب مساحت ۱۶۰۰ متر مربع، قسمتی از توان بارها توسط سیستم PV مجهز به باتری پشتیبان تأمین می‌شود و در حالت کلی هزینه تأمین بارها توسط شبکه و سیستم PV نسبت به حالتی که بارها تنها توسط شبکه تأمین می‌شوند مقدار کمتری دارد.



شکل (۷)– منحنی هزینه بر حسب مساحت آرایه PV

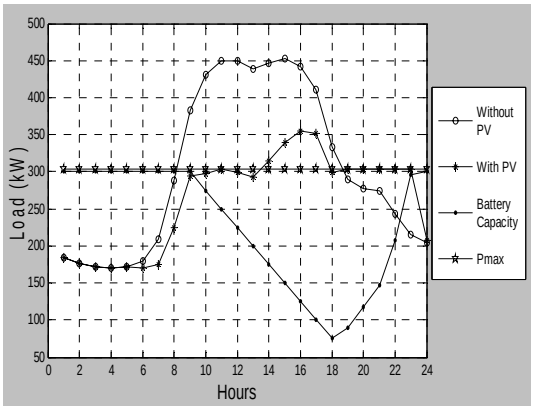
در صورت مقایسه بین شکلهای (۶)و(۷) ملاحظه می‌شود که در قسمت (الف) برای دستیابی به ضریب بار بهینه (۰/۹۳), حداقل مساحت آرایه مورد نیاز ۱۰۰۰ متر مربع می‌باشد ولی با توجه به شکل (۷) انتخاب مساحت ۱۶۰۰ متر مربع باعث می‌شود هزینه تولید برق نیز حداقل گردد.

۶-۱-۲- مطالعات پست تجاری

در این بخش برای اینکه مقایسه‌ای بین کارایی سیستم PV در اصلاح ضریب بار پست مسکونی و تجاری داشته باشیم تحلیلهای صورت گرفته برای یک پست مسکونی، بر روی یک پست تجاری نیز در همان منطقه انجام گرفته است. در پست تجاری بر خلاف پست مسکونی پیک بار در روز اتفاق می‌افتد. بنابراین انتظار می‌رود تأثیر سیستم PV در اصلاح ضریب بار متفاوت از اصلاح ضریب بار برای یک پست مسکونی باشد. با بررسی تحلیلهای صورت گرفته این موضوع به وضوح نشان داده می‌شود.

در شکل (۸) نتایج حاصل از اصلاح منحنی بار در نمونه پست تجاری منطقه قشم با انتخاب سطح حداکثر توان kW ۳۰۰ و انتخاب ظرفیت بهینه باتری و نیز مساحت بهینه آرایه

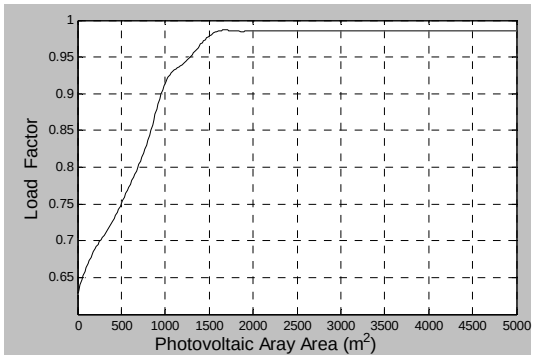
PV در مقایسه با قبل از نصب سیستم PV در پست مورد نظر نشان داده شده است.



شکل(۸)- متوسط کاهش تقاضا برای یک روز در فصل بهار

الف – بهبود ضریب بار (دیدگاه فنی):

در این نمونه از مطالعه ظرفیت بهینه باتری ۷۰۰kW تعیین می‌شود. در شکل (۹) ملاحظه می‌شود میزان ضریب بار قبل از ورود سیستم PV به شبکه ۰/۶۳ می‌باشد ولی با استفاده از سیستم PV این میزان ضریب بار به ازای سطح آرایه ۱۶۰۰ مترمربع به ۰/۹۸ می‌رسد.

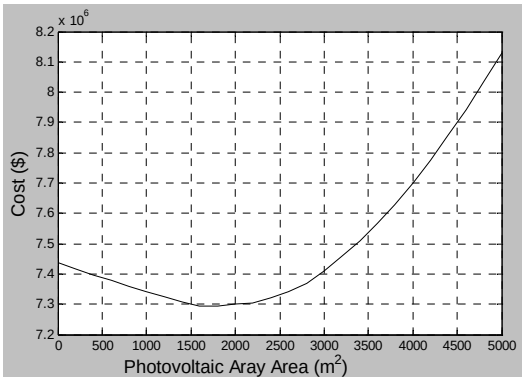


شکل (۹)- منحنی ضریب بار بر حسب مساحت PV

با مقایسه شکلهای (۶) و (۹) ملاحظه می‌شود به دلیل تأثیر زیادی که سیستمPV مجهز به باتری پشتیبان در این منحنی بار بر روی کاهش پیک مصرف خواهد داشت ضریب بار نیز نسبت به پست مسکونی که پیک بار آن در شب می باشد به میزان بیشتری بهبود یافته است.

ب- دیدگاه اقتصادی:

در این مرحله با توجه به شکل (۱۰) ملاحظه می شود هزینه طول دوره عمر سیستم برای سطح بهینه سیستم فتوولتائیک, (۱۶۰۰ متر مربع) برابر با $۷/۲۹ * ۱۰^{۶}$ دلار ($۷/۲۹ * ۱۰^{۱۰}$ ریال) می‌باشد.

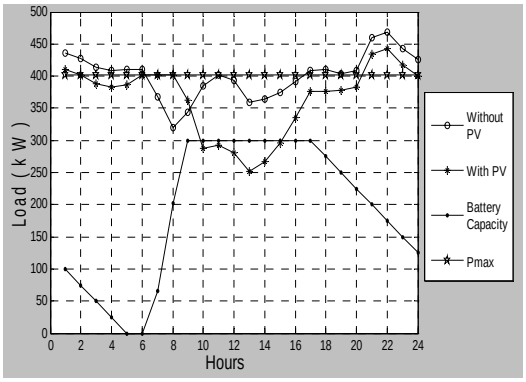


شکل (۱۰)- منحنی هزینه بر حسب مساحت آرایه PV

در صورت مقایسه بین شکلهای (۹) و (۱۰) ملاحظه می‌شود که در قسمت (الف) برای دستیابی به ضریب بار بهینه (۰/۹۸), حداقل مساحت آرایه مورد نیاز ۱۶۰۰ متر مربع می‌باشد همچنین با توجه به شکل (۱۰) انتخاب مساحت ۱۶۰۰ متر مربع باعث می‌شود هزینه تولید برق نیز حداقل گردد. به عبارتی دیگر در این مطالعه مساحت بهینه آرایه PV (۱۶۰۰ متر مربع) مقدار بهینه تابع هدف اصلاح ضریب بار و نیز تابع هدف هزینه را همزمان برآورد می‌کند (شرایط ایده‌آل).

۶-۱-۳- مطالعات پست صنعتی

در این بخش برای اینکه مقایسه‌ای بین اصلاح ضریب بار برای پستهای مسکونی, تجاری و صنعتی داشته باشیم تحلیلهای صورت گرفته بر روی یک پست صنعتی نیز در همان منطقه انجام می‌گیرد. در پست صنعتی بر خلاف پستهای مسکونی و تجاری اختلاف بار در ساعتهای مختلف شبانه روز چندان قابل ملاحظه نیست. بنابراین باز هم انتظار می‌رود تأثیر سیستم PV مجهز به باتری پشتیبان در اصلاح ضریب بار متفاوت از اصلاح ضریب بار برای پستهای قبلی باشد. شکل (۱۱) نتایج حاصل از اصلاح منحنی بار در نمونه پست صنعتی را در منطقه با انتخاب سطح حداکثر توان ۴۰۰kW و انتخاب ظرفیت بهینه باتری و نیز مساحت بهینه آرایه PV در مقایسه با قبل از نصب سیستم PV در پست مورد نظر، نشان می‌دهد.

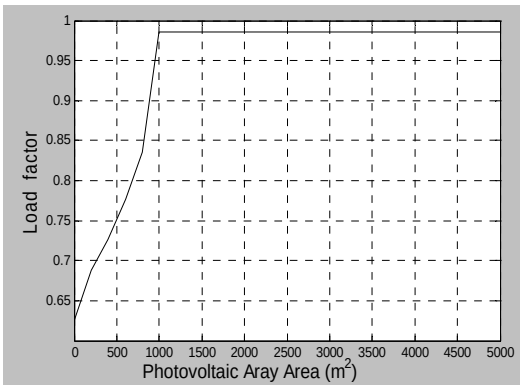


شکل(۱۱)- متوسط کاهش تقاضا برای یک روز در فصل بهار

الف – بهبود ضریب بار (دیدگاه فنی):

در این نمونه از مطالعه ظرفیت بهینه باتری ۸۰۰kW تعیین می‌شود. همانطور که در شکل (۱۲) ملاحظه می شود میزان ضریب بار قبل از ورود سیستم PV به شبکه ۰/۶۳ می‌باشد ولی با استفاده از سیستم PV این میزان ضریب بار به ازای سطح ۱۰۰۰ مترمربع به ۰/۹۸ می‌رسد.

با توجه به شکل (۱۲) ضریب بار بهینه برای این نمونه پست در مساحت آرایه ۱۰۰۰ متر مربع حاصل می‌شود. در حالی که برای پست مسکونی برای مساحت ۱۰۰۰ متر مربع ضریب بار ۰/۹۳ حاصل گردید. بنابراین با توجه به این موضوع نتیجه می‌گیریم که استفاده از سیستم PV مجهز به باتری پشتیبان در پستهای صنعتی نسبت به پست مسکونی تأثیر بیشتری در بهبود ضریب بار دارد.

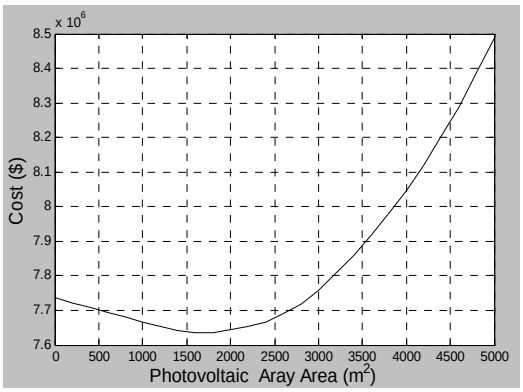


شکل (۱۲)- منحنی ضریب بار بر حسب مساحت PV

ب- دیدگاه اقتصادی:

در این مرحله با توجه به شکل (۱۳) هزینه طول دوره عمر سیستم برای سطح بهینه سیستم فتوولتائیک، (۱۶۰۰ متر مربع) برابر با $۷/۶ * ۱۰^{۶}$ دلار ($۷/۶ * ۱۰^{۱۰}$ ریال) می‌باشد.

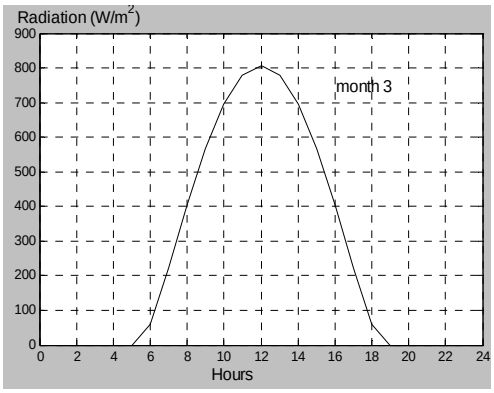
در این شرایط ملاحظه می‌شود که در قسمت (الف) برای دستیابی به ضریب بار بهینه (۰/۹۸)، حداقل مساحت آرایه مورد نیاز۱۰۰۰ متر مربع می‌باشد ولی با توجه به شکل (۱۳) انتخاب مساحت ۱۶۰۰ متر مربع باعث می‌شود هزینه تولید برق نیز حداقل گردد.



شکل (۱۳)- منحنی هزینه بر حسب مساحت آرایه PV

۶-۲-مطالعات صورت گرفته برای منطقه اهواز

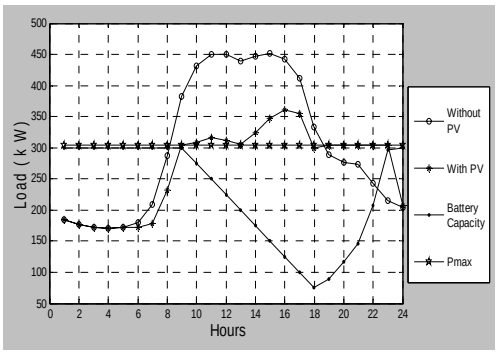
همانطور که در شبیه‌سازیهای مربوط به پستهای مختلف منطقه قشم ملاحظه نمودید میزان تغییر در اصلاح ضریب بار، از دیدگاه اقتصادی و فنی متفاوت خواهد بود. ولی در پستهای تجاری نتایج نصبPV در تغییر ضریب بار از هر دو دیدگاه یکسان می‌باشد. به عبارتی دیگر در این مطالعه مقدار بهینه تابع هدف اصلاح ضریب بار و نیز تابع هدف هزینه را همزمان برآورد می‌کند. بنابراین در این قسمت از شبیه‌سازی برای اثبات صحت مدلسازی پیشنهادی، تأثیر این سیستم‌ها در اصلاح منحنی بار، برای یک نمونه پست تجاری در منطقه اهواز با داشتن مقادیر بار یکسان با منطقه قشم و همچنین با توجه به داده‌های تابش مربوط به شهر اهواز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج، صحت مدلسازی پیشنهادی را تأیید می‌نماید. شکل (۱۴) نمودار تابش را برای یک روز در فصل بهار نشان می‌دهد.



شکل(۱۴)- نمودار تابش برای یک نمونه روز در فصل بهار

۶-۲-۱- مطالعات پست تجاری

در این شبیه‌سازی با توجه به میزان تابش کمتر در منطقه اهواز نسبت به قشم انتظار می‌رود تأثیر سیستم PV در اصلاح ضریب بار متفاوت از اصلاح ضریب بار برای یک پست تجاری منطقه قشم باشد. شکل (۱۵) نیز نتایج حاصل از اصلاح منحنی بار در نمونه پست تجاری را در منطقه اهواز در مقایسه با قبل از نصب سیستم PV در پست مورد نظر، نشان می‌دهد.



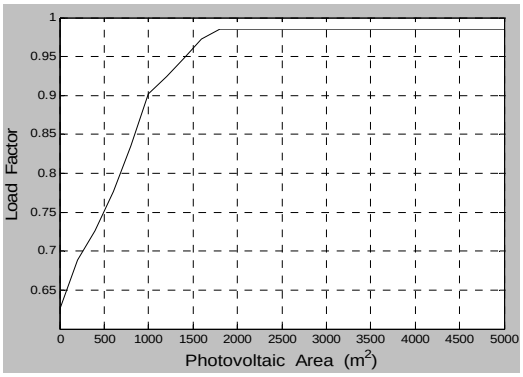
شکل(۱۵)- متوسط کاهش تقاضا برای یک روز در فصل بهار

در صورت مقایسه بین شکلهای (۸) و(۱۵) ملاحظه می‌شود که تأثیر سیستم‌های PV بر اصلاح منحنی بار الکتریکی به دلیل میزان تابش کمتر در منطقه اهواز نسبت به منطقه قشم کمتر می‌باشد.

الف – بهبود ضریب بار (دیدگاه فنی):

در این نمونه از مطالعه ظرفیت بهینه باتری ۸۰۰kW تعیین می‌شود. در شکل (۱۶) ملاحظه می‌شود که میزان ضریب بار قبل از ورود سیستم PV به شبکه ۰/۶۳ می‌باشد ولی با استفاده از سیستم PV این میزان ضریب بار به ازای سطح آرایه ۱۸۰۰ مترمربع به ۰/۹۸ می‌رسد.

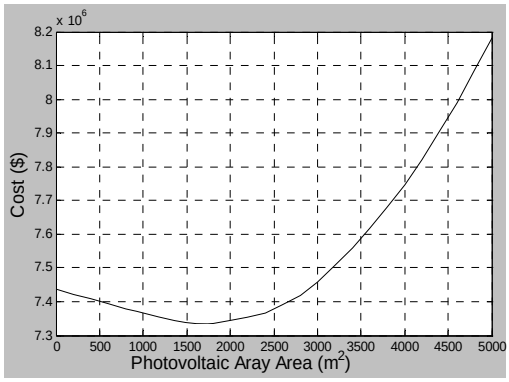
با مقایسه شکلهای (۹) و (۱۶) خواهیم دید که به دلیل میزان تابش کمتر در منطقه اهواز حداقل مساحت آرایه مورد نیاز برای بهبود همان میزان ضریب بار (۰/۹۸)، افزایش یافته است.



شکل (۱۶)- منحنی ضریب بار بر حسب مساحت PV

ب- دیدگاه اقتصادی:

در این مرحله نیز با توجه به شکل (۱۷) هزینه طول دوره عمر سیستم برای سطح بهینه سیستم فتوولتائیک، (۱۶۰۰ متر مربع) برابر با $۷/۳۳ * ۱۰^{۶}$ دلار($۷/۳۳ * ۱۰^{۱۰}$ ریال) می‌باشد.



شکل (۱۷)- منحنی هزینه بر حسب مساحت آرایه

در صورت مقایسه بین شکلهای (۱۶) و(۱۷) ملاحظه می‌شود که در قسمت (الف) برای دستیابی به ضریب بار بهینه (۰/۹۸)، حداقل مساحت آرایه مورد نیاز ۱۸۰۰ متر مربع می‌باشد ولی با توجه به شکل (۱۷) انتخاب مساحت ۱۶۰۰ متر مربع باعث می‌شود هزینه تولید برق نیز حداقل گردد. بنابراین با توجه به شبیه‌سازیهای صورت گرفته، دستیابی به ضریب بار بهینه از نظر اقتصادی امکان پذیر نخواهد بود. در صورتی که در پست تجاری منطقه قشم مقدار بهینه تابع هدف اصلاح ضریب بار و نیز تابع هدف هزینه همزمان برآورد می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازیها نشان می‌دهند که استفاده از سیستم‌های PV تأثیر قابل توجهی بر بهبود ضریب بار و در نتیجه کاهش پیک منحنی بار دارد. همانگونه که مشاهده گردید استفاده بهینه از این سیستم، منحنی الگوی بار و شاخص ضریب بار را در پست مورد نظر اصلاح می‌نماید. بطور کلی میزان تغییر در اصلاح ضریب بار، از دیدگاه اقتصادی و فنی متفاوت خواهد بود. ولی در برخی از موارد با توجه به مطالعات صورت گرفته (به خصوص پستهای تجاری)، نتایج نصب PV در تغییر ضریب بار از هر دو دیدگاه یکسان می باشد. همچنین با مطالعه موردی برای یک نمونه از پست تجاری منطقه اهواز ملاحظه شد که با توجه به میزان تابش متفاوت دستیابی به ضریب بار بهینه از نظر اقتصادی امکان‌پذیر نخواهد بود.

۹- مراجع

[1] Shugar DS. “Photovoltaics in the Utility Distribution System: the Evaluation of System and Distributed Benefits,” *In:Proceedings of the 21st IEEE PV Specialists Conference, Kissimmee, Florida, 1990.*

[2] Osborn DE,Collier DE.“Utility Grid Connected Photovoltaic Distributed Power Systems,”*ASES Conference, Asheville, NC, 1996.*

[3] A.Y.Al-Hasan, A.A.Ghonim and A.H.Abdullah. “Optimizing Electrical Load Pattern in Kuwait Using Grid Connected Photovoltaic Systems,” *elsevier, 2004.*

[4] Shaahid S, Elhadidy M. “Prospect of Outonomous/Stand-alone Hybrid (Photovoltaic + Diesel + Battery) Power Systems In Commercial Applications In Hot Regions,” *Renewable Energy29(2004)165-177*

[5] U.Stutenbaumer, T.Negash and A.Abdi, “Performance of Small Scale Photovoltaic Systems and Their Potential for Rural Electrication in Ethiopia,” *Renewable Energy 07 "0888# 24_37.*

[۶] دهقان دهنوی, ج. بهبود الگوی بار الکتریکی در شبکه های توزیع با بکارگیری سیستم های انرژی خورشیدی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۴ .

[7] Agan C, Ahmed S, Taha F and Zin A. “On the Policy of Photovoltaic and Diesel Generation Mix For an Off-grid Site: East Malaysian perspective”, *Solar Energy 74(2003)453-467.*

[8] T. Ishikawaa, K. Kurokawaa, N. Okadab and K.Takigawa, “Evaluation of operation characteristics in multiple interconnection of PV systems,” *(CRIEPI),Tokyo, 201-8511 Japan, Solar Energy Materials & Solar Cells 75 (2003) 529–536*

[۹] صمیمی,ج. برآورد تابش خورشیدی بر حسب ارتفاع و کاربرد آن در اقلیم خورشیدی ایران. مجله فیزیک, دانشگاه صنعتی شریف, تهران, ایران. ۱۳۷۳.

پیوست

جدول(۱)- اطلاعات سیستم فتوولتائیک و شبکه

هزینه های مربوط به شبکه	احداث (Rls/kW)	۲۴۳۰۰۰۰
	سرمایه‌گذاری‌نهایی(Rls/kW)	۳۵۱۰۰۰۰
	سوخت (Rls/ lit)	۴۹۵
	تعمیر و نگهداری (Rls/ kW-year)- ثابت	۵۹۵۰
	تعمیر و نگهداری (Rls/ kWh)- متغییر	۰/۶۳
سیستم فتوولتائیک	هزینه تعمیرات سالیانه	۳درصد قیمت پایه
	مقدار صرفه‌جویی و بازاریابی	۱۰درصد قیمت پایه
	عمر مفید	۳۰سال
	محدوده تغییر مساحت آرایه (متر مربع)	۰-۵۰۰۰
	هزینه سرمایه‌گذاری نهایی (Rls/kW)	۶۰۰۰۰۰۰۰