بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی

پخش بار بهینه در حضور ادوات *FACTS* با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی

کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی برق گرایش قدرت

احسان نادری

استاد راهنمای اول

جناب آقای دکتر محمد سروی

استاد راهنمای دوم

جناب آقای دکتر مصطفی صدیقی زاده

زمستان ۱۳۸۹

بسمه تعالی

تعهد نامه‌ی اصالت پایان نامه

اینجانب احسان نادری دانشجوی رشته‌ی مهندسی برق گرایش سیستم‌های قدرت، مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد بدین وسیله اصالت کلیه‌ی مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه‌ی تحصیلی خود، با عنوان پخش بار بهینه در حضور ادوات $FACTS$ با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند را تأیید کرده، اعلام می‌نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین المللی، نبوده و تعهد می‌نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهد نامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافا اینکه کلیه‌ی مسئولیت-ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضا

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه

نام دانشکده: فنی مهندسی

نام دانشجو: احسان نادری

عنوان پایان‌نامه: پخش بار بهینه در حضور ادوات $FACTS$ با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

تاریخ دفاع: شنبه ۱۳۸۹/۱۱/۱۶ ، ساعت ۱۱

رشته: مهندسی برق

گرایش: سیستم‌های قدرت

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنمای اول				
۲	استاد راهنمای دوم				
۳	استاد مشاور				
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی				
۸	استاد مدعو داخلی				

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که همواره در فراز

و نشیب زندگی و تحصیل مشوقم بودند

و

همسر فداکارم که با شکیبایی و مهربانی

خود، در گذار از دوران پر از تلاش انجام پروژه

با بردباری در کنارم بود

چکیده

در این پایان نامه از دو روش بهینه سازی پیشنهادی یعنی الگوریتم اجتماع ذرات (جامعه‌ی پرندگان) بهبود یافته ($IPSO$) و الگوریتم قورباغه‌ی جهنده ($SFLA$) به منظور حداقل کردن سه تابع هدف هزینه‌ی سوخت ژنراتورهای سیستم قدرت، تلفات شبکه و انحراف ولتاژ باس‌ها در پخش بار بهینه در حضور سیستم-های انتقال انعطاف پذیر جریان متناوب (ادوات $FACTS$) استفاده شده است. ادوات $FACTS$ به کار گرفته شده در این پایان نامه شامل کنترل کننده‌ی یکپارچه‌ی شارش توان ($UPFC$) و خازن سری با کنترل تریستوری ($TCSC$) می‌باشند. الگوریتم‌های پیشنهادی بر روی سیستم‌های استاندارد $IEEE$، ۵ باسه و ۳۰ باسه آزمایش شدند و نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که روش‌های پیشنهادی می‌توانند نتایجی به مراتب بهتر نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی در سیستم‌های قدرت (نظیر تکامل دیفرانسیلی، برنامه نویسی تکامل یافته، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ترکیبی جستجوی ممنوع – سرد شدن فلز و روش بهینه سازی کلاسیک برنامه ریزی غیر خطی)، هم از نظر دقت محاسبات و سرعت همگرایی و هم از نظر مدت زمانی که توسط کامپیوتر برای انجام محاسبات صرف می‌شود ارائه دهند.

واژه‌های کلیدی: پخش بار بهینه، سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر جریان متناوب، الگوریتم جامعه‌ی پرندگان، الگوریتم قورباغه‌ی جهنده

تقدیر و تشکر

ضمن سپاس از خداوند بیکران، بر خود لازم می‌دانم که از اساتید راهنمای محترم، جناب آقای دکتر محمد سروی و جناب آقای دکتر مصطفی صدیقی زاده که با ارائه‌ی راهنمایی‌های مدبرانه‌ی خود سرپرستی این پروژه را بر عهده داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از اعضای هیأت محترم داوران و حضور ایشان در جلسه‌ی دفاعیه، صمیمانه تشکر نموده و سپاس خود را به حضورشان تقدیم می‌دارم.

در پایان از دوست بسیار عزیزم جناب آقای مهندس نریمانی به خاطر راهنماییها و همفکری-های بی دریغشان به اینجانب تشکر و قدر دانی نموده و از خداوند متعال برای ایشان توفیق روز افزون خواهانم.

فهرست مطالب

۱- **فصل اول: مقدمه** ۱۰

۱-۱- مقدمه ۱۱

۱-۲- اهداف پایان نامه ۱۵

۲- **فصل دوم: پخش بار بهینه** ۱۶

۲-۱- مقدمه ۱۷

۲-۲- انواع شین از دید مسئله‌ی پخش بار ۱۸

۲-۳- تعریف و فرمول بندی پخش بار بهینه ۱۸

۲-۴- اهمیت، ویژگی و کاربردهای پخش بار بهینه ۲۴

۳- **فصل سوم: ادوات *FACTS*** ۲۵

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- انواع متعارف ادوات *FACTS* ۲۷

۳-۲-۱- انواع اصلی کنترل کننده‌های *FACTS* ۲۹

۳-۲-۲- کنترل کننده‌های سری ۳۰

۳-۲-۳- کنترل کننده‌های موازی ۳۱

۳-۲-۴- کنترل کننده‌های ترکیبی سری – سری ۳۳

۳-۲-۵- کنترل کننده‌های ترکیبی سری – موازی ۳۴

۳-۳- ادوات *FACTS* به کار رفته در این پایان نامه ۳۶

۳-۳-۱- کنترل کننده‌ی یکپارچه‌ی سیلان توان ۳۶

۳-۳-۲- خازن سری قابل کلیدزنی با تریستور ۴۰

۴- **فصل چهارم: روش‌های بهینه سازی** ۴۲

۴-۱- مقدمه ۴۳

۴-۱-۱- کاربردهای بهینه سازی در مهندسی ۴۳

۴-۱-۲- دسته بندی مسائل بهینه سازی ۴۴

۴-۲- شرح مسئله بهینه‌سازی ۴۵

۴-۲-۱- بردار طراحی ۴۶

۴-۲-۲- سطح قید ۴۶
۴-۲-۳- تابع هدف ۴۶
۴-۳- تقسیم بندی کلی روش‌های حل مسائل بهینه سازی ۴۶
۴-۳-۱- روش‌های بهینه سازی دقیق ۴۷
۴-۳-۲- روش‌های غیر دقیق بهینه سازی ۴۷
۴-۳-۳- روش‌های ابتکاری بر مبنای مکانیزم‌های طبیعی ۴۷
۴-۴- روش‌های بهینه سازی استفاده شده در این پایان نامه ۴۸
۴-۴-۱- الگوریتم جامعه‌ی پرندگان (اجتماع ذرات) ۴۸
۴-۴-۱-۱- تعریف توپولوژی ۵۰
۴-۴-۱-۲- معادله‌ی حرکت (حرکت ذره) ۵۱
۴-۴-۱-۳- محاسبه‌ی برازندگی ۵۲
۴-۴-۱-۴- همگرایی یا شرط پایانی ۵۳
۴-۴-۱-۵- شرایط مرزی ۵۳
۴-۴-۲- الگوریتم قورباغه‌ی جهنده ۵۶
۴-۴-۲-۱- تاریخچه و تعریف ۵۶
۴-۴-۲-۲- بهبود الگوریتم قورباغه‌ی جهنده ۵۹
۵- **فصل پنجم: شبیه سازی و مقایسه‌ی نتایج** ۶۱
۵-۱- مقدمه ۶۲
۵-۱-۱- مقدار دهی‌های اولیه برای هر دو الگوریتم پیشنهادی ۶۲
۵-۱-۲- توابع هدف مورد بررسی ۶۳
۵-۲- پیاده سازی روش‌های پیشنهادی و بررسی توابع هدف به صورت مجزا ۶۸
۵-۲-۱- پیاده سازی الگوریتم‌های پیشنهادی بر روی سیستم استاندارد ۳۰ باسه‌ی *IEEE* و ارائه‌ی نتایج ۶۸
۵-۲-۲- پیاده سازی الگوریتم‌های پیشنهادی بر روی سیستم استاندارد ۵ باسه‌ی *IEEE* ۷۶

۵-۳- پیاده سازی روش‌های پیشنهادی و بررسی توابع هدف به صورت همزمان با یکدیگر ۷۸

۵-۳-۱- پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی $IPSO$ بر روی سیستم استاندارد ۳۰ باسه‌ی $IEEE$ و ارائه‌ی نتایج ۷۹

۵-۳-۲- پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی $SFLA$ بر روی سیستم استاندارد ۵ باسه‌ی $IEEE$ و ارائه‌ی نتایج ۸۱

۵-۴- مقایسه‌ی الگوریتم‌های پیشنهادی با الگوریتم‌های بهینه سازی دیگر ۸۲

۶- **فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات** ۸۷

۶-۱- نتیجه گیری ۸۸

۶-۲- پیشنهادات ۸۹

مراجع ۹۰

پیوست‌ها ۹۴

فهرست جداول

جدول (۱-۱) بازه‌ی زمانی ارتباطات بین سطوح مختلف بهینه سازی سیستم قدرت ۱۲
جدول (۳-۱) انواع مختلف ادوات *FACTS* ۲۸
جدول (۵-۱) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *IPSO* ۷۰
جدول (۵-۲) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *IPSO* ۷۰
جدول (۵-۳) پخش بار بهینه در حضور دو *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *IPSO* ۷۰
جدول (۵-۴) پخش بار بهینه در حضور سه *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *IPSO* ۷۱
جدول (۵-۵) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *IPSO* ۷۱
جدول (۵-۶) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* و یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *IPSO* ۷۱
جدول (۵-۷) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *IPSO* ۷۲
جدول (۵-۸) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *IPSO* ۷۲
جدول (۵-۹) پخش بار بهینه در حضور دو *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *IPSO* ۷۲
جدول (۵-۱۰) پخش بار بهینه در حضور سه *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *IPSO* ۷۳
جدول (۵-۱۱) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *IPSO* ۷۳
جدول (۵-۱۲) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* و یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *IPSO* ۷۳
جدول (۵-۱۳) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *IPSO* ۷۴
جدول (۵-۱۴) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *IPSO* ۷۴
جدول (۵-۱۵) پخش بار بهینه در حضور دو *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *IPSO* ۷۴
جدول (۵-۱۶) پخش بار بهینه در حضور سه *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *IPSO* ۷۵
جدول (۵-۱۷) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *IPSO* ۷۵
جدول (۵-۱۸) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* و یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *IPSO* ۷۵
جدول (۵-۱۹) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *SFLA* ۷۶
جدول (۵-۲۰) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *SFLA* ۷۶
جدول (۵-۲۱) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف هزینه‌ی سوخت توسط *SFLA* ۷۷
جدول (۵-۲۲) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *SFLA* ۷۷
جدول (۵-۲۳) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *SFLA* ۷۷
جدول (۵-۲۴) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف تلفات توان توسط *SFLA* ۷۷

جدول (۵-۲۵) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *SFLA* ۷۸
جدول (۵-۲۶) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *SFLA* ۷۸
جدول (۵-۲۷) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۵ باسه و برای تابع هدف انحراف ولتاژ توسط *SFLA* ۷۸
جدول (۵-۲۸) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۳۰ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *IPSO* ۷۹
جدول (۵-۲۹) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *IPSO* ۷۹
جدول (۵-۳۰) پخش بار بهینه در حضور دو *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *IPSO* ۸۰
جدول (۵-۳۱) پخش بار بهینه در حضور سه *TCSC* در سیستم ۳۰ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *IPSO* ۸۰
جدول (۵-۳۲) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *IPSO* ۸۱
جدول (۵-۳۳) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* و یک *UPFC* در سیستم ۳۰ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *IPSO* ۸۱
جدول (۵-۳۴) پخش بار بهینه بدون حضور ادوات *FACTS* در سیستم ۵ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *SFLA* ۸۲
جدول (۵-۳۵) پخش بار بهینه در حضور یک *TCSC* در سیستم ۵ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *SFLA* ۸۲
جدول (۵-۳۶) پخش بار بهینه در حضور یک *UPFC* در سیستم ۵ باسه و برای هر سه تابع هدف توسط *SFLA* ۸۲
جدول (۵-۳۷) اطلاعات مربوط به ژنراتورهای سیستم ۳۰ باسه در شبیه سازی‌های قسمت الف و ب از بخش (۵-۴) ۸۳
جدول (۵-۳۸) توان‌های تولیدی، تلفات و مدت زمان *CPU* بدست آمده از *SFLA*، *IPSO*، *DE*، *EP* و *GA* ۸۴
جدول (۵-۳۹) مقادیر راکتانس *TCSC* بدست آمده از شبیه سازی ۸۴
جدول (۵-۴۰) توان‌های تولیدی، تلفات و مدت زمان *CPU* بدست آمده از *SFLA*، *IPSO* و الگوریتم ترکیبی *TS/SA* ۸۵
جدول (۵-۴۱) اطلاعات مربوط به توان‌های تولیدی و ضرایب هزینه‌ی ژنراتورهای سیستم ۳۰ باسه در شبیه سازی قسمت ج از بخش (۵-۴) ... ۸۵
جدول (۵-۴۲) توان‌های تولیدی، تلفات و مدت زمان *CPU* بدست آمده از *SFLA*، *IPSO* و روش کلاسیک *N-LP* ۸۶

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) تابع هدف‌های رایج در مطالعات پخش بار بهینه ۲۰

شکل (۳-۱) نماد عمومی برای یک کنترل کننده‌ی $FACTS$ ۲۹

شکل (۳-۲) کنترل کننده‌ی سری ۳۰

شکل (۳-۳) کنترل کننده‌ی موازی ۳۱

شکل (۳-۴) کنترل کننده‌های ترکیبی سری – سری ۳۳

شکل (۳-۵) کنترل کننده‌های ترکیبی سری – موازی ۳۴

شکل (۳-۶) کنترل کننده‌ی یکپارچه‌ی اندازه‌ی توان ۳۴

شکل (۳-۷) مدل استاتیکی $UPFC$ قرار گرفته بین باس‌های k و m ۳۶

شکل (۳-۸) مدار معادل $UPFC$ ۳۷

شکل (۳-۹) مدل استاتیکی $TCSC$ ۴۰

شکل (۴-۱) توپولوژی‌های مطرح در الگوریتم جامعه‌ی پرندگان(اجتماع ذرات) ۵۰

شکل (۴-۲) شرایط مرزی در الگوریتم جامعه‌ی پرندگان(اجتماع ذرات) ۵۴

شکل (۴-۳) جهش بدترین قورباغه به سمت بهترین قورباغه در الگوریتم قورباغه‌ی جهنده ۵۸

شکل (۴-۴) جهش بدترین قورباغه به سمت بهترین قورباغه در الگوریتم قورباغه‌ی جهنده با استفاده از روابط جدید ۶۰

فهرست علائم و اختصارات

a_i, b_i, c_i: ضرایب هزینه مربوط به ژنراتور i ام

P_i: توان خروجی ژنراتور i ام

N: تعداد کل ژنراتورها

P_L: تلفات توان

N_l: تعداد خطوط شبکه‌ی قدرت

G_k: کندوکتانس خط بین باس‌های i و j

VDI: اندیس انحراف ولتاژ

V_i: اندازه‌ی ولتاژ در باس i

V_{Ni}: ولتاژ نامی در باس i

V_j: اندازه‌ی ولتاژ در باس j

δ_i: زاویه‌ی فاز ولتاژ در باس i

δ_j: زاویه‌ی فاز ولتاژ در باس j

P_{Gi}: توان اکتیو تولیدی در باس i

Q_{Gi}: توان راکتیو تولیدی در باس i

$|Y_{ij}|$: مقدار اندوکتانس در سطر i و ستون j از ماترس ادمیتانس

θ_{ij}: زاویه‌ی فاز Y_{ij}

$P_{Gi}^{\min}$: کمترین توان اکتیو تولیدی در باس i

$P_{Gi}^{\max}$: بیشترین توان اکتیو تولیدی در باس i

$Q_{Gi}^{\min}$: کمترین توان راکتیو تولیدی در باس i

$Q_{Gi}^{\max}$: بیشترین توان راکتیو تولیدی در باس i

$V_i^{\min}$: کمترین حد ولتاژ در باس i

$V_i^{\max}$: بیشترین حد ولتاژ در باس i

S_{li}: بار خط i ام

$S_{li}^{\max}$: بیشترین مقدار ممکن بار خط i ام

L_n: تعداد خطوط موجود در شبکه

V_{CR}: اندازه‌ی ولتاژ خروجی مبدل سری در $UPFC$

δ_{CR}: زاویه‌ی فاز V_{cR}

V_{VR}: اندازه‌ی ولتاژ خروجی مبدل موازی در $UPFC$

δ_{VR}: زاویه‌ی فاز V_{vR}

P_{km}: توان اکتیو انتقالی از باس k به باس m با وجود $UPFC$ در سیستم

Q_{km}: توان راکتیو انتقالی از باس k به باس m با وجود $UPFC$ در سیستم

P_{mk}: توان اکتیو انتقالی از باس m به باس k با وجود $UPFC$ در سیستم

Q_{mk}: توان راکتیو انتقالی از باس m به باس k با وجود $UPFC$ در سیستم

V_s: دامنه‌ی ولتاژ فرستنده

V_r: دامنه‌ی ولتاژ گیرنده

V_{Series}: دامنه‌ی ولتاژ مبدل سری در $UPFC$

V_{Shunt}: دامنه‌ی ولتاژ مبدل موازی در $UPFC$

δ: زاویه‌ی فاز ولتاژ فرستنده

β: زاویه‌ی فاز ولتاژ گیرنده

θ: زاویه‌ی امپدانس Z_{Series}

λ: زاویه‌ی امپدانس Z_{Shunt}

α: زاویه‌ی مبدل سری

φ: زاویه‌ی مبدل موازی

P_{ij}: توان اکتیو انتقالی از باس i به باس j با وجود $TCSC$ در سیستم

Q_{ij}: توان راکتیو انتقالی از باس i به باس j با وجود $TCSC$ در سیستم

P_{ji}: توان اکتیو انتقالی از باس j به باس i با وجود $TCSC$ در سیستم

Q_{ji}: توان راکتیو انتقالی از باس j به باس i با وجود $TCSC$ در سیستم

G_{ij}: کندوکتانس خط بین باس‌های i و j

B_{ij}: ساسپتانس خط بین باس‌های i و j

X_{id}: موقعیت مکانی بعد d ام از پرنده(ذره)ی i ام در الگوریتم جامعه‌ی پرندگان(اجتماع ذرات)

V_{id}: سرعت بعد d ام از پرنده(ذره)ی i ام در الگوریتم PSO

P_{-best}: بهترین جواب از لحاظ شایستگی که برای هر ذره درالگوریتم PSO در جمعیت بدست می‌آید

G_{-best}: بهترین جواب در میان کل جمعیت ذره‌ها در الگوریتم PSO

w: وزن اینرسی برای سرعت گیری ذرات در الگوریتم PSO

c_1: ضریب یادگیری فردی در الگوریتم PSO

c_2: ضریب یادگیری اجتماعی در الگوریتم PSO

$rand$: عددی تصادفی در بازه‌ی (۱-۰)

m: تعداد گروه‌های قورباغه‌ها در الگوریتم قورباغه‌ی جهنده

n: تعداد قورباغه‌های موجود در هر گروه در الگوریتم $SFLA$

p : کل جمعیت قورباغه‌ها

X_w : قورباغه با بدترین برازندگی

X_b : قورباغه با بهترین برازندگی

X_g : قورباغه‌ای که در کل جمعیت دارای بهترین برازندگی می‌باشد

D : بردار جابجایی قورباغه

$D_{\max}$: بیشترین جابجایی که قورباغه می‌تواند داشته باشد

r_i ها: اعدادی تصادفی بین ۱- و ۱

$w_{i,\max}$: بیشترین محدوده‌ای که قورباغه در بعد i ام می‌بیند

$Iter$: تعداد تکرارها در هر دو الگوریتم بهینه سازی

$Iter_{\max}$: بیشترین تعداد تکرارهای هر دو الگوریتم بهینه سازی

$\bar{x}^*$: یک جواب بهینه‌ی پرتو

$\mu(F_i)$: تابع عضویت فازی

F_i : تابع هدف i ام

$F_i^{\min}$: مقدار حداقل برای تابع هدف i ام

$F_i^{\max}$: مقدار حداکثر برای تابع هدف i ام

$\mu_{BestSolution}$: بهترین جواب در بهینه سازی همزمان چند تابع هدف

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

مهندسین همواره با مسائل مربوط به تضمین سودآوری سرمایه‌گذاری‌های انجام شده به منظور تولید محصولات و ارائه‌ی خدمات مهندسی مواجه بودند. تضمین بازگشت سرمایه و سود مناسب سرمایه‌گذاری‌های عظیم به عمل آمده در صنعت برق، بهره برداری صحیح، مناسب و اقتصادی از آن، این صنعت را در زمره‌ی مهمترین موضوعات مهندسی برق قرار داده است. در این راستا افزایش راندمان و بازدهی تجهیزات الکتریکی و بهبود بهره‌برداری از آن در جهت صرفه جویی و حفظ هر چه بیشتر منابع و به اتمام رسیدن سوخت‌های فسیلی از یک طرف و کاهش قیمت تمام شده‌ی برق تولیدی برای تولیدکنندگان و توجه به تورم سالانه و افزایش هزینه‌ی روزافزون مواد سوختی از جمله مسائلی است که مهندسین را از دیرباز به خود مشغول کرده است.

در این رهگذر پخش بار بهینه[۱] به عنوان ابزاری کارآمد نقشی بسزا در بهره برداری هر چه اقتصادی‌تر از سیستم‌های قدرت ایفا می‌کند و از آن در مسائل تبادل اقتصادی بین چند ناحیه و در مدار قرار دادن واحدهای نیروگاهی[۲] استفاده می‌شود. مسئله‌ی بهره-برداری اقتصادی از سیستم‌های قدرت زمانی مطرح شد که دو یا چند واحد تولید انرژی الکتریکی در تأمین بار الکتریکی مشارکت داشته و ظرفیت کل آن‌ها در مجموع بیش از میزان مصرف بوده و لذا آرایش‌های متفاوتی از میزان تولید واحدها را به دنبال داشته است. به طور کلی پخش بار اقتصادی[۳] برای کنترل و توزیع توان حقیقی مورد تقاضای مشترکین بین واحدهای تولیدکننده‌ی موجود در سیستم‌های قدرت است که به صورت عمده یک مسئله‌ی بهینه سازی غیر خطی می‌باشد و معمولا هدف آن حداقل نمودن هزینه‌ها است. گاهی اهداف دیگری مانند بهبود امنیت سیستم[۴] و کاهش صدمات زیست محیطی ناشی از احتراق سوخت-های فسیلی در نیروگاه‌های حرارتی نیز همزمان مورد نظر می‌باشد. این بهینه سازی تحت یک سری قیود معادله‌ای و نا معادله‌ای انجام می‌پذیرد. قیود معادله‌ای سیستم براساس نوع مدل انتخابی برای شبیه سازی شبکه و قیود نامعادله‌ای با توجه به محدودیت-های فیزیکی و عملکردی موجود در سیستم تعیین میگردند.

چنانکه ذکر شد مسأله پخش بار بهینه را می‌توان به صورت یک مسأله‌ی بهینه سازی غیرخطی با چند تابع هدف نشان داد. در بخش بزرگی از پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده است یکی از سه هدف کاهش هزینه‌ها، بهبود امنیت سیستم و یا کاهش تأثیرات نامساعد زیست محیطی به تنهایی به عنوان تابع هدف مورد توجه قرار گر فته است و برای حل آنها از الگوریتم‌های برنامه-ریزی غیرخطی متعددی که هر یک دارای محاسن و معایبی می‌باشند استفاده شده است. در صورتی که بهبود عملکرد در یک بازه زمانی مورد توجه باشد مسأله بهینه‌سازی وارد مرحله بسیار پیچیده ای می‌گردد و در این راستا مسائل گوناگون و عوامل متعددی بر رفتار سیستم مطرح می‌گردد که در ادامه به اختصار و به طور اجمالی به چند مورد اشاره می شود.

۱- **برنامه‌ریزی ساعتی در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها:** بدین معنی که در یک ساعت معین چه واحدهایی وارد مدار گردیده و یا ازآن خارج میگردند. این مسئله به در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها موسوم می‌باشد.

---

۱ - *Optimal Power Flow (OPF)*
۲ - *Unit Commitment (UC)*
۳ - *Economic Load Dispatch (ED)*
۴ - *System Security*

۲- **برنامه‌ریزی ساعتی تولید نیروگاههای آبی براساس محاسبات مربوط به سطح آب، شیب مخازن آب و سدها جهت بهبود عملکرد سیستم:** این موضوع به هماهنگی نیروگاههای آبی و حرارتی موسوم می‌باشد.

۳- **برنامه‌ریزی ساعتی تولید واحدهای حرارتی چند منظوره و پراکنده مثل نیروگاه‌های فتو ولتائیک یا نیروگاه-های بادی:** این مسئله به تولید واحدهای پراکنده موسوم می‌باشد.

۴- **تعیین میزان و ترتیب دورهای واحدها:** بدون نقض ظرفیت ذخیره‌ی کافی و مناسب مورد نیاز سیستم و در عین حال حداقل نمودن هزینه تولید. این موضوع به برنامه‌ریزی تعمیرات موسوم می باشد.

در مورد هر یک از گزینه‌های فوق، یک بازه زمانی مناسب جهت بهینه‌سازی باید انتخاب گردد. به عنوان مثال برای گزینه در مدار قرار دادن نیروگاهها بازه زمانی عملی و مناسب بین ۲۴ تا ۴۸ ساعت می باشد. در حالی که در گزینه هماهنگی واحدهای آبی و حرارتی این زمان از یک روز تا یک هفته، یکماه حتی یک سال متغیر می باشد. در برنامه‌ریزی تعمیرات بازه‌ی زمانی بین یک سال تا سه سال انتخاب می‌شود به طوری که بنا به ارتباطات قوی و وابستگی موارد مذکور به یکدیگر نمی‌توان هریک از بخش‌های مورد اشاره را با توجه به بازه‌های زمانی متفاوت به طور مجزا از یکدیگر مورد بررسی قرار داد. در جدول (۱-۱) بازه‌ی زمانی عملی و مناسب هر یک از این موارد و چگونگی ارتباط بین سطوح مختلف بهینه سازی سیستم قدرت نشان داده شده است.

جدول (۱-۱) بازه‌ی زمانی ارتباطات بین سطوح مختلف بهینه سازی سیستم قدرت

	فرآیند کنترل	**تابع بهینه شونده**
ثانیه	کنترل خودکار تولید	بهینه‌سازی خطای کنترل ناحیه با در نظر گرفتن قیود دینامیکی سیستم
دقیقه	پخش بار بهینه	بهینه‌سازی هزینه‌ی لحظه‌ای بهره‌برداری یا دیگر شاخص‌ها مانند آلودگی و...
روز و ساعت	اختصاص واحد آبی و حرارتی	بهینه‌سازی هزینه‌ی بهره‌برداری
هفته	هماهنگی تبادل ناحیه‌ها	بهینه‌سازی هزینه با در نظر گرفتن قیود قابلیت اطمینان سیستم
ماه	برنامه‌ریزی تعمیر	بهینه‌سازی هزینه با در نظر گرفتن قیود قابلیت اطمینان سیستم
سال	طراحی تولید	بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری مورد نیاز و هزینه‌های ساخت

تقویت قابلیت اطمینان[۱]، افزایش کیفیت قدرت انتقالی و استفاده‌ی بهینه از ظرفیت خطوط انتقال و ژنراتورهای تولیدکننده‌ی انرژی الکتریکی، فاکتورهای بسیار مهمی هستند که در چند دهه‌ی گذشته که جبران کننده‌های خطوط انتقال بر پایه‌ی استفاده از سوئیچ های الکترومکانیکی و بانکهای سلفی و خازنی بنا شده بودند، عموماً در تضاد با یکدیگر قرار می گرفتند.

اخیراً نسل جدیدی از کنترل کننده‌ها که از تریستورهای خاموش شونده از طریق گیت[۲] استفاده می‌کنند به جای سوئیچهای الکترومکانیکی به بازار عرضه شده‌اند که بهبود همزمان فاکتورهای فوق را امکان پذیر ساخته‌اند. این جبران کننده‌ها به دلیل

---

[۱] - *Reliability*

[۲] - *Gate Turn off Thyristor (GTO)*

افزایش انعطاف پذیری شبکه‌های قدرت، تحت عنوان سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر جریان متناوب (ادوات *FACTS*)[۱] نامگذاری شده‌اند.

این کنترل کننده‌ها در مدرنترین نوع خود به طور همزمان قادر به تبادل توان اکتیو و راکتیو با شبکه هستند. این مزیت بسیار مهم امکان افزایش قابلیت اطمینان و پایداری سیستم‌ها را توام با کنترل توان به همراه افزایش ظرفیت خطوط انتقال فراهم آورده است. علاوه براین با تبادل انرژی بین نیروگاه‌ها که ازطریق افزایش ظرفیت خطوط انتقال فراهم می شود، می‌توان از نیروگاه کمتری به عنوان ذخیره استفاده کرد که موجب کاهش هزینه‌های بالای نصب نیروگاه‌های جدید می شود.

ادوات *FACTS* در سیستم‌های انتقال انرژی جریان متناوب[۲] با افزودن سیستم‌های کنترلی مناسب بر شبکه‌ی انتقال انرژی الکتریکی و قابل کنترل نمودن پارامترهای سیستم، این امکان را ایجاد می‌کنند تا از قابلیت‌های بالقوه‌ی سیستم، حداکثر استفاده به عمل آید.

ویژگی‌های کاربرد ادوات *FACTS* در سیستم‌های قدرت الکتریکی عبارتند از:

- ارائه‌ی راه حلی هوشمند برای تحویل بهینه‌ی توان
- افزایش ظرفیت خطوط انتقال در حد ظرفیت حرارتی آن‌ها
- ایجاد امکان کنترل پذیری پارامترهای سیستم
- تثبیت سطح ولتاژ در حالت دائم و کنترل پخش بار
- افزایش حاشیه‌ی امنیت و پایداری سیستم
- افزایش میزان بهره وری از خطوط انتقال

نظر به رشد طیف گسترده‌ای از مسائل مهندسی و افزایش پیچیدگی‌های سیستم‌های قدرت از نظر ابعاد، نیاز به یک روش قدرتمند برای حل این مسائل ضروری است که در بعضی از موارد، حل چنین مسائلی به وسیله‌ی روش‌های بهینه سازی کلاسیک، خیلی مشکل و یا نیاز به محاسبات زیادی دارد. نیاز به حل چنین مسائلی محققان را برای تحقیق در یک رده‌ی ویژه‌ای از الگوریتم‌های جستجو که الگوریتم‌های ابتکاری نامیده می‌شوند علاقمند کرد. در حالت عمومی این الگوریتم‌ها به روش‌های بهینه سازی تصادفی ارجاء داده می‌شوند و با الگوهای تکاملی و رفتار مشاهده شده در ارگانیسم‌های موجودات زنده ارتباط دارند.

در این راستا با توجه به اهمیت بسیار زیاد پخش بار بهینه در سیستم‌های قدرت، در این پایان نامه وجود ادوات *FACTS* نیز در این امر بررسی شده و نتایج بدست آمده از روش‌های پیشنهادی با تحقیقات قبلی که تا کنون در این زمینه انجام شده است مقایسه گردیده است.

---

[۱] - *Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS)*
[۲] - *Alternating Current (AC)*