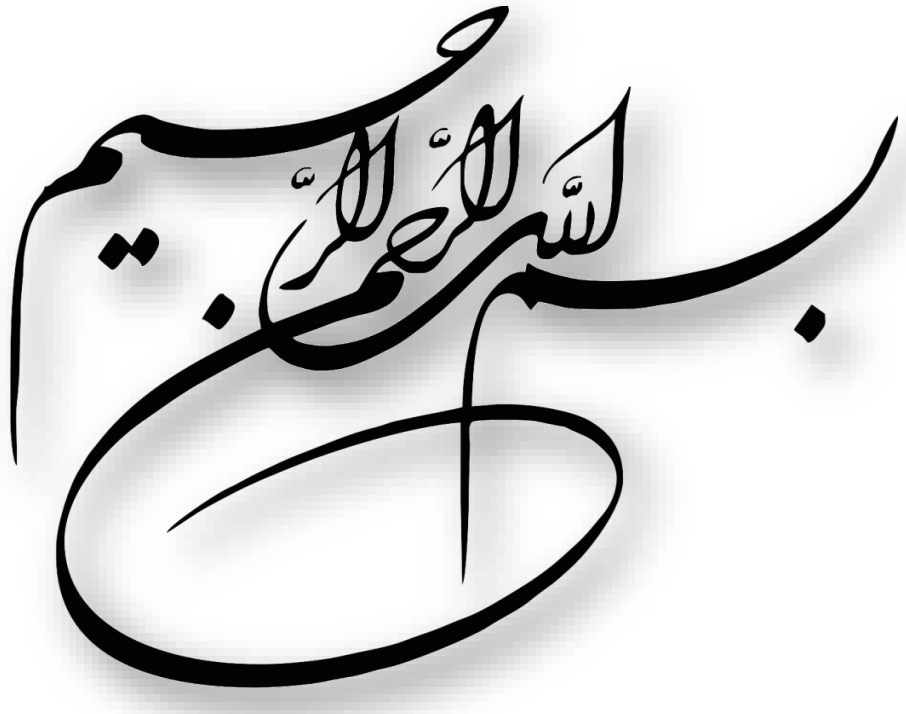

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه برق -کنترل

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

الگوریتم خفاش بهبودیافته و کاربرد آن در کاهش تلفات در سیستم‌های گسترده قدرت

مهتاب گنجوری

استاد راهنما :

دکتر علیرضا الفی

مهر ۱۳۹۴

تقدیم به؛

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم.

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

برادر و خواهرم همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگیم

و همچنین تمام عزیزانی که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه راهم بود

سپاس:

سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی پدر و مادر دلسوز و مهربانم که سجده ی ایثارشان گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارشان لحظه های مهربانی را به من آموخت.

و با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر علیرضا الفتی که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نمود و همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده است.

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

تعهدنامه

- اینجانب **مهتاب گنجوری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق-کنترل** دانشکده **مهندسی برق و رباتیک** دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **الگوریتم خفاش بهبود یافته و کاربرد آن در کاهش تلفات در سیستم‌های گسترده قدرت** تحت راهنمائی **دکتر علیرضا الفی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسـط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ **امضای دانشجو**

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مروری بر کارهای گذشته: ۲

۱-۳- ساختار پایان‌نامه و ضرورت انجام کار ۵

فصل ۲ : الگوریتم‌های بهینه‌سازی و ارائه الگوریتم خفاش بهبودیافته

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- شرح مسئله بهینه‌سازی ۸

۲-۳- تابع هدف ۹

۲-۴- روش‌های ابتکاری بر مبنای مکانیزم های طبیعی ۹

۲-۴-۱- الگوریتم الگوی جستجوی ممنوع ۹

۲-۴-۲- الگوریتم ژنتیک ۱۰

۲-۴-۲-۱- پارامترهای بهینه‌سازی و تابع هزینه ۱۰

۲-۴-۲-۲- جمعیت اولیه ۱۱

۲-۴-۳- الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات ۱۳

۲-۴-۴- الگوریتم ساده‌شده مورچه‌ها ۱۶

۲-۵- الگوریتم تکاملی تفاضلی ۱۶

۲-۶- الگوریتم بهینه‌سازی خفاش ۱۷

۲-۶-۱- پژواک یابی ریز خفاش‌ها ۱۷

۲-۶-۱-۱- قوانین الگوریتم خفاش ۱۷

۲-۶-۱-۲- حرکت خفاش‌ها ۱۸

۲-۶-۱-۳- تغییرات بلندی و نرخ انتشار پالس ۲۰

۲-۶-۱-۴- انواع الگوریتم خفاش ۲۰

۲-۷- کاربرد الگوریتم خفاش ۲۱

۲-۷-۱-۲- الگوریتم خفاش بهبود یافته ۲۲

۲-۷-۲-۱-۱- الگوریتم بهینه سازی خفاش بهبودیافته ۲۴

فصل ۳ : خازن‌گذاری، پخش‌بار و بهینه سازی چندهدفه و تک‌هدفه در سیستم‌های گسترده قدرت

۳-۱- مقدمه ۲۸
۳-۲- مروری درزمینه بهینه‌سازی توان راکتیو ۲۸
۳-۳- ضرورت کنترل توان راکتیو اهداف و روش های آن ۳۰
۳-۴- دلایل کنترل توان راکتیو ۳۱
۳-۵- اهداف کنترل توان راکتیو در جبران سازی بار ۳۲
۳-۵-۱- ثابت نگه‌داشتن ولتاژ در یک سطح معین ۳۲
۳-۵-۲- اصلاح ضریب توان ۳۴
۳-۵-۳- متعادل کردن بار ۳۵
۳-۶- جبران‌کننده ایده آل ۳۸
۳-۷- روش‌های جبران سازی ۳۸
۳-۸- پخش بار ۳۸
۳-۸-۱- رابطه تلفات اکتیو و راکتیو ۴۰
۳-۸-۲- متغیرهای اغتشاش (مصرف) ۴۱
۳-۸-۳- متغیرهای کنترل ۴۱
۳-۸-۴- متغیرهای حالت ۴۱
۳-۸-۵- معادلات پخش بار برای سیستم با تعداد شین $nbus$ ۴۲
۳-۹- بهینه‌سازی توان راکتیو ۴۳
۳-۱۰- پخش بار مستقیم ۴۳
۳-۱۰-۱- فرمول‌بندی روش پخش بار مستقیم ۴۴
۳-۱۱- الگوریتم های خازن‌گذاری ۴۵
۳-۱۱-۱- مقدمه: ۴۶
۳-۱۱-۲- قیود حاکم بر مسئله ۴۷
۳-۱۲- شرط همگرایی پخش بار: ۴۷
۳-۱۲-۱- شرط ولتاژ: ۴۷
۳-۱۳- روش‌های بهینه‌سازی ۴۹
۳-۱۳-۱- شرح مسئله بهینه سازی ۴۹

۳-۱۳-۲- مسئله بهینه سازی تک هدفه ۴۹
۳-۱۳-۳- مسئله بهینه‌سازی چند هدفه ۵۰
۳-۱۳-۴- تابع عضویت تلفات ۵۱
۳-۱۳-۵- تابع عضویت انحراف ولتاژ ۵۲
۳-۱۴- مسئله برنامه‌ریزی خطی ۵۲
۳-۱۵- مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم ۵۳
۳-۱۶- مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی ۵۳
۳-۱۷- روش‌های حل مسائل چند هدفه ۵۳
۳-۱۷-۱- روش ضرایب وزنی ۵۳
۳-۱۷-۲- روش ε – مقید ۵۵
۳-۱۷-۳- روش تعامل فازی ۵۵

فصل ۴ خازن‌گذاری در بخش توزیع

۴-۱- مقدمه ۵۸
۴-۲- بررسی خازن‌گذاری ازنظر اقتصادی ۵۸
۴-۲-۱- آزادسازی ظرفیت ۵۸
۴-۲-۲- کاهش انرژی تلفاتی و تلفات پیک ۶۰
۴-۲-۳- بهای خازن ۶۰
۴-۲-۴- سرمایه‌گذاری و سوددهی ۶۰
۴-۳- روش‌های خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع ۶۱
۴-۳-۱- روش‌های تحلیلی ۶۳
۴-۳-۲- روش‌های هوش مصنوعی ۶۶
۴-۳-۲-۱- روش جستجوی جدولی ۶۷
۴-۳-۲-۲- الگوریتم خفاش ۶۷

فصل ۵ : شبیه‌سازی و نتایج

۵-۱- مقدمه ۷۰
۵-۲- فرمول‌بندی مسئله ۷۰
۵-۲-۱- توابع هدف مسئله ۷۰
۵-۲-۱-۱- بهینه‌سازی هزینه کل: ۷۰

۵-۲-۱-۲- بهینه‌سازی تلفات کل: ۷۱
۵-۲-۲- قیود مسئله ۷۲
۵-۲-۲-۱- مقادیر خازن‌ها ۷۲
۵-۲-۲-۲- توان خطوط شبکه ۷۲
۵-۲-۲-۳- ولتاژ باس‌های شبکه ۷۲
۵-۲-۲-۴- همگرایی پخش‌بار ۷۳
۵-۲-۲-۵- قید حداکثر جبران‌سازی ۷۳
۵-۳- بهینه‌سازی چند هدفه ۷۴
۵-۴- نتایج شبیه‌سازی ۷۴
۵-۴-۱- شبکه تست دوم ۷۷

فصل ۶ نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری ۸۴
منابع و مآخذ ۸۵
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۲

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱: خلاصه مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک استاندارد ۱۲

شکل ۲-۲: خلاصه مراحل اجرای الگوریتم PSO ۱۵

شکل ۲-۳: مسیر بهینه‌ای که به‌وسیله مورچه‌ها در یک گراف ساده پیدا شده ۱۶

شکل ۲-۴: انعکاس صدای خفاش ۱۹

شکل ۳-۱: بار و جبران‌کننده به همراه مدار معادل تونن سیستم قدرت ۳۳

شکل ۳-۲: متعادل کردن بار و تصحیح ضریب توان به مقدار واحد ۳۷

شکل ۳-۳:تابع عضویت کاهش تلفات و کاهش انحراف ولتاژ ۵۲

شکل ۴-۱ آزادسازی ظرفیت بعد از جبران توان راکتیو ۵۹

شکل ۴-۲ نصب تعداد مشخص خازن در فیدر با بار یکنواخت ۶۴

شکل ۴-۳ فلوچارت کلی خازن‌گذاری به روش تجربی مقاله ۶۶

شکل ۵-۱: شمای تک‌خطی شبکه ۳۴ باس (شبکه تست اول) ۷۵

شکل ۵-۲: سطح ولتاژ باس مای شبکه قبل و بعد از خازن گذاری بهینه توسط روش پیشنهادی (شبکه تست اول) ۷۷

شکل ۵-۳: شمای تک‌خطی شبکه ۶۹ باس (شبکه تست دوم) ۷۸

شکل ۵-۴: سطح ولتاژ باس‌های شبکه قبل و بعد از خازن‌گذاری بهینه توسط روش پیشنهادی (شبکه تست دوم) ۸۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۵-۱: مقادیر خازن‌های موجود جهت نصب در شبکه به همراه هزینه هر واحد..... ۷۱
جدول ۵-۲: نتایج شبیه‌سازی‌های تک هدفه در با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست اول)..... ۷۵
جدول ۵-۳: ظرفیت و موقعیت بهینه خازن‌های شنت متناسب با بهینه‌سازی تک هدفه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست اول)..... ۷۵
جدول ۵-۴: مقایسه مقدار بهینه تابع هدف هزینه و مقایسه نتایج استفاده از الگوریتم پیشنهادی و تعدادی از روش‌های مشهور دیگر(شبکه تست اول)..... ۷۶
جدول ۵-۵ : نتایج شبیه‌سازی های تک هدفه در محیط قطعی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست دوم)..... ۷۸
جدول ۵-۶: ظرفیت و موقعیت بهینه خازن‌های شنت متناسب با بهینه‌سازی تک هدفه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست دوم)..... ۷۹
جدول ۵-۷: مقایسه نتایج با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و PSO و GA (شبکه تست دوم)..... ۷۹
جدول ۵-۸: نقاط بهترین، بدترین انحراف معیار و زمان میانگین برای .BA..... ۸۰
جدول ۵-۹: نقاط بهترین، بدترین انحراف معیار و زمان میانگین برای MBA ۸۱

چکیده:

در این پایان‌نامه از الگوریتم خفاش بهبود یافته، جهت بهینه سازی هزینه سالانه و کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع برق استفاده می شود. الگوریتم طراحی شده، حداقل سازی تلفات خطوط شبکه قدرت، انحراف ولتاژ و هزینه را جداگانه میسر می سازد. هدف، استفاده از الگوریتم خفاش بهبودیافته جهت کاهش تلفات هزینه سالانه در سیستم‌های توزیع برق می باشد که این کاهش تلفات، کاربردی در شرکت برق دارد. پیاده سازی روش‌های پیشنهادی بر روی دو شبکه نمونه ۳۴و ۶۹ با سه IEEE انجام می‌گردد. در روش به کار گرفته شـــده مقادیر خازن و همگرایی پخش بار نیز مورد بررســـی قرار می‌گیرد. نتایج به دســـت آمده از الگوریتم خفاش بهبود یافته با دیگر روش‌های بهینه‌ســـازی مقایســـه می‌گرددکه تحلیل نتایج، بیانگرکارایی این روش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم خفاش بهبودیافته ، بهینه‌سازی، تلفات

فصل ۱ :

مقدمه

۱-۱- مقدمه

یک سیستم توزیع را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای شامل سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع تعریف کرد سرمایه‌گذاری روی دو بخش تولید و توزیع درمجموع بیشترین قسمت از کل سرمایه شبکه برق را به خود اختصاص می‌دهد بنابراین می‌توان گفت که سیستم توزیع از اهمیت اقتصادی بسیار زیادی برخوردار است [۱]. با توجه به اهمیت اقتصادی سیستم توزیع و حجم سرمایه‌گذاری در آن، افت در طرح و برنامه‌ریزی سیستم توزیع بسیار حائز اهمیت است.

در برنامه‌ریزی سیستم توزیع تلاش می شود هزینه پست‌ها، فیدرهای اصلی، فیدرهای فرعی و هزینه تلفات کاهش یابد فیدر اصلی از پست فوق توزیع شروع می‌شود و بارهای بزرگ و اصلی را تغذیه می‌کند و بارهای کوچک‌تر متوسط شاخه‌های فرعی تغذیه می‌شود بسیاری از سیستم‌های توزیع در عمل دارای یک فیدر اصلی می‌باشند و نام سیستم‌های توزیع شعاعی خوانده می‌شوند و استفاده از این نوع سیستم‌های توزیع به دلیل سهولت طراحی و نیز هزینه‌های اقتصادی کمتر دارای محبوبیت خاصی است اما به‌طورکلی تلفات توان در سیستم‌های توزیع به دلیل سطح پایین‌تر ولتاژ و در نتیجه جریان زیادتر نسبت به سطح انتقال و فوق توزیع و نیز گستردگی شبکه توزیع بسیار زیاد می‌باشد که تلاش در جهت بالا بردن کیفیت خدمات‌رسانی به مشترکین نیاز به کاهش تلفات توان خصوصاً در قسمت توزیع را دوچندان نموده است[۲].

کاهش تلفات و درنتیجه کاهش هزینه در شبکه‌های توزیع که بیشترین سهم تلفات را در یک سیستم قدرت به خود اختصاص می‌دهد همواره مورد توجه کارشناسان برق بوده است و هرچه تمایل برای استفاده وسیع‌تر و مدرن‌تر از شبکه‌های توزیع بیشتر می‌شود این امر اهمیت بیشتر می‌یابد[۳].

۱-۲- مروری بر کارهای گذشته:

تاکنون راهکارهای مختلفی به‌منظور کاهش تلفات در بخش توزیع ارائه گردیده است که بر اساس

مطالعات انجام شده [۴] می‌توان اقدامات اجرایی را به شرح زیر بیان نمود:

- برقراری تعادل بار بین فیدرهای مختلف یک پست برق با استفاده از انواع آرایش شبکه و کوتاه کردن شبکه‌های طولانی

- برقراری تعادل باربین فازهای یک شبکه برق

- خازن گذاری در شبکه برای جبران باراکتیو شبکه

- انتقال ترانسفورماتورهای شبکه توزیع به مرکز ثقل بار

- اصلاح هادی‌های خطوط انتقال

شبکه توزیع به دو بخش فشار ضعیف و فشار متوسط تقسیم می‌گردد شبکه فشار ضعیف شبکه‌ای نامتعادل است که موردبحث قرار نمی‌گیرد زیرا در عمل به‌منظور عملکرد صحیح سیستم‌های حفاظتی را در پست‌های فوق توزیع بر روی فیدرهای فشار متوسط اعمال می‌گردد. بهره‌برداران شبکه سعی در متعادل سازی بار پست‌های توزیع و شبکه فشار متوسط دارند.

یکی از متداول‌ترین روش‌های کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع فشار متوسط جبران توان راکتیو شبکه به دلیل وجود بارهای القایی در سیستم توزیع علاوه بر توان اکتیو توان راکتیو نیز در شبکه جریان دارد که اولین منبع توان راکتیو نیروگاه‌ها هستند در این صورت جریان راکتیو از نیروگاه‌ها به سمت مشترکین که اکثراً در بخش توزیع قرار دارند جریان می‌یابد بنابراین جریان راکتیو باید از تمام بخش‌های سیستم قدرت عبور کند که طبعاً باعث ایجاد تلفات در شبکه و اشغال ظرفیت خطوط و تجهیزات می‌گردد.

مطمئناً بهترین مکان جبران توان راکتیو نزدیک به نقاط مصرف توان راکتیو یعنی بخش توزیع هست با جبران توان راکتیو شبکه به اهدافی همچون کاهش تلفات انرژی، کاهش تولید توان اکتیو

موردنیاز در پیک‌بار آزادسازی ضرایب تجهیز است، که به اصلاح ضریب توان و بهبود پروفیل ولتاژ در شبکه می‌توان دست‌یافت.

یکی از متداول‌ترین روش‌های جبران توان راکتیو استفاده از خازن‌های موازی در شبکه توزیع است با این کار بار راکتیو موردنیاز مشترکین جبران گشته و دیگر نیازی به جبران توان راکتیو از نیروگاه‌ها به سمت مشترکین نیست مسئله اصلی در جبران توان راکتیو شبکه تعیین مقدار موردنیاز خازن و مکان مناسب نصب خازن‌ها در شبکه می‌باشد در حقیقت باید جایابی و مقداریابی خازن‌ها به نحوی صورت گیرد که سود حاصل از خازن گذاری در طول کل دوره بار بیشینه گردد.

چارچوب الگوریتم تعیین مکان و مقدار بانک‌های خازنی به این صورت است که ابتدا تابع هدف خازن‌گذاری که معمولاً به‌صورت تابع هزینه بیان می‌شود، مشخص می‌گردد. منظور از تابع هزینه مجموع مواد هزینه‌بر همچون هزینه خازن و تولید انرژی است پس شبکه موردمطالعه به قسمی خازن‌گذاری می‌گردد که مجموع این هزینه‌ها حداقل گردد حداقل کردن تابع هزینه قیود نیز باید رعایت شوند یکی از بهترین قیودها، قید ولتاژ است به عبارتی خازن گذاری باید به نحوی انجام شود که در تمام سطوح بار ولتاژ شین‌ها بین یک مقدار حداکثر و حداقل بر اساس استاندارد قرار گیرد در دهه‌های اخیر تحقیقات فراوان در زمینه خازن گذاری انجام‌شده و روش‌های متنوعی به‌کاررفته است که می‌توان آن‌ها را در قالب‌های روش تحلیلی (۱) روش‌های برنامه‌ریزی عددی، روش‌های ابتکاری (۲) و روش‌های هوش مصنوعی طبقه‌بندی نمود.

در دهه اخیر تمایل به استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در مسائل بهینه‌سازی گسترش زیادی یافته است این روش‌ها و الگوریتم‌ها بر اساس استفاده از هوش مصنوعی برای رسیدن به نقطه بهینه تابع هدف به کار می‌روند از آن جمله می‌توان به روش آبکاری فولاد، ژنتیک عصبی سیستم‌های خبره و قوانین فازی اشاره کرد.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه و ضرورت انجام کار

در این پایان‌نامه سعی شده که خازن گذاری در شبکه‌های توزیع را به‌صورت یک مسئله در قالب بهینه‌سازی برای کاهش تلفات و کم کردن هزینه و انرژی ولتاژ با استفاده از الگوریتم خفاش بهبودیافته مطرح کرد که در این کار از ۲ شبکه تست ۳۴ و ۶۹ باسه سیستم قدرت استفاده کردیم و هدف و ضرورت اجرای کار و فرق کار ما با کارهای گذشته این است که با استفاده از الگوریتم خفاش بهبودیافته توانستیم تلفات و هزینه را برای سیستم‌های پست برق به‌صورت چشمگیری کاهش دهیم. در اینجا باید فضای حالت و عملکرد را موادی تعریف نمود که بانک‌های خازنی ثابت در شین‌های مناسب شبکه توزیع به‌گونه‌ای قرار داده شوند که تابع هدف بهینه گردد.

این پایان‌نامه در ۶ فصل، در فصل اول مقدمه و ضرورت کار و ساختار پایان‌نامه و فصل ۲ الگوریتم‌های بهینه‌سازی و الگوریتم خفاش بهبودیافته، فصل ۳ خازن‌گذاری، پخش بار و بهینه‌سازی چندهدفه، تک‌هدفه در سیستم‌های گسترده قدرت و فصل ۴، خازن‌گذاری در بخش توزیع و فصل ۵ نتایج و شبیه‌سازی، فصل ۶ پیشنهادات و نتیجه‌گیری طراحی و تدوین شده است.

فصل ۲ :

الگوریتم‌های بهینه‌سازی و ارائه الگوریتم خفاش بهبودیافته

۲-۱- مقدمه

ازآنجاکه در این پژوهش حل پخش بار بهینه به‌منظور جایابی و خازن گذاری در شبکه قدرت با اهداف مختلفی نظیر کاهش هزینه تولیدی انرژی الکتریکی، کاهش تلفات توان، بهبود معیار پایداری ولتاژ و کاهش آلودگی ناشی از تولید انرژی الکتریکی که جزو مسائل بهینه‌سازی بشمار می‌روند موردبررسی قرار گرفته است لذا ضروری است که با روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی آشنایی لازم را پیدا کنیم به همین منظور در این فصل ابتدا با چند الگوریتم بهینه‌سازی آشنا شده و سپس به بررسی روش ارائه‌شده در این پژوهش می‌پردازیم.

به‌طورکلی منظور از بهینه‌سازی یک مسئله، پیدا کردن بهترین جواب برای آن، تحت شرایط معین می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر یک مدل ریاضی زمانی بهینه خواهد شد که بتوان مقادیر متغیرهای آن را تا جایی که امکان دارد طوری تعیین نمود که مقدار آن بیشینه یا کمینه گردد.

۲-۲- شرح مسئله بهینه‌سازی

در یک مسئله بهینه‌سازی تابع $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ با رعایت قیود زیر حداقل و یا حداکثر می گردد [۵].

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \qquad i = 1,2, \dots, k \qquad (۱-۲)$$

$$h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0 \qquad j = 1,2, \dots, w \qquad (۲-۲)$$

که در آن $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ تابعی از بردار n بعدی متغیرهای x است. این تابع، تابع هدف نام دارد و g_i و h_j به ترتیب قیود مساوی و نامساوی هستند. حل مسئله در حقیقت پیدا کردن بردار n بعدی X است، به طوری که علاوه بر برآورده شدن هدف k قید معادله ای g_i و w قید نامساوی ای h_j همزمان برآورده شوند.

۲-۳- تابع هدف

روش‌های طراحی معمول، ما را دریافتن یک طرح قابل‌قبول یا مناسب کمک می‌کنند، درحالی‌که تنها قابل‌قبول بودن طرح موردنظر نیست و هدف بهینه‌سازی انتخاب بهترین طرح از بین طرح‌های موجود است. بنابراین باید معیاری برای مقایسه طرح‌های قابل‌قبول مختلف و انتخاب بهترین آنها تعیین شود که به‌صورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان می‌شود و تابع معیار، تابع مزیت یا تابع هدف نام می‌گیرد.

۲-۴- روش‌های ابتکاری بر مبنای مکانیزم های طبیعی

مبنای نظریه محاسبات تکاملی[۱]، برگرفته از نظریه تکاملی داروین است. با تغییر تصادفی اما هدفمند جمعیت اولیه، در هر تکرار، جمعیت جدیدی خلق می‌شود. مقدار تابع هدف به ازای هر عضو از جمعیت، معیار سنجش آن عضو می‌باشد. نهایتاً با اتخاذ یک روش انتخاب، پاسخ‌های از متوسط به پایین کنار گذاشته می‌شوند و بقیه‌ی پاسخ‌ها برای مراحل بعدی مورداستفاده قرار می‌گیرند. مراحل مذکور با انتخاب پاسخ‌های بهتر در هر مرحله، تا زمانی که پاسخ بهتری در مسئله کشف نگردد تکرار می‌شوند.

تعدادی از این روش‌های ابتکاری که بیشتر در حل مسائل بهینه‌سازی مورداستفاده قرار می‌گیرند به قرار زیر هستند:

۲-۴-۱- الگوریتم الگوی جستجوی ممنوع

الگوریتم الگوی جستجوی ممنوع[۲] اولین بار توسط گلور در سال ۱۹۸۹ معرفی شد [۶]. به‌طورکلی الگوریتم TS برای حل مسئله به‌صورت کنترل‌شده و هوشمند، نیازمند به حافظه قابل‌انعطاف و جستجوی واکنشی (آگاهانه) است. ایده اصلی TS از این فرض منشأ می‌گیرد که انتخاب یک جواب بد ممکن است

[1]. Evoolutionary algorithm
[۲] Tabu search

منجر به جوابی بهتر از یک انتخاب تصادفی خوب گردد که برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توان به مرجع نام‌برده شده مراجعه کرد.

۲-۴-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) روش مناسبی برای کاربرد در حل مسائلی است که همراه با جستجو و بهینه‌سازی می‌باشد. الگوریتم ژنتیک از شبیه‌سازی مستقیم رفتار طبیعت استفاده می‌کند. البته این الگوریتم‌ها یافتن حل بهینه کل برای هر مسئله را تضمین نمی‌کنند اما همواره دریافتن راه‌حل‌هایی که به میزان قابل قبولی مطلوب هستند، با سرعت قابل قبولی عمل می‌کنند [۷].

الگوریتم ژنتیک همانند هر الگوریتم بهینه‌سازی دیگری با تعریف پارامترهای بهینه‌سازی شروع‌شده و با بررسی شرط همگرایی به پایان می‌رسد. بنابراین در این الگوریتم پارامترهای بهینه‌سازی و تابع هزینه بایستی به‌وضوح تعریف شوند.

۲-۴-۲-۱- پارامترهای بهینه‌سازی و تابع هزینه

در الگوریتم ژنتیک به مجموعه پارامترهای بهینه‌سازی، کروموزوم گفته می‌شود. بدین ترتیب الگوریتم ژنتیک با تعریف یک کروموزوم یا مجموعه‌ای از پارامترهای بهینه‌سازی شروع می‌شود. اگر کروموزوم به تعداد N_{par} پارامتر داشته باشد (یک مسئله بهینه‌سازی با بعد N_{par}) در این صورت این کروموزوم به‌صورت رابطه (۲-۳) نمایش داده می‌شود:

$$chromosome = [p_1, p_2, \dots, p_N] \qquad (۳-۲)$$

$p_1, p_2, \dots, p_N$ پارامترهای بهینه‌سازی هستند. در هر مسئله بهینه‌سازی، تابع هزینه، برای هر مجموعه پارامتریک میزان هزینه به دست خواهد آمد که این میزان یک معیار مقایسه برای همگرایی الگوریتم خواهد بود. این ارتباط با رابطه ۴-۱۶) نشان داده می‌شود:

$$F(chromosome) = F[p_1, p_2, \dots, p_N] \qquad (۴-۲)$$

بدین ترتیب برای هر کروموزوم یک‌میزان هزینه وجود خواهد داشت و این میزان هزینه معیاری جهت بقاء یا عدم بقاء یک کروموزوم جهت ایجاد نسل و گسترش خصوصیات آن کروموزوم هست. معمولاً در مسائل بهینه‌سازی هدف، پایین آوردن هزینه یا مینیمم کردن تابع هزینه است.

۲-۴-۲-۲- جمعیت اولیه

با شروع الگوریتم ژنتیک یک جمعیت اولیه با بعد N_{ipop} کروموزوم تعریف می‌شود. این جمعیت اولیه در حقیقت ماتریسی است که هر سطر آن‌یک کروموزوم با بعد $1 \times N_{por}$ بوده و دارای N_{ipop} سطر هست. بنابراین، این ماتریس دارای بعد $N_{ipop} \times N_{por}$ است و ماتریس جمعیت اولیه با IPOP نشان داده می شود.

به‌اختصار این الگوریتم را مورد بررسی قرار می‌دهیم برای مطالعه بیشتر می‌توان به [۸] مراجعه کرد.

خلاصه‌ی مراحل الگوریتم GA به‌این‌ترتیب است:

۱) تعریف تابع انتقال
۲) تعریف متغیرهای مستقل
۳) تعریف پارامترهای مربوط به GA مانند: اندازه جمعیت[۱]، نرخ ترکیب[۲]، نرخ جهش[۳]و...
۴) تعریف تابع هزینه
۵) تولید جمعیت اولیه[۴]
۶) حلقه GA استاندارد:
   I. انتخاب والدین[۵]
   II. تولید فرزندان[۶] جدید با روش ترکیب و جهش
   III. محاسبه تابع هزینه برای فرزندان جدید

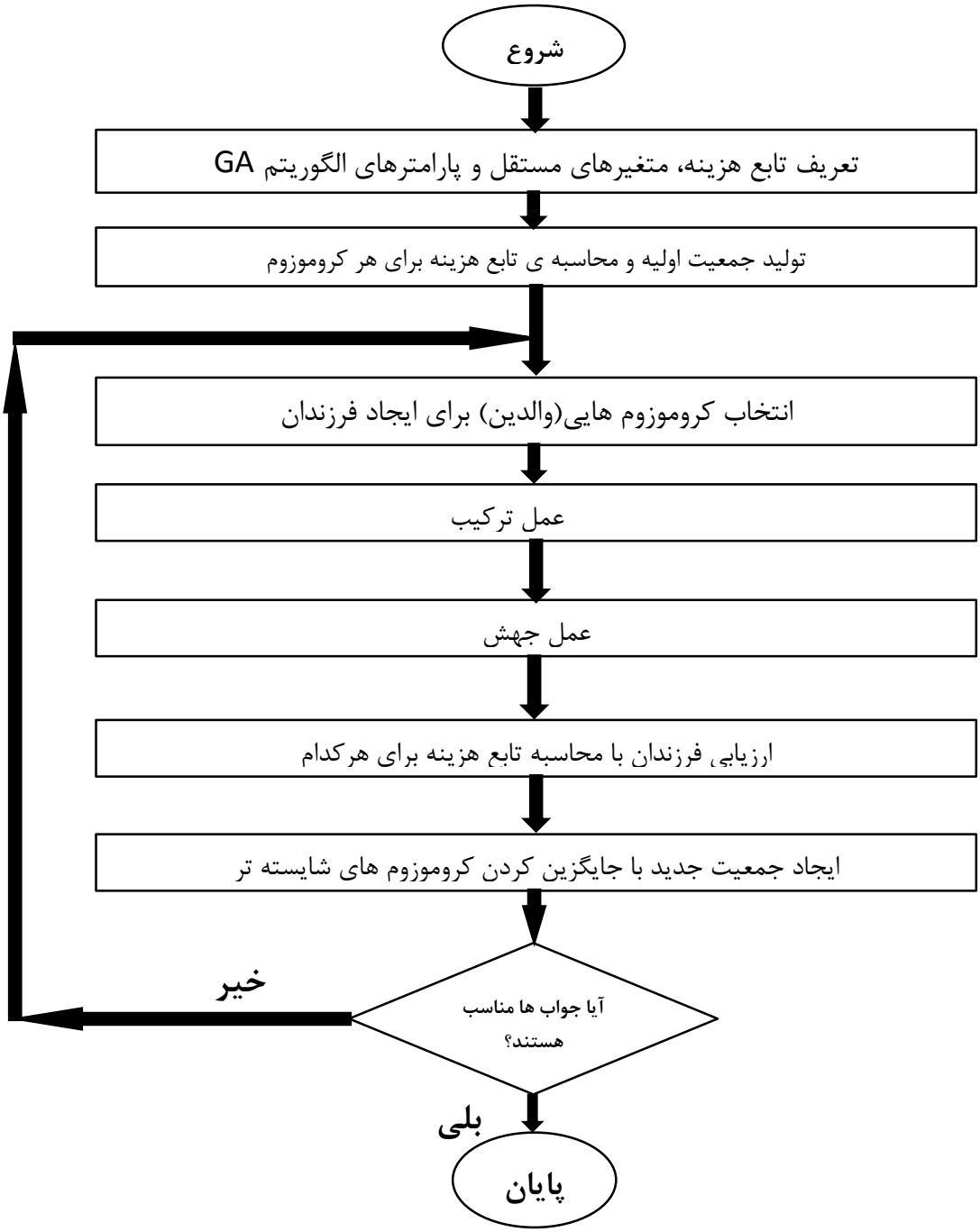
[۱] Population Size
[۲] Crossover Rate
[۳] Mutaion
[۴] Initialize Population
[۵] Parents
[۶] Offspring

IV. مرتب‌سازی[1] جمعیت فعلی (جمعیت فعلی به‌علاوه فرزندان جدید) بر اساس تابع هزینه

V. جمعیت جدید بهترین‌های جمعیت فعلی مرتب‌شده به تعداد اندازه جمعیت است.

VI. شرط پایان حلقه: در اینجا از ماکزیمم تعداد تکرار حلقه[2] استفاده‌شده است.

۷) نمایش بهترین جواب و پایان



شکل ۲-۱ خلاصه مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک استاندارد[۱۵]

[1] Maximum Iteration

۲-۴-۳- الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات

Kennedy و Eberhart سال ۱۹۹۵ الگوریتم بهینه‌سازی، اجتماع ذرات (PSO) را به‌عنوان یک روش ابتکاری جدید با الهام از جستجوی گروهی غذا توسط ماهی‌ها یا پرندگان معرفی کردند [۹].

الگوریتم PSO با توپولوژی ستاره را می‌توان به‌صورت زیر ارائه نمود. در فضای جستجوی D بعدی بهترین موقعیت شخصی ذره i با $\bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ و بهترین موقعیت گروه را با $\bar{g} =$ $(g_1, g_2, \dots, g_n)$ نمایش داده می‌شود. رابطه نهایی سرعت ذره در لحظه یا تکرار بعد با استفاده از مکانیک نیوتن به شکل زیر به دست می‌آید.

$$v_{id}(t+1) = \omega * v_{id}(t) + c_1 * rand_1\big(p_{id}(t) - x_{id}(t)\big) + c_2 * rand_2\big(g_d(t) - x_{id}(t)\big) \quad (۲-۵)$$

بعد از مشخص شدن بردار سرعت از رابطه (۲-۵) ذرات گروه طبق رابطه (۲-۶) از موقعیت فعلی به موقعیت جدید حرکت می‌کنند.

$$\bar{x}(t+1) = \bar{x}(t) + \bar{v}(t+1) \quad (۲-۶)$$

در رابطه (۲-۵)، ω ضریب اینرسی ذره c_1 و c_2 ضرایب فنری هوک یا ضرایب شتابند که معمولاً در مقدار ۲ تنظیم می‌شوند. برای تصادفی کردن ماهیت سرعت، ضرایب c_1 و c_2 در اعداد تصادفی $rand_1$ و $rand_2$ ضرب شده‌اند. معمولاً در اجرای PSO مقدار ω به‌صورت خطی از یکتا نزدیکی صفر کاهش می‌یابد. به‌طورکلی ضریب اینرسی ω مطابق رابطه زیر تنظیم می شود:

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} * iter \quad (۲-۷)$$

در رابطه (۲-۷)، $iter_{max}$ ماکزیمم شماره تکرار، $iter$ شماره تکرار کنونی، ω_{max} و ω_{min} به ترتیب مقدار ماکزیمم و مینیمم ضریب اینرسی می باشند. $\bar{v}_i$ سرعت ذره i در هر بعد از فضای جستجوی D بعدی در بازه $[-v_{max}, +v_{max}]$ محدود می شود تا احتمال ترک فضای جستجو توسط ذره کم

شود.

در الگوریتم PSO، تعدادی از موجودات وجود دارند، که به آن‌ها ذره گفته می‌شـــود و در فضـــای جستجوی تابعی که قصد کمینه کردن مقدار آن راداریم، پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرارگرفته است، محاسبه می‌کند. سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی‌اش و بهترین محلی که درگذشته در آن بوده است و هم‌چنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. همه‌ی ذرات جهتی برای حرکت انتخاب می‌کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رســـد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شوند تا آن‌که جواب مورد نظر به دست بیاید[۱۰و۱۱]. و برای مطالعه بیشتر می‌توان به [۸] مراجعه کرد. خلاصه مراحل الگوریتم به‌صورت زیر است:

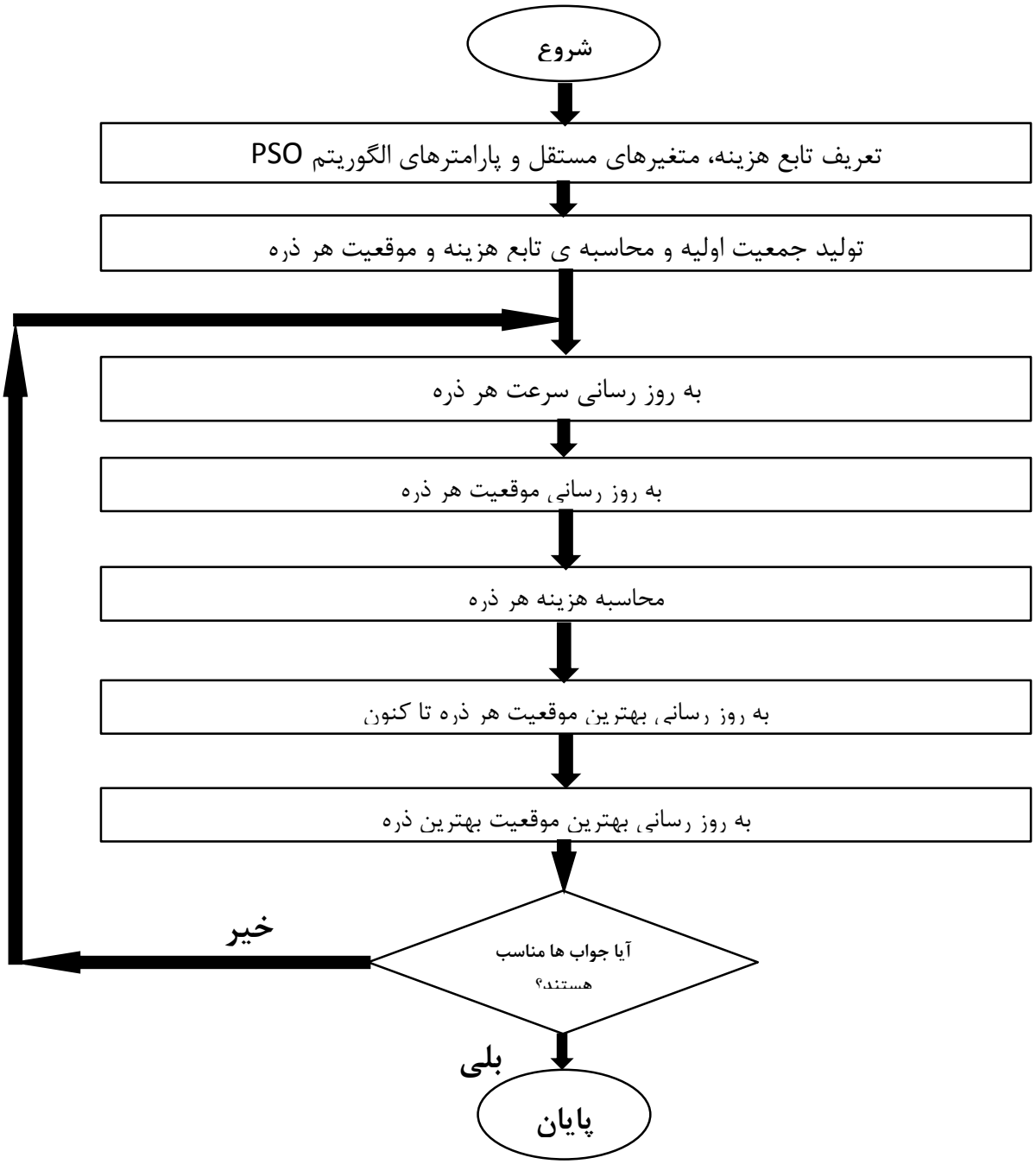
۱) تعریف تابع انتقال
۲) تعریف متغیرهای مستقل
۳) تعریف پارامترهای مربوط به الگوریتم PSO، مانند: اندازه جمعیت، وزن اینرسی[۱]، ضریب یادگیری عمومی[۲]، ضریب یادگیری شخصی[۳] و..
۴) تعریف تابع هزینه
۵) تولید جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی
۶) حلقه PSO استاندارد:
   I. محاسبه تابع هزینه برای هر ذره[۴] و مشخص نمودن بهترین موقعیت هر ذره تاکنون[۵] و بهترین دره (جواب) کلی[۶].
   II. محاسبه سرعت هر ذره[۷] و موقعیت جدید هر ذره با روابط زیر.

---

۱ Inertia Weight
۲ Global Learning Coefficient
۳ Personal Learning Coefficient
۴ Particle
۵ Individual Best
۶ Global Best
۷ Velocity of Particle

$$V_i(k+1) = w.V_i(k) + C_1.r_1.(P_i(k) - X_i(K)) + C_2.r_2.(G(k) - X_i(k)) \quad (۸-۲)$$

$$X_i(k+1) = X_i(k) + V_i(k+1) \quad (۹-۲)$$

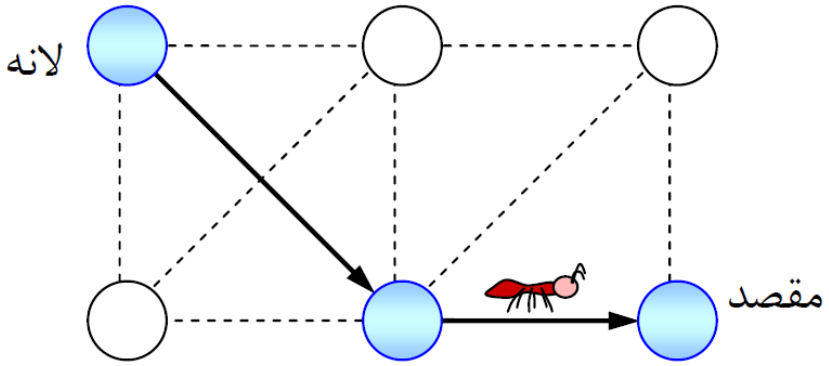


شکل ۲-۲ خلاصه مراحل اجرای الگوریتم PSO [۱۵]

۲-۴-۴- الگوریتم ساده‌شده مورچه‌ها

این الگوریتم، هدف اصلی هر مورچه، یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین دو رأس، از گرافی است که مسئله موردبررسی بر روی آن گراف به نحوی مناسب تعریف‌شده است [۱۲، ۱۳، ۱۴].

برای اطلاعات بیشتر می‌توان به مراجع ذکرشده مراجعه کرد.



شکل ۲-۳: مسیر بهینه‌ای که به‌وسیله مورچه‌ها در یک گراف ساده پیداشده است[۱۵]

۲-۵- الگوریتم تکاملی تفاضلی[1]

الگوریتم DE یک الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی مشابه ژنتیک بوده و تفاوت آن در نحوه تولید نسل جدید و عملگر جهش هست [۱۶]. به‌عبارت‌دیگر روند ایجاد و تشکیل نسل جدید در الگوریتم ژنتیک صرفاً تصادفی هست ولی در الگوریتم DE این پروسه به‌صورت زیر انجام می‌گیرد:

$$X_{old}^{i+1} = X_{old}^{i} + K.\left(X_{old}^{i} - X_{old}^{r1}\right) + F.\left(X_{old}^{r2} - X_{old}^{r3}\right) \qquad (۱۰-۲)$$

که در رابطه فوق:

K و F ضرایب ثابتی هستند.

X_{old}^{r1}، X_{old}^{r2} و X_{old}^{r3}: سه عضو از جمعیت اولیه است که به‌طور تصادفی انتخاب گردیده‌اند.

[1] . Differitional evolution

X_{old}^{i} و X_{old}^{i+1}: مقادیر قدیم و جدید عضو i ام از جمعیت اولیه می‌باشند.

۲-۶- الگوریتم بهینه‌سازی خفاش[۱]

الگوریتم خفاش بر مبنای ویژگی پژواک یابی است که توسط ریز خفاش‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد.

۲-۶-۱- پژواک یابی ریز خفاش‌ها

پژواک یابی ریز خفاش‌ها در عمل یک سامانه‌ی ادراکی است که در آن موج‌های فراصوتی برای به دست آوردن پژواک ، تولید می‌شوند. مغز و دستگاه عصبی خفاش با مقایسه‌ی موج‌های فرستاده‌شده و موج‌های بازتاب شده می‌تواند تصویری از فضای پیرامون و جزئیاتش را برای خود بسازد[۱۷]. ریز خفاش‌ها برای این هدف دو روش دارند:

- **پژواک یابی یا چرخه‌هایی با بازه زمانی کوتاه:** این دسته از خفاش‌ها می‌تواند صدای فرستاده‌شده از سوی خود را با کمک زمان‌سنجی، از صدای بازتاب شده، شناسایی کنند.
- **پژواک یابی یا چرخه‌هایی با بازه زمانی بلند:** این خفاش‌ها صدایی پیوسته تولید می‌کنند پالس‌ها و پژواک‌ها را با تغییر بسامد از هم جدا می‌کنند. آنها می‌توانند بسته به‌سرعت پرواز، پالس هر بسامد تولیدی را تغییر دهند. به‌این‌ترتیب پژواک دریافتی همچنان در بازه شنوایی مناسب قرار می‌گیرد

۲-۶-۱-۱- قوانین الگوریتم خفاش

با توجه به ویژگی پژواک یابی خفاش‌ها. یانگ این شی[۲]در سال ۲۰۱۰[۱۸] الگوریتم خفاش را بر

[۱] Bat Algoritm Optimization

[۲] Yang Xin-she

مبنای سه قانون اساسی زیربنا نهاد:

۱- تمامی خفاش‌ها با به‌کارگیری پژواک می‌توانند مسافت را تخمین بزنند و تفاوت بین طعمه و موانع ثابت را تشخیص دهند.

۲- خفاش‌ها به‌صورت تصادفی با سرعت V_i در جهت X_i، با فرکانس $f_{\min i}$، به طول‌موج λ و بلندی صدای A_0 در جستوجوی شکار هستند. همچنین آنها می‌توانند طول‌موج پالس‌های منتشرشده را به‌طور خودکار تنظیم کرده و نرخ انتشار پالس خود را طبق نزدیکی طعمه‌ی خود، مطابقت دهند.

۳- بلندی صدا می‌تواند به راه های مختلف مختلفی تغییر کند ولی فرض می‌کنیم که بلندی صدا از A_0 و $A_{\min}$ تغییر می‌کند.

۲-۶-۱-۲- حرکت خفاش‌ها

هر خفاش به سرعت V_i^t و مکان X_i^t با تکرار t در یک جستوجوی d بعدی و یا فضای راه‌حل وابسته است. در میان تمامی خفاش‌ها تنها یک‌راه حل بهینه‌ی X^* وجود دارد[۱۸].

بنابراین سه قانون ذکرشده در قسمت قبل را می‌توان از طریق فرمول‌های زیر محاسبه کرد:

$$F_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \qquad (۱۱-۲)$$

$$V_i^t = V_i^{t-1} + (X_i^{t-1} - X^*) f_i \qquad (۱۲-۲)$$

$$X_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \qquad (۱۳-۲)$$

که در آن:

F_i فرکانس موج منتشرشده که به‌صورت یکنواخت از بازه $[f_{\min}, f_{\max}]$ انتخاب‌شده است.

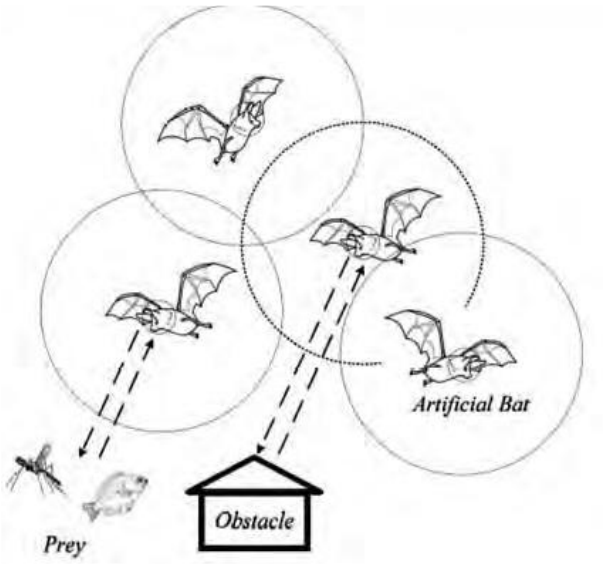
β عدد تصادفی در بازه [۱و۱] است و با توزیع یکنواخت انتخاب‌شده است.

V_i^t سرعت خفاش i ام در تکرار t ام است.

X_i^t مکان خفاش i ام در تکرار t ام است.

X^* بهترین مکان (راه حل) اســـت که پس از مقایســـه تمام راه‌حل‌ها در میان n تا خفاش مکان‌یابی شده است.

بطوریکه $\beta \in [0,1]$ یک بردار تصادفی از یک توزیع یکنواخت به‌دست‌آمده است.



شکل ۲-۴: انعکاس صدای خفاش

همان‌طور که ذکر شد می‌توان از طول‌موج یا فرکانس نیز برای پیاده سازی ا ستفاده کرد. در اینجا $f_{\min} = 0$ و $f_{\max} = 100$ در نظر گرفته شده ا ست ک ب سته به‌اندازه‌ی م سئله علاقه‌مندی دارد.

در ابتدا به هر خفاش فرکانسی تصادفی که به‌صورت یکنواخت از $[f_{\min}, f_{\max}]$ به‌دست‌آمده ا ست، نسبت داده می شود. به همین دلیل می‌توان گفت الگوریتم خفاش یک الگوریتم میزان ساز فرکانس اســـت. بطوری که ترکیبی متعادل از اکتشـــاف و اســـتخراج را فراهم می‌کند. بلندی نرخ انتشـار پالس، یک مکانیســم خودکار برای کنترل و بزرگنمایی خودکار ناحیه را فراهم می کند که

منجر به راه‌حل‌های مقرر می‌شود[۱۹].

۲-۶-۱-۳- تغییرات بلندی و نرخ انتشار پالس

به‌منظور فراهم کردن مکانیزمی مؤثر برای کنترل اکتشاف و استخراج و سوئیچ به مرحله‌ی استخراج در مواقع ضروری، مجبور به تغییر بلندی A_i و نرخ انتشار پالس r_i در حین تکرار هستیم. ازآنجایی‌که با یافتن طعمه توسط خفاش، بلندی کاهش و نرخ انتشار پالس افزایش می‌یابد. می‌توان به بلندی مقادیر $A_{\min}$ و $A_{\max}$ را نسبت داد بطوریکه اگر $A_{\min}=0$ باشد به این معنی است که خفاش طعمه خود را یافته و موقتا انتشار هرگونه صدایی را متوقف کرده است.

با این فرضیات داریم:

$$A_i^{t+1}=\alpha A_i^t,\ r_i^{t+1}=r_i^0\left[1-\exp(-\gamma t)\right] \qquad (۱۴-۲)$$

۲-۶-۱-۴- انواع الگوریتم خفاش

الگوریتم خفاش مزایای زیادی دارد. یکی از مزایای کلیدی آن توانایی همگرایی سریع در مرحله ابتدایی به‌وسیله سوئیچ از اکتشاف به استخراج است. این ویژگی باعث می‌شود این الگوریتم، یک الگوریتم تأثیرگذار برای کاربردهایی مثل دسته‌بندی و در کل زمانی که یک‌راه حل سریع نیازمند است. باشد. هرچند که با اجازه دادن به الگوریتم به سوئیچ سریع به مرحله استخراج، با تغییر سریع A وr، بعد از چند مرحله ابتدایی الگوریتم دچار رکود می شود. به‌منظور بهبود کارایی الگوریتم، متدها و استراتژی‌های زیادی مطرح شده‌اند تا تنوع راه‌حل را افزایش دهند که منجر به تولید نسخه‌های مختلفی از الگوریتم خفاش شده است. از انواع مختلف این الگوریتم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- الگوریتم خفاش بر مبنای منطق فازی[۲۰]
- الگوریتم خفاش چندهدفه[۲۱]

- الگوریتم خفاش بر مبنای نظریه آشوب[۲۲]
- الگوریتم خفاش بهبودیافته[۲۳]

در مورد الگوریتم خفاش پیشرفت‌های زیادی حاصل‌شده و همان‌طور که اشاره شد انواع مختلفی از این الگوریتم ارائه‌شده است. در این قسمت اشاره‌ای ضمنی به گونه‌های دیگری از این الگوریتم خواهیم کرد. برای مثال در سال ۲۰۱۲، ونگ[۱] و یانگ[۲] از جهش برای افزایش تنوع راه‌حل‌های مناسب استفاده کردند و از این روش درزمینهٔ تطابق تصویر استفاده کردند[۲۴].

۲-۷- کاربرد الگوریتم خفاش

الگوریتم استاندارد خفاش و تعداد های مختلف آن نشانگر محدوده‌ی بالای کاربردهای آن است. درواقع از سال ۲۰۱۰ که یانگ این الگوریتم را مطرح کرد. الگوریتم خفاش تقریبا در تمامی زمینه‌های بهینه‌سازی، دسته‌بندی، پردازش تصویر کاربرد داشته است.

برخی از کاربردهای مهم این الگوریتم عبارت است از:

- بهینه‌سازی متوالی
- بهینه‌سازی ترکیبی و زمان‌بندی
- تخمین پارامتر
- دسته‌بندی خوشه‌بندی و داده‌کاوی
- پردازش تصویر
- منطق فازی

همانند تمامی الگوریتم‌های دیگر، الگوریتم خفاش مزیت سادگی و انعطاف‌پذیری برخوردار

---

[۱] Wang

[۲] Yang

است. این الگوریتم به اسانی قابل پیاده‌سازی است ازاین‌رو روشی انعطاف‌پذیر برای دامنه وسیعی از مسائل گوناگون به شمار می‌رود. به دلیل ویژگی‌های میزان‌سازی فرکانس، بزرگنمایی خودکار و کنترل پارامتر، این الگوریتم توانایی ارائه راه‌حل در مسائلی با مقیاس بالا را دارا هست.

دلایل زیادی دال بر مؤثر و کارآمد بودن الگوریتم خفاش وجود دارد. در ذیل سه نکته اساسی درباره این الگوریتم اشاره کرد:

- **میزان سازی فرکانس:** الگوریتم خفاش از پژواک یابی و تنظیم فرکانس برای حل مشکلات بهره می‌گیرد. میزان‌سازی عاملیتی را فراهم می‌کند که ممکن است شبیه به خصیصه‌ی کلیدی باشد که در بهینه‌سازی دسته‌ای ذرات و جست‌وجوی هارمونی مورداستفاده قرار می‌گیرد. بنابراین این الگوریتم مزایای سایر الگوریتم‌های مبتنی بر هوش جمعی رادارا است.
- **بزرگنمایی خودکار:** الگوریتم خفاش مزیت مشخص دیگری نسبت به سایر الگوریتم‌های دیگر را دارا است وآن این است که این الگوریتم توانی بزرگنمایی خودکار در ناحیه‌ای که دارای راه‌حل محتمل است را دارد. سوئیچ خودکار از حالت اکتشافی به حالت استخراجی محلی نتیجه‌ی این بزرگنمایی است. از اینرو این الگوریتم نرخ همگرایی بالایی نسبت به سایر الگوریتم‌های دیگر را دارد[۲۴].
- **کنترل پارامتر:** بسیاری از الگوریتم‌ها از پارامترهای ثابت استفاده می‌کنند. این در صورتی است که الگوریتم خفاش از کنترل پارامتر استفاده می‌کند. به این صورت که در مواقع ضروری می‌توان مقادیر مختلفی را به پارامترهای A و r نسبت داد و این امر باعث می‌شود زمانی که راه‌حل بهینه در دسترس است سوئیچ بین مراحل اکتشاف و استخراج اتفاق بیافتد.

۲-۷-۱- الگوریتم خفاش بهبود یافته

در ارائه الگوریتم خفاش بهبودیافته که در این پایان نامه مد نظر قرار گرفته است، هدف دو عنصر

بسیار مهم است که تعیین و انتخاب الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای دقت نتایج و کاهش زمان اجرای الگوریتم بهینه‌سازی می‌باشد. در این پایان‌نامه علاوه بر تشریح خود الگوریتم خفاش به الگوریتم خفاش بهبودیافته که فرق آن در راستای کاهش زمان اجرای الگوریتم بهینه‌سازی و در خور توجه بودن آن در مسئله بهینه‌سازی، تغییرات و اصلاحات مناسبی اعمال می‌گردد.

سیستم‌های قدرت مدرن در معرض خرابی‌های گسترده هستند تقاضای برق زیاد می‌شود بنابراین بهره‌برداری پایداری و برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت بزرگ به هم پیوسته در حال پیچیده‌تر شدن است و بر این اساس سیستم قدرت به روز در معرض خطاهای بیشتری قرار می‌گیرد. از این نظر باید مورد توجه سیستم‌ها و توابع حفاظتی باشد. در سال‌های اخیر روش‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت مثل برنامه‌ریزی تکاملی و ژنتیک و... برای حل مسئله هماهنگی بهینه رله‌های اضافه جریان استفاده شده‌اند. الگوریتم بهینه‌سازی دیگر الهام گرفته از طبیعت الگوریتم بهینه‌سازی خفاش بهبودیافته است که براساس رفتار انعکاس صدا در خفاش‌های کوچک است این یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است که توسط یانگ [۲۵] برای حل مسائل بهینه‌سازی مطرح شده است. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در مورد خفاش بهبود یافته وجود داشته است از جمله می‌توان به الگوریتم خفاش بهبود یافته وجود داشته است. از جمله می‌توان به الگوریتم بهینه‌سازی خفاش چند هدفه [۲۶]، الگوریتم خفاش منطق فازی [۲۷] الگوریتم خفاش کامینز[۱][۲۸]و الگوریتم خفاش باینری [۲۹] و... با اضافه کردن اثر دوپلر استفاده کرده‌اند.

الگوریتم خفاش بهبودیافته برای حل مسئله بهینه‌سازی عددی استفاده می شود [۳۰] که این الگوریتم را برای حل مسئله بهینه‌سازی پخش بار اقتصادی استفاده می‌کردند و از این نظر نتایج مناسبی به دست اورده‌اند.

[۱] k-means

۲-۷-۱-۱- الگوریتم بهینه سازی خفاش بهبودیافته

شاخص‌ترین قابلیت دیده شده در خفاش‌ها، انتشار پالس صدا و شنیدن انعکاس ناشی از سطح مواد اطراف آن‌ها، برای استفاده در تشخیص محیط اطراف و یافتن غذا می‌باشد. این جانوران از نوعی انتشار صدا و ابزار تشخیص که مکان‌یابی انعکاس صدا نامیده می‌شود استفاده می‌کنند. بیشتر خفاش‌ها از مکان‌یابی انعکاس صدا به میزان معینی استفاده می‌کنند. در حالی که خفاش‌های کوچک از این رفتار تا حد زیادی استفاده می‌کنند. این موجودات یک پالس صدای خیلی بلند تولید می‌کنند.که قبلا در مورد الگوریتم خفاش صحبت کردیم و در ادامه در مورد موضوع پیشنهادی صحبت می‌کنیم.

زمان اجرای الگوریتم بهینه‌سازی یک عامل مهم در انتخاب آن است. برتری این روش در دقت بیشتر نتایج خروجی از دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند PSO وGA ثابت شده است [۲۵]، اما مشکلی که همه‌ی الگوریتم‌های بهینه‌سازی با آن روبرو هستند، نیازشان به چندین بار اجرای الگوریتم برای دستیابی به یک نتیجه مطلوب در خروجی است. اگر زمان اجرای این روش (الگوریتم خفاش بهبودیافته) در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر کاهش داده شود و دقت نتایج خروجی حفظ شود، این الگوریتم می‌تواند در بسیاری از مواردی که در آن، زمان یک پارامتر تعیین کننده در عملکرد مطلوب سیستم‌های حفاظتی است، به عنوان اولین انتخاب در مسائل بهینه‌سازی به کار برده شود. اگر الگوریتم بتواند به نقطه مطلوب مسئله در تعداد تکرار کمتری برسد، بنابراین زمان اجرای الگوریتم کاهش داده خواهد شد. برای تنظیم الگوریتم خفاش بهبودیافته، به روزرسانی سرعت خفاش‌ها در هر تکرار نادیده گرفته می‌شود و این سرعت در کل فرآیند اجرای الگوریتم ثابت خواهد شد. با ثابت بودن سرعت خفاش ها در طول اجرای الگوریتم به روزرسانی مکان خفاش‌ها در هر تکرار با توجه به پارامترهای کنترل کننده انجام می‌شود، که عبارتنداز بلندی صدا (A_i) و سرعت انتشار پالس (r_i) (معادلات (۲-۱۷و۲-۱۸) و همچنین جستجوی محلی متمرکز (معادله (۲-۱۶)

می‌باشد. این موجب همگرایی الگوریتم به نقطه بهینه مسئله در تکرار کمتر و کاهش زمان اجرای الگوریتم بهینه سازی با حفظ دقت نتایج خروجی می‌شود.

فصل ۳ : خازن‌گذاری، پخش‌بار و بهینه‌سازی چندهدفه و تک‌هدفه در سیستم‌های گسترده قدرت

۳-۱- مقدمه

در این فصل برخی از مقالات و کارهایی که پیرامون موضوعات مطرح‌شده در این پایان نامه انجام‌شده معرفی می‌گردند موضوعات اصلی که مقالات مرتبط با آن ارائه گردیده، شامل بهینه‌سازی توان راکتیو در شبکه انتقال به‌منظور بهینه‌سازی تلفات اکتیو و راکتیو و بهبود پروفیل ولتاژ می‌باشد.

۳-۲- مروری بر بهینه‌سازی توان راکتیو

در مقالات مختلف به بهینه‌سازی توان راکتیو در شبکه‌های انتقال و توزیع با مقاصد و شیوه‌های مختلف پرداخته‌شده است. انتقال بهینه توان راکتیو[۱] تأثیر مهمی بر روی عملکرد اقتصادی سیستم قدرت دارد. انتقال بهینه توان راکتیو بخشی از پخش بار بهینه محسوب می‌شود. این بهینه‌سازی شامل تعیین ولتاژ ژنراتورها، توان راکتیو تزریقی منابع توان راکتیو و بقیه متغیرهای کنترلی باهدف به حداقل رساندن خطوط انتقال یا هر نوع تابع هدف دیگر هست. این بهینه‌سازی باید با توجه مجموعه‌ای از محدودیت‌های فیزیکی و عملیاتی انجام شود [۳۱]. چندین مدل ریاضی و روش‌های متعارف همانند الگوریتم مبتنی بر گرادیان و روش نیوتن برای حل ORPD استفاده‌شده است [۳۲-۳۸]. متأسفانه، این روش‌ها در حل توابع غیرخطی، پیوسته- گسسته و رعایت محدودیت‌ها با مشکل فراوان روبرو هستند[۳۱]. در چند دهه گذشته، طیف گسترده‌ای از روش‌های جستجوی تصادفی توسعه‌یافته‌اند برای حل مسئله ORPDمانند الگوریتم ژنتیک (GA) [۳۹-۴۱]، بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO) [۴۲-۴۴]، تکامل دیفرانسیل (DE) [۴۶ و ۴۷] و به همین ترتیب.

اگرچه الگوریتم ژنتیک با سرعتی مناسب مناطق امیدوارکننده از فضای جستجو را کشف می‌کند، ولی دارای دو اشکال است: ناتوانی مناسب در جستجوی محلی و همگرایی زودرس [۴۸].

الگوریتم بهینه‌سازی خفاش به‌طور گسترده‌ای درزمینه‌های مختلف از سیستم قدرت استفاده شده

[۱] Optimal Reactive Power Dispatch

است، مانند: کنترل بهینه توان راکتیو [۴۹]، کنترل توان راکتیو و ولتاژ ، حداقل کردن تلفات توان [۵۰] و بهبود پایداری ولتاژ [۵۱] الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات به‌شدت از مشکل همگرایی زودرس رنج می‌برد [۵۲]. الگوریتم تکامل دیفرانسیل نیز به‌طور فراوان برای حل مسائل مختلف در سیستم قدرت استفاده‌شده است [۵۳ و ۵۴]. در [۵۵] از الگوریتم بهینه‌سازی بر مبنای زیست جغرافیایی (BBA) که الگوریتمی جدیدی هست، برای ORPD استفاده‌شده است که در این مقاله نشان داده‌شده که BBA دارای سرعت همگرایی بالا و مناسب برای ORPD چندهدفه هست. در [۵۶] از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO) برای بهینه‌سازی توان راکتیو در سیستم ۳۰ باسه و ۱۱۸ باسه استاندارد IEEE به‌منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ استفاده کرده است. که در مورد الگوریتم خفاش همچنین مزایای آن در فصل دوم صحبت کردیم که نتیجه الگوریتم خفاش در مقایسه با بقیه مقالات در نظر گرفته‌شده در این پایان نامه نتیجه بهتری دارد. از الگوریتم خفاش برای مسائل مختلف باهدف کاهش تلفات توان با استفاده از سیستم‌های ۳۴ باسه، ۶۹باسه استاندارد IEEE به‌کاربرده است که در این مقاله ولتاژ ژنراتورها به‌عنوان متغیر پیوسته و مقدار توان تزریقی منابع راکتیو را به‌صورت تغییر گسسته در نظر گرفته است. که نتایج این مقاله با نتایج مقاله [۱]مقایسه شده که دارای نتایج بهتری در کاهش تلفات می‌باشد. مقاله [۵۷] از انواع ترکیب‌های الگوریتم‌های PSO، DE و الگوریتم قورباغه جهنده (SFLA) و ترکیب SFLA با Nelder- Mead (NM-SFLA) برای حل ORPD باهدف کاهش تلفات بر روی سیستم‌های قدرت ۳۰ و ۵۷ و ۱۱۸ باسه استاندارد IEEE استفاده کرده است که NM-SFLA الگوریتم بسیار قوی برای ORPD بر طبق این مقاله، نشان داده است؛ بسیار سریع و بهترین جواب را در بین تمام الگوریتم‌ها به دست می‌دهد. در [۵۸] کاهش تلفات انتقالی بر روی سیستم‌های ۵۷ و ۱۱۸ باسه استاندارد IEEE استفاده کرده است. در این مطالعه SOA با انواع الگوریتم‌های PSO، GA و DE مقایسه شده است. که در سرعت فقط از انواع GA ضعیف‌تر هست ولی بهترین جواب نهایی، و مقیدترین الگوریتم در بین تمام الگوریتم ما می‌باشد.که در مقایسه با این مقالات الگوریتم خفاش از

[۱] chaotic BAT

همه مقالات نتیجه بهتری برای کم کردن هزینه و کاهش تلفات گرفته است.

۳-۳- ضرورت کنترل توان راکتیو اهداف و روش های آن

در یک سیستم قدرت الکتریکی ایده آل، ولتاژ و فرکانس در هر منطقه تغذیه ثابت و عاری از هارمونیک است. ولتاژها و جریانهای سه فاز متعادل و ضریب توان برابر واحد می باشد و این پارامترها باید مستقل از اندازه و مشخصات بارهای مصرفی باشند [۵۹].

انتقال توان اکتیو مستلزم وجود اختلاف زاویه فاز بین ولتاژهای ابتدا و انتهای خط است. درحالی‌که برای انتقال توان راکتیو لازم است که اندازه این ولتاژها متفاوت باشد. بنابراین ثابت نگه‌داشتن فرکانس توسط ایجاد توازن قدرت اکتیو بین منبع تولید و مصرف‌کننده تحقق می‌یابد و کنترل ولتاژ به‌وسیله نظارت بر میزان توان راکتیو مصرفی توسط بار حاصل می‌شود. عدم توازن قدرت اکتیو، از تأثیر آن بر سرعت و یا فرکانس ژنراتور احساس می‌شود. در صورت کاهش بار و اضافه بودن تولید، ژنراتور تمایل به افزایش سرعت و فرکانس خود دارد و در صورت افزایش بار و کمبود تولید، سرعت و فرکانس ژنراتور رو به کاهش می‌رود. انحراف فرکانس از مقدار نامی آن به‌عنوان سیگنالی جهت تحریک سیستم کنترل دور ژنراتور انتخاب می‌شود و بدین ترتیب با ایجاد توازن قدرت اکتیو بین منبع تولید و مصرف‌کننده فرکانس سیستم ثابت نگه‌داشته می‌شود.

مصرف‌کننده‌های توان راکتیو عامل مهمی در ایجاد نوسان در اندازه ولتاژ هستند. به‌خصوص در دستگاه‌های تغذیه با سطح اتصال کوچک یا خطوط انتقال طولانی سطح ولتاژ به‌شدت تحت تأثیر تغییر بارهای اکتیو مثل خازن‌ها، راکتورها و ترانسفورماتورها است. نیروگاه دارای سیستم کنترل ولتاژ هستند که کاهش ولتاژ را حس کرده و فرمان کنترل لازم برای بالا بردن تحریک ژنراتورها و درنتیجه افزایش ولتاژ ژنراتور تا سطح ولتاژ نامی صادر می‌کنند. با بالا بردن تحریک (در حالت فوق تحریک) قدرت راکتیو توسط ژنراتورها تولید می‌شود. لیکن قدرت راکتیو تولیدی ژنراتورها به خاطر مسائل حرارتی سیم‌پیچ‌ها محدود بوده و ژنراتورها نمی‌توانند به‌تنهایی تمام قدرت راکتیو موردنیاز سیستم را تأمین کند. بنابراین

به وسایلی نیاز است که بتوانند قدرت راکتیو سه شبکه تزریق نمایند تا سطح ولتاژ در محدوده مجاز قرار گیرد. همچنین در شرایط بروز اضافه ولتاژ ژنراتورها می‌توانند به‌صورت زیر تحریک به کارافتاده و مقداری از قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف نمایند. لیکن به خاطر ملاحظات پایداری، قدرت راکتیو مصرفی ژنراتورها نیز محدود بوده و نمی‌توانند به‌تنهایی مسئله اضافه‌تولید قدرت راکتیو و افزایش ولتاژ ناشی از آن را حل کنند. بنابراین به وسایلی که بتوانند قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف نمایند نیاز هست.

وسایلی را که برای کنترل توان راکتیو و ولتاژ به کار می‌روند جبران‌کننده می‌نامیم. همان‌طور که ملاحظه شد توازن قدرت راکتیو در سیستم، تضمینی بر ثابت بودن ولتاژ و کنترل قدرت راکتیو به‌منزله کنترل ولتاژ هست.

۳-۴- دلایل کنترل توان راکتیو

کنترل توان راکتیو علاوه بر مورد ذکرشده در مقدمه به دلایل متعدد دیگری که تعدادی از آنها به‌اختصار در اینجا ذکر می‌شوند اهمیت روزافزون پیداکرده است [۵۹].

دلیل اول اینکه با توجه به قیمت سوخت، نیاز به بهره‌برداری بهینه از سیستمهای قدرت افزایش‌یافته است. برای انتقال یک مقدار معین توان، با به حداقل رساندن پخش توان راکتیو کل، تلفات کاهش می‌یابد.

دلیل دوم اینکه به‌واسطه هزینه بالا و مشکلات مربوط به حریم خطوط انتقال از توسعه و احداث شبکه‌های انتقال حتی‌الامکان جلوگیری می‌شود و در موارد متعددی سعی شده است که با استفاده از وسایل کنترل توان راکتیو و بهبود پایداری، میزان توان انتقالی خطوط موجود را افزایش داد.

دلیل سوم اینکه در بهره‌برداری از منابع آبی و نیروگاه‌های دوردست علی‌رغم توسعه و فنّاوری انتقال قدرت از طریق جریان مستقیم، در بسیاری از این طرح‌ها انتقال قدرت توسط جریان متناوب

ترجیح داده‌شده است. در این موارد نیز مسائل پایداری و کنترل ولتاژ به مسائل کنترل توان راکتیو ارتباط دارد.

دلیل چهارم اینکه به‌واسطه مصرف روزافزون وسایل الکترونیکی و رشد صنایع، نیاز به داشتن تغذیه باکیفیت بالا افزایش‌یافته است. کاهش ولتاژ یا فرکانس اثرات نامطلوبی را بر روی چنین بارهایی اعمال می‌کند و قطع تغذیه می‌تواند خیلی صدمه آور و پرهزینه باشد. کنترل توان راکتیو یک ابزار اساسی در حفظ کیفیت تغذیه می‌باشد، به‌خصوص برای جلوگیری از اغتشاشات ولتاژ که از عمومی‌ترین نوع اغتشاش می‌باشد.

دلیل پنجم میرا کردن نوسانات توان در شبکه قدرت می‌باشد.

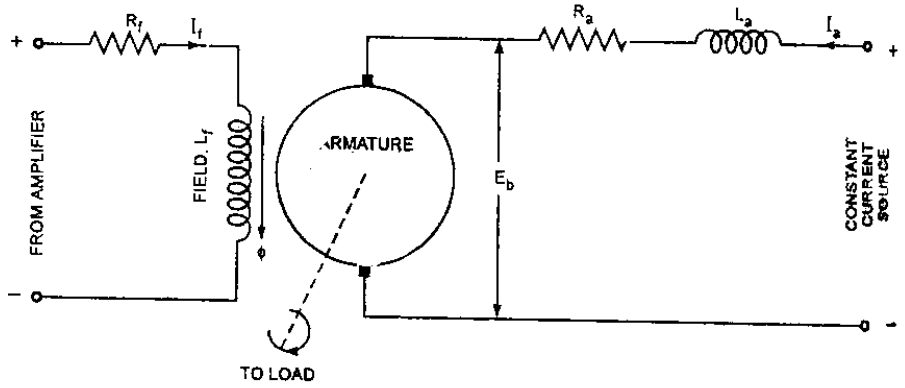
۳-۵- اهداف کنترل توان راکتیو در جبران سازی بار

جبران سازی بار عبارت است از مدیریت توان راکتیو که به‌منظور بهبود بخشیدن به کیفیت تغذیه در سیستم‌های قدرت با جریان متناوب انجام می‌گیرد. پاره‌ای از اهداف و روشهای به کار گرفته‌شده در جبران بار با آنچه در شبکه‌های وسیع تغذیه موردنظر است به‌طور فراوانی تفاوت دارد. این جبران‌کننده‌ها در نزدیکی بار و در محلی که در تملک مصرف‌کننده قرار دارد، نصب می‌شوند. در جبران بار سه هدف اصلی بهبود تنظیم ولتاژ، اصلاح ضریب توان و متعادل کردن بار موردنظر می‌باشند.

۳-۵-۱- ثابت نگه‌داشتن ولتاژ در یک سطح معین

توان راکتیو مصرفی کلیه بارها تغییر می‌کند هرچند تعداد و سرعت تغییرات آنها کاملاً متفاوت است. این تغییرات توان راکتیو در تمامی موارد منجر به تغییرات ولتاژ در نقطه تغذیه می گردد و این تغییرات ولتاژ بر عملکرد مفید و مؤثر کلیه وسایل متصل به نقطه تغذیه مداخله نموده و منجر به امکان تداخل دربارهای مصرف‌کننده‌های مختلف می گردد. وسایل جبران‌کننده نقش اساسی را در نگاه‌داشتن ولتاژ در محدوده موردنظر بازی می‌کنند.

بدیهی‌ترین روش بهبود تقویت ولتاژ سیستم قدرت به کمک افزایش اندازه و تعداد واحدهای تولیدکننده برق و با هر چه متراکم کردن شبکه‌های به‌هم‌پیوسته، هست. این روش عموما غیراقتصادی بوده و منجر به افزایش سطح اتصال کوتاه و مقادیر نامی کلیدها می‌شود. راه عملی‌تر و باصرفه‌تر این است که اندازه سیستم قدرت برحسب ماکزیمم تقاضای توان واقعی طراحی شود و توان راکتیو به‌وسیله جبران‌کننده‌ها که دارای قابلیت انعطاف بیش از مولدها بوده و در تغییر سطح اتصال کوتاه دخالت ندارند فراهم گردد. در شکل (۳-۱) بار و جبران‌کننده به همراه مدار معادل تونن سیستم قدرت نمایش داده‌شده است.



Schematic Diagram For Field Controlled DC Motor

شکل ۳-۱: بار و جبران‌کننده به همراه مدار معادل تونن سیستم قدرت

با توجه به شکل (۳-۱) می‌توان رابطه (۳-۱) را به دست آورد [۵۹].

$$|E|^2 = \left[|V| + \frac{R_S P_I + X_S Q_S}{|V|}\right]^2 + \left[\frac{X_S P_I + R_S Q_S}{|V|}\right]^2 \qquad (۱-۳)$$

در رابطه (۳-۱) داریم:

E: منبع تغذیه ورودی

V: ولتاژ بار

R: مقاومت

P_I: توان ورودی

جبران ساز توان راکتیو: Q_s

که در آن $V < 0$ ولتاژ بار و جبران‌کننده است و:

$$Q_s = Q_\gamma + Q_l \qquad (۲-۳)$$

اگر جبران‌کننده برای تثبیت ولتاژ به کار رود با اعمال شرط $|E| = |V|$ در رابطه (۳-۱) مقداری برای Q_s به دست می‌آید و با توجه به رابطه (۳-۲) مقداری برای Q_γ محاسبه می‌شود. به عبارتی با مصرف توان راکتیو Q_γ، توسط جبران‌کننده می‌توان قدر مطلق ولتاژ بار را برابر قدر مطلق ولتاژ تونن سیستم قدرت حفظ نمود. در این روش فقط اندازه ولتاژ کنترل می‌شود و زاویه فاز آن با تغییر جریان بار نسبت به ولتاژ E تغییر می‌نماید. از بحث فوق می‌توان دو نتیجه گرفت، اول اینکه برای تثبیت اندازه ولتاژ برابر Q_s به دست می‌آید که لزوماً صفر نخواهد بود.

۳-۵-۲- اصلاح ضریب توان

اصلاح ضریب توان به این معناست که توان راکتیو موردنیاز بار به‌جای آنکه از نیروگاه دور تأمین گردد، در محل نزدیک بار تولید گردد. اغلب بارهای صنعتی دارای ضریب توان پس فاز هستند یعنی توان راکتیو جذب می‌نمایند. بنابراین مقدار جریان بار ازآنچه برای تأمین توان واقعی ضروری است بیشتر هست [۵۹]. از طرفی تنها توان واقعی است که سرانجام در تبدیل انرژی مفید بوده و جریان اضافی علاوه بر کاهش ظرفیت انتقال موجب افزایش تلفات در کل سیستم انتقال است. بنابراین موسسات تولیدکننده، میل کافی برای عدم ضرورت انتقال توان راکتیو از ژنراتورها به بار رادارند و آن این است که ژنراتورها و شبکه‌های توزیع قادر نخواهند بود در ضریب بهره کامل کار کنند و کنترل ولتاژ در سیستم تغذیه بسیار مشکل خواهد شد و این منجر به کاربرد گسترده سیستم‌های اصلاح ضریب توان در مراکز صنعتی شده است.

با توجه به شکل (۳-۱) می‌توان رابطه (۳-۳) را نوشت:

$$\Delta V = \frac{R_S P_I + X_S Q_s}{|V|} + j\frac{X_s P_I + R_S Q_s}{|V|} \quad (۳-۳)$$

اگر جبران‌کننده برای اصلاح ضریب توان و تأمین قدرت راکتیو موردنیاز بار به کار رود باید $Q_s = 0$ در رابطه (۳-۳) خواهیم داشت:

$$\Delta V = \frac{R_s P_I}{|V|} + j\frac{X_s P_I}{|V|} \quad (۴-۳)$$

با توجه به رابطه بالا میزان افت ولتاژ ΔV تحت کنترل جبران‌کننده نیست. بنابراین یک جبران‌کننده توان راکتیو خالص نمی‌تواند ضریب قدرت را به یک برساند و همزمان درصد تنظیم ولتاژ را نیز صفر نگه دارد.

۳-۵-۳- متعادل کردن بار

یکی از مسائلی که در جبران بار مدنظر است متعادل کردن آن هست. اکثر سیستم‌های جریان متناوب سه فاز بوده و برای عملکرد متعادل طراحی می‌شوند. بارهای نامتعادل یا تک فاز به‌خصوص در سیستم‌های ضعیف با سطح اتصال کوچک، باعث ایجاد عدم تقارن در مؤلفه‌های ولتاژ و جریان می‌گردند. این‌گونه مؤلفه‌های جریان اثرات نامطلوبی چون ایجاد تلفات اضافی در موتورها و مولدها، گشتاور نوسانی در ماشین‌های جریان متناوب، افزایش ریپل در یکسو کننده‌ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتور و جریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهد داشت. با اضافه کردن مقادیر مناسبی از عناصر راکتیو می‌توان به اهداف زیردست یافت [۵۹]:

- ایجاد توازن دربار و ولتاژ

- تصریح ضریب توان

برای ایجاد توازن دربارهای به‌شدت متغییر مثل کوره‌های قوس الکتریکی، دستگاههای نورد فولاد و غیره تنها راه‌حل، استفاده از جبران‌کننده‌هایی است که سوسپتانس فاز به فاز آنها به‌طور مستقل

قابل‌کنترل باشد. اگر ادمیتانس فاز به فاز بار به ترتیب به صورت y_{ch}، y_{hc} و y_{cu} باشد به طوری که:

$$y_{ch} = G_{ch} + JB_{ch} \quad (۵-۳)$$

$$y_{hc} = G_{hc} + JB_{hc}$$

$$y_{cu} = G_{cu} + JB_{cu}$$

آنگاه بر اساس رابطه توان مختلط (۳-۶) در می‌یابیم که سوسپتانس فاز به فاز جبران کننده موازی B_{ca} و B_{bc} و B_{ab} توسط روابط (۳-۷) بیان می‌گردد [۵۹].

$$p - jQ = V^2(\, i + jB) \quad (۶-۳)$$

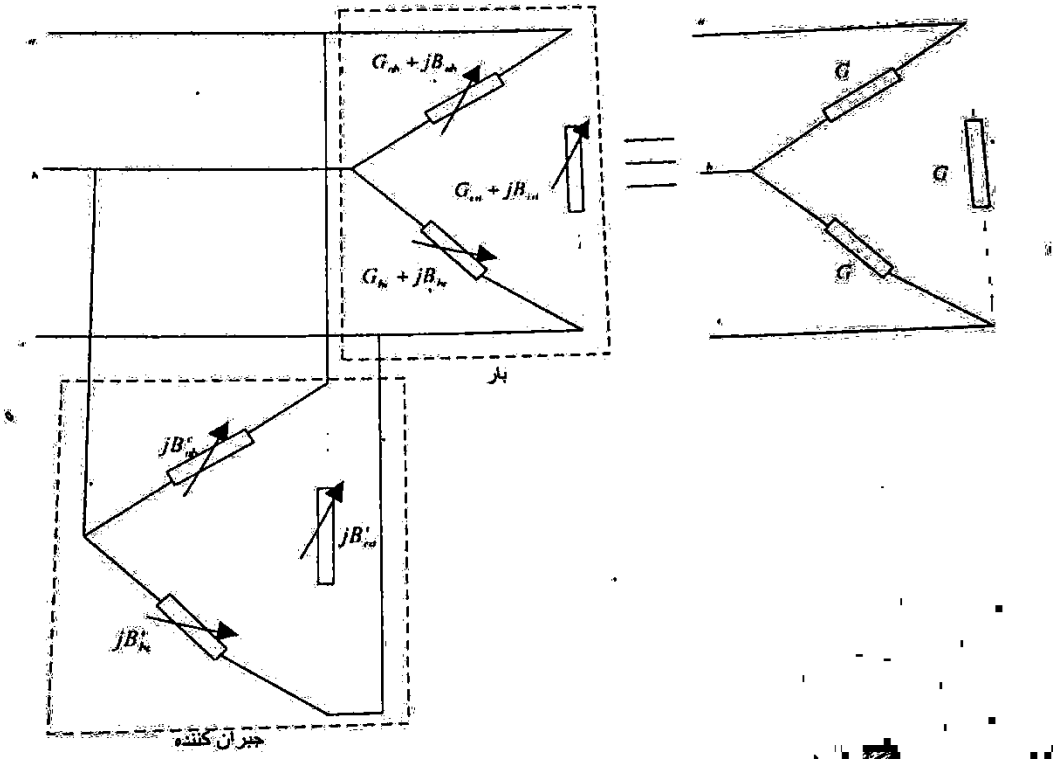
$$B_{ab}^c = -B_{ab} + (G_{ca} - G_{bc})/\sqrt{3} \quad (۷-۳)$$

$$B_{bc}^c = -B_{bc} + (G_{ab} - G_{ca})/\sqrt{3}$$

$$B_{ca}^c = -B_{ca} + (G_{bc} - G_{ab})/\sqrt{3}$$

در این روابط جمله های اول سمت راست معادلات، جبران‌کننده مولفه راکتیو بار و جمله های دوم عامل توازن توان اکتیو می باشند. در شکل (۳-۲) مدل بار و جبران کننده به همراه مدار معادل آن پس از متعادل سازی و تصحیح ضریب توان دیده می شود.

در آن B_{ab}^c و B_{bc}^c و B_{ca}^c سوسپتانس فاز به فاز جبران کننده موازی و y_{ch}، y_{hc} و y_{cu} ادمیتانس فاز به فاز بار تعریف می شود.



شکل ۳-۲: متعادل کردن بار و تصحیح ضریب توان به مقدار واحد [۵۹]

بعد از ایجاد توازن به روش فوق می‌توان با اضافه کردن سوسپتانس‌های متقارن در هر سه فاز به تصحیح ضریب توان و با کنترل ولتاژ پرداخت. اصلاح ضریب توان و متعادل کردن فازها خودبه‌خود منجر به بهبود در وضع تنظیم ولتاژ می‌گردد. در حقیقت در برخی موارد، مخصوصاً وقتی‌که تغییرات بار کند و یا وقوع آن کم است، جبران‌کننده‌ای که برای اصلاح ضریب توان و یا متعادل کردن فازها طراحی‌شده است لازم نیست که عمل خاصی را به منظور تنظیم ولتاژ انجام دهد.

در طراحی جبران‌کننده اگر معادلات (۳-۷) را مبنای سیستم کنترل قرار دهیم کار را آسان نکرده‌ایم، زیرا مقادیر ادمیتانس بار بیان شده است که به سهولت جریانها و ولتاژها قابل‌اندازه‌گیری نیستند. اگر فرمولی داشته باشیم که در آن مقادیر سوسپتانس جبران‌کننده برحسب مقادیر توان‌های اکتیو و راکتیو فاز بیان‌شده باشد مطلوب ما خواهد بود. بدین منظور از مؤلفه های متقارن استفاده می‌کنیم. فرض کنید نحوه اتصال بار به شبکه چنان است که مؤلفه صفر جریان بار وجود ندارد (یعنی $I_L^0 = 0$) حال برای متعادل کردن جریان هر سه فاز کافی است مؤلفه منفی جریان صفر شود و نیز

بخش موهومی مؤلفه مشت هم صفر گردد [۵۹].

۳-۶- جبران‌کننده ایده آل

با توضیح مختصری که در مورد اهداف کنترل توان راکتیو در جبران سازی بار داده شد، هم‌اکنون می‌توان مفهوم جبران‌کننده ایده آل را بیان کرد. جبران‌کننده ایده آل وسیله‌ای است که در نقطه تغذیه (به‌موازات بار) متصل و وظایف سه‌گانه تنظیم ولتاژ، اصلاح ضریب توان و متعادل کردن بار را به عهده می‌گیرد. از طرفی یک جبران‌کننده ایده آل باید ضمن نداشتن تلفات، ایجاد هارمونیک در شبکه نکرده و پاسخ لحظه‌ای نسبت سریعی به تغییرات بار داشته باشد.

۳-۷- روش‌های جبران‌سازی

به‌طورکلی کنترل توان راکتیو به دو روش اصلی صورت می‌گیرد:

الف) با جبران بخشی از راکتانس اندوکتیو سری سیستم با استفاده از خازنهای سری.

یکی از روش‌های جلوگیری از افت ولتاژ در سیستم توزیع و افزایش میزان انتقال توان در سیستم انتقال استفاده از خازن سری است. این خازن با جبران بخشی از راکتانس اندوکتیو سری سیستم باعث بهبود عملکرد آن می گردد.

ب) با تزریق قدرت راکتیو به سیستم توسط جبران‌کننده‌هایی که به‌صورت موازی متصل می‌شوند.

۳-۸- پخش بار

مطالعات پخش توان [۶۰ و ۶۱]، که معمولا پخش بار نیز نامیده می‌شود، بخش مهمی از تجزیه‌وتحلیل سیستم قدرت را تشکیل می‌دهد. این پخش بارها برای سیستم، برنامه‌ریزی اقتصادی، کنترل سیستم موجود و همچنین برنامه‌ریزی آینده سیستم ضروری می‌باشند. مسئله، شامل تعیین توان‌های اکتیو و راکتیو عبوری از هر خط است. در حل پخش بار، فرض بر این است که سیستم قدرت

در شرایط متقارن کار می‌کند. همراه باهدف فوق تعیین مجهولات زیر نیز مدنظر می‌باشد:

۱- سطح ولتاژ شین‌ها

۲- تعیین اضافه ولتاژ در سیستم

۳- مقادیر جبرانی یا تعادلی توان راکتیو

۴- تعیین تلفات در سیستم تولید و انتقال

۵- چگونگی توزیع اقتصادی بار (توزیع بار شبکه بین شین‌های تولید (نیروگاه‌ها) به ترتیبی که هزینه کل سوخت مصرفی نیروگاه‌ها کمینه گردد.)

۶- بهینه‌سازی تلفات سیستم

۷- بررسی پایداری سیستم

۸- بررسی امنیت سیستم

۹- توسعه طراحی آینده سیستم

۱۰- بهره‌برداری رضایت‌بخش از نواحی به‌هم‌پیوسته دستگاه‌های قدرت

۱۱- بررسی تأثیر بارها و خطوط انتقال جدید و افزوده‌شده به سیستم

در مدل‌سازی ریاضی مطالعات پخش بار به معادلات غیرخطی خواهیم رسید. این معادلات به‌صورت ماتریسی ادمیتانس و امپدانس شین‌ها قابل‌نوشتن است. به خاطر انجام راحت تغییرات شبکه بر روی ماتریس ادمیتانس شین‌ها در بررسی و حل معادلات غیرخطی فوق با استفاده از کامپیوتر از روش مربوط به ولتاژ و شین‌ها استفاده می‌شود. همین‌طور ازنقطه‌نظر زمان محاسباتی و حافظه استفاده‌شده در کامپیوتر روش ولتاژ شین‌ها با ماتریس ادمیتانس شین‌ها مناسب است.

مطالعات پخش بار معمولا اطلاعات سیستم را در وضعیت ثابت و ساکن (پایدار) ارائه می‌دهد. بنابراین لازم است تا مدل‌سازی اجزای سیستم قدرت در دیاگرام تک فاز انجام گیرد. این اجزا شامل مدل‌سازی ریاضی به‌صورت زیر هستند:

۱- ژنراتورهای سنکرون

۲- ترانسفورماتورهای قدرت

۳- خطوط انتقال قدرت

۴- بارهای مصرفی

۳-۸-۱- رابطه تلفات اکتیو و راکتیو

مجموع توان‌های اکتیو تلف‌شده (P_{loss}) (اختلاف مقادیر تولیدی و مصرفی):

$$\begin{cases} p_{loss} = \sum_{i=1}^{p\ loss} p_i = \sum_{i=1}^{p\ loss} (p_{Gi} - p_{Di}) \\ p_{loss} = p_{loss}(|V_1|, \dots, |V_{p\ loss}|, \delta_1, \dots, \delta_n \end{cases} \quad (۸-۳)$$

همین روابط بصورت مشابه برابر تلفات راکتیو (Q_{loss}) (اختلاف مقادیر تولیدی و مصرفی) داریم[۳۳]:

$$\begin{cases} Q_{loss} = \sum_{i=1}^{qloss} Q_i = \sum_{i=1}^{qloss} (Q_{DI} - Q_{DI}) \\ Q_{loss} = Q_{loss}(|V_1|, \dots, |V_{n\ loss}|, \delta_1, \dots, \delta_n \end{cases} \quad (۹-۳)$$

که در این روابط داریم:

P_{Gi} وQ_{Gi} : توان تولیدی اکتیو و راکتیو ژنراتورها در باس i ام

P_{Di} وQ_{Di} : توان مصرفی اکتیو و راکتیو در باس i ام.

$V_{n\ bus}$ و$\delta_{n\ bus}$: شدت ولتاژ و زاویه فاز در باس n

۳-۸-۲- متغیرهای اغتشاش (مصرف)

این متغیرها شامل برداری از متغیرهای مصرف از توانهای اکتیو و راکتیو مصرفی می باشند که در برداری بنام D به‌صورت پشت سر هم مرتب می‌شوند.

به خاطر آنکه هیچ نوع کنترلی بر روی مقدار مصرف شبکه قدرت در حالت کلی نمی‌توان داشت بنابراین این متغیرهای اغتشاش یا متغیرهای غیرقابل‌کنترل نامیده می‌شوند [۳۴] .

$$D = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ \dots \\ P_D \\ Q_{D1} \\ \dots \\ Q_D \end{bmatrix}_{2\times n_{bus}} \qquad (۱۰-۳)$$

که P_D توانهای اکتیو مصرفی و Q_D توانهای راکتیو مصرفی تعریف می شود.

۳-۸-۳- متغیرهای کنترل

متغیرهای کنترل برداری از توان‌های اکتیو و راکتیو تولیدی شین‌ها هستند که مقدار آنها قابل تنظیم بوده و در اختیار ما هست. توان اکتیو تولیدی تابعی از قدرت توزیعی است. توان اکتیو تولیدی تابعی از سیستم تحریک توربین است.

$$U = \begin{bmatrix} P_{G1} \\ \dots \\ P_G \\ Q_{G1} \\ \dots \\ Q_G \end{bmatrix}_{2\times n_{bus}} \qquad (۱۱-۳)$$

که P_G بردار توان اکتیو و Q_G بردار توان راکتیو تولیدی شین ها هستند.

۳-۸-۴- متغیرهای حالت

این متغیرها در برابر حالت سیستم بوده و شامل اندازه و زاویه فاز ولتاژ شین‌های شبکه قدرت

است. مقادیر متغیرهای حالت نسبت به تغییربردارهای دیگر حساس هست.

تغییرات زاویه فاز ولتاژها تابعی از تغییرات توان اکتیو (تولیدی و مصرفی) است. تغییرات اندازه (دامنه) ولتاژها تابعی از تغییرات توان راکتیو (تولیدی و مصرفی) است.

$$X = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ |V_1| \\ \cdots \\ \delta_{n_{bus}} \\ |V_{n_{bus}}| \end{bmatrix}_{2\times n_{bus}} \qquad (۱۲-۳)$$

۳-۸-۵- معادلات پخش بار برای سیستم با تعداد شین n_{bus}

با استفاده از رابطه گره در شین‌ها (*kcl*)، جریان خالص یا تزریقی به شین i به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\bar{I}_i = \sum_{J=1}^{n_{bus}} \bar{Y}_{IJ}\bar{V}_J \qquad i = 1,\ldots,n_{bus} \qquad (۱۳-۳)$$

$\bar{s}_{ij}$: بردار ادمیتانس بین دو شین i و j.

توان ظاهری تزریقی در شین i هم با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{V}_i\bar{I}_i \qquad i = 1,\ldots,n_{bus} \qquad (۱۴-۳)$$

با ترکیب روابط فوق رابطه زیر حاصل خواهد شد:

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{V}_i\sum_{j=1}^{n_{bus}}\bar{Y}_{ij}\bar{V}_j = \sum_{j=1}^{n_{bus}}|V_j||Y_{ij}||V_j|e^{j(\delta_i-\delta_j-\theta_{ij})} \qquad (۱۵-۳)$$

با مساوی قرار دادن قسمت‌های حقیقی و موهومی در رابطه می‌توان به فرم قطبی معادلات پخش بار با تعداد n_{bus} که به‌صورت زیر حاصل خواهد شد، رسید:

$$\begin{cases} f_1 = p_1 - \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_j||Y_{ij}||V_j| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \\ \dots \\ f_{n\,bus} = p_{n_{bus}} - \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_{n\,bus}||Y_{n\,bus}||V_j| \cos(\delta_{n\,bus} - \delta_j - \theta_{n\,busj}) = 0 \\ f_{n_{bus}+1} = Q_1 - \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_j||Y_{ij}||V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \\ \dots \\ f_{2n_{bus}} = Q_{n_{bus}} - \sum_{j=1}^{n_{bus}} |V_{nbus}||Y_{n\,bus\,j}||V_j| \sin(\delta_{n\,bus} - \delta_j - \theta_{n\,busj}) = 0 \end{cases} \quad (۱۶-۳)$$

۳-۹- بهینه‌سازی توان راکتیو

با گسترش شبکه‌های قدرت، بهره‌برداری از منابع توان راکتیو موجود در شبکه برای بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات موردتوجه بسیاری قرارگرفته است. اگرچه تولید توان راکتیو به‌خودی‌خود هزینه ندارد ولی به خاطر تأثیر بر تلفات سیستم بر هزینه کل تأثیرگذار است.

مسئله محل یابی تعیین نوع، اندازه و محل منابع جدید توان راکتیو در سیستم است درحالی‌که مسئله بهره‌برداری بر تنظیم بهینه منابع موجود توان راکتیو در شبکه تأکید دارد. پارامترهایی که لازم است در مسئله توزیع توان راکتیو تنظیم شوند ولتاژ شین‌های کنترل‌شده، تپ ترانسفورماتورهای باقابلیت تغییر تپ در زیر کار و اندازه جبران‌کننده‌های موازی هستند. در حل مسئله توزیع توان راکتیو فرض بر این است که پخش بار اقتصادی صورت گرفته و میزان تولید توان حقیقی توسط هر ژنراتور به‌جز ژنراتور مشخص می‌باشد. اگر مسئله توزیع توان اقتصادی را در نظر بگیریم با بزرگتر شدن سیستم قدرت فضای جواب مسئله به‌سرعت بزرگ و پیچیده می‌شود [۳۳ و ۳۵].

۳-۱۰- پخش بار مستقیم[۱]

روشی که در این پایان نامه برای حل مسئله پخش بار شبکه توزیع استفاده‌شده است، پخش بار مستقیم [۶۲] است. الگوریتم این روش فن کلاسیک است که از روش جدید بهره برده است و روی شبکه‌های توزیع شعاعی و غربالی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. این روش می‌تواند برای حل شبکه‌های توزیع نامتعادل نیز توسعه داده شود، البته در این پایان نامه شبکه‌های توزیع که موردبررسی

۱. Direct load flow

قرار می‌گیرند به‌صورت شعاعی هست زیرا در محل به دلیل مشکلاتی که در بهره‌برداری و جایابی خطا در سیستم‌های حلقوی ممکن است به وجود آید شبکه‌های توزیع به‌صورت شعاعی بهره‌برداری می‌گردند.

خاصیت مهم این نوع پخش بار این است که در مورد همگرایی هیچ مشکلی ندارند و همچنین در مورد سیستم های توزیع با اندازه‌های واقعی ازنظر دقت مشکل ایجاد نمی‌شود. هر شبکه شعاعی می‌تواند به‌صورت درختی در نظر گرفته شود که گره‌های تغذیه[1] ریشه‌های آن هستند.

می‌توان معادلات پخش بار را به‌صورت کل یک مسأله ساده بیان نمود در این روش بارها به‌صورت امپدانس ثابت مدل‌سازی می‌شوند در هر مرحله از تکرار الگوریتم مقدار امپدانس معادل بارها بر اساس متغیرهای جدید به دست می‌آیند در شبیه‌سازی این روش بار نوع امپدانس ثابت تغییر نمی‌کند و بارهای نوع توان ثابت و جریان ثابت به بارهای امپدانس ثابت تبدیل می‌شوند و درنتیجه هر مرحله از حل، بارها بر اساس اندازه ولتاژ شین‌ها که در مرحله قبل به‌دست‌آمده‌اند تجدید مقدار می‌شوند. در این روش تنها شین‌هایی که بار مصرفی دارند در معادلات وارد می‌شوند لذا ازنظر میزان حافظه موردنیاز به مقدار شین‌های انشعابی در استفاده از حافظه صرفه‌جویی شده است.

۳-۱۰-۱- فرمول‌بندی روش پخش بار مستقیم

یکی از مهمترین و وسیع ترین ابزار تجزیه و تحلیل سیستم توزیع آنالیز پخش بار می باشد. تحلیل پخش بار ابزاری اساسی و مهم در بررسی هر سیستم قدرت، چه در طراحی و چه در بهره برداری می باشد. بهینه سازی یک سیستم قدرت نیازمند حل متوالی مساله پخش بار می باشد بنابراین روشی که برای پخش بار استفاده می شود باید با نیرومندی و سرعت همگرائی بالا صورت گیرد. روش استفاده شده در این مقاله روش پخش بار مستقیم میباشد .این روش با بهره‌گیری از دو ماتریس BIBC و BCBV و بدون بکارگیری ماتریس ادمیتانس با استفاده از مزایای شبکه‌های شعاعی، با دقت و سرعت بالایی به

[1] . feeding Nodes

همگرایی می‌رسد. این روش در واقع همان روش پخش بار پس رو- پیش رو FBS می باشد با این تفاوت که در روشهای معمولی نیاز به محاسبه معکوس ماتریس امپدانس (جهت بدست آوردن ماتریس Y) می باشد که گاهی به دلیل شرایط توپولوژیکی شبکه، ماتریس امپدانس تکین بوده و معکوس کردن آن امکان پذیر نمی باشد. [۶۴]در یک شبکه با n شینه و m شاخه، توان مختلط بار به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$S_i = (P_i + jQ_i) \qquad i = 1, \dots, n$$

جریان تزریقی در تکرار k ام برابر است با:

$$I_i k: I_i^r: (v_i k) + jI_i^i(v_i k) = \left(\frac{p_i + j(p_i)}{v_i k}\right)$$

که $v_i k$ و $I_i k$ به ترتیب ولتاژ شینه و جریان تزریق معادل شینه i در تکرار k ام می باشند و I_i^r و I_i^i نیز قسمت های حقیقی و موهومی جریان تزریقی برای شینه i ام در تکرار k ام هستند و بر اساس قانون زیر می‌توان رابطه مابین جریان شاخه‌ها و جریان تزریق شینه‌ها را به صورت زیر نوشت:

$$[B] = [BI\ BC][I]$$

$[B]$ ماتریس جریان شاخه ها با بعد $1 \times m$ است [I]

ماتریس جریان تزریق شینه و دارای بعد $1 \times (n-1)$ می باشد. $[BI\ BC]$ ماتریس جریان تزریقی به جریان شاخه ها[۱] است که این ماتریس بالا مثلثی است که عضوهای آن ۱+ و ۰ می باشد و ابعادش $m \times (n-1)$ است بر اساس قانون بالا می‌توان رابطه میان ولتاژ شینها و جریان شاخه‌ها را به صورت زیر نوشت:

$$[\Delta V] = [BC\ BV][B] \qquad (۱۷-۳)$$

۱. Bus- injection to bus- current

$$[\Delta V]= [V_I] - [V_L] \quad , \qquad L = 2, \dots, n \qquad (۱۸-۳)$$

که ΔV اختلاف ولتاژ پیشنهادی شبکه نسبت به شین مربع است.

$[BC\ BV]$ ماتریس جریان شاخه ها به ولتاژ شین‌هاست.

$[B]$ از رابطه (۳-۱۳) در رابطه (۳-۱۴) خواهیم داشت:

(۱۸-۳ الف)

$$[\Delta V] = [BC\ BV][BI\ BC][I] = [DLF][I]$$

$$I_i k, I_i r(V_i k) + jI_i i\ (V_i k) = \frac{(P_i + jQ_i)}{V_i k}$$

$$[\Delta V_{k+1}] = [DLF][Ik] \qquad (۱۸-۳ \text{ ب})$$

$$[V_{k+1}] = [V] - [\Delta V_{k+1}] \qquad (۱۸-۳ \text{ پ})$$

۳-۱۱- الگوریتم های خازن‌گذاری

۳-۱۱-۱- مقدمه:

به فرضیات و روش‌های مختلفی که در مقالات برای جایابی و مقدار یابی خازن‌ها استفاده‌شده است و نیز مفاهیم پخش بار در شبکه‌های توزیع اشاره شد و نهایتاً روش پخش بار مستقیم برای این پایان‌نامه.

در این روش الگوریتم کلی خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن موقعیت تپ ترانس سرخط ارائه می گردد.

پروسه خازن‌گذاری با توجه به پروفیل بار در دو قسمت بررسی‌شده است در قسمت اول‌بار به‌صورت ثابت و الگوریتم کلی خازن‌گذاری بر اساس روش بهینه‌سازی خفاش تدوین‌شده است و نتایج

به‌دست‌آمده با مقالات و تحقیقات انجام‌شده مشابه در فصل (۵) مقایسه شده است.

۳-۱۱-۲- قیود حاکم بر مسئله

شرایط حاکم بر مسئله خازن‌گذاری عموماً شامل محدودیت‌های بهره‌برداری و مسائلی است که باید در رابطه باکیفیت توان رعایت شود این محدودیت‌ها شامل یک سری قیود مساوی و نامساوی است. قیود نامساوی مربوط به ولتاژ شین و جریان خطوط و حداکثر توان تزریقی به هر شین هست که بایستی در حدی نامی قرار گیرند، قید مساوی هم شامل معادلات پخش بار است که تمام متغیرهای سیستم باید در آن صدق کند.

۳-۱۲- شرط همگرایی پخش بار:

اولین قیدی که بایستی در هر یک از حالت‌های خازن گذاری رعایت شود شرط همگرایی پخش بار هست در هر مرحله خازن گذاری باید تمام متغیرهای کنترلی و متغیرهای سیستم در معادلات پخش بار صدق کند.

۳-۱۲-۱- شرط ولتاژ:

به‌منظور رعایت کیفیت توان تحویلی به مشترکین ولتاژ هر یک از شین‌ها در شبکه توزیع بایستی در یک محدوده حداقل و حداکثر مجاز ولتاژ قرار گیرد بنابراین در هر یک از حالت‌های خازن گذاری طبق رابطه:

$$V_{min} < V_i < V_{max} \qquad i = 1,2,\dots,n \qquad (۱۹-۳)$$

باید بررسی شود که ولتاژ تمام باسها در محدوده مجاز قرار گیرند.

V_{min} : حداقل ولتاژ مجاز

n: تعداد باسهای شبکه

V_i : ولتاژ در باس i ام

V_{max} : حداکثر ولتاژ مجاز

شروط جریان:

در شبکه‌های توانی هادی‌ها با سطوح مقطع مقاومت که در جریان عبوری از آن‌ها متفاوت هست استفاده‌شده است بنابراین در هر یک از حالت‌های خازن گذاری بایستی بررسی گردد که جریان هر شاخه طبق رابطه (۳-۲۰) از مقدار مجاز آن (این مقدار مجاز توسط نوع هادی) مشخص شود.

$$I_k \leq I_{max} \qquad k = 1,2,\dots,b$$

I_k : جریان در شاخه k ام

I_{max} : حداکثر جریان مجاز در شاخه k ام

b : مقدار شاخه های شبکه

قید حداکثر جریان در شبکه:

ممکن است مقدار بانک‌های خازنی موجود برای نصب در شبکه محدود باشد بنابراین باید مقدار بهینه برای تابع هزینه به سمتی مشخص شود که جبران در آن حالت از حداکثر جبران فراتر رود. قید حداکثر جبران می‌تواند در سریع‌تر رسیدن به جواب بهینه مفید باشد، به طور مثال حداکثر جبران در هر شین طبق رابطه (۳-۲۰) می تواند برابر با مجموع بارهای راکتیو شبکه در نظر گرفته شود در این حالت در هنگام جستجوی جواب بهینه دیگر لازم نیست سمت هایی از فضای جواب که جبران در آن حالت ها از توان راکتیو کل شبکه بیشتر است جستجو می شود.

$$Q < Q_i \leq Q_{max} \qquad (۳-۲۰)$$

Q_{max} : حداکثر میزان در شبکه (مجموع بارهای راکتیو شبکه)

Q_i : میزان جریان در گره i اُم

۳-۱۳- روش‌های بهینه‌سازی

یکی از مهمترین مسائلی که همیشه نظر کارشناسان، محققان و مهندسین را به خود جلب کرده است، یافتن الگوریتمی کارا و مقاوم برای حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد.

در این فصل مبحث بهینه‌سازی مورد بررسی اجمالی قرار گرفته و تعدادی از روش‌های بهینه‌سازی ارائه شده است.

۳-۱۳-۱- شرح مسئله بهینه سازی

بهینه‌سازی عبارت است از پیدا کردن جواب برای یک مسئله، تحت شرایط معین.

بنابراین باید معیاری برای مقایسه طرح‌های قابل‌قبول مختلف و انتخاب بهترین آنها تعیین گردد که به‌صورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان‌شده و تابع معیار، تابع مزیت یا تابع هدف نام می‌گیرد. در بعضی از حالات لازم است بیش از یک معیار به‌طور همزمان برآورده شود. در این صورت به یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه تبدیل می‌شود که توابع هدف آن‌هم جنس و تناسب پذیر نیستند. باهدف‌های چندگانه پیچیدگی مسئله زیاد می‌شود. در ادامه مسئله بهینه‌سازی تک هدفه و چند هدفه ارائه شده است.

۳-۱۳-۲- مسئله بهینه سازی تک هدفه

ازنظر ریاضی، بهینه‌سازی به ماکزیمم یا مینیمم کردن تابع هدف به‌منظور برآورد کردن قیود مشخصی اطلاق می‌گردد. پروسه‌های بهینه‌سازی اغلب با محدودیت‌های فیزیکی نیز مواجه‌اند، بطوری‌که لازم است تعدادی قیود نیز در طی فرایند بهینه‌سازی رعایت شود. درواقع روش‌های جستجوی بهینه روش‌هایی هستند که دریافتن ماکزیمم و یا مینیمم تابع با توجه به مجموعه‌ای از قیود مورداستفاده قرار می‌گیرند.

$$\begin{matrix}\min f(X) \\ X=[x_1,x_2,\dots,x_n]\end{matrix} \qquad subject\ to \quad \begin{cases} g_1(X)<0 & i=1,2,\dots,N_{neq} \\ h_1(X)=0 & i=1,2,\dots,N_{eq}\end{cases} \qquad (۲۱-۳)$$

که در آن f تابعی از بردار n بعدی متغیرهای x است. این تابع، تابع هدف نام دارد و g_1 و h_1 به ترتیب قیود نامساوی و مساوی هستند.

حل مسئله در حقیقت پیدا کردن بردار n بعدی X است، به‌طوری‌که تابع هدف برآورده شود و قیود نامساوی و مساوی نیز برقرار گردند.

۳-۱۳-۳- مسئله بهینه‌سازی چند هدفه

مسائل زیادی در دنیای واقعی شامل بهینه‌سازی همزمان چندین تابع هدف می‌باشند. معمولاً این توابع هدف تناسب ناپذیر و اغلب در تضاد با یکدیگر هستند. بهینه‌سازی چند هدفه با توابع هدف متناقض منجر به ایجاد یک مجموعه جواب به جای یک جواب بهینه می‌شود. دلیل بهینه بودن تعداد زیادی از جواب‌ها این است که با در نظر داشتن همه توابع هدف به‌طور همزمان هیچ جوابی نمی‌تواند همه توابع هدف را بهینه کند.

ازنظر فرمول‌بندی تفاوت این حالت با تک هدفه وجود n تابع هدف می‌باشد.

$$\min F(X)=[f_1(X),\dots,f_n(X)] \qquad (۲۲-۳)$$

در ادامه به توضیح روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه اشاره می نماییم.

مسائل بهینه‌سازی را می‌توان به چند روش دسته‌بندی کرد. در ذیل، این روش‌ها توضیح داده می‌شوند.

بهینه‌سازی پیوسته و بهینه‌سازی گسسته: یک مسئله بهینه‌سازی گسسته مسئله‌ای است که در آن مقادیر متغیرهای معین گسسته هستند. درحالی‌که، در یک مسئله پیوسته، مقادیر متغیرها از یک مجموعه پیوسته هستند.

دسته‌بندی بر مبنای وجود قیدها: مسائل بهینه‌سازی را بسته به وجود یا عدم وجود قید در آنها می‌توان به مسائل مقید و نامقید دسته‌بندی کرد.

دسته‌بندی بر مبنای طبیعت متغیرهای طراحی: مسائل بهینه‌سازی بسته به طبیعت متغیرهای طراحی به دودسته ایستا و پویا دسته‌بندی می‌شوند. اگر یافتن مقادیری برای مجموعه‌ای از پارامترهای طراحی در نظر باشد به‌گونه‌ای که تابع مشخصی از این پارامترها با توجه به قیدهای مشخص مینیمم شود، مسئله بهینه‌سازی پارامتری یا ایستا است و اگر هدف یافتن مجموعه‌ای از پارامترهای طراحی باشد، به‌گونه‌ای که همه آنها توابع پیوسته‌ای از پارامترهای دیگر بوده و تابع هدف را به‌شرط قیدهای مشخص کمینه کند و درواقع اگر علاوه بر مجموعه‌ای از متغیرها، مسیرهای آنها نیز در یک فضای مشخص مهم باشد در این صورت‌مسئله بهینه‌سازی پویا نامیده می‌شود.

دسته‌بندی بر مبنای طبیعت معادلات مربوطه: در این دسته‌بندی، مسائل برنامه‌ریزی ریاضی را می‌توان به دسته‌های خطی (LP)، غیرخطی (NLP)، هندسی (GMP) و درجه دوم تقسیم کرد.

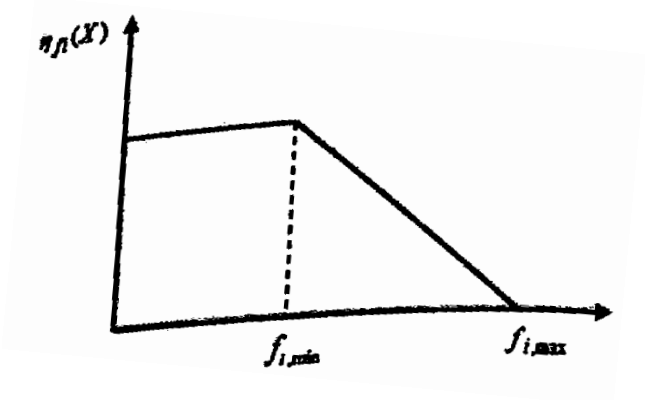
دسته‌بندی بر مبنای مقادیر مجاز برای متغیرهای طراحی: در یک مسئله بهینه‌سازی، بسته به آنکه متغیرهای مسئله مقادیر حقیقی، صحیح، باینری و یا تصادفی، اتخاذ شوند، مسئله بهینه‌سازی به دسته‌های مختلف حقیقی، صحیح، باینری و تصادفی تقسیم‌بندی می‌شوند.

دسته‌بندی بر مبنای غیر احتمالی بودن متغیرها: مسئله برنامه‌ریزی تصادفی یک مسئله بهینه‌سازی است که در آن برخی یا همه پارامترها تصادفی هستند.

۳-۱۳-۴- تابع عضویت تلفات

چنانچه در مسئله تجدید آرایش هدف، مینیمم کردن تلفات باشد ما می‌توانیم یک تابع عضویت مانند شکل (۳-۳) به‌گونه‌ای تعریف کنیم که تلفات زیاد یک مقدار عضویت پایینی داشته باشد و در عوض به دست آوردن حداقل تلفات دارای تابع عضویت یک باشد که حداقل تلفات از طریق حل مسئله

تجدید آرایش به‌صورت تک هدفه به دست می آید



شکل ۳-۳: تابع عضویت کاهش تلفات و کاهش انحراف ولتاژ [۵۹]

$$\mu_{f_1(x)} = \begin{cases} 0 & if \quad f_1(x) \geq f_{1,max} \\ \frac{f_{1,max} - f_1(x)}{f_{1,max} - f_{1,min}} & if \quad f_{1,min} \leq f_1(x) \leq f_{1,max} \\ 1 & if \quad f_1(x) \leq f_{1,min} \end{cases} \qquad (۲۳-۳)$$

که مقدار $f_{1,min}$ از حل مسئله تجدید آرایش به‌صورت تک هدفه (کاهش تلفات) به دست می‌آید، مقدار $f_{1,max}$ نیز برابر با مقدار تلفات در حل مسئله تجدید آرایش باهدف کاهش انحراف ولتاژ هست.

۳-۱۳-۵- تابع عضویت انحراف ولتاژ

مشابه آنچه در قسمت قبل گفته شد چنانچه در مسئله تجدید آرایش هدف کاهش انحراف ولتاژ باشد ما می‌توانیم یک تابع عضویت برای انحراف ولتاژ مطابق حالت قبل در نظر بگیریم به‌گونه‌ای که مقدار f_{min} از حل مسئله تجدید آرایش به‌صورت تک هدفه (کاهش انحراف ولتاژ) به دست می‌آید، مقدار f_{max} نیز برابر با مقدار انحراف ولتاژ در حل مسئله تجدید آرایش باهدف کاهش تلفات می‌باشد.

۳-۱۴- مسئله برنامه‌ریزی خطی

در یک مسئله برنامه‌ریزی چنانچه تابع هدف و قیدهای مسئله توابعی خطی از متغیرهای مسئله باشند، مسئله موردنظر برنامه‌ریزی خطی نامیده می‌شود. پاسخ یک مسئله برنامه‌ریزی خطی را می‌توان با تکرارهای محدودی به دست آورد روش‌های کارآمد و سریع برای یافتن جواب مسائل خطی وجود

دارد. روش سیمپلکس که در سال ۱۹۴۰ توسعه پیدا کرد و روش نقطه میانی که اخیراً برای حل چنین مسائلی توسعه داده‌شده است، ازجمله روش‌های استانداردشده‌ای هستند که معمولاً برای حل مسئله برنامه‌ریزی خطی مورداستفاده قرار می‌گیرند. در این روش‌ها، امکان حل مسائلی با ابعاد بزرگ شامل میلیون‌ها متغیر و قید، وجود دارد.

۳-۱۵- مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم

به مسئله‌ای اطلاق می‌شود که در آن تابع هدف برحسب تابع درجه دومی از متغیرهای مسئله نوشته می‌شوند، لیکن قیدهای مسئله توابع خطی از متغیرهای مسئله می‌باشند. اگر مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم محدب باشد، تنها یک پاسخ بهینه دارد. در غیر این صورت‌مسئله مذکور دارای نقاط بهینه محلی متعددی است و یافتن پاسخ بهینه سراسری نیازمند استفاده از روش‌های بهینه‌سازی توسعه‌یافته خواهد بود.

۳-۱۶- مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی

روش‌های حل مطمئنی برای یافتن پاسخ بهینه هر دو مسئله LP و QP وجود دارد. لیکن تاکنون راه‌حل مشخص و واحدی برای مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی ارائه نشده است. معمولاً برای یافتن پاسخ بهینه مسائل غیرخطی لازم است از یک الگوریتم تکراری که در آن راستای حرکت و جستجوی فضای پاسخ در هر مرحله تصحیح می‌شود، مورداستفاده قرار گیرد.

۳-۱۷- روش‌های حل مسائل چند هدفه

۳-۱۷-۱- روش ضرایب وزنی

این روش برای اولین بار توسط پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۳ پیشنهادشده است. ایده اصلی این روش، ترکیب خطی توابع هدف مختلف به یک تابع تک هدفه با استفاده از ضرایب وزنی مشخص هست با تبدیل مسئله به یک تابع تک هدفه می توان مسئله را به‌سادگی با روش‌های متعارف بهینه‌سازی

حل نمود.

به خاطر پیاده‌سازی آسان، روش‌های وزنی یکی از گسترده‌ترین روش‌های استفاده‌شده در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه در سیستم‌های قدرت هست.

رابطه زیر فرمول‌بندی ضرایب وزنی را نشان می‌دهد.

$$M(X) = \sum_{t=1}^{n} w_1 f_1(N) \qquad (۲۴-۳)$$

$$\sum_{t=1}^{n} w_1 = 1.0 \leq w_1 \leq 1$$

این ضرایب توسط بهره‌بردار و با توجه به مسئله بهینه‌سازی موردنظر تعیین می‌شود.

در اکثر مقالات ضرایب وزنی w را به‌صورت خطی کاهش می‌دهند. این کار باعث می‌شود که بعضی جواب‌های خوب در مسئله ظاهر نشوند. در [۶۳]، از روش نوینی برای تعیین ضرایب استفاده‌شده است. در این روش، از جواب‌های خوب به‌دست‌آمده در انتخاب ضرایب استفاده‌شده است. روش ارائه‌شده در یک مسئله دو هدفه به‌صورت زیر می‌باشد.

ابتدا $w_1 = 1, w_2 = 0$,$w_1 = 0, w_2 = 1$ دو جواب A و B برای مسئله بدست می آید. حال برای تعیین ضرایب در تکرار بعدی از رابطه زیر استفاده شده است.

$$w_1 = \frac{(w_1^A + w_1^B)}{2}, w_2 = \frac{(w_2^A + w_2^B)}{2} \qquad (۲۵-۳)$$

در هر مرحله، جواب های خوب و مورد قبول بهره بردار در انتخاب ضرایب برای مرحله بعدی ایفای نقش می کنند.

از تمایض این روش می توان به تأثیر زیاد ضرایب در جواب نهایی، پیدا نکردن تعدادی از جواب های بهینه در صورت هموار نبودن توابع هدف و عملکرد ناموفق در فضای متغیرهای ناپیوسته نام برد.

۳-۱۷-۲- روش ε - مقید

در این روش یکی از اهداف به‌عنوان هدف اصلی انتخاب‌شده و اهداف دیگر به‌صورت قید به مسئله افزوده می‌شود. به‌صورت ریاضی می‌توان بیان کرد:

$$\min f_1(X) \qquad (۲۶-۳)$$

$$sj: f_2(X) \le \varepsilon_2, f_3(X) \le \varepsilon_3, \dots, f_n(X) \le \varepsilon_n$$

با تغییر ε و حل مسئله به‌صورت تک‌هدفه، یک نقطه بهینه از متغیرهای کنترلی به دست می‌آید.

به‌طورکلی گام‌های حل مسئله چند هدفه، با استفاده از روش ε - مقید به شرح زیر می‌باشد:

گام اول: n مسئله بهینه‌سازی مجزا، برای یافتن جواب بهینه برای هرکدام از اهداف (بدون در نظر گرفتن اهداف دیگر) حل می گردد.

گام دوم: به ازای جواب بهینه هر هدف، مقادیر اهداف دیگر (n-1 تابع هدف دیگر) محاسبه می‌گردد بدین طریق دامنه تغییرات کلیه اهداف به دست می‌آید.

گام سوم: یکی از اهداف به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته‌شده و برای هرکدام از اهداف دیگر در دامنه تغییرشان یک مقدار برای ε انتخاب‌شده و به‌عنوان محدودیت متناظر آن هدف منظور می گردد. این n-1 محدودیت به مجموعه محدودیت‌های دیگر اضافه می‌شوند.

گام چهارم: مسئله تک هدفه به‌دست‌آمده از مرحله سوم برای ترکیب های مختلفی از مقادیر ε در دامنه تغییرات n-1 هدف دیگر حل می‌گردند.

۳-۱۷-۳- روش تعامل فازی

درروش تعامل فازی ابتدا بهره‌بردار برای هر یک از توابع هدف، مقادیر فازی با استفاده از توابع عضویت فازی تعیین می گردد. معمولاً توابع عضویت برای هر تابع هدف با توجه به تجربه و درک

مستقیم بهره‌بردار تعیین می‌شود. در این تحقیق از توابع عضویت خطی برای هر تابع هدف استفاده‌شده است[۶۳].

فصل ۴ :

خازن‌گذاری در بخش توزیع

۴-۱- مقدمه

در فصل اول توضیحاتی پیرامون اهمیت جبران توان راکتیو در شبکه‌های توزیع توسط خازن‌های موازی ارائه گردید. در دهه‌های اخیر به دلیل اهمیت این موضوع تحقیقات بسیاری در این زمینه صورت گرفته و روش‌های متعددی ارائه‌شده است. به لحاظ اینکه جایابی و مقدار یابی خازن یک مسئله بهینه‌سازی است، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی متنوعی در تحقیقات انجام‌شده، استفاده گردیده است. همچنین در هر یک از این تحقیقات مسئله جایابی بهینه خازن در شرایط متفاوتی همچون شبکه‌های متعادل و نامتعادل یا با توجه به محدودیت‌هایی همچون محدودیت‌های جریان فیدرها و ولتاژ شین‌ها بررسی گردیده است. در برخی تحقیقات نیز تأثیراتی همچون کلیدزنی خازن، اثرات هارمونیکی و اثر بارهای غیرخطی بر خازن‌گذاری بررسی‌شده است. در این بخش در مورد فواید ناشی از خازن‌گذاری و نگاه اقتصادی به موضوع خازن‌گذاری مطالبی بیان‌شده و سپس الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی و سابقه تحقیق در جایابی و مقدار یابی خازن‌های ثابت ارائه گردیده است.

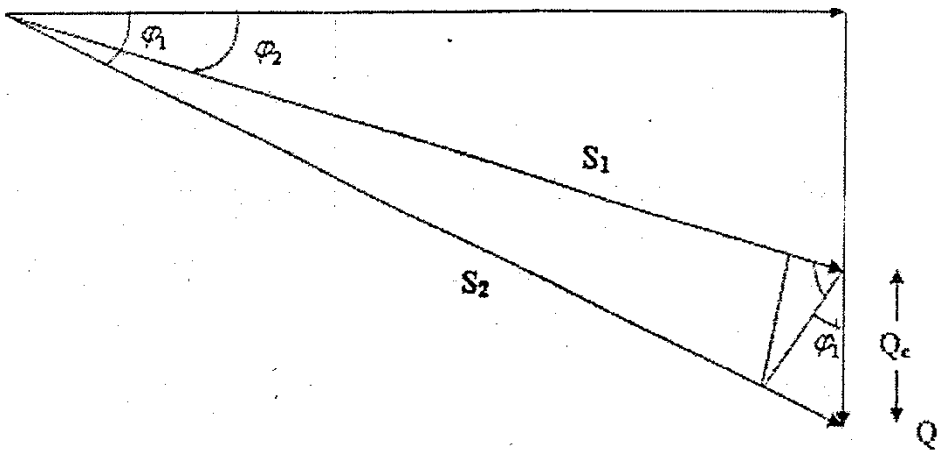
۴-۲- بررسی خازن‌گذاری ازنظر اقتصادی

همان‌طور که گفته شد، جبران توان راکتیو در سیستم توزیع باعث کاهش انتقال جریان راکتیو از نیروگاه‌ها به سیستم توزیع می‌گردد که در پی آن تلفات سیستم قدرت کاهش می‌یابد. جهت بررسی اقتصادی خازن‌گذاری مسائلی همچون کاهش تلفات انرژی، آزادسازی ظرفیت، کاهش تلفات پیک، سود حاصل از خازن‌گذاری را بیان می‌کند. در مقابل هزینه خرید، نصب و نگهداری و تجهیزات کنترل خازن‌ها به‌عنوان هزینه‌های سرمایه‌گذاری مطرح می‌شوند. در ادامه توضیحاتی در مورد هر یک از مواردی که در بحث اقتصادی خازن‌گذاری تأثیرگذار هستند آورده شده است.

۴-۲-۱- آزادسازی ظرفیت

رشد بار و افزایش میزان تقاضا به‌تدریج باعث می‌شود که جریان عبوری از تجهیزات بکار رفته در شبکه مانند فیدرها، ترانسفورماتورها و... به حد نامی خود برسند. در این وضعیت بهره‌برداران شبکه

مجبور به تعویض تجهیزات با مقادیر نامی بالاتر و یا احداث خطوط انتقال جدید خواهند بود که طبیعتاً همراه با صرف هزینه‌های زیادی می‌باشد. با جبران توان راکتیو، جریان راکتیو و درنتیجه اندازه جریان عبوری از خطوط کاهش می‌یابد. در حقیقت در شرایط یکسان تعداد مشترک و مقدار انرژی اکتیو درخواستی، بعد از خازن‌گذاری جریان کمتری از شبکه عبور می‌کند. کاهش جریان عبوری باعث می‌شود که قدرت عبوری از تجهیزات از مقادیر نامی کمتر شده و با افزایش توان درخواستی و افزایش تعداد مشترکین نیاز به احداث خطوط و یا تعویض تجهیزات شبکه به تعویق بیافتد. از طرفی هزینه خازن‌گذاری در مقابل هزینه احداث خطوط و تعویض تجهیزات شبکه به‌مراتب کمتر است و خازن‌گذاری در شبکه توزیع توجیه اقتصادی خواهد داشت. در نمودار شکل ۴-۱ میزان ظرفیت آزادشده بعد از جبران توان راکتیو نمایش داده‌شده است. همچنین در روابط (۴-۱) تا (۴-۳) مقدار ظرفیت آزادشده محاسبه گردیده است. معمولاً هزینه احداث خطوط و تجهیزات برحسب واحد پول بر کیلوولت آمپر بیان می‌گردد[۶۴].



شکل ۴-۱ آزادسازی ظرفیت بعد از جبران توان راکتیو

$$s_2 = s_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + Q_c \sin(\varphi_1) \qquad (۱-۴)$$

$$s_1 = (s_2 - Q_c \sin(\varphi_1)) cos(\varphi_1 - \varphi_2) + Q_c cos(\varphi_1) sin(\varphi_1 - \varphi_2) \qquad (۲-۴)$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 = Q_c \frac{sin\left(\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}\right)}{cos\left(\frac{\varphi_1-\varphi_2}{2}\right)} \qquad (۳-۴)$$

۴-۲-۲- کاهش انرژی تلفاتی و تلفات پیک

همراه با کاهش جریان عبوری از خطوط، تلفات خطوط که متناسب با توان دوم جریان است کاهش می‌یابد. میزان کاهش تلفات در طول پریود مطالعه، میزان کاهش تلفات انرژی را بیان می‌کند که با توجه به هزینه هر کیلووات ساعت تولید ناشی از کاهش تلفات انرژی در اثر خازن‌گذاری مشخص می‌شود. همچنین کاهش تلفات در زمان پیک شبکه سود دیگری را نیز به همراه دارد. همان‌طور که مشخص است با کاهش تلفات در پیک، نیروگاه‌ها از حدود نامی خود فاصله می‌گیرند و احتیاج به تولید کمتری هست. بنابراین در صورت اضافه شدن مشترکین احداث نیروگاه‌های جدید به تعویق افتاده و در هزینه‌ای که بازار هر کیلووات احداث نیروگاه‌ها صرف می گردد، صرفه‌جویی می‌شود. معمولاً هزینه احداث نیروگاه‌ها برحسب واحد پول به کیلووات در سال بیان می گردد.

۴-۲-۳- بهای خازن

هزینه‌های مربوط به خازن‌گذاری تنها مورد هزینه‌بر در مقابل موارد مثبت و پرسود ناشی از خازن‌گذاری در سیستم قدرت می‌باشد. معمولاً هزینه‌هایی همچون هزینه اولیه خرید خازن که به‌صورت واحد پول بر کیلو وار، هزینه پرسنلی نصب خازن و هزینه تعمیر و نگهداری خازن که به‌صورت یک هزینه ثابت بازاء هر بانک خازنی است، در محاسبات لحاظ می گردد. البته با توجه به تکنولوژیهای مختلفی که برای ساخت خازن وجود دارد هر کارخانه مشخصات و هزینه‌های مربوط به خازن تولیدی خود را در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد.

۴-۲-۴- سرمایه‌گذاری و سوددهی

در بخشهای قبلی عواملی که در سود حاصل از خازن‌گذاری مؤثر است مطرح گردید و مسائل هزینه‌بر نیز معرفی شد. هر یک از بحث‌های سرمایه‌گذاری اولیه و سوددهی باید با توجه به مدت‌زمان سرمایه‌گذاری محاسبه شوند. به‌طور مثال اگر A واحد پول سرمایه‌گذاری برای یک تجهیز انجام شود که طول عمر تجهیز n سال باشد و نرخ برگشت سرمایه B درصد در نظر گرفته شود، هزینه سرمایه‌گذاری

سالانه، طبق رابطه (۴-۴) است.

$$\text{هزینه سرمایه گذاری سالیانه} = \frac{(1+B)^n \times B}{(1+B)^n - 1} \times A \qquad (۴-۴)$$

از طرفی اگر سود سالانه ناشی از خازن‌گذاری برابر با K واحد پول باشد و نرخ برگشت سرمایه B درصد در نظر گرفته شود، سود ناشی از خازن‌گذاری در پایان n سال طبق رابطه (۲-۵) هست.

$$\text{سود حاصل از خازن گذاری بعد از } n \text{ سال} = \frac{(1+B)^n - 1}{B} \times K \qquad (۴-۵)$$

بنابراین جهت بررسی منافع و هزینه‌های خازن‌گذاری بایستی به روابط فوق توجه گردد.

۴-۳- روش‌های خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع

در قسمت‌های قبل مزایای عمده استفاده از خازن در شبکه توزیع بیان شد. با توجه به این فواید از دهه‌های قبل تحقیقات در این زمینه آغازشده است که هدف اصلی در این تحقیقات، تعیین موقعیت، مقدار، تعداد و روش کنترل بانک‌های خازنی قابل کلیدزنی بوده است.

در هر یک از تحقیقات انجام گرفته، بعد از تعریف تابع هدف و شرایط حاکم بر مساله، مقدار و مکان خازن‌ها به قسمی تعیین گردیده است که سود حاصل از خازن‌گذاری ماکزیمم گردد. به‌طورکلی هدف و شرایط حاکم بر مسئله خازن‌گذاری در شبکه توزیع طبق رابطه (۴-۶) تعریف می گردد.

$$Max.S(Savings) = k_p.\Delta P + k_R.\Delta R + k_E.\Delta E - \sum_{i=1}^{n_c} C_{ci} \qquad (۴-۶)$$

که در این رابطه:

$$V_{min} \le V_i \le V_{max} \qquad i = 1, \dots, n$$

$$I_j \le I_{max} \qquad j = 1, \dots, k$$

K_P: هزینه هر کیلو وات احداث نیروگاه.

K_R: هزینه هر کیلو وات ساعت احداث تجهیزات و خطوط در سیستم قدرت.

K_E: هزینه تولید هر کیلو وات ساعت انرژی.

ΔP: میزان کاهش تلفات در زمان پیک شبکه.

ΔR: میزان ظرفیت آزاد شده خطوط در زمان پیک شبکه.

ΔE: میزان کاهش تلفات انرژی در طول مدت مطالعه.

C_{ci}: هزینه هر واحد بانک خازنی.

n: تعداد باسهای شبکه توزیع.

n_c: تعداد بانک خازنی نصب شده در شبکه.

K: تعداد خطوط شبکه توزیع.

V_{min}, V_{max}: حدود مجاز ولتاژ در شبکه.

I_{max}: حد مجاز جریان در هر یک از خطوط.

V_i: ولتاژ شین i ام.

I_j: جریان در خط j ام.

رابطه (۴-۶) یک رابطه غیر خطی است که در هنگام محاسبه هر یک از اجزاء آن متغیرهای گسسته ای نیز همچون اندازه بانک‌های خازنی یا سطوح مختلف بار و ... وجود دارند که این رابطه را تبدیل به یک رابطه غیر مشتق‌پذیر کرده‌اند. به همین دلیل بیشتر تحقیقات انجام‌شده در راستای ارائه روشی مناسب جهت دستیابی به مقدار بهینه تابع هدف عمومی خازن‌گذاری بوده است. روش‌های کلی که در تاکنون در بهینه‌سازی تابع هدف عمومی خازن‌گذاری استفاده‌شده است عبارت‌اند از:

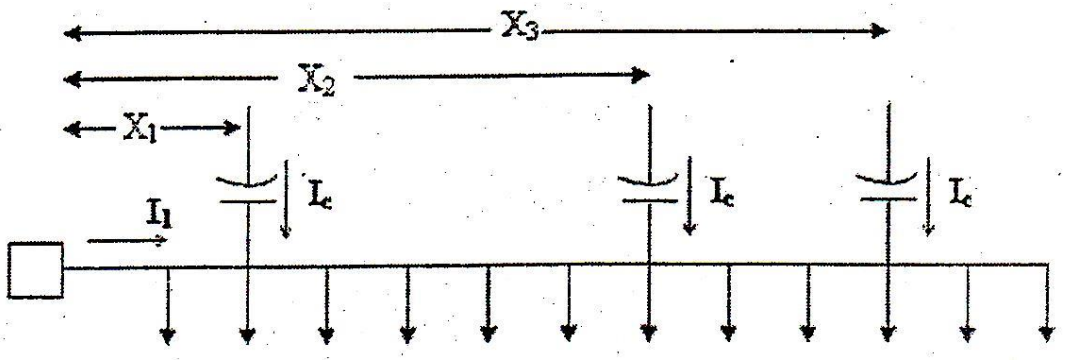
- روش‌های تحلیلی [۶۵] .
- روش‌های برنامه‌ریزی عددی (برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی اعداد صحیح، برنامه‌ریزی پویا) [۶۶].
- روش‌های ابتکاری [۶۷،۶۸،۶۹،۷۰].
- روش‌های هوش مصنوعی (روش آبکاری فولاد، روش جستجوی جدولی، الگوریتم ژنتیک، دستگاه‌های خبره، قوانین فازی، شبکه‌های عصبی) [۷۱] و [۸۲ تا ۷۹].

در برخی از تحقیقات نیز علاوه بر ارائه روش بهینه‌سازی، مسئله جایابی و مقدار یابی خازن تحت شرایط مختلف یا با در نظر گرفتن تأثیر برخی پارامترها همچون غیرخطی بودن بار ، امپدانس متقابل و ... بررسی‌شده است.

در ادامه انواع روش‌های بهینه‌سازی بکار گرفته‌شده در مقالات، شرایط حاکم بر مسئله و فرضیات تحقیقات انجام‌گرفته معرفی‌شده است.

۴-۳-۱- روش‌های تحلیلی

از ابتدایی‌ترین روش‌های بکار رفته روش‌های تحلیلی بودند. به بیان ساده در این روش‌ها بعد از تعریف یک تابع هدف خطی، نقطه بهینه تابع هدف با مشتق‌گیری محاسبه می‌گردید. روش‌های تحلیلی بیشتر درزمانی مورداستفاده قرار می‌گرفت که واحدهای محاسبات و منطق و کامپیوترهای با سرعت‌بالا در دسترس نبودند. یکی از قوانین ساده و معروف جایابی خازن که از روش‌های تحلیلی به دست آمد، قانون $2/3$ هست. در این روش بدون شاخه‌های جانبی و بار یکنواخت را که ولتاژ در تمام نقاط آن دارای توزیع یکنواخت است در نظر گرفته مانند شکل (۴-۲) و بر اساس قانون $2/3$ باهدف حداقل کردن تلفات، مکان و مقدار خازن تعیین می‌شود.



شکل ۴-۲ نصب تعداد مشخص خازن در فیدر با بار یکنواخت

$$c = \frac{I_1}{I_c} = \frac{2}{2n+1} \qquad (۷-۴)$$

$$x_i = 1 - \frac{(2i-1)\times c}{2} \qquad (۸-۴)$$

در روابط فوق n تعداد خازن و x_i مکان i امین بانک خازنی است. بدین ترتیب مکان بهینه اولین خازن به فاصله $2/3$ طول فیدر[۱] از ابتدای فیدر و مقدار بهینه خازن $2/3$ میزان توان راکتیو کل feeder می باشد. درروش فوق فرضیاتی همچون یکنواختی بار feeder و متقارن بودن بار لحاظ گردیده است که در هر شبکه توزیع واقعیت ندارد. همچنین محاسبات فوق تنها باهدف کاهش تلفات در یک سطح بار در نظر گرفته‌شده که به‌دوراز واقعیت است و بار در پریودهای مختلف متغیر هست.

در مراجع [۶۵] جایابی خازن با استفاده از روش‌های تحلیلی انجام‌شده است. در این مقالات روشی برای تخمین سطح مقطع معادل feeder در حالتیکه feeder از هادیهای مختلف تشکیل شده باشد، ارائه شده است. علاوه بر این جهت محاسبه تلفات برای کل سطوح بار، با توجه به ضریب بار[۲] feeder ، ضریبی برای محاسبه تلفات ارائه گردیده است.

در مراجع [۶۵] با در نظر گرفتن تابع هدف به‌صورت کاهش تلفات پیک، دو مسئله جایابی خازن

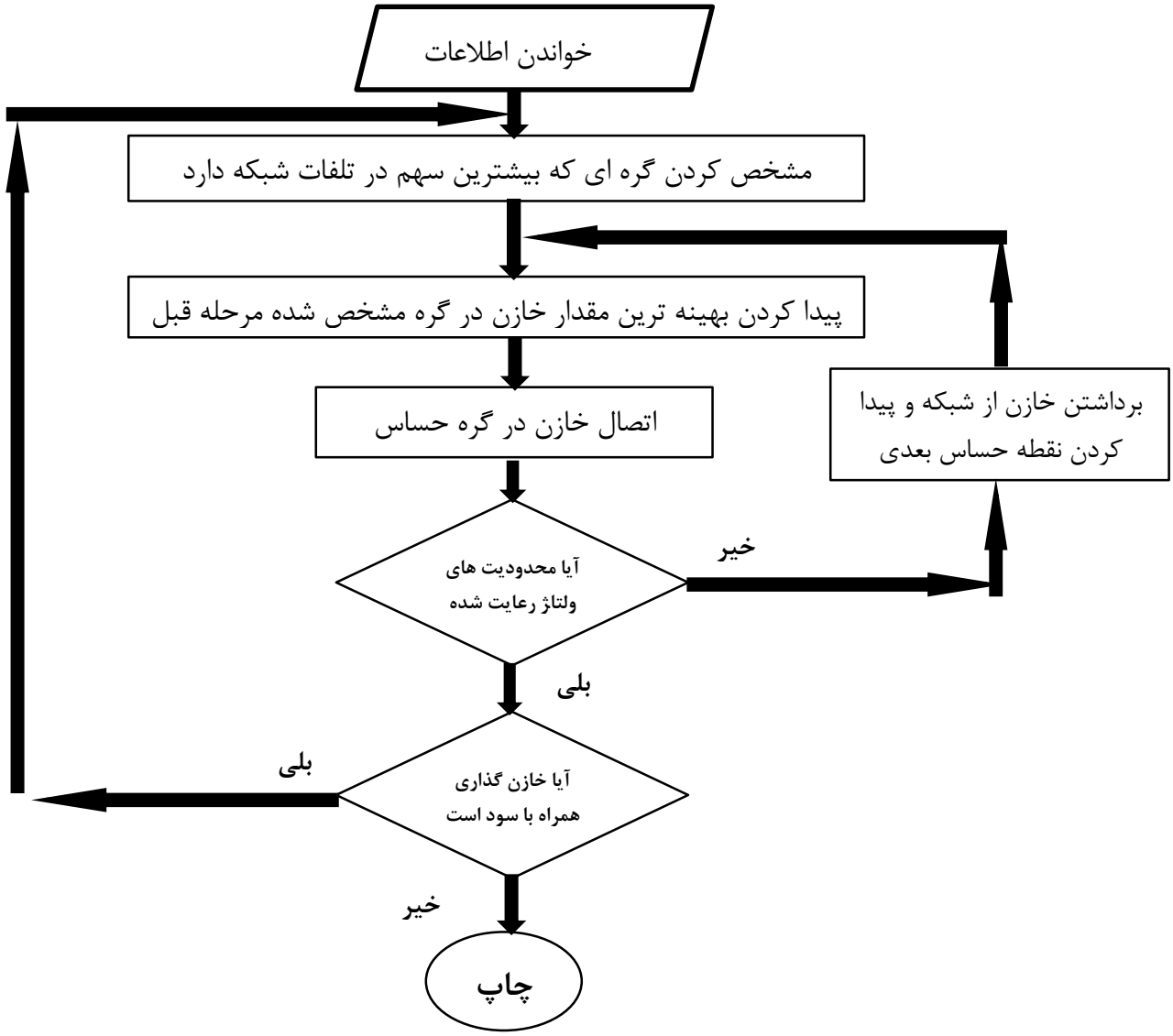
[۱] feeder

[۲]. Load Factor

و جایابی تنظیم‌کننده ولتاژ[1] بررسی‌شده است. در مقالات فوق عموماً شبکه متعادل در نظر گرفته‌شده و عملکرد خازن‌های قابل کلید زنی به‌صورت اتصال یا عدم اتصال به شبکه هست همچنین تابع تلفات تنها با توجه به جریان راکتیو شبکه محاسبه‌شده است.

الگوریتم ابتکاری در تعیین مکان بهینه خازن ارائه گردیده است. در مقاله [۶۸] با ارائه الگوریتم ابتکاری، مسئله جایابی خازن در شرایطی که بار تغییر می‌کند بررسی‌شده است. بدین‌صورت که ابتدا بار مصرفی برای دوره‌های مختلف مانند فصول متفاوت، روزهای کاری هفته و روزهای تعطیل گروه‌بندی‌شده و با توجه به نمونه‌برداری‌هایی که از بار منطقه تحت مطالعه انجام‌شده برای هر یک از موقعیت‌های زمانی یک ضریب تعریف‌شده است که توسط این ضریب میزان وزن کاهش انرژی در دوره‌های مختلف از سال مشخص می گردد. در مقاله [۶۹] ابتدا گره‌های حساس شبکه با همان روش تجربی به‌دست‌آمده و سپس مقدار بهینه خازن‌ها باهدف حداقل کردن تلفات به‌صورت تحلیلی محاسبه‌شده است. در مقاله [۷۰] نیز از روش ابتکاری برای تعیین مکان خازن و مقدار آن استفاده شده است، منتهی بحث بیشتر این مقاله در مورد ارائه یک دستگاه اندازه‌گیری توان و ارائه روشی برای تخمین توان مشترکین است.

[1]. Voltage Regulator



شکل ۴-۳ فلوچارت کلی خازن‌گذاری به روش تجربی مقاله [۶۷].

۴-۳-۲- روش‌های هوش مصنوعی

از روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی نیز برای رسیدن به نقطه بهینه تابع هدف در مقالات بسیار استفاده‌شده که از آن جمله می‌توان به روش‌های آبکاری فولاد، روش جستجوی جدولی، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی، دستگاه‌های خبره و قوانین فازی اشاره کرد. در ادامه به بررسی مختصر هر یک از روش‌های فوق پرداخته‌شده است.

۴-۳-۲-۱- روش جستجوی جدولی

یکی دیگر از روش‌های جستجو برای رسیدن به نقطه بهینه، روش جستجوی جدولی هست. در این روش با تشکیل یک حافظه از جستجو در فضاهای قبلی، احتمال گرفتار شدن در نقطه بهینه محلی کم می‌شود. الگوریتم جستجوی جدولی یکی دیگر از روش‌های جستجوی تمام نقاط هست که اخیراً در حل مسائل جایابی خازن مورداستفاده قرارگرفته است [۷۱] و با توجه به نقاطی که بیشترین سهم را در ایجاد تلفات در سطوح مختلف باردارند و با در نظر گرفتن رشد بار محدودیت‌هایی همچون ولتاژ گره‌ها و جریان فیدرها، جایابی خازن انجام‌شده است.

۴-۳-۲-۲- الگوریتم خفاش

در این روش ابتدا یک جمعیت اولیه که چندین رشته را شامل می‌شود و هر رشته جواب‌های متفاوتی از مسئله را دربردارد، تشکیل می گردد. سپس مقدار تابع هدف بازاء جوابهای هر رشته محاسبه‌شده و مطابق با آن برازندگی هر رشته تعیین می گردد. سپس با استفاده از عملگرهای جابجایی[1] و جهش[2]، جمعیت جدیدی که در حکم فرزندان جمعیت قبلی هستند تشکیل‌شده و این روند تا رسیدن به نقطه بهینه ادامه می‌یابد.

در تحقیقات [۷۲ تا ۷۹] از الگوریتم ژنتیک در جایابی و اندازه یابی خازن و بهینه‌سازی تلفات شبکه استفاده‌شده است. معمولاً در مقالات فوق مسئله جایابی و اندازه یابی خازن به دو قسمت تقسیم‌شده، بطوریکه در ابتدا با روش‌های فازی [۷۳] یا روش‌های ابتکاری [۷۴] یا با استفاده از روش‌های عددی [۷۵] نقاط کاندیدای خازن‌گذاری مشخص می گردد، سپس توسط الگوریتم ژنتیک با بهینه‌سازی تابع هدف مقدار خازن‌ها و نحوه کنترل آنها مشخص می‌شود.

برخی مقالات در جایابی خازن، علاوه بر شرایط ولتاژ و جریان، شرایط هارمونیکی را نیز لحاظ

[1] . Crossover
[2] . Mutation

کرده‌اند [۷۶]. از آنجائیکه کلید زنی خازن‌ها می‌تواند تأثیرات مختلفی همچون افزایش ولتاژ را در پی داشته باشد، در مقاله [۷۷] نحوه کنترل و جایابی خازن با اضافه کردن شرایط کلید زنی در کنار شرایط بهره‌برداری بررسی‌شده است. البته در این مقاله تأثیر کلید زنی با یک فرمول تقریبی محاسبه‌شده و مطالعه دقیقی به نظر نمی‌رسد. در برخی مقالات [۷۸] نیز ابتدا توسط یکسری قوانین نقاط کاندیدای خازن‌گذاری است.

ازآنجایی‌که اپراتورهای جهش و جابجایی می‌توانند رسیدن به نقاط بهینه را سرعت بخشند در برخی مقالات [۷۹]، روش‌های مختلفی برای اپراتورهای جهش و جابجایی ارائه‌شده است و نیز شرط حداکثر میزان جبران در شبکه توزیع در کنار شروط بهره‌برداری اعمال گردیده است.

فصل ۵ :

شبیه‌سازی و نتایج

۵-۱- مقدمه

این فصل به ارائه و پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی دو شبکه تست نمونه می‌پردازد. هدف از این شبیه‌سازی ما نشان دادن کارامدی روش پیشنهادی برای حل مسئله خازن‌گذاری می باشد در این خصوص، در بخش اول فرمول‌بندی مسئله و توابع هدف موردبررسی بیان‌شده و در ادامه به بحث بر روی نتایج شبیه‌سازی‌ها بر روی دو شبکه تست نمونه IEEE می‌پردازیم. در ضمن تمامی شبیه سازی های موجود توسط نرم افزار متلب اجرا شده است.

۵-۲- فرمول‌بندی مسئله

در این بخش توابع هدف و قیود مسئله پیش رو معرفی می‌گردند.

۵-۲-۱- توابع هدف مسئله

۵-۲-۱-۱- بهینه‌سازی هزینه کل:

هدف از این تابع هدف بهینه‌سازی (مینیمم سازی) هزینه سالانه کل شبکه ناشی از مجموعه‌ی هزینه‌های تلفات و نیز خازن‌گذاری در شبکه می‌باشد. فرمول تابع هدف در زیر آورده شده است:

$$f_1(X) = \cos t(X) = K_p \times P_{T,loss} + \sum_{i=1}^{N_b} K_i{}^c \times Q_i{}^c \qquad (۱۰۰) \qquad (۵-۱)$$
$$i = 1,...,N_b$$

در این فرمول، $P_{T,loss}$ کل تلفات توان اکتیو شبکه برحسب (MW)، K_p هزینه معادل سالانه هر واحد از توان تلفاتی برحسب *$/(MW-yr)*، $K_i{}^c$ هزینه سالانه نصب خازن در شبکه بوده که در جدول (۵-۱) مقادیر آن آورده شده است، $Q^c{}_i$ میزان توان راکتیو جبران شده در باس i ام، N_b تعداد باس‌های کاندیدای شبکه جهت خازن‌گذاری هست. همان‌طور که دیده می‌شود، $\cos t$ از ۲ بخش تشکیل‌شده است: ۱) هزینه ناشی از تلفات توان در شبکه و ۲) هزینه کل نصب خازن. همچنین X بردار کنترلی

مسئله بوده که در این تحقیق به شکل زیر هست:

$$X = [T_1, T_2, ..., T_{N_b}, Q_1^c, Q_2^c, ..., Q_{N_b}^c]_{1\times(2N_b)} \quad (۲-۵)$$

در اینجا T_i مقدار عددی ثابتی مربوط به باس i ام می‌باشد. T_i می‌تواند دو مقدار 0 و 1 را بگیرد. هرگاه که T_i مقدار 0 را بگیرد بدین معناست که باس i ام کاندیدای مناسبی برای خازن انتخاب‌شده نمی‌باشد و درنتیجه مقدار توان راکتیو Q_i^c انتخابی به شبکه تزریق نخواهد شد. در نقطه مقابل، مقدار عددی 1 برای این پارامتر بیانگر مناسب بودن باس i ام برای مقدار خازن پیشنهادی می باشد. در حقیقت در حالتی که مقدار T_i برابر 1 گردد مقدار متناسب توان راکتیو Q_i^c در باس i ام جهت جبران سازی به شبکه تزریق خواهد شد.

جدول ۵-۱: مقادیر خازن های موجود جهت نصب در شبکه به همراه هزینه هر واحد [۸۰]

i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
Qc (kVAr)	۱.۵	۳.۰	۴.۵۰	۶.۰	۷.۵۰	۹.۰۰	۱۰.۵۰	۱۲.۰۰	۱۳.۵۰
$/ kVAr	۰.۵۰۰	۰.۳۵	۰.۲۵۳	۰.۲۲	۰.۲۷۵	۰.۱۸۳	۰.۲۲۸	۰.۱۷	۰.۲۰۷
i	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
Qc (kVAr)	۱۵.۰	۱۶.۵	۱۸.۰	۱۹.۵	۲۱.۰	۲۲.۵	۲۴.۰	۲۵.۵	۲۷.۰
$/ kVAr	۰.۲۰۱	۰.۱۹۳	۰.۱۸۷	۰.۲۱۱	۰.۱۷۶	۰.۱۹۷	۰.۱۷۰	۰.۱۸۹	۰.۱۸۷

۵-۲-۱-۲- بهینه‌سازی تلفات کل:

هدف از این تابع هدف، بهینه‌سازی (مینیمم‌سازی) میزان تلفات کل شبکه می‌باشد که بصورت زیر مدل می شود:

$$f_2(X) = p_{loss}(X) = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \times |I_i|^2 \quad (۳-۵)$$

که در آن R_i مقدار مقاومت در شاخه i ام، I_i میزان جریان در شاخه i ام و N_{br} تعداد شاخه های شبکه موردبررسی هست.

۵-۲-۲- قیود مسئله

مسئله موردبررسی شامل دسته‌ای از انواع قیود است که در تمامی مراحل بهینه‌سازی باید رعایت گردند. در ادامه این قیود آورده می‌شوند.

۵-۲-۲-۱- مقادیر خازن‌ها

ازآنجایی‌که مقادیر خازن‌های تولیدی در بازار، با اندازه‌های مشخص و ظرفیت‌های ثابت می‌باشند لذا خازن‌های بکار رفته در طول بهینه‌سازی نیز باید به‌صورت گسسته در نظر گرفته شوند. در حقیقت ظرفیت خازن‌ها به‌صورت ضریبی از اندازه کوچک‌ترین ظرفیت خازن موجود هست. این اثر در مقادیر خازن‌ها نیز منعکس می گردد. بدین‌صورت که هزینه هر واحد توان راکتیو تولیدی برای خازنی با ظرفیت بالاتر، کمتر از هزینه هر واحد توان راکتیو تولیدی برای خازنی با ظرفیت کوچک‌تر هست. بنابراین مقدار بیشترین ظرفیت خازن بکار رفته به‌صورت ضریبی از کوچک‌ترین خازن موجود تغییر می‌کند:

$$Q_{M\,\mathrm{ax}}{}^{c} = L \times Q_0{}^{c} \qquad (۴-۵)$$

که در آن $Q_0{}^{c}$ مقدار کوچک‌ترین خازن موجود بوده و L عددی صحیح و مثبت می‌باشد.

۵-۲-۲-۲- توان خطوط شبکه

با توجه به حداکثر توان قابل‌حمل هر خط، در تمام مدت بهینه‌سازی باید مراقب حفظ ماکزیمم توان اکتیو عبوری از خطوط شبکه باشیم.

$$\left|P_{ij}^{Line}\right| < P_{ij,\max}^{Line} \qquad (۵-۵)$$

که درروابط اخیر $\left|P_{ij}^{Line}\right|$ قدر مطلق توان عبوری از خط بین باس i و j بوده و $P_{ij,\max}^{Line}$ نیز ماکزیمم توان عبوری از خط بین باس های i و j می باشد.

۵-۲-۲-۳- ولتاژ باس های شبکه

مقدار مؤثر ولتاژ تمامی باس های شبکه باید در حدود مجاز از پیش تعیین‌شده قرار داشته باشد. بنابراین

برای باس i ام داریم:

$$V_{\min} \le V_i \le V_{\max} \qquad (۶-۵)$$

که در آن $V_{\max}$ و $V_{\min}$ به ترتیب ماکزیمم و مینیمم مقادیر مجاز ولتاژ باس ها می‌باشدکه مقادیر ولتاژ بین بازه .[۱/۱- ۰/۹] قرار دارد. که مقادیر ولتاژروی شکل نشان داده شده اند

همچنین مقادیر ثابت ان یعنی k_p برابر ۱۸۰است.

۵-۲-۲-۴- همگرایی پخش بار

یکی از قیودی که بایستی در هر یک از حالت‌های خازن‌دار رعایت شود، شرط همگرایی پخش بار می باشد. به عبارتی به علت عدم همگرایی مسئله در برخی از حالت‌های خازن‌گذاری, چنین حالت هایی از گردونه گزینه‌های مختلف خازن‌گذاری کنار گذاشته خواهد شد. این قید به‌تنهایی می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های دیگر را نیز پوشش دهد.

۵-۲-۲-۵- قید حداکثر جبران سازی

ممکن است تعداد و ظرفیت بانک‌های خازنی موجود برای نصب در شبکه محدود باشد. بنابراین باید مقدار بهینه برای تابع هزینه بقسمی مشخص شود که جبران در آن حالت از حداکثر جبران ممکن فراتر نرود. قید حداکثر جبران می‌تواند در همگرایی سریع‌تر به جواب بهینه مفید باشد. به‌طور مثال اگر حداکثر جبران برابر با حداکثر بار راکیتو شبکه در نظر گرفته شود، هنگام جستجوی جواب بهینه دیگر لازم نیست قسمتهایی از فضای جواب که در آن حالتها از توان راکتیو کل شبکه بیشتر است، جستجو شود.

$$\sum_{i=1}^{N_b} Q_i^c \le Q_{\max} \qquad (۷-۵)$$

که در آن $Q_{\max}$ حداکثر جبران در شبکه می باشد.

۵-۳- بهینه‌سازی تک هدفه

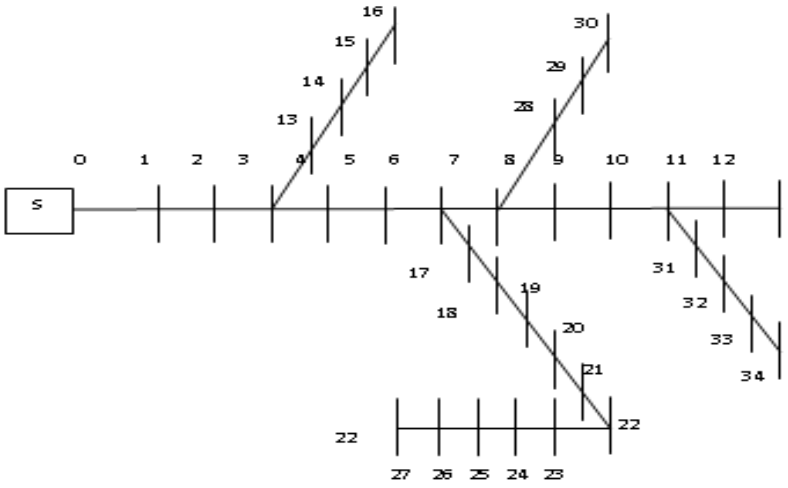
همان‌طور که در فصل‌های قبلی نیز گفته شد مسئله موردبررسی در اینجا مسئله‌ای تک هدفه با تابع هدف و قیود مساوی و نامساوی و گسسته و پیوسته می‌باشد. جهت آنالیز کامل مسئله، فرم کلی آن در ادامه آورده می‌شود:

$$\begin{matrix}\min f(X) \\ X=[x_1,x_2,\dots,x_n]\end{matrix} \qquad subject\ to \quad \begin{cases} g_1(X)<0 & i=1,2,\dots,N_{neq} \\ h_1(X)=0 & i=1,2,\dots,N_{eq} \end{cases} \qquad (۸-۵)$$

۵-۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش شبیه‌سازی‌ها بر روی دو شبکه تست IEEE صورت می‌گیرد. شبکه تست اول شبکه توزیع با ۳۴ باس بوده و شبکه تست دوم شبکه ۶۹ باسه می باشد. شبکه تست اول شبکه ۳۴ باسه IEEE بوده که در سطح ولتاژ ۱۱ kV کار می کند. این شبکه یک شبکه تست شعاعی با ۴ فیدر اصلی بوده که مجموعا بار ۴۶۳۶,۵ کیلو وات و ۲۸۷۳,۵ کیلو وار را تأمین می‌نماید. شمای تک‌خطی این شبکه در شکل زیر آورده شده است. تمامی اطلاعات شبکه از مرجع [۸۱] گرفته‌شده است.

نتایج بهینه‌سازی تک هدفه هر یک از سه تابع هدف هزینه، تلفات در جدول زیر نشان داده‌شده است.



شکل ۵-۱: شمای تک‌خطی شبکه ۳۴ باس (شبکه تست اول)

جدول ۵-۲: نتایج شبیه‌سازی های تک هدفه در محیط قطعی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست اول)

Items	Before compensation	f_1	f_2
Total Losses(kW)	۲۲۱.۶۷	۱۵۹.۷۰۹	۱۵۹.۲۰۳
Vmin (Pu)	۰.۸۳۷۵	۰.۹۵۰۰۷۷	۰.۹۶۵۹۴۲
Vmax (Pu)	۱	۱	۱
Annual cost($/yr)	۳۷,۲۴۱	۲۷,۳۵۹	۲۷,۳۶۱

همانطوری که در جدول(۵-۲) مشاهده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی توانسته به‌خوبی تمامی توابع هدف را بهبود دهد. واضح است در تمامی حالات مقدار ولتاژ باس‌ها از مرز انحراف ۰,۱ پریونیت تجاوز ننموده است. مقدار بهینه خازن و موقعیت آنها در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۵-۳: ظرفیت و موقعیت بهینه خازن های شنت متناسب با بهینه‌سازی تک هدفه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست اول)

Items	Capacitor sizes and their place(bus number)				
Power losses optimization	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۴۵۰
	۵	۹	۱۸	۲۱	۲۵
Annual cost optimization	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	
	۹	۱۶	۲۰	۲۳	

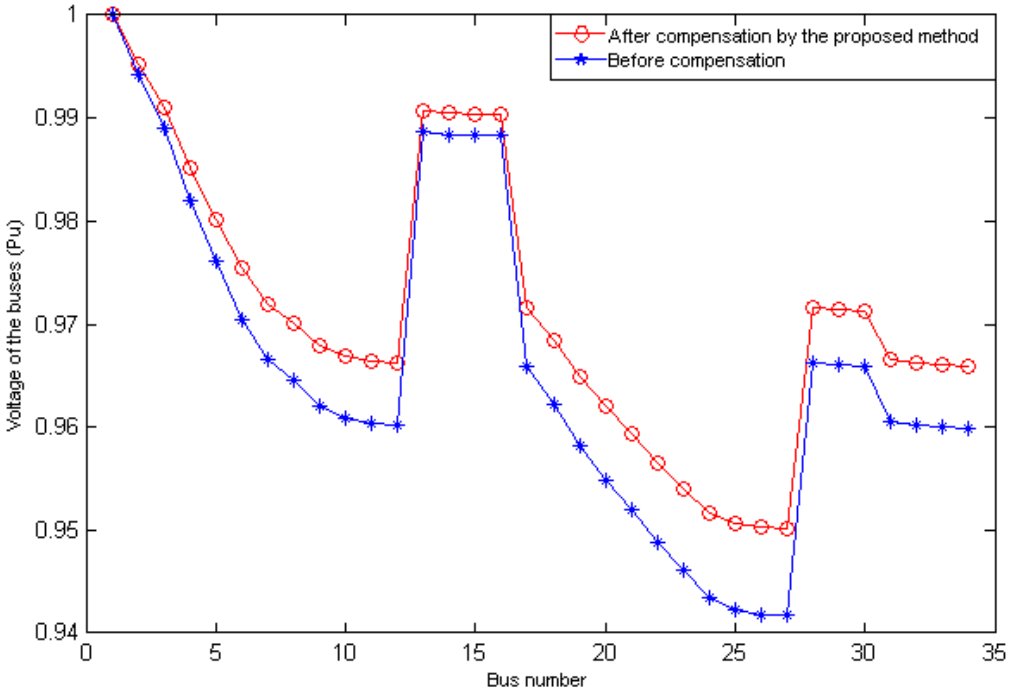
همانطوری که می‌بینیم، بیشترین تعداد خازن گذاری برای تابع هدف انحراف ولتاژ هست. در حقیقت،

این تابع هدف سعی در بهبود وضعیت ولتاژ شبکه بدون در نظر گرفتن هزینه‌های زیاد آن دارد. در ادامه برای نشان دادن برتری روش پیشنهادی، مقدار تابع هدف هزینه یافته شده توسط تعدادی از روش‌های مشهور در این زمینه با مقدار یافته شده توسط الگوریتم پیشنهادی مقایسه می گردد. همان‌طوری که می‌بینیم روش پیشنهادی توانسته به مقدار بهینه‌تری برای تابع هزینه نسبت به دیگر روش‌های مشهور دست یابد. این پاسخ بهتر نشان از عملکرد بالاتر روش پیشنهادی دارد.

جدول ۵-۴: مقایسه مقدار بهینه تابع هدف هزینه و مقایسه نتایج استفاده از الگوریتم پیشنهادی و تعدادی از روش‌های مشهور دیگر(شبکه تست اول)

Items	Before compensation	Heuristic based [82]	PSO[83]	GA[84]	BA	MBA
Total Losses(kW)	۲۲۱.۶۷	۱۶۸.۴۷	۱۶۸.۸	۱۶۱.۰۷	۱۶۶.۱۲	۱۵۹.۷۰۹
Loss reduction (%)	----	۲۳.۹۹۹	۲۳.۸۵۰	۲۷.۳۳۷	۲۵.۰۱۵	۲۷.۹۵
Annual cost ($/yr)	۳۷۲۴۱	۳۳۱۸۲	۲۹۹۳۶	۲۸۴۸۴	۲۹۸۳۰	۲۷۳۵۹
Net saving($/yr)	----	۴۰۸۹	۷۳۰۶	۸۷۵۶	۷۳۱۶	۹۸۸۲
Saving (%)	----	۱۰.۹۷	۱۹.۶۱	۲۳.۵۱	۱۱.۴۵	۲۶.۵۳

برای مشاهده تاثیر مثبت خازن گذاری بر سطح ولتاژ، پروفیل ولتاژ قبل و بعد خازن گذاری در شکل (۵-۲) نمایش داده شده است.

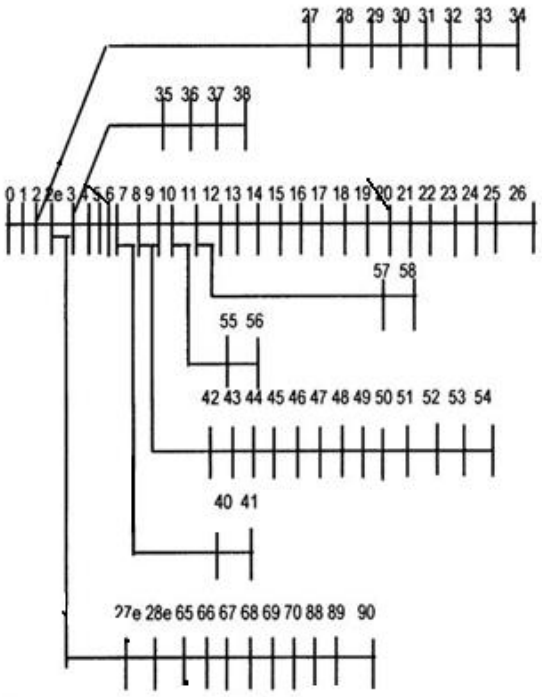


شکل ۵-۲: سطح ولتاژ باس های شبکه قبل و بعد از خازن گذاری بهینه توسط روش پیشنهادی (شبکه تست اول)

۵-۴-۱- شبکه تست دوم

شبکه تست دوم شبکه ۶۹ باسه IEEE بوده که در سطح ولتاژ ۱۲٫۶۶ kV بهره برداری می‌شود. این شبکه دارای توپولوژی شعاعی بوده که مجموع بار ۳۸۰۹٫۱۹ کیلو وات و ۲۶۹۴٫۵۹ کیلو وار را تامین می نماید. شمای تک‌خطی این شبکه در شکل (۵-۶) آورده شده است. تمامی اطلاعات شبکه از مرجع [۸۵] گرفته‌شده است.

نتایج بهینه‌سازی تک هدفه هر یک از سه تابع هدف هزینه، تلفات در جدول ۵-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-۳: شمای تک‌خطی شبکه ۶۹ باس (شبکه تست دوم)

جدول ۵-۵ : نتایج شبیه‌سازی‌های تک‌هدفه در محیط قطعی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست دوم)

Items	Before compensation	f_1	f_2
Total Losses(KW)	۲۲۵.۰	۱۴۴.۳۴۴۸	۱۴۵.۵۶۸۹
Vmin (Pu)	۰.۹۰۹۴۴	۰,۹۳۳۱۸	۰,۹۳۰۰۴۵۹
Vmax (Pu)	۱.۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱
Voltage Deviation (pu)	۰.۰۹۰۵۶	۰.۰۶۶۸۲	۰.۰۶۹۹۵۵
Annual cost($/yr)	۳۷,۸۰۰	۲۵,۶۵۳.۶۱	۲۴,۷۶۴.۵۷

با توجه به نتایج جدول(۵-۵) می‌توان مشاهده کرد که الگوریتم پیشنهادی توانسته در این شبکه تست نیز بخوبی تمامی توابع هدف را بهبود دهد. همچنین هر تابع هدف بهترین مقدار بهینه را در بهینه‌سازی تک‌هدفه خود بدست آورده است. این موضوع نشان می‌دهد که این توابع هدف همگی در یک جهت نمی‌باشند. مقدار بهینه خازن و موقعیت متناسب با هر بهینه‌سازی تک هدفه در جدول (۵-۶) نشان داده شده است.

جدول ۵-۶: ظرفیت و موقعیت بهینه خازن‌های شنت متناسب با بهینه‌سازی تک هدفه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (شبکه تست دوم)

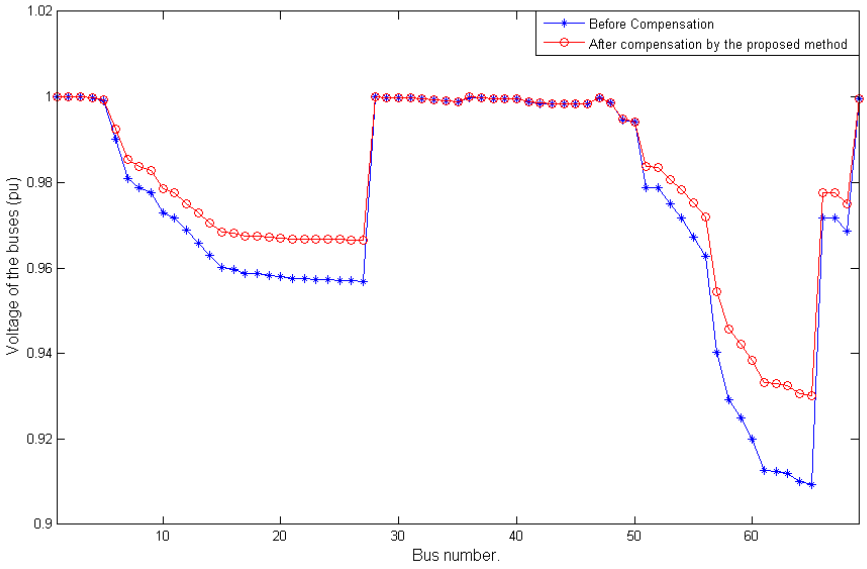
Items	Capacitor sizes and their place(bus number)								
Power losses optimization	۲	۶	۱۶	۵۰	۶۱				
	۲۵۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۹۰۰	۱۲۰۰				
Annual cost optimization	۳۹	۴۲	۴۶	۵۰	۵۴	۵۵	۵۶	۶۰	۶۱
	۷۵۰	۷۵۰	۲۲۵۰	۱۲۰۰	۱۶۵۰	۹۰۰	۱۳۵۰	۱۳۵۰	۹۰۰

در قیاس با شبکه تست اول این مقدار برای تابع هدف هزینه نیز زیاد می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که با توجه به ابعاد بزرگ‌تر شبکه تعداد خازن بیشتری برای جبران سازی لازم می‌باشد. در ادامه برای نشان دادن برتری روش پیشنهادی، مقدار تابع هدف هزینه یافته شده توسط روش پیشنهادی با تعدادی از روش‌های مشهور در این زمینه مقایسه می‌گردد. همان‌طوری که می‌بینیم مجددا روش پیشنهادی توانسته به مقدار برای تابع هزینه نسبت به دیگر روش های مشهور دست یابد. این پاسخ بهتر نشان از عملکرد بالاتر روش پیشنهادی دارد. مقدار بهینه مکان و ظرفیت خازن برای این پاسخ بهینه به‌صورت (5, 600), (9, 600), (18, 600), (21, 300), (25, 450) می‌باشد.

جدول ۵-۷: مقایسه نتایج با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و GA،PSO (شبکه تست دوم)

Items	Before compensation	GA [82]	PSO [83]	BA	MBA
Total Losses(kW)	۲۲۵.۰	۱۵۴.۲۰۹۲۴	۱۵۲.۴۸۰۱	۱۵۰.۸۴۵	۱۴۵.۵۶۸۹
Loss reduction (%)	----	۳۱.۴۶	۳۲.۲۳	۳۲.۸۸	۳۵.۳۰
Annual cost ($/yr)	۳۷۸۰۰	۲۶۴۸۳.۳۰	۲۶۳۵۲.۲۰	۲۶۳۴۸.۷۸	۲۴۷۶۴.۵۷
Net saving($/yr)	----	۱۱۳۱۶.۷	۱۱,۴۴۸	۱۲.۰۰۱	۱۳۰۳۵.۴۳
Saving (%)	----	۲۹.۹۳	۳۰.۳۸	۳۱.۱۲	۳۴.۴۸

برای درک بهتر مجددا مقادیر توابع هدف در چهارچوب قطعی آورده شده است. ازنقطه‌نظر انحراف استاندارد، شاهد کاهش مقدار این پارامتر بعد از خازن گذاری هستیم. در نتیجه این کاهش، مقادیر جدید نقاط قابل اعتمادتری نسبت به شرایط اولیه شبکه می‌باشد.



شکل ۵-۴: سطح ولتاژ باس‌های شبکه قبل و بعد از خازن‌گذاری بهینه توسط روش پیشنهادی (شبکه تست دوم)

جدول ۵-۸: نقاط بهترین، بدترین انحراف معیار و زمان میانگین برای BA

ID	نتایج بهینه سازی الگوریتم خفاش				
	بهترین	میانگین	بدترین	انحراف معیار	متوسط زمان
K_1	۳۶۲,۷۲	۳۷۳,۴۸	۳۸۰,۱۲	۶,۸۲۳	۱,۰۱۷
K_2	۱۸۴,۹۵	۱۸۲,۳۴	۱۸۰,۲۴	۰,۸۰۷	۱۷,۲۳
K_3	۱۴,۸۱	۱۴,۰۱	۱۳,۲۸	۰,۰۰۳۲	۰,۸۵۹
K_4	۱۶۹,۲۴	۱۶۹,۸۸	۱۷۰,۳۴	۰,۰۰۰۸	۰,۷۷۲
K_5	۳۸۲,۹۳	۳۸۳,۴۶	۳۸۴,۱۲	۰,۰۹۱	۱,۹۲۳
K_6	۱۱۲,۷۸	۱۲۱,۴۵	۱۳۰	۱,۰۴۳	۱,۷۲۳
K_7	۵۱,۲۴	۵۵,۴۳	۶۰,۱۵	۲,۰۰۱	۲,۲۳۶
K_8	۴۵۶,۲۵	۴۴۱,۱۴	۴۱۰,۴۹	۸,۰۹۱	۱,۳۹۶
K_9	۹,۲۱	۱۸,۲۲	۲۰,۷۸	۹,۴۳۵	۱,۸۸۱
K_{10}	۵۷,۳۴	۶۱,۴۴	۶۶,۳۷	۱۱,۵۴۰	۱,۸۸۱
K_{11}	۱۱۵,۶۷	۱۱۵,۶۹	۱۱۵,۶۳	۰,۰۰۰۳	۱,۷۴۶
K_{12}	۳۳,۹۷	۳۳,۹۰	۳۳,۸۴	۰۰,۱۲	۲,۰۲۶
K_{13}	۶۷,۲۳	۶۷,۲۳۰۱	۶۷,۲۳	۰,۰۰۰۰	۱,۹۰۳
K_{14}	۳۳,۹۴	۳۳,۹۱	۳۳,۸۱	۰,۰۰۰۲	۲۳,۴۳۵
K_{15}	۱۰۵,۶۶	۱۰۰,۳۲	۹۸,۵	۰,۹۰۲۳	۲,۶۴۳
K_{16}	۳۸۲,۹۴	۳۸۳,۴۳	۳۸۴,۷۶	۰,۶۰۸۷	۲,۰۳۲
K_{17}	۳۶۰,۲۵	۳۶۰,۲۰	۳۶۰,۱۵	۰,۰۰۱۵	۱,۰۰۱
K_{18}	۱۲۷۷,۲۲	۱۲۷۹,۳۸	۱۲۸۱,۲۳	۰,۵۰۰۲	۰,۳۳۴

جدول ۵-۹: نقاط بهترین، بدترین انحراف معیار و زمان میانگین برای MBA

ID	نتایج بهینه‌سازی الگوریتم خفاش بهبود یافته				
	بهترین	میانگین	بدترین	انحراف معیار	متوسط زمان
K_1	۳۷۲,۳۴	۳۷۴,۲۹	۳۷۶,۴۲	۳,۵۹۳۱	۰,۹۲۸
K_2	۱۸۳,۷۵	۱۸۲,۶۴	۱۸۱,۳۵	۰,۳۰۵۰	۱۲,۱۵
K_3	۱۴,۰۵	۱۴,۰۰	۱۳,۵۷	۰,۰۰۲۴	۰,۲۵۹
K_4	۱۶۹,۰۴	۱۶۹,۶۸	۱۷۰,۰۱	۰,۰۰۰۵	۰,۹۷۲
K_5	۳۸۲,۴۴	۳۸۳,۴۶	۳۸۳,۷۸	۰,۰۶۸۱	۱,۱۰۳
K_6	۱۱۹,۷۸	۱۲۴,۹۸	۱۲۸,۶۵	۰,۹۴۳۵	۱,۰۰۶
K_7	۵۳,۱۹	۵۵,۴۳	۵۸,۲۳	۱,۰۴۱۸	۱,۰۹۷
K_8	۴۵۶,۲۵	۴۴۱,۱۴	۴۱۰,۴۹	۶,۴۹۲۰	۲,۹۰۱
K_9	۱۳,۴۸	۱۷,۰۵	۱۹,۲۶	۷,۳۰۵۲	۱,۰۵۱
K_{10}	۵۹,۵۴	۶۲,۸۶	۶۵,۴۹	۹,۶۱۱۲	۳,۸۳۱
K_{11}	۱۱۵,۶۷	۱۱۵,۶۸	۱۱۵,۶۸	۰,۰۰۰۰	۱,۱۸۶
K_{12}	۳۳,۹۷	۳۳,۹۳	۳۳,۸۹	۰,۰۰۹۱	۱,۰۲۰
K_{13}	۶۷,۲۳	۶۷,۲۳۰۱	۶۷,۲۳	۰,۰۰۰۰	۱,۲۸۷
K_{14}	۳۳,۹۲	۳۳,۹۰	۳۳,۸۵	۰,۰۰۰۱	۲۵,۸۵
K_{15}	۱۰۳,۶۶	۱۰۰,۳۲	۹۸,۱۴	۰,۷۲۹۴	۱,۱۵۳
K_{16}	۳۸۳,۰۹	۳۸۳,۱۷	۳۸۴,۲۷	۰,۰۰۳۷	۱,۴۳۲
K_{17}	۳۶۰,۲۵	۳۶۰,۲۰	۳۶۰,۱۷	۰,۰۰۱۰	۰,۹۲۵
K_{18}	۱۲۷۸,۳۴	۱۲۷۹,۰۰	۱۲۸۱,۰۶	۰,۵۴۰۲	۰,۳۰۷

فصل ۶ :

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

در این پایان‌نامه به برر سی خازن‌گذاری شنت بهینه در شبکه های برق توزیع پرداختیم. در این خصوص، در فصل اول به ارائه گزارش موضوعی مسئله پرداخته و تاریخچه مختصری از موضوع را بیان نمودیم. در ادامه در فصل دوم به برر سی الگوریتم‌های بهینه سازی و ارائه الگوریتم خفاش بهبود یافته پرداختیم. فصل سوم خازن‌گذاری، همگرایی پخش بار و بهینه‌سازی چندهدفه، تک‌هدفه در سیستم‌های گسترده قدرت بیان شد و نقش خازن گذاری شنت در این زمینه بررسی گردید. در فصل چهارم به خازن گذاری در بخش توزیع پرداخته و در ادامه در فصل آخر، شبیه سازی بر روی دو شبکه تست IEEE ۳۴ باسه و ۶۹ باسه انجام شده و نتایج بصورت مقایسه ای نشان داده شد.. نتایج شبیه سازی ها نشان از قدرت حل مناسب الگوریتم پیشنهادی چه در ساختار تک هدفه و چه در چند هدفه دارد. برتری عملکرد روش پیشنهادی بر تعدادی از روش های موجود با مقایسه مقدار تابع هزینه بد ست آمده ثابت گردید. همچنین ن شان دادیم که با ا ستفاده از بهینه سازی الگوریتم خفاش بهبود یافته توانستیم کاهش هزینه و تلفات چشم‌گیری برای مصرف شرکت برق ایجاد کنیم که با الگوریتم BAT،GA،PSO مقایسه شد وبرتری کار نشان داده شد.

پیشنهادات ادامه کار:

برای ادامه کار موارد زیر پیشنهاد می گردد:

۱- استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی دیگر

بررسی تاثیر عدم قطعیت بر جبران سازی‌های توان راکتیو دیگر مانند ادوات FACTs

منابع و ماخذ:

[۱] ژوزف، ک. دیلارد. "سیستمهای توزیع نیروی برق"، انتشارات تابش برق، چاپ اول، زمستان ۱۳۷۹.

[2] J.R.Santos, A.G.Exposito, J.L. Martinez Ramos, "A Reduced- Size Genetic Algorithm for Optimal Capacitor placement on Distribution Feeders", IEEE MELECON,May 12-15, 2004.

[3] Samir Azim and K.S. Swarup, "Optimal Capacitor Allocation in Radial Distribution Systems under APDRP", IEEE Indican 2005 Conference, Chennai, India, pp 11-13,Dec.2005.

[۴] ابراهیم نمازی. "راهکارهای راهبردی کاهش تلفات در شبکه های برق کشور"، وزارت نیرو معاونت امور انرژی، بهار ۱۳۸۴.

[5] Nik nam T, A new futty adaptive hybrid partic Le swarm optimitanion algorithm for non- linear, non- smooth and non convex e conomie dispatch problem, Applied energy 87 (1) (2010) 327-329.

[6] F. Glover, Tabu search- parti, ORSA yournal on computing (1) (1989) (190-206).

[7] sedghisigarchi, k., Feliachi, A.,"Dynamic and transient analysis of power distribution systems whith fuel cells- part I: fuel- cell Dynamic model," iEE Transactions Energy conversion, vol. 19,pp,423-428,2004.

[8] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", in Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948, 1995.

[9] R.C.E bernart, And Y. shi,"com paring Inertial weights and constriction faetor in particle swarm optimitation" proceeding of the 2000 in ternational congresson Evaluation computation, San Diego, California, IEEE S ervice center, p.p. 84-88,2000.

[10] S. Olariu and A.Y. Zomaya, "Handbook of Bioinspired Algorithms and Applications", Taylor & FrancisGroup, LLC Press, 2006.

[11] F. Glover and G. A. Kochenberger, "Hanbook of Metaheuristics", Kluwer Academic Publishers, 2003.

[12] A. Qing, "Electromagnetic Inverse Scattering of Multiple Two-Dimensional Perfectly Conducting Objects by the Differential Evolution Strategy", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol 51, no. 6, June 2003.

[13] S. Alfonzetti, E. Dilettoso and N. Salerno, "Simulated Annealing With Restarts for the Optimization of Electromagnetic Devices", IEEE Transactions on Magnetics, vol 42, no. 4, April 2007.

[14] J. M. Fernandez, J. M. Gil and J. Zapata, "Ultrawideband Optimized Profile Monopole Antenna by Means of Simulated Annealing Algorithm and the Finite Element Method", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol 55, no. 6, June 2007.

[۱۵] ح.مطیع قادر و ش. لطفی، مروری بر برخی از روش های بهینه سازی هوشمند، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر، شماره ۱۳۸۹ ۴م۶م/۱۷۶ TS

[16] R.storn, K. price, Differential Evolution A simple and Efficient Adaptive scheme for global optimization over continiuos spaces, International compnter science institute, Berkeley, 1995:95-92.

[17] Colin T: The Variety of Life. Oxford University Press, 2000.

[18] Xin-She, Yang. Bat algorithm: literature review and applications, Int. *J.Bio-Inspired Computation*, Vol 5, No. 3, pp. 141 – 149 ,2013

[19] Yang, X.S. A new Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm, in: Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization, studies in Computational Intelligence Vol. 284, Springer Berlin,2010, pp. 65-74.

[20] Khan, K. Nikov, A., Sahai A. A fuzzy bat clustering method for ergonomic screening of office workplaces, S3T 2011,*Advances in intelligent and soft computing*, V. 101/2011, pp. 59-66, 2011.

[21] Yang, X.S. Bat algorithm for multi-objective optimization, *Int.J.Bio-Inspired computation*, Vol 3, No. 5, pp 267-274, 2011.

[22] Lin, J. H., Chou,C. W., Yang, C. H.Tasi, H.L. A chaotic Levy flights bat algorithm for parameter estimation in nonlinear dynamic biological systems, J.Computer and Information Technology, Vol.2, No.2,pp.56-63,2012.

[23] Jamil, M., Zepernic, H. J., and Yang, X. S. Improved bat algorithm for global optimization, *Applied Soft Computing*, 2013.

[24] Wang, G. G, Guo, L. H., Duan, H,Liu , L, Wang, H. Q. A bat algorithm with mutation for UCAV path planning, *Scientific World Journal*, Vol. 2012, 15 pages.

[25] X.-S. Yang, "A new metaheuristic bat-inspired algorithm", in Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010), ed: Springer, 2010, pp. 65-74.

[26] X.-S. Yang, "Bat algorithm for multi-objective optimisation," International Journal of Bio-Inspired Computation, vol. 3, pp. 267-274, 2011.

[27] K. Khan, A. Nikov, and A. Sahai, "A fuzzy bat clustering method for ergonomic screening of office workplaces," in Third International Conference on Software, Services and Semantic Technologies S3T 2011, 2011, pp. 59-66.

[28] G. Komarasamy and A. Wahi, "An optimized K-means clustering technique using bat algorithm," European Journal of Scientific Research, vol. 84, pp. 26-273, 2012.

[29] R. Y. Nakamura, L. A. Pereira, K. Costa, D. Rodrigues, J. P. Papa, and X-.S. Yang, "BBA: A binary bat algorithm for feature selection," in Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), 2012 25th SIBGRAPI Conference on, 2012, pp. 291-297.

[30] S. Sakthivel, R. Natarajan, and P. Gurusamy, "Application of Bat Optimization Algorithm for Economic Load Dispatch Considering Valve Point Effects," International Journal of Computer Applications, vol. 67, pp. 35-39, 201

[31] B.Zhao. C.X. Guo. Y. J. Cao."A multiagent- based particle swarm optimization approach for reactive power dispatch." IEEE Trans. Power Syst. Vol. 20. No. 2. Pp. 1070-1078,2005.

[32] K.Y. Lee. Y.M. park. J.L. Ortiz."A united approach to optimal real and reactive power Dispatch." IEEE Trans. Power Syst, Vol. 1. No. 2. pp. 1147-1153/ 1985.

[33] N. Deeb and S.M shaidepepour. "Linear reactive power optimization in a large power network using the decomposition approach." IEEE Trans. Power Syst, Vol. 5, no. 2,pp.428-435,1990.

[34] Y.Y. Hong. D.I. Sun, S.Y. Lin. C.J. Lin." Multi- year multi- case optimal AVR planning." IEEE Trans. Power Syst, Vol.5.no.4,pp. 1294- 1301, 1990.

[35] J.R.S. Manlovani and A.V. Garcia." A heuristic method for reactive power planning." IEEE Trans. Power Syst. Vol. 11.no. 1,pp. 68- 74,1995.

[36] D.I. Sun, B. Ashley, B. Brewar, A. Hughes, W.F. Tinny. "Optimal power flow by newton approach." IEEE Trans. Power Appar. Syst, Vol. 103,no.10,pp.2864- 2880,1984.

[37] V.H. Quintana and M. Santos- Nieto. "Reactive- power dispatch by successive quadratic programming," IEEE Trans. Energy convers, Vol.4, no. 3,pp. 425-435, 1989.

[38] S. Granville,"Optimal reactive dispatch through interior point methods," IEEE Trans. Power Syst, Vol. 9,no. 1,pp. 136- 146, 1994.

[39] K. Lba. "Reactive power optimization by genetic algorithm." IEEE Trans. Power Syst. Vol. 9,no. 2. Pp. 685- 692, 1994.

[40] P. Subbaraj and P.N Rajnarayanan. "Optimal reactive power dispatch using self-adaptive real coded genetic algorithm." Int.J. Electr. Power Energy Syst, Vol. 79,pp. 374-381, 2008.

[41] J. G. Vlachogiannis and J. Stergaard. "Reactive power and voltage control based on general quantum genetic algorithms. "Int. J. Electr. Power Energy Syst, Vol. 36,pp. 6118-6126, 2009.

[42] H. Yoshida. K. Kawata. Y. Fukuyama. S. Takayama, Y. Nakanishi. "A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security

assessment." IEEE Trans. Power Syst, Vol. 15,no. 4,pp. 1232- 1239, 2000.

[43] J.G. Vlachogiannis and K.Y. Lee," A comparative study on particle swarm optimization for optimal steady- state performance of power system," IEEE Trans. Power Syst, Vol. 21,no. 4,pp. 1718- 1728, 2006.

[44] Y.D. Valle, G.K. Venayagamoorthy, S. Mohagheghi,J, Hernandez, R.G. Harley, "particle swarm optimization: basic concepts. Variants and applications in power systems." IEEE Trans. Evol. Comput, vol. 12,no. 2,pp. 171- 195, 2008.

[45] W. Zhang. Y. Liu. "Multi- objective reactive power and voltage control based on fuzzy optimization strategy and fuzzy adaptive particle swarm." Int. J. Electr. Power Energy Syst, vol. 30,pp. 525- 532, 2008.

[46] M.Varadarajan and K.S. Swarup. "Differential evolutionary algorithm for optimal reactive power dispatch." Int. J. Electr. Power Energy Syst, Vol. 30,pp. 435-441, 2008.

[47] X. Zhang. W. Chen, C. Dai, W. Cai. "Dynamic multi- group selfadaptive differential evolution algorithm for reactive optimization." Int. J. Electr. Power Energy Syst, vol. 4,pp. 257- 366, 2002.

[48] C. Dai. W. Chen, Y. Zhu, X. Zhang. "Reactive power dispatch considering voltage stability with seeker optimization algorithm." Int. J. Electr. Power Energy Syst, vol. 79,pp. 1462- 1471, 2009.

[49] M.S. Kumari and M. Sydula. "Improved particle swarm algorithm applied to optimal reactive power control." Proc. IEEE Int. Conf Industrial Technology, pp. 1873- 1878, 2006.

[50] A.A.A. Esmin, G. Lambert- Torres, A.C. Zambroni de Souza."A hybrid particle swarm optimization applied to loss power minimization," IEEE Trans. Power Syst, Vol. 20,no. 2,pp. 859- 866, 2005.

[51] G. Cai, Z. Ren, T. Yu. "optimal reactive power dispatch based on modified particle swarm optimization considering voltage stability." In proc, IEEE power Engineering Society General Meeting,pp. 1-5, 2007.

[52] W.B.Langdon, R.Poli, "Evolving problems to learn about particle swarm and other optimizers," proc. IEEE congress Evolutionary Computation, vol. 1,pp. 81-88, 2005.

[53] C.H. Liang, C. Y. Chung, K.P. Wong, X.Z. Duan,"paraller optimal reactive power flow based on cooperative co- evolutionary differential evolution and power system decomposition." IEEE Trans. Power Syst, vol. 22,no. 1,pp. 249- 257, 2007.

[54] J.P. Chiou, C. F. Chang, C.T. Su. "Capacitor placement in large- scale distribution systems using variable scaling hybrid differential evolution," Int J. Electr, power Energy Syst, vol. 28,pp. 739- 745, 2006.

[55] P.K. Roy, S.P. Ghoshal and S.S. Thakur,"optimal VAR control for improvements in voltage profiles and for real power loss minimization using Biogeography Based optimization." Int.J. Electr. Power Energy Syst, vol. 43,no. 1,pp. 830- 838, 2012.

[56] G.J. Vlachogiannis and Y.L. Kwang, "A Comparative study on particle Swarm Optimization for optimal Steady- state performance of power Systems," IEEE Trans. Power Syst, vol.21,no. 4, 2006.

[57] A. Khorsandi, A. Alimardani, B. Vahidi and S.H. Hosseinian, "Hybrid shuffled frog leaping algorithm and Nelder- Mead simplex search for optimal reactive power dispatch," IET Gener Transm. Distrib, vol. 5,no. 2,pp. 249- 256, 2011.

[58] C. Dai, W. Chen, Y. Zhu and X. Zhang, "Seeker Optimization Algorithm for Optimal Reactive power Dispatch," IEEE Trans. Power Syst, vol. 24,no. 3,2009.

[۵۹] تی. جی. ای. میلر، "کنترل توان راکتیو در سیستمهای الکتریکی"، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مترجم: رضا قاضی، ۱۳۷۱.

[۶۰] گرینگر، استیونسون، "بررسی سیستمهای قدرت"، انتشارات شهر آب، مترجم: محمد فرخی، ۱۳۸۸.

[۶۱] هادی سعادت، "بررسی سیستم های قدرت جلد ۱"، دانشگاه علم و صنعت ایران، مترجمان: احد کاظمی، شهرام جدید، حیدر علی شایانفر، ۱۳۹۰.

[62] Richard S. Sutton and Andrew G. Barto, "Reinforcement Learning an Introduction", 1998.

[63] Andrew James Smith, Dynamic Generalization of Continuous Action Spaces in Reinforcement Learning: A Neutrally Inspired Approach, Institute for Adaptive and Neural Computation Division of Informatics University of Edinburgh.

[64] J. H. Teng “A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions,” IEEE Trans. on Power Del., Vol. 18, No. 3, Jul. 2003 p. 882-887

[65] J.J. Grainger and S. Civanler, "Volt/ Var Control on Distribution Systems with Lateral Branches Using Shunt Capacitors and Voltage Regulators part II: The Solution Method", IEEE Trans. Power Apparatus and System, Vol. 104,No. 11, 1985, pp. 3284-3290.

[66] A. H. Noureddine and A. Chandrasekaran, "Linear programming Approach To Loss Minimization and Capacitor Sizing and placement", System Theory, proceedings. SSST/CSA 92. The 24th Southeastern Symposium on The 3rd Annual Symposium on Communications, Signal processing Expert Systems, and ASIC VLSI Deesign, 1992, pp. 454- 458.

[67] M. Chis, M. M. A. Salama S. Jayaram, "Capacitor placement in Distribution System

Using Heuristic Search Strategies", IEE proc. 1997, pp. 225- 230.

[68] T. S. Abdel Salam, A. Y. Chikhani and R. Hackam, "A New Technique for Loss Reduction Using Capacitors Applied to Distribution System with Varying Liad Condition", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 9,No.2, 1994, pp. 819- 827.

[69] M. H. Haque, "Capacitor placement in Radial Sistribution System for Loss Reduction", IEE proc. 1999, pp. 501- 505.

[70] J.L. Bala. P.A. Kuntz M.J. pebbles, "Optimal Capacitor Allocation Using a Distribution- Analyzer- Recorder", IEEE Tran. Power Delivery, Vol. 12, No. 1, 1997, pp. 464- 469.

[71] H. T. Yang, Y. C. Huang and C.L. Haung, "Solution to Capacitor placement problem in Radial Distribution System Using Taba Search Method", proc of International Conference on Energy Management and power Delivery, Singapore, pp. 388- 393.

[72] S. Sundhararajan and A. pahwa, "Optimal Selection of Capacitors for Radial Distribution Systems Using a Genetic Algorithm", IEEE Trans. On power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994, pp. 1499- 1506.

[73] C. T. Su, G. R. Lit and C,. C. Tsai, "Optimal Capacitor Allocation Using Fuzzy Reasoning and Genetic Algorithm for Distribution Systems", Mathematical and Computer Modeling, Vol. 33, 2001, pp. 754- 757.

[74] K. N. Miu, H. D. Chiang and G. Darling, "Capacitor placement, Replacement, and Control in Large- scale Distribution Systems by a GA- Base Two Stage Algorithm", IEEE Trans. Power System, Vol. 12, No. 3, 1997, pp. 1160- 1166.

[75] M. Delfanti and P.G. Gianpietro, "Optimal Capacitor placement Using Deterministic and Genetic Algorithm", IEEE Trans. Power system, Vol. 15,No. 3,2000,pp. 1041- 1046.

[76] Z. Q. Wu and K.L. Lo,"Optimal Choice of Fixed and Switched Capacitors in Radial Distributors with Distorted Substated Voltage", IEE proc- Genre Trans. Distribution., Vol. 142, No. 1, January 1995, pp. 24- 28.

[77] A. Kalyuzhny, G. Levitin, D. Elmakis and H. B. Haim, "System Approach to Shunt Capacitor Allocation in Radial Distribution Systems", Electric power System Research, Vol. 56, 2000 pp. 51- 60.

[78] S. K. Goswami, T. Ghose and S. K. Basu, "An Approximated Method for Capacitor placement in Distribution System Using Heuristic and Greedy Search Technique", Electric power System Research, Vol. 51, 1991, pp. 143- 151.

[79] T. Ghose, S.K. Goswami, S.K. Basu, "Solving Capacitor placement problems in Distribution Systems Using Genetic Algorithms", Electric Machines and power System, Vol. 27, 1999, pp. 429- 441.

[80] Abdollah Kavousi-Fard, Taher Niknam, "Optimal Distribution Feeder Reconfiguration for Reliability Improvement Considering Uncertainty", 2013.

[81] Chis M, Salama M.M.A, Jayaram S, Capacitor placement in distribution systems using heuristic search strategies, IEE Proc-Gener. Trunsm. Distrib., vol. 144(3) ,pp. 225-230 May 1997

[82] Su C. T, Tsai C. C .A new fuzzy reasoning approach to optimum capacitor allocation for primary distribution systems. Proc IEEE on Industrial Technology .Conf. pp. 237–41, 1996

[83] Prakash K. and Sydulu M, "Particle swarm optimization based capacitor placement on radial distribution systems," IEEE Power Engineering Society general meeting. pp. 1-5, 2007

[84] Srinivasa Rao R, Narasimham S. V. L., Optimal Capacitor Placement in a Radial Distribution System using Plant Growth Simulation Algorithm, World Academy of Science, Engineering and Technology vol. 45, pp. 715-722, 2008.

[85] Baran M. E., Wu F. F., optimal capacitor placement on radial distribution systems, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 4(1), pp. 725-734 January 1989

واژه نامه انگلیسی به فارسی

Evoolutionary algorithm	محاسبات تکاملی
Population Size	جمعیت
Crossover Rate	نرخ ترکیب
Mutaion	نرخ جهش
Initialize Population	تولید جمعیت اولیه
Parents	انتخاب والدین
Offspring	تولید فرزندان
Sort	مرتب سازی
Maximum Iteration	تکرار حلقه
Inertia Weight	وزن اینرسی
Global Learning Coefficient	یادگیری عمومی
Personal Learning Coefficient	یادگیری شخصی
Particle	ذره
Individual Best	موقعیت هر ذره
Global Best	بهترین ذره
Velocity of Particle	سرعت ذره
Differitional evolution	الگوریتم تکاملی تفاضلی
Direct load flow	پخش بار مستقیم
feeding Nodes	گره های تغذیه
Bus- injection to bus- current	جریان شاخه ها
Load Factor	ضریب بار
Voltage Regulator	تنظیم کننده ولتاژ
Crossover	جابجایی
Mutation	جهش

University of Shahrood

Faculty of Electrical and Robotic Engineering

A modified bat algorithm applied to energy loss in power distributed system

Mahtab Ganjuori

Supervisor:

Dr Alireza alfi

2015

Abstract:

In this thesis, modified bat algorithm is used to optimize the annual cost and reducing the losses in the electrical power distribution systems. The designed algorithm minimizes the losses of power network lines in different conditions. The purpose is to use modified bat algorithms to reduce annual costs and energy losses in power distribution systems. Reducing these loses have efficiency in the electricity companies. The proposed method is simulated on two networks of 34 and 69 bus IEEE test system. In the used method, the capacitor values and convergence is examined. Obtained results of modified bat algorithm are compared to other optimization methods. The results show the performance of this method.

Keywords: Modified Bat Algorithms, Optimization, Losses