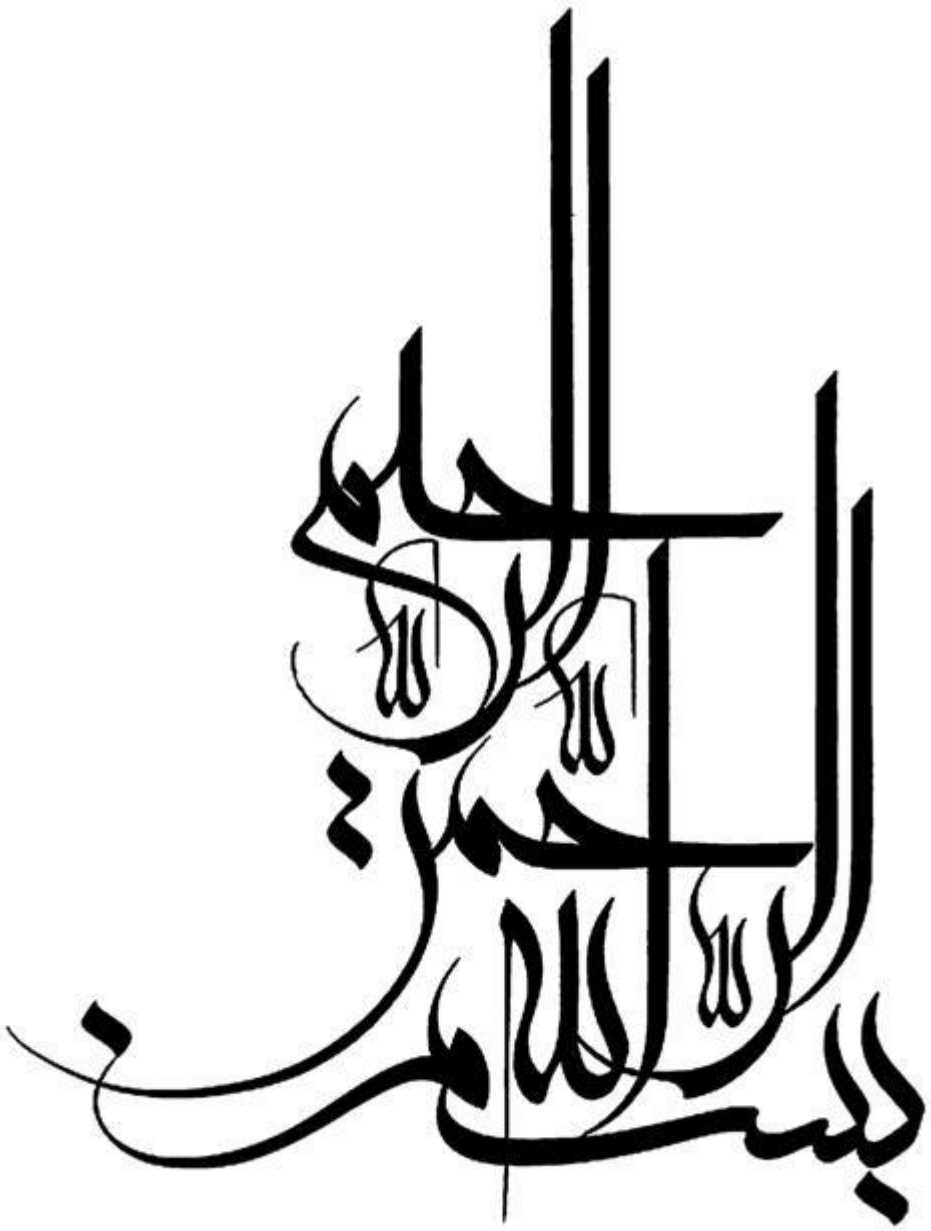
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق- گرایش قدرت

بازآرایی شبکه‌های توزیع در حضور تولیدات پراکنده

استاد راهنما:

دکتر عباس کارگر

استاد مشاور:

دکتر جعفر سلطانی

پژوهشگر:

وحید ملکی می‌آبادی

بهمن ۱۳۹۰

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تقدیم به مادرم

چکیده:

سیستم‌های توزیع قدرت دارای کلیدهای بسته و باز هستند که با تعیین حالت این کلیدها می‌توان شکل شبکه را تعیین کرد. بازآرایی شبکه‌های توزیع با تغییر حالت این کلیدها بدست می‌آید. شرکت‌های توزیع علاقه‌مند هستند تا مؤثرترین شکل شبکه توزیع را از دیدگاه کاهش تلفات و بنابراین افزایش کارایی این شبکه‌ها بدست آورند. هدف این پایان‌نامه این است تا نشان دهد که الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری می‌توانند به طور موفقیت آمیزی برای بازآرایی به منظور کاهش تلفات در شبکه توزیع مورد استفاده قرار گیرند. بازآرایی شبکه‌های توزیع معمولا به عنوان یک هدف و با قیود مربوطه فرمول‌بندی می‌شود. مسئله بازآرایی شبکه یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی پیچیده است. این پیچیدگی به این خاطر است که محدودیت‌هایی برای مسئله وجود دارد که در هنگام پیدا کردن جواب بهینه نباید شکسته بشوند. به عنوان یک نتیجه، روش‌های مؤثرتری برای کمک کردن به حل مسئله بازآرایی مورد نیاز است.

در این پایان‌نامه از یک روش تکاملی قدرت‌مند و جدید به نام الگوریتم رقابت استعماری برای حل مسئله بازآرایی استفاده شده است. الگوریتم رقابت استعماری یک الگوریتم جمعیت مبناست که رقابت استعماری میان کشورهای جهان را برای کسب قدرت بیشتر مدل می‌کند. الگوریتم رقابت استعماری در MATLAB کدنویسی شده است. سپس این الگوریتم برای بهینه‌سازی تابع هدف مورد نظر در شبکه توزیع فشارمتوسط اعمال شده است. کارایی دو شبکه فشارمتوسط توزیع با اندازه‌های مختلف در حضور تولیدات پراکنده به منظور بررسی مؤثر بودن الگوریتم رقابت استعماری مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین از الگوریتم ژنتیک اصلاح شده برای حل این مسئله استفاده شده است. مشکل اساسی در الگوریتم ژنتیک همگرایی زودرس است. این پایان‌نامه از یک الگوریتم ژنتیک تطبیقی که مقدار جهش در آن به منظور حفظ تنوع جمعیت به صورت دینامیکی تغییر می‌کند برای حل مسئله بازآرایی استفاده کرده است. کارایی دو شبکه فشارمتوسط توزیع با اندازه‌های مختلف در حضور تولیدات پراکنده و همچنین دو شبکه فشار ضعیف با اندازه‌های مختلف به منظور بررسی مؤثر بودن الگوریتم ژنتیک اصلاح شده مورد مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع، بازآرایی، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم ژنتیک.

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول-مقدمه

۱-۱مقدمه ۶
۱-۲ ضرورت موضوع پایان‌نامه ۷
۱-۳ مرور کارهای گذشته ۸
۱-۳-۱ بازآرایی شبکه‌های فشار متوسط ۸
۱-۳-۱-۱ روش های ابتکاری ۸
۱-۳-۱-۲ روش ذوب شدن فلزات ۱۱
۱-۳-۱-۳ برنامه‌ریزی تکاملی ۱۲
۱-۳-۱-۴ روش فازی ۱۳
۱-۳-۱-۵ شبکه‌های عصبی ۱۳
۱-۳-۱-۶ سیستم های خبره ۱۴
۱-۳-۱-۷ روش پرندگان ۱۴
۱-۳-۱-۸ الگوریتم جستجوی تابو ۱۵
۱-۳-۱-۹ روش بهینه سازی الگوریتم مورچگان ۱۶
۱-۳-۱-۱۰ الگوریتم ژنتیک ۱۷
۱-۳-۲ بازآرایی شبکه‌های فشارضعیف ۱۹
۱-۴ چارچوب پایان‌نامه ۱۹

فصل ۲-شبکه‌های توزیع

۲-۱ مقدمه ۲۱
۲-۲ معرفی سیستم توزیع ۲۲
۲-۳ انواع پیکره‌بندی شبکه‌های توزیع فشار متوسط ۲۲
۲-۳-۱ پیکره‌بندی باس یا خطی ۲۲
۲-۳-۲ پیکره‌بندی شعاعی یا ستاره‌ای ۲۲
۲-۳-۳ پیکره‌بندی حلقوی ۲۳
۲-۳-۴ پیکره‌بندی غربالی ۲۴
۲-۴ اتوماسیون در شبکه‌های توزیع ۲۵
۲-۵ اثر نامتعادلی بار در سیستم‌های توزیع ۲۶
۲-۶ تولید پراکنده ۲۷
۲-۶-۱ تعریف تولید پراکنده ۲۷
۲-۶-۲ انواع تکنولوژیهای تولید پراکنده ۲۷
۲-۶-۳ ظرفیت تولید پراکنده ۲۸

۲-۶-۴ مکان تولید پراکنده ۲۸
۲-۶-۵ کاربردهای تولید پراکنده ۲۸
۲-۶-۶ اثرات DG بر سیستم قدرت ۲۹
۲-۶-۶-۱ کنترل ولتاژ ۲۹
۲-۶-۶-۲ کیفیت توان ۲۹
۲-۶-۶-۳ تغییر در توان اتصال کوتاه ۳۰
۲-۶-۶-۴ سیستم حفاظتی ۳۰
۲-۶-۶-۵ قابلیت اطمینان ۳۰
۲-۶-۶-۶ تأثیر DG بر روی تلفات ۳۰
۲-۷ انواع زمین کردن در سیستم‌های توزیع ۳۴
۲-۸ کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع ۳۶
۲-۹ بازآرایی شبکه‌های توزیع فشار متوسط ۳۷
۲-۹-۱ مفهوم بازآرایی ۳۷
۲-۹-۲ مزایای بازآرایی ۳۸
۲-۹-۳ علت مشکل بودن حل مسئله بازآرایی ۳۸
۲-۱۰ روش‌های بازآرایی ۳۹
۲-۱۰-۱ دسته بندی براساس نوع هدف ۳۹
۲-۱۰-۲ دسته بندی براساس اتوماسیون شبکه ۳۹
۲-۱۰-۳ دسته بندی براساس روش جستجو ۴۰
۲-۱۰-۳-۱ روش‌های ابتکاری ۴۱
۲-۱۰-۳-۲ روش‌های قانونمند ۴۱
۲-۱۱ بازآرایی شبکه‌های توزیع در شبکه‌های فشارضعیف ۴۴
فصل سوم- بازآرایی به کمک الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری
۳-۱ مقدمه ۴۵
۳-۲ دلایل استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ۴۶
۳-۳ طرز کار الگوریتم ژنتیک ۴۶
۳-۳-۱ انتخاب ۴۷
۳-۳-۲ ادغام ۴۷
۳-۳-۲-۱ روش ادغام تک‌نقطه‌ای یا تک مکانی ۴۷
۳-۳-۲-۲ روش ادغام چند نقطه‌ای ۴۸
۳-۳-۳ جهش ۴۸
۳-۳-۳-۱ جهش تک‌نقطه‌ای ۴۹
۳-۳-۳-۲ جهش چندنقطه‌ای ۴۹
۳-۴ الگوریتم رقابت استعماری ۵۰

۳-۵ فرمول‌بندی مسئله بازآرایی شبکه‌های فشار متوسط ۵۰
۳-۶ انجام بازآرایی به کمک الگوریتم ژنتیک و رقابت استعماری ۵۱
۳-۶-۱ محاسبات پخش بار و محاسبه تلفات ۵۳
۳-۶-۲ شناسایی محدودیت‌ها ۵۴
۳-۶-۳ اعمال عملگرهای الگوریتم‌های بهینه‌سازی ۵۶
۳-۶-۳-۱ اعمال عملگرهای ژنتیک ۵۶
۳-۶-۳-۲ اعمال عملگرهای الگوریتم رقابت استعماری ۵۷
۳-۷ فرمول‌بندی مسئله بازآرایی در شبکه‌های فشار ضعیف ۶۰
۳-۸ انجام بازآرایی شبکه‌های فشار ضعیف به کمک الگوریتم ژنتیک ۶۳
فصل چهارم- شبیه‌سازی بازآرایی
۴-۱ مقدمه ۷۰
۴-۲ بازآرایی شبکه‌های فشار متوسط ۷۰
۴-۲-۱ سیستم ۱۴ شینه IEEE ۷۱
۴-۲-۲ بازآرایی در سیستم ۳۳ شینه bran and wu ۷۹
۴-۳ بازآرایی شبکه‌های فشار ضعیف ۸۹
۴-۳-۱ سیستم با ۱۵۰ بار ۸۹
۴-۳-۲ فیدر ۲۶ شینه فشارضعیف ۹۴
فصل پنجم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵-۱ مقدمه ۱۰۱
۵-۲ نتیجه‌گیری ۱۰۱
۵-۲-۱ نتایج بازآرایی برای شبکه‌های فشار متوسط ۱۰۲
۵-۲-۲ نتایج بازآرایی برای شبکه‌های فشار ضعیف ۱۰۴
۵-۳ پیشنهادات ۱۰۶
منابع ۱۰۷

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: شبکه با پیکره‌بندی باس ۲۲
شکل ۲-۲: شبکه با پیکره‌بندی ستاره ۲۳
شکل ۲-۳: شبکه با پیکره‌بندی حلقوی ۲۳
شکل ۲-۴: شبکه با پیکره‌بندی غربالی ۲۴
شکل ۲-۵: سیستم شعاعی نمونه بدون حضور منبع DG ۳۱
شکل ۲-۶: سیستم شعاعی نمونه با حضور منبع DG ۳۱
شکل ۲-۷: شبکه توزیع نمونه ۳۷
شکل۳-۱: روش ادغام تک نقطه‌ای ۴۸
شکل ۳-۲: روش ادغام دو نقطه‌ای ۴۸

شکل ۳-۳: روش ادغام سه نقطه‌ای ۴۸
شکل ۳-۴: جهش تک نقطه‌ای ۴۹
شکل ۳-۵: جهش دو نقطه‌ای ۴۹
شکل ۳-۶: جهش سه نقطه‌ای ۴۹
شکل ۳-۷: بلوک دیاگرام بازآرایی شبکه‌های فشار متوسط به کمک الگوریتم ژنتیک و رقابت استعماری ۵۲
شکل ۳-۸: دیاگرام تک‌خطی شبکه شعاعی ۵۴
شکل ۳-۹: شمای کلی حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست ۵۸
شکل ۳-۱۰: کلیدهای استاتیکی ۶۲
شکل ۳-۱۱: بارهای متصل به یک باس ۶۲
شکل ۳-۱۲: فلوچارت مربوط به بازآرایی شبکه فشار ضعیف به کمک الگوریتم ژنتیک ۶۴
شکل ۳-۱۳: قسمتی از یک خط فشار ضعیف به طول L بین دو گره i و j ۶۵
شکل ۳-۱۴: مدلی از یک سیستم سه فاز چند زمینه ۶۷
شکل ۳-۱۵: نمونه‌ای از شماره گذاری سیستم توزیع ۶۷
شکل ۴-۱: شبکه ۱۴ شینه IEEE ۷۱
شکل ۴-۲: نمودار تابع هزینه برای بازآرایی شبکه ۱۴ شینه بدون حضور تولیدات پراکنده ۷۳
شکل ۴-۳: نمودار جریان هر خط برای سیستم ۱۴ شینه بدون حضور تولیدات پراکنده ۷۴
شکل ۴-۴: نمودار تلفات هرخط برای سیستم ۱۴ شینه بدون حضور تولیدات پراکنده ۷۴
شکل۴- ۵: نمودار ولتاژ هر باس برای سیستم ۱۴ شینه بدون حضور تولیدات پراکنده ۷۵
شکل ۴-۶: نمودار تابع هزینه برای بازآرایی شبکه ۱۴ شینه در حضور تولیدات پراکنده ۷۵
شکل ۴-۷: تلفات خط برای سیستم ۱۴ شینه در حضور DG ۷۶
شکل۴-۸: جریان خط برای سیستم ۱۴ شینه در حضور DG ۷۷
شکل۴-۹: ولتاژ خط برای سیستم ۱۴ شینه در حضور DG ۷۷
شکل ۴-۱۰: سیستم ۳۳ شینه baran and wu ۷۹
شکل ۴-۱۱: نمودار تابع هزینه برای سیستم ۳۳ شینه بدون حضور DG ۸۲
شکل ۴-۱۲: ولتاژ باس‌های سیستم ۳۳ شینه بعد و قبل از بازآرایی بدون حضور DG ۸۳
شکل ۴-۱۳: جریان خطوط قبل و بعد از بازآرایی بدون DG ۸۳
شکل ۴-۱۴: تلفات خطوط قبل و بعد از بازآرایی بدون حضور DG ۸۴
شکل ۴-۱۵: نمودار تابع هزینه برای سیستم ۳۳ شینه بدون حضور DG ۸۵
شکل ۴-۱۶: جریان خطوط قبل و بعد از بازآرایی در حضور تولیدات پراکنده ۸۶
شکل ۴-۱۷: تلفات خطوط قبل و بعد از بازآرایی در حضور تولیدات پراکنده ۸۶
شکل ۴-۱۸: ولتاژ باس‌ها قبل و بعد از بازآرایی در حضور تولیدات پراکنده ۸۷
شکل ۴-۱۹: نمودار تابع هزینه برای سیستم با ۱۵۰ بار ۹۲
شکل ۴-۲۰: شکل فیدر فناوران- شهرکرد ۹۵
شکل ۴-۲۱: پروفایل ولتاژ شبکه ۲۶ شینه فشار ضعیف ۹۶

شکل ۴-۲۲: نمودار پروفایل ولتاژ سیستم ۲۶ شینه فشار ضعیف پس از انجام بازآرایی به منظور متعادل کردن فیدر فشار متوسط..... ۹۷
شکل ۴-۲۳: نمودار پروفایل ولتاژ سیستم ۲۶ شینه فشار ضعیف پس از انجام بازآرایی کاهش جریان سیم نول..... ۹۸
شکل ۴-۲۴: پروفایل ولتاژ سیستم ۲۶ شینه فشار ضعیف پس از انجام بازآرایی به منظور کاهش تلفات..... ۹۸
شکل ۴-۲۵: پروفایل ولتاژ سیستم ۲۶ شینه فشار ضعیف پس از انجام بازآرایی به وسیله تابع هدف چند منظوره..... ۹۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱: تلفات در سیستم‌های توزیع و درصد هریک از آن‌ها..... ۳۶
جدول ۲-۲: نسبت‌های سود به هزینه برای انواع روش‌های کاهش تلفات..... ۳۷
جدول ۴-۱: مشخصات شبکه ۱۴ شینه IEEE..... ۷۲
جدول ۴-۲: نتیجه بازآرایی به منظور کاهش تلفات برای سیستم ۱۴ شینه..... ۷۸
جدول ۴-۳: جدول مشخصات سیستم ۳۳ شینه baran and wu..... ۸۰
جدول ۴-۴: محل و مقدار تولیدات واحد DG در سیستم ۳۳ شینه..... ۸۴
جدول ۴-۵: نتیجه بازآرایی به منظور کاهش تلفات برای سیستم۳۳ شینه..... ۸۸
جدول ۴-۶: مشخصات سیستم با ۱۵۰ بار..... ۸۹
جدول ۴-۷: طریقه جابجایی بار روی فازها در سیستم با ۱۵۰ بار..... ۹۲
جدول ۴-۸: مشخصات سیستم ۲۶ شینه فشار ضعیف شهرکرد..... ۹۵
جدول ۴-۹: شاخص‌های الکتریکی سیستم ۲۶ شینه..... ۱۰۰
جدول ۵-۱: نتیجه بازآرایی به منظور کاهش تلفات برای سیستم ۱۴ شینه..... ۱۰۲
جدول ۵-۲: نتیجه بازآرایی به منظور کاهش تلفات برای سیستم۳۳ شینه..... ۱۰۳
جدول ۵-۳: شاخص‌های الکتریکی سیستم ۲۶ شینه..... ۱۰۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در این فصل پس از اینکه تعریف مختصری از مسئله بازآرایی شبکه‌های توزیع فشار ضعیف و فشار متوسط ارائه شد به ضرورت انجام بازآرایی پرداخته خواهد شد. پس از آن کارهای گذشته که به حل مسئله بازآرایی پرداخته-اند، بررسی خواهد شد. این کارها بر اساس اینکه از روش‌های ابتکاری و یا روش‌های قانونمند استفاده کرده باشند، به دو دسته کلی قابل تقسیم‌بندی هستند. در روش‌های ابتکاری، نویسنده روش خاصی را برای حل مسئله بازآرایی ارائه می‌دهد. اما در روش‌های قانونمند از روش‌های ریاضی و یا هوشمند برای حل مسئله استفاده می‌شود. روش‌های هوشمند شامل شبکه‌های عصبی، روش ذوب فلزات، روش پرندگان، روش مورچگان، سیستم‌های خبره، روش جستجوی تابو، الگوریتم ژنتیک و روش منطق فازی است. در آخر این فصل نیز معرفی مختصری از چارچوب کلی پایان‌نامه ارائه خواهد شد.

۱-۲ ضرورت موضوع پایان‌نامه

به خاطر وجود ولتاژ پایین و در نتیجه جریان بالا در شبکه های توزیع، تلفات توان در این نوع شبکه‌ها بالا است و کاهش این تلفات از اهمیت خاصی برخوردار است. هر فیدر یک سیستم توزیع ترکیبی از بارهای تجاری، مسکونی و صنعتی است که هر کدام از آنها دارای الگوی مصرف متفاوتی هستند. به این معنی که پیک هر کدام از بارها در زمان‌های مختلف اتفاق می‌افتد. تحت شرایط نرمال کاری، هر شبکه توزیع باید انرژی الکتریکی را به همهٔ مصرف کننده‌های متصل به آن تامین کند و به طور همزمان از اضافه بار حرارتی فیدرها، ترانسفورماتورها و ولتاژهای غیر-نرمال در میان خطوط اجتناب کند. شبکه‌های توزیع فشار متوسط معمولاً به صورت مش یا حلقوی طراحی و به صورت شعاعی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. بنابراین این شبکه‌ها دارای تعدادی کلید که به صورت نرمال باز و تعدادی کلید که به طور نرمال بسته هستند، می‌باشند. در واقع بازآرایی شبکه‌های توزیع فشار متوسط فرایند تغییر دادن ساختار شبکه‌های توزیع به وسیله باز و بسته کردن همین کلیدهاست. در اینجا یک سوال بسیار مهم مطرح است: کدام کلیدها باید باز شوند؟

بازآرایی شبکه‌های توزیع فشار ضعیف، جابجا کردن بارهای تکفاز روی فاز مناسب است. در اینجا نیز یک سوال بسیار مهم مطرح است: کدام بار به کدام فاز وصل شود؟

در یک شبکه فشار متوسط کلیدهایی که باید باز شوند باید با چه هدفی انتخاب شوند، و یا اینکه در یک شبکه فشار ضعیف، فاز مناسب برای یک بار چگونه انتخاب شود، هدف انجام بازآرایی را مشخص می‌کند. دسته‌بندی‌های مختلفی برای اهداف بازآرایی می توان بیان کرد. معمولاً در بازآرایی شبکه های توزیع یک یا چند هدف از اهداف زیر دنبال می‌شود :

۱. کاهش تلفات
۲. متعادل کردن بار
۳. بهبود پروفایل ولتاژ
۴. بازیابی سرویس پس از وقوع خطا
۵. بهینه سازی قابلیت اطمینان براساس تابع هزینه

در این پایان‌نامه هدف اصلی از اجرای بازآرایی کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع است. برای رسیدن به این هدف، چه در شبکه فشار ضعیف و چه در شبکه فشار متوسط، تعداد بسیار زیادی جواب وجود دارد. برای مثال در یک شبکه فشار متوسط ۳۳ شینه با ۳۷ خط، ۱۳۷۴۳۸۹۵۳۴۷۲ جواب وجود دارد. به عنوان یک مثال دیگر، در یک شبکه فشار ضعیف با ۲۶ شینه، ۱۷۰۵۸۱۷۲۸۱۷۹۵۷۸۲۰۸۲۵۶ جواب وجود دارد. پیچیده و بزرگ بودن فضای جستجو و اینکه نمی‌دانیم که از کجای این فضا باید عمل جستجو را انجام دهیم، ما را به استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سوق می‌دهد اساس الگوریتم‌های بهینه‌سازی در حل مسئله بازآرایی را می‌توان به دو دسته کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

۱. بهینه‌سازی براساس روش‌های ابتکاری[1]
۲. بهینه‌سازی براساس روش‌های قانونمند[2]

در بهینه‌سازی براساس روش‌های ابتکاری، یک روش ابتکاری برای حل مسئله بازآرایی معرفی می‌شود، ولی در روش‌های قانونمند معمولاً از روش‌های ریاضی یا روش‌های دیگر مثل الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله بازآرایی استفاده می‌شود.

۱-۳ مرور کارهای گذشته

کارهایی که در گذشته به انجام بازآرایی پرداخته اند به کارهای مربوط به شبکه فشارمتوسط و کارهای مربوط به شبکه فشارضعیف قابل تقسیم بندی هستند:

۱-۳-۱ بازآرایی شبکه‌های فشار متوسط

بازآرایی شبکه‌های فشار متوسط از سال ۱۹۷۵ تاکنون با روش‌های مختلفی انجام شده است:

۱-۳-۱-۱ روش های ابتکاری

اولین مقاله در مورد بازآرایی مربوط به کار مرلین و بک[3] [۱] در سال ۱۹۷۵ می‌باشد که جستجو را با بستن همهٔ کلیدها و تشکیل یک شبکه غربالی آغاز می‌کرد. سپس کلیدهای مناسب یکی پس از دیگری باز می‌شدند تا شبکه به حالت شعاعی برسد. با روش ارائه شده شکل نهایی شبکه مستقل از حالت اولیه شبکه است. اما روش ارائه شده معایبی همچون در نظر گرفتن بار به صورت بار اکتیو خالص، نادیده گرفتن زاویه ولتاژ و محدودیت های شبکه را داشت.

در [۲] روشی ارائه شد که علاوه بر داشتن مزایای روش مرلین و بک از معایب روش‌های آنها اجتناب کرده بود. در این روش بار به صورت اکتیو و راکتیو در نظر گرفته شد. همچنین برای بدست آوردن جواب از زوایای ولتاژها و محدودیت‌هایی مانند حدود مجاز حرارتی و حدود مجاز ولتاژ استفاده شد.

در [۳] روش تعویض شاخه گسترش داده شد. در این روش کاهش تلفات با انتخاب دو زوج کلید، که یکی برای باز شدن و یکی برای بسته شدن به طوری که شبکه حالت شعای خود را حفظ می‌کرد، بدست می‌آمد. در این روش بازآرایی نهایی شبکه به حالت اولیه شبکه بستگی داشت بنابراین بهینه‌سازی تضمین نمی‌شد. همچنین انتخاب دو کلید برای باز و بسته شدن زمان زیادی می‌برد.

نویسندگان در [۴] روش ابتکاری بر مبنای تعویض شاخه به منظور کاهش تلفات و متعادل کردن بار معرفی کردند. در این تحقیق دو پخش بار تقریبی با درجات مختلفی از دقت مورد استفاده قرار گرفت. در این روش به خاطر ترکیبات پیچیده در سیستم‌های بزرگ، زمان محاسبات طولانی بود و همچنین به خاطر همگرایی محلی، بهینه‌سازی سراسری تعیین نمی‌شد.

---

[1] Heuristic optimization methods
[2] Rulbase
[3] Merlin and Back

در [۵] یک مجموعه قوانین ابتکاری جدید برای مسئله بازآرایی سیستم‌های توزیع تعریف شد. قوانین با هدف کاهش تلفات توسعه داده شدند و در عین حال تلاش داشتند تا حالت کلیدزنی در سطح مناسبی باشد. روش پیشنهادی یک پیش پردازش به کار می‌گیرد تا کلیدزنی نامناسب را بدون نیاز به محاسبات پیچیده پخش بار حذف کند.

در [۶] از ترکیب روش‌های تعویض کلید و روش باز کردن کلید به صورت متوالی برای بازآرایی شبکه به منظور کاهش تلفات استفاده شد. روش تعویض کلید یک کلید را می‌بندد و دیگری را در همان حلقه باز می‌کند. روش باز کردن پی‌درپی کلید به این صورت است که همه کلیدها در شروع بسته می‌شوند و پخش بار بهینه بدست می‌آید و سپس با باز کردن کلیدهای که حداقل جریان را دارند، بازآرایی بهینه بدست می‌آید. روش تعویض کلیدها به زمان محاسبات کمتری نیاز دارد و روش باز کردن پی‌درپی کلید مستقل از شکل آغازی شبکه است. بنابراین روش ارائه شده منجر به بهینه سازی واقعی می‌شود.

مرجع [۷] الگوریتم بازآرایی را پیشنهاد می‌کند که در آن الگوی کلید به عنوان تابعی از زمان معرفی می‌شود (برحسب اینکه مطالعات روزانه باشد یا فصلی). اگر بازآرایی برای مطالعات روزانه مدنظر باشد فقط کلیدهای اتوماتیک مورد مطالعه قرار می‌گیرند اما اگر بازآرایی برای مطالعات فصلی مدنظر باشد هر دو کلیدهای اتوماتیک و دستی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

در [۸] یک الگوریتم موثر برای بازآرایی سیستم های واقعی بزرگ نامتعادل ارائه شد که هدفش تغییر پیکره‌بندی شبکه به منظور متعادل کردن بار و کاهش تلفات در برابر تغییرات بار بود.

[۹] الگوریتمی بر مبنای قسمت‌بندی شبکه به گروه‌هایی از باس‌های بار پیشنهاد می‌کند آنچنان که تلفات خط بین گروه گره‌ها حداقل شود. روش ارائه شده بر محدودیت اندازه شبکه که توسط روش‌های بازآرایی تحمیل می‌شود غلبه می‌کرد. با تقسیم شبکه به باس‌های بار، بر طبیعت ترکیبی مسئله بازآرایی غلبه شده و همزمان تلفات کاهش می‌یابد.

در [۱۰] باس‌ها و خطوط توزیع به وسیله ماتریس‌های مجاورت و پیش‌رو نمایش داده شده‌اند. سه الگوریتم برای حل مسائل بازآرایی استفاده شده است. الگوریتم اول ماتریس ادمیتانس را برای یک فیدر مشخص می‌کند. الگوریتم دوم شکل شبکه شعاعی حداقل به‌دست آورده می‌شود. و الگوریتم سوم داده‌های شبکه را به‌هنگام می‌کند.

نویسندگان در [۱۱] تلاش می‌کنند تا یک توصیف آنالیزی و فهم سیستماتیک در مورد روش بهینه‌سازی تک حلقه از طریق آنالیز مقداری تامین کنند. علاوه بر این یک طرح ساده و موثر برای محاسبه پخش بار و تعیین تلفات در شبکه پس از تعوض کلید در یک حلقه ارائه کردند.

اثر نامتعادلی بار روی حداقل کردن تلفات در [۱۲] بررسی شده است. نویسندگان در این مقاله به منظور کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع نامتعادل، الگوریتم ابتکاری معرفی کردند. این روش گسترش روشی است که در [۱۳] برای حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات ارائه شد.

در [۱۴] روش حل ارائه شده [۴] که به مقدار زیادی محاسبات پخش بار نیاز داشت را اصلاح کرد. این روش یک روش محاسبات غیرتکراری ساده شده است که اجازه می‌دهد توان‌های جاری و ولتاژهای باس با دقت قابل قبول محاسبه شوند.

در [۱۵] یک ابزار حمایتی تصمیم‌گیری با استفاده از ترکیب تکنیک‌های بهینه‌سازی با قوانین ابتکاری و روش منطق فازی برای موثر و مقاوم بودن بازآرایی سیستم‌های توزیع ارائه شده است.

در [۱۶] یک روش جدید برای بازآرایی شبکه‌های توزیع به منظور حداقل کردن تلفات ارائه کردند که در آن الگوریتم از شاخص کلیدزنی برای رسیدن به منظور عملکرد مناسب کلیدزنی استفاده می‌کند. در این مقاله شاخص‌های کلیدزنی بر اساس افت ولتاژ شاخه‌ها و محدودیت‌های خط تعریف می‌شوند. در حالت نرمال، کلید-های هر حلقه که دارای شاخص بزرگتری هستند برای کلیدزنی انتخاب می‌شوند.

مرجع [۱۷] تکنیک اندازه گیری فاصله بر مبنای الگوریتم تعویض شاخه را برای متعادل کردن بار توسط بازآرایی معرفی می کند. این روش بر مبنای دو مرحله بنا نهاده شده است. اول استفاده از نمایش گرافیکی برای تعیین حلقه‌ای که بیشترین بهبودی را در متعادل کردن بار دارد. سپس عملکرد کلیدزنی می‌تواند در حلقه‌ای که بیشترین بهبود را در متعادل کردن بار دارد، اجرا شود.

در [۱۸] روش موثری برای تعیین کردن شکل بهینه شبکه برای حداقل کردن تلفات ارائه شده است. در شروع این روش، همهٔ حالت های کلیدزنی ممکن بدست آمده از ترکیب کلیدهای بسته و دو کلید همسایه انتخاب شده و ترکیبات غیرممکن در این انتخاب حذف می‌شوند. شکل تلفات حداقل در ترکیبات انتخاب شده مشخص می‌شود و سرانجام یک جستجوی جامع به وسیله تغییر پی‌درپی حالت‌های کلید بدست می‌آید و شکل با حداکثر کاهش تلفات بدست می‌آید.

در [۱۹] یک روش استدلال محور ابتکاری- فازی برای بازآرایی چند منظوره معرفی شد. در این مقاله تابع هدف-هایی مانند کاهش تلفات، تعادل بار، بهبود پروفایل ولتاژ و حداقل عملکرد کلیدها به طور همزمان در نظرگرفته شده است. یکی از مشکلاتی که این روش داشت ظاهر شده بود نادیده گرفتن شکل‌هایی بود که فیدرهای شعاعی را نمایش می‌داد.

در مرجع [۲۰] یک روش جدیدی ارائه شد که هدف آن کاهش تلفات اکتیو بدون انجام هیچگونه پخش باری بود اما در عین حال محدودیت‌ها را نیز در نظر می‌گرفت. حالت همه شاخه‌ها در شبکه را در نظر می‌گرفت و همزمان بعضی تقریبات برای کاهش زمان محاسبات معرفی می‌کرد. ایده اصلی شامل تعریف کردن متغیرهای باینری برای مدل کردن ساختار شبکه و استفاده از آن برای مسائل بهینه سازی است. در این روش هیچ پخش باری نیاز نیست چون تلفات شبکه با عبارات روابط بسیار ساده که از توان عبوری هر شاخه بدست می‌آید مدل می‌شود.

در [۲۱] جمعی از دو الگوریتم برای حل مسئله بازآرایی شبکه‌های توزیع معرفی شد: در الگوریتم اول ابتدا یک ماتریس جریان تزریقی از باس به شاخه BIBC[1] سه فاز بر پایه ساختار توپولوژی سیستم توزیع برای تعیین ارتباط بین جریان باس‌ها و شاخه‌ها، تشکیل می‌شود. ولتاژ همه باس‌ها، طی یک فرآیند تکراری با استفاده از

[1] bus-injection to branch-current matrix

ماتریس BIBC محاسبه می‌شود. در الگوریتم دوم نیز با توجه به ولتاژ باس‌ها تلفات توان شبکه شعاعی محاسبه می‌شود.

مرجع [۲۲] روشی ارائه کرد که دیماند متغییر را برای بحث در مورد کاهش تلفات در دوره برنامه ریزی در نظر می‌گرفت. فرمول‌بندی‌ها هم برای بار متغییر و هم بار ثابت ارائه شد. ساختار این مقاله شامل آنالیز با دقتی از مسئله کاهش تلفات و همچنین دو الگوریتم ابتکاری برای بازآرایی شبکه‌های توزیع است.

در [۲۳] یک روش ابتکاری براساس پخش بار بهینه پیشنهاد شد که در آن حالت‌های کلیدهای شاخه با توابع پیوسته جایگزین می‌شوند. این روش با شروع شبکه به صورت مش آغاز می شود و با باز شدن کلیدها به صورت پی‌درپی به سمت حذف تلفات پایان می‌پذیرد.

در [۲۴] از روش بازکردن کلیدهای پی‌درپی که در گذشته برای بازیابی سرویس پس از وقوع خطا ارائه شده بود، برای حداقل کردن تلفات استفاده شده است. این روش برمبنای پخش توان به جای پخش جریان بنا نهاده شده است. شکل نهایی شبکه از باز کردن خطی (کلیدی) در یک حلقه اساسی که حداقل توان جاری مقاومتی را دارد به منظور رسیدن شبکه به حداقل تلفات بدست می‌آید.

در [۲۵] انجام بازآرایی براساس بهبود پایداری و پروفایل ولتاژ ارائه کرد. در انجام این بازآرایی ابتدا شاخص پایداری ولتاژ تعریف می‌شود. سپس با یک روش ابتکاری ساختاری از شبکه که بیشترین شاخص پایداری ولتاژ را دارد جستجو می‌شود. در این مقاله علاوه بر افزایش شاخص پایداری ولتاژ، کاهش تلفات نیز جستجو شده است.

در [۲۶] از یک روش ابتکاری که بر اساس آنالیز حساسیت و تعویض شاخه بنانهاده شده است، برای کاهش تلفات در سیستم‌های توزیعی که دارای تولید پراکنده هستند استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی شامل دو مرحله است. در مرحله اول از حساسیت تلفات توان حقیقی نسبت به ادمیتانس شاخه‌ها برای تصمیم‌گیری این که کدام کلید باید بسته شود استفاده می‌شود. در مرحله دوم از روش تعویض شاخه برای بهبود جواب استفاده می‌شود.

۱-۳-۱-۲ روش ذوب شدن فلزات [1]

این الگوریتم فرایند ذوب فلزات را شبیه سازی می‌کند. معادل الگوریتمی این فرایند به این صورت است که ابتدا مقادیر متغییرهای تابع هزینه به صورت تصادفی حدس زده می‌شوند. سپس فرایند حرارت شبیه سازی می‌شود. برای اینکار به طور تصادفی مقادیر متغیرها تغییر داده می‌شوند. هرچه حرارت بیشتر باشد، تغییرات تصادفی بزرگتری حاصل می‌شود.

در [۲۷] روش ذوب فلزات برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی پیشنهاد شده است. الگوریتم ذوب فلزات می‌تواند از بهینه سازی محلی اجتناب کند ولی محاسبات طولانی دارد که برای فائق شدن بر این محدودیت، این روش اصلاح شده و تابع هزینه ها با ضریب جریمه مورد استفاده قرار گرفته است.

در [۲۸] الگوریتم ذوب فلزات را برای اجرای بهینه سازی سراسری پیشنهاد می‌کند که زمان محاسبات بالای آن، قابل قبول بودن آن را برای سیستم های واقعی محدود می‌کند.

[1] Simulated Annealing

در [۲۹] مسئله بازآرایی را برای کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم ذوب فلزات و پخش بار شعاعی پیشنهاد می-کند. روش ارائه شده توانایی اجتناب از به دام افتادن در حداقل سازی محلی را دارد.
در [۳۰] یک الگوریتم بهینه سازی تکاملی ترکیبی موثر مطابق با ترکیب روش الگوریتم مورچگان و سرد شدن فلزات برای حل مسئله بازآرایی در حضور تولیدات پراکنده ارائه شده است.

۱-۳-۱-۳ برنامه‌ریزی تکاملی[1]

این الگوریتم از مکانیزم‌های مختلفی استفاده می‌کند: تولید، جهش، ترکیب و انتخاب. راه حل‌های منتخب برای مسائل بهینه‌سازی نقش اجزا را ایفا می‌کنند و تابع هزینه از میان این اجزا و افراد، تصمیم می‌گیرد که چه راه-حل‌هایی باقی بمانند. تکامل جمعیت با بکار بردن موارد بالا همچنان ادامه می‌یابد تا به یک جواب بهینه برسد. استفاده از این روش به خاطر نرخ جهش ثابت، مقدار بهینه سراسری را منجر نمی‌شود.
در [۳۱] مسئله بازآرایی برای کاهش تلفات، متعادل کردن ولتاژ و تعادل بار فرمول‌بندی شده است. این فرمول‌ها ابتدا در مجموعه‌های فازی مدل شده‌اند تا ماهیت غیردقیق مجموعه‌های فازی را نشان دهد. سپس یک روش فازی بر مبنای برنامه‌ریزی تکاملی برای حل مسئله بازآرایی پیشنهاد می‌شود.
در [۳۲] الگوریتم برنامه‌ریزی دیفرانسیلی هیبریدی عدد صحیح بهبود یافته[2] برای مسئله بازآرایی پیشنهاد شده است. الگوریتم برنامه‌ریزی دیفرانسیلی یکی از روش‌های برنامه‌ریزی تکاملی است که ممکن است به بهینه‌سازی محلی منجر شود. برای غلبه بر بهینه‌سازی محلی جمعیت اولیه را بزرگتر انتخاب می‌کنیم که باعث افزایش زمان محاسبات خواهد شد. نمونه دیگری از الگوریتم برنامه‌ریزی دیفرانسیلی به نام برنامه‌ریزی دیفرانسیلی هیبریدی وجود دارد که با استفاده از عملگر مهاجرت بر این مشکل غلبه کرده است. الگوریتم برنامه‌ریزی دیفرانسیلی هیبریدی عدد صحیح علاوه بر فرار از بهینه‌سازی محلی و کاهش زمان محاسبات تضمین می‌کند که برازندگی از نسلی به نسل دیگر مقدار نزولی را دنبال کند.
در [۳۳] تابع هدف چند منظوره (تلفات توان، کیفیت ولتاژ، قابلیت اطمینان و تعداد کلیدزنی) با استفاده از مجموعه‌های فازی مدل شده است. سپس روش الگوریتم تکاملی برای حل مسئله چند منظوره محدود شده به کار گرفته شده است.
در [۳۴] برای بهبود اجرای الگوریتم تکاملی یک روش کد کردن جدید ، برای حل مسئله بازآرایی پیشنهاد شده است. این روش کدکردن برمبنای تئوری گراف بنانهاده شده است که از دو عملگر ژنتیکی برای بهبود کارایی استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی برای بازآرایی سیستم‌های بزرگ مناسب می‌باشد.

1Evolutionary Programming
2 mixed integer hybrid differential evolution

۱-۳-۱-۴ روش فازی[1]

این روش از قوانین منطقی استفاده می‌کند و به حل پخش بار نیاز ندارد. این روش مسائل بهینه سازی چند منظوره را نیز می‌تواند حل کند و بهینه سازی سراسری با یک زمان سریع را می‌توان بدست آورد. مشکل این روش در نگه داشتن شبکه به صورت شعاعی است.

در [۳۵] از کنترل کننده منطق فازی برای سازگار کردن احتمال جهش و تقاطع براساس تابع برازندگی استفاده شده است. مزیت اصلی سیستم‌های کنترل فازی بر دیگر روش‌های مرسوم، توانایی‌های مدل کردن جنبه‌های مقداری دانش انسانی، تخمین آزاد مدل، مقاوم بودن و سادگی در پیاده سازی است.

در [۳۶] الگوریتم ژنتیک جهش‌یافته فازی برای حل مسئله بازآرایی ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی با ماهیت ترکیبی مسئله بازآرایی به صورت گسسته رفتار می‌کند. در این روش در هر مرحله که عملگرهای ژنتیک اعمال می‌شوند، با استفاده از قوانین تئوری گراف شبکه در حالت شعاعی خود نگهداشته می‌شود. بنابراین تعداد راه‌حل-های غیرعملی کاهش یافته و سرعت رسیدن به جواب افزایش می‌یابد.

در [۳۷] روشی براساس هر دو برنامه‌ریزی چند منظوره فازی و الگوریتم ژنتیک برای بازآرایی شبکه ارائه کرد. کد گذاری گره‌ها براساس شماره گذاری پروفر در الگوریتم ژنتیک برای باقی ماندن شبکه در حالت شعاعی و ایزوله نشدن بارها صورت گرفته است.

در [۳۸] الگوریتم ژنتیک جهش یافته فازی پیشنهاد شده است که به طبیعت ترکیبی مسئله بازآرایی فائق می‌آید و به بهینه‌سازی چند منظوره فازی غیرپیوسته رسیدگی می‌کند. ویژگی جذاب این الگوریتم، نمایش مناسب حالت شعاعی شبکه بدون ایزوله شدن بارها و همگرایی مناسب این روش است.

۱-۳-۱-۵ شبکه‌های عصبی[2]

شبکه‌های عصبی در واقع شبیه سازی هوش انسان از طریق سازگار کردن تابع غیرخطی پیچیده است. در قدم اول ANN از شبکه‌های هوش مصنوعی برای تخمین و وارد کردن ساختار اولیه شبکه و سطح بار مطابق با شرایط بارِ بارهای مختلف در هر ناحیه استفاده می‌کند و سپس خروجی‌های سیستم از طریق پخش بار محاسبه می‌شوند. آموزش داده‌ها فقط به پاسخ ساختارهای اولیه متفاوت نیاز دارد.

در [۳۹] استفاده از شبکه‌های عصبی برای بازآرایی فیدر به منظور کاهش تلفات معرفی شده است. این روش توسعه یافته اختلاف اساسی با دیگر روش‌ها داشت که به انتقال بار و متعاقباً حل پخش بار در طول مدت فرایند، نیاز نبود. در این روش با آموزش شبکه‌های عصبی با استفاده از الگوهای مختلف به راه حل بهینه می‌توان دست یافت.

در [۴۰] شبکه عصبی هاپفیلد را برای مسئله بهینه سازی معرفی شده است. ویژگی اصلی این روش زمان محاسبات کم برای سیستم‌های بسیار بزرگ است. که البته نتایج این مقاله نشان می داد که در بهینه سازی به کمک روش شبکه مصنوعی هاپفیلد، الگوریتم به یک حل معتبر همگرا نمی‌شود.

---

1 Fuzzy logic method

2 Artificial Neural Network

۱-۳-۱-۶ سیستم های خبره[1]

سیستم‌های خبره برنامه‌هایی هستند که رفتار یک انسان متخصص در یک زمینه بخصوص را تقلید می‌کنند. این برنامه از اطلاعاتی که استفاده کننده در آن‌ها ذخیره می‌کند جهت اعلام یک عقیده در یک موضوع بخصوص استفاده می‌کند. از این‌رو سیستم‌های خبره تا هنگامی که بتوانند موضوعی را که با پاسخ‌های شما مطابقت داشته باشد بیابند به سوال کردن از شما ادامه می دهند.

در [۴۱] از یک سیستم مهارتی برای حل مسئله بازآرایی کمک گرفته شده است. در این روش از قوانین ابتکاری و تئوری گراف استفاده شد تا فقط راه حل‌های عملی بررسی شوند. انجام این کار منجر به کاهش فضای جستجو و در نتیجه کاهش زمان محاسبات می‌شد.

در [۴۲] برای حل مسئله بازآرایی به منظور متعادل کردن شبکه‌های توزیع از الگوریتم CPN و سیستم مهارتی استفاده شده است. الگوریتم PN یک مکانیسم استنتاجی قدرتمند است و با استفاده از نمایش گرافیکی به مدل کردن عملگرهای سیستم‌هایی که دارای زمان و حرکت هستند می‌پردازد. CPN نیز می‌تواند یک سیستم تصمیم-گیری را برای عمل کردن کلیدها فراهم کند. در این مقاله سیستم مهارتی با CPN[2] برای بدست آوردن شکلی از شبکه که بار شبکه‌های توزیع را بتواند متعادل کند پیشنهاد شده است.

۱-۳-۱-۷ روش پرندگان[3]

این الگوریتم از رفتار جمعی از حیوانات (مانند پرندگان و ماهی‌ها) الهام گرفته شده است. بهینه‌سازی گروه ذرات و الگوریتم ژنتیک پیوسته، از حیث اینکه هر دو کار خود را با یک جمعیت تصادفی آغاز می‌کنند مشابهند. اما برخلاف الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی گروه ذرات از عملگرهای تکاملی مثل ترکیب و جهش استفاده نمی‌کند. در این الگوریتم به هر سطر از یک ماتریس (معادل یک کروموزوم در الگوریتم ژنتیک) یک ذره گفته می‌شود که هر ذره با یک سرعت خاصی بر روی رویه هزینه گردش می‌کند و ذرات سرعت و موقعیت خود را براساس بهترین راه-حل‌های سراسری و محلی بهنگام می‌کنند. بهینه‌سازی گروه ذرات قادر به حل مسائلی است که دارای توابع هزینه دشوار با تعداد زیادی کمینه‌های محلی هستند.

در [۴۳] روشی بر مبنای بهینه سازی پرندگان برای تعادل بار معرفی شده است. این روش از رفتار اجتماعی مهاجرت گروه پرندگان که تلاش می‌کنند که به مقصد نامعلوم برسند الهام گرفته شده است. هر جواب یک پرنده در گروه است و به عنوان یک ذره بیان می شود. این روش در جستجوی راه حل‌های بهینه بسیار موثر است. در این مقاله از الگوریتم پرندگان برای متعادل کردن بار شبکه‌های توزیع استفاده شده است که نتایج این الگوریتم موفقیت آمیز بوده است.

در [۴۴] نوعی الگوریتم پرندگان که بر اساس کدهای باینری بنانهاده شده است، برای کاهش تلفات شبکه‌های توزیع معرفی شده است. به دلیل اینکه الگوریتم پرندگان مرسوم برای مسائل پیوسته طراحی شده است بنابراین

---

1 Expert system
2 cored perti net
3 Particle Swarm

ممکن است برای مسائل گسسته‌ای همچون بازآرایی کمتر مناسب باشد. در این مقاله الگوریتم پرندگان با کدهای باینری برای مسئله بازآرایی پیشنهاد شد که عملکرد بهتر نیز از خود نشان داده است.

در [۴۵] با استفاده از الگوریتم پرندگان روش جدیدی برای بازآرایی شبکه‌های توزیع که دارای تولید پراکنده هستند، پیشنهاد شده است. در این مقاله از معیارهای مناسبی برای کنترل توان‌های اکتیو و راکتیو واحد تولید پراکنده سیستم توزیع استفاده شده است. این معیارها شامل هزینه توان اکتیو تولید شده توسط واحد تولید پراکنده، هزینه توان اکتیو تولید شده توسط شرکت‌های توزیع، تعداد عملکرد کلیدها و میزان انحراف ولتاژ می‌باشند.

در [۴۶] از اصلاحاتی مانند استفاده از ضرایب وزنی برای الگوریتم پرندگان استفاده شده است. استفاده از این ضرایب این امکان را فراهم می‌کند که در شروع الگوریتم، فضای بزرگتری جستجو شود و رفته‌رفته این فضا کوچک‌تر شود. علاوه بر این از اصلاحاتی برای تعداد تکرارها و اندازه جمعیت استفاده شده است.

در [۴۷] از الگوریتم پرندگان با کدگذاری عدد صحیح برای حل مسئله بازآرایی استفاده شده است که در آن عددهای صحیح بیانگر کلیدهایی هستند که باید باز شوند. همانطور که قبلاً نیز گفته شد الگوریتم پرندگان ماهیت پیوسته دارد در حالی که مسئله بازآرایی یک مسئله گسسته است. الگوریتم پرندگان با کدگذاری عدد صحیح به الگوریتم پرندگان مرسوم ماهیتی گسسته می‌دهد. با اعمال این الگوریتم جواب‌های بهینه‌تر دست یافتنی است.

۱-۳-۱-۸ الگوریتم جستجوی تابو[1]

برای رسیدن به جواب بهینه در یک مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم جستجوی تابو ابتدا از یک جواب اولیه شروع به حرکت می‌کند. سپس الگوریتم بهترین جواب همسایه را از میان همسایه‌های جواب فعلی انتخاب می‌کند. در صورتی که این جواب در لیست ممنوعه قرار نداشته باشد، الگوریتم به جواب همسایه حرکت می‌کند. در غیر این صورت الگوریتم معیاری به نام معیار تنفس را چک خواهد کرد. بر اساس معیار تنفس اگر جواب همسایه از بهترین جواب یافت شده تا کنون بهتر باشد، الگوریتم به آن حرکت خواهد کرد.

در [۴۸] یک روش موثر و مقاوم بر مبنای تکنیک جستجوی تابو که از روش‌های مدرن است برای حل مسائل بازآرایی شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات معرفی شده است. در این روش راه‌حل‌هایی (مجموعه کلیدهایی) که منجر به شکستن محدودیت‌های مربوط به بازآرایی می‌شوند در لیست ممنوعه قرار می‌گیرند. سپس الگوریتم به سمت بهترین جواب‌های موجود حرکت داده می‌شود.

در [۴۹] برای حل مسئله بازآرایی از الگوریتم جستجوی تابوی موازی استفاده شده است. الگوریتم جستجوی تابوی موازی نمونه جدیدتر الگوریتم جستجوی تابوی است. در این روش فضای جستجو به زیرسیستم‌هایی تجزیه می‌شود. استفاده از الگوریتم جستجوی تابوی موازی موجب کاهش محاسبات و افزایش دقت در حل مسئله می‌شود. برای مثال اگر فضای جستجو به ۱۰ قسمت تقسیم شود، محاسبات به ۰/۱ کاهش می‌یابد. در این مقاله به وسیله این روش جواب‌های بهینه‌تری برای مسئله بازآرایی بدست آمده است.

---

[1] Tabu search