Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

ISSN: 2783-2538

Research Article

A Multi-Period Mathematical Model to Optimize Smart Home Energy Management with Scheduling of Appliances and Solar Cell Cost Calculation

Mortzea Jafari Nikpey[a], Farid Momayezi[b,*]

[a] *M.S., Faculty of Industrial Engineering, Urmia University of Technology*
[b] *Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, Urmia University of Technology*

PAPER INFO

Paper history:

Received: 16 May 2023
Revised: 12 November 2023
Accepted: 23 December 2023

Keywords:

Home Energy Management System,
Smart Home,
Photovoltaic,
Solar Cell,
Scheduling,
Household Appliances.

ABSTRACT

The smart home is equipped with programmable home appliances designed to be used during off-peak hours when energy prices are lower. Research in smart home energy management has focused on developing mathematical models for planning and scheduling programmable appliances for the next day. While many countries announce daily energy prices for the following day, some countries, like Iran, have fixed energy prices for longer durations. Previous research has primarily focused on selling energy back to the grid when considering smart homes connected to renewable energy sources. Meeting the home's energy needs with renewable energy is a secondary priority. This study presents two mathematical models for multi-period planning daily, weekly, monthly, and yearly of a smart home. The first model does not consider the integration of solar cells, while the second model is connected to solar cells to maximize the use of renewable energy. The proposed mathematical models are solved using the CPLEX solver embedded in the GAMS software.
By comparing the prices obtained from the two models, the cost of solar cells with the desired production capacity is calculated. The results demonstrate a significant reduction in energy consumption costs. These models provide optimized schedules for operating appliances in a smart home, taking into account fluctuating energy prices. The integration of solar cells enables homeowners to leverage renewable energy sources and reduce reliance on the grid.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2023.30664.2456

© 2024 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*** Corresponding author.**
E-mail address: Farid.momayezi@uut.ac.ir

How to cite this article:
Jafari Nikpey, M., & Momayezi, F. (2024). A Multi-Period Mathematical Model to Optimize Smart Home Energy Management with Scheduling of Appliances and Solar Cell Cost Calculation. Journal of Modeling in Engineering, 22(77), 129-156. doi: 10.22075/jme.2023.30664.2456

مقاله پژوهشی

مدل ریاضی چند دوره‌ای جهت بهینه سازی مصرف انرژی خانگی با ارائه زمان‌بندی تجهیزات خانه هوشمند و محاسبه هزینه سلول خورشیدی جهت نصب در خانه هوشمند

مرتضی جعفری نیک پی[۱]، فرید ممیزی[۲،*]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۶
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

واژگان کلیدی:
مدیریت مصرف انرژی خانگی،
خانه هوشمند،
انرژی تجدیدپذیر،
سلول خورشیدی،
زمان‌بندی لوازم‌خانگی.

چکیده

خانه هوشمند مجهز به مجموعه‌ای از لوازم خانگی قابل برنامه‌ریزی برای استفاده در ساعاتی از شبانه‌روز است که قیمت انرژی پایین‌تر دارد. در اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت انرژی خانه هوشمند، سعی در ارائه یک مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی و زمان‌بندی لوازم خانگی قابل برنامه‌ریز برای روز آینده است زیرا در اغلب کشورهای جهان، شرکت‌های توزیع انرژی، قیمت‌های انرژی را بصورت روزانه برای روز آینده اعلام می‌کنند در حالیکه در برخی از کشورها نظیر ایران قیمت انرژی در طول یک هفته، یک ماه یا حتی یک سال ثابت است. در بسیاری از تحقیقات پیشین در صورتیکه خانه هوشمند متصل به انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته شده باشد بیشتر تمرکز بر روی فروش انرژی به شبکه است و تامین انرژی مورد نیاز خانه توسط انرژی تجدیدپذیر در الویت بعدی است. در این تحقیق دو مدل ریاضی عدد صحیح چند دوره‌ای ارائه شده است که می‌توان برای برنامه‌ریزی روزانه، هفتگی، ماهانه و حتی سالانه خانه هوشمند در نظر گرفت. مدل ریاضی اول بدون اتصال به انرژی تجدیدپذیر از نوع سلول خورشیدی توسعه داده شده است و مدل ریاضی دوم متصل به سلول خورشیدی است که برای رفع نیاز انرژی مورد نیاز خانه هوشمند تا حد امکان تعبیه شده است. مدل‌های ریاضی پیشنهادی با استفاده از سالور CPLEX در نرم افزار GAMS حل شده است و در نهایت با مقایسه قیمت بدست آمده توسط دو مدل پیشنهادی، قیمت سلول خورشیدی با توان تولیدی مورد نظر محاسبه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از کاهش قابل توجه هزینه‌های مصرف انرژی است.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2023.30664.2456

© 2024 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

۱-مقدمه[۱]

برای رشد اقتصادی هر جامعه، انرژی پایدار نقشی محوری دارد. با توجه به این دیدگاه، کشورهای در حال توسعه در زمان حاضر با چالش های جدی انرژی مواجه هستند. با این حال، سیاست گذاران سیاست های متعددی را برای برآوردن تقاضای انرژی ترسیم کرده اند، اما هنوز قادر به پر کردن شکاف بین تقاضا و عرضه نیستند[۱]. تقاضا برای برق هر سال به طور چشمگیری افزایش می یابد. این افزایش تقاضای انرژی به دلیل افزایش توسعه اقتصادی، افزایش جمعیت، پیشرفت فنی در بهبود تجهیزات و فناوری‌های جدید است. بنابراین در آینده برای توسعه کشورهای توسعه نیافته، قطعاً انرژی بیشتری مورد نیاز خواهد بود [۲]. به منظور کاهش نگرانی‌های جهانی در مورد مسائل زیست محیطی، اپراتورهای سیستم قدرت و نهادهای برنامه‌ریزی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: farid.momayezi@uut.ac.ir
۱. کارشناسی ارشد، دانشکده فناوری های صنعتی، دانشگاه صنعتی ارومیه
۲. استادیار، دانشکده فناوری های صنعتی ، دانشگاه صنعتی ارومیه

استناد به این مقاله:
جعفری نیک پی، مرتضی، و ممیزی، فرید. (۱۴۰۳). مدل ریاضی چند دوره‌ای جهت بهینه سازی مصرف انرژی خانگی با ارائه زمان‌بندی تجهیزات خانه هوشمند و محاسبه هزینه سلول خورشیدی جهت نصب در خانه هوشمند. مدل سازی در مهندسی، ۲۲(۷۷)، ۱۲۹-۱۵۶. doi: 10.22075/jme.2023.30664.2456

به دنبال منابع انرژی جدیدی هستند که انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری نسبت به نیروگاه‌های سوخت فسیلی معمولی داشته باشند [۳]. وابستگی شدید به نفت و افزایش قیمت آن منجر به استفاده از انرژی های تجدید پذیر در بسیاری از کشورهای دنیا در سه دهه اخیر شده است. لزوم کاهش گازهای گلخانه‌ای با هدف ممانعت از بدتر شدن وضعیت آب و هوایی اهمیت استفاده از انرژی‌های نو را دوچندان می‌کند [۴]. طی سال‌ها، محققان و دانشگاهیان تلاش کرده‌اند تا با این مسئله از طریق بهره‌برداری از منابع انرژی تجدیدپذیر و شبکه هوشمند برای کاهش تقاضای انرژی و اطمینان از قابلیت اطمینان تأمین انرژی در بخش‌های ساختمان و فراهم‌کردن محیط زندگی سالم و مناسب، سروکار داشته باشند [۵]. مطالعات نشان می‌دهند که بخش‌های خانگی به طور متوسط ۳۵ ٪ تقاضای انرژی را به دلیل استاندارد جدید زندگی افراد در سراسر جهان تشکیل می‌دهند [۶]. برای اینکه خانه‌ای متصل و هوشمند بماند، نیاز به منبع انرژی ثابت، قابل‌اعتماد و ارزان است.

پیاده‌سازی پاسخگویی بار خانگی یکی از چالش‌های جدی بهره‌برداران شبکه‌های قدرت است [۷]. در دسترس ترین نوع انرژی پاک و تجدید پذیر، انرژی خورشیدی است که پتانسیل بسیار زیادی در سراسر جهان دارد. سیستم‌های خورشیدی خانگی (SHS[2]) با پنل های خورشیدی روی پشت بام‌های شهری و همچنین در مناطق روستایی دورافتاده در حال گسترش هستند [۸]. سیستم‌های خورشیدی خانه به یک راه حل محبوب برای حل مشکل دسترسی به انرژی در مناطق بدون برق یا خدمات ضعیف برق تبدیل شده اند[۹]. در زندگی مدرن امروز، عامل هزینه، به یکی از مهمترین اهداف سازمان‌ها و شرکت‌ها تبدیل شده است؛ زیرا انسان‌ها تمایل به مصرف یا تولید با هزینهٔ پایین و کیفیت بالا دارند. بنابراین برای مدیریت و کاهش هزینه، روش‌ها و استراتژی‌های مؤثّری در زمینه‌های گوناگون مورد نیاز است [۱۰]. در اکثر تحقیقات یکی از روش‌های متداول برای کاهش مصرف انرژی خانگی، هوشمند کردن ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی است. خانه هوشمند، اقامتگاهی است که سیستم‌های اتوماسیون بسیار پیشرفته را ادغام می‌کند تا نظارت و کنترل پیشرفته‌ای بر عملکرد ساختمان از طریق دستگاه‌های متصل به اینترنت به ساکنان خود ارائه دهد [۱۱]. صاحب خانه هوشمند می تواند با استفاده از مدیریت بهینه برنامه عملیاتی لوازم خانگی قابل کنترل و توان تولیدی پراکنده توسط انرژی‌های تجدیدپذیر و وسیله نقلیه برقی، وابستگی انرژی به شبکه برق و همچنین قبض برق خود را کاهش دهد [۱۱]. در یک خانه هوشمند، کلیه اجزای داخلی آن به واسطه یک سیستم یکپارچه و ایجاد منطقی سازگار با محیط در تعامل با یکدیگر هستند.

در چنین خانه‌ای، مدیریت انرژی می‌تواند نقش زیادی در کاهش هزینه مصرف انرژی داشته باشد [۱۲]. انتظار می‌رود خانه هوشمند تغییرات بزرگی را در سبک زندگی افراد به ارمغان بیاورد. با تغییر زمان مصرف برق ساکنان، خانه هوشمند می‌تواند انعطاف‌پذیری بار برق را بهبود بخشد و پتانسیل قابل‌توجهی برای پاسخ‌های تقاضای برق فراهم کند [۱۳]. می‌توان مصرف انرژی یک خانه هوشمند را هوشمندانه بهینه کرد، که نه تنها حداقل هزینه تهیه انرژی را تضمین می‌کند، بلکه راحتی مصرف‌کننده را نیز افزایش دهد [۱۴]. با درک مفهوم خانه و رفاه مردم در خانه با رویکرد کاربرمحور، می‌توان پی برد، لوازم خانه و سیستم‌های خانه هوشمند باید به‌عنوان واسطه‌ای بین خانه و مصرف انرژی طراحی شوند [۱۵]. آلریو وهمکاران ۲۰۲۱ تحلیلی از سیستم مدیریت انرژی خانه هوشمند را با هدف شناسایی روندها و چالش‌های فعلی برای بهبود آینده ارائه می‌کند [۱۶]. به عنوان آخرین پیوند یک سیستم یکپارچه انرژی آینده، سیستم مدیریت انرژی خانه هوشمند (HEMS[3]) برای مدیریت هوشمندانه استفاده از لوازم خانگی، تولید انرژی‌های تجدیدپذی، سیستم ذخیره انرژی (ESS[4]) ضروری است [۱۷].

در حالت کلی در خانه‌های هوشمند لوازم الکتریکی خانگی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

دسته اول لوازم خانگی از نوع غیرقابل برنامه‌ریزی هستند. بنابراین پاسخگو به قیمت‌های زمان متغیر نیستند (مانند تلویزیون، کامپیوتر، روشنائی و غیره).

دسته دوم لوازم خانگی از نوع هوشمند و پاسخگو به قیمت های زمان متغیر بوده که این نوع لوازم خانگی قابل برنامه‌ریزی می‌باشند و زمان استفاده از آن‌ها قابل تغییر و جابه‌جا کردن می‌باشد (مانند ماشین لباس‌شویی، ماشین ظرف‌شویی و خشک‌کن لباس).

[2] Solar home systems
[3] Home energy management system
[4] Energy Storage System

به‌طورکلی تحقیقات انجام صورت گرفته در راستای کاهش مصرف انرژی در بخش خانگی را می‌توان به سه بخش زیر تقسیم کرد [۱۸]:

بخش اول: افزایش بازدهی تجهیزات خانگی

بخش دوم: اتوماسیون و زمان‌بندی تجهیزات خانگی برای مصرف انرژی

بخش سوم: استفاده از منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌ساز انرژی

باتوجه به موارد فوق، دسته اول مربوط به تولید لوازم خانگی با مصرف انرژی کمتر توسط کارخانجات لوازم خانگی و همچنین استفاده از لوازم خانگی با مصرف انرژی کمتر توسط مصرف‌کننده در بخش خانگی است. دسته دوم مدیریت انرژی لوازم خانگی بدون انرژی تجدیدپذیر و دسته سوم مدیریت انرژی خانگی با انرژی های تجدید پذیر، که در این مطالعه سعی شده است ترکیبی از دو گزینه دوم و سوم برای کاهش مصرف انرژی خانگی به کار گرفته شود.

هدف از انجام تحقیق در زمینه مدیریت مصرف انرژی خانه هوشمند ارائه یک مدل ریاضی است که می‌تواند منجر به زمان بندی و برنامه‌ریزی بهینه لوازم خانگی در یک خانه هوشمند برای به حداقل رساندن هزینه‌های مصرف انرژی خانه شود.

در اکثر تحقیقات انجام شده مدل‌های ریاضی ارائه شده فقط برای ارائه برنامه زمان‌بندی طی ۲۴ ساعت و یک روز آینده است و با توجه به اینکه برخی از وسایل قابل کنترل هر روز مورد استفاده قرار می‌گیرند، در حالی که برخی از آنها هر روز مورد نیاز نیستند و ممکن است فقط یک یا دو بار در هفته از آنها استفاده شوند. بنابراین، مسئله برنامه‌ریزی دستگاه‌های قابل کنترل باید در یک دوره عملیاتی بیشتر از یک روز و حداقل در بازه یک هفته‌ای بررسی شود. این نکته ضرورت وجود هر دو رویکرد به تعویق انداختن مقیاس ساعتی و روز را نشان می دهد [۱۹]. در بسیاری از کشورها هزینه مصرف انرژی خانگی جهت پرداخت توسط مصرف کننده در طول یک ماه محاسبه می‌شود. و همچنین محاسبات سرانه مصرف خانگی در برخی از کشورها بصورت سالانه محاسبه می‌شود. بنابراین ارائه یک مدل ریاضی چند دوره‌ای انعطاف‌پذیر برای انجام محاسبات مربوط به هزینه مصرف انرژی یک خانه هوشمند در حالت‌های دوره‌ای روزانه، هفتگی، ماهانه و حتی سالانه یک نیاز ضروری و اساسی است.

علاوه بر این همانطوری که گفته شد یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر سلول خورشیدی در خانه‌های متصل به شبکه برق است ولی در بسیاری از تحقیقات پیشین مدیریت مصرف انرژی خانه هوشمند متصل به انرژی تجدیدپذیر که میزان مصرف انرژی فقط برای یک روز محاسبه می‌گردد در این صورت فقط اطلاعات یک روز برای انرژی تولیدی توسط سلول خورشیدی برای یک روز مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالیکه انرژی تولیدی توسط سلول خورشیدی در روزهای متفاوت با توجه به روزهای آفتابی، ابری و بارانی متفاوت است. بنابراین فقط یک روز نمی‌تواند تصمیم‌گیری مناسبی در خصوص استفاده از سلول خورشیدی و همچنین میزان توان مورد نیاز توسط سلول خورشیدی برای کاهش هزینه‌ها باشد و نیاز به بازه زمانی بیشتر از یک روز جهت بررسی و تصمیم گیری دارد. همچنین در اکثر تحقیقات پیشین، تمرکز مطالعات در خانه‌های هوشمند متصل به انرژی تجدید پذیر از نوع سلول خورشیدی، فروش انرژی تولیدی توسط سلول خورشیدی به شبکه برق است در حالیکه در کشورهایی نظیر ایران و اسپانیا هزینه فروش به شبکه برق ارزش افزوده چندانی برای مشترکین ندارد و تقریبا نزدیک به صفر است. بنابراین در این تحقیق علاوه بر اینکه یک مدل ریاضی چند دوره‌ای غیرخطی برای خانه هوشمند متصل به شبکه برق جهت ارائه برنامه زمان‌بندی لوازم خانگی خانه هوشمند در یک بازه دوره‌ای بلند مدت پیشنهاد شده است.

همچنین یک مدل ریاضی دیگری برای خانه هوشمند متصل به سلول خورشیدی پیشنهاد شده است که در این مدل پیشنهادی الویت مصرف انرژی لوازم خانگی از انرژی تولیدی توسط سلول خورشیدی است. بنابراین در زمان هایی که انرژی مورد نیاز لوازم خانگی بیشتر از توان تولیدی سلول خورشیدی باشد، انرژی مازاد از شبکه برق اخذ خواهد شد.

در حالت کلی در این تحقیق دو نوع مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی مصرف انرژی یک خانه هوشمند با بازه زمانی بلند مدت چند دوره‌ای (به عنوان مثال هفتگی شامل هفت روز، ماهانه شامل ۳۰ روز و سالانه شامل ۳۶۵ روز) غیرمتصل و متصل به انرژی تجدیدپذیر از نوع سلول خورشیدی ارائه شده است از نوع غیرخطی ارائه شده است که با استفاده از روش تقریب غیرخطی به خطی مدل‌های ریاضی پیشنهادی با استفاده از سالور CPLEX تعبیه شده

در نرم افزار گمز حل شده‌اند و در نهایت با مقایسه مقادیر بدست آمده از تابع هدف دو مدل پیشنهادی در مطالعات موردی متفاوت قیمت اقتصادی و مقرون به صرفه سسیتم سلول خورشیدی مورد نیاز برای هر مطالعه مورد محاسبه شده است.

اهداف تحقیق حاضر به شرح زیر است:

۱. ارائه مدل‌های ریاضی با تعداد اندیس کمتر جهت حل در زمان‌های قابل قبول

۲. کاهش هزینه‌های مصرف انرژی خانه هوشمند با برنامه‌ریزی بهینه برای دستگاه‌های خانگی برای دوره طولانی‌تر از یک روز مثلا هفتگی، ماهانه و سالانه

۳. اولویت‌بندی استفاده از انرژی خورشیدی نسبت به انرژی متصل به شبکه برق

۴. ارائه یک برنامه‌ریزی بهینه قابل استفاده برای لوازم خانگی قابل برنامه‌ریزی خانه هوشمند

۵. محاسبه سرمایه لازم جهت خرید سلول خورشیدی با استفاده از دو مدل پیشنهادی

در ادامه مقاله به بخش‌های زیر تقسیم بندی شده است. در بخش دوم به بررسی ادبیات موضوع پرداخته شده است. در بخش سوم مساله تعریف شده است، در بخش چهارم داده‌های مورد نیاز جهت اجرای مدل‌ها ارائه شده است. در بخش ۵ مدل پیشنهادی در مطالعات موردی متفاوت اجرا شده است. در بخش ششم تحلیل نتایج صورت پذیرفته و مطالعات موردی مقایسه شده و هزینه مربوط به سلول خورشیدی در موارد مختلف محاسبه شده است، در بخش هفتم نتیجه گیری مربوط به تحقیق انجام شده و همچنین پیشنهادات آتی ارائه شده است.

۲- ادبیات موضوع

در سال‌های اخیر، احساس فوریت برای مقابله با مسئله بحران جهانی مربوط به مدیریت انرژی و نیاز ضروری به تغییر الگوهای مصرف انرژی رو به افزایش است. سیستم‌های نیروگاهی تولید برق به دلیل تخلیه تدریجی منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش آلودگی محیطی و کارایی نامناسب انرژی، مشکلات و بحران‌هایی را ایجاد می‌کنند. بحران‌های مربوط به نیاز شدید انرژی در جهان و افزایش قیمت‌ها، مصرف انرژی به یک نگرانی مهم تبدیل شده است و طبق آمارهای رسمی بیشترین بخش مصرف انرژی مربوط به بخش خانگی است. بنابراین در سال‌های اخیر ارائه راهکارهای نوآورانه برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها یکی از موضوعات مهم پژوهشی است. پژوهشگران راهکارهای مختلفی در سیستم‌های مدیریت انرژی خانگی پیشنهاد داده‌اند تا با این چالش‌ها مقابله کرده و علاوه بر این راحتی کاربر در خصوص استفاده از انرژی در بخش خانگی را افزایش دهند. با در نظر گرفتن میلیون‌ها مصرف کننده نهایی انرژی در شهرها، دستیابی به شبکه هوشمند یا تحمیل مشوق‌هایی برای هموار کردن تقاضاها، باعث صرفه جویی بسیار زیادی در مصرف انرژی خواهد شد [۲۰]. زمانبندی لوازم خانگی هوشمند یک مسئله پیچیده است که که در سال های اخیر مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. این به دلیل افزایش تعداد لوازم خانگی هوشمند در دسترس و همچنین افزایش تقاضا برای بهره وری انرژی و صرفه جویی در هزینه است. فاکتورهای مختلفی وجود دارد که باید هنگام برنامه‌ریزی لوازم خانگی هوشمند در نظر گرفته شود، از جمله:

۱. ترجیحات کاربر: مهمترین عامل در نظر گرفتن ترجیحات کاربر است. هنگام برنامه‌ریزی لوازم خانگی، مهم است که در نظر داشته باشید که کاربر چه زمانی نیاز دارد یا می‌خواهد دستگاه روشن باشد و چقدر حاضر است برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی بپردازد. در این رابطه قیوم و همکاران [۲۱] روشی برای برنامه‌ریزی عملکرد لوازم خانگی هوشمند در یک بازه زمانی معین پیشنهاد کرد. آنها پانل فتوولتائیک (پانل سلول خورشیدی) به عنوان یک دستگاه تولید برق ب که به عنوان یک میکرو شبکه عمل می‌کند در نظر گرفتند. عملکرد دستگاه به عنوان دنباله‌ای از فازهای بدون وقفه، که در پروفایل تقاضای بار ارائه شده است، مدل‌سازی نمودند. هدف این بود که هزینه برق را به حداقل رسانده و در عین حال محدودیت‌های زمان استفاده، انرژی مورد نیاز و اولویت کاربر را برآورده نماید. انوری مقدم و همکاران [۲۲] مدلی را توسعه دادند که از برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک خانه هوشمند استفاده می کند. این مدل هم صرفه‌جویی در انرژی و هم یک سبک زندگی راحت را در نظر می‌گیرد و می توان از آن برای برنامه‌ریزی وظایف و اطمینان از راحتی ساکنان استفاده کرد. این مدل قادر است مصرف انرژی خانگی و قبوض آب و برق را کاهش دهد و در عین حال ترجیحات کاربر را نیز برآورده کند. منظور و همکاران [۲۳] روش جدیدی را برای نظارت و کنترل موثر بارهای داخلی بر اساس مدیریت انرژی سمت تقاضا معرفی

کردند و از یک الگوریتم الهام گرفته از طبیعت برای برنامه‌ریزی وسایل به روشی بهینه، با در نظر گرفتن اولویت‌ها و بودجه کاربر، پیشنهاد شده است. الگوریتم پیشنهادی رضایت کاربر را با تولید الگوهای زمان‌بندی لوازم خانگی که نیازهای کاربر با در نظر گرفتن بودجه کاربر برآورده می‌کند.

۲. پاسخ به تقاضا: برخی از شرکت‌های توزیع برق برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا را ارائه می‌دهند، به این معنی که این شرکت‌ها به مشتریان برای کاهش مصرف انرژی در ساعات اوج مصرف پول پرداخت می‌کنند. این می‌تواند راهی عالی برای صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی و کمک به محیط زیست باشد. برای این منظور، تسو و چان یک مدل بهینه‌سازی پاسخ به تقاضا در چارچوب برنامه‌ریزی محدب انعطاف‌پذیر و کارآمد برای مدیریت خودکار بار لوازم خانگی مختلف در یک خانه هوشمند ارائه کردند. همچنین، ویلیز و همکاران [۲۴] یک چارچوب بهینه‌سازی جدید برای اندازه یک سیستم ذخیره سازی باتری فتوولتائیک هیبریدی برای مدیریت انرژی خانه ارائه کرد. این چارچوب قابلیت اطمینان سیستم را در برابر قطعی شبکه و پاسخ به تقاضا در نظر می‌گیرد و هدف آن به حداقل رساندن قبض برق است. در مطالعه دیگری، ژانگ و همکاران [۲۵] یک طرح زمان‌بندی جدید برای مصرف برق خانه‌های هوشمند پیشنهاد کرد که پاسخ تقاضا و حفاظت از حریم خصوصی را در نظر می‌گیرد. این طرح ابتدا دو مدل از بار خانه هوشمند را ایجاد می‌کند، یکی برای هر نوع پاسخ تقاضا و سپس از الگوریتم جستجوی آنتن سوسک برای یافتن زمانبندی استفاده می‌شود که هزینه مصرف برق را به حداقل می‌رساند.

۳. افق برنامه‌ریزی: افق برنامه‌ریزی دوره زمانی است که در طی آن الگوریتم زمان‌بندی دستگاه‌ها، می‌تواند زمان استفاده از دستگاه را بهینه کند. افق برنامه‌ریزی می‌تواند به کوتاهی چند ساعت، یک شبانه روز یا چند روز و حتی طولانی باشد. طول افق برنامه‌ریزی به عوامل متعددی مانند تعداد لوازم خانگی، ترجیحات کاربر و نرخ بهره بستگی دارد. اکثر پژوهشگران این حوزه، برنامه‌های لوازم خانگی را برای افق برنامه‌ریزی روزانه ارائه کرده‌اند. به عنوان مثال، وانگ و همکاران [۲۶] یک رویکرد قوی برای برنامه‌ریزی بار روزانه برای خانه‌های هوشمند با سیستم‌های فتوولتاییک ایجاد کرد. این رویکرد از یک بهینه سازی استوار استفاده می‌کند که به یک مسئله با مدل ریاضی درجه دوم تبدیل می‌شود. این رویکرد می‌تواند برنامه‌های بارگذاری روزانه را با سطوح مختلف استوار تولید می‌کند، که با استفاده از نتایج شبیه‌سازی اعتبار و ارزیابی شدند. همچنین در مطالعه آنها تاثیر تعرفه و خروجی فتوولتائیک نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این خط از تحقیقات، تعداد کمی از محققان بر روی افق های برنامه‌ریزی طولانی تر تمرکز کرده اند. در این رابطه، یوس و همکاران [۲۷] یک رویکرد برنامه‌ریزی لوازم هوشمند شبکه عصبی/الگوریتم ژنتیک برای مدیریت بهینه انرژی در بخش خانگی پیشنهاد کرد. این رویکرد تقاضای انرژی را در دوره‌های اوج کاهش می‌دهد، استفاده از منابع تجدیدپذیر سلول خورشیدی و توربین بادی را به حداکثر می‌رساند و اتکا به انرژی شبکه را به صورت هفتگی کاهش می‌دهد. بهینه‌سازی پارامترهای جامع برای شبکه عصبی و ژنتیک برای یافتن بهترین ترکیب‌ها انجام شد که منجر به برنامه‌های هفتگی بهینه شد.

۴. انرژی تجدیدپذیر: با افزایش بحران جهانی انرژی و اثرات مخرب آلودگی هوا، ادغام انرژی تجدیدپذیر در خانه هوشمند به یک حوزه تحقیقاتی حیاتی برای افزایش کارایی مدیریت مصرف انرژی تبدیل شده است. هدف این مقالات به حداقل رساندن میزان انرژی مصرف شده از شبکه ملی انرژی توسط تولیدکنندگان-مصرف‌کنندگان انرژی از منابع تجدیدپذیر در خانه‌های هوشمند است. برای تحقق این هدف، برآورد مقدار انرژی تجدیدپذیر تولید شده در طول افق زمانی و برنامه‌ریزی عملکرد مصرف کنندگان قابل کنترل در یک خانه هوشمند ضروری است [۲۸].

شاید بتوان تحقیق چن و همکاران در سال ۲۰۱۳ را اولین تحقیق در این خصوص دانست که یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح چند دوره ای ارائه نمودند نویسندگان در این تحقیق هزینه نصب سلول خورشیدی را عددی ثابت در تابع هدف در نظر گرفتند در مدل پیشنهادی ابتدا انرژی مورد نیاز خانه از طریق شبکه برق و فتوولتائیک تامین می شود [۲۹]. السکیف و همکاران در سال ۲۰۱۷ یک مدل ریاضی MILP[5] برای یک خانه با در نظر گرفتن سیستم فتوولتائیک و انرژی ذخیره ساز و عدم فروش برق مازاد

[5] Mixed Integer Linear Problem

فتوولتائیک به شبکه ارائه نمودند که بر اساس مشخصات تقاضا برای طبقات مختلف خانوارها و دوره‌های مختلف سالانه در اسپانیا، کاهش در حدود ۶۸ درصد ایجاد شده بود[۳۰]. در سال ۲۰۱۸ مطالعه اقبال و همکاران [۳۱] یک طرح بهینه‌سازی بهینه برای یک خانه هوشمند با یک ریزشبکه متشکل از توربین‌های بادی و انرژی خورشیدی با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های برق، کاهش نسبت اوج مصرف به میانگین مصرف و ارائه حداکثر راحتی کاربر پیشنهاد کرد. الکزاز و همکاران در سال ۲۰۲۰ یک مدل MIP[6] برای مدیریت مصرف انرژی خانه را با در نظر گرفتن فتوولتائیک و انرژی ذخیره‌ساز انرژی ارائه نمودند که در این مدل هزینه‌های انرژی روزانه را به حداقل می‌رساند، انرژی از دست رفته را کاهش می‌دهد [۳۳].علاوه بر این، در سال ۲۰۲۰، اکبری و دیباور [۳۴]، سیستم مدیریت بار مسکونی هوشمند را پیشنهاد کردند که تنوع را در تولید انرژی خورشیدی در نظر می‌گیرد. مدل ریاضی ارائه شده توسط شاردا و همکاران ۲۰۲۱، دارای زمان‌بندی با ادغام فتوولتائیک و انواع مختلفی از محدودیت‌ها می باشد که در نهایت، یک زمان‌بندی انرژی مستقل، کارآمد و در زمان واقعی با استفاده از توان تولیدی پیش‌بینی‌شده برای فتوولتائیک تحت سناریوهای مختلف قیمت‌گذاری توسعه داده شده است.در مدل پیشنهادی باتری برای ذخیره انرژی برای فتوولتائیک در نظر گرفته نشده است [۳۵]. حسن و همکاران در سال ۲۰۲۲ مفهوم سازی و توسعه یک سیستم خانه هوشمند که از پنل های خورشیدی برای به حداکثر رساندن استفاده از انرژی های تجدیدپذیردر منازل مسکونی را ارائه می دهند. این سیستم برای به حداقل رساندن ردپای کربن و مصرف انرژی ایجاد شده است [۳۶].

یو و همکاران ۲۰۲۲، سعی نمودند با توسعه یک مدل مدیریت یکپارچه خانه هوشمند چند هدفه با در نظر گرفتن ناهمگونی رفتاری لوازم خانگی و مصرف برق خانگی، تغییرات بالقوه در پیک مصرف و هزینه‌های برق ناشی از خانه هوشمند را بررسی کند [۱۳]. خضری و همکاران رد سال ۲۰۲۲، سعی نمودند تا با ارائه یک بررسی جامع بر روی پارامترهای موثر در فرآیند برنامه‌ریزی بهینه سیستم سلول خورشیدی و سیستم ذخیره‌سازی باتری برای بخش مسکونی متصل به شبکه داشته باشند. این پارامترها عبارتند از داده‌های اقتصادی و فنی، توابع هدف، سیستم-های مدیریت انرژی، محدودیت‌های طراحی، الگوریتم‌های بهینه سازی و برنامه‌های قیمت‌گذاری برق [۳۷].

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته از تحقیقات موجود در ادبیات در حوزه سیستم مدیریت مصرف انرژی خانگی، هر چهار بخش بررسی شده در تحقیق پیش رو در نظر گرفته شده است. بنابراین در مدل‌های ریاضی پیشنهادی در بخش سوم ترجیحات کاربر، پاسخ به تقاضا، افق برنامه‌ریزی بلند مدت و انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته شده است و همچنین الویت مصرف انرژی توسط خود کاربر و مدیریت مصرف انرژی در بازه بلند مدت انعطاف‌پذیر بصورت چند دوره‌ای بصورت همزمان با توجه به راحتی کاربر در نظر گرفته شده است که در ادبیات این حوزه بصورت یکجا موجود نیست در این تحقیق در نظر گرفته و بررسی شده است.

۳- تعریف مساله

خانه هوشمند خانه‌ای است که دارای وسایل خانگی و لوازم جانبی مختلفی است که می‌توان از راه دور کنترل کرد و بدون دخالت انسان وظایف را به طور خودکار انجام داد. یکی از مزایای اصلی خانه هوشمند مدیریت بهینه انرژی در خانه است. دستگاه های هوشمند مانند ترموستات ها و سیستم های روشنایی می‌توانند به طور دقیق مصرف انرژی را کنترل کنند و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند. علاوه بر این، سیستم مدیریت انرژی خانه می‌تواند با پیشنهاد مناسب‌ترین زمان برای استفاده از وسایل الکتریکی مختلف و تغییر استفاده از آن‌ها به دوره‌های خارج از پیک، صرفه‌جویی در مصرف انرژی را افزایش دهد و در نتیجه هزینه‌های برق را کاهش دهد. خانه‌های هوشمند فرصتی عالی برای خانوارها فراهم می‌کنند تا مصرف انرژی خود را به طور مؤثرتری مدیریت کنند، زیرا امکان کنترل بیشتر و اتوماسیون مصرف انرژی را فراهم می‌کنند. ادغام انرژی تجدیدپذیر در یک خانه هوشمند می‌تواند به جلوگیری از آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی و کاهش هزینه‌های برق کمک کند. مطالعه حاضر بر روی یک خانه هوشمند مجهز به وسایل برقی مختلف متمرکز است که توسط شبکه برق و سیستم انرژی تجدیدپذیر تغذیه می‌شود.

اکثر مطالعات خانه هوشمند برای ۲۴ ساعت آینده با قیمت حقیقی انجام شده است [۱۹]. همه وسایل کنترل‌پذیر در

[6] Mixed Integer Problem

برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته در یک روز روشن می‌شوند، در صورتی که برخی لوازم کنترل‌پذیر در طول یک هفته هر روز روشن نمی‌شوند می‌توان لوازمی همانند ماشین لباسشویی را نام برد که در هفته نهایتا دوبار روشن شود، بنابراین برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته را نمی‌توان به عنوان یک نمونه برای مصرف سالیانه خانوار مورد استفاده قرار داد. در این مقاله سعی شده است ابتدا برای کاهش مصرف انرژی یک خانه هوشمند [۱۸] یک الگوی هفتگی تعریف شود تا بتوان از آن برای پیش‌بینی مصرف انرژی خانه هوشمند در طول یک سال استفاده نمود. در برخی از کشورها استفاده از پنل های خورشیدی مقرون به صرفه نمی‌باشد و هزینه تمام شده نصب آن برای خانوار بسیار بالاست به همین دلیل مدل اولیه برای کشورهایی که خانوارها قابلیت استفاده از پنل خورشیدی را ندارند برای برنامه‌ریزی لوازم کنترل‌پذیر قابل استفاده است. همچنین مدل بعدی برای کشورهایی است که نصب سلول خورشیدی مقرون به صرفه است و می‌توان مورد استفاده قرار گیرد، بنابراین خانه هوشمند را به یک سلول خورشیدی متصل نمودیم که برای رفع نیاز انرژی خانه تاحد امکان تعبیه شده است یک ماژول فتولتائیک شامل تعدادی از سلول های خورشیدی به هم پیوسته است که در یک واحد پایدار محصور شده‌اند. البته سلول خورشیدی هزینه‌هایی از قبیل نگه‌داری و تعمیرات و تمیزکاری داشته و همین‌طور به دلیل عمر محدود، هزینه‌های استهلاک هم می‌توان برای آن در نظر گرفت. ولی به علت دخیل نبودن این هزینه‌ها در تصمیمات گرفته شده در این دو مدل، چنین هزینه‌هایی در نظر گرفته نشده‌اند. پارامترهای موجود و متغیرهایی که در مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند در جدول ذیل معرفی شده اند. بخشی از پارامترها از ادبیات موجود استفاده شده بخشی دیگر نظیر توان تولید سلول خورشیدی در روز از سایت‌ها استخراج شده است. متغیرها و محدودیت‌های مدل برای اولین بار بصورت زیر در این تحقیق توسعه داده شده‌اند.

جدول ۱- پارامترها و متغیرهای مساله

اندیس‌های مدل پیشنهادی		
i	اندیس لوازم خانگی	$(i = 1, 2, \ldots, \|I\|)$
j	اندیس فرآیند مجازی لوازم خانگی	$(j = 1, 2, \ldots, \|J\|)$
t	اندیس بازه‌های یک روز، ۹۶ بازه ۱۵ دقیقه‌ای	$(t, t' = 1, 2, \ldots, 96)$
d	اندیس روزهای یک دوره بسته به طول دوره هفتگی، ماهیانه به ترتیب برابر ۷، ۳۰ و ۳۶۵Dو سالانه مقدار	$(d=1, 2, \ldots, \|D\|)$
پارامترهای مدل پیشنهادی		
c_{td}	tقیمت انرژی در زمان	
Δt	طول بازه‌ها که ۰/۲۵ ساعت است	
Pc_{td}	برحسب وات tکل توان مصرفی انرژی توسط لوازم خانگی غیر قابل برنامه ریزی در لحظه	
P_{ijd}	امین لوازم خانگی قابل برنامه ریزی و پاسخگو بر حسب وات i امین فرآیند مجازی از jتوان مصرفی	
P_{td}^{max}	برحسب واتtحداکثر توان کشیده شده از شبکه برق در بازه زمانی	
T_i^{off}	ام iماکزیمم زمان تاخیر بین دو فرایند مجازی از دستگاه زمان شروع استفاده از لوازم خانگی	
St_i	امiزمان شروع استفاده لوازم خانگی	
En_i	امiزمان پایان استفاده لوازم خانگی	
PV_{td}	برحسب واتtتوان تولیدی توسط سلول خورشیدی در بازه زمانی	
متغیرهای تصمیم		
$X_{ijtd} = \begin{cases} ۱ \\ ۰ \end{cases}$	ام انرژی مصرف کند d از روزt ام در لحظه i ام از وسیله هوشمند jفرآیند در غیر اینصورت	

مفروضات مساله به ترتیب ذیل می‌باشد:

۱) پارامترها قطعی

۲) قیمت‌گذاری پویا است و محاسبه هزینه‌ها بر اساس تعرفه‌هایی است که توسط مصرف‌کننده در طول هفته تعیین می‌شود.

۳) هر دو نوع لوازم خانگی در نظر گرفته می‌شوند، یعنی قابل برنامه‌ریزی، پاسخگو به قیمت‌های متغیر زمان، و غیرقابل برنامه‌ریزی، غیر پاسخگو به قیمت‌های متغیر

$$min \quad \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{96} c_{t,d}\cdot\Delta t\cdot\left(Pc_{t,d} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} P_{i,j,d}\cdot X_{i,j,t,d}\right) \qquad (۱)$$

S.t.

$$\sum_{t=St_i}^{En_i} X_{i.j.t.d} = 1 \qquad \forall\, i.j \qquad (۲)$$

$$X_{i.j+1.t.d} \le \sum_{t'=1}^{t-1} X_{i.j.t'.d} \qquad \forall i.j.t.d \qquad (۳)$$

$$X_{i.j.t.d} \le \sum_{t'=t+1}^{t+T_{off}^{i}/\Delta t} X_{i.j+1.t'.d} \qquad \forall i.j.t.d \qquad (۴)$$

$$\left(Pc_{t.d} + \sum_{i}\sum_{j} P_{i,j,d}\cdot X_{i.j.t.d}\right) \le P_{t.d}^{max} \qquad \forall\, t,d \qquad (۵)$$

$$X_{ijtd} \in \{0,1\} \qquad \forall\, i,j,t,d$$

زمانی.

۴) خانه هوشمند متصل به شبکه برق بوده، اما زمانی که به سلول خورشیدی متصل شده است، فروشی به شبکه ندارد.

۵) خانه هوشمند متصل به سلول خورشیدی مجهز به سیستم ذخیره انرژی برای EV[7] نیست و در صورت عدم استفاده خانه هوشمند، انرژی تولید شده هدر میرود.

۶) تعداد وسایل هوشمند را ۱۵ و تعداد فرآیندهای مجازی را برابر ۸ در نظر گرفته‌ایم. بازه زمانی برنامه‌ریزی یک هفته فرض شده است و با توجه به بازه زمانی اعلام قیمت برق هر ۲۴ ساعت شبانه روز به ۹۶ قسمت مساوی (ربع ساعت) تقسیم شده است.

۷) برخی از لوازم کنترل پذیر در طول هفته ممکن است در تمام روزهای هفته روشن باشند یا اینکه در برخی از روزهای هفته به کار گرفته شوند.

باتوجه به فرضیات بیان شده، مجموعه‌ای از لوازم هوشمند می‌تواند طوری برنامه‌ریزی شوند که هزینه پرداختی مصرف‌کننده به حداقل برسد. سیستم مدیریت انرژی، زمان‌های بهره‌برداری لوازم هوشمند را طوری انتخاب می‌کند که هزینه انرژی الکتریکی را بهینه کند.

۳-۱ مدل ریاضی پیشنهادی

۳-۱-۱- مدل متصل به شبکه برق و بدون سلول خورشیدی

مدل ریاضی پیشنهاد شده در این حالت از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح از نوع صفر و یک است که خانه هوشمند فقط به انرژی شبکه برق متصل می‌باشد. سیستم مدیریت انرژی در این حالت باتوجه به قیمت‌های زمان - حقیقی (پیش‌بینی شده) بهبرنامه‌ریزی زمان استفاده از تجهیزات خانگی با رعایت محدودیت بهره‌برداری و کارکرد تجهیزات خانگی می‌پردازد به‌طوری‌که هزینه برق مصرفی حداقل شود.

رابطه (۱) تابع هدف برای کمینه کردن هزینه انرژی الکتریکی مصرفی لوازم قابل برنامه‌ریزی وکنترل و لوازم غیرقابل کنترل خانه هوشمند در حالت استفاده از فقط شبکه برق را نشان می‌دهد. رابطه (۲) نمایانگر محدودیتی است که بهره‌بردار مایل است که وسیله الکتریکی در این محدوده زمانی کار کند و به همین دلیل برای هر وسیله محدوده زمانی $[St_i\,.\,En_i]$ (زمان شروع و زمان پایان) مشخص می‌کند. واضح است که افزایش بازه مذکور منجر به پاسخ بهتری از حل مسأله (از دید کاهش هزینه) می‌شود اما می‌تواند آسایش بهره‌بردار را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین رابطه (۲) نشان‌دهنده راحتی کاربر است.

برای عملکرد صحیح وسیله هوشمند لازم است رابطه (۳) ترتیب فرایندهای مجازی هر تجهیز هوشمند مطابق پروفایل بار آن صورت گیرد؛ بنابراین اگر فرایند jام تجهیز هوشمند i در بازه زمانی t از روزه d انجام شود $\left(X_{i.j.t.d}=1\right)$، فرایند بعدی باید در بازه زمانی بزرگتر از t در همان روز t انجام شود $\left(X_{i.j.t'.d}=1.\,t'>t\right)$. همان گونه که در تعریف تابع هدف گفته شد T_{off}^{i} وقفه مجاز بین فرایند مجازی j و j+1 مربوط به تجهیز هوشمند

[7] Electric Vehicle

i را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه بین فرآیندهای (jهای) وسیله هوشمند iام نباید وقفه‌ای بیشتر از زمان T^{i}_{off} اتفاق افتد. لذا شرط (رابطه۴) زیر باید لحاظ گردد. برای جلوگیری از تراکم سیستم توزیع، حداکثر توان جذب شده از شبکه را می‌توان محدود نمود. محدودیت مذکور باتوجه به قرارداد مشتری و شرکت برق، تنظیم می‌شود و عموماً به‌صورت متغیر با زمان در نظر گرفته می‌شود. مطابق این محدودیت که با رابطه (۵) مدل شده است، مجموع توان مصرفی تجهیزات هوشمند و غیرهوشمند در هر بازه زمانی باید از مقدار توان ماکزیمم مجاز جذب شده از شبکه بیشتر نشود.

۳-۱-۲- مدل متصل به شبکه برق و سلول خورشیدی

مدل ریاضی پیشنهادی در این بخش از نوع غیرخطی است. در این حالت اولویت مصرف انرژی استفاده از انرژی تولیدی سلول خورشیدی در ساعاتی از روز است که انرژی خورشیدی قادر به تولید کردن انرژی است. با توجه به اینکه مدل پیشنهادی از نوع غیرخطی است برای حل مدل لازم است که به خطی تبدیل شود.

$$min \quad \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{96} c_{t,d}\cdot \Delta t\cdot (max((Pc_{t,d} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} P_{i,j,d}\cdot X_{i,j,t,d} - PV_{t,d}),0)) \qquad (۶)$$

S.t.

(۲)-(۴)

$$\left(Pc_{t.d}+\sum_{i}\sum_{j} P_{i,j,d}\cdot X_{i.j.t.d}\right)\le P^{max}_{t.d}+Pv_{td} \quad . \quad \forall\, t,d \qquad (۷)$$

$$X_{i.j.t.d}=\{0و1\} \qquad \forall\, i,j,t,d$$

رابطه (۶) بیانگر استفاده از انرژی لوازم خانگی قابل کنترل و غیرقابل کنترل از انرژی شبکه برق و انرژی تولیدی توسط سلول خورشیدی در ساعاتی که خورشید در حال تابش است. نامعادله (۷) اطمینان می‌سازد که مجموع انرژی مصرف شده توسط لوازم الکتریکی قابل کنترل و غیرقابل کنترل بیشتر از مجموع انرژی مصرفی از شبکه برق و انرژی تولیدی توسط سلول خورشیدی است.

مدل ریاضی فوق همانطوری که نیز گفته شد از نوع غیرخطی است. می‌توان آن را با تعریف متغیر جدید $Z_{t.d}$ خطی‌سازی نمود.

$$\min \quad \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{96} c_{t,d}\cdot \Delta t\cdot Z_{t.d} \qquad (۸)$$

S.t.

(۲)-(۴) , (۷)

$$Z_{t.d} \ge Pc_{t,d}+\sum_{i}\sum_{j} P_{i,j,d}\,X_{i.j.t.d}-PV_{t,d} \qquad \forall\, t,d \qquad (۹)$$

$$Z_{t.d}\ge 0 \quad . \qquad \forall t \qquad (۱۰)$$

$$X_{i.j.t.d}=\{0و1\} \qquad (۱۱)$$

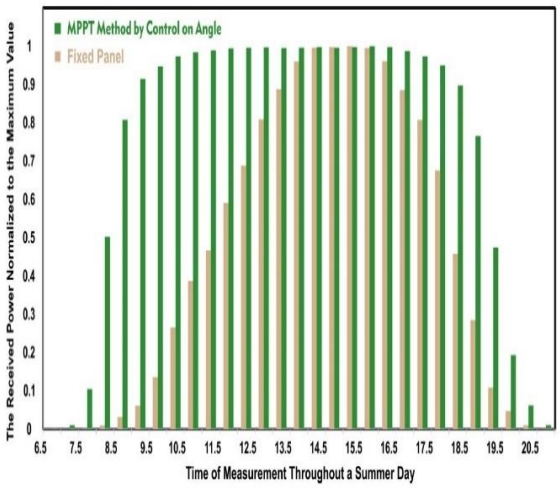
رابطه (۸) نمایانگر تابع هدف خطی شده از تابع غیرخطی min-max است که علاوه بر محدودیت های ۲و ۳و ۴و ۷، دو محدودیت جدید ۹ و ۱۰ نیز برای حل به مساله اضافه خواهد شد. رابطه ۱۱ نیز بیانگر متغیر X از نوع صفر و یک در هر دو مدل ریاضی موجود است. از آنجایی که مدل پیشنهادی برای حالت اول یک مدل ریاضی عدد صحیح صفر و یک (ILP) است و برای مدل ریاضی دوم از نوع مدل ریاضی غیرخطی صفر و یک است (NILP) است و بعد از خطی سازی به ILP تبدیل شده است، می‌توان آن را با استفاده از سالور CPLEX تعبیه شده در نرم‌افزار GAMS حل کرد. با توجه به اینکه پیچیدگی یک مسئله برای حل به تعداد متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی بستگی دارد و تعداد متغیرها در مدل پیشنهادی به تعداد داده‌ها بستگی دارد. بنابراین تعداد متغیرهای $X_{i,j,t,d}$ در مدل به اندازه I.J.T.D است. با افزایش تعداد داده‌ها مثلا از هفتگی به ماهانه یا سالانه تعداد متغیرها افزایش خواهد یافت. در مدل پیشنهادی تعداد لوازم الکتریکی به تعداد ۱۵ عدد، تعداد فرآیند مجازی هر دستگاه ۸ عدد، تعداد بازه‌های زمانی یک شبانه‌روز ۹۶ عدد و تعداد D روزهای دوره بسته به نوع دوره (هفتگی، ماهانه و سالانه) خواهد بود و می‌تواند به اندازه ۷، ۳۰ و ۳۶۵ روز است. بنابراین، تعداد متغیرهای مسئله در حالت ماهیانه و سالانه بطور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. مسئله در حالت هفتگی قابل حل با سالور CPLEX تعبیه شده در نرم‌افزار گمز است. ولی برای حل در حالت ماهانه و سالانه با توجه به افزایش ابعاد مسئله نیاز به زمان خیلی زیادی برای حل توسط نرم افزار گمز خواهد بود.

بنابراین قطعا نیاز به توسعه روش حل مانند روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل خواهد بود که در این تحقیق مسئله بصورت هفتگی با استفاده از نرم‌افزار گمز حل شده است. در ضمن لازم به ذکر است که استخراج داده واقعی توان تولیدی انرژی خورشیدی برای یک ماه و یک سال کار بسیار دشوار و زمان‌بر است و شاید امکان پذیر نیز نباشد و نیاز به روش‌های شبیه‌سازی یا روش‌های پیش بینی و یادگیری برای این موضوع باشد.

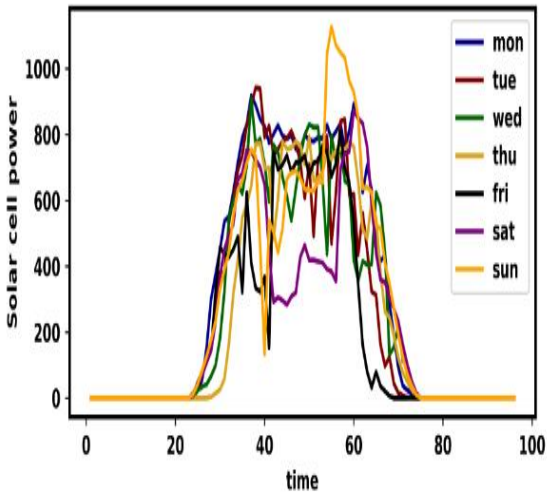
۴- داده‌های مساله

در این تحقیق بازه در نظر گرفته شده برای حل مدل‌های پیشنهادی بصورت هفتگی است. زیرا تعداد متغیرهای حالت هفتگی از تعداد متغیرهای ماهانه و سالانه بسیار کم بوده و به راحتی قابل حل با نرم افزار گمز است. علاوه بر این تهیه داده‌های ماهانه و سالانه مسئله مذکور کار بسیار دشواری است و تقریبا نمی‌توان از داده‌های واقعی برای حل مسئله استفاده کرد. بنابراین برای حل مسئله از داده‌های هفتگی استفاده شده است. همانگونه که پیشتر بحث شد برنامه‌ریزی روزانه که تمام لوازم کنترل‌پذیر در طول یک ۲۴ ساعت روشن می‌شوند نمی‌تواند مبنای درستی برای محاسبه هزینه انرژی خانوار باشد. به همین دلیل در این مقاله در جدول شماره ۲ برنامه‌ریزی هفتگی روشن شدن لوازم خانگی توسط بهره بردار تبیین شده است. در جدول شماره ۳ زمان وقفه مجاز و زمان روشن و خاموش شدن لوازم کنترل پذیر آمده است. برای بدست آوردن داده های سلول خورشیدی در طول یک روز تمام آفتابی می‌توان از شکل یک که برگرفته از منبع [۳۸] است استفاده نمود. این منحنی نرمالیزه شده برای تمام پنل ها قابل استناد هست. برای هر یک ساعت، مقدار متوسط را بعد از چند ارزیابی محاسبه و لحاظ شده است [۳۸] .

توان تولیدی توسط سلول خورشیدی نهایتا ۱۴۰۰ وات است که این توان تولیدی در یک هفته از فصل بهار (۲۰۲۰/۵/۱۵ لغایت ۲۰۲۰ /۵/۲۱) اندازه گیری شده و آدرس[۸] آن در پاورقی آمده است. برای محاسبات خانه هوشمند نمی‌توان محاسبات را بر اساس یک روز ایده‌آل آفتابی محاسبه نمود، چون به دلایلی مثل شدت تابش، میزان گرم شدن پنل و زاویه تابش، ابری بودن هوا و عوامل دیگر ممکن است اعدادی که در طول ۱یک بازه ۱۵ دقیقه‌ای اندازه گیری می‌شوند، با هم متفاوت باشند و این طبیعی است. مبنای یک هفته تولید سلول خورشیدی در هر ۱۵ دقیقه شبانه‌روز در جدول ۴ آمده است و همچنین در شکل (۲) میزان تولید سلول خورشیدی در بازه یک هفته‌ای به تفکیک روز نمایش داده شده است. در این شکل محور افقی نمودار نشان دهنده t به اندازه ۹۶ بازه است که هر بازه ۱۵ دقیقه تقسیم‌بندی شده از یک شبانه‌روز را نشان می‌دهد و محور عمودی توان تولید سلول خورشید در یک روز را نشان می‌دهد.

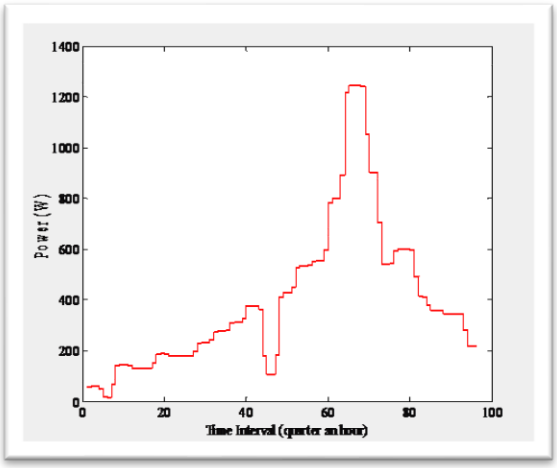


شکل ۱- توان اندازه‌گیری شده برای MPPT ثابت و جبران‌شده با زاویه بر اساس ساعت در یک روز تابستانی [۳۸]



شکل ۲- توان تولیدی سلول خورشیدی با توان ۱.۴ کیلو وات در ۲۴ ساعت

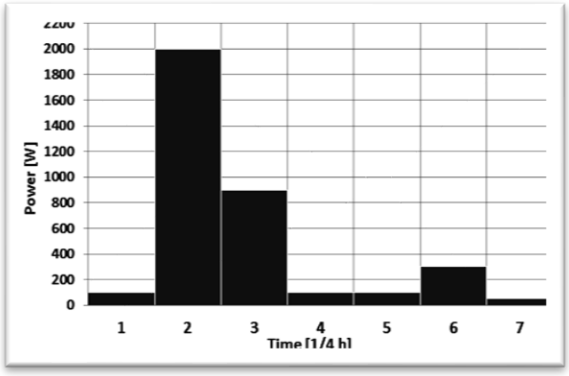
10-https://www.kaggle.com/datasets/anikannal/solar-power-generation-data



شکل ۳- توان مصرفی لوازم غیر پاسخگو بر حسب بازه‌های زمانی مختلف در ۲۴ ساعت

در این بخش مدل توسعه داده شده بر روی ۸ مطالعه موردی مختلف پیاده شده و نتایج مقایسه خواهند شد. در همین راستا در این فصل ۱۵ عدد لوازم‌خانگی کنترل‌پذیر به شرح جدول ۵ مورد بررسی قرار خواهند گرفت که مقادیر توان هر یک از این لوازم‌خانگی به‌ازای ۸ فرآیند مجازی ذکر شده است. به همین ترتیب پارامترهای مربوط به محدودیت حداکثر توان و قیمت انرژی و توان مصرفی لوازم کنترل ناپذیر به‌ازای بازه‌های زمانی مختلف در جدول ۶ نشان‌داده شده است. در همین راستا، توان مصرفی لوازم غیر پاسخگوی منزل هوشمند که به عنوان ورودی به مسئله داده شده است در شکل (۳) رسم گردیده است.

پروفایل بار هر تجهیز هوشمند را می‌توان با تعدادی خطوط شکسته مدل نمود؛ در واقع پروفایل بار از تعدادی فرایند با سطوح توان تقریباً ثابت تشکیل شده است. به عنوان مثال در شکل (۴) پروفایل توان مصرفی یک ماشین لباس‌شویی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ماشین لباس‌شویی ۷ فرایند با توان مصرفی ثابت دارد؛ بنابراین فرض شده است که ماشین لباس‌شویی ترکیبی از هفت وسیله مجازی (فرایند) است که هر فرایند در ربع ساعت انجام می‌شود. بهره‌برداری از لوازم را می‌توان بین فرایندها (در فرایندهای مرزی)، بدون به خطر انداختن کیفیت خدمات لوازم به طور قابل قبولی به تأخیر انداخت. یکی از مزایای این روش سطح کنترلی بالای آن است که می‌توان در لوازم اعمال کرد و به جابه‌جایی بار از زمان متناظر با پیک به زمان‌های متناظر با غیر پیک پرداخت.



شکل ۴ -پروفایل بار یک ماشین لباس‌شویی

جدول۲- برنامه هفتگی روشن شدن لوازم کنترل پذیر

	لوازم خانگی	دوشنبه	سه شنبه	چهارشنبه	پنجشنبه	جمعه	شنبه	یکشنبه
۱	لباسشویی	○	○	○	✓	○	○	✓
۲	ظرفشویی	✓	✓	✓	✓	✓	○	○
۳	خشک‌کن	○	○	○	✓	○	○	✓
۴	بخارساز	○	✓	○	✓	○	✓	○
۵	میکرب‌زدای هوا	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۶	آبپاش ۱(گلخانه)	✓	○	○	○	✓	○	○
۷	فن تهویه	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۸	نور مخفی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۹	آرام‌پز	○	○	✓	○	○	○	✓
۱۰	پرده اتوماتیک ۱	✓	○	✓	○	✓	○	○
۱۱	پرده اتوماتیک ۲	✓	○	✓	○	✓	○	○
۱۲	آبپاش ۲ (باغچه)	○	○	✓	○	○	○	✓
۱۳	سیستم ضبط فیلم	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۴	ربات جاروبرقی	○	✓	○	✓	○	✓	○
۱۵	پرده اتوماتیک ۳	○	✓	○	✓	○	✓	○

جدول۳-پارامترهای مربوط به وقفه مجاز زمانی در مسئله

i	T_{off}^{i}	St_i	En_i
۱	۰.۵	۰	۹۶
۲	۱	۳۶	۵۰
۳	۳	۸۴	۹۶
۴	۱	۴۸	۶۰
۵	۲	۶۸	۸۰
۶	۰.۲۵	۰	۹۶
۷	۰.۷۵	۰	۹۶
۸	۲۴	۰	۹۶
۹	۵	۰	۹۶
۱۰	۲۴	۰	۹۶
۱۱	۲۴	۰	۹۶
۱۲	۱۰	۰	۹۶
۱۳	۲۴	۰	۹۶
۱۴	۱	۰	۹۶
۱۵	۱	۰	۹۶

جدول ۴- توان تولیدی سلول خورشیدی در طول هفته

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴	۱۴.۵۶۵۱۵۲	۱۳.۷۵۷۸۱۴	۳.۷۴۶۳۶۳۶	۰	۸.۰۱۸۷۶۶۲	۱۴.۶۸۵	۱۱.۸۹۷۱۴۳
۲۵	۲۵.۷۷۱۷۱	۴۵.۴۰۴۸۴۸	۲۳.۲۷۱۷۳۲	۰	۴۷.۵۸۱۵۳۷	۴۰.۳۵۶۶۲۷	۴۳.۳۲۹۲۰۶
۲۶	۵۶.۵۲۵۲۸۱	۸۳.۴۷۴۹۳۵	۳۴.۷۰۰۸۶۶	۰	۷۹.۸۷۰۹۰۹	۶۹.۳۳۶۲۷	۸۴.۰۸۰۵۰۳
۲۷	۱۵۳.۳۴۸۱۲	۱۲۳.۴۴۰۳	۴۱.۴۳۵۰۸۷	۰	۱۱۵.۹۷۴۷۲	۱۰۸.۰۲۰۵۶	۱۲۶.۷۳۰۳۷

۲۸	۳۰۰.۶۵۳۶۴	۱۶۴.۸۱۱۰۸	۶۵.۹۷۷۲۲۹	۳.۶۲۹۰۹۰۹	۱۴۳.۳۷۷۵۵	۱۴۳.۰۴۴۴۴	۱۷۵.۸۵۰۵
۲۹	۳۷۴.۲۹۳۰۳	۲۴۶.۹۸۲۰۳	۹۹.۲۷	۱۳.۹۵۲۵۳۲	۳۲۱.۸۷۵۴۳	۲۳۱.۵۸۵	۲۳۳.۳۸۹۵۸
۳۰	۴۵۰.۹۰۸۸۷	۳۸۲.۱۹۲۴۲	۱۸۱.۳۲۶۹۷	۲۶.۰۴۶۲۳۴	۴۵۶.۹۲۴۱۸	۳۶۹.۳۶۰۸۳	۳۳۱.۳۳۰۶۳
۳۱	۵۳۶.۹۶۹۳۵	۳۷۸.۳۹۱۰۲	۳۲۴.۷۷۴۹۶	۵۸.۲۲۱۸۴	۴۳۷.۲۵۴۵۵	۴۵۱.۹۳۱۳۹	۳۹۰.۵۸۵۵۶
۳۲	۵۵۱.۴۹۱۳۹	۵۳۲.۷۶۶۹۷	۵۴۹.۳۹۳۴۸	۱۶۶.۴۳۴۸۵	۴۲۷.۷۴۴۰۷	۴۹۵.۵۱۷۷۸	۴۴۳.۴۸۶۳
۳۳	۶۲۶.۵۷۰۳	۶۱۰.۰۰۹۶۳	۵۹۵.۶۶۹۸۵	۳۱۸.۱۱۶۴۹	۴۵۱.۶۶۱۷۵	۵۲۸.۸۶۸۳۳	۵۵۵.۴۵۹۸۱
۳۴	۷۱۴.۴۷۴۲۴	۶۹۰.۵۸۱۴۳	۶۴۹.۷۹۰۳	۴۱۷.۵۴۱۶۹	۴۸۹.۵۳۰۰۶	۶۶۲.۴۲۹۴۴	۶۳۱.۸۵۹۸۷
۳۵	۷۹۰.۸۸۶۸۸	۷۳۵.۷۲۴۲۴	۶۲۰.۷۰۷۳۸	۵۴۸.۲۴۰۳۹	۳۲۱.۷۶۶۴۹	۶۸۲.۴۲۴۵۲	۶۵۸.۳۷۹۵۸
۳۶	۸۳۱.۶۳۶۰۶	۸۲۹.۲۳۶۲۶	۷۰۶.۰۶۴۲۲	۵۸۶.۵۳۰۵۸	۶۲۳.۳۳۶۶۷	۷۵۳.۱۳۳۹۳	۷۱۳.۵۵۰۳۷
۳۷	۹۱۷.۹۶۶۰۸	۸۸۷.۷۲۶۳	۹۰۸.۴۹۶۱۵	۶۴۳.۲۲۸۶۶	۴۱۰.۷۹۳۷۹	۷۴۷.۰۲۱۱۱	۷۵۴.۸۲۸۵۲
۳۸	۸۸۸.۷۶۲۱۶	۹۴۲.۱۵۱۸۸	۷۶۹.۲۳۲۱۹	۷۷۱.۱۴۷۴۲	۳۳۳.۷۲۸۷۷	۷۲۳.۶۵۰۵۶	۷۳۳.۴۳۸۹۲
۳۹	۸۴۶.۷۱۵۰۹	۹۳۹.۱۴۱۳۲	۷۸۷.۶۱۲۷۳	۷۷۲.۴۹۳۴	۳۲۲.۸۱۵۸	۷۰۱.۲۵۶۸۷	۴۶۱.۶۶
۴۰	۸۲۴.۶۷۳۱۶	۷۹۱.۷۵۱۵۲	۷۰۹.۸۴۹۰۵	۶۹۸.۰۷۱۳۲	۳۶۸.۲۴۲۰۸	۶۴۸.۷۷۶۶۳	۱۳۲.۹۸۸۱۲
۴۱	۷۷۴.۶۱۴۲۴	۸۲۶.۶۰۴۲	۵۹۷.۲۹۷۸۱	۶۹۸.۶۹۱۷۵	۱۵۲.۵۱۶۶۵	۴۴۵.۵۷	۵۳۹.۰۴۰۸۲
۴۲	۸۰۱.۰۲۲۱۲	۷۳۶.۰۱۵۳۹	۷۶۸.۷۳۳۱۲	۴۸۳.۴۵۳۳۱	۷۴۵.۵۰۶۶۷	۲۹۱.۳۸۷۲۲	۵۰۴.۱۷۴۴۴
۴۳	۸۲۸.۰۵۶۲۸	۷۵۶.۰۲۸۷۲	۷۴۵.۹۷۲۵۸	۶۰۴.۵۲۵۳۷	۶۹۳.۵۷۸۹۴	۳۰۵.۷۸۵۵۶	۴۴۱.۴۸۴۰۷
۴۴	۷۹۶.۷۴۴۴۲	۷۷۹.۰۹۰۱۷	۶۷۲.۱۵۲۱۲	۷۷۷.۹۱۹۴۴	۷۰۷.۸۸۰۶۹	۲۹۶.۴۵۳۱	۵۱۱.۵۴۳۳۱
۴۵	۷۸۶.۹۸۹۸۹	۷۸۸.۴۹۲۳۸	۶۱۳.۴۸۱۲۱	۷۵۶.۰۶۱۲۶	۷۳۶.۶۱۱۰۴	۲۸۳.۰۸۲۷۸	۶۶۶.۲۴۵۱۹
۴۶	۷۹۸.۱۶۵۴۵	۸۱۰.۸۸۳۶۴	۵۳۸.۴۳۴۱۱	۷۵۹.۵۷۵۴۵	۶۸۶.۵۷۷۵۱	۳۰۸.۴۵۶۱۱	۶۸۴.۱۸۲۹۶
۴۷	۷۵۶.۰۵۳۳۳	۷۷۵.۰۵۱۹۵	۶۳۵.۲۸۱۰۲	۷۷۸.۷۴۵۳	۷۱۴.۹۱۶۰۶	۳۲۰.۲۵۱۱۱	۶۸۹.۰۹۵۱۹
۴۸	۷۵۲.۰۳۶۱۳	۷۱۴.۸۹۵۴۱	۷۳۱.۱۳۹۲۶	۷۶۷.۴۶۶۹۹	۷۱۶.۹۸۱۹۳	۴۲۷.۳۰۷۲۲	۶۶۷.۵۲۴۸۱
۴۹	۷۹۸.۱۱۲۰۳	۶۰۷.۵۶۸۲۳	۷۹۸.۹۳۰۶۱	۷۰۹.۱۲۷۱۶	۷۳۶.۱۲۵۳۹	۴۶۴.۲۴۷۹۴	۶۳۴.۵۰۰۴
۵۰	۷۸۲.۷۳۱۱۹	۷۰۸.۴۹۰۶۵	۸۳۰.۴۶۷۵۵	۷۹۳.۲۰۹۷۲	۶۷۴.۶۹۲۴۲	۴۱۸.۸۹۲۳۴	۶۳۰.۲۱۳۷
۵۱	۷۷۹.۴۱۱۸۲	۴۹۲.۱۷۸۸۳	۸۲۱.۹۲۵۳	۶۵۹.۳۷۲۱۲	۷۱۳.۵۴۴۱۳	۴۱۸.۹۷۱۶۷	۶۲۹.۰۱۲۲۲
۵۲	۷۹۰.۷۷۸۷۹	۷۲۶.۸۹۰۷۶	۸۲۲.۱۴۳۱	۶۶۷.۶۸۶۰۶	۷۱۹.۲۷۴۳۳	۴۱۴.۴۸۱۱۱	۶۵۸.۱۴۲۵۹
۵۳	۷۸۷.۸۱۰۱۱	۷۳۴.۹۳۷۲۷	۶۵۸.۷۶۲۰۱	۶۸۶.۰۳۷۰۱	۷۶۶.۲۷۳۰۵	۴۱۰.۸۶۰۵۶	۶۵۳.۷۱۷۴۱
۵۴	۸۲۸.۴۹۱۶۹	۷۹۵.۳۱۸۲۷	۴۳۷.۰۷۸۷۹	۷۴۳.۷۶۹۷۲	۷۴۴.۰۰۵۵۲	۳۹۱.۴۳۱۸۷	۱۰۴۵.۳۷۲۱
۵۵	۷۸۶.۸۴۳۵۹	۴۶۹.۲۱۱۹	۷۹۷.۲۱۸۰۳	۷۲۶.۳۴۱۶	۶۷۳.۲۷۰۶۱	۳۸۴.۰۰۶۶۷	۱۱۲۷.۳۱۵۸
۵۶	۸۰۹.۳۶۸۱۸	۶۲۱.۷۵۹۳۹	۷۱۷.۶۷۱۴۷	۷۵۱.۵۳۳۲۳	۷۱۱.۷۵۱۳۹	۳۵۴.۶۵۳۸۵	۱۰۷۱.۰۳۸۱
۵۷	۸۳۳.۰۴۶۳۶	۸۳۹.۷۶۹۴۶	۷۶۳.۹۹۶۶۷	۷۵۵.۵۹۱۵۲	۸۰۹.۶۶۱۴۵	۶۹۳.۸۹۳۱۸	۱۰۴۸.۹۵۹۳
۵۸	۷۵۶.۴۵۶۴۱	۸۴۵.۶۹۷۱۴	۶۵۹.۰۱۸۷	۷۵۴.۳۵۱۰۲	۶۹۸.۰۰۸۵۵	۷۴۳.۶۴۱۲۱	۱۰۳۲.۸۳۸۳
۵۹	۸۱۲.۱۵۷۸۴	۶۱۳.۸۰۵۷۴	۶۴۶.۵۶۱۸۲	۷۷۴.۵۱۰۹۷	۶۵۴.۰۵۰۴۸	۷۴۹.۰۵۵۱۵	۹۶۱.۴۷۶۱۱
۶۰	۸۹۲.۶۶۵۴۸	۶۱۹.۲۹۹۳۷	۴۱۹.۰۱۶۴۳	۷۶۳.۲۱۷۶۶	۵۳۲.۵۳۹۳۹	۸۷۲.۵۸۵۴۵	۹۲۹.۰۴۶۹۶
۶۱	۸۵۰.۹۱۷۲۷	۴۳۵.۷۹۰۶۱	۳۵۶.۷۸۱۵۲	۶۵۶.۴۰۷۸۴	۳۴۱.۴۵۷۳۸	۸۴۸.۷۱۳۳۳	۸۵۱.۳۷۵۹۳
۶۲	۶۲۵.۲۴۲۴۲	۵۶۱.۲۵۳۰۷	۴۱۵.۰۹۸۶۶	۵۱۲.۱۲۵۱۷	۱۶۰.۵۴۲۵۸	۸۳۳.۴۹۱۲۱	۶۳۷.۰۴۹۶۳
۶۳	۷۰۵.۶۵۰۸۴	۴۴۹.۵۰۴۰۷	۴۰۴.۸۵۶۹۷	۴۸۵.۲۶۸۵۹	۸۰.۲۰۳۶۲۱	۷۶۲.۰۴۶۲۸	۶۳۹.۷۳۸۰۲
۶۴	۶۳۱.۶۳۱۷۷	۳۲۳.۲۸۳۳۵	۴۰۶.۸۵۴۷۲	۶۰۰.۸۵۵۹۱	۳۲.۰۸۹۲۰۵	۵۹۲.۶۳۰۱۱	۶۲۴.۹۰۵۵
۶۵	۴۶۳.۹۴۹۷۲	۳۱۲.۹۰۷۸۶	۶۲۳.۶۱۸۳۳	۵۴۷.۵۱۱۴۳	۷۹.۱۳۴۴۱۶	۴۴۰.۷۰۱۸۲	۵۲۳.۷۱۳۲۳
۶۶	۴۱۵.۴۹۲۱۲	۱۶۱.۸۰۹۳۹	۵۸۴.۳۴۶۶۲	۳۷۹.۱۱۴۳۳	۳۵.۷۸۳۰۳	۳۵۸.۴۹۰۳	۵۱۵.۰۵۹۶۳
۶۷	۴۳۴.۲۴۷۸۸	۹۷.۲۰۶۹۴۸	۴۴۳.۳۵۱۹۳	۲۶۱.۴۲۷۶۲	۲۰.۸۰۴۸۴۸	۳۵۱.۸۰۶۰۶	۴۰۸.۵۲۱۱۱
۶۸	۲۸۵.۱۹۳۷۴	۱۲۴.۹۱۲۶۸	۱۳۱.۲۶۱۵۲	۲۴۴.۳۲۳۶۴	۶.۳۹۸۷۸۷۹	۳۰۳.۰۶۰۷۶	۳۴۸.۷۳۶۱۹
۶۹	۱۹۰.۲۱۳۴۶	۴۳.۵۲۱۴۰۷	۱۵۴.۸۴۶۶۷	۱۸۹.۲۷۲۶۶	۰	۲۷۰.۸۹۲	۲۷۰.۴۵۱۳۲
۷۰	۹۲.۴۳۱۸۱۸	۱۵.۴۰۲۷۹۲	۲۲۰.۷۹۲۴۲	۱۲۱.۶۸۹۸۷	۰	۲۳۱.۲۹۶۵۴	۱۹۲.۴۵۳۶۵
۷۱	۳۷.۲۴۷۲۷۳	۷.۴۵۵۷۵۷۶	۱۱۳.۱۲۷۵۱	۷۶.۷۵۱۶۴۵	۰	۱۶۱.۶۴۱۹۳	۱۲۲.۵۳۴۸۱
۷۲	۲۳.۹۳۲۴۲۴	۰.۷۵۸۲۹	۹۹.۵۲۷۹۸۷	۵۰.۵۹۹۵۲۴	۰	۱۰۱.۷۰۳۶۸	۷۱.۸۹۱۸۵۲
۷۳	۱۴.۶۵	۰	۳۷.۱۸۲۷۲۷	۲۵.۴۱۷۵۷۶	۱.۶۰۵۹۷۴	۵۰.۷۹۱۳۲	۳۷.۱۵۶۳۲۳
۷۴	۲.۲۶۸۳۱۱۷	۰	۶.۸۸۹۴۸۰۵	۵.۸۷۳۲۶۸۴	۰.۷۴۹۶۹۷	۱۴.۸۴۷۳۵۹	۹.۹۱۸۳۳۳۳

۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول۵- مقادیر توان لوازم‌خانگی قابل برنامه‌ریزی

نام وسیله هوشمند	j i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
لباسشویی	۱	۱۰۰	۲۰۰۰	۹۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۰	۰
ظرف‌شویی	۲	۲۰۰	۴۰۰	۱۵۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۲۰۰
خشک‌کن	۳	۵۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۰	۰	۰	۰
بخارساز	۴	۴۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۰	۰	۰
میکرب‌زدای هوا	۵	۲۰۰	۳۰۰	۵۰۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۰	۰
آبپاش ۱(گلخانه)	۶	۵۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۰	۰	۰	۰
فن تهویه	۷	۱۰۰	۲۰۰۰	۹۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۰	۰
نور مخفی	۸	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
آرام‌پز	۹	۲۰۰	۴۰۰	۱۵۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۲۰۰
پرده اتوماتیک ۱	۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
پرده اتوماتیک ۲	۱۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آبپاش ۲ (باغچه)	۱۲	۵۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۰	۰	۰	۰
سیستم ضبط فیلم	۱۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ربات جاروبرقی	۱۴	۲۰۰	۴۰۰	۱۵۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۲۰۰
پرده اتوماتیک ۳	۱۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول۶-پارامترهای مربوط به محدودیت حداکثر توان و قیمت انرژی و توان مصرفی لوازم غیرقابل برنامه ریزی در مسئله

t	Pc_t	c_t	p_t^{max}	t	Pc_t	c_t	p_t^{max}	t	Pc_t	c_t	p_t^{max}
۱	۵۸	۲۹۰	۴۰۰۰	۳۳	۲۷۸	۳۱۶	۴۰۰۰	۶۵	۱۲۴۴	۶۰۸	۴۰۰۰
۲	۵۹	۲۹۰	۴۰۰۰	۳۴	۲۷۸	۳۱۳	۴۰۰۰	۶۶	۱۲۴۴	۶۶۵	۴۰۰۰
۳	۵۹	۲۹۰	۴۰۰۰	۳۵	۲۸۲	۲۹۳	۴۰۰۰	۶۷	۱۲۴۴	۷۹۲	۴۰۰۰
۴	۵۰	۲۹۰	۴۰۰۰	۳۶	۳۰۸	۲۹۷	۴۰۰۰	۶۸	۱۲۴۲	۸۰۸	۴۰۰۰
۵	۲۰	۲۹۰	۴۰۰۰	۳۷	۳۱۳	۳۱۵	۴۰۰۰	۶۹	۱۰۵۵	۸۰۸	۴۰۰۰
۶	۱۶	۲۸۴	۴۰۰۰	۳۸	۳۱۳	۳۷۱	۴۰۰۰	۷۰	۹۰۳	۸۰۵	۴۰۰۰
۷	۶۷	۲۶۶	۴۰۰۰	۳۹	۳۲۶	۵۱۶	۴۰۰۰	۷۱	۹۰۲	۷۵۶	۴۰۰۰
۸	۱۴۳	۲۵۵	۴۰۰۰	۴۰	۳۷۶	۵۱۹	۴۰۰۰	۷۲	۷۰۴	۷۲۶	۴۰۰۰
۹	۱۴۵	۲۱۸	۴۰۰۰	۴۱	۳۷۹	۴۴۲	۴۰۰۰	۷۳	۵۴۰	۶۶۱	۳۰۰۰
۱۰	۱۴۵	۲۱۲	۴۰۰۰	۴۲	۳۷۹	۴۱۶	۴۰۰۰	۷۴	۵۴۰	۶۲۴	۳۰۰۰
۱۱	۱۴۱	۲۱۲	۴۰۰۰	۴۳	۳۶۳	۳۷۹	۴۰۰۰	۷۵	۵۴۶	۵۷۵	۳۰۰۰
۱۲	۱۳۳	۲۱۶	۴۰۰۰	۴۴	۱۷۸	۳۸۱	۴۰۰۰	۷۶	۵۹۱	۵۶۴	۳۰۰۰
۱۳	۱۳۳	۱۸۸	۴۰۰۰	۴۵	۱۰۹	۴۳۵	۴۰۰۰	۷۷	۵۹۸	۶۴۱	۳۰۰۰
۱۴	۱۳۳	۱۸۱	۴۰۰۰	۴۶	۱۰۹	۴۶۲	۴۰۰۰	۷۸	۵۹۸	۶۵۰	۳۰۰۰
۱۵	۱۳۳	۱۶۲	۴۰۰۰	۴۷	۱۸۴	۵۱۹	۴۰۰۰	۷۹	۵۹۸	۴۷۶	۳۰۰۰
۱۶	۱۳۳	۱۵۹	۴۰۰۰	۴۸	۴۱۰	۵۵۸	۴۰۰۰	۸۰	۵۹۷	۳۳۹	۳۰۰۰
۱۷	۱۵۳	۱۵۹	۴۰۰۰	۴۹	۴۳۰	۶۴۶	۴۰۰۰	۸۱	۴۹۴	۳۰۹	۳۰۰۰
۱۸	۱۸۶	۱۵۹	۴۰۰۰	۵۰	۴۳۰	۶۴۹	۴۰۰۰	۸۲	۴۱۵	۲۸۹	۳۰۰۰
۱۹	۱۸۸	۱۵۹	۴۰۰۰	۵۱	۴۴۹	۶۳۰	۴۰۰۰	۸۳	۴۱۳	۲۵۴	۳۰۰۰
۲۰	۱۸۵	۱۸۴	۴۰۰۰	۵۲	۵۲۷	۶۶۵	۴۰۰۰	۸۴	۳۸۰	۲۴۲	۳۰۰۰
۲۱	۱۸۰	۲۳۷	۴۰۰۰	۵۳	۵۳۶	۷۹۴	۴۰۰۰	۸۵	۳۶۰	۲۸۳	۴۰۰۰
۲۲	۱۸۰	۲۳۱	۴۰۰۰	۵۴	۵۳۶	۸۰۴	۴۰۰۰	۸۶	۳۶۰	۲۹۰	۴۰۰۰
۲۳	۱۸۰	۱۷۱	۴۰۰۰	۵۵	۷۴۹	۷۴۹	۴۰۰۰	۸۷	۳۵۹	۲۹۰	۴۰۰۰
۲۴	۱۸۰	۱۵۹	۴۰۰۰	۵۶	۵۵۳	۷۲۶	۴۰۰۰	۸۸	۳۴۸	۲۸۹	۴۰۰۰
۲۵	۱۸۰	۱۵۹	۴۰۰۰	۵۷	۵۵۵	۶۵۳	۴۰۰۰	۸۹	۳۴۴	۲۴۴	۴۰۰۰
۲۶	۱۸۰	۱۵۹	۴۰۰۰	۵۸	۵۵۵	۶۲۱	۴۰۰۰	۹۰	۳۴۴	۲۱۱	۴۰۰۰
۲۷	۱۹۶	۱۵۹	۴۰۰۰	۵۹	۵۹۵	۵۳۲	۴۰۰۰	۹۱	۳۴۴	۱۹۵	۴۰۰۰
۲۸	۲۳۲	۱۶۶	۴۰۰۰	۶۰	۷۸۲	۴۹۲	۴۰۰۰	۹۲	۳۴۴	۱۸۵	۴۰۰۰
۲۹	۲۳۵	۱۸۴	۴۰۰۰	۶۱	۸۰۲	۴۰۲	۴۰۰۰	۹۳	۲۸۱	۱۶۹	۴۰۰۰
۳۰	۲۳۵	۲۲۸	۴۰۰۰	۶۲	۸۰۲	۳۷۳	۴۰۰۰	۹۴	۲۱۹	۱۵۹	۴۰۰۰
۳۱	۲۴۴	۳۱۱	۴۰۰۰	۶۳	۸۹۲	۴۱۳	۴۰۰۰	۹۵	۲۱۹	۱۵۹	۴۰۰۰
۳۲	۲۷۵	۳۱۶	۴۰۰۰	۶۴	۱۲۱۷	۴۵۱	۴۰۰۰	۹۶	۲۱۸	۱۵۸	۴۰۰۰

۵- مطالعات موردی

در این بخش ۴ سناریو در نظر گرفته شده است که هر ۴ سناریو یک بار در مطالعات موردی ۱ تا ۴ بر اساس مدل اولیه که سلول خورشیدی به خانه هوشمند متصل نیست مورد مطالعه قرار گرفته است و یکبار دیگر همان ۴ سناریو در مطالعات ۵ تا ۸، که با اضافه کردن سلول خورشیدی به خانه مورد بررسی قرار گرفته اند. پارامترهای مربوط به هر سناریو بر اساس تغییر در بازه زمانی بهره‌برداری لوازم خانگی بر اساس راحتی کاربر و همچنین بدون در نظرگرفتن راحتی کاربر و همچنین تغییر در قیمت‌های لحظه‌ای انرژی بصورت دینامیکی و تغییر قیمت سه پله‌ای توسعه داده شده‌اند که در هر مطالعه موردی موارد مربوط به سناریوی مورد نظر بصورت کامل توضیح داده شده‌اند و در نهایت با مقایسه هزینه بدست آمده از سناریوی یکسان در هر دو مدل پیشنهادی سعی در قیاس میزان اختلاف هزینه انرژی برای محاسبه میزان سرمایه گذاری حداقلی و مناسب برای سلول خورشیدی با توجه به قیمت‌های انرژی از شبکه برق و راحتی کاربر شده است.

۵-۱- مطالعه موردی ۱

اطلاعات و مقادیر ورودی مسئله در این مطالعه موردی مطابق جدول ۷ در نظر گرفته شده است. در این محدوده زمانی بهره برداری از وسایل ارائه شده است. در این حالت قیمت انرژی در بازه ربع ساعت در طول شبانه روز متغیر فرض شده و بیشترین محدودیت برای زمان بهره‌برداری از وسایل هوشمند و همچنین برای توان جذب شده از شبکه حداقل مقدار ممکن لحاظ گردیده است. علاوه‌برآن، کمترین زمان برای وقفه مجاز بین فرایندها یک در نظر گرفته می‌شود در این صورت یک فرآیند می‌تواند بلافاصله بعد از فرآیند قبلی خود اجرا شود.

جدول۷-محدوده زمانی تعیین شده برای بهره‌برداری از لوازم‌خانگی توسط بهره‌بردار در مطالعه موردی اول

i	St_i	En_i
۱	۰	۹۶
۲	۳۶	۵۰
۳	۸۴	۹۶
۴	۴۸	۶۰
۵	۸۰	۸۸
۶	۰	۹۶
۷	۰	۹۶
۸	۰	۹۶
۹	۰	۹۶
۱۰	۰	۹۶
۱۱	۰	۹۶
۱۲	۰	۹۶
۱۳	۰	۹۶
۱۴	۰	۹۶
۱۵	۰	۹۶

حل مسئله برای به حداقل رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول ۸ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برای یک دوره یک هفته‌ای برابر۱۰۱۹۶۴۹۰ریال شده است. زمان روشن و خاموش‌شدن فرآیندهای مجازی تجهیزات قابل‌برنامه‌ریزی به‌صورت جدول ۸ است:

جدول۸- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه اول

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۵	۱۶	۱۷	۱۸	۲۵	۲۶	۲۷	۳۱	۳۲
	۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۶	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۰	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۶	۹۴	۹۵	۹۶
tue	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۴	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۴	۵۸	۵۹
	۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۶	۳۰	۳۸
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۳
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۶
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷
wed	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۵	۱۷	۱۸	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۴	۳۷
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۴
	۸	۱۶	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۶
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
	۱۰	۱۶	۱۷	۱۸	۲۵	۲۶	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۲	۱۶	۱۷	۱۹	۲۵	۳۹	۵۵	۷۴	۷۸
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۵	۲۷	۹۵	۹۶
thu	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۱
	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴

	۳	۸۴	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
	۴	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۴	۵۸	۶۰
	۵	۱۶	۱۷	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۲	۳۳
	۷	۱۶	۱۸	۱۹	۲۰	۲۳	۲۶	۲۷	۳۰
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۶	۹۴	۹۵
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۶
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷
Fri	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۵	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴	۲۶	۲۷	۳۲	۳۳
	۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۲
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۰	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
sat	۴	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۵	۵۶
	۵	۱۶	۱۷	۱۹	۲۴	۲۶	۲۷	۳۰	۳۲
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۴
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۵
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۹	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۶
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
sun	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۱
	۳	۸۴	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
	۵	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴	۲۶	۲۷	۳۳	۳۸
	۷	۱۶	۱۷	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۸	۳۰
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۹۴	۹۶
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
	۱۲	۱۶	۱۸	۱۹	۲۵	۶۳	۷۲	۷۶	۸۳
	۱۳	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴

۵-۲- مطالعه موردی ۲

در این مطالعه برای محدوده بهره‌برداری از لوازم‌خانگی انعطاف بیشتری در نظر گرفته شده است (جدول ۹). قیمت انرژی و پارامترهای توان مشابه مطالعه موردی یک می‌باشد.

حل مسئله برای به‌حداقل‌رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول۱۰ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برابر۹۹۹۵۸۷۴.۲۵۰ ریال شده است که نشان از کاهش هزینه در اثر افزایش محدوده تعیین شده برای بهره‌برداری توسط بهره‌بردار دارد. در جدول ذیل نتیجه برنامه‌ریزی لوازم کنترل‌پذیر در مطالعه دوم دیده می‌شود.

جدول۹- محدوده زمانی تعیین شده برای بهره‌برداری از لوازم‌خانگی توسط بهره‌بردار در مطالعه موردی دوم

i	St_i	En_i
۱	۰	۹۶
۲	۳۶	۷۰
۳	۳۰	۹۶
۴	۳۰	۶۰
۵	۳۶	۸۰
۶	۰	۹۶
۷	۰	۹۶
۸	۰	۹۶
۹	۰	۹۶
۱۰	۰	۹۶
۱۱	۰	۹۶
۱۲	۰	۹۶
۱۳	۰	۹۶
۱۴	۰	۹۶
۱۵	۰	۹۶

جدول۱۰- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه دوم

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	**۲**	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۵	۲۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۴۴	۵۲	۵۸
	۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۴
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۵	۲۶	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۰	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۲۶	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
tue	**۲**	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۴	۳۰	۳۱	۳۵	۳۶	۳۷	۴۱	۴۴	۴۷
	۵	۲۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۴۴	۵۲	۵۷
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۴
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۵	۲۶	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۶	۲۷
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۷

wed	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۵	۲۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۴۴	۴۹	۵۲
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۳
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
	۱۰	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۲	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۵۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
thu	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۳	۸۴	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
	۴	۳۰	۳۱	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۱
	۵	۲۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۴۴	۴۵	۴۷
	۷	۱۶	۱۸	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۷
	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
Fri	۲	۲۸	۳۲	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۴
	۵	۲۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۴۴	۴۵	۵۳
	۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۱
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۰	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
sat	۴	۳۰	۳۱	۳۵	۳۶	۳۷	۳۹	۴۲	۴۶
	۵	۲۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۴۴	۴۵	۵۳
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۱
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۶	۲۷
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷
sun	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
	۳	۸۴	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
	۵	۲۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۴۴	۴۹	۵۲
	۷	۱۶	۱۷	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
	۱۲	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۵۹	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶

۵-۳- مطالعه موردی ۳

این مطالعه مطابق شرایط مطالعه موردی دوم انجام یافته و تفاوت آن با مطالعه قبلی تغییر پروفایل قیمت انرژی از قیمت‌های دینامیک داده شده به قیمت‌های سه پله‌ای برق در ایران است. در این مطالعه فرض شده است که قیمت برق فقط مقادیر۴۰، ۷۷ و ۱۲۲ را در سه بازه مساوی در طول شبانه‌روز دارا می‌باشد. (جدول ۱۱). حل مسئله برای به حداقل رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول ۱۲ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برابر ۷۹۰۷۷۰۹.۵ ریال شده است.

جدول ۱۱ - قیمت انرژی در مطالعه موردی سوم

t	c_t	t	c_t	t	c_t	t	c_t
۱	۴۰	۲۵	۴۰	۴۹	۷۷	۷۳	۱۲۲
۲	۴۰	۲۶	۴۰	۵۰	۷۷	۷۴	۱۲۲
۳	۴۰	۲۷	۴۰	۵۱	۷۷	۷۵	۱۲۲
۴	۴۰	۲۸	۴۰	۵۲	۷۷	۷۶	۱۲۲
۵	۴۰	۲۹	۴۰	۵۳	۷۷	۷۷	۱۲۲
۶	۴۰	۳۰	۴۰	۵۴	۷۷	۷۸	۱۲۲
۷	۴۰	۳۱	۴۰	۵۵	۷۷	۷۹	۱۲۲
۸	۴۰	۳۲	۴۰	۵۶	۷۷	۸۰	۱۲۲
۹	۴۰	۳۳	۷۷	۵۷	۷۷	۸۱	۱۲۲
۱۰	۴۰	۳۴	۷۷	۵۸	۷۷	۸۲	۱۲۲
۱۱	۴۰	۳۵	۷۷	۵۹	۷۷	۸۳	۱۲۲
۱۲	۴۰	۳۶	۷۷	۶۰	۷۷	۸۴	۱۲۲
۱۳	۴۰	۳۷	۷۷	۶۱	۷۷	۸۵	۱۲۲
۱۴	۴۰	۳۸	۷۷	۶۲	۷۷	۸۶	۱۲۲
۱۵	۴۰	۳۹	۷۷	۶۳	۷۷	۸۷	۱۲۲
۱۶	۴۰	۴۰	۷۷	۶۴	۷۷	۸۸	۱۲۲
۱۷	۴۰	۴۱	۷۷	۶۵	۱۲۲	۸۹	۱۲۲
۱۸	۴۰	۴۲	۷۷	۶۶	۱۲۲	۹۰	۱۲۲
۱۹	۴۰	۴۳	۷۷	۶۷	۱۲۲	۹۱	۱۲۲
۲۰	۴۰	۴۴	۷۷	۶۸	۱۲۲	۹۲	۱۲۲
۲۱	۴۰	۴۵	۷۷	۶۹	۱۲۲	۹۳	۱۲۲
۲۲	۴۰	۴۶	۷۷	۷۰	۱۲۲	۹۴	۱۲۲
۲۳	۴۰	۴۷	۷۷	۷۱	۱۲۲	۹۵	۱۲۲
۲۴	۴۰	۴۸	۷۷	۷۲	۱۲۲	۹۶	۱۲۲

جدول۱۲- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه سوم

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	۲	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۴	۴۷
	۵	۳۸	۴۴	۵۱	۵۶	۶۰	۶۴	۷۲	۷۹
	۶	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۳	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۲	۴۱	۴۴	۴۸	۵۲	۵۴	۵۸	۶۰	۶۴

tue	۴	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۸	۴۲	۴۶	۴۹
	۵	۵۰	۵۵	۵۶	۵۸	۶۰	۶۱	۶۸	۷۵
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۳	۱	۲	۴	۵	۶	۷	۲۴	۲۵
	۱۴	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
wed	۲	۳۷	۴۰	۴۱	۴۲	۴۶	۵۰	۵۱	۵۵
	۵	۵۳	۵۶	۵۸	۶۰	۶۱	۶۴	۷۲	۷۹
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۹	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۳	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
thu	۱	۲	۴	۵	۶	۷	۸	۱۰	۱۲
	۲	۴۲	۴۴	۴۶	۵۰	۵۴	۵۵	۵۶	۵۹
	۳	۲۶	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۶	۴۱	۴۹
	۴	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۵	۳۷	۳۸	۴۲
	۵	۳۶	۴۱	۴۷	۵۵	۶۳	۶۴	۷۲	۷۹
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۷	۱۰	۱۲
	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۳	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۴	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Fri	۲	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۳	۴۴	۴۶	۵۰
	۵	۵۰	۵۶	۵۹	۶۱	۶۲	۶۴	۷۲	۸۰
	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۰	۱	۲	۴	۵	۶	۷	۱۸	۱۹
	۱۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۳	۱	۲	۴	۵	۶	۷	۲۵	۲۶
sat	۴	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۶	۳۷	۳۸
	۵	۳۷	۳۸	۴۱	۴۳	۵۰	۵۶	۶۴	۷۲
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۳	۱	۲	۶	۷	۸	۹	۱۷	۱۸
	۱۴	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
sun	۱	۲۵	۲۶	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۴
	۳	۲۴	۳۰	۳۱	۳۲	۴۴	۵۰	۵۶	۶۳
	۵	۴۴	۵۲	۵۶	۶۱	۶۳	۶۴	۷۲	۷۹
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸

	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۹	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۲	۱	۱۸	۲۸	۲۹	۶۹	۷۰	۷۱	۹۶
	۱۳	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸

۵-۴- مطالعه موردی ۴

این مطالعه مطابق شرایط مطالعه موردی اول انجام‌یافته و تنها تفاوت آن با مطالعه اول در این است که محدودیتی برای زمان‌های روشن و خاموش‌شدن بارها تعیین نشده است. به‌عبارت‌دیگر بهره‌بردار محدوده زمانی خاصی را برای بهره‌برداری تعیین نکرده است. حل مسئله برای به‌حداقل‌رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول ۱۳ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برابر ۹۵۲۰۷۸۶.۷۵ریال شده است. همان گونه که انتظار داشتیم هزینه انرژی مصرفی پایین‌تر از مطالعه موردی اول و مطالعه موردی دوم است.

جدول۱۳- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه چهارم

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	۲	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۷
	۵	۱۶	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۹	۳۲
	۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
	۸	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۰	۱۶	۱۹	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
tue	۲	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۷
	۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۴
	۵	۱۶	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۹	۳۲
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
	۸	۱۶	۱۸	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۹	۲۵	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
wed	۲	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۶	۲۷
	۵	۱۶	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۲
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
	۸	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
	۱۰	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۹	۲۴	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۲	۱۶	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۵۲	۵۶	۵۸
	۱۳	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶

thu	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۱
	۲	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۶	۲۷
	۳	۱۶	۱۹	۲۵	۲۶	۳۶	۴۸	۵۷	۵۹
	۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۲	۳۶	۳۸
	۵	۱۶	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۵	۳۸
	۷	۱۵	۱۶	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۶	۲۸
	۸	۱۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵
	۱۵	۱۶	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
Fri	۲	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵
	۵	۱۶	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۹	۳۲
	۶	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
	۸	۱۷	۱۸	۱۹	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۰	۱۷	۱۸	۱۹	۲۵	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۷	۱۹	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۸	۱۹	۲۴	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
sat	۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۵	۳۶
	۵	۱۶	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۴	۳۸
	۷	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۱
	۸	۱۶	۱۷	۱۹	۲۴	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۹	۲۵	۲۶	۲۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵
	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷
sun	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۱
	۳	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴	۳۴	۴۳	۴۴	۴۹
	۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۵	۲۶	۳۴	۴۲
	۷	۱۶	۱۷	۱۹	۲۰	۲۳	۲۶	۲۸	۳۱
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
	۱۲	۱۶	۱۷	۱۹	۲۴	۵۹	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۲۵	۲۶	۹۴	۹۵	۹۶

۵-۵- مطالعه موردی۵

در این مطالعه موردی تمامی پارامترها با مطالعه موردی اول یکسان می‌باشد و تنها تفاوت با آن افزودن پارامترهای هفتگی سلول خورشیدی می‌باشد که با حل مسئله برای به‌حداقل‌رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول ۱۴ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برابر ۵۷۰۶۴۱۹.۶۴۴ ریال شده است. همان گونه که انتظار داشتیم هزینه انرژی مصرفی از مطالعه موردی اول به شکل قابل‌توجهی کمتر است.

جدول۱۴- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه پنجم

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	۲	۳۱	۳۴	۳۶	۳۷	۳۸	۴۰	۴۲	۴۳
	۵	۳۰	۳۵	۳۹	۴۵	۴۶	۴۷	۵۵	۵۷
	۶	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
	۷	۲۵	۲۶	۲۸	۲۹	۳۳	۳۱	۳۶	۳۹
	۸	۳۲	۳۵	۴۸	۴۹	۵۰	۵۲	۵۷	۵۹
	۱۰	۴۲	۴۳	۴۸	۵۱	۵۳	۵۵	۵۸	۶۰
	۱۱	۴۵	۴۹	۵۱	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۸
	۱۳	۴۲	۴۳	۴۴	۴۷	۵۰	۵۱	۵۴	۵۶
tue	۲	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۴۰	۴۴	۴۷
	۴	۴۵	۴۸	۵۰	۵۴	۵۷	۵۸	۵۹	۶۰
	۵	۲۶	۳۲	۳۹	۴۲	۴۶	۵۳	۵۷	۶۵
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۶
	۸	۲۴	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۵۲	۵۷
	۱۳	۳۵	۴۱	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۹
	۱۴	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۰	۳۴
	۱۵	۳۹	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۶	۴۷	۴۹
wed	۲	۳۳	۳۴	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۶	۵۰
	۵	۳۹	۴۰	۴۴	۴۷	۵۰	۵۲	۶۰	۶۴
	۷	۲۴	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۲	۳۵	۳۸
	۸	۳۵	۴۱	۴۶	۵۱	۵۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۹	۱۶	۱۷	۲۴	۲۶	۲۷	۴۷	۴۸	۴۹
	۱۰	۱۶	۳۳	۴۸	۴۹	۵۱	۵۵	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۸	۱۹	۵۲	۵۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۲	۱۶	۱۷	۲۷	۴۵	۸۵	۸۸	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۷	۳۵	۵۰	۵۳	۵۶	۵۸	۹۶
thu	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۲
	۲	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۱	۴۴
	۳	۸۴	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
	۴	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۳	۵۵	۵۷	۵۸
	۵	۱۶	۱۸	۲۶	۳۳	۴۰	۴۵	۵۰	۵۳
	۷	۱۶	۱۸	۱۹	۲۰	۲۳	۲۵	۲۸	۳۱
	۸	۴۴	۴۵	۴۷	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸
	۱۳	۴۰	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۵۲	۵۹
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۶	۲۷
	۱۵	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷
Fri	۲	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹
	۵	۱۶	۱۷	۲۵	۳۲	۳۴	۴۲	۴۷	۵۴
	۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۸	۴۱
	۸	۱۷	۱۸	۳۱	۵۲	۵۴	۵۷	۹۵	۹۶
	۱۰	۳۴	۳۷	۴۸	۵۰	۵۱	۵۳	۵۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۸	۳۰	۳۲	۴۷	۴۹	۵۰	۵۱
	۱۳	۱۷	۲۹	۳۳	۵۳	۵۶	۵۸	۹۵	۹۶

sat	۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۵	۲۸	۳۰
	۵	۳۳	۳۵	۳۶	۴۰	۴۱	۴۵	۵۳	۵۷
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳	۳۴	۳۷	۴۰
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۷	۳۷	۳۸	۳۹	۶۹
	۱۳	۳۰	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۶	۴۷	۶۹
	۱۴	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۱	۳۲
	۱۵	۳۴	۳۵	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۴	۴۶
sun	۱	۲۴	۲۶	۲۷	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۶
	۳	۴۱	۴۵	۴۷	۵۷	۶۶	۷۴	۸۶	۹۶
	۵	۳۶	۴۴	۴۶	۵۱	۵۵	۵۸	۶۳	۷۱
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۳۰	۳۲	۳۴	۳۶	۳۹
	۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۸	۴۹	۵۰	۵۸	۵۹
	۹	۱۶	۱۷	۱۹	۲۴	۲۵	۳۵	۳۷	۳۸
	۱۲	۴۳	۵۴	۵۵	۵۶	۷۶	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۳۹	۴۱	۴۲	۵۱	۵۲	۵۳	۵۹	۶۰

۵-۶-مطالعه موردی۶

در این مطالعه موردی تمامی پارامترها با مطالعه موردی دوم یکسان می‌باشد و تنها تفاوت با آن افزودن پارامترهای هفتگی سلول خورشیدی است که با حل مسئله برای حداقل‌رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول ۱۵ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برابر ۵۴۴۶۹۶۴.۳۱۵ ریال شده است که هزینه انرژی مصرفی از مطالعه موردی دوم کمتر است.

جدول۱۵- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه ششم

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	۲	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱
	۵	۴۰	۴۲	۴۷	۵۲	۵۶	۵۹	۶۳	۶۵
	۶	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
	۷	۲۶	۲۷	۲۸	۳۱	۳۲	۳۳	۳۶	۳۹
	۸	۴۱	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۵	۵۷
	۱۰	۳۲	۳۴	۳۵	۳۹	۴۴	۵۰	۵۱	۵۳
	۱۱	۳۰	۳۱	۴۲	۴۵	۴۶	۴۸	۵۸	۶۰
	۱۳	۲۹	۳۰	۳۱	۳۴	۴۹	۵۳	۵۶	۵۸
tue	۲	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۲	۴۶
	۴	۴۱	۴۵	۴۷	۵۰	۵۳	۵۴	۵۶	۶۰
	۵	۴۰	۴۳	۴۶	۵۴	۵۷	۵۸	۶۶	۶۹
	۷	۲۴	۲۶	۲۷	۲۹	۳۱	۳۲	۳۵	۳۸
	۸	۳۴	۳۹	۴۰	۴۴	۴۸	۵۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۱۶	۳۳	۳۵	۴۸	۴۹	۵۲	۵۷	۹۶
	۱۴	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۰	۳۳
	۱۵	۴۲	۴۳	۴۵	۴۹	۵۲	۵۳	۵۷	۵۸
	۲	۳۳	۳۴	۳۶	۳۷	۳۸	۴۲	۴۶	۵۰
wed	۵	۳۹	۴۰	۴۵	۴۷	۴۸	۵۵	۵۶	۵۷
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۲۸	۳۱	۳۲	۳۴	۳۷
	۸	۳۵	۳۹	۴۹	۵۰	۵۲	۹۴	۹۵	۹۶
	۹	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۴۳	۴۶	۵۱
	۱۰	۱۶	۱۹	۳۵	۵۶	۵۸	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۱	۳۳	۴۸	۴۹	۵۱	۵۲	۵۷	۹۴	۹۵
	۱۲	۱۶	۲۴	۲۵	۴۴	۵۶	۶۰	۶۳	۷۰
	۱۳	۱۶	۱۷	۱۸	۴۸	۵۳	۵۷	۹۴	۹۶
thu	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۱
	۲	۴۰	۴۱	۴۴	۴۵	۴۶	۴۸	۵۱	۵۵
	۳	۸۴	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
	۴	۳۹	۴۳	۴۷	۵۰	۵۴	۵۵	۵۶	۵۹
	۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۲	۴۹	۵۰	۵۲
	۷	۱۶	۱۸	۱۹	۲۰	۲۳	۲۴	۲۷	۲۸
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۳۵	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۳۴	۳۵	۳۶	۴۰	۵۶	۵۷	۵۸	۵۹
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۶	۲۷
	۱۵	۴۹	۵۲	۵۳	۵۴	۵۶	۵۷	۵۸	۵۹
Fri	۲	۳۸	۴۲	۴۴	۴۵	۴۶	۴۸	۴۹	۵۱
	۵	۳۶	۴۳	۴۷	۵۱	۵۲	۵۷	۵۹	۶۷
	۶	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱
	۷	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۹	۳۰	۳۳	۳۶
	۸	۱۶	۱۷	۱۸	۲۵	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴
	۱۰	۳۷	۴۹	۵۰	۵۴	۵۵	۵۸	۹۵	۹۶
	۱۱	۱۶	۱۷	۱۸	۲۴	۵۲	۵۳	۵۴	۹۶
	۱۳	۱۶	۱۸	۲۴	۳۶	۵۰	۵۳	۵۶	۹۶
sat	۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۹	۴۱	۴۴	۴۵	۴۷
	۵	۱۶	۱۹	۲۶	۳۳	۳۸	۴۵	۴۷	۴۸
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۳۰	۳۲	۳۴	۳۵	۳۸
	۸	۱۶	۱۸	۳۸	۴۰	۴۶	۵۸	۶۹	۹۶
	۱۳	۱۶	۳۹	۴۴	۴۷	۵۷	۵۹	۶۰	۶۹
	۱۴	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۱	۳۳
	۱۵	۲۴	۲۶	۲۷	۳۰	۳۲	۳۴	۳۸	۴۰
sun	۱	۲۵	۲۶	۲۷	۲۹	۳۱	۳۳	۳۵	۳۷
	۳	۴۱	۴۵	۵۴	۵۶	۶۰	۶۶	۶۸	۷۸
	۵	۳۸	۴۴	۴۷	۴۸	۵۱	۵۸	۶۶	۷۴
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۳۰	۳۲	۳۴	۳۶	۳۷
	۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۸	۴۹	۵۰	۵۸	۵۹
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۳۵	۳۶	۳۷
	۱۲	۳۴	۴۶	۵۵	۵۷	۹۰	۹۲	۹۵	۹۶
	۱۳	۳۹	۴۱	۴۲	۵۲	۵۳	۵۵	۵۹	۶۰

۵-۷- مطالعه موردی۷

در این مطالعه موردی تمامی پارامترها با مطالعه موردی سوم یکسان می‌باشد و تنها تفاوت با آن افزودن پارامترهای هفتگی سلول خورشیدی می‌باشد که با حل مسئله برای به‌حداقل‌رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول۱۶ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برابر ۴۸۸۶۹۲۲.۶۹۰ ریال شده است که هزینه انرژی مصرفی از مطالعه موردی سوم به شکل قابل توجهی کمتر است؛

جدول۱۶- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه هفتم

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	۲	۴۱	۴۲	۴۴	۴۵	۴۶	۴۹	۵۱	۵۲
	۵	۳۸	۴۰	۴۷	۵۰	۵۱	۵۹	۶۰	۶۱
	۶	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱
	۷	۲۹	۳۱	۳۲	۳۴	۳۷	۳۹	۴۲	۴۵
	۸	۳۰	۳۳	۳۴	۳۸	۳۹	۴۱	۴۳	۵۷
	۱۰	۳۳	۳۴	۳۸	۴۳	۴۸	۵۰	۵۳	۵۴
	۱۱	۴۸	۵۰	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۸	۶۰
	۱۳	۴۰	۴۳	۴۸	۵۰	۵۴	۵۵	۵۶	۵۸
tue	۲	۳۷	۴۰	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۵۰
	۴	۳۴	۳۵	۳۹	۴۱	۴۲	۴۵	۴۹	۵۲
	۵	۳۶	۳۷	۳۸	۴۱	۴۸	۵۳	۵۶	۶۱
	۷	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۶	۳۹	۴۲
	۸	۳۲	۴۲	۴۳	۴۹	۵۲	۵۴	۵۷	۵۸
	۱۳	۱	۴۱	۴۳	۴۷	۵۴	۵۶	۵۷	۵۸
	۱۴	۱۱	۱۵	۱۹	۲۳	۲۷	۳۰	۳۱	۳۳
	۱۵	۳۲	۳۳	۳۷	۳۸	۴۲	۴۳	۴۷	۵۰
wed	۲	۴۰	۴۳	۴۴	۴۵	۴۷	۵۰	۵۱	۵۲
	۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۶	۴۸	۵۴	۶۰
	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۸	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۴۲	۴۹	۵۷
	۹	۲	۴	۲۴	۲۵	۳۱	۳۹	۴۶	۵۵
	۱۰	۳۴	۳۷	۴۱	۴۹	۵۱	۵۳	۵۵	۵۸
	۱۱	۳۲	۳۵	۴۱	۴۲	۴۸	۵۱	۵۶	۵۹
	۱۲	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷
	۱۳	۳۳	۳۴	۴۰	۴۲	۴۶	۴۹	۵۲	۵۶
thu	۱	۲۲	۲۳	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۱
	۲	۴۰	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
	۳	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۸	۴۸	۵۰
	۴	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۹	۴۰	۴۲	۴۳
	۵	۳۶	۳۷	۳۸	۴۳	۵۰	۵۷	۶۱	۶۶
	۷	۲۶	۲۹	۳۱	۳۴	۳۶	۳۹	۴۰	۴۱
	۸	۴۱	۴۳	۴۴	۵۱	۵۴	۵۵	۵۶	۵۸
	۱۳	۴۰	۴۱	۴۲	۴۹	۵۰	۵۲	۵۳	۵۹
	۱۴	۳	۷	۱۱	۱۴	۱۶	۱۷	۲۱	۲۴
	۱۵	۸	۹	۱۳	۱۴	۱۶	۲۰	۲۲	۲۳
Fri	۲	۴۲	۴۳	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۵۲	۵۳
	۵	۳۶	۴۲	۴۴	۵۰	۵۶	۵۷	۶۱	۶۶
	۶	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵
	۷	۲۲	۲۵	۲۸	۲۹	۳۰	۳۲	۳۵	۳۸
	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۳۳	۴۹	۵۱
	۱۰	۱	۲	۳	۴	۹	۳۴	۴۹	۵۰
	۱۱	۳۲	۳۶	۳۷	۵۱	۵۴	۵۵	۵۷	۵۸
	۱۳	۱	۲	۳	۳۴	۵۰	۵۴	۵۶	۵۹
sat	۴	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۶	۳۹	۴۳	۴۷
	۵	۲۵	۲۷	۲۸	۳۳	۳۸	۴۶	۴۸	۴۹
	۷	۳	۴	۵	۶	۹	۱۲	۱۴	۱۵
	۸	۳۳	۳۷	۳۹	۴۰	۴۵	۵۸	۵۹	۶۹
	۱۳	۳۷	۳۹	۴۱	۴۴	۴۷	۵۷	۶۰	۶۹
	۱۴	۲۰	۲۴	۲۷	۲۸	۳۱	۳۴	۳۶	۳۸
	۱۵	۳۱	۳۲	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰
sun	۱	۲۹	۳۰	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۷	۳۸
	۳	۴۵	۴۶	۵۵	۵۶	۶۳	۷۴	۸۶	۹۶
	۵	۳۷	۴۴	۴۷	۴۸	۵۳	۵۹	۶۱	۶۸
	۷	۲۷	۳۰	۳۱	۳۳	۳۵	۳۶	۳۹	۴۱
	۸	۳۴	۳۷	۴۱	۴۹	۵۰	۵۱	۵۸	۵۹
	۹	۱	۲	۷	۸	۲۸	۳۸	۴۸	۵۸
	۱۲	۳۴	۴۵	۵۴	۵۷	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۳	۳۳	۳۶	۳۹	۴۲	۴۳	۵۲	۵۵	۶۰

۵-۸- مطالعه موردی۸

در این مطالعه موردی تمامی پارامترها با مطالعه موردی چهارم یکسان می‌باشد و تنها تفاوت با آن افزودن پارامترهای هفتگی سلول خورشیدی می‌باشد که با حل مسئله برای به‌حداقل‌رساندن هزینه انرژی به برنامه‌ریزی مطابق جدول ۱۷ منتهی شده است. در این حالت مقدار تابع هزینه برابر ۵۳۵۳۳۰۹.۲۹۶ ریال شده است همان گونه که انتظار داشتیم هزینه انرژی مصرفی از مطالعه موردی چهارم به شکل قابل توجهی کمتر است.

جدول۱۷- برنامه‌ریزی هفتگی لوازم کنترل‌پذیر مطالعه هشتم

روز	اندیس i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
mon	۲	۳۱	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۱
	۵	۴۲	۴۳	۴۷	۴۹	۵۴	۵۸	۶۴	۶۷
	۶	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
	۷	۲۴	۲۷	۲۸	۳۰	۳۲	۳۳	۳۵	۳۸
	۸	۳۹	۴۰	۴۸	۴۹	۵۰	۵۶	۵۷	۵۹
	۱۰	۲۹	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۸	۴۹
	۱۱	۴۲	۴۶	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵
	۱۳	۳۰	۳۲	۴۰	۴۳	۴۴	۴۵	۵۲	۶۰
tue	۲	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۹	۳۳	۳۶	۳۸
	۴	۳۷	۴۱	۴۴	۴۵	۴۷	۴۸	۵۱	۵۲
	۵	۳۶	۳۹	۴۶	۴۹	۵۰	۵۷	۵۹	۶۰
	۷	۲۴	۲۵	۲۸	۳۱	۳۲	۳۵	۳۷	۳۹
	۸	۴۰	۴۲	۴۳	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۵۸
	۱۳	۳۲	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۳	۴۷	۵۴
	۱۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۰	۳۴	۳۸	۳۹
	۱۵	۴۲	۴۵	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۲	۵۳
wed	۲	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۲	۳۵	۳۶
	۵	۴۱	۴۲	۴۴	۴۷	۵۲	۵۷	۶۴	۶۷
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۲۸	۳۱	۳۳	۳۴	۳۷
	۸	۳۴	۳۶	۳۹	۴۰	۴۳	۴۶	۴۸	۴۹
	۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۷	۴۷	۵۰	۵۱
	۱۰	۳۴	۳۹	۴۰	۴۳	۵۱	۵۲	۵۵	۵۶
	۱۱	۳۹	۴۲	۴۳	۴۶	۴۹	۵۰	۵۲	۵۸
	۱۲	۳۵	۳۷	۳۸	۴۵	۵۵	۹۱	۹۴	۹۵
	۱۳	۳۴	۳۵	۳۷	۴۶	۴۸	۵۰	۵۳	۵۵
thu	۱	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۳۰	۳۱
	۲	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵
	۳	۱۸	۲۷	۳۹	۴۴	۵۳	۶۲	۶۶	۶۷
	۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۲	۵۴	۵۵
	۵	۳۵	۳۷	۳۸	۴۶	۵۳	۵۴	۶۲	۶۴
	۷	۲۴	۲۶	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۷	۴۰
	۸	۴۰	۴۱	۴۳	۵۰	۵۱	۵۵	۵۷	۵۸
	۱۳	۳۴	۳۵	۴۱	۴۵	۴۶	۴۹	۵۶	۵۹
	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵
	۱۵	۴۰	۴۲	۴۴	۴۵	۴۶	۵۰	۵۲	۵۶
Fri	۲	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۱	۳۲
	۵	۳۴	۴۲	۴۷	۵۱	۵۲	۵۳	۵۸	۶۶
	۶	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
	۷	۲۵	۲۶	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۷	۴۰
	۸	۴۳	۴۹	۵۰	۵۴	۵۷	۹۴	۹۵	۹۶
	۱۰	۱۶	۲۵	۳۰	۳۷	۴۵	۴۶	۴۸	۴۹
	۱۱	۱۶	۳۳	۴۳	۴۸	۵۱	۵۲	۵۵	۹۶
	۱۳	۲۹	۴۲	۴۸	۵۱	۵۶	۵۸	۹۵	۹۶
sat	۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۰	۳۳	۳۵	۳۸
	۵	۲۵	۳۳	۳۶	۴۱	۴۵	۴۶	۵۲	۵۶
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۳۰	۳۲	۳۴	۳۶	۳۸
	۸	۱۷	۳۵	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۵۸	۶۹
	۱۳	۳۷	۳۸	۳۹	۴۵	۵۷	۵۹	۶۰	۶۹
	۱۴	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۱	۳۵
	۱۵	۳۲	۳۴	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۴	۴۷
sun	۱	۲۴	۲۶	۲۷	۲۹	۳۱	۳۳	۳۴	۳۵
	۳	۴۳	۴۷	۵۴	۵۷	۶۷	۷۹	۸۴	۹۶
	۵	۳۶	۴۴	۴۶	۴۸	۵۵	۵۸	۶۶	۶۸
	۷	۲۴	۲۵	۲۷	۳۰	۳۲	۳۴	۳۶	۳۸
	۸	۳۶	۳۷	۳۸	۴۸	۴۹	۵۰	۵۸	۵۹
	۹	۱۶	۱۷	۱۹	۲۶	۲۷	۳۵	۳۷	۳۸
	۱۲	۳۲	۴۵	۵۵	۵۶	۵۷	۹۱	۹۵	۹۶
	۱۳	۳۹	۴۱	۴۲	۵۱	۵۲	۵۳	۵۹	۶۰

۶-مقایسه و تحلیل مطالعات موردی یک تا هشت

۶-۱- تحلیل نتایج

در این تحقیق چهار سناریو برای ۸ مطالعه موردی توسعه داده شده است که هر چهار سناریو برای هر مدل ریاضی پیاده‌سازی شده است. چهار مطالعه موردی اول برای مدل ریاضی اول که به فقط به شبکه برق متصل است پیاده‌سازی شده است. چهار مطالعه موردی دوم برای مدل ریاضی دوم که هم به شبکه برق و هم به ریزشبکه سلول خورشیدی متصل است اجرا شده است. با توجه به مقایسه هزینه‌ها در سناریوهای یکسان پیاده‌سازی شده در هر دو مدل می‌توان ادعا کرد که در سناریو اول، دوم و چهارم هزینه پرداختی در حالت اتصال به شبکه برق و سلول خورشیدی بطور همزمان نصف هزینه در حالت اتصال به فقط به شبکه برق است.

در سناریو سوم هزینه نسبت کمتر است زیرا قیمت‌های شبکه برق از نوع سه پله‌ای بوده و قیمت‌های شبکه پایین‌تر می‌باشد.

در سناریوی شماره چهارم که به نسبت به سناریوی شماره اول و دوم که هزینه کمتری دارد به دلیل حذف ترجیحات کاربر در سناریو پیشنهادی می‌باشد. که باعث شده است لوازم خانگی قابل کنترل در زمان‌هایی که هزینه انرژی پایین است مورد استفاده قرار گیرند.

۶-۲- محاسبه هزینه سلول خورشیدی نصب شده در خانه هوشمند

مقایسه مطالعات موردی از نظر مقدار هزینه در جدول ۱۸ آورده شده است.

جدول۱۸- مقایسه مطالعات موردی

سناریو	مطالعه موردی	هزینه انرژی منزل هوشمند (ریال) به سیستم pv متصل نیست	هزینه انرژی منزل هوشمند (ریال) بر اساس مدل پیشنهادی که به سیستم pv متصل است	اختلاف دو هزینه
اول	۱و۵	۱۰۱۹۶۴۹۰.۰۰	۵۷۰۶۴۱۹.۶۴۴	۴۴۹۰۰۷۰.۳۶
دوم	۲و۶	۹۹۹۵۸۷۴.۲۵	۵۴۴۶۹۶۴.۳۱۵	۴۵۴۸۹۰۹.۹۴
سوم	۳و۷	۷۹۰۷۷۰۹.۵	۴۸۸۶۹۲۲.۶۹۰	۳۰۲۰۷۸۶.۸۱
چهارم	۴و۸	۹۵۲۰۷۸۶.۷۵	۵۳۵۳۳۰۹.۲۹۶	۴۱۶۷۴۷۷.۴۵

باتوجه‌به جدول فوق درصورتی‌که در هر مطالعه موردی، طول عمر مفید سلول‌های خورشیدی به‌روز محاسبه گردد هزینه خرید سیستم سلول خورشیدی که قادر به تولید ۱۴۰۰ وات توان باشد نیز با استفاده از طول عمر به‌صورت روزانه محاسبه گردد درصورتی‌که هزینه سرمایه‌گذاری روزانه برای سلول خورشیدی در مطالعه موردی ۱ و ۵ کمتر یا مساوی ۴۴۹۰۰۷۰.۳۶ برای مطالعه موردی ۲ و ۶ کمتر یا مساوی ۴۵۴۸۹۰۹.۹۴ و برای مطالعه موردی ۳ و ۷ کمتر یا مساوی ۳۰۲۰۷۸۶.۸۱ و برای مطالعه موردی ۴ و ۸ کمتر یا مساوی ۴۱۶۷۴۷۷.۴۵ باشد استفاده از سیستم سلول خورشید بدون اتصال به سیستم ذخیره‌ساز انرژی مقرون به صرفه خواهد بود. همچنین دولت‌های مطبوع می‌توانند با دادن یارانه خرید سلول خورشیدی به خانوار ها آنها را در تامین سوخت پاک یاری دهند. تا علاوه بر کاهش مخاطرات زیست محیطی، خانوارها را به عنوان تولید کننده انرژی محلی به کاهش مصرف انرژی تشویق نمایند.

۶-۳- تحلیل حساسیت و پیشنهاد مدیریتی

در صورتیکه قیمت انرژی در بازه‌های زمانی متفاوت از شبانه روز افزایش یابد، قطعا قیمت مصرف انرژی افزایش خواهد یافت و اختلاف مقدار بدست آمده در دو مدل افزایش خواهد یافت. در صورتیکه قیمت خرید پنل‌های خورشیدی و نصب آن در خانه‌های هوشمند ثابت باقی بماند، قطعا استفاده از خانه‌های هوشمند متصل به سیستم انرژی جدیدپذیر کمک بسیار شایانی در کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های ناشی ار آن خواهد داشت. بنابراین دولت‌های صاحب نفت و گاز نظیر کشورهای غرب آسیا، می‌توانند با پرداخت یارانه و مشوق‌هایی صاحبان خانه‌ها را به هوشمندسازی خانه و تجهیز به پنل‌های خورشیدی سوق دهند. هر چند در کشورهایی که صاحب نفت وگاز نیستند نظیر کشورهای اروپایی که انرژی برق در آنها قیمت‌های بسیار بالایی دارند از انرژی خورشیدی به عنوان یکی از منابع اصلی تامین برق خانه‌های خود استفاده می‌کنند که تایید بر موضوع و نگرانی های حاصل از این تحقیق بوده است.

۶-۴- تحلیل مزیت داشتن خانه هوشمند خورشیدی حاصل از نتایج بدست آمده از این تحقیق

بسیاری از افرادی که دستگاه‌های فناوری هوشمند را در خانه نصب کرده‌اند، به دنبال مزایایی هستند که ارائه می دهند. اولین مزیت آن در برنامه‌ریزی لوازم کنترل‌پذیر ایجاد راحتی بیشتر برای کاربر می‌باشد که عمدتا برنامه‌ریزی از بازه زمانی ۲۰ به بعد می‌باشد (زمانی که کاربر درخواب نیست و می‌تواند بر لوازم نظارت داشته باشد). با از بین بردن پیک بعد از ظهر در زمان و هزینه انرژی کاربر نیز تاثیر مثبت دارد. برخی از مفیدترین ویژگی های اتوماسیون خانگی شامل فناوری خورشیدی خانگی است که خانه‌ها را از نظر انرژی کارآمد می‌کند. انرژی خورشیدی هم پاک است و هم فراوان؛ و چون تجدیدپذیر است، هرگز تمام نمی‌شود. به همین دلیل آینده خانه‌های هوشمند خورشیدی روشن است. انتخاب سیستم برق خورشیدی مناسب نباید گیج کننده باشد زیرا مزایای متعدد اتوماسیون خانگی و یکپارچه‌سازی خورشیدی زمانی است که وقتی مصرف کننده

می‌خواهد قدم بعدی را به سمت یک اقامتگاه پایدارتر و کم مصرف‌تر بردارد. بنابراین، باید یک متخصص مشورت شود تا ببینید کدام پنل خورشیدی می‌تواند برای خانه مصرف‌کننده مناسب باشد. یکی از وعده‌های بزرگ خانه‌های هوشمند خورشیدی، آینده انعطاف پذیری است و این ایده که ما می‌توانیم با ساخت قابلیت‌های خورشیدی و تکیه بیشتر بر ذخیره انرژی باتری از شبکه برق مستقل شویم، در حال عملی شدن است. اتصال به انرژی خورشیدی هرگز آسان نبوده و به گزینه‌ای محبوب برای تامین انرژی خانه آینده برای ایجاد جهانی پایدارتر تبدیل شده است. تصور کنید، یک خانه هوشمند کاملا انرژی خود را که متصل به شبکه سراسری می‌باشد از دست می‌دهد، در صورت تمام شدن برق به یک ژنراتور پشتیبان مجهز شود، این وعده خانه آینده است. واقعیت این است که یک ساعت تابش نور خورشید به زمین معادل یک سال انرژی برای کره زمین است و کاربران انرژی خورشیدی می‌توانند سالانه به میزان زیادی از انتشار گازهای گلخانه ای کاسته و از مصرف میلیون‌ها بشکه سوخت جلوگیری کنند.

۷-نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

سهم عمده مصرف بخش خانگی ازیک‌طرف و پیشرفت‌های تکنولوژی صورت‌گرفته از طرف دیگر توجه محققان را به مدیریت مصرف و پاسخ‌گویی بار در بخش خانگی جلب نموده است. در این مقاله، به بررسی مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند با استفاده از مدل‌های ریاضی پرداخته شده است. مدل‌های ریاضی پیشنهادی برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی لوازم خانگی قابل برنامه‌ریزی در ساعاتی از شبانه‌روز که قیمت انرژی پایین‌تر است، ارائه شده است. در این مدل‌ها، سعی شده است تا با در نظر گرفتن اتصال به انرژی تجدیدپذیر مانند سلول‌های خورشیدی، هزینه‌های مصرف انرژی کاهش یابند. در این مقاله یک‌خانه هوشمند در نظر گرفته شده است که دارای تجهیزات خانگی قابل‌کنترل و برنامه‌ریزی و غیرقابل کنترل است.

به همین منظور، روشی برای حداقل کردن هزینه برق خانه هوشمند پیشنهاد شده است. هدف ارائه چارچوبی جدید برای برنامه‌ریزی زمان استفاده از تجهیزات خانگی با رعایت محدودیت بهره‌برداری و کارکرد تجهیزات خانگی با توجه به راحتی کاربر است که هزینه برق مصرفی حداقل گردد؛ بنابراین، به بررسی مدیریت مصرف و پاسخ‌گویی بار یک‌خانه هوشمند، با ملاحظه قیمت زمان - حقیقی پرداخته می‌شود. خانه هوشمند می‌تواند (باقیمت‌های زمان - حقیقی) با شبکه تبادل انرژی داشته باشد. مدل ریاضی ارائه شده بصورت دوره‌ای است که قابلیت در نظر گرفتن بازه زمانی در طول هفته، ماهیانه و حتی سالانه دارد که در این تحقیق اطلاعات هفتگی یک خانه هوشمند متصل به سلول خورشیدی جمع آوری شده است. با توجه به مدل‌های ریاضی، مسئله از نوع برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و غیر خطی عدد صحیح می‌باشد که مدل ریاضی غیرخطی نیز به مدل ریاضی خطی تبدیل شده است. به دلیل انعطاف پذیری بالای مدل و امکان حل آن توسط سالو CPLEX در زمان معقول در نرم‌افزار GAMS حل شده است. مطالعات عددی برای هشت مطالعه موردی مختلف بیانگر کارایی روش پیشنهادی در برنامه‌ریزی خانه هوشمند ارائه شده است. در نهایت، با مقایسه اختلاف قیمت بین دو مدل پیشنهادی، هزینه سلول خورشیدی نصب شده در خانه هوشمند محاسبه شده است. نتایج حاصل از کاهش قابل‌توجه هزینه‌ها در حالت اتصال خانه هوشمند به ریز شبکه سلول خورشیدی نسبت به حالت عدم اتصال دارد.

برای پیشنهادات آتی در این تحقیق می‌توان به توسعه مدل در حالت عدم قطعیت پرداخت. با توجه به اینکه تقاضای مصرف در طول هفته ثابت نبوده و هر هفته با هفته دیگر در تعداد دفعات استفاده از لوازم الکتریکی در طول هفته متفاوت است بنابراین میزان تقاضای مصرف در طول دوره مورد نظر مانند هفته، ماه یا سال ثابت نخواهد بود. بنابراین لازم است که مدل ریاضی پیشنهادی در حالت عدم قطعیت توسعه داده شود.

زمان حل مسئله برای مدل‌های ریاضی پیشنهادی این تحقیق در صورتیکه تعداد متغیرها افزایش یابد، بطور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. به عنوان مثال اگر مدل پیشنهادی در حالت ماهانه و سالانه حل شود، نرم افزار GAMS قادر به حل مدل نخواهد بود. بنابراین، لازم است روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری برای حل مدل‌های پیشنهادی توسعه داده شود. همچنین با توجه به اینکه قیمت‌های اعلام شده از سوی شرکت‌های توزیع برق بصورت پویا بوده و در طول دوره زمانی بلندتر ثابت نیست، بنابراین با تغییر قیمت‌ها مجددا مجبور به اجرای مدل هستیم. پس لازم است که پیش‌بینی قیمت‌ها در طول بازه مورد نظر مورد توجه قرار گیرد.

همچنین همانطوری که پیشتر نیز اشاره گردید، استخراج اطلاعات برای سلول خورشیدی برای یکسال به صورت دقیق کار بسیار مشکلی است. در این راستا می‌توان با از روش‌های داده کاوی و یادگیری عمیق با توجه به تغییر شرایط محیطی، داده‌های یکسال سلول خورشیدی را با تقریب خوبی محاسبه نمود.

مراجع

[1] Ahmad, Umar Suffian Usman, Muhammad Hussain, Saddam Jahanger, Atif Abrar, Maira. "Determinants of renewable energy sources in Pakistan: An overview". *Environmental Science and Pollution Research*. (2022): 1-19

[2] Kuczynski, W. and K. Chliszcz. "Energy and exergy analysis of photovoltaic panels in northern Poland". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (2023) :113138.

[3] Rawa, M., et al. "Optimal operation and stochastic scheduling of renewable energy of a microgrid with optimal sizing of battery energy storage considering cost reduction". *Journal of Energy Storage*. (2023):106475.

[4] Ritchie, H., M. Roser, and P. Rosado. "CO_2 and greenhouse gas emissions". *Our world in data*. (2020).

[5] Vrain, E. and C. Wilson. "Social networks and communication behaviour underlying smart home adoption in the UK". *Environmental Innovation and Societal Transitions*. (2021):82-97.

[6] Li, W., et al. "A novel smart energy theft system (SETS) for IoT-based smart home". *IEEE Internet of Things Journal*. (2019): 5531-5539.

[7] Amirion, M. and M. Allaei, optimal planning of household consumption using a load response model and considering the well-being of residents. Modeling in Engineering, (2023).: 21(72): (inpersian)

[8] Hussain, S.S., et al. "Communication modeling of solar home system and smart meter in smart grids". *IEEE Access*. (2018):16985-16996.

[9] Manur, A., et al. "Smart solar home system with solar forecasting". *in 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020)*.(2020). IEEE.

[10] Mohammadi, S.S. and M. De Pierre. "Presenting a new meta-heuristic algorithm based on forbidden search to solve the task scheduling problem in cloud and fog computing based system". *Modeling in Engineering*. (2020): 13-29 (in persian)

[11] Alilou, M., B. Tousi, and H. Shayeghi. "Home energy management in a residential smart micro grid under stochastic penetration of solar panels and electric vehicles". *Solar Energy*, (2020): 6-18.

[12] Alizadeh, M., M. Jafari Nokundi, and Y. Sultan Moradi. "Modeling and optimization of energy consumption in a smart home with the presence of energy storage, solar cell, electric car and load response". *Modeling in Engineering*. (2019): 215-226 (in persian)

[13] Yu, B., et al. "Power demand response in the context of smart home application". *Energy*. (2022): 122774.

[14] ur Rehman, U., K. Yaqoob, and M.A. Khan. "Optimal power management framework for smart homes using electric vehicles and energy storage". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems 134*. (2022): 107358.

[15] Lu, M. "Smart Home Systems and the Well-being of People at Home". (2019), *Savannah College of Art and Design.*

[16] Aliero, M.S., et al. "Smart Home Energy Management Systems in Internet of Things networks for green cities demands and services". *Environmental Technology & Innovation*. (2021): 101443.

[17] Hou, X., et al. "Smart home energy management optimization method considering energy storage and electric vehicle". *IEEE Access*. (2019): 144010-144020.

[18] Farrokhifar, M., et al. "Real-time based approach for intelligent building energy management using dynamic price policies". *Sustainable cities and society*. (2018): 85-92.

[19] Rahmani-Andebili, M. "Scheduling deferrable appliances and energy resources of a smart home applying multi-time scale stochastic model predictive control". *Sustainable Cities and Society*. (2017): 338-347.

[20] Yılmaz, F. and Y. Eren. "A novel load profile generation method based on the estimation of regional usage habit parameters with genetic algorithm". *Electric Power Systems Research*. (2023): 109165.

[21] Qayyum, F., et al. "Appliance scheduling optimization in smart home networks". *IEEE access*. (2015): 2176-2190.

[22] Anvari-Moghaddam, A., H. Monsef, and A. Rahimi-Kian. "Optimal smart home energy management considering energy saving and a comfortable lifestyle". *IEEE Transactions on Smart Grid*. (2014): 324-332.

[23] Manzoor, A., et al. "Towards simulating the constraint-based nature-inspired smart scheduling in energy intelligent buildings". *Simulation Modelling Practice and Theory*. (2022): 102550.

[24] Tostado-Véliz, M., D. Icaza-Alvarez, and F. Jurado. "A novel methodology for optimal sizing photovoltaic-battery systems in smart homes considering grid outages and demand response". *Renewable Energy*. (2021): 884-896.

[25] Zhang, S., J. Rong, and B. Wang. "An optimal scheduling scheme for smart home electricity considering demand response and privacy protection". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. (2021): 107159.

[26] Wang, C., et al. "Robust optimization for load scheduling of a smart home with photovoltaic system". *Energy Conversion and Management*. (2015): 247-257.

[27] Yuce, B., Y. Rezgui, and M. Mourshed. "ANN–GA smart appliance scheduling for optimised energy management in the domestic sector". *Energy and Buildings*. (2016): 311-325.

[28] Dragomir, O.E. and F. Dragomir. "Application of Scheduling Techniques for Load-Shifting in Smart Homes with Renewable-Energy-Sources Integration". *in Buildings* (2023): 134

[29] Chen, X., T. Wei, and S. Hu. "Uncertainty-aware household appliance scheduling considering dynamic electricity pricing in smart home". *IEEE Transactions on Smart Grid*. (2013): 932-941.

[30] AlSkaif, T., et al. "Reputation-based joint scheduling of households appliances and storage in a microgrid with a shared battery". *Energy and Buildings*. (2017): 228-239.

[31] Iqbal, Z., Javaid, N., Iqbal, S., Aslam, S., Khan, Z.A., Abdul, W., Almogren, A. and Alamri, A. "A domestic microgrid with optimized home energy management system". *Energies*. (2018): 1002.

[32] Elkazaz, M., et al. "Performance assessment of an energy management system for a home microgrid with PV generation". *Energies*. (2020):.3436.

[34] A. Akbari-Dibavar, S. Nojavan, B. Mohammadi-Ivatloo, and K. Zare, "Smart home energy management using hybrid robust-stochastic optimization" *Comput. Ind. Eng*. (2020): 106425.

[34] Sharda, S., K. Sharma, and M. Singh. "A real-time automated scheduling algorithm with PV integration for smart home prosumers". *Journal of Building Engineering*. (2021): 102828.

[35] Sharda, S., K. Sharma, and M. Singh. "A real-time automated scheduling algorithm with PV integration for smart home prosumers". *Journal of Building Engineering*. (2021): 102828.

[36] Hasan, M., et al. "Smart Home Automation System Powered by Renewable Energy". *in 2022 IEEE International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE*). (2022). IEEE.

[37] Khezri, R., A. Mahmoudi, and H. Aki. "Optimal planning of solar photovoltaic and battery storage systems for grid-connected residential sector: Review, challenges and new perspectives". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (2022): 111763.

[38] Aminnejhad, H., S. Kazeminia, and M. Aliasghary. "Robust sliding-mode control for maximum power point tracking of photovoltaic power systems with quantized input signal". *Optik*. (2021): 167983.