دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده برق و الکترونیک گروه قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد
در رشته برق گرایش قدرت و سیستم‌های انرژی

عنوان پایان نامه

توزیع اقتصادی بار برای نیروگاه‌های بخاری با در نظر گرفتن اثر شیر بخار بر مبنای استفاده از روشهای تکاملی

به وسیله:
حسن دعاگوی مجرد

استاد راهنما:
دکتر طاهر نیکنام

دی- ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

توزیع اقتصادی بار برای نیروگاه‌های بخاری با در نظر گرفتن اثر شیر بخار بر مبنای استفاده از روشهای تکاملی

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

توسط:

حسن دعاگوی مجرد

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه قدرت دانشکده برق و الکترونیک

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر طاهر نیکنام- دانشیار- گروه برق و الکترونیک (استاد راهنما).....
دکتر مجید نیری‌پور- استادیار- گروه برق و الکترونیک (استاد مشاور).....
دکتر محمد مردانه- استادیار - گروه برق و الکترونیک (داور۱).....
دکتر مختار شاصادقی- استادیار - گروه برق و الکترونیک (داور۲).....
دکتر بهروز صفری‌نژادیان- استادیار - گروه برق و الکترونیک (نماینده تحصیلات تکمیلی).....

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

تقدیم به

پدر عزیز و مادر

دلسوزم

برادر و خواهر مهربانم

سپاسگزاری

سپاس خدا را که هرچه هست از اوست.

برخود لازم می‌دانم از پدر و مادر عزیزم به خاطر تمامی زحماتی که برای اینجانب کشیده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

تقدیر و تشکر فراوان از جناب آقای دکتر نیکنام استاد راهنمای ارجمند اینجانب که با راهنمایی‌ها و تشویق‌های دلسوزانه خود، راه را برای اجرا و اتمام این پایان نامه فراهم نمودند.

سپاسگزار همه‌ی استادان و معلمانی هستم که مرا از باغ دانش خود ثمری دادند.

چکیده

عنوان پایان نامه

توزیع اقتصادی بار برای نیروگاه‌های بخاری با در نظر گرفتن اثر شیر بخار بر مبنای استفاده از روشهای تکاملی

به وسیله‌ی

حسن دعاگوی مجرد

چکیده مطالب پایان نامه- توزیع اقتصادی بار نقش مهمی را در بهره برداری سیستم‌های قدرت مدرن امروزی ایفا می‌نماید. هدف اصلی در این مسئله، کمینه کردن هزینه سوخت واحدهای تولیدی با درنظر گرفتن محدودیت‌های تساوی و نامساوی می‌باشد. توزیع افتصادی بار یک مسئله بهینه سازی ناهموار می‌باشد در صورتی که در تابع هزینه سوخت اثر شیر بخار، مناطق ممنوعه و اثر چند سوختی در نظر گرفته شود. برای حل این مسائل روش‌های بهینه سازی تکاملی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. الگوریتم اجتماع ذرات یکی از این روش‌هاست که از حرکت دسته جمعی انواع پرندگان یا ماهیان الهام گرفته است. این الگوریتم وابستگی شدیدی به پارامترهایش دارد و اغلب به نقاط بهینه محلی همگرا می‌شود. به منظور حل این مشکلات در این تحقیق از یک عملگر جهش جدید استفاده شده است. همچنین پارامترهای داخلی الگوریتم را با استفاده از سیستم‌های فازی بر مبنای اگر- آنگاه تنظیم می‌شود. بنابراین روش جدیدی تحت عنوان اجتماع ذرات فازی اصلاح شده برای حل مسائل غیرمحدب توزیع اقتصادی بار پیشنهاد شده است. به منظور اعتبار سنجی روش پیشنهاد شده بر روی چندین سیستم تست پیاده سازی می‌شود. نتایج بدست آمده توانایی بالای روش را نشان می‌دهد.

توزیع اقتصادی بار نمی‌تواند نیازمندی‌های زیست محیطی را برآورده سازد. مسئله توزیع اقتصادی- آلودگی بار هر دو تابع هدف هزینه سوخت و آلودگی را به منظور رسیدن به یک مصالحه بهینه در نظر می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه وجود دارد. در این تحقیق از یک روش تعامل فازی برای حل مسئله دو هدفه توزیع اقتصادی- آلودگی بار استفاده شده است. به علاوه از الگوریتم پیشنهادی با محتوای پرتو بهینه نیز برای حل این مسئله استفاده شده است. سرانجام از دو سیستم استاندارد IEEE و یک سیستم تست با ابعاد بزرگ برای ارزیابی روش پیشنهادی استفاده می‌نمائیم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- اهداف پایان نامه..... ۶

۱-۳- ساختار پایان نامه..... ۶

فصل دوم- بیان مسئله توزیع اقتصادی بار

۲-۱- مقدمه..... ۸

۲-۲- مسئله توزیع اقتصادی بار کلاسیک..... ۸

۲-۳- توابع هزینه سوخت غیر کلاسیک..... ۱۰

۲-۳-۱- اثر شیرهای بخار..... ۱۱

۲-۳-۱-۱-فرمولاسیون توزیع اقتصادی بار با در نظرگرفتن اثر شیر بخار..... ۱۱

۲-۳-۲- واحدهای با تغذیه چند سوختی..... ۱۲

۲-۳-۲-۱- فرمولاسیون توزیع اقتصادی بار با در نظرگرفتن واحدهای چند سوختی..... ۱۳

۲-۳-۳- مناطق ممنوعه..... ۱۴

۲-۳-۳-۱- فرمولاسیون توزیع اقتصادی بار با در نظرگرفتن اثر مناطق ممنوعه..... ۱۴

۲-۴- توزیع اقتصادی آلودگی..... ۱۵

۲-۴-۱- فرمولاسیون توزیع میزان آلودگی..... ۱۵

۲-۵- توزیع اقتصادی-آلودگی بار..... ۱۶

فصل سوم- روشهای بهینه‌سازی

۳-۱- شرح مسئله بهینه‌سازی..... ۱۹

۳-۱-۱- مسئله بهینه‌سازی تک هدفه..... ۱۹

۳-۱-۲- مسئله بهینه‌سازی چند هدفه..... ۱۹

۳-۲- روش تکرار لامبدا..... ۲۰

۳-۳- روش نیوتن..... ۲۱

۳-۴- روش گرادیان..... ۲۱

۳-۵- الگوریتم جستجوی پراکنده..... ۲۲

۳-۶- الگوریتم الگوی جستجوی ممنوع..... ۲۴

۳-۷- الگوریتم تکامل تفاضلی..... ۲۵

۳-۸- الگوریتم ژنتیک..... ۲۷

۳-۹- الگوریتم شبیه سازی سرد شدن..... ۲۸

۳-۱۰- روش‌های حل مسائل چندهدفه..... ۲۹

۳-۱۰-۱- روش ضرایب وزنی..... ۲۹

۳-۱۰-۲- روش ε-مقید..... ۳۰
۳-۱۰-۳- روش تعامل فازی..... ۳۱
۳-۱۰-۴- روش پرتو بهینه..... ۳۲

فصل چهارم- الگوریتم پیشنهادی اجتماع ذرات فازی اصلاح شده

۴-۱- مقدمه..... ۳۵
۴-۲- توضیح اجمالی الگوریتم اجتماع ذرات..... ۳۵
۴-۳- تنظیم ضرایب وزنی و یادگیری با استفاده از روش تطبیقی فازی..... ۳۸
۴-۳-۱- آشنائی با نظریه‌های فازی..... ۳۹
۴-۳-۱-۱- سیستم‌های استنباط فازی..... ۳۹
فازی سازی..... ۴۰
ساختار پایگاه قواعد فازی..... ۴۰
ترکیب خروجی‌ها..... ۴۰
غیر فازی سازی..... ۴۰
۴-۴- ترکیب الگوریتم اجتماع ذرات با عملگر تکاملی جهش..... ۴۵

فصل پنجم- پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی FAMPSO در مسائل توزیع اقتصادی بار

۵-۱- مقدمه..... ۴۸
۵-۲- شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهاد شده در مسئله ED با منحنی سوخت هموار..... ۵۳
۵-۲-۱- سیستم تست ۱..... ۵۳
۵-۳- شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهاد شده در مسئله ED با در نظرگرفتن اثر شیر بخار..... ۵۵
۵-۳-۱- سیستم تست ۲..... ۵۵
۵-۳-۲- سیستم تست ۳..... ۵۹
۵-۴- شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهاد شده در مسئله ED با در نظرگرفتن مناطق ممنوعه..... ۶۴
۵-۴-۱- سیستم تست ۴..... ۶۴
۵-۴-۲- سیستم تست ۵..... ۶۷
۵-۵- شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهاد شده در مسئله ED با در نظرگرفتن واحدهای چند سوختی..... ۷۱
۵-۵-۱- سیستم تست ۶..... ۷۱

فصل ششم- پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی FAMPSO در مسائل توزیع اقتصادی-آلودگی بار

۶-۱- مقدمه..... ۷۷
۶-۲- روش تعامل فازی..... ۷۷
۶-۲-۱- سیستم تست استاندارد IEEE با ۶ ژنراتور..... ۷۹
۶-۲-۲- سیستم تست استاندارد IEEE با ۱۴ ژنراتور..... ۸۴
۶-۲-۳- سیستم تست با ۴۰ ژنراتور..... ۸۹

فصل هفتم- مسئله توزیع اقتصادی-آلودگی بار با روش پرتو بهینه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی FAMPSO

۷-۱- مقدمه..... ۹۳
۷-۲- روش پرتو بهینه..... ۹۳
۷-۲-۱- سیستم تست استاندارد IEEE با ۶ ژنراتور..... ۹۵
۷ -۲-۲- سیستم تست استاندارد IEEE با ۱۴ ژنراتور..... ۹۸
۷ -۲-۳- سیستم تست با ۴۰ ژنراتور..... ۹۹

فصل هشتم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آینده

۸-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۰۲
۸-۲- پیشنهادات برای کارهای آینده..... ۱۰۳

مراجع

فهرست اشکال و نمودارها

شکل (۲-۱): منحنی هزینه سوخت برای ژنراتورها در حالت صاف و پیوسته..... ۹
شکل (۲-۲): منحنی هزینه سوخت برای ژنراتورها با ۵ شیر بخار..... ۱۱
شکل (۲-۳): منحنی هزینه سوخت برای ژنراتورها با سه نوع سوخت..... ۱۲
شکل (۲-۴): منحنی هزینه سوخت ناپیوسته با در نظر گرفتن مناطق ممنوعه..... ۱۴
شکل (۳-۱): توابع عضویت برای توابع هدف..... ۳۱
شکل (۴-۱): مدل‌سازی الگوریتم اجتماع ذرات..... ۳۵
شکل (۴-۲): اساس کار الگوریتم PSO..... ۳۷
شکل (۴-۳): توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی سیستم فازی..... ۴۲
شکل (۴-۴): توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی سیستم فازی برای تعیین ضرایب یادگیری..... ۴۳
شکل (۵-۱): فلوچارت برآورده سازی قیود تساوی و نامساوی..... ۵۰
شکل (۵-۲): فلوچارت پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهاد شده..... ۵۲
شکل (۵-۳): نمودار همگرایی الگوریتم‌های FAMPSO ، FAPSO و PSO..... ۵۷
شکل (۵-۴): توزیع مقادیر تابع هزینه سوخت را برای ۲۰ تکرار مستقل با الگوریتم FAMPSO ۵۸
شکل (۵-۵): نمودار همگرایی الگوریتم‌های FAMPSO ، FAPSO و PSO ۶۲
شکل (۵-۶): توزیع هزینه‌های سوخت بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی برای ۲۰ تکرار مجزا..... ۶۳
شکل (۵-۷): نمودار همگرایی برای سیستم تست ۴ با الگوریتم‌های FAMPSO ، FAPSO و PSO.... ۶۶
شکل (۵-۸): نمودار همگرایی الگوریتم‌های FAMPSO ، FAPSO و PSO..... ۷۰
شکل (۵-۹): نمودار همگرایی الگوریتم‌های FAMPSO ، FAPSO و PSO..... ۷۳
شکل (۵-۱۰): توزیع مقادیر تابع هزینه سوخت را برای ۵۰ تکرار مستقل با الگوریتم FAMPSO ۷۳
شکل (۶-۱): دیاگرام تک خطی سیستم استاندارد IEEE با ۶ ژنراتور و ۳۰ باس..... ۸۰
شکل (۶-۲): همگرایی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از روش min-max..... ۸۴
شکل (۶-۳): دیاگرام تک خطی سیستم استاندارد IEEE با ۱۴ ژنراتور و ۱۱۸ باس..... ۸۵
شکل (۷-۱): شماتیک ساده چرخ گردان رولت..... ۹۴
شکل (۷-۲): منحنی پرتو بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی FAMPSO..... ۹۵
شکل (۷-۳): منحنی پرتو بدست آمده توسط الگوریتم MPSO..... ۹۶
شکل (۷-۴): منحنی پرتو بدست آمده توسط الگوریتم FAPSO..... ۹۶
شکل (۷-۵): منحنی پرتو بدست آمده توسط الگوریتم PSO ۹۷
شکل (۷-۶): منحنی پرتو بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی ۹۸
شکل (۷-۷): منحنی پرتو بدست آمده توسط الگوریتم PSO ۹۹
شکل (۷-۸): منحنی پرتو بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی FAMPSO..... ۱۰۰

فهرست جداول

جدول (۴-۱): قواعد فازی تصحیح ضریب وزنی..... ۴۲
جدول (۴-۲): قواعد فازی انتخاب ضریب یادگیری c_1 ..... ۴۴
جدول (۴-۳): قواعد فازی انتخاب ضریب یادگیری c_2 ..... ۴۴
جدول (۴-۴): مقایسه بین نتایج الگوریتم پیشنهادی با روشهای دیگر..... ۴۶
جدول (۵-۱): اطلاعات ضرایب تابع هزینه سوخت شبکه ۲۰ ژنراتوری..... ۵۳
جدول (۵-۲): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر..... ۵۴
جدول (۵-۳): توزیع بهینه بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی..... ۵۴
جدول (۵-۴): اطلاعات مربوط به ضرایب تابع هزینه سوخت واحدها..... ۵۵
جدول (۵-۵): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر در حالت ۱۸۰۰ MW..... ۵۶
جدول (۵-۶): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر در حالت ۲۵۲۰ MW..... ۵۸
جدول (۵-۷): توزیع بهینه بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی برای هر دو میزان بار..... ۵۹
جدول (۵-۸): اطلاعات مربوط به ضرایب تابع هزینه سوخت برای ۴۰ ژنراتور..... ۶۰
جدول (۵-۹): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر..... ۶۱
جدول (۵-۱۰): توزیع اقتصادی توان بین واحدهای نیروگاهی توسط الگوریتم پیشنهادی..... ۶۳
جدول (۵-۱۱): اطلاعات مربوط به منحنی هزینه سوخت و محدوده توان واحدهای تولیدی..... ۶۴
جدول (۵-۱۲): محدوده‌های مناطق ممنوعه برای ۶ ژنراتور..... ۶۵
جدول (۵-۱۳): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر..... ۶۵
جدول (۵-۱۴): توان خروجی بدست آمده برای واحدها..... ۶۷
جدول (۵-۱۵): مشخصات کلی ضرایب ژنراتورها و محدوده‌های توان تولیدی..... ۶۷
جدول (۵-۱۶): محدوده‌های مناطق ممنوعه برای ۴ واحد تولید توان..... ۶۸
جدول (۵-۱۷): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر..... ۶۹
جدول (۵-۱۸): توزیع بهینه اقتصادی توان بین واحدهای نیروگاهی..... ۷۰
جدول (۵-۱۹): اطلاعات مربوط به منحنی هزینه سوخت، نوع سوخت و محدوده توان واحدهای تولیدی..... ۷۱
جدول (۵-۲۰): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر..... ۷۲
جدول (۵-۲۱): خروجی توان تولیدی ۱۰ ژنراتور به همراه نوع سوخت مصرفی..... ۷۴
جدول (۵-۲۲): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر برای تغییر میزان بار..... ۷۴
جدول (۵-۲۳): خروجی توان تولیدی ۱۰ ژنراتور به همراه نوع سوخت مصرفی با تغییر بار..... ۷۵
جدول (۶-۱): مشخصات ضرایب هزینه سوخت ژنراتورها و محدوده‌های توان تولیدی..... ۷۹
جدول (۶-۲): مشخصات ضرایب تابع آلودگی ژنراتورها..... ۷۹
جدول (۶-۳): بهترین نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی بر روی توابع هدف به صورت جداگانه..... ۸۱
جدول (۶-۴): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر برای تابع هزینه سوخت و آلودگی..... ۸۲
جدول (۶-۵): تغییر مقدار مرجع تابع آلودگی..... ۸۲
جدول (۶-۶): تغییر مقدار مرجع تابع هزینه سوخت..... ۸۳

جدول (۶-۷): مشخصات ضرایب هزینه سوخت ژنراتورها و محدوده‌های توان تولیدی.....۸۶
جدول (۶-۸): مشخصات ضرایب تابع آلودگی برای آلودگی از نوع دی اکسید سولفور ۸۶
جدول (۶-۹): بهترین نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی بر روی توابع هدف به صورت جداگانه.....۸۷
جدول (۶-۱۰): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر برای تابع هزینه سوخت و آلودگی.....۸۸
جدول (۶-۱۱): تغییر مقدار مرجع تابع آلودگی.....۸۸
جدول (۶-۱۲): تغییر مقدار مرجع تابع هزینه سوخت.....۸۸
جدول (۶-۱۳): مشخصات ضرایب تابع آلودگی ژنراتورها.....۸۹
جدول (۶-۱۴): بهترین نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی بر روی توابع هدف به صورت جداگانه.....۹۰
جدول (۶-۱۵): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش‌های دیگر برای تابع آلودگی.....۹۱

فهرست نشانه‌های اختصاری

C	کل هزینه تولید
$F_i(P_{gi})$	تابع هزینه سوخت i امین واحد
P_{gi}	توان خروجی i امین ژنراتور
Ng	تعداد ژنراتورهای در حال بهره برداری سیستم
a_i, b_i, c_i	ضرایب تابع هزینه سوخت واحد i ام
P_D	میزان بار تقاضا شده از شبکه
P_L	تلفات خط
B_{ij}, B_{oi}, B_{oo}	ضرایب ماتریس تلفات سیستم
P_{gmin}	توان کمینه واحد تولیدی
P_{gmax}	توان بیشینه واحد تولیدی
P_{gi}^k	توان تولیدی واحد i ام در ساعت قبل
DR_i	محدودیت کاهشی نرخ شیب واحد i ام
UR_i	محدودیت افزایشی نرخ شیب واحد i ام
f_i ، e_i	ضرایب موقعیت شیر iامین ژنراتور
$a_{i,t}, b_{i,t}, c_{i,t}$	ضرایب i امین ژنراتور برای نوع سوخت t ام
$P_i^{LB_Z}$	کمترین مقدارتوان Z امین بازه منطقه ممنوعه i امین واحد نیروگاهی
$P_i^{UB_Z}$	بیشترین مقدارتوان Z امین بازه منطقه ممنوعه i امین واحد نیروگاهی
$E_i(P_{gi})$	تابع آلودگی سوخت i امین ژنراتور
$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \xi_i, \lambda_i$	ضرایب تابع آلودگی سوخت واحد i ام
h_i ، g_i	قیود نامساوی و مساوی
X	بردار متغیرهای کنترلی
n	تعداد توابع هدف
m	تعداد قیود نامساوی و مساوی
H	ماتریس هسیان یا ژاکوبین تابع f(x)
$-\Delta f(x^k)$	راستای حرکت
$H(x^k)$	گام حرکت
$\nabla f(x)$	بردار گرادیان کاهش یافته
α	معرف شرط همگرائی
$N_{initial}$	تعداد سطر جمعیت اولیه
$rand(1,n)$	اعداد تصادفی به بعد n بین صفر و یک
β	ثابت جهش
X_{z1}, X_{z2}, X_{z3}	بردارهای تصادفی انتخابی از جمعیت
X_{mut}	بردار جهش
$crossover$	ثابت تقاطع

X_{new}	بردار جدید ساخته شده از جهش و تقاطع
T	دمای محیط
$\mu_{fi(X)}$	تابع عضویت i امین تابع هدف
$\mu_{r,i}$	مقدار مرجع i امین تابع هدف
$N\mu(j)$	بردار نرمالیزه شده فازی
$N_{repository}$	تعداد جمعیت موجود در ذخیره کننده
X	بردار مختصات موقعیت ذرات
Velocity	بردار مختصات سرعت ذرات
P_{best}	بهترین تجربه جمعی
G_{best}	بهترین تجربه شخصی
ω	ضریب وزنی
c_2, c_1	ضرایب یادگیری
P_{bad}	بدترین تجربه‌های بدست آمده
$\omega_{\max}$	ضریب وزنی ماکزیمم
$\omega_{\min}$	ضریب وزنی مینیمم
$Iter_{\max}$	ماکزیمم تکرار
$Iter$	شمارنده تکرار
FV	بهترین جواب بدست آمده در هر مرحله اجرا
$\mathrm{FV}_{\max}$	بهترین جواب موردنظر
$\mathrm{FV}_{\min}$	بدترین جواب موردنظر
$\Delta\omega$	تصحیح در ضریب وزنی
k	شماره تکرار جاری
$X^k_{mut,i}$	i امین بردار جهش ساخته شده در تکرار K ام
$x^k_{mut,i}$	درایه i ام بردار جهش ساخته شده در تکرار K ام
$x^k_{swarm,i}$	درایه i ام بردار ذرات در تکرار K ام
$x^k_{new,i}$	درایه i ام بردار جدید ساخته شده در تکرار K ام
$rand(.), rand1(.), rand2(.)$	عدد تصادفی بین ۰ و ۱
N_{swarm}	تعداد اعضا (ذرات)
$f_{\max}, f_{\min}$	محدوده مینیمم و ماکزیمم توابع هدف

فهرست نمادهای اختصاری

ED	Economic Load Dispatch
POZ	Prohibited Operating Zone
DP	Dynamic Programming
PSO	Particle Swarm Optimization
ACO	Ant Colony Optimization
DE	Differential Evolutionary
TS	Tabu Search
GA	Genetic Algorithm
EP	Evolutionary Programming
LP	Linear Programming
EED	Economic/Emission Dispatch
SA	Simulated Anealing
SQP	Sequential Quadratic Programming
FAMPSO	Fuzzy Adaptive Modified PSO
BBO	Biogeography-Based Optimization
MPSO	Modified PSO
FAPSO	Fuzzy Adaptive PSO
FAPSO-NM	Fuzzy Adaptive PSO-Nelder Mead
DSPSO–TSA	Distributed Sobol PSO and TSA
DEC-SQP	Chaotic DE and SQP
SOHPSO	Self-Organizing Hierarchical PSO
NPSO-LRS	New PSO-Local Random Search
SOMA	Self-Organizing Migrating Algorithm
CSOMA	Cultural SOMA
SCA	Society-Civilization Algorithm
CSO	Civilized Swarm Optimization
ARCGA	Adaptive Real Coded Genetic Algorithm
MOSST	Multi-Objective Stochastic Search Technique
SPEA	Strength Pareto Evolutionary Algorithm
FCPSO	Fuzzy Clustering-based PSO
NSGA	Non-dominated Sorting GA
MO-DE/PSO	Multi-objective Optimization algorithm based on PSO and DE
NPGA	Niched Pareto GA
BFA	Bacterial Foraging optimization Algorithm

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

توزیع اقتصادی بار[1] یکی از موضوعات مهم در زمینه مدیریت و بهره برداری سیستم‌های قدرت به شمار می‌رود. هدف از توزیع بهینه یا اقتصادی بار در واقع تخصیص تولید بین واحدهای در مدار سیستم (فعال) می‌باشد به نحوی که همزمان با تامین تقاضای بار، حدود تولید، نواحی کار ممنوع، سایر محدودیت‌های نیروگاه‌ها در نظر گرفته شده و با لحاظ تلفات شبکه انتقال، هزینه کل تولید در هر بازه زمانی و برای شرایط بار پیش بینی شده، حداقل گردد [۱].

امروزه با توجه به روند رو به رشد بار و بالا بودن هزینه های تولید انرژی الکتریکی، افزایش تقاضای انرژی الکتریکی و محدودیت در نصب واحدهای جدید نیروگاهی، نیاز به بهره برداری بهینه از واحدهای موجود در جهت کاهش هزینه های بهره برداری به شدت احساس می شود.
مسئله توزیع اقتصادی بار هنگامی مطرح است که واحدهای موجود در مدار، معلوم بوده و بخو اهیم ببینیم که برای تامین بار مورد نیاز شبکه و ذخیره چرخان مورد نیاز، هریک از واحدهای موجود در مدار چه توانی را تولید کنند تا هزینه سوخت کل واحدها حداقل شود. اما باید توجه داشت که در شبکه واقعی، همواره بار مورد نیاز شبکه در حال تغییر است. لذا باید تعیین شود که بهتر است که چه ترکیبی از واحدها در مدار قرار گیرند تا علاوه بر تامین بار مورد نیاز شبکه در کلیه مراحل دوره زمانی مورد مطالعه ، در پایان دوره مورد نظر خط مشی بهینه حاصل گردد.

یکی از مهمترین مسائل روز بهینه سازی تولید انرژی، تعیین نحوه آرایش نیروگاه‌ها جهت تولید بار مصرفی در یک دوره کوتاه مدت (معمولا ۲۴ ساعت) است که از آن بعنوان مسئله مشارکت نیروگاه‌ها[2] یاد می شود . این مسئله بدلیل حجم زیاد محاسباتی و وسعت ابعاد در زمره مسائل دشوار قرار می‌گیرد . مسئله توزیع اقتصادی بار به عنوان زیر مجموعه مسئله مشارکت نیروگاه‌ها می‌باشد.
توزیع اقتصادی بار به صورت یک مسئله بهینه سازی با هدف مینیمم کردن تابع هزینه سوخت نیروگاه‌های بخاری بیان می‌شود.

تابع هزینه سوخت با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای مسئله به صورت مدل‌های ریاضی گوناگونی مطرح می‌شود. در مسائل توزیع اقتصادی بار اولیه، این تابع هزینه سوخت به صورت یک تابع درجه دوم[3] مدل شده است و تنها محدودیت‌های تامین تقاضای بار و حدود تولید در نظر گرفته شده است.
بعدها با اضافه شدن توربین‌های بزرگ به نیروگاه‌ها، مدل تابع هزینه سوخت از یک معادله درجه دوم پیوسته به یک تابع مرکب چند جمله‌ای و غیر محدب[4] تبدیل شد. در توربین‌های بخار بزرگ، شیرهای حرارتی به ترتیب با افزایش توان تولیدی ژنراتورها باز می‌شوند. هنگامیکه شیری در ابتدا باز می‌شود به علت زیاد شدن سریع تلفات دریچه بخار، نرخ افزایشی حرارتی به صورت ناگهانی زیاد می‌شود. این مدل به خاطر در نظر گرفتن قید شیر بخار[5] در تابع هزینه سوخت ناهمواری‌هایی را بوجود می‌آورد.

---
[1] Economic Load Dispatch-ED
[2] Unit Commitment-UC
[3] Smooth quadratic fuel cost function
[4] Non-convex
[5] Valve-point loading effect

تاکنون مطالعات و تحقیقات مختلفی برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار انجام شده است. به طور کلی روش‌های حل موجود را می توان در سه دسته کلی زیر جای داد:

دسته اول: روش های تحلیلی ریاضی

روش های تحلیلی و محاسباتی ریاضی و تکنیک های رایج در یافتن نقطه مینیمم توابع که اکثر آنها بر مبنای گرادیان و مشتق گیری می باشند از قبیل روش مرحله ای تکرار لامبدا، روش گرادیان، روش نقطه بهینه، عامل مشترک و ... .

مزیت این روش‌ها فراوانی روش‌های اثبات شده آنها و رسیدن به جواب بهینه ریاضی است. ولی این روش‌ها در حالتی که تابع هدف غیر خطی و یا مشتق پذیر نباشند، در یافتن نقطه بهینه دچار مشکل می‌شوند. بنابراین در حالتی که تابع هزینه سوخت را با درنظر گرفتن قید شیر بخار مدل می‌کنیم استفاده از این روش‌ها مناسب نیست.

در[۲]، Papageorgiou از روش برنامه ریزی غیر خطی[۱] در حل مسئله ED استفاده کرده است. تابع هزینه سوخت به صورت یک تابع درجه دوم مدل شده است. محدودیت مناطق ممنوعه[۲] که منجر به ناپیوستگی تابع هزینه سوخت می‌شود نیز در این مقاله در نظر گرفته شده است. برای فایق آمدن بر این محدودیت نویسنده از تکنیک تبدیل به نقاط صحیح[۳] و پیوسته استفاده کرده است.

در [۳]، Adhinarayanan از الگوریتم تکرار لامبدا استفاده کرده است. برای حل مشکل مناطق ممنوعه از روش میانگین گیری در بازه های جدا سازی استفاده نموده است.

دسته دوم: روش های برنامه پذیر[۴]

روش برنامه پذیر پویا الگوریتم منظمی می باشد که تمامی حالات ممکن برای مسئله را از روی یک اسلوب معین ارزیابی می کند.

این روش از این حیث که نیازی به مشتق گیری ندارد مناسب می‌باشد ولی با افزایش تعداد واحدهای نیروگاهی، زمان و حافظه مورد نیاز برای حل مسئله به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. در [۴] ED با تابع هزینه سوخت با درنظر گرفتن قید شیر بخار به کمک روش برنامه پذیر پویا حل شده است.

دسته سوم: استفاده از الگوریتم های تکاملی[۵]

الگوریتم تکاملی با ایجاد یک جمعیت اولیه که، هر عضو کاندیدایی از پاسخ مسئله می باشد، آغاز می گردد. با تغییر تصادفی اما هدفمند جمعیت اولیه، درهرتکرار، جمعیت جدیدی خلق می‌شود. مقدار تابع هدف به ازای هر عضو از جمعیت، معیار سنجش آن عضو می باشد. نهایتا با اتخاذ یک روش انتخاب، پاسخ‌های از متوسط به پایین، دور ریخته می‌شوند. مراحل مذکور با انتخاب پاسخ‌های بهتر در هر مرحله، تا زمانی که پاسخ بهتری در مسئله کشف نگردد تکرار می‌شوند. از آنجایی که الگوریتم‌های تکاملی برخلاف روش‌های ریاضی به شرایط اولیه، پیوستگی توابع هدف و همچنین عملگرهایی همچون مشتق و انتگرال وابستگی ندارند، بیشتر موردتوجه

[1] quadratic programming
[2] Prohibited Operating Zone-POZ
[3] mixed integer
[4] Dynamic Programming-DP
[5] Evolutionary Algorithm

قرار گرفته‌اند. هم چنین زمان و ابعاد حل مسئله تقریبا به صورت خطی با تعداد واحد ها افزایش می یابد که با وجود کامپیوترهای امروزی، انتخابی صحیح برای حل مسائل عملی توزیع اقتصادی بار به نظر می‌رسند.
از توانایی های بارز این الگوریتم ها می توان به استفاده از جستجوی احتمالی به جای روش‌های صریح و نیز یافتن کارآمدتر نقاط بهینه کلی به جای بهینه محلی نام برد.
برای مثال می‌توان از الگوریتم‌های اجتماع بهینه ذرات[1] (PSO)[۵] ، الگوریتم مورچگان[2] (ACO)[۶] ، الگوریتم تفاضل تکاملی[3] (DE) [۷]، روش تاگوچی[4] [۸] ، الگوریتم جستجو ممنوعه[5] (TS) [۹] و الگوریتم ژنتیک[6] (GA) [۱۰] در حل مسائل ED عملی نام برد.

اگرچه این الگوریتم‌های تکاملی همیشه تضمین رسیدن به جواب های بهینه کلی را نمی‌دهند اما در زمان معین و محدود، آنها اغلب با سرعت بیشتر به حل‌های نزدیک و یا زیر نقطه بهینه کلی می‌رسند. اما این روش‌ها از مشکلاتی از قبیل همگرایی سریع و یکنواختی جمعیت بعد از چند تکرار رنج می‌برند. برای حل این مشکلات در سال‌های اخیر از تکنیک‌های مختلفی به منظور تغییر در ماهیت استاندارد این الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. یکی از این تکنیک‌ها، ترکیب کردن این الگوریتم‌ها با همدیگر و یا ترکیب با روش‌های ریاضی می‌باشد.
برای مثال در [۱۱] و [۱۲] الگوریتم تکاملی ژنتیک با الگوریتم اجتماع ذرات و الگوریتم تفاضل تکاملی به منظور رسیدن به جواب های بهینه کلی ترکیب شده است. هدف از این ترکیب‌ها استفاده از پتانسیل‌های هر دو الگوریتم در حل مسائل ED می باشد.
در [۱۳] Somasundaram از ترکیب یک الگوریتم برنامه پذیر تکاملی[7] با روش برنامه پذیر خطی[8] در حل مسئله ED استفاده کرده است. الگوریتم EP در آغاز سرعت همگرایی بالایی دارد ولی بعد به شدت این سرعت کاهش می یابد. برای حل این مشکل، جواب های به دست آمده از EP بعد از چند تکرار به LP داده می شود.
در [۱۴] الگوریتم تفاضل تکاملی با روش برنامه پذیر پویا ترکیب شده است. الگوریتم DE، یک الگوریتم جستجوی تصادفی است و ساختار ساده ای دارد اما این الگوریتم ممکن است خیلی سریع به نقاط محلی همگرا شود.
در [۱۵] الگوریتم تفاضل تکاملی با مولد تکنیک برنامه ریزی درجه دو ترتیبی و رشته ای ترکیب شده تا پاسخ‌های مسئله توزیع اقتصادی بار را بهینه کند.
تکنیک رایج دیگر، استفاده از روش های مختلفی جهت بهبود در عملکرد الگوریتم های تکاملی می باشد.
در [۱۶] یک الگوریتم ژنتیک به کمک روش به روزرسانی افزایشی برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار با در نظر گرفتن کلیه قیود استفاده شده است. در [۱۷-۱۸] انواع مختلفی از الگوریتم های ژنتیک بهبود یافته برای حل مسئله ED به کار برده شده است. در مرجع [۱۹] یک الگوریتم جدید بهبود یافته، همراه با روش تاگوچی به کار رفته که این روش شامل کاربرد آرایه های متعامد برای تخمین گرادیان تابع هزینه می باشد.

[1] Particle Swarm Optimization-PSO
[2] Ant Colony Optimization-ACO
[3] Differential Evolutionary-DE
[4] Taughi method
[5] Tabu Search-TS
[6] Genetic Algorithm-GA
[7] Evolutionary Programming-EP
[8] Linear Programming-LP

به خاطر مفهوم ساده، پیاده سازی آسان، پارامتر های قابل تنظیم و همگرایی سریع، الگوریتم اجتماع ذرات (PSO) برای حل مسائل مختلف بهینه سازی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. با این وجود عملکرد الگوریتم PSO استاندارد مشابه الگوریتم های دیگر تکاملی نقاط ضعفی نیز دارد که می توان از وابستگی شدید به پارامترهای آن و افتادن در نقطه بهینه محلی نام برد. همچنین بعد از چند تکرار، الگوریتم دیگر قادر به یافتن نقطه بهینه کلی نمی باشد و دچار همگرایی دائمی در نقطه بهینه محلی می شود.
برای غلبه بر این مشکلات و بهبود عملکرد این الگوریتم، از یک عملگر جهش و همچنین روش تطبیقی برای تنظیم پارامترهای PSO استفاده شده است. این تغییرات الگوریتم PSO استاندارد را به یک الگوریتم کارآمد در حل مسائل توزیع اقتصادی بار میان نیروگاه ها با در نظر گرفتن مدل واقعی توابع هزینه سوخت ناهموار می‌نماید.

در سال‌های اخیر، با افزایش سطح آگاهی عمومی از حفاظت محیط زیست و اعلامیه رسمی شرکت Clean Air Act در سال ۱۹۹۰، بهره برداران مجبور به کاهش اثر آلودگی محیط زیست ناشی از تولید توان توسط نیروگاه های بخار شدند [۲۰].
مسئله توزیع اقتصادی بار، از آنجا که تنها تابع هزینه سوخت را در نظر می گیرد لذا نمی تواند نیازمندی‌های زیست محیطی را برآورده کند. از این رو، در این پایان نامه، دو حالت جداگانه برای مسئله ED را مورد بررسی قرار می دهد.

حالت اول: بیان مسئله به صورت تک هدفه و فقط به منظور کاهش هزینه سوخت.
این حالت را در ابتدا به تفصیل مورد بررسی قرار داده ایم.

حالت دوم: در نظر گرفتن مسئله با دو هدف، هم کاهش هزینه های سوخت و هم کاهش اثر آلودگی ناشی از تولید توان.

برای حل مسئله توزیع هزینه-آلودگی[1]، روش های مختلفی بیان شده است. در [۲۱] ، مسئله به صورت همان تک هدفه حل می شود و تنها تابع آلودگی به صورت محدودیت به مسئله اضافه می شود. این روش از آنجا که رسیدن به یک جواب بهینه مناسب مشکل می باشد، روش مناسبی نیست. روش متداول دیگر برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه که در مرجع [۲۲] به آن اشاره شده است تبدیل به یک مسئله تک هدفه با استفاده از ضرایب تعریف شده توسط بهره بردار می باشد. این تبدیل توسط ضرایب وزنی شامل کاستی هایی می باشد. به طور مثال جواب نهایی الگوریتم وابستگی زیادی به مقادیر ضرایب دارد و همچنین این روش هنگام تبدیل مقداری از اطلاعات را از دست می‌دهد.

با بیان مشکلات روش‌های فوق، در این پایان نامه دو روش برای حل مسائل چند هدفه بیان می‌شود. در روش اول که یک روش تعامل فازی [۲۳] می باشد به بهره بردار این اجازه را می دهد تا هر تابع هدفی را که می‌خواهد با استفاده از مفهوم فازی بهینه کرده و در هر لحظه از زمان با تعامل مشخص شده، مقدار تابعی را کاهش دهد.

[1] Economic/Emission Dispatch-EED