بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

ارزیابی احتمالاتی قابلیت تبادل توان و ریسک در شبکه‌های قدرت با استفاده از بهینه‌سازی چند هدفه

نگارنده:

جواد کافی کندری

استاد راهنما:

دکتر مریم رمضانی

استاد مشاور:

دکتر حمید فلقی

تابستان ۱۳۹۱

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان‌نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم به

پدر و مادرم

برادران و خواهرم

معلمان ارجمند دوران ابتدایی، راهنمایی و متوسطه ام

آقایان خدابخشی، فیلابی و هاشمیان

و همه ی عزیزانم

اگر در خور تقدیم باشد....

تشکر و قدردانی

ترا دانش و دین رهاند درست در رستگاری ببایدت جست

وگر دل نخواهی که باشد نژند نخواهی که دایم بوی مستمند

به گفتار پیغمبرت راه جوی دل از تیرگیها بدین آب شوی

شکر خداوند متعال را به جای می آورم که توفیق آن را نصیب من کرد تا این پژوهش را به انجام رسانم. اکنون به مصداق فرموده خورشید هشتم « من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزوجل » بر خود لازم می دانم تا تقدیر و تشکری صمیمانه ای بنمایم از استاد فرهیخته و فرزانه سرکار خانم دکتر رمضانی که خالصانه تجارب گران مایه شان را به این جانب انتقال دادند و با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نمودند و همواره راهنما و راه گشای این جانب در انجام، اتمام و اکمال این پایان نامه بوده اند.

از استاد محترم و عزیزم جناب آقای دکتر فلقی، که علاوه بر این پایان نامه، در تمام طول تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد، همواره از نظرات و مشاوره های سودمند و راه گشایان بهره برده ام، کمال تشکر و سپاس گزاری را می نمایم.

هم چنین بر خود فرض می دارم از تمامی اساتید گروه قدرت دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند، آقایان دکتر محمدرضا آقا ابراهیمی، دکتر محمد علی شمسی نژاد، دکتر محسن فرشاد، دکتر رضا شریعتی نسب، دکتر حمیدرضا نجفی، دکتر محمود عبادیان و دکتر سعید گلدانی که توفیق شاگردی خود را نصیب این جانب نموده اند و همواره خود را مدیون زحمات ارزنده آنان می دانم، صمیمانه تشکر و قدردانی بنمایم و توفیق روز افزون آنان را از خداوند منان مسئلت می نمایم.

از خانواده عزیزم، بسیار سپاس گزارم که حمایت های همه جانبه و بی دریغ شان، همواره همراه و یاورم بوده است. سلامتی و سربلندی شان را از خداوند متعال خواستارم. از همه هم کلاسی ها و دوستان عزیزم که تجربه شیرین اما زودگذر باهم بودن و زندگی در شهر زیبای بیرجند با مردمان خون

گرمش را به من هدیه نمودند، به خصوص آقای مهندس پویا تدین و مهندس سید علی میر جعفری، صمیمانه متشکرم و همواره یادشان را در پررنگ ترین نقطه قلبم روشن نگاه خواهم داشت.

جواد کافی

تابستان ۱۳۹۱

چکیده

با افزایش روز افزون میزان و ارزش تقاضا برای مصرف برق در دهه‌های اخیر، ارتباط، امنیت و به هم پیوستگی شبکه برق اهمیت زیادی یافته است. شبکه‌های انتقال به عنوان عنصر اصلی و ارتباطی در شبکه قدرت، نقش بسیار پر رنگی در تأمین نیاز مصرف کنندگان دارند. شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی شبکه انتقال از لحاظ توانایی آن برای حفظ ارتباط سیستم قدرت در شرایط مختلف بهره‌برداری تعریف شده است که در این میان شاخص قابلیت تبادل برای تعیین توانایی شبکه در انتقال توان به جهت استفاده در موقعیت‌های مختلف اقتصادی در آینده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ارزیابی قابلیت تبادل توان باید اطلاعاتی دقیق و واقعی در مورد توانایی شبکه جهت افزایش مطمئن تبادل توان بین نواحی در اختیار بهره‌برداران شبکه قرار دهد. روش‌های قطعی تعیین قابلیت تبادل، مقادیر بسیار محافظ کارانه و دور از واقعیت برای یک شبکه در نظر می‌گیرند که سبب بهره‌برداری غیراقتصادی و کم بازده از سیستم انتقال می‌گردد. در این پایان‌نامه مدلی جدید در قالب بهینه‌سازی چندهدفه جهت ارزیابی احتمالاتی قابلیت تبادل توان بین نواحی معرفی گردیده است که توابع هدف این بهینه‌سازی، افزایش قابلیت تبادل و کاهش ریسک می‌باشد. در جبهه کارای پاسخ‌ها، دامنه وسیعی از مقادیر قابلیت تبادل توان، با مقادیر متنوعی از ریسک، در اختیار فراهم کنندگان انتقال (TPs) و بهره‌برداران مستقل سیستم (ISOs) قرار می‌گیرد تا با توجه به شرایط موجود، بتوانند انتخابی انعطاف پذیر و مناسب برای مقدار قابلیت تبادل، جهت انطباق با سیگنال‌های اقتصادی بازار داشته باشند. پس از معرفی کامل روش پیشنهادی در نهایت به منظور بررسی کارایی این شیوه در ارزیابی احتمالی قابلیت تبادل از سیستم ۲۴ باسه IEEE-RTS استفاده شده است.

کلید واژه: قابلیت تبادل، ریسک، ارزیابی احتمالاتی، بهینه‌سازی چندهدفه، مونت‌کارلو، پخش بار بهینه متناوب.

فهرست مطالب

عنوان‌صفحه

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ه

فهرست جدول‌ها ..... ز

فهرست شکل‌ها ..... ح

فصل ۱- مقدمه... ..... ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- اهداف و نوآوری پایان‌نامه ۲

۱-۳- ساختار پایان‌نامه ۳

فصل ۲- مفاهیم کلی قابلیت تبادل شبکه انتقال ۴

۲-۱- مقدمه ۴

۲-۲- جایگاه سیستم انتقال در شبکه قدرت تجدید ساختار یافته ۴

۲-۳- قابلیت تبادل ۵

۲-۳-۱- تفاوت قابلیت تبادل با ظرفیت تبادل در یک شبکه ۵

۲-۳-۲- تعیین قابلیت تبادل در شبکه ۵

۲-۳-۳- محدودیت‌های قابلیت تبادل ۷

۲-۴- قابلیت تبادل کلی ۸

۲-۴-۱- تعیین قابلیت تبادل کلی ۹

۲-۵- انواع حاشیه‌های قابلیت تبادل ۱۲

۲-۵-۱- حاشیه قابلیت اطمینان انتقال ۱۲

۲-۵-۲- حاشیه مفید ظرفیت ۱۳

۲-۶- قابلیت تبادل در دسترس ۱۴

۲-۶-۲- سرویس کاهش پذیر ۱۵

۲-۶-۲- سرویس فراخوان پذیر ۱۵

۲-۶-۳- ارتباط و اولویت سرویس‌های غیر قابل فراخوان و قابل فراخوان ۱۷

۲-۷- تراکم انتقال ۱۹

۲-۸- افق بهره‌برداری و افق برنامه‌ریزی ۲۰

فصل ۳- مروری بر مطالعات انجام شده ۲۱
۳-۱- مقدمه ۲۱
۳-۲- محاسبه قابلیت تبادل با استفاده از روش‌های ایستا ۲۲
۳-۲-۱- معیارهای توقف روش‌های ایستا ۲۲
۳-۲-۲- مزایا ۲۳
۳-۲-۳- معایب و نقایص ۲۳
۳-۳- محاسبه قابلیت تبادل با استفاده از روش‌های پویا ۲۴
۳-۳-۱- معیارهای توقف ۲۶
۳-۳-۲- مزایا ۲۶
۳-۳-۳- معایب و نقایص ۲۷
۳-۴- روش‌های محاسبه قابلیت تبادل با استفاده از روش‌های قطعی ۲۷
۳-۵- روش‌های محاسبه قابلیت تبادل با استفاده از روش‌های احتمالاتی ۲۹
۳-۶- بررسی اثر ادوات FACTS بر روی قابلیت تبادل ۳۱
۳-۷- بررسی اثر حضور نیروگاه بادی در شبکه بر روی قابلیت تبادل در دسترس ۳۲
فصل ۴- بهینه‌سازی چندهدفه ۳۳
۴-۱- مقدمه ۳۳
۴-۲- مفاهیم اولیه و اصطلاحات ۳۳
۴-۲-۱ جستجو و تصمیم‌گیری ۳۸
۴-۳- روش‌های سنتی ۳۸
۴-۳-۱- بررسی روش‌های کلاسیک ۳۹
۴-۴- الگوریتم‌های تکاملی (EA) ۳۹
۴-۵- روش NSGA ۴۰
۴-۶- روش NSGA-II ۴۱
۴-۶-۱- روش مرتب سازی سریع برای جستجوی افراد غالب ۴۱
۴-۶-۲- محاسبه شاخص تراکم افراد در جمعیت ۴۲
۴-۶-۳- عملگر مقایسه ازدحام ($<_n$) ۴۲
۴-۶-۴- پیاده سازی الگوریتم NSGA-II ۴۳
۴-۷- انتخاب بهترین جواب ۴۴
۴-۸- نتیجه‌گیری ۴۵

فصل ۵- ارائه روشی نوین برای ارزیابی قابلیت تبادل توان بین نواحی ۴۶

۵-۱- مقدمه ۴۶

۵-۲- مراحل محاسبه قابلیت تبادل بین نواحی مختلف ۴۷

۵-۲-۱- ساختن مدل شبکه و اطلاعات آن در حالت پایه ۴۷

۵-۲-۲- تعیین ناحیه تولید و مصرف ۵۰

۵-۲-۳- تبادل توان در جهت مطلوب ۵۰

۵-۲-۴- رسیدن شبکه به قیود آن ۵۰

۵-۳- محاسبه قابلیت تبادل توان بین نواحی با استفاده از روش OPF ۵۱

۵-۴- ارزیابی احتمالاتی قابلیت تبادل توان در شبکه ۵۳

۵-۴-۱- لزوم ارزیابی احتمالاتی قابلیت تبادل توان ۵۳

۵-۴-۲- ارزیابی احتمالاتی قابلیت تبادل توان با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۵۴

۵-۵- مدل پیشنهادی جهت ارزیابی احتمالی قابلیت تبادل و تعیین ریسک ۵۷

۵-۵-۱- مدل‌سازی ارزیابی قابلیت تبادل به صورت یک مسئله دو هدفه ۵۹

۵-۵-۲- تابع هدف ۵۹

۵-۵-۳- نحوه کد بندی مسئله ۶۰

۵-۵-۴- تولید جمعیت اولیه ۶۱

فصل ۶- مطالعات عددی ۶۴

۶-۱- مقدمه ۶۴

۶-۲- اطلاعات شبکه و فرضیات مطالعه ۶۴

۶-۳- تشکیل شبکه در حالت مبنا ۶۴

۶-۴- محاسبه احتمالی قابلیت تبادل با استفاده از روش مونت‌کارلو ۶۶

۶-۵- غربالگری خطاها در محاسبه قابلیت تبادل توان ۶۸

۶-۶- ارزیابی قابلیت تبادل به صورت یک مسئله دو هدفه با روش پیشنهادی ۷۲

۶-۶-۱- بهینه‌سازی چندهدفه قابلیت تبادل و ریسک بر اساس تعریف اول ۷۳

۶-۶-۲- بهینه‌سازی چندهدفه قابلیت تبادل و ریسک بر اساس تعریف دوم ۷۵

۶-۷- آنالیز حساسیت ریسک و قابلیت تبادل توان نسبت به تغییر شاخص‌های قابلیت اطمینان ... ۷۷

۶-۷-۱- محاسبه قابلیت تبادل توان و ریسک در حالت کاهش نرخ دسترس ناپذیری تجهیزات ۷۷

۶-۷-۲- محاسبه قابلیت تبادل توان و ریسک در حالت افزایش نرخ دسترس ناپذیری تجهیزات ۷۸

۶-۸- نتیجه‌گیری ۸۱

فصل ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۳

۷-۱- نتیجه‌گیری ۸۳

۷-۲- پیشنهادات ۸۴

ضمیمه أ -مشخصات شبکه ۲۴ باسه IEEE ۸۷

فهرست مراجع ۹۲

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۹۵

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۹

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
قابلیت تبادل توان در شرایط نرمال	TTCNORM
ضریب پراکندگی	Var
شاخص کوواریانس	CoVar
امید ریاضی	E
بردار قطع بار	C
بردار بار مورد تقاضا	P_D
بردار توان تولیدی ژنراتورها	P_G
جریان عبوری از خطوط	P_{flow}
حداکثر جریان عبوری از خطوط	P_{max}
نرخ خروج اجباری تجهیزات	FOR
نرخ خرابی	λ
نرخ تعمیر	μ
نرخ دسترس‌پذیری	A
نرخ دسترس‌ناپذیری	U
ویرایشی از الگوریتم ژنتیک چندهدفه	NSGA(II)
بردار وزنی اهمیت اهداف	W
فضای تصمیم	X
فضای هدف	Y
کران قیدها	ε
عملگر مقایسه ازدحام	$<_n$
پارامتر اشتراک‌گذاری	σ

فهرست جدول‌ها

عنوان‌صفحه

جدول ۶-۱: میزان تولید و بار در دو ناحیه در حالت مبنا..... ۶۵
جدول ۶-۲: توان عبوری از خطوط و میزان تلفات توان آن‌ها در حالت پایه..... ۶۶
جدول ۶-۳: لیست خطاهای در نظر گرفته شده در بررسی شبکه..... ۶۹
جدول ۶-۴: زمان انجام آزمایشات و امید ریاضی TTC حاصل از هر آزمایش ۷۱
جدول ۶-۵: پارامترهای در نظر گرفته شده برای اجرای NSGA (II) ۷۳
جدول ۶-۶: نتایج بهینه‌سازی چندهدفه قابلیت تبادل و ریسک..... ۷۴
جدول ۶-۷: شاخص‌های در نظر گرفته شده جهت انتخاب مناسب‌ترین جواب توسط روش فازی ۷۵
جدول ۶-۸: نتایج بهینه‌سازی چندهدفه قابلیت تبادل و ریسک..... ۷۶
جدول ۶-۹: شاخص‌های در نظر گرفته شده جهت انتخاب مناسب‌ترین جواب توسط روش فازی ۷۶
جدول ۶-۱۰: شاخص‌های در نظر گرفته شده جهت انتخاب مناسب‌ترین جواب توسط روش فازی ۷۸
جدول ۶-۱۱: شاخص‌های در نظر گرفته شده جهت انتخاب مناسب‌ترین جواب توسط روش فازی ۷۸
جدول ۶-۱۲: مقادیر حداقل و حداکثر ریسک قابلیت تبادل توان با تغییر شاخص خروج اجباری (FOR) ۷۹
جدول ۶-۱۳: مناسب‌ترین پاسخ در انتخاب فازی به ازا تغییرات FOR تجهیزات..... ۸۱
جدول ۷-۱: داده‌های قابلیت اطمینان واحدهای تولیدی ۸۷
جدول ۷-۲: مکان واحدهای تولیدی..... ۸۷
جدول ۷-۳: حدود توان اکتیو و راکتیو واحدهای تولیدی ۸۸
جدول ۷-۴: داده‌های قابلیت اطمینان خطوط انتقال..... ۸۹
جدول ۷-۵: مشخصات الکتریکی خطوط انتقال..... ۹۰
جدول ۷-۶: جدول داده‌های بار باس‌های شبکه..... ۹۱

فهرست شکل‌ها

عنوان‌صفحه

شکل ۲-۱: تغییر محدودیت سیستم با توجه به شرایط شبکه ۱۱
شکل ۲-۲: اجزاء اقتصادی به کار گرفته شده در تعریف TTC و ATC ۱۸
شکل ۲-۳: روابط حاکم بر ATC و اولویت‌های آن ۱۸
شکل ۴-۱: مثال گویا از بهینگی پرتو در فضای هدف (a) و روابط ممکن پاسخ‌ها در فضای هدف (b)... ۳۵
شکل ۴-۲: مثال گویا از مجموعه جواب‌های بهینه محلی و سراسری در فضای هدف. ۳۷
شکل ۴-۳: نحوه محاسبه فاصله ازدحام ۴۲
شکل ۴-۴: روند اجرایی الگوریتم NSGA-II ۴۴
شکل ۵-۱: شبکه نمونه با سه ناحیه ۴۹
شکل ۵-۲: الگوریتم ارزیابی احتمالی قابلیت تبادل توان با شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۵۷
شکل ۵-۳: نحوه کد بندی پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک ۶۰
شکل ۵-۴: روند نمای کلی مدل پیشنهادی ۶۲
شکل ۶-۱: شبکه ۲۴ باسه IEEE-RTS ۶۵
شکل ۶-۲: مقدار TTC در تکرارهای شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۶۶
شکل ۶-۳: مقدار متوسط TTC در تکرارهای شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۶۷
شکل ۶-۴: تغییرات احتمالاتی قابلیت تبادل توان در روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۶۸
شکل ۶-۵: تابع توزیع تجمعی احتمالاتی TTC ۶۸
شکل ۶-۶: تغییرات احتمالاتی قابلیت تبادل توان با در نظر گرفتن خطاهای یگانه تجهیزات ۷۰
شکل ۶-۷: تغییرات احتمالاتی قابلیت تبادل توان با در نظر گرفتن خطاهای یگانه و دوگانه تجهیزات .. ۷۰
شکل ۶-۸: تغییرات احتمالاتی قابلیت تبادل توان با در نظر گرفتن لیست خطای پیشنهادی ۷۱
شکل ۶-۹: تابع توزیع تجمعی احتمالاتی TTC در حالات مختلف خروج المان‌ها ۷۲
شکل ۶-۱۰: جبهه کارای قابلیت تبادل توان و ریسک شبکه ۷۴
شکل ۶-۱۱: جبهه کارای قابلیت تبادل توان و ریسک شبکه ۷۵
شکل ۶-۱۲: جبهه کارای پاسخ‌ها در حالت نصف شدن میزان دسترس ناپذیری خطوط و ژنراتورها..... ۷۸
شکل ۶-۱۳: جبهه کارای پاسخ‌ها در حالت دو برابر شدن میزان دسترس ناپذیری خطوط و ژنراتورها... ۷۹
شکل ۶-۱۴: جبهه کارای پاسخ‌ها در حالات تغییر در نرخ خروج اجباری تجهیزات ۸۰

شکل ۶-۱۵: منحنی تغییرات ریسک با تغییرات شاخص FOR خطوط و ژنراتورها..... ۸۰

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

اگر برق کالایی ساده بود؛ این امکان بود که کیلووات ساعت‌ها را مانند چند کیلوگرم آرد یا تعدادی دستگاه تلویزیون بر هم انباشت؛ به گونه‌ای که مصرف کننده به محض روشن کردن چراغ یا راه اندازی فرآیند صنعتی، از آن استفاده نماید. این مفهوم با وجود پیشرفت‌های اخیر در فن‌آوری ذخیره برق و میکرو مولدها هنوز به صورت فنی یا اقتصادی، شدنی نیست. هنوز در تحویل پیوسته و مطمئن انرژی الکتریکی نیاز به نیروگاه‌های بزرگی است که به واسطه شبکه انتقال و توزیع به مصرف کنندگان مرتبط می‌شوند و تقریباً در همه نواحی جهان، نمی‌توان این فرض را پذیرفت که انرژی الکتریکی به گونه‌ای مبادله می‌شود که گویی مولدها و بارها به باس یکسانی متصل هستند. قیود انتقال و تلفات در شبکه‌ای که مولدها و بارها را به هم متصل می‌نماید، می‌تواند بازار انرژی الکتریکی را دستخوش اعوجاج‌های عمده‌ای نماید.

در دهه‌های اخیر شرکت‌های برق در بسیاری از نقاط جهان با مفاهیم تجدید ساختار، دسترسی آزاد و خصوصی سازی مواجه شده‌اند. از آنجا که در سیستم‌های تجدید ساختار یافته، تولید در انحصار دولت نمی‌باشد، امکان انجام فعالیت‌های اقتصادی به گونه‌ای مناسب برای تولیدکنندگان انرژی الکتریکی فراهم می‌گردد. در این شرایط مصرف کنندگان نیز برای خرید انرژی الکتریکی مورد نیاز خود از تولیدکننده مناسب، قدرت انتخاب بیشتری دارند. در چنین شرایطی مفهوم دسترسی آزاد تمام شرکت‌کنندگان و بازیگران بازار به شبکه انتقال ضروری به نظر می‌رسد، به گونه‌ای که هر ناحیه بتواند برای تأمین انرژی خود از تولیدکنندگان ارزان‌تر که شاید در نواحی دیگر باشند از طریق شبکه انتقال ایمن و بهم پیوسته اقدام نماید. اما از سوی دیگر مفهوم دسترسی آزاد، سبب پیچیدگی‌هایی در بهره‌برداری ایمن از شبکه انتقال گردیده است.

شاخص قابلیت تبادل (TC)[1] برای اطمینان از بهره‌برداری مناسب و ایمن شبکه انتقال و جلوگیری از بروز اضافه بارها و یا افت ولتاژهای غیر مجاز در شبکه تعریف می‌گردد. هرچند که این مفهوم در شبکه‌های سنتی نیز بیشتر با در نظر گرفتن اهداف طراحی مورد ارزیابی قرار می‌گرفته است اما انجام تجدید ساختار در صنعت برق و ظهور مفاهیمی از قبیل حقوق فیزیکی انتقال، مدیریت ریسک انتقال و ...

[1] .Transfer Capability

سبب شده است که تعیین مقدار دقیق قابلیت تبادل، به یکی از اطلاعات با ارزش برای بازیگران بازار از یک سو و برای طراحان و بهره‌برداران از سوی دیگر تبدیل شود. از آنجا که طراحی و توسعه شبکه انتقال امری هزینه بر و وقت‌گیر می‌باشد، طراحان سیستم قسمتی از تصمیم‌گیری‌های کلان خود را برای گسترش شبکه‌های انتقال با توجه به این شاخص انجام می‌دهند. بهره‌برداران نیز سیستمی را که قابلیت تبادل مناسبی بین نواحی آن وجود دارد، ایمن‌تر در نظر می‌گیرند.

تاکنون روش‌های متعددی برای تعیین قابلیت تبادل شبکه ارائه شده است. در اکثر این روش‌ها که عمدتاً روش‌های ارزیابی قطعی می‌باشند، ساده سازی‌های متعددی انجام شده است. ارزیابی قابلیت تبادل توان باید اطلاعاتی دقیق و واقعی در مورد توانایی شبکه جهت افزایش مطمئن تبادل توان بین نواحی فراهم نماید. از سوی دیگر روش‌های قطعی تعیین قابلیت تبادل، مقادیر بسیار محافظ کارانه و دور از واقعیت برای یک شبکه در نظر می‌گیرند. انتخاب این مقادیر نه چندان عملی، سبب بهره‌برداری غیراقتصادی و کم بازده از سیستم انتقال می‌گردد. بنابراین در این پایان‌نامه ما بر آن شدیم که به بررسی مسئله قابلیت تبادل توان با در نظر عدم قطعیت‌ها در سیستم‌های قدرت بپردازیم. سعی شده است روشی ارائه شود که بتواند شاخص‌های مورد نیاز جهت تصمیم‌گیری درست را در اختیار طراحان، بهره‌برداران و دیگر بازیگران بازار رقابت انرژی الکتریکی قرار دهد.

۱-۲- اهداف و نوآوری پایان‌نامه

در این پژوهش مسئله بررسی احتمالاتی قابلیت تبادل توان مورد مطالعه قرار گرفته است. برای اولین بار مدلی برای ارزیابی همزمان مقدار قابلیت تبادل و ریسک مبتنی بر بهینه‌سازی چندهدفه ارائه شده است که ایده‌ای جدید و بدیع می‌باشد. برای حل این مسئله دو هدفه که یک هدف آن کمینه سازی ریسک و هدف دیگر آن افزایش مقدار قابلیت تبادل توان بین نواحی می‌باشد، از الگوریتم $NSGA(II)$ استفاده گردیده شده است. جبهه کارای پاسخ‌ها، مقادیر گوناگونی از قابلیت تبادل توان بین دو ناحیه با مقادیر متنوعی از ریسک را در اختیار قرار می‌دهد که اطلاعات بسیار مفید و مناسب در مورد شبکه انتقال برای بهره‌برداران، طراحان و بازیگران بازار فراهم می‌نماید تا بتوانند تصمیم‌گیری درستی داشته باشند.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

ساختار این پژوهش بدین شرح است:

در **فصل دوم**، ابتدا مفاهیم اساسی و اولیه در خصوص قابلیت تبادل بیان شده، سپس تمامی اجزاء آن به طور جداگانه به تفصیل بسط داده شده‌اند.

در **فصل سوم**، مطالعات صورت گرفته در زمینه ارزیابی قابلیت تبادل مرور گردیده و در نهایت دسته بندی مناسبی با بیان مراجع مختلف ارائه شده است.

در **فصل چهارم** به معرفی روش‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه و چندهدفه پرداخته شده است و روش بهینه‌سازی چندهدفه $NSGA(II)$ معرفی گردیده است.

روش پیشنهادی این پایان نامه در **فصل پنجم** با ذکر کلیه جزئیات آن به طور کامل بیان گردیده و در نهایت مزایای این روش شرح داده شده است.

در **فصل ششم**، صحت و درستی مدل ارائه شده با شبیه‌سازی آن بر روی شبکه نمونه آزمایش شده و با روش متداول ارزیابی قابلیت تبادل مقایسه گردیده و به اثبات رسیده است.

فصل هفتم نیز در انتها به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی پایان‌نامه پرداخته است و پیشنهاداتی برای اجرای کارهای آتی در این زمینه به پژوهشگران ارائه می‌نماید.

فصل ۲– مفاهیم کلی قابلیت تبادل شبکه انتقال

۲–۱– مقدمه

شبکه‌های انتقال که وظیفه انجام تبادلات توان میان نقاط تولید و مصرف را بر عهده دارند، نقش مهمی در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار یافته بازی می‌نمایند. از این رو برای اطمینان از بهره‌برداری مناسب و ایمن شبکه انتقال و جهت پیشگیری از بروز اضافه بار و یا افت ولتاژ در شبکه، آگاهی از میزان قابلیت تبادل توان این شبکه‌ها بسیار مهم می‌باشد و ارزیابی آن از وظایف مهم بهره‌بردار در سیستم قدرت می‌باشد. قابلیت تبادل در دسترس و باقیمانده، با در نظر گرفتن تمامی قراردادهای انرژی موجود در شبکه بدست می‌آید و مبنای فعالیت‌های اقتصادی آتی در زمینه خرید و فروش انرژی برق قرار می‌گیرد.

در این فصل نخست به بیان جایگاه سیستم انتقال در شبکه‌ی قدرت تجدید ساختار یافته پرداخته می‌شود، سپس تعریف قابلیت تبادل ارائه می‌گردد و پارامترهای تأثیرگذار بر مقدار قابلیت تبادل و سایر اجزا وابسته به آن‌ها شامل تبادلات برنامه‌ریزی شده‌ی توان، قابلیت تبادل در دسترس شبکه، حاشیه قابلیت اطمینان و حاشیه مفید ظرفیت و مفهوم تراکم بیان می‌گردند.

۲–۲– جایگاه سیستم انتقال در شبکه قدرت تجدید ساختار یافته

به دلیل ماهیت ویژه انرژی الکتریکی امکان ذخیره‌سازی آن در مقادیر زیاد وجود ندارد، بنابراین بایستی شرایط تساوی عرضه و تقاضا در شبکه قدرت همواره برقرار باشد.

در بازارهای عمده‌فروشی برق، شبکه انتقال به عنوان ابراز اصلی داد و ستد مطرح می‌باشد. هرگونه ناتوانی و بروز نقص در برقراری توازن سیستم قدرت، می‌تواند منجر به وقوع پدیده‌ی خاموشی شود. این عدم توازن می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان تولید و بار، یا ناتوانی و نقصان در شبکه انتقال باشد.

در صنعت تجدید ساختار یافته و در یک محیط رقابتی، شبکه انتقال منجر به ارائه‌ی خدمات متعددی به اجزا سیستم رقابتی می‌گردد. انتقال توان باید مطابق اهداف عملکردی و رقابتی این سیستم باشد به طوری که از حد مجاز ظرفیت سیستم تجاوز نکند.