



مدیریت انرژی همراه با بهینه‌سازی ظرفیت سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر خورشیدی در ریزشبه‌های مسکونی در حالت عدم اتصال به شبکه

پوریا عمرانی رهقی^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد، حامد هاشمی دزکی^۲، استادیار و عضو هیئت علمی

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه کاشان- کاشان- ایران

p.emrani74@grad.kashanu.ac.ir -

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه کاشان- کاشان- ایران

hamed.hashemi@kashanu.ac.ir -

چکیده:

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی در سطح دنیا داشته است. ایران نیز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر و به ویژه پتانسیل استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی می‌باشد. استفاده از سیستم‌های پنل خورشیدی در مقیاس‌های کوچک می‌تواند یک راه‌حل مناسب در زمینه‌ی تامین انرژی الکتریکی در حالت عدم اتصال به شبکه‌ی سراسری برق مانند طرح‌های برق‌رسانی روستایی باشد. یکی از معایب سیستم پنل خورشیدی، تولید توان الکتریکی در ساعات آفتابی روز و نوسانات توان خروجی با تغییرات آب و هوایی می‌باشد. بنابراین نیاز است تا از باتری به عنوان ذخیره‌ساز توان الکتریکی در کنار پنل‌های خورشیدی استفاده شود. در این مقاله به بررسی ظرفیت بهینه‌ی پنل خورشیدی و باتری با هدف کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری یک ریزشبه‌ی جدا از شبکه پرداخته می‌شود. در این مطالعه نشان داده می‌شود که با استفاده از مدیریت مصرف وسایل الکتریکی می‌توان علاوه بر افزایش بهره‌وری، هزینه‌های بهره‌برداری را به میزان قابل توجهی کاهش داد. روش پیشنهادی در این مقاله بسیار کاربردی و فراگیر است و می‌تواند دسترسی مناطق دورافتاده به انرژی الکتریکی با بهره‌وری بالا را میسر کند.

واژه‌های کلیدی: پنل خورشیدی، باتری، ذخیره‌سازهای انرژی، ریزشبه‌های مسکونی، بهره‌برداری جزیره‌ای، مدیریت انرژی،

بهینه‌سازی

نام نویسنده مسئول: حامد هاشمی دزکی

آدرس نویسنده مسئول: دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.



۱. مقدمه

امروزه انرژی الکتریکی به‌عنوان یک نیاز اساسی در سرتاسر جهان به‌شمار می‌رود [۱]. حدود ۱/۴ میلیارد نفر از جمعیت جهان که ۸۵ درصد از آن‌ها در مناطق روستایی هستند، به برق دسترسی ندارند و با روند کنونی، این عدد در سال ۲۰۳۰ به ۱/۲ میلیارد نفر کاهش خواهد یافت [۲]. بنابراین در کوتاه مدت امکان دسترسی این افراد به انرژی الکتریکی وجود ندارد [۳]. عدم وجود زیرساخت‌های لازم برای تولید، انتقال و توزیع برق، یکی از دلایلی مهمی است که سبب کاهش برق‌رسانی به مناطق روستایی و دورافتاده می‌شود [۱]. از اینرو راه‌هایی برای تامین نیاز انرژی الکتریکی در حالت عدم اتصال به شبکه گسترش یافته است که به دو صورت ارائه می‌شود [۳]. در حالت اول تقاضای انرژی الکتریکی از طریق شبکه‌های محلی کوچک تامین می‌گردد. در حالت دوم شبکه‌های خانگی با هدف دسترسی به انرژی الکتریکی طراحی می‌شوند [۴]. طبق تحقیقات دانشگاه کمبریج، تا سال ۲۰۴۰ از جمعیتی که به برق دسترسی نداشته‌اند، ۴۵ درصد از طریق شبکه‌های محلی، ۳۵ درصد از طریق شبکه‌های خانگی و ۳۰ درصد از طریق شبکه‌ی سراسری به برق دسترسی خواهند داشت [۳].

در دهه‌های گذشته، کشورهای خاورمیانه به دلیلی دسترسی بالا به سوخت‌ها فسیلی، توجه کمتری به منابع تولید انرژی تجدیدپذیر داشته‌اند [۴]. برای مثال کشور ایران با وجود پتانسیل بالا در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، وابستگی زیادی به سوخت‌ها فسیلی داشته است [۵]. بنابراین در سال‌های اخیر دولت‌مردان به استفاده از اشکال مختلف انرژی و استفاده از انرژی‌ها پاک روی آورده‌اند [۴، ۵]. منابع انرژی تجدیدپذیر مانند پنل خورشیدی، توربین باد، زیست‌توده و ... می‌تواند وابستگی در تامین انرژی به سوخت‌های فسیلی را به میزان بسیار زیادی کاهش دهد [۶]. از میان منابع تجدیدپذیر انرژی، سیستم پنل خورشیدی عملکرد بهتر و اقتصادی‌تر در مقیاس‌های کوچک دارد [۷]. بنابراین پنل‌های خورشیدی با توانایی تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی، یکی از بهترین گزینه‌ها برای منازل مسکونی به‌شمار می‌رود [۸].

طراحی سیستم پنل‌های خورشیدی با استفاده از روش‌های مختلف در برای منازل مسکونی ایتالیا در [۷] مطرح شده است.

طراحی سیستم خورشیدی برای منازل مسکونی در عراق، در دو حالت اتصال به شبکه و عدم اتصال به شبکه و با هدف کاهش هزینه‌ها و کاهش انتشار گاز CO₂ در [۴] ارائه گردیده است. طراحی سیستم خورشیدی همراه با ذخیره‌ساز انرژی برای تامین تقاضای توان الکتریکی منازل مسکونی و نیز تامین روشنایی معابر یک روستا در حالت عدم اتصال به شبکه در [۳] مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه استفاده از شبکه‌های محلی برای تامین انرژی الکتریکی در مناطق روستایی را به عنوان یک راهکار مهم و ضروری برای توسعه‌ی مناطق روستایی و جلوگیری از مهاجرت روستاییان بیان می‌کند. طراحی سیستم‌های خورشیدی در منازل مسکونی در نیجریه و در حالت عدم اتصال به شبکه با در نظرگیری هزینه‌های ماژول، اینورتر، هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری در [۶، ۸] ارائه شده است. در [۱] به شبیه‌سازی سیستم پنل خورشیدی و باتری در محیط سیمولینک متلب و تجزیه و تحلیلی اقتصادی آن با استفاده از HOMER-pro در حالت عدم اتصال به شبکه می‌پردازد. در [۹] انرژی خورشیدی را به عنوان یکی از منابع مهم برای تولید انرژی الکتریکی در مناطق روستایی و دور افتاده معرفی می‌کند. نویسندگان در [۹] با اشاره به وابستگی توان خروجی پنل خورشیدی به شرایط جوی، بر لزوم استفاده از واحدهای ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی و دیزل ژنراتورها در کنار پنل‌های خورشیدی تاکید می‌کنند و با استفاده از مدیریت انرژی وسایل الکتریکی خانه و با هدف کاهش مصرف توان در ساعات غیرآفتابی روز و کاهش تلفات ناشی از شارژ و دشارژ باتری، به بهینه‌سازی زمانبندی استفاده از وسایل قابل کنترل در خانه می‌پردازند.

در مطالعات انجام شده در زمینه‌ی تامین انرژی الکتریکی منازل مسکونی در حالت عدم اتصال به شبکه، بهینه‌سازی ظرفیت پنل خورشیدی، ظرفیت باتری، سطح شارژ اولیه باتری، همراه با مدیریت انرژی وسایل خانه و تعیین زمانبندی بهینه‌ی آن با هدف کاهش هزینه‌ی بهره‌برداری سیستم خورشیدی به صورت همزمان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله به ارائه روشی نوین برای تامین انرژی الکتریکی در منازل مسکونی در نواحی با عدم دسترسی به شبکه سراسری، پرداخته می‌شود. پنل خورشیدی، باتری و وسایل الکتریکی خانه در متلب مدل‌سازی می‌گردند و بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام می‌گیرد. در نهایت طرح پیشنهادی روی یک ریزشبکه خانگی نمونه

$$CRF_n = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (3)$$

در رابطه‌ی بالا CRF ، ضریب بازگشت سرمایه است و تابع طول عمر دستگاه (n) و نرخ تنزیل سالیانه (r) می‌باشد. با توجه به رابطه‌ی (۳)، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری روزانه به صورت رابطه‌ی (۴) بدست می‌آید:

$$C_{IC}^{daily} = CRF_n^{module} C_{module} + CRF_n^{inverter} C_{inverter} + CRF_n^{battery} C_{battery} \quad (4)$$

۲.۲. قیود بهینه‌سازی

در هر ساعت میزان تقاضای توان الکتریکی باید برابر با توان تولیدی پنل خورشیدی و باتری باشد. این قید به صورت رابطه‌ی (۵) مطرح می‌شود [۴]:

$$P_L(t) = \begin{cases} P_{battery}^{dch}(t) & P_{pv}(t) = 0, P_{battery}^{ch} = 0 \\ P_{battery}^{dch}(t) + P_{pv}(t) & P_{pv}(t) < P_L(t), P_{battery}^{ch} = 0 \\ P_{battery}^{ch}(t) & P_{pv}(t) \geq P_L(t), P_{battery}^{ch} \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

۲.۳. پنل خورشیدی

عملکرد سیستم پنل خورشیدی کاملاً به تکنولوژی ساخت آن وابسته است، زیرا کیفیت پنل عملاً توسط طراح یا بهره‌بردار سیستم قابل تغییر نیست [۷]. در سال‌های گذشته جامعه علمی و صنعتی، همواره به دنبال بهبود کارایی و افزایش بازده سیستم پنل خورشیدی به همراه کاهش قیمت تمام شده‌ی آن می‌باشند. با توجه به افزایش روزافزون نصب سیستم پنل خورشیدی در سرتاسر جهان، انتظار می‌رود که این روند تا ۳۰ سال آینده ادامه داشته باشد و متناظر با آن قیمت نصب پنل خورشیدی روز به روز کاهش یابد [۷]. از سوی دیگر، توان تولیدی سیستم پنل خورشیدی در هر لحظه تابع شرایط محیطی است و به عوامل مختلفی نظیر میزان تابش نور خورشید، دمای محیط، آلودگی سطح پنل خورشیدی و ... بستگی دارد [۱۱]. علاوه بر تکنولوژی ساخت و عوامل محیطی، چگونگی برنامه‌ریزی و طراحی سیستم پنل خورشیدی نقش بسیار مهمی در عملکرد و بازدهی آن دارد [۷]. توان خروجی پنل خورشیدی در هر ساعت برابر است با:

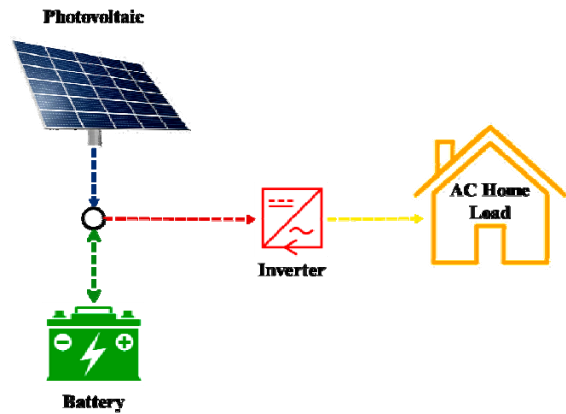
$$P_{pv}(t) = NOM \times G(t) \times \eta_{pv}(t) \quad (6)$$

که در رابطه (۲۶)، NOM تعداد ماژول‌ها، G میزان تابش نور خورشید، η_{pv} بازده ماژول مورد استفاده در هر ساعت می‌باشد.

در شهر کاشان اجرا می‌شود و نتایج، اثربخشی طرح پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۲. روش پیشنهادی

ساختار سیستم پیشنهادی مورد مطالعه برای تامین توان الکتریکی یک منزل مسکونی در حالت عدم اتصال به شبکه، در شکل (۱) نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، منزل مسکونی شامل پنل خورشیدی با پایه‌ی ثابت، باتری، اینورتر و وسایل الکتریکی مصرفی می‌باشد.



شکل ۱: ساختار کلی سیستم پیشنهادی

۲.۴. تابع هدف

هدف اصلی از طرح پیشنهادی، کاهش هزینه‌های روزانه‌ی بهره‌برداری سیستم می‌باشد که توسط رابطه‌ی (۱) مطرح می‌شود [۱۰]:

$$Min TC = C_{IC}^{daily} + C_{O\&M}^{daily} \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱)، $C_{O\&M}$ هزینه‌ی بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری و C_{IC} هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اجزا می‌باشد که توسط رابطه‌ی (۲) بدست می‌آید [۶]. توجه شود که هزینه‌ی بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری به صورت سالیانه مطرح می‌شود.

$$C_{IC} = C_{module} + C_{inverter} + C_{battery} \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲)، C_{module} هزینه‌ی خرید ماژول، $C_{inverter}$ هزینه‌ی خرید اینورتر، $C_{battery}$ هزینه‌ی خرید باتری می‌باشد. با فرض عدم تغییر نرخ تنزیل در طول یک سال، هزینه‌ی روزانه‌ی هر یک از اجزا با توجه به طول عمر مفیدشان توسط رابطه‌ی زیر مشخص می‌شود [۸]:

۲.۵. اینورتر

از اینورتر برای تبدیل توان خروجی DC پنل خورشیدی و باتری را به توان AC قابل مصرف برای بارهای خانگی استفاده می‌شود. ظرفیت اینورتر (Inv_{size}) در [۱۴] به میزان ۱۰ درصد و در [۶] به میزان ۲۰ درصد بیشتر از حداکثر توان خروجی پنل خورشیدی و باتری انتخاب شده است. در مطالعه برای اطمینان از عملکرد دقیق و کارآمد سیستم، ظرفیت اینورتر ۲۰ درصد بیشتر از حداکثر تقاضای بار (P_L^{max}) انتخاب می‌شود.

$$Inv_{size} = 1.2 P_L^{max} \quad (14)$$

۳. پیاده‌سازی روش پیشنهادی و نتایج

طرح پیشنهادی بر روی یک ریزشبه‌خانگی نمونه در روستای برزک کاشان اجرا می‌گردد. فرض می‌شود خانه‌ی مورد نظر به شبکه‌ی سراسری برق دسترسی ندارد. برای بررسی تاثیر مدیریت زمان مصرف وسایل الکتریکی در طرح پیشنهادی، دو مطالعه موردی بررسی می‌شود. در مطالعه موردی اول مسئله‌ی بهینه‌سازی بدون مدیریت انرژی و در مطالعه موردی دوم مسئله‌ی بهینه‌سازی همراه با مدیریت انرژی تعدادی از وسایل الکتریکی خانه مورد نظر انجام می‌شود.

اطلاعات تاریخی تابش نور خورشید در روستای برزک در [۱۵] در دسترس می‌باشد. در این مقاله مانند [۸]، برای اجرای مسئله‌ی بهینه‌سازی از میانگین تابش خورشید در طول یک سال استفاده شده است. شکل (۲) تابش در روزهای مختلف، میانگین تابش خورشید و دمای محیط را در طول یک سال در روستای برزک کاشان نشان می‌دهد. اطلاعات وسایل الکتریکی در یک خانه‌ی نمونه در جدول (۱) آورده شده است [۳، ۶].

علاوه بر این مشخصات پنل خورشیدی، اینورتر و باتری مورد استفاده مورد استفاده در جدول (۲) آمده است [۴، ۶، ۸]. یکی از عوامل تاثیرگذار در اجرای مسئله‌ی بهینه‌سازی، میزان نرخ تنزیل می‌باشد که با توجه به اطلاعات [۱۶]، این مقدار برای ایران به‌طور متوسط سالیانه حدود ۷/۲ درصد برآورد می‌شود.

۳.۱. مطالعه موردی ۱

در این حالت فرض می‌شود که تمامی وسایل الکتریکی خانه‌ی مورد مطالعه غیرقابل کنترل می‌باشند. با اجرای مسئله‌ی بهینه‌سازی، تعداد بهینه‌ی ماژول، باتری و مقدار بهینه‌ی سطح شارژ اولیه باتری به ترتیب ۱۲ عدد و ۱۴ عدد و ۵۲ درصد بدست می‌آید. در این حالت هزینه‌ی روزانه‌ی سیستم برابر با ۲/۶۷ دلار

بازده ماژول در هر ساعت از رابطه‌ی (۷) بدست می‌آید [۸]:

$$\eta_{PV}(t) = \eta_{ref} (1 - \alpha_p (T_c(t) - T_{sc})) \quad (7)$$

در رابطه‌ی (۷)، η_{ref} بازده مرجع، α_p ضریب تصحیح دمایی، T_c دمای سلول و T_{sc} دمای استاندارد می‌باشد. توان خروجی ماژول، رابطه‌ی مستقیم با دمای سلول در هر لحظه دارد که توسط رابطه‌ی (۸) بیان می‌شود [۴].

$$T_c(t) = T_a(t) + \frac{(NOCT - 20) G_{stc}(t)}{800} \quad (8)$$

که در رابطه بالا، $T_a(t)$ دمای محیط در هر ساعت، $NOCT$ دمای نامی عملکرد سلول و G_{stc} تابش استاندارد (۱ kW) می‌باشد.

۲.۴. واحد ذخیره‌ساز توان الکتریکی

با توجه به اینکه ممکن است زمان تولید برق توسط پنل خورشیدی با زمان تقاضای توان الکتریکی در خانه یکسان نباشد، نیاز است تا برای حفظ تعادل میان عرضه و تقاضا از باتری استفاده شود [۹]. در هر ساعت سطح شارژ باتری به‌صورت زیر بدست می‌آید [۱۲]:

$$E_{battery}(t) = E_{battery}(t-1) + (P_{battery}^{ch}(t) - P_{battery}^{dch}(t)) \quad (9)$$

$$E_{battery}(0) = E_{0,battery}$$

در رابطه‌ی (۹)، $E_{battery}$ سطح شارژ باتری در هر ساعت، $P_{battery}^{ch}$ میزان شارژ، $P_{battery}^{dch}$ میزان دشارژ در هر ساعت و $E_{0,battery}$ سطح اولیه‌ی شارژ باتری در ابتدای هر روز می‌باشد. هر باتری دارای محدودیت‌ها فیزیکی است که باید در مسئله‌ی بهینه‌سازی لحاظ گردد. این قیود به‌صورت زیر مطرح می‌گردد [۹].

$$P_{battery}^{ch}(t) \leq P_{battery}^{ch,max} \quad (10)$$

$$P_{battery}^{dch}(t) \leq P_{battery}^{dch,max} \quad (11)$$

$$E_{battery}^{min} \leq E_{battery}(t) \leq E_{battery}^{max} \quad (12)$$

روابط (۱۰-۱۲) نشان می‌دهد که در هر ساعت، نرخ شارژ و دشارژ باتری باید از مقادیر نامی آن کمتر بوده ($P_{battery}^{ch,max} / P_{battery}^{dch,max}$) و سطح شارژ نیز در محدوده‌ی تعریف شده برای باتری ($E_{battery}^{min} / E_{battery}^{max}$) باشد. همچنین در انتهای هر روز فرض می‌شود که سطح شارژ باتری از مقدار تعریف شده بیشتر باشد [۱۳].

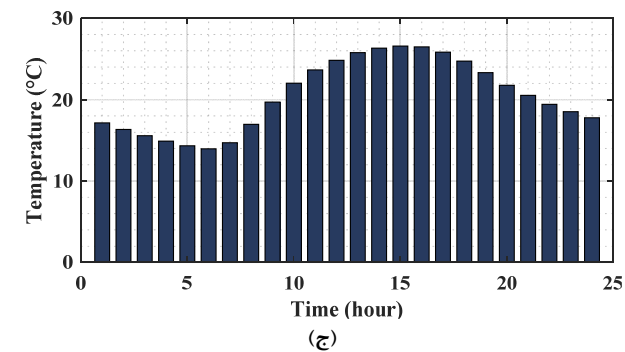
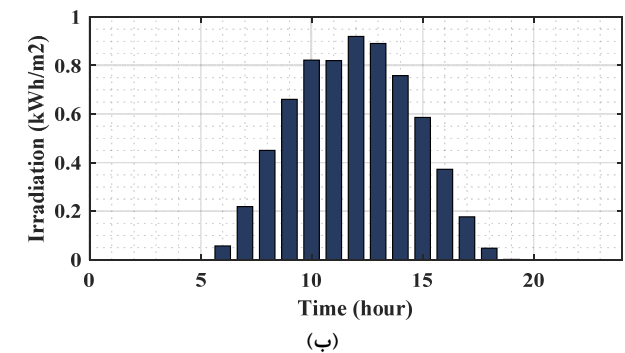
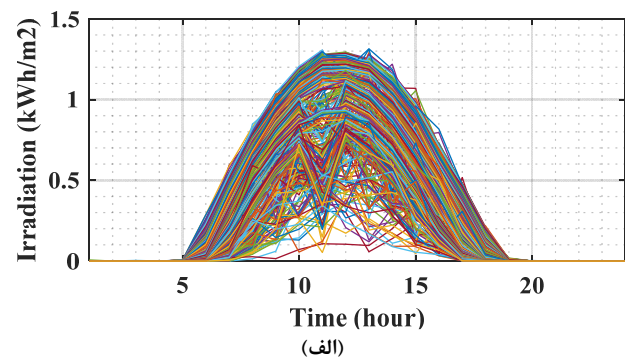
$$E_{battery}(24) \geq E_{0,battery} \quad (13)$$

در این قسمت زمان استفاده از ماشین لباسشویی، خشک‌کن و اتو کنترل می‌شود و برنامه‌ریزی بهینه‌ی آن توسط مسئله‌ی بهینه‌سازی بدست می‌آید. در این حالت با اجرای مسئله‌ی بهینه‌سازی تعداد بهینه‌ی باتری، مازول و مقدار بهینه‌ی سطح شارژ اولیه باتری به ترتیب ۱۰ عدد و ۱۴ عدد و ۷۰ درصد بدست می‌آید. شکل (۵) میزان تولید و تقاضای توان در هر ساعت و زمانبندی بهینه وسایل کنترل‌پذیر را نشان می‌دهد. با مدیریت زمان مصرف سه وسیله‌ی مصرفی توان الکتریکی هزینه‌ی روزانه-ی بهره‌برداری سیستم پنل خورشیدی به میزان ۹ درصد کاهش یافته و به ۲/۴۵ دلار می‌رسد. با توجه به عدم ارتباط خانه‌ی مورد مطالعه با شبکه، در دو حالت ظرفیت پنل خورشیدی یکسان است. اما در حالت دوم با انتقال زمان مصرف وسایل کنترل‌پذیر به ساعات آفتابی روز، ظرفیت باتری مورد نیاز و در نتیجه هزینه‌ی بهره‌برداری کاهش می‌یابد.

جدول ۱: زمانبندی میزان مصرف هر یک از وسایل خانه نمونه

نوع وسیله	تعداد ساعات استفاده	تعداد ساعات استفاده	تعداد ساعات استفاده	نوع وسیله مصرفی
غیر قابل کنترل	۴۰	۱۰	۵-۰	لامپ‌های محوطه خارج از خانه
غیر قابل کنترل	۴۰	۲	۲۲-۱۹	لامپ‌های اتاق پذیرایی
غیر قابل کنترل	۴۰	۱	۲۲-۲۱	لامپ‌های اتاق خواب
غیر قابل کنترل	۴۰	۲	۲۰-۱۸	لامپ‌های آشپزخانه
غیر قابل کنترل	۱۴۰	۲۴	۲۴-۰	یخچال و فریزر
غیر قابل کنترل	۷۰	۱۰	۲۲-۱۶ و ۱۲-۸	تلویزیون
غیر قابل کنترل	۱۵	۱	۲۱-۲۰	گوشی هوشمند
قابل کنترل	۵۰۰	۱	۲۳-۱۴	ماشین لباسشویی
قابل کنترل	۹۰۰	۱	۲۳-۱۴	خشک‌کن
قابل کنترل	۱۱۰۰	۱	۲۴-۱۲	اتو

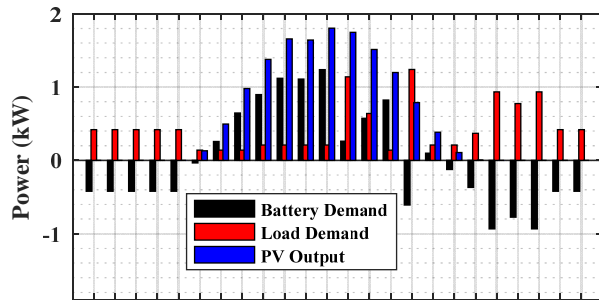
می‌باشد. شکل (۳) میزان تقاضای توان، توان خروجی پنل خورشیدی، شارژ و دشارژ باتری را در هر ساعت نشان می‌دهد. در شکل (۳) مقادیر منفی به معنای دشارژ باتری در آن ساعت می‌باشد. همانطور که مشخص است، در هر ساعت میزان تولید و تقاضای توان برابر است. در ساعات آفتابی روز، علاوه بر تامین بار الکتریکی خانه، باتری نیز شارژ می‌شود و در ساعات غیر آفتابی، باتری دشارژ شده و توان مورد نیاز را تامین می‌کند. شکل (۴) سطح شارژ باتری در هر ساعت را نشان می‌دهد.



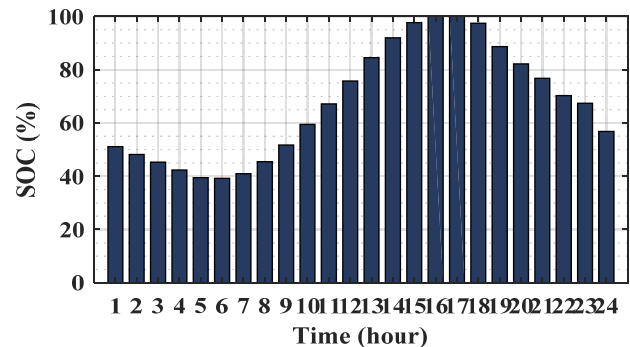
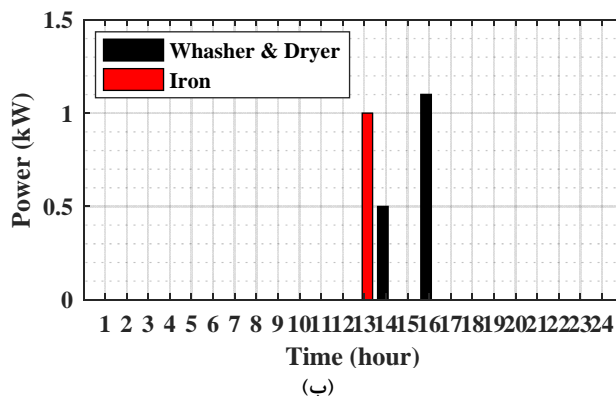
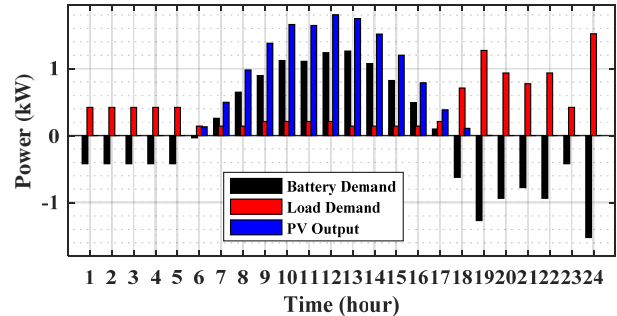
شکل ۲: الف) تابش نور خورشید در طول یک سال، ب) میانگین تابش خورشید در طول یک سال، ج) میانگین دمای محیط در طول یک سال در روستای بزرگ

همانطور که در شکل (۴) مشخص است در هر ساعت سطح شارژ باتری بین دو مقدار حداقل و حداکثر خود محدود می‌باشد.

۲.۳. مطالعه موردی ۲



شکل ۱: میزان تولید و تقاضای توان در مطالعه موردی ۱

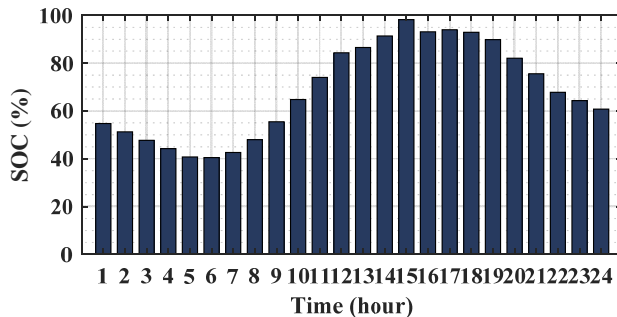


شکل ۴: سطح شارژ باتری در هر ساعت در مطالعه موردی ۱

شکل (۶) نیز سطح شارژ باتری را در هر ساعت در مطالعه موردی ۲ نمایش می‌دهد.

شکل ۵: الف) میزان تولید و تقاضای توان، ب) برنامه‌ریزی بهینه وسایل الکتریکی کنترل‌پذیر در مطالعه موردی ۲

جدول ۲: مشخصات پنل خورشیدی، اینورتر و باتری



شکل ۶: سطح شارژ باتری در هر ساعت در مطالعه موردی ۲

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد که با استفاده از سیستم پنل خورشیدی در کنار باتری به‌عنوان ذخیره‌ساز توان الکتریکی می‌توان به تامین تقاضای توان الکتریکی در ساعات مختلف روز برای یک ریزشبکه خانگی مجزا از شبکه پرداخت. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با مدیریت زمان مصرف تعدادی از وسایل الکتریکی مانند ماشین لباسشویی، خشک‌کن و اتو و انتقال زمان مصرف به ساعتی آفتابی روز، هزینه‌های بهره‌برداری منزل مسکونی در شرایط عدم اتصال به شبکه‌ی سراسری به میزان

واحد	مقدار	پارامتر
دلار	۱۹۵	قیمت هر واحد باتری
سال	۵	عمر هر واحد باتری
kWh	۱/۲	ظرفیت هر واحد باتری
%	۴۰	کمترین ظرفیت مجاز هر واحد باتری
%	۱۰۰	بیشترین ظرفیت مجاز هر واحد باتری
kW	۱/۲	نرخ شارژ و دشارژ هر واحد باتری
%	۱۶	بازده هر ماژول
دلار	۲۸۶/۴	قیمت هر ماژول
سال	۲۵	عمر هر ماژول
دلار	۳۱۰	هزینه اینورتر برای هر کیلووات
سال	۱۰	عمر اینورتر
%	۹۰	بازده اینورتر
درصد از کل	۱۰	هزینه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری
1/°C %	-۰/۴	ضریب تصحیح دمایی ماژول
°C	۴۷	دمای نامی عملکرد ماژول
°C	۲۷	دمای استاندارد

- residential buildings," *Energy*, vol. 126, pp. 573-584, 2017/05/01/ 2017.
- [9] A. Bouakkaz, S. Haddad, and A. J. G. Mena, "Optimal Peak Power Shaving Through Household Appliance Scheduling in off-grid Renewable Energy System," in *2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 2019, pp. 1-6.
- [10] S. Senemar, A. R. Seifi, M. Rastegar, and M. Parvania, "Probabilistic Optimal Dynamic Planning of Onsite Solar Generation for Residential Energy Hubs," *IEEE Systems Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 832-841, 2020.
- [11] H. Hashemi-Dezaki, H. Askarian-Abyaneh, A. Shams-Ansari, M. DehghaniSanij, and M. A. Hejazi, "Direct cyber-power interdependencies-based reliability evaluation of smart grids including wind/solar/diesel distributed generations and plug-in hybrid electrical vehicles," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 93, pp. 1-14, 2017/12/01/ 2017.
- [12] M. S. H. Nizami, A. N. M. M. Haque, P. H. Nguyen, and M. J. Hossain, "On the application of Home Energy Management Systems for power grid support," *Energy*, vol. 188, p. 116104, 2019/12/01/ 2019.
- [13] M. Rastegar and M. Fotuhi-Firuzabad, "Load management in a residential energy hub with renewable distributed energy resources," *Energy and Buildings*, vol. 107, pp. 234-242, 2015/11/15/ 2015.
- [14] J. Koskela, A. Rautiainen, and P. Järventausta, "Using electrical energy storage in residential buildings – Sizing of battery and photovoltaic panels based on electricity cost optimization," *Applied Energy*, vol. 239, pp. 1175-1189, 2019/04/01/ 2019.
- [15] Available: <http://www.satba.gov.ir>
- [۱۶] ق. عبدلی، "تخمین نرخ تنزیل اجتماعی برای ایران"، پژوهشنامه اقتصادی، مجلد ۹، شماره ۳، صفحات ۱۳۵-۱۵۶، ۱۳۸۸.
- قابل توجهی کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده دلالت بر این موضوع دارد که بهینه‌سازی همزمان ظرفیت سیستم انرژی تجدیدپذیری خورشیدی و مدیریت انرژی، اثربخشی بیشتری با دیدگاه افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری نسبت به مدیریت انرژی بدون بهینه‌سازی ظرفیت سیستم انرژی در ریزشبکه خانگی مجزا از شبکه دارد.
- ### ۵. مراجع
- [1] A. I. Malakani, D. H. Arthanto, B. G. D. Wicaksono, and A. Purwadi, "Study and Design of Off-Grid PV Power System in Pirien, Asmat Regency, Papua Province using MATLAB/SIMULINK," in *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2019, pp. 339-343.
- [2] K. Kaygusuz, "Energy for sustainable development: A case of developing countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 2, pp. 1116-1126, 2012/02/01/ 2012.
- [3] L. Mehdi, H. A, and N. B. Sendama, "Autonomous Collaborative Solar Home System-Public Lighting (SHS-PL) using Bin Packing algorithm in rural Off-Grid environment," in *2018 Renewable Energies, Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE)*, 2018, pp. 1-6.
- [4] Q. Hassan, "Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification," *Renewable Energy*, vol. 164, pp. 375-390, 2021/02/01/ 2021.
- [5] Y. Noorollahi, A. Golshanfard, S. Ansari-pour, A. Khaledi, and M. Shadi, "Solar energy for sustainable heating and cooling energy system planning in arid climates," *Energy*, vol. 218, p. 119421, 2021/03/01/ 2021.
- [6] O. C. Akinsipe, D. Moya, and P. Kaparaju, "Design and economic analysis of an off-grid solar PV in Jos-Nigeria," *Journal of Cleaner Production*, p. 125055, 2020/11/18/ 2020.
- [7] M. Lovati, M. Dallapiccola, J. Adami, P. Bonato, X. Zhang, and D. Moser, "Design of a residential photovoltaic system: the impact of the demand profile and the normative framework," *Renewable Energy*, vol. 160, pp. 1458-1467, 2020/11/01/ 2020.
- [8] C. O. Okoye and O. Solyali, "Optimal sizing of stand-alone photovoltaic systems in