

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق (قدرت)

برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط
تجدید ساختار یافته با در نظر گرفتن معیارهای
احتمالاتی قابلیت اطمینان

مجتبی الیاسی

استاد راهنما:

دکتر حسین سیفی

استاد مشاور:

دکتر محمود رضا حقی فام

زمستان ۱۳۸۷

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی: **محبی‌الیاسی**

امضاء

به نام خدا

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای مجتبی الیاسی را با عنوان:

”برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط تجدید ساختار یافته با در نظر گرفتن معیارهای

احتمالاتی قابلیت اطمینان”

از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می نمایند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر حسین سیفی	استاد	
استاد مشاور	دکتر محمودرضا حقی فام	استاد	
استاد مشاور	-	-	
استاد ممتحن (داخلی)	دکتر محمد کاظم شیخ الاسلامی	استادیار	
استاد ممتحن (خارجی)	دکتر محمود فتوحی فیروزآباد	دانش یار	
نماینده گروه	دکتر محسن پارسامقدم	دانش یار	

تقدیم به همه عزیزانم،
اگر دخترتقدیم باشد...

مشکر و قدردانی

مراحمی ست با جانان که تاجان در بدن دارم
هواداران کویش را چون نخیستن دارم

از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر حسین سیفی، به خاطر راهنمایی‌های ارزنده ایشان و به خاطر انتقال تجارب که اقدرشان به اینجانب در طول دوران تحصیل، کمال مشکر و قدردانی را دارم که افزون بر مسیر علم، مسیر زندگی را نیز برای اینجانب روشن و میسر نمودند. از استاد محترم و عزیزم، آقای دکتر محمود رضا حقی فام، صمیمانه سپاس گزار می‌نمایم که در طول تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد و به خصوص در انجام این پایان نامه، همواره از نظرات و مشاوره صمیمانه و راه‌گشایشان بهره برده‌ام.

هم‌چنین، بر خود فرض می‌دانم که از دیگر اساتید گران قدر و محترم گروه قدرت دانشکده فنی مهندسی تربیت مدرس، آقایان دکتر محسن پارسا مقدم، دکتر علی زردیان و دکتر مصطفی محمدیان صمیمانه قدردانی نمایم. همواره خود را مدیون زحمات ارزنده آنان می‌دانم و سپاسگزارم و توفیق روز افزون آنان را مسلت می‌نمایم.

از اساتید گرامی، آقایان دکتر محسن پارسا مقدم، دکتر محمد کاظم شیخ الاسلامی و دکتر محمود فتوحی فیروز آبادی، به خاطر ارزیابی پایان نامه اینجانب، مشکر و سپاس گزارم.

از خانواده عزیزم، بسیار سپاس گزارم که حمایت‌های همه‌جانبه و بی‌دریغ‌شان، همواره همراه و یاورم بوده است. سلامتی و سربلندی‌شان از خداوند متعال خواستارم. از همکاران ارجمندم در مرکز ملی مطالعات و برنامه‌ریزی شبکه‌های قدرت و از همه هم‌کلاسی‌های عزیزم نیز مشکرم.

مجتبی الیاسی

زمستان ۱۳۸۷

چکیده- به طور کلی، برنامه‌ریزی توسعه انتقال در بازار مقررات‌زدایی شده، به دو بخش تقسیم می‌شود: سرمایه‌گذاری انتقال و برنامه‌ریزی انتقال. دو عنصر اساسی در برنامه‌ریزی انتقال، تحلیل اقتصادی و تحلیل قابلیت اطمینان است. در این پایان‌نامه، نحوه ارزیابی احتمالاتی قابلیت اطمینان در برنامه‌ریزی توسعه انتقال مدنظر قرار گرفته است. محور اصلی مطالعات در این پایان‌نامه، روش حل مسأله چندهدفه و نحوه تحلیل قابلیت اطمینان در قالب یک مدل چندهدفه می‌باشد. برای حل مسأله بهینه‌سازی چندهدفه، از روش‌های MCDM استفاده شده که در آن، با ترکیبی از روش‌های MODM مبتنی بر بهینه‌پاراتو و روش‌های MADM، پاسخ نهایی مسأله تعیین می‌شود. با توجه به تبدیل قابلیت اطمینان از حالت یک قید در محیط سنتی، به یک هدف در محیط تجدیدساختاریافته، بهبود قابلیت اطمینان به‌عنوان یکی از اهداف توسعه انتقال در نظر گرفته شده است. قبل از استفاده از یک شاخص احتمالاتی منطبق بر بازار، ابتدا از شاخص سنتی $ECOST_{TS}$ برای ارزیابی قابلیت اطمینان در مدل چندهدفه استفاده شده که در آن، برای افزایش دقت محاسبات، از فلسفه دقیق‌تری برای قطع بار استفاده شده است. این فلسفه، ارزیابی دقیق‌تری از هزینه عدم قابلیت اطمینان سیستم انتقال ارائه می‌دهد. در ادامه مطالعات، با توجه به یکپارچگی فرآیند برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بازار در محیط رقابتی، ارزیابی احتمالاتی قابلیت اطمینان در محیط جدید، بر اساس مدل ساده‌شده‌ای از رفتار بازار در بهره‌برداری از سیستم قدرت در شرایط پیشامد انجام شده است. این امر، منجر به تعریف شاخص جدیدی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم انتقال به نام PRC_{TS} شده است. حداقل نمودن شاخص احتمالاتی جدید، علاوه بر برنامه‌ریزی شبکه انتقال با توجه به معیارهای احتمالاتی قابلیت اطمینان، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بازار را به‌صورت فرآیندی یکپارچه در نظر می‌گیرد. شایان ذکر است که برای ارزیابی اقتصادی طرح‌ها در این مدل، از روش‌های موجود استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی- برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال، بازار برق مقررات‌زدایی شده، معیارهای احتمالاتی قابلیت اطمینان، بهینه‌سازی چندهدفه، تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای.

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: مقدمه.....	۱.....
فصل دوم: کلیات	۷.....
(۲-۱) مقدمه	۷.....
(۲-۲) روش‌های برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال: گذشته، حال و آینده	۹.....
(۲-۲-۱) طبقه‌بندی روش‌های توسعه شبکه انتقال بر اساس ساختار سیستم: گذشته و حال	۱۰.....
(۲-۲-۲) الزامات توسعه شبکه انتقال در محیط جدید: آینده	۱۶.....
(۲-۳) مروری بر چهارچوب TEP در محیط سنتی و تجدیدساختاریافته	۱۸.....
(۲-۳-۱) برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط سنتی	۱۸.....
(۲-۳-۲) تغییر محیط و چالش‌های جدید	۲۰.....
(۲-۳-۳) توسعه انتقال در محیط تجدیدساختاریافته	۲۳.....
(۲-۳-۳-۱) سرمایه‌گذاری انتقال	۲۴.....
(۲-۳-۳-۲) برنامه‌ریزی انتقال	۲۶.....
(۲-۴) اصول قابلیت اطمینان و نقش آن در برنامه‌ریزی توسعه انتقال	۲۸.....
(۲-۴-۱) مقدمه‌ای بر ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم قدرت	۲۹.....
(۲-۴-۲) نقش قابلیت اطمینان در برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال	۳۶.....
فصل سوم: روش پیشنهادی.....	۴۴.....
(۳-۱) مقدمه	۴۴.....
(۳-۲) مدل برنامه‌ریزی چندهدفه در توسعه شبکه انتقال	۴۸.....

۵۶	..... (۳-۳) محاسبات قابلیت اطمینان
۵۶	..... (۳-۳-۱) روش محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان
۶۰	..... (۳-۳-۲) اصلاح فلسفه قطع بار برای ارزیابی دقیق‌تر هزینه عدم قابلیت اطمینان
۶۳	..... (۳-۳-۳) شاخصی برای محاسبات قابلیت اطمینان در بازار برق از دیدگاه برنامه‌ریزی
۶۸	..... (۳-۴) الگوریتم حل مدل چندهدفه برنامه‌ریزی توسعه شبکه
۷۰	..... (۳-۴-۱) کدگذاری متغیرهای تصمیم‌گیری
۷۱	..... (۳-۴-۲) فرآیند بهینه‌سازی چندهدفه با NSGA-II
۷۶	..... (۳-۴-۳) فرآیند انتخاب طرح نهایی با MADM

فصل چهارم: نتایج عددی ۸۱

۸۱	..... (۴-۱) مقدمه
۸۲	..... (۴-۲) اطلاعات شبکه و فرضیات مطالعه
۸۲	..... (۴-۳) برنامه‌ریزی توسعه انتقال بدون در نظر گرفتن معیارهای قابلیت اطمینان
۹۲	..... (۴-۴) توسعه شبکه با در نظر گرفتن معیارهای قابلیت اطمینان

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۲

۱۰۷	..... مراجع
۱۱۲	..... پیوست

نشان‌های اختصاری

AC	Alternative Current
BES	Bulk Electric System
BOE	Benefit Of Expansion
BRR	Bus Reserve Rate
CAISO	CAifornia Independent System Operator
CCDF	Composite Customer Damage Function
CDF	Customer Damage Function
DC	Direct Current
D-P	Deterministic-Probabilistic
DSM	Demand Side Management
ECOST	Expected customer interruption COST
EENS	Expected Energy Not Supplied
EPNS	Expected Power Not Supplied
FGR	Financial FlowGate Right
FTR	Financial Transmission Right
GP	Goal Programming
HL-X	Hierarchial Level - X
IEAR	Interrupted Energy Assessment Rate
LC	Load Curtailment
LCC	Load Curtailment Cost
LMP	Locational Marginal Price
LOLE	Loss of Load Expection
LOLP	Loss of Load Probability
MADM	Multi Attribute Decision Making
MCDM	Multi Criteria Decision Making
MODM	Multi Objective Decision Making
MOGA	Multi Objective Genetic Algorithm
MOOP	Multi-Objective Optimization
MOTEP	Multi Objective Transmission Expansion Planning
NERC	North-american Electric Reliability Council
NPV	Net Present Value
NSGA-II	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
PRC	Proabilistic Regulation Index

RMR	Reliability Must Run
SBX	Simulated Binary cross over
SCDF	Sector Customer Damage Function
SMP	System Marginal Price
SP	State Probability
TEAM	Transmission Economics Assessment Methodology
TEP	Transmission Expansion Planning
TOPSIS	- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TS	Transmission System
TSO	Transmission System Operator
UK	United Kingdom
ViTAL	Valuation of Investments in Transmission Augmentation Links
VoLL	Value of Loss Load

فصل اول

مقدمه

از بین اشکال مختلف انرژی، انرژی الکتریکی، به علت کنترل پذیری، سهولت تبدیل و اقتصادی بودن، بهترین منبع برای تأمین مصارف مختلف انسانی، نظیر روشنایی، گرما، حرکت و ... می باشد. با افزایش روزافزون مصرف انرژی الکتریکی، سیستم قدرت، متشکل از سه بخش تولید، انتقال و توزیع، وظیفه تأمین مطمئن و مطلوب انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان را انجام می دهد. شبکه انتقال، یکی از اجزاء اصلی سیستم قدرت می باشد که امکان تمرکز نیروگاه ها و ارسال توان الکتریکی از نیروگاه ها به سیستم توزیع و مراکز بار را فراهم آورده است. تقویت و توسعه شبکه انتقال، برای رویارویی با رشد روزافزون بار مصرفی، امری حیاتی و اجتناب ناپذیر می باشد. با تجدید ساختار صنعت برق و جدایی نهادهای تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، سیستم انتقال، به محلی برای رقابت تولید کنندگان در تأمین مشتریان تبدیل شده است که نقشی اساسی در دستیابی به یک بازار آزاد ایفا می کند.

برنامه‌ریزی توسعه انتقال در ساختار سنتی، به صورت متمرکز، هماهنگ با توسعه تولید و براساس مدل حداقل-هزینه انجام می‌شود. با معرفی مقررات‌زدایی در دو دهه اخیر، رقابت در بخش تولید و خرده‌فروشی آغاز گردید، اما سیستم انتقال، همچنان به صورت انحصاری باقی مانده است. روش‌های برنامه‌ریزی توسعه انتقال در محیط جدید، برای رویارویی با عدم قطعیت‌های فزاینده، حداقل‌سازی هزینه و حداکثرسازی سود تغییر یافته‌اند.

دو بخش اصلی و اساسی در برنامه‌ریزی توسعه انتقال در محیط مقررات‌زدایی‌شده، سرمایه‌گذاری انتقال و برنامه‌ریزی انتقال می‌باشد. سرمایه‌گذاری انتقال، می‌تواند به صورت انحصاری یا تحریک‌شده با بازار باشد. برنامه‌ریزی انتقال نیز با استفاده از ابزارهای تحلیلی مدیریت می‌شود. تحلیل اقتصادی و تحلیل قابلیت اطمینان، دو المان اساسی در برنامه‌ریزی انتقال می‌باشد. مدل‌های بازار-محور در برنامه‌ریزی توسعه انتقال، باید هر دو جنبه ارزیابی اقتصادی و قابلیت اطمینان را دربرگیرند. در این پایان‌نامه، ارزیابی و بهبود قابلیت اطمینان سیستم انتقال، به عنوان یکی از ستون‌های اصلی در برنامه‌ریزی متمرکز و بازار محور انتقال، مدنظر قرار می‌گیرد و به صورت یکی از اهداف بهینه‌سازی در مدل چندهدفه برنامه‌ریزی لحاظ می‌شود.

با توجه به تمرکز این پایان‌نامه بر تحلیل قابلیت اطمینان در برنامه‌ریزی توسعه انتقال، ارزیابی اقتصادی طرح‌های توسعه در مدل چندهدفه، با استفاده از روشی که در مرجع [۱۲] ارائه شده است، انجام می‌شود. در روش ارائه‌شده در این مرجع، برای ارزیابی اقتصادی طرح‌های توسعه انتقال، هزینه سرمایه‌گذاری کمینه و منفعت اجتماعی حاصل از توسعه انتقال، بیشینه شده است. همچنین، با در نظر گرفتن یک بازار مبتنی بر قیمت‌های حاشیه‌ای سیستم و با فرض منطقی بودن بازیگران بازار، با حداقل‌سازی هزینه تولید نیروگاه‌ها به عنوان یکی از توابع هدف، ارزیابی اقتصادی طرح‌های توسعه، در

بافت دیسپیچ کل سیستم انجام شده است. در این مرجع، ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم انتقال، در برنامه‌ریزی توسعه شبکه لحاظ نشده است.

در بیشتر مدل‌های ارائه‌شده در برنامه‌ریزی توسعه انتقال در محیط سنتی، معمولاً یک هدف و به‌ندرت، دو هدف مطرح بوده است. با توجه به ذی‌نفع بودن نهادهای مختلف از پروسه برنامه‌ریزی انتقال در محیط رقابتی، تعدد توابع هدف اقتصادی و فنی، ناسازگار بودن اهداف با یکدیگر، یکسان نبودن ابعاد و کمیت‌های آن‌ها از نظر زمانی و واحد اندازه‌گیری، یکپارچگی پروسه بهره‌برداری و برنامه‌ریزی در محیط بازار، شرایط متفاوت و متنوع در بازارهای مختلف به‌خصوص در بهره‌برداری و برنامه‌ریزی انتقال و درجه اهمیت اهداف مختلف از دید برنامه‌ریز - که با توجه به شرایط عمومی بازار و نقش برنامه‌ریز در آن تعیین می‌شود- در این پایان‌نامه، از یک مدل چندهدفه برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط بازار استفاده شده است. استفاده از مدل چندهدفه در برنامه‌ریزی انتقال در محیط رقابتی، به‌ندرت مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. مدل چندهدفه برنامه‌ریزی انتقال، باید به‌نحوی سازمان‌دهی گردد که بتواند همه عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی انتقال در بازار مانند تحلیل اقتصادی، تحلیل قابلیت اطمینان، مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها، ارزیابی تلفات و غیره را لحاظ نماید. در این پایان‌نامه، با توجه به پیچیدگی و تعدد عوامل مؤثر بر پروسه برنامه‌ریزی انتقال و با در نظر گرفتن هدف اصلی این مطالعات، توابع هدف در مدل چندهدفه به‌گونه‌ای تنظیم شده است که ارزیابی اقتصادی و قابلیت اطمینان را شامل شود. اهداف لحاظ‌شده در این مدل، علاوه بر تحلیل اقتصادی و قابلیت اطمینان، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بازار را به‌صورت فرآیندی یکپارچه در نظر می‌گیرد که خود از ملزومات برنامه‌ریزی انتقال در محیط رقابتی قلمداد می‌گردد.

شاخه‌های اصلی مطالعات انجام‌شده در این پایان‌نامه را می‌توان در سه مورد خلاصه نمود: ۱- استفاده از یک روش جدید برای حل مسأله بهینه‌سازی چندهدفه در برنامه‌ریزی توسعه انتقال؛ ۲- در نظر

گرفتن قابلیت اطمینان به صورت هدفی در برنامه‌ریزی انتقال و استفاده از معیار احتمالاتی ECOST_{TS} برای ارزیابی قابلیت اطمینان با تغییراتی جزئی در فلسفه قطع بار؛ ۳- تغییر نحوه محاسبات شاخص قابلیت اطمینان به منظور تطبیق با شرایط محیط جدید و تجمیع دقیق‌تری از برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بازار در روند برنامه‌ریزی توسعه انتقال؛

استفاده از یک الگوریتم مناسب برای حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، مسأله‌ای است که تأثیر به‌سزایی بر پاسخ‌های مسأله چندهدفه دارد و تاکنون، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای حل مسأله بهینه‌سازی چندهدفه، در این پایان‌نامه از الگوریتم و روش حل جدیدی مبتنی بر بهینه‌پاراتو استفاده شده است. این الگوریتم، بهینگی پاسخ‌های مسأله چندهدفه را افزایش داده و امکان لحاظ نمودن عوامل مختلف در پروسه برنامه‌ریزی را فراهم نموده است. یکی از بارزترین ویژگی‌های این الگوریتم، توانایی بهینه‌سازی اهدافی با واحدهای مختلف، امکان در نظر گرفتن شرایط بازارهای مختلف از لحاظ مالکیت و بهره‌برداری انتقال، وارد نمودن درجه اهمیت اهداف از دید برنامه‌ریز و امکان برنامه‌ریزی انتقال مبتنی بر ارزش قابلیت اطمینان می‌باشد. در این روش، با استفاده از روش NSGA-II که از زیرمجموعه‌های الگوریتم ژنتیک چندهدفه و مبتنی بر پاسخ‌های پاراتو می‌باشد، پاسخ‌های پاراتوی مدل چندهدفه برنامه‌ریزی تعیین می‌شود. سپس، با استفاده از معیار شباهت به جواب ایده‌آل که یکی از روش MADM است، پاسخ‌های پاراتو، رتبه‌بندی شده و بهترین پاسخ انتخاب می‌گردد.

قابلیت اطمینان سیستم، از حالت قیدی در برنامه‌ریزی انتقال در محیط سنتی، به صورت هدفی در محیط مقررات‌زدایی شده تبدیل شده است. ارزیابی قابلیت اطمینان و آثار اقتصادی عدم قابلیت اطمینان در برنامه‌ریزی توسعه انتقال در محیط مقررات‌زدایی شده، باید به شکل دقیق‌تری نسبت به آنچه در محیط سنتی رواج داشته است، انجام شود و عوامل بازار نیز باید در محاسبات آن لحاظ گردد. تاکنون، در نظر گرفتن شرکت‌کنندگان مختلف در ارزیابی اقتصادی طرح‌های توسعه انتقال،

بسیار مورد توجه و بررسی قرار گرفته است، اما برای ارزیابی قابلیت اطمینان در برنامه‌ریزی توسعه انتقال، معمولاً از شاخص‌هایی استفاده شده است که منطبق با محیط سنتی بوده و تنها سمت مصرف را در محاسبات قابلیت اطمینان لحاظ می‌نماید. به‌علاوه، یکپارچه‌سازی دقیق پروسه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بازار در محیط جدید، از نیازهای برنامه‌ریزی در محیط جدید است که برآوردن آن، با استفاده از یک مدل چندهدفه و تعریف مناسب اهداف آن امکان‌پذیر است.

در این پایان‌نامه، ابتدا، برای بررسی تأثیر معیارهای قابلیت اطمینان بر پروسه برنامه‌ریزی انتقال، از شاخص احتمالاتی $ECOST_{TS}$ برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم انتقال استفاده شده و مقدار آن، به‌عنوان تابع هدفی در مدل چندهدفه حداقل شده است. البته، برای ارزیابی دقیق‌تر آثار اقتصادی عدم قابلیت اطمینان، تغییری جزئی در فلسفه قطع بار ایجاد شده است. در ادامه، با الهام از مدل ساده‌شده‌ای از رفتار بازار در شرایط اغتشاش، تغییراتی در نحوه محاسبات شاخص احتمالاتی قابلیت اطمینان به‌وجود آمده است. این شاخص جدید، نه تنها ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم انتقال در محیط جدید را ممکن می‌سازد، بلکه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بازار را به‌صورت فرآیندی یکپارچه، تجمیع می‌نماید.

این پایان‌نامه، در پنج فصل تنظیم شده است. همان‌طور که مشاهده شد، فصل اول به ارائه مقدمه‌ای پیرامون مبانی، اهداف و انگیزه‌های انجام این پایان‌نامه اختصاص یافته است. در ادامه، کلیات مطالبی که در فصل‌های بعد ارائه می‌شود، بیان می‌گردد.

❖ **فصل دوم** به سه بخش تقسیم می‌شود. بخش اول، به طبقه‌بندی روش‌ها و مدل‌های ارائه‌شده

برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط سنتی و تجدیدساختار یافته می‌پردازد. در بخش دوم، مفاهیم اصلی برنامه‌ریزی توسعه انتقال، تفاوت‌های برنامه‌ریزی انتقال در دو محیط سنتی و جدید و الزامات آن در محیط جدید تشریح می‌شود. در بخش سوم، پس از مروری بر مبانی

مطالعاتِ قابلیتِ اطمینان در سیستمِ قدرت، مدل‌های ارزیابیِ قابلیتِ اطمینان در برنامه‌ریزی توسعه انتقال بررسی می‌شود.

❖ در فصل سوم، ابتدا مدل چندهدفه پیشنهادی برای برنامه‌ریزی متمرکز توسعه انتقال در محیط تجدیدساختاریافته ارائه و المان‌های مختلف آن تشریح می‌گردد. سپس، تغییرات و اصلاحاتِ اعمالی بر ارزیابیِ قابلیتِ اطمینان در برنامه‌ریزی توسعه انتقال بیان می‌شود. در پایان، اصول و کلیات روش پیشنهادی برای حل این مدل چندهدفه ارائه می‌شود.

❖ در فصل چهارم، نتایج حاصل از پیاده‌سازی و اجرای مدل چندهدفه برنامه‌ریزی و روش حل پیشنهادی در شبکه ۱۴ شین-۵ ماشین IEEE، ارائه می‌شود و حالت‌های مختلف آن، مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

❖ فصل پنجم، به ارائه نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهاداتِ ادامه و تکمیل روش پیشنهادی اختصاص یافته است.

فصل دوم

کلیات

۱-۲) مقدمه

هدف اولیه از احداث خطوط انتقال توان الکتریکی، ارتباط واحدهای نیروگاهی به مراکز بار بوده است تا امکان قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی در مکان‌های اقتصادی‌تر را فراهم نماید. با رشد سیستم، شبکه به هم پیوسته‌ای از خطوط انتقال ظاهر شده است که جاری شدن توان از ژنراتورها به بارها را از مسیرهای مختلف ممکن می‌سازد. این امر، موجب تقویت قابلیت اطمینان سیستم و تغذیه پیوسته و مداوم بارها می‌گردد. افزودن خطوط انتقال در محیط سنتی، در صورت نیاز به اتصال ژنراتوری ارزان برای تأمین بار درخواستی یا افزایش قابلیت اطمینان سیستم یا هر دو مورد، توجیه‌پذیر می‌باشد [۱].

طراحی، مکان‌یابی و احداث شبکه انتقال، با مشخص نمودن اطلاعات شبکه قدرت در افق برنامه‌ریزی، اهداف و قیود مسأله و جواب‌های موردانتظار از مسأله انجام می‌شود. در محیط تحت مقررات، شرکت‌های یکپارچه عمودی، متعهد و ملزم به تأمین مشتریان خود در اقتصادی‌ترین حد ممکن و با

درجه قابل قبولی از تداوم و کیفیت هستند [۲]. توسعه شبکه انتقال در این محیط، به صورت متمرکز، معین، هماهنگ با توسعه تولید، با هدف حداقل نمودن هزینه و مقید به سطح قابلیت اطمینان می‌باشد.

برنامه‌ریزی انتقال در بازار برق تجدیدساختاریافته، به شکل فزاینده‌ای پیچیده شده است. تغییر ساختار و مقررات‌زدایی صنعت برق، موجب تغییر اهداف توسعه انتقال، افزایش عدم قطعیت‌های توسعه و ظهور خواسته‌های مختلف و گاهاً ناسازگار بازیگران از عملکرد و توسعه سیستم شده است. رویارویی با این چالش‌ها، نیاز به روش‌ها و معیارهای جدیدی خواهد داشت [۷-۳]. یک چهارچوب مناسب برای توسعه شبکه انتقال، باید قادر به ایجاد یک پل ارتباطی، بر فاصله موجود بین ملاحظات اقتصادی و مهندسی باشد.

پیشگیری از اتفاقات ناگهانی در سیستم قدرت که به‌عنوان یکی از معیارهای بهره‌برداری موفق سیستم قدرت چه در محیط سنتی و چه در بازار برق می‌باشد، بر مبنای دو فاکتور اساسی است: سیستم کنترل خبره و پیشگیرانه، استحکام منطقی و قابل قبول در شبکه اصلی. استحکام شبکه اصلی، به تصمیم‌گیری‌های مستخرج از پروسه برنامه‌ریزی ارتباط دارد. سرمایه‌گذاران و مالکان شبکه، ملزم به تعیین بودجه سرمایه‌گذاری با در نظر گرفتن معیارهای قابلیت اطمینان و موافقت مشتری هستند [۸]. استفاده از معیارهای احتمالاتی قابلیت اطمینان، نظیر LOLE، LOLP، EENS و غیره، به شکل گسترده‌ای در برنامه‌ریزی توسعه تولید در سرتاسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. تاکنون، معمولاً معیارهای معین قابلیت اطمینان، مانند معیار امنیتی N-1 و N-2، در توسعه شبکه مرسوم بوده است. دلیل اصلی آن نیز، بروز مشکل در تعیین طرح بهینه توسعه شبکه با استفاده از معیارهای احتمالاتی و توسعه یک مدل ریاضی مناسب برای ترکیب کردن معیار احتمالاتی قابلیت اطمینان با مدل برنامه‌ریزی توسعه انتقال می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق، این فصل به سه قسمت تقسیم می‌شود: در قسمت اول، روش‌های مختلف توسعه انتقال از دیدگاه‌های مختلف تقسیم‌بندی و بحث مختصری پیرامون نیازها و الزامات روش‌های TEP¹ در آینده ارائه می‌شود. در قسمت دوم، برهم‌کنش بین موضوعات مختلف اقتصادی و مهندسی در توسعه شبکه انتقال، روشن و واضح می‌گردد. در قسمت سوم، بعد از مروری بر مطالعات قابلیت اطمینان در سیستم قدرت، انواع معیارهای قابلیت اطمینان و نقش آن‌ها در برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط سنتی و تجدیدساختاریافته بررسی می‌گردد.

۲-۲) روش‌های برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال: گذشته، حال و آینده

در این قسمت، سعی می‌شود الگوریتم‌های مختلف TEP که تاکنون در مقالات مختلف ارائه شده است، طبقه‌بندی شود. روش‌های طراحی توسعه انتقال، از دیدگاه‌های متفاوتی تقسیم‌بندی می‌شوند. شکل (۲-۱)، دیدگاه‌های مختلف تقسیم‌بندی روش‌های TEP را نشان می‌دهد. تعاریف متناظر با هر یک از این روش‌ها، در جدول (۲-۱) آورده شده است [۹-۱۰].

شایان ذکر است که تقسیم‌بندی روش‌های TEP از دیدگاه‌های مختلف، مستقل از یکدیگر نیستند. به‌عنوان مثال، هر دو روش معین و غیرمعین، برای برنامه‌ریزی سیستم‌های تحت مقررات و مقررات‌زدایی شده استفاده شده‌اند. در این قسمت، ابتدا با مطالعه تقسیم‌بندی‌های ارائه‌شده در مراجع مختلف، تقسیم‌بندی جامعی از روش‌های برنامه‌ریزی انتقال ارائه می‌شود. سپس، المان‌های اساسی TEP در بازار، به‌شکل خلاصه بیان می‌گردد.

1 - Transmission Expansion Planning