پخش بار راکتیو بهینه چند هدفه با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته به عدد صحیح

سودابه قهرمانی *[۱]، افشین لشکرآرا [۲]

*۱- کارشناس‌ارشد برق، گروه برق، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول،
gahramanisoodabe@yahoo.com
۲- استادیار گروه برق، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، Lashkarara@iust.ac.ir

چکیده: اساساً مسئله تأمین توان راکتیو بهینه در شبکه قدرت توسط تپ چنجر تحت بار، ظرفیت بهینه‌ی خازن، ولتاژ ژنراتورهای تحت بار ثابت و یکنواخت کنترل می‌شود. در این مقاله یک روش بهینه‌سازی چند هدفه برای مسئله پخش باررراکتیو بهینه با استفاده از روش محدودیت ε برای فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی وار چندهدفه (MMP) ارائه شده است. توابع هدف مدل پیشنهادی شامل بهینه کردن هزینه سوخت ژنراتورها، تلفات توان اکتیو و بارپذیری سیستم می‌باشد. به خاطر اینکه متغیرهای کنترل، متغیرهای گسسته می‌باشند (توان راکتیو خروجی بانک‌های خازنی و نسبت تپ ترانسفورماتورها)، پخش بار راکتیو بهینه به عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته به عدد صحیح فرمول‌بندی شده است. تنظیمات بهینه تپ ترانسفورماتورها مستقیماً در معادلات ماتریس ادمیتانس شبکه تعیین شده است، زیرا که ماتریس ادمیتانس در پیکره بهینه‌سازی به عنوان قیود تساوی اضافی ایجاد می‌شود. برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، نتایج با موارد تک‌هدفه، دوهدفه و سه‌هدفه مقایسه شده‌اند. الگوریتم پیشنهادی OA/ER/AP در GAMS مدلسازی و با استفاده حل‌کننده‌ی DICOPT برای تولید جواب‌های بهینه پارتو حل شده است. در این تحقیق یک ابزار تصمیم‌گیری فازی جهت انتخاب بهترین جواب مصالحه‌ای از بین جواب‌های پارتو طراحی گردیده است. الگوریتم پیشنهادی روی سیستم آزمون ۱۴ شینه‌ی IEEE اجرا شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی بطور موثری قادر به کنترل پخش بار راکتیو و بهینه نمودن توابع هدف مورد نظر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پخش باررراکتیو بهینه، کمینه سازی تلفات، برنامه‌ریزی غیر خطی آمیخته به عدد صحیح، الگوریتم OA/ER/AP

۱- مقدمه

دیسپاچر سیستم قدرت برای برآورده ساختن نیازهای توان راکتیو و جبران کردن تلفات توان راکتیو در شبکه‌های انتقال و توزیع و نگه داشتن ولتاژ شین‌ها در یک محدوده‌ی ویژه، بایستی برنامه‌ریزی توان راکتیو را از طریق منابع توان راکتیو حفظ کند. بدرستی، برنامه‌ریزی توان راکتیو یک نقش خیلی مهمی در پیشرفت امنیت و اقتصادی سیستم‌های قدرت ایفا می‌کند.

پخش بار راکتیو بهینه (ORPF) یک مسئله بهینه‌سازی برای کمک به دیسپاچرسیستم قدرت و حفظ توازن توان راکتیو به عنوان یک زیر مجموعه از مسئله‌ی پخش بار بهینه (OPF) است. هدف مسئله ORPF، توزیع کردن ادوات جبران توان راکتیو و مینیمم کردن تلفات توان اکتیو و هزینه‌ی سوخت کلی و ماکزیمم کردن بارپذیری سیستم است در حالیکه قیود فیزیکی و تکنیکی روی سیستم قدرت ارضا شود. ادوات جبران توان راکتیو مرسوم ترانسفورماتورهای تپ متغیر و راکتورها/ خازن‌های موازی هستند. مسئله‌ی ORPF می‌تواند به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته به عدد صحیح فرمول‌بندی شود. زیرا که نسبت تپ ترانسفورماتورها و خروجی راکتورها/ خازن‌های موازی ذاتاً گسسته اند[۱].

در مرجع [۲,۳]، ابتدا به معرفی روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه و

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

سپس با توجه به جایگاه ویژه ادوات FACTS در مسائل پخش بار بهینه، مدل تزریق توان PDT ، UPFC، OUPFC به عنوان سه عنصر شاخص در کنترل توان معرفی شده است و سپس در ادامه الگوریتم پیشنهادی جهت جایابی و تعیین ظرفیت این ادوات به منظور پخش بار بهینه چندهدفه با توابع هدف هزینه ژنراتوری، تلفات توان اکتیو، شاخص بارپذیری سیستم و در نظر گرفتن هزینه‌ی ادوات FACTS مورد بررسی قرار گرفته است.

در مرجع [۴]، یک مدل کنترل توان راکتیو/ ولتاژ پیشنهاد شد که ابتدا پایداری ولتاژ بوسیله‌ی برنامه‌نویسی غیرخطی نقطه درونی یکان – دوگان طبق تغییرات بار سیستم عملی تخمین زده شد. نتایج حاکی از این بود که اگرچه این روش می توانست پایداری ولتاژ را آشکار و با دقت ارزیابی کند، اما آن زمان زیادی را صرف محاسبات می‌کرد.

اغلب تحقیقات قبلی پخش بار بهینه (OPF) و پخش بار راکتیو بهینه (ORPF) روی روش‌های هوشمند متمرکز شده است. زیرا روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی‌وار چندهدفه (MMP) از جمله generation methods، علی‌رغم داشتن مزیت‌های مهم به دلیل زحمت محاسباتی (محاسبه‌ی راه حل‌های مؤثر معمولاً فرایند وقت‌گیری است) و کمبود نرم‌افزار قابل دسترس کمتر رایج اند. در مرجع [۵] روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه، بیان شده‌اند George Mavrotas در مرجع [۵] یک تغییر روشی (روش محدودیت ε تکمیل شده) پیشنهاد کرده است که فقط راه‌حل‌های مؤثر را تولید می‌کند و همچنین با خروج فوری از لوپ‌های مربوطه از تکرارهای غیر ضروری اجتناب می‌کند و به کل فرایند شتاب می‌بخشد. این روش در یک مدل GAMS قابل تنظیم، اجرا شده است.

در مرجع [۶] به عملکرد مقایسه‌ای تکنیک‌های تکامل تفاضلی DEو حرکت جمعی ذرات PSO برای کنترل ولتاژ وتوان راکتیو اشاره شده است وامکان‌پذیری، کارایی وطبیعت عمومی هر دو روش تحقیقی PSO , DE روی سیستم شبکه انتقال نیجریه‌ای وسیستم قدرت انگلستان، به عنوان نمونه اثبات شده است. مقایسه‌های بین دو روش بر طبق کیفیت راه حل و مشخصه‌های همگرایی است. در این مرجع، ژنراتورها، موقعیت تپ چنجر تحت بار ترانسفورماتورها و القاگرهای موازی به عنوان ادوات کنترل توان راکتیو در نظر گرفته شده است.

در مراجع [۷]و [۸] و[۹] محققین، مسائل چندهدفه را به فرایند دو لایه‌ای تقسیم کرده‌اند. در اولین لایه، یک مجموعه از راه‌حل‌هایی که کاهش تلفات توان را مورد هدف قرار داده‌اند بدست می‌آید و زمانی که شاخص حاشیه توان برای ارزیابی این راه‌حل‌ها بکار گرفته می شود آنگاه مقدار بزرگترین حاشیه توان انتخاب می‌شود. این یک استراتژی کاربردی را برای پروژه‌های عملی می‌دهد.

روش‌های بهینه‌سازی با چندین تابع هدف همزمان، روش‌های بهینه‌سازی چند معیاره یا چند هدفه، یک نقش مهمی در حل مسائل MOMP ایفا می‌کند [۱۲,۱۱,۱۰]. بهینگی پارتو به عنوان ملاک اصلی در اغلب ادبیات چند هدفه در نظر گرفته می‌شود. طرح‌های بهینه‌سازی چند هدفه در بعضی روش‌ها معمولاً چندین تابع هدف را در داخل یک هدف جمع می‌کند و مسئله‌ی نتیجه گرفته شده به عنوان یک مسئله‌ی بهینه‌سازی تک هدفه حل می‌شود. تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه‌ی متفاوتی از جمله روش وزن‌دهی و روش محدودیت ε، برنامه‌ریزی هدف، به همراه یک مطالعه‌ی مقایسه‌ای از نتایج در [۱۳] توصیف شده است. در الگوریتم بهینه‌سازی معمول، بسیاری مفروضات ریاضی، از قبیل تحلیل ویژگی‌های تمایزی توابع هدف و وجود حداقل‌های واحد در محدوده‌های مسئله، موجب ساده کردن مسئله می‌شود. از طرف دیگر کنترل متغیرهای گسسته در این روش‌ها خیلی مشکل است [۱۴]. در سه دهه اخیر روش‌های متعددی برای حل مسئله OPF ارائه شده است. اما بیشترین استقبال از تکنیک‌های بهینه‌سازی هوشمند (عمومی) از قبیل الگوریتم ژنتیک (GA)، برنامه‌نویسی تکاملی (EP) [۱۵]، EP هیبرید (مختلط)، فازی [۱۶]، استراتژی‌های تکاملی ES [۱۷]، بهینه‌سازی حرکت جمعی ذرات (PSO) [۱۸]، و تکامل تفاضلی (DE) [۱۹] شده است، که موفقیت‌های کم و بیشی را در حل مسائل بهینه‌سازی غیر خطی دارند [۲۰]. مسئله‌ی ORPF با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) [۲۱]، الگوریتم ژنتیک هیبرید و روش نقطه درونی (HGI) [۲۲]، EP [۲۳]، الگوریتم بررسی راکتیو تابو(RTS) ، PSO [۲۴]، DE [۱,۲۵] تحقیق شده است. اگرچه این روش‌ها از همگرایی بی موقع و لزوم زمان محاسبات طولانی، رنج می‌برند، اما آنها می‌توانند عیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی معمول در جستجوی عمومی و کنترل متغیرهای گسسته و مسائل غیرعملی را حل کنند.

همچنین در سال‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های مهمی در توسعه‌ی الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه (MOEA)[1] بوده‌ایم [۲۶]. الگوریتم‌های ژنتیک چندهدفه (MOGA) [۲۶]، الگوریتم مرتب سازی ژنتیکی نامحصور (NSGA)، الگوریتم منتخب مرتب سازی ژنتیکی نامحصور(NSGAII) [۲۷,۱۳]، بهینه‌ساز حرکت جمعی چندهدفه (MPSO) [۲۸]، روش‌های چندهدفه پیشگام و ابتکاری را تشکیل می‌دهند.

مرجع [۲۹]، یک روش محدودیت ε دقیقی را برای مسائل بهینه‌سازی ترکیبی ۲ هدفه با مقادیر صحیح هدف توصیف می‌کند. در این مرجع نشان داده شده است که جبهه‌ی پارتو مسائل دو هدفه می‌تواند با روش محدودیت ε، کاراتر تولید شود.

در مراجع [۳۰] و [۳۱]، Zhang و Liu یک راه‌حل برای کنترل توان راکتیو/ ولتاژ چندهدفه توسط الگوریتم حرکت جمعی ذرات گزارش کرده‌اند. در ادبیات [۳۰,۳۱] پایداری ولتاژ بوسیله شاخص L که شبیه شاخص MSV، یک شاخص حالت است، تخمین شده است.

Zhang روش برتری ε را برای بهینه سازی توان راکتیو چند هدفه استفاده کرد [۳۲]. kannan در مرجع [۳۳] و Wang در مرجع [۳۴] و Ai در مرجع [۳۵] به ترتیب الگوریتم حرکت جمعی ذرات، روش

[1] multi-objective evolutionary algorithm

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

شبیه‌سازی فلزات و NSGAII را برای کنترل بهینه‌سازی توان راکتیو با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ به کار گرفته‌اند. هر چهار روش مقدار ویژه مینیممی (MSV)[1] را برای تخمین پایداری ولتاژ سیستم به کار گرفته‌اند که ساده وسریع اما غیر خطی است.

در کارهای تحقیقاتی قبلی گزارش شده، مسئله‌ی ORPF به عنوان یک مسئله‌ی برنامه ریزی غیر خطی آمیخته به عدد صحیح (MINLP[2]) با متغیرهای گسسته و پیوسته فرمول‌بندی شده است. در برخی مقالات، مسئله در دو مرحله حل شده است. در مرحله اول متغیرهای پیوسته به وسیله‌ی الگوریتم OPF تعیین شده است و در مرحله بعدی، سعی در کنترل متغیرهای گسسته در مسئله ORPF شده است. بنابراین، نتایج نمی‌تواند به یک سری راه‌حل‌های بهینه‌ای با چنین طرز عملی همگرا شوند. در برخی مقالات دیگر، تاثیر تپ چنجر ترانسفورماتور فقط روی توابع هدف در نظر گرفته شده است در صورتی که آن در معادلات توازن توان اکتیو و راکتیو تاثیر گذاشته است. بنابراین هدف اصلی این مقاله، ارائه یک روش بهینه‌سازی چند هدفه مبنی بر MINLP برای حل مسئله‌ی ORPF که در آن متغیرهای گسسته و پیوسته به طور همزمان تعیین می‌شوند، می‌باشد. بعلاوه، ماتریس ادمیتانس در مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه و به عنوان قیود تساوی اضافی برای در نظر گرفتن نسبت تپ ترانسفورماتورها شکل گرفته است. توابع هدف بهینه کردن هزینه‌ی سوخت ژنراتورها، تلفات توان اکتیو و بارپذیری سیستم و در نظر گرفتن قیود مساوی و نامساوی در فرآیند جستجوی پاسخ بهینه می‌باشند. الگوریتم پیشنهادی در نرم افزار GAMS مدلسازی و با استفاده از تحلیل گرDICOPT حل شده است. الگوریتم روی سیستم آزمون استاندارد ۱۴ شینه آزمایش شده است. ساختار مقاله به این صورت تنظیم شده است که بخش دوم را فرمول‌بندی مسئله‌ی ORPF تشکیل می‌دهد. بخش سوم فرمول‌بندی MINLP و روش‌های حل‌اش را به طور خلاصه توصیف می‌کند. فرایند حل ORPF در بخش چهارم توضیح داده شده است. در نهایت بخش پنجم و ششم به ترتیب، نتایج شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری را شامل می‌شود.

۲- فرمول‌بندی مسئله

هدف بهینه‌سازی توان راکتیو، بهینه کردن هزینه‌ی سوخت، تلفات توان اکتیو و بارپذیری در سیستم انتقال است؛ در صورتی که قیود مساوی و نامساوی در فرایند جستجوی پاسخ بهینه احراز شوند. در زیر توابع هدف و قیود مربوطه‌شان توضیح داده می‌شود.

۲-۱- تابع هدف

هدف بهینه‌سازی توان راکتیو در این مقاله، بهینه‌سازی منحصر به فرد، ترکیبی و همزمان سه تابع هزینه‌ی سوخت ژنراتورها، تلفات توان اکتیو شبکه و شاخص بارپذیری در سیستم قدرت است. اولین تابع هدف، مینیمم کردن هزینه‌ی سوخت ژنراتورهاست که می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{NG} a_i + b_i p_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 (\$/h) \quad (۱)$$

که، P_{Gi} توان اکتیو خروجی ژنراتور i ام بر حسب MW، NG تعداد کلی ژنراتورها، a_i و b_i و c_i ضرایب هزینه‌ی سوخت مربوط به ژنراتور iام می‌باشد [۳،۳۶].

تابع هدف دوم، مینیمم کردن تلفات توان اکتیو در خط انتقال است که به صورت زیر نشان داده می‌شود [۳۷]:

$$F_2 = \sum_{K=1}^{NL} g_k \left(V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j Cos\theta_{ij}\right) \quad (۲)$$

که، g_k کنداکتانس شاخه‌ی kام بین شین‌های i و j، NL تعداد شاخه‌ها، V_i دامنه ولتاژ در شین i و θ_{ij} اختلاف زاویه ولتاژ بین شین‌های i و j می‌باشند [۳۷].

تابع هدف سوم، ماکزیمم کردن بارپذیری سیستم است. هدف از افزایش بارپذیری در شبکه استفاده از ظرفیت خالی خطوط به منظور افزایش توان انتقالی است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_3 = \rho(x,u) \quad (۳)$$

و ρ، می‌تواند با فرض ضریب قدرت ثابت در هر بارگیری در هر معادله‌ی تعادل توان اکتیو و راکتیو به صورت زیر بدست آید:

$$P_G - \rho P_D = f_p(x,u) \quad (۴)$$

$$Q_G - \rho Q_D = f_q(x,y) \quad (۵)$$

که، P_G و Q_G به ترتیب بردارهای توان اکتیو و راکتیو ژنراتورها، P_D و Q_D به ترتیب بردارهای توان اکتیو و راکتیو بارها و f_p و f_q به ترتیب بردارهای معادلات پخش بار اکتیو و راکتیو می‌باشند[۶].

۲-۲- قیود و محدودیت‌های مسئله

مسئله‌ی ORPF شامل دو مجموعه قیود مساوی و نامساوی‌است که می‌بایست در فرایند جستجوی پاسخ بهینه احراز شوند. این قیود می‌توانند به فرم خلاصه شده‌ی زیر توصیف شوند:

$$g(x,u) = 0 \quad (۶)$$

$$h(x,u) \le 0 \quad (۷)$$

که U مجموعه‌ای از متغیرهای کنترلی است که شامل توان اکتیو، دامنه‌ی ولتاژ شین‌های ژنراتوری، زاویه و دامنه‌ی ولتاژ باس swing،

[1] . minimum singular value
[2] mixed integer non-liner programming

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

تپ ترانسفورماتورها و توان راکتیو منابع می‌باشد. X یک مجموعه از متغیرهای وابسته‌ای است که شامل توان اکتیو و راکتیو شین swing، زاویه ولتاژ و توان راکتیو شین‌های ژنراتوری، زاویه و دامنه‌ی ولتاژ شین‌های بار و ماتریس ادمیتانس سیستم قدرت می‌باشد. $f(x,u)$ تابع هدف بوده که می‌تواند هزینه تولید کل، تلفات کل شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ باشد. $g(x,u)$ مجموعه‌ای از قیود تساوی است که معمولاً قیود پخش بار برای یک شرایط عملکردی معین هستند. $h(x,u)$ مجموعه‌ای از قیود نامساوی است که محدودیت‌های متغیرهای کنترلی و محدودیت‌های بهره برداری از سیستم قدرت را نشان می‌دهد[۲].

۲-۲-۱- قیود تساوی

معادلات پخش بار مطابق با هر دو معادلات تعادل توان اکتیو و راکتیو است که می‌بایست طبق تعریف زیر ارضا شوند.

$$P_{Gi} - P_{Di} = P_i(x,u) \quad (۸)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} = Q_i(x,u) \quad (۹)$$

که، $i= 1,2,...,N$ ،N تعداد شین‌ها، P_{Gi} و Q_{Gi} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو تولیدی در شین i و P_{Di} و Q_{Di} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو تقاضا شده در شین i می‌باشند[۳,۳۶].

در این مقاله مجموعه‌ی دیگر قیود تساوی، قیود ماتریس ادمیتانس است. بخش حقیقی و موهومی المان غیرقطری ماتریس ادمیتانس در سطر i و ستون j هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$Y_{real,ij} = Y_{real,ji} = -r_{ij} / T_{ij}\left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right) \quad (۱۰)$$
$$, i \neq j,\ i, j = 1,...,N$$

$$Y_{imag,ij} = Y_{imag,ji} = x_{ij} / T_{ij}\left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right) \quad (۱۱)$$
$$, i \neq j\ , i, j = 1,...,N$$

و المان‌های قطریش به صورت زیر هستند:

$$Y_{real,ii} = \sum_{i=1}^{N} r_{ij} / T_{ij}^2\left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right), \quad (۱۲)$$
$$i \neq j\ , if\ \ T_{ij} \neq 1$$
$$then \qquad T_{ji} = 1,\ \ i = 1,...,N$$

$$Y_{imag,ii} = \sum_{i=1}^{N} - x_{ij} / T_{ij}^2\left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right) + b_{c,ij} / 2 \quad (۱۳)$$
$$i \neq j, if\ T_{ij} \neq 1$$
$$then \qquad T_{ji} = 1,\ \ i = 1,...,N$$

که، r_{ij} و x_{ij} به ترتیب مقاومت واندکتانس شاخه بین شین‌های i و j و T_{ij} نسبت تپ ترانسفورماتور بین شین‌های j,i می‌باشد.اگر بین شین‌های i و j ترانسفورماتوری وجود نداشته باشد، آنگاه T_{ij} مساوی ۱ است.

۲-۲-۲- قیود نامساوی

قیود نامساوی بهره‌برداری در مسئله‌ی ORPF شامل موارد زیر می‌باشند [۳,۳۶].

قیود تولیدی: ولتاژهای ژنراتورها، توان اکتیو خروجی ژنراتورها، توان راکتیو خروجی ژنراتورها که توسط حدود بالا و پایینشان به صورت زیر محدود می‌شوند.

$$V_{Gi}^{\min} \le V_{Gi} \le V_{Gi}^{\max}, \quad i = 1,...,NG \quad (۱۴)$$

$$P_{Gi}^{\min} \le P_{Gi} \le P_{Gi}^{\max}, \quad i = 1,...,NG \quad (۱۵)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi}^{\max}, \quad i = 1,...,NG \quad (۱۶)$$

که NG تعداد شین‌های ژنراتورهاست.

قیود امنیتی: این قیود شامل قیود ولتاژ در شین‌های بار، بارگذاری خطوط انتقال، تنظیم تپ ترانسفورماتور و توان راکتیو خروجی بانک‌های خازنی می‌باشند که به صورت زیر نمایش داده می‌شوند.

$$V_{Li}^{\min} \le V_{Li} \le V_{Li}^{\max}, \quad i = 1,...,N_d \quad (۱۷)$$

$$S_{Li} < S_{Li}^{\max}, \quad i = 1,...,NL \quad (۱۸)$$

$$T_i^{\min} \le T_i \le T_i^{\max}, \quad i = 1,...,NT \quad (۱۹)$$

$$Q_{ci}^{\min} \le Q_{ci} \le Q_{ci}^{\max}, \quad i = 1,...,Nsh \quad (۲۰)$$

که، Nd تعداد شین‌های بار، NT تعداد ترانسفورماتورها و Nsh تعداد منابع توان راکتیو قابل سوئیچ می‌باشد[۳۸].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

۲-۳- بیان مسئله

عموماً، مجموع اهداف و قیود مسئله، از لحاظ ریاضی می‌تواند به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه‌ی محدود شده‌ی (مقید) غیرخطی به صورت زیر فرمول‌بندی شود:

$$\begin{aligned} &\min \quad F_1 \\ &\min \quad F_2 \\ &\max \quad F_3 \\ &subject \;\; to: g(x,u)=0 \\ &h(x,u)\le 0 \end{aligned} \qquad (۲۱)$$

مسئله‌ی بهینه‌سازی چند هدفه می‌تواند به مسئله‌ی بهینه‌سازی تک هدفه تبدیل شود و سپس می‌تواند با استفاده از روش محدودیت ε حل شود.

۳- برنامه ریزی غیرخطی آمیخته به عدد صحیح

عموماً فرمول‌بندی MINLP را می‌توان به فرم زیر نشان داد[۳۹]:

$$\begin{aligned} &\min/\max \quad J(x,y) \\ &subject \;\; to: \;\; g(x,y)=0 \\ &h(x,y)\le 0 \\ &x^L \le x \le x^u, x \in X \subseteq R^n \\ &y^L \le y \le y^u, y \in Y \end{aligned} \qquad (۲۲)$$

که، x مجموعه ای از متغیرهای پیوسته است که شامل متغیرهای وابسته و کنترلی می‌باشد. y مجموعه ای از متغیرهای گسسته مربوط به متغیرهای صحیح که شامل نسبت تپ ترانسفورماتورها و خروجی خازن‌ها/ راکتورهای موازی می‌باشد. $J(x,y)$ تابع هدفی است که می‌تواند هزینه‌ی تولید ژنراتور، تلفات توان اکتیو و بارپذیری سیستم باشد. $h(x,y)$ مجموعه‌ای از قیود نامساوی است که محدودیت‌های بهره‌برداری از سیستم قدرت را نمایش می‌دهد. متغیرهای صحیح y می‌تواند برحسب متغیرهای ۱-۰ به صورتی که در زیر با z نمایش داده شده است، تعریف شوند (یعنی باینری).

$$y = y^L + z_1 + 2z_2 + 4z_3 + ... + 2^{N-1} z_N \qquad (۲۳)$$

که N مینیمم تعداد متغیرهای ۱-۰ مورد نیاز و داده شده به وسیله‌ی رابطه‌ی زیر است:

$$N = 1 + INT\left\{\frac{\log\left(y^u - y^L\right)}{\log 2}\right\} \qquad (۲۴)$$

این جا تابع INT تابع حقیقی اش را به یک مقدار صحیح برش می‌دهد. بنابراین $y \in Y = \{0,1\}^q$ و حال y برداری از q متغیرهای 0-1 است.

چندین روش مختلف برای حل مسئله‌ی MINLP در ادبیات تک‌هدفه و چندهدفه توسعه داده شده است. مهمترین الگوریتم‌ها، به ترتیب زمانی پیشرفت شان، تقریب بیرونی (OA)، تقریب بیرونی با واهلش مساوی (OA/ER) و تقریب بیرونی با واهلش مساوی و ضریب جریمه‌ی افزایشی (OA/ER/AP)[1] هستند. در این مقاله الگوریتم OA/ER/AP برای حل مسئله‌ی ORPF استفاده شده است که در حل‌کننده‌ی DICOPT با استفاده از نرم‌افزار GAMS [۴۰] اجرا شده است، در زیر جزئیات آن توضیح داده شده است.

درالگوریتم OA/ER/AP، تحلیل‌گر DICOPT یک سری از مسائل فرعی برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) و برنامه‌ریزی غیر خطی آمیخته به عدد صحیح را که به ترتیب مسائل فرعی اولیه و کلی نامیده شده است را، حل می‌کنند. آن با آزاد کردن متغیرهای عدد صحیح به عنوان متغیرهای پیوسته و حل مسئله NLP آزاد شده آغاز می‌شود. اگر راه حل‌های بدست آمده یک راه حل صحیح است، آنگاه فوراً جستجو پایان یابد. در غیر این صورت، آن با یک توالی از مسائل فرعی اولیه با تعیین کردن متغیرهای عدد صحیح و مسائل فرعی کلی تولید شده با تابع پنالتی افزوده شده، ادامه یابد.

مسئله فرعی اولیه با پیدا کردن حد بالا و ضرایب لاگرانژ برای متغیرهای عدد صحیح تعیین شده‌ای که با مسئله فرعی کلی در هر تکرار مشخص می‌شوند، حل می‌شود. مسئله فرعی کلی همچنین حد پایینی را برای مسائل کمینه سازی و همگرا روی تابع هدف فراهم می‌کند. همان گونه که تکرارها پیش می‌روند، محدوده‌ی پایینی به دلیل افزایش تخمین‌های خطی، به طور یکنواخت افزایش می‌یابد. تکرارها تا زمانی ادامه داده می‌شود که یک افزایشی در مقدار بهینه‌ی مسائل فرعی اولیه‌ی ممکن، برای تکرارهای متوالی وجود داشته باشد. در مورد مسائل غیرهمگرا، حد مجاز با زیرمجموعه‌ی اصلی نمی‌تواند بدست آید. بنابراین ملاک انتهایی فقط به عنوان یک روش ذهنی مورد بررسی قرار داده می‌شود. برای کسب اطلاعات در رابطه با جزئیات اجرای حل‌کننده‌ی DICOPT به مرجع [۴۰] مراجعه کنید.

۴- برنامه‌ریزی ریاضی‌وار چندهدفه

بارها، تکنیکی مبنی بر استراتژی محدودیت ε برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی‌واری پیشنهاد شده است که بیش از یک تابع هدف دارند. عموماً راه‌حل بهینه منفردی که همزمان همه‌ی توابع را بهینه کند، وجود ندارد. در این مورد، تصمیم‌گیرنده برترین راه حل را در مقایسه با راه حل بهینه جستجو می‌کند. راه حل ذکر شده یک راه حل بهینه‌ی منفرد نیست و قادر به بهبودی یک تابع هدف بدون لطمه وارد کردن به عملکرد تابع هدف دیگر نیست. در ضمن راه حل بهینه‌ای برای بهینه‌سازی همزمان چندین تابع هدف وجود ندارد. کار حاضر تلاشی برای استنتاج کردن هر دو تصمیم گیری فازی و روش

[1] outer approximation with equality relaxation and augmented penalty

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

محدودیت ε برای انتخاب برترین راه حل است که در زیر توضیح داده شده‌اند.

۴-۱- روش محدویت ε

با توجه به اینکه استراتژی‌های متفاوتی به عنوان قید استفاده می‌شود، روش محدودیت ε برای بهینه‌سازی یک تابع هدف به کار می‌رود. فرم کلی این روش برای بهینه کردن p تابع هدف به صورت زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned} &\min \quad F_1(x) \\ &subject \quad to \\ &\quad F_2(x) \le \varepsilon_2 \quad F_3(x) \le \varepsilon_3 \ldots \quad F_p(x) \le \varepsilon_p \\ &h(x,u) = 0 \\ &g(x,u) \le 0 \end{aligned} \qquad (۲۵)$$

که P اشاره به تعداد توابع هدف دارد. به منظور بکارگیری مناسب روش محدودیت ε، باید حداقل محدوده هر تابع را برای *p-1* تابع هدف داشته باشیم که به صورت محدودیت استفاده می‌شوند. محاسبه حدود توابع هدف نسبت به مجموعه مؤثر، کار چندان ساده‌ای نیست. معمول‌ترین روش محاسبه این حدود استفاده از جدول بهره‌وری است. به عبارت دیگر ساختار جدول بهره‌وری با محاسبه‌ی وضع‌های بهینه منحصربه‌فرد توابع هدف، شکل گرفته می‌شود. مقدار بهینه تابع هدف iام با F_i^* و مقدار توابع هدف دیگر با $F_1^i,..F_{i-1}^i,F_{i+1}^i,...,F_p^i$ نشان داده می‌شود. در این روش همه ردیف‌های جدول بهره‌وری ، $F_1^i,..F_{i-1}^i,F_{i+1}^i,...,F_p^i$ ، به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\Phi = \begin{pmatrix} F_1^*(x_1^*) & \cdots & F_i(x_1^*) & \cdots & F_p(x_1^*) \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ F_1(x_i^*) & \cdots & F_i^*(x_i^*) & \cdots & F_p(x_i^*) \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ F_1(x_p^*) & \cdots & F_i(x_p^*) & \cdots & F_p^*(x_p^*) \end{pmatrix} \qquad (۲۶)$$

جدول بهره‌وری P سطر و ستون دارد. مقادیر بینابین jامین ستون جدول بهره‌وری به منظور بدست آوردن مجموع (q_j+1) متغیر شبکه برای jامین تابع هدف استفاده می‌شوند. محدوده jامین تابع هدف بین مقادیر مینیمم و ماکزیمم jامین تابع هدف بدست می‌آید. بعلاوه، انحراف تابع هدف به فواصل q_j با استفاده از (q_j-1) متغیر میانی هم فاصله به صورت زیر داده می‌شود.

$$(q_2+1)\times(q_3+1)\times\ldots\times(q_p+1)$$

که کل تعداد مسائل فرعی بهینه‌سازی هستندو از آنجایی که تعداد متغیرهای شبکه افزایش می‌یابند، مقادیر q_i ها در کنترل مجموعه بهینه پارتو مفید خواهند بود. همچنین بایستی هزینه‌ی زمان محاسبات بالا مورد توجه قرار گیرد. با توجه به این که معاوضه بین زمان محاسبات و مجموعه بهینه‌ی پارتو را نمی‌توان نادیده گرفت [5]. سه تابع هدف F_1، F_2 و F_3 اشاره شده به ترتیب در معادلات (۱)، (۲) و (۳) درباره‌ی ارتباط با عملکرد سیستم قدرت و مسئله‌ی MMP آن در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین بهینه‌سازی مسائل فرعی به فرم زیر در نظر گرفته خواهد شد.

$$\begin{aligned} &\min \quad F_1(x) \\ &subject \quad to \quad F_2(x) \le \varepsilon_{2,i} \qquad F_3(x) \ge \varepsilon_{3,j} \end{aligned} \qquad (۲۷)$$

که:

$$\varepsilon_{2,i} = \max(F_2) - \left[\frac{\max(F_2)-\min(F_2)}{q_2}\right]\times i \qquad (۲۸)$$

$$\underset{i=0,1,\ldots q_2}{}$$

$$\varepsilon_{3,j} = \min(F_3) + \left[\frac{\max(F_3)-\min(F_3)}{q_3}\right]\times j \qquad (۲۹)$$

$$\underset{j=0,1,\ldots q_3}{}$$

که $\max(.)$ و $\min(.)$ به ترتیب مقادیر ماکزیمم و مینیمم تابع هدف منحصر به فرد را نشان می‌دهد. MINLP یک راه‌حل رایج برای بهینه‌سازی مسائل فرعی اعمالی توسط قیود ذکر شده از مسائل MMP است.

۴-۲- ابزارهای تصمیم گیری فازی

مسائل بهینه‌سازی با توجه به راه‌حل‌های بهینه پارتو حل می‌شوند و بر طبق بهترین محاسبه بین راه‌حل‌های بهینه پارتو، تنظیمات بهینه توسط تصمیم گیرنده انتخاب می‌شود. برای این منظور، در این مرحله یک تصمیم گیرنده فازی معرفی می‌شود که تابع عضویت خطی (μ_i) را برای هر تابع هدف مطابق با رابطه‌ی (۳۰) برای مینیمم‌سازی و (۳۱) برای ماکزیمم‌سازی توابع هدف به شرح زیر محاسبه می‌کند:

$$\underset{i=1,2}{\mu_i^n} = \begin{cases} 1 & F_i \le \min(F_i) \\ \dfrac{\max(F_i)-F_i^n}{\max(F_i)-\min(F_i)} & \min(F_i) \le F_i^n \le \max(F_i) \\ 0 & F_i^n \ge \max(F_i) \end{cases} \qquad (۳۰)$$

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

$$\mu_i^n = \begin{cases} 0 & F_i \le \min(F_i) \\ \dfrac{F_i^n - \min(F_i)}{\max(F_i) - \min(F_i)} & \min(F_i) \le F_i^n \le \max(F_1) \\ 1 & F_i^n \ge \max(F_i) \end{cases} \quad (۳۱)$$

که F_i^n و μ_i^n مقدار iام تابع هدف برای هر دو توابع مینیمم و ماکزیمم شده در n امین راه‌حل بهینه‌ی پارتو هستند. توابع عضویت برحسب ارزیابی درجه‌ی بهینگی راه‌حل‌های بهینه پارتو، بکار می‌روند. هرچه عدد فازی تابع به مقدار یک نزدیک تر باشد به معنای نزدیکی تابع به مقدار بهینه‌اش است. برترین درجه راه‌حل‌های بهینه پارتو می‌تواند به صورت زیر تعریف شود.

$$\mu_{opt} = \underset{n \in M}{Sup} \frac{\sum_{i=1}^{p} w_i . \mu_i^n}{\sum_{n=1}^{M} \sum_{i=1}^{p} w_i \mu_i^n} \quad (۳۲)$$

$$w_i \ge 0, \quad \sum_{i=1}^{p} w_i = 1 \quad (۳۳)$$

در اینجا w_i مقدار وزنی i امین تابع هدف و M تعداد راه حل‌های بهینه پارتو است. برای یک مقدار بزرگی از w_i، F_i بیش از توابع هدف دیگر مورد توجه قرار می‌گیرد مبنی بر اینکه اهمیت جنبه‌های اقتصادی و تکنیکی مقادیر وزنی می‌تواند به وسیله‌ی دیسپاچر سیستم قدرت انتخاب شود. بنابراین، برطبق بهترین راه‌حل بهینه‌ی پارتو، تنظیمات بهینه به وسیله‌ی الگوریتم پیشنهادی مبنی بر فاکتورهای وزنی پذیرفته شده، بدست می‌آید.

۵- مورد تحقیقاتی

مسئله‌ی ORPF با بهینه‌سازی هزینه‌ی سوخت کلی، تلفات توان اکتیو و بارپذیری سیستم به عنوان توابع هدف و استفاده از MINLP به عنوان پروسه‌ی حل، حل شده است. مطالعات شبیه سازی در نرم‌افزار MATLAB7.6 و GAMS23 انجام شده است. مسئله بهینه‌سازی MINLP در نرم‌افزار GAMS مدل شده و با استفاده از تحلیل‌گر DICOPT حل شده است. همان طور که گفته شد، کارایی روش پیشنهادی روی سیستم آزمون ۱۴ شینه ی IEEE تحقیق شده است. هفت حالت مختلف از ترکیب توابع به منظور بهینه‌سازی مورد توجه قرار می گیرد که عبارتنداز:

حالت اول: مینیمم کردن هزینه سوخت ژنراتور

حالت دوم: مینیمم کردن تلفات توان اکتیو شبکه

حالت سوم: ماکزیمم کردن شاخص بارپذیری

حالت چهارم: مینیمم کردن هزینه سوخت ژنراتور و تلفات اکتیو شبکه

حالت پنجم: مینیمم کردن هزینه سوخت ژنراتور و ماکزیمم کردن شاخص بارپذیری

حالت ششم: مینیمم کردن تلفات اکتیو و ماکزیمم کردن بارپذیری

حالت هفتم: مینیمم کردن هزینه سوخت ژنراتور، تلفات توان اکتیو شبکه و ماکزیمم کردن شاخص بارپذیری سیستم.

در همه‌ی موارد توان راکتیو بانک‌های خازنی در محدوده ۰ تا ۳۰MVAR هستند و حدود بالایی و پایینی تنظیمات تپ ترانسفورماتور و دامنه ولتاژ به ترتیب در فاصله‌ی [۱/۱و۰/۹] پریونیت در نظر گرفته شده است. نسبت تپ ترانسفورماتور و توان‌های راکتیو بانک‌های خازنی، متغیرهای گسسته‌ای با تغییر گام ۰/۱ پریونیت می‌باشد [۱۸و۱و۴۱].

۵-۱- سیستم آزمون ۱۴ شینه‌ی IEEE

این شبکه‌ی استاندارد معمول‌ترین شبکه نمونه در مطالعات و بررسی‌هاست که شامل ۵ ژنراتور (شین ۱ به عنوان شین مبنا و شین‌های ۲، ۳، ۶، ۸ شین‌هایPV با مقادیر عملکردی پیوسته هستند)، ۹ شین بار و ۲۰ خط، که ۳ خط (۷-۴، ۹-۴، ۶-۵) تپ چنجرهای ترانسفورماتورها هستند.به علاوه شین‌های ۹ و ۱۴ به عنوان شین‌های جبران موازی انتخاب شده‌اند [۱۸]. در این شبکه حداکثر توان بار برابر ۲۵۹ مگاوات و حداکثر تولید برابر با ۴۱۰ مگاوات می‌باشد. نتایج مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه و چندهدفه محاسبه و در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است. همان طور که در جدول (۱) نشان داده شده است، نتایج ORPF تک‌هدفه به ترتیب برای هر سه تابع هدف (به عنوان حالت اول، دوم و سوم) انجام شده است. با حداقل کردن هزینه سوخت کلی، هزینه سوخت کلی، تلفات توان اکتیو و بارپذیری سیستم مساوی با ۱۷۲۷۰/۳۲۷$/h، ۱/۵۹۵۲MW و ۱ است. درحالی که آنها با مینیمم کردن تلفات اکتیو به ترتیب مساوی ۱۸۱۷۰/۳۲۳$/h، ۱/۰۲۵۲MW و ۱ است. به منظور مطالعه ترکیبی بین توابع، بهینه‌سازی چندهدفه در ۴ حالت انجام شده است (حالت چهارم، حالت پنجم، حالت ششم و حالت هفتم). در هر مورد، بهترین راه‌حل بهینه پارتو مبنی بر فاکتورهای وزنی بدست آمده در فرایند تصمیم‌گیری فازی، انتخاب شده است. نتایج بهینه‌سازی چندهدفه بوسیله‌ی الگوریتم پیشنهادی در جدول (۲) نشان داده شده است.

نکات جالب توجهی که در نتایج بدست آمده به چشم می‌خورد شامل موارد زیر است: در حالت چهارم، در مقایسه با بهینه‌سازی تک‌هدفه‌ی هزینه سوخت کلی، هزینه سوخت کلی به اندازه‌ی ۲۴۸/۳۳۶$/h افزایش یافته است در حالی‌که تلفات توان اکتیو به ۰/۴۰۲۳MW کاهش یافته است. در حالت هفتم، بهترین مصالحه‌ی حل برای هزینه سوخت کلی، تلفات توان اکتیو و بارپذیری سیستم به ترتیب مساوی با ۲۱۹۳۲/۹۷۷$/h، ۳/۲۴۵۳MW و ۱/۲۲۳ است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

۶- نتیجه‌گیری

تلفات توان اکتیو با برنامه‌ریزی توان راکتیو کاهش داده می‌شود. مسئله‌ی ORPF یک نقش مهمی در کمک به بهبودی عملکرد سیستم قدرت و تضمین کارایی، امنیت و اطمینان سیستم قدرت ایفا می‌کند. در این مقاله، ORPF به عنوان یک مسئله MINLP فرمول‌بندی شده است به دلیل این که ORPF ترکیبی از متغیرهای پیوسته و گسسته است. تنظیمات جبران کننده‌های توان راکتیو از جمله تپ ترانسفورماتورها و راکتورها/ خازن‌های موازی، متغیرهای گسسته‌ای هستند حال آنکه بقیه متغیرهای پیوسته‌اند. در این روش، برخلاف روش‌های دیگر که تأثیرات تپ چنجر ترانسفورماتورها در معادلات تعادل توان اکتیو و راکتیو نادیده گرفته می‌شد، ماتریس ادمیتانس به عنوان قیود تساوی اضافی ایجاد شده است تا نسبت تپ ترانسفورماتورها مستقیماً در ساختار بهینه‌سازی قابل دسترس باشند. با در نظر گرفتن این مزایا، الگوریتم پیشنهادی روی سیستم آزمون ۱۴ شینه اجرا شده است. در این مقاله مسئله‌ی بهینه‌سازی به وسیله‌ی حل‌کننده‌ی DICOPT و با استفاده از نرم‌افزار GAMS برای مینیمم کردن تلفات توان اکتیو به عنوان تابع هدف، حل شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در بهینه سازی تک‌هدفه توسط روش‌های دیگر عملکرد خوبی دارد و به دلیل اینکه ماتریس ادمیتانس مستقیماً در پیکره ی بهینه سازی قرار گرفته، منجر به راه‌حل‌های بهتری در بهینه سازی چند هدفه می‌گردد. بنابراین انتظار می‌رود که الگوریتم پیشنهادی ترجیح داده شود و یک نقش مؤثر تری در برنامه‌ریزی توان راکتیو ایفا کند.

مراجع

[1] M. Varadarajan, K. S. Swarup, "Differential evolution approach for optimal reactive power dispatch, Applied Soft Computing", vol. 25, pp. 1549-1561, 2008.

[2] A. Lashkar Ara, A. Kazemi, S. A. Nabavi Niaki, "Modelling of optimal unified power flow controller (upfc) for optimal steady - state performance of power system s ",Energy convers manage,vol. 52(2), pp. 1325-1533, 2011.

[3] A. Lashkar Ara, A. Kazemi, S. A. Nabavi Niaki, "optimal location of Hybrid flow controller considenng modified steady – state model",Applied Energy,vol.88(5), pp. 1578 – 1585, 2011.

[4] Anan zhang, Hongwei Li, chenhe xiao," parallel computing model for time – varied coordinated voltage/reactive power control",J Electerical systems, pp. 1-11,2011.

[5] George Mavrotas, "Effective implementation of the ε-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming Problems", Applied Mathematics and Computation,Vol. 213,PP. 455-465,2009.

[6] G. A. Bakare,G. Krost,G. K. Venayayamoorthy, U. O. Aliyu," comparative Application of differential Evolution and particl swarm techniques to reactive power and vogtage contol", the 14th International conferenc on Intelligent systm Application to power systems,pp. 406 – 411, 2007.

[7] DE SOUZA A C Z,HONORIO L M,TORRES G L, "Increasing the loadability of power through optimal - load - control actions [J]", IEEE Transactions on power systems", vol. 19(1),pp. 188-194,2004.

[8] He R,TAYLOR G A,SONG Y H, Multi -objective optimal reactive power flow including Voltage secrity and demand profile classification [J]",International Journal of Electrical power & Energy systems, vol. 30(5), pp. 327 – 336,2008.

[9] LIU Mingbo, QU shaojie, M A Guanxiong, "Reactive power optimization with Constraints of Static voltage stability Margin [J]", journal of south china university of Technology, vol. 37(2),pp. 107 -112, 2009 (in Chinese).

[10] C. L. Hwang, A. Masud, "Multiple Objective Decision Making Methods and Applications: A State of the Art Survey",Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 164,Springer-Verlag,Berlin,1979.

[11] Rui He, G. A. Taylor, and Y. H. Song, "Multi-objective optimization of reactive power flow using demand profile classification", 2005.

[12] Yonas Gebre Wolbesenbet,Gary G. Yen and Biruk G. Tessema, "Constraint Handling in Multi objective Evolutionary Optimization", Vol. 13, PP. 514-515, 2009.

[13] Lam Thu Bui, Sameer Alam, "An introduction to Multi-Objective Optimization",university of new south wales Australia,publisher information science refrence, 2008.

[14] K. R. C. Manandur and R. D. Chenoweth,"optimal control of Reactive power Flow for Improvement in Voltage profiles and for Real Real power Loss minimization ",IEEE Transactions on power Apparatus and system,Vol. PAS-100,NO. 7, PP. 3185-3194, 1981.

[15] Q. H. Wu, J. T. Ma,"Power system optimal dispatch using evolutionary programming ", IEEE Transpower syst",vol. 10(3), pp. 1243-1249, 1995.

[16] Terra, L. D. B, Gouvea, M. M., Jr," Fuzzy goal programming applied to the optimal reactive power flow problem".

[17] K. Y. Lee, F. F. Yang,"optimal reactive power planning using evolutionary algorithms: A comparative study for evolutionary programming, evolutionary strategy, genetic algorithm and linear programming ", IEEE Trans power syst, vol. 13(1), pp. 101-108, 1998.

[18] H. Yoshida, K. Kawata, Y. Fukuyama and Y. Nakanishi, "A particle swarm optimitation for Reactive power and voltage control considering voltage stability Assessment", IEEE Transactions on power systems, vol. 15,NO. 4, PP. 89 – 98, 2000.

[19] C. H. Liang, C. Y. Chung, K. P. Wong, X. Z. Duan, C. T. Tse, "study of differential evolution for optimal reactive power flow ", IET Gener Transm Distrib, Vol. 1(2), pp. 253-260,2007.

[20] M. R. AlRashidi, M. E. El-Hawary, "Applications of computational intelligence techniques for solving the revived optimal power flow problem, Electric power Systems Research", Vol. 79, PP. 694-702, 2009.

[21] P. Subburaj, Miss N. Sudha, Mrs K. Rajeswari, Dr. K. Ramar, Dr. L. Ganesan, "Optimum Reactive Power Dispatch Using Genetic Algorithm", Vol. 21,PP. 1-10,2007.

[22] W. Yu, He, and N. Zhang (Esds), "optimal reactive power dispatch using particle a multi-objective evolutionary algorithm for reactive power compensation in distribution networks", Applied Energy, Vol. 86, PP. 977-984, 2009.

[23] L. L. Lai,J. T. Ma,"Application of evolutionary programing to reactive power planning-comparision with nonlinear programming to reactive power planning-comparison with nonlinear programming approach",IEEE Trans power syst, vol. 12(1), pp. 198-206,1997.

[24] H. R,Bie. Z. H, Song. H, Nakanishi,o. ,nakazawa,c. , "Optimal Reactive power planning Based on Simalated annealing particle Swarm Algorithm Considering Static Voltage stability", vol. 2, pp. 1125-1129, 2004.

[25] Chaohua Dai, Weirong Chen, Yunfang Zhu, Xuexia Zhang," Reactive power dispatch considering voltage stability with seeker optimization algorithm", Electric power Systems Research,Vol. 79,pp. 1462-1471,2009.

[26] Carlos Henggeler Antunes, Dulce Fernao Pires, Carlos Barrico, Alvaro Gomes, Antonio Gomes Martins, "A multi-objective evolutionary algorithm for reactive power compensation in distribution networks", Vol. 86,PP. 977-984,2009.

[27] I. MAROUAN, T. GUESMI, H. HADJ ABDALLAH And A. OUALI, "Application of a multi objective evolutionary algorithm

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012

for optimal location and parameters of FACTS devices considering the real power loss in transmission lines and voltage deviation buses", 2009.
[28] Jianhua wu, Nan Li, Lihong He, Bin Yin, Jianhua Guo, Yaqiong Liu,"Research On Multi- Objective Reactive Power Optimization Based on Modified Particle Swarm Optimization Algorithm", PP. 477-480, 2010.
[29] Jean - Francois Berube, Michel Gendreou, Gean - Yves potvin "An exact ε – Constraint method for bi – objective combinatorial optimization problem : Applicational to the traveling salesman problem with profits" Euvopean journal of operational Research vol. 194,pp. 39 -50,2009.
[30] Zhihuan Li, Yinhong Li, Xianzhong Multiobjective,"Optimal Reactive Power Flow Using Elitist Nondominated Sorting Genetic Algorithm", Comparison and Improvement Duan, VOL. 5, pp. 70-78, 2010.
[31] ZHANG, WEN, LIU, YU TIAN,"multi – objective reactive power and voltage control based on fuzzy optimitation strategy and fuzzy adaptive particle swarm [J]", international journal of Electrical power & Energy sestems, vol. 30 (9)-pp525 - 532 -2008.
[32] ZHANG Anan, YANG Honggeng, "A New ε-domination Based fuzzy Multi - objective Reactive optimization Approach [J]",International Journal of Engineering Intelligent systems for Electrical Engineering and communi catioion s,(review in progress).
[33] S. M. Kannan, P. Renuga & A. Rathina Grace Monica, "Application of Fuzzy logic and particl swarm optimization For reactive power compensation of Radial distribution systems [J] ", Journal of Electrical system, vol. 6 (3) pp. 407-425, 2010.
[34] Manar M sabry –meshal A AL - Shaher - "Reactive power control factor improvement using fuzzy controllers [J]", international gournal of Engineering Intelligent systems for Electrical Engineering and communication s,vol 14 (1), pp. 15-21.
[35] Feng Shigang Ai Qian "Application of fast and Elitist NON - Dominated sorting Generic algorithm in multi – objective reactive power optimization [J] ",Transactions of china Electronically society,vol 22(12), pp. 146-151, 2007.(in Chinese)
[36] Baran ME, Wu FF, "Optimal Sizing of Capacitors Placed on a Radial Distribution System", IEEE Transactions on Power Delivery, 4 (1), 735-743, 1989b. Swarms optimization Algorithm based pareto optimal set, pp. 152-161, 2009.
[37] C. Dai, W. chen, Y. thu. X. thang, "Reactive power dispatch considering Voltage stabilhty with seeker optimitation algorithm", Electr power syst Res 2009. vol. 79(10),pp. 1462-1471, 2009.
[38] B. Zhao, C. X Guo, Y. J. Cao, "An Improved particle Swarm optimization Algorithm for optimal Reactive power Dispatch" In :proceedings of IEEE power engineering society general meeting, sanfrancisso, USA, pp 272 - 279, 2005.
[39] C. A. Floudas, "Nonlinear and mixed- integer optimization: Fundamenfals and applications", New York. Oxford university press, 1995.
[40] I. E. Grossmann, J. Viswanathan,A. Vecchiette, "DICOPT s Menual. GAMS Development Corporation", 2008.
[41] P. Subbaraj, P. N. Rajnarayanan,"optimal reactive power dispatch using self –adaptive real genetic algorithm ", Electr power syst Res, vol. 79(2), pp. 374-381, 2009.
[42] Power systems Test case, The university of Washington Archive http://www.ee.washington.edu/research /pstca/, [Accessed 15/7/2008].

رزومه



سودابه قهرمانی در سال (۱۳۶۲) در تبریز متولد شد. مدارک کارشناسی وکارشناسی ارشد خود را در سالهای (۱۳۸۷) و (۱۳۹۰) بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و دزفول در رشته مهندسی برق- الکترونیک و قدرت اخذ نموده است. زمینه تحقیقاتی ایشان آنالیز سیستم قدرت و ادوات FACTS می‌باشد.



افشین لشکرآرا در سال (۱۳۵۲)در تهران متولد شد. مدارک کارشناسی،کارشناسی ارشد و دکترای خود را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹) بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق- قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا(IEEE) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

جدول(۱): نتایج ORPF تک هدفه در سیستم آزمون ۱۴ شینه IEEE

پارامترها	F_1 (حالت اول)	F_2 (حالت دوم)	F_3 (حالت سوم)
Vg_2	۱/۰۵۱	۱/۰۵۶	۱/۰۴۶
Vg_3	۱/۰۴۱	۱/۰۴۷	۱/۰۲۱
Vg_6	۱/۰۶	۱/۰۶۰	۱/۰۶
Vg_8	۱/۰۶	۱/۰۲۱	۱/۰۶
T_{4-7}	۱	۱/۰۷۰۰	۱/۰۳
T_{4-9}	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۰
T_{5-6}	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
Q_{c9}	۰/۳۰	۰/۳	۰/۲۸
Q_{c14}	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۱
هزینه سوخت کلی ($/h)	۱۷۲۷۰/۳۲۷	۱۸۱۷۰/۳۲۳	۳۰۷۰۰/۱۰۰
مجموع تلفات توان اکتیو (MW)	۱/۵۹۵۲	۱/۰۲۵۲	۶/۵۷۱۶
بارپذیری	۱	۱	۱/۵۵۸
مجموع تلفات توان راکتیو (MVAr)	۱۰/۹۴۶۶	۹/۷۳۶۵	۷/۳۱۱۵
زمان اجرا (s)	۰/۳۵۲۸۱۲	۰/۳۵۵۱۸۰	۰/۳۲۶۶۷۸

جدول(۲): نتایج ORPF چند هدفه در سیستم آزمون ۱۴ شینه

پارامترها	F_1&F_2 (حالت چهارم)	F_1&F_3 (حالت پنجم)	F_2&F_3 (حالت ششم)	F_1&F_2&F_3 (حالت هفتم)
Vg_2	۱/۰۵۳	۱/۰۴۷	۱/۰۵	۱/۰۴۸
Vg_3	۱/۰۴۳	۱/۰۲۶	۱/۰۲۹	۱/۰۳۲
Vg_6	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۰۶
Vg_8	۱/۰۲۲	۱/۰۶	۱/۰۴۵	۱/۰۳۶
T_{4-7}	۱/۰۵	۱/۰۲	۱/۰۵	۱/۰۳
T_{4-9}	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰
T_{5-6}	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
Q_{c9}	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۳	۰/۳
Q_{c14}	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱	۰/۰۹
هزینه سوخت کلی ($/h)	۱۷۵۱۸/۶۶۳	۲۵۲۷۱/۹۱۰	۲۷۶۷۵/۸۵۴	۲۱۹۳۲/۹۷۷
مجموع تلفات توان اکتیو (MW)	۱/۱۹۲۹	۴/۶۶۰۵	۴/۴۸۴۱	۳/۲۴۵۳
بارپذیری	۱	۱/۳۶۲	۱/۴۲۸	۱/۲۲۳
مجموع تلفات توان راکتیو (MVAr)	۹/۹۱۴۸	۱/۱۵۵۰	۰/۷۲۳۴	۳/۳۴۸۸
زمان اجرا(s)	۳/۰۶۱۱۹۱	۲/۴۹۳۹۹۰	۲/۵۳۸۶۵۰	۳/۲۶۹۶۹۰

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.2.2.6]
Journal of Electrical Power Systems- Vol. 1-No. 2- Autumn 2012