

Optimization of active networks in the presence of prosumers based on photovoltaic and battery resources

Alireza Alamolhoda¹, *PhD Candidate*,
Reza Ebrahimi^{1*}, *Assist Professor*
Mahmood Samiei Moghadam², *Assist Professor*
Mahmood Ghanbari¹, *Associate Professor*

¹Department of Electrical Engineering, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

²Department of Electrical Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran
reza.ebrahimi@iau.ac.ir

Abstract:

In this study, an approach based on mixed integer quadratic conic programming is proposed for energy management of active distribution networks with renewable energy-based prosumers (photovoltaics and energy storage). In this approach, a multi-objective model is formulated to reduce the electricity cost of processors, the cost of network energy losses, and the cost of renewable power outages. The goal of this model is to optimize the performance of the distribution network under conditions of resource uncertainty. The simulation results in different distribution networks (33 buses and 69 buses) showed that the proposed method is significantly more effective in reducing energy losses, reducing voltage deviations, and improving load distribution than conventional methods such as Gray Wolf and Genetic algorithms. Specifically, the energy losses in the proposed method in the 69-bus network have been reduced by 0.2547 MW, which is a significant reduction compared to the Gray Wolf (0.3258 MW) and Genetic (0.3547 MW) algorithms. Also, the lowest voltage in the proposed method is equal to 0.9821 per unit, which is higher than the other algorithms (0.9721 and 0.9701 per unit). Compared to other methods, the peak load in the proposed method is reduced to 0.470 MW, which is an improvement over the Gray Wolf (0.521 MW) and Genetic (0.587 MW) algorithms. Also, the computation time in the proposed method is only 4 seconds, which is significantly faster than the Gray Wolf (69 seconds) and Genetic (196 seconds) algorithms. These results indicate the high capability of the proposed method in reducing energy losses, improving voltage quality, and increasing the efficiency of prosumers in active distribution networks.

Keywords: Distribution network, storage system, renewable resources, prosumers.

Date of sending the article: 2024/05/30

Acceptance date of the article: 2025/02/28

Name of the Corresponding : Reza Ebrahimi

Corresponding Author's Address: reza.ebrahimi@iau.ac.ir

بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع فعال در حضور پروسیمورهای مبتنی بر منابع فتوولتائیک و باتری

علیرضا علم الهدی^۱، دانشجو دکتری، رضا ابراهیمی^{۱*}، استادیار، محمود سمیعی مقدم^۲، استادیار، محمود قنبری^۱، دانشیار

۱- گروه مهندسی برق، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۲- گروه مهندسی برق، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

چکیده: در این مطالعه، یک رویکرد مبتنی بر برنامه‌ریزی مخروطی درجه دوم عدد صحیح مرکب برای مدیریت انرژی شبکه‌های توزیع فعال با پروسیمورهای مبتنی بر منابع تجدیدپذیر (فتوولتائیک و ذخیره‌سازی انرژی) پیشنهاد شده است. در این رویکرد، یک مدل چند هدفه برای کاهش هزینه برق پروسیمورها، هزینه تلفات انرژی شبکه و هزینه قطع توان منابع تجدیدپذیر فرمول‌بندی شده است. هدف این مدل، بهینه‌سازی عملکرد شبکه توزیع در شرایط عدم قطعیت منابع است. نتایج شبیه‌سازی‌ها در شبکه‌های توزیع مختلف (۳۳ باس و ۶۹ باس) نشان داد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های متداول مانند الگوریتم‌های گرگ خاکستری و ژنتیک، به طور قابل توجهی در کاهش تلفات انرژی، کاهش انحراف ولتاژ و بهبود توزیع بار موثرتر است. به طور خاص، تلفات انرژی در روش پیشنهادی در شبکه ۶۹ باس به میزان ۰.۲۵۴۷ مگاوات کاهش یافته است که نسبت به الگوریتم گرگ خاکستری (۰.۳۲۵۸ مگاوات) و ژنتیک (۰.۳۵۴۷ مگاوات) کاهش قابل توجهی دارد. همچنین، کمترین ولتاژ در روش پیشنهادی برابر با ۰.۹۸۲۱ پیرونیت بوده که از الگوریتم‌های دیگر (۰.۹۷۲۱ و ۰.۹۷۰۱ پیرونیت) بالاتر است. در مقایسه با سایر روش‌ها، پیک بار در روش پیشنهادی به ۰.۴۷۰ مگاوات کاهش یافته که نسبت به الگوریتم‌های گرگ خاکستری (۰.۵۲۱ مگاوات) و ژنتیک (۰.۵۸۷ مگاوات) بهبود یافته است. همچنین، زمان محاسبات در روش پیشنهادی تنها ۴ ثانیه است که به طور قابل توجهی سریع‌تر از الگوریتم‌های گرگ خاکستری (۶۹ ثانیه) و ژنتیک (۱۹۶ ثانیه) است. این نتایج نشان‌دهنده قابلیت بالای روش پیشنهادی در کاهش تلفات انرژی، بهبود کیفیت ولتاژ و افزایش بهره‌وری پروسیمورها در شبکه‌های توزیع فعال است.

کلیدواژه‌ها: شبکه توزیع، سیستم ذخیره‌سازی، منابع تجدیدپذیر، پروسیمورها.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

نام نویسنده مسئول: دکتر رضا ابراهیمی

نشانی نویسنده مسئول: گروه مهندسی برق، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۱- مقدمه

انتظار می‌رود که با توجه به استراتژی آب و هوا و انرژی کمیسیون اروپا نفوذ بالای ادغام سیستم‌های فتوولتائیک (PV) در شبکه برق با هدف دستیابی به کربن‌زدایی کامل از عرضه انرژی اروپا تا سال ۲۰۵۰ ادامه یابد. لذا در مواردی که PV های عظیم در یک شبکه توزیع ادغام می‌شوند پایداری و کیفیت توان شبکه عمدتاً به دلیل غیرقابل کنترل بودن تولید PV با چالش‌های جدی روبرو می‌شود. سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی (ESS) یا باتری‌ها می‌توانند در کنار PV ها برای جبران اثرات منفی تولید متناوب مورد استفاده قرار گیرند. باتری‌ها مدیریت بهینه انرژی تولید شده توسط PV ها را امکان پذیر می‌کند که می‌تواند برای کاهش پیک، تراز کردن سطح بار و کاهش هزینه خرید و فروش برق مورد استفاده قرار گیرد. از قابلیت‌های دیگر ESS ها فراهم کردن فرصت‌های جدید بازار انرژی برای پروسیومرز (کاربرانی که انرژی مصرف می‌کنند، تولید می‌کنند، ذخیره می‌کنند و می‌فروشند) است که می‌توانند مدیریت برق خود را مطابق با اطلاعات قیمت بازار برق بهینه کنند. از آنجایی که اقدامات پروسیومرز می‌تواند بر عملکرد ایمن شبکه توزیع فشار ضعیف تأثیر بگذارد، اپراتور سیستم توزیع و پروسیومرز باید هماهنگ باشند. هدف این مطالعه توسعه یک استراتژی مدیریت انرژی برای به حداکثر رساندن سود پروسیومرز در شبکه‌های توزیع با ادغام گسترده PVS-ESSs، در عین حفظ عملکرد شبکه ایمن، قابل اعتماد و مقرون‌به‌صرفه است. در [Y. Cai و همکاران، ۲۰۱۷] یک رویکرد بازی تصادفی برای بهبود ولتاژ شبکه توزیع مبتنی بر پروسیومرهای PV پیشنهاد شده است. در [H. Saber و همکاران، ۲۰۲۲] چارچوبی برای اپراتور شبکه‌های توزیع سه فاز پیشنهاد می‌کند تا از یکپارچگی شبکه‌های MV-LV با استفاده از محدودیت‌های عملیاتی پویا برای پروسیومرها اطمینان حاصل کند. در [J. Hu و

همکاران، ۲۰۲۳] یک مدیریت هماهنگ انرژی پروسیومرها در یک سیستم توزیع با توجه به تراکم شبکه با هدف بهبود قابلیت اطمینان و هزینه‌های سیستم پیشنهاد شده است. در [L. Chen و همکاران، ۲۰۲۲] نویسندگان یک مدل هماهنگ کاربرپسند برای پروسیومرهای مسکونی با در نظر گرفتن عدم تعادل ولتاژ در شبکه‌های توزیع با هدف رضایت خانوار و کاهش مشکلات شبکه توزیع پیشنهاد شده است. در مرجع [W. F. Ceccon و همکاران، ۲۰۲۱] به منظور حل مشکلات مدیریت انرژی پروسیومر و کنترل متصل به شبکه آن یک روش مدیریت انرژی پروسیومر بر اساس بار هوشمند با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات پیشنهاد شده است. در [M. MansourLakouraj و همکاران، ۲۰۲۱] یک مدل بهینه‌سازی برای مدیریت انرژی شبکه توزیع و پروسیومرهای مبتنی بر باتری و PV با هدف کاهش هزینه تلفات شبکه و افزایش سود پروسیومرها پیشنهاد شده است. در [L. Tziouvanil و همکاران، ۲۰۲۲] یک مدل تصادفی انعطاف پذیر برای بهره‌برداری بهینه ریزشبکه‌های جزیره‌ای در حضور پروسیومرهای با نفوذ بالای منابع تجدیدپذیر به منظور کاهش شیب تغییرات بار شبکه پیشنهاد شده است. در مرجع [K. Petrou et al، ۲۰۲۱] یک چارچوب چند عاملی برای سیستم توزیع که در آن پروسیومرها با حق بیمه‌های مختلف تعادلی تشویق می‌شوند تا برق خود را در یک جامعه محلی متعادل کنند پیشنهاد شده است. در [G. Ma و همکاران، ۲۰۲۰] یک مدیریت انرژی مبتنی بر برنامه ریزی خطی عدد صحیح مرکب در زمان واقعی برای جامعه پروسیومرز هماهنگ شده با مرکز انرژی از دیدگاه تعاونی با مدیریت سمت تقاضا ارائه شده است. نویسندگان در [L. Ma و همکاران، ۲۰۱۹] یک سیستم مدیریت هوشمند توان برای به حداکثر رساندن سود اقتصادی در یک واحد پروسیومرز مسکونی بدون سیستم‌های ذخیره انرژی را پیشنهاد کردند. در [Atefeh Zomorodi Moghadam و همکاران،

[Mehdi Mohammadjafari] و همکاران، ۲۰۲۰] روش تکاملی برای توزیع اقتصادی انتشار در میکروگریدها را پیشنهاد کرده و [Xin Ai و همکاران، ۲۰۱۹] رویکردی توزیع شده برای مدیریت انرژی پروسیومرها با ذخیره سازی ارائه می دهد. روش بهینه سازی توزیع با استفاده از قیمت های حاشیه ای مکانی توسط [Jiaqi Chen و همکاران، ۲۰۱۹] معرفی شده و [Mohsen Zanganeh و همکاران، ۲۰۲۳] روش تکاملی برای بهینه سازی سیستم های توزیع را پیشنهاد می کند. [H. Karimianfard و همکاران، ۲۰۲۲] یک مدل تصادفی برای هماهنگی شبکه های برق و گاز ارائه می دهد و [Doagou-Mojarrad H و همکاران، ۲۰۲۱] چارچوبی احتمالی برای مدیریت ازدحام در انتقال را معرفی کرده است. [Prajapati VK و همکاران، ۲۰۲۳] رویکرد جامعی برای مدیریت ازدحام با استفاده از تولید پراکنده و باتری ارائه می دهد و [Drir N و همکاران، ۲۰۲۱] یک شبکه عصبی برای مدیریت انرژی خانگی در خانه های خورشیدی معرفی می کند. [Patil MD و همکاران، ۲۰۲۱] چارچوب مدیریت انرژی بر ای هماهنگی شارژ خودروهای الکتریکی با سیستم های توزیع با استفاده از بهینه سازی سلول مصنوعی بهبود یافته و الگوریتم شکارچیان دریایی را پیشنهاد می کند. با توجه به جدول (۱) می توان شکاف مطالعاتی را در زمینه شبکه های توزیع فعال در حضور پروسیومرها مشاهده نمود. این مقاله تنها مطالعه ای است که یک مدل کامل با در نظر گرفتن عدم قطعیت منابع، تابع چند هدفه، پروسیومرهای مبتنی بر PV و باتری را با مدل سازی تلفات و ولتاژ شبکه توزیع در نظر گرفته است، همچنین از حل کننده قدرتمند Gurobi که می توان جواب های بهینه سراسری را تضمین کرد استفاده شده است، که نسبت به حل کننده های مشابه توانایی بیشتری در رسیدن به جواب های بهینه سراسری در مسائل سخت دارد.

۲۰۲۲] یک سیستم دو مرحله ای برای متعادل سازی شبکه بر اساس رفتار پروسیومرها ارائه می دهد. در [Haoran Li و همکاران، ۲۰۲۲] مدلی برای کاهش هزینه ها در پروسیومرهای حرارتی با استفاده از ذخیره سازی حرارتی معرفی کرده است. مرجع [Yu Zhou و همکاران، ۲۰۲۰] یک چارچوب بهینه سازی دو سطحی برای توزیع توان راکتیو پیشنهاد می کند و [Vahid Sarfil و همکاران، ۲۰۲۰] کنترل بهینه ولت/وار را برای کاهش تلفات توان معرفی می کند. مدل انتشار کربن برای شبکه هایی با منابع تجدیدپذیر و ذخیره سازی توسط [Chao Yang و همکاران، ۲۰۲۳] ارائه شده است. [Ivan Postnikov و همکاران، ۲۰۲۳] از یک مدل مارکوف برای بهینه سازی قابلیت اطمینان سیستم گرمایشی استفاده می کند. [Yasin Zabihinia و Gerdroodbari و همکاران، ۲۰۲۲] چارچوبی برای تعیین حدود عملیاتی PQ پویا ارائه کرده است و [A. Rajaei و همکاران، ۲۰۲۱] از ADMM برای زمان بندی چندعامله قوی بهره می برد. روش مدیریت انرژی هیبریدی AC-DC با منطق فازی توسط [B. Liu et al، ۲۰۱۹] پیشنهاد شده و [Z. Wang و همکاران، ۲۰۱۳] استراتژی مدیریت انرژی منطقه ای خانگی برای پاسخ به تقاضا را ارائه می دهد. [Luo و همکاران، ۲۰۲۰] یک روش دو مرحله ای برای مدیریت ازدحام در شبکه های فعال با منابع انرژی متنوع معرفی می کند و [W. Wu et al، ۲۰۲۲] سیستم کنترل بلادرنگ برای شبکه های توزیع و انتقال یکپارچه با استفاده از نقشه یاب را معرفی کرده است. مکانیزم اشتراک انرژی مبتنی بر پروسیومر برای به حداکثر رساندن رفاه اجتماعی توسط [S. Yang et al، ۲۰۲۲] پیشنهاد شده است. [Z. Hu and F. Li، ۲۰۱۲] از شبیه سازی های سری زمانی برای مدیریت خودمختار شبکه استفاده می کند و [Amirreza Naderipour و همکاران، ۲۰۲۲] یک روش ترکیبی برای سیستم های PV-باد-باتری مقرون به صرفه معرفی می کند.

جدول (۱) مقایسه این مطالعه با مقالات مشابه

مرجع	تصادفی	چند هدفه	منبع فتوولتائیک	سیستم ذخیره انرژی	پروسیومرز	در نظر گرفتن شبکه	نوع مدل
[Y. Cai و همکاران، ۲۰۱۷]	✓	-	✓	-	✓	✓	MILP
[H. Saber و همکاران، ۲۰۲۲]	-	-	✓	✓	✓	✓	MILP
[J. Hu و همکاران، ۲۰۲۳]	✓	✓	✓	✓	✓	-	Linear
[L. Chen و همکاران، ۲۰۲۲]	-	-	✓	✓	✓	✓	Non-linear
[W. F. Ceccon و همکاران، ۲۰۲۱، M. MansourLakouraj و همکاران، ۲۰۲۱]	-	✓	✓	✓	✓	✓	SOCP
[L. Tziovani و همکاران، ۲۰۲۲]	✓	-	✓	✓	✓	-	MILP
[K. Petrou et al، ۲۰۲۱]	-	✓	-	-	✓	✓	Non-linear
[G. Ma و همکاران، ۲۰۲۰]	✓	✓	✓	-	✓	-	MILP
[L. Ma و همکاران، ۲۰۱۹]	✓	-	✓	-	✓	-	Non-linear
این مطالعه	✓	✓	✓	✓	✓	✓	MISOCP

در اینجا شاخص گره شبکه با n و مجموعه آن با N و شاخص زمانی با t و مجموعه آن با T نشان داده شده است. شاخص خطوط شبکه با nm و مجموعه آن با B نشان داده شده است. همچنین شاخص سناریو با S و مجموعه آن با S در نظر گرفته شده است، در این مقاله عدم قطعیت منابع فتوولتائیک مبتنی بر روش سناریو گسسته انجام شده است. رابطه (۱) اولین تابع هدف در نظر گرفته شده می باشد که کاهش هزینه خرید و فروش انرژی پروسیومرزها می باشد. در اینجا C_t^S و C_t^B به ترتیب برابر ضریب هزینه متناظر با خرید $(P_{n,t}^b)$ و فروش $(P_{n,t}^s)$ توان در ساختمان در باس n در زمان t می باشد. در اینجا ΔT برابر بلندی تایم-اسلات می باشد، که برابر ۱ ساعت در نظر گرفته شده است. رابطه (۲) تابع هدف دوم در نظر گرفته شده را نشان می دهد. در اینجا کمینه سازی هزینه تلفات به عنوان دومین هدف در نظر گرفته شده است، که

با توجه به جدول (۱) و تفاوت های این مطالعه نسبت به مطالعات پیشنهادی می توان نوآوری های این مقاله را به شرح زیر تقسیم بندی نمود:

(۱) از نظر حل مسئله؛ در نظر گرفتن یک مدل مخروطی عدد صحیح مرکب و حل آن توسط حل کننده قدرتمند Gurobi و تضمین جواب های بهینه سراسری.

(۲) از نظر مدل سازی؛ ارائه یک چارچوب مدیریت انرژی در شبکه های توزیع فعال با در نظر گرفتن اهداف شبکه و پروسیومرهای مبتنی بر باتری و PV با عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر.

۲. مدل سازی پیشنهادی

انرژی ذخیره شده در باتری را نشان می‌دهد که $d_{n,t}^B$ برابر حداکثر مقدار تخلیه انرژی در باتری را نشان می‌دهد. در (۱۹) وضعیت اولیه انرژی در باتری را نشان می‌دهد که $I_{n,t}^B$ برابر مقدار درصد اولیه انرژی در باتری است.

$$F_1(\mathbf{P}^b, \mathbf{P}^s) = \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} (c_t^b P_{n,t}^b - c_t^s P_{n,t}^s) \Delta T \quad (۱)$$

$$F_2(\mathbf{L}) = \sum_{nm \in B} \sum_{t \in T} c_t^b (r_{nm} l_{nm,t}) \Delta T \quad (۲)$$

$$F_3(\mathbf{P}^P) = \sum_{s \in S} \sigma_s \left(\sum_{n \in N} \sum_{t \in T} c_t^p (\bar{P}_{n,t,s}^P - P_{n,t}^P) \Delta T \right) \quad (۳)$$

$$F_T = \min(F_1 + F_2 + F_3) \quad (۴)$$

$$s. t. P_{n,t}^b, P_{n,t}^s \geq 0 \quad \forall n \in N, t \in T \quad (۵)$$

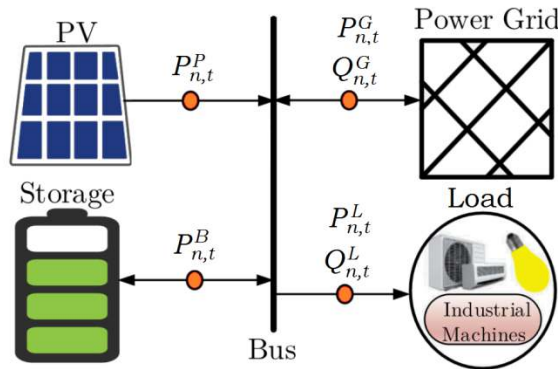
$$c_t^b \geq c_t^s \quad \forall t \in T \quad (۶)$$

$$P_{n,t}^G = P_{n,t}^b - P_{n,t}^s \quad \forall n \in N, t \in T \quad (۷)$$

$$\begin{aligned} P_{nm,t} &= r_{nm} l_{nm,t} + P_{n,t}^G \\ &+ \sum_{k \in N_k, k \neq n} P_{mk,t} \quad \forall nm \in B, t \in T \end{aligned} \quad (۸)$$

$$\begin{aligned} Q_{nm,t} &= x_{nm} l_{nm,t} + Q_{n,t}^L \\ &+ \sum_{k \in N_k, k \neq n} Q_{mk,t} \quad \forall nm \in B, t \in T \end{aligned} \quad (۹)$$

x_{nm} و r_{nm} به ترتیب نشان‌دهنده مقاومت و راکتانس خط و $l_{nm,t}$ مربع شار جریان خط را نشان می‌دهد. در تابع هدف سوم (۳) کاهش قطع توان منابع فتوولتائیک در نظر گرفته شده است، در اینجا σ_s برابر احتمال هر سناریو، $\bar{P}_{n,t,s}^P$ نشان‌دهنده توان واقعی فتوولتائیک در هر سناریو و $P_{n,t}^P$ نیز توان بهره‌برداری شده فتوولتائیک می‌باشد. هزینه قطع توان فتوولتائیک با c_t^p نشان داده شده است. در نهایت (۴) نشان‌دهنده تابع چند هدفه پیشنهادی می‌باشد. محدودیت (۵) نشان می‌دهد که توان خریداری شده و یا فروخته شده بزرگ‌تر یا مساوی صفر است. در (۶) نشان می‌دهد که باید پارامتر هزینه خرید انرژی بزرگتر یا برابر فروش انرژی است. محدودیت (۷) تعادل خرید و فروش انرژی بین ساختمان در باس n و شبکه را نشان می‌دهد، که $P_{n,t}^G$ نشان‌دهنده تبادل توان اکتیو بین ساختمان در باس n و شبکه است. رابطه (۸) و (۹) به ترتیب تعادل توان حقیقی و راکتیو را در شبکه نشان می‌دهد. شار توان حقیقی و راکتیو خطوط به ترتیب با $P_{nm,t}$ و $Q_{nm,t}$ نشان داده شده است. رابطه (۱۰) تعریف ولتاژ مربعی باس شبکه $(v_{n,t})$ را نشان می‌دهد. رابطه (۱۱) شار توان را با ولتاژهای شین و جریان خط مرتبط می‌کند. در (۱۲) محدودیت ولتاژ باس شبکه نشان داده شده است. در اینجا $\bar{v}_n = 1.1^2$ و $\underline{v}_n = 0.9^2$ حد بالا و پایین ولتاژ مربعی باس شبکه می‌باشد. تعادل توان در ساختمان با یک پروسیمورز در (۱۳) نشان داده شده است. در رابطه (۱۴) محدودیت بهره‌برداری از فتوولتائیک نشان داده شده است. رابطه (۱۵) انرژی مانده در باتری را نشان می‌دهد، که $E_{n,t}^B$ و $P_{n,t}^{ch}$ و $P_{n,t}^{dis}$ به ترتیب برابر انرژی باتری، توان شارژ و توان دشارژ باتری است. رابطه (۱۶) و (۱۷) به ترتیب محدودیت توان شارژ و دشارژ باتری را مدل می‌کند، در اینجا X_n^B و Z_n^B برابر ظرفیت باتری و متغیر باینری نشان‌دهنده وضعیت شارژ و دشارژ باتری است. همچنین η_{ch} و η_{dis} نشان‌دهنده راندمان شارژ و دشارژ باتری می‌باشد. در (۱۸) محدودیت



شکل (۱) رویکرد پیشنهادی برای مدیریت انرژی شبکه توزیع فعال

در این بخش مدل سازی پیشنهادی معرفی شد، در بخش بعدی شبکه های مورد مطالعه و نتایج شبیه سازی ارائه می گردد.

۳- نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج شبیه سازی ارائه می شود. شبکه توزیع ۳۳ باس برای تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. پروسیومرهای روی باس های ۶، ۱۴، ۲۱، ۲۶ و ۳۲ قرار دارد. پروسیومرهای شامل بار خود، منبع PV و باتری می باشد. نتایج شبیه سازی در چندین مورد مختلف بررسی و مقایسه شده است که به شرح زیر می باشد.

حالت اول: بدون در نظر گرفتن مدیریت سمت تقاضا.

حالت دوم: در نظر گرفتن مدیریت سمت تقاضا با ۵ درصد تغییرات بار.

حالت سوم: در نظر گرفتن مدیریت سمت تقاضا با ۱۰ درصد تغییرات بار.

طبق جدول (۲)، در حالت اول، شبکه ۳۳ باس بدون هیچ گونه مدیریت سمت تقاضا بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که تلفات انرژی در این حالت ۰.۱۹۰۶ مگاوات است

$$v_{n,t} = v_{m,t} - 2(r_{nm}P_{nm,t} + x_{nm}Q_{nm,t} + (r_{nm}^2 + x_{nm}^2)l_{nm,t}) \quad \forall nm \in B, t \in T \quad (10)$$

$$l_{nm,t}v_{n,t} \geq P_{nm,t}^2 + Q_{nm,t}^2 \quad \forall nm \in B, t \in T \quad (11)$$

$$\underline{v}_n \leq v_{n,t} \leq \bar{v}_n \quad \forall n \in N, t \in T \quad (12)$$

$$P_{n,t}^G = P_{n,t}^L - P_{n,t}^P - P_{n,t}^{dis} + P_{n,t}^{ch} \quad \forall n \in N, t \in T \quad (13)$$

$$0 \leq P_{n,t}^P \leq \bar{P}_{n,t,s}^P \quad \forall n \in N, t \in T, s \in S \quad (14)$$

$$E_{n,t+1}^B = E_{n,t}^B + (\eta_{ch}P_{n,t}^{ch} - 1/\eta_{dis} \times P_{n,t}^{dis})\Delta T \quad \forall n \in N, t \in T \quad (15)$$

$$0 \leq P_{n,t}^{ch} \leq z_{n,t}^B X_n^B \quad \forall n \in N, t \in T, z \in \{0,1\} \quad (16)$$

$$0 \leq P_{n,t}^{dis} \leq (1 - z_{n,t}^B)X_n^B \quad \forall n \in N, t \in T, z \in \{0,1\} \quad (17)$$

$$X_n^B \times d_{n,t}^B \leq E_{n,t}^B \leq X_n^B \quad \forall n \in N, t \in T \quad (18)$$

$$E_{n,t}^B = I_{n,t}^B X_n^B \quad \forall n \in N, t = 1 \quad (19)$$

که نسبت به حالت های دیگر بیشتر است. این امر می تواند به دلیل عدم کنترل بر تقاضا و جریان های بالاتر در شبکه باشد. کمترین ولتاژ در این حالت ۰.۹۸۳۳ پریونیت است که به نسبت حالت های دیگر پایین تر است، نشان دهنده افت ولتاژ بیشتر در شبکه است. بیشترین ولتاژ نیز در این حالت ۱.۰۱۷۱ پریونیت است که از دیگر حالت ها بیشتر است. این نوسانات ولتاژ نشان دهنده عدم بهینه سازی شبکه در غیاب مدیریت سمت تقاضا است. همچنین، هیچ گونه قطع بار در این حالت گزارش نشده و کل فروش برق پروسیومرها (تولید کنندگان و مصرف کنندگان) ۱۹.۸۵ مگاوات و کل خرید برق ۲.۴۳ مگاوات است. پیک بار در این حالت ۰.۴۱ مگاوات بوده و زمان محاسبه ۲ ثانیه است.

در حالت دوم، مدیریت سمت تقاضا با ۵ درصد تغییرات بار اعمال شده است. تلفات انرژی در این حالت به ۰.۱۶۲ مگاوات کاهش یافته که نشان دهنده بهبود عملکرد شبکه با مدیریت تقاضا است. کمترین ولتاژ ۰.۹۸۸۷ پریونیت و بیشترین ولتاژ ۱.۰۰۴ پریونیت است که هر دو مقدار نسبت به حالت اول بهبود یافته اند و نشان دهنده پایداری بیشتر ولتاژ در شبکه است. مانند حالت اول، هیچ قطع باری در این حالت مشاهده نمی شود. کل فروش برق پروسیومرها به ۱۹.۳۵ مگاوات کاهش یافته که ممکن است به دلیل کاهش تلفات انرژی و بهینه تر شدن توزیع بار باشد. کل خرید برق نیز به ۲.۴۵ مگاوات افزایش یافته است. پیک بار در این حالت به ۰.۳۸۶ مگاوات کاهش یافته که نشان دهنده توزیع بهتر بار در شبکه است. زمان محاسبه در این حالت ۳ ثانیه بوده که کمی بیشتر از حالت های دیگر است.

در حالت سوم، مدیریت سمت تقاضا با ۱۰ درصد تغییرات بار اعمال شده است. تلفات انرژی به ۰.۱۳۹ مگاوات کاهش یافته که کمترین مقدار در بین سه حالت است و نشان دهنده بیشترین بهینه سازی در شبکه است. کمترین ولتاژ در این

حالت ۰.۹۸۸۹ پریونیت و بیشترین ولتاژ ۱.۰۰۳ پریونیت است که این مقادیر نیز نشان دهنده پایداری بیشتر ولتاژ و بهینه ترین حالت ولتاژ در شبکه است. همانند حالت های قبل، هیچ گونه قطع باری در این حالت مشاهده نمی شود. کل فروش برق پروسیومرها به ۱۹.۱۵ مگاوات و کل خرید برق به ۲.۴۷ مگاوات افزایش یافته که می تواند به دلیل افزایش بهره وری و کاهش تلفات باشد. پیک بار در این حالت به ۰.۳۶۹ مگاوات کاهش یافته که کمترین مقدار در بین سه حالت است، نشان دهنده بهترین توزیع بار در شبکه است. زمان محاسبه نیز در این حالت ۲ ثانیه بوده که مشابه با حالت اول است.

از تجزیه و تحلیل داده های جدول می توان نتیجه گرفت که اعمال مدیریت سمت تقاضا تاثیر قابل توجهی بر بهینه سازی شبکه ۳۳ باس دارد. با افزایش میزان مدیریت سمت تقاضا از ۵ درصد به ۱۰ درصد، تلفات انرژی کاهش یافته و پایداری ولتاژ در شبکه بهبود می یابد. همچنین، پیک بار کاهش یافته و توزیع بار بهینه تر می شود. این نتایج نشان می دهند که مدیریت سمت تقاضا نه تنها به کاهش تلفات انرژی کمک می کند بلکه باعث بهبود عملکرد کلی شبکه نیز می شود. جدول (۳) نتایج مربوط به شبکه ۶۹ باس را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که رویکرد پیشنهادی دارای مقایسه پذیری قابل قبولی می باشد.

جدول (۲) مقایسه نتایج بهره برداری بهینه ۲۴ ساعته هر یک از حالت ها در شبکه ۳۳ باس

حالت سوم	حالت دوم	حالت اول	
۰.۱۳۹	۰.۱۶۲	۰.۱۹۰۶	تلفات انرژی (مگاوات)
۰.۹۸۸۹	۰.۹۸۸۷	۰.۹۸۳۳	کمترین ولتاژ (پریونیت)
۱.۰۰۳	۱.۰۰۴	۱.۰۱۷۱	بیشترین ولتاژ (پریونیت)
۰	۰	۰	قطع بار (مگاوات)
۱۹.۱۵	۱۹.۳۵	۱۹.۸۵	کل فروش برق پروسیومرها (مگاوات)

کل خرید برق پروسیومرها (مگاوات)	۲.۴۳	۲.۴۵	۲.۴۷
پیک بار (مگاوات)	۰.۴۱	۰.۳۸۶	۰.۳۶۹
زمان (ثانیه)	۲	۳	۲

جدول (۳) مقایسه نتایج بهره‌برداری بهینه ۲۴ ساعته هر یک از حالت‌ها در شبکه ۶۹ باس

	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم
تلفات انرژی (مگاوات)	۰.۳۲۵۱	۰.۲۹۵۴	۰.۲۵۴۷
کمترین ولتاژ (پرینیت)	۰.۹۷۴۱	۰.۹۷۹۲	۰.۹۸۲۱
بیشترین ولتاژ (پرینیت)	۱.۰۰۸	۱.۰۰۵	۱.۰۰۲
قطع بار (مگاوات)	۰	۰	۰
کل فروش برق پروسیومرها (مگاوات)	۲۲.۱۱	۲۱.۱۵	۲۰.۵۴
کل خرید برق پروسیومرها (مگاوات)	۳.۸۹	۴.۰۱	۴.۲۵
پیک بار (مگاوات)	۰.۵۱۲	۰.۴۸۹	۰.۴۷۰
زمان (ثانیه)	۶	۶	۴

جدول (۴) مقایسه رویکرد پیشنهادی با سایر روش‌ها در شبکه بزرگ ۶۹ باس

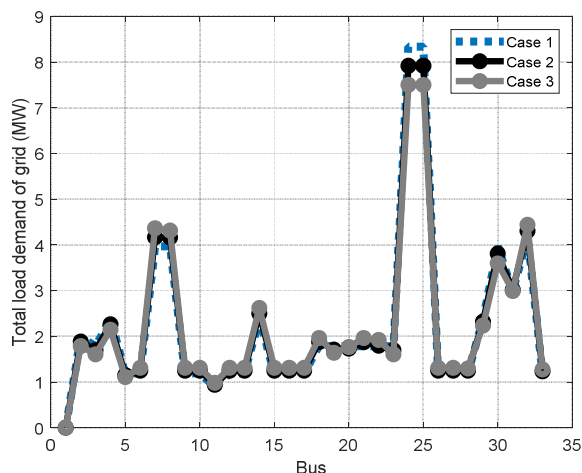
	الگوریتم گرگ خاکستری	الگوریتم ژنتیک	روش پیشنهادی
تلفات انرژی (مگاوات)	۰.۳۲۵۸	۰.۳۵۴۷	۰.۲۵۴۷
کمترین ولتاژ (پرینیت)	۰.۹۷۲۱	۰.۹۷۰۱	۰.۹۸۲۱
بیشترین ولتاژ (پرینیت)	۱.۰۲۵	۱.۰۳	۱.۰۰۲
قطع بار (مگاوات)	۰	۰	۰
کل فروش برق پروسیومرها (مگاوات)	۱۹.۲۵	۱۹.۰۱	۲۰.۵۴
کل خرید برق پروسیومرها (مگاوات)	۴.۵۸	۵.۲۵	۴.۲۵
پیک بار (مگاوات)	۰.۵۲۱	۰.۵۸۷	۰.۴۷۰
زمان (ثانیه)	۶۹	۱۹۶	۴

جدول (۴) نشان می‌دهد که در مقایسه با الگوریتم‌های گرگ خاکستری و ژنتیک، روش پیشنهادی در اکثر شاخص‌ها عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در ابتدا، تلفات انرژی در

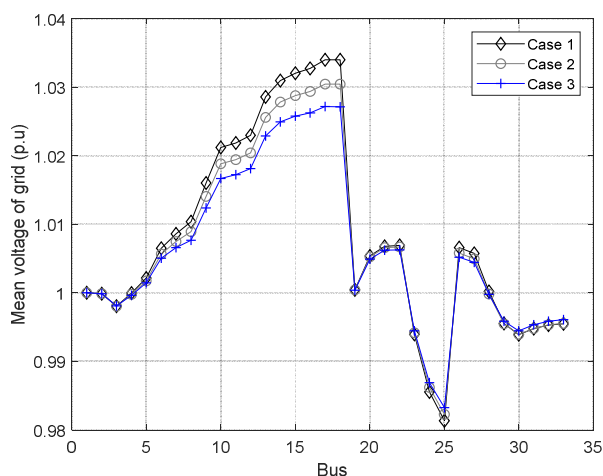
روش پیشنهادی برابر با ۰.۲۵۴۷ مگاوات است که نسبت به الگوریتم‌های گرگ خاکستری (۰.۳۲۵۸ مگاوات) و ژنتیک (۰.۳۵۴۷ مگاوات) کاهش چشمگیری داشته است. این نشان‌دهنده کارایی بهتر روش پیشنهادی در کاهش تلفات انرژی است. در مورد ولتاژها، کمترین ولتاژ در روش پیشنهادی برابر با ۰.۹۸۲۱ پرینیت است که از الگوریتم‌های دیگر بالاتر می‌باشد، که این به معنای بهبود کیفیت ولتاژ در شبکه است. همچنین، بیشترین ولتاژ در روش پیشنهادی برابر با ۱.۰۰۲ پرینیت است که بهبود نسبت به الگوریتم‌های گرگ خاکستری و ژنتیک (۱.۰۲۵ و ۱.۰۳ پرینیت به ترتیب) را نشان می‌دهد. در مورد قطع بار، در هیچ‌کدام از روش‌ها قطع بار مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده عملکرد بهینه در تأمین نیازهای بار است. در خصوص فروش و خرید برق پروسیومرها، روش پیشنهادی با ۲۰.۵۴ مگاوات فروش و ۴.۲۵ مگاوات خرید، نتایج بهتری در مقایسه با سایر روش‌ها نشان می‌دهد. این نکته می‌تواند به بهبود تعادل عرضه و تقاضا در شبکه اشاره کند. در نهایت، زمان اجرای روش پیشنهادی تنها ۴ ثانیه است که به‌طور قابل‌توجهی سریع‌تر از الگوریتم‌های گرگ خاکستری (۶۹ ثانیه) و ژنتیک (۱۹۶ ثانیه) است، که به مزیت بالای این روش در مقایسه با سایر روش‌ها در زمینه زمان‌بندی و پاسخگویی به نیازهای شبکه اشاره دارد.

شکل (۳) مقایسه‌ای بین وضعیت شارژ و دشارژ بهینه باتری-های پروسیومرها در هر یک از حالت‌های در نظر گرفته شده نشان داده شده است. محور منفی y نشان از شارژ و محور مثبت y نشان‌دهنده دشارژ باتری می‌باشد. مشاهده می‌شود در زمان‌های پیک بار و در ساعاتی که انرژی گران است باتری دشارژ شده است.

در شکل (۴) کل بار شبکه در ۲۴ ساعت روی هر باس نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در حالت دوم که برنامه



شکل (۴) مقایسه کل بار شبکه در ۲۴ ساعت در هر باس در هر یک از حالت‌ها

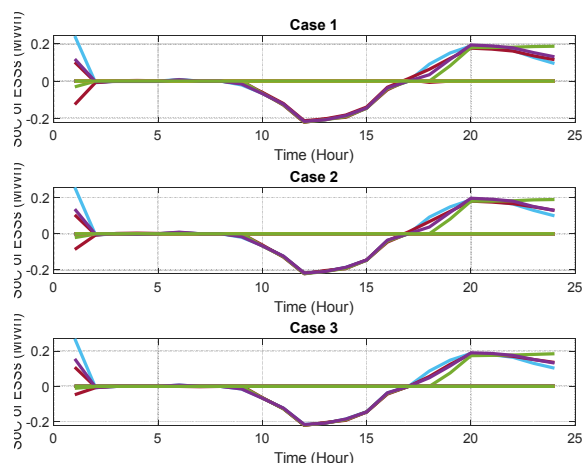


شکل (۵) مقایسه متوسط ولتاژ شبکه در هر یک از حالت‌ها

مدیریت سمت تقاضا با ۱۰ درصد تغییرات بار است پیک بار شبکه نسبت به حالت اول به طور چشمگیری کاهش یافته است. این نشان می‌دهد که برنامه مدیریت سمت تقاضا به درستی پیک بار شبکه را کاهش داده است.

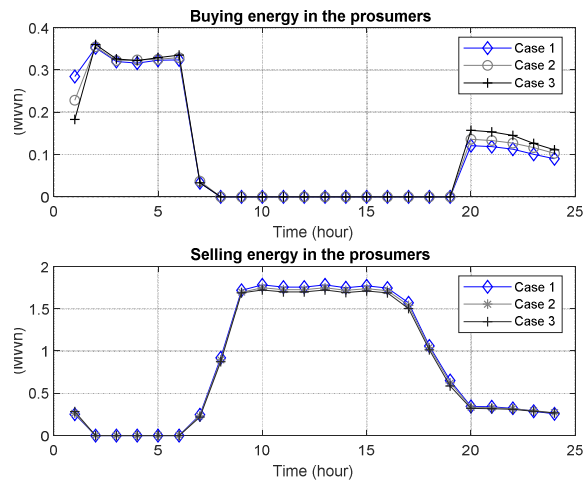
شکل (۵) مقایسه‌ای بین متوسط ولتاژ شبکه می‌باشد. در حالت سوم کمترین انحراف ولتاژ نسبت به دیگر حالت‌ها وجود دارد. به طور کلی هر سه حالت نشان داده شده نشان می‌دهد که ولتاژ شبکه در حد مطلوبی قرار با کمترین انحرافات ولتاژ می‌باشد.

در نهایت شکل (۶) خرید و فروش برق توسط پروسیمورها را در هر یک از حالت‌های در نظر گرفته شده نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود بیشترین فروش برق مربوط به ساعاتی است که شبکه با پیک بار روبرو است و هزینه انرژی گران است. خرید برق توسط پروسیمورها معمولاً در ساعات اولیه و در ساعات پایان روز بوده است.



شکل (۳) مقایسه وضعیت شارژ و دشارژ بهینه باتری‌های پروسیمورهای شبکه در ۲۴ ساعت

(گرگ خاکستری و ژنتیک) کاهش چشمگیری داشته است. این کاهش به دلیل بهینه‌سازی دقیق توزیع منابع و بار در شبکه و مدیریت بهینه توان در منابع فتوولتائیک و ذخیره‌سازی است. یکی دیگر از دلایل عملکرد دقیق مدل، پایداری ولتاژ است. یکی از چالش‌های اصلی در شبکه‌های توزیع فعال، مدیریت کیفیت ولتاژ است. در روش پیشنهادی، کمترین ولتاژ به ۰.۹۸۲۱ پرینیت و بیشترین ولتاژ به ۱.۰۰۲ پرینیت کاهش یافته است که نشان‌دهنده بهبود کیفیت ولتاژ در شبکه است. این بهبود نسبت به الگوریتم‌های دیگر (با کمترین ولتاژ ۰.۹۷۲۱ و بیشترین ولتاژ ۱.۰۲۵ پرینیت) ناشی از توانمندی الگوریتم در حفظ ولتاژ شبکه در محدوده‌ای پایدار است. کاهش پیک بار یکی دیگر از مزایای عمده روش پیشنهادی است. در مقایسه با الگوریتم‌های گرگ خاکستری و ژنتیک که پیک بار ۰.۵۲۱ مگاوات و ۰.۵۸۷ مگاوات را نشان دادند، در روش پیشنهادی پیک بار به ۰.۴۷۰ مگاوات کاهش یافته است. این کاهش در پیک بار به توزیع بهینه‌تر بار و جلوگیری از بار اضافی بر روی شبکه منجر شده است. زمان محاسبات یکی از عوامل مهم در ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها است. در این مطالعه، زمان اجرای مدل پیشنهادی تنها ۴ ثانیه بود که بسیار سریع‌تر از الگوریتم‌های گرگ خاکستری (۶۹ ثانیه) و ژنتیک (۱۹۶ ثانیه) است. این سرعت بالا در محاسبات، باعث شده که مدل پیشنهادی قابلیت کاربرد در شبکه‌های بزرگتر و پیچیده‌تر را داشته باشد. الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در منابع فتوولتائیک و ذخیره‌سازی انرژی، به‌طور دقیق توانسته است بهینه‌ترین مسیرهای استفاده از منابع تجدیدپذیر را شبیه‌سازی کند. این ویژگی باعث شده که نتایج به دست آمده به‌طور مستقیم به واقعیت نزدیک باشد و نشان‌دهنده عملکرد دقیق مدل است. نتایج مدل پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های گرگ خاکستری و ژنتیک نشان‌دهنده مزایای واضح آن در اکثر شاخص‌های عملکردی است. این مقایسه به‌ویژه در زمینه



شکل (۶) مقایسه بین خرید و فروش انرژی پروسیمورها

در پایان نتایج شبیه‌سازی عملکرد دقیق مدل و الگوریتم پیشنهادی را نشان داد. مشاهده شد که بارهای هوشمند در برنامه مدیریت سمت تقاضا تا چه میزان در خرید و فروش انرژی پروسیمورها، شارژ و دشارژ باتری‌ها و همچنین بر روی شاخص‌های شبکه تاثیرگذار می‌باشد.

با توجه به اینکه مدل پیشنهادی یک مدل ریاضی است می‌توان به راحتی برای سیستم‌های بزرگتر و پیچیده‌تر مورد استفاده قرار گیرد. اما محدودیت‌های مهم کامپیوتری و حل مسائل در ابعاد بزرگ می‌تواند چالش‌هایی را برای حل‌کننده‌هایی مثل Gurobi بوجود آورد.

در بخش شبیه‌سازی، عملکرد دقیق مدل و الگوریتم پیشنهادی به دلایل مختلفی تایید شده است که باعث اعتبار نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌شود. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های عملکرد شبکه توزیع، تلفات انرژی است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که روش پیشنهادی تلفات انرژی را به طور قابل توجهی کاهش داده است. به‌عنوان مثال، در شبکه ۶۹ باس، تلفات انرژی در روش پیشنهادی به ۰.۲۵۴۷ مگاوات کاهش یافته است که نسبت به الگوریتم‌های دیگر

کاهش تلفات انرژی، بهبود کیفیت ولتاژ، کاهش پیک بار و زمان اجرای الگوریتم اعتبار بالای مدل پیشنهادی را نشان می دهد. این نتایج و دلایل عملکرد دقیق مدل پیشنهادی، به وضوح تاییدکننده صحت و قابلیت اجرای الگوریتم در بهینه سازی شبکه های توزیع فعال در شرایط واقعی هستند.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، یک رویکرد مبتنی بر برنامه ریزی مخروطی درجه دوم عدد صحیح مرکب برای مدیریت انرژی شبکه های توزیع فعال با مصرف کنندگان حرفه ای (پروسیومرز) ارائه شد. نتایج حاصل از شبیه سازی شبکه ۳۳ باس تحت سه سناریوی مختلف به وضوح نشان داد که اعمال مدیریت سمت تقاضا تاثیر قابل توجهی بر بهبود عملکرد شبکه دارد. بدون در نظر گرفتن مدیریت سمت تقاضا (حالت اول)، تلفات انرژی به میزان ۰.۱۹۰۶ مگاوات مشاهده شد که نشان دهنده افت قابل توجهی در بهره وری شبکه است. با اعمال مدیریت سمت تقاضا و تغییرات ۵ درصدی (حالت دوم) و ۱۰ درصدی (حالت سوم) در بار، تلفات انرژی به ترتیب به ۰.۱۶۲ و ۰.۱۳۹ مگاوات کاهش یافت. این کاهش تلفات انرژی بیانگر اثربخشی روش پیشنهادی در بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه توزیع است. علاوه بر کاهش تلفات انرژی، کمترین ولتاژ شبکه در حالت های مدیریت سمت تقاضا بهبود یافت و انحراف ولتاژ کاهش پیدا کرد. در حالت دوم، کمترین ولتاژ به ۰.۹۸۸۷ پرینیت و در حالت سوم به ۰.۹۸۸۹ پرینیت رسید، در حالی که در حالت اول این مقدار ۰.۹۸۳۳ پرینیت بود. بیشترین ولتاژ نیز در حالت های مدیریت شده به ترتیب به ۱.۰۰۴ و ۱.۰۰۳ پرینیت کاهش یافت که نشان دهنده پایداری بیشتر ولتاژ در شبکه است. پیک بار شبکه نیز تحت مدیریت سمت تقاضا کاهش یافت و به ترتیب به ۰.۳۸۶ و ۰.۳۶۹ مگاوات در حالت های دوم و سوم رسید. این کاهش پیک بار به توزیع بهینه تر بار و کاهش فشار بر شبکه منجر شد. همچنین، فروش

برق پروسیومرها در حالت های مدیریت شده نسبت به حالت اول کاهش یافت که نشان دهنده بهبود بهره وری و کاهش تلفات در شبکه است. در مجموع، یافته های این مطالعه نشان می دهد که مدل پیشنهادی مبتنی بر برنامه ریزی مخروطی درجه دوم عدد صحیح مرکب، می تواند به کاهش تلفات انرژی، کاهش انحراف ولتاژ و بهبود توزیع بار در شبکه های توزیع فعال منجر شود. این نتایج به وضوح اهمیت مدیریت سمت تقاضا را در بهینه سازی عملکرد شبکه های توزیع برق و افزایش بهره وری مصرف انرژی نشان می دهد. بنابراین، استفاده از رویکردهای مشابه در سایر شبکه های توزیع می تواند نتایج مشابهی به همراه داشته و به توسعه شبکه های توزیع پایدارتر و کارآمدتر کمک کند. پیشنهاداتی به شرح زیر برای ادامه این مقاله ارائه شده است:

- ۱- در نظر گرفتن هوش مصنوعی برای حل مدل پیشنهادی و تخمین تولید منابع تجدیدپذیر و مقایسه نتایج با این مطالعه.
- ۲- مدل سازی سیستم هیدروژن و انرژی پاک به رویکرد پیشنهادی، برای تبدیل مدل به یک مدل انرژی پایدار و سبز.

مراجع

- Y. Cai, T. Huang, E. Bompard, Y. Cao and Y. Li, "Self-Sustainable Community of Electricity Prosumers in the Emerging Distribution System," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. ۸, no. ۵, pp. ۲۲۰۷-۲۲۱۶, Sept. ۲۰۱۷, doi: 10.1109/TSG.2016.2518241.
- H. Saber, M. Ehsan, M. Moeini-Agtaie, H. Ranjbar and M. Lehtonen, "A User-Friendly Transactive Coordination Model for Residential Prosumers Considering Voltage Unbalance in Distribution Networks," in *IEEE Transactions on Industrial*

- K. Petrou et al., "Ensuring Distribution Network Integrity Using Dynamic Operating Limits for Prosumers," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۱۲, no. ۵, pp. ۳۸۷۷-۳۸۸۸, Sept. ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TSG.۲۰۲۱.۳۰۸۱۳۷۱.
- G. Ma, J. Lyu, Y. Wang, J. Zhang and J. Xu, "The Prosumer Energy Management Method Based on Smart Load," in IEEE Access, vol. ۸, pp. ۱۱۷۰۸۶-۱۱۷۰۹۵, ۲۰۲۰, doi: ۱۰.۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۲۰.۳۰۰۴۵۵۷.
- L. Ma, N. Liu, J. Zhang and L. Wang, "Real-Time Rolling Horizon Energy Management for the Energy-Hub-Coordinated Prosumer Community From a Cooperative Perspective," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. ۳۴, no. ۲, pp. ۱۲۲۷-۱۲۴۲, March ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TPWRS.۲۰۱۸.۳۸۷۷۲۳۶.
- Atefeh Zomorodi Moghadam, Mohammad Hossein Javidi, "Designing a two-stage transactive energy system for future distribution networks in the presence of prosumers' P2P transactions," Electric Power Systems Research, Volume ۲۱۱, ۱۰۸۲۰۲, ۲۰۲۲.
- Haoran Li, Juan Hou, Tianzhen Hong, Natasa Nord, "Distinguish between the economic optimal and lowest distribution temperatures for heat-prosumer-based district heating systems with short-term thermal energy storage," Energy, Volume ۲۴۸, ۱۲۳۶۰۱, ۲۰۲۲.
- Yu Zhou, Zhengshuo Li, Ming Yang, "A framework of utilizing distribution power systems as reactive power prosumers for transmission power systems," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume ۱۲۱, ۱۰۶۱۳۹, ۲۰۲۰.
- Informatics, vol. ۱۸, no. ۹, pp. ۵۷۴۸-۵۷۵۹, Sept. ۲۰۲۲, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TII.۲۰۲۲.۳۱۴۱۷۸۴.
- J. Hu, J. Wu, X. Ai and N. Liu, "Coordinated Energy Management of Prosumers in a Distribution System Considering Network Congestion," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۱۲, no. ۱, pp. ۴۶۸-۴۷۸, Jan. ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TSG.۲۰۲۰.۳۰۱۰۲۶۰.
- L. Chen, N. Liu, S. Yu and Y. Xu, "A Stochastic Game Approach for Distributed Voltage Regulation Among Autonomous PV Prosumers," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. ۳۷, no. ۱, pp. ۷۷۶-۷۸۷, Jan. ۲۰۲۲, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TPWRS.۲۰۲۱.۳۰۹۷۳۷۳.
- W. F. Ceccon, R. Z. Freire, A. L. Szejka and O. C. Junior, "Intelligent Electric Power Management System for Economic Maximization in a Residential Prosumer Unit," in IEEE Access, vol. ۹, pp. ۴۸۷۱۳-۴۸۷۳۱, ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۲۱.۳۰۶۸۷۵۱.
- M. MansourLakouraj, M. J. Sanjari, M. S. Javadi, M. Shahabi and J. P. S. Catalão, "Exploitation of Microgrid Flexibility in Distribution System Hosting Prosumers," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. ۵۷, no. ۴, pp. ۴۲۲۲-۴۲۳۱, July-Aug. ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TIA.۲۰۲۱.۳۰۷۳۸۸۲.
- L. Tziouvani, L. Hadjidemetriou, P. Kolios, A. Astolfi, E. Kyriakides and S. Timotheou, "Energy Management and Control of Photovoltaic and Storage Systems in Active Distribution Grids," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. ۳۷, no. ۳, pp. ۱۹۵۶-۱۹۶۸, May ۲۰۲۲, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TPWRS.۲۰۲۱.۳۱۱۸۷۸۵.

- E. Luo, P. Cong, H. Lu and Y. Li, "Two-Stage Hierarchical Congestion Management Method for Active Distribution Networks With Multi-Type Distributed Energy Resources," in IEEE Access, vol. 8, pp. ۱۲۰۳۰۹-۱۲۰۳۲۰, ۲۰۲۰, doi: ۱۰.۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۲۰.۳۰۰۵۶۸۹.
- W. Wu et al., "Integrated Distribution Management System: Architecture, Functions, and Application in China," in Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, vol. ۱۰, no. ۲, pp. ۲۴۵-۲۵۸, March ۲۰۲۲, doi: ۱۰.۳۵۸۳۳/MPCE.۲۰۲۱.۰۰۰۶۰۰.
- S. Yang et al., "A Prosumer-Based Energy Sharing Mechanism of Active Distribution Network Considering Household Energy Storage," in IEEE Access, vol. ۱۰, pp. ۱۱۳۸۳۹-۱۱۳۸۴۹, ۲۰۲۲, doi: ۱۰.۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۲۲.۳۲۱۷۵۴۰.
- Z. Hu and F. Li, "Cost-Benefit Analyses of Active Distribution Network Management, Part I: Annual Benefit Analysis," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۳, no. ۳, pp. ۱۰۶۷-۱۰۷۴, Sept. ۲۰۱۲, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TSG.۲۰۱۲.۲۲۰۵۴۱۲.
- Amirreza Naderipour, Hesam Kamyab, Jiří Jaromír Klemesš, Reza Ebrahimi, Shreeshivadasan Chelliapan, Saber Arabi Nowdeh, Aldrin Abdullah, Massoomah Hedayati Marzbali, "Optimal design of hybrid grid-connected photovoltaic/wind/battery sustainable energy system improving reliability, cost and emission," Energy, Volume ۲۵۷, ۱۲۴۶۷۹, ۲۰۲۲.
- Mehdi Mohammadjafari and Reza Ebrahimi and Vahid Parvin Darabad, "Multi-Objective Dynamic Economic Emission Dispatch of Microgrid Using Novel Efficient Demand
- Vahid Sarfi, Hanif Livani, "Optimal Volt/VAR control in distribution systems with prosumer DERs," Electric Power Systems Research, Volume ۱۸۸, ۱۰۶۵۲۰, ۲۰۲۰.
- Chao Yang, Jinjie Liu, Huanxin Liao, Gaoqi Liang, Junhua Zhao, "An improved carbon emission flow method for the power grid with prosumers," Energy Reports, Volume ۹, Pages ۱۱۴-۱۲۱, ۲۰۲۳.
- Ivan Postnikov, "Methods for the reliability optimization of district-distributed heating systems with prosumers," Energy Reports, Volume ۹, Supplement ۱, Pages ۵۸۴-۵۹۳, ۲۰۲۳.
- Yasin Zabihinia Gerdroodbari, Mohsen Khorasany, Reza Razzaghi, "Dynamic PQ Operating Envelopes for prosumers in distribution networks," Applied Energy, Volume ۳۲۵, ۱۱۹۷۵۷, ۲۰۲۲.
- A. Rajaei, S. Fattaheian-Dehkordi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Moeini-Aghaie and M. Lehtonen, "Developing a Distributed Robust Energy Management Framework for Active Distribution Systems," in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. ۱۲, no. ۴, pp. ۱۸۹۱-۱۹۰۲, Oct. ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TSTE.۲۰۲۱.۳۰۷۰۳۱۶.
- B. Liu et al., "An AC-DC Hybrid Multi-Port Energy Router With Coordinated Control and Energy Management Strategies," in IEEE Access, vol. ۷, pp. ۱۰۹۰۶۹-۱۰۹۰۸۲, ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۱۹.۲۹۳۳۴۶۹.
- Z. Wang, C. Gu, F. Li, P. Bale and H. Sun, "Active Demand Response Using Shared Energy Storage for Household Energy Management," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۴, no. ۴, pp. ۱۸۸۸-۱۸۹۷, Dec. ۲۰۱۳, doi: ۱۰.۱۱۰۹/TSG.۲۰۱۳.۲۲۵۸۰۴۶.

Prajapati VK, Mahajan V, Padhy NP. Congestion management of integrated transmission and distribution network with RES and ESS under stressed condition. *Int Trans Electr Energy Syst.* ۲۰۲۱; ۳۱:e۱۲۷۵۷. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12757>

Drir N, Chekired F, Rekioua D. An integrated neural network for the dynamic domestic energy management of a solar house. *Int Trans Electr Energy Syst.* ۲۰۲۱; ۳۱(۱۲):e۱۳۲۲۷. doi:10.1002/2050-7038.13227

Patil MD, Aush MG, Mahadik YV, Kamble SG, Patil SV, Kharad e JM. Energy management between electric vehicle charging stations and electric distribution system considering quality of service using IACSO-MPA approach. *Int Trans Electr Energy Syst.* ۲۰۲۱; ۳۱(۱۲):e۱۳۲۵۵. doi:10.1002/2050-7038.13255

Response And Zero Energy Balance Approach", *International Journal of Renewable Energy Research*, ۲۰۲۰.

Ai, X., Wu, J., Hu, J., Yang, Z. and Yang, G. (۲۰۲۰), Distributed congestion management of distribution networks to integrate prosumers energy operation. *IET Gener. Transm. Distrib.*, ۱۴: ۲۹۸۸-۲۹۹۶. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2019.1110>.

Chen, J., Guo, Y. and Wu, W. (۲۰۲۰), Optimal dispatch scheme for DSO and prosumers by implementing three-phase distribution locational marginal prices. *IET Gener. Transm. Distrib.*, ۱۴: ۲۱۳۸-۲۱۴۶. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2019.0602>.

Mohsen Zanganeh, Mahmoud Samiei Moghaddam, Azita Azarfar, Mojtaba Vahedi, Nasrin Salehi, "Multi-area distribution grids optimization using D-FACTS devices by M-PSO algorithm", *Energy Reports*, Volume ۹, Pages ۱۳۳-۱۴۷, ۲۰۲۳.

H. Karimianfard, H. Haghighat and B. Zeng, "Co-Optimization of Battery Storage Investment and Grid Expansion in Integrated Energy Systems," *IEEE Systems Journal*, vol. ۱۶, no. ۴, pp. ۵۹۲۸-۵۹۳۸, ۲۰۲۲. doi: 10.1109/JSYST.2021.3130057.

Doagou-Mojarrad H, Rezaie H, Razmi H. Probabilistic integrated framework for AC/DC transmission congestion management considering system expansion, demand response, and renewable energy sources and load uncertainties. *Int Trans Electr Energy Syst.* ۲۰۲۱; ۳۱(۱۲):e۱۳۱۶۸. doi:10.1002/2050-7038.13168