

# الگوریتم کنترلی جامع برای مبدل دوطرفه به منظور مدیریت پیش بین انرژی یک سیستم خورشیدی ساختمان مسکونی

سجاد ملکی و رنامخواستی - سید محمد صادق زاده

دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شاهد

تهران، آزادراه خلیج فارس، روبه روی حرم مطهر امام خمینی (ره)

[s.maleki@shahed.ac.ir](mailto:s.maleki@shahed.ac.ir) , [sadeghzadeh@shahed.ac.ir](mailto:sadeghzadeh@shahed.ac.ir)

مبدل قدرت، برای ایجاد هماهنگی بین انتقال توان از سیستم خورشیدی و همچنین شارژ و دشارژ باتری براساس تقاضا و حالت شبکه و قیمت انرژی به یک سیستم مدیریت انرژی هوشمند نیاز است. سیستم های ذخیره انرژی ثابت کرده اند که یک بخش اساسی برای هر سیستم انرژی تجدیدپذیر می باشند [۳ و ۲]. در طی سال های گذشته فناوری های مختلفی برای ذخیره سازی انرژی ارائه شده است، اما از این میان باتری ها بدلیل ویژگی های منحصر بفرد مانند چگالی انرژی بالا و حجم و وزن کمتر نسبت به سایر ذخیره سازها خود را متمایز کرده اند [۴]. باتری های لیتیوم یون دارای مزیت های بسیاری در مقایسه با باتری های دیگر می باشند، به همین خاطر بیشترین حجم تولید باتری در جهان هم به سمت تولید این باتری ها کشیده شده است [۵]. یکی از معایب باتری های لیتیوم یون مقاومت کم در برابر اضافه شارژ و تخلیه کامل می باشد، بنابراین یکی از مواردی که در الگوریتم کنترل مدیریت انرژی سیستم باید بسیار مورد توجه قرار گیرد، حفاظت از باتری در برابر شارژ کامل و تخلیه کامل باتری می باشد.

چکیده — هدف از سیستم مدیریت هوشمند انرژی ارائه یک کنترلر سطح بالایی به منظور ایجاد هماهنگی در انتقال توان بین باتری، سیستم خورشیدی و شبکه می باشد. همچنین از دیگر اهداف این سیستم می توان به برداشت حداکثر توان از پنل های خورشیدی، به حداقل رساندن انرژی دریافتی از شبکه و کاهش تعداد دفعات شارژ و دشارژ باتری و محافظت از باتری در مقابل اورشارژ و تخلیه کامل باتری اشاره نمود. بدین منظور در این مقاله یک الگوریتم کنترلی جامع برای مبدل دوطرفه که بین بار و باتری قرار می گیرد به منظور مدیریت پیش بین انرژی یک سیستم خورشیدی ساختمان مسکونی ارائه شده است، که اهداف مورد نظر مانند افزایش عمر ذخیره ساز انرژی و همچنین کاهش صورت حساب برق مصرفی را برآورده خواهد ساخت.

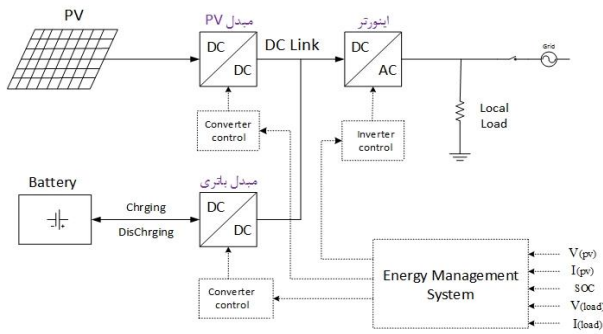
واژه های کلیدی — سیستم مدیریت انرژی؛ مبدل دوطرفه؛ الگوریتم کنترلی؛ سیستم خورشیدی ساختمان مسکونی؛ شارژ و دشارژ باتری

## ۲. سیستم کنترل مدیریت انرژی

پس از انتخاب مبدل دوطرفه برای کاربرد مورد نظر، می بایست یک سیستم مدیریت برای افزایش بازدهی شارش توان و به حداکثر رساندن پخش توان سیستم فتوولتائیک طراحی شود. سیستم مدیریت انرژی متناسب با مختصات و اطلاعات بین سه قسمت از سیستم عمل می کند: ۱- مبدل سیستم فتوولتائیک ۲- مبدل باتری ۳- اینورتر متصل به شبکه

## ۱. مقدمه

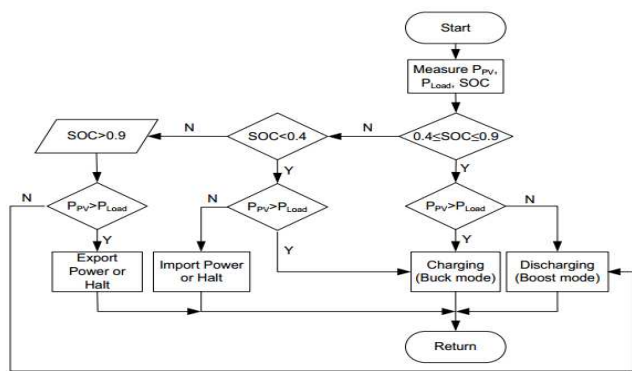
امروزه یکی از چالش های اساسی در استفاده از سیستم های انرژی خورشیدی عدم ثبات در تولید انرژی و نوسانات تولید می باشد [۱]. به منظور بهبود در نوسانات توان، سیستم های ذخیره انرژی مورد استفاده قرار می گیرند، به منظور ارتباط بین سیستم ذخیره ساز انرژی (مانند یک بانک باتری) و لینک DC ما قبل اینورتر به یک مبدل dc به dc دوطرفه نیاز می باشد، علاوه بر



شکل ۲: ساختار کلی یک سیستم خورشیدی مسکونی

### ۳. سیستم کنترل مدیریت انرژی پیشنهادی

سیستم کنترل مدیریت پیشنهادی مشابه سیستم‌های کنترلی گفته شده می‌باشد. این در حالی است که الگوریتم‌های مدل پیش‌بین سیستم‌های قبلی فاقد سادگی برای کاربردهای مسکونی می‌باشند و همچنین الگوریتم‌های آنی، فاقد پیش‌بینی هستند و بر روی پیش‌بینی تمرکز ندارند. بنابراین الگوریتم پیشنهادی از نظر کاربردی بسیار ساده است و همچنین شامل پیش‌بینی نیز می‌باشد، که برای کاربردهای مسکونی بسیار مناسب است. الگوریتم پیشنهادی برای مبدل dc به dc دوطرفه در سیستم مدیریت انرژی شبیه به الگوریتم ارائه شده در [۱۳] می‌باشد، اما محدودیت‌های توان و ملاحظات اقتصادی به این الگوریتم اضافه می‌شود. الگوریتم مدیریت انرژی ارائه شده در [۱۳] در «شکل ۳» آمده است. سه هدف اصلی سیستم کنترل مدیریت انرژی شامل کاهش صورت حساب برق، رعایت حالت شارژ و دشارژ باتری (SOC) و کاهش تعداد چرخه‌های شارژ و دشارژ می‌باشد، که موارد دوم و سوم باعث افزایش طول عمر باتری می‌شود، که با توجه به قیمت بالای سیستم‌های ذخیره‌ساز از اهمیت بالایی در طراحی الگوریتم برخوردار است.



شکل ۳: الگوریتم مدیریت انرژی ارائه شده در [۱۶]

در «شکل ۴» توابع توان هر یک از قسمت‌های سیستم نشان داده شده است، که در آن  $P(pv)$  توان تولیدی سیستم فتوولتائیک،  $P(bat)$  توان انتقالی

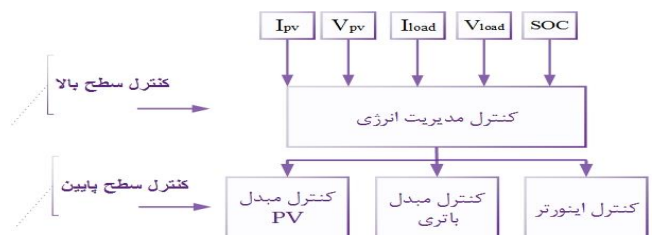
در مطالعات قبلی دو روش اصلی برای مدیریت و بهینه ساختن انرژی از منابع انرژی تجدیدپذیر ارائه شده است.

### ۲.۱. روش اول

این روش از یک کنترل پیش‌بین مدل برای مدیریت سیستم بهره می‌برد. همچنین از پیش‌بینی تولید و تقاضا بعلاوه پیش‌بینی قیمت بازار از طریق مدل‌های آماری و شبکه عصبی فازی استفاده می‌کند. چنین سیستم‌های مدیریتی را می‌توان در [۶-۸] مشاهده نمود. همچنین الگوریتم ارائه شده در [۹] مزایای بسیاری برای سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه در مقیاس بزرگ را دارا می‌باشد، جایی که بهینه‌سازی و پاسخ زمانی ضروری است. با این حال، ممکن است برای یک سیستم فتوولتائیک در مقیاس کوچک این داده‌ها در دسترس نباشد.

### ۲.۲. روش دوم

یک روش مستقیم است، که حالت‌های سیستم را ارزیابی می‌کند و بلافاصله در مورد مد عملکردی برای سیستم تصمیم گرفته می‌شود و سیگنال‌های کنترلی برای مبدل‌ها در سیستم تولید می‌شوند. وظایف نمونه چنین سیستم مدیریتی شامل ردیابی ماکزیمم توان، برآورده کردن حالت شارژ (SOC (state of charge)، بهینه سازی توزیع توان باتری و کنترل اینورتر می‌باشد. نمونه این سیستم‌ها را می‌توان در [۱۰-۱۴] دید. این سیستم‌ها یک ساختار مدیریتی عمومی را در اختیار می‌گذارند، که شامل یک کنترلر سطح بالایی است که برای مد عملکرد تصمیم می‌گیرد و سیگنال‌های مرجع را برای کنترل کننده‌های پایین دستی (مبدل‌ها و اینورتر) ارسال می‌کند. در «شکل ۲» ساختار کلی یک سیستم خورشیدی مسکونی نمایش داده شده است، همانطور که در ساختار سیستم مدیریت انرژی در «شکل ۱» نشان داده شده است، کنترل سطح پایین از سه قسمت تشکیل شده است، که در آن کنترلر مبدل PV وظیفه اجرای الگوریتم MPPT برای بهره برداری توان ماکزیمم را برعهده دارد، کنترلر مبدل باتری وظیفه کنترل شارژ و دشارژ باتری با اجرای دو مد عملکردی باک و بوست بر روی مبدل را اجرا خواهد کرد و کنترلر اینورتر کنترل ولتاژ و همچنین کنترل توان اکتیو و راکتیو را برعهده خواهد داشت.



شکل ۱: ساختار سیستم مدیریت انرژی

رعایت حالت شارژ برای این باتری‌ها حائز اهمیت می‌باشد، که در این الگوریتم برآورده کردن حالت شارژ (SOC) و به حداقل رساندن تعداد چرخه‌های شارژ و دشارژ گنجانده شده است. با توجه به موارد اشاره شده برای طراحی الگوریتم می‌بایستی اولویت‌های تامین مشخص شود، که این اولویت‌ها در جدول زیر آمده است.

جدول ۱: اولویت‌های تامین بار

اولویت ۱	PV
اولویت ۲	Grid== if ( Tariff(now) < Tariff(later) )
اولویت ۳	battery== if ( Tariff(now) > Tariff(later) )

با توجه به اولویت‌های جدول بالا الگوریتم شارژ و دشارژ باتری توسط مبدل dc به dc دو طرفه در سیستم کنترل مدیریت انرژی به صورت «شکل ۵» طراحی شده است. که در آن P(pv) توان تولیدی سیستم فتوولتائیک، P(load) توان مصرفی، SOC حالت شارژ باتری، P(pv-f) پیش‌بینی تولید سیستم خورشیدی، P(load-f) پیش‌بینی توان مصرفی، Tariff(now) تعرفه برق در زمان کنونی، Tariff(later) تعرفه برق در زمان بعد، BCN(bidirectional converter) مبدل دو طرفه می‌باشد.

### ۳.۱. مدل پیش‌بینی بار

ساده‌ترین مدل‌های پیش‌بینی، مدل‌های رگرسیون خطی مانند [۱۵] می‌باشند. مدل‌های رگرسیون خطی برای پیاده‌سازی و داشتن ساختارهای مختلف ساده هستند. مدل انتخاب شده برای سیستم کنترل مدیریت انرژی در این مقاله یک مدل خطی است که پیش‌بینی یک بار مسکونی را بر اساس تاریخ گذشته خود انجام می‌دهد، که در این مدل ۴ روز گذشته در نظر گرفته شده است. این مدل با توجه به [۱۵] به صورت زیر بیان می‌شود:

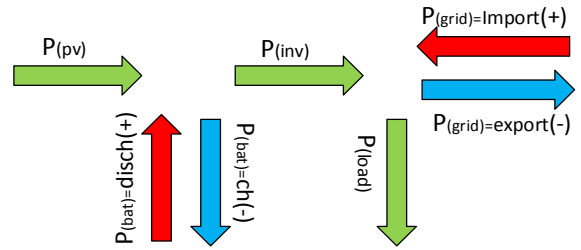
$$d(t) = [d(t-1) \ d(t-2) \ d(t-3) \ d(t-4)] \times \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} \quad (6)$$

که برای پیدا کردن پارامترهای (a) مجموعه‌ای از حداقل ۸ روز از داده‌های بار مورد نیاز است. و پارامترهای a1 تا a4 را می‌توان بصورت زیر پیدا کرد:

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d(4) & d(3) & d(2) & d(1) \\ d(5) & d(4) & d(3) & d(2) \\ d(6) & d(5) & d(4) & d(3) \\ d(7) & d(6) & d(5) & d(4) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} d(5) \\ d(6) \\ d(7) \\ d(8) \end{bmatrix} \quad (7)$$

پس از پیدا کردن این پارامترها، بار را می‌توان به سادگی با ارائه مصرف بار برای ۴ روز گذشته پیش‌بینی نمود.

باتری، P(inv) توان انتقالی اینورتر، P(load) توان مصرفی توسط بار و P(grid) توان انتقالی شبکه می‌باشد.



شکل ۴: توابع توان قسمت های مختلف سیستم

همانطور که در «شکل ۴» مشخص است وقتی از باتری توان گرفته می‌شود یا به اصطلاح باتری دشارژ می‌شود، علامت توان انتقالی از باتری مثبت در نظر گرفته می‌شود، و در صورتی که باتری شارژ شود علامت توان انتقالی باتری منفی در نظر گرفته می‌شود. توان انتقالی اینورتر از رابطه (۱) بدست می‌آید که در آن علامت P(bat) با توجه به شارژ و دشارژ باتری مشخص می‌شود.

$$P(inv) = P(pv) + P(bat) \quad (1)$$

توان انتقالی از شبکه هم از رابطه (۲) بدست می‌آید و همانطور که در «شکل ۴» مشخص است علامت توان گرفته شده از شبکه مثبت و علامت توان داده شده به شبکه منفی در نظر گرفته می‌شود.

$$P(grid) = P(inv) - P(load) \quad (2)$$

با توجه به موارد اشاره شده، تابع انرژی این سیستم به صورت زیر می‌باشد:

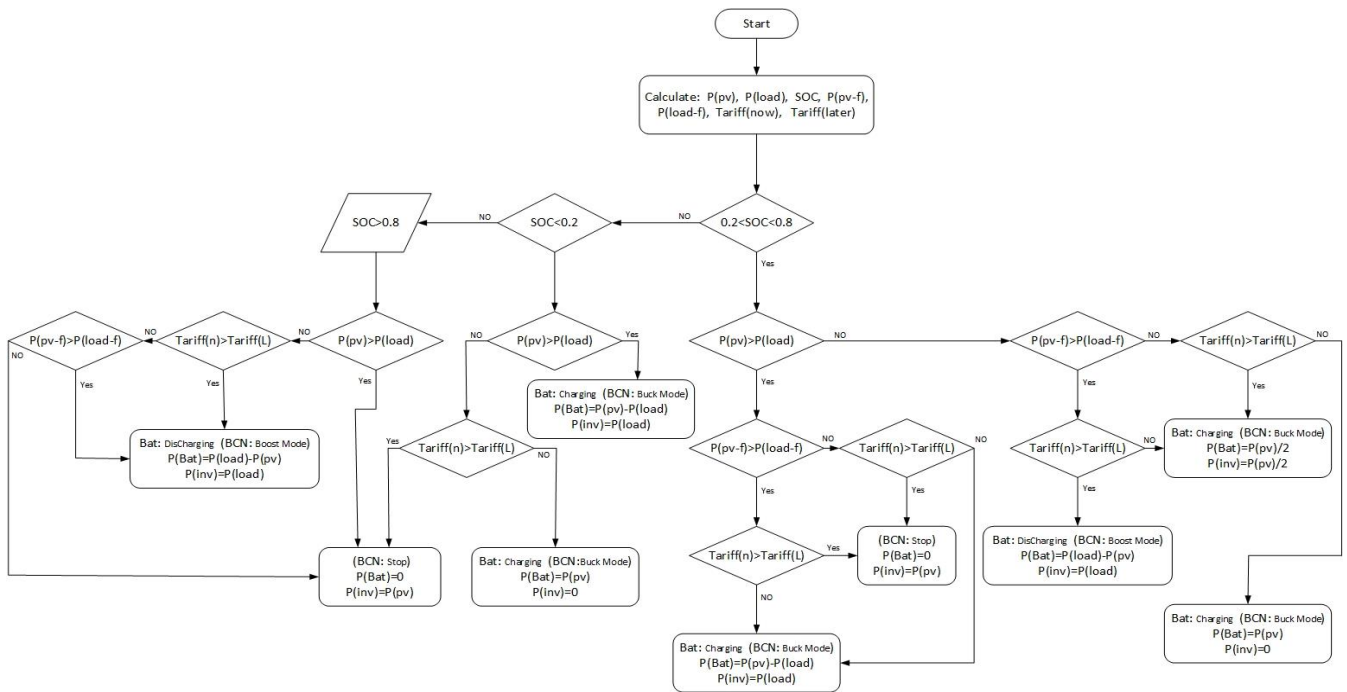
$$E_{grid}(t) = E_{load}(t) - E_{pv}(t) - E_{bat}(t) \quad (3)$$

و قیمت برق به صورت زیر است:

$$price(t) = E_{grid}(t) \cdot C(t) \quad (4)$$

$$price(t) = (E_{load}(t) - E_{pv}(t) - E_{bat}(t)) \cdot C(t) \quad (5)$$

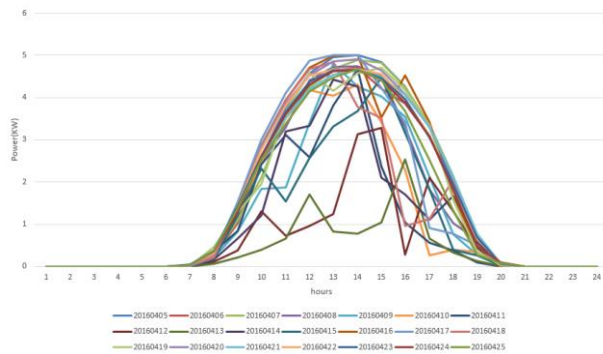
در روابط بالا C(t) بهای برق می‌باشد. با توجه به رابطه (۵) می‌توان دید که بار نمی‌تواند تغییر کند و تنها کاری هم که برای کنترل انرژی PV می‌توان انجام داد به کار بردن الگوریتم MPPT می‌باشد. بنابراین بهینه‌سازی قیمت که تابعی از زمان می‌باشد بر بهینه استفاده کردن از انرژی باتری متکی است و از آنجایی که انرژی باتری می‌تواند هم مثبت و هم منفی باشد، تابع قیمت باید در شارژ باتری کاهش و در دشارژ باتری افزایش یابد. به حداکثر رساندن عمر باتری دارای پارامترهای بسیاری می‌باشد، و با توجه به [۵]، باتری‌های لیتیوم یون در برابر اضافه شارژ و تخلیه کامل، مقاومت بسیار کمی دارند، بنابراین



شکل ۵: الگوریتم کنترلی پیشنهادی برای مبدل دوطرفه در سیستم مدیریت انرژی

### ۳.۲. توان تولیدی سیستم فتوولتائیک

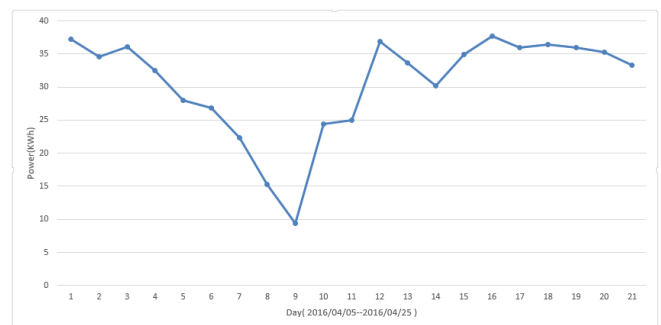
با توجه به شرایط آب و هوایی دما و تابش در روزهای مختلف متفاوت می‌باشد، برای تست الگوریتم پیشنهادی از داده‌های یک اینورتر ۵ کیلوواتی نصب شده در دانشگاه شاهد استفاده شده است. برای مدل پیش‌بینی تولید نیز، از روش رگرسیون خطی که در قسمت مدل پیش‌بینی بار گفته شد استفاده شده است. در «شکل‌های ۷ و ۸» بترتیب نمودارهای تولید کلی سیستم خورشیدی در یک روز و تولید سیستم در ساعات مختلف روز در یک دوره ۲۱ روزه از سال نشان داده شده است.



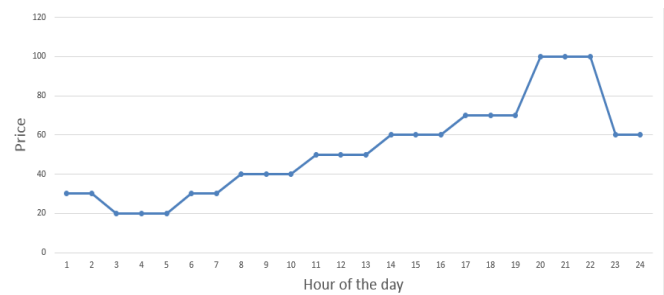
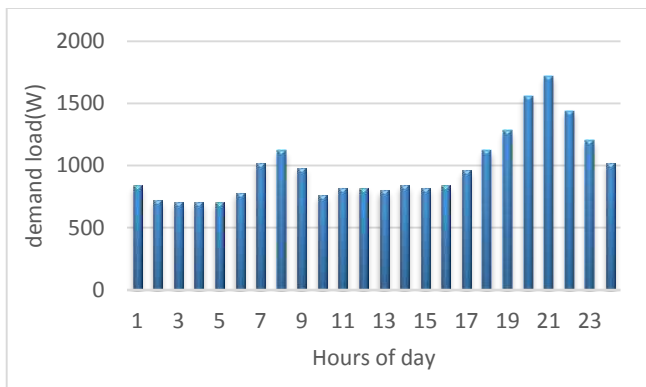
شکل ۷: نمودار تولید سیستم PV در ساعات مختلف در ۲۱ روز متفاوت

### ۳.۳. مدل تعرفه

با توجه به اینکه یکی از مزایای الگوریتم کنترلی پیشنهادی، کاهش صورت حساب برق مصرفی یک ساختمان مسکونی مجهز به سیستم خورشیدی و سیستم ذخیره‌ساز بیان شد، در این سیستم، قیمت گذاری پویا در الگوریتم مدیریت انرژی به کار گرفته شده است. قیمت برق در طول روز متغیر است و بالاترین قیمت مربوط به بالاترین تقاضا یا اوج مصرف می‌باشد. قیمت-گذاری برق در نقاط مختلف جهان با یکدیگر متفاوت است اما با بررسی چندین سایت که قیمت برق در طول ساعات شبانه‌روز را درج کرده بودند بدون توجه به واحد پول آن کشور یک مدل تعرفه برق بر اساس قیمت در ساعات مختلف استخراج شد، که نمودار آن در «شکل ۸» نمایش داده شده است.

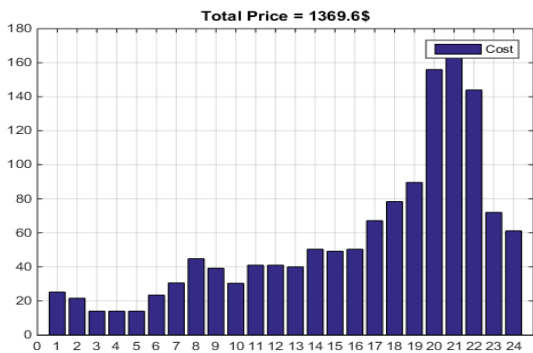


شکل ۸: نمودار تولید روزانه سیستم فتوولتائیک در یک دوره ۲۱ روزه



شکل ۸: مدل تعرفه برق براساس ساعات مختلف شبانه روز

شکل ۹: نمودار نمونه بار مصرفی یک ساختمان مسکونی در ساعات مختلف



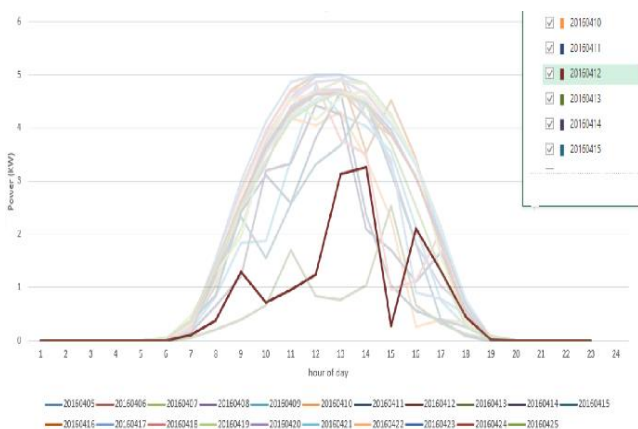
شکل ۱۰: نمودار قیمت برق بر اساس نمودار نمونه بار مصرفی در ساعات

مختلف بدون حضور سیستم خورشیدی

در ادامه دو ارزیابی از دو نمونه در دو روز متفاوت آورده شده است.

#### ۴.۱. نمونه اول

در شکل‌های زیر نمودار تولید سیستم فتوولتائیک در تاریخ ۲۰۱۶/۴/۱۲ و مقادیر کلی پارامترهای سیستم، میزان شارژ و دشارژ باتری، حالت شارژ باتری و صورت حساب برق نمایش داده خواهد شد.



شکل ۱۱: نمودار تولید سیستم فتوولتائیک در تاریخ ۲۰۱۶/۰۴/۱۲

#### ۳.۴. ظرفیت سیستم فتوولتائیک و سیستم ذخیره‌ساز

برای تست الگوریتم ارائه شده برای مبدل دوطرفه در سیستم کنترل مدیریت انرژی می‌بایستی ظرفیت و اندازه سیستم فتوولتائیک و سیستم ذخیره‌ساز مشخص شود، این در حالی است که الگوریتم طراحی شده برای هر سایز و اندازه‌ای از این سیستم بهینه می‌باشد. و موارد مورد نظر مانند کاهش صورت حساب برق و پارامترهای افزایش طول عمر باتری را فراهم می‌آورد. در [۱۶] یک تحلیل کلی در مورد مقدار بهینه برای ظرفیت این سیستم‌ها در چندین سناریو و در سال‌های مختلف ارائه شده است. که برای سال ۲۰۱۶ ظرفیت سیستم فتوولتائیک در حالت بهینه ۳,۷۵ کیلووات و ظرفیت سیستم ذخیره ساز ۵ کیلووات ساعت ارائه شده است.

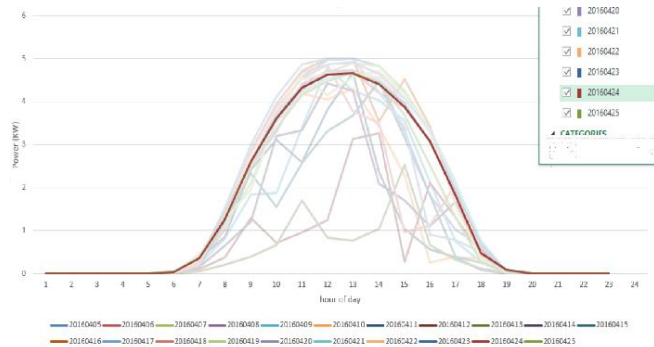
#### ۴. نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت الگوریتم پیشنهادی برای مبدل دوطرفه در سیستم کنترل مدیریت انرژی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور نتایج حاصل با نتایج الگوریتم موجود در [۱۳] مقایسه می‌گردد. مبدل دوطرفه یک مبدل ۱ کیلوواتی در نظر گرفته شده است. برای اینکه مقایسه در حالت‌های مختلف ساده باشد ارزیابی برای یک نمونه بار مصرفی در یک روز استفاده شده است. در «شکل ۹» نمودار یک نمونه بار مصرفی برای یک ساختمان مسکونی در ساعات مختلف شبانه‌روز نمایش داده شده است، که با توجه به تعرفه‌های نمونه ارائه شده صورت حساب برق بدون وجود سیستم خورشیدی برابر با ۱۳۶۹,۶ می‌شود، که صورت حساب با توجه به تعرفه در هر ساعت نیز در «شکل ۱۰» محاسبه و نشان داده شده است.

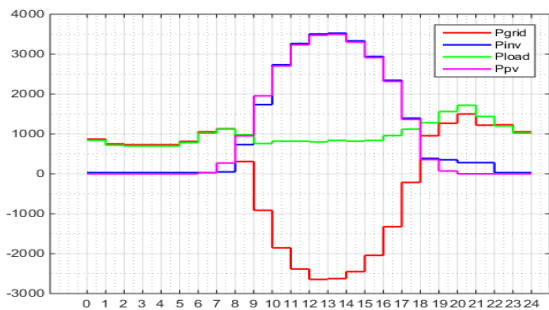
الگوریتم پیشنهادی ۱۴ درصد نسبت به الگوریتم [۱۳] کاهش می‌یابد. همچنین پارامترهای به حداکثر رساندن عمر باتری در الگوریتم مورد نظر مشاهده می‌شود، که در آن (SOC) در تمام فرآیند شارژ و دشارژ باتری در محدوده ۲۰ تا ۸۰ درصد است، و تعداد چرخه‌های شارژ و دشارژ حداقل می‌باشد.

### ۴.۲. نمونه دوم

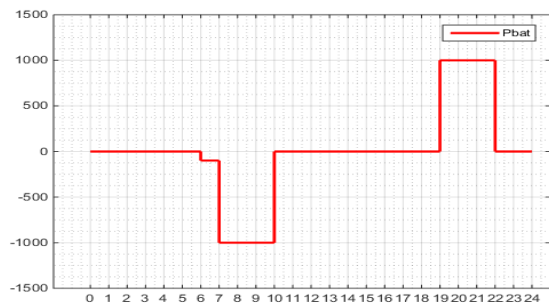
در شکل های زیر نمودار تولید سیستم فتوولتائیک در تاریخ ۲۰۱۶/۴/۲۴ و مقادیر کلی پارامترهای سیستم، میزان شارژ و دشارژ باتری، حالت شارژ باتری و صورت حساب برق نمایش داده خواهد شد.



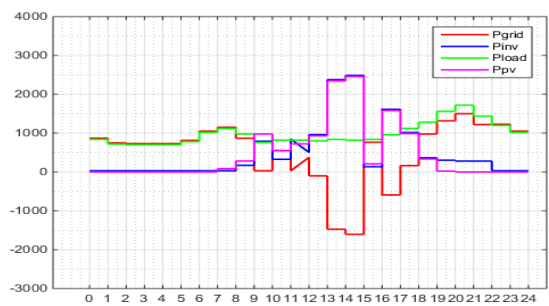
شکل ۱۶: نمودار تولید سیستم فتوولتائیک در تاریخ ۲۰۱۶/۰۴/۲۴



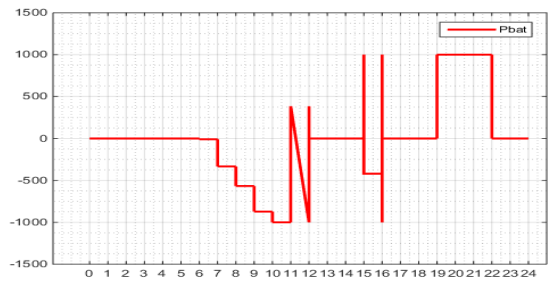
شکل ۱۷: نمودار تغییرات توان شبکه، اینورتر، بار و PV با پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی برای نمونه دوم



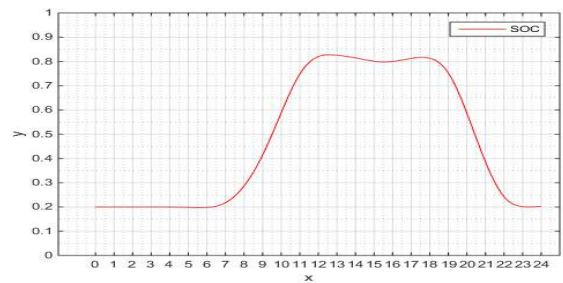
شکل ۱۸: نمودار شارژ و دشارژ باتری با الگوریتم پیشنهادی برای نمونه دوم



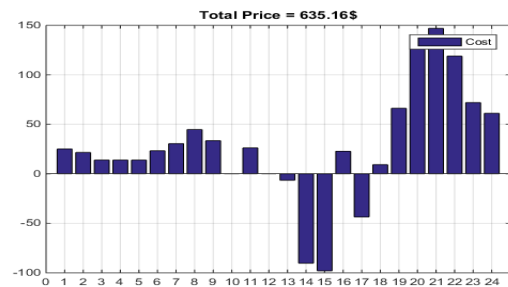
شکل ۱۹: نمودار تغییرات توان شبکه، اینورتر، بار و PV با پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی برای نمونه اول



شکل ۲۰: نمودار شارژ و دشارژ باتری با الگوریتم پیشنهادی برای نمونه اول



شکل ۲۱: نمودار (SOC) با الگوریتم پیشنهادی برای نمونه اول



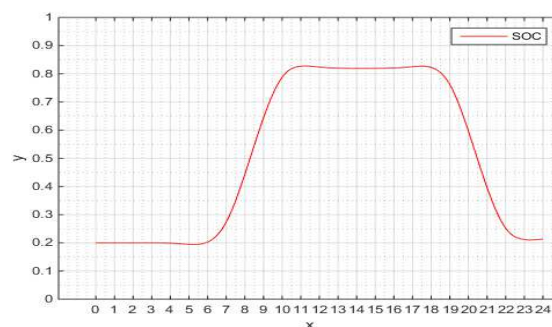
شکل ۲۲: بهای برق مصرفی در هر ساعت و صورت حساب برق با الگوریتم پیشنهادی برای نمونه اول

صورت حساب برق در روز مشخص شده با پیاده سازی الگوریتم موجود در [۱۳] معادل ۷۳۷ و با پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی معادل ۶۳۵ می‌باشد، که برای این روز با توجه به تولید سیستم PV، صورت حساب با استفاده از

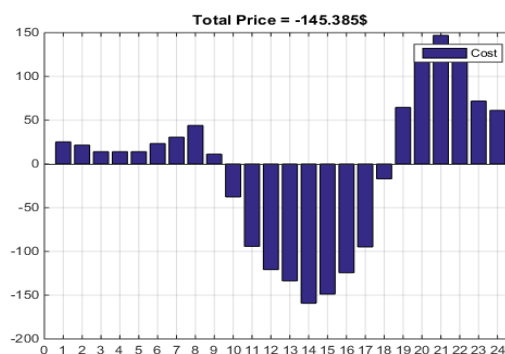
افزایش عمر باتری، از جمله رعایت حالت شارژ (SOC)، که در آن از تخلیه و شارژ کامل باتری جلوگیری می‌شود و به حداقل رساندن چرخه‌های شارژ و دشارژ باتری می‌باشد، که با توجه به نتایج حاصل این الگوریتم اهداف مورد نظر را برای سیستم خورشیدی یک ساختمان مسکونی برآورده می‌سازد.

## منابع

- [1] Wang, Lu, Hongming Zhang, and Dingguo Chen. "Intermittency indexes for renewable energy resources." *2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting*. IEEE, 2013.
- [2] Qian, Kejun, et al. "Benefits of energy storage in power systems with high level of intermittent generation." *Electricity Distribution-Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on*. IET, 2009.
- [3] Lamichhane, Sumiti, H. Nazaripouya, and S. Mehraeen. "Micro grid stability improvements by employing storage." *Green Technologies Conference, 2013 IEEE*. IEEE, 2013.
- [4] Kiehne, Heinz Albert. *Battery technology handbook*. Vol. 118. CRC Press, 2003.
- [5] S. Shaw, *Graphite demand growth: the future of lithium-ion batteries in EVs and HEVs*, 37th ECGA General Assembly, Roskill Information Services, 2013.
- [6] Valverde, L., C. Bordons, and F. Rosa. "Power management using model predictive control in a hydrogen-based microgrid." *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2012.
- [7] Garcia, F., and C. Bordons. "Regulation service for the short-term management of renewable energy microgrids with hybrid storage using model predictive control." *Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE*. IEEE, 2013.
- [8] Jia, Yubin, and X. J. Liu. "Distributed model predictive control of wind and solar generation system." *Control Conference (CCC), 2014 33rd Chinese*. IEEE, 2014.
- [9] García, Pablo, et al. "ANFIS-based control of a grid-connected hybrid system integrating renewable energies, hydrogen and batteries." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 10.2 (2014): 1107-1117.
- [10] Choi, Seong-Chon, et al. "Versatile power transfer strategies of PV-battery hybrid system for residential use with energy management system." *2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014-ECCE ASIA)*. IEEE, 2014.
- [11] Trifkovic, Milana, et al. "Modeling and control of a renewable hybrid energy system with hydrogen storage." *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 22.1 (2014): 169-179.
- [12] Khanh, Loc Nguyen, et al. "Power-management strategies for a grid-connected PV-FC hybrid system." *IEEE transactions on power delivery* 25.3 (2010): 1874-1882.
- [13] Zamora, Ramon, and Anurag K. Srivastava. "Energy management and control algorithms for integration of energy storage within microgrid." *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*. IEEE, 2014.
- [14] Hasan, K. N., et al. "Control of energy storage interface with a bidirectional converter for photovoltaic systems." *Power Engineering Conference, 2008. AUPEC'08. Australasian Universities*. IEEE, 2008.
- [15] Soliman, Soliman Abdel-hady, and Ahmad Mohammad Al-Kandari. *Electrical load forecasting: modeling and model construction*. Elsevier, 2010.
- [16] Hoppmann, Joern, et al. "The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems—A review and a simulation model." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39 (2014): 1101-1118.



شکل ۱۹: نمودار (SOC) با الگوریتم پیشنهادی برای نمونه دوم



شکل ۲۰: بهای برق مصرفی در هر ساعت و صورت حساب برق با الگوریتم

## پیشنهادی برای نمونه دوم

صورت حساب برق در روز مشخص شده با پیاده سازی الگوریتم موجود در [۱۳] در سیستم کنترل مدیریت انرژی معادل منفی ۱۰۸ می باشد در واقع ۱۰۸ واحد به شبکه برق فروخته شده است. و با پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی صورت حساب معادل منفی ۱۴۵ می باشد، که برای این روز با توجه به تولید سیستم PV، برق فروخته شده به شبکه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ۳۴ درصد نسبت به الگوریتم [۱۳] در این روز افزایش می‌یابد.

با ارزیابی الگوریتم پیشنهادی برای داده های ۲۱ روز از تولید سیستم فتوولتائیک و مقایسه نتایج با الگوریتم [۱۳]، الگوریتم پیشنهادی به طور متوسط ۲۳ درصد سودآوری در پی خواهد داشت، این در حالی است که در این الگوریتم پارامترهای مورد نظر برای افزایش عمر باتری نیز در نظر گرفته شده است.

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم کنترلی برای مبدل دوطرفه در سیستم مدیریت انرژی یک ساختمان مسکونی مجهز به سیستم خورشیدی و سیستم ذخیره ساز پیشنهاد شد، که این الگوریتم یک الگوریتم پیش‌بین می‌باشد، و از جمله اهداف آن کاهش صورت حساب برق و رعایت پارامترهای مورد نظر برای