

بهره‌برداری بهینه از ریزشبه با مدیریت سمت تقاضا

^۱سهیل عباسی، ^۲عباس صابری نوقابی *

چکیده

یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری بهینه از سیستم قدرت، بهره‌برداری بهینه از ریزشبه‌ها 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 ریزشبه‌ها 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 ریزشبه نمونه اعمال شده و نتایج نشان داد که با مدیریت سمت تقاضا می‌توان هزینه کل بهره‌برداری از یک ریزشبه را کاهش داد.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۵/۳/۹

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۶/۲/۱۰

کلمات کلیدی:

بهره‌برداری بهینه

ریزشبه

مدیریت سمت تقاضا

الگوریتم ترکیبی

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

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، سرمایه‌گذاران 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 از سیستم‌های قدرت مستلزم استفاده از یک برنامه‌ریزی صحیح است؛ که عمدتاً در سه بخش، برنامه‌ریزی بلندمدت، برنامه‌ریزی میان مدت و برنامه‌ریزی کوتاه مدت صورت می‌گیرد. ریزشبکه‌ها نیز برنامه‌ریزی در این سه بازه را دارا می‌باشند. در برنامه‌ریزی بلندمدت، 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 ذخیره‌سازها 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 بهره‌برداری از ریزشبکه‌ی مجهز به منابع تجدیدپذیر و منابع ذخیره‌ساز توان پرداخته شده است. در مرجع [۶]، ارزیابی ریزشبکه هوشمند استفاده‌نموده 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 [۱۰]، نشان داده شده که، با نصب دستگاه‌های ذخیره‌ساز انرژی مناسب، می‌توان تغییرات و نوسانات توان اکتیو را تثبیت کرد و فرکانس ریزشبکه را در حد مشخص شده حفظ نمود. در مرجع [۲]، یک ریزشبکه مجهز به سیستم متمرکز مدیریت انرژی معرفی گردیده که وظیفه‌ی آن، بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزشبکه در هر دو حالت جزیره‌ای و متصل به شبکه است. در مرجع [۴]، یک معیار مهم پاسخگویی به تقاضای توان با حداقل هزینه بهره‌برداری، استفاده از ترکیبی بهینه از شبکه اصلی و ریزشبکه با افق برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته معرفی شده است. در مرجع [۸]، از برنامه‌ریزی اقتصادی، برای تولید و بار استفاده شده که برای

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 ریزشبه‌ها 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 بهینه‌سازی 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 بهینه‌سازی از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و پخش بار بهینه استفاده شده است.

۲. مدیریت سمت تقاضا

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

۱. بهره‌وری بهینه انرژی: هدف برنامه‌های بهره‌وری انرژی، کاهش مصرف انرژی به صورت دائمی می‌باشد که معمولاً از طریق تغییر در تکنولوژی و تجهیزات مصرف‌کننده نهایی فراهم می‌شود.
۲. پاسخگویی بار: پاسخگویی بار یکی از تحولات جدید در حوزه مدیریت سمت تقاضا به شمار می‌آید که به معنای مشارکت مصرف‌کنندگان 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 سایه 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.

۳. فرمول بندی مسئله

برنامه‌ریزی بهینه تولید واحدها به صورت یک مسئله بهینه‌سازی فرمول بندی می‌شود. در بهره‌برداری بهینه از یک ریزشبه، 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 ریزشبه با در نظر گرفتن مدیریت سمت تقاضا، به صورت ریاضی مطابق رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$\text{Min}F = w_1 \times CF + w_2 \times DC \quad (1)$$

که در این رابطه F کل هزینه‌های بهره‌برداری از ریزشبه، 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.

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

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 بهره‌برداری واحدهای تولیدی شامل هزینه تولید واحدها، هزینه راه‌اندازی و هزینه نگهداری و تعمیرات است. همچنین با توجه به این که در ریزشبه 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.

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

که $C(i,t)$ هزینه تولید توان واحد i ام در ساعت t ام بهره‌برداری، $MC(i,t)$ هزینه تعمیرات و نگهداری و $SC(i,t)$ هزینه راه‌اندازی 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 T_{pp} تعرفه خرید برق از شبکه، P_{pp} توان خریداری شده از شبکه، T_{sp} تعرفه فروش برق به شبکه و P_{sp} 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 i ام به ازای تولید هر کیلووات توان الکتریکی و $P(i, t)$ توان تولیدی واحد i ام در ساعت t ام است.

هزینه راه‌اندازی تنها برای واحدهای تولیدی با سوخت‌های فسیلی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه هزینه راه‌اندازی تنها در هر دوره که واحد روشن شود به آن تعلق می‌گیرد، نحوه محاسبه هزینه راه‌اندازی 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 $S \cos t(i)$ هزینه راه‌اندازی واحد i ام و $u(i, t)$ متغیر باینری است که وضعیت روشن بودن یا خاموش بودن واحد i ام در ساعت t ام را نشان می‌دهد.

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.

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

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

$$|F_{ij}| \leq F_{ij}^{\max} \quad (۱۲)$$

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

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

$$st_l \leq T_l \quad l = 1, \dots, m \quad (۱۴)$$

در این رابطه T_l مدت زمان مجاز جابجایی بار l ام 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.

۴. الگوریتم پیشنهادی ترکیبی

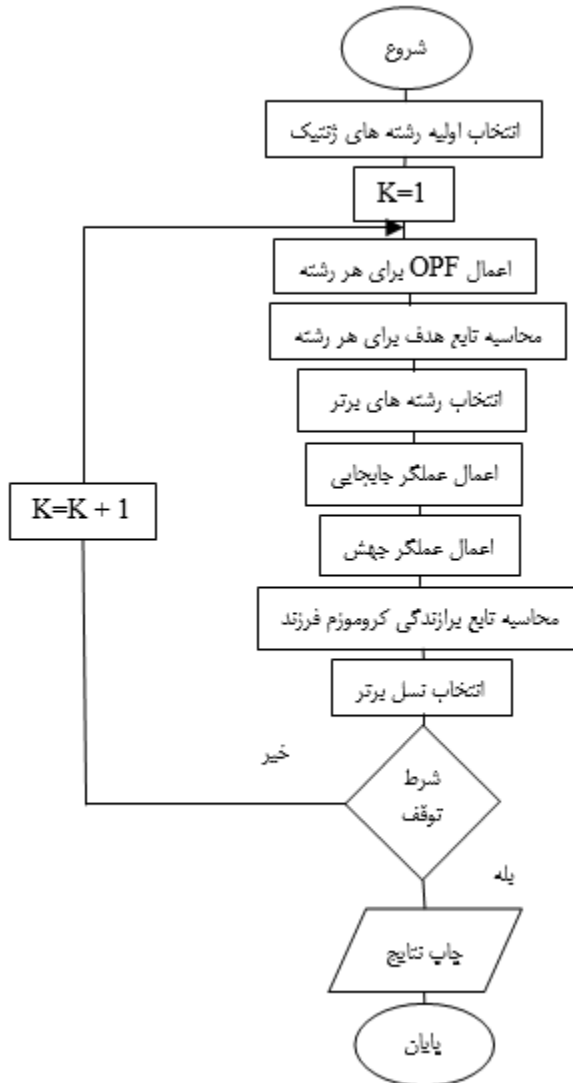
در الگوریتم پیشنهادی از ترکیب روش الگوریتم ژنتیک و پخش بار بهینه به منظور حل مسئله بهره برداری بهینه از ریزشبکه‌ها با مدیریت سمت تقاضا استفاده شده است. رشته‌های ژنتیک در این

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.

L1	L2	L3	...	Lm

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 بهره‌برداری 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.

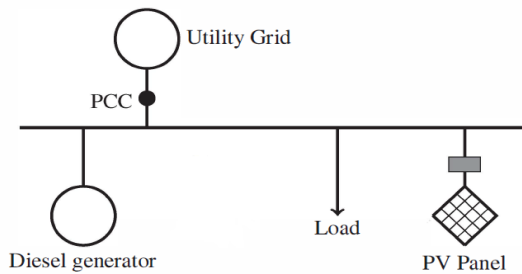


شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی ترکیبی

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

۵. نتایج عددی

یک نمونه ریز شبکه مورد استفاده در این مقاله در شکل (۳) نشان داده شده است. که از نقطه pcc به شبکه اصلی متصل گردیده است. این شبکه دارای یک دیزل ژنراتور، صفحات خورشیدی و بارهای مختلف می‌باشد.



شکل ۳. ریزشبهه نمونه [8]

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

جدول ۱. اطلاعات دیزل ژنراتور [8]

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

جدول ۲. توان تولیدی صفحات خورشیدی [8]

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

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 انرژی به شبکه ۴۰ دلار بر ساعت و قیمت خرید انرژی از شبکه ۶۰ دلار بر ساعت در نظر گرفته شده است.

جدول ۴. اطلاعات بارها [8]

زمان	بار غیر قابل جابجایی	بارهای قابل جابجایی									
		نوع ۱	نوع ۲	نوع ۳	نوع ۴	نوع ۵	نوع ۶	نوع ۷	نوع ۸	نوع ۹	نوع ۱۰
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

بار غیر قابل جایجایی	زمان جایجایی	بارهای قابل جایجایی									
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۴	۲/۹۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۸۰۰	۰/۲۰۰
۱۵	۳/۰۰۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۵۰۰	۰	۰/۲۰۰
۱۶	۳/۰۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۷۰۰	۰	۰/۲۰۰
۱۷	۳/۱۳۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۰	۰	۰/۹۰۰	۰	۰/۲۰۰
۱۸	۳/۱۶۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۹۰۰	۰	۰/۱۰۰
۱۹	۲/۹۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۰۰	۰	۰/۹۰۰	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

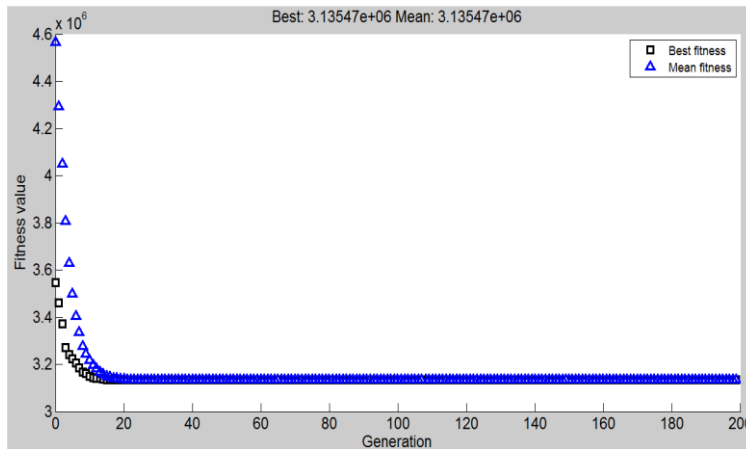
در جدول (۵) ضرایب تابع هزینه برای اجرای برنامه مدیریت سمت تقاضا آورده شده است.

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

۶. اعمال الگوریتم پیشنهادی

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی به شبکه نمونه اعمال شده است. برای این منظور، ضرایب وزنی w_1 و w_2 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 \square بهترین مقدار و نماد \triangle مقدار میانگین تابع برازندگی را نشان می‌دهد.



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) میزان جابجایی 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

زمان	تولید شبکه (MW)	تولید ریزشبکه (MW)	زمان	تولید شبکه (MW)	تولید ریزشبکه (MW)
۰	۱/۶۶	۰/۹۰	۱۲	۰/۳۶	۰
۱	۱/۷۰	۰/۸۸	۱۳	۰/۷۱	۰/۹۷
۲	۱/۶۱	۰/۹۷	۱۴	۰/۵۶	۱/۰۰
۳	۲/۰۵	۰/۹۸	۱۵	۰	۰/۴۴
۴	۲/۰۵	۱/۰۱	۱۶	۰/۱۶	۱/۰۶
۵	۲/۲۵	۰/۹۸	۱۷	۱/۳۴	۱/۱۰
۶	۲/۴۴	۰/۹۷	۱۸	۰/۳۳	۱/۱۷

تولید ریزشبهه (MW)	تولید شبکه (MW)	زمان	تولید ریزشبهه (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 بهره‌برداری و هزینه برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج تحلیل شده است.

۸. تاثیر ضرایب وزنی

تابع هدف مسئله بهینه‌سازی از دو بخش شامل هزینه بهره‌برداری 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

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

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 صورتی که 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. حالتی که هر دو ضرایب وزنی برابر یک

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 عدم حضور صفحات خورشیدی در مساله بهره‌برداری بهینه از ریزشبه آورده شده است.

جدول ۹. تاثیر صفحات خورشیدی

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

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.

جدول ۱۰. تاثیر قیمت انرژی

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

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

۱۱. نتیجه‌گیری

در این مقاله، بهره‌برداری بهینه از ریزشبهه به همراه اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا به صورت یک مسئله بهینه‌سازی مدل‌سازی گردید. تابع هدف مورد استفاده در این مسئله بهینه‌سازی عبارتست از حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینه بهره‌برداری از ریزشبهه و هزینه اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا به منظور کاهش دادن ناراضایتی مشتریان. به منظور حل مسئله بهینه‌سازی 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 اولاً اجرای برنامه مدیریت سمت تقاضا (جابجایی زمان مصرف) باعث کاهش هزینه بهره‌برداری کل ریزشبهه می‌گردد. ثانیاً با افزایش اهمیت مدیریت سمت تقاضا، تعداد و ساعت جابجایی بار کاهش یافته اما هزینه بهره‌برداری افزایش یافته است. همچنین مشخص گردید قیمت لحظه‌ای انرژی می‌تواند تاثیر زیادی در پاسخ مساله بهره‌برداری بهینه از ریزشبهه داشته باشد.

منابع

- [۱] ابراهیمی بجدنی محمدرضا، شعبانی دهبینه بابک، (۱۳۹۳) ، شبکه‌های هوشمند الکتریکی ، انتشارات سپا 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 springer , 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.

