

بسمه تعالی



« سال تولید؛ پشتیبانی‌ها؛ مانع‌زدایی‌ها »

(مقام معظم رهبری)

کلیه شرکت‌های توزیع نیروی برق

موضوع: ابلاغ دستورالعمل "جاری‌سازی مطالعات و تحلیل شبکه در شرکت‌های توزیع: محاسبات پخش بار و

اتصال کوتاه"

باسلام؛

نظر به اهمیت جاری‌سازی مطالعات و تحلیل وضعیت شبکه‌های توزیع از منظر مهندسی و با هدف ایجاد وحدت رویه در توسعه و پیش‌بینی ابزارهای مطالعاتی برای استفاده در تحلیل نقاط ضعف شبکه‌های توزیع در سطح کشور نظیر پخش بار و اتصال کوتاه (و...)، دفتر مهندسی و راهبری شبکه شرکت توانیر در نشست‌های تخصصی کمیته راهبری برنامه ریزی فنی و مطالعات سیستم با حضور خبرگان صنعت برق و دانشگاه اقدام به تهیه و تصویب "دستورالعمل جاری‌سازی الزامات مطالعات و تحلیل شبکه در شرکت‌های توزیع: محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه" نموده است که به پیوست جهت اجرا و پیاده‌سازی ابلاغ می‌گردد.

امید است مجموعه تحت امر آن مدیریت عامل محترم با بکارگیری دستورالعمل فوق‌الشاره در تحلیل نقاط ضعف شبکه‌های توزیع از منظر الکتریکی گامی مؤثری برداشته و با ارائه نقطه نظرات مکمل و کارآمد در جهت ارتقاء سند حاضر در آینده، همکاری مقتضی مبذول نمایند. لازم به ذکر است نسخه الکترونیکی فایل دستورالعمل در بخش دستورالعمل‌های وب سایت دفتر مهندسی و راهبری شبکه شرکت توانیر به نشانی <https://www.tavanir.org.ir/dm/dmnezarat/> قابل دسترسی می‌باشد.

غلامعلی رخشانی مهر

معاون هماهنگی توزیع

رونوشت:

- جناب آقای صادقان رئیس گروه محترم راهبری و قابلیت اطمینان شبکه - جهت قراردادن فایل دستورالعمل در وب سایت دفتر

اقدام کننده:

میلاد بی‌آزار - ۲۷۹۳۵۰۸۷



شرکت توانیر

معاونت هماهنگی توزیع

دفتر مهندسی و راهبری شبکه

دستورالعمل جاری سازی مطالعات و تحلیل شبکه در

شرکت های توزیع: محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه





شرکت توانیر



شرکت مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)

دستورالعمل جاری سازی مطالعات و تحلیل شبکه در شرکت های توزیع نیروی برق:

محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

دریافت کنندگان سند:

✓ شرکت توانیر

✓ شرکت های توزیع نیروی برق

کد سند	تاریخ تهیه	تاریخ بازنگری	شماره آخرین بازنگری
TAV111-03/00	۱۴۰۰/۰۴/۰۷	---	---
تهیه کننده	تأیید کننده	تصویب کننده	
دفتر مهندسی و راهبری	مدیر کل دفتر مهندسی و راهبری	معاون هماهنگی توزیع	
شبکه - معاونت مهندسی	شبکه - مسعود صادقی خمایی	غلامعلی رخشانی مهر	
امضاء:	امضاء:	امضاء:	



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- دامنه کاربرد دستورالعمل
۱	۲- مراجع اصلی در تدوین دستورالعمل
۱	۳- تعاریف
۳	۴- جایگاه مطالعات در شرکت های توزیع
۶	۵- مطالعات نیازمند محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه
۶	۵-۱- کاربرد محاسبات پخش بار
۱۰	۵-۲- کاربرد محاسبات اتصال کوتاه
۱۲	۶- اطلاعات ورودی مورد نیاز
۱۳	۶-۱- الزامات مدل سازی دک مطالعاتی
۱۵	۶-۲- الزامات کانورت اطلاعات شبکه از سیستم GIS به نرم افزارهای مطالعاتی
۲۲	۶-۳- الزامات اطلاعات استاتیکی نرم افزارهای مطالعاتی جهت انجام محاسبات (پخش بار و اتصال کوتاه)
۳۰	۶-۴- مدل سازی بار شبکه فشار متوسط
۳۶	۶-۵- صحت سنجی اطلاعات دینامیکی
۳۷	۷- پیوست ها
۷۲	۸- فهرست منابع و مراجع
۷۵	۹- اعضاء کارگروه تهیه کننده دستورالعمل



فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱: جایگاه مطالعات در شرکت های توزیع
۵	شکل ۲: نمای سامانه مطالعات شبکه توزیع: ویرایش اول (محاسبات اتصال کوتاه و پخش بار)
۸	شکل ۳: مطالعاتی که نیاز به انجام محاسبات پخش بار دارند
۲۲	شکل ۴: نحوه هماهنگی بین کاربر، GIS، Developer و ماژول کانورت
۴۴	شکل پ ۱-۱: تحلیل کننده نتایج برای مقایسه چند مطالعه
۴۵	شکل پ ۲-۱: تحلیل کننده نتایج برای شناسایی بدترین حالت
۴۹	شکل پ ۱-۲: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مدل
۵۰	شکل پ ۲-۲: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مطالعات سیستم



فهرست جداول

صفحه

عنوان

۹	جدول ۱: اقداماتی که انجام محاسبات پخش بار در آن ها الزامی است
۱۲	جدول ۲: مطالعاتی که انجام محاسبات اتصال کوتاه در آن ها الزامی است
۱۶	جدول ۳: اطلاعات پایگاه داده GIS براساس مدل مفهومی
۲۳	جدول ۴: داده های مورد نیاز ژنراتور برای محاسبات پخش بار
۲۴	جدول ۵: داده های مورد نیاز ژنراتور برای محاسبات اتصال کوتاه
۲۵	جدول ۶: داده های مورد نیاز ترانسفورماتورها برای محاسبات پخش بار
۲۵	جدول ۷: داده های مورد نیاز ترانسفورماتورها برای محاسبات اتصال کوتاه
۲۶	جدول ۸: داده های مورد نیاز خطوط برای محاسبات پخش بار
۲۶	جدول ۹: داده های مورد نیاز خطوط برای محاسبات اتصال کوتاه
۲۶	جدول ۱۰: داده های مورد نیاز بارهای موجود در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه
۲۷	جدول ۱۱: داده های پایه ای کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات پخش بار
۲۸	جدول ۱۲: داده های مورد نیاز کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات اتصال کوتاه
۲۹	جدول ۱۳: داده های مورد نیاز خازن در شبکه برای محاسبات پخش بار
۲۹	جدول ۱۴: داده های مورد نیاز باس (شین) در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه
۲۹	جدول ۱۵: داده های مورد نیاز شین مرجع در شبکه برای محاسبات پخش بار
۲۹	جدول ۱۶: داده های مورد نیاز شین مرجع در شبکه برای محاسبات اتصال کوتاه
۳۲	جدول ۱۷: نوع مدل سازی بار برای انجام اقدامات مختلف مطالعاتی در شبکه
۳۳	جدول ۱۸: منابع اطلاعاتی جهت مدل سازی بار شبکه
۳۴	جدول ۱۹: انواع سطوح روئیت پذیری شبکه فشار متوسط
۳۵	جدول ۲۰: انواع روش های مدل سازی بار در پیک بار سالانه
۴۰	جدول پ ۱-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات نیم سیکل شبکه
۴۰	جدول پ ۲-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۱,۵ تا ۴ سیکل شبکه
۴۰	جدول پ ۳-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۳۰ سیکل شبکه
۴۲	جدول پ ۴-۲: ضرایب C برای شرایط مختلف ولتاژی مدنظر کاربر
۶۸	جدول پ ۱-۱: مقایسه روش های پخش بار



۱- دامنه کاربرد دستورالعمل

دامنه این دستورالعمل انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه در فیدرهای فشار متوسط شبکه های توزیع برق است. در این دستورالعمل مشخص خواهد شد که شرکت های توزیع باید در چه مطالعاتی از محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه استفاده کنند و همچنین چارچوب انجام این محاسبات (شامل نحوه تهیه دک، مدل سازی بار و صحت سنجی اطلاعات) نیز توضیح داده شده است. همچنین مشخص می شود که نرم افزار/نرم افزارهایی که توسط شرکت های توزیع به منظور انجام این محاسبات مورد استفاده قرار می گیرد، باید دارای چه ویژگی های باشند. موارد بیان شده در این دستورالعمل می تواند توسط شرکت های توسعه دهنده نرم افزاری به منظور توسعه نرم افزارهای مناسب برای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مراجع اصلی در تدوین دستورالعمل

در این دستورالعمل از استانداردهای IEEE Std 3002.3TM-2018 و IEEE Std 3002.2TM-2018 به عنوان مراجع اصلی استفاده شده اند.

۳- تعاریف

محاسبات پخش بار: تحلیل حالت ماندگار شبکه با هدف بررسی یا پیش بینی وضعیت ولتاژ باس ها و جریان خطوط براساس اطلاعات مورد نیاز.

محاسبات اتصال کوتاه: تحلیل شبکه در هنگام وقوع خطا به منظور بررسی یا پیش بینی جریان خطا براساس اطلاعات مورد نیاز.

مطالعات نیازسنجی: انواع مطالعاتی که جهت بررسی وضعیت شبکه به منظور تعیین نیازهای آن انجام می شود.

برنامه ریزی فنی: انواع مطالعات مانند احداث و اصلاح شبکه و همچنین مطالعات مختلف جایی که با هدف دستیابی به تصمیم بهینه جهت برطرف کردن نیازهای شبکه انجام می شود.

اطلاعات استاتیک: مجموعه ای از اطلاعات که در حالات مختلف بهره برداری از شبکه ثابت هستند مانند محل، نوع و سائز تجهیزات که از پایگاه اطلاعاتی GIS و پایگاه داده اطلاعات فنی قابل استخراج است.

اطلاعات دینامیک: مجموعه ای از اطلاعات که در حالات مختلف بهره برداری از شبکه متغیر هستند مانند اطلاعات بارهای شبکه و وضعیت کلیدها که معمولاً با اندازه گیری و پایش شبکه استخراج می گردند.

پایگاه داده اطلاعات فنی: پایگاهی است حاوی اطلاعات فنی مربوط به تجهیزات شبکه که به همراه اطلاعات موجود در GIS، اطلاعات استاتیکی مورد نیاز محاسبات را تکمیل می کند.

دک مطالعاتی: مدل الکتریکی سیستم توزیع شامل اطلاعات استاتیکی و دینامیکی آن که جهت شبیه سازی رفتار شبکه در نرم افزاری مناسب تهیه شده است.

دک بهره برداری: منظور دکی است که وضعیت شبکه بهره برداری شده در یک زمان خاص مانند پیک بار را نشان می دهد.

دک برنامه ریزی: منظور دکی است که براساس نوع مطالعات با پیش بینی تغییرات اطلاعات استاتیکی یا دینامیکی شبکه (مانند پیش بینی تجهیزات جدید یا رشد بار) و اعمال آنها به دک بهره برداری، به دست می آید.

کانورت اطلاعات: تبدیل اطلاعات موجود در پایگاه های اطلاعاتی مختلف به اطلاعات قابل فهم برای نرم افزار مطالعاتی.

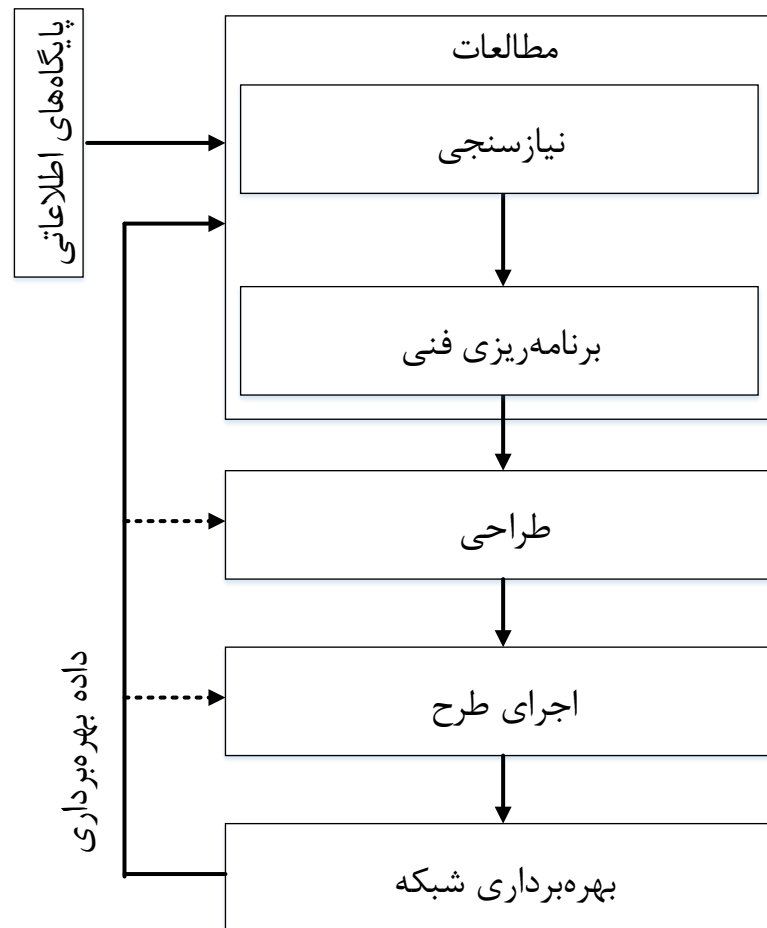
مدل سازی بار شبکه: محاسبه و تخمین اطلاعات مورد نیاز هر یک از بارهای شبکه با استفاده از اطلاعات در دسترس (مانند بار ابتدای فیدر) جهت انجام مطالعات مختلف.



۴- جایگاه مطالعات در شرکت های توزیع

مهم ترین هدف شرکت های توزیع، ارائه خدمات توزیع و فروش انرژی الکتریکی به مشترکین به صورت پایدار و با رویکرد اقتصادی است. به همین منظور شرکت های توزیع باید با توجه به نیازهای شبکه و محدودیت های موجود، تصمیمات بهینه ای را اتخاذ کنند. از آنجایی که انجام مطالعات و تحلیل شبکه به منظور تأمین اقتصادی و فنی نیازهای شبکه از اهمیت بالایی برخوردار است، جاری سازی این مطالعات در شرکت های توزیع هدف اصلی این دستورالعمل است. جایگاه مطالعات در شرکت های توزیع در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل نشان داده شده، شرکت های توزیع به منظور شناسایی و رفع نیازهای خود که می تواند تأمین بار متقاضیان جدید و یا بهبود شاخص های شبکه مانند تلفات و ولتاژ باشد، نیازمند مطالعه و تحلیل شبکه هستند. نتایج مطالعات وارد حوزه طراحی شده^۱ و پس از تهیه طرح و اجرای آن، شبکه مورد بهره برداری قرار می گیرد. سپس شبکه مورد بهره برداری به صورت مستمر پایش شده که براساس داده های آن و دیگر داده های جمع آوری شده از پایگاه های اطلاعاتی (مانند داده های واحد مشترکین)، مشکلات و نیازهای شبکه مشخص خواهد شد تا براساس آن ها اقدامات لازم صورت گیرد. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده در برخی مواقع ممکن است پس از شناسایی نیازهای شبکه در بهره برداری بدون انجام مطالعات، مراحل مربوط به طراحی و اجرای طرح صورت گیرد. از آنجایی که انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه از ارکان اصلی مطالعات در شبکه های توزیع است، ویرایش اول این دستورالعمل نحوه پیاده سازی این محاسبات در فرآیندهای شرکت های توزیع را تبیین می کند.

^۱ در شکل ۱ منظور از مطالعات در قسمت مربوط به برنامه ریزی فنی، مطالعات بهینه سازی در حوزه زمانی میان مدت و بلندمدت است که براساس آن در مورد راه حل مناسبی مانند خازن گذاری یا ایجاد نقاط مانور برای رفع نیازهای شبکه (مانند تلفات یا افت ولتاژ) تصمیم گیری می شود. علاوه بر این ممکن است نیاز باشد که در زمان طراحی نیز محاسباتی مانند محاسبات مکانیکی، روشنایی و افت ولتاژ صورت گیرد که این بخش از محاسبات خارج از محدوده این دستورالعمل است.

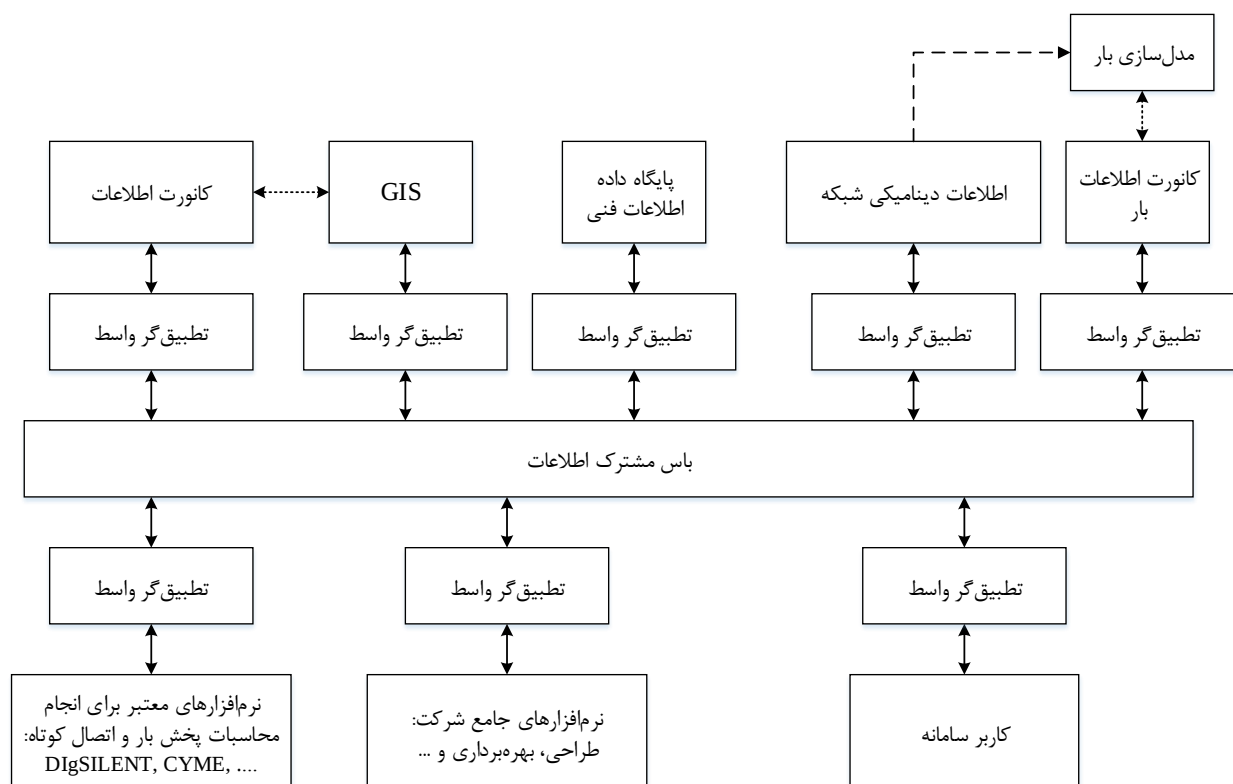


شکل ۱: جایگاه مطالعات در شرکت های توزیع

نمایی از دیاگرام پیشنهادی مطالعات شبکه توزیع که بیانگر ارتباطات بین بانک های اطلاعاتی مختلف است، در شکل ۲ نشان داده شده است. به منظور انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه به اطلاعات استاتیکی، دینامیکی و اطلاعات فنی تجهیزات نیاز است که جزئیات آن ها در بخش ۵ بیان شده است. اطلاعات استاتیکی موجود در GIS و نتایج حاصل از مدل سازی بار کانتور شده و این اطلاعات از طریق تطبیق گر واسطه^۱ بر روی باس مشترک اطلاعات قرار می گیرند. به منظور انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه، این اطلاعات وارد نرم افزارهای معتبر مورد استفاده توسط شرکت های توزیع می شوند و پس از انجام محاسبات، خروجی های مورد نیاز

¹ Interface adapter

از نرم افزار استخراج شده و جهت نمایش خروجی مطالعات در نرم افزارهای جامع مهندسی و بهره برداری بر روی باس مشترک اطلاعات قرار خواهند گرفت.



شکل ۲: نمای سامانه مطالعات شبکه توزیع: (محاسبات اتصال کوتاه و پخش بار)

در بخش بعدی مشخص خواهد شد که در چه مطالعاتی در شرکت های توزیع باید از محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه استفاده شود. در بخش پنجم نحوه تهیه دک مطالعاتی و صحت سنجی اطلاعات بررسی خواهد شد. در پیوست ۱ ویژگی های نرم افزارهای مورد استفاده برای انجام این محاسبات بیان شده است. در پیوست ۲ مفاهیم مربوط به صحت سنجی مدل و اطلاعات ارائه شده و انواع روش های و استانداردهای لازم برای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه نیز در پیوست ۳ آمده است.



۵- مطالعات نیازمند محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

شرکت های توزیع باید به صورت مستمر نیازهای شبکه مورد بهره برداری را شناسایی و به منظور رفع این نیازها تصمیمات مناسبی را اتخاذ نمایند. دستیابی به تصمیم بهینه نیازمند تحلیل فنی - اقتصادی مناسب بر روی شبکه با استفاده از ابزارهای محاسباتی مانند پخش بار و اتصال کوتاه است. بنابراین به منظور ارزیابی وضعیت شبکه و تعیین اقدامات بهینه نیاز است که محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه در مطالعات مختلفی به صورت زیر انجام شود.

۱-۵- کاربرد محاسبات پخش بار

محاسبات پخش بار زیربنای بسیاری از مطالعات شبکه های توزیع است که در آن جریان و ولتاژ بخش های مختلف شبکه محاسبه شده و براساس آنها می توان تصمیمات لازم را اتخاذ نمود. مطالعاتی در شرکت توزیع که نیاز است برای آنها محاسبات پخش بار انجام شوند، در شکل ۳ نشان داده شده است.

از محاسبات پخش بار می توان در دوا بخش مهم از فرآیند مطالعات در شرکت های توزیع به صورت زیر استفاده کرد:

۱- نیازسنجی شبکه: در این بخش، از محاسبات پخش بار به منظور بررسی وضعیت شبکه موجود شامل تعیین میزان تلفات، ولتاژ و... استفاده می شود؛ که در شرایط زیر انجام می شود:

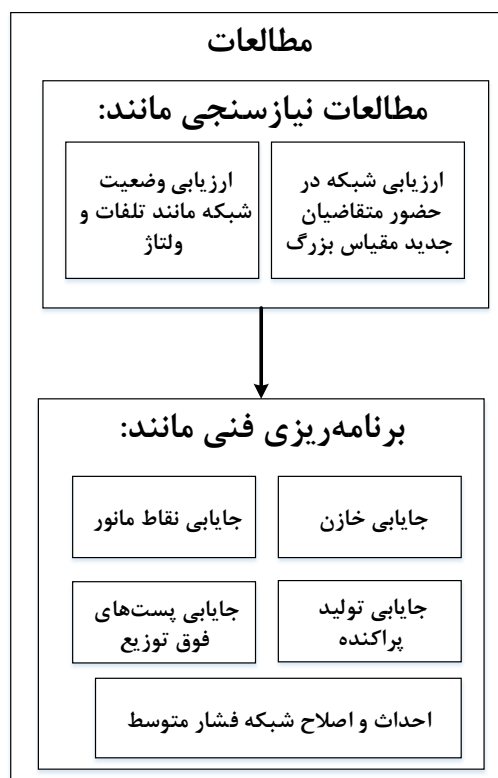
- ارزیابی دوره ای وضعیت تلفات و ولتاژ شبکه به منظور مشخص شدن نیازهای شبکه موجود
- پیش بینی وضعیت شبکه، در صورت تغییرات عمده در شبکه مانند اتصال متقاضیان جدید بزرگ مقیاس (بارهای جدید بیش از یک مگاوات یا منابع تولید پراکنده طرح ۲ و بالاتر) به شبکه موجود: به عنوان مثال در صورت وجود متقاضی جدید در شبکه آیا وضعیت تلفات و افت ولتاژ شبکه به نحوی تغییر خواهد کرد که نیاز به انجام اقدامی باشد.

۲- برنامه ریزی فنی: در این بخش پس از مشخص شدن نیازهای شبکه، تصمیم گیری در راستای تعیین اقدامات مناسب برای رفع این نیازها صورت می گیرد. این مطالعات شامل اصلاح و توسعه شبکه فشار متوسط، خازن- گذاری، جابجایی نقاط مانوری و ... است. در این بخش با توجه به نتایج پخش بار، وضعیت شبکه، محدودیتهای فنی و همچنین ملاحظات اقتصادی، تصمیمات بهینه اتخاذ می شود.

در واقع برنامه ریزی فنی حل یک مساله بهینه سازی با تابع هدف (مانند هزینه، تلفات و ...)، متغیرهای تصمیم گیری (ظرفیت، محل نصب و ...) و قیود (جریان و ولتاژ مجاز و ...) مشخص است؛ که کاربر با بررسی و تحلیل نتایج حالات مختلف، متغیرهای بهینه را انتخاب می نماید. ابزار اصلی برای حل این مسئله بهینه سازی محاسبات پخش بار است که توسط نرم افزار مناسب صورت می گیرد و براساس آن مقدار تابع هدف مانند تلفات مشخص شده و همچنین قیود فنی شبکه در هر حالت بررسی می شود. با توجه به اینکه در بسیاری از مطالعات چندین متغیر تصمیم گیری وجود دارد می توان مسائل برنامه ریزی فنی را از این دیدگاه به دو صورت انجام داد:

- با توجه به قابلیت های موجود در برخی از نرم افزارها، می توان متغیرهای تصمیم گیری مختلف را برای نرم افزار تعریف کرد و نرم افزار با انجام مسئله پخش بار، جواب بهینه را به دست آورد. به طور مثال در مسئله خازن گذاری در شبکه می توان مکان ها و یا ظرفیت های کاندید را برای خازن مشخص کرد و سپس ماژول خازن گذاری نرم افزار مورد استفاده (مانند DIgSILENT) این قابلیت را دارد که حالت های مختلف را بررسی و در نهایت مکان بهینه را انتخاب کند.
- در برخی دیگر از مطالعات نیاز است متغیرهای تصمیم گیری هر بار توسط کاربر در نرم افزار مربوطه وارد شود و سپس با انجام محاسبات پخش بار نتایج حاصل از این انتخاب به دست آید. سپس کاربر می تواند با تحلیل نتایج، انتخاب بهینه خود را انجام دهد. به طور مثال در جابجایی نقاط مانور، کاربر می تواند نقاط

کاندید مختلف را در نرم افزار شبیه سازی وارد کند و پس از انجام پخش بار نتایج را با هم مقایسه کند و در نهایت نقطه کاندید مناسب را انتخاب کند.



شکل ۳: مطالعاتی که نیاز به انجام محاسبات پخش بار دارند

با توجه به موارد ذکر شده مطالعاتی که انجام محاسبات پخش بار در آنها الزامی است، در جدول ۱ نشان داده شده اند.

جدول ۱: اقداماتی که انجام محاسبات پخش بار در آن ها الزامی است

دوره زمانی مطالعات	اقدامات	
در زمان درخواست متقاضی	ارزیابی وضعیت شبکه به منظور برق رسانی به متقاضیان جدید بالای یک مگاوات	مطالعات نیازسنجی
در زمان بررسی طرح اتصال	ارزیابی وضعیت شبکه به منظور اتصال تولید پراکنده ^۱ جدید	
حداقل یک بار در سال (این زمان می تواند بعد از گذر از پیک سالانه باشد)	ارزیابی وضعیت تلفات شبکه فشار متوسط موجود	
حداقل یک بار در سال (این زمان می تواند بعد از گذر از پیک سالانه باشد)	ارزیابی وضعیت ولتاژ شبکه فشار متوسط موجود	
-	احداث و اصلاح شبکه فشار متوسط به منظور تامین برق متقاضیان جدید بالای یک مگاوات	برنامه- ریزی فنی
-	احداث و اصلاح شبکه فشار متوسط به منظور کاهش تلفات شبکه	
-	احداث و اصلاح شبکه فشار متوسط به منظور رفع ضعف ولتاژ شبکه	
-	جایابی پست های فوق توزیع	
-	جایابی نقاط مانوری شبکه	
-	جایابی ادوات کنترل توان راکتیو	
-	جایابی منابع تولید پراکنده ^۲	

روش های مختلفی برای انجام پخش بار وجود دارند که در پیوست ۳ به طور کامل توضیح داده شده اند. همچنین نرم افزاری که به منظور انجام محاسبات پخش بار مورد استفاده قرار می گیرد باید دارای شرایط حداقلی باشد که در پیوست ۱ به آن اشاره شده است.

^۱ در اینجا منظور تولید پراکنده ای است که توسط سرمایه گذار خصوصی به منظور نصب در شبکه پیشنهاد می شود و شرکت توزیع دخالتی بر روی مکان بهینه نصب آن ندارد و صرفاً وضعیت شبکه را در هنگام اتصال تولید پراکنده ارزیابی می کند.

^۲ در اینجا منظور حالتی است که شرکت توزیع بخواهد به منظور بهبود شاخص های شبکه، مکان یابی بهینه تولید پراکنده را انجام دهد.

۲-۵- کاربرد محاسبات اتصال کوتاه

محاسبات اتصال کوتاه وضعیت شبکه در هنگام وقوع خطای اتصال کوتاه را بررسی می کند. در این محاسبات، جریان اتصال کوتاه بخش های مختلف شبکه محاسبه شده و براساس آن ها و همچنین میزان بار می توان تصمیمات لازم (مانند هماهنگی حفاظتی و سایزینگ تجهیزات) را اتخاذ نمود. از محاسبات اتصال کوتاه می توان در دو بخش از فرآیند مطالعات در شرکت های توزیع به صورت زیر استفاده کرد:

۱- نیازسنجی شبکه: در این بخش، از محاسبات اتصال کوتاه به منظور بررسی وضعیت شبکه از نظر جریان های اتصال کوتاه به صورت زیر می توان استفاده کرد.

- ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه هنگام برق رسانی به متقاضیان جدید بزرگ مقیاس از آنجایی که بسیاری از متقاضیان مقیاس بزرگ (بزرگتر از یک مگاوات) مجهز به بارهای موتوری شامل موتورهای سنکرون و القایی هستند و این موتورها می توانند نقش به سزایی در تأمین جریان اتصال کوتاه داشته باشند، لذا هنگام پیوستن این متقاضیان به شبکه توزیع، محاسبات اتصال کوتاه باید مجدداً انجام شده تا از صحت تنظیمات تجهیزات حفاظتی و کفایت قدرت قطع کلیدها اطمینان حاصل شود.

- ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام اتصال تولید پراکنده جدید اتصال منابع تولید پراکنده (طرح ۲ و بالاتر) به شبکه می تواند منجر به تغییر سطح اتصال کوتاه شبکه توزیع شده و در این حالت بررسی مجدد شبکه ضروری است.

- ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام تغییر توپولوژی شبکه



هنگام تغییر توپولوژی شبکه^۱ (به طور مثال جابه جایی بخشی از شبکه بین دو فیدر) نیاز است که وضعیت اتصال کوتاه شبکه جدید مجدداً بررسی شود.

۲- برنامه ریزی فنی: در این بخش پس از مشخص شدن نیازهای شبکه، تصمیم گیری در راستای تعیین اقدامات مناسب برای رفع این نیازها صورت می گیرد. این مطالعات به دو منظور انجام می شود:

- تعیین مکان و ظرفیت بهینه تجهیزات حفاظتی

اگر در اثر ارزیابی وضعیت شبکه نیاز باشد تجهیزات حفاظتی جدیدی در شبکه نصب شوند، مشخص کردن مکان و ظرفیت بهینه این تجهیزات نیازمند انجام محاسبات اتصال کوتاه است.

- هماهنگی حفاظتی

به منظور بررسی هماهنگی تجهیزات حفاظتی موجود در شبکه (در اثر تغییرات بزرگ در شبکه) و یا هماهنگی حفاظتی در صورتی که تجهیز حفاظتی جدیدی به شبکه اضافه شود نیاز است که محاسبات اتصال کوتاه انجام شود.

در مجموع می توان کاربرد محاسبات اتصال کوتاه را به صورت جدول ۲ نشان داد.

^۱ در اینجا منظور از تغییر توپولوژی شبکه، ایجاد تغییر جدیدی در شبکه است که متفاوت از انجام مانور است. در واقع در مسئله مانور از قبل سناریوهای مختلف بهره برداری برای فیدرهای مختلف مشخص شده و باید براساس آنها محاسبات اتصال کوتاه برای تمامی سناریوها انجام شده باشد.

جدول ۲: مطالعاتی که انجام محاسبات اتصال کوتاه در آنها الزامی است

اقدامات	دوره زمانی مطالعات
ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام برق رسانی به متقاضیان جدید بالای یک مگاوات	در زمان درخواست متقاضی
ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام اتصال تولید پراکنده جدید	در زمان بررسی طرح اتصال
ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام تغییر توپولوژی شبکه	در زمان تغییر توپولوژی شبکه
محاسبات اتصال کوتاه مورد نیاز برای مطالعات کیفیت توان شبکه	-
هماهنگی حفاظتی	-
تعیین مکان و ظرفیت بهینه تجهیزات حفاظتی جدید	-
برنامه ریزی فنی	

روش های مختلفی برای انجام محاسبات اتصال کوتاه وجود دارند که در پیوست ۱ به طور کامل توضیح داده شده اند. همچنین نرم افزاری که به منظور انجام محاسبات اتصال کوتاه مورد استفاده قرار می گیرد باید دارای شرایط حداقلی باشد که در پیوست ۲ به آن اشاره شده است.

۶- اطلاعات ورودی مورد نیاز

برای تشکیل مدل نرم افزاری سیستم توزیع به جمع آوری مقادیر قابل توجهی اطلاعات استاتیک و دینامیک و ورود آن به نرم افزار مطالعات سیستم نیاز است، که اصطلاحاً به آن "**دک مطالعاتی**" اطلاق می گردد. بدیهی است دقت هر کدام از این عوامل به ویژه اطلاعات مربوط به بهره برداری شبکه که ذاتاً اطلاعات متغیری است و عمدتاً به صورت همزمان یا در مواردی به صورت غیرهمزمان (جهت بررسی حوادث) تهیه می گردد، می تواند روی نتایج خروجی مطالعات تأثیر قابل توجهی داشته باشد. لذا اهداف این فصل عبارتند از:

۱- هماهنگی و وحدت رویه در نحوه تهیه دک مطالعاتی مورد استفاده در مطالعات شبکه توزیع برق.

۲- ایجاد پایگاه داده مشترک و ارائه نحوه بروزرسانی دوره ای و بازه زمانی اعتبار دک مطالعاتی با توجه به تغییر و توسعه شبکه.

۳- بکارگیری روش استاندارد در فرآیند تهیه دک مطالعاتی و ثبت اطلاعات مورد نیاز.

۴- ارائه الزامات تهیه یک دک مطالعاتی استاندارد برای شبکه توزیع برق.

بدیهی است در صورت رسیدن به این اهداف مشترک که ممکن است زمان بر نیز باشد، دک معتبری حاصل خواهد شد که نتایج هرگونه مطالعات انجام گرفته، انعکاس دهنده اطلاعات واقعی شبکه توزیع خواهد بود. در این صورت رسیدن به اهداف مورد نظر جهت تصمیم گیری های مهندسی در حوزه های مختلف کاری شرکت- های توزیع برق امکان پذیر است. در این بخش هدف ارائه دک مطالعاتی به منظور انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه است.

۶-۱- الزامات مدل سازی دک مطالعاتی

مهم ترین مراحل جهت تهیه دک مطالعاتی شبکه را می توان به شرح زیر بیان نمود:

۱) تهیه اطلاعات گرافیکی و الکتریکی تجهیزات تشکیل دهنده شبکه توزیع برق که در انجام مطالعات مورد نظر در شبکه تأثیر دارند، شامل: فیدرها، خطوط هوایی و زمینی، ترانسفورماتورها، کلیدها، منابع تولید پراکنده، موقعیت بارها و ... که به عبارتی می توان این مرحله را مدل سازی توپولوژی شبکه عنوان نمود. بدیهی است با توجه به توسعه یا تغییر در ساختار شبکه، لازم است اطلاعات عناصر تشکیل دهنده شبکه توزیع در قالب ساختار شبکه مورد مطالعه و از طریق مازول کانورت اطلاعات که الزامات آن در بخش ۵-۲ اشاره شده است، به نرم افزار مطالعاتی کانورت گردد. این بخش از اطلاعات عموماً از طریق سیستم GIS قابل دستیابی است.

۲) تهیه پایگاه داده فنی مربوط به پارامترهای فنی تجهیزات که در انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه در شبکه نقش دارند، شامل اطلاعات شبکه بالادستی (شین مرجع)، پارامترهای فنی خطوط، ترانسفورماتورها، کلیدها و ...

عموماً اطلاعات پارامترهای فنی تجهیزات در بانک اطلاعات GIS موجود نیست و لازم است براساس نوع تجهیز، سازنده، پارامترهای بهره برداری و ... و براساس داده های فنی موجود برای این تجهیزات در بانک اطلاعاتی مورد نیاز نرم افزار جهت انجام مطالعات نگهداری گردد. بدیهی است این اطلاعات یک بار تهیه و در صورت اضافه شدن تجهیز جدید یا تیپ های جدید به شبکه لازم است پارامترهای فنی آن در بانک اطلاعاتی مورد نظر بروزرسانی گردد.

۳) تهیه اطلاعات دینامیکی تجهیزات شبکه که عموماً در شبکه توزیع برق شامل آخرین وضعیت کلیدها و ساختار شبکه، تغییر در وضعیت نقاط مانوری شبکه و ... است که در مطالعات نقش مهمی دارد. با توجه با اینکه در شبکه های توزیع برق، تغییر در وضعیت کلیدها یا ساختار شبکه ممکن است باعث به وجود آمدن نتایج مختلف برای مطالعات شود، لذا لازم است تمامی سناریوهای ممکن برای شبکه ناشی از تغییر وضعیت این تجهیزات مورد بررسی قرار گیرد.

۴) تهیه اطلاعات بارهای شبکه: اطلاعات هر یک از بارهای شبکه (مانند پیک بار یا بار سه سطحی) با توجه به نوع مطالعات مختلف و اطلاعات در دسترس، از روش های مختلفی تهیه می شود.

لازم است شرکت های توزیع دک مطالعاتی مورد نیاز خود را حداقل یک بار در سال جهت انجام مطالعات آماده کنند. این دک که بهتر است مربوط به زمان پیک بار شبکه باشد را دک بهره برداری می نامیم. با توجه به توسعه احتمالی شبکه و تغییر اطلاعات استاتیک، اکیداً توصیه می گردد که مدل سازی بار شبکه در پیک سالانه در کمترین زمان ممکن پس از آن انجام و جهت استفاده در مطالعات بعدی ذخیره گردد. به منظور انجام



مطالعات مختلف، در برخی از موارد نیاز است که شرکت های توزیع دک بهره برداری خود را تغییر دهند تا براساس آن بتوانند رفتار شبکه را با اعمال تغییرات مختلف بررسی کنند. دکی که در این حالت و جهت انجام مطالعات به دست می آید، دک برنامه ریزی نامیده می شود. با توجه به اطلاعات ذخیره شده مربوط به آخرین پیک بار، لحاظ نمودن رشد بار و بارهای جدید، لازم است مدل سازی بار در دک برنامه ریزی انجام شود.

۲-۶- الزامات کانورت اطلاعات شبکه از سیستم GIS به نرم افزارهای مطالعاتی

با توجه به اینکه در دک مطالعاتی، توپولوژی شبکه و مدل سازی اطلاعات استاتیک شبکه با کانورت اطلاعات از نرم افزار GIS به نرم افزارهای مطالعاتی حاصل می شود؛ در این بخش، الزامات کانورت اطلاعات و ملاحظات ماژول مبدل مورد بررسی قرار می گیرد. در جدول ۳، اطلاعات موجود در پایگاه داده GIS در سطح ولتاژ فشار متوسط براساس مدل مفهومی GIS آورده شده است. همانطور که در جدول مشخص است، بعضی از این عناصر به صورت نقطه و بعضی دیگر به صورت خط مدل شده اند. با توجه به لزوم شناسایی تک تک تجهیزات کانورت شده از سیستم GIS به نرم افزارهای مطالعاتی، لازم است ماژول کانورت اطلاعات برای نام گذاری هر تجهیز در نرم افزار مطالعاتی از Object ID تجهیز در نرم افزار GIS استفاده نماید تا رابطه یک به یک بین دو سیستم به طور صحیح شناسایی گردد. در جدول ۳، در ستون آخر نام تجهیز پس از کانورت در نرم افزار محاسباتی آورده شده است.

جدول ۳: اطلاعات پایگاه داده GIS براساس مدل مفهومی

تجهیز موجود در نرم افزار GIS			
نام تجهیز	نام لاتین تجهیز	نوع تجهیز	نام تجهیز در نرم افزار محاسباتی
ریکلوزر	RECLOSER	نقطه	RECLOSER-Object ID
سکشنالایزر	SECTIONALIZER	نقطه	SECTIONALIZER-Object ID
اتوبوستر	AUTO_BOOSTR	نقطه	AUTO_BOOSTR-Object ID
سکسیونر	DISCNT_S	نقطه	DISCNT_S-Object ID
کات اوت	CUT_OUT	نقطه	CUT_OUT-Object ID
شین	BUSBAR	خط	BUSBAR-Object ID
کلید قدرت	CIRCT_BRK	نقطه	CIRCT_BRK-Object ID
مقره فشار متوسط	MV_ISOLATOR	نقطه	MV_ISOLATOR-Object ID
سرکابل فشار متوسط	MV_C_JNT	نقطه	MV_C_JNT-Object ID
جمپر فشار متوسط	MV_JUMPR	خط	MV_JUMPR-Object ID
خط فشار متوسط هوایی	OH_MV_LINE	خط	OH_MV_LINE-Object ID
کابل خودنگهدار فشار متوسط	SP_MV_CABLE	خط	SP_MV_CABLE-Object ID
خط فشار متوسط زمینی	UG_MV_LINE	خط	UG_MV_LINE-Object ID
ترانسفورماتور توزیع	DIST_TR	نقطه	DIST_TR-Object ID
مولد الکتریکی	DG	نقطه	DG-Object ID

به منظور کانورت صحیح اطلاعات از نرم افزار GIS به نرم افزارهای مطالعاتی، لازم است عملیات انتقال

اطلاعات توسط ماژول کانورت با رعایت الزامات زیر انجام شود:

۱- همان طور که اشاره شد لازم است همه تجهیزاتی که در جدول شماره ۳ آمده است، به همراه نام لاتین

تجهیز و Object ID آن در نرم افزار GIS به نرم افزار محاسباتی منتقل گردد.

۲- لازم است مدت زمان کانورت اطلاعات، با توجه به حجم شبکه و نوع مطالعه، زمان معقولی بوده و امکان

کانورت اطلاعات در هر لحظه برای انجام مطالعات وجود داشته باشد. این زمان بسته به سائز شبکه و کد برنامه-

نویسی متغیر است و معمولاً یک شبکه متوسط باید در این بین اندازه گیری شود و وظایف Providerها است که

اندازه گیری این مقادیر که جزوه عملکرد برنامه است را در مستنداتشان ارائه کنند.

۳- لازم است مواردی که نیاز به تأمل کاربر دارد و نمی داند آیا برنامه در حال اجرا است یا هنگ کرده است، توسط اسلاید و زمان نمای لغزنده به کاربر نشان داده شود.

۴- اطلاعات مکانی تجهیزات باید به همان شکلی که در نرم افزار GIS وجود دارد منتقل گردد؛ به عبارتی موقعیت عوارض مختلف، گراف شبکه به همراه تمامی ورتکس ها، نقاط شکست خطوط و ... به درستی به نرم افزار مطالعاتی منتقل گردد.

۵- اطلاعات توصیفی تجهیزات مختلف مطابق با مدل مفهومی توانیر در فایل تبدیل شده، نگاشت شود.

۶- مازول کانورت اطلاعات لازم است منطق های الکتریکی و جغرافیایی (GIS) را برای اصلاح خطاهای اپراتوری در نرم افزار GIS و جلوگیری از انتقال آن به نرم افزار محاسباتی رعایت نماید؛ بدین صورت که به هنگام کانورت اطلاعات لیستی از خطاهای موجود شامل خطاهای هندسی ترسیم، خطاهای منطق الکتریکی شبکه و خطاهای توصیف تجهیزات را در اختیار کاربر قرار داده تا قبل از انتقال به نرم افزار محاسباتی، در نرم افزار GIS اصلاح گردد. لیستی از مواردی که لازم است به هنگام کانورت اطلاعات مورد بررسی قرار گیرد و در صورت وجود ایراد به عنوان هشدار برای اصلاح به کاربر داده شود به قرار زیر است:

- بررسی صحت اتصال (اسنپ شدن) تجهیزات به یکدیگر
- بررسی ورود فیلدهای اطلاعاتی مورد نیاز برای تجهیزات مختلف که در نرم افزار محاسباتی مورد نیاز است.
- بررسی عدم اتصال مستقیم تجهیزات در سطوح ولتاژ مختلف به یکدیگر
- مشخص نمودن نقاط بی برقی، دارای حلقه جریان و ...

- ارائه لیست اطلاعات و تجهیزاتی که به هر دلیلی در کانورت اطلاعات منتقل نمی شود؛ به عنوان مثال تجهیزاتی در نرم افزار GIS وجود دارند که منطبق با آن در نرم افزار محاسباتی تجهیز وجود ندارد.
- بررسی کیفیت داده: مازول کانورت باید مجموعه ای از معیارهای را به صورت زیر به منظور ارزیابی کیفیت داده ها در نظر بگیرد:
 - ❖ محدودیت های مجاز برای داده ها: معمولاً اعداد یا تاریخ ها باید در یک محدوده خاصی قرار بگیرند. یعنی آنها حداقل و یا حداکثر مقادیر مجاز را دارند.
 - ❖ محدودیت های اجباری: برخی از فیلدها نمی توانند خالی باشند.
 - ❖ محدودیت های کلید خارجی: اطلاعات پایه (Lookup Table) یک فیلد در فیلدی از جدول دیگر تعریف شده است. مقادیر عددی اطلاعات پایه با مقادیر جداول اطلاعات پایه در نرم افزارهای محاسباتی ممکن است متفاوت باشد. به دو صورت امکان نگاشت اطلاعاتی وجود دارد.
- لازم است نگاشت عددی جدول پایه بعد از کانورت GIS و ارسال به واحد محاسباتی به مقدار متناظر عددی جدول پایه واحد محاسباتی انجام شود. (ضروری است برای اطلاعات پایه در هر یک از نرم افزارهای محاسباتی مورد استفاده برای تجهیزات شبکه، جداول یکسانی در اختیار شرکت های توزیع و Providers آنان قرار گیرد. تا نگاشت انجام شده بطور واحد در همه نرم افزارها انجام گیرد). در این حالت نیاز است موارد زیر چک شود:
- صحت سنجی: اطمینان از انتقال اطلاعات اصلی از مبدا به مقصد، بطوری که بین داده اصلی و داده منتقل شده هیچ تفاوتی وجود نداشته باشد.

- تبدیل داده ها: تبدیل داده ها اجازه می دهد تا داده ها از قالب داده شده آن به فرمت مورد انتظار برنامه مناسب ترسیم شوند. این شامل تبدیل مقادیر یا توابع ترجمه و همچنین عادی سازی مقادیر عددی برای انطباق با حداقل و حداکثر مقادیر است. (مانند per unit و مقادیر عددی).
- ۷- پس از اتمام کانورت، مازول مبدل اطلاعات می بایست، لیستی از تجهیزات منتقل شده به همراه تعداد آن را بصورت یک جدول در اختیار کاربر قرار دهد.
- ۸- لازم است مازول کانورت اطلاعات قابلیت کانورت اطلاعات بصورت فیدر به فیدر، چند فیدر باهم، یک قسمت از یک فیدر، یک یا چند پست فوق توزیع به همراه فیدرهای آن، یک یا چند منطقه برقی، یک محدوده مشخص و انتخابی را داشته باشد.
- ۹- مازول کانورت قابلیت انتخاب بخشی یا بخش هایی از شبکه مورد نیاز برای محاسبات را در اختیار واحدهای محاسباتی قرار دهد.
- ۱۰- لازم است مازول کانورت اطلاعات برای تجهیزات مختلف Type و کتابخانه اطلاعاتی ایجاد نماید. باید توجه داشت که کتابخانه اطلاعاتی و Type براساس فیلدهای اطلاعاتی تکمیل شده در نرم افزار GIS ایجاد شده و برای یک تجهیز برحسب اطلاعات تکمیل شده در نرم افزار GIS، Type های مختلفی ایجاد گردد. به عنوان مثال برای یک ترانسفورماتور با ظرفیت مشخص، برحسب سازنده، مدل، سال ساخت و ...، Type های مختلف ایجاد گردد. در این حالت نیاز است محدودیت های کلید خارجی رعایت شود.
- ۱۱- لازم است مازول کانورت GIS، امکان ارتباط با سامانه های ارائه دهنده آخرین وضعیت اطلاعات دینامیکی شبکه مانند وضعیت کلیدها و اطلاعات بار را داشته باشد.
- ۱۲- کانورت تجهیز MOF به نرم افزار محاسباتی برای مطالعات جاری لزومی ندارد و مدل سازی این تجهیز به صورت یک بار ولتاژ اولیه در همان مکان کافی است.



۱۳- برای هماهنگی بین وظایف GIS, Developer و ماژول کانورت نیاز به لاگ فایل^۱ است (شکل ۴). در

فرآیند ماژول کانورت نیاز به لاگ فایل در دو حالت است:

الف) ثبت وقایع مبتنی بر تراکنش: ایجاد لاگ فایل در:

❖ زمانی که بخشی از شبکه در GIS توسط کاربر به Developer ارسال می شود.

❖ زمانی که Developer شبکه را دریافت می کند.

❖ زمانی که Developer شبکه را به ماژول کانورت ارسال می کند.

❖ زمانی که Developer عملیات کانورت را به اتمام می رساند.

ب) ثبت وقایع مبتنی بر رویداد: به ازای هر رویداد که باعث عملکرد نادرست، خطای نرم افزاری و یا از

کار افتادن نرم افزار شود، در log مقادیر زیر ایجاد شود و هریک از ماژول های GIS و کانورت موظف به

ارسال سیگنال Acknowledge به برنامه توسعه دهنده و کاربر هستند.

❖ نام کاربر

❖ تاریخ شروع درخواست: تاریخ شروع بازه

❖ پیغام خطا

❖ تاریخ پایان خطا

برخی دیگر از الزماتی که در این بخش باید رعایت شود به صورت زیر است:

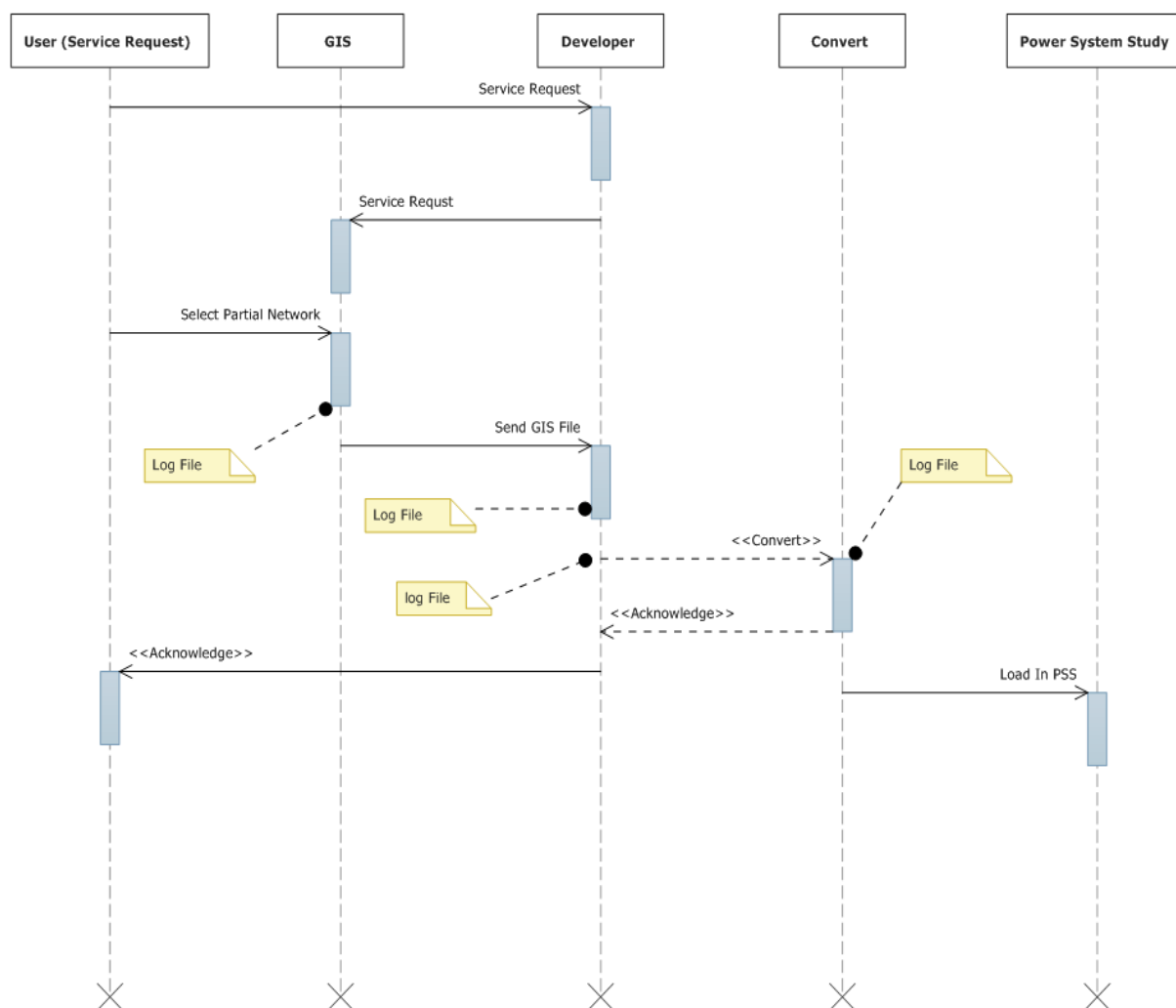
- مدیریت لاگ برای نمایش و دیدن اطلاعات در log files هر دو سمت ضروری است.
- کلیه فرآیند کانورت و محاسبات الکتریکی در صورت درخواست کاربر نیازی به انتقال فایل توسط کاربر ندارد.

¹ Log file



- مکانیزم فرآیند به دو صورت می تواند انجام شود:
- الف) کانورت توسط GIS provider انجام شده و فایل کانورت شده به Developer ارسال می گردد.
- ب) کانورت توسط شرکت Developer انجام می شود.
- در صورت درخواست کاربر برنامه واحدهای محاسباتی توسط Developer به صورت اتوماتیک اجرا شده و توسط Engine نرم افزار محاسباتی، فایل کانورت شده در محیط نرم افزار محاسباتی بارگذاری می شود.
- در هریک از فرآیندهایی که نیاز به بیش از ۵ ثانیه است، فرم Waiting با زمان تقریبی اتمام فرآیند و زمان فرآیند طی شده نمایش داده شود.
- نتایج محاسبات برای نمایش ارسال گردد.
- نقشه ها باید به روز شوند.

محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه



شکل ۴: نحوه هماهنگی بین کاربر، GIS، Developer و مازول کانورت

۳-۶- الزامات اطلاعات استاتیکی نرم افزارهای مطالعاتی جهت انجام محاسبات (پخش بار و اتصال

(کوتاه)

در این بخش از دستورالعمل، الزامات و نیازمندی های اطلاعات استاتیکی نرم افزارهای مطالعات شبکه ارائه می گردد. با توجه به اینکه بخش عمده ای از اطلاعات استاتیک مورد نیاز نرم افزارهای مطالعاتی از سیستم GIS تأمین می گردد، در جداول اطلاعاتی هر تجهیز، فیلد اطلاعاتی معادل در نرم افزار GIS ارائه شده است. برای

اطلاعات کتابخانه ای تجهیزات مورد استفاده در شبکه توزیع شامل اطلاعات فنی براساس Type تجهیزات و اطلاعات بهره برداری، ترجیحاً لازم است یک پایگاه داده اطلاعات فنی و بهره برداری براساس Type های مختلف از تجهیزات مورد استفاده در شبکه توزیع ساخته شده و در نرم افزارهای مطالعاتی فراخوانده شود. ارتباط بین این پایگاه داده و اطلاعات استاتیک کانورت شده از سیستم GIS می تواند نیازمندی نرم افزار مطالعاتی برای انجام محاسبات را فراهم نماید. در این بخش، برای هر تجهیز توزیع مورد استفاده در نرم افزارهای محاسباتی، جدول اطلاعات با منبع مورد استفاده برای تأمین داده آن فیلد اطلاعاتی با رویکرد محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه ارائه می گردد.

• ژنراتور (مولد الکتریکی)

ژنراتور سنکرون در شبکه های توزیع برق به صورت منابع تولید پراکنده حضور دارند. جداول ۴ و ۵ داده های مورد نیاز ژنراتور برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه و منابع اطلاعاتی جهت جمع آوری این داده ها را نشان می دهند.

جدول ۴: داده های مورد نیاز ژنراتور برای محاسبات پخش بار

نام فیلد	منبع اطلاعات	نام لایه	داده های مورد نیاز
To_No-Power	GIS	مولد الکتریکی	ظرفیت نامی ژنراتور
Output_voltage	GIS	مولد الکتریکی	ولتاژ نامی ژنراتور
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	ضریب قدرت نامی ژنراتور
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	آرایش سیم پیچی
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	مقاومت اهمی آرمیچر
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	راکتانس سنکرون
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	حد عملکردی توان اکتیو و راکتیو

جدول ۵: داده های مورد نیاز ژنراتور برای محاسبات اتصال کوتاه

داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ظرفیت نامی ژنراتور	مولد الکتریکی	GIS	To_No-Power
ولتاژ نامی ژنراتور	مولد الکتریکی	GIS	Output_voltage
نسبت مقاومت به راکتانس زیرگذر ژنراتور	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
ضریب قدرت نامی ژنراتور	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
امپدانس های توالی مثبت و منفی و صفر	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
آرایش سیم پیچی	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
نحوه اتصال نقطه نول به زمین	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
مقاومت اهمی آرمیچر	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
راکتانس سنکرون	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
راکتانس زیرگذر	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
راکتانس گذرا	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
مقدار تنظیم ولتاژ	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-

• ترانسفورماتور

برای مدلسازی ترانسفورماتورهای توزیع، پس از مشخص شدن سطح ولتاژ ترانسفورماتورها و شرکت سازنده باید تمامی اطلاعات ترانسفورماتور نظیر Uk% و مقدار تلفات سیم پیچی و گروه برداری ترانسفورماتور مورد نیاز است. جداول ۶ و ۷، داده های مورد نیاز ترانسفورماتور برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه و منابع اطلاعاتی جهت جمع آوری این داده ها را نمایش می دهند.

محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

جدول ۶: داده های مورد نیاز ترانسفورماتور برای محاسبات پخش بار

نام فیلد	منبع اطلاعات	نام لایه	داده های مورد نیاز
No_Pw	GIS	ترانسفورماتور	ظرفیت نامی ترانسفورماتور
St_Tap	GIS	ترانسفورماتور	موقعیت تپ ترانسفورماتور
Uk	GIS	ترانسفورماتور	امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور (Uk%)
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	نسبت تبدیل نامی
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	نوع سیم بندی و گروه برداری
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	تلفات بی باری
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	جریان بی باری

جدول ۷: داده های مورد نیاز ترانسفورماتور برای محاسبات اتصال کوتاه

نام فیلد	منبع اطلاعات	نام لایه	داده های مورد نیاز
No_Pw	نرم افزار GIS	ترانسفورماتور	ظرفیت نامی ترانسفورماتور
St_Tap	GIS	ترانسفورماتور	موقعیت تپ ترانسفورماتور
Uk	GIS	ترانسفورماتور	امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور (Uk%)
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	نسبت تبدیل نامی
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	امپدانس های توالی مثبت و صفر
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	نوع سیم بندی و گروه برداری
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	تلفات بی باری
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	جریان بی باری

• خطوط

کابل ها و خطوط ارتباطی بین پست ها، شبکه و بارهای آن را با داشتن اطلاعات مربوط به خط یا کابل

موردنظر در فیدر خاص مربوطه می توان مدل کرد. جداول ۸ و ۹، داده های مورد نیاز خطوط را برای محاسبات

پخش بار و اتصال کوتاه بیان می کند.

جدول ۸: داده های مورد نیاز خطوط برای محاسبات پخش بار

نام فیلد	منبع اطلاعات	نام لایه	داده های مورد نیاز
ID	GIS	خط فشار متوسط هوایی/زمینی	نوع خط
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	امپدانس خط
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	آرایش خط
Act_Len	GIS	خط فشار متوسط هوایی/زمینی	طول خط
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	ولتاژ نامی
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	جریان نامی
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	سوسپتانس
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	ماکزیمم بارگذاری خط

جدول ۹: داده های مورد نیاز خطوط برای محاسبات اتصال کوتاه

نام فیلد	منبع اطلاعات	نام لایه	داده های مورد نیاز
ID	GIS	خط فشار متوسط هوایی/زمینی	نوع خط
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	امپدانس خط
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	آرایش خط
Act_Len	GIS	خط فشار متوسط هوایی/زمینی	طول خط
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	ولتاژ نامی
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	جریان نامی
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	امپدانس توالی مثبت و صفر
-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-	سوسپتانس

• بار

در محاسبات پخش بار، مقدار توان اکتیو و راکتیو هر یک از بارهای شبکه، نقش تعیین کننده ای دارد.

جدول ۱۰، داده های مورد نیاز بارهای موجود در شبکه را برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه نشان می دهد.

جدول ۱۰: داده های مورد نیاز بارهای موجود در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

نام فیلد	منبع اطلاعات	نام لایه	داده های مورد نیاز
-	ماژول مدل سازی بار	-	توان اکتیو و راکتیو
-	ماژول مدل سازی بار	-	ولتاژ نامی
-	ماژول مدل سازی بار	-	متعادل یا غیرمتعادل بودن بار

• کلیدهای قدرت

در مورد کلیدهای قدرت و سکسیونرها در محاسبات اتصال کوتاه فقط باید به این نکته توجه شود که کلید مورد نظر قابلیت تحمل جریان اتصال کوتاه پیک را داشته باشد و بتواند جریان اتصال کوتاه را تحمل نماید. بنابراین فقط لازم است نوع کلید (سکسیونر قابل قطع زیر بار یا بریکر) مشخص شده و میزان جریان قابل قطع کلید تعیین گردد و نیازی به وارد کردن داده های فنی این تجهیزات در نرم افزار نیست. علاوه بر این لازم به ذکر است هر چند اطلاعات کلیدهای قدرت در محاسبات پخش بار اثری ندارند، ولی جدول ۱۱ اطلاعات پایه ای مورد نیاز برای کلیدهای قدرت را ارائه داده است. جدول ۱۲، داده های مورد نیاز کلیدهای قدرت و تجهیزات حفاظتی در شبکه را برای محاسبات اتصال کوتاه نمایش می دهد.

جدول ۱۱: داده های پایه ای کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات پخش بار

کلید قدرت			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
جریان نامی	دیژنکتور	GIS	Nom_Curr
ولتاژ نامی	دیژنکتور	GIS	Nom_Volt
سکسیونر			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
جریان نامی	سکسیونر	GIS	Nom_Curr
ولتاژ نامی	سکسیونر	GIS	Lvol
سکشنالایزر			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
جریان نامی	سکشنالایزر	GIS	Nom_Curr
ولتاژ نامی	سکشنالایزر	GIS	Lvol
ریکلوزر			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
جریان نامی	ریکلوزر	GIS	Nom_Curr
ولتاژ نامی	ریکلوزر	GIS	Lvol

محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

جدول ۱۲: داده های مورد نیاز کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات اتصال کوتاه

کلید قدرت			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	دیژنکتور	GIS	Nom_Volt
قدرت قطع کلید	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
زمان عملکرد	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
سکسیونر			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	سکسیونر	GIS	Lvol
قدرت قطع کلید	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
زمان عملکرد	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
سکشنالایزر			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	سکشنالایزر	GIS	Lvol
قدرت قطع کلید	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
زمان عملکرد	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
ریکلوزر			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	ریکلوزر	GIS	Lvol
قدرت قطع کلید	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
زمان عملکرد	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
کات اوت فیوز			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	کات اوت	GIS	Lvol
منحنی حداقل ذوب شدگی	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
منحنی پاک سازی کامل	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
زمان عملکرد	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
فوزیبل			
داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	فوزیبل	GIS	Lvol
منحنی حداقل ذوب شدگی	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
منحنی پاک سازی کامل	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-

زمان عملکرد	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
-------------	---	-------------------------	---

جداول ۱۳ تا ۱۶ داده های مورد نیاز خازن، باس شبکه و باس مرجع برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه و منابع اطلاعاتی جهت جمع آوری این داده ها را نشان می دهند.

جدول ۱۳: داده های مورد نیاز خازن در شبکه برای محاسبات پخش بار

داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	خازن فشار متوسط	GIS	Lvol
نوع اتصال	خازن فشار متوسط	GIS	Con_Cap
توان راکتیو نامی	خازن فشار متوسط	GIS	Cap
جریان نامی	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
نسبت راکتانس به سوسپتانس	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
ماکزیمم پله های جیرانساز	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
نوع کنترل	خازن فشار متوسط	GIS	Cntrl_Type

جدول ۱۴: داده های مورد نیاز باس (شین) در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

داده های مورد نیاز باس (شین)	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	شین	GIS	Lvol
حد بالا و پایین ولتاژ	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
نوع باس (شین)	شین	GIS	Mat_Type
ولتاژ هر فاز	نرم افزار بهره برداری	-	-

جدول ۱۵: داده های مورد نیاز شین مرجع در شبکه برای محاسبات پخش بار

داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	-	نرم افزار بهره برداری	-
زاویه ولتاژ	-	نرم افزار بهره برداری	-

جدول ۱۶: داده های مورد نیاز شین مرجع در شبکه برای محاسبات اتصال کوتاه

داده های مورد نیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	-	نرم افزار بهره برداری	-
زاویه ولتاژ	-	نرم افزار بهره برداری	-
قدرت اتصال کوتاه	-	نرم افزار بهره برداری	-

۴-۶- مدل سازی بار شبکه فشار متوسط

هدف از مدل سازی بار در این بخش، محاسبه اطلاعات مورد نیاز بار هریک از مصرف کننده های شبکه فشار متوسط با استفاده از روش های تخصیص بار است. با توجه به نوع مطالعات، این اطلاعات ممکن است میزان بار مصرف کننده ها در پیک شبکه، میزان بار مصرف کننده ها در کم باری شبکه، مدل بار سه سطحی یا ۲۴ ساعته مصرف کننده ها باشد (جدول ۱۷ نوع مدل سازی بار مورد نیاز برای مطالعات مختلف را نشان می دهد).

مصرف کننده هایی که در شبکه فشار متوسط مدل می شوند، به صورت زیر هستند:

- پست های توزیع مدل شده به صورت ترانسفورماتور در GIS (بارهای تجمیع شده شبکه فشار ضعیف در سمت ثانویه ترانسفورماتورهای توزیع)
- مشترکین ولتاژ اولیه
- نقاط تبادل انرژی بین مناطق و شرکت های توزیع برق^۱
- بسته به سطح پایش^۲ شبکه، اطلاعات در دسترس جهت تخصیص اطلاعات بار شبکه به هریک از مصرف کننده ها شامل یک یا چند مورد زیر است^۳:
- میزان پیک توان اکتیو و راکتیو پست فوق توزیع بالادست
- منحنی ۲۴ ساعته توان اکتیو و راکتیو پست فوق توزیع بالادست
- میزان پیک توان اکتیو و راکتیو فیدر فشار متوسط^۱

^۱ در صورتی که نقطه تبادل انرژی، مربوط به دو منطقه (امور) برق باشد بهتر است فیدر به صورت کامل مدل شود و از نقطه تبدیلی به عنوان نقطه بار انتهایی فیدر استفاده نشود. در مواردی که نقطه تبدیلی مربوط به تبادل انرژی بین دو شرکت توزیع برق است، این نقطه می تواند به عنوان نقطه انتهایی فیدر لحاظ شده و بار اندازه گیری شده توسط MOF به عنوان بار نقطه نهایی در محاسبات اعمال شود.

^۲ Monitoring

^۳ علاوه بر این موارد، ممکن است اطلاعات دیگری نیز از شبکه در دسترس باشد که می تواند در مدل سازی دقیق تر بار و همچنین صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گیرد.

- منحنی ۲۴ ساعته توان اکتیو و راکتیو فیدر فشار متوسط
- میزان پیک توان اکتیو و راکتیو اکثر بارهای فشار متوسط
- منحنی ۲۴ ساعته توان اکتیو و راکتیو اکثر بارهای فشار متوسط

منابعی که می توان این اطلاعات را جمع آوری کرد در جدول ۱۸ نشان داده شده اند.

جدول ۱۷: نوع مدل سازی بار برای انجام اقدامات مختلف مطالعاتی در شبکه

ردیف	هدف	نوع کلی مدل سازی
۱	ارزیابی وضعیت شبکه به منظور برق رسانی به متقاضیان جدید بالای یک مگاوات	پیک بار سالیانه ^۱
۲	ارزیابی وضعیت شبکه به منظور اتصال تولید پراکنده جدید	منحنی بار سه سطحی ^۲
۳	ارزیابی وضعیت تلفات شبکه فشار متوسط موجود	منحنی بار سه سطحی
۴	ارزیابی وضعیت ولتاژ شبکه فشار متوسط موجود	پیک بار - کم باری ^۳
۵	احداث و اصلاح شبکه فشار متوسط به منظور برق رسانی به متقاضیان جدید بالای یک مگاوات	پیک بار سالیانه
۶	احداث و اصلاح شبکه فشار متوسط به منظور کاهش تلفات شبکه	منحنی بار سه سطحی
۷	احداث و اصلاح شبکه فشار متوسط به منظور رفع ضعف ولتاژ شبکه	پیک بار سالیانه
۸	جایابی پست های فوق توزیع	پیک بار سالیانه
۹	جایابی نقاط مانوری شبکه	پیک بار - کم باری
۱۰	جایابی ادوات کنترل توان راکتیو	منحنی بار سه سطحی
۱۱	جایابی منابع تولید پراکنده	منحنی بار سه سطحی
۱۲	ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام برق رسانی به متقاضیان جدید بالای یک مگاوات	-
۱۳	ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام اتصال تولید پراکنده جدید	-
۱۴	ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام تغییر توپولوژی شبکه	-
۱۵	محاسبات اتصال کوتاه مورد نیاز برای مطالعات کیفیت توان شبکه	-

^۱ در صورت وجود منابع تولید پراکنده، میزان توان این منابع نیز به توان دریافتی از شبکه بالادست اضافه خواهد شد.

۱۶	هماهنگی حفاظتی	-
۱۷	تعیین مکان و ظرفیت بهینه تجهیزات حفاظتی جدید	-
(۱) پیک بار سالیانه: منظور، پیک بار سرخط فیدر در حوزه اصلی (بدون لحاظ کردن مانورهای موقت) است. (۲) منحنی بار سه سطحی: منظور، مشخص کردن عدد نماینده و تعداد ساعت سالانه مربوط به دسته های کم باری، میان باری و پیک بار فیدر مربوطه است. (۳) پیک بار - کم باری: منظور پیک بار و کمترین بار سرخط فیدر در حوزه اصلی است.		

جدول ۱۸: منابع اطلاعاتی جهت مدل سازی بار شبکه

ردیف	عنوان	منبع اطلاعات
۱	بارگیری سالانه پست های توزیع	بانک اطلاعات بارگیری پست های توزیع
۲	کنترهای فهم مشترکین دیماندی	بانک اطلاعات لوازم اندازه گیری
۳	اطلاعات خدمات مشترکین شامل دیماند قراردادی و دیماند مصرفی مشترکین دیماندی	بانک اطلاعات خدمات مشترکین
۴	کنتر یا ثبات های نصب شده در محل پست های توزیع که به صورت دوره ای یا آنلاین قابل قرائت بوده اند	بانک اطلاعات ثبات ها یا کنترهای مرجع
۵	اطلاعات پیک بار فیدرها ^۱	بانک اطلاعات دیسپاچینگ شرکت توزیع
۶	اطلاعات بازار برق (منحنی بار ساعتی) فیدرهای فشارمتوسط	بانک اطلاعات بازار برق
۷	اطلاعات پیک بار پست های فوق توزیع ^۲	بانک اطلاعات برق منطقه ای
۸	مشترکین دیماندی تغذیه شده از هر پست توزیع اختصاصی	بانک اطلاعات GIS
(۱) منظور، اطلاعات پیک بار هر فیدر فشارمتوسط به تنهایی و بدون توجه به ساعت پیک بار کل شبکه توزیع و پست فوق توزیع و بدون لحاظ نمودن مانورهای موقت است. (۲) منظور، اطلاعات پیک بار هر پست فوق توزیع بدون توجه به ساعت پیک بار کل شبکه توزیع و بدون لحاظ نمودن مانورهای موقت است.		



با توجه به میزان اطلاعات در دسترس از شبکه، می توان سطوح پایش شبکه را به صورت جدول ۱۹ تعریف کرد.

جدول ۱۹: انواع سطوح پایش شبکه فشار متوسط

سطح پایش شبکه	میزان پیک توان اکتیو و راکتیو پست فوق توزیع بالادست	منحني ۲۴ ساعته توان اکتیو و راکتیو	میزان پیک توان اکتیو و راکتیو فشار متوسط	منحني ۲۴ ساعته توان اکتیو و راکتیو فیدر فشار متوسط	میزان پیک توان اکتیو و راکتیو بارهای فشار متوسط	منحني ۲۴ ساعته توان اکتیو و راکتیو اکثر بارهای فشار متوسط
صفر	✓	✓				
یک	✓	✓	✓			
دو	✓	✓	✓	✓		
سه	✓	✓	✓	✓	✓	
چهار	✓	✓	✓	✓	✓	✓
پنج	✓	✓	✓	✓	✓	✓

با توجه به سطح پایش شبکه و همچنین اطلاعات بار مورد نیاز برای مطالعات، از روش های تخصیص بار زیر می توان استفاده کرد. این روش ها به منظور مدل سازی بار در دک بهره برداری بیان شده اند و جهت تهیه دک برنامه ریزی نیاز است که رشد بار با توجه به افق زمانی مطالعات لحاظ گردد.

(۱) روش مدل سازی بارها در پیک بار سالیانه: با توجه به سطح پایش شبکه، روش مدل سازی بارها در

پیک بار شبکه به صورت جدول ۲۰ است.

جدول ۲۰: انواع روش های مدل سازی بارها در پیک بار سالیانه

روش مدل سازی بار	سطح پایش شبکه
میزان بار هریک از مصرف کنندگان در پیک بار شبکه با سرشکن کردن بار کل پست فوق توزیع براساس ظرفیت هر یک از پست های توزیع (یا قدرت قراردادی مشترکین ولتاژ اولیه) تخصیص می یابد. ^۱	صفر ^۱
میزان بار هریک از مصرف کنندگان در پیک بار شبکه با سرشکن کردن بار کل فیدر براساس ظرفیت هر یک از پست های توزیع (یا قدرت قراردادی مشترکین ولتاژ اولیه) تخصیص می یابد.	یک و دو
میزان بارهای نامعلوم در پیک بار شبکه با سرشکن کردن اختلاف بار کل فیدر و بارهای معلوم مصرف کنندگان، براساس ظرفیت هر یک از پست های توزیع (یا قدرت قراردادی مشترکین ولتاژ اولیه) مربوط به بارهای نامعلوم تخصیص می یابد.	سه، چهار و پنج

۲) روش مدل سازی پروفیل بار سه سطحی: در این روش ابتدا منحنی بار سه سطحی پست فوق توزیع یا

فیدر را (با توجه به سطح روئیت پذیری) با استفاده از روش های مناسب (به عنوان مثال، روش K-

Means Clustering) به دست می آوریم. سپس همانند جدول ۱۹، روش تخصیص بار را برای هر یک از

این سه سطح (پیک بار، میان باری و کم باری) اجرا می کنیم.

۳) روش مدل سازی پروفیل بار ۲۴ ساعته: در این روش ابتدا منحنی بار ۲۴ ساعته میانگین پست فوق

توزیع/فیدر را در یک سال به دست می آوریم. سپس با فرض یکسان بودن منحنی بار مصرف کنندگان با

منحنی بار پست فوق توزیع/فیدر، می توان روش تخصیص بار را همانند جدول ۱۹ برای هر ساعت اجرا

کرد. هرچند به منظور بالا بردن دقت محاسبات می توان منحنی بار هریک از مصرف کنندگان را به

صورت پریونیت شده درآورد و سپس بار ۲۴ ساعته فیدر را با توجه به ظرفیت مصرف کنندگان و منحنی

بار آن ها، تخصیص داد.

^۱ با توجه به امکان دریافت اطلاعات هر یک از فیدرهای شرکت های توزیع از سامانه مدام، می توان گفت سطح پایش شبکه در ایران، بالاتر از سطح صفر است.

^۲ به عنوان مثال در یک فیدر با پیک ۲ مگاوات و یک منبع تولید پراکنده ۱ مگاواتی، که مجموع ظرفیت منصوبه کل بارها ۶ مگاوات آمپر باشد، توان یک پست ۵۰ کیلوولت آمپر در پیک بار $25 \text{ kw} = (2 \text{ MW} + 1 \text{ MW}) \times \frac{50 \text{ KVA}}{6 \text{ MVA}}$ تخمین زده می شود.



۵-۶- صحت سنجی اطلاعات دینامیکی^۱

به دلیل تغییرات زیاد اطلاعات دینامیکی شبکه شامل بار مصرفی و وضعیت کلیدها و همچنین مشکلات پایش و ذخیره سازی آن ها، یکی از موارد مهم در مطالعات شبکه توزیع، صحت سنجی این اطلاعات است.

الف- صحت سنجی مدل سازی بار

با توجه به در نظر گرفتن برخی فرضیات و تقریبها در مدل سازی بار، نیاز است که نتایج حاصل از آن صحت سنجی شود. به همین منظور می توان از اطلاعات اندازه گیری شده واقعی در شبکه در زمان های مختلف استفاده و نتایج حاصل از شبیه سازی را با آن مقایسه کرد.

ب- صحت سنجی اطلاعات کلیدها و ساختار شبکه

با توجه به اینکه وضعیت کلیدها از لحاظ ساختار شبکه باید به گونه ای باشد که اولاً از ایجاد حلقه در شبکه جلوگیری شود و دوماً تمام شبکه برق دار باشد، بنابراین نیاز است در انجام مطالعات مختلف این منطق رفتاری برای کلیدها بررسی شود. به همین منظور می توان از دیاگرام تک خطی شبکه نیز استفاده کرد.

^۱ به منظور انجام صحت سنجی روش ها و استانداردهای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه، می توانید از مطالب بیان شده در پیوست ۳ استفاده کنید.

۷- پیوست ها:

پیوست ۱: ویژگی های نرم افزارهای مورد استفاده برای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

در این بخش ابتدا موارد کاربرد پیوست ذکر خواهد شد و سپس حداقل خصوصیتی که نرم افزارهای مورد استفاده برای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه باید داشته باشند بیان خواهند شد.

پ ۱-۱- ویژگی های ابزار تحلیل پخش بار

اگرچه برنامه های پخش بار زیادی به صورت رایگان و تجاری وجود دارند، این برنامه ها در سهولت استفاده، دقت محاسبات، مستندسازی برنامه، پیچیدگی برنامه (مانند تنظیم مشخصات)، و البته هزینه با یکدیگر تفاوت دارند. با توجه به پیچیدگی سیستم های قدرت و نفوذ بالای منابع جدید در آن، به سطح بالایی از خبرگی و جامعیت در برنامه های کامپیوتری شبیه سازی سیستم قدرت نیاز است تا بتوان سیستم های قدرت را تحلیل کرد. ویژگی های این نرم افزار در این بخش به دو صورت ذکر شده است. اول حداقل الزاماتی که این برنامه ها باید داشته باشند تا بتوان از آنها در محاسبات پخش بار شبکه توزیع استفاده کرد و دوم برخی ویژگی های اختیاری که می تواند در انجام محاسبات پخش بار به کاربر کمک کند.

پ ۱-۱-۱- حداقل الزامات

حداقل الزاماتی که نرم افزار مورد استفاده برای محاسبات پخش بار باید داشته باشد به صورت زیر است:

- قابلیت انجام محاسبات پخش بار بر روی شبکه به اندازه کافی بزرگ^۱،
- شبیه سازی پخش بار با شرایط مختلف بارگذاری و تولید در شرایط متعادل و نامتعادل، مقارن و

نامتقارن،

^۱ این شاخص باید توسط شرکت های توزیع و با توجه به ابعاد شبکه مورد مطالعه خود (با توجه به تعداد فیدرهای فشار متوسطی که نیاز است به طور همزمان مورد مطالعه قرار گیرند) تعیین شود.

- قابلیت تنظیم پارامترهای همگرایی محاسبات پخش بار توسط کاربر،
- تنظیم خودکار تپ ترانسفورماتور (دو و سه سیم پیچه)، تپ چنجر زیر بار (LTC) اتوماتیک، و تنظیمات رگولاتور ولتاژ،
- اقدامات تنظیم کننده ولتاژ خودکار ژنراتور،
- نمایش گرافیکی نتایج پخش بار،
- امکان ترسیم نمودارهای قابل تحلیل از متغیرهای خروجی،
- امکان اصلاح اطلاعات ورودی تجهیزات به صورت گروهی،
- ذخیره پارامترهای حل پخش بار برای هر سناریو،
- امکان ذخیره تغییرات به گونه ای که مطالعات را بتوان دوباره اجرا نمود،
- انجام نامحدود محاسبات در یک پایگاه داده،
- امکان گزارش دهی متغیرهای خروجی مانند تلفات، افت ولتاژ، ولتاژ باس ها، جریان ها، و ضرایب توان،
- هشدارهای نقض قیود ولتاژ و جریان ترانسفورماتور، خط، کابل و ژنراتور.

پ ۱-۱-۲- قابلیت های اختیاری

- قابلیت های اختیاری نرم افزارهای مورد استفاده برای انجام محاسبات پخش بار به صورت زیر است:
- پایگاه داده پخش بار دارای ارتباط با پایگاه های داده مورد نیاز برای دیگر مطالعات مرتبط (شامل محاسبات اتصال کوتاه، مطالعات راه اندازی موتور، مطالعات پایداری، مطالعات هارمونیکی و غیره) باشد
 - اجرای شبیه سازی ها به طور خودکار برای همه سناریوهای بهره برداری عملی به منظور تعیین تمام نقض قیود بحرانی و مرزی. هشدارهای نقض قیود بایستی در پنجره هشدارها و گزارش های جدولی نمایش داده شوند.

- اصلاح خودکار ویژگی های تجهیزات شبکه براساس دما
- مدل سازی ترانسفورماتورهای شیفت فاز
- مقایسه و تحلیل چند گزارش
- قابلیت های تبادل داده (ارسال و دریافت) به منظور ایجاد امکان به اشتراک گذاری داده ها با برنامه های خارجی برای کاهش یا حذف ورود داده تکراری. انتقال داده می تواند بر مبنای صفحات گسترده، پایگاه های داده، و نرم افزار طراحی تجهیز باشد.

پ ۱-۲- ویژگی های ابزار تحلیل اتصال کوتاه

دو روش اصلی انجام محاسبات اتصال کوتاه، مبتنی بر استانداردهای ANSI و IEC است که باید در شرکت های توزیع نیز از یکی از این دو استاندارد برای انجام محاسبات اتصال کوتاه استفاده نمود. ویژگی های اساسی این دو استاندارد به منظور انجام محاسبات اتصال کوتاه در این بخش توضیح داده می شود.

پ ۱-۲-۱- ویژگی های اساسی برای محاسبات مبتنی بر ANSI

ویژگی های اساسی عبارتند از:

الف) ولتاژ قبل از خطا توسط کاربر یا براساس ولتاژ حاصل از یک پخش بار تعیین می شود. ولتاژ قبل از خطا می تواند یک مقدار ثابت برای همه باس ها یا مقادیر متفاوت برای هریک از باس ها باشد. همچنین می تواند براساس یک پروفیل ولتاژ سیستم حاصل از محاسبات پخش بار باشد. این مقادیر می توانند درصدی از kV نامی باس یا kV مبنا باشند. از گزینه تعریف توسط کاربر اغلب می توان در مطالعات طراحی سیستم استفاده کرد که باید بدترین سناریوهای اتصال کوتاه شبیه سازی شوند.

ب) محاسبه خطاهای متعادل و نامتعادل (سه فاز، L-G، L-L، L-L-G) نیم سیکل، 1.5 تا 4 سیکل، و 30

سیکل برای مطالعات مبتنی بر ANSI.

مطالعات نیم سیکل، ۱،۵ تا ۴ سیکل و ۳۰ سیکل شبکه برای تجهیزات جداول پ ۱-۱ تا پ ۳-۱ به ترتیب صورت می گیرد.

جدول پ ۱-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات نیم سیکل شبکه

نوع تجهیز	وظیفه
مدار شکن ولتاژ بالا	قابلیت بستن و قفل کردن
مدار شکن ولتاژ پائین	قابلیت قطع کردن
فیوز	قابلیت قطع کردن
سوئیچگیر و MMC ^۱	Bus bracing
رله	تنظیمات لحظه ای

جدول پ ۲-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۱،۵ تا ۴ سیکل شبکه

نوع تجهیز	وظیفه
مدار شکن ولتاژ بالا	قابلیت قطع کردن
مدار شکن ولتاژ پائین	N/A
فیوز	N/A
سوئیچگیر و MMC	N/A
رله	N/A

جدول پ ۳-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۳۰ سیکل شبکه

نوع تجهیز	وظیفه
مدار شکن ولتاژ بالا	N/A
مدار شکن ولتاژ پائین	N/A
فیوز	N/A
سوئیچگیر و MMC	N/A
رله	تنظیمات اضافه جریان

ج) بررسی قابلیت های عملکردی لحظه ای و قطع کننده تجهیز

د) بررسی قابلیت های بستن و قفل کردن مدار شکن

¹ Motor Control Center

ه) ارزیابی مدارشکن های متقارن یا total rated

و) توجه ویژه به مدارشکن های ژنراتور برای خطاهای سیستم و ژنراتور

ز) برای یک مدارشکن ژنراتور، جریان اتصال کوتاه باید مطابق با دستورالعمل های مشخص شده در IEEE Std

C37.013-1997 محاسبه شود. عملکرد اتصال کوتاه محاسبه شده بایستی شامل kA متقارن، نامتقارن، و پیک

برای عملکرد لحظه ای و قطع کننده، و همچنین dc kA و درجه عدم تقارن برای عملکرد قطع کننده باشد.

ح) زمان قطع کنتاکت استاندارد و قابل تعریف توسط کاربر

ط) در نظر گرفتن خودکار نسبت (NACD) no ac decay

ی) گزینه های کاربر برای تنظیم خودکار ظرفیت مدارشکن ولتاژ بالا

ک) ضریب تصحیح برای مدارشکن ولتاژ بالا و مدارشکن ولتاژ پائین

ل) اتصال کوتاه تک قطبی/دوقطبی برای سیستم های تک فاز

م) محاسبه باید انواع فازهای زیر را در نظر بگیرد: A, B, C, AB, BC, CA, LL, L1, L2 و (سیستم های

سه سیمه)

پ ۱-۲-۲- ویژگی های اساسی برای مطالعات مبتنی بر IEC

ویژگی های اساسی عبارتند از:

الف) تعریف ضریب C ولتاژ توسط کاربر

ب) سه نوع ضریب C بایستی منظور شوند. در جدول پ ۱-۴ ضرایب C برای محاسبه حداکثر و حداقل جریان

اتصال کوتاه لیست شده است. با این وجود، ضرایب C باید قابل تعریف توسط کاربر باشند.

جدول پ ۱-۴: ضرایب C برای شرایط مختلف ولتاژی مدنظر کاربر

برای محاسبه حداکثر خطای اتصال کوتاه	برای محاسبه حداقل جریان اتصال کوتاه	
ولتاژ > 1001V (تولانس ۶٪)	1.05	0.95
ولتاژ > 1001V (تولانس ۱۰٪)	1.10	0.90
ولتاژ < 1 kV تا 230 kV	1.10	1.00
ولتاژ < 230 kV	1.10	1.00

(ج) روش های تنظیم R/X قابل تعریف توسط کاربر برای I_p (روش A, B, یا C)

(د) برای سیستم های ولتاژ پائین ($< 1001V$)، بایستی به کاربران اجازه دهد تا مشخص نمایند که از چه مقدار ثابتی در محاسبه ضرایب تصحیح K استفاده شود تا امپدانس تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورها و ژنراتورها را تنظیم کند. انتخاب ها عبارتند از:

(۱) 1.05 (تولانس ولتاژ +6%)

(۲) استفاده از $c_{max}=1.05$ برای محاسبه ضرایب تصحیح امپدانس برای سیستم های با تولانس ولتاژ 6%

(۳) 1.1 (تولانس ولتاژ +10%)

(۴) استفاده از $c_{max}=1.1$ برای محاسبه ضرایب تصحیح امپدانس برای سیستم های با تولانس ولتاژ 10%

(د) در نظر گرفتن ترانسفورماتورهای شیف تاز

(ه) تنظیم امپدانس های منفی و مثبت برای I_k و I_k'' حداکثر/حداقل

(و) به کارگیری خودکار ضرایب تصحیح K (یعنی K_{SO} , K_G , K_T)

(ز) تعیین خودکار شبکه های مش و بدون مش برای محاسبه I_b , I_k و I_{dc}

(ح) در نظر گرفتن جریان اتصال کوتاه نزدیک و دور از ژنراتورها

(ط) محاسبات مطالعه اتصال کوتاه براساس IEC 60909, IEC 60282, IEC 60781, و IEC 60947



ی) محاسبات اتصال کوتاه گذرا با استفاده از IEC 61363

ک) مقایسه ظرفیت تجهیزات حفاظتی و مقادیر محاسبه شده اتصال کوتاه

پ ۱-۲-۳- ویژگی های مشترک برای هر دو استاندارد

ویژگی های مشترکی که باید برای هر دو استاندارد لحاظ شود به صورت زیر است:

الف) در نظر گرفتن تنظیم تپ ترانسفورماتور. برای نتایج محاسبه دقیق تر، تنظیم تپ ترانسفورماتور بایستی در نظر گرفته شود.

ب) مقایسه عملکرد تجهیز حفاظتی براساس مجموع جریان خطای باس یا حداکثر جریان خطای عبوری

ج) تنظیم پارامترهای امان برای مقادیر امپدانس، طول کابل/خط، و تنظیم دمای مقاومت، به صورت تکی و کلی

د) محاسبات اتصال کوتاه ترمینال بار

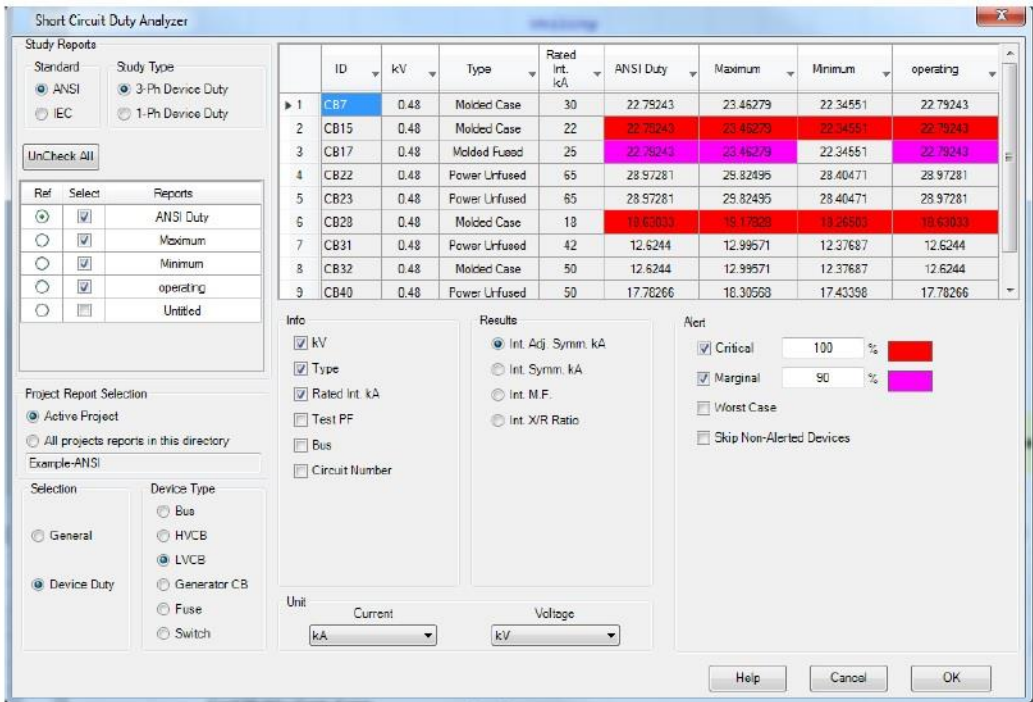
ه) تحلیل گر نتایج مطالعه:

محاسبات اتصال کوتاه برای یک سیستم عملی می تواند شامل ده ها حالت نشان دهنده شرایط بهره برداری مختلف باشد. گزارش های اختصاصی برای این حالت ها زمان زیادی از مهندسان خواهد گرفت. یک ابزار نرم افزار کامپیوتری برای مطالعه اتصال کوتاه بایستی ابزاری فراهم کند که بتواند بررسی جزئیات نتایج محاسبه اتصال کوتاه برای یک مطالعه استفاده شود، و همچنین نتایج همه حالت های مطالعه اتصال کوتاه را برای مقایسه لیست کند. بنابراین، این ابزار باید بتواند به طور خودکار بدترین حالت از میان تمام مطالعات انجام شده را شناسایی کرده و به کاربر نشان دهد.

شکل های پ ۱-۱ و پ ۱-۲ یک نمونه از نتایج تحلیل کننده اتصال کوتاه را نشان می دهد. شکل پ ۱-۱ نتایج ارزیابی عملکرد تجهیز مدارشکن را در چهار مطالعه مختلف ارائه می کند. این مطالعات شرایط بهره برداری مختلف سیستم را نشان می دهند. تحلیل کننده نتایج مطالعه بایستی قادر باشد تا به طور خودکار نتایج را از این

گزارش های مطالعه استخراج نموده و آن را به صورت خلاصه نمایش دهد. همچنین باید تمام تجهیزات با نقض قیود را براساس آستانه های مشخص شده توسط کاربر شناسایی کند.

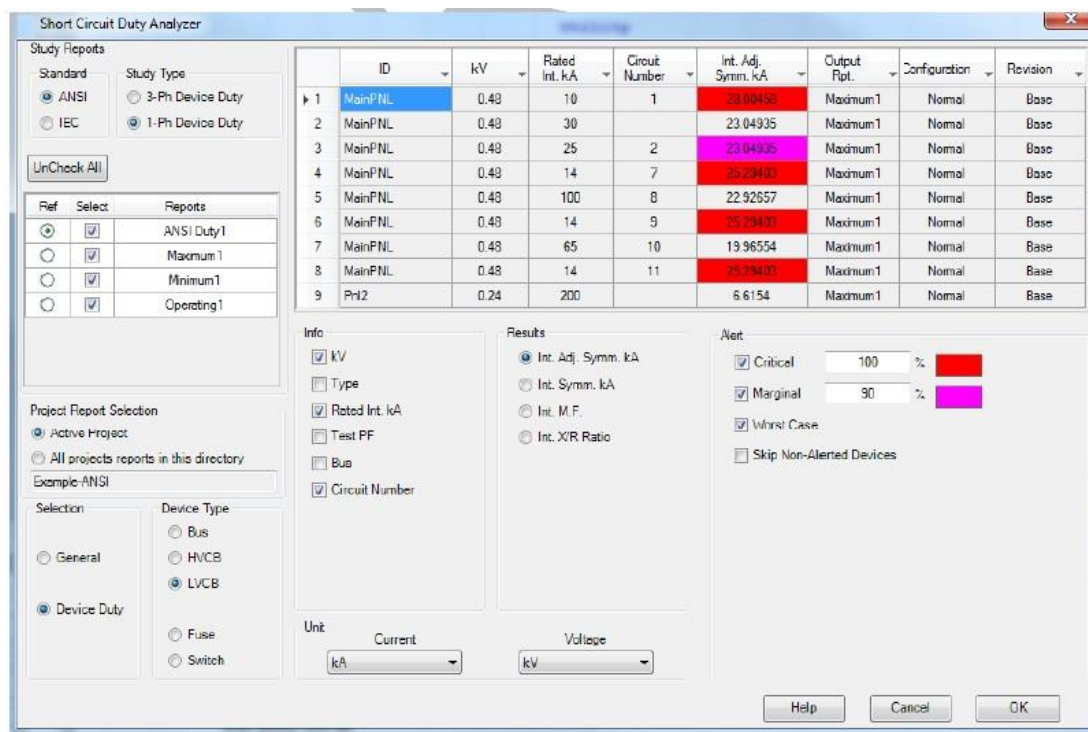
شکل پ ۱-۲ بدترین عملکرد تجهیز برای یک سیستم پنل را نشان می دهد. این گزارش مقایسه ای بین عملکرد مدارشکن های اصلی پنل و سایر مدارشکن های مربوط به هر مدار تکی انجام می دهد. زمانی که گزینه بدترین حالت انتخاب شود، بدترین سناریو به طور خودکار از میان مطالعات انتخابی تعیین می شود. برای هر تجهیز، نتایج بدترین حالت (که توسط نام گزارش مشخص می شود) را همراه با شرایط بهره برداری مورد استفاده در مطالعات، نظیر آرایش های سیستم و بازنگری های داده های مهندسی نشان می دهد.



ID	kV	Type	Rated Int. kA	ANSI Duty	Maximum	Minimum	operating
1	0.48	Molded Case	30	22.75243	23.46279	22.34551	22.79243
2	0.48	Molded Case	22	22.75243	23.46279	22.34551	22.79243
3	0.48	Molded Fused	25	22.75243	23.46279	22.34551	22.79243
4	0.48	Power Unfused	65	28.57281	29.82495	28.40471	28.97281
5	0.48	Power Unfused	65	28.57281	29.82495	28.40471	28.97281
6	0.48	Molded Case	18	18.63030	19.17620	18.26580	18.63030
7	0.48	Power Unfused	42	12.6244	12.99571	12.37687	12.6244
8	0.48	Molded Case	50	12.6244	12.99571	12.37687	12.6244
9	0.48	Power Unfused	50	17.76266	18.30568	17.43398	17.76266

شکل پ ۱-۱: تحلیل کننده نتایج برای مقایسه چند مطالعه

محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه



شکل پ ۱-۲: تحلیل کننده نتایج برای شناسایی بدترین حالت

ویژگی های اختیاری:

ویژگی های اختیاری عبارتند از:

الف) درنظر گرفتن پخش بارهای قبل از خطا

می توان از پخش بار واقعی و شرایط بهره برداری قبل از خطا در محاسبات اتصال کوتاه استفاده کرد. روش های مشخص شده در استاندارد ANSI و IEC اثر پخش بار قبل از خطا را نادیده می گیرند، اگرچه در روش IEC شرایط بهره برداری قبل از خطا تا اندازه ای در تنظیم پارامترها برای ژنراتورها و ترانسفورماتورها منظور می شود.

ب) گزارش های سفارشی با استفاده از بلوک های داده

نتایج ضروری محاسبات بایستی ارائه شوند. برای اهداف استفاده مختلف و الزامات سازمانی مختلف، گزارش های قابل سفارشی سازی را می توان با استفاده از بلوک های داده ارائه کرد.



ج) گزینه های گزارش دهی با جزئیات و خلاصه

نتایج دقیق مطالعه اتصال کوتاه مورد نیاز هستند. یک گزارش خلاصه نیز یک مرجع ساده شده مثلاً برای جریان کل خطا در هر باس ارائه می دهد.

د) ایجاد نمودارهای سازگار با مجموعه تست رله برای اتصال کوتاه های گذرا

با یک کلیک ساده، به طور خودکار مجموعه ای از سناریوهای مطالعه اتصال کوتاه از پیش تعریف شده نشان دهنده شرایط متنوع بهره برداری سیستم اجرا شده و نتایج محاسبات همراه با بدترین وضعیت شناسایی شده به کاربر ارائه می شود. این مجموعه از سناریوهای مطالعه اتصال کوتاه اصلی شامل همه حالت های اساسی است که برای ارزیابی زمان یک خرابی در بهره برداری سیستم مورد نیاز است.

ه) یکپارچه سازی با هماهنگی تجهیزات حفاظتی

مدل سازی سه فاز برای سیستم های نامتعادل نظیر سیستم های توزیع. تکنیک مدل سازی باید پارامترهای سیستم نامتعادل و همچنین شرایط بهره برداری نامتعادل قبل از خطا را منظور کند.

و) محاسبات اتصال کوتاه برای خطاهای همزمان در سیستم



پیوست ۲: اعتبارسنجی اطلاعات و مدل

یکی از چالش های مهم در شبیه سازی مدل، اعتبارسنجی آن است. اعتبارسنجی^۱ و تأیید یا راستی آزمایی^۲ دو مرحله مهم برای ارزیابی یک مدل شبیه سازی است. اعتبارسنجی عبارت است از فرآیند مقایسه دو نتیجه که در آن باید نمایش یک مدل مفهومی با سیستم واقعی مقایسه گردد. اگر این مقایسه درست باشد، می توان مدل را معتبر دانست.

اعتبارسنجی فرآیندی است که در آن میزان دقت یک مدل شبیه سازی در نمایش سیستم واقعی، با توجه به نوع استفاده از مدل تعیین می گردد. به عبارتی وظیفه اعتبارسنجی اثبات این است که مدل یک نمایش منطقی از سیستم واقعی است و رفتار سیستم را با دقت کافی برای تأمین اهداف تجزیه و تحلیل بیان نماید. از این تعریف چنین بر می آید که ارتباط مستقیمی بین صحت داده ها و صحت مدل شبیه سازی وجود دارد. در اصل برای ارائه یک نتیجه قابل قبول از هر مدل شبیه سازی، هم نوع مدل و هم اطلاعات و داده هایی که برای اعتبارسنجی آن استفاده می گردند دارای اهمیت است. در واقع بخشی از اعتبارسنجی و نیز اعتباربخشی یک مدل مربوط به اعتبارسنجی داده ها است.

تأیید فرآیند مقایسه دو یا چند نتیجه برای اطمینان از صحت آن است و به معنی فرآیندی است که در آن مشخص می گردد که آیا مدل مفهومی، شبیه سازی سیستم تحت مطالعه را به درستی ارائه می کند یا خیر؟ بطور کلی مدل را می توان چنین تعریف کرد "مدل، ترکیب مناسبی از خصوصیات یک سیستم و اطلاعات مربوط به آن است که به منظور بررسی سیستم مورد استفاده قرار می گیرد". معمولاً مدل و میزان اطلاعات قرار داده شده در آن را نوع بررسی تعیین می کند. بنابراین ممکن است بررسی های متفاوت، مدل های متفاوتی از یک

¹ Validation

² verification



سیستم را لازم داشته باشد. به عبارت دیگر سیستم ها در بررسی های گوناگون دارای یک مدل منحصر بفرد نیستند. میزان فراگیری جزئیات سیستم یا میزان نزدیک بودن مدل به واقعیت با دو سوال اساسی تفسیر می گردند:

• در مدل کدام خصوصیات و جزئیات سیستم و هریک به چه اندازه باید وجود داشته باشد؟

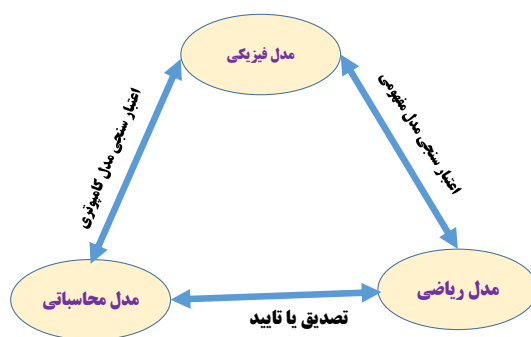
• میزان شباهت مدل به سیستم واقعی چقدر است؟

طبیعی است که هرچه جزئیات بیشتری از سیستم در مدل گنجانده شود، شباهت بیشتری به سیستم واقعی پیدا نموده و رفتار آن را بهتر نمایش می دهد. در این صورت نتیجه حاصل از مطالعه و بررسی مدل به واقعیت نزدیک تر و در نتیجه بکارگرفتن آن در سیستم واقعی عملی تر است. اما وجود جزئیات بیشتر در مدل سبب مشکل تر نمودن مطالعه و رسیدن به نتیجه نیز می گردد. اغلب افزودن جزئیات بیش از حد به یک مدل باعث تغییر روش بررسی شده و کلیت بحث را تحت تاثیر قرار می دهد. از طرف دیگر، از قلم انداختن برخی جزئیات، تجزیه و تحلیل مدل را ساده تر و راه رسیدن به نتیجه را آسان تر و کوتاه تر می نماید اما نتایج حاصل را از واقعیت دورتر و بکارگیری آن را در سیستم واقعی بی ثمر خواهد ساخت. بهر حال، در مدل سازی معیاری برای قابل قبول بودن شمول جزئیات یک مدل قبل از بکارگیری نتایج در واقعیت وجود ندارد. در حقیقت حفظ جانب تعادل و اعتبار در ساخت مدل و گنجانیدن جزئیات سیستم در آن، با توجه به دقت مورد نیاز در نتایج، از وظایف تحلیل گر است. این تعادل باید به گونه ای باشد که اولاً بررسی مدل بوسیله تکنیک ها و وسایل موجود امکان پذیر بوده و ثانیاً نتایج بررسی منطبق یا نزدیک به واقعیت باشد.

یک مدل براساس اهداف کلی مسئله ساخته می شود اگر هدف مدل پاسخگویی به یک سری سوالات است، اعتبار مدل باید با این سوالات تعیین شود. یک مدل ممکن است برای یک مجموعه از شرایط آزمایشگاهی معتبر باشد. یک مدل برای یک مجموعه از شرایط آزمایشگاهی معتبر است اگر صحت مدل در دامنه قابل قبولش

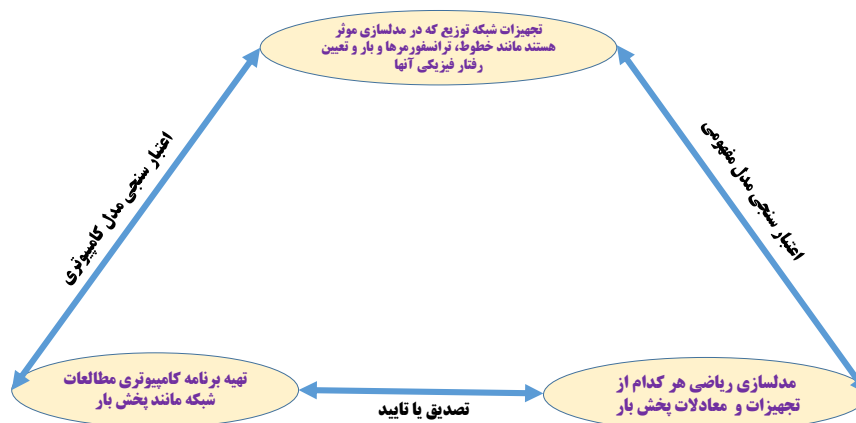
باشد. اغلب تعیین یک مدل کاملاً معتبر بسیار هزینه بر و وقت گیر است. اطمینان از اعتبار یک مدل در محدوده کاربردهای مورد انتظارش، توسط آزمون ها و ارزیابی ها مشخص می گردد. اگر تست و آزمونی مشخص کند که یک مدل صحت کافی را برای هر یک از مجموعه شرایط آزمایشگاهی ندارد، می توان نتیجه گرفت این مدل معتبر نیست. باید توجه داشت که اگر مدل نیازمند اعتماد بالایی باشد، هزینه اعتبارسنجی و تصدیق مدل می تواند برای یک کاربر قابل توجه باشد.

باید توجه داشت که اعتبارسنجی و تصدیق مدل ها در نرم افزارهای تجاری سیستم های قدرت با دقت زیادی آزمون می گردد و روش های متعددی برای تست آن ها به کار برده می شود چرا که آنها مسئول و پاسخگوی کاربران خود در نقاط مختلف دنیا هستند. لذا در این بخش تمرکز بیشتر بر روی اعتبارسنجی داده های ورودی برای مطالعات شبکه است، هر چند که روش های عمومی اعتبارسنجی و تصدیق مدل در این بخش ارائه گردیده است. در شکل پ ۳-۱ ارتباط بین مفاهیم مختلف در بخش مدل سازی، اعتبارسنجی و تصدیق داده و مدل نشان داده شده است.



شکل پ ۲-۱: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مدل

به عنوان مثال در محاسبات پخش بار مدل فوق را می توان در سه بخش به صورت شکل زیر نشان داد.



شکل پ ۲-۲: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مدل مطالعات سیستم

برای اعتبارسنجی داده ها و مدل ها روش های مختلفی وجود دارد که بخش های بعدی به تعدادی از آنها اشاره می گردد.

پ ۲-۱- اعتبارسنجی مدل ها در مطالعات شبکه های توزیع

داده ها برای ورود به مدل مفهومی و مدل کامپیوتری از دنیای واقعی استخراج می شوند و همچنین برای اعتبارسنجی و آزمایش مدل مورد استفاده قرار می گیرند. بدیهی است که داده های نادرست می توانند منبع قابل توجهی از عدم دقت در هر مدل شبیه سازی باشند. بنابراین وجود یک تلاش جدی برای اطمینان از دقت و صحت داده ها دارای اهمیت است. برای این منظور بایستی منبع اخذ هر داده ای که مورد استفاده قرار می گیرد دقیقاً مشخص گردد، تا میزان قابلیت اطمینان آنها را قابل تعیین باشد. همچنین، داده ها باید از نظر ناهماهنگی تجزیه و تحلیل شوند و هر گونه نگرانی در خصوص صحت آنها بررسی و مرتفع گردد.

در هر مطالعه ای که همراه با شبیه سازی باشد، این احتمال وجود دارد که برخی از داده ها نادرست، در قالب اشتباه و یا خارج از دسترس باشند. در این شرایط باید روش هایی برای جمع آوری یا تخمین این داده ها استفاده شود و روش هایی نیز برای تحلیل حساسیت به منظور تعیین اثرات هر گونه عدم دقت در نظر گرفته شود.



همچنین لازم است امکان ذخیره و پردازش اولیه داده ها، برای تسهیل در شناسایی آسان خطاها، به روزرسانی ها و دسترسی دقیق تر به آنها وجود داشته باشد.

سامانه اطلاعات مکانی (GIS) مهمترین پایگاه داده برای اطلاعات استاتیک شبکه است. بیشتر اطلاعات دینامیکی حاصل اندازه گیری و یا محاسبات در بخش های مختلف شبکه های توزیع است مانند اطلاعات بار، حالات کلیدها و تغییرات محیطی مانند دما و رطوبت.

پ ۲-۱-۱- مقایسه با سایر مدل ها

یکی از روش های مهم در اعتبارسنجی مدل، مقایسه آن با سایر مدل های درست است. در این روش نتایج مختلف (به عنوان مثال، خروجی ها) مدل شبیه سازی مورد نظر، با نتایج مدل های معتبر دیگر مقایسه می شود. به عنوان مثال در سیستم های قدرت، یک مثال ساده از یک مدل شبیه سازی با نتایج شناخته شده مانند مدل های تحلیلی مقایسه می گردد و همچنین مدل شبیه سازی مورد نظر با سایر مدل های شبیه سازی معتبر، مقایسه می شوند.

پ ۲-۱-۲- اندازه گیری سیستم واقعی

اندازه گیری یکی دیگر از روش های مهم در اعتبارسنجی است. مقایسه با یک سیستم واقعی مطمئن ترین و ارجح ترین روش برای اعتبارسنجی یک مدل شبیه سازی است. با این وجود، در عمل، این کار غالباً غیرقابل اجرا است، زیرا سیستم واقعی وجود ندارد یا اینکه اندازه گیری ها برای انجام آن بسیار گران است. مفروضات، مقادیر ورودی، مقادیر خروجی، حجم کار، تنظیمات و رفتار سیستم باید با آنچه در دنیای واقعی مشاهده شده مقایسه شود.

پ ۲-۱-۳- اعتبارسنجی با استفاده از سیستم های خبره و نظرات افراد متخصص

این اعتبارسنجی به معنی پرسش از افراد آگاه و متخصص در مورد سیستم است که آیا مدل و یا رفتار آن منطقی است. بعنوان مثال، آیا منطق موجود در مدل مفهومی صحیح است و روابط ورودی و خروجی مدل معقول است.

پ ۲-۱-۴- اعتبارسنجی براساس داده های سابقه

اگر داده های سابقه وجود داشته باشد (بعنوان مثال، داده های جمع آوری شده از نقاط مختلف)، بخشی از داده ها برای ساخت مدل استفاده می گردد و داده های باقیمانده برای بررسی انطباق مدل با رفتار سیستم استفاده می شود.

پ ۲-۱-۵- تحلیل حساسیت و تغییر پذیری پارامترها

این روش شامل بررسی اثر تغییر مقادیر ورودی و پارامترهای داخلی یک مدل بر رفتار مدل است. این تکنیک را می توان به صورت کیفی (فقط برای تعیین جهت های خروجی) و به لحاظ کمی (برای تعیین جهت و اندازه خروجی ها) به کار برد. پارامترهایی که حساس بوده و باعث تغییر قابل توجهی در رفتار یا خروجی مدل می شوند باید قبل از استفاده از مدل، به اندازه کافی دقیق باشند.

پ ۲-۱-۶- اعتبارسنجی پیش بین

از این مدل برای برآورد (پیش بینی) رفتار سیستم استفاده می شود، و سپس رفتار سیستم و پیش بینی مدل برای تعیین یکسان بودن آنها مقایسه می شود. داده های سیستم ممکن است از یک سیستم واقعی بدست آمده یا با انجام آزمایشات روی سیستم (به عنوان مثال، آزمایشات میدانی) به دست آید.

پ ۲-۱-۷- اعتبارسنجی تورینگ^۱

¹ Turing



در این روش از افرادی که در مورد عملکرد یک سیستم آگاهی دارند، سوال می شود که آیا می توانند بین سیستم واقعی و خروجی مدل تفاوت قائل شوند؟ بعنوان مثال نتایج پخش بار شبیه سازی و اندازه گیری با فرمت یکسان به افراد متخصص و آشنا با شبکه نشان داده می شود و این افراد برای تشخیص آنها تلاش می نمایند. به جز روش اعتبارسنجی سیستم های خبره، تمام روش های تفصیلی در بالا، روش های مبتنی بر داده برای اعتبارسنجی مدل هستند، و در میان آنها اعتبارسنجی پیش بین متداول ترین روش است. به طور کلی استفاده از اعتبارسنجی پیش بین به تلاش قابل توجهی برای تهیه و تجزیه و تحلیل داده ها برای پشتیبانی از اعتبارسنجی مدل نیاز دارد.

پ ۲-۱-۸- اعتبارسنجی نرم افزارهای قفل شکسته

گاهی ممکن است شرایطی پیش آید که مجبور به استفاده از نرم افزارهای قفل شکسته باشیم. در این صورت بهترین راه برای ارزیابی صحت نتایج نرم افزار قفل شکسته، مقایسه آن با نتایج همان نرم افزار اما تحت لایسنس معتبر است. در صورت عدم وجود چنین امکانی می توان نتایج را با نتایج نرم افزار معتبر دیگری مقایسه نمود. نکته دیگر، بحث دقت متفاوت ماژول های مختلف در یک نرم افزار است؛ به عنوان مثال از آنجایی که ماژول پخش بار چون بسیار کاربردی بوده و در جاهای مختلف به طرق مختلف استفاده می گردد، باگ های احتمالی این ماژول بسیار کمتر از ماژول کاهش مرتبه در آن نرم افزار خواهد بود. در حالت کلی این روش کاملاً معتبر نیست، زیرا تست باید در سناریوهای زیادی انجام گیرد که ممکن است در حالات خاص نتایج خروجی معتبر نباشد. بطور کلی نرم افزارهای قفل شکسته می توانند توسط حفره های ایجاد شده در آن و ارائه محصول بصورت رایگان برای مقاصد سوء مورد بهره برداری قرار گیرند.

پ ۲-۲- اعتبارسنجی داده ها در مطالعات شبکه های توزیع

با فرض اینکه نرم افزار محاسباتی در دسترس دارای مدل های صحیح و دقت قابل قبول در مدل سازی برای آن مطالعه خاص باشد، در این بخش تعدادی از روش های عملی برای اعتبارسنجی داده های ورودی نرم افزارهای محاسباتی بررسی می گردد.

پ ۲-۲-۱- اعتبارسنجی داده های استاتیک در مطالعات شبکه های توزیع

بخش عمده ای از اطلاعات شبکه به صورت استاتیک در نرم افزار GIS وجود دارد. از آنجا که یکی از نیازهای اصلی مطالعات شبکه های توزیع خصوصا اگر در ابعاد وسیع مدنظر باشد، تبدیل و انتقال اطلاعات به نرم افزار محاسباتی است، لذا می توان به روش های زیر تا حدود زیادی از صحت اطلاعات تبدیل شده و یا وارد شده اطمینان حاصل کرد.

۱- **مقایسه آماری داده ها:** در این روش تعداد داده های تبدیل شده مقایسه می گردد. بعنوان مثال اگر در پایگاه داده GIS شبکه ای که قرار است تبدیل شود ۱۲۰۰ عدد ترانسفورماتور وجود دارد همان تعداد نیز باید در نرم افزار محاسباتی وجود داشته باشد. این کار برای تمامی تجهیزاتی که در مطالعه مورد نظر نقش دارند تکرار می گردد. یا در خصوص تجهیزات گسترده مانند خطوط و کابل ها طول کل مسیر تبدیل شده با مقادیر پایگاه داده مقایسه می گردد.

۲- **مقایسه پارامترهای نامی محاسباتی** مانند ثابت های خطوط و ظرفیت نامی ترانسفورمرها و غیره

در این حالت سه روش کلی قابل استفاده است.

الف- بررسی به شکل تصادفی: در این روش اطلاعات تعدادی از تجهیزات به صورت تصادفی بررسی می گردد. در صورت وجود مغایرت می توان روش دوم را نیز استفاده نمود.

ب- بررسی و مقایسه همه اطلاعات تبدیل شده از یک نوع تجهیز

ج- اگر نرم افزار تبدیل اطلاعاتی عدم تبدیل اطلاعات یا جایگزینی آنها با مقادیر تایپ و استاندارد را

گزارش نماید لازم است این موارد نیز با پایگاه داده مقایسه گردد.

باید توجه نمود که نرم افزار کانتورت نمی تواند چیزی بیش از آنچه در پایگاه داده اصلی وجود دارد ارائه نماید،

اما می تواند راهنمایی هایی در خصوص تصحیح آنها بیان کند.

۳- مقایسه با سایر اطلاعات فنی موجود در شرکت مانند کاتالوگ تجهیزات و سازندگان

در این حالت علاوه بر موارد فوق برای بررسی صحت داده ها می توان از سایر منابع اطلاعاتی مانند کاتالوگ-

های تجهیزات و داده های سازنده ها استفاده نمود.

۴- بررسی محدوده داده ها

در این روش با پایش داده های غیرعادی بررسی شود آیا داده ها در محدوده های طبیعی خود قرار دارند یا

خیر و اینکه آیا داده های با اهمیت بطور مناسب مقداردهی شده اند.

۵- استفاده و پرسش از متخصصین امر

در بسیار از موارد افراد متخصص و درگیر با یک تجهیز خاص اطلاعات غنی و قابل استفاده بواسطه تجربه

و مطالعه تخصصی در خصوص تجهیزات شبکه دارند که می تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این افراد

می توانند در خصوص تعداد و یا نوع تجهیزات در محدوده کاری خودشان به درستی اظهار نظر نمایند.

۶- استفاده از روشهای پیشرفته مانند تشخیص داده های غلط^۱ داده کاوی^۲ و خوشه بندی^۳ در حضور داده-

های عظیم و غیره.

^۱ Bad data detection

^۲ Data mining

^۳ Clustering

در صورت نیاز به مطالعات خیلی دقیق تر و تعیین صحت اطلاعات می توان از روش های فوق جهت تعیین داده های غلط، خارج از محدوده های استاندارد و دسته بندی آنها استفاده نمود.

پ ۲-۲-۲- اعتبارسنجی داده های دینامیک در مطالعات شبکه های توزیع

اطلاعات دینامیکی، از یک طرف در مقایسه با داده های استاتیکی به صورت مرتب در حال تغییر بوده و ذخیره سازی، پایش و استفاده مداوم از آنها مشکل تر است. همچنین پایگاه داده جامع و یکپارچه ای مانند آنچه که برای اطلاعات استاتیکی در بستر GIS وجود دارد، برای اطلاعات دینامیکی موجود نیست. از طرف دیگر به دلیل این تغییرات، ارزیابی در قالب سناریوهای مختلف ضروری است. بار و حالات کلیدها از مهمترین اطلاعات دینامیکی در شبکه به شمار می روند.

الف- اعتبارسنجی اطلاعات بار

یکی از مزیت های اصلی در خصوص بار شبکه این است که بسیاری از آنها حاصل اندازه گیری و نصب تجهیزات اندازه گیری در شبکه است. لذا در صورت سالم بودن دستگاه اندازه گیری، بار نقطه موردنظر با دقت قابل قبولی وجود دارد. در حال حاضر یکی از مشکلات اصلی در خصوص بار این است که بار مصرفی در تمامی نقاط اندازه گیری نمی شود و یا اندازه گیری آن به صورت همزمان نیست، لذا در بسیاری از نقاط شبکه نیاز به مدل سازی و تخمین بار وجود دارد.

با توجه به محدودیت اطلاعات در خصوص بار نقاط، استفاده از مدل سازی بار ضروری به نظر می رسد. تعیین گروه های مصرف، تعیین ضریب بار، ضریب همزمانی و منحنی بار نرمالیزه برای انواع کاربری ها می تواند خطاهای ناشی از کمبود اطلاعات بار را کاهش دهد.

• فرض کنید که قرار است نتایج شبیه سازی پروفیل ولتاژ یک فیدر توسط یک نرم افزار محاسباتی را با مقادیر واقعی ولتاژها در نقاط مختلف فیدر مقایسه گردد. حتی در صورت اندازه گیری بار پست های توزیع و بار و

ولتاژ ابتدای فیدر به طور همزمان ممکن است به دلایل عدم دسترسی به اطلاعات زیر، نتایج شبیه سازی با مقادیر واقعی اختلاف داشته باشد.

- نامتعادل بودن سیستم

- فرسودگی تجهیزات

- خطای تجهیزات اندازه گیری

- دمای کاری تجهیزات

- اتصالات سست

- تلفات غیر فنی

هر کدام از موارد فوق می تواند منجر به تغییر نتایج شبیه سازی و انحراف آن از مقادیر واقعی اندازه گیری مانند ولتاژ گره ها و یا جریان های عبوری از شبکه گردد.

برای کاهش میزان خطای ناشی از عدم دقت مدلسازی بار در شبیه سازی می توان روش های زیر را مد نظر قرار داد.

۱- اندازه گیری های بیشتر در نقاط بار استفاده شده و تا حد امکان هم زمان باشند

۲- در اندازه گیری ها علاوه بر توان اکتیو، توان راکتیو و ضریب توان هم مد نظر قرار گیرد.

۳- ولتاژهای اندازه گیری شده در نقاط بار و یا جریانهای عبوری اندازه گیری شده از شاخه ها می توانند معیار مناسبی برای ارزیابی میزان صحت مطالعات باشند.

۴- ضرایب همزمانی و ضریب بار در مطالعات لحاظ گردد

۵- دسته بندی انواع کاربری ها مانند خانگی، تجاری، کشاورزی، صنعتی، عمومی و روشنایی معابر لحاظ گردد.

۶- وابستگی بار به ولتاژ مدنظر قرار گیرد.



۷- به نوع مدل سازی بار در نرم افزار از نظر توان ثابت، جریان ثابت و امپدانس ثابت توجه گردد.

۸- آزمون های متقاطع مانند بار ابتدای فیدر با لحاظ کردن تلفات و غیره مدنظر قرار گیرد.

ب- اعتبار سنجی اطلاعات کلیدها و ساختار شبکه

بررسی، صحت سنجی و اعتبار سنجی این داده ها به مراتب راحت تر و قابل حصول تر است چرا که اولاً این داده ها ماهیت باینری دارند و ثانیاً به دلیل اهمیتی که دارند دقیق تر ثبت و ذخیره می گردند. لذا می توان حالات کلیدها را در یک صفحه مشخص در کنار هم قرار داد و به راحتی تغییرات را مقایسه و مشخص نمود. همچنین برای این منظور می توان از نرم افزار SLD نیز استفاده نمود.



پیوست ۳: روش ها و استانداردهای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

در این پیوست روش های مختلف برای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه ارائه خواهند شد و قابلیت های هر روش به منظور اعمال بر روی شبکه های مختلف بررسی خواهند شد.

پ ۳-۱- روش های پخش بار

روش های پخش بار به دو دسته روش های مبتنی بر فاز و مبتنی بر توالی تقسیم می شوند که در ادامه توضیح داده شده اند.

پ ۳-۱-۱- روش های پخش بار مبتنی بر فاز در شبکه های توزیع

برای این نوع پخش بار، روش های مختلفی مانند الگوریتم جاروب پیشرو-پسرو، روش های جبران سازی، روش Z-bus ضمنی، روش های نیوتن اصلاح شده (شبه نیوتن) و سایر روش های متفرقه وجود دارند که در ادامه بیان شده اند.

الف) الگوریتم جاروب پیشرو - پسرو

این الگوریتم به سه مجموعه روش مختلف به صورت زیر تقسیم بندی می شود:

- روش های مجموع جریان^۱:

این روش می تواند برای پخش بار شبکه های توزیع شعاعی سه فاز (متعادل و نامتعادل) و تک فاز مورد استفاده قرار گیرد و اولین بار توسط کرسٹینک و همکاران [۱ و ۲] و آر.برگ و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۲ توسعه داده شده است. این روش، که به نام روش کرسٹینک معروف است، براساس قوانین ولتاژ و جریان کیرشلف و به کارگیری روش تکرار نردبانی است که شبکه را به صورت پیشرو - پسرو جارو می کند. در جاروی پیشرو که از آخرین گره شروع شده و به منبع ختم می شود، با استفاده از محاسبه مجموع جریان ها، ولتاژها را

¹ Current summation methods



به هنگام می کند. در جاروی پسر و که از منبع شروع شده و به آخرین گره ختم می شود، با محاسبه افت ولتاژها، جریان ها را تا حد ممکن به هنگام می کند. این روش، روش بسیار پیشتازی بوده و عمدتاً برای پخش بار فیدرهای شعاعی متعادل و نامتعادل به کار گرفته می شود. همچنین این الگوریتم به عنوان یک مرجع برای مقایسه سایر الگوریتم ها به کار گرفته می شود. بزرگترین مشکل این الگوریتم، عدم توانایی در پخش بار شبکه های مش است.

چانگ و همکاران [۴] یک الگوریتم پخش بار جاروب پیشرو-پسر و بهبود یافته را برای شبکه های توزیع پیشنهاد داده اند. به گونه ای که جاروی پسر و از جاروی پیشرو مجزا است. جاروی پسر و از قوانین ولتاژ و جریان کیرشیف برای محاسبه ولتاژ در باس های پایین دست استفاده می کند. نسبت ولتاژ مشخص شده به ولتاژ محاسبه شده در باس منبع (اولین گره)، در پایان جاروی پسر و محاسبه می شود. این نسبت در ولتاژ محاسبه شده در هر باس بر مبنای یک تناسب خطی ضرب می شود تا ولتاژ در هر باس در جاروی پیشرو را به هنگام کند. این الگوریتم در مقایسه با روش جاروب پیشرو-پسر و سنتی کارایی محاسباتی و سرعت همگرایی بهتری دارد.

روش جاروب پیشرو-پسر و مبتنی بر معادله درجه دوم به وسیله ایمینگلو و همکاران [۵] برای شبکه های شعاعی متعادل برای اولین بار معرفی شد. تفاوت این روش با روش مرسوم این است که محاسبات ولتاژ گره در جاروب پیشرو با استفاده از معادله درجه دوم و در جاروب پسر و با استفاده از قوانین کیرشیف مشابه روش های قبل انجام می شود. ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ گره، چک شده و ولتاژهای گره با استفاده از نسبت ولتاژ پیشنهاد شده توسط جیانوه ای و همکاران [۶] تنظیم می شود. باید به این نکته اشاره شود که تعداد تکرار روش های پخش بار مبتنی بر معادلات درجه دوم بسیار کمتر از الگوریتم های جاروب مبتنی بر قانون ولتاژ کیرشیف است به جز برای سیستم هایی که بارهایشان وابستگی شدیدی به ولتاژ دارند.

• روش های مجموع توان



پاکو [۷] الگوریتم جاروب پیشرو-پسرو مقاوم را برای سیستم های توزیعی که چندین منبع داشته و/یا ساختار مش دارند، استفاده کرده است. روش حل شامل تبدیل منابع مختلف به یک شبکه تک منبع با استفاده از نقاط شکست ژنراتور^۱ (GBP) و تبدیل شبکه مش به شبکه شعاعی با استفاده از روش نقاط شکست حلقه^۲ (LBP) است. نقاط شکست ژنراتور با ایزوله کردن ژنراتور از شبکه ایجاد شده و اثر ژنراتور با تزریق توان اکتیو منفی و توان راکتیو مثبت لحاظ می شود. نقاط شکست حلقه، با شکستن حلقه ها و تزریق توان مختلط مساوی و مخالف در نقاط شکست ایجاد می شود. در توالی پسرو، توان اکتیو و راکتیو سمت ارسال هر شاخه با استفاده از جمع جبری توان بارها، شارش شاخه و تزریقات حاصل می شود [۸]. اخیرا داس و همکاران [۹ و ۱۰] یک روش مجموعه توان برای شبکه های توزیع شعاعی متعادل پیشنهاد داده اند. این روش با استفاده از یک گره و شاخه مساله پخش بار شعاعی را حل می کند. مشکل این روش این است که فقط می تواند اندازه ولتاژ باس ها را بدون فاز آن ها ارائه دهد.

اخیرا مقدس و همکاران [۱۱]، یک روش پخش بار سه فاز برای شبکه های توزیع شعاعی با استفاده از روش مجموع توان ارائه داده اند که می تواند منابع تولید پراکنده مختلفی را در برگیرد. یکی از مزایای این روش این است که می تواند واحدهای تولید پراکنده را هم در مد PV و هم PQ مدل کند.

• روش مجموع ادمیتانس

دراگاسلاو و همکاران [۱۲]، روش مجموع ادمیتانس را برای الگوریتم جاروب پیشرو-پسرو در شبکه های توزیع شعاعی و مش ضعیف^۳ پیشنهاد داده اند. این روش بر این مبناست که در مطالعات موردی، همه گره های اکتیو و راکتیو بار به صورت ادمیتانس ثابت هستند. اگر بارها ادمیتانس ثابت باشند، روش حل پخش بار

¹ Generator Break Points

² Loop Break Points

³ Weakly meshed

غیرتکراری بوده و نتایج خیلی سریعتر به دست می آید. مزیت این روش با افزایش تعداد بارهای شبکه خود را بیشتر نشان می دهد.

ب) روش های جبران سازی

شیرمحمدی و همکاران [۱۳]، یک روش پخش بار جبران سازی تکراری جدید برای حل پخش بار شبکه های توزیع مش ضعیف متعادل ارائه داده اند. این روش از یک روش جبران سازی چندپایانه ای و قوانین کیرشهف استفاده می کند. شبکه مش ضعیف، یک شبکه شعاعی است که دارای تعداد محدودی حلقه ساده است. با انتخاب نقاط شکست مناسب، شبکه مش ضعیف می تواند به یک شبکه شعاعی تبدیل شود. سپس این شبکه شعاعی منتج شده می تواند با روش پیشرو-پسرو حل شود. ولتاژهای دو گره هر نقطه شکست از روش جاروب پیشرو-پسرو محاسبه می شود. ولتاژ هر نقطه شکست می تواند با تفریق ولتاژ دو گره ایجاد شده در هر نقطه شکست به دست آید. جریان های شاخه ای که با ایجاد نقاط شکست دچار وقفه شده است، می تواند با جریان تزریقی در دو سر نقطه شکست جایگزین شود بدون اینکه بر روی شرایط عملکردی سیستم تاثیر بگذارد. به عبارت دیگر، حلقه ها شبیه سازی شده اند.

نمایش تک فاز سیستم شعاعی مش ضعیف می تواند به طور مستقیم به شبکه های مش ضعیف نامتعادل سه فاز که دارای تولید پراکنده نیز هستند، توسعه داده شود. این روش ابتدا به وسیله سی.اس.چنگ و شیرمحمدی [۱۴]، و بعدا به وسیله ساریکا خوسلانی [۱۵]، برای شبکه های توزیع مجهز به تولید پراکنده توسعه داده شد. تولید پراکنده به صورت گره های PV و PQ مدل می شوند. برای شبکه های مش ضعیف دارای جبران سازی ولتاژ نقطه شکست، جبران سازی گره PV با محاسبه ماتریس حساسیت گره PV برای حذف عدم تطابق اندازه ولتاژ گره PV انجام می گیرد. بار هر فاز یک سکشن به صورت نصف شده و به طور یکنواخت در دو طرف سکشن، مدل می شود.

زو و تام سوییچ [۱۶]، خاصیت همگرایی ولتاژ نقطه شکست و الگوریتم جبران سازی گره PV را تحلیل کرده و متوجه شدند نرخ همگرایی به انتخاب نقطه شکست، مکان نصب تولید پراکنده و تعداد حلقه های مش، حساس نیست. نرخ همگرایی بیشتر به بارهای تک فاز بزرگ در شبکه های توزیع نامتعادل حساس است. بدیهی است که افزایش تعداد گره های PV، تعداد تکرار را افزایش می دهد.

پ) روش گوس Z-bus ضمنی

تسای هسیانگ چن و همکاران [۱۷]، الگوریتم Z-bus ضمنی را که از روش حل Ybus مثلثی رتبه بندی شده بهینه^۱ استفاده می کند را پیشنهاد دادند. حل کامل معادلات شبکه شامل ماتریس Ybus تنک [L] و [u] و تزریقات جریان معادله است. این الگوریتم می تواند شبکه های متعادل و نامتعادل و شعاعی، مش یا ترکیبی را تحلیل کند. در ولتاژ هر باس، دو عامل مختلف ولتاژ منبع مشخص شده و تزریق جریان معادل درگیر است. بارها، ژنراتورها، خازن ها و راکتورها به صورت تزریق جریان مثبت یا منفی در هر باس مربوطه مدل می شوند. باس های ژنراتوری به صورت PQ و باس مربوط به پست بالادست به صورت PV مدل می شوند. این روش فقط برای شبکه هایی مناسب است که دارای تعداد زیادی شین PQ و فقط یک شین PV هستند.

ت) روش های نیوتن اصلاح شده-شبه نیوتن

فن ژانگ و همکاران [۱۸]، روش نیوتن اصلاح شده را برای شبکه های توزیع شعاعی با این فرض که هیچ شاخه شنتی بین دو گره مجاور وجود نداشته باشد و اختلاف ولتاژ بین دو گره مجاور، کوچک باشد توسعه دادند. ساختار شعاعی شبکه، یک ماتریس ژاکوبین تقریبی را به صورت UDU^T را پیشنهاد می دهد که U یک ماتریس بالامثلثی ثابت است که فقط به توپولوژی شبکه وابسته است و D یک ماتریس قطری است که از ساختار شعاعی

¹ Optimal ordered triangular factorization

شبکه توزیع ناشی شده و عناصر آن در هر تکرار به هنگام می شود. تحت فرض های فوق، این روش کارایی و مقاوم بودن خوبی را در تحلیل شبکه های توزیع شعاعی نشان می دهد.

جی.اچ.هنگ و همکاران [۱۹]، الگوریتمی را برای شبکه های توزیع شعاعی نامتعادل ارائه دادند که از اطلاعات باس-شاخه متداول استفاده کرده و ولتاژ گره ها را به عنوان متغیرهای حالت در تحلیل پخش بار در نظر می گیرد. این روش از مزایای ساختاری شبکه توزیع برای تشکیل ماتریس ژاکوبین استفاده کرده و از روش نیوتن-رافسون سنتی برای یافتن جواب ها بهره می برد.

به علت ساختار شعاعی، ماتریس ژاکوبین به صورت یک ماتریس بالامثلثی است. ماتریس بالامثلثی سنتی با استفاده از روش های فاکتورسازی مثلثی حل می شود. لیکن در اینجا، ماتریس ژاکوبین بالامثلثی قابل تجزیه به دو ماتریس واحد و قطری است. ولتاژ گره ها به سادگی با حل ماتریس واحد با استفاده از الگوریتم پسر و به دست می آید. همگرایی با یک تلورانس مشخص برای عدم تطابق جریان ارزیابی می شود. این روش بسیار مقاوم و سریع بوده و برای شبکه های شعاعی بزرگ کارایی خوبی دارد ولی برای شبکه های مش و مش ضعیف چندان موثر نیست.

پائولو و همکاران [۲۰]، روش حل جدیدی مبتنی بر روش تزریق جریان با استفاده از روش نیوتن-رافسون برای شبکه های سه فاز نامتعادل ارائه دادند. معادلات تزریق جریان در مختصات دکارتی انجام می شود. ماتریس ژاکوبین ساختاری شبیه ماتریس ادمیتانس گره ای دارد. عناصر غیرقطری ماتریس ژاکوبین با عناصر متناظر در ماتریس ادمیتانس گره ای برابر بوده و ثابت هستند. فقط عناصر قطری در هر تکرار به هنگام می شوند. بنابراین تعداد عناصری که در حین هر تکرار باید مجددا محاسبه شوند بسیار کم است. برای شبکه های توزیع شعاعی که منابع تولید پراکنده ندارند، ماتریس ژاکوبین ثابت می ماند.

یک الگوریتم ترکیبی براساس روش نسبت-شارش^۱ که از نسبت ولتاژ به عنوان کنترل کننده همگرایی در روش پیشرو-پسرو و روش نیوتن-رافسون سنتی استفاده می کند به وسیله جیان وئی و همکاران [۶]، برای سیستم های توزیع پیچیده (شبکه های شعاعی که به یک حلقه قوی متصل شده یا دارای چندین منبع هستند) توسعه داده شده است. نتایج نشان داد که این روش دارای همگرایی سریع و حساسیت کمی به پارامترهای سیستم توزیع دارد.

باران و وو [۲۱]، یک روش پخش بار ویژه شبکه توزیع پیشنهاد داده اند که از حل تکراری سه معادله غیرخطی برای هر شاخه نشأت گرفته است. این سه معادله مربوط به توان اکتیو، راکتیو و اندازه ولتاژ هستند. تعداد معادلات با استفاده از شرایط مرزی مربوط به فیدر اصلی و شاخه های جانبی آن کاهش می یابد و هر روش نیوتن-رافسون به این معادلات کاهش یافته اعمال می شود. کارایی محاسباتی با استفاده از برخی ساده سازی ها در ماتریس ژاکوبین بهبود می یابد. بزرگترین مشکل این روش این است که با افزایش تعداد حلقه ها، سرعت همگرایی و کارایی محاسباتی به شدت کاهش می یابد.

اچ.ال.نگوین [۲۲]، فرمول بندی پخش بار سه فاز برای شبکه های توزیع یا انتقال مش متعادل یا نامتعادل را پیشنهاد داده است. در روش پیشنهادی ماتریس ژاکوبین دارای شکل پیچیده ای است ولی با برخی ساده سازی ها می توان توانایی محاسباتی آن را بهبود بخشید. این روش کاملاً در فضای فازوری انجام می شود.

(ث) روش های پخش بار متفرقه

الگوریتم های توسعه داده شده در [۲۳ و ۲۴]، از مبانی روش های مرسوم استفاده نکرده و روش های جدید با توجه به ویژگی توپولوژیکی شبکه های توزیع ارائه نموده اند.

• روش مستقیم (روش ماتریس BIBC/BCBV)

¹ Ratio-flow

جی.اچ.تنگ، یک روش اصلاح شده از کارهای خود را در [۱۹] ارائه داد. او دو ماتریس با توجه به مزیت ویژگی های توپولوژیکی شبکه های توزیع تشکیل داده و پخش بار توزیع را مستقیماً بدون استفاده از روش نیوتن-رافسون انجام داده است [۲۳]. برای هر تجهیز سیستم توزیع، اگر تزریق جریان معادل یا ماتریس ادمیتانس آن قابل محاسبه باشد، می تواند در روش پیشنهادی استفاده شود. دو ماتریس مهم در این روش، ماتریس تزریق باس به جریان شاخه^۱ (BIBC) و جریان شاخه به ولتاژ باس^۲ (BCBV) هستند. ماتریس BIBC رابطه بین تزریق های جریان و جریان های شاخه را نشان می دهد. ماتریس BCBV رابطه بین جریان شاخه ها و ولتاژ باس ها را نشان می دهد. معیار همگرایی این روش، ماکزیمم عدم تطابق جریان بار است. مزیت این روش، سرعت بالاتر آن در مقایسه با روش هایی مثل فاکتورسازی LU و جاروب پیشرو-پسرو و سایر روش های بیان شده در فوق است. مقایسه پخش بار سه فاز این روش با روش ماتریس Z-bus ضمنی، دقت یکسان هر دو روش را نشان می دهد. این روش کارایی بسیار خوبی برای شبکه های توزیع شعاعی و با برخی اصلاحات برای شبکه های مش ضعیف نیز دارد. از آنجا که این دو ماتریس، ماتریس بالامثلی و پایین مثلثی هستند، زمان محاسبه بسیار کوتاه است. بزرگترین ضعف این روش، تشکیل این دو ماتریس با روش مشاهده مستقیم است که مشکلاتی را برای برنامه نویسان ایجاد می کند.

• روش ماتریس امپدانس حلقه

تی.اچ.چن و ان.سی.یانگ [۲۴]، در سال ۲۰۱۰ یک روش پخش بار سه فاز برای شبکه های توزیع شعاعی نامتعادل ارائه دادند. تفاوت این روش با سایر روش های قبلی، این است که تمام روش های قبلی در چارچوب باس عمل می کنند. در صورتی که این روش در چارچوب حلقه عمل می کند. این روش از ویژگی های توپولوژیکی

¹ Bus injection to branch current

² Branch current to bus voltage

سیستم توزیع شعاعی استفاده کرده و مفاهیم ماتریس امپدانس حلقه و روش های تزریق جریان [۲۰] را با هم ترکیب می کند. این روش می تواند با استفاده از مفهوم ماتریس امپدانس نقطه شکست برای شبکه های مش ضعیف هم به کار رود. مزیت عمده این روش این است که روش حل با ماتریس ادمیتانس باس درگیر است. در صورتی که روش های مطرح شده در فوق، این موضوع را در نظر نگرفته اند. این روش دارای سرعت همگرایی و کارایی مناسب برای شبکه های توزیع شعاعی نامتعادل بزرگ است. چون این روش از ساختار توپولوژیکی شبکه شعاعی و شبکه مش ضعیف استفاده می کند، در شبکه های مش این کارایی را ندارد.

پ ۳-۱-۲- روش های پخش بار مبتنی بر توالی در شبکه های توزیع

روش های پخش بار مبتنی بر فاز، برای تحلیل یک شبکه توزیع کامل با توجه به داده های موجود، شبکه را به صورت تک فاز، دو فاز و یا سه فاز در نظر می گیرند. روش های مبتنی بر توالی، از شبکه های توالی مثبت، منفی و صفر سیستم های سه فاز نامتعادل برای حل پخش بار سه فاز نامتعادل استفاده می کند. دو مساله بسیار مهم در پیاده سازی پخش بار مبتنی بر توالی در مقایسه با پخش بار مبتنی بر فاز در سیستم های توزیع نامتعادل وجود دارد. اول اینکه اندوکتانس متقابل بین فازهای مختلف خطوط توزیع ترانسپوز نشده با هم برابر نیست. بنابراین، مدل های خط نامتقارن به وجود آمده در شبکه های توالی مثبت، منفی و صفر از هم مستقل نبوده و نمی توانند به صورت سه شبکه مجزا تحلیل شوند. دوم اینکه مدل سازی شیفت فاز به وجود آمده توسط برخی اتصالات ترانسفورماتورها خاص مشکل است. لیکن در روش مبتنی بر فاز، القای متقابل بین خطوط و شیفت فازها به راحتی می تواند مدل سازی شود.

با تزریق جریان های جبران سازی مشخص به هر دو سر باسبار یا خطوط، مدل شبکه توالی سه فاز دارای تزویج می تواند به یک مدل دیکاپل شده بر حسب سه توالی مختلف پیاده سازی شود [۲۶]. با استفاده از مولفه های توالی دیکاپل شده خطوط توزیع و ترانسفورمرها، پخش بار مبتنی بر توالی قابل پیاده سازی است.

ممدوح ابدوالخیر و همکاران [۲۷]، یک شبکه توزیع سه فاز نامتعادل را به یک شبکه سه فاز اصلی با خطوط سه فاز متعادل و شاخه های جانبی را به صورت دو شبکه دوفاز و تک فاز نامتعادل تقسیم می کند. بدین صورت شاخه های جانبی نامتعادل از سه فاز اصلی جدا شده و با تزریق جریان معادل شان جایگزین شده اند. تحلیل پخش بار مبتنی بر توالی، عمدتاً روش نیوتن-رافسون یا دیکاپل سریع را برای تحلیل شبکه سه فاز نامتعادل اصلی و روش جاروب پیشرو-پسرو را برای تحلیل شاخه های جانبی نامتعادل به کار می برد.

جدول پ ۳-۱ روش های پخش بار فوق الذکر را با هم مقایسه می نماید.

جدول پ ۳-۱: مقایسه روش های پخش بار

روش های مبتنی بر فاز					
الگوریتم	نوع شبکه	متعادل/نامتعادل	قابلیت مدل سازی تولید پراکنده	معیار همگرایی	
روش جاروب پیشرو/پسرو	شعاعی	هر دو	دارد	ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ باس	
روش مبتنی بر جبران سازی	شعاعی و مش ضعیف	هر دو	دارد	ماکزیمم عدم تطابق توان اکتیو و راکتیو باس	
روش Z-bus ضمنی	شعاعی، مش ضعیف، مش کامل و ترکیبی	هر دو	دارد	ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ باس	
روش های نیوتن اصلاح شده/شبه نیوتن	شعاعی، مش ضعیف، مش کامل و ترکیبی	هر دو	دارد	ماکزیمم عدم تطابق توان اکتیو و راکتیو باس/ماکزیمم عدم تطابق جریان/ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ حلقه	
روش های متفرقه	روش ماتریس های BIBC/BCBV	هر دو	دارد	ماکزیمم عدم تطابق جریان بار	
	روش ماتریس امپدانس حلقه	هر دو	ندارد	ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ باس	

روش های مبتنی بر توالی

الگوریتم	نوع شبکه	متعادل/نامتعادل	قابلیت مدل سازی	معیار همگرایی
----------	----------	-----------------	-----------------	---------------

تولید پراکنده				
ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ باس	ندارد	هر دو	بخش شعاعی شبکه ترکیبی	روش جاروب پیشرو/پسرو
-	-	-	-	روش مبتنی بر جبران سازی
-	-	-	-	روش Z-bus ضمنی
عدم تطابق ولتاژ توالی مثبت/عدم تطابق توان	دارد	هر دو	شبکه سه فاز اصلی و بخش شعاعی شبکه ترکیبی	روش های مبتنی بر نیوتن

پ ۳-۲- روش ها و استانداردهای اتصال کوتاه

تعدادی استاندارد توسط سازمان های مختلف برای محاسبات اتصال کوتاه تنظیم شده است. برای نمونه می توان به استانداردهای ANSI/IEEE، استانداردهای IEC، استانداردهای روسی (GOST)، استانداردهای چینی (GB) اشاره کرد. البته، روش های اساسی برای محاسبات اتصال کوتاه در همه استانداردها بسیار شبیه به هم هستند. شاید تفاوت آن ها در نوع مدل سازی تجهیزات و چگونگی لحاظ نمودن شرایط اولیه قبل از وقوع خطاست. در این دستورالعمل، تمرکز بر استانداردهای ANSI/IEEE و IEC به دلیل گسترده استفاده از آن ها در دنیا است. در سال ۲۰۱۸، IEEE به بررسی و مقایسه دو استاندارد فوق الذکر برای محاسبات اتصال کوتاه در شبکه قدرت، توزیع و سیستم های صنعتی پرداخته و در نهایت نتیجه را به صورت گزارش IEEE Std 3002.3-2018 منتشر کرده است. در ادامه، برای آشنایی بیشتر با این گزارش، به طور خلاصه برخی از نکات مهم آن ها بیان می شود.

در این گزارش پس از بیان چارچوب و معرفی مراجع مورد استفاده، برخی تعاریف مهم در خصوص محاسبات اتصال کوتاه ارائه شده است. سپس در بخش چهارم این گزارش، مروری بر دلایل و اهداف محاسبات اتصال کوتاه ارائه شده، در بخش پنجم به توصیف ماهیت فیزیکی جریان اتصال کوتاه پرداخته است و دلایلی که سبب ایجاد خطا در شبکه می شوند را بیان کرده است. پس از آن، به بحث مولفه های متقارن و نامتقارن جریان اتصال کوتاه پرداخته و روابط مربوط به محاسبات جریان اتصال کوتاه و چگونگی ایجاد بخش نامتقارن جریان

اتصال کوتاه را شرح می دهد. در ادامه، توضیح داده می شود که کل جریان اتصال کوتاه ایجاد شده در شبکه توزیع سه منبع عمده دارد. منبع اول، شبکه انتقال بالادست است که شبیه یک ژنراتور بزرگ دوردست عمل می کند. منبع دوم، ژنراتورهای سنکرون محلی هستند که در شبکه توزیع نصب شده اند و سومین منبع، موتورهای سنکرون و القایی هستند که در شبکه توزیع حضور دارند. ماشین های القایی مشارکت خود را در تأمین جریان اتصال کوتاه، بعد از یک تا ۱۲ سیکل از دست می دهند؛ ولی موتورهای سنکرون به دلیل میدان های تحریک شده، تغذیه نقطه اتصال کوتاه را ادامه می دهند. در ادامه این بخش به چرایی نامتقارن شدن جریان اتصال کوتاه و وجود مولفه DC در جریان اتصال کوتاه پرداخته شده و سپس به اهمیت در نظر گرفتن نامتقارنی جریان اتصال کوتاه در طراحی و بهره برداری از شبکه می پردازد. این بخش با بررسی اطلاعات به دست آمده از نامتقارنی جریان، محاسبه ماکزیمم جریان اتصال کوتاه، انواع خطاها، مقاومت قوس در هنگام خطا پایان می پذیرد. بخش ششم گزارش با بیان اصول اساسی محاسبات اتصال کوتاه شروع شده، سپس دستور کار محاسبات اتصال کوتاه را در شش گام معرفی می کند. نکته قابل توجه در این شش گام، گام پنجم آن است که بیان می دارد برای محاسبه جریان اتصال کوتاه نامتقارن براساس استاندارد IEEE/ANSI باید ضریبی در جریان اتصال کوتاه متقارن ضرب شود. محاسبات مربوط به جریان اتصال کوتاه اولین سیکل و زمان قطع، به این ضرایب نیازمند است تا بتوان براساس آن ظرفیت کلیدها و سایر تجهیزات درگیر با اتصال کوتاه را محاسبه کرد. در صورتی که برای تنظیمات حفاظتی که از جریان اتصال کوتاه حالت ماندگار (۳۰ سیکلی) استفاده می کنند، نیازی به این ضرایب نیست. در ادامه بخش ششم، به چگونگی استخراج دیاگرام تک خطی براساس استاندارد IEEE Std 315-1975 یا IEC 60617 پرداخته است و تمامی نمادهای تجهیزات مورد استفاده در دیاگرام تک خطی براساس این استانداردها است. در ادامه این بخش به چگونگی استفاده از مدار معادل تک فاز یا توالی مثبت سیستم سه فاز متعادل پرداخته است. پس از آن، چگونگی شماره گذاری باس ها و چگونگی استخراج دیاگرام



امپدانس پریونیتی بیان شده است و سپس دیاگرام هایی که جریان های اتصال کوتاه خروجی محاسبات در آن درج می شوند و دیاگرام های تک خطی دارای تجهیزات حفاظتی معرفی شده اند. در پایان بخش ششم، روش های مداری مورد نیاز برای ساده سازی شبکه ها به منظور انجام محاسبات اتصال کوتاه شامل فرض خطی بودن امپدانس ها، اصل جمع آثار، قوانین تونن و نورتن، مولفه های توالی و ... معرفی شده است. فصل هفتم این گزارش به چگونگی مدل سازی تجهیزات برای محاسبات اتصال کوتاه می پردازد. در ادامه گزارش، فصل هشتم و نهم به روش محاسبه اتصال کوتاه و چگونگی مدل سازی تجهیزات براساس استاندارد ANSI می پردازد. فصل دهم گزارش به چگونگی محاسبات اتصال کوتاه و مدل سازی تجهیزات براساس استاندارد IEC پرداخته و در ادامه مقایسه ای بین اتصال کوتاه براساس روش های استاندارد ANSI و IEC پرداخته و این گزارش با چگونگی اعتبارسنجی محاسبات اتصال کوتاه پایان می یابد.

۸- فهرست منابع و مراجع

- [1] W. H. Kersting, W.H.: 'Distribution System Modeling and Analysis', CRC Press, 2002.
- [2] Kersting, W. H. Mendive, D.L.: 'An application of Ladder Network theory to the solution of three phase Radial Load-Flow Problem', IEEE PAS Winter meeting, New York, 1976, IEEE Paper No. A76 044-8.
- [3] Berg, R., Hawkins, E.S., and Plelines, W.W.: 'Mechanized Calculation of Unbalanced Load Flow on Radial Distribution Circuits', IEEE Trans.on Power Apparatus and Systems, 1967, 86, (4), pp.415-421.
- [4] Chang, G.W., Chu, S.Y., Wang, h.l.: 'An Improved Backward/Forward Sweep Load Flow Algorithm for Radial Distribution Systems', IEEE Trans. on Power Systems, 2007, 22, (2), pp.882-884.
- [5] Ulas Eminoglu, Hakan Hocaoglu, M.: 'A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models', Electric Power Systems Research, 2005, 76, pp.106-114.
- [6] Jianwei Liu, Salama, M.M.A., Mansour, R.R.: 'An efficient power flow algorithm for distribution systems with polynomial load', International Journal of Electrical Engineering Education, 2002, 39, (4), pp.372-386.
- [7] Haque, M.H.: 'A general load flow method for distribution systems', Electric Power Systems Research, 2000, 54, pp.47-54.
- [8] Haque, M.H.: 'Efficient load flow method for distribution systems with radial or mesh configuration', IEE Proc., Gener.transm.Distrib., 1996, 143, (1), pp.33-38.
- [9] Das, D., Kothari, D.P., Kalam, A.: 'Simple and efficient method for load flow solution of radial distribution networks', Electric Power & Energy Systems, 1995, 17, (5), pp.35-346.
- [10] Ghosh, S., Das, D.: 'Method for load-flow solution of radial distribution networks', IEE Proc. Gener. Transm. Distrib, 1999, 146, (6), pp.641-648.

- [11] Moghaddas-Tafreshi, S.M., Elahe Mashour: 'Distributed generation modeling for power flow studies and a three-phase unbalanced powerflow solution for radial distribution systems considering distributed generation', Electric power system research, 2009, 79, pp.680-686.
- [12] Dragoslav Rajicic and Rubin Taleski: 'Two novel methods for radial and weakly meshed network analysis', Electric Power Systems Research, 1998, 48, pp.79-87.
- [13] Shirmohammadi, D., Hong, H.W., Semlyen, A., Luo, G.X.: 'A compensation-based Power flow method for weakly Meshed Distribution and Transmission Networks', IEEE Trans. On Power Systems, 1998, 3, (2), pp.753-762.
- [14] Cheng, C.S., Shirmohammadi, D.: 'A three phase power flow method for real time distribution system analysis', IEEE Trans. Power Syst., 1995, 10, (2), pp 671-679.
- [15] Sarika Khushalani, Jignesh Solanki, M., Noel Schulz, M.: 'Development of Three-Phase Unbalanced Power Flow Using PV and PQ Models for Distributed Generation and Study of the Impact of DG Models', IEEE Trans. Power syst., 2007, 22, (3), pp.1019-1025.
- [16] Zhu, Y., Tomsovic, K.: 'Adaptive Power Flow Method for Distribution Systems with Dispersed Generation', IEEE Trans. Power Delivery, 2002, 17, (3), pp.822-827.
- [17] Tsai-Hsiang Chen, Mo-Shing Chen, Kab-Ju Hwang, Paul Kotas, Elie Chebli, A.: 'Distribution System Power Flow Analysis –A Rigid approach', IEEE Trans. On Power Delivery, 1991, 6, (3), pp 1146-1152.
- [18] Fan Zhang and Carol Chang, S.: 'A modified Newton Method for Radial Distribution System Power Flow Analysis', IEEE Trans Power Systems, 1997, 12, (1), pp.389-397.
- [19] Jen-Hao Heng, Chuo-Yean Chang: 'A novel and Fast Three-Phase Load Flow for Unbalanced Radial Distribution Systems', IEEE Trans. Power Syst., 2002, 17, (4), pp.1238-1244.
- [20] Paulo Garcia, A.N. Jose Luiz, Sandoval Carneiro, Vander Costa da, M., Nelson Martins: 'Three-Phase Power Flow Calculations Using the Current Injection Method', IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15, (2), 508-514.
- [21] Mesut Baran, E. and Felix Wu, F.: 'Optimal Sizing of Capacitors Placed On A Radial Distribution System', IEEE Trans. Power Delivery, 1989, 4, (1), pp.735-743.

- [22] Hieu Le Nguyen: 'Newton-Raphson Method in Complex Form', IEEE Trans. Power Syst., 1997,12,(3),pp.1355-1359.
- [23] Jen-Hao Teng: 'A Direct approach for Distribution System Load Flow Solutions', IEEE trans Power Delivery, 2003,18,(3), pp.882-887.
- [24] Tsai-Hsiang Chen and Nien-Che Yang: 'Loop frame of reference based three-phase power flow for unbalanced radial distribution systems', Electric power systems research, 2010,80, pp. 799-806.
- [25] Stagg, G.W. El-Abiad: 'Computer Methods in Power System Analysis', McGraw Hill, 1968
- [26] Xiao-Ping Zhang: 'Fast Three Phase Load Flow Methods', IEEE Trans. on Power Syst, 1996,11,(3), pp.1547-1554.
- [27] Mamdouh ABDEL-Akher and Khalid Mohamed Nor: 'Improved Three- Phase Power flow Methods Using Sequence Components', IEEE Trans. Power syst. 2005,20,(3),pp.1389-1397.

۹- اعضاء کار گروه تهیه کننده دستورالعمل

اعضای مشارکت کننده در تدوین دستورالعمل (به ترتیب حروف الفبا)	
شرکت توزیع برق استان تهران	آقای دکتر حامد احمدی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج	آقای دکتر صلاح بهرام آرا
شرکت توانیر	آقای مهندس میلاد بی آزار
شرکت مشاور دانشمند	آقای مهندس اشکان حجتی
پژوهشگاه نیرو	آقای مهندس حمید دانایی
شرکت توزیع برق استان تهران	آقای مهندس علیرضا دهقانی
شرکت توزیع برق تهران بزرگ	خانم دکتر فیروزه رامشخواه
پژوهشگاه نیرو	آقای دکتر مهدی زراعتی مشکاتی
پژوهشگاه نیرو	آقای دکتر علیرضا شیخی فینی
دانشگاه شهید بهشتی	آقای دکتر مصطفی صدیقی زاده
شرکت توزیع برق کردستان	آقای مهندس فاتح عبدی
شرکت مشاور دانشمند	آقای مهندس صالح عسکری
شرکت توزیع برق کردستان	آقای مهندس محمد عظیمی
شرکت توزیع برق کردستان	آقای مهندس عبید علیمحمدی
شرکت توانیر	آقای دکتر مهیار قلی زاده
شرکت توزیع برق شیراز	آقای مهندس عباس کریمی
شرکت توزیع برق کردستان	آقای مهندس هیوا لهونیان
شرکت توزیع برق کردستان	آقای مهندس حسین مخدومی
پژوهشگاه نیرو	خانم مهندس نیکی مسلمی
شرکت توزیع برق کردستان	خانم مهندس پروین مولودی
شرکت توزیع برق تهران بزرگ	آقای دکتر سیدمجید میری لاریمی
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان	آقای دکتر سجاد نجفی روادانق