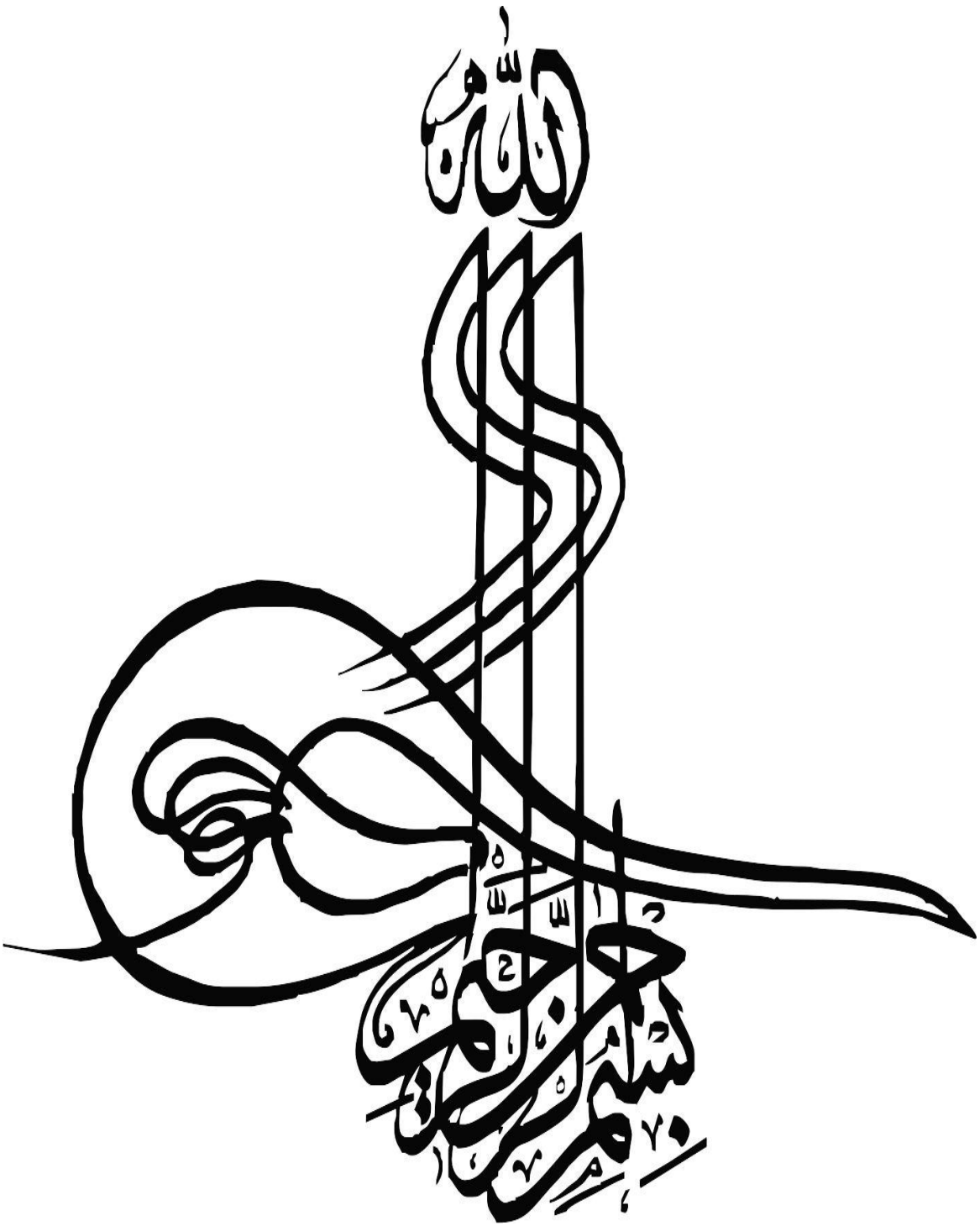

الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته برق– قدرت

موضوع:

توزیع اقتصادی بار با قید امنیت شبکه و در حضور ادوات FACTS

استاد راهنما:

دکتر سید مهدی حسینی

دانشجو:

مانی عاشوری

تابستان ۱۳۹۲

با تقدیم و تشکر فراوان از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر سید مهدی حسینی که همواره بهترین یاری ها را به من رسانده و مرا در مسیر درست هدایت نموده اند.

تقدیم به عزیزانم...

پدر ، مادر و خواهر مهربانم که همواره در تمامی عرصه های زندگی درکنارم بوده اند.

چکیده

در این پایان‌نامه مسئله توزیع اقتصادی بار[1](ELD) با جزئیات گوناگون و به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته و با اعمال قیود[2] متنوع، به‌کارگیری جبران‌سازها و همچنین استفاده از روش‌های بهینه‌سازی نوین در هر چه جامع‌تر پوشش دادن این مبحث سعی شده است. حالات مختلف مسئله ELD نظیر توزیع اقتصادی استاتیک بار که برنامه‌ریزی تنها برای یک ساعت صورت می‌گیرد، توزیع اقتصادی دینامیک بار[3] که در واقع حالت تعمیم یافته توزیع استاتیک بوده و در بازه‌های زمانی پشت سر هم و برای مثال برنامه‌ریزی تولید برای یک شبانه‌روز انجام می گردد، توزیع اقتصادی برای ژنراتورهای با واحدهایی که چندین سوخت مصرف می‌کنند و... و همچنین قیودی همچون قید تلفات سیستم، مناطق منع شده تولید ژنراتورها[4]، نرخ شیب[5] ژنراتورها، قید امنیت شبکه، اثر شیر ورودی بخار[6] و... که تمامی این قیود در هر چه نزدیک‌تر شدن این مسئله به واقعیت کمک می‌کنند در نظر گرفته شده است. علاوه بر این از حضور ادوات FACTS نظیر TCSC و TCPS نیز به منظور کاهش تلفات و هزینه و بهبود کارکرد سیستم در مسئله ELD به کار گرفته شده است.

از مهمترین نوآوری های این پایان‌نامه بررسی توزیع اقتصادی دینامیک بار با ترکیب در نظر گرفته شده به عنوان قیود امنیت می‌باشد که با جبرانساز های سری همراه شده است و از پیچیده‌ترین و با جزئیات‌ترین مسائل معرفی شده در مسئله توزیع اقتصادی بار محسوب می‌گردد که دارای حداقل‌های محلی بسیاری گشته و بهینه‌سازی آن برای الگوریتم‌های متنوع بسیار مشکل می‌باشد.

به منظور نوآوری در بخش هوش مصنوعی مسئله نیز جستجوهای فراوانی میان روش‌های نوین بهینه‌سازی معرفی شده در سال‌های اخیر گشته و در نهایت دو الگوریتم کاملا جدید به نام های الگوریتم چرخه آب و الگوریتم Krill Herd که نتایج به مراتب بهتر و سریعتری نسبت به بسیاری از روش‌های قبلی پیاده شده بر این مسئله در بر داشته انتخاب و به کار گرفته شده است.

[1] Economic load dispatch (ELD)
[2] Constraints
[3] Dynamic Economic load dispatch (DELD)
[4] Generators' prohibited operating zones (POZ)
[5] Ramp rate limits
[6] Valve point loading effect

سیستم تست‌های متنوع و فراوانی با تنظیمات و قیود گوناگون که به عنوان استانداردی[۷] در مقالات به منظور مقایسه روش‌های گوناگون استفاده می گردند، نظیر سیستم ۳، ۶، ۱۵ و ۴۰ واحده برای توزیع اقتصادی استاتیک، سیستم ۱۰ واحده با تقاضاهای متنوع بار برای توزیع اقتصادی با ژنراتورهای با چندین سوخت مصرفی، سیستم ۵، ۱۰ و ۳۰ واحده برای توزیع اقتصادی دینامیک بار و سیستم ۳۰ شینه IEEE برای توزیع اقتصادی با قیود امنیت شبکه و... در این پایان‌نامه به کار گرفته شده‌اند و در هر چه بهینه کردن پاسخ آنها تلاش فراوان شده است.

واژه‌های کلیدی-
توزیع اقتصادی دینامیک بار-اثر شیر ورودی بخار- ادوات FACTS –قید امنیت-بهینه‌سازی-الگوریتم چرخه آب

[7] Benchmark test systems

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه 1
۱-۱- مقدمه 2
۱-۲- فصل بندی پایان نامه 4
فصل دوم- بیان مسئله توزیع اقتصادی بار ۶
۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- معرفی مسئله توزیع اقتصادی بار 7
۲-۳- محدودیت ها 8
۲-۳-۱- محدودیت توان اکتیو تولیدی واحدها 8
۲-۳-۲- محدودیت تعادل توان ۹
۲-۳-۳- تلفات سیستم ۹
۲-۳-۴- محدودیت نرخ شیب ۱۰
۲-۳-۵- نواحی منع شده برای تولید واحدها ۱۱
۲-۳-۶- واحدهای با ذخیره چرخان ۱۲
۲-۳-۷- ژنراتورهای با سوخت مصرفی متفاوت ۱۲
۲-۴- توزیع اقتصادی دینامیک بار ۱۲
۲-۵- توزیع اقتصادی با در نظر گرفتن قید امنیت شبکه ۱۳
۲-۶- ادوات FACTS ۱۳
۲-۶-۱- مدل مورد استفاده ۱۳
۲-۶-۲ روش های مدل سازی ادوات FACTS ۱۴
۲-۶-۲-۱- روش تزریق توان ۱۴
۲-۶-۲-۲- روش سوسپتانس ۱۵
۲-۶-۲-۳- روش زاویه آتش ۱۶
۲-۶-۳- توزیع اقتصادی بار در حضور ادوات FACTS ۱۶
فصل سوم- روش های بهینه سازی مورد استفاده ۱۸
۳-۱- مقدمه ۱۹
۳-۲- مروری بر کارهای پیشین ۱۹
۳-۳- الگوریتم چرخه آب 24
۳-۳-۱- مفهوم کلی الگوریتم ۲۴
۳-۳-۲- ایجاد جمعیت اولیه ۲۵
۳-۳-۳- چگونه رشته ها به دریا می ریزند؟ ۲۶

۳-۳-۴- تبخیر ۲۶
۳-۳-۵- بارش باران ۲۷
۳-۳-۶- مراحل الگوریتم چرخه آب ۲۷
۳-۴- الگوریتم Krill Herd ۲۸
۳-۴-۱- مدل لاگرانژ ۲۸
۳-۴-۱-۱- حرکت بهره گرفته شده از دیگر افراد گروه ۲۹
۳-۴-۱-۲- حرکت بر اساس جستجو ۳۱
۳-۴-۱-۳- گسترش تصادفی ۳۲
۳-۴-۲- فرآیند حرکت ۳۲
۳-۴-۳- عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۳۳
۳-۴-۴- مراحل الگوریتم Krill Herd ۳۳
۳-۵- روش های برخورد با قیود در مسئله توزیع اقتصادی بار ۳۴
۳-۶- به کار گیری روش ها ۳۵
۳-۷۳ جمع بندی ۳۹
فصل چهارم – نتایج شبیه سازی ۴۰
۴-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲- در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار ۴۲
۴-۳- در نظر گرفتن تلفات، نرخ شیب و نواحی منع شده ژنراتورها ۴۳
۴-۳-۱- سیستم شش واحدی ۴۴
۴-۳-۲- سیستم پانزده واحدی ۴۵
۴-۴- توزیع اقتصادی بار در مقیاس بزرگ ۴۸
۴-۵- ژنراتورهای با چندین سوخت مصرفی ۵۳
۴-۵-۱- سیستم ۱۰ واحده بدون در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار ۵۳
۴-۵-۲- سیستم ۱۰ واحده با در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار ۵۵
۴-۵-۳- سیستم های با مقیاس بزرگ تر ۵۶
۴-۶- آنالیز حساسیت الگوریتم ۵۶
۴-۷- توزیع اقتصادی دینامیک بار ۵۹
۴-۷-۱ سیستم ۵ واحده ۶۰
۴-۷-۲- سیستم ۱۰ واحده ۶۴
۴-۷-۳- - سیستم ۱۰ واحده با در نظر گرفتن تلفات ۶۸
۴-۷-۴- سیستم ۳۰ واحده ۷۱
۴-۸- توزیع اقتصادی دینامیک با در نظر گرفتن قید امنیت شبکه ۷۳
۴-۹- توزیع اقتصادی دینامیک با در نظر گرفتن قید امنیت شبکه و جبرانسازهای سری ۷۵
۴-۱۰- جمع بندی ۷۷
فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۸
مراجع ۸۱
پیوست (۱)- اطلاعات سیستم‌های مورد مطالعه ۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: تقسیم بندی مقالات چاپ شده در .S.D در مسائل بیان شده در سیستم های قدرت از سال ۲۰۰۹ ..... ۳
شکل ۱-۲: عملکرد های کنترلی سیستم قدرت ۴
شکل2-۱: تابع هزینه ی یک واحد نمونه با و بدون درنظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار ۸
شکل ۲-۲: نمودار تابع هزینه با درنظر گرفتن قید نواحی منع شده ژنراتورها ۱۲
شکل ۲-۳: مدل جبران سازهای ارائه شده برای استفاده در مسئله توزیع اقتصادی بار ۱۴
شکل ۲-۴: مدل تزریق توان ۱۵
شکل ۲-۵: مدل سوسپتانس ۱۶
شکل ۳-۱: فرایند کلی چرخه آب ۲۴
شکل ۳-۲: فلوچارت کلی روش های ارائه شده برای انواع متنوع مسئله توزیع اقتصادی بار ۳۷
شکل ۳-۳: فلوچارت کلی روش های ارائه شده برای مسئله توزیع اقتصادی بار با قید امنیت شبکه و WCA ۳۸
شکل۴-۱: نمودار همگرایی WCA برای سیستم 3 واحده با در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار و بار ۸۵۰ ..... ۴۳
شکل۴-۲: نمودار همگرایی WCA برای سیستم ۶ واحده با در نظر گرفتن تلفات، نرخ شیب و نواحی منع و بار ۱۲۶۳ ..... ۴۵
شکل۴-۳: نمودار همگرایی الگوریتم WCA برای سیستم ۱۵ واحده بدون در نظر گرفتن نرخ شیب و بار ۲۶۳۰ ..... ۴۷
شکل۴-۴: نمودار همگرایی الگوریتم WCA برای سیستم ۱۵ واحده با در نظر گرفتن نرخ شیب و بار ۲۶۳۰ مگاوات ۴۷
شکل۴-۵: نمودار همگرایی WCA برای سیستم ۴۰ واحده با در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار و بار ۱۰۵۰۰ ..... ۵۲
شکل۴-۶: نمودار همگرایی الگوریتم WCA برای سیستم ۱۰ واحده با بار های ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ مگاوات ۵۴
شکل۴-۷:نمودار همگرایی الگوریتم WCA برای سیستم ۱۰ واحده و بار ۲۷۰۰ با و بدون اثر شیر ورودی بخار ۵۶
شکل ۴-۸: نمودار آنالیز حساسیت الگوریتم WCA برای سیستم ۱۰ واحده با بار ۲۷۰۰ مگاوات و پارامتر $d_{\max}$ ۵۸
شکل ۴-۹: نمودار آنالیز حساسیت الگوریتم WCA برای سیستم ۱۰ واحده با بار ۲۷۰۰ مگاوات و پارامتر C ۵۹
شکل ۴-۱۰: نمودار همگرایی برای سیستم ۵ واحده ۶۲
شکل ۴-11: توزیع تابع هزینه در ۱۰۰ اجرا برای سیستم ۵ واحده و روش KHAI ۶۳
شکل ۴-12: توزیع تابع هزینه در ۱۰۰ اجرا برای سیستم ۵ واحده و روش WCA ۶۳
شکل ۴-۱۳: نمودار همگرایی برای سیستم ۱۰ واحده ۶۷
شکل ۴-۱۴: توزیع تابع هزینه در ۱۰۰ اجرا برای سیستم ۱۰ واحده و روش KHAI ۶۷
شکل ۴-۱۵: توزیع تابع هزینه در ۱۰۰ اجرا برای سیستم ۱۰ واحده و روش WCA ۶۷
شکل ۴-۱۶: نمودار همگرایی برای سیستم ۱۰ واحده با در نظر گرفتن تلفات ۷۰
شکل ۴-۱۷: توزیع تابع هزینه در ۱۰۰ اجرا برای سیستم ۱۰ واحده با تلفات و روش KHAI ۷۰
شکل ۴-۱۸: توزیع تابع هزینه در ۱۰۰ اجرا برای سیستم ۱۰ واحده با تلفات و روش WCA ۷۱
شکل ۴-۱۹: نمودار همگرایی برای سیستم ۳۰ واحده ۷۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: مشخصات سیستم تست های به کار گرفته در این پایان نامه..... ۴۱
جدول۴-۲: نتایج الگوریتم WCA برای سیستم ۳ واحده با در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار و بار ۸۵۰ مگاوات..... ۴۲
جدول۴-۳: مقایسه نتایج الگوریتم WCA با روش های مختلف برای سیستم ۳ واحده با در نظر گرفتن اثر شیر ورودی و بار ۸۵۰ ۴۳
جدول۴-۴: نتایج الگوریتم WCA برای سیستم ۶ واحده با تلفات، نرخ شیب و نواحی منع شده و بار ۱۲۶۳..... ۴۴
جدول۴-۵: مقایسه نتایج WCA با روش های مختلف برای سیستم ۶ واحده تلفات، نرخ شیب و ۴۶
جدول۴-۶: نتایج الگوریتم WCA برای سیستم ۱۵ واحده با در نظر گرفتن تلفات، نرخ شیب و نواحی منع شده و بار ۲۶۳۰ ..... ۴۸
جدول۴-۷: مقایسه نتایج الگوریتم WCA با روش های مختلف برای سیستم ۱۵ واحده با در نظر گرفتن نرخ ۴۹
جدول ۴-۸: مقایسه نتایج الگوریتم WCA با روش های مختلف برای سیستم ۱۵ واحده بدون در نظر گرفتن نرخ ۵۰
جدول۴-۹: نتایج الگوریتم WCA با روش های مختلف برای سیستم ۴۰ واحده با در نظر گرفتن اثر شبر ورودی بخار ۵۱
جدول۴-۱۰: مقایسه نتایج الگوریتم WCA با روش های مختلف برای سیستم ۴۰ واحده با در نظر گرفتن اثر شبر ورودی ۵۲
جدول۴-۱۱: نتایج الگوریتم WCA برای سیستم ۱۰ واحده با بار های ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ مگاوات بدون اثر شیر ورودی ۵۳
جدول ۴-۱۲: مقایسه نتایج الگوریتم WCA با روش های مختلف برای سیستم ۱۰ واحده با بارهای ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ مگاوات ۵۴
جدول۴-۱۳: مقایسه نتایج الگوریتم WCA برای سیستم ۱۰ واحده با در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار..... ۵۵
جدول ۴-۱۴: مقایسه نتایج الگوریتم WCA برای سیستم های ۳۰،۶۰ و ۱۰۰ واحده..... ۵۷
جدول ۴-۱۵: نتایج الگورتیم WCA برای سیستم ۱۰ واحده با بار ۲۷۰۰ مگاوات و مقادیر مختلف $d_{\max}$ ۵۸
جدول ۴-۱۶: نتایج الگورتیم WCA برای سیستم ۱۰ واحده با بار ۲۷۰۰ مگاوات و مقادیر مختلف C ۵۹
جدول ۴-۱۷: نتایج الگورتیم KHAI برای توزیع اقتصادی ۲۴ ساعته سیستم 5 واحده..... ۶۱
جدول ۴-۱۸: نتایج الگورتیم KHAI برای توزیع اقتصادی سیستم 5 واحد..... ۶۲
جدول ۴-۱۹: نتایج الگورتیم KHAI برای توزیع اقتصادی ۲۴ ساعته سیستم ۱۰ واحده..... ۶۵
جدول ۴-۲۰: نتایج الگورتیم WCA برای توزیع اقتصادی سیستم ۱۰ واحده..... ۶۶
جدول ۴-۲۱: نتایج الگورتیم KHAI برای توزیع اقتصادی ۲۴ ساعته سیستم ۱۰ واحده با در نظر گرفتن تلفات..... ۶۸
جدول ۴-۲۲: نتایج الگورتیم KHAI برای سیستم ۱۰ واحده با در نظر گرفتن تلفات..... ۶۹
جدول ۴-۲۳: نتایج الگورتیم KHAI برای توزیع اقتصادی سیستم ۳۰ واحده..... ۷۲
جدول ۴-۲۴: نتایج الگورتیم KHAI برای توزیع اقتصادی ۲۴ ساعته سیستم ۳۰ شینه با در نظر گرفتن قیود امنیت..... ۷۴
جدول ۴-۲۵: نتایج روش های مختلف برای توزیع اقتصادی سیستم ۳۰ شینه با در نظر گرفتن قیود امنیت..... ۷۵

جدول ۴-۲۶: نتایج الگورتیم KHAI برای توزیع اقتصادی ۲۴ ساعته سیستم ۳۰ شینه با در نظر جبرانسازها..... ۷۵
جدول ۴-۲۷: نتایج روش های مختلف برای توزیع اقتصادی سیستم ۳۰ شینه با در نظر گرفتن جبرانسازها..... ۷۶
جدول ۴-۲۸: مقادیر بهینه جبرانسازها با استفاده از الگوریتم KHAI..... ۷۶

فصل اول: مقدمه

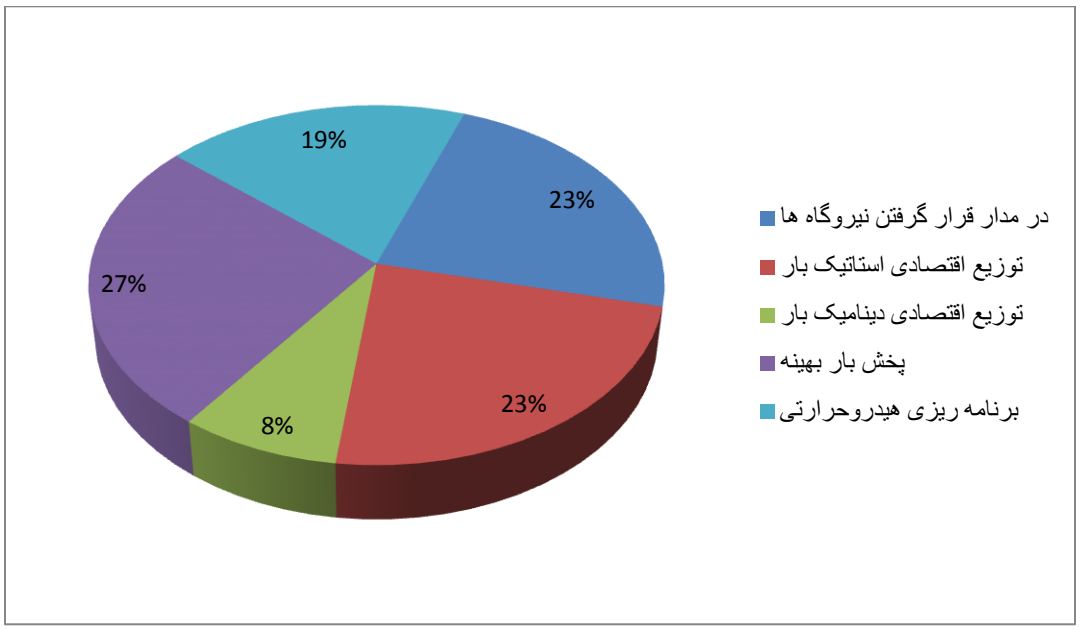
۱-۱-مقدمه

مهندسین قدرت همواره در جهت اقتصادی‌ترکردن عملکرد شبکه‌های برق همزمان با کاهش هزینه‌های سوخت و بالابردن تقاضای قابل پاسخگویی در تلاش هستند. در این باره مسائل گوناگونی در سیستم‌های قدرت مطرح می‌شود که با یکدیگر در تعامل بوده و از مهمترین آنها در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها[۸] ، پخش بار بهینه[۹]، برنامه‌ریزی هیدروحرارتی[۱۰] و توزیع اقتصادی بار استاتیک و دینامیک می‌باشند. از این میان، در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها عبارتست از تعیین خاموش و یا روشن بودن واحدهای یک شبکه در بازه زمانی معین، در حالی که مسئله توزیع اقتصادی، توزیع بهینه‌ی تقاضا را میان این نیروگاه‌ها تعیین می‌کند. در واقع مسئله توزیع اقتصادی بار میان واحدهای نیروگاهی به صورت یک مسئله بهینه‌سازی خطی با متغیرهای پیوسته فرمول‌بندی می‌شود. هدف اصلی در این مسئله، برنامه‌ریزی بهینه‌ی تولید توان در واحدهای نیروگاهی با کمترین هزینه توسط مجموع واحدها می باشد به طوری که قیود مساوی و نامساوی شامل تقاضای بار و حدود توان تولیدی واحدها رعایت گردد.

بیشتر مسائل بهینه‌سازی در سیستم‌های قدرت از جمله توزیع اقتصادی بار دارای ویژگی‌های پیچیده و غیرخطی با قیود مساوی و نامساوی می‌باشند که از دیدگاه ریاضی حل آن‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. در واقع توزیع اقتصادی بار یکی از مباحث مهم در زمینه‌ی مدیریت و بهره‌برداری از سیستم قدرت می باشد که هدف آن تعیین میزان تولید هر واحد نیروگاهی به نحوی است که بار سیستم با کمترین هزینه تامین شود در حالی که تمامی قیود حاکم بر مسئله رعایت شوند. نوع استاتیک مسئله معمولا در بازه‌های یک ساعته سیستم را مورد بررسی قرار می دهد در حالی که در نوع دینامیک، توزیع برای تمام طول روز میان نیروگاه‌ها انجام می‌گردد. بر اساس مرجع اطلاعات مقالات Sciencedirect از میان مسائل مطرح شده در بالا، به توزیع اقتصادی دینامیک

[8] Unit commitment (UC)
[9] Optimal power flow (OPF)
[10] Hydro-thermal scheduling (HTS)

توجه کمتر شده وپژوهش‌های کمتری را به خود اختصاص می‌دهد. این در حالی است که مسئله توزیع اقتصادی دینامیک بار بسیار پیچیده‌تر بوده و نیاز به بهینه سازی قوی تری نسبت به سایر مسائل بیان شده دارد. شکل ۱-۱ درصد پژوهش‌های انجام شده میان مسائل بیان شده را در مرجع اطلاعات Sciencedirect از سال ۲۰۰۹ تا به امروز نشان‌می دهد.



شکل ۱-۱: تقسیم بندی مقالات چاپ شده در Science direct در مسائل بیان شده در سیستم های قدرت از سال ۲۰۰۹

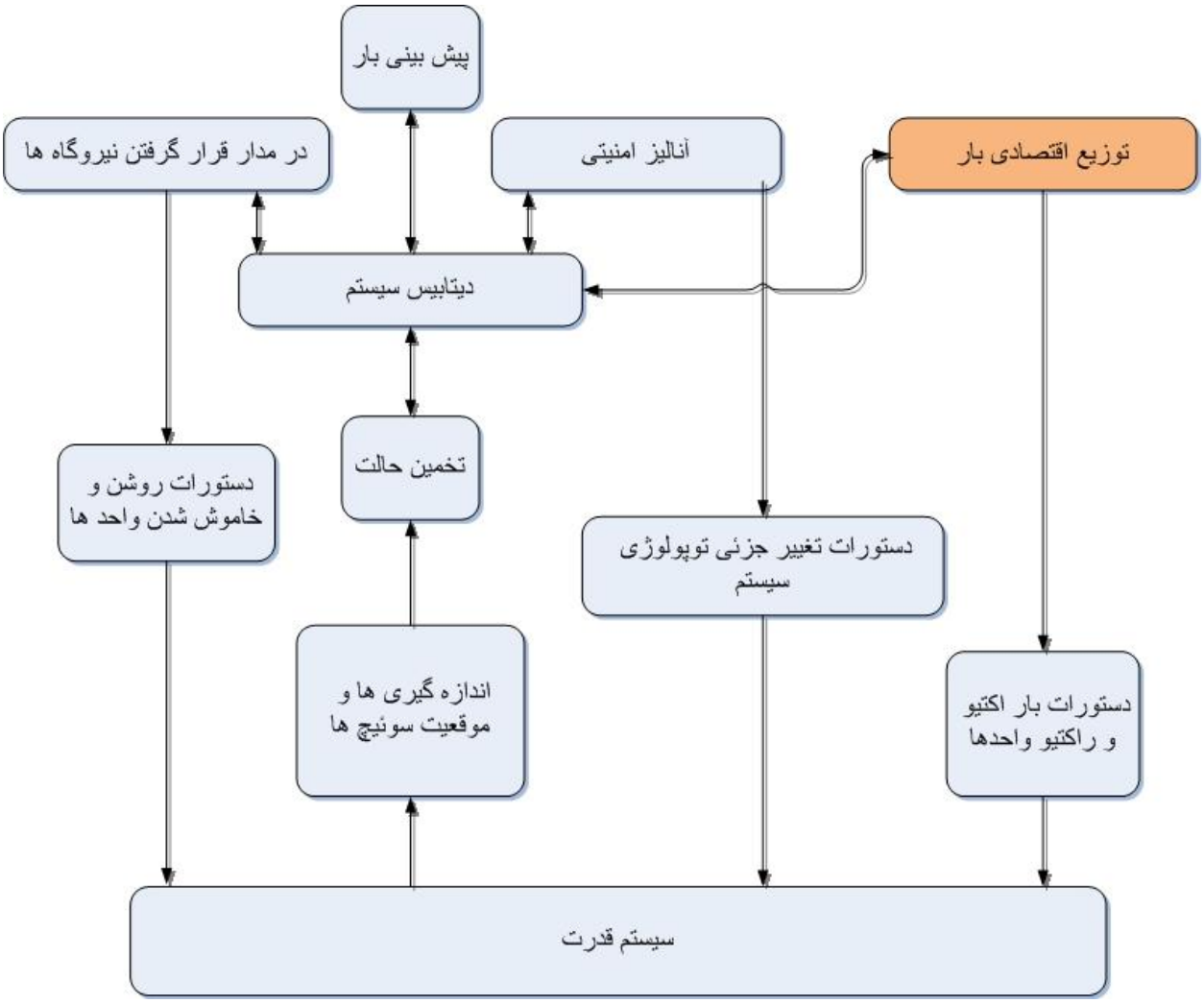
علاوه بر مسائل ذکر شده، دیگر مسائل مانند پیش‌بینی بار، نگه‌داری و کنترل فرکانس سیستم و سطوح ولتاژ شناسایی شده نیز در سیستم‌های قدرت مدرن مورد بررسی قرار می‌گیرند. شکل ۱-۲ عملکرد یک سیستم قدرت مدرن را با فرض یک سیستم قدرت کاملا اتوماتیک بر اساس کنترل دیجیتال لحظه‌ای[11] نشان می دهد. همانطور که در شکل آشکار است، سه مرحله‌ی اساسی در کنترل سیستم به نام‌های برنامه‌ریزی در مدار قرار گرفتن ژنراتورها، آنالیز امنیتی و توزیع اقتصادی وجود دارد.

- در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها شامل ترتیب خاموش (صفر) و یا روشن (یک) بودن ساعت به ساعت نیروگاه‌ها به منظور تامین بار مورد تقاضا و رعایت محدوده امنیتی می‌شود.

[11] Real time

- با ارائه توپولوژی سیستم و مشخص شدن نیروگاه‌های در مدار قرار گرفته، آنالیز امنیتی شامل تشخیص پاسخ‌گویی سیستم به یک سری احتمالات[۱۲] و قیود که حتما باید رعایت گردند می‌شود.

- توزیع اقتصادی میزان توان تولیدی ژنراتورهای در مدار را به صورت دقیقه‌ای به منظور کمینه شدن هزینه کل تولید و برقراری قیود امنیتی شبکه و دیگر قیود فیزیکی تعیین می‌کند.



شکل ۱-۲: عمکلرد های کنترلی سیستم قدرت

۱-۲- فصل بندی پایان نامه

[12] Contingencies

نحوه فصل‌بندی این پایان‌نامه به این صورت است که در فصل دوم ابتدا مسئله توزیع اقتصادی بار مفصلا و با ذکر تمامی جزئیات بیان شده و سپس جبران سازهای مورد استفاده و بررسی انواع روش‌های مدل کردن آن ها بررسی می شود. فصل سوم به مرور مختصری بر کارهای پیشین انجام شده در این زمینه پرداخته و سپس روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در این پایان‌نامه را مفصلا شرح می‌دهد. در فصل چهارم سیستم تست‌های گوناگون و فراوان در حالات متنوع معرفی شده و نتایج، نمودارها و جداول مقایسه با دیگر روش‌ها ارائه می‌شود و نتیجه‌گیری‌های مورد نیاز بیان می‌گردد. لازم به ذکر است که بررسی‌ها و مطالعات انجام شده گسترده‌تر بوده و به منظور اختصار تنها مهمترین سیستم تست ها با قیود دارای اهمیت بیشتر در پایان نامه گنجانده شده است. مراجع استفاده شده در این پایان نامه در انتهای پایان نامه ارائه می گردد.

.

فصل دوم: بیان مسئله توزیع اقتصادی

۲-۱- مقدمه

در این فصل مسئله توزیع اقتصادی بار مفصلا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در طول سالیان جزئیات مختلفی از شکل توابع هدف برای این مسئله معرفی شده است که هر کدام اهداف گوناگونی را نظیر کاهش هزینه، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و یا ترکیب آنها دنبال می‌کنند. در این بخش عبارات و فرمول‌های مورد استفاده در حالات مختلف این پایان‌نامه بیان می‌گردد و قیود اضافه شده به این مسئله نیز شرح داده می‌شود. قیود برابری و نابرابری گوناگونی در این مسئله به کار گرفته می‌شوند که به هر چه به واقعیت نزدیک‌تر شدن آن کمک می‌کنند.

علاوه بر این جبرانسازهای سری نیز به عنوان ادوات افزودنی به سیستم به منظور کاهش هزینه تولید در ادامه به صورت مختصر بیان می‌گردند.

۲-۲- معرفی مسئله توزیع اقتصادی بار

مسئله توزیع اقتصادی بار پیدا کردن نحوه تامین بار توسط نیروگاه‌ها به گونه‌ای است که هزینه سوخت کمینه شده ضمن آن قیود مساوی و نامساوی حاکم بر سیستم نیز رعایت گردند. در حالت ساده تابع هزینه هر واحد تولیدی می‌تواند به صورت یک تابع درجه دوم بیان شود و معمولا در این حالت پاسخ مسئله را می‌توان از روش‌های ریاضی تحلیلی به دست آورد. بنابراین تابع هدف در مسئله توزیع اقتصادی بار در ساده‌ترین حالت به شکل زیر می‌باشد:

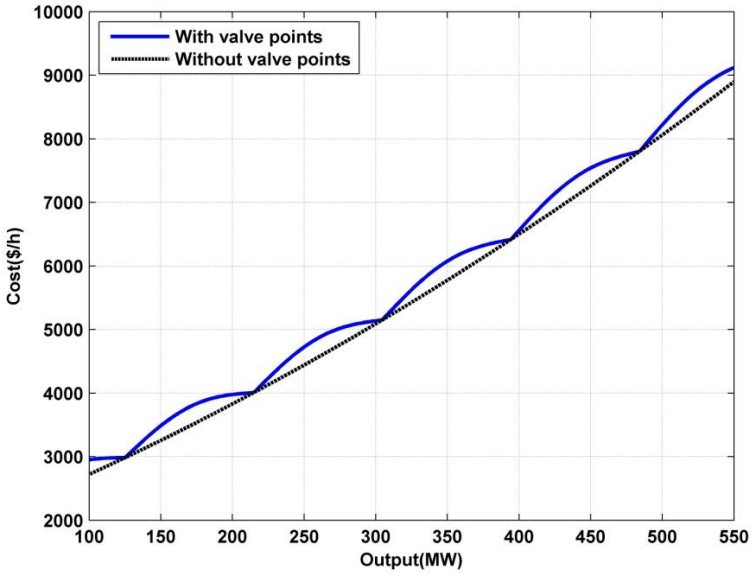
$$C_{total} = \min \sum_{i=1}^{N} F_i(P_i) \qquad (۱-۲)$$

که C_{total} هزینه کل، N تعداد ژنراتورها، P_i توان خروجی ژنراتور i و F_i هزینه تولید آن واحد می‌باشد.

البته اثر شیر ورودی بخار ناشی از وجود سوخت‌های فسیلی باعث ایجاد عوامل غیرخطی درجات بالاتر در نمودار خروجی واقعی واحدها و ایجاد ناهمواری در منحنی نمودارها می‌گردد. برای در نظر گرفتن این اثر، عبارت سینوسی به تابع هدف درجه دوم اضافه می‌گردد و شکل جدید آن به صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + \left| e_i \sin(f_i(P_i^{\min} - P_i)) \right| \qquad (۲-۲)$$

شکل ۲-۱ نمودار تابع هزینه‌ی یک واحد نمونه را با و بدون در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار برای یک واحد نمونه (واحد در سیستم تست بخش) با یکدیگر مقایسه می‌کند.



شکل ۲-۱: تابع هزینه ی یک واحد نمونه با و بدون درنظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار

همانطور که مشاهده می‌گردد شکل تابع هدف به صورت ناهموار می‌شود که به هنگام اجرای الگوریتم موجب ایجاد کمینه‌های محلی بیشتر گشته و کار را برای الگوریتم برای پیدا کردن بهینه مطلق مشکل‌تر می‌سازد.

۲-۳- محدودیت‌ها

مسئله توزیع اقتصادی بار که در بخش قبل بیان شد، باید با درنظر گرفتن قیود و محدودیت‌های زیر بهینه گردد:

۲-۳-۱- محدودیت توان اکتیو تولیدی واحدها

هر واحد نیروگاهی محدود به تولید توان در یک رنج خاص می‌باشد و نمی‌تواند کمتر و یا بیشتر از مقدار مشخصی توان اکتیو تولید نماید. لذا اولین شرط در مسئله توزیع اقتصادی بار بدین صورت بیان می‌گردد:

$$P_i^{\min} \le P_i \le P_i^{\max} \quad i = 1,...,N \qquad (۲-۳)$$

۲-۳-۲- محدودیت تعادل توان

این محدودیت به عنوان دیگر محدودیت بسیار مهم در مسئله توزیع اقتصادی بار، بیان می‌کند که همواره مجموع توان تولیدی ژنراتورهای سیستم برابر با توان مورد نیاز شبکه باشد. مجموع تولید کمتر و یا بیشتر از مقدار مورد نیاز منجر به خطای زیاد شده و قابل قبول نمی‌باشد. بسیاری از الگوریتم‌ها پاسخی پیدا می‌کنند که بهینه است اما خطای این قید آن بیشتر از حد معقول می‌باشد. البته مقدار ضریب جریمه[۱۳] نقش اصلی در تنظیم میزان خطای قابل قبول ایفا می‌کند.

$$\sum_{i=1}^{N} P_i = P_D \qquad (۲-۴)$$

۲-۳-۳- تلفات سیستم

تلفات سیستم نیز به عنوان عامل دیگر می‌تواند در مسئله در نظر گرفته شود. ماتریس توان تولیدی واحدها، فرمول کرون و ماتریس ضرایب B به طریق زیر تلفات سیستم را نتیجه می‌دهد:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{N} B_{i0} P_i + B_{00} \qquad (۲-۵)$$

در روشی ساده‌تر و البته با دقت کمتر تلفات از این فرمول به دست می‌آید:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} P_i B_{ij} P_j \qquad (۲-۶)$$

[13] Penalty factor