

صفحه	عنوان مقاله	
۲۶۲	مبدا ماتریسی منبع امپدانس سه فاز به تکفاز	11-F-PDS-1
۲۶۳	روش جدید آشکارسازی جزیره مزارع بادی بر اساس اندازه گیری زاویه فاز	11-F-PDS-2
۲۶۴	توسعه روش پسر - پیشرو جهت انجام پخش بار در شبکه های از دوسو تغذیه	11-F-PDS-3
۲۶۵	مدل سازی شینه های کنترل ولتاژ در روش پخش بار پسر - پیشرو	11-F-PDS-4
۲۶۶	Simultaneous Designing of Unified Power Flow Controller and Distributed Generation in Loop and Radial Distribution Systems	11-E-PDS-1
۲۶۷	ارائه روش نوین اولویت بندی اجرای تعمیرات مبتنی بر اهمیت	11-F-PDS-5
۲۶۸	بهینه سازی و آنالیز حساسیت برای سیستم هایبرید مستقل از شبکه جزیره کیش با استفاده از نرم افزار HOMER	11-F-PDS-6
۲۶۹	Mitigation of Voltage Sag by Optimal Distributed Generation Placement and Sizing in Distribution Systems with Economic Consideration Using Particle Swarm Optimization	11-E-PDS-2
۲۷۰	جایابی و تعیین سائز منابع تولید پراکنده و انجام بازاریابی بهینه در سیستم های توزیع شعاعی جهت بهبود شرایط عملکردی شبکه با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی	11-F-PDS-7
۲۷۱	بازنگری و مطالعه موردی تلفات و ضریب تلفات در سیستم های سه فاز نامتعادل و غیر سینوسی	11-F-PDS-8
۲۷۲	جایابی همزمان رگولاتور ولتاژ و خازن های ثابت و سوچ شوند در سیستم های توزیع با استفاده از الگوریتم بهینه سازی توسعه یافته و چند هدفه اجتماع ذرات	11-F-PDS-9
۲۷۳	تحلیل تسهیم توان میان منابع تولید پراکنده در حالت کاری جزیره ای	11-F-PDS-10
۲۷۴	مقایسه کاربردی (ANFIS) با (MLP) در تعیین محل عیب یابی کابل فشار متوسط	11-F-PDS-11
۲۷۵	آسیب پذیری ترانسفورماتورهای هوایی توزیع در برابر زلزله و راهکار بهسازی آنها	11-F-PDS-12
۲۷۶	بررسی تاثیر نحوه مدل سازی اثر جریان زمین بر نتایج پخش بار در شبکه های توزیع	11-F-PDS-13
۲۷۷	جایابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات و بهبود قابلیت اطمینان در فیدرهای ۲۰ کیلوولت با استفاده از الگوریتم جست و جوی گروهی	11-F-PDS-14
۲۷۸	توزیع اقتصادی همزمان توان و حرارت CHPED با روش بهبود یافته SPGSA	11-F-PDS-15
۲۷۹	برنامه ریزی تامین انرژی یک شرکت توزیع برق در محیط مبتنی بر ریسک در حضور بارهای قابل قطع	11-F-PDS-16
۲۸۰	ارائه روشی جدید برای مسیریابی فیدرهای فشار متوسط	11-F-PDS-17
۲۸۱	کاهش هزینه افزایش پایداری خطوط هوایی شبکه توزیع با بهینه سازی فونداسیون و لحاظ نمودن ضریب اطمینان بهینه در طراحی مکانیکی پایه ها	11-F-PDS-18
۲۸۲	بررسی پدیده ترکیب بانک های خازن فشار متوسط در شبکه های توزیع نیرو، راهکارهای پیشنهادی	11-F-PDS-19
۲۸۳	جایابی و تعیین مقدار بهینه مولدهای مقیاس کوچک در شبکه های توزیع با ترکیب روش های تحلیلی و الگوریتم ژنتیک	11-F-PDS-20
۲۸۴	پیش بینی بار بلند مدت شبکه های توزیع به کمک رگرسیون چندگانه بهبود یافته	11-F-PDS-21
۲۸۵	اثر منابع تولید پراکنده بر قابلیت اطمینان فیدرهای پر بار شبکه توزیع بندرعباس	11-F-PDS-22
۲۸۶	مکان یابی خازن در شبکه های توزیع با استفاده از الگوریتم چند هدفه بر اساس حرکات باکتری	11-F-PDS-23
۲۸۷	مطالعات مدلسازی بار شبکه توزیع شهر شیراز	11-F-PDS-2004
۲۸۸	جایابی و اندازه یابی بهینه سیستم های تولید همزمان برق و حرارت توسط الگوریتم PSO	11-F-PDS-2007
۲۸۹	کلیدزنی بهینه شبکه های توزیع در جهت کاهش تلفات	11-F-PDS-2024
۲۹۰	متعال سازی بار در شبکه های توزیع فشار متوسط توسط جایابی مشترکین تکفاز	11-F-PDS-2027
۲۹۱	تعیین مکان و ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ بر روش الگوریتم تکاملی	11-F-PDS-2034

جایابی و اندازه‌یابی بهینه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت توسط الگوریتم PSO

محمد حسین جاویدی^۱

استاد گروه برق

h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

۱. لابراتوار تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار دکتر جاویدی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

سید مهرداد حسینی^۱

دانشجوی ارشد برق-قدرت

me_ho243@stu-mail.um.ac.ir

واژه‌های کلیدی: منابع تولیدات پراکنده، سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت، الگوریتم PSO، آنالیز هزینه منفعت.

چکیده

جایابی و اندازه‌یابی سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت و یا عبارتی منابع انرژی پراکنده در شبکه‌های قدرت همواره بدلیل کاهش چشمگیر هزینه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. این مقاله یک تابع چند هدفه با رهیافت کلی هزینه-منفعت برای یافتن مکان و اندازه بهینه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در شبکه‌های توزیع ارائه می‌دهد. برای یافتن نقطه بهینه از الگوریتم ترکیبی پخش بار و PSO استفاده شده است. همچنین اثر پارامترهای مختلف از جمله نرخ رشد بار و نرخ سود در نظر گرفته شده‌اند.

روش‌های پیشنهادی بر روی سیستم‌های تست ۶ باسه و ۱۴ باسه IEEE پیاده‌سازی شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی توانایی یافتن مکان و اندازه بهینه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت را دارا می‌باشد، که منجر به کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان در شبکه می‌شود.

۱- مقدمه:

امروزه تجدید ساختار در صنعت برق به صورت فراگیری در بسیاری از کشورهای صنعتی و در حال توسعه گسترش پیدا کرده است. در سیستم خصوصی شده صنعت برق، بر اساس تجارت آزاد به عنوان یک کالا، هر جا که امکان داشته باشد، نیروگاه‌های کوچک و پراکنده از جمله سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (CHP)^۱ به تولید توان می‌پردازند. منابع انرژی پراکنده^۲ با اهداف گوناگون در شبکه‌های قدرت نصب شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این اهداف در [۲و۱] به تفصیل شرح داده شده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که تا افق نزدیک، حدود ۲۵ درصد از تولید کنندگان جدید توان الکتریکی نصب شده در شبکه‌های قدرت، مربوط به منابع انرژی پراکنده باشد [۳]. در [۴] استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در افزایش قابلیت اطمینان میکروگریدها بررسی گردیده است. از ضریب حساسیت تلفات در هر باس برای محاسبه مکان بهینه برای نصب واحدهای تولید همزمان برق و حرارت استفاده شده است. اندازه بهینه این واحدها با استفاده از الگوریتم بهینه جستجوی

¹ Combined Heat and Power

² Distributed Energy Resources (DERs)

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

های تولید همزمان برق و حرارت در یافتن اندازه و مکان بهینه آن لحاظ گردیده است. مزایایی که در این مقاله بواسطه استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در شبکه بررسی می‌گردند شامل افزایش قابلیت اطمینان، فروش برق و حرارت به مصرف‌کنندگان، کاهش تلفات شبکه و تاخیر در بهبود و ارتقا سیستم می‌باشد. هدف کلی حالتی است که سود سرمایه‌گذاری را تضمین کرده و رفاه اجتماعی را نیز افزایش دهد. از آن‌جا که مزایا بصورت عبارات اقتصادی تعریف گردیده و محاسبه می‌شوند، مقایسه آن‌ها با یکدیگر و تعیین استراتژی بهینه امکان‌پذیر خواهد بود. از الگوریتم PSO برای یافتن جواب بهینه استفاده شده است. با توجه به این الگوریتم سناریوها و جواب‌های برتر مشخص می‌گردند.

روش کار به این صورت است که ابتدا تابع هدف بر مبنای مزایای استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت سیستم قدرت تعریف می‌گردد، سپس با استفاده از الگوریتم PSO و بر طبق تابع هدف تعریف شده این مسئله بهینه‌سازی حل می‌شود. در ادامه ابتدا انواع منابع تولیدات پراکنده و بطور خاص سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت مورد بررسی قرار می‌گیرند سپس به معرفی روش PSO و فرموله کردن مسئله بهینه‌سازی و الگوریتم‌های ارائه شده برای حل بهینه این مسئله می‌پردازیم و در انتها شبکه‌های نمونه مورد استفاده در این مقاله و نتایج جایابی و اندازه‌یابی بهینه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در سیستم‌های قدرت مورد مطالعه معرفی شده و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۲- الگوریتم بهینه‌سازی PSO

در ابتدا باید مسئله بهینه‌سازی را همانند زیر تعریف کنیم

[۱۲]:

$$\text{Minimize } f(x) \text{ s.t. } x_i \in X_i, \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

$f(x)$ تابع هدف و x مجموعه هر یک از متغیرهای تصمیم-گیری x_i می‌باشند. X_i مجموعه محدوده ممکن برای هر متغیر و N تعداد متغیرها را نشان می‌دهد.

الگوریتم بهینه‌سازی PSO یکی از جدیدترین و قوی‌ترین روش‌های هیوریستیک می‌باشد و تاکنون در حل چندین مسئله پیچیده در سیستم‌های قدرت مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳ و ۱۴].

ذرات (PSO^۱) و تابع هدف پیشینه کردن نسبت هزینه به منفعت انجام پذیرفته است. اتصال تولیدات پراکنده به شبکه بر روی عملکرد آن تأثیر می‌گذارد، حال این تأثیر می‌تواند مثبت یا منفی باشد. رفتار مشاهده شده از شبکه به نوع و اندازه و همچنین محل اتصال آن به شبکه بستگی دارد. به همین دلیل مسئله تعیین مکان و اندازه واحد تولید پراکنده به مسئله‌ای مهم تبدیل شده است [۵ و ۶]. استفاده از روش‌های هوشمند برای یافتن اندازه و مکان تولیدات پراکنده بسیار گسترده بوده است. در [۷] الگوریتم ژنتیک برای یافتن اندازه و مکان تولیدات پراکنده در راستای کاهش تلفات شبکه، با در نظر گرفتن تأثیر آن بر بازآرایی سیستم قدرت، مورد استفاده قرار گرفته است. [۸] از الگوریتم APSO^۲ برای حل مسئله جایابی بهینه تولیدات پراکنده با هدف کمینه کردن تلفات توان حقیقی با در نظر گرفتن محدودیت‌های ولتاژ بهره برده است. در [۹] برای تعیین اندازه و مکان تولیدات پراکنده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها^۳ با هدف مینیمم کردن هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه بهره‌برداری استفاده شده است. یک روش چند هدفه برای معین کردن پارامترهای کمی و کیفی با استفاده از منطق فازی جهت بدست آوردن محل بهینه واحدهای تولید پراکنده در راستای برنامه ریزی سیستم‌های توزیع در [۱۰] ارائه شده است. آنالیز هزینه منفعت می‌تواند برای یافتن نوع، محل و اندازه بهینه واحد تولید پراکنده مورد استفاده قرار گیرد [۱۱ و ۱۲]. در [۱۲] تأثیر تولیدات پراکنده بر بهبود قابلیت اطمینان شبکه مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده شده است که در برخی موارد استفاده از تولیدات پراکنده تنها برای بهبود قابلیت اطمینان، از نظر اقتصادی بصره است.

هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بسیار بالا می‌باشد؛ در نتیجه جایابی بهینه و یافتن اندازه مناسب آن‌ها با اهمیت است. به عبارت دیگر، مکان و اندازه‌یابی سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت باید به گونه‌ای باشد که سود ناشی از هزینه سرمایه‌گذاری ماکزیمم باشد در حالی که ریسک سرمایه‌گذاری مینیمم گردد. در این مقاله مزایای گوناگون استفاده از سیستم-

¹ Particle Swarm Optimization

² Adaptive Weight Particle Swarm Optimization

³ Ant Colony

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

۳-۱- مدل‌سازی مسئله

برای در نظر گرفتن رشد بار و داشتن دید نسبت به سال-های آتی N_{year} سال در این مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. با در نظر گرفتن نرخ رشد بار سالانه α برای بار سال t ام خواهیم داشت:

$$Pd_t = Pd_1 \times (1 + \alpha)^{t-1} \quad (5)$$

که در این رابطه Pd_1 میزان پیک بار در سال اول، Pd_t میزان پیک بار در سال t ام می‌باشند و t بیانگر سال مورد نظر در افق مورد بررسی است.

در اینجا از آنالیز هزینه منفعت برای یافتن اندازه و مکان بهینه واحدهای تولید همزمان برق و حرارت استفاده شده است. تابع هدف در نظر گرفته شده برابر است با نسبت سود استفاده از این واحدها به هزینه‌های مرتبط با استفاده از این واحدها، که بایستی ماکزیمم گردد:

$$Max\ BCR = \frac{Benefit_{CHP}}{Cost_{CHP}} \quad (6)$$

که در رابطه فوق BCR^2 بیانگر نسبت منفعت به هزینه است، $Benefit_{CHP}$ منافع استفاده از واحدهای تولید همزمان برق و حرارت و $Cost_{CHP}$ هزینه‌های مرتبط با استفاده از این واحدها را نشان می‌دهد. مزایای در نظر گرفته شده برای واحدهای تولید همزمان برق و حرارت عبارتند از کاهش در هزینه خرید انرژی^۳ از شبکه، فروش حرارت^۴، افزایش قابلیت اطمینان شبکه از طریق کاهش قطعی‌های شبکه، تأخیر در بهبود و توسعه سیستم قدرت^۵ و کاهش هزینه‌های تلفات سیستم:

$$Benefit_{CHP} = \sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^{N_{year}} (PPS_{k,t}^{CHP} + HS_{k,t}^{CHP} + UID_{k,t}^{CHP} + \Delta CIC_{k,t}^{CHP} + \Delta CLoss_{k,t}^{CHP}) \quad (7)$$

هزینه‌های مرتبط با استفاده از واحدهای تولید همزمان برق

الگوریتم PSO با یک گروه از جوابهای تصادفی (ذره‌ها) شروع به کار می‌کند، سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مسأله با به روز کردن نسلها به جستجو می‌پردازد. هر ذره با دو مقدار S_i و V_i که به ترتیب معرف وضعیت مکانی و سرعت مربوط به i امین ذره هستند تعریف می‌شود. در هر مرحله از حرکت جمعیت، هر ذره با دو مقدار بهترین به روز می‌شود [۱۷-۱۵]. اولین مقدار، بهترین جواب از لحاظ شایستگی^۱ است که تا کنون برای هر ذره بطور جداگانه بدست آمده است، این مقدار p_best نامیده می‌شود. مقدار بهترین دیگری که توسط PSO بدست می‌آید، بهترین مقداری است که تا کنون توسط تمام ذره‌ها در میان جمعیت بدست آمده است. این مقدار، بهترین کلی است و g_best نام دارد. بعد از یافتن دو مقدار p_best و g_best هر ذره سرعت و مکان جدید خود را طبق روابط زیر به روز می‌کند:

$$V_i^{k+1} = W * V_i^k + C_1 * rand * (p_best_i - S_i) + C_2 * rand * (g_best_i - S_i) \quad (2)$$

$$S_i^{k+1} = S_i^k + V_i^{k+1} \quad (3)$$

$$W = W_{max} + \frac{(W_{min} - W_{max})}{iter\ Max} * iter \quad (4)$$

همگرایی مسأله به پارامترهای الگوریتم PSO مانند W و C_1 و C_2 وابسته می‌باشد. مقادیر C_1 و C_2 را معمولاً برابر ($C_1 = C_2$) و در بازه [۰-۲] در نظر می‌گیرند. ضریب اینرسی وزنی هم با تغییر توسط رابطه (۴) باعث همگرایی خواهد شد. که به صورت متغیر در بازه [۰/۹-۰/۲] تعریف می‌شود.

۳- مدل‌سازی مسئله و الگوریتم پیشنهادی

هدف از مکان و اندازه‌یابی بهینه واحدهای تولید همزمان برق و حرارت یافتن مکان و اندازه بهینه این واحدها با مینیمم یا ماکزیمم کردن تابع هدفی می‌باشد که متأثر از چندین متغیر می‌باشد و تحت تاثیر چندین قید مساوی و یا نامساوی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین رهیافت‌ها در این زمینه استفاده از آنالیز هزینه منفعت می‌باشد.

² Benefit to Cost Ratio

³ Power Purchase Saving (PPS)

⁴ Heat Selling (HS)

⁵ Upgrade Investment Deferral (UID)

¹ Fitness

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

$$HS = \sum_{t=1}^{N_{year}} \sum_{k=1}^{N_{DG}} H_{k,t}^{CHP} \times HP_t \quad (11)$$

که در این رابطه $H_{k,t}^{CHP}$ حرارت تولیدی k امین واحد تولید همزمان برق و حرارت در t امین سال در افق مورد بررسی برحسب کیلووات-ساعت می‌باشد و HP_t قیمت حرارت در t امین سال در افق زمانی مورد نظر می‌باشد. با در نظر گرفتن نرخ بهره میزان قیمت حرارت در t امین سال همانند رابطه ۳-۶ می‌تواند بصورت زیر مدل شود:

$$HP_t = HP_1 \times (1+IR)^{t-1} \quad (12)$$

۳-۲-۳- افزایش قابلیت اطمینان

اگر هزینه قطع سالانه برق مشترکین^۶ قبل از استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت را با CIC^{Old} نشان دهیم و این هزینه پس از استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در شبکه را با $CIC_{k,t}^{CHP}$ نشان دهیم، میزان بهبود قابلیت اطمینان شبکه بواسطه استفاده از تولید همزمان برق و حرارت بصورت زیر تعریف و محاسبه می‌گردد [۱۸]:

$$\Delta CIC_{k,t}^{CHP} = CIC^{Old} - CIC_{k,t}^{CHP} \quad (13)$$

۴-۲-۳- تأخیر در بهبود و توسعه سیستم‌های قدرت

از آنجا که سیستم‌های انتقال توان در سیستم‌های قدرت بگونه‌ای ساخته شده‌اند که در زمان پیک بار در نزدیکی محدوده مجاز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، استفاده از منابع انرژی پراکنده می‌تواند عبوری از خطوطی که دارای اضافه بار هستند را کاهش دهد و در نتیجه نیاز به بهبود و توسعه در این خطوط را به تأخیر بیندازد [۱۹]. با توجه به مراجع [۲۰ و ۲۱] ارزش سالیانه ۱۲۰ دلار بر کیلوولت-آمپر برای این مزیت منابع تولیدات پراکنده در نظر گرفته شده است.

۵-۲-۳- کاهش تلفات شبکه

یکی از تاثیرات مثبت اتصال منابع انرژی پراکنده به شبکه، کاهش تلفات سیستم توزیع است که این امر بستگی به مقدار

و حرارت عبارتند از هزینه‌های سرمایه‌گذاری^۱، هزینه‌های بهره‌برداری^۲ و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری^۳:

$$Cost_{CHP} = \sum_{k=1}^{N_{CHP}} IC_k^{CHP} + \sum_{t=1}^{N_{year}} (OC_{kt}^{CHP} + MC_{kt}^{CHP}) \quad (8)$$

در روابط فوق N_{CHP} و N_{year} به ترتیب تعداد واحدهای تولید همزمان برق و حرارت و تعداد سال‌های مورد بررسی در افق مورد نظر را نشان می‌دهند.

۳-۲- مزایای استفاده از واحدهای تولید همزمان برق و حرارت

۳-۲-۱- کاهش در هزینه خرید انرژی

این مزیت عبارتست از کاهش در میزان انرژی خریداری شده از بازار انرژی الکتریکی برای تأمین نیاز مصرف‌کنندگان، بدلیل تولید توان توسط واحدهای تولید همزمان برق و حرارت. میزان این کاهش بر حسب کیلووات در هر لحظه برابر با میزان توان تولیدی منابع تولیدات پراکنده در آن لحظه می‌باشد که بصورت زیر مدل می‌گردد:

$$PPS = \sum_{t=1}^{N_{year}} \sum_{k=1}^{N_{DG}} P_{k,t}^{CHP} \times EP_t \quad (9)$$

که در این رابطه $P_{k,t}^{CHP}$ توان تولیدی k امین واحد تولید همزمان برق و حرارت در t امین سال در افق مورد بررسی می‌باشد و EP_t قیمت برق در t امین سال در افق زمانی مورد نظر می‌باشد. با در نظر گرفتن نرخ بهره^۵ میزان قیمت برق در t امین سال می‌تواند بصورت زیر مدل شود:

$$EP_t = EP_1 \times (1+IR)^{t-1} \quad (10)$$

۳-۲-۲- فروش حرارت

این مزیت عبارتست از فروش حرارت به متقاضیان برای تأمین نیاز مصرف‌کنندگان، بدلیل تولید حرارت توسط واحدهای تولید همزمان برق و حرارت، میزان بهره اقتصادی این مزیت بصورت رابطه ۳-۷ مدل می‌گردد:

¹ Investment Cost (IC)

² Operation Cost (OC)

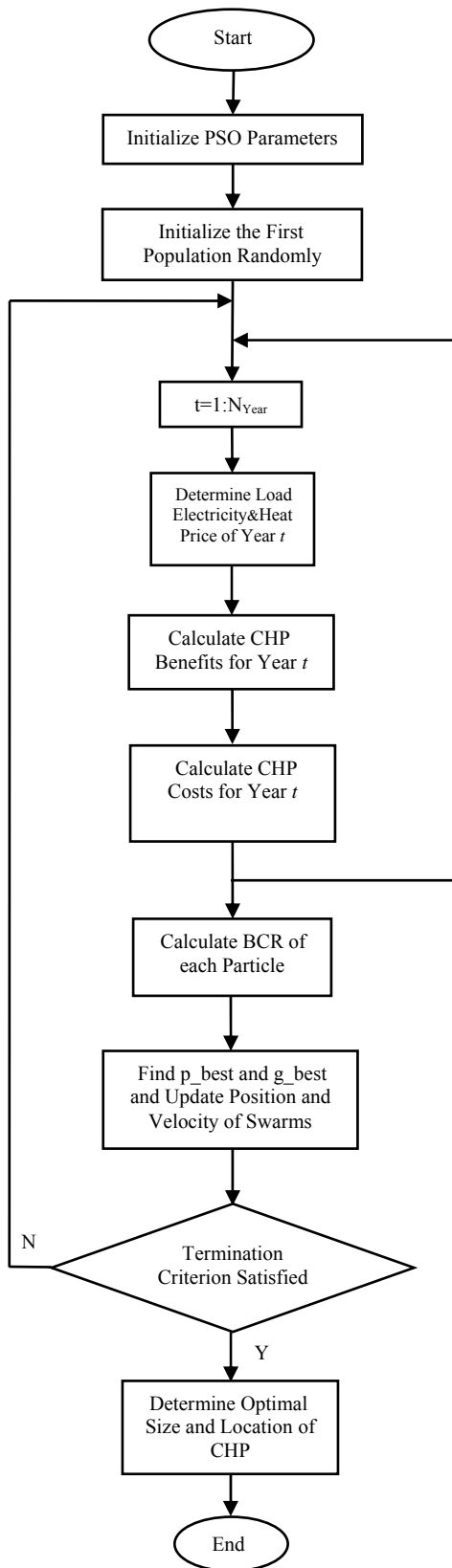
³ Maintenance Cost (MC)

⁴ Energy Price

⁵ Interest Rate (IR)

⁶ Annual Customer Interruption Cost (CIC)

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق



و محل اتصال آن دارد. بدین ترتیب با یافتن اندازه و محل بهینه منابع انرژی پراکنده می‌توان مقدار تلفات شبکه را به کمترین مقدار ممکن رساند [۲۲ و ۲۳]. مشابه قبل چنانچه هزینه تلفات سیستم قبل از استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت را با $CLoss^{Old}$ نشان دهیم و این هزینه پس از استفاده از این سیستمها در شبکه را با $CLoss_{k,t}^{CHP}$ نشان دهیم، میزان کاهش در هزینه تلفات بواسطه استفاده از تولید همزمان برق و حرارت بصورت (۱۴) تعریف و محاسبه می‌گردد:

$$\Delta CLoss_{k,t}^{CHP} = CLoss_t^{Old} - CLoss_{k,t}^{CHP} \quad (14)$$

که در رابطه فوق $CLoss$ برابر با هزینه تلفات می‌باشد و با استفاده از رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$CLoss_t = EP_t \times Loss_t \quad (15)$$

۳-۳- هزینه‌های مرتبط با استفاده از واحدهای تولید همزمان برق و حرارت

هزینه‌های مرتبط با استفاده از واحدهای تولید همزمان برق و حرارت از سه قسمت تشکیل شده‌اند که عبارتند از:

- IC_k هزینه سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به k امین واحد.
- OC_{kt} هزینه بهره‌برداری از k امین واحد در t امین سال مورد بررسی.
- MC_{kt} هزینه تعمیرات و نگهداری k امین واحد در t امین سال مورد بررسی.

هزینه اولیه عبارتند از هزینه‌های مرتبط با خرید، نصب و اتصال واحدهای تولید همزمان برق و حرارت به شبکه. هزینه بهره‌برداری برابر است با هزینه سوخت، که هر ساله با استفاده از نرخ بهره محاسبه می‌گردد. هزینه تعمیرات و نگهداری عبارتند از هزینه‌های مرتبط با تعمیرات و نگهداری این واحدها.

شکل ۱- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی PSO برای یافتن مکان و اندازه بهینه واحدهای تولید همزمان برق و حرارت

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

۴- مطالعات عددی و شبکه‌های نمونه

در این مقاله فرض شده است، اتصال منابع تولیدات پراکنده به شبکه در سطح توزیع اتفاق می‌افتد. در این مطالعه نقاط بهینه برای نصب منابع تولید همزمان برق و حرارت معرفی می‌گردند. بازه زمانی در نظر گرفته شده در این مقاله برابر با ۵ سال در نظر گرفته شده است. نرخ بهره و نرخ رشد بار برابر با ۱۰٪ و میزان متوسط بهره‌برداری از واحدهای تولید همزمان برق و حرارت برابر با ۴۰٪ مواقع (۳۵۰۴ ساعت) با در نظر گرفتن شرایط پیک لحاظ شده است. فرض فوق با توجه به اینکه یک فرض معقول در محاسبات برنامه‌ریزی می‌باشد و در مقالات متعدد [۲۴ و ۲۵] مورد استفاده قرار گرفته است در نظر گرفته شده و در محاسبات لحاظ شده است. هزینه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت برابر با [۴] در نظر گرفته شده است.

در این مقاله دو سیستم تست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سیستم تست اول سیستم ۶ باسه توزیع حلقوی می‌باشد و سیستم مطالعه شده دوم سیستم تست اصلاح شده ۱۴ باسه توزیع شعاعی می‌باشد که اطلاعات مربوط به سیستم اصلاح نشده از مرجع [۲۶] برگرفته شده است. قابل ذکر است که هر دو سیستم با اصلاحاتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که با توجه به مرجع [۴] اعمال گردیده است و در ادامه ذکر خواهند شد. سیستم ۶ باسه شامل ۹ خط و ۵ بار می‌باشد و بار پیک آن برابر با ۱۸۵ کیلووات می‌باشد.

سیستم ۱۴ باسه شامل ۱۳ خط و ۱۳ بار می‌باشد و بار پیک آن برابر با ۹۳۰/۲۵ کیلووات می‌باشد [۴].

اطلاعات مربوط به حد مقاومت، راکتانس خطوط، بار الکتریکی اکتیو و راکتیو، بار حرارتی هر یک از باس‌ها و دیگر اطلاعات مربوط به این دو سیستم در [۴] آمده است. اصلاحات انجام شده در این سیستم‌ها بر اساس همین مرجع می‌باشند. میزان بهبود قابلیت اطمینان هم با توجه به قابلیت اطمینان سیستم قبل و بعد از استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت و هزینه قطع بار مشترک، که برابر با ۱۰۰۰ دلار بر مگاوات‌ساعت در نظر گرفته شده است [۲۷].

محاسبه می‌گردد. قیمت انرژی و حرارت بر طبق [۴] به ترتیب برابر با ۰/۱۲ و ۰/۰۵ دلار بر کیلووات‌ساعت در نظر گرفته شده است. برای محاسبه تاثیر سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر قابلیت اطمینان شبکه از مرجع [۲۸] استفاده شده است. میزان قابلیت اطمینان شبکه قبل از استفاده از سیستم-های تولید همزمان برق و حرارت برابر با ۹۹/۹۸۹۷ می‌باشد و قابلیت اطمینان واحدهای تولید همزمان برق و حرارت برابر با ۹۴/۲۰۷۴ در نظر گرفته شده است. نسبت تولید حرارت به توان برابر با ۱/۵ در نظر گرفته شده است [۲۹].

پارامترهای بهینه الگوریتم بهینه سازی PSO که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی PSO

PSO PARAMETERS					
SWARM SIZE	C1	C2	W1	W2	ITER _{MAX}
30	1.70	1.70	0.90	0.40	200

لازم به ذکر است، جواب‌های ارائه شده در این فصل بهترین جواب‌ها پس از ۵۰ اجرای برنامه می‌باشند.

۴-۱- سیستم ۶ باسه

جدول ۲ نتایج حاصل از یافتن بهترین مکان و اندازه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر سیستم ۶ باسه توزیع را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج حاصل از روش PSO بر سیستم ۶ باسه

(توان تولیدی بهینه واحدها)

باس	باس	باس	باس	باس	باس	BCR
۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۰	۱.۷۲۱۹	۲۲.۶۶۴	۰.۵۹۰۴	۴.۱۶۸۵	۰.۴۳۸۹	۲.۰۳۶۴
۰	۱.۷۲۱۹	۲۲.۶۶۴	۰.۵۹۰۴	۴.۱۶۸۵	۰.۴۳۸۹	۲.۰۳۶۴
۰	۱.۴۲۶۶	۶.۵۷۳	۲.۳۰۱۶	۴.۱۵۱۸	۷.۱۸۲۸	۲.۰۳۹۶
۰	۰	۰	۰	۴.۳۲۴۶	۸.۰۴۷۰	۲.۰۴۵۱
۰	۰	۰	۰	۳.۵۷۸۸	۹.۰۶۲۰	۲.۰۴۵۵
۰	۰	۰	۰	۲.۶۲۱۰	۱۲.۵۴۱	۲.۰۴۶۳
۰	۰	۰	۰	۰	۱۴.۹۴۹	۲.۰۴۶۷
۰	۰	۰	۰	۰	۱۴.۹۴۹	۲.۰۴۶۷
۰	۰	۰	۰	۰	۱۴.۹۴۹	۲.۰۴۶۷
۰	۰	۰	۰	۰	۱۴.۴۷۸	۲.۰۴۶۸

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

جواب‌ها دارای نسبت هزینه منفعت برابر می‌باشند اما جواب بهینه از بین جواب‌های ارائه شده در این جدول جواب شماره ۵ انتخاب شده است. در این جواب از آنجا که کمترین تعداد واحدهای تولید همزمان برق و حرارت بدست آمده است و با توجه به هزینه مربوط به زمین برای نصب هر واحد تولید همزمان برق و حرارت، این جواب به عنوان جواب بهینه انتخاب گردیده است. اندازه بهینه توان تولیدی واحدهای تولید همزمان برق و حرارت در باس‌های ۸ و ۱۴ به ترتیب برابر با ۳۰/۵۰۰ و ۴۱/۱۷۵۰ کیلووات بدست آمده است.

همانند قبل بدست آوردن نسبت هزینه منفعت بالاتر از یک به معنای بدست آوردن سود بیشتر در هر سال است و با توجه به نسبت هزینه منفعت بدست آمده که حدود ۲ می‌باشد، بازگشت بسیار سریع سرمایه‌گذاری برای نصب واحدهای تولید همزمان برق و حرارت در شبکه را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت با یک تابع هدف چند منظوره مورد بررسی قرار گرفت. جهت حل مساله، الگوریتم ترکیبی پخش بار و جستجوی ذرات (PSO) به منظور بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته است. کاهش در تلفات سیستم، کاهش هزینه تولید انرژی الکتریکی و حرارت مورد نیاز سیستم از طریق استفاده از توان و حرارت تولید شده توسط سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت، تاخیر و یا حذف نیاز سیستم به توسعه و افزایش قابلیت اطمینان به عنوان مزایای استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در نظر گرفته شده است. شاخص‌های دیگری از جمله نرخ بهره نیز در مسئله بهینه سازی لحاظ گردیده است.

همچنین، جهت مقایسه جواب‌ها و انتخاب مناسب بهترین جواب از نظر اقتصادی، از آنالیز هزینه منفعت استفاده شده است.

نتایج بدست آمده نشان از نسبت بسیار بالای مزایا نسبت به

همان‌طور که در این جدول مشخص است باس ۶ به عنوان بهترین مکان برای نصب سیستم تولید همزمان برق و حرارت شناخته شده است و اندازه بهینه توان و حرارت تولیدی این واحد تولید همزمان برق و حرارت به ترتیب برابر با ۲۱/۷۲ و ۱۴/۴۸ کیلووات بدست آمده است. با نصب واحد تولید همزمان برق و حرارت با قابلیت تولید توان و حرارت ذکر شده در بالا نسبت هزینه منفعت تقریباً برابر با ۲/۰۴۷ بدست آمد.

۴-۲- سیستم ۱۴ باسه

جدول ۳ نتایج حاصل از یافتن بهترین مکان و اندازه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بر سیستم ۱۴ باسه توزیع را نشان می‌دهد. در این جدول هفت جواب برتر با استفاده از الگوریتم PSO آورده شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از روش PSO بر سیستم ۱۴ باسه

(توان تولیدی بهینه واحدها)

شماره	توان ماکزیم تولیدی						
	جواب ۱	جواب ۲	جواب ۳	جواب ۴	جواب ۵	جواب ۶	جواب ۷
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۱۱/۵۰۹۶	۰	۰	۰	۱۱/۵۰۹۶	۲۵/۷۹۶۹
۶	۶۱	۶۱	۰	۵/۱۰۵۷	۰	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶/۱۰۰۶
۸	۰	۰	۲۵/۷۶۸	۲۶/۵۲۸۸	۳۰/۵۰۰	۳۰/۵۰۰	۲۲/۹۵۴۰
۹	۱۰/۵۹۲۸	۱۶/۳۷۵۴	۱۸/۶۰۵۰	۱۸/۶۰۵۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۱۵/۷۵۶۴	۱۷/۷۲۷۴	۰	۰	۲۲/۵۸۸۰
۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	۰	۰	۲۷/۴۵۰۰	۲۷/۴۵۰۰	۰	۰	۱۲/۸۵۷۶
۱۴	۲۷/۱۵۶۹	۲۸/۵۰۵۲	۴۱/۱۷۵۰	۴۱/۱۷۵۰	۴۱/۱۷۵۰	۴۱/۱۷۵۰	۲۸/۹۳۳۹
BCR	۱/۹۸۵۱	۱/۹۸۵۱	۱/۹۸۵۱	۱/۹۸۵۱	۱/۹۸۵۱	۱/۹۸۵۱	۱/۹۸۵۱

با نصب واحد تولید همزمان برق و حرارت برای تمامی جواب‌های ارائه شده در این جدول نسبت هزینه منفعت تقریباً برابر با ۱/۹۸۵۱ بدست آمد. هر چند در جدول ۳ تمامی

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

- Electricity Market Conference, pp. 1-6, May, 2008 .
- [11] J.H. Teng, T.S. Luor and Y.H. Liu, "Strategic distributed generator placements for service reliability improvements," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol 2, pp 719-724, July, 2002 .
- [12] M. Fotuhi-Firuzabad, Abbas Rajabi-Ghahnavie, "An Analytical Method to Consider DG Impacts on Distribution System Reliability" IEEE/PES Displacement and Distribution Conference & Exhibition, Asia and Pacific, 2005.
- [13] B. Zhao, C. X. Guo, B. R. Bai, and Y. J. Cao, An improved particle swarm optimization algorithm for unit commitment, Int. J. Elect. Power Energy Syst., 28, (September(7)), 2006, 482-490
- [14] C. C. Kuo. "A Novel Coding Scheme for Practical Economic Dispatch by Modified Particle Swarm Approach". IEEE Trans. Power Syst., vol. 23, no. 4, pp. 1825-1835, Nov. 2008.
- [15] K.E. Parsopoulos, V.P. Plagianakos, G.D. Magoulas and M.N. Vrahatis, "Improving the Particle Swarm Optimizer by Function STRETCHING", vol. 54, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001, Chapter 28, pp.445-457.
- [16] W. Prommee and W. Ongsakul, "Optimal Multi-Distributed Generation Placement by Adaptive Weight Particle Swarm Optimization" Proc. of the IEEE International Conference on Control, Automation and Systems, pp 1663-1668, Oct. 2008.
- [17] M. P. Wachowiak, R. Smolíková, Y. Zheng, J. M. Zurada, and A. S. Elmaghraby, "An Approach to Multimodal Biomedical Image Registration Utilizing Particle Swarm Optimization", IEEE Trans. on Evolutionary Computation, vol 8, No, JUNE 2004.
- [18] M. Ahmadigorji, A. Abbaspour T. F., A. Rajabi-Ghahnavieh, and M. Fotuhi-Firuzabad, "Optimal DG placement in distribution systems using cost/worth analysis," In Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 37, pp. 746-753, Jan. 2009.
- [19] H. A. Gil, and G. Joos, "Models for Quantifying the Economic Benefits of Distributed Generation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 23, no. 2, pp. 327-335, May. 2008.
- [20] P. A. Daly, and J. Morrison, "Understanding the Potential Benefits of Distributed Generation on Power Delivery Systems," In Proc. Rural Electric Power Conference, pp. A201-A213, USA, 2001.
- [21] M. A. S. Masoum, M. Lajevardi, A. Jafarian, and E. F. Fuchs, " Optimal placement, replacement and sizing of capacitor banks in distorted distribution networks by genetic algorithms," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, pp. 1794-1801, Oct. 2004.

هزینه‌های استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت دارد، به گونه‌ای که این نسبت برای جواب‌های بهینه حدود ۲ است که این خود گویای کارآمد بودن الگوریتم پیشنهادی نیز می‌باشد.

مراجع

- [1] L. R. Mattison, "Technical Analysis of the Potential for Combined Heat and Power in Massachusetts", Report, University of Massachusetts Amherst, May 2006.
- [2] Devender Singh, R. K. Misra, and Deependra Singh "Effect of load models in Distributed Generation planning," IEEE Transaction on Power systems, Vol. 22, no. 4, Nov. 2007.
- [3] Dugan, R.C., and McDermott, T.E. "Distributed generation," IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 8. No 2. Pp. 19-25, 2002.
- [4] A. K. Basu, S. Chowdhury, and S. P. Chowdhury, "Impact of Strategic Deployment of CHP-Based DERs on Microgrid Reliability," IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 25, No. 3, JULY 2010
- [5] Z.M. Yasin and T.K Rahman, "Influence of Distributed Generation on Distribution Network Performance during Network Reconfiguration for Service Restoration," Proc. of the IEEE International Power and Energy Conf. PECon, pp. 566-570, November, 2006.
- [6] Xi Chen, Wenzhong Gao, "Effects of Distributed Generation on Power Loss, Loadability and Stability," IEEE Southeast Conference (SECON) 2008, pp 468-473, April, 2008.
- [۷] سعید سید مهدوی، علی عباسپور تهرانی فرد، " بررسی تاثیر مکان‌یابی بهینه تولیدات پراکنده در کاهش تلفات حاصل از بازآرایی شبکه توزیع " ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تابستان ۸۸
- [8] W. Prommee and W. Ongsakul, "Optimal Multi-Distributed Generation Placement by Adaptive Weight Particle Swarm Optimization" Proc. of the IEEE International Conference on Control, Automation and Systems, pp 1663-1668, Oct. 2008.
- [9] H. Falaghi and M. Haghifam, "ACO Based Algorithm for Distributed Generation Sources Allocation and Sizing in Distribution Systems," Proc. of the IEEE Power Tech, pp 555-560, July, 2007 .
- [10] A. Barin, L.N. Canha, M.R. Quadros, A. da Rosa Abaide, E. Maziero and G. Arend, "Analysis of the Impacts of Distributed Generation Sources considering the Appropriate Choice of Parameters in a Multi-objective Approach for Distribution System Planning," Proc. of the IEEE European

- [22] J.V. Milanovic, H. Ali and M.T. Aung, "Influence of distributed wind generation and load composition on voltage sags," *IET Gener. Transm. Distribution*, Vol. 1, No. 1, January, 2007.
- [23] Z.M. Yasin and T.K. Rahman, "Influence of Distributed Generation on Distribution Network Performance during Network Reconfiguration for Service Restoration," *Proc. of the IEEE International Power and Energy Conf. PECon*, pp. 566-570, November, 2006.
- [24] H. Hashemzadeh, S. H. Hosseini, "Locating Series FACTS Devices Using Line Outage Sensitivity Factors and Particle Swarm Optimization for Congestion Management," IEEE General Meeting, Canada, 2009.
- [25] M. Afkousi-Paqaleh, A. Abbaspour Tehrani Fard, and M. Rashidi-Nejad, "Distributed generation placement for congestion management considering economic and financial issues" *Electrical Engineering (Springer)*, Vol. 92, No. 6, pp: 193-201, 2010.
- [26] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez and D. Gam, MATPOWER A MATLAB Power System Simulation Package, Version 3.2. Available at <http://www.pserc.cornell.edu/matpower>.
- [27] J. Wang, N. Encinas Redondo, and F. D. Galiana, "Demand-side reserve offers in joint energy/reserve electricity markets," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 4, pp. 1300–1306, Nov. 2003.
- [28] M. R. Haghifam, and M. Manbachi, "Reliability and availability modeling of combined heat and power (CHP) systems," *Int. Journal on Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 33, pp. 385-393, 2011.
- H. Ren, W. Gao, Y. Ruan, "Optimal sizing for residential CHP system," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 28, pp. 514-523, 2008.