



## کنترل پیش بینی مدل جهت مدیریت کارآمد منابع انرژی در ساختمان هوشمند

صادق رنجبر<sup>۱</sup>، سید ایمان سیدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران. [Sadegh.ranjbar1@yahoo.com](mailto:Sadegh.ranjbar1@yahoo.com)

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران. [SI.Sayedi@iau.ac.ir](mailto:SI.Sayedi@iau.ac.ir)

### چکیده

مدیریت کارآمد منابع انرژی در ساختمان های هوشمند بسیار مهم است. در این کار، کنترل پیش بینی مدل (MPC) برای به حداقل رساندن هزینه های اقتصادی خریداران مجهز به واحدهای تولید، سیستم های ذخیره انرژی و وسایل نقلیه الکتریکی استفاده می شود. برای این منظور، کنترل پیش بینی کننده منابع انرژی موجود را با بهره برداری از اطلاعات آتی در مورد قیمت انرژی، پروفایل های قدرت جذب و تولید، و استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی (EV) مانند زمان خروج و ورود و مصرف انرژی پیش بینی شده، مدیریت می کند. EV باتری ها به طور خاص، بر خلاف روش اکتشافی، رویکرد MPC ثابت شده است که قادر به مدیریت کارآمد منابع انرژی موجود برای اطمینان از شارژ مجدد کامل باتری EV در طول شب است. با هدف عملکرد بهینه از نظر به حداقل رساندن هزینه اقتصادی در سناریوهای قیمت متغیر با زمان، کاهش تنش های جریان rms و قابلیت شارژ مجدد باتری های EV به طور خاص، بر خلاف روش اکتشافی، رویکرد MPC ثابت شده است که قادر به مدیریت کارآمد منابع انرژی موجود برای اطمینان از شارژ مجدد کامل باتری EV در طول شب و در عین حال همیشه رعایت تمام محدودیت های سیستم است. علاوه بر این، کنترل پیشنهادی نشان داده می شود که قادر است حداکثر جذب توان از شبکه را در محدوده های تعیین شده محدود نگه دارد، که یک ویژگی ارزشمند در سناریوهایی با پذیرش گسترده EVs به منظور محدود کردن استرس بر روی سیستم الکتریکی است و قابلیت شارژ مجدد باتری های EV به طور خاص، بر خلاف روش اکتشافی، رویکرد MPC ثابت شده است که قادر به مدیریت کارآمد منابع انرژی موجود برای اطمینان از شارژ مجدد کامل باتری EV در طول شب و در عین حال همیشه رعایت تمام محدودیت های سیستم است. علاوه بر این، کنترل پیشنهادی نشان داده می شود که قادر است حداکثر جذب توان از شبکه را در محدوده های تعیین شده محدود نگه دارد، که یک ویژگی ارزشمند در سناریوهایی با پذیرش گسترده EVs به منظور محدود کردن استرس بر روی سیستم الکتریکی است. علاوه بر این، کنترل پیشنهادی نشان داده می شود که قادر است حداکثر جذب توان از شبکه را در محدوده های تعیین شده محدود نگه دارد.

**واژه های کلیدی:** مدیریت کارآمد منابع انرژی؛ رویکرد اکتشافی؛ مدل کنترل پیش بینی؛ ساختمان های هوشمند

## ۱-مقدمه

مقررات زدایی صنعت برق اخیراً به موضوعی مورد توجه سرمایه گذاران، تنظیم کننده ها و سایر شرکت کنندگانی تبدیل شده است که هدفشان دستیابی به کربن زدایی در بخش انرژی و استفاده کارآمدتر از انرژی است [۱]. در این زمینه، شبکه‌های هوشمند امکان افزایش بهره‌وری مصرف برق از نقاط تولید تا مصرف کنندگان نهایی را فراهم می‌آورند و مشارکت مشتریان را در سمت تقاضا ممکن می‌سازند. نانوشبکه‌های خانگی معمولاً از منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) و سیستم‌های ذخیره انرژی (ESS) تشکیل شده‌اند که می‌توانند در صورت نیاز برای ذخیره یا آزادسازی انرژی مورد استفاده قرار گیرند. وسایل نقلیه الکتریکی (EVs) با استفاده از برق تولید شده توسط منابع تجدید پذیر به عنوان یک راه حل امیدوارکننده برای بخش حمل و نقل پایدار در آینده نزدیک ظاهر می‌شوند [۲]. خودروهای الکتریکی از بسته های باتری قابل شارژ برای ذخیره انرژی مورد نیاز برای پیشرا نه استفاده می کنند. ساختمان‌های هوشمند را می‌توان به نقاط شارژی مجهز کرد که باتری‌های EV را می‌توان برای مثال در طول شب شارژ کرد [۳]. از سوی دیگر، نگرانی هایی مطرح شده است که مربوط به حداکثر توان مورد نیاز برای امکان شارژ مجدد مناسب باتری های EV است [۴].

در این زمینه، پاسخ تقاضا (DR) نقش مهمی در هماهنگی تولید و مصرف انرژی توسط خریداران خواهد داشت [۷ و ۸]. برنامه‌های DR را می‌توان به عنوان (i) مبتنی بر انگیزه، که در آن اقدامات با ارائه مشوق‌ها بر رفتار خریداران تأثیر می‌گذارد، یا (ii) مبتنی بر قیمت، که در آن از تغییرات قیمت برق استفاده می‌شود تا خریداران را وادار به تطبیق مصرف برق خود کنند دسته‌بندی می‌شوند [۱۰]. تحت این دسته اخیر، زمان استفاده (TOU) و قیمت گذاری بلادرنگ (RTP) متداول ترین رویکردهای اتخاذ شده برای قیمت گذاری خرده فروشی با TOU، قیمت برق به منظور پیروی از شکل تقاضا تغییر می‌کند (مثلاً قیمت‌های بالاتر در دوره‌های اوج بار)، در حالی که RTP، قیمت‌ها برای پیروی از روندهای بازار برق تغییر می‌کنند.

در چنین سناریویی، مدیریت منعطف و کارآمد منابع انرژی مصرف کنندگان به منظور تبدیل DR به یک راه حل برد-برد برای سیستم برق و مصرف کنندگان بسیار مهم است. پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت کارآمد می‌تواند از طریق توسعه استراتژی‌های کنترلی پیشرفته که هدف آن افزایش انعطاف‌پذیری تقاضا و به حداقل رساندن هزینه‌های اقتصادی خریداران است، محقق شود [۱۴]. در این زمینه، مدل کنترل پیش بینی (MPC);kjpg \da، یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌های کنترلی برای دستیابی به مدیریت کارآمد منابع کاربران است. MPC یک استراتژی کنترلی پیشرفته است که هدف آن به حداقل رساندن یک تابع هدف در یک افق پیش‌بینی است و در عین حال همیشه مجموعه‌ای از محدودیت‌های سیستم را برآورده می‌کند. به دلیل تطبیق پذیری آن، تا حد زیادی در کاربردهای سیستم های قدرت مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، در [۲۴]، یک روش MPC برای یک ریزشکه مجهز به منابع فتوولتائیک (PV) و ESS توسعه داده شد در حالی که هم هزینه های اقتصادی ارائه شده توسط تبادل برق با شبکه بالادستی و هم هزینه سایش باتری را در تابع هدف در نظر می‌گرفت. در آن کار، نتایج MPC با توجه به تفاوت بین قیمت خرید و فروش مورد مطالعه قرار گرفت، اما قیمت برق ثابت نگه داشته شد. قیمت های برق متغیر در [۲۵]. در نظر گرفته شد که در آن یک سیستم مدیریت انرژی مبتنی بر MPC توسعه یافته و به صورت تجربی مورد آزمایش قرار گرفت. زیرساخت آزمایشی در آزمایشگاه Flex Elec در دانشگاه ناتینگهام قرار داشت و شامل پانل‌های ESS و PV بود. هدف MPC به حداقل رساندن قبض برق بود. در این مطالعه، توجه ویژه ای به عملکرد اقتصادی کنترل پیش بینی شد زیرا پارامترهای مختلف مانند ظرفیت ESS و اندازه PV متفاوت بودند. در [۲۶] MPC اقتصادی توسعه یافته با یک روش کنترل ساده که به روشی مبتنی بر قانون اجرا شده بود، مقایسه شد. عملکرد MPC توسعه یافته برای سناریوهای قیمتی مختلف در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت و تاکید شد که

در مقایسه با راه‌حل‌های کنترلی ساده، MPC مزایایی را با قیمت‌های متغیر زمان ارائه می‌دهد و این مزایا با افزایش تنوع قیمت انرژی افزایش می‌یابد.

در این کار، از کنترل پیش‌بینی برای مدیریت کارآمد یک نانوشبکه خانگی مجهز به منبع PV، یک ESS، و یک اتصال به شبکه بالادست، با وظیفه خاص شارژ مجدد باتری یک EV و در عین حال انجام تمام محدودیت‌های عملیاتی استفاده می‌شود. یک سناریوی معمولی که فرض می‌کند باتری EV یک شبه شارژ می‌شود تا از قیمت‌های پایین‌تری که معمولاً توسط خرده‌فروشان اعمال می‌شود، استفاده شود، در نظر گرفته می‌شود. با بهره‌برداری از پیش‌بینی‌های پروفایل جذب و تولید، قیمت انرژی، زمان حرکت و ورود EV، و مصرف انرژی روزانه باتری EV، کنترل پیش‌بینی منابع انرژی موجود را با هدف دوگانه مدیریت می‌کند:

- به حداقل رساندن هزینه‌های اقتصادی سیستم؛
- شارژ کامل باتری EV در طول شب با رعایت حداکثر محدودیت‌های برق مبادله شده در نقطه اتصال به شبکه.

سازماندهی مقاله به شرح زیر است. در بخش ۲، مدل سیستم نانوشبکه در نظر گرفته شده گزارش شده است. رویکرد اکتشافی در بخش ۳ توضیح داده شده است. بخش ۴ سیستم مدیریت انرژی پیشنهادی را بر اساس MPC توصیف می‌کند. در بخش ۵، رویکرد MPC و روش اکتشافی با در نظر گرفتن هزینه‌های اقتصادی به دست آمده در یک دوره شبیه‌سازی هفت روزه مقایسه می‌شوند، در حالی که بخش ۶ مقایسه عملکردی بین دو رویکرد کنترلی را پیشنهاد می‌کند. نتیجه‌گیری در بخش ۷ گزارش شده است.

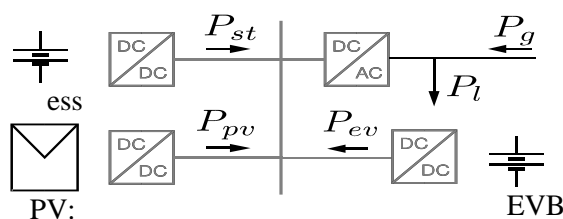
## ۲. مدل سیستم

ساختمان هوشمند تحت بررسی با  $a$  فراهم می‌شود که منابع انرژی و بارهای انرژی را همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، به هم متصل می‌کند. آن از:

- اتصال به شبکه رو به بالا که در آن به شدت تمرین می‌کنند. حداکثر قدرتی که می‌تواند از شبکه درخواست شود توسط  $P_{g, \max}$  حداکثر، که فرض می‌شود بزرگ‌تر از  $W$  باشد نشان داده می‌شود.
- منابع فتوولتائیک (PV)، که قدرت خروجی را تولید می‌کند.
- بارها، که انرژی را جذب می‌کنند.

• یک سیستم ذخیره انرژی (ESS) با این موضوع که تولید انرژی را تولید می‌کند و دارای کارایی مدیریتی است، حداکثر توان تخلیه حداکثر، حداکثر و حداکثر توان شارژ را در دقیقه برآورد می‌کند. محدوده ظرفیت ESS با بازه بسته  $[Est, \min, \max]$  مشخص شده است.

• یک باتری خودرو الکتریکی (EVB)، که انرژی را تولید می‌کند و ظرفیت  $N$ ،  $E_{ev}$  را دارد. در این مقاله فرض می‌شود که  $P_{ev} (P_{ev} 0) \text{ non } (P_{ev} 0)$  باشد، یعنی EVB نمی‌تواند به منابع دیگر سیستم قدرت بدهد. فاصله بسته  $[E_{ev}, \min, E_{ev}, \max]$  محدوده ظرفیت آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ساختمان هوشمند: مقادیر قدرت تحت بررسی

هم ESS و هم آن به عنوان یک سیستم زمان گسسته پویا با T به عنوان فاصله نمونه‌گیری مدل‌سازی شده‌اند:

$$E_{st}^+ = E_{st} - \Delta_{ev}^+ = P_{ev}T - E_{ev}E, P_{st}ET \quad (1)$$

که در آن  $E_{st}$  و  $E_{ev}$  انرژی ذخیره‌شده در ESS و EVB با بالانویس + با اشاره به ارزش متغیر در زمان زیر هستند.

مدل سیستم با Pst و Pev به عنوان ورودی می‌تواند در معادله زمان گسسته زیر خلاصه شود:

$$\begin{bmatrix} E_{st}^+ \\ E_{ev}^+ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{st} \\ E_{ev} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\Delta T & 0 \\ 0 & -\Delta T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{st} \\ P_{ev} \end{bmatrix} \quad (2)$$

طبق شکل ۱، معادله موازنه قدرت آن در شکل زیر داده شده‌است:

$$Pg + Pg + Pst + ppv = PI \quad (3)$$

### ۳. رویکرد Heuristic

در این مقاله، استراتژی MPC پیشنهادی با تکنیک مبتنی بر قاعده مقایسه می‌شود که از این پس رویکرد اکتشافی نامیده می‌شود.

وقتی EV به آن متصل می‌شود (یعنی، در طول شب)، روش اکتشافی تمام منابع موجود را به فرآیند شارژ آن اختصاص می‌دهد؛ به این منظور در هر مرحله زمانی، با توجه به مقدار فعلی وضعیت باتری شارژ باتری، با استفاده از (۱)، سیگنال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

زمانی که EV به آن متصل نیست (یعنی، در طول روز)، سیگنال Pev تبدیل می‌شود:

$$W_i = P_{ev} \quad (4)$$

روش اکتشافی برای رسیدن به  $Pg_{-0}$ ، در صورت امکان؛ در هر مرحله زمانی، مقادیر آن و  $PI - P_{ev}$  را با هم مقایسه می‌کند:

• اگر  $PI - P_{ev} > ppv$  کمبود توان از طریق ESS با این مساله راضی نباشد در حالی که ESS ظرفیت برق کافی نداشته باشد یا خالی باشد، این روش باعث می‌شود تا شبکه برق شبکه بتواند تقاضای مازاد را برآورده نماید. پس:

– اگر  $Pg$  کمتر از باشد یا برابر  $Pg$  حداکثر EV، قدرت شارژ توسط:

$$P_{ev} = P_{ev} \quad (5)$$

اگر  $Pg = Pg = Pg$  حداکثر، قدرت شبکه برای برآورده کردن محدوده حد بالایی تنظیم شده‌است:

$$Pg = Pg \text{ حداکثر} \quad (6)$$

EV منتج شده توسط (۳) تسلیم می‌شود:

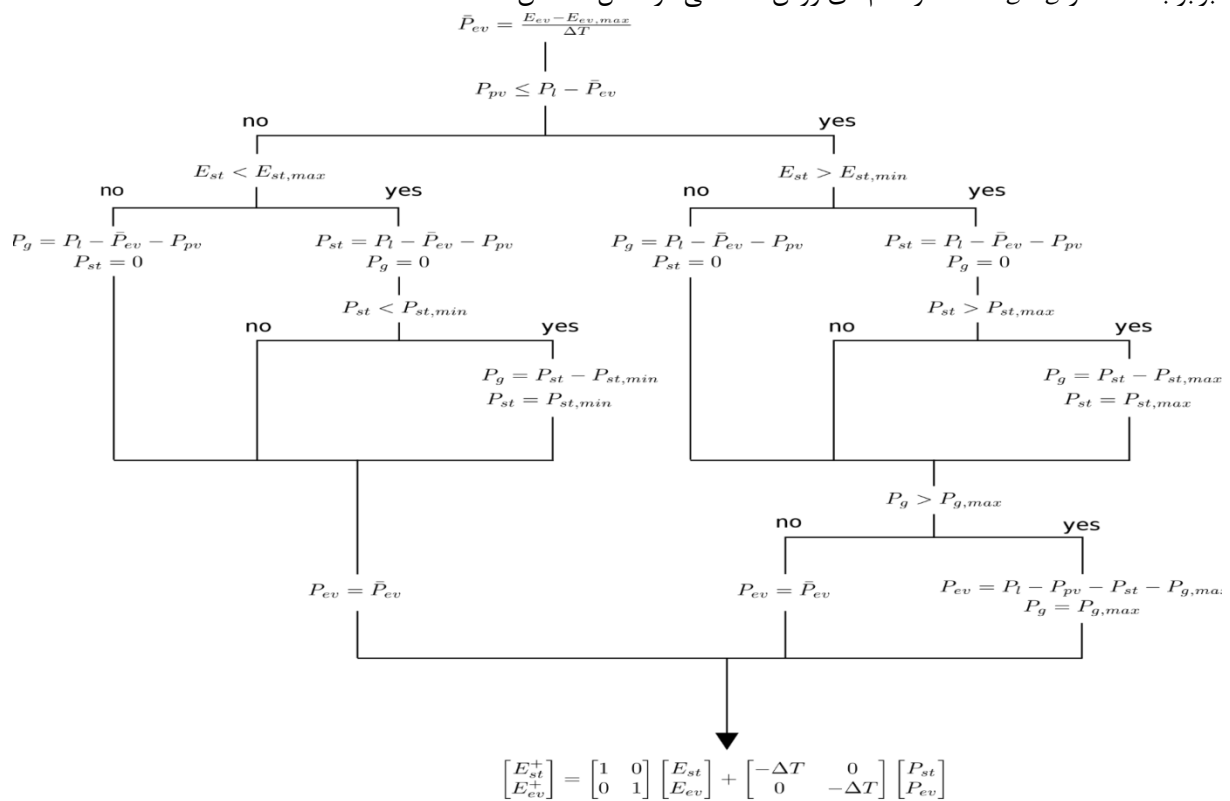
$$P_g - ppv - PI = P_{ev} \quad (7)$$

• اگر  $ppv > PI - P_{ev}$  باشد، توان اضافی در ESS ذخیره نشده است در صورتی که ESS با ظرفیت کافی کامل نباشد یا ظرفیت برق کافی نداشته باشد، برق استفاده نشده به شبکه انتقال داده می شود. تا آنجا که به EVB مربوط می شود، به این دلیل است که در این حالت، نابرابری زیر برقرار است:

نیروی واقعی جذب شده توسط باتری توسط:

$$= P_g \quad P_g == P_g \quad (8)$$

لازم به ذکر است که در هر گام زمانی، نیروی محاسبه توان محاسبه شده یک سیگنال فرضی است؛ آن واقعی شارژ  $P_{ev}$  برابر با  $P_{ev}$  اگر  $P_g$  حداکثر. گام های روش اکتشافی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- گام های روش اکتشافی

#### ۴. مدل کنترل پیشگويانه

کنترل پیش بین مدل یک استراتژی کنترل مبتنی بر مدل پیشرفته است که هدف آن بهینه سازی تکامل یک سیستم در طول زمان آینده است. در هر زمان نمونه گیری، کنترل پیش بین با به حداقل رساندن تابع هزینه بر روی یک افق پیش بینی در حالی که محدودیت های سیستم را در نظر می گیرد، سیگنال کنترلی را محاسبه می کند. تنها ورودی اول سیگنال اعمال می شود؛ سپس وضعیت مدل به روزرسانی می شود و عملیات بهینه سازی با اتخاذ استراتژی افق دور شونده تکرار می شود.

در فرمول‌بندی سیستم مدیریت انرژی پیشنهادی، روش MPC اطلاعات آینده در مورد جذب توان مورد انتظار و پروفیل نسلی، قیمت انرژی، زمان‌های حرکت و رسیدن، EV، و مصرف انرژی EVB روزانه با هدف:

• به حداقل رساندن هزینه‌های کلی اقتصادی سیستم

• مدیریت سیستم برای رسیدن به یک شارژ کامل در طول شب.

در این مقاله، یک مورد خاص در نظر گرفته می‌شود که در آن اطلاعات آینده در مورد پروفایل تولید و جذب، ترک و زمان رسیدن EV، و مصرف انرژی EVB روزانه مشخص می‌شود، زیرا هدف برجسته کردن مزایایی است که به طور بالقوه می‌تواند با بهره‌برداری از رویکردهای پیش‌بینی بدست‌آمده باشد. مطالعه این که چگونه خطاهای پیش‌بینی ممکن است عملکرد روش MPC را تنزل دهد، هدف کار آینده خواهد بود.

#### ۴.۱. عملکرد هزینه

روش MPC ورودی‌های کنترلی را محاسبه می‌کند که تابع هزینه را به حداقل می‌رساند.

$$\{P_{st}^{min}(k)\}, J, e = J \quad (10)$$

با توجه به اینکه

$$|P_{st}(k)|cess + (Pg) \min(k) e + (k) \min(k) \max(k) \max, NPmax1 = K \quad (11)$$

و

$$Jf = \text{مراقب } (TEM) \text{ است} \quad (12)$$

هزینه اقتصادی بالای افق پیش‌بینی است و با مجموع سه شرط زیر داده می‌شود:

- عبارت اول هزینه خرید انرژی است؛ CP، قیمت خرید است و در EUR / کیلووات ساعت اندازه‌گیری می‌شود.
- عبارت دوم، هزینه فروش انرژی است (این عبارت منفی است، که منجر به درآمد مثبت می‌شود)؛ CS قیمت فروش است و در EUR / کیلووات ساعت اندازه‌گیری می‌شود.
- عبارت سوم عبارت است از کاهش وزن ESS با ضریب cess که در یورو / کیلووات ساعت اندازه‌گیری می‌شود و در بخش ۴.۳ تعریف می‌شود این عبارت هزینه اقتصادی را به علت فرسایش واحد ذخیره در نظر می‌گیرد.

عبارت Jf نشان‌دهنده یک ارزش اقتصادی است که متناسب با حالت نهایی ESS در افق پیش‌بینی از طریق ضریب مثبت cf که در EUR / کیلووات اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر بالا آن ممکن است به طور کامل در انتهای خط افق پیش‌بینی شود، در حالی که مقادیر کمی به یک ESS خالی منتهی می‌شود. بهترین تنظیمات این ضریب به سناریوی قیمت تحت بررسی بستگی دارد و هدف آن کاهش تاثیر یک افق پیش‌بینی محدود بر هزینه اقتصادی است. سپس تابع هزینه J را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$cf \sum ((k)) + |(K)Pst|cess + (k) \min(k) cs + (k) \min(k) \max(k) \max, \max1 = k \quad (13)$$

#### ۴.۲. محدودیت سیستم

روش MPC تابع هزینه را در (۱۵) در افق پیش‌بینی تحت محدودیت‌های زیر برای ESS به حداقل می‌رساند:

$$J = \Delta T \sum_{K=1}^{Np} \left( c_p(k) \max(P_g(k), 0) + P_g \min(P_g(k), 0) + C_{ESS} |P_{st}(K)| + C_f P_{st}(K) \right) \quad (14)$$

با در نظر گرفتن محدودیت‌های EVB، زمانی که EV به آن متصل می‌شود (یعنی، در طول شب)، محدودیت‌های زیر نگه دارند:

$$\begin{cases} E_{st, \min} \leq E_{st} \leq E_{st, \max} \\ P_{st, \min} \leq P_{st} \leq P_{st, \max} \end{cases} \quad (15)$$

در جایگاه  $T_d$ ،  $i$  به زمان حرکت EV در پایان دوره  $i$  اشاره می‌کند؛ به این روش، روش MPC تضمین می‌کند، اگر امکان داشته باشد، یک EVB کامل در زمان حرکت. در غیر این صورت، زمانی که EV به آن متصل نیست (یعنی، در طول روز)، محدودیت تساوی زیر برقرار است:

$$0 = p_{ev} \quad (16)$$

با توجه به قدرت شبکه، روش MPC سیستم را تحت محدودیت نابرابری زیر بهینه می‌کند:

$P_g$  حداکثر

#### ۴.۳. تخمین هزینه اقتصادی ESS

در مقالات مرتبط با وظایف بهینه‌سازی اقتصادی برای ESSs، یک عبارت در تابع هزینه معمولاً با هدف حفظ امید به زندگی ذخیره اضافه می‌شود. در این مقاله، یک رویکرد مشترک اتخاذ می‌شود که شامل یک عبارت است که متناسب با مقدار مطلق توان خروجی داخلی ESS در تابع هزینه است [۱۸]. ضریب  $cess$  در (۱۵) به عنوان نسبت بین قیمت ESS و مجموع توان عملیاتی کل انرژی توسط ESS در کل عمر قابل استفاده خود تعریف شده است:

که در آن  $cess$  هزینه ESS،  $ncy$  در طول عمر چرخه انتظار آن است، و بر این اساس،  $N$  ظرفیت آن است.

شایان ذکر است که چون هدف آن، شارژ کامل EVB در طول شب با محدودیت  $P_{ev} \cdot$  است، هیچ هزینه تخریب EVB در تابع هزینه (۱۵) گنجانده نشده است؛ هزینه تخریب باتری منجر به تغییر نتایج بهینه‌سازی نمی‌شود.

#### ۵. مقایسه اقتصادی

در این بخش عملکردهای اقتصادی روش MPC و روش اکتشافی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف قیمت مقایسه می‌شوند. اولین سناریوی قیمت یک تعرفه  $tou$  با تغییرات قیمت با قیمت کم را در نظر می‌گیرد و براساس نرخ‌های فعلی موجود در ایتالیا است. تعرفه دوم نرخ معمول  $tou$  استرالیا را با تغییر قیمت بالای قیمت بین شبانه و روز در نظر می‌گیرد. با در نظر گرفتن ظرفیت اسمی ۱۳.۵ کیلو وات ساعت و حداکثر توان خروجی ۴ کیلو وات ساعت در نظر گرفته شده است، که با یک اندازه تجاری برای کاربرد در نظر گرفته می‌شود [۲۷]؛ فرض بر این است که ESS می‌تواند در این محدوده مورد استفاده قرار گیرد.

[max, Est, min, Est]، که در آن  $(\cdot)$ ، min و Est، حداکثر برابر با ۲ و ۱۳.۵ کیلو وات ساعت هستند. در ESS فرض می‌شود که طول عمر پیش‌بینی‌شده ۵۰۰۰ سیکل و هزینه آن EUR را دارد که به این معنی است که  $cess = ۰.۰۵۲۱$  یورو / کیلووات ساعت.

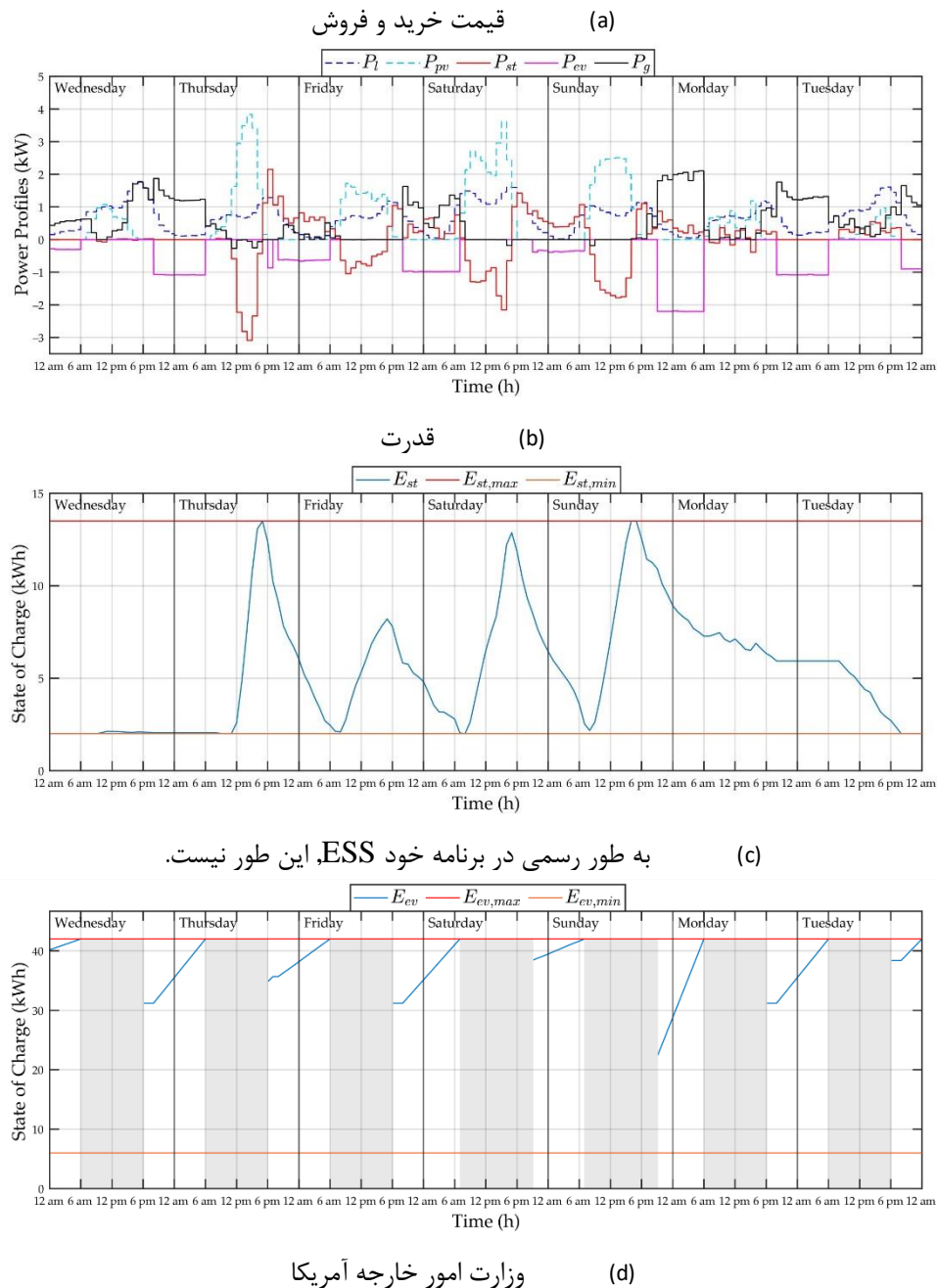
EV با یک باتری با ظرفیت اسمی ۴۲ کیلو وات ساعت تامین می‌شود، که یک مقدار میانگین و نماینده با توجه به ظرفیت‌های ذخیره‌سازی کنونی EV با اندازه کوچک / متوسط است [۲۸]. آن می‌تواند در محدوده مورد استفاده قرار گیرد [min, Eev, max, Eev]، که در آن min, Eev و Eev، به ترتیب برابر با ۶ و ۴۲ کیلووات ساعت هستند. یک سناریوی معمول در نظر گرفته می‌شود که در آن راننده صبح خانه را ترک می‌کند و بعد از ظهر یا بعد از ظهر به خانه باز می‌گردد. زمان‌های حرکت و رسیدن EV و مصرف انرژی باتری مربوطه در طول هفته در جدول ۱ گزارش شده‌است. مصرف متوسط آن کیلو وات ساعت در هر ۱۰۰ کیلومتر مربع فرض می‌شود، که برای اندازه EV در نظر گرفته می‌شود، به طور متوسط در حدود ۳۳.۴۰ کیلومتر مربع در روز [۲۹]. فرض می‌شود که EV به آن در زمان ورود متصل می‌شود.

جدول ۱- حرکت و زمان رسیدن و مصرف انرژی تجدید نظر در نظر گرفته می‌شوند.

روز هفته	departures	مسافران مسافران	مصرف انرژی
چهارشنبه	۶ صبح	۱۸ ق م	۱۰.۸۰ کیلو وات ساعت
پنجشنبه	۶ صبح	۱۸ بعد از ظهر	۷.۲۰ کیلووات ساعت
جمعه	۶ صبح	۱۸ بعد از ظهر	۱۰.۸۰ کیلو وات ساعت
شنبه	ساعت ۷ صبح	۲۱ بعد از ظهر	۳.۶۰ کیلو وات ساعت
یکشنبه	ساعت ۷ صبح	۲۱ بعد از ظهر	۱۹.۸۰ کیلو وات ساعت
دوشنبه	۶ صبح	۱۸ بعد از ظهر	۱۰.۸۰ کیلو وات ساعت
سه‌شنبه	۶ ق م	۱۸ بعد از ظهر	۳.۶۰ کیلو وات ساعت

در شبیه‌سازی‌ها، زمان نمونه مدل ۶۰ ثانیه است، در حالی که زمان نمونه کنترل برای یک ساعت برای روش MPC و روش اکتشافی تنظیم شده‌است. افق پیش‌بینی به ۲۴ ساعت در کنترل‌کننده پیشگویانه تنظیم می‌شود؛ این انتخاب نشان‌دهنده یک موازنه درست بین قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌ها و به حداقل رساندن هزینه انرژی است؛ افق‌های پیش‌بینی کوتاه‌تر باعث افزایش هزینه‌های اقتصادی می‌شوند.





شکل ۳. روش MPC را با نرخ ثابت tou در شبیه‌سازی یک هفته انجام دهید. پروفایل‌های قدرت در شکل ۳ b ارایه شده‌اند، در حالی که حالت‌های شارژ ESS و EVB در شکل ۳ c، d، به ترتیب (در شکل ۳ d، بازه زمانی که EV به which متصل نشده است) گزارش شده‌اند. می‌توان مشاهده کرد که در صورتی که در طول شب تولید بیشتر از بار در طول روز تجاوز کند، در حالی که در طول شب بین شب و یکشنبه انرژی به اندازه کافی انرژی فراهم می‌کند. قابل ذکر است که روش MPC ثابت می‌کند که قادر به شارژ کامل EVB با مدیریت مناسب منابع انرژی در دسترس با حداقل هزینه‌های اقتصادی است.

سناریوی ۲: روش MPC - نرخ استفاده از استفاده

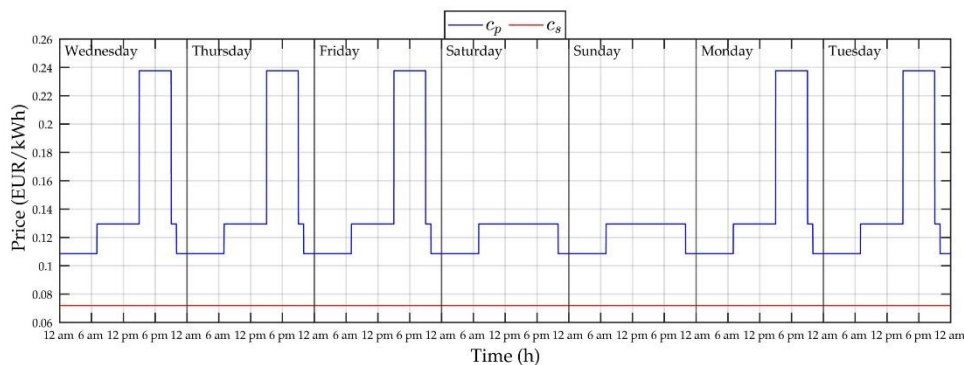
تعرفه‌ای که در حال حاضر در بازار برق استرالیا بکار گرفته می‌شود، در این سناریو در نظر گرفته می‌شود [۳۲]. این ویژگی با تنوع بالای قیمت خرید براساس فاصله زمانی زیر مشخص می‌شود: (۱) پیک (۲ ساعت)، (۲) شانه (صبح، اواخر شب، و آخر هفته)، و (سوم) از پیک (شبهانه). علاوه بر این، خرده فروشان استرالیایی یک شارژ روزانه بین ۰.۹۰ و ۱.۲۰ AUD / روز را اعمال می‌کنند؛ در این مورد، یک شارژ روزانه از ۱.۱۰ AUD / روز در نظر گرفته می‌شود. با توجه به قیمت فروش در استرالیا، نرخ یکنواختی که بین ۰.۰۹ و ۰.۱۲ AUD / کیلووات ساعت فرق می‌کند در اینجا مورد پذیرش قرار می‌گیرد؛ در اینجا قیمت فروش برابر با ۰.۱۲ AUD / کیلووات ساعت اعمال می‌شود. در آزمایش‌ها انجام‌شده، نرخ تبادل ۰.۶ mg / AUD در نظر گرفته می‌شود.

در این سناریوی قیمت، ضریب مراجعه به ۰.۱۵ EUR / کیلووات ساعت تنظیم شده‌است. همانطور که در بالا توضیح داده شد، هم مقادیر پایین و هم بالاتر می‌تواند منجر به افزایش هزینه اقتصادی شود.

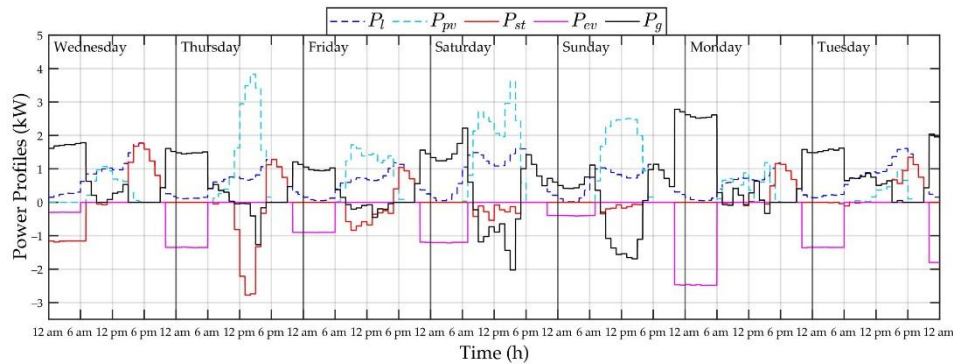
شکل ۴ نتایج شبیه‌سازی برای رویکرد MPC را گزارش می‌دهد. در روزه‌ای کاری، قیمت خرید از ساعت ۳ بعد از ظهر تا ساعت ۹ بعد از ظهر (پیک)، ۰.۱۲۹۵ یورو / کیلووات ساعت از ساعت ۷ صبح تا ساعت ۱۰ بعد از ظهر و از ساعت ۹ بعد از ظهر تا ۱۰ بعد از ظهر (شانه) و ۰.۱۰۸۶ EUR / کیلووات ساعت می‌باشد.

ساعت ۱۰ شب تا ۷ صبح (اوج) در اواخر هفته، آن ۰.۱۲۹۵ / کیلووات ساعت از ساعت ۷ صبح تا ۱۰ بعد از ظهر (شانه) و ۰.۱۰۸۶ EUR / کیلووات ساعت از ساعت ۱۰ صبح تا ۷ صبح (اوج) است. قیمت فروش یک سیگنال ثابت است که برابر با ۰.۰۷۲ کیلو وات ساعت است.

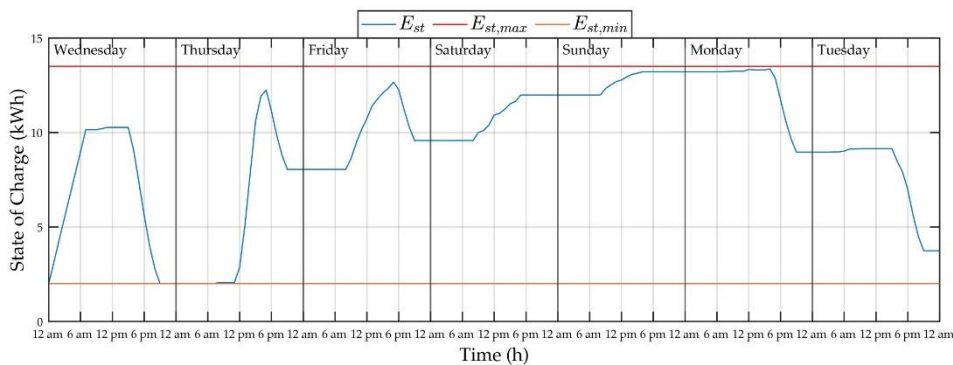
با توجه به سناریوی قیمت قبلی، در روز چهارشنبه، هزینه ESS با هدف برآورده کردن تقاضای روز در طول دوره اوج قیمت از شبکه خارج می‌شود و این به دلیل تفاوت قیمت خرید روزانه است که این امر به دلیل تفاوت قیمت خرید روزانه است که بالاتر از ۲ cess می‌باشد. لازم به ذکر است که ESS تنها برای راضی کردن تقاضا در طول دوره اوج ساعات کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالی که در زمان اوج و زمان اوج، شبکه برای راضی کردن بار و بار کردن بار مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخلاف سناریوی قبلی، هیچ انتقال قدرت از ESS به آن وجود ندارد. این امر به این دلیل اتفاق می‌افتد که در زمان اوج و اوج، تفاوت بین قیمت خرید و فروش کمتر از ۲ cess است؛ استفاده از ESS، هزینه‌های اقتصادی را با توجه به راه‌حل بهره‌برداری از شبکه به علت هزینه فرسایش آن افزایش خواهد داد. مشابه سناریوی ۱، آن انرژی MPC را برای شارژ آن در دوره پایین‌ترین قیمت (از ۱۰ بعد از ظهر تا ۷ صبح) خریداری می‌کند.



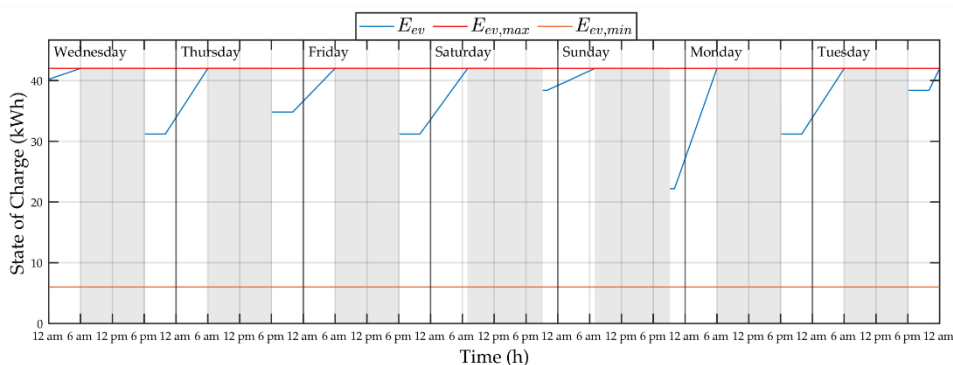
(a) قیمت‌های خرید و فروش



(b) قدرت



(c) به طور رسمی در برنامه خود ESS، این طور نیست.



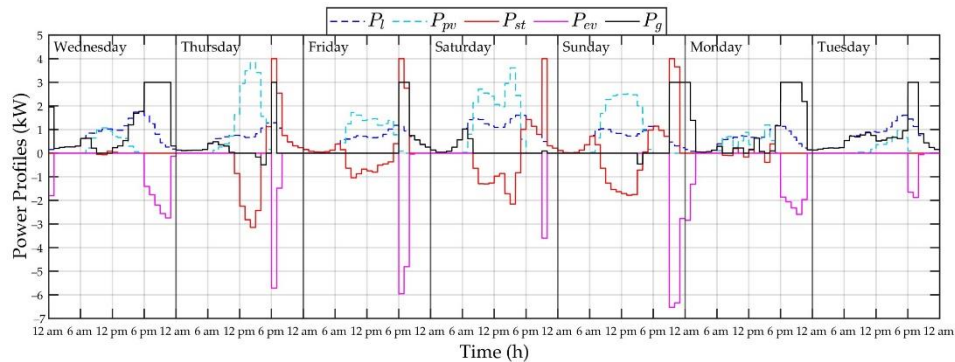
(d) وزارت امور خارجه آمریکا

شکل ۴- روش MPC را با نرخ شیب تند در شبیه‌سازی یک هفته انجام دهید.

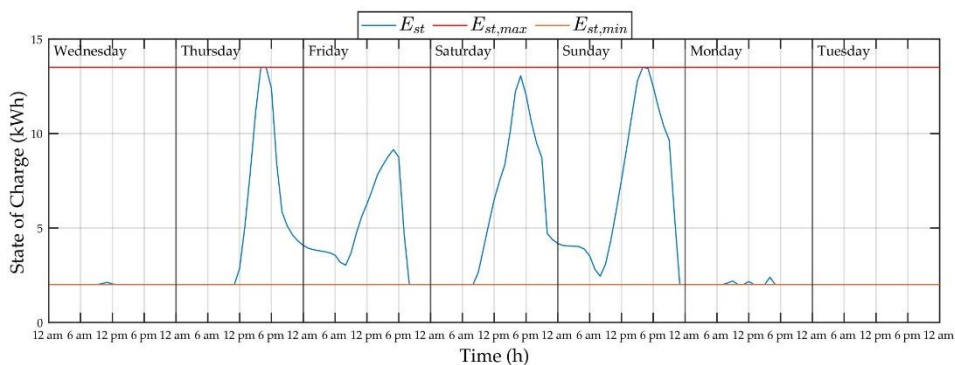
### شبیه‌سازی شبیه‌سازی با رویکرد Heuristic

شکل ۵ نتایج شبیه‌سازی برای روش اکتشافی را گزارش می‌دهد. نتایج مشابه برای دو سناریوی قیمت در نظر گرفته می‌شوند، زیرا اجرای الگوریتم روش اکتشافی به قیمت انرژی بستگی ندارد. در طول روز، زمانی که تولید بیش از حد جذب می‌شود، توان مازاد PV در ESS و یا در صورتی که مخزن کامل است به شبکه انتقال داده می‌شود. در عوض، هنگامی که توان PV در کمتر از بار است، این کسری از طریق ESS یا اگر خالی باشد از طریق شبکه تامین می‌شود. در زمان ورود، رویکرد اکتشافی از تمامی منابع موجود برای شارژ EVB استفاده می‌کند و سپس از قدرت

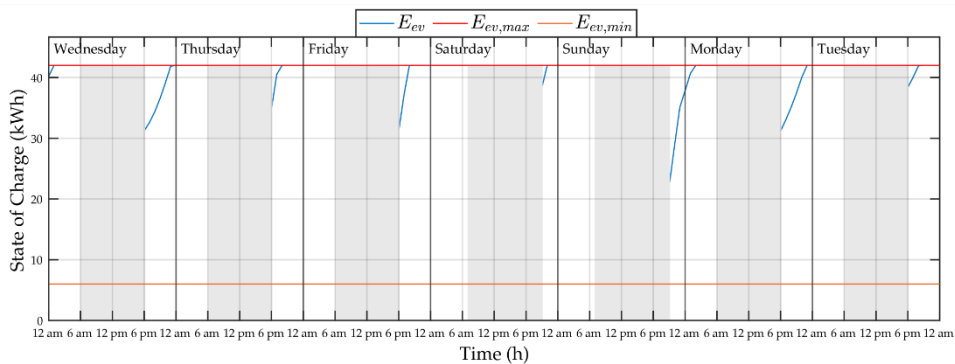
ارایه شده توسط ESS با کران بالای ۴ کیلووات و شبکه با کران بالای ۳ کیلووات استفاده می کند. همانطور که با روش MPC مشاهده می شود، در طول شب روش اکتشافی قادر به شارژ کامل قبل از زمان حرکت بعدی است.



(a) قدرت



(b) وضعیت شارژ ESS



(c) وزارت امور خارجه آمریکا

شکل ۵- نتایج رویکرد اکتشافی در شبیه سازی یک هفته.

کاهش هزینه های اقتصادی

در این بخش، عملکرد کنترل پیش بین و روش اکتشافی با مقایسه هزینه های اقتصادی بدست آمده در شبیه سازی گزارش شده در بالا ارزیابی می شوند.

هزینه های اقتصادی برای روش MPC و روش اکتشافی در سناریوهای قیمت مورد نظر در جدول ۲ گزارش شده اند؛ هزینه کلی اقتصادی شامل سه عبارت است که در بخش ۴.۱ تعریف شده است.

۱. خرید انرژی: هزینه خرید انرژی.

۲. فروش انرژی: هزینه فروش انرژی (این عبارت منفی است) ۳. وزن ESS: هزینه اقتصادی به علت فرسایش ESS، با توجه به میزان بار که از مقدار ثابت روزانه ۰.۶۶ می‌رسد در سناریوی ۲ آمده‌است در حالی که در سناریوی ۱ هیچ اتهامی وجود ندارد.

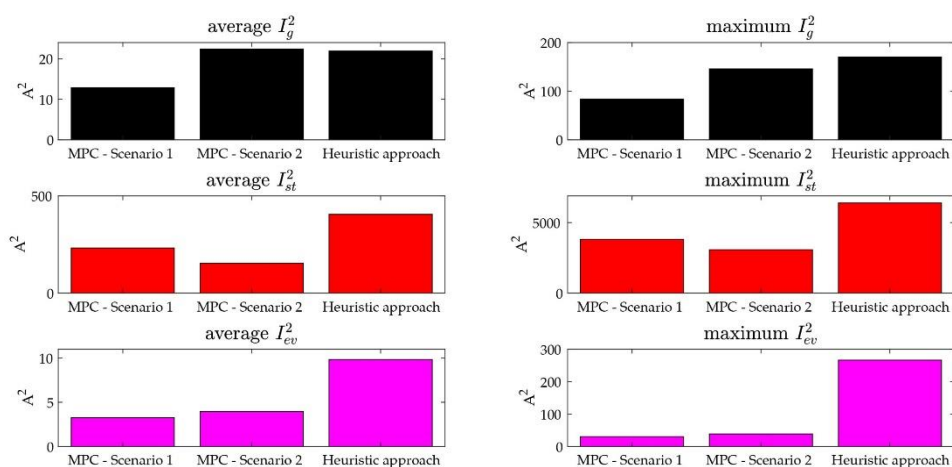
جدول ۲- هزینه‌های اقتصادی در فاصله زمانی یک هفته.

روش کنترل	سناریوی ۱: سرعت ثابت		سناریوی ۲: سرعت شیب تند	
	Flat		فروش فروش بلیط ESS به طور کلی به طور کلی تمام نشده است	
	فروش خرید ESS را به طور خودکار خریداری کنید	مجموع		
MPC	(EUR) 22.13 -0.09 4.24 0	26.28	12.53 -1.65 2.74 4.62 18.24	
رویکرد	(EUR) 22.69 -0.09 4.23 0	26.83	15.68 -0.08 4.23 4.62 24.45	
Heuristic				

تا آنجا که به هزینه‌های کلی اقتصادی مربوط می‌شود، صرفه‌جویی اقتصادی آن در مقایسه با استراتژی اکتشافی ۲۰.۵ درصد در سناریوی ۱ و ۲۵.۴۰ درصد در سناریوی ۲ را نشان می‌دهد که در صورتی که شارژ در نظر گرفته نشود، تا ۳۱.۳۲٪ افزایش می‌یابد. عملکرد آن با افزایش تغییرپذیری قیمت روزانه افزایش می‌یابد. در سناریوی ۱، که با تغییر کم روزانه قیمت خرید مشخص می‌شود، پس‌اندازهای پایین حاصل می‌شود، در حالی که در سناریوی ۲، پس از تغییر زیاد در قیمت خرید، صرفه‌جویی‌های بیشتری به دست می‌آید.

روش MPC راه‌حل بهتری نسبت به تکنیک اکتشافی است زیرا هزینه‌های اقتصادی کمتری را با مدیریت مناسب منابع انرژی موجود بدست می‌آورد. قابل ذکر است، چنین اقدامات کنترلی هوشمند با تکنیک‌هایی که در یک روش فوری عمل می‌کنند، مانند رویکرد اکتشافی که در اینجا در نظر گرفته می‌شود، امکان پذیر نمی‌باشد. شایان ذکر است که مزایای اقتصادی حاصل از افزایش تغییرپذیری قیمت هر روز افزایش می‌یابد [۲۶].

نتایج آماری موارد مختلف در شکل ۶ نشان داده شده‌است؛ روش MPC مزیت فراهم کردن  $I_{g, \text{p2}}$  را نشان می‌دهد (که با تلفات شبکه مرتبط است) و  $I_{\text{ev}}$  و  $I_{\text{st}}$  پایین‌تر (که با تخریب باتری و تلفات مبدل مرتبط هستند) با توجه به روش اکتشافی.



شکل ۶- نتایج آماری در فاصله زمانی یک هفته

شکل ۶. نتایج آماری در فاصله زمانی یک هفته:  $N, vst / Pst = Ist, N, vg / Pg = Ig$

اسمی شبکه، ESS، و آن اشاره دارند.  $N, Vev / Pev = Iev, N, vg, N, Vev, V 230 = N, vst, V 50 = N, Vev, V 400 = N, V, N, vst, N, Vev$  به ترتیب به ولتاژ

#### ۶. مقایسه عملکردی

در این بخش روش MPC و روش اکتشافی از دیدگاه عملکردی مقایسه می‌شوند. همانطور که در بخش قبل، یک دوره شبیه‌سازی هفت روزه در نظر گرفته می‌شود. ESS و آن همان ویژگی‌هایی را دارند که در بخش ۵ معرفی شده‌اند. زمانبندی برنامه‌ریزی‌شده برای خروج و ورودی EV در جدول ۳ ارائه شده‌است. بر خلاف مثال در بخش قبل، در سه روز از هفته، مقدار بسیار بیشتری از باتری EV استفاده می‌شود (یعنی، جمعه، شنبه و یکشنبه). در طول روز، EV فرض می‌شود که تمام انرژی موجود ذخیره‌شده در باتری (۳۶ کیلو وات ساعت) را بهره‌برداری کند.

جدول ۳- مقایسه کارکردی: خروج برنامه‌ریزی‌شده و زمان ورود و مصرف انرژی EVB

روز هفته	خروج‌ها	Arrivals	مصرف انرژی
چهارشنبه	۶ صبح	۱۸ بعد از ظهر	۱۰.۸۰ کیلووات ساعت
پنجشنبه	۶ ق م	۱۸ ق م	۷.۲ کیلو وات ساعت
جمعه	۶ صبح	۲۱ ق م	۳۶ کیلو وات ساعت
شنبه	۷ ق م	۲۲ بعد از ظهر	۳۶ کیلو وات ساعت
یکشنبه	۷ ساعت صبح	۲۰ ساعت بعد از ظهر	۳۶ کیلو وات ساعت
دوشنبه	۶ ق م	۱۸ ق م	۱۰.۸۰ کیلو وات
سه‌شنبه	۶ صبح	۱۸ ق م	۳.۶۰ کیلو وات ساعت

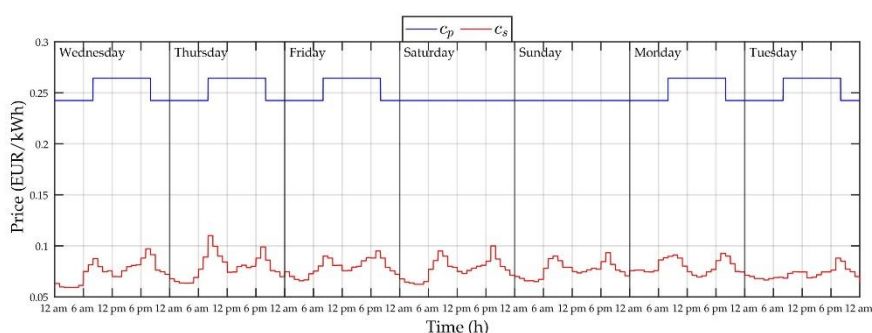
در آزمایش‌ها انجام‌شده در اینجا، زمان نمونه کنترل برای هر دو روش کنترل تنظیم شده‌است؛ روش MPC با یک افق پیش‌بینی یک روزه پیاده‌سازی می‌شود. تا آنجا که به قدرت شبکه مربوط می‌شود،  $Pg$  حداکثر ۳ کیلووات تعیین شده‌است. در شبیه‌سازی‌ها، متوسط انرژی روزانه جذب‌شده توسط بارها در حدود ۱۶.۱۵ کیلو وات ساعت در روز است در حالی که متوسط انرژی روزانه تولید شده توسط پانل‌های PV در حدود ۱۶.۷۶ کیلووات ساعت در روز است.

شکل ۷ نتایج شبیه‌سازی را برای رویکرد MPC در سناریوی نرخ  $tou$  هموار نشان می‌دهد. شایان ذکر است که در روز جمعه، شنبه و یکشنبه، MPC منابع انرژی را به طور کامل مدیریت کرده (i) تا به طور کامل آن را در طول شب شارژ کند و (۲) برای احترام به کران بالای ۳ کیلووات برای حداکثر توان جذب‌شده از شبکه. از یک طرف، در طول روز جمعه و یکشنبه، از

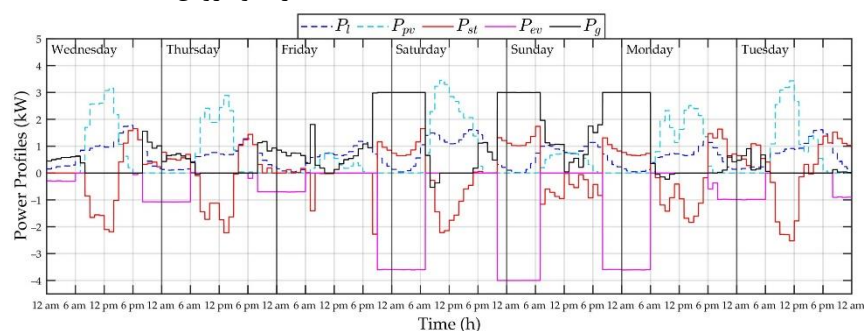
آنجایی که کمبود تولید وجود دارد، کنترل‌کننده پیش‌بینی از شبکه برای شارژ کردن ESS جهت رسیدن به حالت شارژ استفاده می‌کند تا رسیدن به حالت شارژ کامل در زمان حرکت روز بعد را تضمین نماید. از سوی دیگر، در روز شنبه، زیرکانه MPC منابع موجود را با بهره‌برداری از شبکه به منظور برآورده کردن تقاضا در بعد از ظهر با هدف ترک کافی انرژی برای شارژ شبانه در ESS، مدیریت نماید.

شکل ۸ نتایج شبیه‌سازی برای رویکرد اکتشافی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برخلاف روش MPC، رویکرد اکتشافی نمی‌تواند قبل از زمان حرکت روز شنبه، یکشنبه و دوشنبه، یک EVB کامل را تضمین کند. با توجه به جزئیات، در زمان رسیدن روز جمعه و یکشنبه، ESS خالی است و بدین ترتیب نمی‌تواند در طول شب آینده انرژی خود را تامین نماید. در روز شنبه، رویکرد اکتشافی به شدت کل ESS را به کار برد چرا که از انرژی ذخیره‌شده در بعد از ظهر قبل از زمان ورود EV استفاده می‌کند؛ انرژی باقی مانده در زمان رسیدن به اندازه کافی برای تضمین یک EVB کامل در صبح روز یکشنبه کافی نیست. در نتیجه مدیریت ضعیف منابع، کاهشی در طول مسیر با توجه به آنچه برنامه‌ریزی شده (جدول ۳) در شنبه و یکشنبه به این دلیل است که راننده باید محدودیت کران پایین آن (۶ کیلووات ساعت) را ارضا کند. در واقع، متفاوت از روش MPC، مصرف انرژی EVB واقعی به دست آمده با روش اکتشافی، تا حدود ۲۶٪ در شنبه و ۹٪ در روز یکشنبه کاهش می‌یابد. لازم به یادآوری است که در این سناریو، مقایسه اقتصادی بین روش MPC و روش اکتشافی بی‌معنا خواهد بود، زیرا کارکرد EV در این دو مورد متفاوت است.

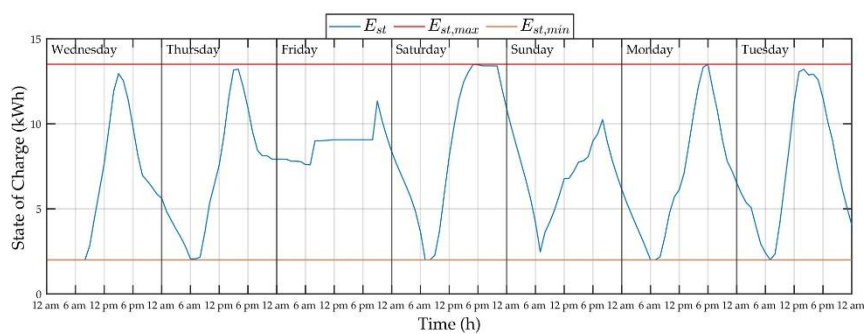
در مثال بالا، رویکرد ابتکاری مزیت عملکردی را نشان می‌دهد که قادر به شارژ کامل آن در طول شب نیست؛ از طرف دیگر، این امر از طریق استفاده از تکنیک‌های کنترل پیش‌بین که منابع موجود را با بهره‌برداری از اطلاعات آینده مدیریت می‌کند، امکان پذیر است. مثال قبلی پتانسیل for در زمینه‌های آینده را نشان می‌دهد، چرا که با مدیریت مناسب منابع انرژی موجود، آن می‌تواند کارکردهای مورد نظر را تضمین کند، که نمی‌تواند همیشه با روش‌های اکتشافی ساده تضمین شود. علاوه بر این، در حالی که الزامات اضافی برای شارژ EV استفاده می‌شود، روش MPC نشان داده می‌شود که قابلیت نگه داشتن پیک قدرت پیک را از شبکه در محدوده اسمی حفظ می‌کند، که جنبه‌ای از نگرانی مرتبط با توجه به کاربرد گسترده مورد انتظار وسایل نقلیه الکتریکی است.



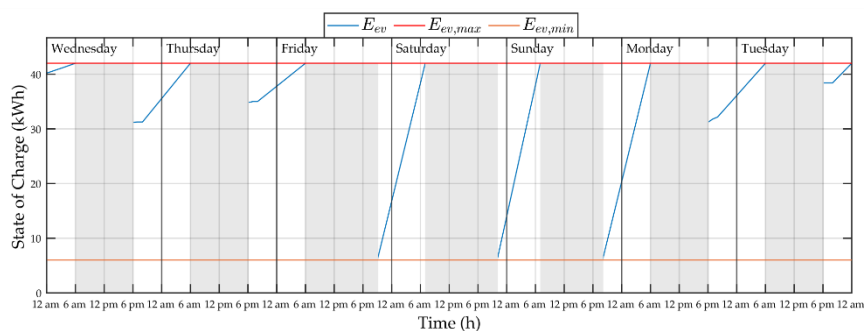
(a) قیمت‌های خرید و فروش



(b) قدرت

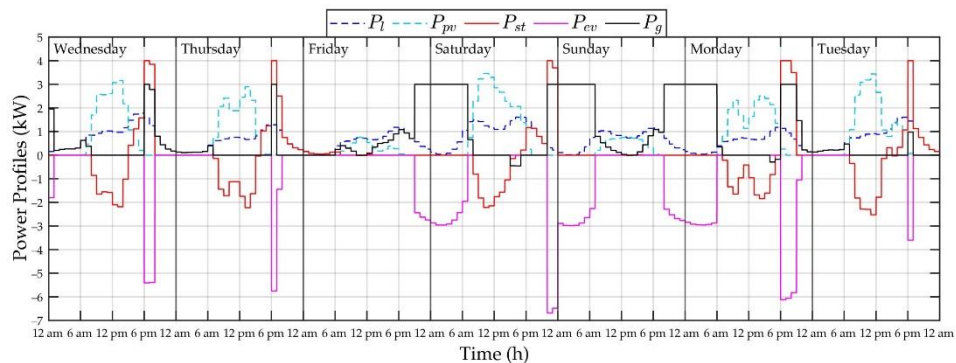


(c) وضعیت شارژ ess

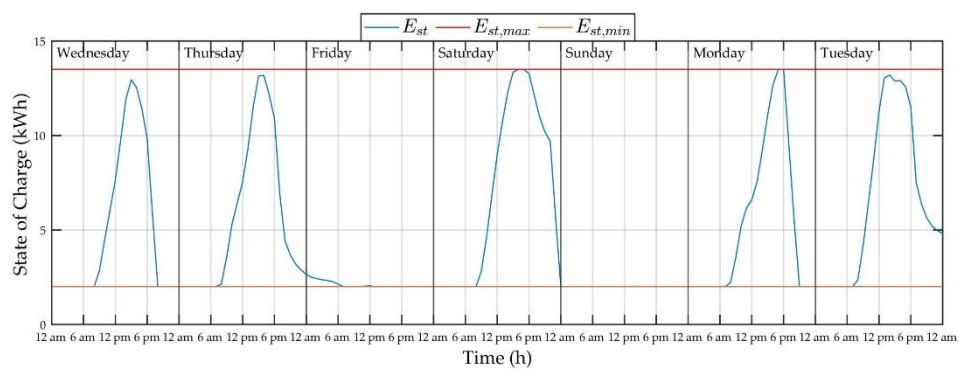


(d) وضعیت مسئول آن

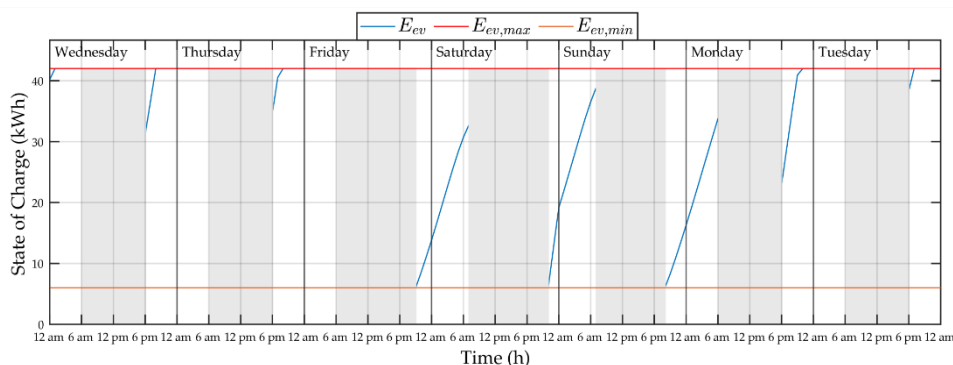
شکل ۷- مقایسه عملکردی: نتایج روش MPC با نرخ ثابت flat در شبیه‌سازی یک هفته.



(a) قدرت



(b) به طور رسمی در برنامه خود ESS، این طور نیست.



شکل ۸- مقایسه کارکردی: نتایج رویکرد اکتشافی در شبیه‌سازی یک هفته.

## ۷. نتیجه‌گیری

این مقاله کاربرد کنترل پیش‌بین مدل را برای مدیریت کارآمد منابع انرژی prosumers در حضور قابلیت‌های ذخیره انرژی محلی و یک وسیله الکتریکی (EV) نشان می‌دهد. هدف کنترل پیش‌بین این است که کمینه‌سازی هزینه اقتصادی با محدودیت تضمین یک باتری کامل EV در زمان عزیمت است. رویکرد پیشگویانه پیشنهاد شده با یک روش اکتشافی مقایسه می‌شود که منابع موجود را به روش فوری بر مبنای قاعده مدیریت می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در یک سو روش MPC هزینه‌های کمتر را در سناریوهایی فراهم می‌کند که در آن‌ها هر دوی این استراتژی‌ها قادر به شارژ کامل باتری EV در طول شب هستند. از سوی دیگر، می‌تواند یک شارژ کامل را در سناریوهایی تضمین کند که در آن روش اکتشافی قادر به انجام این کار نیست. به طور خلاصه، سناریوی ساده که در اینجا در نظر گرفته می‌شود به ما این امکان را می‌دهد که مزایای قابل توجه استفاده از رویکردهای پیش‌بینی را در این کاربرد، حتی در زمانی که طرح‌های قیمت‌گذاری انرژی مختلف را در نظر بگیریم، برجسته کنیم. نشان داده شده است که الگوریتم MPC، از طریق مدیریت بهینه منابع موجود، اجازه می‌دهد تا به اهداف کارکردی، مانند شارژ کامل باتری EV، (۲) به مدیریت اقتصادی منابع محلی، (iii) کاهش مقدار جریان RMS در ارتباط با برق اصلی و سیستم ذخیره انرژی محلی، و (iv)، قدرت مبادله با برق را در دامنه‌های اسمی حفظ کند.

توسعه آینده تحقیقات ارایه‌شده ممکن است شامل مطالعه اثر خطاهای پیش‌بینی در عملکرد روش MPC و آنالیز حساسیت عملکرد MPC به عنوان پارامترهای مختلف باشد (به عنوان مثال، طول افق پیش‌بینی، ظرفیت‌های ذخیره‌سازی انرژی، اندازه سیستم PV).

منابع

1. Erdinc, O.; Paterakis, N.G.; Mendes, T.D.P.; Bakirtzis, A.G.; Catalão, J.P.S. Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-Based DR. IEEE Trans. Smart Grid 2015, 6, 1281–1291. [CrossRef]
2. Tushar, W.; Yuen, C.; Huang, S.; Smith, D.B.; Poor, H.V. Cost Minimization of Charging Stations With Photovoltaics: An Approach With EV Classification. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 2016, 17, 156–169. [CrossRef]
3. Shi, Y.; Tuan, H.D.; Savkin, A.V.; Duong, T.Q.; Poor, H.V. Model Predictive Control for Smart Grids With Multiple Electric-Vehicle Charging Stations. IEEE Trans. Smart Grid 2019, 10, 2127–2136. [CrossRef]
4. Wang, L.; Qin, Z.; Slangen, T.; Bauer, P.; van Wijk, T. Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards,

- Issues and Mitigation Measures—An Overview*. IEEE Open J. Power Electron. 2021, 2, 56–74. [[CrossRef](#)]
5. Pavić, I.; Pandžić, H.; Capuder, T. Electric vehicle based smart e-mobility system—Definition and comparison to the existing concept. Appl. Energy 2020, 272, 115153. [[CrossRef](#)]
6. Bellocchi, S.; Klöckner, K.; Manno, M.; Noussan, M.; Vellini, M. On the role of electric vehicles toward low-carbon energy systems: Italy and Germany in comparison. Appl. Energy 2019, 255, 113848. [[CrossRef](#)]
7. Jian, L.; Xue, H.; Xu, G.; Zhu, X.; Zhao, D.; Shao, Z.Y. Regulated Charging of Plug-in Hybrid Electric Vehicles for Minimizing Load Variance in Household Smart Microgrid. IEEE Trans. Ind. Electron. 2013, 60, 3218–3226. [[CrossRef](#)]
8. IRGC. Demand-Side Flexibility for Energy Transitions: Ensuring the Competitive Development of Demand Response Options; *Technical Report*; International Risk Governance Council (IRGC): Lausanne, Switzerland, 2015.
9. Palensky, P.; Dietrich, D. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. IEEE Trans. Ind. Inform. 2011, 7, 381–388. [[CrossRef](#)]
10. Haider, H.T.; See, O.H.; Elmenreich, W. A review of residential demand response of smart grid. Renew. Sustain. Energy Rev. 2016, 59, 166–178. [[CrossRef](#)]
11. Wang, Z.; Gu, C.; Li, F.; Bale, P.; Sun, H. Active Demand Response Using Shared Energy Storage for Household Energy Management. IEEE Trans. Smart Grid 2013, 4, 1888–1897. [[CrossRef](#)]
12. Asadinejad, A.; Tomsovic, K. Optimal use of incentive and price-based demand response to reduce costs and price volatility. Electr. Power Syst. Res. 2017, 144, 215–223. [[CrossRef](#)]
13. Eid, C.; Koliou, E.; Valles, M.; Renesas, J.; Hakvoort, R. Time-based pricing and electricity demand response: Existing barriers and next steps. Util. Policy 2016, 40, 15–25. [[CrossRef](#)]
14. Kong, W.; Luo, F.; Jia, Y.; Dong, Z.Y.; Liu, J. Benefits of Home Energy Storage Utilization: An Australian Case Study of Demand Charge Practices in Residential Sector. IEEE Trans. Smart Grid 2021, 12, 3086–3096. [[CrossRef](#)]
15. Wang, L. Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB; Springer: London, UK, 2009.
16. Maciejowski, J.M. Predictive Control with Constraints; Prentice Hall: Harlow, UK, 2002.
17. Raimondi Cominesi, S.; Farina, M.; Giullioni, L.; Picasso, B.; Scattolini, R. A Two-Layer Stochastic Model Predictive Control Scheme for Microgrids. IEEE Trans. Control. Syst. Technol. 2018, 26, 1–13. [[CrossRef](#)]
18. Parisio, A.; Rikos, E.; Glielmo, L. A Model Predictive Control Approach to Microgrid Operation Optimization. IEEE Trans. Control. Syst. Technol. 2014, 22, 1813–1827. [[CrossRef](#)]
19. Qi, W.; Liu, J.; Christofides, P.D. Supervisory Predictive Control for Long - Term Scheduling of an Integrated Wind / Solar Energy Generation and Water Desalination System. IEEE Trans. Control. Syst. Technol. 2012, 20, 504–512.
20. Hu, J.; Xu, Y.; Cheng, K.W.; Guerrero, J.M. A model predictive control strategy of P V - Battery microgrid under variable power generations and load conditions. Appl. Energy 2018, 221, 195–203.
21. Lei, M.; Yang, Z.; Wang, Y.; Xu, H.; Meng, L.; Vasquez, J.C.; Guerrero, J.M. An MPC -

- Based ESS Control Method for PV Power Smoothing Applications . IEEE Trans . Power Electron . 2018 , 33 , 2136 - 2144 .
- 22 . Shan , Y . ; Hu , J . ; Li , Z . ; Guerrero , J.M. A Model Predictive Control for Renewable Energy Based AC Microgrids Without Any PID Regulators . IEEE Trans . Power Electron . 2018 , 33 , 9122 - 9126 .
- 23 . Patrinos , P . ; Trimboli , S . ; Bemporad , A . Stochastic MPC for real - time market - based optimal power dispatch . In Proceedings of the 2011 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference , Orlando , FL , USA , 12 - 15 December 2011 ; pp . 7111 - 7116 .
- 24 . Guo , Y . ; Sheng , S . ; Anglani , N . ; Lehman , B . Optimal Power Management for Grid - Connected Microgrid Considering Modelling of Different Electricity Cost and Battery Degradation Cost . In Proceedings of the 2019 20th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics ( COMPEL ) , Toronto , ON , Canada , 16 - 19 June 2019 ; pp . 1 - 7 .
- 25 . Elkazaz , M . ; Sumner , M . ; Pholboon , S . ; Davies , R . ; Thomas , D . Performance Assessment of an Energy Management System for a Home Microgrid with PV Generation . Energies 2020 , 13 , 3436 . .
- 26 . Simmini , F . ; Agostini , M . ; Coppo , M . ; Caldognetto , T . ; Cervi , A . ; Lain , F . ; Carli , R . ; Turri , R . ; Tenti , P . Leveraging Demand Flexibility by Exploiting Prosumer Response to Price Signals in Microgrids . Energies 2020 , 13 , 3078 . .
- 27 . Tesla Powerwall . 2021 . Available online : <https://www.tesla.com/powerwall> ( accessed on 18 February 2021 ) .
- 28 . Rivera , S . ; Kouro , S . ; Vazquez , S . ; Goetz , S.M. ; Lizana , R . ; Romero - Cadaval , E . Electric Vehicle Charging Infrastructure : From Grid to Battery . IEEE Ind . Electron . Mag . 2021 , 15 , 37 - 51 . .
- 29 . Plotz , P . ; Jakobsson , N . ; Sprei , F . On the distribution of individual daily driving distances . Transp . Res. Part methodol . 2017 , 101 , 213 - 227 . .
- 30 . Torriti , J . Price - based demand side management : Assessing the impacts of time - of - use tariffs on residential electricity demand and peak shifting in Northern Italy . Energy 2012 , 44 , 576 - 583 . .
- 31 . ARERA . DCO 322 / 2012 / R / eel : Review of the Integrated text on " Scambio sul Posto " Measure [ Revisione del Testo Integrato per lo Scambio sul Posto ] ; ARERA : Milano , Italy , 2012 .
- 32 . Australian Government . Energymadeeasy . 2021 . Available online : <https://www.energymadeeasy.gov.au/> ( accessed on 24 February 2021 )

## Predictive control of the model to manage the efficiency of energy resources in smart buildings

Sadegh Ranjbar<sup>1</sup>, Sayed Iman Sayedi<sup>2</sup>

1. Department of Electrical Engineering, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran, Sadegh.ranjbar1@gmail.com

2. Department of Electrical Engineering, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran, SI.Sayedi@iau.ac.ir.

### Abstract:

Efficient management of energy resources is very important in smart buildings. In this work, model predictive control (MPC) is used to minimize the economic costs of buyers equipped with generation units, energy storage systems and electric vehicles. For this purpose, predictive control manages available energy resources by exploiting future information on energy prices, absorption and generation power profiles, and electric vehicle (EV) usage, such as departure and arrival times and predicted energy consumption. EV Batteries In particular, unlike the heuristic method, the MPC approach has been proven to be able to efficiently manage the available energy resources to ensure full recharging of the EV battery overnight. Aiming at optimal performance in terms of economic cost minimization in time-varying price scenarios, reducing rms current stresses and recharging capability of EV batteries. Moreover, the proposed control is shown to be able to limit the maximum power absorption from the grid within the defined limits, which is a valuable feature in scenarios with widespread adoption of EVs in order to limit the stress on the electrical system. and the ability to recharge EV batteries. In particular, unlike the heuristic method, the MPC approach is proven to be able to efficiently manage the available energy resources to ensure full recharging of the EV battery overnight while always meeting all system constraints. Moreover, the proposed control is shown to be able to limit the maximum power absorption from the grid within the defined limits, which is a valuable feature in scenarios with widespread adoption of EVs in order to limit the stress on the electrical system. In addition, the proposed control is shown to be able to limit the maximum power absorption from the grid within the defined limits.

**Keywords:** efficient management of energy resources; exploratory approach; predictive control model; Smart buildings