فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۱۳۶-۱۲۱

بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه با مدیریت سمت تقاضا

[۱]سهیل عباسی، [۲]عباس صابری نوقابی*

تاریخ دریافت:
۱۳۹۵/۳/۹

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۶/۲/۱۰

کلمات کلیدی:
بهره برداری بهینه
ریزشبکه
مدیریت سمت تقاضا
الگوریتم ترکیبی

چکیده

یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری بهینه از سیستم قدرت، بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه‌ها با در نظر گرفتن مدیریت سمت تقاضا است. اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا از یک طرف باعث کاهش هزینه بهره‌برداری از سیستم قدرت گردیده و از طرف دیگر اجرای این گونه برنامه‌ها نیاز به سیاست‌های تشویقی مالی دارد. در این مقاله مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه‌ها به همراه مدیریت سمت تقاضا به صورت یک مساله بهینه‌سازی فرمول‌بندی گردیده است. جابجایی بار به عنوان یک راهکار موثر در مدیریت سمت تقاضا در نظر گرفته شده است. تابع هدف این مساله، حداقل کردن مجموع هزینه‌های بهره‌برداری از سیستم قدرت و هزینه جابجایی بار بوده و قیود مساله شامل قیود بهره‌برداری و محدودیت‌های اجرایی برای جابجایی بار است. در این مساله میزان جابجایی بارها برحسب ساعت به عنوان متغیرهای مسئله در نظر گرفته شده و برای حل این مساله، از ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پخش بار بهینه استفاده شده است. روش پیشنهادی به یک ریزشبکه نمونه اعمال شده و نتایج نشان داد که با مدیریت سمت تقاضا می‌توان هزینه کل بهره‌برداری از یک ریزشبکه را کاهش داد.

۱. کارشناسی ارشد برق – دانشکده مهندسی برق – دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد
abbasisoheil@yahoo.comEmail
۲. استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر– دانشگاه بیرجند (نویسنده مسئول)
a.saberi@birjand.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

۱. مقدمه

امروزه بهره‌برداران سیستم قدرت با مسائلی از قبیل تغییرات قابل توجه بار ، رشد سریع تقاضا و گسترش جغرافیایی مشتریان روبرو هستند؛ از سویی به علت کاهش منابع فسیلی، راندمان کم انرژی و سیاست‌های زیست محیطی، سرمایه گذاران تمایل چندانی به احداث نیروگاه‌های سوخت فسیلی نداشته و چالش جدیدی در به کارگیری منابع تولید توان برای بهره‌بردار سیستم قدرت به وجود آمده است. لذا این مشکلات تمایل به تولید توان در سطح ولتاژ توزیع را افزایش داده است. از این‌رو راه حل مناسب، ساخت شبکه‌های کوچک مستقل از شبکه‌های اصلی یا ریزشبکه‌ها است.

بهره‌برداری بهینه ازسیستم‌های قدرت مستلزم استفاده از یک برنامه‌ریزی صحیح است؛ که عمدتا درسه بخش، برنامه‌ریزی بلندمدت، برنامه‌ریزی میان مدت و برنامه‌ریزی کوتاه مدت صورت می‌گیرد. ریزشبکه‌ها نیز برنامه ریزی در این سه بازه را دارا می‌باشند. در برنامه ریزی بلند مدت، هر ریزشبکه باید پیش بینی خرید و نصب مولدها متناسب با پیش بینی رشد بار را انجام دهد. در برنامه‌ریزی میان مدت باید زمان‌های تعمیرات و نگهداری مولدها و ذخیره سازها و هزینه سوخت مدنظر قرار گیرد. برنامه‌ریزی کوتاه مدت ریزشبکه در بازه‌های یک هفته ، یک روزه و یک ساعته صورت می‌گیرد و هدف از انجام آن تعیین میزان توان خروجی واحدها است.[۳]

در مرجع [۵]، به بررسی بهره برداری از ریزشبکه‌ی مجهز به منابع تجدیدپذیر و منابع ذخیره ساز توان پرداخته شده است. در مرجع [6]، ازریزشبکه هوشمند استفاده نموده و نشان داده شده که، استفاده از ریزشبکه هوشمند نه تنها باعث بالابردن بهره‌وری انرژی شده بلکه می‌تواند به عنوان یک شبکه مکمل و موثر باعث بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان شود. در مرجع [10]، نشان داده شده که، با نصب دستگاه‌های ذخیره ساز انرژی مناسب، می‌توان تغییرات و نوسانات توان اکتیو را تثبیت کرد و فرکانس ریزشبکه را در حد مشخص شده حفظ نمود. درمرجع [۲]، یک ریزشبکه مجهز به سیستم متمرکز مدیریت انرژی معرفی گردیده که وظیفه‌ی آن، بهینه سازی بهره‌برداری از ریزشبکه در هر دو حالت جزیره ای و متصل به شبکه است. در مرجع [۴]، یک معیار مهم پاسخگویی به تقاضای توان با حداقل هزینه بهره‌برداری، استفاده از ترکیبی بهینه ازشبکه اصلی و ریزشبکه با افق برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته معرفی شده است. در مرجع [8]، از برنامه‌ریزی اقتصادی، برای تولید و بار استفاده شده که برای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

این منظور نیاز به مدیریت سمت تقاضا است. در مرجع [11]، یک استراتژی بازار بیان شده است چون با گسترش روز افزون منابع کوچک تولید انرژی برنامه ریزی تولید واحدهای کوچک همانند واحدهای تولیدی بزرگ نیاز به استراتژی بازار دارد.

در این مقاله، با توسعه روش‌های متداول در بهره‌برداری از سیستم قدرت و با در نظر گرفتن قیود مناسب، مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه‌ها به همراه مدیریت سمت تقاضا فرمول‌بندی شده است. که تابع هدف آن حداقل کردن هزینه‌های بهره‌برداری و هزینه‌های مدیریت سمت تقاضا است و قیود مساله بهینه سازی شامل قید محدودیت ژنراتورها و قید تعادل توان است. همچنین میزان جابجایی بارها برحسب ساعت به عنوان متغیرهای مسئله در نظر گرفته شده است و برای حل این مساله بهینه سازی از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و پخش بار بهینه استفاده شده است.

۲. مدیریت سمت تقاضا

مدیریت سمت تقاضا در حالت کلی به برنامه هایی اطلاق می‌شود که روی الگوی مصرف برق مشترکین تاثیر گذار است. به عبارت دیگر فعالیت هایی هستند که برای تغییر در مقدار و یا زمان مصرف برق، توسط شرکت‌های برق به گونه ای طراحی می‌گردد که زمینه لازم را برای سودرسانی به مصرف کنندگان و حتی خودشان فراهم گردد. به طور کلی برنامه‌های سمت تقاضا از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.

۱. بهره وری بهینه انرژی: هدف برنامه‌های بهره وری انرژی ، کاهش مصرف انرژی به صورت دائمی می‌باشد که معمولا از طریق تغییر در تکنولوژی و تجهیزات مصرف کننده نهایی فراهم می‌شود.

۲. پاسخگویی بار: پاسخگویی بار یکی از تحولات جدید در حوزه مدیریت سمت تقاضا به شمار می‌آید که به معنای مشارکت مصرف کنندگان در بهبود الگوی مصرف انرژی می‌باشد. در واقع این مشارکت در پاسخ به تغییر قیمت‌های لحظه‌ای، صورت می‌گیرد.[7,9]

در این مقاله از بین برنامه‌های مختلف مدیریت سمت تقاضا، برنامه جابجایی بار به منظور کاهش پیک بار و افزایش بار شبکه در ساعات کم باری (پیک سایی و پر کردن دره) استفاده شده است. همچنین محدودیت‌های جابجایی زمان مصرف برای هر یک از بارها در نظر گرفته شده است. با توجه با این که جابجایی زمان مصرف باعث نارضایتی مشترکین می‌گردد در این مقاله از یک تابع نارضایتی برای در نظر گرفتن هزینه جابجایی بار استفاده گردیده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

۳. فرمول بندی مسئله

برنامه‌ریزی بهینه تولید واحدها به صورت یک مسئله بهینه‌سازی فرمول بندی می‌شود. در بهره برداری بهینه از یک ریزشبکه، از یک طرف کمترین هزینه مد نظر بوده و از طرف دیگر قیود بهره‌برداری و قیود مدیریت سمت تقاضا باید در نظر گرفته شود. در این مسئله مجموع هزینه‌های تولید و هزینه‌های اجرای مدیریت سمت تقاضا به عنوان تابع هدف منظور گردیده است.

بنابراین تابع هدف مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه با در نظر گرفتن مدیریت سمت تقاضا، به صورت ریاضی مطابق رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$MinF = w_1 \times CF + w_2 \times DC \quad (۱)$$

که در این رابطهF کل هزینه‌های بهره‌برداری از ریزشبکه، CF مجموع هزینه‌های بهره‌برداری واحدهای تولید توان و DC مجموع هزینه‌های اجرای برنامه‌های سمت تقاضا است. ضرایب w_1 و w_2 به ترتیب ضرایب وزنی هزینه بهره‌برداری از شبکه و هزینه اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا است. بدیهی است در صورتی که این دو ضریب یک در نظر گرفته شود ارزش هزینه بهره‌برداری و هزینه مدیریت سمت تقاضا یکسان در نظر گرفته شده است. اما اگر هدف ارزش گذاشتن بیشتر برای برنامه‌های مدیریت مصرف باشد می‌توان ضریب وزنی w_2 را بزرگ‌تر در نظر گرفت.

اجرای برنامه جابجایی زمان استفاده باعث نارضایتی مشترکین می‌گردد. بنابراین هزینه اجرای برنامه جابجایی بار در این مقاله به عنوان تابع نارضایتی به صورت یک تابع درجه سه مطابق مطابق رابطه (۲) مدل گردیده است.

$$DC = \sum_{l=1}^{m} [A_l st_l^3 + B_l st_l^2 + C_l st_l] \quad (۲)$$

که در این رابطه l شماره بار قابل جابجایی بوده و ضرایب A، B و C مربوط به هزینه جابجایی برای آن بار بوده است. st_l تعداد ساعات جابجایی بار l و m تعداد کل بارهای قابل جابجایی می‌باشد.

هزینه‌های بهره برداری واحدهای تولیدی شامل هزینه تولید واحدها ، هزینه راه اندازی و هزینه نگهداری و تعمیرات است. همچنین با توجه به این که در ریزشبکه امکان خرید یا فروش انرژی به شبکه نیز وجود دارد، هزینه خرید و فروش انرژی از شبکه نیز در تابع هزینه بهره‌برداری آورده شده است. رابطه (۳) تابع هزینه بهره‌برداری CF در مساله بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

$$CF = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}[C(i,t) + SC(i,t) + MC(i,t)] + \sum_{t=1}^{T}[C(t) - R(t)] \quad (۳)$$

که C(i,t) هزینه تولید توان واحد i ام در ساعت t ام بهره برداری، MC(i.t) هزینه تعمیرات و نگهداری و SC(i.t) هزینه راه اندازی واحد i ام در ساعت t ام است. همچنین C(t) هزینه برق خریداری شده در ساعت t از شبکه اصلی و R(t) درآمد ناشی از فروش انرژی در آن ساعت است. I تعداد واحدهای تولید توان و T زمان مطالعه (T=24) بر حسب ساعت می‌باشد. در ادامه روش محاسبه هریک از این هزینه‌ها آورده شده است.

هزینه برق خریداری شده C(t) و فروخته شده R(t) در روابط (۴) و (۵) بیان شده است.

$$C(t) = T_{pp} \times P_{pp} \quad (۴)$$

$$R(t) = T_{sp} \times P_{sp} \quad (۵)$$

که Tpp تعرفه خرید برق از شبکه، Ppp توان خریداری شده از شبکه، Tsp تعرفه فروش برق به شبکه و Psp توان فروخته شده به شبکه می‌باشد.

هزینه تعمیرات و نگهداری واحدها با تولید توان آن‌ها رابطه مستقیم دارد. بنابراین هزینه تعمیرات و نگهداری واحد i ام در ساعت t ام به صورت زیر بیان گردیده است.

$$MC(i,t) = P(i,t) \times K(i) \quad (۶)$$

که K(i) هزینه تعمیرات و نگهداری واحد iام به ازای تولید هرکیلووات توان الکتریکی و P(i , t) توان تولیدی واحد i ام در ساعت t ام است.

هزینه راه اندازی تنها برای واحدهای تولیدی با سوخت‌های فسیلی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه هزینه راه اندازی تنها در هر دوره که واحد روشن شود به آن تعلق می‌گیرد، نحوه محاسبه هزینه راه اندازی واحد i ام در ساعت t ام در رابطه (۷) آورده شده است.

$$SC(i,t) = S\cos t(i) \times (u(i,t) - u(i,t-1)) \quad (۷)$$

که در این رابطه Scost(i) هزینه راه اندازی واحد iام و u(i , t) متغیر باینری است که وضعیت روشن بودن یا خاموش بودن واحد i ام در ساعت t ام را نشان می‌دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

قیود مساوی در مسئله عبارتند از قید تعادل توان (معادلات پخش بار) که در رابطه‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است.

$$P_k^G - P_k^L = \sum_{i=1}^{N} V_k V_i [G_{ki} \cos(\theta_k - \theta_i) + B_{ki} \sin(\theta_k - \theta_i)] \quad (۸)$$

$$Q_k^G - Q_k^L = \sum_{i=1}^{N} V_k V_i [G_{ki} \sin(\theta_k - \theta_i) + B_{ki} \cos(\theta_k - \theta_i)] \quad (۹)$$

قیود نامساوی شامل محدودیت تولید واحدها، محدودیت متغیرهای کنترلی، محدودیت توان انتقالی خطوط و محدودیت ولتاژ هستند که به ترتیب در روابط (۱۰) تا (۱۳) بیان شده اند.

$$P^{\min} \le P \le P^{\max} \quad (۱۰)$$

$$U^{\min} \le U \le U^{\max} \quad (۱۱)$$

$$\left|F_{ij}\right| \le F_{ij}^{\max} \quad (۱۲)$$

$$V_j^{\min} \le V_j \le V_j^{\max} \quad (۱۳)$$

مدت زمان جابجایی هر یک از بارها نیز در برنامه پاسخگویی بار به عنوان یک قید مطابق رابطه (۱۴) در نظر گرفته شده است.

$$st_l \le T_l \qquad l = 1,...,m \quad (۱۴)$$

در این رابطه T_l مدت زمان مجاز جابجایی بار lام می‌باشد.

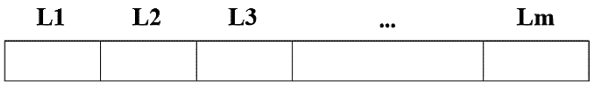
بدیهی است در صورتی که زمان جابجایی بارها معلوم باشد مساله بهینه سازی ارائه شده در این بخش به یک مسئله پخش بار بهینه (OPF) تبدیل می‌گردد. با حل مساله OPF ، تولید توان هر یک از واحدها و توان دریافتی و ارسالی به شبکه سراسری محاسبه خواهد گردید [۱۲]. بنابراین در بخش بعد از ترکیب الگوریتم ژنتیک و پخش بر بهینه برای حل این مساله در حالت کلی استفاده گردیده است.

٤. الگوریتم پیشنهادی ترکیبی

در الگوریتم پیشنهادی از ترکیب روش الگوریتم ژنتیک و پخش بار بهینه به منظور حل مسئله بهره برداری بهینه از ریزشبکه‌ها با مدیریت سمت تقاضا استفاده شده است. رشته‌های ژنتیک در این

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

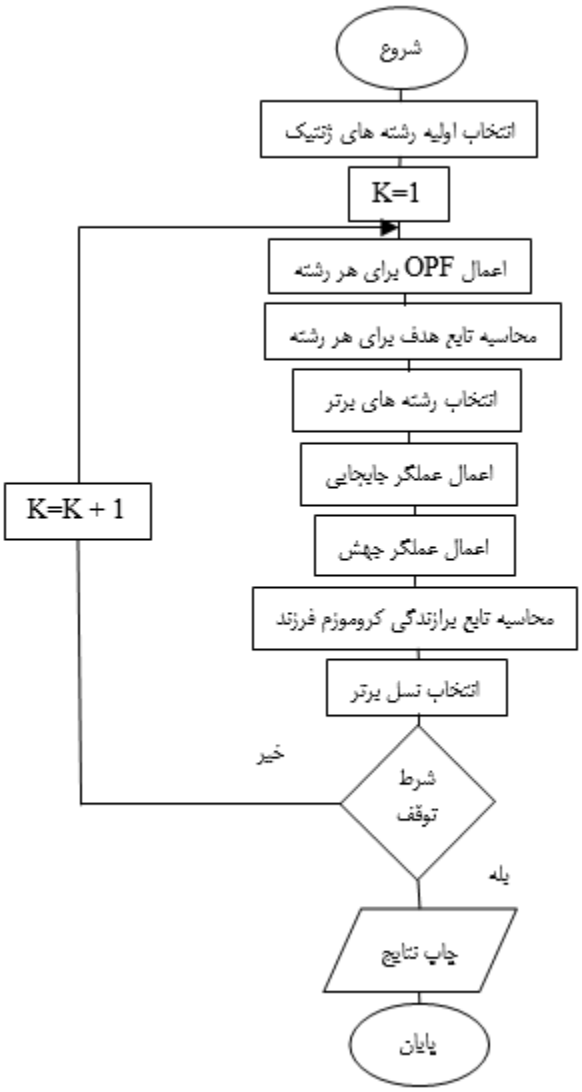
روش شامل میزان جابجایی هر یک از بارها برحسب ساعت است. در شکل (۱) یک نمونه رشته ژنتیک برای مساله پیشنهادی آورده شده است . این رشته دارای m خانه بوده که m تعداد بارهای قابل مدیریت بار می‌باشد. در هر خانه اعداد بین ۰ تا ۲۴ قرار گرفته که این اعداد نشان‌دهنده میزان جابجایی آن بار (st) بر حسب ساعت است.



شکل ۱. رشته‌های ژنتیک در الگوریتم پیشنهادی ترکیبی

در شکل (۲) فلوچارت الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. در این الگوریتم ، ابتدا حدس‌های اولیه برای جابجایی بار برحسب ساعت به صورت تصادفی تعیین می‌شود. سپس با معلوم بودن رشته‌های ژنتیک ساعت جابجایی هر یک از بارها معلوم شده و مساله بهره برداری بهینه به یک مسئله OPF مطابق بخش ۳ تبدیل شده و حل می‌گردد. با حل مسئله OPF مقدار بهینه تولید واحدها محاسبه شده و همچنین با معلوم بودن تعداد ساعات جابجایی هر بار هزینه جابجایی بار نیز محاسبه می‌گردد. با معلوم بودن این دو هزینه برای هر رشته ژنتیک، تابع هدف و مقدار تابع برازندگی آن رشته تعیین می‌گردد. در ادامه رشته‌هایی که از دیدگاه تابع برازندگی، ارزش بالاتری داشته باشند انتخاب گردیده و عملگرهای ژنتیک شامل عملگر جابجایی و جهش به آن رشته‌ها اعمال می‌گردد. این روند تا رسیدن به جواب نهایی تکرار می‌شود. شرط توقف الگوریتم تغییر نکردن جواب به ازای تعداد تکرار زیاد است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



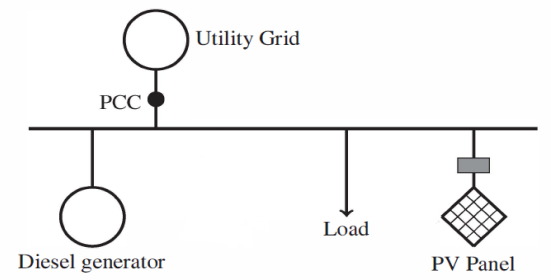
شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی ترکیبی

قیود مربوط به مساله پخش بار بهینه شامل قیود رابطه (۸) تا (۱۳) در برنامه پخش بار بهینـه گنجانـده شده است. اما قید مربوط به همگرایی پخش بار بهینه و محدودیت تعداد ساعت جابجایی هر بار (رابطه (۱۴)) در الگوریتم ژنتیک گنجانده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

۵. نتایج عددی

یک نمونه ریز شبکه مورد استفاده در این مقاله در شکل (۳) نشان داده شده است. که از نقطه pcc بـه شبکه اصلی متصل گردیده است. این شبکه دارای یک دیزل ژنراتـور، صـفحات خورشـیدی و بارهـای مختلف می‌باشد.



شکل ۳. ریزشبکه نمونه [8]

در جدول (۱) تا (۴) به ترتیب اطلاعات دیزل ژنراتور، صفحات خورشیدی، قیمت‌هـای خریـد و فـروش انرژی از شبکه و اطلاعات بارها آورده شده است.

جدول ۱. اطلاعات دیزل ژنراتور[8]

تابع هزینه	کمترین توان تولیدی	بیشترین توان تولیدی	دیزل ژنراتور
$F(p) = 22680p^2 + 15060p + 47/817$	۰/۱ MW	۴ MW	ریزشبکه

جدول۲. توان تولیدی صفحات خورشیدی [8]

تولید **PV** (**MW**)	زمان(ساعت)	تولید **PV** (**MW**)	زمان(ساعت)
۶/۵۲۰۸	۱۲	۰	۰
۴/۰۵۶۰	۱۳	۰	۱
۳/۷۶۷۴	۱۴	۰	۲
۵/۱۶۳۶	۱۵	۰	۳
۳/۷۱۲۸	۱۶	۰	۴
۱/۹۸۹۰	۱۷	۰	۵
۲/۹۶۴۰	۱۸	۰	۶
۰	۱۹	۰	۷
۰	۲۰	۱/۱۰۷۶	۸
۰	۲۱	۲/۶۹۸۸	۹
۰	۲۲	۴/۰۰۱۴	۱۰
۰	۲۳	۵/۸۲۶۶	۱۱

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

جدول ۳. قیمت خرید و فروش انرژی[8]

زمان	قیمت خرید	قیمت فروش	زمان	قیمت خرید	قیمت فروش
۰	۵۶	۴۴	۱۲	۵۷/۲	۴۵/۲
۱	۵۴/۸	۴۲/۸	۱۳	۵۹	۴۷
۲	۵۹	۴۷	۱۴	۶۰/۲	۴۸/۲
۳	۵۹/۶	۴۷/۶	۱۵	۶۱/۴	۴۹/۴
۴	۶۰/۸	۴۸/۸	۱۶	۶۳/۲	۵۱/۲
۵	۵۹/۶	۴۷/۶	۱۷	۶۵	۵۳
۶	۵۹	۴۷	۱۸	۶۸	۵۶
۷	۵۷/۸	۴۵/۸	۱۹	۷۴	۶۲
۸	۵۷/۲	۴۵/۲	۲۰	۶۸	۵۶
۹	۵۷/۲	۴۵/۲	۲۱	۶۵/۶	۵۳/۶
۱۰	۵۹	۴۴	۲۲	۶۱/۴	۴۹/۴
۱۱	۵۷/۲	۴۵/۲	۲۳	۶۱	۴۷

در جدول (۳) در ۲۴ ساعت شبانه روز، قیمت‌های خرید و فروش انرژی از شبکه برحسب دلار بر ساعت بیان شده است. در صورت ثابت بودن قیمت‌ها، قیمت فروش انـرژی بـه شـبکه ۴۰ دلار بـر سـاعت و قیمت خرید انرژی از شبکه ۶۰ دلار بر ساعت در نظر گرفته شده است.

جدول ۴. اطلاعات بارها[8]

زمان	بارغیر قابل جابجایی	بارهای قابل جابجایی									
		نوع۱	نوع۲	نوع۳	نوع۴	نوع۵	نوع۶	نوع۷	نوع۸	نوع۹	نوع۱۰
۰	۲/۵۵۹	۰	۰	۰/۰۵۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰
۱	۲/۵۲۶	۰	۰	۰/۰۵۰	۰	۰	۰	۰	۰/۶۰۰	۰	۰
۲	۲/۵۲۶	۰	۰	۰/۰۵۰	۰	۰	۰	۰	۱/۲۰۰	۰	۰
۳	۲/۵۸۳	۰	۰	۰/۱۰۰	۰/۴۰۰	۰	۰	۰	۱/۲۰۰	۰	۰
۴	۲/۵۵۵	۰	۰	۰/۱۰۰	۰/۴۰۰	۰	۰	۰	۱/۲۰۰	۰	۰
۵	۲/۷۳۵	۰	۰	۰/۰۵۰	۰/۴۰۰	۰	۰	۰	۰/۷۰۰	۰	۰
۶	۲/۹۵۶	۰/۱۰۰	۰	۰	۰/۴۰۰	۰	۰	۰	۰/۵۰۰	۰	۰
۷	۳/۰۵۰	۰/۲۰۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۶۰۰	۰	۰/۲۰۰	۰/۹۰۰	۰
۸	۳/۰۱۲	۰/۵۰۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۶۵۰	۰	۰	۱/۰۰۰	۰
۹	۳/۱۰۶	۰/۵۰۰	۰/۱۰۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۶۵۰	۰	۰	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰
۱۰	۳/۰۰۹	۰/۵۰۰	۰/۱۰۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۶۰۰	۰	۰	۱/۰۰۰	۰/۲۰۰
۱۱	۳/۰۱۰	۰/۲۰۰	۰/۱۰۰	۰	۰	۰	۰/۶۰۰	۰	۰	۱/۰۰۰	۰/۲۰۰
۱۲	۲/۹۵۶	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۲۰۰	۰/۲۰۰
۱۳	۳/۰۳۷	۰	۰/۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۱/۰۰۰	۰/۲۰۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

زمان	بارغیر قابل جابجایی	بارهای قابل جابجایی									
۱۴	۲/۹۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۸۰۰	۰/۲۰۰
۱۵	۳/۰۰۶	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۵۰۰	۰	۰	۰/۲۰۰
۱۶	۳/۰۳۵	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۷۰۰	۰	۰	۰/۲۰۰
۱۷	۳/۱۳۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۹۰۰	۰	۰	۰/۲۰۰
۱۸	۳/۱۶۱	۰	۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۹۰۰	۰	۰	۰/۱۰۰
۱۹	۲/۹۹۶	۰	۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۹۰۰	۰	۰	۰/۱۰۰
۲۰	۲/۹۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۵۰۰	۰	۰	۰
۲۱	۲/۸۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰	۰
۲۲	۲/۷۰۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۰۰	۰	۰	۰
۲۳	۲/۶۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

در جدول (۵) ضرایب تابع هزینه برای اجرای برنامه مدیریت سمت تقاضا آورده شده است.

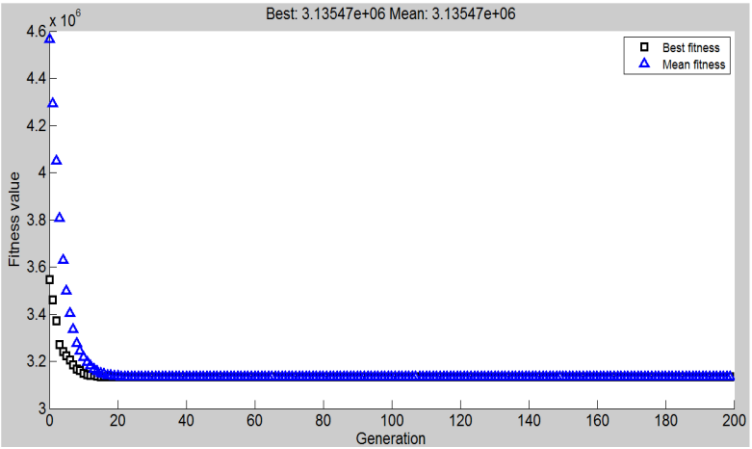
جدول ۵. ضرایب تابع هزینه مدیریت سمت تقاضا[8]

شماره بار	A	B	C	شماره بار	A	B	C
۱	۰	۲۳۰	۰۰۰	۶	۰	۱۱۰	۴۰۰۰
۲	۰	۵۳۰	۲۰۰۰	۷	۲۰	۳۳۰	۵۰۰۰
۳	۰	۶۱۰	۱۰۰۰	۸	۰	۲۵۰	۳۰۰۰
۴	۳۲	۹۶۰	۵۰۰۰	۹	۰	۱۶۰	۲۰۰۰
۵	۰	۵۲۰	۳۰۰۰	۱۰	۰	۴۸۰	۳۰۰۰

٦. اعمال الگوریتم پیشنهادی

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی به شبکه نمونه اعمال شده است. برای این منظور، ضرایب وزنی w1 و w2 برابر یک و قیمت‌های خرید و فروش انرژی از شبکه متغیر در نظر گرفته شده است. در الگوریتم ژنتیک تعداد جمعیت ۵۰۰ و تعداد تکرار ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. در شکل(۴) روند همگرایی الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است. در این شکل محور افقی نشان دهنده تعداد تکرار و محور عمودی نشان دهنده مقدار تابع برازندگی بوده و نماد □ بهترین مقدار و نماد △ مقدار میانگین تابع برازندگی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



شکل ۴. روند همگرایی مسئله بهینه سازی

نتایج اعمال الگوریتم ترکیبی به این شبکه در جدول(۶) و (۷) آورده شده است. در جدول (۶) میـزان جابجـایی برای هر بار، مقدار هزینه بهره برداری (CF) و هزینه مدیریت سمت تقاضا (DC) آورده شده است.

جدول ۶. میزان جابجایی بار و هزینه‌ها

جابجایی بارها (**Shift Time**) بر حسب ساعت										**DC($/h)**	**CF($/h)**	W2	W1
ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10				
۳	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۸	۲	۰	۵۳۸۲۰	۳۰۸۱۶۵۲/۳۳۵۴	۱	۱

در جدول (۷) میزان تولید واحدهای ریزشبکه و توان دریافتی از شبکه بر حسب مگاوات نشان داده شده است.

جدول ۷. توان تولیدی واحدها و توان دریافتی از شبکه

تولید ریزشبکه(**MW**)	تولید شبکه(**MW**)	زمان	تولید ریزشبکه(**MW**)	تولید شبکه(**MW**)	زمان
۰	۰/۰۳۶	۱۲	۰/۹۰	۱/۶۶	۰
۰/۹۷	۰/۷۱	۱۳	۰/۸۸	۱/۷۰	۱
۱/۰۰	۰/۵۶	۱۴	۰/۹۷	۱/۶۱	۲
۰/۴۴	۰	۱۵	۰/۹۸	۲/۰۵	۳
۱/۰۶	۰/۱۶	۱۶	۱/۰۱	۲/۰۵	۴
۱/۱۰	۱/۳۴	۱۷	۰/۹۸	۲/۲۵	۵
۱/۱۷	۰/۳۳	۱۸	۰/۹۷	۲/۴۴	۶

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

تولید ریزشبکه(**MW**)	تولید شبکه(**MW**)	زمان	تولید ریزشبکه(**MW**)	تولید شبکه(**MW**)	زمان
۱/۳۰	۳/۰۰	۱۹	۰/۹۴	۲/۴۱	۷
۱/۱۷	۲/۳۳	۲۰	۰/۹۳	۲/۱۸	۸
۱/۱۱	۱/۹۰	۲۱	۰/۹۳	۲/۲۳	۹
۱/۰۲	۱/۷۸	۲۲	۰/۹۷	۱/۶۹	۱۰
۱/۰۱	۱/۶۲	۲۳	۰/۷۸	۰	۱۱

۷. آنالیز حساسیت

در این قسمت تاثیر ضرایب وزنی ، صفحات خورشیدی و قیمت انرژی بر روی هزینه بهره برداری و هزینه برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج تحلیل شده است.

۸. تاثیر ضرایب وزنی

تابع هدف مسئله بهینه سازی از دو بخش شامل هزینه بهره برداری و هزینه اجرای برنامه مدیریت سمت تقاضا تشکیل شده است. در این بخش ضرایب وزنی هر یک از این بخش‌ها تغییر داده شده تا تاثیر آن بخش بر هزینه کل مشخص گردد. برای این منظور ضرایب وزنی مطابق جدول (۸) تغییر داده شده و نتایج آورده شده است.

جدول ۸. تاثیر ضرایب وزنی تابع هدف

W1	W2	CF($/h)	DC($/h)	جابجایی بارها (**Shift Time**) بر حسب ساعت									
				ST10	ST9	ST8	ST7	ST6	ST5	ST4	ST3	ST2	ST1
۱	۰	۳۰۱۶۴۴۵/۰۰۴۳	۰	۲۳	۲	۹	۱۷	۴	۱۷	۶	۵	۰	۶
۱	۱	۳۰۸۱۶۵۲/۳۳۵۴	۵۳۸۲۰	۰	۲	۸	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳
۱	۲	۳۱۷۴۶۷۸/۱۶۲۸	۱۸۶۰۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰
بدونDSM		۳۱۴۴۰۲۳/۲۷۰۰	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–

در این جدول ضریب وزنی هزینه بهره‌برداری ثابت و برابر یک فرض شده در حالی که ضریب وزنی هزینه برنامه‌های سمت تقاضا از صفر تا ۲ افزایش یافته است. در صورتی‌که W_2 برابر صفر باشد، جابجایی بار بدون هزینه در نظر گرفته شده است. مشخص است در این حالت کمترین هزینه بهره‌برداری و بیشترین مقدار جابجایی بار ایجاد گردیده است. حالتی‌که هر دو ضرایب وزنی برابر یک

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

هستند؛ هزینه بهره برداری افزایش یافته و میزان جابجایی بار نسبت به حالت قبل کمتر شده است. با افزایش ضریب وزنی مدیریت سمت تقاضا، تعداد و ساعت جابجایی بار کاهش یافته اما هزینه بهره برداری افزایش یافته است. بنابراین با توجه به اهمیت کاهش هزینه‌های مدیریت بار می‌توان ضریب مناسب برای هزینه مدیریت سمت تقاضا انتخاب نمود.

در ستون آخر (بدون DSM) حالتی در نظر گرفته شده است که برنامه مدیریت سمت تقاضا در نظر گرفته نشده و جابجایی تمامی بارها صفر در نظر گرفته شده است. مشخص است در این حالت هزینه بهره‌برداری نسبت به حالتی که مدیریت سمت تقاضا در نظر گرفته شده است بیشتر است. به عبارت دیگر اجرای برنامه مدیریت سمت تقاضا باعث کاهش هزینه بهره‌برداری کل می‌گردد.

۹. تاثیر صفحات خورشیدی

در جدول (۹) تاثیر حضور و عدم‌حضور صفحات خورشیدی در مساله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه آورده شده است.

جدول ۹. تاثیر صفحات خورشیدی

PV	CF($/h)	DC($/h)	جابجایی بارها (**Shift Time**) بر حسب ساعت									
			ST10	ST9	ST8	ST7	ST6	ST5	ST4	ST3	ST2	ST1
حضور	۳۰۸۱۶۵۲/۳۳۵۴	۵۳۸۲۰	۰	۲	۸	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳
عدم‌حضور	۵۵۵۶۲۶۷/۲۴۰۰	۲۶۷۲۰	۰	۰	۴	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱

جدول(۹) نشان می‌دهد که با حذف صفحات خورشیدی جابجایی بارها و همچنین هزینه برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا نسبت به حالتی که صفحات خورشیدی در سیستم موجود بودند، کاهش یافته است اما هزینه بهره‌برداری هنگامی که صفحات خورشیدی حذف می‌شوند به شدت افزایش یافته است. زیرا با حذف صفحات خورشیدی، کل انرژی مورد نیاز سیستم از دیزل ژنراتور تامین می‌شود.

۱۰. تاثیر قیمت انرژی

در این بخش یک بار قیمت انرژی در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز مطابق جدول (۳) متغیر در نظر گرفته شده و بار دیگر قیمت‌های خرید و فروش انرژی از شبکه ثابت در نظر گرفته شده و مسئله بهینه‌سازی حل شده است. نتایج اجرای این دو حالت در جدول (۱۰) آورده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

جدول ۱۰. تاثیر قیمت انرژی

قیمت	CF($/h)	DC($/h)	جابجایی بارها (Shift Time) بر حسب ساعت									
			ST10	ST9	ST8	ST7	ST6	ST5	ST4	ST3	ST2	ST1
متغیر	۳۰۸۱۶۵۲/۳۳۵۴	۵۳۸۲۰	۰	۲	۸	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳
ثابت	۳۰۲۶۹۵۸/۲۹۰۰	۶۴۲۴۰	۱	۳	۸	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۳

با ثابت شدن قیمت‌ها، جابجایی بارها افزایش یافته در نتیجه هزینه اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا افزایش می‌یابد ولی هزینه بهره برداری سیستم کاهش یافته است.

۱۱. نتیجه گیری

در این مقاله، بهره برداری بهینه از ریزشبکه به همراه اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا به صورت یک مسئله بهینه سازی مدل سازی گردید. تابع هدف مورد استفاده در این مسئله بهینه سازی عبارتست از حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینه بهره برداری از ریزشبکه و هزینه اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا به منظور کاهش دادن نارضایتی مشترکین . به منظور حل مسئله بهینه سازی از الگوریتم پیشنهادی ترکیبی که شامل الگوریتم ژنتیک و پخش بار بهینه است استفاده شد. تمامی محدودیت‌ها در برنامه پخش بار بهینه گنجانده شده و فقط محدودیت جابجایی بارها در الگوریتم ژنتیک قرار داده شد. نتایج به دست آمده از اجرای این الگوریتم به یک شبکه نمونه، نشان داد اولا اجرای برنامه مدیریت سمت تقاضا (جابجایی زمان مصرف) باعث کاهش هزینه بهره‌برداری کل ریزشبکه می‌گردد. ثانیا با افزایش اهمیت مدیریت سمت تقاضا، تعداد و ساعت جابجایی بار کاهش یافته اما هزینه بهره برداری افزایش یافته است. همچنین مشخص گردید قیمت لحظه‌ای انرژی می‌تواند تاثیر زیادی در پاسخ مساله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه داشته باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

منابع

[۱] ابراهیمی بجدنی محمدرضا، شعبانی دهبنه بابک، (۱۳۹۳) ، شبکه‌های هوشمند الکتریکی ، انتشارات سها دانش ، تهران.

[۲] بادلی مسلم، وحیدی بهروز، وهابزاده علیرضا، (۱۳۹۰) ، بهره برداری بهینه از یک میکرو شبکه در حالت‌های جزیره‌ای و متصل به شبکه ، سومین کنفرانس اصلاح و بهینه سازی انرژی الکتریکی ایران ، اهواز .

[۳] جدید شهرام، ذکریا زاده علیرضا، (۱۳۹۱)، شبکه‌های توزیع هوشمند ، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران ، تهران.

[۴] شاکرمی محمودرضا، اکبری سهراب، (۱۳۹۳)، بررسی و بهینه سازی تبادل توان بین یک شبکه و ریزشبکه متصل به آن در یک شبکه نمونه توسط الگوریتم هوشمند ، فصلنامه پژوهشی جویندگان علم شماره ۲ ،۸-۲.

[۵] شکروی روح الله، پارسا مقدم محسن، (۱۳۹۲) ، بهره برداری از ریز شبکه با در نظر گرفتن عدم قطعیت منابع تجدید پذیر و برنامه پاسخگویی بار ، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق ایران ، تهران.

[6] Ching Liao G., and Ian Tsai J,(2012) "Use A New Method to Solve the Economic Dispatch Problem of Smart MicroGrid Including Distributed Generation" , *IEEE , Power and energy engineering conference* , Shanghai, pp.1-4 .

[7] Hu Z., X. Han, and Q. Wen ,(2013) *Integrated Resource Strategic Planning and Power Demand-Side Management* ,China Electric Power Press and speringer , pp. 63-133.

[8] Jayadev V., and Swarap K. S.,(2013) " Optimization of Microgrid with Demand Side Management using Genetic Algorithm" , *IET conference on power in unity a whole system*, London , pp.1-6.

[9] Keyhani A, and Marwali M ,(2011) *Smart Power Grids* . USA Springer, pp.1-81

[10] H Liu, Y. Wu, C. Qian, and X Liu, (2012) "The Application of Dynamic Programming in the Stand-alone Micro-grid Optimal Operation" *IEEE , Power and energy engineering conference*, Shanghai, pp.1-5.

[11] Toma L., and Bica D, (2013) " Economic operation of distributed energy resources in a microgrid" *IEEE, Power tech* , Grenoble , pp.1-5

[12] Wood A. J., Wollenberg B F, and Sheble G B,(2010) *Power Generation , Operation and control* , 2nd ed , Wiley Interscience publication , pp.514-555.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]