Journal of Urban Environmental Management

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.4, No.1; 2026.pp: 21-39

Research paper

(Received 23 Dec. 2025 Accepted 21 Feb. 2026)

Techno-Economic and Environmental Assessment of Residential Backup Power Options: Diesel Generator, UPS, and Solar PV

Ehsan Hasan Zaim*[1]

[1] *Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran*

Abstract

The increasing energy imbalance and widespread power outages have transformed energy supply management in urban spaces into a serious environmental and infrastructural challenge. This research aims to provide a comprehensive technical, economic, and environmental assessment of three key solutions for emergency power supply (including UPS, generator sets, and photovoltaic solar systems) across three different levels of urban household consumption (high, medium, and low). The methodology involved collecting data based on current domestic market prices and real technical information extracted from field sources. The study utilized the Total Cost of Ownership (TCO) model and Net Present Value (NPV) analysis over a 15-year period, incorporating the effects of inflation and the discount rate, to quantitatively assess all lifecycle costs. Furthermore, the consequences of noise pollution and pollutant gas emissions from generators were considered in the analysis as critical variables affecting urban quality of life and environmental crisis management. The research findings indicated that although, in the high consumption scenario, gasoline generators (Generator Set) are considered the most economical short-term option due to their low initial investment, photovoltaic solar systems, despite their higher upfront cost, offer long-term economic savings in addition to the complete elimination of local pollutants and noise pollution in the urban environment. These findings underscore the necessity of urban policies to encourage and guide the use of clean technologies for energy sustainability in residential areas.

Keywords: Total Cost of Ownership, PV Solar System, Generator Set, UPS, Economic Analysis.

* Corresponding Author: Ehsan Hasan Zaim
Email:*e.hasanzaim@gmail.com or hasanzaim@sirjantech.ac.ir*
Phone: +989131433107

Doi: 10.48306/juem.2026.568173.1137

نشریه علمی مدیریت محیط زیست شهری

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال چهارم/شماره اول/ بهار ۱۴۰۵/صفحه ۲۱-۳۹

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۱۰/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲

تحلیل فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم‌های تأمین برق اضطراری در مدیریت پایداری انرژی خانوار شهری: مقایسه موتور برق، UPS و فتوولتائیک

احسان حسن زعیم*[1]

[1] استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

چکیده

افزایش ناترازی و خاموشی‌های گسترده برق، مدیریت تأمین انرژی در فضای شهری را به یک چالش جدی زیست محیطی و زیرساختی تبدیل کرده است. این پژوهش با هدف ارزیابی جامع فنی، اقتصادی و زیست محیطی سه راهکار کلیدی تأمین برق اضطراری (شامل یو پی اس، موتور برق و سامانه‌های فتوولتائیک خورشیدی) در سه سطح مختلف مصرف خانوار شهری (بالا، متوسط و پایین) انجام شده است. روش‌شناسی شامل جمع‌آوری داده‌ها بر مبنای قیمت‌های روز بازار داخلی و اطلاعات فنی واقعی استخراج‌شده از منابع میدانی است. در این مطالعه، از مدل هزینه کل مالکیت و تحلیل ارزش فعلی خالص طی بازه ۱۵ساله و با لحاظ اثرات تورم و نرخ تنزیل استفاده شده است تا تمامی هزینه‌های چرخه عمر، به‌صورت کمّی ارزیابی گردد. ضمناً، پیامدهای آلودگی صوتی و انتشار گازهای آلاینده مولدها نیز به‌عنوان متغیرهای مهم در کیفیت زندگی شهری و مدیریت بحران‌های محیط زیستی در تحلیل مد نظر قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داد که اگرچه در سناریوی مصرف بالا، مولدهای بنزینی (موتور برق) به دلیل سرمایه‌گذاری اولیه اندک، اقتصادی‌ترین گزینه کوتاه‌مدت محسوب می‌شوند؛ اما در رتبه دوم، سامانه‌های خورشیدی، با وجود هزینه اولیه بالاتر، در بلندمدت علاوه بر صرفه اقتصادی، حذف کامل آلایندگی‌های محلی و آلودگی صوتی را به محیط شهری ارائه می‌دهند. این یافته‌ها بر ضرورت سیاست‌گذاری‌های شهری در جهت تشویق و هدایت به استفاده از فناوری‌های پاک برای پایداری انرژی در بافت مسکونی تأکید دارد.

کلمات کلیدی: هزینه کل مالکیت، سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک، موتور برق، یو پی اس، تحلیل اقتصادی، تاب‌آوری انرژی.

* نویسنده مسئول: احسان حسن زعیم

ایمیل:*e.hasanzaim@gmail.com* یا *hasanzaim@sirjantech.ac.ir*

شماره تماس:۰۹۱۳۱۴۳۳۱۰۷

Doi: 10.48306/juem.2026.568173.1137

۱-مقدمه

تأمین پایدار انرژی الکتریکی، زیربنای توسعه اقتصادی و حفظ کیفیت زندگی در هر جامعه‌ای محسوب می‌شود. با این حال، در سال‌های اخیر، شبکه سراسری برق کشور با چالش‌های ساختاری جدی مانند ناترازی شدید تولید و مصرف، فرسودگی زیرساخت‌ها و مصرف بی‌رویه انرژی مواجه بوده است. به‌گونه‌ای که طبق گزارش‌های رسمی ترازنامه انرژی، کمبود برق در اوج مصرف سالانه (به‌ویژه در تابستان‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴) بین ۱۵ تا ۲۰ درصد گزارش شده است [۱]. این عوامل منجر به تشدید خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده و اضطراری شده و پیامدهای وخیم اقتصادی و اجتماعی در بر داشته است. در سطح کلان، زیان‌های ناشی از بحران انرژی به‌دلیل توقف صنایع کلیدی (مانند فولاد و پتروشیمی)، سالانه به ده‌ها میلیارد دلار بالغ می‌گردد [۲]. در سطح خرد (بخش خانگی)، خاموشی‌ها امنیت انرژی را به خطر انداخته و انگیزه سرمایه‌گذاری خصوصی در سیستم‌های تأمین برق اضطراری را از یک مزیت رفاهی به یک ضرورت حیاتی برای حفظ «تاب‌آوری» تبدیل کرده است [۳ و ۴]. خاموشی‌ها، امنیت انرژی را در بخش خانگی به‌دلیل اختلال در سیستم‌های تهویه، سرمایش، گرمایش و تجهیزات پزشکی ضروری تهدید کرده و کیفیت زندگی و سلامت عمومی را تحت تأثیر قرار داده است [۲]. در گذشته، سرمایه‌گذاری خصوصی در سیستم‌های تأمین برق اضطراری (مانند موتور برق‌ها و یوپی‌اس‌ها) یک مزیت رفاهی برای اطمینان بیشتر محسوب می‌شد؛ اما امروزه، با توجه به بحران پایداری شبکه، این سرمایه‌گذاری به یک ضرورت حیاتی تبدیل شده است. این امر نه به‌دلیل افزایش رفاه، بلکه برای حفظ تاب‌آوری و بقای عملکرد عادی در برابر اختلالات شبکه، انجام می‌پذیرد. در واقع، بار مالی و مسئولیت تأمین پایداری انرژی تا حدی به دوش مصرف‌کننده نهایی منتقل شده است [۳]. در این میان در حوزه تأمین برق اضطراری مصارف خانگی چندین راه‌حل قابل طرح است. راه‌حل‌های اصلی موجود در بازار شامل سه مورد اصلی با ساختار هزینه و ملاحظات فنی کاملاً متفاوت هستند که در ذیل به آنها اشاره می‌شود:

۱. سیستم‌های ژنراتور (موتور برق): ارائه‌دهنده توان بالا و طولانی‌مدت، اما با هزینه‌های عملیاتی (سوخت) و نگهداری بالا و تولید آلایندگی زیاد (آلایندگی‌های محلی و آلودگی صوتی) [۵].

۲. سیستم‌های منبع تغذیه بدون وقفه (UPS): برای تأمین توان تمیز و فوری (میلی‌ثانیه) بارهای حیاتی و حساس، با محدودیت در مدت زمان پشتیبانی طولانی‌مدت [۶].

۳. سیستم‌های فتوولتائیک و باتری: تولیدکننده انرژی پاک و رایگان، اما با هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر [۷-۱۰].

انتخاب بهترین راه حل از میان موارد فوق، مستلزم انجام تحلیل فنی و اقتصادی هر یک بر اساس شرایط موجود در کشور در کنار اثرات زیست محیطی است. باید توجه داشت که ساختار یارانه‌ای و تعرفه‌گذاری ویژه برق کشور، از مطالعات و شرایط جهانی متمایز است. این تمایز نه تنها به‌دلیل قیمت یارانه‌ای حامل‌های انرژی، بلکه عمدتاً به واسطه نقش فعال مالی سیستم‌های ذخیره‌ساز در مواجهه با تعرفه‌گذاری پلکانی افزایشی (IBT) است [۱۱]. به عنوان نمونه، مدل تعرفه‌گذاری IBT که با افزایش شدید قیمت در پله‌های بالای مصرف، مشترکان پرمصرف را جریمه می‌کند، یک انگیزه قوی برای سرمایه‌گذاری در خودتولیدی به‌ویژه تولید برق توسط نیروگاه کوچک خانگی بوده است و باعث شده است در سال‌های اخیر، توجیه اقتصادی سیستم‌های خورشیدی/باتری متصل به شبکه، فراتر از تأمین صرفاً پشتیبان، به یک راهبرد فعال مالی شود و بتواند از طریق کاهش مصرف در هنگام پیک بار شبکه که عمدتا در اوج دمای تابستانه رخ می‌دهد، هزینه برق مصرفی را به شدت کاهش دهد [۱۲]. این اقدام از منظر اقتصادی حیاتی است، چرا که برق تأمین شده توسط سیستم پشتیبان که در اوج تابش تابستانه به حداکثر خود می‌رسد، همگام با پیک بار سراسری که «گران‌ترین نوع برق مصرفی» در نظام تعرفه‌ای کشور است، باشد. با این وجود پژوهش‌های کمّی این برتری مالی را تأیید کرده‌اند. تحلیل فنی-اقتصادی نشان می‌دهد که تحت تعرفه‌گذاری پلکانی، سیستم فتوولتائیک خانگی دارای دوره بازگشت سرمایه در حدود ۵ سال است. همچنین، تحت سیاست خرید تضمینی برق، این سیستم‌ها در ایران نرخ بازده داخلی معادل ۲۸ درصد را نشان داده‌اند [۱۳ و ۱۴]. این داده‌ها به‌وضوح نشان می‌دهند که در محیط اقتصادی ایران، سیستم‌های پشتیبان انرژی (به ویژه خورشیدی/باتری) به‌عنوان یک ابزار استراتژیک برای مدیریت ریسک مالی و بهینه‌سازی قبض برق عمل می‌کنند و مقایسه آن‌ها باید بر اساس مدل هزینه کل مالکیت (TCO) انجام شود [۱۲ و ۱۵]. برای مقایسه اقتصادی میان فناوری‌هایی با ساختار هزینه‌ای متفاوت، استفاده از مدل‌های هزینه جامع ضروری است. مدل هزینه کل مالکیت (TCO) و هزینه سطح‌بندی‌شده انرژی (LCOE) معیارهای اصلی هستند [۱۵]. بنا به پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، سیستم خورشیدی/باتری به‌دلیل حذف هزینه‌های سوخت، TCO پایین‌تری نسبت به موتور برق‌ها دارد زیرا TCO موتور برق‌ها به‌دلیل هزینه‌های عملیاتی تا دو برابر افزایش می‌یابد [۱۶ و ۱۷]. هر چند در مطالعات دیگر قاسمی

و همکاران نشان داده شد که ترکیب خورشیدی و دیزل ژنراتور در ریزشبکه‌ها منجر به کاهش هزینه‌ها تا ٪۵۷ و آلایندگی تا ٪۷۰ می‌شود [۱۸]. در تحقیق دیگری که توسط شهرکی و همکاران انجام شده است نشان داده شد که ترکیب PV و UPS از نظر اقتصادی سود بیشتری نسبت به عملکرد مستقل هر یک از اجزا دارد [۱۹]. بزرگ‌ترین و پنهان‌ترین ریسکی که سیستم‌های تأمین برق اضطراری مبتنی بر ذخیره‌ساز انرژی (مانند UPSها و سیستم‌های خورشیدی متصل به باتری) را تهدید می‌کند، مسئله طول عمر عملیاتی باتری‌ها است. مطالعات فنی داخلی و تجارب عملی به وضوح هشدار می‌دهند که برخلاف ادعاهای نظری یا عمرهای نامی طولانی‌تر، عمر مفید واقعی باتری‌ها در شرایط عملیاتی، به ویژه در ایران و با در نظر گرفتن شرایط نگهداری نامناسب، نوسانات دمایی و سیکل‌های شارژ و دشارژ شدید ناشی از خاموشی‌های مکرر، بسیار کوتاه‌تر از حد انتظار است و اغلب تنها بین ۳ تا ۵ سال متغیر است [۲۰ و ۲۱]. این استهلاک زودهنگام نه تنها پایداری سیستم تأمین برق اضطراری را در بلندمدت زیر سوال می‌برد، بلکه به‌دلیل نیاز مکرر به جایگزینی، هزینه‌های نگهداری و عملیاتی را به صورت تصاعدی افزایش می‌دهد. این استهلاک زودهنگام و هزینه‌های مرتبط با آن، اغلب در تحلیل‌های اقتصادی سنتی که توسط مصرف‌کنندگان یا حتی مهندسان انجام می‌شود، دست کم گرفته شده یا به صورت ساده و خطی مدل‌سازی می‌شود. در حالی که هزینه باتری بخش قابل توجهی از کل هزینه مالکیت سیستم‌های ذخیره‌ساز را تشکیل می‌دهد، عدم محاسبه دقیق و دینامیک استهلاک آن باعث می‌شود که ارزیابی‌های اولیه از توجیه اقتصادی این سیستم‌ها غیرواقع‌بینانه و بیش از حد خوش‌بینانه باشد. بنابراین، برای دستیابی به یک ارزیابی واقع‌بینانه و بهینه‌سازی دقیق سیستم، ضروری است که هزینه استهلاک و عمر باتری با در نظر گرفتن تأثیر عوامل محیطی و عملیاتی در مدل‌های اقتصادی گنجانده شود. این امر تضمین می‌کند که تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در این سیستم‌ها، بر اساس هزینه‌ها و منافع واقعی و بلندمدت صورت پذیرد.

بررسی راهکارهای جایگزین و اضطراری تأمین برق خانگی در مواجهه با ناترازی شبکه، ما را به سمت ارزیابی دقیق ابزارهای موجود سوق می‌دهد. سیستم‌های یوپی‌اس (UPS) استاندارد، ژنراتورهای بنزینی/گازی (موتور برق) و سیستم‌های ترکیبی خورشیدی/باتری، سه گزینه اصلی پیش روی مصرف‌کنندگان خانگی برای حفظ «تاب‌آوری انرژی» محسوب می‌شوند که هر کدام مزایا و معایب فنی و اقتصادی خاص خود را دارند. با این حال، ارزیابی واقعی توجیه اقتصادی هر یک از این سیستم‌ها، مستلزم استفاده از یک مدل مالی جامع و واقع‌بینانه است که فراتر از هزینه اولیه، کلیه هزینه‌های عملیاتی، نگهداری و مهم‌تر از همه، استهلاک زودهنگام باتری را در بر گیرد. اینجاست که نیاز به یک تحلیل مقایسه‌ای دقیق و مبتنی بر واقعیت‌های مصرف ایرانی برجسته می‌شود. بررسی مطالعات انجام شده در رابطه با تحلیل‌های فنی-اقتصادی راه‌حل‌های ذکر شده برای تأمین برق اضطراری خانگی بخصوص سیستم‌های ترکیبی مانند خورشیدی/موتوربرق یا خورشیدی/یوپی‌اس را پوشش داده است [۱۲, ۱۴, ۱۶, ۲۱ و ۲۲]، اما کماکان یک شکاف پژوهشی کلیدی در ادبیات بومی وجود دارد: هیچ تحلیل جامع و مقایسه‌ای تا کنون، هر سه راهکار اصلی (UPS، موتور برق و خورشیدی/ باتری) را به‌صورت همزمان، تحت مدل هزینه کل مالکیت (TCO) و در سه سناریوی متمایز و متناسب با الگوی مصرف خانوار ایرانی (پایین، متوسط و بالا)، مورد ارزیابی قرار نداده است. نوآوری اصلی این تحقیق عبارت است از:

۱. تحلیل مقایسه‌ای سه‌گانه و سناریو محور: مقایسه TCO هر سه راهکار اصلی برای سه سطح متمایز توان و انرژی مورد نیاز (مصرف بالا، متوسط و پایین).

۲. مدل‌سازی بومی: لحاظ کردن هزینه‌های چرخه عمر مبتنی بر پارامترهای واقعی اقتصادی کشور، شامل هزینه‌های نگهداری سنگین موتور برق و هزینه جایگزینی باتری بر اساس طول عمر عملیاتی و نه اسمی (۴ سال).

۳. ارائه راهکار بهینه بر اساس الگوی مصرف: تعیین اینکه کدام فناوری در بلندمدت کمترین TCO و بیشترین پایداری را برای هر دسته از خانوارهای ایرانی فراهم می‌سازد.

۲- مبانی نظری تحقیق

در گام نخست، سه سناریوی مصرفی برق متناظر با الگوی بار خانگی در ایران مطابق جدول ۱ طراحی گردید. مدت‌زمان قطع برق فرضی در تمامی سناریوها دو ساعت در روز در نظر گرفته شد که بر اساس گزارش‌های رسمی شرکت توانیر، نمایانگر میانگین واقع‌بینانه قطعی‌های برنامه‌ریزی‌شده در تابستان ۱۴۰۴ است. کل انرژی مورد نیاز در هر نوبت قطعی برق (روزانه) که با E_{tot} نشان داده می‌شود بر اساس توان اکتیو مصرفی (P_i)، ضریب همزمانی هر دستگاه f_i و مدت زمان خاموشی روزانه t هر کدام از دستگاه‌های مصرفی برق بر اساس رابطه ۱ محاسبه شده است [۲۳]:

$$E_{tot} = \sum_{i=1}^{n} (P_i \times f_i \times t) \quad (۱)$$

در جدول ۱ منظور از توان راه‌اندازی، میزان توانی است که برخی دستگاه‌ها مانند یخچال و اسپلیت در لحظه شروع به کار نیاز دارند و می‌تواند ۳ تا ۵ برابر توان نامی باشد [۲۳ و ۲۴]. این عدد برای انتخاب صحیح موتور برق و UPS بسیار حائز اهمیت است. ضریب همزمانی نشان‌دهنده احتمال روشن بودن دستگاه‌ها در زمان قطع برق است. این پارامتر مستقیماً بر هزینه کل سیستم تأثیرگذار است.

جدول ۱- مشخصات فنی سه سناریوی مصرفی برق متناظر با الگوی بار خانگی در ایران

پارامتر	سناریوی A	سناریوی B	سناریوی C
توان نامی همزمان کل (W)	۳۷۵۰	۸۳۰	۲۷۰
کل انرژی مصرفی (Wh)	۴۶۰۶	۱۱۷۰	۵۴۰
توان راه‌اندازی اولیه (وات)	۵۰۵۰	۱۲۱۰	۳۲۰
ضریب هم‌زمانی	۰/۷ تا ۱/۰	۰/۶ تا ۱/۰	۰/۵ تا ۱/۰
دستگاه‌های اصلی	یخچال، فریزر، اسپلیت، تلویزیون، روشنایی، کامپیوتر	یخچال، روشنایی، مودم، کامپیوتر تلویزیون	روشنایی محدود، مودم، لپتاپ

۲-۱-چارچوب تحلیل هزینه کل مالکیت (TCO) و ارزش فعلی خالص (NPV)

در این پژوهش، برای تأمین سه سناریوی مصرف برق معرفی شده در قسمت قبل، سه سیستم تأمین برق اضطراری، پنل خورشیدی، موتور برق و UPS مدنظر قرار گرفته است. سپس برای مقایسه و انتخاب بهترین گزینه، ارزیابی اقتصادی بر اساس مدل هزینه کل مالکیت (TCO) برای هر کدام صورت گرفته است. مدل TCO در این پژوهش بر اساس رویکرد ارزش فعلی هزینه‌ها (Net Present Cost) بنا شده است که در آن، صرفه‌جویی حاصل از عدم پرداخت قبض برق در سیستم خورشیدی به عنوان هزینه منفی (Avoided Cost) در دل مدل لحاظ شده است تا قابلیت مقایسه با سایر سیستم‌ها فراهم گردد و چارچوبی جامع برای مقایسه فناوری‌هایی با ساختار هزینه متفاوت است که شامل تمامی هزینه‌های سرمایه‌ای، عملیاتی و نگهداری در طول عمر پروژه می‌شود [۲۳]. با توجه به اقتصاد پرتورم ایران، برای محاسبه ارزش فعلی جریان‌های نقدی آتی از نرخ تنزیل (Discount Rate) استفاده شده و سپس هزینه‌ها با استفاده از نرخ تنزیل اسمی (Discount Rate) که بیانگر هزینه فرصت سرمایه و تورم انتظاری است، به ارزش فعلی تبدیل شده‌اند. نرخ‌های تنزیل ٪۳۰ و ٪۴۰ در این مطالعه به عنوان نرخ‌های اسمی بازار در نظر گرفته شده‌اند.

$$\boldsymbol{TCO} = \boldsymbol{C_{Capital}} + \sum_{\boldsymbol{t=1}}^{\boldsymbol{N}} \frac{\boldsymbol{C_{Operation,t}} + \boldsymbol{C_{Maintenance,t}} + \boldsymbol{C_{Replacement,t}}}{(\boldsymbol{1+d})^{\boldsymbol{t}}} \quad (۲)$$

که در رابطه فوق پارامترها به صورت زیر تعریف شده‌اند:

- $C_{Capital}$: هزینه‌ی اولیه سرمایه‌گذاری (خرید، نصب و راه‌اندازی).
- $C_{Operation,t}$: هزینه‌های عملیاتی در سال t (مانند هزینه سوخت موتور برق یا هزینه برق مصرفی UPS).
- $C_{Maintenance,t}$: هزینه‌های نگهداری در سال t
- $C_{Replacement,t}$: هزینه‌های جایگزینی اجزای مصرفی (مانند باتری‌ها و اینورترها) در سال t.
- N: طول عمر پروژه (۱۵ سال).
- d: نرخ تنزیل (Discount Rate).

مقدار بهینه N برای پروژه‌های خانگی در ایران با توجه به مطالعات انجام شده برابر با ۱۵ سال است [۲۵]. نرخ تنزیل d واقع‌بینانه در ایران، برای پروژه‌های خانگی انرژی با توجه به مقالات معتبر داخلی و داده‌های بازار سرمایه، حداقل باید برابر با ٪۲۵ انتخاب شود [۲۵]. اما با توجه به شرایط تورمی موجود در اقتصاد کشور، در کار حاضر دو مقدار خوشبینانه و بدبینانه ٪۳۰ و ٪۴۰ برای نرخ تنزیل در نظر گرفته شده است. این بازه بر اساس نرخ تورم رسمی کشور در سال‌های اخیر و با هدف لحاظ نمودن هزینه فرصت سرمایه در بازار داخلی انتخاب شده است تا رویکردی واقع‌بینانه در تحلیل ارزش فعلی جریانات نقدی اسمی اتخاذ گردد [۲۵].

ارزش فعلی خالص (NPV)

برای واقعی‌سازی مقایسه در اقتصاد پرتورم ایران، کلیه هزینه‌ها و درآمدهای آتی با استفاده از نرخ تنزیل با رابطه زیر به ارزش فعلی تبدیل می‌شوند [۲۳]:

$$NPV = \sum_{t=۰}^{N} \frac{R_t - C_t}{(۱ + d)^t} \qquad (۳)$$

در این رابطه R_t درآمد سالانه و C_t مجموع هزینه‌های سالانه است. برای تعیین سایر پارامترها موجود در رابطه ۳ باید ابتدا پارامترهای مربوط به طراحی فنی یا سایزینگ اجزای سیستمهای برق اضطراری به‌دست آید که در بخش بعد به آن پرداخته می‌شود.

۲-۲- محاسبات سایزینگ اجزای سیستم‌های برق اضطراری

بر اساس سه سناریوی مصرف تعریف‌شده، اندازه اجزای اصلی هر سیستم تأمین برق اضطراری با توجه به پارامترهای عملیاتی و اقتصادی به صورت زیر محاسبه شده است:

محاسبه ظرفیت موردنیاز پنل خورشیدی

ظرفیت پنل خورشیدی بر اساس انرژی مورد نیاز روزانه، ضریب طراحی، ساعات تابش خورشیدی بیشینه و راندمان پنل از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۳]:

$$P_{PV} = \frac{E_{daily} * SF}{PSH * PR} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، E_{daily} انرژی مورد نیاز روزانه بر حسب وات ساعت (Wh)، SF ضریب طراحی است که بین ۱٫۲ تا ۱٫۴ در نظر گرفته می‌شود، این ضریب برای لحاظ کردن اثرات گرد و غبار، آلودگی‌های محیطی، سایه‌اندازی‌های احتمالی و ایجاد حاشیه اطمینان برای تأمین انرژی در شرایط تابش نامطلوب در نظر گرفته شده است (تلفات مربوط به کابل‌کشی، دمای پنل و راندمان اینورتر در ضریب PR مستتر می‌باشد). PSH و PR به ترتیب برابر با تابش خورشیدی موثر و راندمان سیستم پنل است. PSH بر اساس

میانگین تابش روزانه برابر با ۵ ساعت پیک تابش (بر اساس میانگین کشوری استخراج شده از اطلس تابش ایران) [۲۵] بدست می‌آید و ضریب عملکرد سیستم برابر با ۰/۷۵ (برای پوشش تلفات عملیاتی شامل گرد و غبار، افت دما و تلفات سیم‌کشی) است [۲۳].

سایزینگ باتری ذخیره‌ساز

ظرفیت باتری جهت تأمین انرژی مورد نیاز در زمان قطعی بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود [۲۳]:

$$Q_{battery} = \frac{P_{load} \times T_{backup}}{V \times DoD \times \eta} \quad (۵)$$

که در رابطه فوق، P_{load} بار اضطراری، T_{backup} مدت زمان پشتیبانی بر حسب ساعت، V ولتاژ نامی باتری، DoD عمق دشارژ باتری (که در این مطالعه برابر ۰/۸ لحاظ شده است) و η راندمان سیستم ذخیره‌ساز است. در این محاسبات، عمق دشارژ DoD برابر با ٪۸۰ لحاظ شده است. با توجه به فرض ۲۰۰ ساعت کارکرد سالانه سیستم (معادل حدود ۱۰۰ سیکل شارژ و دشارژ در سال)، عمر مفید باتری با در نظر گرفتن اثرات دما و مستهلک شدن صفحات، به‌طور میانگین ۴ سال برآورد شده است. این عدد با توجه به ظرفیت ۵۰۰ تا ۷۰۰ سیکلی باتری‌های مورد استفاده در بازار داخلی، برآوردی محتاطانه برای هزینه‌های جایگزینی در مدل TCO ارائه می‌دهد.

محاسبه UPS خانگی

ظرفیت UPS بر حسب ولت-آمپر بیان می‌شود که از رابطه زیر قابل محاسبه است [۲۳]:

$$UPS_{VA} = \frac{Total_Power\ (W)}{PF} \quad (۶)$$

در رابطه فوق $Total_Power$ کل توان مصرفی تجهیزات است بر حسب وات است. PF ضریب توان است که عددی است بین ۰/۶ تا ۰/۹ و مقدار آن در تحقیق حاضر ۰/۸ در نظر گرفته شده است. ظرفیت به‌دست‌آمده از رابطه ۶ برای اطمینان از عملکرد مناسب در زمان پیک بار باید به صورت زیر در ضریب اطمینان $Safety$ ضرب شود:

$$UPS_{VA-final} = UPS_{VA} \times Safety \quad (۷)$$

محاسبه موتور برق

انتخاب موتور برق بر اساس بار واقعی $Total\ Load$، ضریب قدرت، توان راه‌اندازی اولیه تجهیزات و ضریب اطمینان به صورت زیر صورت می‌گیرد [۱۷]:

$$Gen_{kVA} = \frac{Total\ Load\ (W)}{PF \times 1000} \times Safety \quad (۸)$$

ضریب اطمینان برای انتخاب موتور برق $Safety$ ٪۲۰ توصیه می‌شود تا برای لحظه راه‌اندازی بار مشکلی ایجاد نشود.

۲-۳-محاسبه انتشار دی‌اکسیدکربن

برای تکمیل تحلیل زیست‌محیطی سامانه‌های تأمین برق اضطراری، در این پژوهش انتشار دی‌اکسیدکربن هر یک از سه گزینه موتور برق، UPS و سامانه خورشیدی/باتری برای هر یک از سه سناریوی مصرفی بر اساس توان نامی، ساعت کارکرد و ضرایب انتشار

متناظر محاسبه شده است. در این تحلیل، تمرکز بر انتشار عملیاتی (حین بهره‌برداری) بوده و انتشار مربوط به مرحله ساخت تجهیزات و باتری‌ها تنها در بحث کیفی نتیجه‌گیری مورد اشاره قرار گرفته است.

محاسبه انتشار دی‌اکسیدکربن موتور برق

در گام نخست، توان نامی موتور برق بر حسب kVA به توان اکتیو بر حسب کیلووات تبدیل می‌شود. با فرض ضریب توان PF برابر با ۰/۸ که مقدار متداول برای اغلب موتوربرق‌های خانگی و کوچک است، توان نامی اکتیو از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۵]:

$$P_{\text{rated}}\ (kW) = Gen_{kVA} \times PF \qquad (۹)$$

در گام بعد، با توجه به این‌که موتور برق معمولاً با صددرصد ظرفیت خود کار نمی‌کند، ضریب بار LF به‌صورت عدد اعشاری (برای مثال ۰/۷۵) تعریف شده و توان واقعی مصرفی موتور برق از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۵]:

$$P_{\text{real}}\ (kW) = P_{\text{rated}} \times LF \qquad (۱۰)$$

با فرض مدت زمان کارکرد روزانه موتور برق برابر با t بر حسب ساعت، انرژی تولیدشده روزانه برابر است با [۵]:

$$E_{\text{gen}}\ (kWh) = P_{\text{real}} \times t \qquad (۱۱)$$

انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف سوخت موتور برق به کمک ضریب انتشار سوخت EF_{gen}، بر حسب کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت، از رابطه زیر بدست می‌آید [۵]:

$$CO_{2,\text{gen}}\ (kg) = E_{\text{gen}} \times EF_{\text{gen}} \qquad (۱۲)$$

با ترکیب روابط فوق و استفاده از رابطه (۸) برای تعیین ظرفیت موتور برق بر اساس بار سناریوها، انتشار دی‌اکسیدکربن هر سناریو برای موتور برق استخراج شده است.

محاسبه انتشار دی‌اکسیدکربن UPS

در سیستم UPS، خود تجهیز سوخت فسیلی مصرف نمی‌کند و انتشار دی‌اکسیدکربن آن ناشی از برق دریافتی از شبکه برای تغذیه بار و جبران تلفات داخلی است. با فرض توان بار اضطراری P_{load} و راندمان کلی UPS برابر با η_{UPS} به صورت عدد اعشاری، توان ورودی مورد نیاز از شبکه از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$P_{\text{in}}\ (kW) = \frac{P_{\text{load}}}{\eta_{\text{UPS}}} \qquad (۱۳)$$

انرژی الکتریکی ورودی از شبکه در مدت زمان پشتیبانی t بر حسب ساعت برابر است با [۱۶]:

$$E_{\text{in}}\ (kWh) = P_{\text{in}} \times t \qquad (۱۴)$$

با در نظر گرفتن ضریب انتشار شبکه برق کشور EF_{grid}، انتشار دی‌اکسیدکربن متناظر با کارکرد UPS از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۱۶]:

$$CO_{2,\text{UPS}}\ (kg) = E_{\text{in}} \times EF_{\text{grid}} \quad (۱۵)$$

محاسبه انتشار دی‌اکسیدکربن سامانه خورشیدی/باتری

در سامانه خورشیدی/باتری، در زمان بهره‌برداری معمولی، تولید انرژی الکتریکی از پنل‌های فتوولتائیک منجر به انتشار مستقیم دی‌اکسیدکربن نمی‌شود و در این پژوهش انتشار عملیاتی پنل‌ها صفر در نظر گرفته شده است. با این حال، در برخی شرایط، بخشی از انرژی شارژ باتری ممکن است از شبکه تأمین شود که در این صورت، مشابه UPS می‌توان انتشار متناظر با آن را بر اساس روابط (۱۴) و (۱۵) محاسبه نمود. در تحلیل حاضر، برای حالت پایه، تأمین انرژی بار اضطراری در سناریوهای مختلف برای سامانه خورشیدی/باتری به‌صورت کاملاً مستقل از شبکه (Off-Grid) فرض شده و بنابراین، دی‌اکسیدکربن عملیاتی آن در طول دوره بهره‌برداری برابر با صفر در نظر گرفته شده است.

۳-نتایج و بحث

پارامترهای فنی (سایزینگ) اجزای کلیدی (پنل خورشیدی، باتری، UPS، موتور برق) برای هر یک از سه سناریوی مصرفی با توجه به روابط ارائه شده در بخش قبل، محاسبه شده و به طور جداگانه در جداول ۲ تا ۴ ارائه شده است. برای سناریوی A با مصرف ۳۷۵۰ وات، تجهیزات به‌صورت بیشینه سایزینگ شده‌اند. تعداد پنل‌ها (۱۰ × ۵۰۰ وات)، ظرفیت باتری (۲ × ۲۰۰ آمپر ساعت) و اینورتر (۵ تا ۶ کیلووات) مطابق با نیاز همزمانی بار و زمان برای تأمین ۲ ساعته انتخاب شده است. برای سناریوی B با مصرف ۸۳۰ وات، مقادیر به نسبت سناریوی A کاهش یافته و انعطاف بیشتری برای انتخاب اقتصادی دارد. ظرفیت باتری (۱ × ۱۰۰ آمپر ساعت)، تعداد پنل (۳ × ۴۰۰ وات)، اینورتر با توان ۱٫۵ کیلووات که مناسب با نیاز روزمره یک خانواده شهری متوسط است. در نهایت برای سناریو اقتصادی C با مصرف ۲۷۰ وات، علی‌رغم هزینه پایین‌تر، این سناریو قادر به تأمین فقط بارهای حیاتی (روشنایی محدود، مودم، لپتاپ) است و مثلاً برای بارهای سرمایشی کافی نیست. ابعاد تجهیزات (یک پنل ۴۰۰ وات و باتری کوچکتر) انتخاب شده‌اند تا راهکار فوق‌اقتصادی رقم بخورد.

جدول ۲- پارامترهای فنی (سایزینگ) اجزای کلیدی (پنل خورشیدی، باتری، UPS، موتور برق) برای سناریو A (**مصرف ۳۷۵۰ وات**)

پارامتر طراحی	واحد	PV-OffGrid	موتور برق	یوپی‌اس Online
توان نامیDC / AC	کیلووات	۵/۰	۶/۳	۶/۰
تعداد پنل / ظرفیت موتور برق	-	۱۰×۵۰۰ وات	kVA ۶/۳	-
ظرفیت باتری	Ah @12V	۲×۲۰۰	-	۱۶×۶۵
اینورتر هیبرید	kVA	۵/۰	-	-

جدول ۳- پارامترهای فنی (سایزینگ) اجزای کلیدی (پنل خورشیدی، باتری، UPS، موتور برق) برای سناریو B (**مصرف ۸۳۰ وات**)

پارامتر طراحی	واحد	PV-OffGrid	موتور برق	یوپی‌اس Online
توان نامیDC / AC	کیلووات	۱٫۲	۱٫۵	۱٫۵
تعداد پنل / ظرفیت موتور برق	-	۳×۴۰۰ وات	۱٫۵ kVA	-
ظرفیت باتری	Ah @12V	۱×۱۰۰	-	۴×۴۲
اینورتر هیبرید	kVA	۱٫۵	-	-

جدول ۴- پارامترهای فنی (سایزینگ) اجزای کلیدی (پنل خورشیدی، باتری، UPS، موتور برق) برای سناریو C (**مصرف ۲۷۰ وات**)

پارامتر طراحی	واحد	PV-OffGrid	موتور برق	یوپی‌اس Online
توان نامیDC / AC	کیلووات	۰٫۴	۱٫۰	۰٫۵
تعداد پنل / ظرفیت موتور برق	-	۱×۴۰۰ وات	۱٫۰ kVA	-
ظرفیت باتری	Ah @12V	۱×۴۵	-	۳×۲۸
اینورتر هیبرید	kVA	۰٫۵	-	-

حالا با توجه به سایزینگ اجزای مورد نیاز هر تجهیز، می‌توان آنالیز اقتصادی را با استفاده از روابط ۲ و ۳ انجام داد. پارامترهای هزینه کل مالکیت (TCO) و ارزش فعلی خالص (NPV) محاسبه شده و در جدول ۵ برای نرخ تنزیل ٪۳۰ نمایش داده شده است. تمامی ارقام مربوط به هزینه‌ها بر حسب میلیون تومان است و قیمت‌ها از **وب‌سایت‌ها و کاتالوگ‌های آنلاین** که در انتهای مقاله در بخش ۷ قابل مشاهده هستند، استعلام شده است. هدف این تحلیل، انتخاب بهینه‌ترین ترکیب تجهیزات برای شرایط مختلف نیاز بار است.

جدول ۵- پارامترهای اقتصادی برای سه رویکرد تأمین برق اضطراری (خورشیدی، موتور برق و UPS) در سه سطح مصرف مختلف با نرخ تنزیل ۳۰٪

سناریو	سیستم	هزینه سرمایه‌ای	ارزش فعلی هزینه‌های عملیاتی	ارزش فعلی هزینه‌های جایگزینی	ارزش فعلی درآمدها	هزینه کلی مالکیت (TCO)
A	خورشیدی	۲۸۰	۲۳٫۱	۱۰٫۱	۸٫۷-	۳۰۴٫۴
A	موتور برق	۱۴۵	۱۰۷٫۷	۱۲٫۳	۰	**۲۶۴٫۹**
A	UPS	۲۷۰	۷٫۷	۳۴٫۹	۰	۳۱۲٫۶
B	خورشیدی	۱۱۵	۹٫۶	۴٫۱	۲٫۲-	۱۲۶٫۵
B	موتور برق	۸۰	۴۷٫۱	۶٫۰	۰	۱۳۳٫۱
B	UPS	۱۰۰	۲٫۹	۱۴٫۷	۰	**۱۱۷٫۶**
C	خورشیدی	۷۰	۵٫۸	۲٫۲	۰٫۸-	۷۷٫۱
C	موتور برق	۴۵	۱۷٫۳	۳٫۳	۰	۶۵٫۶
C	UPS	۵۵	۱٫۹	۴٫۹	۰	**۶۱٫۸**

در جدول ۵، برای هر سیستم و سناریو، شاخص‌های کلیدی زیر ارزیابی شده‌اند:

- **$C_{Capital}$ هزینه‌ی سرمایه‌ای:** هزینه اولیه خرید و نصب تجهیزات.
- **ارزش فعلی هزینه‌های عملیاتی:** محاسبه هزینه‌های سرویس، سوخت یا مصرف برق طی عمر پروژه با نرخ تنزیل.
- **ارزش فعلی هزینه‌های جایگزینی:** هزینه تعویض قطعات مصرفی مانند باتری با فرض عمر مفید محدود.
- **ارزش فعلی درآمدها:** فقط در سیستم‌های خورشیدی معنی دارد و بیانگر کاهش هزینه قبض برق یا درآمد فروش برق است (عدد منفی = درآمد/صرفه‌جویی).
- **TCO هزینه‌ی کل مالکیت:** حاصل جمع موارد فوق، معیاری جامع برای مقایسه اقتصادی.

جدول ۶- پارامترهای اقتصادی برای سه رویکرد تأمین برق اضطراری (خورشیدی، موتور برق و UPS) در سه سطح مصرف مختلف با نرخ تنزیل ۴۰٪

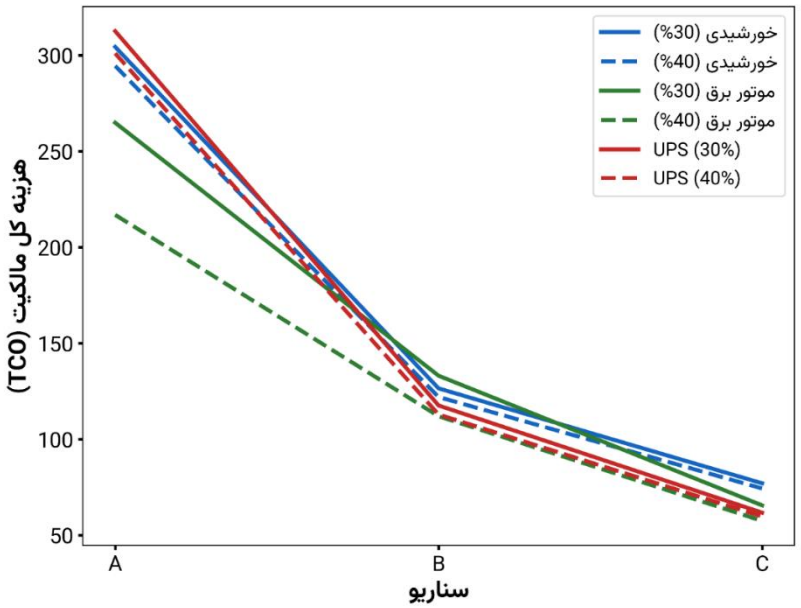
سناریو	سیستم	هزینه سرمایه‌ای	ارزش فعلی هزینه‌های عملیاتی	ارزش فعلی هزینه‌های جایگزینی	ارزش فعلی درآمدها	هزینه کلی مالکیت (TCO)
A	خورشیدی	۲۸۰	۱۳٫۴	۷٫۷	۶٫۶-	۲۹۴٫۵
A	موتور برق	۱۴۵	۶۲٫۶	۹٫۳	۰	**۲۱۶٫۹**
A	UPS	۲۷۰	۴٫۵	۲۶٫۵	۰	۳۰۱٫۰

B	خورشیدی	۱۱۵	۵٫۶	۳٫۱	۱٫۷-	۱۲۲٫۰
B	موتور برق	۸۰	۲۷٫۴	۴٫۶	۰	**۱۱۲٫۰**
B	UPS	۱۰۰	۱٫۷	۱۱٫۲	۰	۱۱۲٫۹
C	خورشیدی	۷۰	۳٫۴	۱٫۷	۰٫۶-	۷۴٫۴
C	موتور برق	۴۵	۱۰٫۱	۲٫۵	۰	**۵۷٫۵**
C	UPS	۵۵	۱٫۱	۳٫۷	۰	۵۹٫۸

نتایج اقتصادی به‌دست‌آمده در جدول ۵ برای سه رویکرد تأمین برق در سه سطح مصرف مختلف نشان می‌دهند که برای سناریوی پرمصرف A سیستم موتور برق به‌دلیل هزینه سرمایه‌ای پایین‌تر نسبت به سیستم UPS و خورشیدی بدلیل مجموع هزینه کل مالکیت (TCO)کمتر، اقتصادی‌تر بوده و علی‌رغم هزینه بسیار بالای عملیاتی بهترین گزینه محسوب می‌شود. در رتبه دوم سیستم خورشیدی قرار می‌گیرد اما این گزینه به‌دلیل حذف آلایندگی و عدم وابستگی به سوخت فسیلی برای پروژه‌های با نگاه بلندمدت و امکان تأمین مالی اولیه مناسب‌ترین گزینه خواهد بود اما باید به امکان نصب و دسترسی به تابش خورشید که عملا برای آپارتمان‌ها وجود ندارد توجه داشت.

در سناریوهای با مصرف متوسط (B) و کم (C)، هزینه کل مالکیت سیستم UPS کمترین مقدار را نسبت به موتور برق و خورشیدی نشان می‌دهد؛ گرچه سرمایه‌گذاری اولیه همچنان بالاتر از موتور برق است اما در بازه ۱۵ ساله با وجود هزینه‌های عملیاتی به‌دلیل تعویض باتری و مصرف برق در زمان شارژ باتری برای هر ۴ یا ۵ سال، همچنان گزینه‌ای اقتصادی‌تر و پایدارتر است.

یک عامل بسیار مهم در تحلیل اقتصادی نرخ تورم است که به طور مستقیم روی نرخ تنزیل اثر می‌گذارد. شرایط اقتصاد تورمی که در حال حاضر در کشور وجود دارد نرخ تنزیل را افزایش می‌دهد. به همین دلیل در کار حاضر، محاسبات برای نرخ تنزیل ٪۴۰ نیز انجام شده است و نتایج در جدول ۶ آمده است. همان طور که در جدول ۶ قابل مشاهده است، با افزایش نرخ تنزیل از ۳۰ به ۴۰ درصد، هزینه کل مالکیت تمامی گزینه‌ها کاهش می‌یابد. علت این موضوع این است که نرخ تنزیل بالا به‌نوعی بیانگر اهمیت کمتر هزینه‌ها و درآمدهای دورتر در آینده است؛ یعنی هر چه نرخ تنزیل بالاتر رود، ارزش فعلی جریانات نقدینگی سال‌های آینده (اعم از هزینه‌های عملیاتی و جایگزینی و همچنین درآمدها) کمتر می‌شود. به همین دلیل وزن سرمایه‌گذاری اولیه نسبت به هزینه‌های دوره بهره‌برداری بیشتر و بیشتر شده و اختلاف هزینه نهایی گزینه‌های با هزینه عملیاتی بالاتر کمتر می‌شود. از این رو، اگر نگاه سرمایه‌گذار کوتاه‌مدت یا نرخ بازده مورد انتظار بالا باشد، اولویت انتخاب طرح‌ها به سمت گزینه‌هایی با سرمایه‌گذاری اولیه کمتر و هزینه عملیاتی بالاتر (مانند موتور برق) میل می‌کند. اما هر چه نرخ تنزیل کمتر و افق تحلیل بلندتر باشد، صرفه‌جویی‌های بلندمدت (مانند خورشیدی) ارزشمندتر خواهند شد. به هر ترتیب، در صورتی که نرخ تنزیل را ٪۴۰ در نظر گرفته شود، بهترین گزینه برای تمامی سناریوهای مصرف، موتوربرق است. در رتبه دوم برای سناریو پر مصرف، خورشیدی بهترین گزینه است اما برای سناریوهای با مصرف متوسط (B) و کم (C)، UPS بهترین گزینه خواهد بود. شکل ۱ نتایج به‌دست آمده از تحلیل اقتصادی در نرخ‌های تنزیل مختلف را برای سناریوهای مصرفی متفاوت برای سه سیستم برق اضطراری نشان می‌دهد.



شکل ۱- مقایسه هزینه کل مالکیت بر حسب میلیون تومان سیستم‌های برق اضطرای مختلف در نرخ‌های تنزیل ۳۰ و ۴۰ درصد برای سه سطح سناریوی مصرفی

در شکل ۱ روند تغییرات هزینه کل مالکیت برای هر سناریو و برای نرخ تنزیل ۳۰ و ۴۰ درصد به خوبی قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده می‌شود، تغییرات هزینه کل مالکیت بیشتر متأثر از سناریو مصرفی است و نه نرخ تنزیل ولی بنا به توضیحات قبل، این موضوع برای موتور برق استثنا است زیرا هزینه خرید اولیه کمتری نسبت به سایر سیستم‌ها دارد. در شکل ارائه‌شده، به‌وضوح مشاهده می‌شود که اختلاف هزینه کل مالکیت بین سناریوهای مصرفی B و C نسبتاً اندک است، در حالی که در سناریو پرمصرف این اختلاف بسیار چشمگیر و قابل توجه می‌باشد. این موضوع بیانگر آن است که با صرف بودجه‌ای در محدوده ۵۰ میلیون تومان، می‌توان به جای تأمین برق فقط برای موارد بسیار ضروری و محدود (سناریو C) زیرساخت برق اضطراری مناسبی برای سناریوA و B فراهم کرد که پاسخ‌گوی اغلب نیازهای معمول مصرف‌کننده باشد و سطح رفاه و آسایش آن را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. علاوه بر بهبود کیفیت زندگی مصرف‌کنندگان، انتخاب سناریو B به‌ویژه با رویکرد استفاده از سیستم خورشیدی، منافع دیگری همچون کاهش بار شبکه در هنگام قطعی برق و تقویت پایداری انرژی کشور ایجاد خواهد کرد. از سوی دیگر، سازگاری بالای سیستم‌های خورشیدی با محیط زیست که تحلیل و محاسبات آن در بخش بعد بررسی شده است و نقش آن‌ها در مدیریت بحران انرژی، راهکاری مؤثر برای حمایت دولت در عبور از ناترازی انرژی و کاهش قطعی برق فراهم می‌کند. بر این اساس، برنامه‌ریزی برای سرمایه‌گذاری در سناریو B و انتخاب سیستم خورشیدی برای تأمین برق در این شرایط، نه تنها مقرون به صرفه، بلکه از نظر اجتماعی و زیست‌محیطی توصیه‌پذیر است زیرا هزینه کل مالکیت آن نسبت به ارزان‌ترین سیستم یعنی موتور برق اختلاف ناچیزی دارد.

۳-۱- تحلیل زیست‌محیطی و انتشار آلاینده‌ها

علاوه بر تحلیل اقتصادی، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی برای انتخاب پایدار ضروری است. با استفاده از روابط (۹) تا (۱۵) ارائه شده در بخش متدولوژی، میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای هر سیستم محاسبه شده است. در این محاسبات، ضریب انتشار شبکه برق سراسری EF_{grid} برابر با ۰/۶ کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت و ضریب انتشار سوخت برای موتوربرق‌های بنزینی کوچک (EF_{gen}) به طور متوسط ۰/۸۵کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده است که سیستم‌ها در طول سال مجموعاً ۲۰۰ ساعت (معادل حدود ۲ ساعت قطعی روزانه در فصل پیک تابستان) در مدار بهره‌برداری قرار می‌گیرند. نتایج در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- مقایسه میزان انتشار دی‌اکسید کربن (CO2) در سه سیستم تأمین برق اضطراری برای سناریوهای مختلف (فرض ۲۰۰ ساعت کارکرد سالانه)

سناریو	سیستم	انتشار سالانه CO_2 [kg]
A	خورشیدی	۰
A	موتور برق	۶۳۷
A	UPS	۵۰۰
B	خورشیدی	۰
B	موتور برق	۳۲۰
B	UPS	۱۱۰
C	خورشیدی	۰
C	موتور برق	۲۵۰
C	UPS	۳۶

جدول ۷ نشان می‌دهد که سیستم خورشیدی با تولید میزان دی‌اکسید کربن صفر، پایدارترین گزینه است. در مقایسه بین موتور برق و UPS، نتایج نشان می‌دهند که موتور برق در تمامی سناریوها آلایندگی بیشتری نسبت به شبکه برق (UPS) دارد. علت این امر راندمان حرارتی پایین موتورهای احتراق داخلی کوچک (حدود ۲۰ درصد) در مقایسه با راندمان بالاتر نیروگاه‌ها (حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد) است.

نکته قابل توجه این است که در سناریوی پرمصرف (A)، فاصله آلایندگی موتور برق و UPS کمتر است زیرا موتور در نقطه کار نامی خود فعالیت کرده و راندمان بهتری دارد. اما در سناریوهای کم‌مصرف (به‌ویژه C)، موتور برق حتی برای تأمین بارهای کوچک ناچار به روشن ماندن و مصرف سوخت پایه است که منجر به تولید حجم نامتناسبی از دی‌اکسید کربن نسبت به انرژی تولیدی می‌شود. در مقابل، UPS رفتار خطی‌تری داشته و متناسب با بار از شبکه جریان می‌کشد. بنابراین از منظر زیست‌محیطی، موتور برق‌های کوچک بدترین گزینه برای تأمین برق اضطراری محسوب می‌شوند.

۳-۲-تحلیل حساسیت و پایداری یافته‌ها

با توجه به ناپایداری متغیرهای کلان اقتصادی و عدم قطعیت در پارامترهای فنی، تحلیل حساسیت نتایج برای سه متغیر کلیدی: نرخ تنزیل، عمر مفید باتری و تغییرات قیمت حامل‌های انرژی انجام شد. این تحلیل به منظور سنجش پایداری رتبه‌بندی گزینه‌های پیشنهادی در سناریوهای مختلف صورت گرفته است.

الف) حساسیت نسبت به نرخ تنزیل و هزینه فرصت سرمایه

نتایج نشان می‌دهد که نرخ تنزیل بحرانی‌ترین عامل در تغییر اولویت اقتصادی بین سیستم‌های سرمایه‌بر (فتوولتائیک) و سیستم‌های هزینه‌بر (موتور برق) است. طبق جداول ۵ و ۶، در سناریوی پرمصرف (A)، با افزایش نرخ تنزیل از ۳۰ درصد به ۴۰ درصد، شاخص TCO سیستم خورشیدی حدود ۳ درصد کاهش می‌یابد (به دلیل تنزیل شدیدتر هزینه‌های آتی جایگزینی باتری)، اما در مقابل، جذابیت نسبی موتور برق به دلیل سرمایه‌گذاری اولیه کمتر افزایش می‌یابد. در واقع، در نرخ‌های تنزیل بالاتر از ۳۵ درصد،

موتور برق به دلیل «حفظ نقدینگی در زمان حال»، اولویت اول خانوار قرار می‌گیرد؛ اما در نرخ‌های تنزیل پایین (زیر ۲۵ درصد)، سیستم خورشیدی به دلیل حذف هزینه‌های جاری، با اختلاف معناداری اقتصادی‌ترین گزینه بلندمدت خواهد بود.

ب) حساسیت نسبت به عمر باتری و ریسک عملیاتی

با توجه به ابهامات مربوط به تأثیر دمای محیط و تعداد سیکل‌ها بر عمر باتری، تحلیل حساسیت بر بازه تعویض باتری انجام شد. اگر عمر باتری از ۴ سال (فرض پایه) به ۲ سال کاهش یابد (شرایط بدبینانه عملیاتی)، هزینه TCO سیستم‌های UPS و فتوولتائیک به ترتیب حدود ۱۵ درصد و ۱۲ درصد افزایش می‌یابد. با این حال، حتی در این شرایط نیز در سناریوی کم‌مصرف (C)، سیستم UPS همچنان برتری خود را نسبت به موتور برق حفظ می‌کند؛ چرا که هزینه عملیاتی موتور برق (سوخت و سرویس) در بارهای کوچک، بسیار بالاتر از هزینه استهلاک باتری در سیستم‌های ساکت و بدون آلایندگی است.

ج) حساسیت نسبت به قیمت سوخت و تعرفه‌های برق (IBT)

در اقتصاد ایران، قیمت سوخت و تعرفه برق همواره پتانسیل جهش‌های ناگهانی ناشی از اصلاح یارانه‌ها را دارند. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که سیستم فتوولتائیک کمترین حساسیت را نسبت به «تورم انرژی» دارد. در صورت آزادسازی قیمت بنزین (رسیدن به قیمت فوب خلیج فارس)، هزینه عملیاتی موتور برق در سناریوی A می‌تواند تا ۳ برابر افزایش یابد که در این صورت، دوره بازگشت سرمایه سیستم خورشیدی به کمتر از ۳ سال کاهش یافته و موتور برق حتی با نرخ تنزیل ۴۰ درصد نیز توجیه اقتصادی خود را به طور کامل از دست می‌دهد.

۴-نتیجه‌گیری

در این مطالعه، یک تحلیل جامع، دقیق و کاربردی برای انتخاب اقتصادی‌ترین گزینه‌های تأمین توان پشتیبان در مصارف خانگی ایران صورت گرفت و سه راهکار اصلی شامل موتور برق، سامانه UPS و پنل خورشیدی به طور تطبیقی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. روش تحقیق بر پایه ارزیابی هزینه کل مالکیت (TCO)، محاسبه ارزش فعلی خالص (NPV) و سنجش اثرگذاری عوامل مؤثر نظیر تورم و نرخ تنزیل بر متغیرهای اقتصادی استوار بوده است. همچنین تحلیل انتشار آلاینده‌های کربنی (CO_2) نیز مدنظر قرار گرفته است. در نخستین مرحله، با بهره‌گیری از معیارهای فنی و مقرون‌به‌صرفه بودن، ابعاد و ظرفیت بهینه هر یک از اجزای اصلی شامل پنل خورشیدی، باتری‌ها، UPS و موتور برق برای سه سناریوی مختلف مصرف خانگی تعیین شد. سپس، در مرحله بعد، تمامی اجزای هزینه‌ای هر یک از سناریوها شامل هزینه‌های اولیه خرید و نصب، هزینه‌های جاری شامل تعمیرات، نگهداری، تعویض قطعات، تأمین سوخت یا برق و دیگر مخارج، به طور نظام‌مند مورد محاسبه قرار گرفتند. برای سامانه خورشیدی همچنین درآمد حاصل از فروش یا صرفه‌جویی در مصرف برق ناشی از تولید انرژی تجدیدپذیر نیز محاسبه و لحاظ شد. همچنین به دلیل ضروری بودن در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی برای انتخاب پایدار، میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای هر سیستم در سناریوهای مختلف محاسبه شده است.

کلیه هزینه‌ها و درآمدهای آتی هر سیستم، با در نظر گرفتن نرخ‌های تورم و تنزیل رایج، به ارزش فعلی تبدیل گردید تا در نهایت مقایسه هزینه کل مالکیت (TCO) و میزان اقتصادی بودن هر گزینه در افق بلندمدت فراهم گردد. این سازوکار ارزیابی دقیق، امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و شناخت عمیق‌تر مزایا و محدودیت‌های راهکارهای متفاوت تأمین برق اضطراری را برای شرایط مصرفی متنوع شهری فراهم می‌آورد. از سوی دیگر، با لحاظ پیامدهای زیست‌محیطی، این تحلیل به نهادهای مدیریت شهری کمک می‌کند تا هزینه‌های پنهان اجتماعی ناشی از هر راهکار را در نظر بگیرند. نتایج به‌دست آمده از تحلیل انجام‌شده برای سه رویکرد تأمین برق پشتیبان در سطوح مختلف مصرف خانگی (و شهری) را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ✓ در سناریوی پرمصرف (A)، تصمیم‌گیری مالی خانوار به سمت موتور برق هدایت می‌شود؛ زیرا به‌دلیل سرمایه‌گذاری اولیه کمتر، در مجموع از منظر هزینه کل مالکیت (TCO) مقرون‌به‌صرفه‌تر است و گزینه اول محسوب می‌شود .اما این انتخاب، هزینه‌ی پنهان سنگینی از منظر محیط زیست شهری به جامعه تحمیل می‌کند .در مقابل، سیستم خورشیدی قرار می‌گیرد که اگرچه سرمایه اولیه بالاتری دارد، اما به‌ویژه برای پروژه‌های با دیدگاه بلندمدت و امکان تأمین مالی مناسب، به‌دلیل حذف

کامل آلایندگی (هوا و صدا) و عدم وابستگی به سوخت‌های فسیلی، انتخابی مطلوب برای مدیریت پایدار شهری است.در سطوح مصرف متوسط (B) و کم (C)، سیستم UPS کمترین هزینه کل مالکیت را داشته و پایداری مناسبی در افق پانزده‌ساله فراهم می‌کند؛ هرچند سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر از موتور برق است، اما با توجه به هزینه‌های کمتر در دوره بهره‌برداری، اقتصادی‌ترین گزینه در این سناریوهاست.

- ✓ نرخ تورم و نرخ تنزیل تأثیر معناداری بر تحلیل اقتصادی دارند، به‌طوری که با افزایش نرخ تنزیل، هزینه کل مالکیت همه گزینه‌ها کاهش یافته و پروژه‌هایی با هزینه سرمایه‌ای کمتر و هزینه عملیاتی بیشتر مقرون‌به‌صرفه‌تر به نظر می‌رسند. به همین دلیل، اگر نگرش سرمایه‌گذاری کوتاه‌مدت باشد یا نرخ بازده بالایی مورد انتظار باشد، اولویت به سمت موتور برق خواهد بود. ولی با کاهش نرخ تنزیل یا افق بلندمدت، ارزش صرفه‌جویی‌های سیستم‌های خورشیدی بیشتر می‌شود.
- ✓ نتایج همچنین نشان می‌دهد که اختلاف هزینه کل مالکیت بین سناریوهای مصرف متوسط و کم نسبتاً اندک است، اما در سناریوی پرمصرف این اختلاف چشمگیر است. بنابراین، با صرف هزینه‌ای نسبتاً محدود، می‌توان خدمات زیرساختی گسترده‌تری برای رفاه خانوار با انتخاب سناریوی مصرف برق متوسط، تأمین کرد. انتخاب سناریوی متوسط با سیستم خورشیدی ضمن تأمین برق در زمان خاموشی، موجب کاهش بار شبکه، پایداری انرژی و سازگاری بیشتر با محیط زیست خواهد شد.

محدودیت‌های اصلی و مسیر آینده

برخی پارامترهای کلان اقتصادی مانند تغییرات شدید نرخ ارز، نامشخص بودن سیاست‌های یارانه‌ای و نبود برنامه بلندمدت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌تواند بر دقت پیش‌بینی‌ها و ارزش‌گذاری اقتصادی گزینه‌های مختلف تأثیرگذار باشد. در نهایت باید اذعان نمود که قیمت خرید و هزینه‌ی خدمات نصب سیستم‌های خورشیدی و UPS، متأثر از نوسانات بازار و سیاست‌های دولتی بوده و امکان تغییرات قابل توجه در آینده دارد. این عوامل نه‌تنها بر دقت مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های اقتصادی اثرگذارند، بلکه می‌توانند موجب بازنگری در اولویت‌بندی‌ها و تصمیم‌گیری‌های آینده شوند. افزون بر این، قیمت خرید تجهیزات و هزینه خدمات نصب و راه‌اندازی سامانه‌های خورشیدی و UPS، با توجه به وابستگی مستقیم به شرایط بازار و سیاست‌های حمایتی دولت، مستعد تغییرات محسوس و غیرقابل پیش‌بینی هستند. بنابراین، نتایج ارائه شده در این پژوهش تا حد زیادی وابسته به فرض ثبات نسبی پارامترهای مذکور بوده و توصیه می‌شود مطالعات آتی با لحاظ رویکرد سناریومحور و تحلیل حساسیت نسبت به این متغیرهای کلان، اعتبار و کاربردپذیری دستاوردها را به صورت جامع‌تر بررسی کنند.

۵-فهرست علائم

علائم انگلیسی

$C_{Capital}$	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، میلیون تومان
$C_{Maintenance}$	هزینه نگهداری، میلیون تومان
$C_{Operation}$	هزینه‌های عملیاتی، میلیون تومان
$C_{Replacement}$	هزینه‌های جایگزینی، میلیون تومان
d	نرخ تنزیل، درصد
DoD	عمق دشارژ باتری، درصد
E_{gen}	انرژی الکتریکی تولید شده توسط ژنراتور، kWh
E_{in}	انرژی الکتریکی دریافتی از شبکه، kWh
E_{daily}	انرژی مورد نیاز روزانه، Wh
E_{tot}	انرژی کل انرژی مورد نیاز، Wh
EF	ضریب انتشار (Emission Factor)، kg/kWh

f	ضریب همزمانی
Gen	ظرفیت نامی موتوربرق، kVA
LF	ضریب بار (Load Factor)
N	طول عمر پروژه، سال
NPV	ارزش فعلی خالص، میلیون تومان
P	توان اکتیو مصرفی، W
PF	ضریب توان
PR	راندمان عملکردی سیستم
PSH	ساعات خورشیدی بیشینه
Q	ظرفیت باتری، Ah
R	درآمد سالانه، میلیون تومان
SF	ضریب طراحی
$Safety$	ضریب اطمینان
T_{backup}	زمان پشتیبانی، ساعت
TCO	هزینه کل مالکیت، میلیون تومان
UPS	ظرفیت یوپی‌اس، VA
V	ولتاژ نامی، V

علائم یونانی

η	راندمان

زیرنویس

gen	موتور برق
$grid$	شبکه برق
i	دستگاه مصرفی
$load$	بار مصرفی
PV	فتوولتائیک (خورشیدی)
t	سال / زمان
tot	کل

۶-مراجع

1. Zamanipour, B., et al., *Electricity supply and demand dynamics in Iran considering climate change-induced stresses.* Energy, 2023. **263**: p. 126118. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126118
2. Shokri, U., *IRAN'S ENERGY CRISIS: IMPACTS AND CHALLENGES FOR NATIONAL SECURITY*. JOURNAL FOR IRANIAN STUDIES, 2024. **9**(21): p. 21.
3. Jafari, A., et al., *A fair electricity market strategy for energy management and reliability enhancement of islanded multi-microgrids.* Applied Energy, 2020. **270**: p. 115170. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115170
4. Saifoddin, A.A. and K.S. Vedadi, *The 2030 EU Energy Strategy and Iran's Energy Demand Security*. 2019.

5. Nafisi, A., et al., *Economic and emission analysis of running emergency generators in the presence of demand response programs.* Energy, 2022. **255**: p. 124529. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124529.

۶. مسعود میرزرگر، "طراحی و ساخت UPS شامل:اینورتر kW۲، شارژر W۱۱۰ و سوئیچ استاتیک،" ایران، مراکز جهاد دانشگاهی، اسفند ۱۳۷۹. [Online]. Available: https://sid.ir/paper/789768/fa

7. Østergaard, P.A., et al., *Renewable energy for sustainable development.* Renewable energy, 2022. **199**: p. 1145-1152. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.023.

8. Bakhshi-Jafarabadi, R. and A. Keramatpour. *Economic assessment of residential hybrid photovoltaic-battery energy storage system in Iran*. in *2022 9th Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG)*. 2022. IEEE. https://doi.org/10.1109/ICREDG55160.2022.9830501

9. Zakeri, B., et al., *Policy options for enhancing economic profitability of residential solar photovoltaic with battery energy storage.* Applied Energy, 2021. **290**: p. 116697 https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116697.

۱۰.صادقی، بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم ترکیبی فوتوولتاییک خورشیدی/زباله سوز/سیکل رانکین نیروگاهی برای تولید الکتریسیته در کرمان. فصلنامه علمی مدیریت محیط زیست شهری، ۲۰۲۳. ۱(۱): 68-57 .p.

۱۱.اکبری، تأثیر قانون هدفمندسازی یارانه‌ها بر مصرف انرژی خانوار (مطالعه موردی: شهر اصفهان). پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۲۰۱۴. ۳(۱۱): 66-29 .p.

۱۲.عادلی، م.، س. فر، و قزلباش، ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد). سیاست گذاری اقتصادی، ۲۰۱۴. ۶(۱۱): 147-123 .p.

۱۳.یوسفی، قدوسی‌نژاد و نوراللهی، بررسی اثر روش‌های تعرفه‌بندی ثابت و پلکانی برق بر توجیه‌پذیری اقتصادی سیستم‌های برق خورشیدی خانگی. مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، ۲۰۱۸. ۴۸(۲): 950-943 .p.

۱۴.اسمعیل، ا. و ق.ز.ا.ب. مهدی، ارزیابی اقتصادی برق خورشیدی (فتوولتائیک) بر اساس فضای موجود در ساختمان در اقلیم های مختلف آب و هوایی ایران. ۲۰۲۲.

۱۵.بانشی، مدل‌سازی دینامیک سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و ارزیابی فنی-اقتصادی آن‌ها تحت سناریوهای مختلف در بخش خانگی چند شهر بزرگ ایران. مهندسی و مدیریت انرژی، ۲۰۲۳. ۱۱(۱): 75-62 .p.

16. Mehrpooya, M., M. Mohammadi, and E. Ahmadi, *Techno-economic-environmental study of hybrid power supply system: A case study in Iran.* Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2018. **25**: p. 1-10. https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.11.002

17. Abnavi, M.D., et al., *Techno-economic feasibility analysis of stand-alone hybrid wind/photovoltaic/diesel/battery system for the electrification of remote rural areas: Case study Persian Gulf Coast-Iran.* Environmental Progress & Sustainable Energy, 2019. **38**(5): p. 13172 https://doi.org/10.1002/ep.13172.

18. Ghasemi, A., et al., *Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic–diesel–battery systems for rural electrification in eastern part of Iran—A step toward sustainable rural development.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **28**: p. 456-462 https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.026.

۱۹.شهرکی شهدآبادی، رضا و خلیفه قادری، حامد و کیانی، سعید،۱۴۰۴، تحلیل فنی-اقتصادی و زیست محیطی سیستم خورشیدی-باتری به عنوان راهکاری پایدار جهت تأمین برق اضطراری تجهیزات صنعتی،دومین کنفرانس بین المللی برق، مکانیک، فناوری اطلاعات و کامپیوتر در علوم مهندسی،https://civilica.com/doc/2319813

20. Jahed, A., A. Abbaspour, and A. Ahmadi, *Techno-economic analysis of off-grid hybrid wind-photovoltaic-battery power system by analyzing different batteries for the industrial plant in Shiraz Industrial Town, Iran.* Science Progress, 2024. **107**(3): p. 00368504241265003 https://doi.org/10.1177/00368504241265003

21. Zhang, W., et al., *Discrete optimization algorithm for optimal design of a solar/wind/battery hybrid energy conversion scheme.* International Journal of Low-Carbon Technologies, 2021. **16**(2): p. 326-340. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa063

۲۲.اسد، ب. و فتاحی، اولویت‌بندی انرژی‌های نو بر اساس جنبه های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. فصلنامه مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست، ۲۰۲۴. ۲(۳): 42-28 .p.

23. R. A. Messenger, Photovoltaic systems engineering. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.

۲۴.خبرگزاری ایسنا. (۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۴). *ترویج کولرگازی؛ چالش‌هایی که نمی‌بینیم!* . تاریخ دسترسی: ۲۹ آبان ۱۴۰۴. آنلاین:[https://www.isna.ir/news/1404022317027/ ترویج-کولرگازی-چالش-هایی-که-نمی-بینیم]

۲۵.م. ح. جهانگیر، ا. توپشکن، و ا. کارگرزاده، "یارانه منصفانه سیستم فوتوولتاییک و باتری خانگی متصل به شبکه برق سراسری با توجه به پیک بار شبکه شهری " . *اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری*، جلد ۳، شماره ۱، صص. ۱–۱۵، ۱۴۰۱.

۷- فهرست مراجع وب‌سایت‌ها و کاتالوگ‌های آنلاین

۱) آریا نوین پارسه. (بی‌تا). قیمت تجهیزات. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۱۰ مهر ۱۴۰۴]. www.aryanovinparse.ir

۲) ماهر انرژی. (بی‌تا). قیمت تجهیزات. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۱۲ مهر ۱۴۰۴]. www.maher.ir

۳) مانا سازان. (بی‌تا). قیمت تجهیزات. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۱۴ مهر ۱۴۰۴]. www.manasazan.ir

۴) کیان باتری. (بی‌تا). قیمت تجهیزات. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۱۶ مهر ۱۴۰۴]. www.kianbattery.com

۵) گرین پاور. (بی‌تا). قیمت موتوربرق. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۱ مهر ۱۴۰۴]. www.greenpower.com

۶) فروشگاه لونچین. (بی‌تا). قیمت موتوربرق. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۳ مهر ۱۴۰۴]. www.loncin.shop

۷) آبیاران. (بی‌تا). قیمت موتوربرق. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۵ مهر ۱۴۰۴]. www.abyaran.com

۸) موتور برق شاپ. (بی‌تا). قیمت موتوربرق. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۷ مهر ۱۴۰۴]. www.motorbargh.shop

۹) رابین ماشین. (بی‌تا). قیمت موتوربرق. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۹ مهر ۱۴۰۴]. www.robinmashin.com

۱۰) فامکو. (بی‌تا). قیمت موتوربرق. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۱۸ مهر ۱۴۰۴]. www.famcocorp.com

۱۱) کیچک شاپ. (بی‌تا). قیمت موتوربرق. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۲۰ مهر ۱۴۰۴]. www.kichakshop.com

۱۲) بهراد. (بی‌تا). نرم افزار انتخاب UPS. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۲۲ مهر ۱۴۰۴]. www.behrad.co

۱۳) هووانیا. (بی‌تا). قیمت UPS. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۲۴ مهر ۱۴۰۴]. www.hovania.com

۱۴) فالنیک. (بی‌تا). قیمت UPS. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۲۶ مهر ۱۴۰۴]. www.falnic.com

۱۵) آرتا الکتریک. (بی‌تا). قیمت UPS. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۲۸ مهر ۱۴۰۴]. www.artaelectric.ir

۱۶) سیماران چند. (بی‌تا). قیمت UPS. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۲۹ مهر ۱۴۰۴]. www.simaranchand.com

۱۷)نووانیا. (بی‌تا). قیمت UPS. آنلاین. [تاریخ دسترسی: ۳۰ مهر ۱۴۰۴]. www.novania.ir