I.P.I.S

67-201
1 St . edition
July . 2002

جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic Of Iran

وزارت نیرو

Ministry Of Energy

سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر)

Iran Power Generation & Transmission Management Organization – Head Office (Tavanir)

۶۷-۲۰۱
چاپ اول
تیر ۱۳۸۱

استاندارد صنعت برق ایران

معیارهای طراحی، مهندسی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع فشار متوسط (۲۰ و ۳۳ کیلوولت)

قسمت اول ـ معیارها و اصول طراحی

Iran Power Industry Standards – Design Criteria and Planning of Medium Voltage Distribution Networks

Part One : Design Criteria

"استاندارد معیارهای طراحی، مهندسی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع فشار متوسط (۲۰ و ۳۳ کیلوولت)"

قسمت اول ـ معیارها و اصول طراحی

رئیس	سمت یا نمایندگی
خانشی، جمشید (لیسانس مهندسی برق)	شرکت مهندسین مشاورنیرو
اعضاء	
اعرابیان، یزدان (لیسانس مهندسی برق)	شرکت مهندسین مشاورنیرو
فرشچیان، امیر (فوق‌لیسانس مهندسی برق)	شرکت مهندسین مشاور نیرو
دبیر	
حالتی املشی، محمود (فوق‌لیسانس مهندسی برق)	شرکت مهندسین مشاورنیرو

این گزارش توسط آقای اسماعیل زارعی ویراستاری گردیده است.

ردیف	عنوان	صفحه

پیشگفتار ..... ب ۱

مقدمه ..... پ ۱

۱ هدف ۱

۲ دامنه کاربرد ۱

۳ معرفی بخشهای مختلف یک سیستم توزیع ۱

٤ ملاحظات اقتصادی در طراحی سیستم توزیع ٤

٥ مدلهای معمول در طراحی سیستمهای توزیع و بهینه‌سازی آن ۱۲

٦ کلیات روش طراحی بهینه ۳۲

واژگان ٤٤

ضمیمه الف ٤٥

پیشگفتار

استاندارد برحسب مورد عبارتست از تعیین تمام یا برخی از خصوصیات و مشخصات هر جوهره (محصول، فرآیند، سازمان یا فرد) و اطمینان از کیفیت آن از قبیل :

کالا (Material) : شامل : اجزاء تشکیل‌دهنده، ترکیب، مواد اولیه، جنس، منشاء، کمیت، شکل، رنگ، وضع ظاهر، وزن، ابعاد، عیار، فهرست مقادیر، نحوه استفاده، شرایط کاری، شرایط محیطی و آب و هوائی، مشخصات فنی، تواناییها، قابلیتها، فهرست اطلاعات داده شده توسط خریدار، فهرست اطلاعات خواسته شده از سازنده، اطلاعات شرایط محیطی و آب و هوائی، بسته‌بندی، حمل و نقل و نگهداری.

مهندسی (Engineering) : شامل : معیارها، مبانی، نیازها و خواسته‌ها، اطلاعات موردنیاز جهت طراحی و انتخاب نرم‌افزارها، شاخصها و پارامترهای مشخص کننده طراحی، روش قدم به قدم طراحی، یک نمونه طراحی، جداول طراحی، مشخصات فنی و قابلیتها، خواص، ایمنی، بهداشت، اقتصاد، نقشه‌ها، طرح تفضیلی، محاسبات، دستورالعملها، راهنمای کاربردی، معیارهای طراحی، شرایط محیطی و ضرایب اطمینان.

اجرائی (Construction) : شامل : ساخت، نشانه و علامت‌گذاری، بسته‌بندی، حمل و نقل، نصب، فونداسیون، سازه، ساختمان، تأسیسات، راه‌اندازی، راهبری و بهره‌برداری، ابزار و وسائل خاص، فصل مشترکها، نگهداری و تعمیرات، دستورالعمل نصب، ابزار مخصوص، تنظیمات.

بازرسی (Inspection) : شامل : کیفیت، آزمایش در طول ساخت، آزمایش و راه‌اندازی، آزمایش دوره‌ای، ارزیابی، فرمهای کنترل کیفی، روش کنترل کیفی و تأییدها.

عمومی (General) : شامل : فرمها، نحوه یکنواخت کردن اوراق اداری، اسناد بازرگانی و مالی، اولویتها، روشها، توصیه‌ها، تفسیرها، ملزومات، مقررات و قوانین، سیاستها، استانداردهای مورد استفاده.

ساختار (Structure) : شامل : طرح و ساختار گزارش و خلاصه آن، تهیه و تدوین کنندگان منابع، مراجع و استانداردهای مورد استفاده، عناوین، هدف و دامنه کاربرد، تعاریف، متن اصلی، عبارات، جداول، ... نظرات و پیشنهادات، آمار و اطلاعات، اشکال، جداول منحنی‌ها، نقشه‌ها، فرمولها، نمودارها، نتیجه، واژگان، پیوستها، سبک نگارش.

این استاندارد جهت استفاده در صنعت برق تهیه و به تصویب مقام محترم وزارت نیرو رسیده است. بنابراین رعایت آن برای کلیه شرکتهای تابعه و وابسته وزارت نیرو الزامی می‌باشد.

Research, 1993.

با توجه به ضرورت ارائه استانداردی در زمینه طراحی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع فشارمتوسط (۲۰ و ۳۳ کیلوولت) جهت تأسیس و توسعه آتی اینگونه شبکه‌ها و همچنین داشتن مدلهای نمونه سیستمهای توزیع برای آزمون برنامه‌های کامپیوتری که توسط محققین مختلف تهیه می‌گردد. دفتر استانداردهای معاونت تحقیقات و فن‌آوری را بر آن داشت تا نسبت به تهیه استاندارد معیارهای طراحی، مهندسی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع فشارمتوسط (۲۰ و ۳۳ کیلوولت) اقدام نماید. این استاندارد دربرگیرنده موارد زیر می‌باشد:

- بررسی‌های آماری و تعاریف
- مبحث بار و معیارهای تعیین آن
- شناخت و بررسی شبکه موجود فشارمتوسط (۲۰ و ۳۳ کیلوولت)
- اصول برنامه‌ریزی در شبکه‌های توزیع نیروی برق
- معیارها و اصول طراحی شبکه‌های توزیع نیروی برق
- ارائه گزینه‌های مختلف یک طرح با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان
- نحوه مقایسه گزینه‌های مختلف یک طرح و انتخاب گزینه بهینه
- ارائه شبکه‌های استاندارد (نمونه) توزیع

جلد حاضر به بررسی معیارها و اصول طراحی شبکه‌های توزیع نیروی برق می‌پردازد.

امید است بکارگیری این استاندارد، در پیشبرد امور جاری و پروژه‌های اجرایی شرکتهای محترم توزیع برق مؤثر واقع گردد.

منابع و مراجعی که برای تهیهٔ این استاندارد به کار گرفته شده، به شرح زیر است :

1. T. Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", Mc Graw - Hill Book CO., NEWYORK, 1986

۲ ـ محمدمهدی اسکونژاد، "اقتصاد مهندسی"، انتشارات پلی‌تکنیک تهران تیر ۱۳۷۱.

3. H.K. Temraz, V.H. Quintana, "Distribution System Expansion Models", Electric Power Systems Research, 1993.

٤ ـ احمدعلی بهمن‌پور، "سیستم توزیع نیرو" ، انتشارات شرکت برق منطقه‌ای تهران ١٣٦٩.

5. M.A. El - Kady, "Computer - Aided planning of Distribution Substation and Primary Feeders", IEEE Trans. on Power App. & syst, ,Vol. PAS - 103, No. 6, June 1984.

٦ ـ احمد گرجی، "برنامه‌ریزی گسترش بهینه پستهای توزیع در شبکه‌های با مقیاس بزرگ"، پنجمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق، مشهد، خرداد ١٣٧٤.

7. T.Gonen, I.J. Ramirez - Rosado, "Review of Distribution system Planning Models. A Model for Optimal Multi - Stage Planning" , IEE proc. , Vol. 133, Part C, No 7, Nov. 1986.

8. I.J. Ramirez - Rosado, T. Gonen, "Pseudo - Dynamic Planning for Expansion of Power istribution Systems" , IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 1, Feb. 1991.

9. V. Glamocanian, V. Filipovic, "Open loop Distribution system Design" , IEEE Trans. on Power Delivery, Vol, 8, No. 4, Oct. 1993.

10. Y.Y. Hsu, Y.J. Hwu, s.s. Liue, "Transformer and Feeder Load Balancing Using a Heuristic Search Approach" , IEEE Trans. on Power systems, Feb. 1993.

١١ ـ قدرت‌اله حیدری، "تلفات انرژی الکتریکی در شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو" انتشارات شورای تحقیقات برق، شهریور ١٣٧٦

١٢ ـ محمد احمدیان، طراحی و توسعه شبکه‌های توزیع، انتشارات دانشکده صنعت آب و برق، پاییز ١٣٧٦

مقدمه

همزمان با پیدایش صنعت برق در اواخر قرن نوزدهم میلادی، سیستم توزیع که عهده‌دار ارائه انرژی به مصرف کنندگان می‌باشد، پا به عرصه وجود نهاد. امروزه نیز پیش‌بینی می‌شود که عمده مصرف انرژی در آینده کماکان بصورت انرژی الکتریکی باشد و از اینرو سیستم توزیع به عنوان یکی از اجزاء اصلی سیستم قدرت از اهمیت و ارزش قابل ملاحظه‌ای برخوردار است.

با افزایش تقاضای مصرف انرژی الکتریکی، شبکه‌های توزیع رو به گسترش نهاد و سرمایه‌گذاری سالانه در این زمینه به میلیاردها دلار بالغ گردید .در یک سیستم قدرت بطور معمول نیمی از تلفات به سیستم توزیع تعلق دارد .وقتی که این دو عامل یعنی سرمایه‌گذاری کلان و تلفات سنگین در کنار یکدیگر در نظر گرفته شود، روشن خواهد شد که حتی اصلاح بسیار کوچکی در روش طراحی این سیستم به تغییر اساسی موقعیت مالی شرکتهای برق خواهد انجامید.

فقدان منابع مالی، استراتژی نامناسب طراحی و بهره‌برداری و رواج فرهنگ استادکاری باعث گردیده است تا سیستم توزیع کشور از وضعیت مطلوبی برخوردار نباشد که این مطلب در واقع انگیزه اصلی برای تدوین معیارها، روشها و اصول طراحی شبکه توزیع به شمارمی‌آید.

هدف طراحی سیستم توزیع ارائه طرحی است که تضمین‌کننده نیاز رو به رشد انرژی الکتریکی بوده و از نظر تکنیکی واقتصادی مورد قبول و عملی باشد. به این ترتیب طراح سیستم توزیع از یک سو به عوامل مربوط به رشد بار، توزیع مکانی نقاط مصرف، زمانبندی مصرف و نوع مصرف توجه دارد و از طرف دیگر عوامل فنی مانند ظرفیت پستها، مقادیر نامی خطوط و فیدرها، محلهای پست توزیع و فوق توزیع، سطوح ولتاژ و افت ولتاژ مجاز، قابلیت اطمینان سیستم، تداوم سرویس‌دهی، امنیت و قابلیت دسترسی به سیستم و ... را در نظر می‌گیرد. همچنین برای آنکه طرح عملا قابل اجرا باشد، طراح باید در فعالیت طراحی خود فاکتورهای اقتصادی مانند هزینه‌های نصب تجهیزات، قیمت تجهیزات، هزینه‌های تلفات انرژی، قیمت انرژی و همچنین نرخ بهره و تورم و نظایر آن را نیز در نظر داشته باشد.

بنابراین می‌توان مسائل یک سیستم توزیع را در طراحی، تجهیز، بهره‌برداری و نگهداری آن خلاصه نمود، بطوری‌که بتواند سرویس‌دهی مناسبی را در ناحیه تحت پوشش خود، تحت ملاحظات اقتصادی (هم در حال و هم در آینده) با کمترین هزینه ممکن انجام دهد. بررسی جزئیات و نقش هر یک از این عوامل در مساله طراحی موضوع فصلهای بعدی این مجلد خواهد بود.

در این مجلد ارائه اصول و الگوریتمهایی برای طراحی و گسترش سیستم توزیع به صورت اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرد .منظور از گسترش سیستم توزیع (که حالت کلی‌تری از طراحی سیستم توزیع می‌باشد) عبارتست از معین کردن محلهای جدید نصب پست یافیدر و همچنین ظرفیت آنها یا افزایش ظرفیت تجهیزات موجود همراه با زمان انجام این عملیات در طول دوره طراحی.

پس از مقدمه در فصل بعد به معرفی بخشهای مختلف یک سیستم توزیع و نقش اجزاء آن در فرآیند طراحی پرداخته می‌شود. سپس هزینه‌های سیستم توزیع و نقش هر یک از عوامل هزینه‌ساز آن در کل هزینه‌های سیستم توزیع مورد بررسی قرار می‌گیرد .بعلاوه نحوه وارد کردن پارامترهای اقتصادی مانند نرخ تورم و میزان بهره در محاسبات نیز، در این فصل تشریح می‌گردند. معرفی راهبردها و اصول مهم طراحی شبکه‌های توزیع موضوع فصل بعدی از این مجلد هستند.

درنهایت الگوریتم طراحی شبکه‌های توزیع که در تعیین محل و ظرفیت بهینه پستها و مسیر و سایز بهینه فیدرها با توجه به محدودیتهای فنی و اجرایی آنها کاربرد دارد، معرفی می‌شود.

"استاندارد معیارهای طراحی، مهندسی و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع فشار متوسط (۲۰ و ۳۳ کیلوولت)"

قسمت اول ـ معیارها و اصول طراحی

۱ـ هدف

هدف از این جلد تدوین اصول طراحی شبکه‌های توزیع و ارائه روش کارآمد، بمنظور طراحی اینگونه شبکه‌ها می‌باشد.

۲ـ دامنه کاربرد

در زمینه طراحی شبکه‌های توزیع فشار متوسط و برای انواع شبکه‌ها و در شرایط مختلف بهره‌برداری کاربرد دارد.

۳ ـ معرفی بخشهای مختلف یک سیستم توزیع

برای بررسی اصولی و همه جانبه سیستم توزیع که در نهایت به ارائه اصول و روشهای مناسب در طراحی بهینه آن منجر گردد، لازم است جایگاه و همچنین ساختار این سیستم در کل سیستم قدرت مشخص گردد .در ادامه قسمتهای مختلف سیستم توزیع و ویژگیهای هر بخش بررسی می‌گردد.

۳-۱ ـ مدارهای فوق توزیع

انرژی الکتریکی از پستهای انتقال و فوق توزیع توسط خطوط انتقال و فوق توزیع منتقل می‌گردد .مدارهای فوق توزیع ممکن است بصورت مدارهای ساده شعاعی، حلقوی یا یک شبکه بهم پیوسته غربالی بکار روند. نحوه انتخاب آرایش این مدارها از محدوده این استاندارد خارج است.

۳-۲ ـ پستهای فوق توزیع

بطور معمول هر پست فوق توزیع (HV/MV) ناحیه بار خود را که بخشی از ناحیه سرویس‌دهی سیستم توزیع است، تغذیه می‌نماید و در آن ولتاژ فوق توزیع به ولتاژ فشارمتوسط، بمنظور توزیع در سراسر ناحیه کاهش می‌یابد.

۳-۳ـ فیدرهای فشار متوسط

اساساً فیدرهای فشار متوسط یک سیستم توزیع شعاعی، بخاطر عدم تداوم سرویس دهی مساله سازند و بروز یک خطا بر روی هر یک از این فیدرها به خاموشی تعدادی از مصرف‌کنندگان می‌انجامد و در هنگام استفاده از این آرایش، وقفه در سرویس‌دهی بصورت اجتناب ناپذیر وجود دارد .از این رو استفاده از شبکه‌های حلقه‌ای و یا رینگ مورد توجه قرار می‌گیرد.

از نظر تعریف، اصطلاح "حلقه" با واژه "رینگ" تفاوت دارد .حلقه به معنای مداری است که از یک شینه شروع می‌شود و پس از عبور از یک ناحیه به همان شینه باز می‌گردد، در حالیکه رینگ به مداری گفته می‌شود که از یک شینه آغاز می‌گردد و پس از متصل کردن چند شینه به یکدیگر به همان نقطه شروع برمی‌گردد .بعبارت دیگر رینگ حلقه‌ای است که می‌تواند بیشتر از یک پست را تغذیه نماید و از طریق بیشتر از یک نقطه تغذیه شود .مزیت اصلی شبکه رینگ در قابلیت اطمینان مناسب و امکان گسترش آسان آن است، اما تعداد دژنکتورهای مورد نیاز زیاد و نیز رله‌گذاری مشکل و پر خرج می‌شود.

عوامل بسیاری در انتخاب سایز فیدرهای اولیه تاثیر دارند که مهمترین آنها عبارتند از :چگالی و رشد بار، نیاز به ایجاد ظرفیت خالی برای بهره‌برداری در حالت اضطراری، هزینه و ساختار مدار مورد استفاده، طرح و ظرفیت پست فوق توزیع مربوط به آن، تلفات، سطح ولتاژ و نیز سایر استانداردهای سرویس‌دهی.

ممکن است برای بعضی از بارهای ویژه مانند کوره‌های قوس الکتریکی لازم باشد فیدرهای جداگانه‌ای برای پرهیز از اثر سوئی که بر بارهای دیگر شبکه می‌گذارند، بکار گرفته شود .بنابراین مقدار اینگونه بارها در ناحیه بار و نیز ولتاژ مورد نیاز در انتخاب مقدار نامی اینگونه فیدرها دخالت دارند. در برخی از موارد افت ولتاژ نقش مهمی در طراحی فیدرهای فشارمتوسط بعهده دارد .افت ولتاژ کل باید در طول فیدر فشارمتوسط، پستهای توزیع، مدارهای فشارضعیف و اتصالات سرویس مصرف‌کنندگان، به گونه‌ای مناسب تقسیم شود، البته این تقسیم‌بندی به نوع ساختار مدار فشارمتوسط و فشارضعیف و ترانسفورماتور بکار رفته بستگی دارد.

٤-۳ ـ پستهای توزیع

پستهای توزیع (MV/LV) ولتاژ را از سطح ولتاژ فشار متوسط به ولتاژ فشار ضعیف کاهش می‌دهند و ممکن است که به فیدرهای فشارمتوسط اصلی یا فرعی متصل باشند.

با توجه به تفاوت زیاد در چگالی بار در مناطق مختلف، این پستها به دو صورت بکار می‌روند:

الف : پستهای زمینی

در مناطق شهری با چگالی بار زیاد، از ترانسفورماتورهای بزرگ استفاده می‌شود و این پستها از طریق کابلهای زمینی یا هوایی مصرف‌کنندگان را تغذیه می‌نمایند.

ب : پستهای هوایی

اینگونه پستها بیشتر در مناطق روستایی یا شهری که چگالی بار کمی دارند بکار می‌روند و بوسیله فیدرهای فشارمتوسط هوایی تغذیه می‌شوند.

۵-۳ ـ شبکه فشار ضعیف

مدارهای فشارضعیف و بدنبال آن اتصالات سرویس مصرف‌کنندگان، آخرین بخش از شبکه‌های توزیع را تشکیل می‌دهند و مستقیماً با مصرف‌کنندگان در ارتباط هستند. این مدارها از لحاظ چگونگی سرویس‌دهی اساساً با فیدرهای اولیه یکسانند، مگر در مواردی که تعداد مصرف‌کنندگان متصل به هر یک از این مدارها آنقدر زیاد می‌شود که برای آنها واژه "پخشگر" بکار می‌رود و به جای مدلسازی بار نقطه‌ای این مدارها از چگالی بار خطی یکنواخت برای بیان نحوه تغذیه مصرف‌کنندگان استفاده می‌شود.

عملا شبکه فشار ضعیف به همراه ترانسفورماتورهای توزیع در یک حوزه قرار می‌گیرد که میان آنها ارتباط تنگاتنگی برقرار است .در مناطق شهری با چگالی بار سنگین، معمولاً شبکه فشار ضعیف از کابلهای زمینی تشکیل می‌شود .در این حالت کابلهای متعلق به پستهای همسایه به یکدیگر بسیار نزدیک می‌شوند، بنابراین امکان بهم پیوستگی شبکه فشار ضعیف را تحت هزینه مناسبی فراهم می‌آورند .از این رو سابقاً در این مناطق از شبکه بهم پیوسته استفاده می‌شد اما اکنون شبکه‌های شعاعی ارجحیت یافته است.

اگرچه شبکه فشار متوسط و فشار ضعیف با یکدیگر تفاوتهای آشکاری دارند، با این حال مبانی مشترکی به ویژه در طراحی بر آنها حاکم است و این مطلب درباره پستها نیز صدق می‌کند .به همین علت و به خاطر ساده‌تر شدن نگارش از این پس به جای نشان دادن پستها به صورت HV/MV و MV/LV ، گاهی از واژه پست استفاده می‌شود و تشخیص نوع آن با توجه به شبکه‌ای که پست در آن واقع شده است، انجام می‌گیرد.

٤ ـ ملاحظات اقتصادی در طراحی سیستم توزیع

از آنجا که هدف از طراحی سیستم توزیع ارائه سرویس به مصرف‌کنندگان در محدوده استانداردهای فنی با حداقل هزینه است، بررسی اقتصادی در طراحی این سیستم جایگاه مهمی دارد .از این رو در این قسمت، روشی که از نظر برآورد اقتصادی کاربرد دارد، عوامل تعیین‌کننده در هزینه سیستم توزیع و نحوه محاسبه آنها معرفی می‌شود.

٤-١ ـ پارامترهای اقتصادی طراحی

وقتی یک مسأله طراحی دارای پاسخهای متعددی از دیدگاه فنی باشد، هزینه هر یک از این پاسخها عامل تعیین‌کننده مهمی در انتخاب یکی از گزینه‌ها خواهد بود .از این رو لازمست یک مدل مالی مناسب که متناسب با اصول اقتصادی بتواند هزینه‌های این پاسخها را با هم مقایسه کند، بدست آید.

برای بررسی اقتصادی پروژه‌های سیستم توزیع از آنجا که این طراحی در مدت چند سال (پریود طراحی) اجرا می‌شود، علاوه‌بر دانستن قیمت تجهیزات و تلفات و هزینه‌های برکناری و نصب و راه‌اندازی و تعمیرات و نگهداری آنها، لازمست اولاً پایگاه اطلاعات قیمتها و رشد آنها در طی سالهای گذشته و در پریودهای زمانی مختلف تهیه و ذخیره گردند و ثانیاً پارامترهای اقتصادی زیر نیز معلوم باشند:

١ ـ نرخ تورم:

نرخ تورم که معمولا به درصد بیان می‌شود بیانگر افزایش قیمت یک کالا یا یک سرویس ثابت در هر سال نسبت به سال قبل است .بنابراین:

$$(\text{قیمت کالا در سال } t+1) = (\text{قیمت کالا در سال } t) \times \left(1 + \frac{\text{نرخ تورم}}{100}\right) \qquad (1)$$

٢ ـ نرخ تنزیل (ارزش زمانی پول) :

نرخ تنزیل یا بهره معرف نرخ برگشت سرمایه است .یعنی چنانچه برای یک سرمایه‌گذاری وام دریافت شود، نرخ بهره این وام معین‌کننده مقدار واقعی است که مجری طرح باید به بانک برگرداند و از این رو در محاسبه هزینه واقعی پروژه باید در نظر گرفته شود.

۳ ـ استهلاک سرمایه:

یک سرمایه‌گذاری به دلایل مختلف از جمله فرسودگی تجهیزات یا وسایل، تغییر نوع استفاده و کاربری یا هر دلیل دیگر، ارزش اولیه خود را از دست می‌دهد، از این رو لازم است در برآورد اقتصادی این موضوع نیز در نظر گرفته شود.

٤ ـ طول پریود مطالعه:

لازمست پروژه‌های مورد مقایسه درمدت زمانی معین مورد بررسی قرار گیرند تا مقایسه از نظر علمی و عملی ارزشمند باشد چرا که تغییر مدت مطالعه نقش عمده در محاسبات مربوط به تورم، بهره و مانند اینها دارد.

۵ ـ هزینه‌های برکناری و نصب:

هزینه‌های مربوط به برکناری و نصب تجهیزات جدید نیز از جمله شاخصهای اقتصادی طراحی محسوب می‌گردند.

شایان ذکر است که بجای قیمت هر تجهیز می‌توان از شاخص قیمت آنها نیز استفاده کرد.

۲-٤ ـ ارزیابی اقتصادی بر مبنای روش ارزش خالص فعلی(NPW)

از آنجا که کاربرد کلیه تکنیکهای اقتصاد مهندسی در مقایسه اقتصادی پروژه‌ها دارای نتیجه یکسانی می‌باشد و با توجه به سادگی این روش نسبت به سایر روشها و در نظر گرفتن هزینه برای مقایسه طرحهای مختلف، روش (NPW) بعنوان مبنای اقتصادی مقایسه انتخاب شده است.

با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی که پیش از این ذکر شد و در نظر گرفتن زمان سرمایه‌گذاری در هر قسمت در طول یک دوره زمانی، ارزیابی اقتصادی به ترتیب زیر صورت می‌گیرد.

اگر I_0 هزینه سرمایه‌گذاری یک پروژه در سال صفر (سال پایه) باشد، برای محاسبه هزینه مورد نیاز برای احداث این پروژه در سال t کافیست I_0 در شاخص تورم تا سال t ضرب شود.

$$I_t = I_0\ \delta^t \qquad (۲)$$

که در این رابطه، I_t هزینه احداث پروژه در سال t و δ میانگین شاخص تورم است که از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$\delta = \left(۱+ \frac{\text{میانگین درصد افزایش سالانه قیمتها}}{۱۰۰}\right) \qquad (۳)$$

علاوه بر تورم همانطور که قبلا نیز گفته شد عامل تعیین‌کننده دیگر در هزینه‌ها، نرخ بهره و مدت زمان بازگرداندن وام است . برای در نظر گرفتن اثر بهره در محاسبات باید توجه داشت که اگر P مقدار وام و i نسبت بهره (نرخ بهره) و F مقدار برگشتی وام (اصل و فرع) پس از n سال باشد:

$$F= P\,(1+i)^n \qquad (٤)$$

در این رابطه فرض بر آن است که وام دریافت‌شده به مبلغ P یکباره و آنهم n سال بعد بازگردانده شود. بنابراین رابطه (٤) به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$(P/F,i\%,n) = \frac{1}{(1+i/100)^n} \qquad (٥)$$

اما چنانچه بازپرداخت وام به صورت اقساط سالانه (یا ماهانه) در مدت n سال صورت بگیرد، یعنی وام P در مدت n سال و در هر سال به مقدار A بازگردانده شود آنگاه:

$$P = A\left[\frac{1}{(1+i/100)^1}\right] + A\left[\frac{1}{(1+i/100)^2}\right] + \ldots + A\left[\frac{1}{(1+i/100)^n}\right] \qquad (٦)$$

بنابراین:

$$P = A\left[\frac{(1+i/100)^n - 1}{i/100\,(1+i/100)^n}\right] \qquad (٧)$$

رابطه فوق بصورت رابطه زیر بازنویسی می‌شود:

$$(P/A,i\%,n) = \left[\frac{(1+i/100)^n - 1}{i/100\,(1+i/100)^n}\right] \qquad (٨)$$

ضرائب A/P و P/A و P/F و F/P برای طول دوره‌های مختلف و ضرائب بهره متفاوت در جداول خاصی ارائه می‌شود و می‌توان این مقادیر را بدون محاسبه و با مراجعه به این جداول استخراج نمود.

اکنون با پارامترهای اقتصادی معرفی شده و بر مبنای روش ارزش خالص فعلی (NPW) می‌توان مدل مالی مناسبی برای ارزیابی اقتصادی طراحی و توسعه سیستم توزیع تشکیل داد.

در روش (NPW) هزینه‌های مختلف یک پروژه ضمن عملیاتی که ذیلا شرح داده می‌شود به یک ارزش فعلی مبدل می‌شوند و پروژه‌های مختلف بر مبنای این مقادیر با هم مقایسه می‌شوند .بدیهی است برای سیستم

توزیع مورد بحث لازمست علاوه‌بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری در احداث یا افزایش ظرفیت تجهیزات، هزینه‌های تلفات و بهره‌برداری نیز در نظر گرفته شوند.

به این ترتیب مقدار فعلی هزینه تجهیزات نصب شده در سال t عبارتست از هزینه فعلی شده سرمایه‌گذاری بعلاوه مقدار فعلی شده هزینه تلفات و بهره‌برداری در سالهای باقیمانده پروژه .پس برای یک پروژه U که در سال t از پریود P سال مطالعه انجام می‌شود:

$$NPW[U] = NPW[CI] + \sum_{\tau=t+1}^{p} [NPW(CL_\tau) + NPW(CM_\tau)] \qquad (۹)$$

در رابطه فوق (NPW) به معنی ارزش خالص فعلی شده موارد زیر می‌باشد:

CI : هزینه سرمایه‌گذاری

CL_τ : هزینه تلفات در سال τ

CM_τ : هزینه بهره‌برداری و تعمیرات در سال τ

از آنجا که پیش‌بینی هزینه بهره‌برداری به صورت سالانه غالباً مشکل است، معمولا در محاسبات آن را به صورتی در هزینه سرمایه‌گذاری لحاظ کرده و از روابط حذف می‌کنند.

اجزاء رابطه (۹) به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

اگر یک پروژه دارای عمر مفید L باشد، غالباً قسط‌بندی هزینه احداث آن بصورتی انجام می‌شود که در مدت L سال هزینه خود را برگرداند، به هرجهت L مدت باز پس دادن وام مربوط به احداث پروژه می‌باشد.

در این صورت اگر پروژه‌ای با هزینه سال صفر I_0 در سال t احداث شود:

$$NPW[CI_t] = I_0\delta^t[A/P(i\%,L)]\times[P/A(i\%,p-t)]\times[P/F(i\%,t)] \qquad (۱۰)$$

اجزای رابطه فوق در روابط (۲) تا (۸) تعریف شده‌اند و در اینجا صرفاً یادآور می‌شویم که مفهوم رابطه فوق این است که در سال t لازمست وامی به مبلغ $I_0\delta^t$ دریافت شود که هزینه سالانه آن در L سال قسط‌بندی می‌شود که بخشی از این اقساط که در سالهای باقی مانده پریود پرداخت می‌شوند با ضریب [P/A (i % , P-t)] به هزینه سال t تبدیل می‌شوند که با ضرب در [P/F (i% , t)] ارزش فعلی این هزینه بدست

می‌آید .هزینه نگهداری همان‌گونه که پیش از این ذکر شد بصورت درصدی در هزینه سرمایه‌گذاری منظور می‌شود و هزینه فعلی شده تلفات نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$NPW[CL_\tau] = CL_\tau \times [P/F \quad (i\%, \tau)] \qquad (11)$$

اما بدست آوردن مقدار هزینه تلفات در هر سال علاوه بر حداکثر تلفات با توزیع زمانی مقدار تقاضا و تلفات ارتباط دارد که در بخش بعد دقیقاً بررسی می‌شود.

در اینجا پیش از ادامه بحث سعی می‌شود با معرفی نمادهای α و β روابط (۱۰) و (۱۱) ساده‌تر شوند.

$$\alpha_t = \delta^t [A/P(i\%, L)][P/A(i\%, p-t)][P/F(i\%, t)] \qquad (12)$$

$$\beta_t = [P/F \quad (i\%, t)] \qquad (13)$$

پس روابط (۱۰) و (۱۱) بصورت زیر درمی‌آیند:

$$NPW[CI_t] = CI_0 \alpha_t \qquad (14)$$

$$NPW[CL_t] = CL_t \beta_t \qquad (15)$$

۳-٤ ـ محاسبه هزینه تلفات

تلفات در بهره‌برداری و طراحی سیستم توزیع از اهمیت فراوانی برخوردار است .بطوری که نیمی از تلفات سیستم قدرت به سیستم توزیع آن مربوط می‌باشد .نکته دیگری که اهمیت تلفات را در ملاحظات طراحی افزایش می‌دهد این است که اگر چه هزینه سرمایه‌گذاری در نصب تجهیزات را، بواسطه تحمیل ظرفیت نصب شده از طرف مقدار تقاضا، معمولا نمی‌توان تا حد زیادی کاهش داد، اما با کاهش تلفات می‌توان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در کل هزینه سیستم توزیع انجام داد .تلفات در سیستم توزیع به دو صورت هزینه سیستم را افزایش می‌دهد .اولا بخشی از توان که در جریان توزیع تلف می‌شود به مصرف‌کننده نمی‌رسد و بنابراین قابل فروش نیست و هزینه‌های مربوط به آن تامین نمی‌شود، ثانیاً تلفات توان سبب می‌شود که برای تامین مقدار خاصی از تقاضا لازم باشد توان بیشتری ازمنابع توان به نقاط تقاضا ارسال شود واین خود به معنی بالا رفتن مقادیر نامی تجهیزات و افزودن هزینه‌های سرمایه‌گذاری است.

بطور کلی مزایای کاهش تلفات را می‌توان اینگونه برشمرد:

۱ ـ تعویق در سرمایه‌گذاریهای آتی

۲ ـ کاهش هزینه‌های ثابت

۳ ـ کاهش هزینه‌های بهره‌برداری

٤ ـ افزایش فروش انرژی

۵ ـ بهبود پروفیل ولتاژ

با این توضیحات لازم است هزینه تلفات را بعنوان یک عامل در ارزیابی هزینه کل پروژه‌ها بحساب آورد و هیچگاه نباید در طراحی یک سیستم کارآمد از اثر آن چشم‌پوشی نمود، زیرا در اینصورت خطای قابل ملاحظه‌ای در برآورد هزینه‌ها بوجود می‌آید.

برای محاسبه هزینه تلفات، اطلاعات زیر(برای هر عنصر) مورد نیاز است:

۱ ـ پیک تلفات یا حداکثر تلفات آن در مدت مورد نظر (سال یا ماه یا روز)

۲ ـ ضریب انطباق F_c : که برای هر عنصر بصورت نسبت بار آن در زمان پیک سیستم به بار پیک آن عنصر تعریف می‌شود($F_c \leq 1$)

۳ ـ ضریب بار F_{ld} : ضریب بار عبارتست از نسبت متوسط بار یک عنصر به حداکثر بار آن F_{ld} .برای بارهای مختلف مقادیر متفاوتی دارد و به هر جهت $F_{ld} \leq 1$

٤ ـ ضریب تلفات F_{ls} : ضریب تلفات برای هر عنصر عبارتست از نسبت میانگین تلفات آن عنصر به تلفات آن عنصر در زمان پیک سیستم

$$F_{ls} = \frac{1/T \int_0^T P_{loss}(t)dt}{P_{loss}(T_P)} \qquad (۱۶)$$

در رابطه فوق T_p زمان پیک سیستم و T طول مدت متوسط گیری است.

و برای یک عنصر بخصوص:

$$F_{ls} = \frac{1/T \int_0^T I_c^2(t)dt}{I_c^2(T_p)} \qquad (۱۷)$$

از آنجا که تغییرات زمانی بار غالباً بطور دقیق معین نیست محاسبه انتگرال فوق بسهولت انجام نمی‌شود بنابراین در عمل برای F_{ls} از رابطه تجربی زیر استفاده می‌شود.

$$F_{ls} = 0.7F_{ld} + 0.3F_{ld}^2 \qquad (۱۸)$$

مقدار F_{ld} برحسب نوع بار و طبیعت آن باید معین شود.

با مجموعه اطلاعات فوق اگر میانگین تلفات سالانه یک عنصر P_{la} و تلفات در بار پیک آن P_{Lp} باشد (برحسب KW) هزینه سالانه تلفات از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$CL = (8760 \times Ce \times P_{la}) + (D \times F_c \times P_{LP}) \qquad (۱۹)$$

در رابطه فوق Ce قیمت تمام شده واحد انرژی و D هزینه تجهیزات مورد نیاز برای جبران واحد تلفات برحسب (کیلووات/ ریال) می‌باشد و CL هزینه سالانه تلفات می‌باشد.

با توجه به مفهوم ضریب تلفات می‌توان رابطه فوق را بصورت زیر نوشت:

$$CL = (8760\ Ce\ F_{ls} + D\ F_c)\ P_{LP} \qquad (۲۰)$$

ضمناً از آنجا که در زمان طراحی شبکه قدرت غالباً F_c در دست نیست، مقدار آنرا در مرحله طراحی یک در نظر می‌گیریم، یعنی در عمل با تقریب زمان پیک همه بارها را یکی گرفته و همان زمان پیک سیستم در نظر می‌گیریم.

با استفاده از رابطه بالا با دانستن میزان تلفات حداکثر هر عنصر، می‌توان هزینه سالانه تلفات آنرا معین کرد.

تلفات سه فاز برای یک فیدر بصورت (۲۱) محاسبه می‌شود:

$$P_{LP} = 3.r.L.I_p^2 \times 10^{-3} \qquad (۲۱)$$

L طول فیدر برحسب کیلومتر، r مقاومت واحد طول بر حسب $\frac{\Omega}{Km}$ (کیلومتر/اهم) و I_P جریان حداکثر فیدر (جریان خط) بر حسب آمپر و P_{LP} حداکثر تلفات بر حسب کیلووات می‌باشد، پس CFL هزینه تلفات فیدر از این رابطه حساب می‌شود.

$$CFL = 3(8760\ C_e\ F_{ls} + D)r\ LI_p^2 \times 10^{-3} \qquad (۲۲)$$

برای یک پست هزینه تلفات برابر مجموع هزینه تلفات تجهیزات آن است و برای هر یک از ترانسفورماتورهای آن هزینه تلفات بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CTL = (8760\ C_e + D)P_{fe} + (8760\ C_e\ F_{ls} + D)\ (\frac{S_{TS}}{S_{TN}})^2 P_{cu} \qquad (۲۳)$$

در رابطه بالا، P_{fe} تلفات بی‌باری و P_{cu} تلفات بار نامی ترانسفورماتور و S_{TS} توان گرفته شده از ترانسفورماتور و S_{TN} توان نامی ترانسفورماتور و CTL هزینه سالانه تلفات ترانسفورماتور است (ظرفیتهای نامی و عملی ترانسفورماتور بر حسب کیلوولت آمپر و تلفات بر حسب کیلووات). حال با توجه به اینکه توان نامی پست جمع توانهای نامی ترانسفورماتورهای آن و توان تحت تغذیه پست نیز جمع توانهای تحت پوشش ترانسفورماتورهای آن است، بنابراین:

$$S_{SS} = \sum_{k \in N_T} S_{TSK} \qquad (۲۴)$$

$$S_{SN} = \sum_{k \in N_T} S_{TNK} \qquad (۲۵)$$

Sss حداکثر توان گرفته شده از پست و S_{SN} ظرفیت نامی پست و N_T تعداد ترانسفورماتورهای پست است.

ضمناً چون هزینه تلفات پست جمع هزینه تلفات ترانسفورماتورهای آن است لذا:

$$CSL = \sum_{k \in N_T} CTL \qquad (۲۶)$$

در این رابطه CSL هزینه سالانه تلفات پست است .حال اگر فرض کنیم که تمام ترانسفورماتورهای پست با درصد یکسانی از بار نامی خود بارگذاری شوند.

$$\frac{S_{SS}}{S_{SN}} = \frac{S_{TSK}}{S_{TNK}}, K \in NT \qquad (۲۷)$$

از جاگذاری رابطه (۲۳) در (۲۶) و با در نظر گرفتن رابطه‌های (۲۴) و (۲۵) و (۲۶) خواهیم داشت:

$$CSL = \sum_{k \in N_T} [(8760C_e + D)P_{fek} + (8760C_e F_{ls} + D)P_{cuk} (\frac{S_{SS}}{S_{SN}})^2] \qquad (۲۸)$$

همانگونه که پیش از این نیز گفته شد، هزینه‌های تلفات در کل هزینه سیستم توزیع نقش عمده‌ای دارد، به نحویکه در برخی از مطالعات عنوان شده است که هزینه فعلی شده تلفات تقریباً با هزینه فعلی شده سرمایه‌گذاری برابر می‌باشد.

۵ ـ مدلهای معمول در طراحی سیستمهای توزیع و بهینه‌سازی آن

موضوع طراحی سیستم توزیع به سبب اینکه دارای پارامترهای زیادی است از جهات مختلف قابل بررسی است .این موضوع به اضافه اینکه طراحان مختلف با اهداف متفاوت برای سیستم توزیع برنامه‌ریزی می‌کنند، سبب شده که مدلها و روشهای متعدد برای طراحی در سیستم توزیع ارائه شوند که برخی بسیار شبیه هم و بعضی نیز کاملا متفاوتند .از این‌رو می‌توان این مدلها را بر اساس ساختار ریاضی مدل، نحوه بهینه‌سازی آن، نحوه در نظر گرفتن تغییر سیستم با زمان که ناشی از رشد سالانه تقاضاست و اینکه کل سیستم یا بخشی از آنرا مد نظر قرار می‌دهند، طبقه‌بندی کرد.

۵-۱ ـ ملاحظات عمومی مدلها

برای تامین انرژی الکتریکی در نقاط مصرف و جبران رشد تقاضای توان الکتریکی به نحو مقتضی که برآورنده استانداردهای فنی و همچنین قابل توجیه از نظر اقتصادی باشد، لازم است که طراحی دقیق و منظم سیستم توزیع صورت پذیرد .بعلاوه تنها در صورتی می‌توان از کارآیی، قابلیت اطمینان وتداوم سرویس‌دهی سیستم توزیع اطمینان داشت که در مرحله طراحی دقت و حساسیت کافی در مورد مدل‌سازی سیستم، نحوه فرموله‌کردن مسأله و رعایت تمام محدودیتها و مرزها در بهینه سازی صورت گرفته باشد .اهمیت این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که سیستم توزیع نقش بسزایی در ارائه مناسب و اقتصادی انرژی الکتریکی به مصرف کنندگان دارد. اهمیت شبکه‌های توزیع در انجام این امر از آن جهت است که اولاً، شبکه توزیع کاملا در نزدیکی مصرف‌کننده قراردارد، بنابراین مشکلات و مسائل آن به سرعت و مستقیماً بر سرویس ارائه شده و به مصرف کننده تاثیر می‌گذارد، ثانیاً، سیستم توزیع حجم سرمایه‌گذاری زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. پیش از این نیز گفته بودیم که علیرغم کوچک بودن تجهیزات بکار رفته در سیستم توزیع نسبت به اجزاء سیستم‌های تولید و انتقال، تعداد بسیار زیاد این تجهیزات سبب می‌شود که بیش از ۳۰ درصد هزینه سرمایه‌گذاری در یک سیستم قدرت به بخش توزیع آن اختصاص یابد. ثالثاً، صورت انجام نشدن طراحی دقیق و مناسب هزینه تلفات یک سیستم توزیع می‌تواند بسیار سنگین باشد .در عمل دیده می‌شود که تلفات سیستم توزیع بیش از نیمی از تلفات کل سیستم را تشکیل می‌دهد .پس به طور خلاصه سه عامل:

۱ ـ نزدیکی به مصرف‌کننده

۲ ـ سرمایه‌گذاری سنگین

۳ ـ تلفات قابل توجه

ویژگیهایی هستند که اهمیت خاصی برای سیستم توزیع ایجاد می‌کنند و همین امر ایجاب می‌کند که برای بهبود فنی واقتصادی وضعیت انرژی الکتریکی تحویلی به مصرف‌کنندگان، توجه خاصی به سیستم توزیع و طراحی آن بشود.

برای طراحی یک شبکه توزیع باید اطلاع دقیقی از وضعیت بار و تقاضای انرژی الکتریکی وجود داشته باشد یعنی باید بارپیک، توزیع جغرافیایی تقاضا، میزان و نحوه افزایش بار با زمان (رشد بار) در تعرفه‌های مختلف برای طراح مشخص باشد.

سپس ساختار پستها شامل مکان و ظرفیت آنها، نحوه تغذیه آنها یعنی آرایش فیدرهای اولیه و ناحیه تحت پوشش هر پست را چنان معین کرد که تقاضای موجوددر طول دوره طراحی با کمترین هزینه تلفات و سرمایه‌گذاری به مصرف‌کنندگان برسد .لازم به یادآوری است که این بهینه‌سازی باید در محدوده مرزهای موجود از نظر مشخصات فنی، ولتاژ قابل قبول و ظرفیتهای ممکن انجام شود.

از آنجا که طراح سیستم توزیع غالباً با یک شبکه موجود مواجه است که می‌خواهد آنرا با نیازهای آتی بصورت بهینه‌ای سازگار سازد از این رو موضوع اکثراً بصورت طراحی برای گسترش سیستم توزیع بررسی می‌شود و حالت برق‌رسانی به یک منطقه فاقد سیستم توزیع بعنوان حالت خاصی از آن مد نظر قرار گیرد.

۱-۱-۵ ـ پیوستگی اجزاء سیستم توزیع

نکته بسیار مهمی که در بررسی روشها باید مورد توجه باشد و بستگی به مدل خاصی ندارد توجه به پیوستگی اجزاء مختلف سیستم توزیع است به این معنا که سیستم توزیع ترکیبی از مجموعه پستها و فیدرها است که برای دست یافتن به سیستم توزیع بهینه لازمست بطور توأم طراحی و بهینه‌سازی برای هر دو زیرسیستم (پست و فیدر) صورت پذیرد .اما در برخی مطالعات و روشهای طراحی برای ساده سازی مسأله و کاهش متغیرهای مورد بررسی سیستم توزیع به دو زیر سیستم پست و فیدر تفکیک شده و مسأله طراحی نیز به صورت دو مسأله مجزا و متوالی طراحی پست وطراحی فیدر حل شده است .اما همانگونه که در بررسی ریاضی مسأله بنظر می‌رسد، عملا نیز طراحان بر این عقیده‌اند که بهینه‌سازی مجزای زیر سیستم‌های پست و

فیدر لزوماً در جهت بهینه‌سازی کل سیستم توزیع نمی‌باشد و همواره این سؤال مطرح است که آیا می‌توان از تأثیر متقابل اجزاء سیستم در فرآیند بهینه‌سازی صرف نظر کرد یا خیر؟

پاسخ منطقی و فنی به این سؤال غالباً منفی است و بجز در مواردی که فقط بدست آوردن یک طرح کلی مد نظراست و یا جاهایی که ساده‌سازی مدل ضرورت خاصی (مثلا از نظر تعداد متغیرهای درگیر) داشته باشد، لازمست که کل سیستم توزیع بصورت یکپارچه طراحی شود.

البته باید توجه داشت که حجم متغیرهایی که به این ترتیب وارد بررسی می‌شوند بسیار زیاد است واین امر مستلزم داشتن روش قوی و مناسبی در انجام طراحی بهینه است که توانایی مواجهه با حجم متغیرهای زیاد بدون پیچیدگی محاسبات را داشته باشد .امروزه با پیشرفت کمی و کیفی سیستمهای پردازش کامپیوتری حل کامل مسأله آسانتر از گذشته است، اما باز هم داشتن روشهای کارآمد در بهینه‌سازی و جستجو مسلماً امکان وارد کردن جزئیات بیشتر را افزایش می‌دهد.

نهایتاً پاسخ بهینه مساله طراحی شامل پستها (مکان، ظرفیت و ناحیه سرویس‌دهی) و فیدرها (تعداد، مسیر و سایز هادی) خواهد بود که بصورت همزمان معین می‌شوند .البته مسأله زمان احداث هر یک از این بخشها نیز باید توسط طراح سیستم معین شود که در قسمتهای بعدی به آن پرداخته می‌شود.

۲-۱-۵ ـ تغییر تدریجی میزان بار(رشد بار) و گسترش سیستم توزیع به تناسب آن

نکته بسیار مهم دیگری که در بررسی مدلهای ارائه شده باید در نظر داشت، نحوه برخورد آنها با طبیعت متغیر سیستم است .به این معنا که مسأله طراحی هم از نظر ورودیها و هم از دید پاسخها با زمان مرتبط است، چرا که هم مقدار تقاضا و نحوه گسترش جغرافیایی آن در سطح منطقه با زمان تغییر می‌کند و هم اینکه طراح سیستم توزیع لازم است زمانبندی مناسب احداث تجهیزات را علاوه بر حجم و مکان آنها معین کند تا طرح علاوه بر برآوردن میزان تقاضا، از نظر اقتصادی و اجرایی نیز واقعاً عملی بوده و در ضمن به عمر تجهیزات نیز توجه داشته باشد.

بر این مبنا روشهای طراحی براساس در نظر گرفتن یا نگرفتن پویایی سیستم یا در نظر گرفتن طراحی به صورت تدریجی یا تک‌مرحله‌ای به دو دسته روشهای دینامیک و استاتیک تقسیم می‌شوند .در نظر گرفتن مسأله زمان به منزله وارد کردن بعد جدیدی به فضای جواب است که این خود سبب افزایش متغیرهای مورد

بررسی و گسترش وسیع فضای مطالعه می‌شود، از اینرو برخی طراحان برای آنکه بتوانند تغییرات زمانی سیستم را در نظر بگیرند به صور مختلف از جمله تقسیم مسأله به اجزاء مختلف به ساده کردن آن پرداخته‌اند. بنابراین مدلهای طراحی بر مبنای نوع برخوردی که با مسأله زمان و نحوه وارد کردن آن در پاسخ داشته‌اند به دسته‌های زیر قابل تفکیک هستند.

۱ ـ زیر سیستم با بار استاتیک

۲ ـ کل سیستم با بار استاتیک

۳ ـ زیر سیستم با بار دینامیک

٤ ـ کل سیستم با بار دینامیک

لازم به تذکر است که منظور از زیر سیستم یکی از دو بخش پست‌ها یا فیدرها است.

توضیحات فوق میزان پیچیدگی مسأله طراحی سیستم توزیع را تا حد زیادی مشخص می‌کند .اما از آنجا که تغییرات زمانی و رشد میزان تقاضا کاملا نامعلوم نیست، با انتخاب روش طراحی مناسب امکان مواجهه موفق با پارامتر زمان نیز فراهم می‌شود.

۳-۱-۵ ـ روش بهینه‌سازی

طراحی بهینه سیستم توزیع شامل متغیرهای مختلف گسسته و پیوسته است .مثلا متغیرهای تصمیم (مانند احداث یا عدم احداث یک پست یا فیدر) که بصورت ۰ و ۱ (صفر و یک) هستند، مثالهایی از متغیر گسسته و توان انتقالی خطوط، متغیرهای پیوسته می‌باشند .بعلاوه توابع هزینه بصورت عبارتهای غیرخطی از این متغیرها هستند .در نتیجه بیان کلی ریاضی مسأله بصورت "برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته" است که در تحقیقات مختلف بصورت‌های مختلف مطرح و حل شده است.

۲-۵ ـ روش طراحی شبکه‌های توزیع

روش«شبه پویا»، مدل کامل و کارآمدی را ارائه می‌نماید که می‌تواند برای حل کامل مسأله طراحی بهینه پست و فیدر در یک منطقه توزیع بکار رود.

در این مدل کل مسأله طراحی به دو بخش جداگانه تقسیم می‌شود .در بخش نخست مدل، پاسخی که بتواند نیازمندیهای سال آخر پریود طراحی را برآورده کند بدست می‌آید .سپس در بخش دوم، گسترش سال به سال سیستم برنامه‌ریزی می‌شود و طرح بدست آمده برای سال پایانی پریود طراحی به گونه‌ای که با حداقل هزینه نیازمندیهای تمام سالهای میانی را برآورده کند، تدریجاً اجرا می‌شود .لازم به یادآوری است که در تمام مراحل این روش هدف حداقل کردن هزینه کل سیستم در طول مدت طراحی است .تابع هزینه شامل هزینه احداث و افزایش ظرفیت برای پستها و فیدرها همینطور هزینه‌های تلفات است و محدودیتها شامل شعاعی بودن شبکه، حداکثر افت ولتاژ قابل قبول و تأمین توان در نقاط تقاضا است.

از آنجا که روش شبه پویا به صورت کارآمد و منطقی مسأله زمان را در طراحی در نظر گرفته است، ضمن واقعی کردن جوابهای طراحی از نظر زمانبندی احداث، بطور هوشمندانه‌ای از افزایش حجم محاسبات در اثر وارد شدن زمان به مسأله جلوگیری می‌کند.

اساس روش شبه پویا به اینصورت بیان می‌شود که کل مسأله طراحی سیستم که برای سالهای (Pو .... ۱ و ۰) یعنی از سال مبدأ تا پایان دوره مطالعه بررسی می‌شوند، به دو بخش تقسیم می‌شود .در بخش اول از مدل سیستم برای یافتن پاسخی که بتواند نیازهای سال آخر طراحی را بصورت بهینه تأمین کند، استفاده می‌شود. در این حرکت کل دوره سال مبدأ تا انتهای سال آخر بصورت یک مرحله درنظر گرفته می‌شود و پاسخها بصورت یک مرحله‌ای محاسبه می‌شوند .از سویی در بخش دوم طراحی گسترشهای متوالی و سال به سال شبکه توزیع که از سال مبدأ شروع شده و تا سال ماقبل آخر (P-1) ادامه می‌یابند، معین می‌شوند .در این بخش هر سال بعنوان یک مرحله در نظر گرفته می‌شود و هر مرحله طراحی بیانگر زمان سال (t-1) تا سال t است .مسلماً گسترش سیستم در سال (t-1) با هدف برآوردن نیازهای سال (t) صورت می‌گیرد. چنانچه در مراحل مختلف اجرایی (قبل از رسیدن به سال آخر) انحرافی از اهداف صورت گرفت، باید بهینه‌سازی به طریقی اصلاح گردد که این انحراف تا سال افق افزایش نیابد.

ضمناً عناصری که (پستها و فیدرها) در بخش دوم طراحی بعنوان انتخابهای ممکن در نظر گرفته می‌شوند، همانهایی هستند که در بخش نخست طراحی بعنوان پاسخهای موجه برای سال آخر دوره قبول شده‌اند .نکته مهم در این روش آن است که با تقسیم مسأله طراحی به دو بخش ضمن اینکه اثر زمان در طراحی حذف

نشده، متغیر زمان از محاسبات و متغیرهای تصمیم کنار گذاشته شده است و به این ترتیب مشکل حجم محاسبات ندارد.

تابع هزینه این روش برای دو مرحله مجزای آن در ضمیمه شرح داده شده است.

۳-۵ ـ راهبردهای طراحی

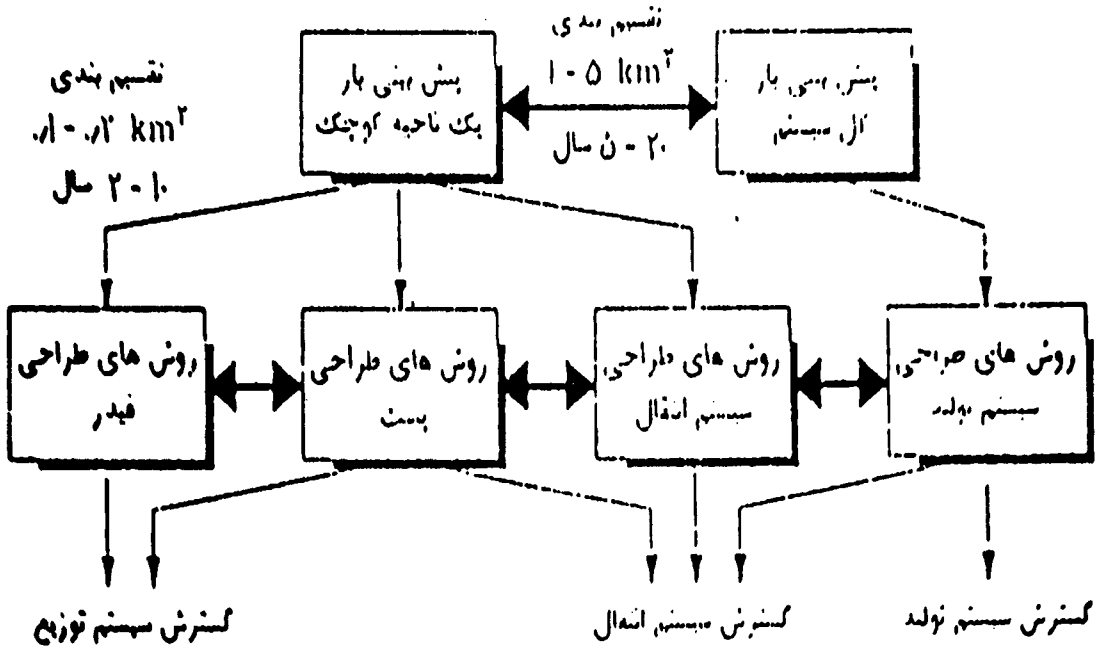
از مطالبی که تاکنون گفته شده است، چنین برمی‌آید که مدلسازی و حل مسائل مربوط به طراحی سیستم توزیع تنها با بهره‌گیری از راهبردهایی امکان‌پذیر می‌گردد که به کمک آن بتوان مسأله را از گستردگی فراوان آن خارج و در چارچوب مشخص محدود نمود .این بخش با استفاده از برآیند روشها و مدلهای پیشنهاد شده به ارائه یک الگوی مناسب که بتواند همه خواسته‌ها را در طراحی منظور نماید می‌پردازد .بدیهی است که انتخاب مناسب این الگو می‌تواند پاسخی بهتر و سریعتر را از راهی ساده‌تر بدست آورد و در هر حال این انتخاب تأثیر مستقیمی درمدلسازی و بهینه‌سازی خواهد داشت.

۱-۳-۵ ـ وابستگی بخش‌های مختلف سیستم توزیع

تمام روشهای مورد بحث تاکنون و روشهای دیگری که برای طراحی شبکه‌های توزیع ابداع شده‌اند، طیف وسیعی از مدلها و راه‌حلهای گوناگون پدید می‌آورند و با مشاهده آنها می‌توان دریافت که تفاوتهای فراوانی در بین آنها وجود دارد و هر یک آنها سیستم توزیع را از دیدگاه متفاوتی بررسی نموده است و بعبارت دیگر هنوز روشهای پیشنهاد شده به سمت واحدی همگرا نشده‌اند .این تفاوتهای عمده از این مطالب ناشی می‌شود که بسیاری از این روشها برای شرایط بخصوصی بکار می‌روند .این شرایط را می‌توان در ساختار شبکه توزیع، سطح ولتاژ، رشد بار، گستردگی منطقه مورد طراحی، نوع مصرف و مسائل دیگر خلاصه نمود .مثلا ساختار یک شبکه توزیع برای مناطق روستایی با مناطق شهری متفاوت است و از اینرو نحوه طراحی هر یک نیز باید متفاوت باشد .بهرحال مهم این است که نمی‌توان روش واحدی را برای همه شرایط پیشنهاد نمود و روشی که در اینجا جستجو می‌شود آن روشی است که بتواند بصورت عمومی‌تری کاربرد داشته باشد.

شکل شماره (۱) نحوه تهیه داده‌های موردنیاز را برای طراحی سیستم توزیع و ارتباط آن را با سایر قسمتهای یک سیستم قدرت نشان می‌دهد .در واقع با توجه به قسمتی از شبکه توزیع که باید طراحی روی آن صورت

بگیرد، تقسیم‌بندی‌های مرحله پیش‌بینی‌های تقاضا تغییر می‌یابد و برای طراحی زیر سیستمهای پایین‌تر به تقسیم‌بندیهای ریزتری نیاز است.



شکل (۱) : داده‌های موردنیاز برای طراحی سیستم توزیع و ارتباط آن با سایر قسمتهای سیستم قدرت

برای مثال، طراحی سیستم انتقال و فوق توزیع در اولویت بالاتری نسبت به سیستم توزیع قرار دارد. تصمیم‌گیریهای مربوط به سیستم انتقال و فوق توزیع بر مبنای برآوردن نیازهای بلندمدت و مسائل اقتصادی بخش بزرگی از سیستم قدرت تنظیم می‌گردد و این تصمیم‌گیریها در نهایت اثر عمده‌ای بر سیستم توزیع می‌گذارند.

از طرف دیگر، طرحهای سیستم توزیع نسبت به طرحهای سیستم انتقال دارای مدت کوتاهتری هستند و هر طرح بخش کوچکتری از سیستم قدرت را می‌پوشاند .بنابراین برای طراحی سیستم توزیع باید با شبکه‌ای سر و کار داشت که از بهینه‌شدن سیستم فوق توزیع و انتقال پدید آمده است و بهینه‌سازی تک تک این دو سیستم بصورت جداگانه، سیستم قدرت بهینه‌ای را بهمراه ندارد.این مسأله می‌تواند در هنگام طراحی سیستم فشارضعیف نیز روی دهد که پس از بهینه‌سازی سیستم فشارمتوسط مفروض ناشی شده است .بهرحال این طرحهای "دورتر از بهینه" همواره "تلفات و سرمایه‌گذاری بیشتر از بهینه" را سبب می‌گردند و تلفات دائمی را بصورت غیراقتصادی به سیستم توزیع در سالیان متمادی تحمیل می‌نمایند .بنابراین لازم است در هنگام طرح شبکه فشارمتوسط، مسائل و نیز مدل سیستم فشارضعیف را در نظر گرفت .این کار بصورت دقیق عملی نیست زیرا به درگیر شدن با متغیرهای فراوانی می‌انجامد و حل مسأله را عملا غیرممکن می‌سازد .از اینرو راهی که باقی می‌ماند این است که سیستم فشارضعیف بصورت تقریبی منظور شود و این کار می‌تواند این اطمینان را بوجود آورد که بهینه‌سازی جداگانه سیستم فشارمتوسط و فشارضعیف در راستای بهینه‌سازی کل سیستم توزیع است.

۲-۳-۵ ـ یکپارچگی زیرسیستم‌ها

یکی از روشهای متداولی که برای ساده شدن مسأله طراحی سیستم توزیع بکار می‌رود، تجزیه آن به دو بخش طراحی پست و طراحی فیدر است .این کار باعث می‌شود تا بتوان مسأله را با متغیرهای کمتری درگیر ساخت .اما امروزه اعتقاد فزاینده‌ای وجود دارد که بهینه‌سازی زیر سیستمهای سیستم توزیع(پست و فیدر) بصورت جداگانه، با بهینه‌سازی کل سیستم توزیع یکسان نیست .بعبارت دیگر همواره این سئوال مطرح است که چه اطمینانی وجود دارد تا بتوان با استفاده از آن از ارتباط میان این زیر سیستمها صرفنظر کرد؟ با اینحال در نظر گرفتن کل سیستم توزیع در فرآیند بهینه‌سازی فقط برای شبکه‌های محدود قابل اجرا است و با اندک افزایشی در ابعاد سیستم مورد طراحی، حل مسأله دشوار می‌شود .از این‌رو دو راه حل زیر برای این مسأله وجود دارد:

۱ ـ تقسیم شبکه بزرگ به چند شبکه کوچکتر بگونه‌ای که بتوان برای هر یک از این شبکه‌های کوچک کل سیستم را در فرآیند طراحی منظور نمود.

۲ ـ تقسیم سیستم توزیع به دو زیر سیستم پست و فیدر و بهینه‌سازی جداگانه آنها

در هر دو حالت پاسخ بهینه متفاوت است زیرا در راه حل اول از ارتباط میان شبکه‌ها و در راه حل دوم از ارتباط میان زیر سیستمها چشم‌پوشی شده است.

بجز این دو راه، یک راه حل دیگر این است که برای یک شبکه با ابعاد بزرگ، کل سیستم فرمول‌بندی شود. سپس با در نظر گرفتن فیدرها بصورت تقریبی، این مساله به طراحی پست تبدیل شود و با بدست آوردن پاسخهای مربوط به این مسأله، طراحی فیدر بصورت دقیق عملی گردد .در هر مرحله می‌توان سیستمی را که بهینه می‌شود همان کل سیستم توزیع تصور کرد .این روش از امتیازات هر دو روش مذکور سود می‌برد.

۳-۳-۵ـ طرحهای کوتاه مدت و بلند مدت

یکی از مسائلی که باید در الگوریتم بهینه‌سازی منظور شود، ماهیت دینامیکی بار است و تعداد زیاد متغیرهایی که باید برای در نظر گرفتن این مطلب در این الگوریتم وارد شوند، بر پیچیدگی مسأله می‌افزایند. ایده راه حل شبه پویا بصورتی که قبلا گفته شد می‌تواند به حل این مشکل بصورت مؤثری کمک کند .در حقیقت استفاده از این روش باعث می‌شود تا متغیر زمان از مدلسازی حذف شود و طراحی دینامیک به طراحی استاتیک (یک مرحله‌ای) تبدیل گردد و بنابراین از تعداد متغیرهایی که بهینه‌سازی روی آن انجام می‌گیرد کاسته شود .روش شبه‌پویا برنامه طراحی و گسترش سیستم توزیع را به یک روش طراحی دو مرحله‌ای بصورت زیر در می‌آورد:

مرحله ۱ : یک شبکه توزیع بگونه‌ای که بتواند نیازمندیهای سال مقصد را برآورد نماید بصورت یکجا طراحی می‌شود (طرح بلندمدت).

مرحله ۲ : با قرار دادن طرح بلندمدت بعنوان هدف نهایی، گسترش سال به سال شبکه (طرحهای کوتاه مدت) در راستای رسیدن به این هدف اجرا می‌گردد.

توجه به این نکته ضروری است که در هر مرحله، تابع هدف باید هزینه کل سیستم در تمام پریود طراحی باشد .برای تشریح بهتر این مطلب می‌توان چنین عنوان نمود که برای هر وضعیت از شبکه چندین طرح کوتاه مدت برای احداث تجهیزات سالانه مورد نیاز در پاسخ به رشد تقاضا قابل پیشنهاددادن است و طرح انتخاب شده از بین این طرحها باید در راستای طرح بلندمدت سازماندهی گردد .اگر هیچ طرح بلندمدتی بنا نشده

باشد، برنامه گسترش به یک سری از طرحهای کوتاه مدتی که هماهنگ نشده‌اند تبدیل می‌گردد و در نهایت هزینه‌های اضافی را سبب می‌شود و با توجه به رشد بار ممکن است به تغییرات پی در پی تجهیزات نصب شده ختم شود. از طرف دیگر طرح بلندمدت با توجه به تغییرات پیش‌بینی نشده بار در طول پریود باید به روز شود و بر اساس آن مجدداً طرحهای کوتاه مدت بنا شوند.

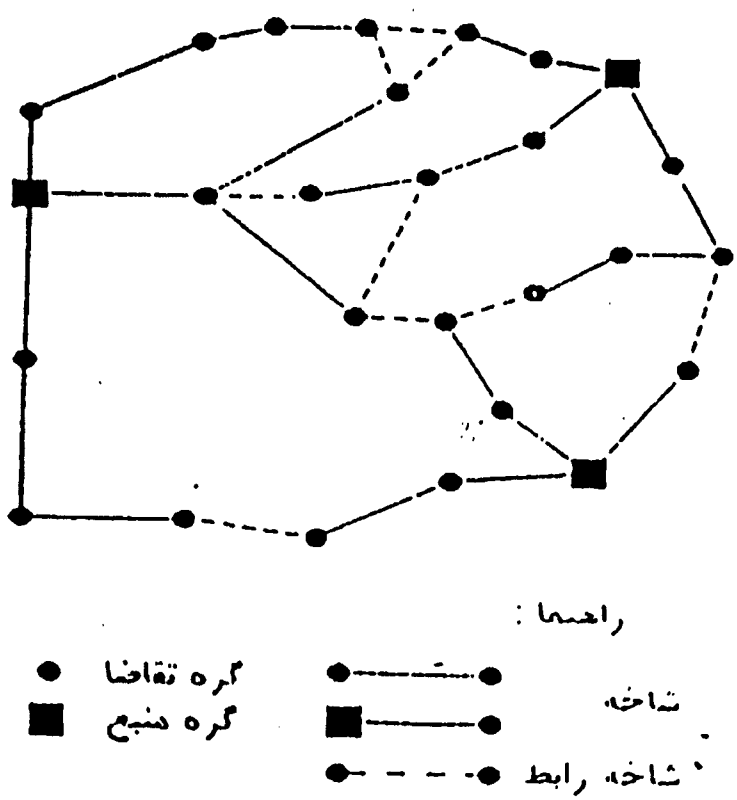
درهرحال پیش‌بینی تقاضا ممکن است با عدم قطعیت روبرو شود و از اینرو بهتر است چند طرح بلندمدت را برای پیش‌بینی‌های محتمل در نظر گرفت و طرح کوتاه مدت را از میان طرحهای بلندمدت بگونه‌ای انتخاب کرد تا حتی الامکان با همه برنامه‌های بلندمدت سازگار باشد .با در نظر گرفتن این مطلب هر آنچه که در آینده اتفاق بیافتد پوشش داده خواهد شد.

٤-٣-٥ ـ تلفات

با درنظر گرفتن هزینه تلفات و نسبت آن به هزینه سرمایه‌گذاری در سیستمهای توزیع روشن است که باید حتی‌الامکان مقدار دقیق آن را در مدل‌سازی منظور نمود .با اینحال بسیاری از مطالعات که تاکنون ارائه شده‌اند به خاطر مدل‌سازی آسانتر به خطی کردن هزینه تلفات مبادرت می‌نمایند .اما این کار هنگامی به نتیجه مناسبی خواهد رسید که خطی‌سازی در پیرامون نقطه کار (توان تغذیه شده به وسیله پست یا منتقل شده توسط فیدر) انجام پذیرد و این درحالی است که بارگذاری پست و فیدر خود یکی از نتایج بهینه‌سازی است. بنابراین روشهایی که بر این اساس پیشنهاد شده‌اند و از جمله روشهایی که از برنامه‌ریزی خطی مختلط استفاده می‌نمایند به پاسخهای تقریبی دست می‌یابند اما روشهایی که مبتنی بر ابتکار هستند می‌توانند مدل‌سازی دقیقتری از هزینه تلفات را ارائه نمایند.

٥-٣-٥ ـ قابلیت اطمینان

سیستم‌های شعاعی، ساده‌ترین و متداولترین نوع سیستم‌های توزیع هستند و اگرچه هزینه کم آنها را در هنگام بررسی اقتصادی در طراحی موجه می‌سازد، با این حال نقص عمده آنها که همان عدم تداوم در سرویس‌دهی است نیز باید به حساب آید .با بکار بردن آرایش‌های حلقوی و رینگ این نقص به صورت قابل ملاحظه‌ای برطرف می‌شود اما هزینه سیستم افزایش می‌یابد.



شکل (۲) : آرایش حلقه باز فیدرها

برای در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و قابلیت اطمینان در کنار یکدیگر، آرایشهای حلقه باز همانند شکل شماره (۲) مورد استفاده قرار می گیرند .در هنگام بروز خطا، فیدر رابط بسته و فیدر معیوب باز می‌شود و امکان تغذیه گره تقاضا از مسیری دیگر فراهم می‌شود .این باز و بسته کردن فیدرها در هنگام خروج ترانسفورماتورها نیز انجام می‌شود و بارهای مربوط به ناحیه سرویس‌دهی پست خارج شده از پستهای همسایه آن تغذیه می‌شوند.

به هر حال اگر طراحی صرفاً بر اساس شاخص‌هایی از قابلیت اطمینان (مانند قابلیت سرویس‌دهی) انجام شود، نمی‌توان آن را در حوزه طراحی اقتصادی قرار داد. چنانچه مدیریت کلان شبکه توزیع تشخیص دهد، می‌تواند در طرح خود تعداد Tie line ها را افزایش داده و قابلیت اطمینان مورد نظر خود را تامین نماید.

٦-٣-٥ ـ تابع هزینه

تابع هزینه‌ای که در فرآیند بهینه‌سازی مینیمم می‌شود، باید بتواند به بهترین شکل هزینه سیستم توزیع را در کل پریود طراحی نمایش دهد .برای به دست آوردن چنین تابعی لازم است یک روش مناسب برای ارزیابی اقتصادی معرفی شود .برای این که بتوان توصیف مشخصی از فرایند مالی را در طول پریود بدست آورد، روش «هزینه خالص فعلی» مناسبترین معیار برای این ارزیابی است .این مطلب برای طراحی سیستم فشارمتوسط صدق می‌کند، زیرا با مشخص بودن اجزاء و تجهیزات سیستم و بارگذاری هر یک از آنها فرایند مالی سیستم بدست خواهد آمد .طراحی یک سیستم توزیع چندین پروژه را در زمانهای مختلف شامل می‌گردد و تابع هزینه مربوط به آن باید بتواند تحلیل دقیقی را از هزینه واقعی سیستم نمایش دهد، بنابراین باید این تابع موارد زیر را شامل شود:

۱ ـ هزینه‌های ثابت (سرمایه‌گذاری) پستها و فیدرهایی که باید در طول پریود مطالعه احداث شوند.

۲ ـ متغیرهای تصمیمی که احداث یا عدم احداث چنین تجهیزاتی را نشان می‌دهند.

۳ ـ هزینه تلفات پستها و فیدرهای موجود در تمام پریود و هزینه تلفات پستها و فیدرهایی که ساخته می‌شوند در سالهای باقیمانده پریود.

٤ ـ متغیرهای تصمیمی که تعیین ظرفیت مجدد پستها یا فیدرهای موجود را نشان می‌دهند.

٥ ـ ضرائب تنزیل طبق آنچه در فصل‌های قبل تشریح شد به گونه‌ای که بتواند هزینه فعلی شده سرمایه‌گذاری و تلفات هر یک از تجهیزات را در زمان احداث آنها با استفاده از عمر هر یک از آنها به دست آورد.

اگرچه تابع هزینه‌ای که از این راه به دست می‌آید پیچیده است، با این حال این اطمینان را فراهم می‌آورد که آنچه در فرایند بهینه‌سازی مینیمم می‌گردد، هزینه واقعی سیستم توزیع است .حال باید این تابع هزینه تحت محدودیتهای مختلفی بهینه شود .این محدودیتها عبارتند از : ظرفیت پستها و فیدرها، افت ولتاژ مجاز، محدودیت پخش توان و قابلیت اطمینان پیش‌بینی تقاضا برای سطوح پایین‌تر ولتاژ از خطای بیشتری برخوردار است و این مطلب برای سیستم فشارضعیف بیشتر به چشم می‌خورد .از این رو زمانبندی در طراحی سیستم فشارضعیف ضرورتی ندارد و طراحی این سیستم به صورت یک مرحله‌ای انجام می‌پذیرد .به خاطر همین مسأله نمی‌توان اطلاع دقیقی از فرایند مالی آن به دست آورد.

۷-۳-۵ ـ داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز برای طراحی سیستم توزیع را می‌توان اینگونه دسته‌بندی کرد:

۱ ـ اطلاعات مربوط به بار

۲ ـ سیستم موجود

۳ ـ امکانات موجود برای گسترش و هزینه‌های مربوطه

٤ ـ پارامترهای اقتصادی

۱-۷-۳-۵ ـ بار

به منظور طراحی سیستم توزیع در مورد بار به داده‌های زیر نیاز می‌باشد.

۱ ـ موقعیت مکانی نقاط تقاضا و مساحت هر بخش

در اینجا بارها به صورت نقاط مصرف در نظر گرفته می‌شوند .بدین معنا که در مورد هر بخش (هر مربع بار) بهتر است کل میزان تقاضا بر مبنای حداکثر مقدار تقاضا (توان نامی بار) در مرکز مربع در نظر گرفته شود. پس چنانچه خروجی برنامه پیش‌بینی بار فرضی به صورت چگالی سطحی تقاضا باشد، لازم است ابتدا سطح هر مربع بار در چگالی سطحی آن ضرب شود تا مقدار توان مصرفی آن بخش به دست آید و این مقدار در مرکز مربع در نظر گرفته شود .با این کار خروجی برنامه پیش‌بینی بار از حالت چگالی سطحی بار به گره‌های تقاضا با مختصات جغرافیایی تبدیل می‌گردد.

۲ ـ رشد بار

لازم است مقدار توان نامی هر بار در هر سال از پریود مطالعه مشخص شود .قابل توجه اینکه برای محاسبه ظرفیت تجهیزات این مقدار باید حداکثر میزان تقاضای هر بار باشد.

۳ ـ متوسط مصرف

اگر چه ظرفیت تجهیزات نصب شده باید بر مبنای حداکثر مقدار تقاضای تبدیل یافته (حداکثر تقاضای تبدیل یافته همان حداکثر تقاضاست به اعمال ضرایب همزمانی و ...) محاسبه شود، ولی همانطور که قبلا نیز گفته شد برای محاسبه تلفات باید از منحنی زمانی بار هر ترانسفورماتور یا فیدر اطلاعاتی موجود باشد .حداقل

اطلاعات لازم برای این منظور که معمولا در پیش‌بینی بار مشخص می‌شود، مقدار متوسط تقاضاست .این مقدار به صورت ضریب بار (F_{ld}) یعنی نسبت متوسط هر بار به حداکثر آن در نظر گرفته می‌شود.

۲-۷-۳-۵ ـ سیستم موجود

برای طراحی و توسعه سیستم لازم است موقعیت فعلی پستها و فیدرها مشخص باشد به علاوه لازم است ظرفیتهای نصب شده و محل پستهای فوق توزیع نیز مشخص باشند.

بنابراین از سیستم موجود اطلاعات زیر مورد نیاز می‌باشد:

۱ ـ محل و ظرفیت پستهای نصب شده و امکان یا عدم امکان افزایش ظرفیت

۲ ـ فیدرهای نصب شده و نقاط ابتدا و انتهای آنها و ظرفیت هر فیدر

۳ ـ موقعیت پستهای فوق توزیع که امکان تغذیه پستهای توزیع مورد طراحی از آنها وجود دارد.

۳-۷-۳-۵ ـ امکانات موجود و هزینه‌های مربوطه

۱ ـ ترانسفورماتورها : کلیه ترانسفورماتورهایی که برای احداث پست جدید یا افزایش ظرفیت پستهای موجود می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، بایستی برای طراح شناخته شده باشند .اطلاعاتی که در مورد هر ترانسفورماتور لازم است عبارتند از :توان نامی(S_{TN}) ، قیمت (CTI) ، تلفات در بار نامی (P_{cu}) و تلفات بی‌باری(P_{fe}).

البته طراحی وانتخاب عناصر یک شبکه برای یک دوره طراحی باعث استفاده از ترانسهای با ظرفیت بالا خواهد شد و از آنجایی که تلفات بی‌باری این ترانسها بالاست لذا بهتر است (در مورد ترانسها) با تقسیم دوره طراحی به دو یا چند دوره زمانی ابتدا از ترانسهای با ظرفیت کمتر که تلفات کمتری دارند استفاده شود و در پایان هر دوره ترانس (با توجه به رشد تقاضا) تعویض و ترانس با ظرفیت بالاتر جایگزین گردد. بدین ترتیب می‌توان با انتخاب بهینه طول دوره طراحی و ظرفیت ترانسها، میزان هزینه تلفات را کاهش داد.

۲ ـ کابلها : برای هر یک از کابلهایی که برای فیدرهای اولیه استفاده می‌شوند، قیمت واحد طول، مقاومت و راکتانس واحد طول و حداکثر توان انتقالی سه فاز به عنوان مشخصات کابل مطرح هستند.

۳ ـ محلهایی که در آنها امکان نصب پست جدید وجود دارد و هزینه خرید زمین و ساختمان در هر یک: باید توجه داشت که اولا محدودیتهای متعددی که در عمل وجود دارند، اجازه نمی‌دهند تا در هر محلی پست احداث شود و ثانیاً همیشه تعدادی پیشنهاد اولیه باید وجود داشته باشد که طراح (یا نرم‌افزار طراحی) از

میان آنها بهترین انتخاب را با آرایش مناسب انتخاب نماید .پس اطلاعات لازم در این مورد عبارتند از مکان، تعداد ترانسفورماتورهای ممکن، قیمت زمین برای هر متر مربع و مساحت زیربنا.

٤ ـ مجموعه تمام فیدرهایی که امکان نصب آنها وجود دارد: در مورد فیدرها نیز باید توجه کرد که عوامل مختلف محیطی انتخابهای موجود برای نصب فیدر را محدود می‌کنند و همواره یک سری کاندیدای اولیه که بر اساس امکانات و یک تخمین کلی و دید مهندسی ارائه می‌شوند، وجود دارد.

٥ ـ محلهایی که در آنها امکان نصب خازن وجود دارد شناسایی شود. میزان ضریب قدرت فعلی شبکه و ضریب قدرت بهینه و همچنین قیمت واحد خازن از جمله اطلاعاتی می‌باشند که مورد نیاز می‌باشند.

برای طراحی شبکه آینده باید چند گره برای احداث پست و چند شاخه برای نصب فیدرها پیشنهاد گردد. طراحی بهینه سیستم، تعدادی گره و شاخه را از میان گره‌ها و شاخه‌ها انتخاب خواهد نمود .گره‌ها و شاخه‌های پیشنهادی باید به گونه‌ای باشد تا بتوان به وسیله آنها دست کم یک گزینه موجه برای سیستم توزیع آینده به طوری که بتواند نیازمندیهای تقاضا را برای تمام سالهای پریود طراحی برآورده سازد، بدست آورد. بدیهی است هر چقدر که تعداد این گره‌ها و شاخه‌های پیشنهادی کمتر باشد، پاسخ بهینه در زمان کوتاهتری بدست خواهد آمد .بنابراین بهتر است به جای استفاده از تمام گره‌ها و شاخه‌های ممکن در روند بهینه‌سازی، در ابتدا مطالعات و پردازشهای کارشناسی و مهندسی مختصری بر روی این داده‌ها انجام شود تا برای حذف گره‌ها و شاخه‌هایی که می‌توان درباره نامناسب بودن آنها اظهار نظر قطعی نمود، اقدام شود.

٤-٧-٣-٥ ـ پارامترهای اقتصادی

از این پارامترها برای نمایش هزینه تجهیزات شبکه در زمانهای مختلف (مطابق آنچه در فصول قبل توضیح داده شد) استفاده می‌شود.

٤-٥ ـ مدلسازی عناصر سیستم توزیع

بخشی از سیستم توزیع که در این مبحث مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از :بار، فیدرهای فشارمتوسط، پستهای توزیع و مدارهای فشارضعیف.

۱-٤-۵ ـ بار

برای هر منطقه مورد طراحی می‌بایستی پیش‌بینی تقاضا برای کل پریود به صورت سال به سال در دسترس باشد .بار بصورت مربعهایی که میزان تقاضای هر یک در مرکز آن (برحسب کیلوولت آمپر) قرار گرفته، معرفی می‌شود .در واقع بار کل منطقه به تعدادی بار متمرکز با مقادیر نامساوی در مکانهای مختلف تبدیل می‌گردد .در حقیقت تخصیص هر یک از این بارها به پستی که باید آن را تغذیه نماید، ناحیه سرویس‌دهی و مجموع توانهای مصرفی آنها، توان تغذیه شده به وسیله پست را مشخص خواهد نمود.

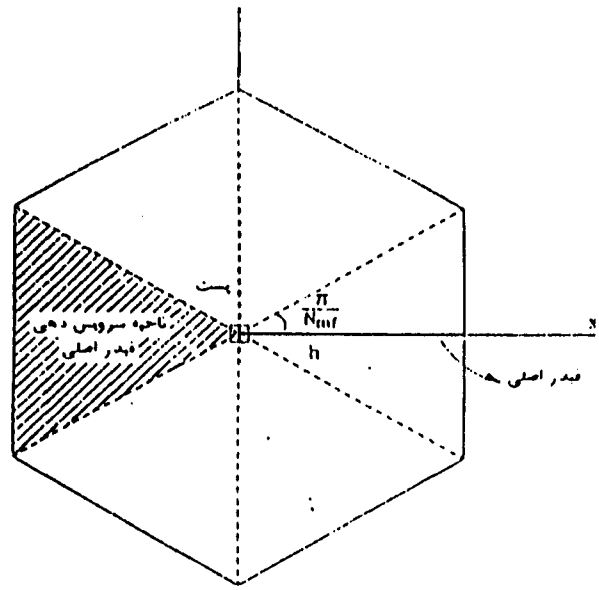
۲-٤-۵ ـ مدارهای فشارضعیف

اگرچه به نظر می‌رسد که مدارهای فشارضعیف با ترکیب نسبتاً مشابهی باید نقاط بار را تغذیه کنند و هزینه نصب آنها در حالتهای مختلف چندان تفاوتی نمی‌کند، اما از آنجا که نحوه تخصیص نقاط تقاضا به پستهای مختلف، مساحت تحت پوشش هر پست و طراحی فاصله نقاط از پستی که آنها را تغذیه می‌کند، تأثیر زیادی در تلفات سیستم فشارضعیف و همینطور مقدار افت ولتاژ در نقاط تقاضا دارد، لذا لازمست سیستم فشارضعیف نیز در بررسیها ملحوظ شود.

در نظر گرفتن آرایش دقیق و شکل جزء به جزء سیستم فشارضعیف بخاطر تعداد نقاط تقاضا منجر به مفصل شدن بیش از حد محاسبات می‌شود و به علاوه تفاوت چندانی نیز از نظر دقت بهینه‌سازی ایجاد نمی‌کند، از این رو تأثیر فیدرهای فشارضعیف در محاسبات مربوط به پست باید به نحوی وارد شود.

ناحیه سرویس‌دهی هر پست با یک ناحیه فرضی به شکل چند ضلعی منتظم به طوری که اضلاع آن با تعداد فیدرهای اصلی خارج شده از آن یکسان باشد و با همان مساحت ناحیه سرویس‌دهی پست تقریب زده می‌شود .برای برآورد تلفات فرض بر این است که چگالی بار سطحی یکنواختی در این ناحیه فرضی وجود داشته باشد .شکل شماره (۳) این ناحیه فرضی را نشان می‌دهد .اگر مساحت ناحیه سرویس‌دهی این پست $As(Km^2)$ و تعداد فیدرهای اصلی خارج شده از آن N_{mf} باشد، در این صورت باری برابر با $\frac{S_{ss}}{N_{mf}}$ بوسیله هر فیدر اصلی تغذیه می‌گردد. چنانچه بار همه فیدرها یکنواخت باشد، جریان ابتدای هر فیدر اصلی $I_{mf}(0)$ به این صورت محاسبه می‌شود:

$$I_{mf}(0) = \frac{S_{ss}}{\sqrt{3} N_{mf} V_{Nom}} \qquad (۲۹)$$



شکل (۳) : تقریب ناحیه سرویس‌دهی پست توزیع

با توجه به شکل بالا و نحوه بارگذاری برروی فیدر اصلی، جریان واحد طول فیدر $\delta_l(x)$ به صورت زیر خواهد بود:

$$\delta_l(x)=K_l.X \qquad (۳۰)$$

و بنابراین جریان فیدر اصلی ($I_{mf}(x)$)، به صورت تابعی از x اینگونه به دست می‌آید:

$$I_{mf}(X)=\int_x^h \delta_l(x)dx=\frac{K_l}{2}(h^2-x^2) \qquad (۳۱)$$

و با مساوی قرار دادن $I_{mf}(0)$ که از این رابطه بدست می‌آید با عبارت (۲۹):

$$K_l=\frac{2S_{SS}}{\sqrt{3}N_{mf}V_{Nom}h^2} \qquad (۳۲)$$

و از طرفی:

$$h=\sqrt{\frac{As}{N_{mf}\tan(\frac{\pi}{N_{mf}})}} \qquad (۳۳)$$

و اگر r_{mf} مقاومت واحد طول فیدر اصلی (Ω/km) باشد، تلفات فیدرهای مربوط به یک پست (P_{LSF}) برحسب (Kw) اینگونه محاسبه می‌شود:

$$P_{LSF}=3N_{mf}\int_0^h r_{mf}I_{mf}^2(x)dx=\frac{2}{5}K_l^2.N_{mf}r_{mf}h^5.\times 10^{-3} \qquad (۳۴)$$

و در نتیجه:

$$P_{LSF} = \frac{8}{15}.\frac{S_{SS}^2.r_{mf}}{V_{Nom}^2.N_{mf}^2}.\sqrt{\frac{A_S}{\tan(\frac{\pi}{N_{mf}})}}.10^{-3} \qquad (۳۵)$$

این میزان تلفات به علاوه تقاضای تحت پوشش هر پست مقدار واقعی توان تحت تغذیه آن پست را معین می‌کند و به این ترتیب تلفات توان در سیستم فشارضعیف در محاسبات توان مراعات می‌شود .البته می‌توان به جای این محاسبه تلفات سیستم فشارضعیف را به صورت درصدی از تقاضای تحت پوشش در نظر گرفت که انجام محاسبه فوق از دقت مناسبتری برخوردار است.

با استفاده از همین ایده می‌توان محدودیت افت ولتاژ حداکثر در نقاط تقاضا را نیز در نظر گرفت .حداکثر افت ولتاژ در دورترین نقاط از پست اتفاق می‌افتد .بنابراین با محدود کردن h می‌توان از محدود کردن افت ولتاژ اطمینان حاصل کرد .به همین منظور افت ولتاژ در طول فیدر اصلی (ΔV) بر حسب ولت به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Delta V = \int_0^h (r_{mf}\cos\phi + X_{mf}\sin\phi) I_{mf}(x)dx \qquad (۳۶)$$

که در رابطه بالا $\cos\phi$ ضریب توان شبکه و X_{mf} راکتانس واحد طول فیدراصلی (Ω/Km). اگر G_{mf} به صورت زیر تعریف شود محاسبات را می‌توان این گونه دنبال نمود:

$$G_{mf} = r_{mf}\cos\phi + x_{mf}\sin\phi \qquad (۳۷)$$

$$\Delta V = \frac{1}{3} G_{mf} K_I h^3 \qquad (۳۸)$$

این مقدار ΔV نبایستی از ماکزیمم افت ولتاژ مجاز بیشتر شود .با توجه به اینکه:

$$\Delta V_{max} = \left[\frac{V_{Nom}}{\sqrt{3}}\right]\left[\frac{\%\Delta V_{max}}{100}\right]\times 10^3 \qquad (۳۹)$$

و با قرار دادن شرط $\Delta V \le \Delta V_{max}$ و جایگذاری مقدار K_I:

$$h \le \frac{3}{2}\left[\frac{\%\Delta V_{max}}{100}\right].\frac{V_{Nom}^2.N_{mf}}{G_{mf}.S_{SS}}\times 10^3 \qquad (۴۰)$$

و با جایگذاری مقدار h از رابطه (۳۳) نتیجه زیر بدست می‌آید:

$$S_{ss}.\sqrt{As} \le \frac{3}{2}\left[\frac{\%\Delta V_{max}}{100}\right]\frac{V_{Nom}^2.N_{mf}^3}{G_{mf}}\sqrt{\tan(\frac{\pi}{N_{mf}})\times 10^3} \qquad (٤١)$$

از نامعادله فوق برای تعیین افت ولتاژ فیدرها استفاده می‌شود .با این تفاوت که محدودیت از روی فیدرها بـه پستی که آنها را تغذیه می‌نماید منتقل شده است.

برای یافتن N_{mf} می‌توان از ضریب انطباق و بار تغذیه شده به‌وسیله هر پست بهره گرفت .به عبارت دیگر:

$$N_{mf} = Int\left[\frac{S_{SS}}{Z.F_c} + \frac{1}{2}\right] \qquad (٤٢)$$

منظور از Int(x) مقدار صحیح عدد x ، Z ظرفیت توان انتقالی فیدر اصلی و F_c ضریب انطباق می‌باشد. محاسبات فوق نحوه وارد کردن سیستم فشارضعیف در محاسبات توان و افت ولتاژ پستها را بیان می کند.

۳-٤-٥ ـ پستها

در انجام مطالعات پخش بار برای محاسبه جریان هر فیدر و ولتاژ هر پست توزیع، پستهای فوق توزیع به صورت شینه بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شوند .باید توجه داشت که چون ساختار شبکه توزیع به صورت شعاعی طراحی می‌شود، برای هر پست فوق توزیع و پستهای توزیع تحت پوشش آن پخش بار به طور مجزا و به سادگی صورت می گیرد که در آن پست فوق توزیع، شینه بی‌نهایت و پستهای توزیع، شینه بار هستند.

برای تعیین ناحیه تحت پوشش یک پست و تخصیص بارها به پستها، نیازی به مدل کردن پست نمی‌باشد، اما زمانی که ساختار و آرایش فیدرهای اولیه متناظر هر حالت پستها تعیین می‌شود، لازمست پستها به ترتیبی مدل شوند .در این زمان هر پست به صورت یک نقطه تقاضا(بار) که توان آن همان جمع توان تحت پوشش پست است، در نظر گرفته می‌شود.

٤-٤-٥ ـ فیدرهای فشارمتوسط

برای مدل‌سازی فیدرها از مدل x و r سری استفاده می‌شود که با توجه به طول نسبتاً کوتاه آنها این مدل مناسب است .یعنی هر فیدر به صورت یک مقاومت اهمی و یک راکتانس به صورت سری در نظر گرفته

می‌شود. لازم است در فیدرهای کابلی، ظرفیت خازنی نیز در مدل منظور شود که بصورت شاخه موازی بین r و x ها قرار می گیرند.

۵-۵ ـ محدودیتهای مراعات شده در روند بهینه‌سازی

محدودیتهایی که در حل این مسأله می‌بایست مراعات شوند عبارتند از:

۱ ـ حداکثر توان پستهای توزیع MV/LV : در مرحله تخصیص بار به پستها لازم است توان واقعی تحت پوشش تغذیه هر پست از توان نامی پست بیشتر نباشد (منظور از توان واقعی تحت پوشش تغذیه پست مجموع تقاضای بارها و تلفات سیستم فشارضعیف است که نحوه محاسبه آن قبلا شرح داده شد).

۲ ـ حداکثر افت ولتاژ در نقاط تقاضا : طبق آنچه قبلا در بخش ۲-٤-٦ بیان شد، اگر مساحت ناحیه تحت پوشش پست از حد معینی بیشتر شود، افت ولتاژ در نقاط تقاضا از حد مجاز بالاتر می‌رود .پس باید محدودیت افت ولتاژ نیز در زمان تخصیص بار به پستها با محدود کردن مساحت تحت پوشش هر پست مراعات شود.

۳ ـ حداکثر افت ولتاژ در پستهای توزیع MV/LV : علاوه بر آنکه ولتاژ نقاط تقاضا نسبت به پست تغذیه‌کننده آنها نباید از درصد معینی پایین‌تر باشد، برای داشتن ولتاژ مناسب در نقاط تقاضا باید ولتاژ در پستها نیز از حد معینی کمتر نشود.

طراح می‌بایستی حداکثر افت ولتاژ مجاز را با توجه به شبکه مورد نظر و استفاده از استانداردهای موجود در نظر بگیرد.

٤ ـ حداکثرتوان انتقالی فیدرهای فشارمتوسط : حداکثر توان انتقالی توسط هر فیدر به صورت حداکثرKVA مجاز آن مقدار معینی است .این مطلب در تعیین آرایش شبکه و سطح مقطع فیدرهای اولیه باید مراعات شود .میزان توان انتقالی هر فیدر فشارمتوسط با انجام پخش بار تعیین می‌شود و در صورت نیاز و امکان، ظرفیت آن افزایش می‌یابد.

٦ ـ کلیات روش طراحی بهینه

غالباً برای سیستم توزیع در هر مرحله از رشد بار پاسخهای متفاوتی وجود دارد که از نظر فنی موجه هستند، یعنی ساختارهای متفاوتی از پستها و فیدرها و ظرفیتهای مربوطه وجود دارند که نیازهای الکتریکی و استانداردهای مربوطه را تأمین می‌کنند.

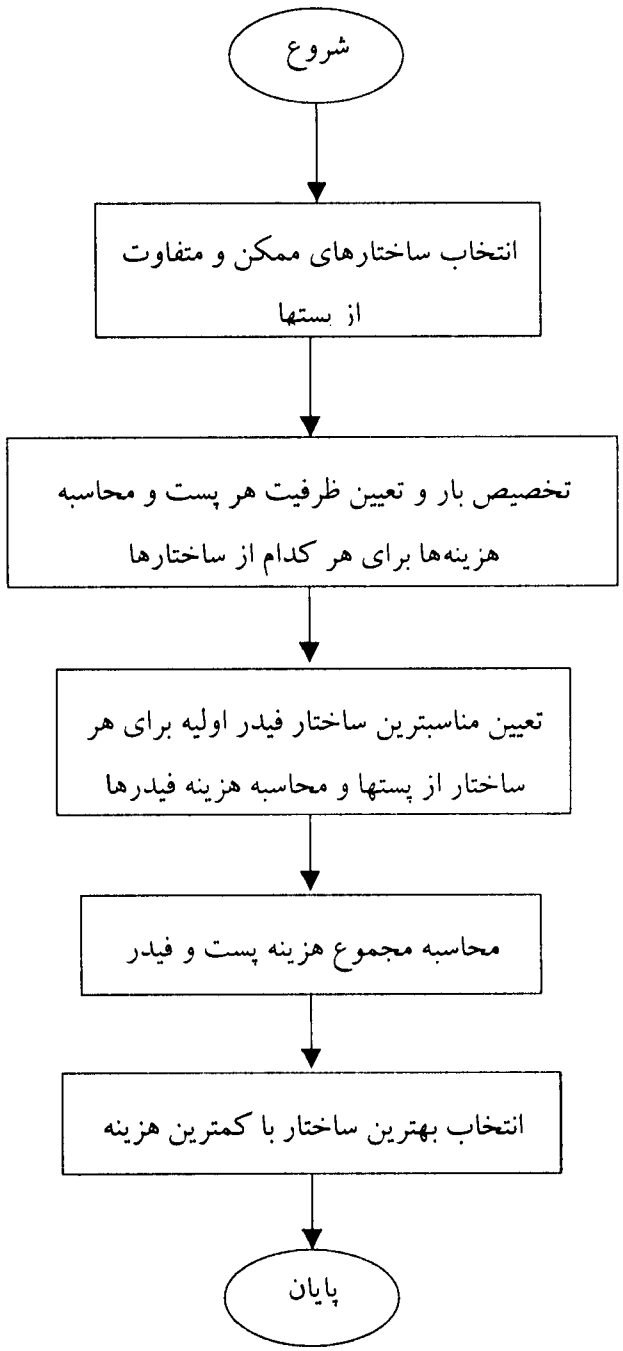
بنابراین انتخاب یکی از پاسخها در مقابل بقیه باید بر مبنای دلیل خاصی که غالباً کاستن هزینه‌های سیستم است، انجام شود .همانگونه که پیش از این نیز گفته شد، این هزینه‌ها مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تلفات در سیستم است و بنابراین بهینه‌سازی طرح نیز باید هر دو این هزینه‌ها را در نظر بگیرد .چرا که چنانچه کاستن هر یک از این هزینه‌ها به طور جداگانه مد نظر باشد، این کاهش سبب افزایش هزینه بخش دیگر می‌شود و در کل تضمینی برای کاهش هزینه کل سیستم وجود ندارد.

این روش از استراتژی شبه پویا که در فصول قبل معرفی شد برای زمانبندی گسترش سیستم استفاده می‌کند. طبق استراتژی شبه پویا فرض بر آن است که در بخش اول، طراحی به طور یک مرحله‌ای برای میزان تقاضای سال مقصد انجام می‌شود و سپس طرح زمانبندی احداث (بخش دوم) بدست می‌آید.

لازم به ذکر است که تابع هزینه این روش برای دو بخش مجزای آن در ضمیمه تشریح شده است.

در این روش، مسأله به صورت دو مسأله بهینه‌سازی تو در تو در نظر گرفته می‌شود .یعنی در کل روی پیدا کردن بهترین طرح پست کار می‌شود .اما با این توجه که در هر حالت از طراحی پست هزینه‌های مربوط به فیدرهای فشارمتوسط که خود بهینه شده‌اند با هزینه‌های پست جمع می‌شوند و بنابراین در نهایت ساختاری از پستها بدست می‌آید که با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به فیدرهای فشارمتوسط متناظر با آن ساختار، کمترین مقدار هزینه‌ها را داشته باشد.

در شکل شماره (٤) نمای کلی مراحل بهینه‌سازی در طراحی سیستم توزیع بیان شده است که در اینجا به نحوه بهینه‌سازی و چگونگی حل ریاضی مسأله پرداخته نمی‌شود.



شکل (٤) : نمایش کلی مراحل بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی و محاسبات فنی طراحی سیستم توزیع

در ادامه به بررسی هر یک از اجزاء روش بهینه‌سازی پرداخته می‌شود.

۱-٦ ـ انتخاب یک ساختار پست

همانطور که قبلا گفته شد اطلاعات مربوط به محل پستهای موجود و ظرفیت آنها و پستهایی که امکان ایجاد آنها وجود دارد، داده‌های اولیه روند طراحی (یا ورودیهای نرم‌افزار طراحی) هستند .البته باید توجه داشت که در بخش اول روش شبه پویا پستهای موجود همان پستهای سال صفر هستند و پستهای پیشنهادی تمام پستهایی هستند که مهندس طراح با توجه به دید مهندسی و اجرایی خود معرفی می‌کند و در بخش دوم روش شبه پویا در هر مرحله پستهای موجود پستهایی هستند که تا سال قبل احداث شده‌اند و پستهای پیشنهادی آن پستهایی هستند که در طرح کلی انتخاب شده‌اند، ولی هنوز ساخته نشده‌اند.

بنابراین انتخاب یک ساختار از پستها در واقع تعیین پستهایی از بین پستهای پیشنهادی است که در این ساختار حضور دارند (احداث می‌شوند). البته بایستی به این مسئله توجه داشت که توسعه پستهای جدید را تا حدی می‌توان پیش برد که ظرفیت پستهای فوق توزیع اجازه دهد.

در نهایت در این قسمت از عملیات پستهای موجود، در این ساختار پست معین می‌شوند و محلهای آنها به همراه اطلاعات مربوط به ظرفیت آنها به بخش بعد داده می‌شود.

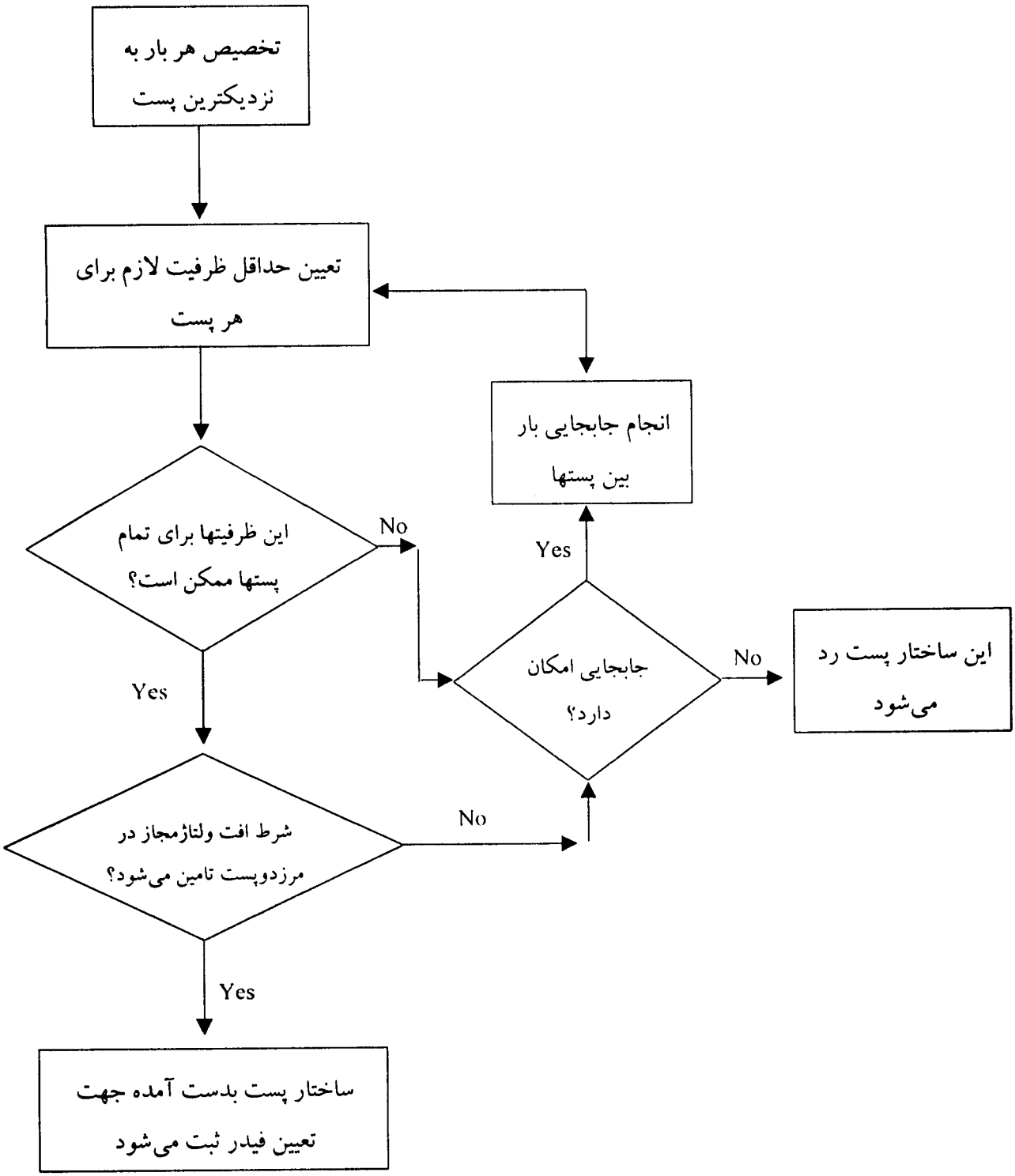
۲-٦ ـ تعیین ناحیه تحت پوشش و ظرفیت هر پست

پس از معین شدن محل پستها لازم است ناحیه تحت پوشش هر یک یعنی نقاط تقاضایی که توسط آن پست تغذیه می‌شوند و متناظر آن ظرفیت لازم برای آن پست معین شوند .برای این کار ابتدا با ایده تخصیص هر نقطه تقاضا به نزدیکترین پستMV/LV ، بارها بین پستها تقسیم می‌شوند و سپس با در نظر گرفتن جمع مقدار تقاضا و تلفات سیستم فشارضعیف، کل توان تحت پوشش هر پست تعیین می‌شود .ظرفیت پست یعنی جمع توان نامی ترانسفورماتورهای آن باید از این مقدار کمتر نباشد، بنابراین چنانچه پست، یک پست جدید باشد ظرفیت آن کمترین ظرفیت ممکن که از این مقدار بیشتر باشد انتخاب می‌شود.

اگر یک پست از قبل موجود باشد ظرفیت آن به حدی افزایش داده می‌شود که از مقدار توان تحت تغذیه‌اش بیشتر شود .تا اینجا مشکلی در مسأله تعیین ناحیه تحت پوشش و ظرفیت پستها به نظر نمی‌رسد .اما باید توجه داشت که چه برای پستهای موجود و چه برای پستهای جدیدالاحداث، لزوماً امکان تحقق ظرفیتهای مورد نیاز وجود ندارد و این به سبب محدودیت تعداد ترانسفورماتورهای هر پست و همچنین

محدودیت انتخابهای ممکن برای ظرفیت ترانسفورماتورها است .به علاوه تعیین ناحیه تحت پوشش هر پست باید به صورتی انجام شود که محدودیت افت ولتاژ حداکثر تأمین شود .پس ممکن است به علت اضافه بار در پستها یا افت ولتاژ زیاد در ناحیه تحت پوشش بعضی پستها، ظرفیتها و نواحی تحت پوشش به دست آمده به این ترتیب قابل قبول نباشد .در این صورت لازم می‌شود که بار بین پستها به صورتی جابجا شود که شرایط فوق‌الذکر تأمین شود .نحوه جابجایی بار بین پستها پس از این بیان خواهد شد.

مراحل کلی تعیین ناحیه تحت پوشش و ظرفیت هر پست در شکل شماره (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵) : مراحل تعیین ناحیه تحت پوشش و ظرفیت هر پست

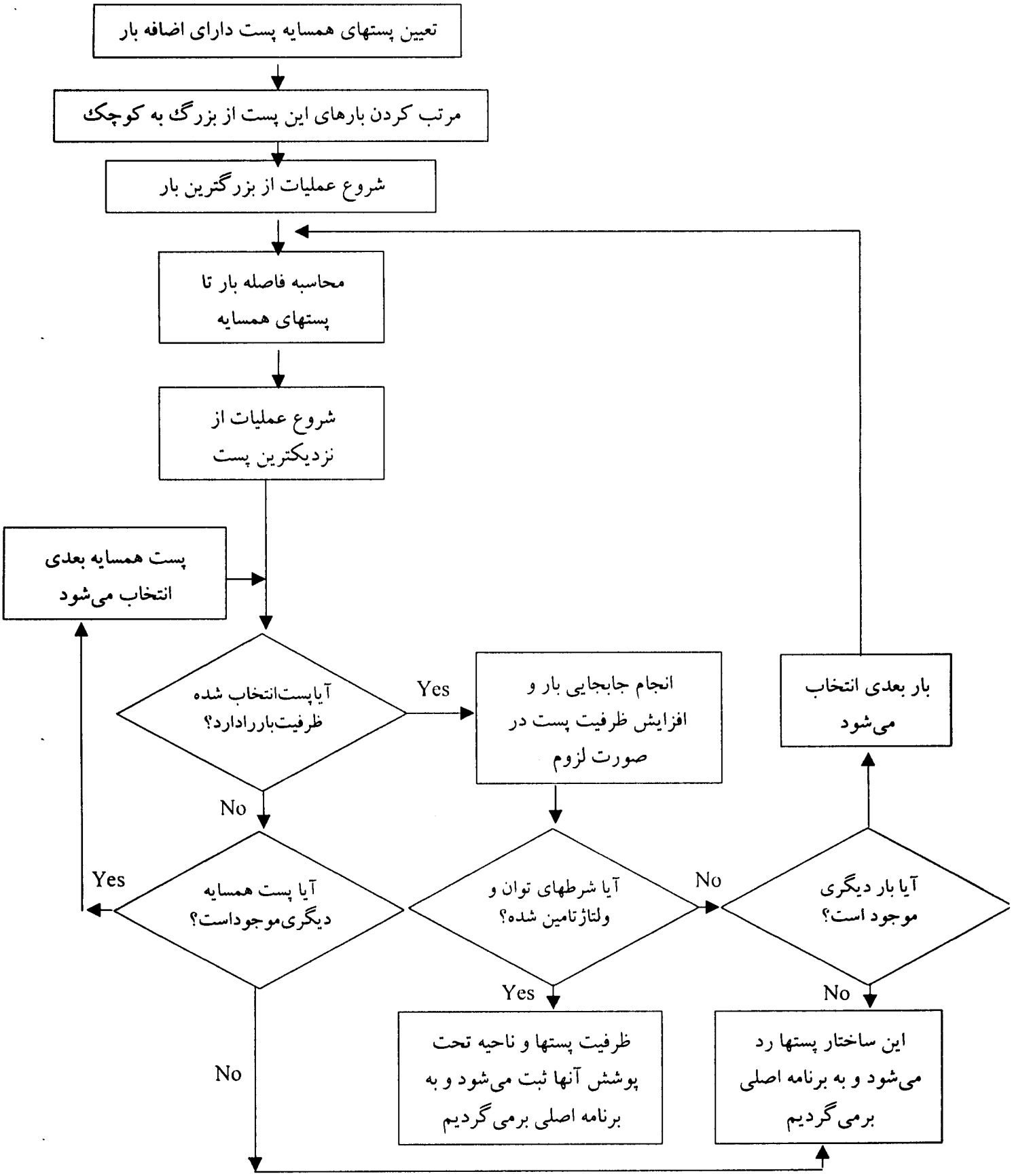
همانطور که پیش از این ذکر شد برای رفع اضافه بار یا افت ولتاژ اضافی در پستها ممکن است لازم شود بعضی از بارهایی که به یک پست تخصیص داده شده‌اند به پستهای مجاور منتقل شوند.

توزیع بار بین پستها ممکن است با ایده‌های مختلفی انجام شود که از جمله آنها می‌توان تعادل بین ظرفیت و بار پستهای مجاور را نام برد .روشی که در اینجا برای تعادل بار بین پستهای مجاور توصیه می‌شود بر این پایه استوار است که برای هر پست دارای اضافه بار جدولی از پستهای مجاور و ظرفیتهای ذخیره آنها تنظیم می‌شود و سپس برای هر یک از نقاط تقاضا سعی می‌شود که آن را به یکی از پستهای مجاور منتقل کرد که در صورت موفقیت در این کار آن نقطه بار به پست جدید داده می‌شود و در غیر این صورت این کار برای بارهای دیگر و پستهای دیگر ادامه می‌یابد تا جایی که این بررسی برای تمام بارهای تحت پوشش آن پست و تمام پستهای همسایه انجام شود .پس از هر جابجایی باید اضافه بار (بار اضافی و افت ولتاژ زیادی) کنترل شوند .در هر مرحله که اضافه بار برطرف شده باشد، عمل جابجایی در مورد آن پست تمام می‌شود و پستهای دیگری که اضافه بار دارند برای جابجایی بار بررسی می‌شوند و چنانچه با عمل جابجایی نتوان اضافه بار یک پست را برطرف کرد، این ساختار پست مردود شمرده می‌شود.

منظور از پستهای مجاور یک پست، پستهایی در نزدیکی آن است که انتقال بار بین آنها عملی و منطقی باشد. در تعیین ملاک انتخاب این پستها، معیارهای عملی متفاوتی می‌توان در نظر گرفت .معیاری که در نظر گرفته می‌شود چنین است که ابتدا نزدیکترین پست به پست مورد نظر معین می‌شود و تمام پستهایی که در فاصله حداکثر دو برابر این فاصله از پست دارای اضافه بار می‌باشند به عنوان پستهای مجاور انتخاب می‌شوند .مفهوم این معیار این است که در هر منطقه که تراکم پستها بیشتر باشد، امکان تبادل بار بیشتری وجود دارد و به علاوه بارهای یک منطقه از پستهای موجود در همان منطقه یا نزدیکی آن تغذیه می‌شوند.

ظرفیت ذخیره پستها نیز عبارتست از حداکثر ظرفیتی که برای گرفتن بار اضافی دارند، یعنی اگر پستی امکان افزایش ظرفیت ندارد، تفاضل ظرفیت فعلی آن با مقدار تقاضای تحت پوشش آن و اگر امکان افزایش ظرفیت دارد، مقدار ظرفیت استفاده نشده فعلی بعلاوه حداکثر مقدار قابل افزایش. ضمناً باید توجه داشت که حداکثر ظرفیت هر پست در سالهای میانی طراحی همان مقداری است که در سال پایانی پریود مطالعه در بخش اول مدل شبه پویا برای آن بدست آمده است .موضوع دیگر در مورد انجام جابجایی بار بین پستهای مجاور، آن است که بررسی بارهای پست دارای اضافه بار، از بزرگترین بار آن شروع شود و برای هر یک از بارها از دومین پست نزدیک تا آخرین پست مجاور بررسی ادامه یابد.

شکل شماره (٦) مراحل اصلی عملیات جابجایی بار را برای پستی که دچار اضافه بار است نشان می‌دهد .این عملیات برای هر یک از پستهای دچار اضافه بار انجام می‌شود.



شکل شماره (٦) مراحل عملیات جابجایی بار برای پستی که دچار اضافه بار شده است.

تا اینجا ناحیه تحت پوشش و ظرفیت هر یک از پستهای موجود در ساختار انتخابی بدست آمده است. بنابراین می‌توان هزینه‌های تلفات پستها و هزینه‌های سرمایه‌گذاری مربوط به آنها را محاسبه کرد.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری در این مرحله عبارتند از هزینه احداث پستهای جدید و هزینه تجهیزات اضافی در پستهایی که افزایش ظرفیت می‌یابند.

در نهایت مجموعه این پستها با میزان بار تحت پوشش آنها برای تعیین آرایش و ظرفیت فیدرهای اولیه انتخاب می‌شوند.

۳-٦ ـ تعیین آرایش بهینه فیدرهای اولیه برای هر ساختار پست

پس از آنکه محل و ظرفیتهای تغذیه برای پستها معین شد برای آنکه هزینه کل طرح معین شود لازم است فیدرهای فشارمتوسط متناظر این پستها نیز معین شوند.

در این مرحله هر پست یک نقطه تقاضا (باس‌بار) با مقدار تقاضای کل برابر با کل بار تحت پوشش آن به علاوه تلفات سیستم فشارضعیف و ظرفیت در نظر گرفته شده جهت مواقع اضطراری در نظر گرفته می‌شود. پستهای فوق توزیع HV/MV نیز به عنوان منابع توان در نظر گرفته می‌شوند که با توجه به شعاعی بودن آرایش شبکه، هر پست فوق توزیع HV/MV بعنوان یک باس بی‌نهایت و پستهای توزیع MV/LV تحت پوشش آن بعنوان باس‌بار قابل مدلسازی هستند.

لازم به یادآوری است که روش بهینه‌سازی برای هر دو مرحله روش شبه پویا یکسان است، با این تفاوت که در مرحله اول تمام فیدرهای پیشنهادی در نظر گرفته می‌شوند و در مرحله دوم تنها فیدرهایی که در بخش نخست انتخاب شده‌اند، در نظر گرفته می‌شوند .در این مرحله لازم است شرایط زیر به نحوی کنترل شوند.

۱ـ تمام نقاط تقاضا از یک مسیر مستقیم به نقاط تغذیه توان یعنی پستهای فوق توزیع HV/MV متصل شوند.

۲ـ لازم است شبکه بصورت شعاعی باشد یعنی هیچ تقاضایی از دو مسیر متفاوت تغذیه نشود.

۳ـ ولتاژ در پستهای توزیع MV/LV از مقدار معینی کمتر نشود.

٤ ـ توان انتقالی در خطوط از ظرفیت انتقالی آنها بالاتر نباشد.

پس از آنکه آرایش شبکه تصویب شد (با توجه به شرط تغذیه بار و شعاعی بودن شبکه) ماتریس ادمیتانس شبکه با توجه به مشخصات خطوط تشکیل می‌شود .برای خطوط که از قبل وجود داشته‌اند R و X آنها معلوم است و برای خطوطی که در این مرحله نصب می‌شوند در ابتدا R و X مربوط به کوچکترین سایز هادی فیدر

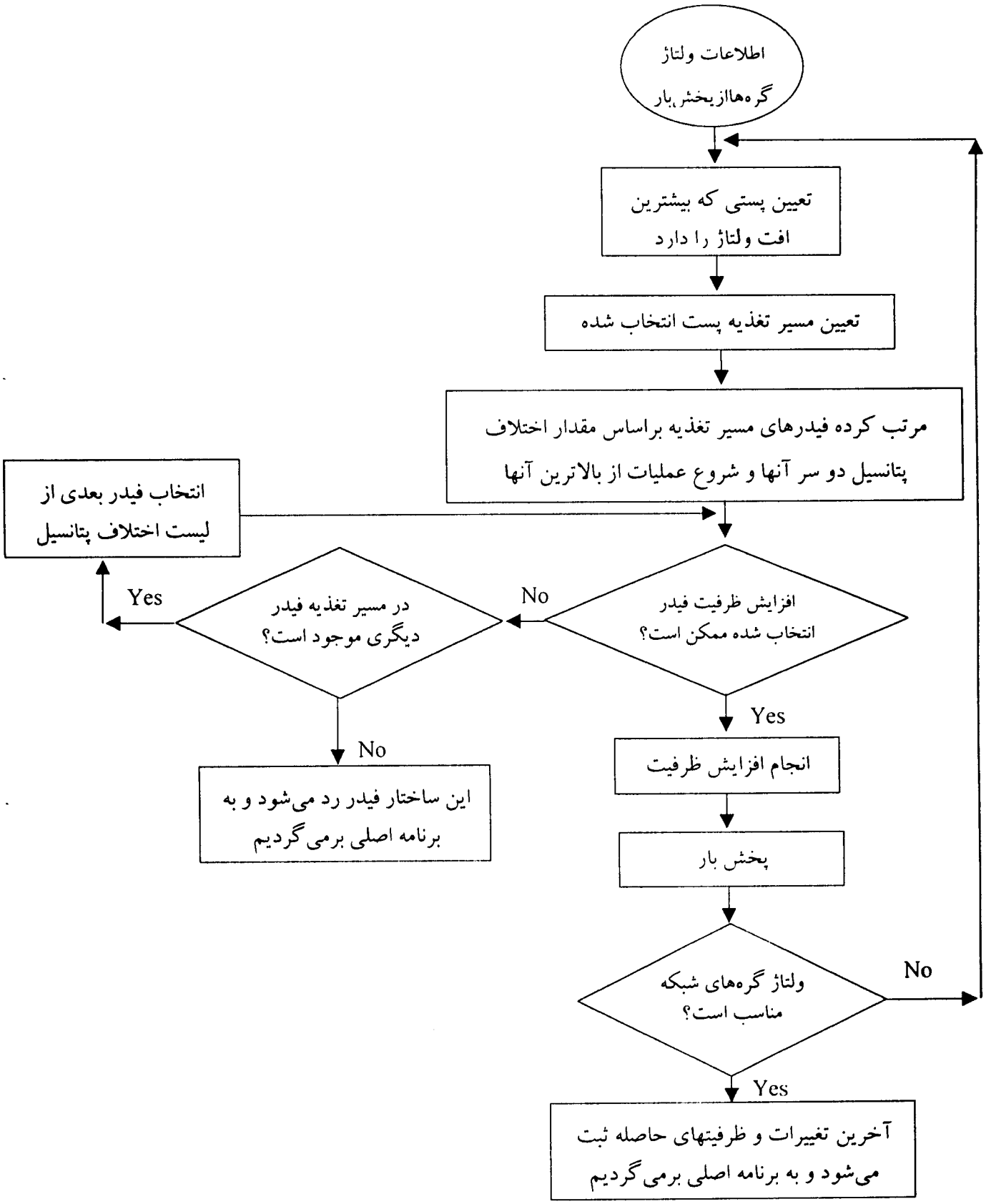
در نظر گرفته می‌شود و با این اطلاعات و در نظر گرفتن پستهای توزیع MV/LV بعنوان باس‌بار و پستهای فوق توزیع HV/MV بعنوان باس بینهایت، پخش بار انجام می‌شود و توان انتقالی در تمام خطوط بدست می‌آید .در صورتیکه توان انتقالی در خطی بیش از حداکثر توان انتقالی مجاز آن فیدر باشد، در صورت امکان با فیدری با سایز بالاتر جایگزین می‌شود و اگر سایز بالاتری موجود نباشد، شبکه پیشنهادی غیرقابل قبول است و رد می‌شود.

ضمناً باید توجه داشت که اگر ظرفیت فیدری افزایش داده شود هزینه نصب فیدر مانند یک فیدر جدید برای آن محاسبه می‌شود .پس از جایگزینی فیدرها با فیدر سایز بالاتر باید محدودیت توان انتقالی مجدداً کنترل شود.

همچنین برای آنکه ولتاژ در نقاط مصرف از حدقابل قبول پایین‌تر نباشد، علاوه بر آنکه در تعیین ناحیه تحت پوشش هر پست باید محدودیتهای بدست آمده در روابط (٤٠) و (٤١) مراعات شوند، لازم است ولتاژ در خود پستهای توزیع MV/LV نیز از حدی که توسط طراح تعیین می‌شود، پایین‌تر نباشد .این موضوع با تعیین مناسب نحوه تغذیه پستها (آرایش فیدرها) و همچنین تعیین سایز فیدرهای اولیه بگونه‌ای که مشخصات الکتریکی آنها باعث افت ولتاژ غیرقابل قبولی نشود، میسر می‌شود .باید توجه داشت که چنانچه تنها موضوع افت ولتاژ فیدرهای اولیه مدنظر باشد مسلماً بهترین انتخاب آن خواهد بود که تمام فیدرها با کمترین مقاومت اهمی انتخاب شوند، اما از آنجا که کاستن مقاومت در فیدرها مستلزم افزایش قطر هادی و متعاقب آن افزایش هزینه سرمایه‌گذاری خواهد بود، باید سایز هادی بگونه‌ای انتخاب شود که هم از نظر تأمین ولتاژ و هم از نظر هزینه مناسب باشد .بنابراین روشی که برای تعیین سطح مقطع هادیها به منظور بهبود سطح ولتاژ پیشنهاد می‌شود آن است که در مرحله اول فیدرها با پایین‌ترین سایز استاندارد متناسب با بار در نظر گرفته شوند (ملاحظات اقتصادی) و سپس شرط حداکثر توان انتقالی فیدرها طی مراحل متوالی پخش بار تأمین شده و شرایط جریان اتصال کوتاه مورد توجه قرار گیرد. تا اینجا فیدرها به کمترین ظرفیتی که شرط تأمین توان را فراهم کند، رسیده‌اند حال باید دید که با این ساختار و سایز فیدرها وضعیت ولتاژ گرههای شبکه چگونه خواهد بود .چنانچه در بعضی از گرهها ولتاژ از حد مورد نظر پائین‌تر باشد، باید سعی شود با افزایش سایز هادیهای مسیر تغذیه آن این امر بهبود یابد .منطق این عملکرد این است که با افزودن سایز هادی، مقاومت آن کمتر و افت ولتاژ در طول آن نیز کمتر می‌شود .چنانچه این عمل موفق به حذف افت ولتاژ

اضافی بشود، مقادیر جدید بعنوان ظرفیت فیدرها ثبت می‌شوند و هزینه‌های افزایش ظرفیت یعنی هزینه نصب و سرمایه‌گذاری فیدرهای جدید به هزینه آرایش مربوطه اضافه می‌شود.

شکل شماره (۷) مراحل عملیات را برای بهبود ولتاژ گرههایی که افت ولتاژ اضافی دارند نشان می‌دهد .این عملیات در صورتی شروع می‌شود که پس از آخرین پخش بار در تعیین ظرفیت فیدرها و با در نظر گرفتن توان انتقالی آنها، یک یا چند پست دارای افت ولتاژ اضافی باشند .ابتدا از میان پستها، آنکه بیشترین میزان تخلف از محدودیتها را دارد، برای تغییر سایز فیدرهای تغذیه‌کننده‌اش برگزیده می‌شود .سپس برای این پست مسیری را که آنرا به پست فوق توزیع HV/MV متصل می‌کند معین می‌گردد (این مسیر یکتاست چون شبکه شعاعی طرح شده است). برای معین کردن مسیر تغذیه هر پست ابتدا تمام گرههای متصل به آن معین می‌گردد .از این گرهها، گرهی که دارای بیشترین اندازه ولتاژ است، حلقه ارتباط پست مورد بررسی با پست فوق توزیع HV/MV می‌باشد .پس از ثبت این گره همین عمل برای این گره اخیر انجام می‌شود تا مسیری که به سمت پست فوق توزیع HV/MV می‌رود معین شود.



شکل (۷) عملیات افزایش ظرفیت فیدرها با هدف حذف افت ولتاژ اضافی در پستها

حال باید با افزودن سایز هادیها در این مسیر، از پست فوق توزیع HV/MV تا پست دچار افت ولتاژ، سطح ولتاژ بهبود داده شود .حال برای آنکه افزایش ظرفیت در محل مناسب آن یعنی جاییکه بیشترین نقش را در افت ولتاژ دارد انجام شود، اختلاف اندازه ولتاژ دو سر تمام فیدرهای این مسیر محاسبه می‌شوند و فیدری که بین دو سر آن بزرگترین اختلاف سطح را دارد معین می‌شود و در صورت امکان ظرفیت آن اضافه می‌شود. پس از انجام هر تغییر ظرفیت دوباره پخش بار برای تمام شبکه انجام و ولتاژ تمام گرهها معین می‌شود (انجام تغییر در یک فیدر ولتاژ نقاط مختلف شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهد). در این حالت و در صورتی که باز هم ولتاژ بعضی نقاط خارج از حد مجاز باشد عملیات ادامه می‌یابد و در غیر اینصورت ظرفیتهای بهبود یافته، ثبت می‌شوند .عملیات تا جایی ادامه می‌یابد که هیچ افت ولتاژ اضافی وجود نداشته باشد و علیرغم افت ولتاژ اضافی در فیدرهای تغذیه پست دارای افت ولتاژ اضافی، امکان افزایش ظرفیت وجود نداشته باشد.

لازم به یادآوری است که هر فیدری که افزایش ظرفیت برای آن انجام می‌شد بعنوان یک فیدر تازه نصب شده در محاسبه هزینه منظور می‌شود.

واژگان

Net Present Worth	ارزش خالص فعلی
Tapering	باریک‌سازی
Mixed - Integer Programming	برنامه‌ریزی مختلط (آمیخته) عدد صحیح
Distributor	پخشگر
Pole - Mounted Substation	پست هوایی
Pseudo - Dynamic	شبه پویا
Arc Furnace	کوره قوس

ضمیمه «الف»

تابع هزینه روش شبه پویا

هزینه‌ای که در طراحی و گسترش شبکه‌های توزیع حداقل می‌شود جمع هزینه‌های احداث و نصب تجهیزات جدید و هزینه‌های مربوط به تلفات است. پس می‌توان هزینه کل را بصورت زیر بیان کرد:

$$C_{net} = \sum_{t=0}^{p-1}[CI_t\alpha_t + CLE_{(t+1)}\beta_{(t+1)} + \sum_{\tau=1}^{p-1} CLF_t(\tau+1)\beta_{(t+1)}] \qquad \text{(ض ـ ۱)}$$

که در رابطه (ض ـ ۱) :

CLE_t : هزینه تلفات شبکه موجود در سال t

CLF_t : هزینه تلفات در سال τ برای تجهیزات احداث شده در سال t

سال 0 (صفر) : سال مبدأ

C_{net} : کل هزینه‌های نصب و تلفات در دوره مطالعه

P : طول دوره مطالعه (برحسب سال)

CI_t : هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سال t

α_t : پارامتر اقتصادی طبق تعریف فصل ۵

β_t : پارامتر اقتصادی طبق تعریف فصل ۵

رابطه (ض ـ۱) بیانگر کلیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری از سال 0 (مبدأ) تا سال (P-1) و تمام هزینه‌های تلفات در سالهای 1 تا P می‌باشد.

اما همانگونه که در گزارش نیز بیان شد، طبق استراتژی شبه پویا فرض بر آن است که در بخش اول، طراحی بطور یک مرحله‌ای برای میزان تقاضای سال مقصد انجام می‌شود. سپس طرح زمانبندی احداث بدست می‌آید. بنابراین در ادامه این بخش تابع هزینه برای هر یک از دو بخش طراحی (یک مرحله‌ای ـ زمانبندی) تنظیم می‌شود.

تابع هزینه برای بخش اول مدل شبه پویا

در این مرحله فرض می‌شود که طراحی بطور یک مرحله‌ای برای t = p-1 انجام می‌شود. به همین منظور تابع هزینه جدیدی برای این طرح یک مرحله‌ای معرفی می‌شود.

$$C'_{Net}(p-1) = C'I_{(p-1)}.\alpha_{(p-1)} + C'L_p.\beta_p \qquad (ض\ ـ۲)$$

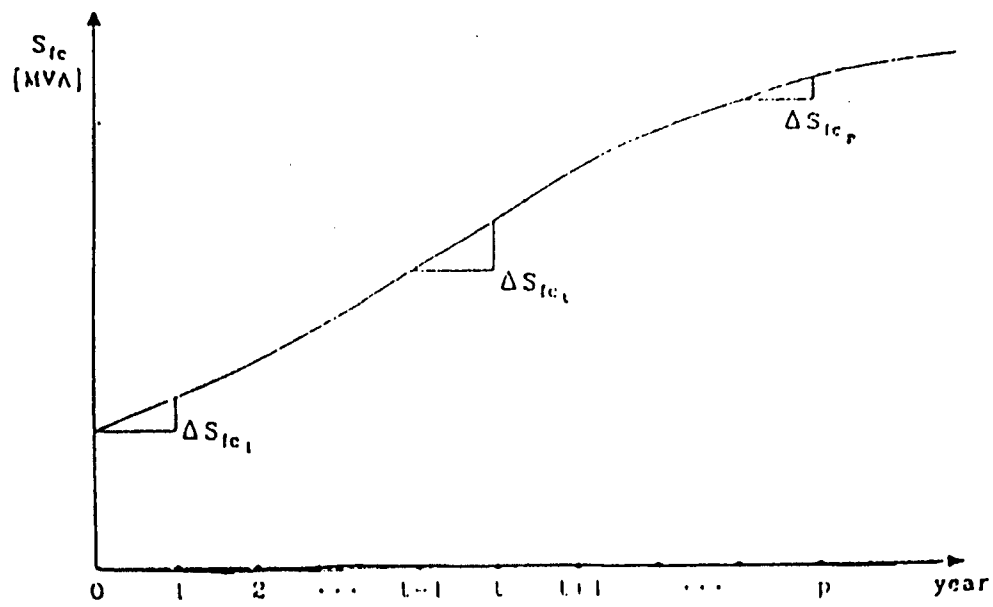
$C'_{Net}(p-1)$: تابع هزینه برای طرح یک مرحله‌ای در سال p-1

$C'I_{(p-1)}$: هزینه‌های سرمایه‌گذاری با فرض آنکه کل سرمایه‌گذاری یک مرحله‌ای باشد.

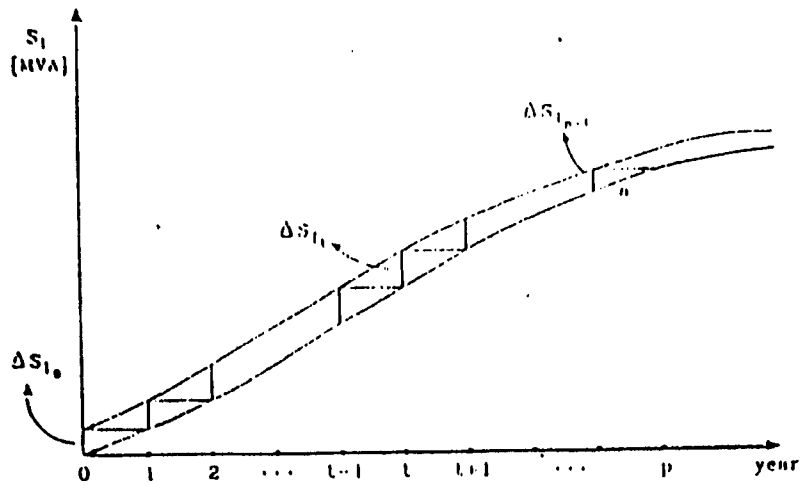
$C'L_p$: هزینه تلفات در سال p برای تجهیزات جدیدالاحداث و موجود از قبل

برای اینکه این طراحی یک مرحله‌ای با مدل واقعی مطابقت داشته باشد، اثر تدریجی بودن طراحی بصورت محاسبه ضرایب تنزیل جدید (ضرایب α و β) به ترتیب زیر بیان می‌شود.

اگر مقدار تقاضا پیش‌بینی شده در سال t، S_{fct} باشد، مقدار افزایش S_{fct} نسبت به $S_{fc(t-1)}$ باید توسط نصب تجهیزات در سال (t-1) جبران شود. پس نسبت افزایش ظرفیت در سال (t-1) به افزایش تقاضا در سال t باید برابر باشد با نسبت کل ظرفیت نصب شده در پریود به کل افزایش تقاضا در طول پریود یعنی :



شکل (ض ـ۱) : مقدار تقاضای پیش‌بینی شده برحسب سال



شکل (ض ـ۲) : مقدار ظرفیت نصب شده برحسب سال

$$\frac{\Delta S_{fct}}{\Delta S_{l(t-1)}} = \frac{S_{fcp} - S_{fc0}}{S_{l(p-1)}} \qquad \text{(ض ـ۳)}$$

$$\Delta S_{fct} = S_{fct} - S_{fc(t-1)} \qquad \text{(ض ـ٤)}$$

$\Delta S_{l(t-1)}$: ظرفیتی که باید در سال (t-1) نصب شود.

$S_{l(t-1)}$: کل ظرفیت نصب شده در طرح یک مرحله‌ای در سال (p-1)

پس :

$$S_l(p-1) = \sum_{t=0}^{p-1} \Delta S_{l_t} \qquad \text{(ض ـ۵)}$$

از ترکیب روابط (ض ـ۳) و (ض ـ۵) و با در نظر گرفتن اینکه هزینه‌های نصب و سرمایه‌گذاری متناسب با ظرفیت نصب شده است:

$$CI_t = \frac{S_{fc(t+1)} - S_{fct}}{S_{fcp} - S_{fc0}} \sum_{t=0}^{p-1} CI_t \qquad \text{(ض ـ ٦)}$$

در رابطه فوق عبارت $\sum_{t=0}^{p-1} CL_t$ بیانگر جمع کل هزینه‌های نصب در طول پریود است و از آنجا که در این بخش طراحی یک مرحله‌ای در نظر گرفته می‌شود می‌توان آن را با CI_{p-1} جایگزین کرد یعنی :

$$CI_t = \frac{S_{fc(t+1)} - S_{fct}}{S_{fcp} - S_{fc0}} CI'_{p-1} \qquad \text{(ض ـ۷)}$$

و به این ترتیب بخشی از رابطه (ض ـ۱) که مربوط به هزینه‌های نصب است یعنی $\sum_{t=0}^{p-1} CI_t\alpha_t$ از جمع مقادیر بدست آمده در (ض ـ۷) برای سالهای 0 تا (p-1) بدست می‌آید.

(ض ـ۸) جمع کل ارزش فعلی هزینه‌های نصب طرح یک مرحله‌ای $= \frac{\sum_{t=0}^{p-1}[(S_{fc(t+1)} - S_{fct})\alpha_t]}{S_{fcp} - S_{fc0}} C'I_{p-1}$

با معرفی ضریب α' رابطه فوق به ترتیب زیر نوشته می‌شود :

(ض ـ۹) جمع کل ارزش فعلی هزینه‌های نصب طرح یک مرحله‌ای $C' I_{p-1}\alpha'_{p-1}$

که در آن :

(ض ـ۱۰) $$\alpha'_{p-1} = \frac{\sum_{t=0}^{p-1}[S_{fc(t+1)} - S_{fct}\alpha_t]}{S_{fcp} - S_{fc0}}$$

باید توجه داشت که کلیه مقادیر سمت راست تساوی بالا جزو اطلاعات موجود می‌باشند و از ایـنرو ضریب α'_{p-1} براحتی محاسبه می‌شود.

در مورد هزینه تلفات نیز به طریق مشابه هزینه‌های سرمایه‌گذاری عمل می‌شود.

اگر P_{LNett} کل هزینه تلفات در سال t باشد این تلفـات بـه دو بخـش شـبکه موجـود (در سـال 0) یعنـی P_{ELt} و تلفات شبکه‌ای که تا سال t احداث شده یعنی P_{FLt} قابل تفکیک است بنابراین :

(ض ـ۱۱) $$P_{LNett} = P_{Elt} + P_{FLt}$$

و بر مبنای هزینه‌ها :

(ض ـ۱۲) $$CL_{Nett} = C_{Elt} + C_{FLt}$$

و با مفروضاتی مانند رابطه (ض ـ۳) تلفات شبکه جدید چنین خواهد بود:

(ض ـ۱۳) $$P_{FLt} = P_{FL(p-1)} \cdot \frac{S_{fct} - S_{fc0}}{S_{fcp} - S_{fc0}}$$

و با تبدیل تلفات به معادل هزینه‌ای آن :

(ض ـ۱٤) $$C_{FLt} = C_{FL(p-1)} \cdot \frac{S_{fct} - S_{fc0}}{S_{fcp} - S_{fc0}}$$

در روابط فوق $P_{FL(p-1)}$ یعنی تلفات شبکه نصب شدهٔ جدید که یکباره در سال (p-1) نصب می‌شود و $C_{FL(p-1)}$ هزینه این تلفات است که برابر همان $C'_{L(p-1)}$ می‌باشد.

$C_{FL(p-1)}$ هزینه این تلفات در سال t برای شبکه‌ای می‌باشد که از سال 0 تا (t-1) احداث شده است. با فرض ثابت بودن تلفات شبکه موجود (این فرض در عمل تقریباً محقق می‌شود و شاید دلیل آن این باشد که بار شبکه موجود تقریباً افزایش نمی‌یابد و عمده افزایش تقاضا با نصب تجهیزات جدید جبران می‌شود) می‌توان هزینه‌های تلفات C_{Elt} را بصورت C_{EL0} ثابت در نظر گرفت و با استفاده از رابطه (ض ـ۱٤) :

$$C_{LNett} = C_{EL0} + \left[(C_{LNet\ p-1} - C_{EL0}).\frac{S_{fct} - S_{fc0}}{S_{fcp} - S_{fc0}} \right] \qquad \text{(ض ـ۱۵)}$$

به این ترتیب رابطه (ض ـ۱) برای طراحی یک مرحله‌ای با در نظر گرفتن روابط (ض ـ۸)، (ض ـ۱۰) و (ض ـ۱۵) بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$C_{Net} = C'I_{p-1}\alpha'_{p-1} + C_{EL0}\left[\sum_{t=1}^{p} (1 - \frac{S_{fct} - S_{fc0}}{S_{fcp} - S_{fc0}})\beta_t \right] \qquad \text{(ض ـ۱٦)}$$

$$+ \frac{C_{LP-1}}{S_{fcp} - S_{fc0}} \left[\sum_{t=1}^{p} (S_{fct} - S_{fc0})\beta_t \right]$$

با تعریف :

$$\beta'_{p-1} = \sum_{t=1}^{p} \left[\frac{S_{fct} - S_{fc0}}{S_{fcp} - S_{fc0}} \beta_t \right] \qquad \text{(ض ـ۱۷)}$$

$$C'_{EL0p} = CEL_0 . \sum_{t=1}^{p} \left[(1 - \frac{S_{fct} - S_{fc0}}{S_{fcp} - S_{fc0}})\beta_t \right] \qquad \text{(ض ـ۱۸)}$$

نتیجه می‌شود :

$$C_{Net} = C'I_{p-1}\alpha'_{p-1} + C'_{EL0P} + C'_{LP-1}.\beta'_{p-1} \qquad \text{(ض ـ۱۹)}$$

این تابع هزینه برای طراحی یک مرحله‌ای در بخش اول مدل شبه پویا بکار می‌رود. ضمناً قابل توجه است که α'_{p-1} و β'_{p-1} هر دو از اطلاعات ورودی هستند و C'_{EL0P} نیز مقدار ثابتی است که از روی میزان تقاضا در هر سال، پارامترهای اقتصادی و تلفات شبکه سال صفر بدست می‌آید. پس در واقع عمل بهینه‌سازی تنها روی

جملات اول و سوم تابع هزینه فوق انجام می‌شود. تا اینجا تابع هزینه‌ای که در طراحی یک مرحله‌ای به منظور برآوردن نیازهای سال مقصد انجام می‌گیرد، بدست آورده شده است و در محاسبه این تابع هزینه سعی شده است که اثر تدریجی بودن گسترش سیستم نیز در نظر گرفته شود و به این ترتیب طراحی دینامیک با حذف متغیر زمان بصورت مناسبی به طراحی استاتیک برای سال مقصد تبدیل شده است.

تابع هزینه برای بخش دوم مدل شبه پویا (زمانبندی احداث)

در مدل شبه پویا پس از آنکه کل تجهیزات لازم برای نصب و احداث تا سال مقصد معین شدند، زمانبندی احداث این تجهیزات برمبنای رشد بار معین می‌شود. نکته بسیار مهم در تدوین طرح زمانبندی این است که در هر مرحله از طراحی لازم است هدف مینیمم کردن تابع هزینه کل دوره باشد و نه صرفاً کاهش هزینه همان سال، زیرا هیچ تضمینی وجود ندارد که مینیمم کردن هزینه‌های هر سال بطور مجزا در جهت کاستن هزینه کل دوره باشد. نکته دیگری که در مرحله دوم مدل شبه پویا حائز اهمیت است آن است که در این مرحله بهینه‌سازی تنها روی مجموعه عناصری (پست و فیدر) انجام می‌شود که در مرحله اول مدل انتخاب شده‌اند.

تابعه هزینه کل دورهٔ مطالعه را برای هر سال T از دوره می‌توان بصورت زیر نوشت : $0<T\leq P$

$$C_{Net} = C_{Net\,0,T-1} + C_{Net\,T,P} \qquad \text{(ض ـ ۲۰)}$$

بدیهی است که در مورد T=0 تنها جمله اول مجموع فوق وجود دارد و برای سالهای بعد از T=0 جملهٔ اول رابطهٔ فوق جمع کل هزینه‌ها تا سال قبل از T و جمله دوم هزینه‌های سال T تا پایان دوره است روشن است که بهینه‌سازی روی جمله اول بی‌معنی است چون در مورد این هزینه‌ها اختیار و انتخابی وجود ندارد.

$$C_{Net\,T,P} = CI_{T\alpha_T} + (C_{ELT+1} + C_{FLT+1})\beta_{T+1} + \sum_{t=T+1}^{p-1} [CI_t\alpha_t + (C_{ELT+1} + C_{FLT+1})\beta_{t+1}] \qquad \text{(ض ـ ۲۱)}$$

ضمناً باید توجه داشت که بهینه‌سازی روی پستها و فیدرهایی صورت می‌گیرد که در مرحلهٔ اول شبه پویا انتخاب شده‌اند ولی از سال 0 تا T-1 ساخته نشده‌اند یا افزایش داده نشده‌اند.

در رابطهٔ فوق :

CI_t : هزینهٔ سرمایه‌گذاری در سال T

C_{FLO} : هزینهٔ تلفات شبکه سال 0 در سال t

C_{FLt} : هزینهٔ تلفات در سال t کل شبکه‌ای که از سال 0 تا t احداث شده

α_t و β_t : ضرایب تنزیل طبق تعریف فصل ۵

می‌توان نوشت :

$$CI_t = \frac{S_{fct} - S_{fct-1}}{S_{fcT} - S_{fcT-1}} . CI_T \qquad \text{(ض -۲۲)}$$

$$C_{FLt} = \frac{S_{fct} - S_{fc0}}{S_{fcT-1} - S_{fc0}} . C_{FLT+1} \qquad \text{(ض -۲۳)}$$

با قرار دادن این مقادیر در رابطهٔ (ض -۲۱) و با همان مفروضاتی که در بدست آوردن روابط قبل لحاظ شدند نتیجه می‌شود :

$$C_{NetT.P} = CI_T . \alpha_T + CL_{T+1} . \beta_{T+1} + \sum_{t=T+1}^{p-1} \left\{ \frac{S_{fct} - S_{sct-1}}{S_{fct} - S_{fct-1}} . CI_T . \alpha_t + \left[C_{FL0} + (CL_{FLt} - C_{FL0}) . \frac{S_{fct-1} - S_{fc0}}{S_{fct-1} - S_{fc0}} \right] \beta_{t-1} \right\} \qquad \text{(ض -۲۴)}$$

جملهٔ اول رابطهٔ بالا هزینهٔ فعلی شدهٔ سرمایه‌گذاری در سال T و جملهٔ دوم هزینهٔ فعلی شده تلفات در سال T+1 را نشان می‌دهد. CL_{T+1} هزینهٔ کل تلفات شبکهٔ سال صفر و احداث شده تا سال T در سال T+1 است و جملات بعدی به ترتیب هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تلفات را تا سال پایانی نشان می‌دهند.

رابطهٔ اخیر را بصورت زیر می‌توان نوشت :

$$C_{Net\,T.P} = CI_T \alpha''_T + C''_{FLTP} + CL_{T+1} \beta''_{T+1} \qquad \text{(ض -۲۵)}$$

اجزاء رابطه فوق به صورت زیر تعریف می‌شوند :

$$\alpha''_T = \alpha_T + \frac{1}{S_{fcT} - S_{fcT-1}} . \sum_{t=T+1}^{p-1} [(S_{fct} - S_{fct-1})\alpha_t] \qquad \text{(ض -۲۶)}$$

$$\beta''_T = \beta_{T+1} + \frac{1}{S_{fcT+1} - S_{fc01}} \cdot \sum_{t=T+1}^{p-1} \left[(S_{fct+1} - S_{fc01})\beta_t + 1 \right] \qquad (ض - ۲۷)$$

$$C''_{FLPP} = C_{FL\phi} \left[\sum_{t=T+1}^{p-1} \left(1 - \frac{S_{fct+1} + S_{fc\phi}}{S_{fct+1} - S_{fc\phi}} \right) \beta_t + 1 \right] \qquad (ض - ۲۸)$$

مثل قبل α''_1 و β''_{T+1} مقادیر ثابتی هستند که مستقیماً از روی ورودیها تعیین می‌شوند و C''_{FLPP} نیز مقدار ثابتی است و در نتیجه بهینه‌سازی رابطهٔ (ض-۲۵) روی جملات اول و سوم آن صورت می گیرد.