



Computational Intelligence in Electrical Engineering  
Vol. 14, No. 2, 2023  
Research Paper

## Stochastic Planning of the Hybrid System with Wind Turbine and Biomass Energy Unit System besides Battery and Electric Vehicles Parking Lot Considering Storage Degradation

Sasan Pirouzi

Department of Engineering, Semirom Branch, Islamic Azad University, Semirom, Iran

### Abstract:

This paper presents the planning of a hybrid system with wind turbines and biomass energy sources, and batteries and electric vehicles parking lot. The proposed scheme minimizes the total costs of construction and maintenance for sources and storage and the degradation cost of storage. It is subject to the operating model of sources, storage, and power electronic converters. To provide clean energy, the priority of supplying the energy demand is given to renewable sources, and then the storages cover the distance between the load profile and the generation power of the sources. Furthermore, the proposed scheme has uncertainties regarding the load, renewable power, and energy consumption of mobile storage devices. In this paper, scenario-based stochastic planning is adopted to model the mentioned parameters. The combined algorithm of Ant lion optimization and Krill Herd optimization extracts a reliable optimal solution with low dispersion in the final response. Finally, the obtained numerical results demonstrate the capability of the proposed scheme in deriving economic planning for the proposed hybrid system, in which the presence of renewable resources leads to the extraction of an environmentally-friendly hybrid system, and the energy management of mobile storage devices reduces the planning cost of the hybrid system by 1.9% compared with a case with their absence.

**Keywords:** Economic planning, Hybrid islanded system, Stationary and mobile storage, Bio-waste energy source, Wind turbine, Storage degradation cost.



This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<https://doi.org/10.22108/ISEE.2022.134774.1580>

## مقاله پژوهشی

## برنامه‌ریزی تصادفی سیستم ترکیبی دارای توربین بادی و منبع انرژی بیوماس در کنار باتری و پارکینگ خودروهای الکتریکی با در نظر گرفتن فرسودگی ذخیره‌سازها

ساسان پیروزی

استادیار، گروه فنی و مهندسی، واحد سمیرم، دانشگاه آزاد اسلامی، سمیرم، ایران

s.pirouzi@sutech.ac.ir

**چکیده:** در این مقاله برنامه‌ریزی سیستم ترکیبی تجدیدپذیر دارای توربین‌های بادی و منابع انرژی بیوماس به‌علاوه باتری‌ها و پارکینگ خودروهای الکتریکی ارائه می‌شود. این طرح مجموع هزینه‌های احداث و تعمیر و نگهداری به‌علاوه هزینه فرسودگی ذخیره‌سازها را کمینه‌سازی می‌کند. این مسئله نیز مقید به مدل عملکرد منابع، ذخیره‌سازها و مبدل‌های الکترونیک قدرت است. در مدل عملکرد عناصر مذکور برای تأمین انرژی پاک، الویت تغذیه انرژی مصرفی بر عهده منابع تجدیدپذیر یاد شده است و سپس ذخیره‌سازها فاصله بین پروفیل بار و توان تولیدی منابع را پوشش می‌دهند. علاوه بر این، طرح پیشنهادی دارای عدم قطعیت‌های بار، توان تجدیدپذیر و انرژی مصرفی ذخیره‌سازهای سیار است. در این مقاله از برنامه‌ریزی تصادفی مبنی بر سناریو برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها استفاده می‌شود. در ادامه، الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی شیرمورچه و بهینه‌سازی دسته میگوها یک راه‌حل بهینه مطمئن دارای پراکندگی پایین در پاسخ‌دهی نهایی را استخراج می‌کند. در نهایت، نتایج عددی به‌دست‌آمده بیان‌کننده قابلیت طرح پیشنهادی در استخراج برنامه‌ریزی اقتصادی برای سیستم ترکیبی پیشنهادی است؛ به طوری که حضور منابع تجدیدپذیر مذکور به استخراج سیستم ترکیبی دوستدار محیط زیست منجر می‌شود و مدیریت انرژی ذخیره‌سازهای سیار نیز موجب کاهش ۱/۹٪ هزینه برنامه‌ریزی سیستم ترکیبی نسبت به عدم حضور آنها می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه‌ریزی اقتصادی، سیستم ترکیبی جزیره‌ای، ذخیره‌ساز ساکن و سیار، منبع انرژی بیوماس، توربین

بادی، هزینه فرسودگی ذخیره‌سازها

### ۱- مقدمه

قرار می‌گیرند تا انرژی مصرفی را تغذیه کنند؛ بنابراین، اهداف فنی و اقتصادی مختلفی برای احداث سیستم در نظر گرفته خواهد شد [۱]. یک مورد شرایط زیست‌محیطی پاک را در نظر می‌گیرد، از این رو حضور منابع انرژی تجدیدپذیر<sup>۲</sup> (RESها) در این سیستم پیشنهادی می‌شود. RESهایی مانند توربین باد<sup>۴</sup> (WT) و فتولتائیک‌ها<sup>۵</sup> (PVها) به ترتیب با توجه به سرعت باد و تابش نور خورشید انرژی الکتریکی تولید می‌کنند؛ بنابراین، آلاینده‌های زیست‌محیطی آنها بسیار پایین است [۲]. نوع دیگر RES اشاره به منبع انرژی بیوماس<sup>۱</sup> (BEU) دارد که این منبع از زباله‌ها برای تولید انرژی استفاده می‌کند [۳]. با توجه به اینکه BEU به استفاده از زباله‌ها منجر می‌شود، پس ضریب

برخی از مصرف‌کننده‌های انرژی، دور از دسترس سیستم برق‌رسانی هستند که انتقال انرژی به این مناطق از نظر اقتصادی به‌صرفه نیست. راهکار تأمین انرژی برای آنها احداث سیستم ترکیبی جزیره‌ای<sup>۱</sup> (قطع از شبکه<sup>۲</sup>) است [۱]. در این سیستم منابع و ذخیره‌سازها در کنار بار مصرفی

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۱۰/۰۸/۰۷

نام نویسنده مسئول: ساسان پیروزی

نشانی نویسنده مسئول: ایران، سمیرم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد

سمیرم، گروه فنی و مهندسی

آلایندگی آن نیز بسیار پایین است. به‌عنوان موضوع دیگر، پروفیل توان تولیدی منابع تجدیدپذیر عموماً متفاوت از پروفیل بار مصرفی است؛ بنابراین، حضور تنهای RESها در سیستم ترکیبی جزیره‌ای به عدم تعادل تولید و مصرف منجر خواهد شد. برای جبران این موضوع، ذخیره‌سازهای انرژی برای پوشش فاصله بین پروفیل بار و تولید استفاده می‌شوند [۴]. به عبارتی ذخیره‌سازها در صورتی که انرژی تولیدی RESها بیش (کمتر) از انرژی مصرفی باشند، در مد شارژ (دشارژ) قرار می‌گیرند و مازاد انرژی تولیدی (مصرفی) را در خود ذخیره می‌کنند (به مصرف‌کننده تحویل می‌دهند) [۴]. هدف مهم دیگر در برنامه‌ریزی سیستم ترکیبی<sup>۷</sup> برآورد شرایط اقتصادی مطلوب مانند کاهش هزینه‌های برنامه‌ریزی است. این مورد و موارد قبلی در گرو انتخاب تعداد بهینه منابع و ذخیره‌سازها است که با استخراج یک مسئله بهینه‌سازی مناسب این موضوع مرتفع می‌شود [۵]. همچنین، توجه شود که بار، منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای سیار دارای عدم قطعیت هستند؛ بنابراین، برنامه‌ریزی سیستم پیشنهادی باید در برابر خطای پیش‌بینی عدم قطعیت‌های مذکور مقاوم باشد.

در زمینه برنامه‌ریزی منابع و ذخیره‌سازها در قالب سیستم ترکیبی تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. در [۶] به‌منظور تغذیه بار AC برای یک منطقه مسکونی از ترکیب PV، دیزل ژنراتور، پیل سوختی، باتری و ذخیره‌ساز ابرخازنی استفاده شده است. آن تعداد بهینه عناصر مذکور را براساس کمینه‌سازی هزینه برنامه‌ریزی و آلودگی تعیین می‌کند. در [۷] امکان‌سنجی احداث سیستم ترکیبی PV/دیزل ژنراتور/باتری در یک منطقه مستقر در نواحی آب و هوایی سرد ارائه شده است. در [۶-۷]، به‌منظور دسترسی به سطح آلایندگی پایین، ابتدا منابع تجدیدپذیر بار AC را تغذیه می‌کنند. سپس اگر توان تولیدی آنها بیش از بار AC بود، مازاد توان در ذخیره‌سازها ذخیره می‌شود. اگر توان بار AC بیش از توان تولیدی منابع تجدیدپذیر بود، ذخیره‌سازها در مد دشارژ توان به بار تحویل می‌دهند. چنانچه بار کاملاً تغذیه نشد، منابع تجدیدناپذیر مانند دیزل ژنراتور کمبود توان مصرفی را تأمین می‌کند. در [۸] برنامه‌ریزی بهینه سیستم دارای PV، WT و باتری با لحاظ کردن کمینه‌سازی

هزینه‌های احداث، تعمیر و نگهداری و قابلیت اطمینان به‌عنوان تابع هدف مدل‌سازی شده است. نویسندگان در [۸] احتمال انرژی از دست رفته<sup>۹</sup> (LOEP) را شاخص قابلیت اطمینان در نظر می‌گیرند. در [۹] برنامه‌ریزی منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌ساز هیدروژنی متناسب با اهداف اقتصادی، قابلیت اطمینان و زیست‌محیطی فرمول‌بندی می‌شود. ذخیره‌ساز هیدروژنی شامل پیل سوختی، تانک هیدروژنی و الکترولیزر است. در مد شارژ ذخیره‌ساز، الکترولیزر انرژی دریافتی از منابع تجدیدپذیر را به هیدروژن تبدیل و آن را در تانک هیدروژنی ذخیره می‌کند. در مد دشارژ، پیل سوختی هیدروژن ذخیره‌شده را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند و آن را به بار AC تحویل می‌دهد. در [۱۰]، اندازه بهینه‌ای برای سیستم ترکیبی شامل WT، PV، دیزل ژنراتور و باتری با توجه به کمینه‌سازی هزینه‌های نصب، تعمیر و بهره‌برداری آنها به دست می‌آید. این مسئله با الگوریتم جستجوی هارمونی<sup>۹</sup> (HSA) حل می‌شود. طرحی همانند [۱۰] در [۱۱] لحاظ شده است؛ با این تفاوت که [۱۱] دارای WT نیست و همچنین، شاخص از دست رفتن تغذیه توان<sup>۱۱</sup> (LPS) به‌منظور ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی در [۱۱] هم در نظر گرفته شده است. در [۱۲] فرسودگی باتری‌ها ناشی از سیکل کاری شارژ/دشارژ در برنامه‌ریزی بهینه سیستم ترکیبی جزیره‌ای لحاظ شده است. در [۱۳] کمینه‌سازی هزینه برنامه‌ریزی، کمینه‌سازی آلایندگی زیست‌محیطی و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان به‌صورت بهینه‌سازی چندهدفه برای برنامه‌ریزی سیستم ترکیبی خورشیدی/دیزل ژنراتور/باتری استخراج شده است. در [۱۴] الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات<sup>۱۱</sup> (PSO) برای دسترسی به راه‌حل بهینه در برنامه‌ریزی سیستم دارای منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای ساکن استفاده شده است. در [۱۵]، برنامه‌ریزی بهینه سیستم<sup>۱۰۰٪</sup> تجدیدپذیر دارای WT و PV و ذخیره‌سازی هیدروژنی ارائه شده است. سیستم تجدیدپذیر مذکور برای تأمین انرژی الکتریکی است و هدف آن، دستیابی به کمینه مقدار هزینه برنامه‌ریزی است. در نهایت خلاصه کارهای صورت گرفته در تحقیقات مختلف در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): کارهای صورت گرفته در پیشینه تحقیق

مرجع	مدل سازی و BEU ها	فرمول بندی هزینه فرسودگی ذخیره ساز	مدل سازی عدم قطعیت ها
[۶]	x	x	x
[۷]	x	x	x
[۸]	x	x	x
[۹]	تنها BEU	x	x
[۱۰]	x	x	x
[۱۱]	x	x	x
[۱۲]	x	✓	x
[۱۳]	x	x	x
[۱۴]	x	x	x
[۱۵]	x	x	x
طرح پیشنهادی	✓	✓	✓

تحقیقاتی بررسی شده است. ذخیره سازها به علت عملکرد پی در پی شارژ و دشارژ دارای هزینه فرسودگی<sup>۱۳</sup> هستند. پس یک سیستم جزیره ای دارای ذخیره ساز علاوه بر هزینه برنامه ریزی دارای هزینه فرسودگی ذخیره سازها نیز هست؛ ولی این موضوع در کمتر تحقیقاتی مانند [۱۲] در سیستم مذکور بررسی شده است. سیستم ترکیبی جزیره ای عموماً دارای عدم قطعیت های حاصل از منابع تجدیدپذیر، بار و ذخیره سازهای سیار است؛ از این رو مدل سازی قطعی مسئله برنامه ریزی سیستم یادشده که در بیشتر تحقیقات مانند [۶-۱۵] استفاده شده است، به استخراج راه حل مطمئن منجر نمی شود؛ برای مثال، اگر در یک سناریو میزان توان تولیدی RESها (مصرفی بارها) کمتر (بیشتر) از میزان آنها در سناریو متناظر با مدل قطعی باشد، مسلماً در سناریو مذکور نیاز به تعداد بیشتری منبع و باتری نسبت به نتایج مدل قطعی خواهد بود؛ بنابراین، در این شرایط برای استخراج راه حل مطمئن نیاز به مدل سازی عدم قطعیت ها است.

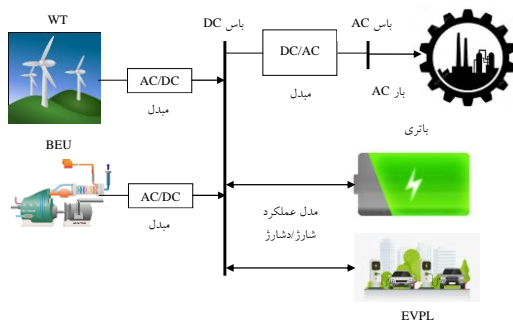
در این مقاله، برنامه ریزی (اندازه یابی) سیستم ترکیبی تجدیدپذیر دارای ذخیره سازهای سیار و ساکن ارائه می شود. برای جبران شکاف تحقیقاتی اول، RESها در سیستم مذکور از نوع WT و BEU هستند. همچنین، در این سیستم EVها به عنوان ذخیره ساز سیار حضور دارند. به منظور حذف شکاف تحقیقاتی دوم، طرح پیشنهادی کمینه سازی مجموع هزینه احداث و تعمیر و نگهداری منابع، ذخیره سازها و ادوات الکترونیک قدرت به علاوه هزینه فرسودگی برای ذخیره سازها را برعهده دارد. مدل بهره برداری منابع و ذخیره سازها برابر قیود مسئله هستند. در مدل بهره برداری عناصر یادشده، الویت تغذیه بار AC بر عهده WTها و BEUها است. سپس در صورتی که توان تولیدی بیش (کمتر) از بار AC بود، ذخیره سازها در مد شارژ (دشارژ) کار می کنند. این موضوع به پوشش فاصله بین پروفیل بار و توان تولیدی تجدیدپذیر منجر می شود. براساس شکاف تحقیقاتی سوم، طرح پیشنهادی دارای عدم قطعیت های بار، سرعت باد، گاز ورودی BEU، و پارامترهای پارکینگ EVها<sup>۱۴</sup> (EVPL) است. در این مقاله به منظور حذف شکاف تحقیقاتی سوم، از بهینه سازی

در زمینه برنامه ریزی سیستم قطع از شبکه شکاف های تحقیقاتی زیر براساس پیشینه تحقیق و جدول (۱) استخراج شده است:

عموماً در بیشتر تحقیقات از WT و PV به عنوان منبع تجدیدپذیر برای دسترسی به سیستم دوستاندار محیط زیست استفاده شده است؛ ولی توجه شود که BEU نیز از زباله ها برای تولید انرژی استفاده می کند. پس این منبع، دوستاندار محیط زیست است؛ زیرا زباله های تولیدشده را همواره مصرف می کند؛ اما مدل سازی و استفاده آن در سیستم ترکیبی جزیره ای در کمتر تحقیقاتی مانند [۹] مطرح بوده است. همچنین، در بیشتر تحقیقات از ذخیره ساز ساکن در سیستم یادشده استفاده شده است؛ ولی توجه شود که براساس [۱۶]، استفاده از خودروهای الکتریکی<sup>۱۳</sup> (EVها) به منظور کاهش آلاینده گی زیست محیطی در سال های آینده چشم گیر خواهد شد. همچنین، EV دارای باتری است، پس EVها با اتصال به شبکه به صورت یک ذخیره ساز انرژی عمل می کنند [۱۶]. در واقع آنها به عنوان ذخیره ساز سیار معرفی می شوند. حال حضور EVها در مناطق مصرف انرژی در سال های آینده حتمی است. پیرو این موضوع پیش بینی می شود که مدیریت انرژی EVها منجر به کاهش تعداد ذخیره ساز ساکن در سیستم ترکیبی شود که منجر به کاهش هزینه های احداث می شود؛ اما این موضوع در کمتر

متغیر است [۹]، ولی فرکانس بار AC ثابت است؛ بنابراین، در خروجی RESها پادشده مبدل AC/DC قرار می‌گیرد. در خروجی این مبدل‌ها یک موج ولتاژ/جریان DC ایجاد می‌شود که به باس DC تحویل می‌شود. سپس مبدل DC/AC در طرف بار AC یک موج ولتاژ/جریان AC با فرکانس ثابت ایجاد می‌کند و آن را به بار تحویل می‌دهد. در این ساختار فرض است که ذخیره‌ساز ساکن از نوع باتری است؛ زیرا راندمان آن بالا است. همچنین، در EVها فرض شده است که شارژر از نوع DC است [۱۶]؛ بنابراین، ذخیره‌سازها با توجه به اینکه ورودی آنها DC است، به باس DC متصل می‌شوند. در ادامه RESها در ابتدا وظیفه تأمین انرژی مصرفی بار AC را دارند، سپس ذخیره‌سازها برای پوشش فاصله بین پروفیل بار AC و توان تولیدی RESها را دارند؛ بنابراین، شروط عملکرد عناصر مذکور در سیستم ترکیبی جزیره‌ای متناسب با شکل (۱) به شرح زیر است:

- ۱- ابتدا WTها و BEUها توان مصرفی بار AC را تغذیه می‌کنند.
- ۲- اگر مجموع توان تولیدی WTها و BEUها بیش از توان مصرفی بار AC باشد، مازاد توان تولیدی در ذخیره‌سازهای سیار و ساکن ذخیره می‌شود.
- ۳- اگر توان مصرفی بار AC از توان تولیدی RESها بیشتر باشد، ذخیره‌سازها در مد شارژ قرار می‌گیرند و کمبود توان مصرفی را تأمین می‌کنند.



شکل (۱): ساختار سیستم ترکیبی پیشنهادی

به‌طور کلی دو نوع استراتژی شارژ برای EVها وجود دارد [۱۷] که با عناوین «شارژ هوشمند<sup>۱۸</sup>» و «شارژ غیرهوشمند<sup>۱۹</sup>» شناخته می‌شوند. در استراتژی شارژ غیر

تصادفی مبنی بر سناریو<sup>۱۵</sup> (SBSO) برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌های مذکور استفاده می‌شود. در ادامه از ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی شیرمورچه<sup>۱۶</sup> (ALO) و بهینه‌سازی دسته میگوها<sup>۱۷</sup> (KHO) برای حل مسئله استفاده می‌شود. این الگوریتم به‌نگام‌سازی متغیرهای تصمیم‌گیری را در دو فرآیند مختلف ALO و KHO انجام می‌دهد؛ بنابراین، پیش‌بینی می‌شود راه‌حل به‌دست‌آمده از دقت و سرعت همگرایی مطلوبی برخوردار باشد. در نهایت با مقایسه پیشینه تحقیق و راهکار پیشنهادی، نوآوری‌های طرح مذکور به شرح زیرند:

برنامه‌ریزی سیستم ترکیبی جزیره‌ای دارای منابع ۱۰۰٪ تجدیدپذیر از نوع توربین بادی و منبع انرژی بیوماس و ذخیره‌سازهای ساکن و سیار؛  
فرمول‌بندی عملکرد تجمیع خودروهای الکتریکی در سیستم ترکیبی جزیره‌ای برای کمینه‌ترکردن هزینه برنامه‌ریزی؛

استخراج برنامه‌ریزی مطمئن برای سیستم ترکیبی جزیره‌ای در مقابل خطای پیش‌بینی بار، منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای سیار با استفاده از مدل SBSO عدم قطعیت‌ها؛

دسترسی به راه‌حل بهینه در زمان محاسباتی پایین و دارای پراکندگی پایین در پاسخ نهایی با استفاده از الگوریتم ALO+KHO.

در ادامه، ساختار پیشنهادی سیستم ترکیبی به همراه فرمول‌بندی تصادفی مسئله برنامه‌ریزی در بخش دوم بیان می‌شوند. در بخش سوم، روند حل مسئله ارائه می‌شود. نتایج عددی حاصل از موارد مطالعاتی مختلف در بخش چهارم بررسی می‌شوند. در نهایت نتیجه‌گیری‌ها در بخش پنجم ذکر می‌شوند.

## ۲- برنامه‌ریزی سیستم ترکیبی جزیره‌ای

### ۲-۱- ساختار سیستم

در ساختار سیستم ترکیبی جزیره‌ای پیشنهادی به صورت شکل (۱)، منابع تجدیدپذیر مانند WTها و BEUها برای تغذیه بار AC استفاده می‌شوند. خروجی آنها دارای فرکانس

سیستم جزیره‌ای و قیمت واحد احداث (تعمیر و نگهداری) تجهیز مذکور است.

$$\begin{aligned} \min \text{ Cost} = & \\ & \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} (n^B c^B + n^W c^W + n^{BA} c^{BA} + n^C c^C) \\ & + n^B m^B + n^W m^W + n^{BA} m^{BA} + n^C m^C \\ & + 365 \times CF \times \sum_{\omega} \sum_{\tau=1}^{N^{OH}} \pi_{\omega} \left( \frac{DC^E(\tau, \omega)}{DC^{BA}(\tau, \omega)} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، متغیرهای  $n^C$  و  $n^{BA}$  به ترتیب معرف تعداد BEUها، WTها، باتری‌ها و مبدل‌های الکترونیک قدرت قابل نصب در سیستم ترکیبی هستند. متغیرهای  $DC^E$  و  $DC^{BA}$  به ترتیب بیان‌کننده هزینه فرسودگی برای باتری‌ها و EVها هستند که برحسب \$ بیان می‌شوند. پارامتر قیمت واحد احداث (تعمیر و نگهداری) برای عناصر یادشده با حرف  $c$  ( $m$ ) در رابطه (۱) مشخص شده است. پارامتر  $CF$  نیز اشاره به ضریب هم‌زمانی دارد. پارامتر  $N^{OH}$  برابر تعداد ساعات بهره‌برداری است و اندیس  $\tau$  اشاره به ساعت بهره‌برداری دارد. اندیس  $\omega$  معرف سناریو و پارامتر  $\pi$  معرف احتمال رخداد سناریو است. عبارت

در سطر اول رابطه (۱) بیان‌کننده هزینه احداث به صورت هزینه فعلی خالص<sup>۲۰</sup> است [۱۱]. در این عبارت، پارامتر  $r$  بیان‌کننده نرخ بهره<sup>۲۱</sup>، و  $n$  معرف تعداد سال برنامه‌ریزی است.

ب) قیود BEUها [۹]: مجموع توان تولیدی BEUها ( $P^B$  بر حسب kW) در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$  از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه، ضرایب  $\eta^B$ ،  $\rho^{CH_4}$  و  $\chi^{CH_4}$  به ترتیب معرف راندمان یک BEU (بر حسب درصد)، نرخ متان موجود در گاز<sup>۲۲</sup> (بر حسب درصد)، مقدار پایین حرارتی متان<sup>۲۳</sup> (بر حسب kWh/m<sup>3</sup>) هستند. پارامتر  $G^B(\tau, \omega)$  اشاره به میزان گاز عبوری از BEU در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$  دارد که بر حسب m<sup>3</sup>/h بیان می‌شود. در ادامه، محدودیت تعداد قابل نصب BEUها در قید (۳) بیان شده است که پارامتر  $\bar{n}^B$  به حداکثر تعداد BEUها اشاره دارد.

$$P^B(\tau, \omega) = n^B \eta^B \rho^{CH_4} \chi^{CH_4} G^B(\tau, \omega) \quad (2)$$

هوشمند، EVها به محض اتصال به شبکه در مد شارژ قرار می‌گیرند و بعد از مدت زمان شارژ خاص، باتری آنها کاملاً شارژ شده است (به اندازه خواسته مالک خودرو رسیده است). سپس آن دیگر توانی از شبکه دریافت نمی‌کند؛ بنابراین، در این استراتژی EVها یا EVPL تنها به صورت مصرف‌کننده عمل می‌کنند؛ ولی در استراتژی شارژ هوشمند، EVها براساس خواسته‌های اپراتور سیستم و خواسته‌های مالک EV عملکرد شارژ و دشارژ را انجام می‌دهند. در این صورت EVPL می‌تواند در نقش یک ذخیره‌ساز عمل کند؛ بنابراین، شروط ۱-۳ آنها برای استراتژی شارژ هوشمند EVها صادق است؛ اما در استراتژی شارژ غیرهوشمند، توان مصرفی سیستم برابر با مجموع توان مصرفی بار AC و EVها خواهد بود و تنها باتری‌ها نقش ذخیره‌ساز را خواهند داشت. به عنوان نکته دیگر، در این مقاله فرض بر این است که هر باتری و EV دارای مبدل DC-DC است که جزء تجهیزات داخلی آنها است؛ از این رو مبدل مجزایی در مسیر آنها و ب‌اس DC (دارای سطح ولتاژ متناسب با ولتاژ کاری ذخیره‌سازهای مذکور) احداث نمی‌شود.

## ۲-۲- فرمول‌بندی برنامه‌ریزی سیستم

در این بخش، فرمول‌بندی برنامه‌ریزی سیستم ترکیبی پیشنهادی برای تعیین تعداد بهینه منابع، باتری‌ها و مبدل‌های الکترونیک قدرت و عملکرد بهینه EVها ارائه می‌شوند. طرح پیشنهادی کمینه‌سازی مجموع هزینه احداث، تعمیر و نگهداری و هزینه فرسودگی ذخیره‌سازها با رعایت قیود عملکردی منابع و ذخیره‌سازها را بر عهده دارد. جزئیات این فرمول‌بندی در ادامه ارائه شده‌اند.

الف) تابع هدف: تابع هدف همانند رابطه (۱) برابر کمینه‌سازی هزینه برنامه‌ریزی (Cost بر حسب \$) سیستم ترکیبی جزیره‌ای است. تابع Cost نیز برابر با مجموع هزینه احداث (سطر اول رابطه) و هزینه تعمیر و نگهداری (سطر دوم رابطه) منابع، ذخیره‌سازها و مبدل‌های قدرت [۱۰] به علاوه مجموع هزینه فرسودگی باتری‌ها و EVها (سطر سوم رابطه) است. هزینه احداث (تعمیر و نگهداری) یک عنصر برابر با حاصل ضرب تعداد نصب‌شده عنصر در

(kW) و  $P^{cE}$  (بر حسب kW) همانند رابطه (۶) برابر مابه‌التفاوت مجموع توان تولیدی و مصرفی از دید ب‌اس DC خواهد بود. در این شرایط توان دشارژی باتری‌ها ( $P^{dBa}$  بر حسب kW) و  $P^{dE}$  (بر حسب kW) برابر صفر است؛ اما براساس شرط ۳، چنانچه در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$ ،  $\eta^c (P^B(\tau, \omega) + P^W(\tau, \omega))$  کمتر از  $\frac{P^A(\tau, \omega)}{\eta^c}$  باشد، در این صورت مجموع توان دشارژی ذخیره‌سازها همانند رابطه (۷) برابر مابه‌التفاوت توان مصرفی و تولیدی از دید ب‌اس DC خواهد بود. در این صورت، توان شارژی ذخیره‌سازها برابر صفر است. به عبارتی در مکان ب‌اس DC، چنانچه انرژی تولیدی منابع تجدیدپذیر بیشتر از انرژی مصرفی بار باشد، باتری‌ها و EVPL در مد شارژ عمل می‌کنند، در غیر این صورت، آنها در مد دشارژ هستند. در ادامه قیود عملکرد EVPL و باتری‌ها بیان می‌شود.

$$\begin{cases} P^{cBA}(\tau, \omega) + P^{cE}(\tau, \omega) = \\ \left( (P^B(\tau, \omega) + P^W(\tau, \omega))\eta^c - \frac{P^A(\tau, \omega)}{\eta^c} \right) \\ P^{dBa}(\tau, \omega), P^{dE}(\tau, \omega) = 0 \end{cases} \quad (۶)$$

$$\text{if } (P^B(\tau, \omega) + P^W(\tau, \omega))\eta^c \geq \frac{P^A(\tau, \omega)}{\eta^c}$$

$$\begin{cases} P^{dBa}(\tau, \omega) + P^{dE}(\tau, \omega) = \\ \left( \frac{P^A(\tau, \omega)}{\eta^c} - (P^B(\tau, \omega) + P^W(\tau, \omega))\eta^c \right) \\ P^{cBA}(\tau, \omega), P^{cE}(\tau, \omega) = 0 \end{cases} \quad (۷)$$

$$\text{if } (P^B(\tau, \omega) + P^W(\tau, \omega))\eta^c < \frac{P^A(\tau, \omega)}{\eta^c}$$

قیود EVPL: در استراتژی شارژ هوشمند، عملکرد بهینه EVPL براساس خواسته‌های اپراتور سیستم و مالکین EV تعیین می‌شود؛ از این رو متغیرهای توان شارژ و دشارژ EVها ( $P^{cE}$  و  $P^{dE}$ ) به صورت متغیر تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شوند. محدودیت این متغیرها در روابط (۸) و (۹) بیان شده است که به ترتیب با عناوین محدودیت نرخ شارژ و دشارژ شناخته می‌شوند [۱۸]. پارامترهای  $\lambda^{CR}$  و  $\lambda^{DR}$  به ترتیب معرف نرخ شارژ و دشارژ EVها هستند که بر حسب kW بیان می‌شوند. این پارامترها در ساعت  $\tau$

$$n^B \in \{1, 2, \dots, \bar{n}^B\} \quad (۳)$$

ج) قیود WTها [۱۰]: در این مقاله فرض بر این است که ترتیب قرارگیری WTها در سیستم جزیره‌ای یا مزرعه بادی به گونه‌ای است که سرعت باد برای تمامی WTها یکسان است؛ بنابراین، توان تولیدی حاصل از مزرعه بادی (کل WTها) در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$   $P^W(\tau, \omega)$  بر حسب kW از رابطه (۴) استخراج می‌شود. این رابطه بیان‌کننده چهار ناحیه عملکرد WTها است. در ناحیه اول / چهارم، سرعت باد ( $v$  بر حسب m/s) کمتر / بیشتر از سرعت آستانه<sup>۲۵</sup> ( $v^{CO}$  بر حسب m/s) / سرعت قطع<sup>۲۶</sup> ( $v^{CR}$  بر حسب m/s) است که به توان تولیدی منجر نمی‌شود. در ناحیه دوم که سرعت باد بین  $v^{CR}$  و سرعت نامی<sup>۲۶</sup> ( $v^R$ ) بر حسب m/s قرار دارد، توان تولیدی WTها به صورت خطی با شیب  $n^W P^R$  بر حسب سرعت باد تغییر می‌کند. پارامتر  $P^R$  معرف توان نامی<sup>۲۷</sup> یک WT است که بر حسب kW بیان می‌شود. در ناحیه سوم ( $v^{CO} \leq v \leq v^R$ )، توان تولیدی مزرعه بادی ثابت و برابر  $n^W P^R$  است. در نهایت، محدودیت تعداد WTهای نصب‌شده در سیستم جزیره‌ای ترکیبی همانند قید (۵) بیان می‌شود. در این رابطه، پارامتر  $\bar{n}^W$  معرف حداکثر تعداد WTها است.

$$P^W(\tau, \omega) = \begin{cases} 0 & v(\tau, \omega) \leq v^{CO} \text{ \& } v(\tau, \omega) \geq v^{CR} \\ n^W P^R \frac{v(\tau, \omega) - v^{CR}}{v^R - v^{CR}} & v^{CO} \leq v(\tau, \omega) \leq v^R \\ n^W P^R & v^R \leq v(\tau, \omega) \leq v^{CO} \end{cases} \quad (۴)$$

$$n^W \in \{1, 2, \dots, \bar{n}^W\} \quad (۵)$$

د) قیود ذخیره‌سازها: قیود عملکرد ذخیره‌سازها براساس شروط ۲ و ۳ در بخش ۱-۲ است. شرط اول در رابطه (۶) فرمول‌بندی شده است. در این رابطه چنانچه در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$ ، مجموع توان تولیدی WTها و BEUها از دید ب‌اس DC ( $\eta^c (P^B(\tau, \omega) + P^W(\tau, \omega))$ ) بیش از توان مصرفی بار AC ( $P^A$  بر حسب kW) از دید ب‌اس DC (  $\frac{P^A(\tau, \omega)}{\eta^c}$  ) باشد، ذخیره‌سازها در مد شارژ قرار می‌گیرند؛ بنابراین، مجموع توان شارژی باتری‌ها ( $P^{cBA}$  بر حسب

EVPL تنها به صورت یک مصرف کننده است که توان مصرفی آن در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$  برابر  $P^{cEV}(\tau, \omega)$  است. در این استراتژی،  $P^{cEV}(\tau, \omega)$  نیز برابر  $\lambda^{CR}(\tau, \omega)$  است. عبارت  $\lambda^{CR}(\tau, \omega)$  برابر مجموع نرخ شارژ EVهایی است که از سیستم توان دریافت می کنند. هر EV در صورتی که انرژی ذخیره شده در آن کمتر از BC باشد، توان از سیستم دریافت می کند؛ بنابراین، در این استراتژی  $P^{dE}$  همواره برابر صفر است، پس DOD وجود ندارد؛ بنابراین،  $DC^E$  دارای مقدار صفر است.

$$P^{cE}(\tau, \omega) \in [0, \lambda^{CR}(\tau, \omega)] \quad (۸)$$

$$P^{dE}(\tau, \omega) \in [0, \lambda^{DR}(\tau, \omega)] \quad (۹)$$

$$E^E(\tau, \omega) = E^I(\tau, \omega) + E^E(\tau - 1, \omega) - E^F(\tau, \omega) + \eta^{cE} P^{cE}(\tau, \omega) - \frac{1}{\eta^{dE}} P^{dE}(\tau, \omega) \quad (۱۰)$$

$$E^E(\tau, \omega) \geq 0 \quad (۱۱)$$

$$D^E(\tau, \omega) = 1 - \frac{E^E(\tau, \omega)}{TBC^E(\tau, \omega)} \quad (۱۲)$$

$$CLL^E(\tau, \omega) = \alpha^E + \beta^E D^E(\tau, \omega) + \delta^E (D^E(\tau, \omega))^2 \quad (۱۳)$$

$$DC^E(\tau, \omega) = c^E TBC^E(\tau, \omega) \max \left\{ \frac{CLL^E(\tau, \omega) - CLL^E(\tau - 1, \omega)}{CLL^E(\tau - 1, \omega)}, 0 \right\} \quad (۱۴)$$

با توجه به اینکه ظرفیت یک EV در مقابل ظرفیت سیستم جزیره ای بسیار پایین است، مدل تجمع EVها در پارکینگ (EVPL) مدل سازی شد. علاوه بر این، برنامه ریزی طرح پیشنهادی مبنی بر محاسبه توان اکتیو و انرژی بود؛ بنابراین، مدلی برای EVPL انتخاب شد که در آن محاسبه توان و انرژی انجام شود. فرمول بندی ارائه شده برای EVPL دارای پارامترهای مهم آن است؛ مانند محدودیت نرخ شارژ و دشارژ، انرژی EVها در لحظه اتصال به سیستم، انرژی EVها در لحظه قطع از سیستم (انرژی مصرفی مورد نیاز EVها برای مسافرت در روز آینده)، SOC، DOD و ظرفیت باتری است. این پارامترها در ارائه مدل EVها لازم است که در فرمول بندی این مقاله

به ترتیب برابر مجموع نرخ شارژ و دشارژ EVهای متصل شده به سیستم پیشنهادی هستند [۱۸]. در قید (۱۰) انرژی ذخیره شده در باتری EVها ( $E^E$  بر حسب kWh) محاسبه می شود. این متغیر در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$  ( $E^E(\tau, \omega)$ ) برابر مجموع انرژی اولیه EVها ( $E^I(\tau, \omega)$  بر حسب kWh) و انرژی ذخیره شده در ساعت قبل ( $E^E(\tau - 1, \omega)$ )، انرژی حاصل شده از مدل شارژ EVها ( $\eta^{cE} P^{cE}(\tau, \omega)$ ) منهای انرژی نهایی یا مصرفی مورد نیاز مسافرت EVها ( $E^F(\tau, \omega)$  بر حسب kWh) و انرژی تخلیه شده در مد دشارژ EVها ( $\frac{1}{\eta^{dE}} P^{dE}(\tau, \omega)$ ) است. پارامترهای  $\eta^{cE}$  و  $\eta^{dE}$  به ترتیب معرف راندمان شارژ و دشارژ EVها هستند. پارامتر  $E^I$  در ساعت  $\tau$  برابر با مجموع انرژی اولیه EVهای تازه وصل شده به سیستم است. انرژی اولیه یک EV نیز برابر حاصل ضرب ظرفیت باتری (BC بر حسب kWh) و حالت شارژ<sup>۲۸</sup> (SOC) است. پارامتر  $E^F$  در ساعت  $\tau$  برابر مجموع انرژی نهایی EVهای تازه قطع شده از سیستم است. در این مقاله فرض می شود یک EV باتری خود را کاملاً شارژ می کند، پس انرژی نهایی یک EV برابر BC است. در قید (۱۱) محدودیت انرژی ذخیره شده در باتری EVها بیان شده است که این انرژی همواره باید دارای مقدار مثبت باشد. در قید (۱۲) عمق دشارژ<sup>۲۹</sup> (DOD) برای تجمع EVها در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$  ( $D^E(\tau, \omega)$ ) بدون واحد) محاسبه می شود که آن برابر مابه التفاوت ۱ و نسبت انرژی ذخیره شده EVها ( $E^E(\tau, \omega)$ ) به ظرفیت باتری EVها ( $TBC^E(\tau, \omega)$  بر حسب kWh) است [۱۹]. پارامتر  $TBC^E$  در ساعت  $\tau$  برابر مجموع ظرفیت باتری EVهای موجود در سیستم برای ساعت  $\tau$  است. در قید (۱۳)، از دست رفتن عمر سیکلی<sup>۳۰</sup> برای باتری EVها ( $CLL^E$  بدون واحد) محاسبه می شود که آن براساس [۱۹] دارای یک نمودار سهموی از DOD است. پارامترهای  $\alpha^E$ ،  $\beta^E$  و  $\delta^E$  ضرایب این نمودار سهموی هستند. در نهایت، هزینه فرسودگی برای باتری EVها در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$  ( $DC^E(\tau, \omega)$ ) از رابطه (۱۴) استخراج می شود [۱۹]. در این رابطه، پارامتر  $c^E$  هزینه باتری یک EV است که بر حسب \$ بیان می شود. در استراتژی شارژ غیرهوشمند،



$$E^{BA}(\tau, \omega) \in n^{BA} \times [\underline{E}^{BA} \ \bar{E}^{BA}] \quad (16)$$

$$n^{BA} \in \{1, 2, \dots, \bar{n}^{BA}\} \quad (17)$$

$$D^{BA}(\tau, \omega) = 1 - \frac{E^{BA}(\tau, \omega)}{n^{BA} \bar{E}^{BA}} \quad (18)$$

$$CLL^{BA}(\tau, \omega) = \alpha^{BA} + \beta^{BA} D^{BA}(\tau, \omega) + \delta^{BA} (D^{BA}(\tau, \omega))^2 \quad (19)$$

$$DC^{BA}(\tau, \omega) = c^{BA} n^{BA} \bar{E}^{BA} \max \left( \frac{CLL^{BA}(\tau, \omega) - CLL^{BA}(\tau - 1, \omega)}{CLL^{BA}(\tau - 1, \omega)}, 0 \right) \quad (20)$$

ه) قیود مبدل‌های قدرت [۹]: براساس شکل (۱)، در مسیر WT ها، BEU ها و بار AC مبدل قدرت قرار دارد؛ بنابراین، همانند رابطه (۲۱)، تعداد کل مبدل‌ها ( $n^C$ ) برابر مجموع تعداد مبدل‌های AC/DC در مسیر WT ها ( $n^{CW}$ )، تعداد مبدل‌های AC/DC در مسیر BEU ها ( $n^{CB}$ ) و تعداد مبدل‌های DC/AC در مسیر بار AC ( $n^{CA}$ ) است.  $n^{CB}$  و  $n^{CA}$  به ترتیب از روابط (۲۲)–(۲۳) محاسبه می‌شوند.  $n^{CW} n^{CB}$  برابر نسبت حداکثر توان تولیدی WT ها (BEU ها) به ظرفیت مبدل ( $\bar{P}^C$  بر حسب kW) است. همچنین،  $n^{CA}$  برابر نسبت حداکثر توان مصرفی بار AC از دید ب‌اس DC به  $\bar{P}^C$  است.

$$n^C = n^{CW} + n^{CB} + n^{CA} \quad (21)$$

$$n^{CW} = \frac{\max(P^W)}{\bar{P}^C} \quad (22)$$

$$n^{CB} = \frac{\max(P^B)}{\bar{P}^C} \quad (23)$$

$$n^{CA} = \frac{\max\left(\frac{1}{\eta^C} P^A\right)}{\bar{P}^C} \quad (24)$$

### ۲-۳- مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها

در مسئله (۱)–(۲۴)، پارامترهای گاز عبوری از BEU ها ( $G^B$ )، سرعت باد ( $v$ )، توان مصرفی بار AC ( $P^A$ )، نرخ شارژ و دشارژ EV ها ( $\lambda^{DR}$  و  $\lambda^{CR}$ )، انرژی اولیه و نهایی EV ها ( $E^F$  و  $E^I$ ) و ظرفیت باتری‌ها در EVPL ( $TBC^E$ ) به صورت عدم قطعیت هستند. در این بخش به منظور حذف

وجود دارند؛ بنابراین، فرمول‌بندی بیان‌شده در (۸)–(۱۴) مناسب برای بررسی عملکرد EV ها در سیستم جزیره‌ای خواهد بود.

قیود باتری‌ها: قیود عملکرد باتری‌ها در روابط (۱۵)–(۲۰) ارائه شده‌اند. توان شارژی و دشارژی باتری‌ها به ترتیب

از روابط (۶) و (۷) محاسبه می‌شوند. انرژی ذخیره‌شده در باتری‌ها در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$   $E^{BA}(\tau, \omega)$  بر حسب kWh از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود. متغیر  $E^{BA}(\tau, \omega)$  همانند این رابطه برابر مجموع انرژی ذخیره‌شده باتری‌ها در ساعت قبل ( $E^{BA}(\tau - 1, \omega)$ ) و انرژی حاصل‌شده از مد شارژ باتری‌ها ( $\eta^{cBA} P^{cBA}(\tau, \omega)$ ) منهای انرژی تخلیه‌شده در مد

دشارژ باتری‌ها ( $\frac{1}{\eta^{dBA}} P^{dBA}(\tau, \omega)$ ) است [۱۰]. راندمان

شارژ و دشارژ باتری‌ها به ترتیب با  $\eta^{cBA}$  و  $\eta^{dBA}$  در رابطه (۱۵) نمایش داده شده است. محدودیت انرژی ذخیره‌شده

در باتری‌ها متناسب با قید (۱۶) است و محدودیت تعداد باتری‌های نصب‌شده در سیستم ترکیبی جزیره‌ای برابر قید

(۱۷) است [۱۱]. پارامترهای  $\underline{E}^{BA}$  و  $\bar{E}^{BA}$  به ترتیب معرف حداقل و حداکثر انرژی قابل ذخیره در یک باتری است که

بر حسب kWh هستند. همچنین،  $\bar{n}^{BA}$  برابر حداکثر تعداد باتری‌های قابل نصب در سیستم ترکیبی جزیره‌ای است.

DOD باتری‌ها در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$   $D^{BA}(\tau, \omega)$  بدون واحد) در رابطه (۱۸) فرمول‌بندی شده است که آن برابر

مابه‌التفاوت ۱ و نسبت انرژی ذخیره‌شده باتری‌ها ( $E^{BA}(\tau, \omega)$ ) به ظرفیت کل باتری‌ها ( $n^{BA} \bar{E}^{BA}$ ) است

[۱۹]. در رابطه (۱۹)، از دست رفتن عمر سیکلی برابر باتری‌ها در ساعت  $\tau$  و سناریو  $\omega$   $CLL^{BA}(\tau, \omega)$  بدون

واحد) محاسبه می‌شود. آن نیز همانند EVPL برای باتری‌ها دارای یک نمودار سهموی بر حسب DOD است.  $\alpha^{BA}$ ،

$\beta^{BA}$  و  $\delta^{BA}$  ضرایب نمودار  $CCL^{BA}$  بر حسب  $D^{BA}$  هستند. در نهایت، هزینه فرسودگی برای باتری‌ها در ساعت  $\tau$  و

سناریو  $\omega$   $DC^{BA}(\tau, \omega)$  از رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود [۱۹].

$$E^{BA}(\tau, \omega) = E^{BA}(\tau - 1, \omega) + \eta^{cBA} P^{cBA}(\tau, \omega) - \frac{1}{\eta^{dBA}} P^{dBA}(\tau, \omega) \quad (15)$$

محدودیت‌های (۱۱) و (۱۶) از روش تابع جریمه [۲۴] استفاده می‌شود. در این روش، تابع جریمه قید  $a \leq b$  به صورت  $\mu \max(0, a - b)$  مدل‌سازی می‌شود.  $\mu \geq 0$  معرف ضریب لاگرانژ است که به‌عنوان یک متغیر تصمیم‌گیری شناخته می‌شود [۲۴]. سپس در این روش، تابع برازندگی (FF) همانند رابطه (۲۵) برابر مجموع تابع هدف (۱) و مجموع توابع جریمه است. در قدم بعدی، بهنگام‌سازی متغیرهای تصمیم‌گیری با الگوریتم ترکیبی ALO+KHO انجام می‌شود. در این مرحله، ابتدا ALO (کمینه‌ترین مقدار براساس مذکور را براساس بهینه‌ترین مقدار می‌دهد، سپس KHO فرآیند مذکور را براساس بهینه‌ترین مقدار حاصل از مرحله ALO انجام می‌دهد. در ادامه، نقطه همگرایی زمانی حاصل می‌شود که تعداد مراحل بهنگام‌سازی به حداکثر مقدار خود رسیده باشد. روندنمای حل مسئله در شکل (۲) نمایان است.

$$FF = Cost + \sum_{\omega} \sum_{\tau=1}^{N^{OH}} \mu^E(\tau, \omega) \max(0, -E^E(\tau, \omega)) + \sum_{\omega} \sum_{\tau=1}^{N^{OH}} \left( \bar{\mu}^{BA}(\tau, \omega) \max(0, E^{BA}(\tau, \omega) - n^{BA} \bar{E}^{BA}) + \underline{\mu}^{BA}(\tau, \omega) \max(0, n^{BA} \underline{E}^{BA} - E^{BA}(\tau, \omega)) \right) \quad (25)$$

#### ۴- نتایج عددی

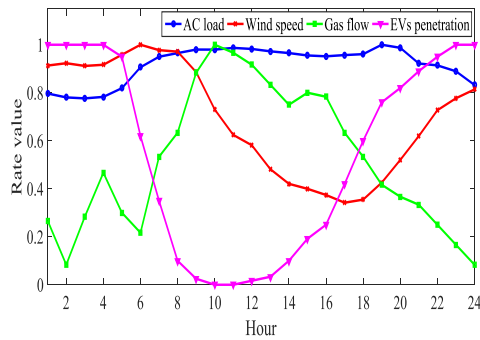
##### ۴-۱- داده مسئله

در این بخش طرح پیشنهادی روی سیستم شکل (۱) متناسب با داده‌های شهر اسپو در فنلاند اعمال می‌شود [۲۵]. پیک بار AC برابر ۲۱ kW است. پروفیل بار برابر حاصل ضرب پیک بار و منحنی روزانه ضریب بار [۲۵] (شکل (۳)) است. حداکثر سرعت باد برابر ۹/۳ m/s است و هر EVPL دارای ۱۰ تا EV است. سرعت باد ساعتی برابر حاصل ضرب حداکثر مقدار این پارامتر و منحنی نرخ سرعت باد است. این منحنی برای WT در شکل (۳) ترسیم شده است [۱۹]. تعداد EVها در هر ساعت برابر حاصل ضرب تعداد کل EVها در EVPL و منحنی نرخ نفوذ EVها است. این منحنی در شکل (۳) مشاهده می‌شود [۲۵]. دیگر داده‌های مسئله از قبیل مشخصات منابع،

شکاف تحقیقاتی سوم در بخش ۱، SBSO مبنی بر ترکیب مکانیزم چرخ رولت<sup>۳۳</sup> (RWM) و روش کانترویچ<sup>۳۴</sup> برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌های مذکور استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا RWM تعداد بالایی سناریو تولید می‌کند. در هر سناریو، مقادیر پارامترهای عدم قطعیت براساس مقدار میانگین و انحراف معیار خودشان تعیین می‌شوند. سپس احتمال مقدار انتخاب‌شده برای گاز عبوری از BEU، سرعت باد و پارامترهای EVPL به ترتیب از تابع توزیع احتمال نرمال [۳]، ویبول [۲۰] و ریلی [۲۰] محاسبه می‌شود. احتمال هر سناریو تولیدشده ( $\pi^0$ ) برابر حاصل ضرب احتمال پارامترهای عدم قطعیت در آن سناریو است. سپس روش کانترویچ [۲۱] به‌عنوان تکنیک کاهش سناریو، تعداد مشخصی از سناریوهای تولیدشده را انتخاب می‌کند؛ به طوری که آنها فاصله نزدیکی به هم داشته باشند. روش کانترویچ این سناریوها را به مسئله اعمال می‌کند. احتمال هر سناریو ( $\pi$ ) برابر نسبت  $\pi^0$  برای این سناریو به مجموع  $\pi^0$  سناریوهای انتخاب‌شده است.

##### ۳- روند حل

فرمول‌بندی (۱)-(۲۴) بیان‌کننده یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی است. در این بخش به منظور دسترسی به راه‌حل تقریباً یکتا با سرعت همگرایی بالا، روند حل مسئله مبنی بر الگوریتم ترکیبی ALO [۲۲] و KHO [۲۳] بیان می‌شود. این دو الگوریتم براساس [۲۲-۲۳] از حل‌کننده‌های قوی در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی مهندسی هستند؛ بنابراین، ترکیب آنها می‌تواند توانایی مطلوب‌تری در حل مسئله داشته باشد که قابلیت‌های این الگوریتم در بخش ۴-۲ الف بررسی می‌شوند. در ادامه برای حل مسئله (۱)-(۲۴)، ابتدا  $N$  (اندازه جمعیت) مقدار تصادفی برای متغیرهای تصمیم‌گیری شامل  $n^B, n^W, n^{BA}$  و  $P^{dE}$  و  $P^{cE}$  به ترتیب براساس قیود (۳)، (۵)، (۱۷)، (۸) و (۹) تعیین می‌شود، سپس  $N$  میزان برای دیگر متغیرهای مسئله با عنوان متغیرهای وابسته براساس مقادیر متغیرهای تصمیم‌گیری و معادلات (۱)، (۲)، (۴)، (۶)، (۷)، (۱۰)، (۱۲)-(۱۵)، و (۱۸)-(۲۴) محاسبه می‌شود. در این بخش برای برآورد



شکل (۳): منحنی روزانه مورد انتظار ضریب بار، نرخ سرعت باد WTها، نرخ گاز عبوری BEUها و ضریب نفوذ EVها

در این مقاله به منظور بررسی قابلیت‌های طرح پیشنهادی، سه مورد مطالعاتی در این بخش در نظر گرفته می‌شود که جزئیات آنها به شرح زیر است:

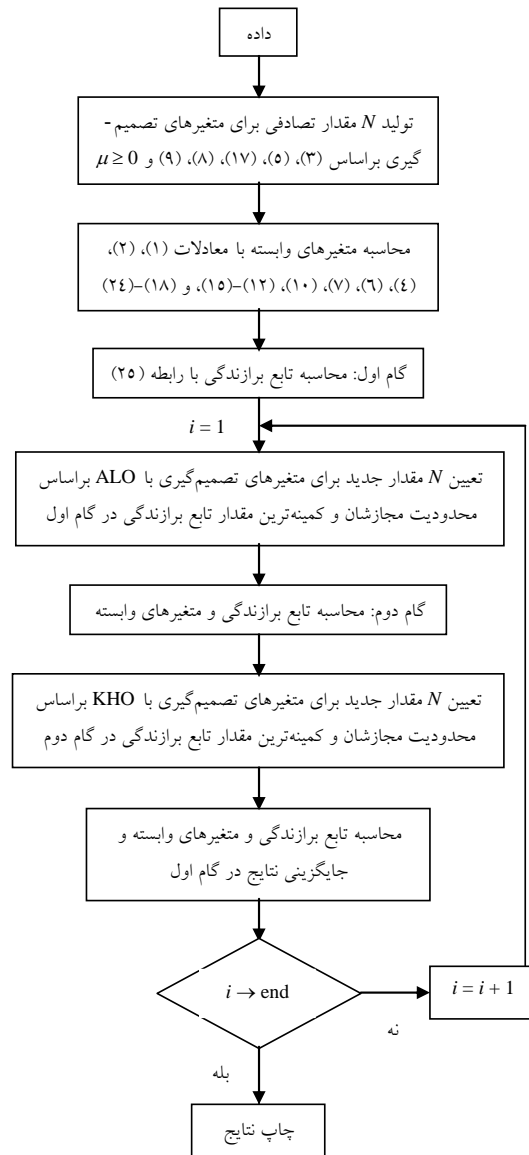
جدول (۲): داده‌های مسئله

۹۳	$\eta^{dBA} (\%)$	۱۰	نرخ بهره (%)
۱۵۵	$\bar{n}^{BA}$	۲۰	افق برنامه‌ریزی (سال)
۱۳۰	$c^{BA} (\$)$		داده WT [۱۰]:
۰	$m^{BA} (\$/year)$	۱	$P^R$ (kW)
۰/۱	$E^{BA} (kWh)$	۲/۵	$v^{CI}$ (m/s)
۱/۳۵	$\bar{E}^{BA} (kWh)$	۱۰	$v^R$ (m/s)
		۱۳	$v^{CO}$ (m/s)
			داده مبدل قدرت [۹]:
۹۰	$\eta^C (\%)$	۴۰	$\bar{n}^W$
۳	$\bar{P}^C (kW)$	۳۲۰۰	$c^W (\$)$
۲۰۰۰	$c^C (\$)$	۵	$m^W (\$/year)$
۰	$m^C (\$/year)$	۲۰	عمر مفید
۱۰	عمر مفید		داده BEU [۹]:
		۳۵	$\eta^B (\%)$
		۳۵	$\rho^{CH_4} (\%)$
۳	$\lambda^{CR} (kW)$	۶۵	$\chi^{CH_4} (kWh/m^3)$
۳	$\lambda^{DR} (kW)$	۱۰	$\bar{n}^B$
۱۲	BC (kWh)	۳۵	$c^B (\$)$
۹۲	$\eta^{cE} (\%)$	۶۵۰۰	$m^B (\$/year)$
۹۳	$\eta^{dE} (\%)$	۱۶/۲۵	عمر مفید
۲۰	SOC (%)	۲۰	داده باتری [۱۰، ۱۹]:
۱۱۰۰	$c^E (\$)$		$\alpha^{BA}, \beta^{BA}, \delta^{BA}$
		۰/۰۰۰۴، ۰/۰۰۲، ۰/۰۱	
	$\alpha^E, \beta^E, \delta^E$	۹۲	$\eta^{cBA} (\%)$
	یکسان با باتری		

ذخیره‌سازها و مبدل‌های قدرت در جدول (۲) بیان شده‌اند.

#### ۴-۲- نتایج

طرح پیشنهادی با داده‌های ارائه شده در بخش قبل به همراه روش حل پیشنهادی در محیط نرم‌افزار MATLAB کدنویسی شده‌اند.



شکل (۲): روندنمای حل مسئله با ALO+KHO

پارامترهای تنظیم الگوریتم مذکور به ترتیب از [۱۱-۱۵] برداشت شده است. همچنین، به منظور محاسبه انحراف معیار پاسخ نهایی (نقطه بهینه در نقطه همگرایی)، مسئله با هر الگوریتم ۳۰ بار حل می‌شود. براساس جدول (۳)، الگوریتم ترکیبی ALO+KHO در تکرار همگرایی ۹۲۲ به نقطه همگرایی دست یافته که الگوریتم ALO+KHO دارای میزان تابع هدف (Cost سالانه) در حدود \$ ۱۷۲۲۴/۶ است؛ اما تکرار همگرایی در الگوریتم‌های غیرترکیبی بیش از ۱۲۶۵ است و میزان تابع هدف بیش از \$ ۱۷۸۲۰ است. براساس جدول (۳)، ALO+KHO دارای پایین‌ترین زمان محاسباتی است؛ زیرا این الگوریتم دارای تکرار همگرایی پایین‌تری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها بود. همچنین، الگوریتم یادشده دارای انحراف معیار پایین‌تری نسبت به الگوریتم‌های غیرترکیبی است؛ به طوری که انحراف معیار در حدود ۰/۹۴٪ است. این مورد ناشی از بهنگام‌سازی متغیرهای تصمیم‌گیری در بیش از یک فرآیند است؛ بنابراین، ALO+KHO قادر است یک راه‌حل بهینه‌تر تقریباً یکتا (دارای انحراف معیار پایین) با سرعت همگرایی بالا را نسبت به الگوریتم‌های غیرترکیبی به دست آورد.

جدول (۳): وضعیت همگرایی مسئله با حل‌کننده‌های مختلف

حل‌کننده	تابع هدف (\$/year)	تکرار همگرایی	زمان محاسباتی (ثانیه)	انحراف معیار (%)
ALO+KHO	۱۷۲۲۴/۶	۹۲۲	۱۲۱	۰/۹۴
ALO	۱۷۸۲۱/۳	۱۲۶۷	۱۴۲	۱/۰۸
KHO	۱۷۹۸۳/۵	۱۴۰۸	۱۴۹	۱/۳۲
GWO	۱۸۵۲۸/۷	۱۷۹۲	۱۷۱	۱/۸۹
CSA	۱۹۰۰۸/۱	۲۰۸۲	۱۹۷	۱/۲۳

ب) برنامه‌ریزی منابع، ذخیره‌سازها و مبدل‌های قدرت در سیستم ترکیبی جزیره‌ای: در جدول (۴) تعداد منابع، باتری‌ها و مبدل‌های قدرت برای موارد مطالعاتی ۱ الی ۳ در سیستم ترکیبی جزیره‌ای گزارش شده‌اند. براساس این جدول، در تمامی موارد مطالعاتی، تعداد کل WT‌های پیشنهادی، یعنی ۴۰ تا براساس جدول (۲)، در سیستم جزیره‌ای احداث می‌شوند؛ زیرا از بین منابع تجدیدپذیر WT، BEU و WT دارای هزینه برنامه‌ریزی پایین‌تری

مورد ۱: طرح پیشنهادی بدون EVPL  
 مورد ۲: طرح پیشنهادی دارای EVPL مبنی بر استراتژی شارژ غیرهوشمند EVها  
 مورد ۳: استفاده از استراتژی شارژ هوشمند برای EVها در طرح پیشنهادی  
 در مورد ۳ که استراتژی شارژ هوشمند EVها استفاده شده است، EVها با اتصال به سیستم، عملیات شارژ و دشارژ را متناسب با خواسته اپراتور سیستم و مالکین خود انجام می‌دهند؛ بنابراین، آنها در کلیه ساعات حضور خود در سیستم می‌توانند خود را کنترل کنند. متناسب با این موضوع، منحنی روزانه تعداد EVها برابر حاصل ضرب تعداد کل EVهای موجود در EVPL (۱۰ تا براساس جدول ۲) و منحنی روزانه نرخ نفوذ EVها در شکل (۳) است؛ ولی در استراتژی شارژ غیرهوشمند EVها، آنها به محض اتصال به سیستم در مد شارژ فعالیت می‌کنند و همواره توانی برابر با نرخ شارژ خود را از سیستم دریافت می‌کنند. سپس بعد از گذشت مدت زمان شارژ خاص خود، دیگر توانی از سیستم دریافت نمی‌کند. در این صورت، EV می‌تواند به صورت قطع شده از سیستم مدل‌سازی شوند. براساس جدول (۲)، نرخ شارژ و ظرفیت باتری یک EV به ترتیب برابر ۳ kW و ۱۲ kWh است. پس مدت زمان شارژ هر EV برابر ۴ (۱۲÷۳) ساعت است؛ از این رو هر EV با اتصال به سیستم بعد از ۴ ساعت از شبکه خارج می‌شود. با توجه به این موضوع و روند واردشدن EVها به سیستم در ساعات ۱۲:۰۰-۲۳:۰۰ براساس شکل (۳)، تعداد EVها براساس استراتژی شارژ غیرهوشمند در ساعات ۱۴:۰۰ الی ۲۱:۰۰ به ترتیب برابر ۱، ۲، ۳، ۶، ۷، ۷، ۱ و است و تعداد آنها در دیگر ساعات صفر است.

الف) بررسی وضعیت همگرایی طرح پیشنهادی: وضعیت همگرایی طرح پیشنهادی، (۱)-(۲۴) با الگوریتم‌های ALO، KHO، ALO+KHO، بهینه‌سازی گرگ خاکستری<sup>۳۳</sup> (GWO) [۲۶] و الگوریتم جستجوی کلاغ‌ها<sup>۳۴</sup> (CSA) [۲۷] برای مورد ۳ در جدول (۳) ارائه شده است. اندازه جمعیت برای الگوریتم مذکور برابر ۸۰ است و فرض شده است آنها بعد از حداکثر ۳۰۰۰ تکرار بهنگام‌سازی به همگرایی دست پیدا می‌کنند. دیگر

## جدول (۵): وضعیت اقتصادی سیستم جزیره‌ای

هزینه احداث سالانه (\$/year)					مورد
کل	مبدل‌ها	باتری‌ها	BEUها	WTها	
۱۷۰۲۱	۲۶۰۰	۲۴۹۶	۵۵۲۵	۶۴۰۰	۱
۲۳۷۲۶	۳۰۰۰	۳۹۲۶	۱۰۴۰۰	۶۴۰۰	۲
۱۶۶۱۸	۲۶۰۰	۱۱۱۸	۶۵۰۰	۶۴۰۰	۳
هزینه تعمیر و نگهداری سالانه (\$/year)					مورد
	مبدل‌ها	باتری‌ها	BEUها	WTها	
۴۷۶		۰	۲۷۶	۲۰۰	۱
۷۲۰			۵۲۰	۲۰۰	۲
۵۳۵			۳۲۵	۲۰۰	۳
هزینه سالانه فرسودگی ذخیره‌ساز (\$/year)					مورد
	باتری‌ها		EVPL		
۵۷/۸	۵۷/۸		۰		۱
۷۶/۴	۷۶/۴				۲
۷۱/۷	۴۱/۸		۲۹/۹		۳
هزینه سالانه برنامه‌ریزی (\$/year)					مورد
	باتری‌ها		EVPL		
	۱۷۵۵۴/۸				۱
	۲۴۵۲۲/۴				۲
	۱۷۲۲۴/۶				۳

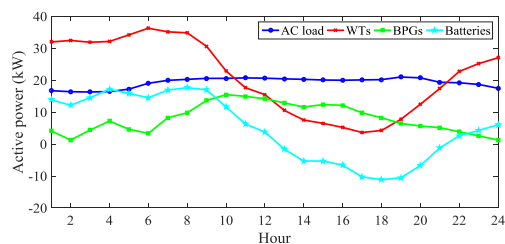
در جدول (۵)، وضعیت اقتصادی طرح شامل هزینه سالانه برنامه‌ریزی، احداث و تعمیر و نگهداری برای منابع، ذخیره‌سازها و مبدل‌های قدرت به همراه هزینه فرسودگی برای باتری‌ها و EVPL گزارش شده است. براساس جدول (۵)، هزینه احداث WTها به‌ازای موارد مطالعاتی مختلف ثابت است؛ ولی آن برای باتری‌ها، مبدل‌ها و BEUها متفاوت است؛ زیرا براساس جدول (۴)، تعداد WTها برای موارد ۱ الی ۳ ثابت بود؛ ولی تعداد برای دیگر عناصر متفاوت است. هزینه تعمیر و نگهداری در موارد مطالعاتی مختلف برای WTها ثابت، برای BEUها متفاوت و برای مبدل‌ها و باتری‌ها برابر صفر است؛ زیرا براساس جدول (۲)، قیمت واحد تعمیر و نگهداری برای باتری‌ها و مبدل‌ها صفر است. همچنین، تعداد WTها (BEUها) در موارد مطالعاتی مختلف براساس جدول (۴) ثابت (متفاوت) است. براساس جدول (۵)، هزینه فرسودگی برای EVPL تنها درباره ۳ وجود دارد. درباره ۱ هیچ EV وجود ندارد. همچنین، DOD متناظر با تخلیه انرژی است. با توجه به اینکه درباره ۲، EVها تنها دریافت‌کننده انرژی هستند،

براساس جدول (۲) است؛ از این رو سیستم مذکور تعداد کل WTها را استفاده می‌کند. درباره ۱، ۱۷ تا BEU احداث می‌شود؛ ولی استراتژی شارژ غیرهوشمند (هوشمند) EVها باعث می‌شود تعداد BEUها به ۳۲ (۲۰) افزایش یابد. این بدین دلیل است که EVها انرژی مورد نیاز خود را برای مسافرت، از سیستم جزیره‌ای دریافت می‌کنند و در باتری خود ذخیره می‌کنند. در مورد ۱ تعداد باتری‌ها و مبدل‌های قدرت به ترتیب برابر ۹۶ و ۲۶ است. استراتژی شارژ غیرهوشمند EVها به افزایش عناصر یادشده به ترتیب به ۱۵۱ و ۳۰ منجر می‌شود. افزایش تعداد مبدل‌ها ناشی از افزایش تعداد BEUها در مورد ۲ نسبت به مورد ۱ است. افزایش تعداد باتری‌ها در مورد ۲ نسبت به مورد ۱ ناشی از این موضوع است که در استراتژی شارژ غیرهوشمند EVها، EVها تنها نقش مصرف‌کننده را دارند. پس انرژی مصرفی سیستم جزیره‌ای درباره ۲ بیشتر از مورد ۱ است. همچنین، در این مورد مطالعاتی تعداد منابع تجدیدپذیر نسبت به مورد ۱ بیشتر است. پس این مورد دارای انرژی تولیدی بیشتر است؛ بنابراین، برای تعادل تولید و مصرف، نیاز به افزایش تعداد باتری‌ها در مورد ۲ نسبت به مورد ۱ است. در مورد ۳، تعداد باتری‌ها نسبت به مورد ۱ به ۴۳ کاهش می‌یابد و تعداد مبدل‌ها تغییر نمی‌یابد. کاهش تعداد باتری‌ها ناشی از این است که در استراتژی شارژ هوشمند EVها، عملیات شارژ و دشارژ برای EVها در نظر گرفته می‌شود. پس EVها با مد دشارژ می‌توانند انرژی مصرفی کمتری را برای سیستم جزیره‌ای نسبت به مورد ۲ ایجاد کنند. در این استراتژی، EVها بر مقدار توان شارژ خود کنترل دارند؛ به طوری که پیش‌بینی می‌شود در ساعاتی که تولید بیشتر از مصرف است، EVها بتوانند بخش درخور توجهی از مازاد تولید را در خود ذخیره کنند (این موضوع در بخش ۴-۲-ج بررسی می‌شود)، پس در این شرایط نیاز به تعداد پایین‌تری باتری نسبت به مورد ۱ است.

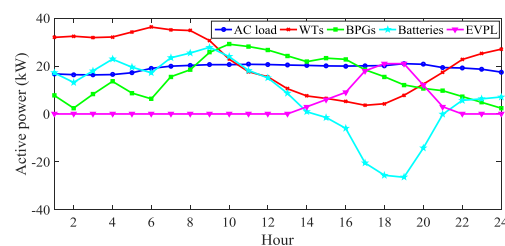
## جدول (۴): تعداد بهینه عناصر سیستم جزیره‌ای

مورد	$n^W$	$n^B$	$n^{BA}$	$n^{CW}$	$n^{CB}$	$n^{CA}$
۱	۴۰	۱۷	۹۶	۱۲	۶	۸
۲	۴۰	۳۲	۱۵۱	۱۲	۱۰	۸
۳	۴۰	۲۰	۴۳	۱۲	۶	۸

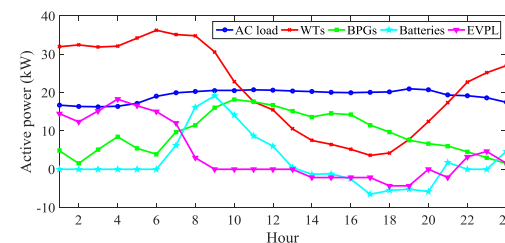
تولیدی منابع تجدیدپذیر بیش از انرژی مصرفی بار AC و EVPL است، باتری‌ها در مد شارژ (مصرف انرژی) هستند و در دیگر ساعات در مد دشارژ (تخلیه انرژی) قرار می‌گیرند.



شکل (۴): منحنی روزانه مورد انتظار توان منابع و ذخیره‌سازها در کنار بار AC برای مورد ۱



شکل (۵): منحنی روزانه مورد انتظار توان منابع و ذخیره‌سازها در کنار بار AC برای مورد ۲



شکل (۶): منحنی روزانه مورد انتظار توان منابع و ذخیره‌سازها در کنار بار AC برای مورد ۳

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، برنامه‌ریزی (اندازه‌یابی) سیستم ترکیبی جزیره‌ای ۱۰۰٪ تجدیدپذیر دارای توربین بادی و منبع انرژی بیوماس به‌همراه ذخیره‌سازهای ساکن (باتری) و سیار (EV) و مبدل‌های قدرت ارائه شدند. طرح پیشنهادی کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های احداث، تعمیر و نگهداری و فرسودگی ذخیره‌سازها برای عناصر یادشده را برعهده

هزینه فرسودگی در موارد ۱ و ۲ صفر است؛ ولی هزینه مذکور برای باتری‌ها در سه مورد مطالعاتی وجود دارد؛ زیرا در تمامی موارد ۱ الی ۳، باتری‌ها در مد دشارژ کار می‌کنند. درنهایت، براساس جدول (۵) دیده می‌شود استراتژی شارژ غیرهوشمند EVها به افزایش هزینه‌های سالانه احداث و تعمیر و نگهداری نسبت به مورد ۱ منجر می‌شود؛ ولی عکس این موضوع درباره ۳ که دارای استراتژی شارژ هوشمند است، وجود دارد. این موضوع‌ها باعث شده است که براساس جدول (۵)، هزینه برنامه‌ریزی درباره ۲ نسبت به مورد ۱ در حدود  $39/7\% (17554/8) \div (17554/8) - 17554/8$  افزایش داشته باشد؛ ولی هزینه برنامه‌ریزی در مورد ۳ نسبت به مورد ۱ در حدود  $1/9\%$  کاهش پیدا کرده است.

ج) عملکرد منابع و ذخیره‌سازها در سیستم جزیره‌ای: منحنی روزانه توان منابع و ذخیره‌سازها در کنار بار AC برای موارد ۱ الی ۳ در شکل‌های (۴)–(۶) ترسیم شده است. براساس این شکل‌ها، منحنی روزانه توان تولیدی WTها (BEUها) ضریبی از پروفیل سرعت باد (گاز عبوری از BEUها) است. این موضوع در روابط (۲) و (۵) نیز اثبات‌شدنی است. توان EVها درباره ۲ تنها در مد شارژ است و این توان در ساعات ۱۴:۰۰ الی ۲۱:۰۰ مقدار دارد. در این مورد، EVها مبنی بر استراتژی شارژ غیر هوشمند هستند. براساس پاراگراف دوم بخش ۴–۲، EVها مبنی بر این استراتژی تنها در ساعات ۱۴:۰۰ الی ۲۱:۰۰ توان از شبکه دریافت می‌کنند که تعداد آنها از ساعت ۱۴:۰۰ به سمت ۱۸:۰۰ روند افزایشی دارد؛ ولی در ساعات ۱۹:۰۰–۲۱:۰۰ تعداد آنها روند کاهشی دارد؛ از این رو، براساس شکل (۵)، توان مصرفی EVها در ساعات ۱۴:۰۰ الی ۱۸:۰۰ از صفر به ۲۱ kW افزایش می‌یابد. در ساعات ۱۹:۰۰ الی ۲۱:۰۰ توان EVها از ۲۱ kW به صفر کاهش می‌یابد. درباره ۳ متناسب با شکل (۶)، در ساعاتی که انرژی تولیدی منابع تجدیدپذیر کمتر از انرژی مصرفی بار AC است، EVها در مد دشارژ قرار می‌گیرند. آنها در ساعات دیگر در مد شارژ هستند و تا جایی که می‌توانند بخش درخور توجهی از مازاد انرژی تولیدی را در خود ذخیره می‌کنند. براساس شکل‌های (۴)–(۶)، در ساعاتی که انرژی

- pp. 4033–4041, 2011.
- [6] Salameh, T., and et al., “Integrated standalone hybrid solar PV, fuel cell and diesel generator power system for battery or supercapacitor storage systems in Khorfakkan, United Arab Emirates”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 46, pp. 6014-6027, 2021.
- [7] Li, C., Zhou, D., Wang, H.I., Cheng, H., Li, D., “Feasibility assessment of a hybrid PV/diesel/battery power system for a housing estate in the severe cold zone—A case study of Harbin, China”, *Energy*, Vol. 185, pp. 671-681, 2019.
- [8] Naderipour, A., and et al., “Hybrid energy system optimization with battery storage for remote area application considering loss of energy probability and economic analysis”, *Energy*, Vol. 239, pp. 122303, 2022.
- [9] Sun, H., and et al., “Designing framework of hybrid photovoltaic-biowaste energy system with hydrogen storage considering economic and technical indices using whale optimization algorithm”, *Energy*, Vol. 238, pp. 121555, 2022.
- [10] Maleki, A., Askarzadeh, A., “Optimal sizing of a PV/wind/diesel system with battery storage for electrification to an off-grid remote region: A case study of Rafsanjan, Iran”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 7, pp. 147-153, 2014.
- [11] Askarzadeh, A., “Distribution generation by photovoltaic and diesel generator systems: Energy management and size optimization by a new approach for a stand-alone application”, *Energy*, Vol. 122, pp. 542-551, 2017.
- [12] Gan, L.K., Shek, J.K.H., Mueller, M.A., “Analysis of Tower Shadow Effects on Battery Lifetime in Standalone Hybrid Wind-Diesel-Battery Systems”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 64, no. 8, pp. 6234-6244, Aug. 2017.
- [13] Ashraf, M.A., and et al., “Designing an optimized configuration for a hybrid PV/Diesel/Battery Energy System based on metaheuristics: A case study on Gobi Desert”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 270, pp. 112467, 2020.
- [14] Marocco, P., Ferrero, D., Lanzini, A., Santarelli, M., “The role of hydrogen in the optimal design of off-grid hybrid renewable energy systems”, *Journal of Energy Storage*, Vol. 46, pp. 103893, 2022.
- [15] Ayodele, T.R., Moselethe, T.C., Yusuff, A.A., Ogunjuyigbe, A.S.O., “Off-grid hybrid renewable energy system with hydrogen storage for South African rural community health clinic”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 46, pp. 19871-19885, 2021.
- [16] Kisacikoglu, M.C., Vehicle-to-Grid reactive power operation analysis of the EV/PHEV bidirectional battery charger, Ph.D. Thesis, University of Tennessee, May 2013.
- [17] Pirouzi, S., Aghaei, J., “Active and Reactive Power Management of Smart Distribution Network Using Electric Vehicles as Mixed Integer Linear Programming Problem”, *Computational*
- داشت. قیود آن شامل مدل بهره‌برداری منابع، ذخیره‌سازها و مبدل‌های قدرت است. با در نظر گرفتن این موضوع که منابع تجدیدپذیر در تغذیه بار AC الویت دارند و ذخیره‌سازها برای پوشش فاصله بین پروفیل بار و تولید تجدیدپذیر استفاده می‌شوند، طرح پیشنهادی دارای عدم قطعیت‌های بار، منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای سیار بود. در ادامه، از بهینه‌سازی تصادفی مبنی بر سناریو برای استخراج برنامه‌ریزی مطمئن برای سیستم جزیره‌ای در برابر خطای پیش‌بینی عدم قطعیت‌ها استفاده شد. سپس الگوریتم ترکیبی ALO+KHO برای حل مسئله استفاده شد. درنهایت، براساس نتایج عددی مشاهده شد حل‌کننده ALO+KHO به استخراج راه‌حل بهینه‌تر با سرعت همگرایی بالاتر نسبت به الگوریتم‌های غیرترکیبی منجر می‌شود. همچنین، انحراف معیار پاسخ‌دهی نهایی در این الگوریتم در حدود ۰/۹۴٪ است که نسبت به الگوریتم‌های غیرترکیبی کمترین است. برنامه‌ریزی بهینه سیستم پیشنهادی مبنی بر استراتژی شارژ غیرهوشمند (هوشمند) EVها به افزایش (کاهش) هزینه برنامه‌ریزی سیستم در حدود ۳۹/۶۷۸٪ (۱/۱۹٪) نسبت به مورد بدون EVها منجر می‌شود.

## مراجع

- [1] Belfkira, R., Zhang, L., Barakat, G., “Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit”, *Solar Energy*, Vol. 85, pp. 100-110, 2011.
- [2] Saki, R., and et al., “A Compromise Solution based on Fuzzy Decision Making for multi-objective Hourly Planning in Clustered Microgrids Considering Uncertainty of Renewable Energy Resources”, *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, Vol. 12, No. 4, pp. 57-72, 2022.
- [3] Voelklein, M.A., Rusmanis, D., Murphy, J.D., “Biological methanation, J.D., “Strategies for in-situ and ex-situ upgrading in anaerobic digestion”, *Applied Energy*, Vol. 235, pp. 1061-1072, 2019.
- [4] Ansari, M.A., and et al., “Renewable generation and transmission expansion planning coordination with energy storage system: A flexibility point of view”, *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 8, pp. 3303, 2021.
- [5] Dufo-López, R., and et al., “Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage”, *Applied Energy*, Vol. 88,

- microgrids considering load and renewable generation uncertainties”, IET Renew. Pow. Gene., Vol. 13, No. 5, pp. 785-800, 2019.
- [23] Rani, R.R., Ramyachitra, D., “Krill Herd Optimization algorithm for cancer feature selection and random forest technique for classification”, IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), Beijing, pp. 109-113, 2017.
- [24] Najy, W.K.A., Zeineldin, H.H., Woon, W.L., “Optimal Protection Coordination for Microgrids With Grid-Connected and Islanded Capability”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 60, No. 4, pp. 1668-1677, April 2013.
- [25] Nord Pool, <https://www.nordpoolgroup.com/historica-l-market-data/>.
- [26] Mirjalili, S.A., Mirjalili, S.M., Lewis, A., “Grey Wolf Optimizer”, Advances in Engineering Software, Vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [27] A. Askarzadeh, “A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm”, Computers and Structures, Vol. 169, pp. 1-12, 2016.
- Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 1-12, 2017.
- [18] Pirouzi, S., and et al., “Proactive operation of electric vehicles in harmonic polluted smart distribution networks”, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol.12, No. 4, pp. 967-975.
- [19] Bozorgavari, S.B., and et al., “Robust planning of distributed battery energy storage systems in flexible smart distribution networks: A comprehensive study”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 123, pp. 109739, 2020.
- [20] Dini, A., and et al., “Grid-connected energy hubs in the coordinated multi-energy management based on day-ahead market framework”, Energy, Vol. 188, pp. 116055, 2018.
- [21] Aghaei, J., and et al., “Risk-constrained offering strategy for aggregated hybrid power plant including wind power producer and demand response provider”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 7, No. 2, pp. 513-525, 2016.
- [22] Das, J.J., and et al., “Scenario-based multi-objective optimisation with loadability in islanded

---

<sup>1</sup> Island hybrid system

<sup>2</sup> Off-grid system

<sup>3</sup> Renewable energy sources (RESs)

<sup>4</sup> Wind turbine (WT)

<sup>5</sup> Photovoltaics (PVs)

<sup>6</sup> Bio-waste energy unit (BEU)

<sup>7</sup> Hybrid system planning

<sup>8</sup> Loss of energy probability (LOEP)

<sup>9</sup> Harmony search algorithm (HSA)

<sup>10</sup> Loss of power supply (LPS )

<sup>11</sup> Particle swarm optimization (PSO)

<sup>12</sup> Eclectic vehicles (EVs)

<sup>13</sup> Degradation cost

<sup>14</sup> Electric vehicles parking lot (EVPL)

<sup>15</sup> Scenario-based stochastic optimization (SBSO)

<sup>16</sup> Ant Lion Optimization (ALO)

<sup>17</sup> Krill herd optimization (KHO)

<sup>18</sup> Smart charging

<sup>19</sup> Non-smart charging

<sup>20</sup> Net present cost

<sup>21</sup> Interest rate

<sup>22</sup> Rate of methane in the gas

<sup>23</sup> Lower heating value of methane

<sup>24</sup> Cut-in speed

<sup>25</sup> Cut-out speed

<sup>26</sup> Rate speed

<sup>27</sup> Rate power

<sup>28</sup> State of charge (SOC)

<sup>29</sup> Depth of discharge (DOD)



<sup>30</sup> Cycle life loss

<sup>31</sup> Roulette wheel mechanism (RWM)

<sup>32</sup> Kontrovich method

<sup>33</sup> Grey wolf optimization (GWO)

<sup>34</sup> Crow search algorithm (CSA)