

Doi: 10.71666/jipet.2025.998456

Research Article

Optimal Operation of Electric Vehicle Charging Station Based on 100% Renewable Energy for Supplying Cryptocurrency Mining Farm and Critical Loads in Off-Grid and Grid-Tied States

Reza Hemmati, Associate Professor

Department of Electrical Engineering- Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran
r.hemmati@kut.ac.ir

Abstract

This research proposes a novel method for utilizing renewable energies in electric vehicle charging stations. In the proposed method, the required energy for charging the electric vehicles, the needed energy for supplying the cryptocurrency mining farm as well as the energy for supplying the critical loads of the upstream grid are afforded by 100% renewable resources, and the electric vehicle parking station (i.e., charging station) receives no energy from the utility grid. In this model, the uncertainty of renewable energies and the mismatch between generation and demand are resolved by optimal charging-discharging of electric vehicles. While the utility grid is available, the electric vehicles are fully charged, the cryptocurrency mining farm continues operation at full capacity, and excess renewable energy is sent to the upstream grid to supply the critical loads. The critical loads are supplied from two directions of the grid and parking station. During an outage or blackout of the utility grid, the critical loads are fully supplied by an electric vehicle parking station. In this situation, the cryptocurrency miners are modeled as a responsive load. In the off-grid operation, the proposed planning manages the energy of cryptocurrency miners as well as the charging-discharging pattern of electric vehicles for reaching two objectives of fully charging all the electric vehicles and fully supplying the critical loads. If there is any surplus of energy, it is used to run the cryptocurrency miners. In the proposed model, since no energy is received from the utility grid, the issues related to cryptocurrency mining are inconsequential. The objective function of the proposed method is to minimize the number of discharge cycles on electric vehicles to avoid battery degradation. The problem is formulated as mixed integer linear programming and solved by GAMS software. The wind and solar energy uncertainty are incorporated in the model and an optimal charging-discharging pattern is designed for electric vehicles to confirm feasible operation under all energy variations.

Keywords: critical loads of grid, cryptocurrency mining, electric vehicle, electric vehicle charging station, renewable energies

Received: 28 March 2023

Revised: 29 April 2023

Accepted: 2 June 2023

Corresponding Author: Dr. Reza Hemmati

Citation: R. Hemmati, "Optimal operation of electric vehicle charging station based on 100% renewable energy for supplying cryptocurrency mining farm and critical loads in off-grid and grid-tied states", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 16, no. 61, pp. 177-195, March 2025 (in Persian).

برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه شارژ خودرو الکتریکی مبتنی بر ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر جهت تغذیه مزرعه استخراج ارز دیجیتال و بارهای حساس شبکه در حالت‌های متصل و جدا از شبکه

رضا همتی، دانشیار

گروه مهندسی برق- دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
r.hemmati@kut.ac.ir

چکیده: این تحقیق یک مدل پیشنهادی برای بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در پارکینگ خودروهای الکتریکی ارائه می‌دهد. در مدل پیشنهادی، تامین انرژی شارژ خودروها، تامین انرژی مزرعه استخراج رمزارز و همچنین تغذیه بارهای حساس شبکه بالادست به صورت ۱۰۰ درصد توسط انرژی‌های بادی و خورشیدی انجام می‌شود و هیچگونه انرژی از شبکه برق دریافت نمی‌شود. به جای استفاده از یک باتری ذخیره ساز انرژی برای کنترل تغییرات و حتی صفر شدن انرژی باد و خورشید، این فرآیند توسط شارژ و دشارژ بهینه خودروهای موجود در پارکینگ انجام می‌شود. در حالتی که شبکه وصل باشد، خودروها به صورت کامل شارژ می‌شوند، مزرع رمزارز با تمام توان به کار خود ادامه می‌دهد و مازاد توان ایستگاه نیز برای تغذیه بارهای حساس ارسال می‌گردد. در این حالت، بارهای بحرانی شبکه از دو سمت شبکه و پارکینگ تامین می‌شوند. در هنگام قطعی شبکه سراسری، بارهای بحرانی شبکه به صورت کامل توسط پارکینگ خودروهای الکتریکی تامین می‌شوند. در این حالت، دستگاه‌های استخراج رمزارز یا ماینرها به عنوان یک بار پاسخگو مدل می‌شوند و برنامه از طریق تغییر انرژی ماینرها و تغییر الگوی شارژ-دشارژ خودروها می‌تواند تمام خودروها را شارژ کامل نماید، بارهای بحرانی شبکه را بطور کامل تغذیه کند و تا حد ممکن هم به استخراج رمزارز ادامه دهد. با توجه به عدم دریافت انرژی از شبکه، مشکلات مربوط به استخراج رمزارز از طریق انرژی شبکه سراسری مطرح نیست. تابع هدف مدل پیشنهادی مینیمم نمودن تعداد دشارژ باتری خودروها است تا طول عمر باتریها تا حد ممکن کاهش نیابد. در این مقاله از برنامه‌ریزی خطی ترکیبی عدد صحیح استفاده و مسئله با نرم‌افزار گمز حل شده است. نامعینی انرژی‌های بادی و خورشیدی در مسئله لحاظ شده و یک برنامه‌ریزی بهینه برای شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی تعریف می‌گردد که بتواند در برابر تمام تغییرات توان انرژی‌های تجدیدپذیر پاسخگوی سیستم باشد.

کلمات کلیدی: استخراج رمزارز، انرژی تجدیدپذیر، ایستگاه شارژ خودرو الکتریکی، بارهای بحرانی شبکه، خودرو الکتریکی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱/۸

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۲/۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۳/۱۲

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر رضا همتی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: کرمانشاه- بلوار اما خمینی (ره)- دانشگاه صنعتی کرمانشاه- گروه مهندسی برق.

۱- مقدمه

طی دهه اخیر با توسعه و رشد صنعت خودروهای الکتریکی از یک طرف و محدودیت‌های انرژی‌های فسیلی از طرف دیگر، حرکت به سمت ساخت و استفاده از خودروهای الکتریکی شدت گرفته است. خودروهای با سوخت فسیلی با مشکلاتی مانند محدودیت منابع سوختی و آلودگی محیط زیست مواجه هستند و همین محدودیت‌ها بر حرکت سریع‌تر به سمت خودروهای الکتریکی اثر گذاشته است. توسعه خودروهای الکتریکی و رشد بار الکتریکی ناشی از این خودروها بر روی تحقیقات این حوزه اثر گذاشته و تحقیقات را به سمت مباحثی مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای شارژ خودروهای الکتریکی و جابایی بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی سوق داده است [۱]. خودروهای الکتریکی بر روی تجهیزات شبکه برق نیز تاثیر زیادی می‌گذارند و تحقیقاتی در این زمینه نیز صورت پذیرفته است [۲]. این خودروها بر ساختار شبکه‌های الکتریکی تحت بازار برق نیز اثر گذاشته و بر روی رفتار شرکت‌کنندگان در بازار تاثیر مستقیمی دارند [۳]. در زمینه ساخت و طراحی خودروهای الکتریکی، معمولاً محدودیت‌های مربوط به زمان و توان شارژ و ظرفیت باتری مرکز توجه تحقیقات بوده است. طراحی انواع شارژهای پرتوان برای این خودروها بر محدودیت زمانی شارژ فائق آمده است. امروزه شارژهای رایج در سه سطح یک، دو و سه وجود دارند. شارژهای سطح یک از ولتاژ AC تکفاز خانگی (۲۳۰ یا ۱۲۰ ولت) استفاده می‌کنند و مدت زمان شارژ خودرو با این تجهیزات حدود ۳ الی ۸ ساعت است. سطح توان این شارژرها معمولاً کمتر از ۷ کیلووات است. شارژهای سطح دو از ولتاژ AC سه فاز خانگی (۳۸۰ یا ۲۴۰ ولت) استفاده می‌کنند که توان حدود ۴۰ کیلووات و زمان شارژ حدود ۲۰ دقیقه الی ۲ ساعت را به دست می‌دهند. شارژهای سطح سه از ولتاژ DC حدود ۳۰۰ الی ۵۰۰ ولت استفاده می‌کنند و با تزریق توان حدود ۵۰ تا ۱۲۰ کیلووات می‌توانند خودرو را در مدت زمانی بین ۱۰ الی ۳۰ دقیقه شارژ نمایند [۴]. در خودروهای برقی نسل اول، ظرفیت باتری خودرو حدود ۲۰ کیلووات ساعت بود که با این انرژی خودرو تقریباً ۱۶۰ کیلومتر حرکت می‌کرد. خودروهای نسل جدید ظرفیت‌های حدود ۵۰ تا ۸۰ کیلووات ساعت دارند و می‌توانند با هر بار شارژ بالغ بر ۴۵۰ کیلومتر حرکت نمایند. امروزه خودروهای هیبریدی نیز به بازار ارائه شده‌اند که از ترکیب موتور بنزینی و باتری استفاده می‌کنند و دارای ظرفیت باتری حدود ۵ کیلووات ساعت هستند که حدود ۴۰ کیلومتر خودرو را به حرکت درمی‌آورد.

یکی دیگر از مسائلی که به شدت مورد نیاز خودروهای الکتریکی است، طراحی و راه اندازی ایستگاه‌های شارژ هم در سطح خانگی و هم در سطح شهری است. ایستگاه‌های شارژ خانگی معمولاً دارای توان و ظرفیت محدود هستند و مسائلی همچون جابایی بهینه برای آنها مطرح نمی‌شود. اما استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع تولید پراکنده در کنار این ایستگاه‌های شارژ خانگی رایج است. این ایستگاه‌ها می‌توانند هم انرژی از شبکه برق خانگی دریافت کنند و هم به شبکه برق خانگی انرژی تزریق نمایند. لذا می‌توانند به عنوان یک تجهیز کمکی در مبحث مدیریت انرژی خانگی مطرح شده و تاثیر گذار باشند [۵]. همچنین استفاده از آنها برای مواجهه با قطعی شبکه برق سراسری مورد بررسی قرار گرفته است. در این مدل، تامین بارهای ضروری خانه در هنگام در دسترس نبودن برق شهری می‌تواند توسط خودروهای الکتریکی پارک شده در ایستگاه شارژ صورت پذیرد [۶]. ایستگاه‌های شارژ شهری معمولاً دارای سطح توان و انرژی بیشتری نسبت به ایستگاه‌های شارژ خانگی هستند. این ایستگاه‌ها با استفاده از شارژهای پرقدرت نوع سوم می‌توانند خودروهای الکتریکی را در مدت زمان بسیار کوتاهی شارژ نمایند. ایستگاه‌های شارژ شهری هم می‌توانند به صورت جدا از شبکه طراحی شوند و هم به صورت متصل به شبکه که معمولاً اتصال به شبکه توزیع اولیه (سطح ۲۰ کیلو ولت) صورت می‌پذیرد. ایستگاه‌های شارژ جدا از شبکه برای محل‌های دورافتاده و کنار جاده که دسترسی به شبکه برق سراسری وجود ندارد مناسب هستند [۷]. انرژی این ایستگاه‌ها توسط ترکیب منابع انرژی تجدیدپذیر و ذخیره-سازهای انرژی تامین می‌شود. ایستگاه‌های شارژ متصل به شبکه معمولاً تاثیر زیادی بر روی سطح ولتاژ شبکه توزیع انرژی الکتریکی می‌گذارند و باید اثرات آنها بر روی شبکه مطالعه گردد. این اثرات می‌توانند تغییرات پروفیل ولتاژ، کیفیت توان و تلفات انرژی باشد [۸]. این ایستگاه‌ها می‌توانند به منابع تولید پراکنده مانند دیزل ژنراتور، سلولهای خورشیدی و باتری‌های ذخیره‌ساز انرژی متصل گردند. امکان استفاده از این ایستگاه‌های شارژ برای مدیریت انرژی شبکه توزیع و تامین بارهای سمت شبکه نیز وجود دارد. در تمام ایستگاه‌های شارژ خانگی و شهری، برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی یکی از مسائل و چالش‌های مهم است و عدم برنامه‌ریزی بهینه در این زمینه ممکن است باعث کاهش عمر باتری خودرو و یا تاثیرات منفی

ایستگاه شارژ بر روی شبکه بالادست گردد. معمولاً با یک برنامه‌ریزی بهینه برای شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی می‌توان هم انرژی مورد نیاز خودروها را تامین نمود و هم از اثرات مثبت ایستگاه شارژ بر روی شبکه توزیع بالادست مانند تامین بارهای حیاتی در هنگام قطع برق شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات بهره‌برداری نمود [۹]. طراحی سیستم‌های شارژ بزرگ برای خودروهای الکتریکی با مشکلاتی نیز روبرو بوده است. از جمله این مشکلات می‌توان به مواردی مانند توسعه نیافتگی تجهیزات خودروهای الکتریکی، پیدا نمودن محل مناسب ایستگاه‌های شارژ، برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ خودروها، هزینه بالای خرید خودرو، برد حرکتی محدود، طول عمر باتری، زمان شارژ بیشتر نسبت به خودروهای فسیلی، نامعینی‌های رفتاری خودروها مانند زمان ورود خودرو به ایستگاه شارژ، نامعینی در انرژی موجود در باتری خودرو هنگام مراجعه برای شارژ و نامعینی انرژی‌های تجدیدپذیر نصب شده در ایستگاه‌های شارژ اشاره نمود. با توجه به موارد فوق و وجود مشکلات بسیار در راه توسعه این تجهیزات، تحقیقات بر روی خودروهای الکتریکی و ایستگاه‌های شارژ همچنان وجود دارد [۱۰]. امروزه در اکثر مجتمع‌های مسکونی و ادارات پارکینگ‌های مسقفی وجود دارد که خودروهای مختلف الکتریکی و غیر الکتریکی آنجا پارک می‌گردند. معمولاً در پارکینگ‌های اداری ساعات پارک خودرو در طول روز از ساعت‌های ۷ الی ۸ صبح تا ساعت‌های ۱۵ الی ۱۶ هستند. از طرف دیگر در پارکینگ‌های مسکونی و عمومی، ساعات‌های پارک خودرو از عصرها تا صبح روز بعد است. بنابراین الگوی رفتاری حضور خودروها در این دو نوع پارکینگ مکمل یکدیگر هستند. با توسعه خودروهای الکتریکی، مطالعات بر روی این پارکینگ‌ها به عنوان محل شارژ خودروهای الکتریکی در آینده می‌تواند مفید و کاربردی باشد. سقف این پارکینگ‌ها یک فضا با مساحت مناسب و معمولاً بلا استفاده است. از طرفی، یکی از مشکلات استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بخصوص انرژی خورشیدی، پیدا نمودن محل نصب مناسب و زمین با مساحت کافی است. لذا نصب سلول‌های خورشیدی بر روی سقف پارکینگ‌ها یک ایده مناسب و مفید است. بر این اساس، می‌توان پارکینگ خودروهای الکتریکی با پنل خورشیدی بر روی سقف را به عنوان یک مدل کارا مطالعه نمود [۱۱]. امروزه سعی بر این است که خودروهای الکتریکی و ایستگاه‌های شارژ توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تامین انرژی گردند. به علت تغییرات شدید انرژی تولیدی منابع انرژی تجدیدپذیر در طول شبانه روز، ممکن است در بعضی ساعات کاهش و در بعضی ساعت‌ها مازاد انرژی وجود داشته باشد. در صورتی‌که انرژی تجدیدپذیر نصب شده مازاد باشد، می‌توان از آن برای تولید رمزارزها نیز استفاده نمود [۱۲]. تولید رمزارز طی سال‌های اخیر به شدت در تمام جهان توسعه پیدا نموده و به علت افزایش شدید قیمت آن، توجهات بسیاری را به خود جلب نموده است. به عنوان مثال، قیمت ارز دیجیتال بیت‌کوین^۱ طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ حدود ۵۴۰ درصد رشد داشته است. همچنین پیش‌بینی‌ها از رشد ۵۶ درصدی این بازار تا سال ۲۰۲۵ خبر می‌دهند. در بعضی کشورها مانند اکراین، ونزوئلا و آمریکا، حدود ۱۰ درصد مردم صاحب ماینرهای استخراج ارز دیجیتال هستند. اساسی‌ترین مشکل در این زمینه مربوط به انرژی الکتریکی مصرفی توسط مزارع استخراج رمزارز است. استخراج ارز دیجیتال^۲ امروزه حدود ۱/۵ درصد برق جهان را به خود اختصاص داده و با توجه به این‌که اکثر برق تولیدی در دنیا از منابع سوخت فسیلی و نیروگاه‌های حرارتی و گازی است، این امر تأثیرات منفی بر روی محیط زیست و آلودگی هوا خواهد داشت. استخراج بیت‌کوین در جهان حدود ۲۰۴ تراوات ساعت^۳ انرژی مصرف می‌نماید که تقریباً برابر انرژی مصرفی کشور تایلند است. تولید این انرژی حدود ۱۱۴ مگاتن دی اکسید کربن وارد هوا می‌نماید. با توجه به مشکلات فوق در تولید رمزارزها، حرکت به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید رمزارزها است [۱۳].

۱-۱- نوآوری‌ها و نکات برجسته مدل پیشنهادی

این مقاله یک مدل پیشنهادی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ترکیبی بادی-خورشیدی جهت شارژ خودروهای الکتریکی و استخراج رمزارز ارائه می‌دهد. یک پارکینگ خودروهای الکتریکی طراحی شده که با انرژی‌های بادی و خورشیدی تعبیه شده است و تمام انرژی الکتریکی مورد نیاز خودروهای الکتریکی از این منابع انرژی تجدیدپذیر تامین می‌گردد و هیچ‌گونه انرژی الکتریکی از شبکه برق شهری دریافت نمی‌گردد. انرژی مورد نیاز مزرعه استخراج رمزارز نیز از همین منابع بادی و خورشیدی تامین می‌گردد. دستگاه‌های استخراج رمزارز به عنوان بار پاسخگو مدل شده‌اند تا در مواقع حساس بتوان انرژی مصرفی آنها را

کاهش داد. انرژی مازاد ایستگاه خودروهای الکتریکی برای تامین بارهای بحرانی و حساس شبکه توزیع بالادست استفاده می‌گردد. کلیات سیستم پیشنهادی را می‌توان به صورت زیر مختصراً بیان نمود:

- در ساختار پیشنهادی یک سیستم مبتنی بر پارکینگ خودروهای الکتریکی مد نظر قرار دارد که از سقف پارکینگ به عنوان محل نصب پنل‌های خورشیدی استفاده شده است. لذا اولین نکته عملی این تحقیق، عدم استفاده از فضاهای مفید موجود در سایت مورد نظر است و یک فضای بلا استفاده مورد بهره‌برداری مفید قرار گرفته است.

- در کنار پارکینگ، توربین‌های بادی نیز نصب شده‌اند و عملکرد ترکیبی انرژی‌های بادی و خورشیدی در تحقیق لحاظ شده است که پیچیدگی بیشتری دارد.

- انرژی‌های تجدیدپذیر جهت تغذیه و شارژ تمام خودروهای الکتریکی داخل پارکینگ مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و هیچ‌گونه انرژی از شبکه سراسری دریافت نمی‌شود. از طرفی چون توان تولیدی منابع بادی و خورشیدی متغیر است و در ساعت‌هایی ممکن است صفر نیز گردد، این نامعینی در تولید با بهینه‌سازی الگوی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی جبران می‌گردد. در مدل پیشنهادی هیچ‌گونه سیستم ذخیره‌ساز انرژی جهت مرتفع نمودن تغییرات انرژی تولیدی بادی و خورشیدی وجود ندارد. لذا مشکلات طول عمر باتری و تعویض آن وجود ندارد.

- مالک این پارکینگ یک مزرعه رمزارز هم در کنار پارکینگ ایجاد نموده است. چون ساختار پیشنهادی هیچ‌گونه توانی از شبکه سراسری دریافت نمی‌کند و تمام انرژی مورد نیاز از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تامین می‌شود، لذا مشکلات مربوط به استخراج رمزارز از طریق انرژی شبکه سراسری مانند غیر مجاز بودن یا آلودگی هوا بخاطر استخراج رمز وجود ندارد.

- مالک این پارکینگ در کنار سود ناشی از استخراج رمزارز، می‌تواند یک قرارداد با شبکه بالادست نیز منعقد نماید تا بعضی بارهای حساس سمت شبکه که در اطراف سایت محل پارکینگ هستند را تغذیه نماید. انرژی مازاد ایستگاه خودروهای الکتریکی برای تامین بارهای بحرانی و حساس سمت شبکه توزیع بالادست استفاده می‌گردد. به عبارت دیگر پارکینگ خودروهای الکتریکی از طریق شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی می‌تواند انرژی مازادی را فراهم نماید که بارهای حساس شبکه بالادست را تامین کند.

- در حالتی که شبکه برق سراسری متصل است، بارهای حساس سمت شبکه از دو مسیر شبکه و پارکینگ خودروهای الکتریکی تامین می‌شوند و هر بخشی یک سهم از انرژی بارها را تامین می‌کند. در هنگام قطعی شبکه سراسری، بارهای بحرانی و حساس شبکه توزیع به صورت کامل توسط پارکینگ خودروهای الکتریکی تامین می‌شوند تا از قطعی این بارها تحت شرایط خاموشی شبکه سراسری جلوگیری گردد.

- در شرایط قطعی شبکه سراسری، دستگاه‌های استخراج رمزارز به عنوان یک بار پاسخگو مدل می‌شوند و برنامه‌ریزی پیشنهادی از طریق تغییرات انرژی مصرفی ماینرها و همچنین تغییر الگوی شارژ-دشارژ خودروهای الکتریکی به گونه‌ای عمل می‌نماید که ضمن شارژ کامل خودروها در زمان تعریف شده، تمام انرژی مورد نیاز بارهای بحرانی شبکه توزیع را نیز فراهم نماید. در تمام حالت‌ها شامل وصل یا قطع بودن شبکه، پارکینگ خودروهای الکتریکی هیچ‌گونه انرژی از شبکه دریافت نمی‌کند و صرفاً در مواردی که لازم باشد به شبکه انرژی تزریق می‌نماید.

- در این بهینه‌سازی هر خودرو به گونه‌ای شارژ و دشارژ می‌شود که ضمن استفاده مفید از باتری خودرو برای مدیریت انرژی، دو نکته اساسی مد نظر قرار گیرد. الف: خودرو هنگام ترک پارکینگ شارژ کامل باشد. ب: کمترین تعداد ممکن دشارژ بر روی باتری خودرو اعمال گردد تا عمر باتری کاهش نیابد. تابع هدف مدل پیشنهادی مینیمم نمودن تعداد دشارژ باتری خودروها است تا ضمن استفاده از باتری خودروها، طول عمر باتریها تا حد ممکن کاهش نیابد.

- نامعینی انرژی‌های بادی و خورشیدی در مسئله لحاظ می‌گردد و یک برنامه‌ریزی بهینه تصادفی برای شارژ و دشارژ خودروها ارائه می‌شود که در برابر تمام تغییرات توان بادی و خورشیدی پاسخگو باشد.

۲-۱- ساختار مقاله

در ادامه ساختار مقاله به این شرح است. در قسمت دوم ساختار و مفهوم مدل پیشنهادی بیان شده است. در قسمت سوم فرمول‌بندی مدل پیشنهادی بر اساس یک برنامه‌ریزی بهینه‌سازی مقید ریاضی ارائه شده است. اطلاعات شبکه تحت مطالعه در

قسمت چهارم آمده است. در بخش پنجم نتایج شبیه‌سازی برای حالت‌های مختلف نشان داده شده است. در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲- ساختار و مفهوم مدل پیشنهادی

شکل (۱) ساختار سیستم پیشنهادی را نمایش می‌دهد. در این سیستم انرژی‌های بادی و خورشیدی بر روی پارکینگ خودروهای الکتریکی نصب شده‌اند. انرژی تولیدی توسط واحدهای بادی و خورشیدی دارای تغییرات و نامعینی است که باید در برنامه‌ریزی مد نظر قرار گیرد. قسمتی از انرژی تولیدی جهت شارژ خودروها به ایستگاه خودروها می‌رود و مابقی انرژی به سمت بارها ارسال می‌گردد. دو بار بر روی سیستم تعبیه شده است که شامل ماینرهای استخراج ارز دیجیتال و همچنین بارهای حساس سمت شبکه توزیع بالادست هستند. بارهای حساس شبکه در واقع توسط خود شبکه تغذیه می‌شوند اما بعلاوه حساسیت آنها، یک راه تغذیه موازی هم برای آنها لحاظ شده است تا در صورت قطعی شبکه بتوانند از سوی ایستگاه خودروها نیز تغذیه شوند. در این سیستم هیچ‌گونه باتری ذخیره‌ساز انرژی وجود ندارد، لذا تغییرات انرژی باد و خورشید باید توسط شارژ و دشارژ بهینه خودروهای موجود در ایستگاه جبران گردد. در واقع برنامه‌ریزی با تغییر زمان شارژ و دشارژ خودروها به گونه‌ای عمل می‌نماید که در ساعت‌های کمبود انرژی باد و خورشید بتواند خودروها را دشارژ نماید و به شبکه توان تزریق کند. این عمل باید به گونه‌ای باشد که اولاً خود خودرو در زمان مناسب شارژ گردد و هنگام ترک ایستگاه کاملاً شارژ شده باشد و ثانیاً باید کمترین میزان دشارژ بر روی باتری خودرو اعمال گردد.

در حالتی که شبکه سراسری وصل باشد، ایستگاه خودروها وظیفه‌ای در برابر تامین بارهای حساس شبکه ندارد چرا که این بارها می‌توانند توسط خود شبکه تغذیه شوند. البته ایستگاه سعی می‌کند توان مازاد خود را برای تغذیه این بارها ارسال نماید تا بارها کمترین مقدار ممکن توان را از شبکه دریافت نمایند. توان ایستگاه به صورت ۱۰۰ درصد توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تامین می‌شود و تغذیه بارها توسط این انرژی در مقایسه با دریافت انرژی از شبکه سراسری بهتر است. معمولاً انرژی شبکه توسط سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود که کاهش توان مصرفی شبکه هم برای خود شبکه بهتر است و هم از دید کاهش آلودگی محیط زیست برای جامعه بهتر است. بر این اساس در حالت وصل شبکه، انرژی تجدیدپذیر ایستگاه صرف شارژ خودروها و فعالیت ماینرهای رمزارز می‌شود. هدف این است تمام خودروها در زمان ترک پارکینگ کاملاً شارژ شده باشند و همچنین سیستم استخراج رمزارز در تمام ساعت‌های شبانه روز به کار خود ادامه دهد. در تمامی شرایط هیچ‌گونه توانی از شبکه دریافت نمی‌گردد و توان مازاد نیز در صورت وجود به سمت بارهای حساس شبکه ارسال می‌گردد. اگر در ساعات خاصی توان تولیدکنندگان بادی و خورشیدی تغییرات داشته باشد و یا حتی صفر گردد، دشارژ مناسب خودروها می‌تواند مشکل را رفع و انرژی مورد نیاز بارها را تامین نماید. در زمانی که شبکه سراسری قطع باشد، بارهای حساس صرفاً باید توسط ایستگاه خودروهای الکتریکی تامین گردند. در این شرایط اهداف زیر به ترتیب اولویت بیان شده دنبال می‌گردند:

- اولویت اول: تامین انرژی بارهای حساس سمت شبکه به صورت کامل

- اولویت دوم: شارژ کامل خودروها

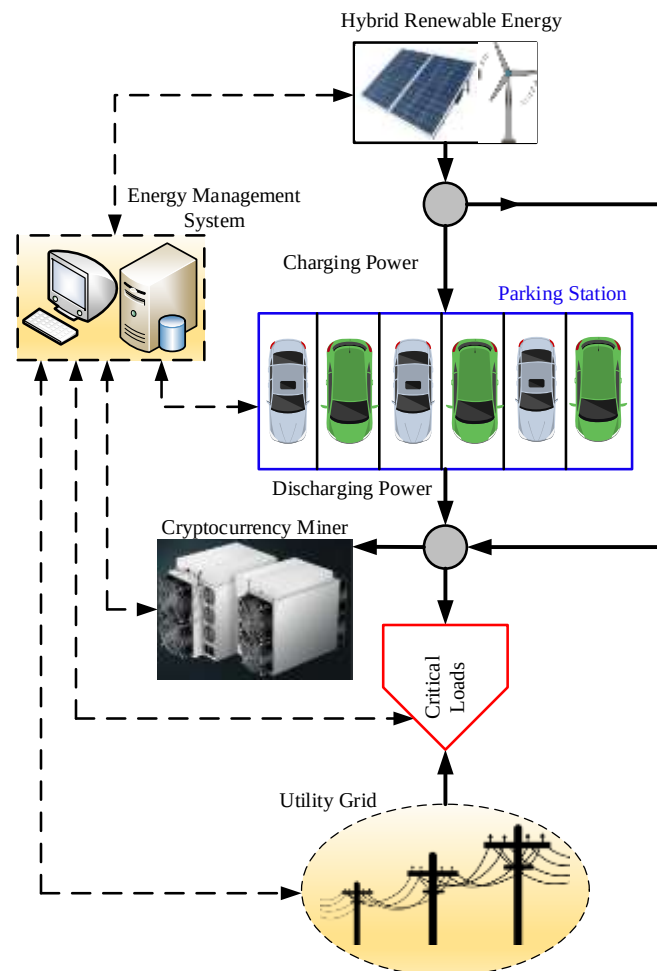
- اولویت سوم: استفاده از مازاد انرژی جهت فعالیت ماینرهای استخراج رمزارز

در واقع ماینرهای استخراج رمزارز به عنوان یک بار پاسخگو مدل می‌شوند و در صورتی که انرژی برای اولویت‌های اول و دوم با کمبود مواجهه شود، انرژی ماینرهای استخراج رمزارز کاسته می‌گردد و خاموش می‌گردند. ساختار پیشنهادی این امکان را می‌دهد که بدون استفاده از انرژی شبکه سراسری بتوان خودروها را شارژ و تغییرات انرژی تولیدی توسط واحدهای بادی و خورشیدی را هم رفع نمود. استخراج رمزارز در کنار این ساختار دارای این مزیت است که بعلاوه عدم دریافت انرژی از شبکه، مشکلات مربوط به غیر مجاز بودن استخراج رمزارز مطرح نیست. در این ساختار باید با مینیمم نمودن تعداد دشارژ باتری خودروها از کاهش طول عمر باتری تا حد ممکن جلوگیری نمود.

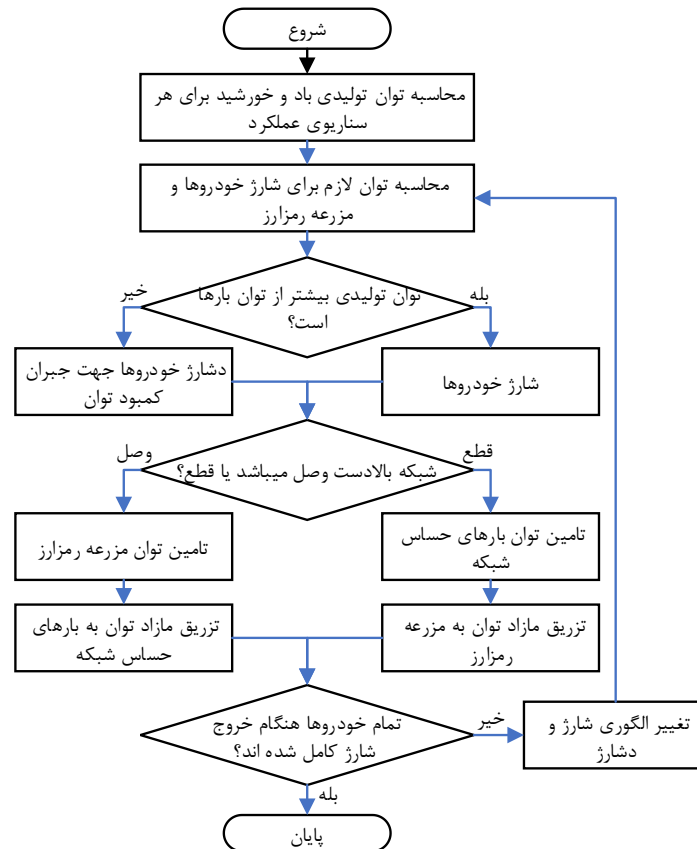
در مدل پیشنهادی، فرض شده است که مالک پارکینگ تحت مطالعه یک ارگان دولتی است و لذا بابت تزریق انرژی به شبکه سراسری چه در حالت عادی و چه در شرایط قطعی شبکه سراسری، از بهره‌بردار شبکه هزینه‌ای دریافت نمی‌نماید. چون این

پارکینگ انرژی خودروهای پرسنل خود ارگان را تامین می‌نماید، لذا هزینه‌ای بابت شارژ خودروها دریافت نشده است. از طرفی، مالک پارکینگ اقدام به دشارژ باتری خودروها در زمان حضور آنها در پارکینگ می‌نماید که طبعاً سبب کاهش عمر باتری و اعمال هزینه بر مالک خودرو می‌گردد. لذا مالکین خودرو به صورت عادی تمایلی به شرکت در این برنامه مدیریت انرژی نخواهند داشت. جهت تشویق مالک خودرو برای شرکت در این برنامه مدیریت انرژی، هزینه شارژ خودرو از صاحب خودرو دریافت نمی‌گردد. در کنار مسائل فوق، این ارگان اقدام به نصب ماینرهای استخراج رمزارز نموده که بازگشت سرمایه و سود این ماینرها محاسبه شده است. در این حالت، مالک ماینرهای استخراج رمزارز دچار مشکلات قانونی برای استخراج رمزارز نمی‌شود چون اصولاً از شبکه سراسری انرژی دریافت نمی‌نماید. فرضیات فوق در مسئله فعلی لحاظ شده و ساختار پیشنهادی با همین فرضیات معتبر است. طبعاً در صورت تغییر هر یک از این فرض‌ها، تابع هدف و قیدهای مسئله نیز تغییر خواهند نمود.

فلوچارت مدل پیشنهادی در شکل (۲) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است انرژی از سمت واحدهای بادی و خورشیدی دریافت می‌شود و سپس حالت وصل یا قطع بودن شبکه بررسی می‌گردد. در صورت وصل شبکه، اولویت بر روی شارژ کامل خودروها و تغذیه رمزارزها قرار می‌گیرد. مازاد انرژی نیز برای تغذیه بارهای حساس سمت شبکه استفاده می‌شود. تغییرات و کمبود انرژی توسط شارژ و دشارژ بهینه خودروها مدیریت می‌شود.



شکل (۱): ساختار کلی شبکه تحت مطالعه (خطوط پر: مسیرهای انتقال توان؛ خط چین: مسیرهای انتقال دیتا)
Figure (1): Structure of the proposed test network (solid line: power transfer; dashed line: data transfer)



شکل (۲): فلوچارت مدل پیشنهادی

Figure (2): Flowchart of the proposed model

در حالت قطع شبکه، اولویت‌ها بر روی تغذیه بارهای حساس شبکه و شارژ کامل خودروها قرار می‌گیرد. سیستم با مدیریت انرژی مصرفی ماینرها، دو اولویت اصلی را تامین می‌کند. در این حالت نیز عدم تعادل انرژی توسط شارژ و دشارژ بهینه خودروها مدیریت می‌شود.

۳- مدل سازی ریاضی به صورت بهینه‌سازی مقید

مدل پیشنهادی به صورت یک برنامه‌ریزی بهینه‌سازی مقید ریاضی فرمول‌بندی می‌گردد. در این مسئله از خودروهای الکتریکی برای شیفت انرژی در طول ساعت‌های مختلف استفاده می‌شود [۱۴]. لذا هدف این است که بتوان با کمترین تعداد دشارژ خودروها به نتایج دست یافت. تابع هدف مسئله مینیمم نمودن تعداد دشارژ خودروهای الکتریکی طی شبانه روز است که در رابطه (۱) نمایش داده شده است. این رابطه تعداد کل دشارژ تمام خودروهای موجود در پارکینگ طی ۲۴ ساعت را حساب نموده و به عنوان تابع هدف مینیمم می‌نماید.

$$dn = \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} (u_{dev}^{t,v}) \quad (1)$$

قیدهای مسئله در رابطه‌های (۲) تا (۱۸) مدل شده‌اند. قید شماره (۲) نشان دهنده رابطه تعادل توان در کل سیستم است. توان‌های تولیدی شامل توان بادی، توان خورشیدی و توان دشارژ کلی ایستگاه خودروها هستند. توان‌های مصرفی نیز شامل توان شارژ کلی ایستگاه خودروها، توان ماینرهای استخراج رمزارز و توان ارسالی به سمت شبکه جهت تغذیه بارهای حساس هستند [۱۵]. قید شماره (۳) نشان می‌دهد که توان بارهای حساس شبکه بالادست از دو سمت ایستگاه خودروها و خود شبکه تامین می‌گردد.

$$P_{pv}^{t,s} + P_w^{t,s} + P_{dps}^t - P_{cps}^t - (P_m^{t,s} \times k_m^{t,s}) - P_{clps}^{t,s} = 0 \quad \forall t \in T, s \in S \quad (2)$$

$$P_{cl}^t = P_{clg}^{t,s} + P_{clps}^{t,s} \quad \forall t \in T, s \in S \quad (3)$$

مطابق رابطه (۴)، در صورتی که شبکه برق بالادست وصل باشد، رمزارزها با توان ثابت به کار خود ادامه می‌دهند و ضریب کاهش توان آنها برابر یک لحاظ می‌گردد. در صورت عدم وصل شبکه برق سراسری، ضریب کاهش توان ماینرها به صورت عددی کمتر از یک لحاظ می‌گردد که توسط برنامه مقدار آن بهینه می‌گردد. در واقع هنگام قطع شبکه سراسری، برنامه اجازه دارد از طریق مدل‌سازی دستگاه‌های استخراج رمزارز به صورت یک بار پاسخگو، بارهای مهمتر را تامین نماید. مطابق رابطه (۵) اگر شبکه قطع باشد، کل توان بارهای حساس باید توسط ایستگاه تامین گردد و توان دریافتی از شبکه برابر صفر خواهد بود. ماینرها به صورت یک بار با توان مصرفی ثابت و پیوسته مدل شده‌اند که امکان خاموش نمودن و مدیریت انرژی مصرفی آنها وجود دارد.

$$\begin{cases} \text{if } gs=1 \Rightarrow k_m^{t,s}=1 \\ \text{if } gs=0 \Rightarrow k_m^{t,s} \leq 1 \end{cases} \quad \forall t \in T, s \in S \quad (4)$$

$$\text{if } gs=0 \Rightarrow \begin{cases} P_{clg}^{t,s}=0 \\ P_{cl}^t = P_{clps}^{t,s} \end{cases} \quad \forall t \in T, s \in S \quad (5)$$

قیدهای (۶) و (۷) کل توان دشارژ شده از ایستگاه خودروها و کل توان شارژ شده به آن را محاسبه می‌کنند. توان کلی شارژ یا دشارژ از جمع توان شارژ و دشارژ تک‌تک خودروهای موجود در ایستگاه محاسبه می‌شود. قیدهای (۸) و (۹) نشان دهنده توان نامی شارژرهای موجود در ایستگاه برای شارژ خودرو هستند. توان شارژ و دشارژ هر خودرو باید از توان نامی شارژر کمتر باشد.

$$P_{dps}^t = \sum_{v \in V} (P_{dev}^{v,t}) \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$P_{cps}^t = \sum_{v \in V} (P_{cev}^{v,t}) \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$P_{dev}^{v,t} \leq P_{rev} \quad \forall t \in T, v \in V \quad (8)$$

$$P_{cev}^{v,t} \leq P_{rev} \quad \forall t \in T, v \in V \quad (9)$$

قید (۱۰) بیان می‌کند که هر خودرو در هر بازه زمانی صرفاً می‌تواند بر روی یکی از دو عملکرد شارژ یا دشارژ باشد و نمی‌تواند به صورت همزمان هر دو عمل را انجام دهد. مطابق رابطه (۱۱)، انرژی ذخیره شده در باتری خودرو الکتریکی در هر بازه زمانی محاسبه می‌شود و انرژی اولیه خودرو در هنگام ورود به پارکینگ در قید (۱۲) مدل شده است. راندمان شارژ و دشارژ و ظرفیت نامی باتری خودروها به ترتیب با رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) مدل شده‌اند [۱۶].

$$\begin{cases} \text{if } P_{dev}^{v,t} > 0 \Rightarrow P_{cev}^{v,t} = 0 \\ \text{if } P_{cev}^{v,t} > 0 \Rightarrow P_{dev}^{v,t} = 0 \end{cases} \quad \forall t \in T, v \in V \quad (10)$$

$$E_{ev}^{v,t} = E_{ev}^{v,t-1} + (\eta_{ev}^v \times P_{cev}^{v,t} - P_{dev}^{v,t}) \times td_t \quad \forall t \in T, v \in V \quad (11)$$

$$E_{ev}^{v,t} = E_{ev}^{v,0} + (\eta_{ev}^v \times P_{cev}^{v,t} - P_{dev}^{v,t}) \times td_t \quad \forall t=[1], v \in V \quad (12)$$

$$\eta_{ev}^v = \frac{\sum_{t \in T} (P_{dev}^{v,t} \times td_t)}{\sum_{t \in T} (P_{cev}^{v,t} \times td_t)} \quad \forall v \in V \quad (13)$$

$$E_{ev}^{v,t} \leq E_{rev} \quad \forall t=[1], v \in V \quad (14)$$

رابطه (۱۵) تعداد دشارژ هر خودرو طی ۲۴ ساعت را شمارش می‌کند و قید (۱۶) تعیین می‌کند که شمارنده به کار رفته یک عدد باینری است. تعداد شارژ هر خودرو طی ۲۴ ساعت با رابطه (۱۷) شمارش می‌شود و رابطه (۱۸) نیز بیان می‌کند که شمارنده به صورت یک عدد باینری مدل شده است.

$$\begin{cases} \text{if } P_{dev}^{v,t} > 0 \Rightarrow u_{dev}^{t,v} = 1 \\ \text{if } P_{dev}^{v,t} = 0 \Rightarrow u_{dev}^{t,v} = 0 \end{cases} \quad \forall t \in T, v \in V \quad (15)$$

$$u_{dev}^{t,v} \in [0,1] \quad \forall t \in T, v \in V \quad (16)$$

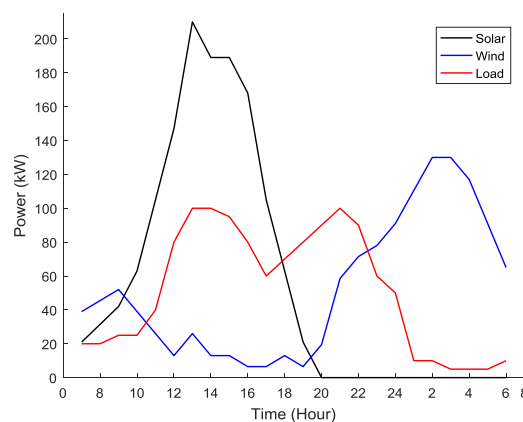
$$\begin{cases} \text{if } P_{cev}^{v,t} > 0 \Rightarrow u_{cev}^{t,v} = 1 \\ \text{if } P_{cev}^{v,t} = 0 \Rightarrow u_{cev}^{t,v} = 0 \end{cases} \quad \forall t \in T, v \in V \quad (17)$$

$$u_{cev}^{t,v} \in [0,1] \quad \forall t \in T, v \in V \quad (18)$$

۴- اطلاعات شبکه تحت مطالعه

در این مقاله، یک پارکینگ خودرو الکتریکی که می‌تواند به عنوان ایستگاه شارژ نیز لحاظ گردد مدل شده است. پارکینگ با سیستم خورشیدی ۲۱۰ کیلووات و سیستم بادی ۱۳۰ کیلووات تعبیه شده است. پروفایل توان تولیدی بادی و خورشیدی در شکل (۳) نشان داده شده است [۱۷]. در این شکل و سایر مطالعات این مقاله، ساعت شروع تمام مطالعات ۷ صبح و ساعت پایانی ۶ صبح روز بعد لحاظ شده است. این ایستگاه تعدادی ماینر استخراج رمزارز را نیز تغذیه می‌نماید. مشخصات ماینرها در جدول (۱) ارائه شده است.^۴ ایستگاه خودرو الکتریکی به گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌گردد که بارهای حساس سمت شبکه را نیز تغذیه نماید. شکل (۳) پروفایل این بارها را نمایش می‌دهد. در حالت وصل شبکه، مازاد توان برای تغذیه بارهای حساس استفاده می‌شود اما هنگام قطع شبکه، تمام توان بارهای حساس توسط ایستگاه خودرو الکتریکی تامین می‌گردد.

در این مقاله ۲۰ خودرو الکتریکی با الگوی نشان داده شده در جدول (۲) به پارکینگ وارد و سپس خارج می‌شوند. ساعت‌هایی که با عدد ۱ نشان داده شده‌اند و رنگ خاکستری هستند، زمان حضور خودرو در پارکینگ هستند. به عنوان مثال، خودروی شماره ۱ ساعت ۱ به پارکینگ وارد و ساعت ۹ پارکینگ را ترک می‌کند. تمام خودروها در انتهای ساعاتی که پارکینگ را ترک می‌کنند باید به صورت کامل شارژ شده باشند. انرژی اولیه خودروها هنگام ورود به پارکینگ برابر ۱۰ کیلووات ساعت لحاظ شده است. ظرفیت باتری هر خودرو برابر ۵۰ کیلووات ساعت و توان نامی هر دستگاه شارژ خودرو برابر ۵۰ کیلووات لحاظ شده است (شارژر نوع سوم استفاده شده است) [۱۸].



شکل (۳): پروفایل انرژی باد، خورشید و بارهای حساس سمت شبکه

Figure (3): Profiles for wind-solar energy and critical loads on the grid side

Table (1): Specifications of cryptocurrency mining machines

جدول (۱): مشخصات دستگاه‌های استخراج ارز دیجیتال (ماینرها)

پارامتر	مقدار
نوع ماینر	MicroBT Whatsminer M30S+
توان مصرفی (وات)	۳۳۰۰ تا ۳۴۰۰
تعداد ماینر	۱۵
توان مزرعه رمزارز (کیلووات)	۵۰
هش‌ریت هر ماینر (تراشه بر ثانیه)	۱۰۰
قیمت دستگاه (دلار)	۱۵۰۰
درآمد ماهیانه (بیت‌کوین)	۰/۰۱۱۰۶۲

Table (2): Input and output time-interval for electric vehicles in the parking station

جدول (۲): زمان ورود و خروج خودروهای الکتریکی به پارکینگ

شماره خودرو	ساعت ورود	ساعت خروج
۱	۱	۹
۲	۲	۹
۳	۳	۹
۴ تا ۱۰	۳	۱۰
۱۱	۹	۲۲
۱۲ تا ۱۳	۱۰	۲۲
۱۴	۱۰	۲۳
۱۵ تا ۲۰	۱۱	۲۴

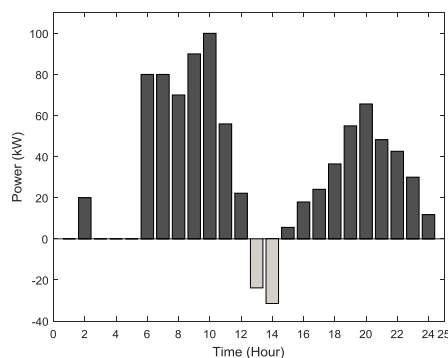
در این مقاله از روش‌های موجود برای مدل‌سازی و مدیریت نامعینی استفاده شده و نوآوری مقاله در زمینه ارائه مدل جدیدی برای مدل‌سازی و مدیریت نامعینی نیست. برای مدل‌سازی نامعینی از روش برنامه‌ریزی **تصادفی**^۵ استفاده شده است. پارامترهای نامعین به صورت توابع پیوسته مدل و سپس به توابع ناپیوسته تبدیل و سناریوهای عملکرد بر مبنای آنها تولید شده‌اند. از روش کاهش سناریوی **پسرو**^۶ برای کاهش تعداد سناریوها استفاده شده است. انرژی‌های باد و خورشید به عنوان منابع نامعینی در مسئله لحاظ شده‌اند.

۵- نتایج شبیه‌سازی

مدل ریاضی معرفی شده به صورت یک مسئله بهینه‌سازی خطی ترکیبی عدد **صحیح**^۷ در نرم‌افزار گمز مدل‌سازی گردیده و با حل کننده CPLEX حل شده است. نتایج این شبیه‌سازی در قسمت‌های بعدی ارائه می‌گردند.

۵-۱- حالت وصل شبکه بالادست

در حالت وصل شبکه، ایستگاه خودرو صرفاً از خودروها برای جابه‌جایی انرژی بین ساعت‌های مختلف استفاده می‌نماید. به طوری که در ساعت‌هایی که انرژی باد و خورشید کم است، خودروها دشارژ می‌گردند. هدف شارژ کامل خودروها و تغذیه ماینرهای استخراج رمزارز با تمام توان است. تابع هدف این برنامه‌ریزی مینیم نمودن تعداد دشارژ خودروها است. شکل (۴) نشان دهنده کل توان شارژ و دشارژ شده توسط ایستگاه است. صرفاً در بازه‌های زمانی ۱۳ و ۱۴ دشارژ خودروها صورت می‌پذیرد به علت این که در این ساعت‌ها توان منابع انرژی تجدیدپذیر بسیار کم است. جدول (۳) توان دشارژ شده از هر خودرو و ساعت دشارژ را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، کلاً ۷ بار عمل دشارژ صورت می‌پذیرد و این دشارژها که در شکل (۴) نیز نشان داده شدند صرفاً در ساعت‌های ۱۳ و ۱۴ هستند. تعداد کم دشارژ خودرو نشان می‌دهد که برنامه به صورت موفقیت‌آمیزی توانسته است با کمترین عمل دشارژ بر روی خودروها، هم توان ماینرهای رمزارز را تامین کند و هم تمام خودروها را به گونه‌ای شارژ نماید که در هنگام ترک پارکینگ شارژ کامل باشند. تغییرات و نامعینی توان بادی و خورشیدی هم به صورت مناسبی با این شارژ و دشارژها رفع شده و سیستم توانسته است بدون نیاز به دریافت انرژی از شبکه یا بدون نصب سیستم ذخیره‌ساز انرژی صرفاً با نصب انرژی‌های تجدیدپذیر به کار خود ادامه دهد. انرژی ذخیره شده چند خودروی نمونه در هنگام ورود و خروج از پارکینگ در شکل (۵) نمایش داده شده است. انرژی ذخیره شده در خودروهای ۱، ۲، ۱۵ و ۲۰ نشان می‌دهد که این خودروها از هنگام ورود به پارکینگ تا زمان خروج به صورت مناسبی شارژ شده‌اند و همگی در زمان شارژ به صورت کامل و برابر ۵۰ کیلووات ساعت شارژ گشته‌اند. همچنین خودروهای ۱۵ و ۲۰ طی زمان حضور در پارکینگ دشارژ نیز شده‌اند، اما دو خودروی ۱ و ۲ صرفاً شارژ شده‌اند. فرایند شارژ و دشارژ خودرو شماره ۲۰ در جدول (۴) شرح داده شده است. این خودرو با انرژی اولیه ۱۰ کیلووات ساعت وارد ایستگاه می‌شود و در ساعت‌های مختلف شارژ می‌گردد تا در نهایت در ساعت ۲۳ به صورت کامل شارژ شده و در ساعت ۲۴ ایستگاه را ترک می‌کند.

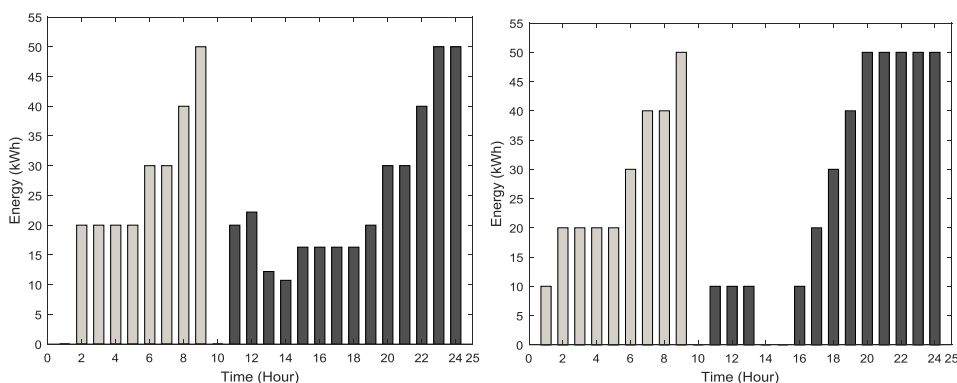


شکل (۴): توان کلی شارژ و دشارژ شده توسط ایستگاه خودرو (توانهای منفی: دشارژ، توانهای مثبت: شارژ)
Figure (4): Total charged and discharged powers by electric vehicle station (negative power: discharge; positive power: charge)

Table (3): Discharged power from electric vehicles with a total number of discharges equal to 7

جدول (۳): توانهای دشارژ خودروها با تعداد کل ۷ دشارژ (کیلووات)

شماره خودرو	ساعت ۱۴	ساعت ۱۳	سایر ساعت‌های روز
۱۳	۰	۱۰	۰
۱۵	۰	۱۰	۰
۱۶	۰	۱۰	۰
۱۸	۱۰	۰	۰
۱۹	۳/۸۷	۰	۰
۲۰	۱۰	۱/۴۷	۰



(الف) میله روشن خودرو ۱ و میله تیره خودرو ۱۵ (ب) میله روشن خودرو ۲ و میله تیره خودرو ۲۰

شکل (۵): انرژی خودروها در هنگام ورود و خروج از پارکینگ

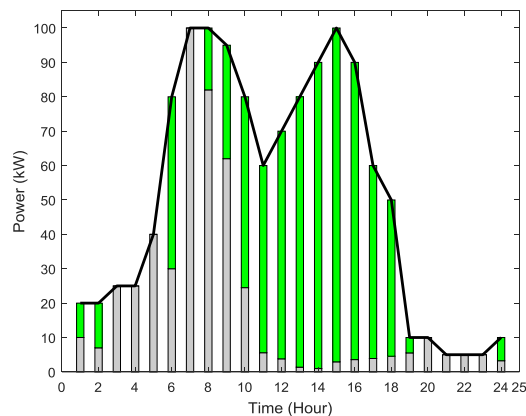
Figure (5): Energy of electric vehicles when arrive at and leave the station
a) light bar shows Vehicle 1 and the dark bar shows Vehicle 15, b) light bar shows Vehicle 2 and the dark bar shows Vehicle 20

همچنین این خودرو دو بار در ساعت‌های ۱۳ و ۱۴ با توان‌های ۱۰ و ۱/۴۷۵ کیلووات دشارژ شده است. در حالت اتصال شبکه، تامین توان بارهای حساس از دو سمت توسط ایستگاه خودرو و شبکه صورت می‌پذیرد که در شکل (۶) نشان داده شده است. در هر ساعتی که امکان تامین توان توسط ایستگاه خودرو میسر باشد، بارها توان خود را از ایستگاه می‌گیرند و از شبکه توان دریافت نمی‌کنند. لذا کمترین توان ممکن از شبکه دریافت می‌شود. در ساعت‌هایی که توان مازاد ایستگاه خودرو کافی نباشد، کمبود توان توسط شبکه تامین می‌شود. فرایند فوق هم برای شبکه سودمند است و هم هزینه انرژی بارها را کاهش می‌دهد زیرا توان شبکه معمولاً توسط انرژی‌های فسیلی تولید می‌شود اما توان ایستگاه خودرو کاملاً از انرژی تجدیدپذیر است. لذا برنامه به گونه‌ای عمل می‌کند که حداکثر استفاده ممکن را از توان ایستگاه انجام دهد و صرفاً در مواقع نیاز از شبکه توان دریافت نماید. باید دقت نمود که خود ایستگاه جهت شارژ خودروها و تغذیه رمزارزها هیچ توانی از شبکه دریافت نمی‌کند و کاملاً به‌صورت مستقل عمل می‌نماید.

Table (4): Stored energy and charged-discharged powers of the electric vehicle 20

جدول (۴): انرژی ذخیره شده و توانهای شارژ و دشارژ خودرو شماره ۲۰

توان دشارژ (کیلووات)	توان شارژ (کیلووات)	انرژی (کیلووات ساعت)	ساعت
۰	۰	۰	۱-۱۰
۰	۱۰	۲۰	۱۱
۰	۲/۲	۲۲/۲	۱۲
۱۰	۰	۱۲/۲	۱۳
۱/۴۷۵	۰	۱۰/۷۲۵	۱۴
۰	۵/۵۷۵	۱۶/۳	۱۵
۰	۰	۱۶/۳	۱۶
۰	۰	۱۶/۳	۱۷
۰	۰	۱۶/۳	۱۸
۰	۳/۷	۲۰	۱۹
۰	۱۰	۳۰	۲۰
۰	۰	۳۰	۲۱
۰	۱۰	۴۰	۲۲
۰	۱۰	۵۰	۲۳
۰	۰	۰	۲۴



شکل (۶): تامین توان بارهای حساس توسط ایستگاه خودرو و شبکه (میله سبز: توان تزریقی توسط شبکه؛ میله خاکستری: توان تزریقی توسط ایستگاه؛ خط مشکی: پروفیل بار حساس شبکه)

Figure (6): Supplying the critical loads by electric vehicle station and grid (green bar: power from the grid, gray bar: power from electric vehicle station, black line: critical loads power)

Table (5): Impacts of wind and solar energy alterations on the operation of the system

جدول (۵): تاثیر تغییرات انرژی باد و خورشید بر روی عملکرد سیستم

سناریو	توان خورشید (کیلووات)	توان باد (کیلووات)	توان رمزارز (کیلووات)	توان بارهای حساس (کیلووات)
۱	۲۱	۳۹	۵۰	۱۰
۲	۲۱/۴۲	۳۹/۷۸	۵۰	۱۱/۲
۳	۲۲/۰۵	۴۰/۹۵	۵۰	۱۳
۴	۲۰/۵۸	۳۸/۲۲	۵۰	۸/۸
۵	۱۹/۹۵	۲۷/۰۵	۵۰	۷

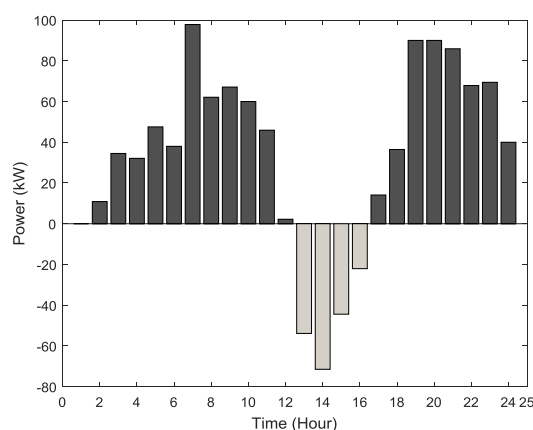
به منظور بررسی اثر نامعینی انرژی‌های باد و خورشید بر روی مسئله، عملکرد تحت چندین سناریوی مختلف در جدول (۵) نشان داده شده است. این نتایج برای یک ساعت خاص که ساعت اول برنامه‌ریزی است ارائه شده‌اند. در ساعت اول برنامه‌ریزی، توان نامی بار حساس ۲۰ کیلووات و توان نامی سیستم استخراج رمزارز ۵۰ کیلووات است. تحت سناریوهای مختلف، توان بادی

و خورشیدی تغییرات دارند اما توان مورد نیاز ماینرهای استخراج ارز دیجیتال به صورت ثابت تامین شده است و صرفاً توان تزریقی برای بارهای حساس تغییر نموده است. دلیل این امر تامین توان بارهای حساس از دو سمت شبکه و ایستگاه است. لذا با کاهش توان تامینی از سوی ایستگاه، عملکرد بارها دچار اختلال نمی‌گردد و آنها کمبود توان را از سمت شبکه جبران می‌کنند.

۲-۵- حالت قطع شبکه برق بالادست

در حالتی که شبکه برق قطع است، ایستگاه باید شارژ خودروها و تامین برق ماینرهای رمزارز و همچنین تامین بارهای حساس سمت شبکه را به صورت همزمان انجام دهد. در این حالت، شارژ کامل خودروها و تامین بارهای حساس سمت شبکه در اولویت هستند. لذا ایستگاه در اولویت اول انرژی این دو قسمت را تامین می‌کند. ماینرهای رمزارز به صورت یک بار پاسخگو مدل می‌شوند تا در صورت کمبود انرژی، بتوان تعدادی از این ماینرها را از مدار خارج نمود. شکل (۷) نشان دهنده کل توان شارژ و دشارژ شده توسط ایستگاه خودرو در حالت قطع شبکه بالادست است. ایستگاه در چهار ساعت ۱۳ تا ۱۶ دشارژ می‌گردد. مشخص است که تعداد و ظرفیت دشارژ نسبت به حالت قبلی (اتصال شبکه) بیشتر شده است زیرا در این حالت بعثت نیاز به تامین بارهای حساس، استفاده بیشتری از ظرفیت باتری خودروها شده است. دشارژ ایستگاه در ساعت‌های ۱۳ تا ۱۶ در جدول (۶) نشان داده است. در این ساعت‌ها خودروهای مختلفی با سطح توان‌های متفاوت دشارژ می‌گردند تا شیفت انرژی در طول ساعت‌های شبانه روز رخ دهد و نیاز بارهای شبکه تامین گردد. جدول (۷) مقایسه ایستگاه در دو حالت جدا از شبکه و متصل به شبکه را نشان می‌دهد. مشخص است که در حالت قطع بودن شبکه باید تعداد بیشتری خودرو دشارژ گردند تا بتوان نیاز بارهای حساس را تامین نمود. دشارژ بیشتر خودروها طبعاً یک نکته منفی برای خودروها است و باعث کاهش طول عمر باتری خودرو می‌گردد. اما در طرف مقابل، شبکه بالادست در حالت قطعی بوده ولی بارهای حساس شبکه به صورت کامل تامین شده‌اند. شکل (۸) نشان می‌دهد که در حالت در دسترس نبودن شبکه، تمام توان مورد نیاز بارهای حساس توسط ایستگاه تامین شده و هیچ‌گونه قطعی باری رخ نداده است.

شکل (۹) انرژی ذخیره شده و توان‌های شارژ و دشارژ خودرو شماره ۲۰ را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است خودرو ابتدا در ساعت ۱۱ شارژ می‌گردد و سپس در ساعت‌های ۱۳ و ۱۴ کاملاً دشارژ می‌گردد. در ساعت‌های ۱۷ تا ۲۴ مجدداً شارژ شده و به شارژ کامل رسیده و ایستگاه را ترک می‌نماید. در زمان قطع شبکه برق، ماینرها به عنوان یک بار پاسخگو مدل می‌شوند و برنامه‌ریزی پیشنهادی از طریق تغییرات توان مصرفی آنها و خاموش نمودن بعضی ماینرها این اجازه را پیدا می‌کند که توان مورد نیاز بارهای حساس شبکه بالادست را فراهم نماید. شکل (۱۰) توان ماینرهای استخراج رمزارز را نمایش می‌دهد که در ساعت‌های مختلف تغییرات توان مصرفی آنها رخ داده است. توان مصرفی نامی این تجهیزات برابر ۵۰ کیلووات است که در شکل به صورت یک خط ثابت مدل شده است. تغییرات و کاهش توان در هر ساعت نسبت این توان نامی مشخص است.



شکل (۷): توان شارژ و دشارژ شده توسط ایستگاه خودرو در حالت قطع شبکه (توان‌های منفی: دشارژ، توان‌های مثبت: شارژ)
Figure (7): Charged and discharged powers by the station during grid blackout (negative power: discharge; positive power: charge)

Table (6): Discharging process of electric vehicles at hours 13 to 16 (kW)

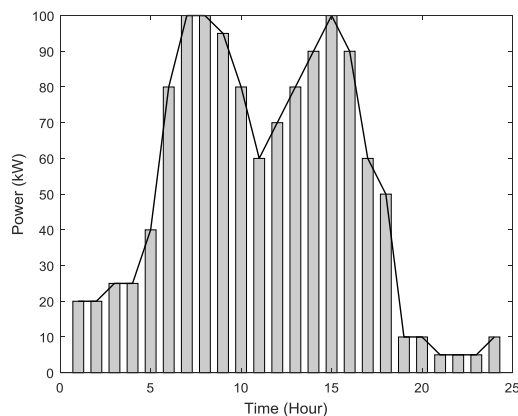
جدول (۶): دشارژ خودروها در ساعتهای ۱۳ الی ۱۶ (کیلووات)

خودرو	ساعت ۱۳	ساعت ۱۴	ساعت ۱۵	ساعت ۱۶
۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۰
۱۲	۰	۱۰	۶/۴۵	۰
۱۳	۰	۱۰	۰	۱۰
۱۴	۱۰	۰	۱۰	۰
۱۵	۰	۰	۷/۹۷	۹/۸۷
۱۶	۱۰	۱۰	۰	۲/۲
۱۷	۵/۳	۱۰	۰	۰
۱۸	۰	۱۰	۰	۰
۱۹	۸/۵۲	۱/۴۷	۱۰	۰
۲۰	۱۰	۱۰	۰	۰

Table (7): Comparing the grid-tied and off-grid operating conditions

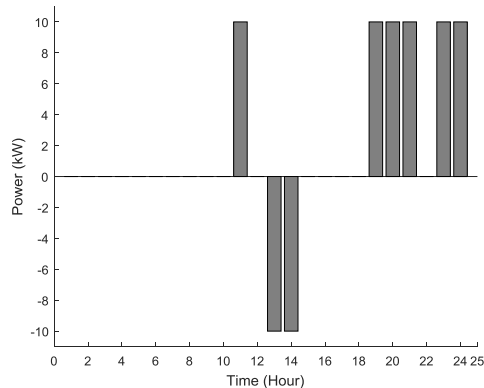
جدول (۷): مقایسه دو حالت جدا از شبکه و متصل به شبکه

شارژ و دشارژ	متصل به شبکه	جدا از شبکه
تعداد دشارژ خودروها	۷	۲۲
مجموع توان دشارژ شده (کیلووات)	۵۵/۳۴	۱۹۲/۸

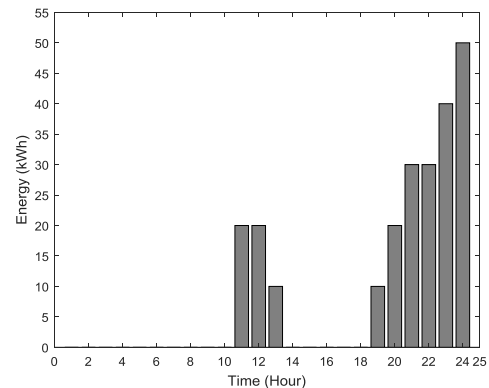


شکل (۸): تامین توان بارهای حساس به صورت کامل توسط ایستگاه خودرو

Figure (8): Supplying all required energy of critical loads by electric vehicle station



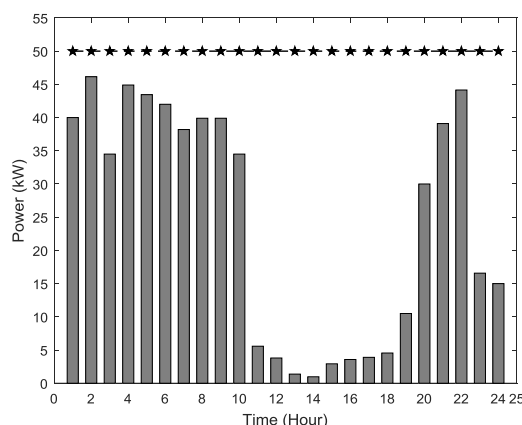
(ب) توان شارژ و دشارژ



(الف) انرژی

شکل (۹): انرژی ذخیره شده و توانهای شارژ و دشارژ خودرو شماره ۲۰

Figure (9): Stored energy and charged-discharged powers of the electric vehicle 20, a) energy, b) charged-discharged power



شکل (۱۰): مدیریت توان مصرفی ماینرها به عنوان بار پاسخگو (میل: توان مصرفی ماینرها؛ خط ثابت: توان نامی ماینرها)

Figure (10): Managing the consumed power by cryptocurrency mining machines as responsive loads (bar: consumed power by miners, line: rated power of miners)

Table (8): Powers of the system at hour 1 during upstream grid disconnection

جدول (۸): توانهای سیستم در ساعت اول در حالت عدم وصل شبکه بالادست

سناریو	توان خورشیدی (کیلووات)	توان بادی (کیلووات)	توان رمزارز (کیلووات)	توان بارهای حساس (کیلووات)
۱	۲۱	۳۹	۴۰	۲۰
۲	۲۱/۴۲	۳۹/۷۸	۴۱/۲	۲۰
۳	۲۲/۰۵	۴۰/۹۵	۴۳	۲۰
۴	۲۰/۵۸	۳۸/۲۲	۳۸/۸	۲۰
۵	۱۹/۹۵	۳۷/۰۵	۳۷	۲۰

جدول (۸) تاثیر تغییرات انرژی باد و خورشید در حالت عدم وصل شبکه در ساعت اول برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. در ساعت یک، توان نامی بار حساس ۲۰ کیلووات و توان نامی سیستم استخراج رمزارز ۵۰ کیلووات است. تغییرات توان بادی و خورشیدی منجر به تغییرات توان مصرفی ماینرها شده اما توان بارهای حساس تغییری نکرده و به‌صورت ثابت تامین شده است.

۳-۵- بررسی اقتصادی نصب ماینر استخراج رمزارز

به منظور بررسی اقتصادی نصب ماینرهای استخراج رمزارز و مدت زمان بازگشت سرمایه، یک آنالیز مبتنی بر قیمت‌های واقعی در جدول (۹) ارائه شده است.

Table (9): Cost and revenue analysis of cryptocurrency mining machine

جدول (۹): آنالیز درآمد-هزینه ماینر استخراج رمزارز

مقدار	پارامتر
۱۵۰۰	قیمت هر دستگاه (دلار)
۱۵	تعداد دستگاه ماینر در مزرعه
۲۲۵۰۰	قیمت کل ماینرهای مزرعه استخراج رمزارز (دلار)
۰/۰۱۱۰۶۲	درآمد ماهیانه هر ماینر (بیت‌کوین)
۰/۱۶۵۹۳	درآمد ماهیانه مزرعه استخراج رمزارز (بیت‌کوین)
۲۰۰۰۰	قیمت هر واحد بیت‌کوین (دلار)
۳۳۱۸.۶	درآمد ماهیانه مزرعه استخراج رمزارز (دلار)
۳۳/۱۸۶	کارمزد استخراج (یک درصد)
۵۰	کل توان مصرفی مزرعه استخراج رمزارز (کیلووات)
۳۶۰۰۰	انرژی مصرفی در یک ماه (کیلووات ساعت)

Table (10): Analysis of return on investment taking into account the free energy from renewable resources

جدول (۱۰): آنالیز بازگشت سرمایه با لحاظ نمودن تامین انرژی رایگان از انرژی تجدیدپذیر

مقدار	پارامتر
۳۲۸۵/۴	درآمد خالص ماهیانه (دلار)
۳۹۴۲۴/۶	درآمد خالص سالیانه (دلار)
۲۲۵۰۰	هزینه سرمایه‌گذاری خرید ماینرها (دلار)
۳	طول عمر مفید هر دستگاه ماینر (سال)
حدود ۷ ماه	مدت زمان بازگشت سرمایه

Table (11): Attained net profit based on net present value

جدول (۱۱): سود خالص کسب شده بر حسب ارزش خالص در سال فعلی

سال سوم	سال دوم	سال اول	کمیت
۳۹۴۲۵	۳۹۴۲۵	۳۹۴۲۵	درآمد کسب شده در هر سال (دلار)
۳۲۵۲۸	۳۵۸۴۱	۳۹۴۲۵	انتقال درآمد کسب شده در هر سال به سال اول بر اساس رابطه ارزش خالص فعلی (دلار)
۱۰۷۸۴۸			مجموع کل درآمد کسب شده بر حسب ارزش در سال حاضر (دلار)
۲۲۵۰۰			مجموع کل هزینه سرمایه‌گذاری شده در سال حاضر (دلار)
۸۵۳۴۸			سود خالص کلی بر حسب ارزش در سال حاضر (دلار)

Table (12): Total charged power to the electric vehicle station

جدول (۱۲): توان کلی شارژ شده به ایستگاه خودرو

ساعت	انرژی اولیه بر حسب کیلووات ساعت			
	۵	۱۰	۲۰	۳۰
۱	۵	۰	۰	۰
۲	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰
۳	۱۰	۰	۰	۰
۴	۱۰	۰	۰	۰
۵	۱۰	۰	۰	۰
۶	۸۰	۸۰	۵۰	۲۰
۷	۸۰	۸۰	۳۰	۲۰
۸	۸۰	۷۰	۵۰	۳۰
۹	۸۵	۹۰	۹۰	۶۰
۱۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۰
۱۱	۵۶	۵۶	۵۶	۵۶
۱۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
۱۳	۰	۰	۰	۰
۱۴	۰	۰	۰	۰
۱۵	۶	۶	۶	۶
۱۶	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
۱۷	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴
۱۸	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶
۱۹	۵۵	۵۵	۵۰	۲۱
۲۰	۷۴	۶۶	۳۰	۰
۲۱	۷۳	۴۸	۱۴	۰
۲۲	۵۳	۴۳	۷	۴
۲۳	۳۶	۳۰	۳۶	۱۰
۲۴	۱۲	۱۲	۶	۷

در این جدول هزینه کلی خرید ماینرها، درآمد ماهیانه و انرژی مصرف ماهیانه ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، مزرعه رمزارز انرژی زیادی مصرف می‌نماید و خرید این انرژی از شبکه سراسری مقرون به صرفه نیست. اما در صورتی که انرژی ماینرها طبق مدل پیشنهادی از مازاد انرژی باد و خورشید ایستگاه شارژ خودرو تامین گردد، مطابق جدول (۱۰) نصب این تجهیزات به صرفه است و سرمایه اولیه در حدود ۷ ماه بازگشت خواهد داشت. جهت محاسبه سود خالص کلی بر حسب ارزش در سال حاضر که سرمایه‌گذاری انجام شده است، درآمد کسب شده در هر سال آتی با رابطه ارزش خالص فعلی^۸ به سال حاضر منتقل می‌گردد و سپس کل درآمد در سال فعلی محاسبه می‌گردد. همچنین هزینه سرمایه‌گذاری شده جهت خرید و نصب تجهیزات رمزارز در سال حاضر به عنوان کل هزینه در سال فعلی لحاظ می‌گردد. در نهایت با کسر کل هزینه از کل درآمد، سود خالص کلی در سال فعلی مطابق جدول (۱۱) به دست می‌آید. این محاسبات برای ۳ سال طول عمر دستگاه رمزارز و همچنین نرخ تورم ۱۰ درصد محاسبه شده است. همچنین می‌توان درآمد ناشی از فروش دستگاه‌های رمزارز اسقاطی^۹ را نیز در مسئله لحاظ نمود.

۴-۵- اثر انرژی اولیه خودروها بر روی مدل

به منظور بررسی اثر انرژی اولیه خودروها بر روی توان شارژ شده به ایستگاه، چندین حالت مختلف برای انرژی اولیه خودروها در هنگام ورود به ایستگاه لحاظ گردیده و نتایج در جدول (۱۲) ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است مقدار انرژی اولیه خودروها در هنگام ورود به ایستگاه بیشتر بر روی رفتار ایستگاه در چند ساعت اول تاثیر می‌گذارد. در حالتی که انرژی اولیه کمترین مقدار یعنی ۵ کیلووات ساعت است، ایستگاه در ساعت اول توان زیادی را دریافت می‌کند اما در بقیه حالت‌ها توان در ساعت اول صفر است. هرچقدر انرژی بیشتری در خودروهای ورودی به ایستگاه وجود داشته باشد، توان دریافت شده توسط ایستگاه در ساعت‌های ابتدایی برنامه‌ریزی کاهش می‌یابد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک پارکینگ خودروی الکتریکی مجهز به انرژی‌های بادی و خورشیدی مطالعه، مدل‌سازی و شبیه‌سازی گردید. پارکینگ مورد نظر با هدف شارژ خودروها، تامین انرژی ماینرهای استخراج ارز دیجیتال و همچنین تامین توان بارهای حساس سمت شبکه مدل‌سازی گردید. در حالت وصل شبکه بالادست، ایستگاه به صورت موفقیت آمیزی تمام خودروها را شارژ نمود و هر خودرو در زمان ترک پارکینگ شارژ کامل ۵۰ کیلووات ساعت را داشت. همچنین توان ۵۰ کیلووات ماینرهای استخراج رمزارز طی ۲۴ ساعت به صورت کامل تامین گردید. توان مازاد پارکینگ به شبکه بالا دست ارسال گردید تا قسمتی از توان بارهای حساس را تامین کند. در بازه‌های زمانی مانند ساعت ۱۳ و ۱۴ که توان باد کم و توان خورشید صفر بود، خودروهای موجود در پارکینگ تحت دشارژ قرار گرفتند تا کمبود توان را جبران کنند. تعداد دشارژهای صورت گرفته بر روی کل خودروها برابر ۷ مورد بود که نشان داد با کمترین تعداد دشارژ بر روی خودروها، هم توان ماینرهای رمزارز تامین شده و هم تمام خودروها با موفقیت شارژ شده‌اند و هم مشکل تغییرات انرژی باد و خورشید رفع شده است. تحت تغییرات توان بادی و خورشیدی در سناریوهای مختلف، توان ۵۰ کیلووات ماینرهای ارز دیجیتال به صورت ثابت تامین می‌گردد اما توان تزریقی برای بارهای حساس تغییر می‌نماید، زیرا بارهای حساس از دو طرف توسط شبکه و ایستگاه تغذیه می‌شوند و کاهش توان سمت ایستگاه توسط شبکه جبران می‌شود. در حالتی که شبکه قطع است، اهداف ایستگاه شامل شارژ کامل خودروها، تامین انرژی ماینرها و تامین انرژی بارهای حساس سمت شبکه بود. در این حالت اولویت با شارژ خودروها و بارهای حساس شبکه است و ماینرها به صورت بار پاسخگو مدل شدند تا در صورت کمبود انرژی، بتوان تعدادی ماینر را از مدار خارج نمود. در این حالت، تعداد شارژ و دشارژ بیشتری در خودروها مشاهده گردید. به طوری که تعداد دشارژ که در حالت وصل شبکه ۷ بود به ۲۲ دشارژ افزایش یافت. همچنین کل توان دشارژ شده که در حالت وصل شبکه ۵۵ کیلووات بود به ۱۹۲ کیلووات افزایش یافت. در این حالت، کل توان بارهای حساس توسط ایستگاه تامین گردید.

References

مراجع

- [1] P.G. Panah, S.M. Bornapour, S.M. Nosratabadi, J.M. Guerrero, "Hesitant fuzzy for conflicting criteria in multi-objective deployment of electric vehicle charging stations", *Sustainable Cities and Society*, vol. 85, Article Number: 104054, Oct. 2022 (doi: 10.1016/j.scs.2022.104054).
- [2] H. Allafiyeh, H. Mohammadnezhad-Shourkaei, S. Soleymani, "Multi-objective optimization of consumer's profit and distribution transformer aging considering electric vehicles", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 15, no. 58, pp. 121-142, Sept. 2024 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.14-03.15.58.9.0).
- [3] A. Bayatian, A. Ahmarinejad, "A three-level framework for determining the optimal strategy of microgrids to participate in the day-ahead competitive market by considering electric vehicles and demand response programs", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 14, no. 56, pp. 97-118, Mar. 2024 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.1402.14.56.6.6).
- [4] G. Rajendran, C.A. Vaithilingam, N. Misron, K. Naidu, M.R. Ahmed, "A comprehensive review on system architecture and international standards for electric vehicle charging stations", *Journal of Energy Storage*, vol. 42, Article Number: 103099, Oct. 2021 (doi: 10.1016/j.est.2021.103099).
- [5] M. Alilou, B. Tousi, H. Shayeghi, "Home energy management in a residential smart micro grid under stochastic penetration of solar panels and electric vehicles", *Solar Energy*, vol. 212, pp. 6-18, Dec. 2020 (doi: 10.1016/j.solener.2020.10.063).
- [6] Y. Yang, S. Wang, "Resilient residential energy management with vehicle-to-home and photovoltaic uncertainty", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 132, Article Number: 107206, Nov. 2021 (doi:10.1016/j.ijepes.2021.107206).
- [7] H. Mehrjerdi, "Off-grid solar powered charging station for electric and hydrogen vehicles including fuel cell and hydrogen storage", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 23, pp. 11574-11583, May 2019 (doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.03.158).
- [8] M.R. Khalid, I.A. Khan, S. Hameed, M.S.J. Asghar, J.S. Ro, "A comprehensive review on structural topologies, power levels, energy storage systems, and standards for electric vehicle charging stations and their impacts on grid", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 128069-128094, Sept. 2021 (doi: 10.1109/ACCESS.2021.311218-9).
- [9] M. Saeedirad, E. Rokrok, M. Joorabian, "Technical and economic management of energy distribution to reduce charging costs and reduction", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 14, no. 54, pp. 59-74, Sept. 2023 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.1402.14.54.4.0).
- [10] S. Goel, R. Sharma, A.K. Rathore, "A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation", *Transportation Engineering*, vol. 4, Article Number: 100057, June 2021 (doi: 10.1016/j.treng.2021.100057).
- [11] G.J. Osório, M. Gough, M. Lotfi, S.F. Santos, H.M.D. Espassandim, M. Shafie-khah, J.P.S. Catalão, "Rooftop photovoltaic parking lots to support electric vehicles charging: A comprehensive survey", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 133, Article Number: 107274, Dec. 2021 (doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107274).
- [12] R. Lotfi, S.G. Zare, A. Gharehbaghi, S. Nazari, G.W. Weber, "Robust optimization for energy-aware cryptocurrency farm location with renewable energy", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 177, Article Number: 109009, Mar. 2023 (doi: 10.1016/j.cie.2023.109009).
- [13] R. Miśkiewicz, K. Matan, J. Karnowski, "The role of crypto trading in the economy, renewable energy consumption and ecological degradation", *Energies*, vol. 15, no. 10, Article Number: 3805, 2022 (doi: 10.3390/en15103805).
- [14] Y. Ye, J. Zhang, S. Pilla, A.M. Rao, B. Xu, "Application of a new type of lithium-sulfur battery and reinforcement learning in plug-in hybrid electric vehicle energy management", *Journal of Energy Storage*, vol. 59, Article Number: 106546, Mar. 2023 (doi: 10.1016/j.est.2022.106546).
- [15] H. Mehrjerdi, "Dynamic and multi-stage capacity expansion planning in microgrid integrated with electric vehicle charging station", *Journal of Energy Storage*, vol. 29, Article Number: 101351, June 2020 (doi: 10.1016/j.est.2020.101351).
- [16] H. Mehrjerdi, R. Hemmati, "Stochastic model for electric vehicle charging station integrated with wind energy", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 37, Article Number: 100577, Feb. 2020 (doi: 10.1016/j.seta.2019.100577).

- [17] S. Mahdavi, R. Hemmati, M.A. Jirdehi, "Two-level planning for coordination of energy storage systems and wind-solar-diesel units in active distribution networks", Energy, vol. 151, pp. 954-965, May 2018 (doi: 10.1016/j.energy.2018.03.123).
- [18] H. Mehrjerdi, R. Hemmati, "Electric vehicle charging station with multilevel charging infrastructure and hybrid solar-battery-diesel generation incorporating comfort of drivers", Journal of Energy Storage, vol. 26, Article Number: 100924, Dec. 2019 (doi: 10.1016/j.est.2019.100924).

زیر نویس‌ها

1. Bitcoin
2. Cryptocurrency mining
3. Terawatt-hour
4. Available online at: https://www.itbazar.com/p_71567.aspx
5. Stochastic programming
6. Backward scenario reduction
7. Mixed-integer linear programming (MILP)
8. Net present value (NPV)
9. Salvage value

ضمیمه (نمادها، پارامترها و متغیرها)

مجموعه‌ها و ایندکس‌ها	
ایندکس شمارنده سناریوها	s
مجموعه سناریوها	S
ایندکس شمارنده بازه‌های زمانی	t
مجموعه بازه‌های زمانی	T
ایندکس شمارنده خودروهای الکتریکی	v
مجموعه خودروهای الکتریکی	V
پارامترها و متغیرها	
تعداد دشارژ کل خودروها در ۲۴ ساعت	dn
انرژی ذخیره شده در خودرو الکتریکی (کیلووات ساعت)	$E_{ev}^{v,t}$
انرژی خودرو هنگام ورود به پارکینگ (کیلووات ساعت)	$E_{ev}^{v,0}$
ظرفیت باتری خودرو الکتریکی (کیلووات ساعت)	E_{rev}
وضعیت شبکه که حالت وصل برابر یک و حالت قطع برابر صفر	gs
ضریب کاهش توان ماینرها در حالت مدل بار پاسخگو	$k_m^{t,s}$
توان تولیدی سیستم خورشیدی (کیلووات)	$p_{pv}^{t,s}$
توان تولیدی سیستم بادی (کیلووات)	$p_w^{t,s}$
کل توان دشارژ شده از ایستگاه خودروها (کیلووات)	p_{dps}^t
کل توان شارژ شده به ایستگاه خودروها (کیلووات)	p_{cps}^t
توان ماینرهای استخراج رمزارز (کیلووات)	$p_m^{t,s}$
توان از سمت ایستگاه خودروها به بارهای حساس (کیلووات)	$p_{clps}^{t,s}$
توان از سمت شبکه به بارهای حساس (کیلووات)	$p_{clg}^{t,s}$
توان بارهای حساس شبکه بالادست (کیلووات)	p_{cl}^t
توان دشارژ شده از یک خودرو الکتریکی (کیلووات)	$p_{dev}^{v,t}$
توان شارژ شده به یک خودرو الکتریکی (کیلووات)	$p_{cev}^{v,t}$
توان نامی شارژ خودرو الکتریکی (کیلووات)	p_{rev}
طول یک بازه زمانی در برنامه‌ریزی (ساعت)	td_t
عدد باینری شمارنده تعداد دشارژ یک خودرو	$u_{dev}^{t,v}$
عدد باینری شمارنده تعداد شارژ یک خودرو	$u_{cev}^{t,v}$
راندمان شارژ و دشارژ خودرو الکتریکی (درصد)	η_{ev}^v