دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش : قدرت

عنوان:

برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال با در نظر گرفتن عدم قطعیت

علی کیمیاقلم

استاد راهنما

دکتر سعید جلیل زاده

استاد مشاور

دکتر سید هادی حسینی

دی‌ماه ۱۳۸۸

چکیده

برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال (TEP) یکی از بخش‌های اساسی برنامه‌ریزی توسعه شبکه قدرت می‌باشد که نوع، مکان و زمان احدث تجهیزات جدید شبکه انتقال را جهت کفایت در تأمین بار تعیین می‌کند. عوامل متعددی در مسئله TEP دخیل هستند که بعضاً به علت پیچیدگی خاص خود نتیجه برنامه‌ریزی را غیر واقعی و نادقیق جلوه می‌دهند. بنابراین بایستی تلاش کرد تا به کمک ابزارهای علمی مناسب حتی‌الامکان به صورت مطلوب آنها را وارد TEP نمود. یکی از این عوامل که کاملاً در نتیجه TEP مؤثر است عدم قطعیت پارامترهای مختلف برنامه‌ریزی از قبیل ضریب رشد بار، مکان تولید نیروگاهها در سال افق و به ویژه قیمت سوخت می‌باشد که با تغییر دادن تولید بهینه نیروگاهها، بارگذاری خطوط انتقال و بالطبع میزان بهینگی طرح‌های مختلف توسعه شبکه انتقال را به واسطه تغییر تلفات و نیز بار تأمین نشده، به طور غیر مستقیم تغییر می‌دهد. لذا در این پژوهش ضمن لحاظ نمودن عدم قطعیت در قیمت سوخت، طی سناریوهای متعدد به ارزیابی نقش مؤثر آن در نتیجه TEP، با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است. جهت مطالعه ایده پیشنهادی شبکه ۱۷ شینه برق منطقه‌ای آذربایجان به عنوان یک شبکه واقعی انتخاب شده است.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال، عدم قطعیت، سوخت، الگوریتم ژنتیک

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... آ

فهرست شکل‌ها ..... ث

فهرست جداول ..... ح

چکیده ..... د

فصل اول : مقدمه

۱-۱ پیشگفتار ۲

۱-۲ آشنایی باTEP..... ۴

۱-۳ویژگی های پایان نامه..... ۷

فصل دوم : مروری بر مفاهیم عدم قطعیت در TEP

۲-۱ پیشگفتار..... ۱۰

۲-۲ تعاریف مربوط به عدم قطعیت ۱۱

۲-۲-۱ عدم قطعییت درونی و بیرونی ۱۲

۲-۲-۲ عدم قطعیت کوتاه مدت و بلند مدت ۱۳

۲-۲-۳ عدم قطعیت قابل سنجش و غیر قابل سنجش..... ۱۳

۲-۳ منابع عدم قطعیت..... ۱۴

۲-۳-۱ عدم قطعیت بار..... ۱۴

۲-۳-۲ عدم قطعیت سوخت..... ۱۵

۲-۴ مروری بر پژوهش‌های مربوط به *TEP* در محیط‌های با عدم قطعیت..... ۱۷

۲-۵ روش های مختلف لحاظ نمدن عدم قطعیت در TEP..... ۱۸

فصل سوم : فرمول بندی برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال در حضور عدم قطعیت

۳-۱ پیشگفتار ۲۲

۳-۲ فرمول بندی ریاضی TEP در محیط های با عدم قطعیت..... ۲۳

۳-۲-۱ معرفی تابع هدف TEP..... ۲۳

۳-۲-۲ قیود مسئله TEP ۲۷

۳-۳ بهینه سازی هزینه تولید به کمک برنامه ریزی QP ۲۹

۳-۴ جمع بندی ۳۱

فصل چهارم : حل مسئله TEP در محیط های با عدم قطعیت به کمک الگوریتم ژنتیک

۴-۱ پیشگفتار..... ۳۳
۴-۲ انواع روش های کد گذاری اطلاعات TEP در GA ۳۵
۴-۲-۱ کدگذاری دودیی برای هر کریدور ۳۵
۴-۲-۲ کدگذاری دودویی با ژن های مجزا برای هر کریدور ۳۶
۴-۲-۳ کدگذاری دهدهی برای هر کریدور..... ۳۷
۴-۳ روش استفاده شده در پایان‌نامه برای کدگذاری اطلاعات TEP در GA..... ۳۷
۴-۴ روند انجام TEP با استفاده از GA ۳۸
۴-۴-۱ تعریف برازش افراد..... ۳۸
۴-۴-۲ عملگر انتخاب..... ۳۸
۴-۴-۳ عملگر تزویج..... ۳۸
۴-۴-۴ عملگر جهش..... ۳۹
۴-۵ راهکارهایی جهت بهبود عملکرد GA ۴۲
۴-۵-۱ نخبه‌سالاری ۴۲
۴-۵-۲ مقیاس‌بندی برازش‌ها ۴۲
۴-۵-۳ ذخیره تعدادی از برازش‌ها در حافظه برنامه ۴۳

فصل پنجم : مطالعات عددی

۵-۱ پیشگفتار..... ۴۵
۵-۲ بررسی اثر تغییر قیمت سوخت بر توان تولیدی بهینه نیروگاهها..... ۴۶
۵-۲-۱ سناریوی اول: اجرای TEP با لحاظ مقدار پایه برای ضریب تورم قیمت انواع سوخت..... ۴۷
۵-۲-۲ سناریوی دوم: ارزیابی نقش قیمت سوخت نوع اول در TEP ۵۰
۵-۲- ۳ سناریوی سوم: افزایش ضریب تورم قیمت سوخت نوع دوم..... ۵۲
۵-۲-۴ سناریوی چهارم: کاهش ضریب تورم قیمت سوخت نوع سوم..... ۵۵
۵-۲-۵ سناریوی پنجم: تجمیع احتمالات مختلف قیمتهای سوخت..... ۵۷
۵-۲-۵-۱ لحاظ نمودن احتمال وقوع متفاوت برای ضرایب تورم قیمت سوخت..... ۵۸
۵-۲-۵-۲ لحاظ نمودن احتمال وقوع یکسان برای ضرایب تورم قیمت سوخت..... ۵۹
۵-۳ جمع بندی..... ۶۱

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری..... ۶۳

۶-۲ پیشنهادات..... ۶۴

مراجع..... ۶۵

ضمیمه الف: روش های مختلف لحاظ نمودن عدم قطعیت در TEP..... ۷۰

الف-۱) معیار هزینه انتظاری..... ۷۱

الف-۲) معیار مینیمم و ماکسیمم خرابی..... ۷۲

الف-۳) معیار لاپلاس..... ۷۴

الف-۴) معیار ون نو من- مورگسترن..... ۷۵

الف-۵) معیار هرویکس..... ۷۶

ضمیمه ب: اطلاعات شبکه برق منطقه ای آذربایجان و پارامترهای الگوریتم ژنتیک..... ۷۸

ب-۱) مشخصات شبکه انتقال برق منطقه ای آذربایجان..... ۷۹

ب-۲) دیگر اطلاعات مورد نیاز برنامه ژنتیک..... ۸۲

ب-۳) اطلاعات پست ها..... ۸۲

فهرست شکل‌ها

شماره شکل صفحه

شکل ۱-۱ رابطه بین ساختار برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت و سیاست‌های انرژی..... ۴

شکل ۳-۱ یک منحنی تداوم بار نمونه ۲۵

شکل ۴-۱ کدگذاری دودویی برای هر کریدور ..... ۳۶.

شکل ۴-۲ کدگذاری دودویی با ژن‌های مجزا برای هر کریدور..... ۳۶

شکل ۴-۳ کدگذاری دهدهی برای هر کریدور..... ۳۷.

شکل ۴-۴ نمونه‌ای از کروموزوم تعریف شده..... ۳۷

شکل ۴-۵ فلوچارت GA برای انجام TEP.....۴۰
شکل ۴-۶ فلوچارت نحوه محاسبه برازش یک کروموزوم نمونه.....۴۱
شکل ۵-۱ دیاگرام تک‌خطی شبکه برق منطقه‌ای آذربایجان.....۴۶
شکل ۵-۲ توان تولیدی ماکزیمم و بهینه نیروگاهها در لحظه پیک بار سال افق برنامه‌ریزی.....۴۹
شکل ۵-۳ توان تولیدی ماکزیمم و بهینه نیروگاهها با لحاظ ضریب تورم ۱۵٪ برای قیمت سوخت نوع اول.....۵۲
شکل ۵-۴ توان تولیدی ماکزیمم و بهینه نیروگاهها با لحاظ ضریب تورم ۱۵٪ برای قیمت سوخت نوع دوم ۵۴
شکل ۵-۵ توان تولیدی ماکزیمم و بهینه نیروگاهها با لحاظ ضریب تورم ۵٪ برای قیمت سوخت نوع سوم.....۵۷
شکل الف-۵-۱ معیار هرویکس.....۷۷

فهرست جداول

شماره جدول صفحه

جدول ۵-۱ بهترین طرح به دست آمده با ضریب تورم ۱۰٪ برای قیمت انواع مختلف سوخت.....۴۸
جدول ۵-۲ هزینه های طرح متناظر با جدول (۵-۱).....۴۸
جدول ۵-۳ بهترین طرح به دست آمده با ضریب تورم ۱۵٪ برای قیمت سوخت نوع اول.....۵۱
جدول ۵-۴ هزینه های طرح متناظر با جدول (۵-۳).....۵۲
جدول ۵-۵ بهترین طرح به دست آمده با ضریب تورم ۱۵٪ برای قیمت سوخت نوع دوم.....۵۳
جدول ۵-۶ هزینه های طرح متناظر با جدول (۵-۵).....۵۳
جدول ۵-۷ بهترین طرح به دست آمده با ضریب تورم ۵٪ برای قیمت سوخت نوع سوم.....۵۶.
جدول ۵-۸ هزینه های طرح متناظر با جدول (۵-۷).....۵۷.
جدول ۵-۹ بهترین طرح به دست آمده با لحاظ نمودن احتمال وقوع یکسان برای ضرایب تورم قیمت سوخت..۵۹
جدول ۵-۱۰ هزینه های طرح متناظر با جدول (۵-۸).....۵۹.
جدول ۵-۱۱ بهترین طرح به دست آمده با لحاظ نمودن احتمال وقوع یکسان برای ضرایب تورم قیمت سوخت۶۰
جدول (۵-۱۲): هزینه های طرح متناظر با جدول (۵-۱۰).....۶۱
جدول الف-۱ ماتریس طرح سناریو (اعداد، هزینه بر مبنای واحد می باشد).....۷۲
جدول الف-۲ اعمال معیار هزینه انتظاری بر روی ماتریس طرح- سناریو ۷۲
جدول الف-۲-۱ ماتریس خرابی طرح - سناریو.....۷۳

جدول الف-۲-۲ ماکزیمم مقدار خرابی هر طرح در سناریوهای مختلف..... ۷۴
جدول الف-۳-۱ معیار لاپلاس..... ۷۴
جدول الف-۴-۱ معیار ون نو من - مورگسترن در بدترین حالات..... ۷۵
جدول الف-۴-۲ معیار ون نو من - مور گسترن در بهترین حالت ۷۶
جدول ب-۱-۱ طول کریدورها..... ۷۹
جدول ب-۱-۲ آرایش تولید و بار ۸۱
جدول ب-۱-۳ هزینه احداث خطوط ۲۳۰ کیلولت..... ۸۱
جدول ب-۱-۴ هزینه احداث خطوط ۴۰۰ کیلولت..... ۸۲
جدول ب-۱-۵ ظرفیت نیروگاه‌ها (بر حسب مگاوات) در سال افق توسعه..... ۸۲
جدول ب-۳-۱ اطلاعات پست‌ها..... ۸۳
جدول ب-۳-۲ مشخصات پست‌های اضافه شونده به شبکه..... ۸۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱) پیشگفتار

سیستم قدرت الکتریکی مجموعه ادوات و تجهیزاتی است که وظیفه تولید، انتقال و توزیع مطمئن و مطلوب انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان را بر عهده دارد. با توجه به اهمیت فوق‌العاده دسترسی دائمی به انرژی الکتریکی از بعد اقتصادی و اجتماعی، برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت الکتریکی در همه کشورها ابزاری مهم و حیاتی در دستیابی به سطوح بالای استانداردهای زندگی تبدیل شده است. هر چند مستلزم سرمایه‌گذاری‌های سنگینی بوده و بودجه‌های هنگفتی را در هر کشور به خود اختصاص می دهد [۱].

رشد انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان، تغییرات توان الکتریکی نسبت به زمان، محدودیت تأمین سوخت نیروگاهها، محدودیت توان تولیدی نیروگاهها، محدودیت توان عبوری از خطوط و محدودیت بارگذاری پستهای محلی از عواملی هستند که لزوم مطالعهٔ دقیق سیستم قدرت را آشکار می‌کنند [۲]. به طور کلی مطالعات شبکه قدرت را می‌توان به دو حوزه بهره برداری از شبکه و برنامه‌ریزی توسعه شبکه طبقه‌بندی نمود.

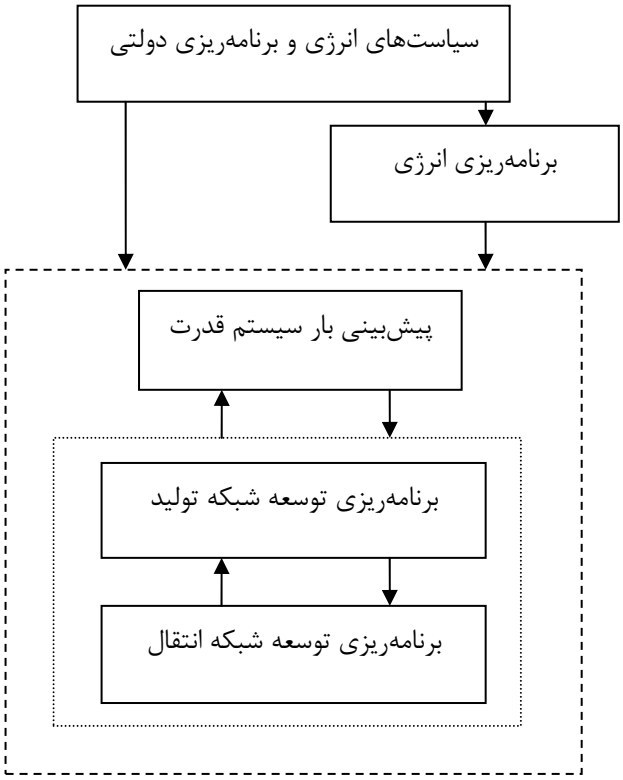
در مطالعات بهره برداری از شبکه هدف تأمین انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان به صورت مطمئن و مطلوب با حداقل هزینه می باشد. در اینجا فرض بر کفایت تجهیزات موجود در شبکه می باشد به عبارتی فرض می شود که تجهیزات موجود در شبکه توانایی و ظرفیت تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان را دارا می باشند.

در مطالعات برنامه‌ریزی توسعه شبکه، هدف تعیین ویژگی، نوع، زمان ورود و محل نصب تجهیزات جدید در شبکه می باشد به گونه ای که ضمن برگرداندن کفایت مطلوب به شبکه هزینه تهیه و نصب این تجهیزات مینیمم شود. به اذعان [۳] برنامه‌ریزی، عاملی کلیدی برای یک بهره‌برداری مؤثر و قابل اعتماد سیستم قدرت محسوب می‌شود. چرا که تصمیمات حاصل از برنامه‌ریزی در گذشته، عملکرد فعلی سیستم قدرت را تحت‌الشعاع قرار داده و به طور مشابهی عملکرد آتی آن نیز متأثر از تصمیمات کنونی خواهد بود.

با توجه به اینکه انرژی الکتریکی از زیربخش‌های بسیار مهم بخش انرژی و اقتصاد هر کشور و توسعه زیر ساخت‌های آن متأثر از عواملی از قبیل: افزایش‌های آتی تقاضا، تأمین منابع اولیه انرژی، تجهیزات و دارایی‌های ملی می‌باشد، از این رو برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت باید در چهارچوب سیاست‌گذاری‌های کلان اقتصادی و پادمان منابع انرژی انجام شود [۲]. شکل (۱-۱) رابطه بین ساختار برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت و سیاست‌های انرژی را نشان می‌دهد.

همانگونه که مشاهده می‌شود برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت از پیش‌بینی بار الکتریکی، برنامه‌ریزی توسعه شبکه تولید و برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال تشکیل شده است. پیش‌بینی بار الکتریکی مبنای برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت به شمار می‌رود که اطلاعاتی راجع به روند افزایش مصرف، منحنی بار و نحوه توزیع آن به دست می‌دهد. بدیهی است برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌های تولید و انتقال کاملاً به یکدیگر وابسته بوده و به منظور دستیابی به طرح بهینه سراسری، بایستی در فرآیند برنامه‌ریزی به طور همزمان انجام شوند؛ اما به دلیل سختی کار و

اجتناب از پیچیده شدن بیش از حد مسئله با مجزاسازی آنها، ابتدا برنامه‌ریزی توسعه شبکه تولید که نوع، مکان و زمان احداث نیروگاه‌های جدید را تعیین می‌کند (و از این پس به اختصار GEP[1] نامیده می‌شود) انجام شده و سپس برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال (یا به اختصار TEP[2]) اجرا و مورد تحلیل قرار می‌گیرد.



شکل(۱-۱): رابطه بین ساختار برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت و سیاست‌های انرژی

۱-۲) آشنایی با *TEP*

برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال یکی از بخش‌های مهم برنامه‌ریزی توسعه شبکه قدرت می‌باشد که هدف از انجام آن تعیین یک آرایش بهینه برای توسعه شبکه انتقال مطابق با رشد بار و نتیجه برنامه‌ریزی توسعه شبکه تولید در بازه زمانی مورد مطالعه است تا این که تحویل انرژی

---

1. Generation Network Expansion Planning
1. Transmission Network Expansion Planning

الکتریکی به مراکز بـار بـا لحـاظ نمـودن مجموعـه‌ای از قیـود بهـره‌بـرداری و قابلیـت اعتمـاد بـه اقتصادی‌ترین نحو ممکن صورت گیـرد. شـایان ذکـر اسـت *TEP* نسـبت بـه *GEP* از پیچیـدگی بیشتری برخوردار است [۲] چرا که اولاً *TEP* بایستی توپولوژی واقعی شبکه را مد نظر قرار داده و حریم خطوط را به عنوان متغیرهای مستقل در تصمیم‌گیـری وارد نمایـد کـه بـدین ترتیـب ابعـاد متغیرهای تصمیم‌گیری را نسبت به *GEP* بیشتر خواهد کرد. ثانیاً قیود *TEP* که باید ارضـا شـود، بسیار پیچیده و شامل معادلات غیر خطی (مانند قیود سطح ولتاژ و ...) است. لذا ارائـه یـک مـدل ریاضی برای برنامه‌ریزی و نیز حل آن در صورت لحاظ نمودن تمامی قیود برای رسـیدن بـه پاسـخ بهینه سراسری با توجه به غیر محدب بودن مسئله و ابعاد گسترده آن بسیار مشکل و زمانبر و گـاه غیر ممکن می‌نماید. لذا جهت کاستن مشکلات فوق، *TEP* عموماً به دو مرحلـه تقسـیم مـی‌شـود [۴]:

مرحله اول) رهیافت کل‌نگـر: در ایـن مرحلـه کـه موضـوع اصـلی مسـئله برنامـه‌ریـزی اسـت، بـه حداقل‌سازی هزینه توسعه و بهـره‌بـرداری از شـبکه انتقـال در حضـور مجموعـه‌ای از قیـود فنـی، اقتصادی و قابلیت اعتماد از دید کفایت پرداخته می‌شود. با توجه به [۴] مفهوم کفایت بـه قابلیـت سیستم قـدرت در تـأمین مـداوم بـار الکتریکـی در شـرایط عـادی و خـروج برنامـه‌ریـزی شـده و برنامه‌ریزی نشده (اما به طور معقولی قابل پیش‌بینی) اجزای سیستم اطلاق می‌شود که این مقولـه در مورد شبکه انتقال به مفهوم عدم اضافه بار شدن خطوط در شرایط عادی و خروج یگانه خطـوط از مدار است.

لازم به ذکر است که این پژوهش و سایر پژوهش‌های انجام شده در زمینه *TEP* که در فصل بعد معرفی خواهند شد، ناظر بر همین مرحله می‌باشد. این مرحله به «برنامه‌ریزی بلند مدت» نیـز معروف است [۵].

مرحله دوم) رهیافت جزءنگر: در این مرحله شبکه طراحی شده در مرحلـه اول، ریزبینانـه‌تـر مـورد مطالعه قرار گرفته و از نقطه‌نظر مباحثی همچون: پایداری ولتاژ و پایـداری الکترومکـانیکی، اتصـال کوتاه، تحلیل گذرا، تحلیل دینامیکی، پخش بار متناوب ($ACLF$[1]) و قابلیت اعتماد از نظر امنیـت بررسی می‌شود که از نظر [۴] امنیـت سیسـتم، بـه پایـداری سیسـتم قـدرت در برابـر اغتشاشـات ناگهانی نظیر اتصال کوتاه یا از دست رفتن پیش‌بینی نشده اجزاء گفته می‌شـود. بـدین ترتیـب بـا انجام این مرحله که به «برنامه‌ریزی میان مدت [۵] یا کوتاه مدت [۶]» نیـز معـروف اسـت، طـرح بهینه نهایی حاصل می‌گردد. لازم به ذکر است که در مرحله مـذکور ممکـن اسـت برخـی خطـوط پشتیبان به سیستم قدرت اضافه شود [۷].

TEP درحالت کلی بـه دو نـوع اسـتاتیکی ($STEP$[2]) و دینـامیکی ($DTEP$[3]) طبقـه‌بنـدی می‌شود. در $DTEP$ همه اهداف برنامه‌ریزی شامل تعیـین تعـداد، مکـان و زمـان احـداث خطـوط جدید محقق می‌شود، حال آنکه در $STEP$ جهت ساده‌سازی هر چه بیشتر بعد زمان از مجهـولات مسئله حذف و تنها تعداد و مکان احدث خطوط مورد نیاز تا سال افق توسـعه مشـخص مـی‌شـود. شایان ذکر است در این پژوهش به حل $STEP$ پرداخته شده و از این پس هرجـا سـخن از TEP به میان آمد منظور همان $STEP$ می‌باشد.

همانطورکه اشاره شد عوامل متعـددی در مسـئله TEP دخیـل هسـتند کـه بعضـاً بـه علـت پیچیدگی خاص خود نتیجه برنامه‌ریزی را غیر واقعی و نادقیق جلـوه مـی‌دهنـد. بنـابراین بایسـتی تلاش کرد تا به کمک ابزارهای علمی مناسب حتی‌الامکان بـه صـورت مطلـوب آنهـا را وارد TEP نمود. یکی از این عوامل که کاملاً در نتیجه TEP مؤثر اسـت عـدم قطعیـت پارامترهـای مختلـف برنامه‌ریزی از قبیل رشد بار در سال افق، میزان و مکان تولید نیروگاهها در سـال افـق و همچنـین

---

1. Alternative Current Load Flow
2 .Static Transmission Expansion Planning
3 . Dynamic Transmission Expansion Planning

عدم قطعیتهای موجود بر روی شبکه انتقال می‌باشد. این عدم قطعیتها با ظهور تجدید ساختار در سیستم های قدرت رو به افزایش بوده و از اهمیت خاصی برخوردار شده اند. سهم رقبا در بازار رقابتی برق، تصویب طرح های مربوط به حفاظت محیط زیست از جمله عدم قطعیتهای جدید به شمار می روند. در نظر نگرفتن این عدم قطعیتها منجر به همگرا شدن به سمت جواب های نامطلوب و گاهی مشکل دار در سال افق می شود [۸-۱۰].

۱-۳) ویژگی‌های پایان‌نامه

نظر به جایگاه ویژه عدم قطعیت در برنامه‌ریزی، در این پایان‌نامه مسئله TEP با لحاظ نمودن عدم قطعیت در یکی از پارامترهای بسیار مهم یعنی سوخت نیروگاه ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. به منظور مدل کردن عدم قطعیت از تکنیک سناریو [۱۱-۱۲] استفاده شده است. در این تحقیق برای حل TEP از یکی از روش‌های ساده و در عین حال قدرتمند در حل مسائل بهینه سازی به نام الگوریتم ژنتیک (GA[1]) استفاده شده است.

شبکه آزمون در نظر گرفته شده برای این پژوهش، شبکه برق منطقه‌ای آذربایجان می‌باشد که در شمال غربی ایران واقع شده و از دو سطح ولتاژ ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت برخوردار است. هر چند خطوط ۴۰۰ کیلوولت در شبکه مذکور بسیار معدود بوده و از این جهت چندان توسعه یافته نیست. لذا می‌توان با توجه به نتایج برنامه‌ریزی در مورد پتانسیل این شبکه جهت ارتقاء بیشتر سطح ولتاژ خطوط آن قضاوت نمود.

این پایان‌نامه مشتمل بر پنج فصل است. در ادامه و در فصل دوم به مفاهیم عدم قطعیت در TEP پرداخته و مروری بر پژوهش‌های انجام شده از این بعد خواهیم کرد. در فصل سوم تابع هدف TEP به همراه قیود آن در محیط‌های با عدم قطعیت به طور کامل معرفی و تشریح می

---

1 . Genetic Algorithm

گردد. روش حل مسئله TEP در حضور عدم قطعیت به کمک الگوریتم GA در فصل چهارم مورد بررسی قرار گرفته در فصل پنجم نتایج حاصل از اجرای TEP تحت سناریوهای مختلف بر روی شبکه آذربایجان تجزیه و تحلیل می گردد ودر فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات مورد بررسی قرار گرفته است. ضمائم شامل روشهای مختلف لحاظ نمودن عدم قطعیت در TEP، معرفی الگوریتم GA و نیز ارائه اطلاعات شبکه برق منطقه ای آذربایجان مباحث تکمیلی را تشکیل می دهند.

فصل دوم

مروری بر مفاهیم عدم قطعیت در *TEP*

۲-۱) پیشگفتار

عدم قطعیت یکی از دلایل مشکل بودن برنامه‌ریزی و بهینه نبودن طرح ها است. از موارد حاد عدم قطعیت می‌توان به تغییر در ارزش های سیاسی و اجتماعی، رشد آگاهی های زیست محیطی، قوانین دولتی، تغییرات تکنولوژی، مقررات کنترل آلودگی و هزینه های انرژی اشاره نمود. علاوه بر این متغیر بودن و ناپایداری قیمت سوخت نیز بر عدم قطعیت می‌افزاید. تعامل بین منابع مختلف عدم قطعیت نیازمند ملاحظه علوم مختلف مانند فنی، زیست محیطی، اقتصاد و مطالعات سیاسی است.

شناسایی و در نظر گرفتن عدم قطعیت ها از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا می توانند اثرات منفی بالایی داشته باشند. ظرفیت نصب شده خیلی زیاد و خیلی کم، هر دو می توانند اثرات منفی بالایی داشته و در کل، هزینه را بالا ببرند. سرمایه گذاری بیش از حد لازم می تواند قیمت برق را بالا ببرد و سرمایه گذاری کمتر از مقدار مورد نیاز می تواند ریسک خاموشی را بالا ببرد. بایستی بین نوع عدم قطعیت و منبع عدم قطعیت تفاوت قائل شد. منبع عدم قطعیت به متغیری اشاره دارد که ناشناخته است. در حالیکه نوع عدم قطعیت به طبیعت، مشخصات و یا اندازه خود عدم قطعیت اشاره دارد. نوع عدم قطعیت بر نحوه مدلسازی عدم قطعیت موثر است. «چگونه مدلسازی شود؟». در حالیکه منبع عدم قطعیت، متغیری که باید مدل شود را نشان می‌دهد. «چه مدل شود؟».

عدم قطعیت بطور کلی برای بیان چیزی بکار می رود که ناشناخته است. چون در آینده اتفاق می افتد و اثرات ناشناخته ای دارد. عدم قطعیت به مجهول بودن در نقطه ای از زمان مربوط است.

گاهی اوقات عدم قطعیت به طبیعت اتفاقی داده ها نیز اشاره دارد. عدم قطعیت در بسیاری از موارد ناقص بودن داده ها را ناشی می شود مانند تفاوت بین منابع مختلف اطلاعاتی، داده های نادقیق، مشکوک و غیره.

مسأله عدم قطعیت در برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال همزمان با وقوع بحران نفت مورد توجه برنامه‌ریزان توسعه شبکه انتقال قرار گرفت. در آن دوره بار مصرفی و قیمت سوخت منابع اصلی عدم قطعیت شمرده می شدند [۱۱]. شایان ذکر است افزایش بی سابقه قیمت جهانی نفت در سال های اخیر نیز، اهمیت این پدیده را دو چندان ساخته است.

همچنانکه در فصل قبل اشاره شد، عدم شناخت عدم قطعیت های موجود در سیستم قدرت و نادیده گرفتن آن ها در برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال منجر به همگرا شدن به سمت جواب های نامطلوب و غیر اقتصادی می شود به طوری که ممکن است شبکه طراحی شده، به علت در نظر نگرفتن این عدم قطعیت هادر سال افق با مشکل مواجه شود.

۲-۲) تعاریف مربوط به عدم قطعیت

در این قسمت واژه‌هایی که در برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط‌های با عدم قطعیت مکرراً استفاده می‌شود معرفی می‌شوند:

سناریو[1]: سناریو با نسبت دادن مقادیر مشخص به مجموعه پارامترهای نامشخص (عدم قطعیت‌ها) تشکیل می‌شود که در واقع بیان کننده یکی از آینده‌های احتمالی شبکه قدرت می‌باشد.

انتخاب[2]: به مجموعه اختیارات و تجهیزات جدید در دست طراح گفته می‌شود. مانند خط دو مداره ۲۳۰ کیلوولت یا خط تکمداره ۴۰۰ کیلوولت.

طرح[3]: مجموعه‌ای از انتخاب‌ها از بین راه حل‌های موجود به منظور رفع مشکل شبکه با مینیمم

---

1 . Scenario
2 . Option
3 . Plan

ساختن هزینه تجهیزات انتقال، به عنوان مثال ساخت یک خط ۲۳۰ کیلوولت بین دو پست A و B، اضافه کردن یک ترانسفورماتور ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت در پست C به منظور بازگرداندن کفایت به شبکه.

شاخص برتری[1]: معیاری به منظور بررسی میزان بهینگی یک طرح می‌باشد. به عبارتی از آنجا که در مسئله TEP طرح‌های مختلفی مطرح می‌باشد. برای مقایسه این طرح‌ها با یکدیگر از یک سری اندیس‌ها و معیارها استفاده می‌شود. هزینه تجهیزات جدید شبکه انتقال در سال افق، هزینه جابه‌جایی تولید، $LOLE$[2] و ... از جمله اندیس‌های مطرح شده در این قسمت هستند.

خطرپذیری[3]: خرابی و عدم پاسخگویی یک طرح بعلت به وجود آمدن عدم قطعیت‌های جدید در سال افق.

شاخص خرابی[4]: برای یک سال مشخص، شاخص خرابی به اختلاف یک شاخص برتری به ازاء طرح ارائه شده در آن سال و طرح بهینه آن سال گفته می‌شود.

طرح مقاوم[5]: به طرحی گفته می‌شود که شاخص خرابی آن طرح در برابر تمام سناریوهای موجود در سال افق برابر با صفر باشد.

۲-۲) انواع عدم قطعیت

عدم قطعیت را از جنبه های مختلف تقسیم بندی نموده‌اندکه در ادامه به برخی از آن ها اشاره شده است.

۲-۲-۱) عدم قطعیت درونی و بیرونی

در برنامه‌ریزی، عوامل تحت کنترل سازمان را عوامل درونی و آنهایی که خارج از کنترل

---

1 . Attribute
2 . Loss of Load Expected
3 . Risk
4 . Regret
5 . Robust plan

سازمان هستند را عوامل بیرونی گویند. در سال ۱۹۹۰ هرتس و شوایتزر[1] بر مبنای ایده فوق دو اصطلاح عدم قطعیت درونی و عدم قطعیت بیرونی را بکار بردند [۱۳]. عدم قطعیت درونی مواردی از قبیل دسترس پذیری و قیمت تأسیسات تولیدی جدید، دسترس پذیری و قیمت تأسیسات تولیدی موجود، ظرفیت های مدیریت طرف مصرف و دسترس پذیری منابع انرژی تجدید پذیر را شامل می شود. عدم قطعیت های بیرونی شامل عدم قطعیت در رشد بار، قیمت سوخت، دسترس پذیری و قیمت خرید توان، صرفه جویی ناشی از مدیریت طرف مصرف، نرخ بهره و غیره می باشد.

۲-۲-۲) عدم قطعیت کوتاه مدت و بلند مدت

تکنولوژی های تولید با زمان های ساخت مختلف در معرض پیش بینی بار با عدم قطعیت در سطوح مختلف قرار دارند. عدم قطعیت های کوتاه مدت در مورد عواملی به کار می رود که باعث می شود بار در بازه زمانی اساساً کوچکتر از زمان ساخت نیروگاه های با کمترین زمان ساخت غیر قطعی باشد. پیش بینی های بلند مدت از عدم قطعیت های بیشتری برخوردارند. تفاوت بین دو نوع عدم قطعیت بستگی به اندازه تغییر تقاضا در طول زمان لازم برای ساخت یک نیروگاه دارد [۱۴].

۲-۲-۳) عدم قطعیت قابل سنجش و غیر قابل سنجش

آژانس بین المللی انرژی، *IEA*[2] ، عدم قطعیت را به دو نوع عدم قطعیت قابل سنجش و عدم قطعیت غیر قابل سنجش تقسیم بندی نموده است. عدم قطعیت قابل سنجش شامل توسعه تکنولوژی، طول عمر و کارآیی تأسیسات، به روز کردن یا خارج ساختن نیروگاه های قدیمی می شود. عدم قطعیت غیر قابل سنجش مواردی از قبیل ملاحظات محیطی، حوادث مهم و توسعه سیاسی را شامل می شود.

---

1 . Hirrts and Schewittzer

2 . International Energy Agency