تاریخ : ۱۴۰۰/۵/۴
شماره : ۱۴۰۰/۳۱۳/۱۴۴۳
پیوست : دارد

بسمه تعالی

«سال تولید؛ پشتیبانی‌ها؛ مانع‌زدایی‌ها»
(مقام‌معظم‌رهبری)

کلیه شرکت های توزیع نیروی برق

موضوع: ابلاغ دستورالعمل "جاری سازی مطالعات و تحلیل شبکه در شرکت های 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 شرکت های توزیع: محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه** " نموده است که به‌پیوست جهت اجرا و پیاده‌سازی ابلاغ می‌گردد.

امید است مجموعه تحت امر آن مدیریت‌عامل محترم با بکارگیری دستورالعمل فوق الاشاره در تحلیل نقاط ضعف شبکه‌های توزیع از منظر الکتریکی گامی مؤثری برداشته و با ارائه نقطه نظرات مکمّل 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 صادقیان رئیس گروه محترم راهبری و قابلیت اطمینان شبکه - جهت قراردادن فایل دستورالعمل در وب سایت دفتر

اقدام کننده:
میلاد بی آزار- ۲۷۹۳۵۰۸۷

شرکت توانیر
معاونت هماهنگی توزیع
دفتر مهندسی و راهبری شبکه

دستورالعمل جاری‌سازی مطالعات و تحلیل شبکه در شرکت‌های توزیع: محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

کد سند: TAV111-03/00

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

دستورالعمل جاری‌سازی مطالعات و تحلیل شبکه در شرکت‌های توزیع نیروی برق:
محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

دریافت کنندگان سند:
- ✓شرکت توانیر
- ✓شرکت‌های توزیع نیروی برق

کد سند	تاریخ تهیه	تاریخ بازنگری	شماره آخرین بازنگری
TAV111-03/00	۱۴۰۰/۰۴/۰۷	---	---

تهیه کننده	تائید کننده	تصویب کننده
دفتر مهندسی و راهبری شبکه- معاونت مهندسی	مدیر کل دفتر مهندسی و راهبری شبکه –مسعود صادقی خمامی	معاون هماهنگی توزیع غلامعلی رخشانی‌مهر
امضاء:	امضاء:	امضاء:

http://www.tavanir.org.ir/dm/dmnezarat/

فهرست مطالب

عنوان _____ **صفحه**

۱- دامنه کاربرد دستورالعمل ۱
۲- مراجع اصلی در تدوین دستورالعمل ۱
۳- تعاریف ۱
۴- جایگاه مطالعات در شرکت‌های توزیع ۳
۵- مطالعات نیازمند محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه ۶
۵-۱- کاربرد محاسبات پخش بار ۶
۵-۲- کاربرد محاسبات اتصال کوتاه ۱۰
۶- اطلاعات ورودی موردنیاز ۱۲
۶-۱- الزامات مدل‌سازی دک مطالعاتی ۱۳
۶-۲- الزمات کانورت اطلاعات شبکه از سیستم GIS به نرم‌افزارهای مطالعاتی ۱۵
۶-۳- الزمات اطلاعات استاتیکی نرم‌افزارهای مطالعاتی جهت انجام محاسبات (پخش بار و اتصال کوتاه) ۲۲
۶-۴- مدل‌سازی بار شبکه فشار متوسط ۳۰
۶-۵- صحت‌سنجی اطلاعات دینامیکی ۳۶
۷- پیوست‌ها ۳۷
۸- فهرست منابع و مراجع ۷۲
۹- اعضاء کارگروه تهیه‌کننده دستورالعمل ۷۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱: جایگاه مطالعات در شرکت‌های توزیع ۴
شکل ۲: نمای سامانه مطالعات شبکه توزیع: ویرایش اول (محاسبات اتصال کوتاه و پخش بار) ۵
شکل ۳: مطالعاتی که نیاز به انجام محاسبات پخش بار دارند ۸
شکل ۴: نحوه هماهنگی بین کاربر، GIS، Developer و ماژول کانورت ۲۲
شکل پ۱-۱: تحلیل کننده نتایج برای مقایسه چند مطالعه ۴۴
شکل پ۱-۲: تحلیل‌کننده نتایج برای شناسایی بدترین حالت ۴۵
شکل پ۲-۱: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مدل ۴۹
شکل پ۲-۲: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مطالعات سیستم ۵۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱: اقداماتی که انجام محاسبات پخش بار در آن‌ها الزامی است ۹
جدول ۲: مطالعاتی که انجام محاسبات اتصال کوتاه در آن‌ها الزامی است ۱۲
جدول ۳: اطلاعات پایگاه داده GIS براساس مدل مفهومی ۱۶
جدول ۴: داده‌های موردنیاز ژنراتور برای محاسبات پخش بار ۲۳
جدول ۵: داده‌های موردنیاز ژنراتور برای محاسبات اتصال کوتاه ۲۴
جدول ۶: داده‌های موردنیاز ترانسفورماتورها برای محاسبات پخش بار ۲۵
جدول ۷: داده‌های موردنیاز ترانسفورماتورها برای محاسبات اتصال کوتاه ۲۵
جدول ۸: داده‌های موردنیاز خطوط برای محاسبات پخش بار ۲۶
جدول ۹: داده‌های موردنیاز خطوط برای محاسبات اتصال کوتاه ۲۶
جدول ۱۰: داده‌های موردنیاز بارهای موجود در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه ۲۶
جدول ۱۱: داده‌های پایه‌ای کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات پخش بار ۲۷
جدول ۱۲: داده‌های موردنیاز کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات اتصال کوتاه ۲۸
جدول ۱۳: داده‌های موردنیاز خازن در شبکه برای محاسبات پخش بار ۲۹
جدول ۱۴: داده‌های موردنیاز باس (شین) در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه ۲۹
جدول ۱۵: داده‌های موردنیاز شین مرجع در شبکه برای محاسبات پخش بار ۲۹
جدول ۱۶: داده‌های موردنیاز شین مرجع در شبکه برای محاسبات اتصال کوتاه ۲۹
جدول ۱۷: نوع مدل‌سازی بار برای انجام اقدامات مختلف مطالعاتی در شبکه ۳۲
جدول ۱۸: منابع اطلاعاتی جهت مدل‌سازی بار شبکه ۳۳
جدول ۱۹: انواع سطوح روئیت‌پذیری شبکه فشار متوسط ۳۴
جدول ۲۰: انواع روش‌های مدل‌سازی بار در پیک بار سالانه ۳۵
جدول پ۱-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات نیم‌سیکل شبکه ۴۰
جدول پ۱-۲: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۱,۵ تا ۴ سیکل شبکه ۴۰
جدول پ۱-۳: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۳۰ سیکل شبکه ۴۰
جدول پ۲-۴: ضرایب c برای شرایط مختلف ولتاژی مدنظر کاربر ۴۲
جدول پ۱-۱: مقایسه روش‌های پخش بار ۶۸

۱- دامنه کاربرد دستورالعمل

دامنه این دستورالعمل انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه در فیدرهای فشار متوسط شبکه‌های توزیع برق است. در این دستورالعمل مشخص خواهد شد که شرکت‌های 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 صحت‌سنجی اطلاعات) نیز توضیح داده شده است. همچنین مشخص می‌شود که نرم‌افزار/نرم-افزارهایی که توسط شرکت‌های توزیع به منظور انجام این محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید دارای چه ویژگی‌های باشند. موارد بیان شده در این دستورالعمل می‌تواند توسط شرکت‌های توسعه دهنده نرم‌افزاری به منظور توسعه نرم‌افزارهای 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 3002.3™-2018 و IEEE Std 3002.2TM-2018 به عنوان مراجع اصلی استفاده شده‌اند.

۳- تعاریف

محاسبات پخش بار: تحلیل حالت ماندگار شبکه با هدف بررسی یا پیش‌بینی وضعیت ولتاژ باس‌ها و جریان خطوط براساس اطلاعات موردنیاز.

محاسبات اتصال کوتاه: تحلیل شبکه در هنگام وقوع خطا به منظور بررسی یا پیش‌بینی جریان خطا براساس اطلاعات موردنیاز.

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

برنامه‌ریزی فنی: انواع مطالعات مانند احداث و اصلاح شبکه و همچنین مطالعات مختلف جایابی که با هدف دستیابی به تصمیم بهینه جهت برطرف کردن نیازهای شبکه انجام می‌شود.

اطلاعات استاتیک: مجموعه‌ای از اطلاعات که در حالات مختلف بهره‌برداری از شبکه ثابت هستند مانند محل، نوع و سایز تجهیزات که از پایگاه اطلاعاتی GIS و پایگاه داده اطلاعات فنی قابل استخراج است.

اطلاعات دینامیک: مجموعه‌ای از اطلاعات که در حالات مختلف بهره‌برداری از شبکه متغیر هستند مانند اطلاعات بارهای شبکه و وضعیت کلیدها که معمولاً با اندازه‌گیری و پایش شبکه استخراج می‌گردند.

پایگاه داده اطلاعات فنی: پایگاهی است حاوی اطلاعات فنی مربوط به تجهیزات شبکه که به همراه اطلاعات موجود در GIS، اطلاعات استاتیکی مورنیاز محاسبات را تکمیل می‌کند.

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

دک بهره‌برداری: منظور دکی است که وضعیت شبکه بهره‌برداری شده در یک زمان خاص مانند پیک بار را نشان می‌دهد.

دک برنامه‌ریزی: منظور دکی است که براساس نوع مطالعات با پیش‌بینی تغییرات اطلاعات استاتیکی یا دینامیکی شبکه (مانند پیش‌بینی تجهیزات جدید یا رشد بار) و اعمال آن‌ها به دک بهره‌برداری، به دست می‌آید.

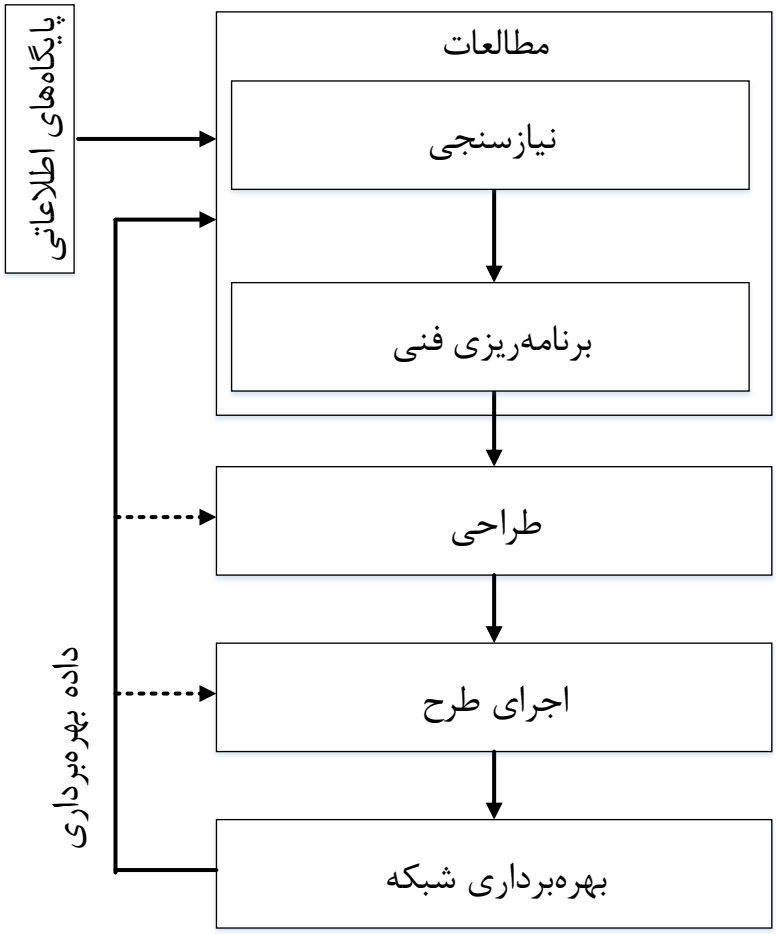
کانورت اطلاعات: تبدیل اطلاعات موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی مختلف به اطلاعات قابل فهم برای نرم-افزار مطالعاتی.

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

٤- جایگاه مطالعات در شرکت‌های توزیع

مهم‌ترین هدف شرکت‌های توزیع، ارائه خدمات توزیع و فروش انرژی الکتریکی به مشترکین به صورت پایدار و با رویکرد اقتصادی است. به همین منظور شرکت‌های توزیع باید با توجه به نیازهای شبکه و محدودیت‌های موجود، تصمیمات بهینه‌ای را اتخاذ کنند. از آنجایی که انجام مطالعات و تحلیل شبکه به منظور تأمین اقتصادی و فنی نیازهای شبکه از اهمیت بالایی برخوردار است، جاری‌سازی این مطالعات در شرکت‌های توزیع هدف اصلی این دستورالعمل است. جایگاه مطالعات در شرکت‌های توزیع در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده، شرکت‌های توزیع به منظور شناسایی و رفع نیازهای خود که می‌تواند تأمین بار متقاضیان جدید و یا بهبود شاخص‌های شبکه مانند تلفات و ولتاژ باشد، نیازمند مطالعه و تحلیل شبکه هستند. نتایج مطالعات وارد حوزه طراحی شده[1] و پس از تهیه طرح و اجرای آن، شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. سپس شبکه مورد بهره‌برداری به صورت مستمر پایش شده که براساس داده‌های آن و دیگر داده‌های جمع‌آوری شده از پایگاه‌های اطلاعاتی (مانند داده‌های واحد مشترکین)، مشکلات و نیازهای شبکه مشخص خواهد شد تا براساس آن‌ها اقدامات لازم صورت گیرد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده در برخی مواقع ممکن است پس از شناسایی نیازهای شبکه در بهره‌برداری 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 شبکه‌های توزیع است، ویرایش اول این دستورالعمل نحوه پیاده‌سازی این محاسبات در فرآیندهای شرکت‌های توزیع را تبیین می‌کند.

[1] در شکل ۱ منظور از مطالعات در قسمت مربوط به برنامه‌ریزی فنی، مطالعات بهینه‌سازی در حوزه زمانی میان‌مدت و بلندمدت است که براساس آن در مورد راه‌حل مناسبی مانند خازن‌گذاری یا ایجاد نقاط مانور برای رفع نیازهای شبکه (مانند تلفات یا افت ولتاژ) تصمیم‌گیری می‌شود. 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.

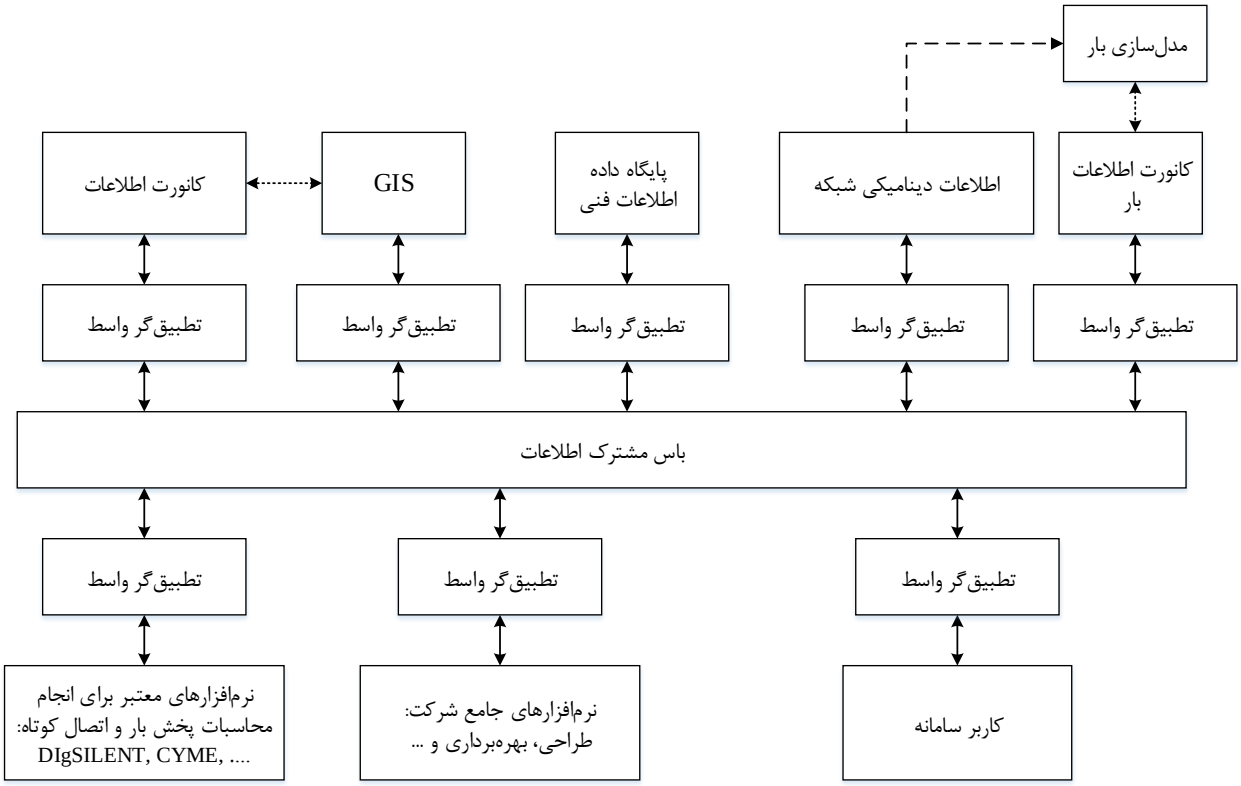


شکل ۱: جایگاه مطالعات در شرکت‌های توزیع

نمایی از دیاگرام پیشنهادی مطالعات شبکه توزیع که بیانگر ارتباطات بین بانک‌های 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 آن‌ها در بخش ۵ بیان شده است. اطلاعات استاتیکی موجود در GIS و نتایج حاصل از مدل‌سازی بار کانورت شده و این اطلاعات از طریق تطبیق‌گر واسط[1] بر روی باس مشترک اطلاعات قرار می‌گیرند. به منظور انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه، این اطلاعات وارد نرم-افزارهای معتبر مورد استفاده توسط شرکت‌های توزیع می‌شوند و پس از انجام محاسبات، خروجی‌های موردنیاز

[1] Interface adapter

از نرم‌افزار استخراج شده و جهت نمایش خروجی مطالعات در نرم‌افزارهای جامع مهندسی و بهره‌برداری 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 شرکت‌های توزیع باید از محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه استفاده شود. در بخش پنجم نحوه تهیه دک مطالعاتی و صحت‌سنجی اطلاعات بررسی خواهد شد. در پیوست ۱ ویژگی‌های نرم‌افزارهای مورد استفاده برای انجام این محاسبات بیان شده است. در پیوست ۲ مفاهیم مربوط به صحت‌سنجی مدل و اطلاعات ارائه شده و انواع روش‌های 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

شرکت‌های توزیع باید به‌صورت مستمر نیازهای شبکه مورد بهره‌برداری 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.

۵-۱-کاربرد محاسبات پخش بار

محاسبات پخش بار زیربنای بسیاری از مطالعات شبکه‌های توزیع است که در آن جریان و ولتاژ بخش‌های مختلف شبکه محاسبه شده و براساس آن‌ها می‌توان 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 می‌توان در دوبخش مهم از فرآیند مطالعات در شرکت‌های 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 می‌شود؛ که در شرایط زیر انجام می‌شود:

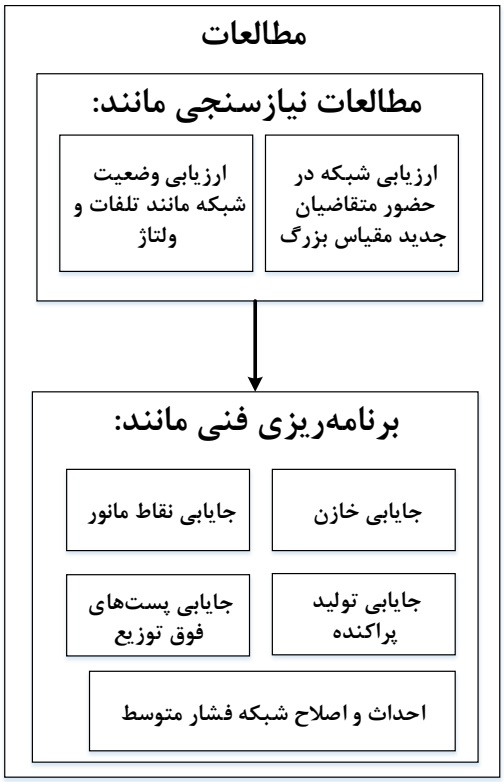
- ارزیابی دوره‌ای وضعیت تلفات و ولتاژ شبکه به منظور مشخص شدن نیازهای شبکه موجود
- پیش‌بینی وضعیت شبکه، در صورت تغییرات عمده در شبکه مانند اتصال متقاضیان جدید بزرگ مقیاس (بارهای جدید بیش از یک مگاوات یا منابع تولید پراکنده طرح ۲ و بالاتر) به شبکه موجود: به عنوان مثال در صورت وجود متقاضی جدید در شبکه آیا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

۲- برنامه‌ریزی فنی: در این بخش پس از مشخص شدن نیازهای شبکه، تصمیم‌گیری در راستای تعیین اقدامات مناسب برای رفع این نیازها صورت می‌گیرد. این مطالعات شامل اصلاح و توسعه شبکه فشار متوسط، خازن-گذاری، جایابی نقاط مانوری و ... است. در این بخش با توجه به نتایج پخش بار، وضعیت شبکه، محدودیتهای فنی و همچنین ملاحظات اقتصادی، تصمیمات بهینه اتخاذ می‌شود.

در واقع برنامه‌ریزی فنی حل یک مساله بهینه‌سازی 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 می‌نماید. ابزار اصلی برای حل این مسئله بهینه‌سازی محاسبات پخش بار است که توسط نرم‌افزار مناسب صورت می‌گیرد و براساس آن مقدار تابع هدف مانند تلفات مشخص شده و همچنین قیود فنی شبکه در هرحالت بررسی می‌شود. با توجه به اینکه در بسیاری از مطالعات چندین متغیر تصمیم‌گیری وجود دارد می‌توان مسائل برنامه‌ریزی فنی را از این دیدگاه به دو صورت انجام داد:

- با توجه به قابلیت‌های موجود در برخی از نرم‌افزارها، می‌توان متغیرهای تصمیم‌گیری مختلف را برای نرم‌افزار تعریف کرد و نرم‌افزار با انجام مسئله پخش بار، جواب بهینه را به دست آورد. به طور مثال در مسئله خازن‌گذاری در شبکه می‌توان مکان‌ها و یا ظرفیت‌های کاندید را برای خازن مشخص کرد و سپس ماژول خازن‌گذاری نرم‌افزار مورد استفاده (مانند DIgSILENT) این قابلیت را دارد که حالت‌های مختلف را بررسی و در نهایت مکان بهینه را انتخاب کند.
- در برخی دیگر از مطالعات نیاز است متغیرهای تصمیم‌گیری هر بار توسط کاربر در نرم‌افزار مربوطه وارد شود و سپس با انجام محاسبات پخش بار نتایج حاصل از این انتخاب به دست آید. سپس کاربر می‌تواند با تحلیل نتایج، انتخاب بهینه خود را انجام دهد. به طور مثال در جایابی نقاط مانور، کاربر می‌تواند نقاط

کاندید مختلف را در نرم‌افزار شبیه‌سازی 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 شده‌اند.

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

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

روش‌های مختلفی برای انجام پخش بار وجود دارند که در پیوست ۳ به طور کامل توضیح داده شده‌اند. همچنین نرم‌افزاری که به منظور انجام محاسبات پخش بار مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دارای شرایط حداقلی باشد که در پیوست ۱ به آن اشاره شده است.

[۱] در اینجا منظور تولید پراکنده‌ای است که توسط سرمایه‌گذار خصوصی به منظور نصب در شبکه پیشنهاد می‌شود و شرکت توزیع دخالتی بر روی مکان بهینه نصب آن ندارد و صرفاً وضعیت شبکه را در هنگام اتصال تولید پراکنده ارزیابی می‌کند.

[۲] در اینجا منظور حالتی است که شرکت توزیع بخواهد به منظور بهبود شاخص‌های شبکه، مکان‌یابی 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 می‌کند. در این محاسبات، جریان اتصال کوتاه بخش‌های مختلف شبکه محاسبه شده و براساس آن‌ها و همچنین میزان بار می‌توان تصمیمات لازم (مانند هماهنگی حفاظتی و سایزینگ تجهیزات) را اتخاذ نمود.

از محاسبات اتصال کوتاه می‌توان در دو بخش از فرآیند مطالعات در شرکت‌های توزیع به صورت زیر استفاده کرد:

۱- نیازسنجی شبکه: در این بخش، از محاسبات اتصال کوتاه به منظور بررسی وضعیت شبکه از نظر جریان‌های اتصال کوتاه به صورت زیر می‌توان استفاده کرد.

- ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه هنگام برق‌رسانی 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 می‌توانند 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 می‌تواند 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[1] (به طور مثال جابه‌جایی بخشی از شبکه بین دو فیدر) نیاز است که وضعیت اتصال کوتاه شبکه جدید مجدداً بررسی شود.

۲- برنامه‌ریزی فنی: در این بخش پس از مشخص شدن نیازهای شبکه، تصمیم‌گیری در راستای تعیین اقدامات مناسب برای رفع این نیازها صورت می‌گیرد. این مطالعات به دو منظور انجام می‌شود:

- 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 صورتی‌که تجهیز حفاظتی جدیدی به شبکه اضافه شود نیاز است که محاسبات اتصال کوتاه انجام شود.

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

[1] 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 بهره‌برداری 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
مطالعات نیازسنجی	ارزیابی وضعیت اتصال کوتاه شبکه هنگام برق‌رسانی 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 موردنیاز برای مطالعات کیفیت توان شبکه	-
برنامه-ریزی فنی	هماهنگی حفاظتی	-
	تعیین مکان و ظرفیت بهینه تجهیزات حفاظتی جدید	-

روش‌های مختلفی برای انجام محاسبات اتصال کوتاه وجود دارند که در پیوست ۱ به طور کامل توضیح داده شده‌اند. همچنین نرم‌افزاری که به منظور انجام محاسبات اتصال کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دارای شرایط حداقلی باشد که در پیوست ۲ به آن اشاره شده است.

٦- اطلاعات ورودی موردنیاز

برای تشکیل مدل نرم‌افزاری سیستم توزیع به جمع‌آوری مقادیر قابل توجهی اطلاعات استاتیک و دینامیک و ورود آن به نرم‌افزار مطالعات سیستم نیاز است، که اصطلاحاً به آن "**دک مطالعاتی**" اطلاق می‌گردد. بدیهی است دقت هر کدام از این عوامل به ویژه اطلاعات مربوط به بهره‌برداری شبکه که ذاتاً اطلاعات متغیری است و عمدتاً به صورت همزمان یا در مواردی به صورت غیرهمزمان (جهت بررسی حوادث) تهیه می‌گردد، می‌تواند 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 دوره‌ای 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 موردنیاز.

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، انعکاس‌دهنده اطلاعات واقعی شبکه توزیع خواهد بود. در این صورت رسیدن به اهداف مورد نظر جهت تصمیم‌گیری‌های مهندسی در حوزه‌های 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.

۱-٦- الزامات مدل‌سازی دک مطالعاتی

مهم‌ترین مراحل جهت تهیه دک مطالعاتی شبکه را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱) تهیه اطلاعات گرافیکی و الکتریکی تجهیزات تشکیل‌دهنده 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 می‌توان این مرحله را مدل‌سازی 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 ماژول کانورت اطلاعات که الزامات آن در بخش ۵-۲ اشاره شده است، به نرم‌افزار 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 بهره‌برداری و ... و براساس داده‌های فنی موجود برای این تجهیرات در بانک اطلاعاتی مورد نیاز نرم‌افزار جهت انجام مطالعات نگهداری گردد. بدیهی است این اطلاعات یک بار تهیه و در صورت اضافه شدن تجهیز جدید یا تیپ‌های 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 شبکه‌های توزیع برق، تغییر در وضعیت کلیدها یا ساختار شبکه ممکن است باعث به‌وجود 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 سه‌سطحی) با توجه به نوع مطالعات مختلف و اطلاعات در دسترس، از روش‌های مختلفی تهیه می‌شود.

لازم است شرکت‌های توزیع دک مطالعاتی موردنیاز خود را حداقل یک‌بار در سال جهت انجام مطالعات آماده کنند. این دک که بهتر است مربوط به زمان پیک بار شبکه باشد را دک بهره‌برداری می‌نامیم. با توجه به توسعه احتمالی شبکه و تغییر اطلاعات استاتیک، اکیداً توصیه می‌گردد که مدل‌سازی 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 شرکت‌های توزیع دک بهره‌برداری 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 می‌آید، دک برنامه‌ریزی نامیده می‌شود. با توجه به اطلاعات ذخیره شده مربوط به آخرین پیک بار، لحاظ نمودن رشد بار و بارهای جدید، لازم است مدل‌سازی بار در دک برنامه‌ریزی 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 مدل‌سازی اطلاعات استاتیک شبکه با کانورت اطلاعات از نرم‌افزار GIS به نرم‌افزارهای مطالعاتی حاصل می‌شود؛ در این بخش، الزامات کانورت اطلاعات و ملاحظات ماژول مبدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. 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 شده‌اند. با توجه به لزوم شناسایی تک‌تک تجهیزات کانورت شده از سیستم GIS به نرم‌افزارهای مطالعاتی، لازم است ماژول کانورت اطلاعات برای نام‌گذاری هر تجهیز در نرم‌افزار مطالعاتی از Object ID تجهیز در نرم‌افزار 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 نرم‌افزار محاسباتی آورده شده است.

جدول ۳: اطلاعات پایگاه داده GIS براساس مدل مفهومی

تجهیز موجود در نرم افزار GIS			نام تجهیز در نرم افزار محاسباتی
نام تجهیز	نام لاتین تجهیز	نوع تجهیز	
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 نرم‌افزار GIS به نرم‌افزارهای مطالعاتی، لازم است عملیات انتقال اطلاعات توسط ماژول کانورت با رعایت الزامات زیر انجام شود:

۱- همان‌طور که اشاره شد لازم است همه تجهیزاتی که در جدول شماره ۳ آمده است، به همراه نام لاتین تجهیز و Object ID آن در نرم‌افزار GIS به نرم‌افزار 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 سایز شبکه و کد برنامه-نویسی متغیر است و معمولا یک شبکه متوسط باید در این بین اندازه‌گیری شود و وظایف Providerها است که اندازه‌گیری این مقادیر که جزوه عملکرد برنامه است را در مستنداتشان ارائه کنند.

۳- لازم است مواردی که نیاز به تأمل کاربر دارد و نمی‌داند آیا برنامه درحال 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 نرم‌افزار GIS وجود دارد منتقل گردد؛ به عبارتی موقعیت عوارض مختلف، گراف شبکه به همراه تمامی ورتکس‌ها، نقاط شکست خطوط و ... به‌درستی به نرم‌افزار مطالعاتی منتقل گردد.

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

۶- ماژول کانورت اطلاعات لازم است منطق‌های الکتریکی و جغرافیایی (GIS) را برای اصلاح خطاهای اپراتوری در نرم‌افزار GIS و جلوگیری از انتقال آن به نرم‌افزار 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 نرم‌افزار محاسباتی، در نرم‌افزار 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 موردنیاز برای تجهیزات مختلف که در نرم‌افزار محاسباتی مورد نیاز است.
- بررسی عدم اتصال مستقیم تجهیزات در سطوح ولتاژ مختلف به یکدیگر
- مشخص نمودن نقاط بی‌برقی، دارای حلقه جریان و ...

- ارائه لیست اطلاعات و تجهیزاتی که به هر دلیلی در کانورت اطلاعات منتقل نمی‌شود؛ به عنوان مثال تجهیزاتی در نرم‌افزار GIS وجود دارند که منطبق با آن در نرم‌افزار محاسباتی تجهیز وجود ندارد.
- بررسی کیفیت داده: ماژول کانورت باید مجموعه‌ای از معیارهای را به صورت زیر به منظور ارزیابی کیفیت داده‌ها در نظر بگیرد:
  - ❖ محدودیت‌های مجاز برای داده‌ها: معمولاً اعداد یا تاریخ‌ها باید در یک محدوده خاصی قرار بگیرند. یعنی آنها حداقل و یا حداکثر مقادیر مجاز را دارند.
  - ❖ محدودیت‌های اجباری: برخی از فیلدها نمی‌توانند خالی باشند.
  - ❖ محدودیت‌های 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 نرم‌افزارهای محاسباتی ممکن است متقاوت 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 نرم‌افزارهای محاسباتی مورد استفاده برای تجهیزات شبکه، جداول یکسانی در اختیار شرکت‌های توزیع و Providers آنان قرار گیرد. تا نگاشت انجام شده بطور واحد در همه نرم‌افزارها انجام گیرد). در این حالت نیاز است موارد زیر چک شود:
- صحت‌سنجی: اطمینان از انتقال اطلاعات اصلی از مبداء به مقصد، بطوری‌که بین داده اصلی و داده منتقل شده هیچ تفاوتی وجود نداشته باشد.

- تبدیل داده‌ها: تبدیل داده‌ها اجازه می‌دهد تا داده‌ها از قالب داده شده آن به فرمت مورد انتظار برنامه مناسب ترسیم شوند. این شامل تبدیل مقادیر یا توابع ترجمه و همچنین عادی‌سازی مقادیر عددی برای انطباق با حداقل و حداکثر مقادیر است. (مانند per uint و مقادیر عددی).

۷- پس از اتمام کانورت، ماژول مبدل اطلاعات می‌بایست، لیستی از تجهیزات منتقل شده به همراه تعداد آن را بصورت یک جدول در اختیار کاربر قرار دهد.

۸- لازم است ماژول 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- ماژول کانورت قابلیت انتخاب بخشی یا بخش‌هایی از شبکه موردنیاز برای محاسبات را در اختیار واحدهای محاسباتی قرار دهد.

۱۰- لازم است ماژول 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 نرم‌افزار GIS ایجاد شده و برای یک تجهیز برحسب اطلاعات تکمیل شده در نرم‌افزار GIS، Typeهای مختلفی ایجاد گردد. به عنوان مثال برای یک ترانسفورماتور با ظرفیت مشخص، برحسب سازنده، مدل، سال ساخت و ...، Typeهای مختلف ایجاد گردد. در این حالت نیاز است محدودیت‌های کلید خارجی رعایت شود.

۱۱- لازم است ماژول کانورت GIS، امکان ارتباط با سامانه‌های ارائه دهنده آخرین وضعیت اطلاعات دینامیکی شبکه مانند وضعیت کلیدها و اطلاعات بار را داشته باشد.

۱۲- کانورت تجهیز MOF به نرم‌افزار محاسباتی برای مطالعات جاری لزومی ندارد و مدل‌سازی 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[1] 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 می‌شود.
- ❖ زمانی که Developer شبکه را دریافت می‌کند.
- ❖ زمانی که Developer شبکه را به ماژول کانورت ارسال می‌کند.
- ❖ زمانی که Developer عملیات کانورت را به اتمام می‌رساند.

ب) ثبت وقایع مبتنی بر رویداد: به ازای هر رویداد که باعث عملکرد نادرست، خطای نرم‌افزاری و یا از کار افتادن نرم‌افزار شود، در log مقادیر زیر ایجاد شود و هریک از ماژول‌های 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 الزاماتی که در این بخش باید رعایت شود به‌صورت زیر است:

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

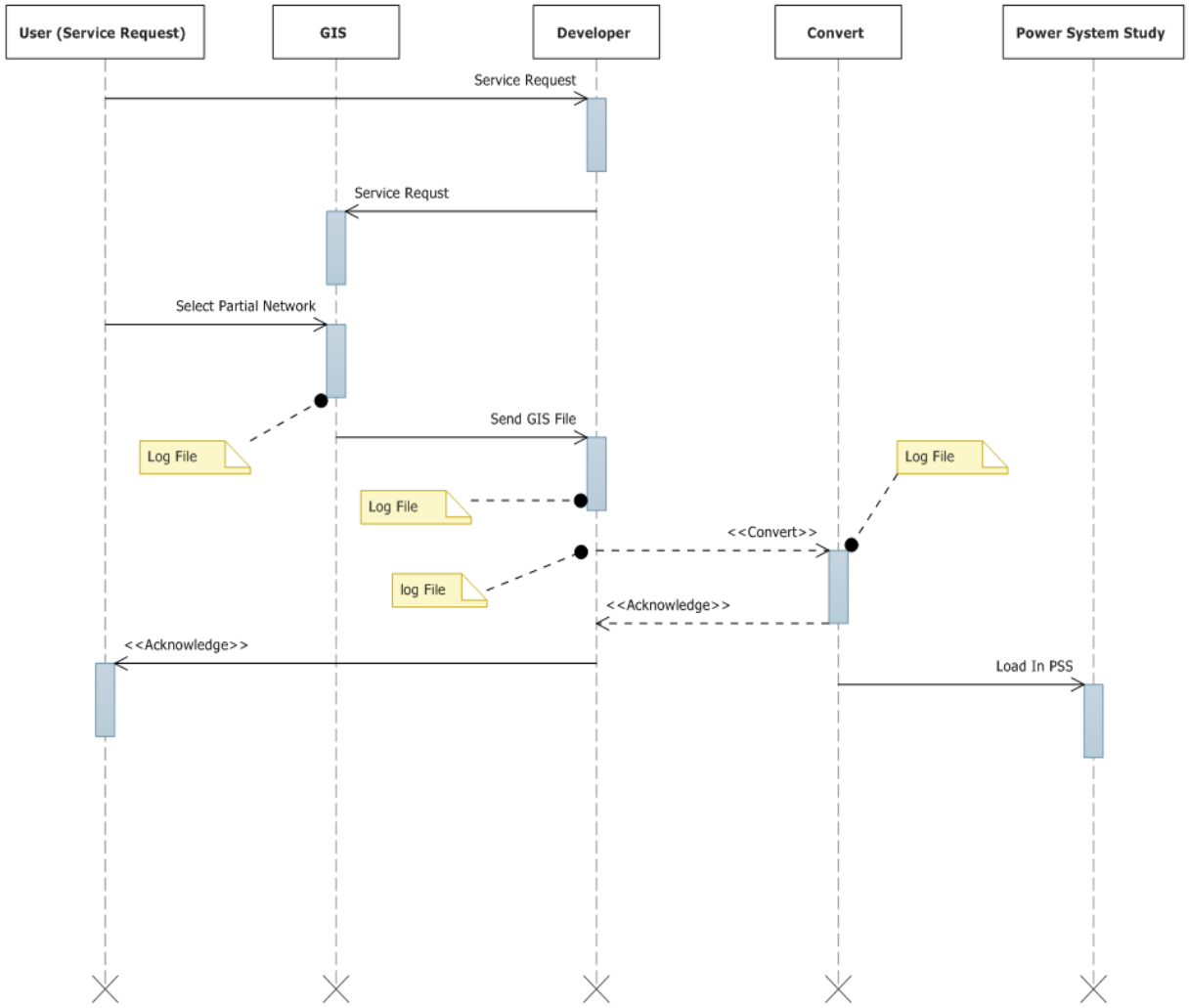
[1] Log file

- مکانیزم فرآیند به دو صورت می‌تواند انجام شود:

الف) کانورت توسط GIS provider انجام شده و فایل کانورت شده به Developer ارسال می‌گردد.

ب) کانورت توسط شرکت Developer انجام می‌شود.

- در صورت درخواست کاربر برنامه واحدهای محاسباتی توسط Developer به‌صورت اتوماتیک اجرا شده و توسط Engine نرم‌افزار محاسباتی، فایل کانورت شده در محیط نرم‌افزار محاسباتی بارگذاری می‌شود.
- 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.
- نقشه‌ها باید به‌روز شوند.



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

۳-۶- الزامات اطلاعات استاتیکی نرم‌افزارهای مطالعاتی جهت انجام محاسبات (پخش بار و اتصال کوتاه)

در این بخش از دستورالعمل، الزامات و نیازمندی‌های اطلاعات استاتیکی نرم‌افزارهای مطالعات شبکه ارائه می‌گردد. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از اطلاعات استاتیک موردنیاز نرم‌افزارهای مطالعاتی از سیستم GIS تأمین می‌گردد، در جداول اطلاعاتی هر تجهیز، فیلد اطلاعاتی معادل در نرم‌افزار GIS ارائه شده است. برای

اطلاعات کتابخانه‌ای تجهیزات مورد استفاده در شبکه توزیع شامل اطلاعات فنی براساس Type تجهیزات و اطلاعات بهره‌برداری، ترجیحاً لازم است یک پایگاه داده اطلاعات فنی و بهره‌برداری براساس Typeهای مختلف از تجهیزات مورد استفاده در شبکه توزیع ساخته شده و در نرم‌افزارهای مطالعاتی فراخوانده شود. ارتباط بین این پایگاه داده و اطلاعات استاتیک کانورت شده از سیستم GIS می‌تواند نیازمندی نرم‌افزار مطالعاتی برای انجام محاسبات را فراهم نماید. دراین بخش، برای هر تجهیز توزیع مورد استفاده در نرم‌افزارهای محاسباتی، جدول اطلاعات با منبع مورد استفاده برای تأمین داده آن فیلد اطلاعاتی با رویکرد محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه ارائه می‌گردد.

- **ژنراتور (مولد الکتریکی)**

ژنراتور سنکرون در شبکه‌های توزیع برق به صورت منابع تولید پراکنده حضور دارند. جداول ۴ و ۵ داده‌های مورد نیاز ژنراتور برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه و منابع اطلاعاتی جهت جمع‌آوری این داده‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ۴: داده‌های موردنیاز ژنراتور برای محاسبات پخش بار

داده‌های 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**
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	–	پایگاه داده اطلاعات فنی	–

جدول ۵: داده‌های موردنیاز ژنراتور برای محاسبات اتصال کوتاه

داده‌های 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 ترانسفوماتورها و شرکت سازنده باید تمامی اطلاعات ترانسفورماتور نظیر Uk% و مقدار تلفات سیم‌پیچی و گروه برداری ترانسفورماتور مورد نیاز است. جداول ۶ و ۷، داده‌های مورد نیاز ترانسفورماتور برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه و منابع اطلاعاتی جهت جمع‌آوری این داده‌ها را نمایش می‌دهند.

جدول ۶: داده‌های موردنیاز ترانسفورماتور برای محاسبات پخش بار

داده‌های موردنیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ظرفیت نامی ترانسفورماتور	ترانسفورماتور	GIS	**No_Pw**
موقعیت تپ ترانسفورماتور	ترانسفورماتور	GIS	**St_Tap**
امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور(Uk%)	ترانسفورماتور	GIS	**Uk**
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	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	–

جدول ۷: داده‌های مورد نیاز ترانسفورماتور برای محاسبات اتصال کوتاه

داده‌های موردنیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ظرفیت نامی ترانسفورماتور	ترانسفورماتور	نرم افزار GIS	**No_Pw**
موقعیت تپ ترانسفورماتور	ترانسفورماتور	GIS	**St_Tap**
امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور(Uk%)	ترانسفورماتور	GIS	**Uk**
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	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	–

- **خطوط**

کابل‌ها و خطوط ارتباطی بین پست‌ها، شبکه و بارهای آن را با داشتن اطلاعات مربوط به خط یا کابل موردنظر در فیدر خاص مربوطه می‌توان مدل کرد. جداول ۸ و ۹، داده‌های مورد نیاز خطوط را برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه بیان می‌کند.

جدول ۸: داده‌های موردنیاز خطوط برای محاسبات پخش بار

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

جدول ۹: داده‌های موردنیاز خطوط برای محاسبات اتصال کوتاه

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

- **بار**

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

جدول ۱۰، داده‌های موردنیاز بارهای موجود در شبکه را برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه نشان می‌دهد.

جدول ۱۰: داده‌های موردنیاز بارهای موجود در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

داده‌های موردنیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
توان اکتیو و راکتیو	-	ماژول مدل سازی بار	-
ولتاژ نامی	-	ماژول مدل سازی بار	-
متعادل یا غیرمتعادل بودن بار	-	ماژول مدل سازی 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 داده‌های فنی این تجهیزات در نرم‌افزار نیست. علاوه بر این لازم به ذکر است هر چند اطلاعات کلیدهای قدرت در محاسبات پخش بار اثری ندارند، ولی جدول ۱۱ اطلاعات پایه‌ای موردنیاز برای کلیدهای قدرت را ارائه داده است. جدول ۱۲، داده‌های موردنیاز کلیدهای قدرت و تجهیزات حفاظتی در شبکه را برای محاسبات اتصال کوتاه نمایش می‌دهد.

جدول ۱۱: داده‌های پایه‌ای کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات پخش بار

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

جدول ۱۲: داده‌های موردنیاز کلیدهای قدرت در شبکه برای محاسبات اتصال کوتاه

کلید قدرت			
داده‌های موردنیاز	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			
داده‌های موردنیاز	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			
داده‌های موردنیاز	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			
داده‌های موردنیاز	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			
داده‌های موردنیاز	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			
داده‌های موردنیاز	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 داده‌های موردنیاز خازن، باس شبکه و باس مرجع برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه و منابع اطلاعاتی جهت جمع‌آوری این داده‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ۱۳: داده‌های موردنیاز خازن در شبکه برای محاسبات پخش بار

داده‌های موردنیاز	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 جبرانساز	-	پایگاه داده اطلاعات فنی	-
نوع کنترل	خازن فشار متوسط	GIS	**Cntrl_Type**

جدول ۱۴: داده‌های موردنیاز باس (شین) در شبکه برای محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

داده‌های موردنیاز 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 بهره‌برداری	-

جدول ۱۵: داده‌های موردنیاز شین مرجع در شبکه برای محاسبات پخش بار

داده‌های موردنیاز	نام لایه	منبع اطلاعات	نام فیلد
ولتاژ نامی	-	نرم افزار بهره برداری	-
زاویه ولتاژ	-	نرم افزار بهره برداری	-

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

داده‌های موردنیاز	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- مدل‌سازی بار شبکه فشارمتوسط

هدف از مدل‌سازی بار در این بخش، محاسبه اطلاعات موردنیاز بار هریک از مصرف‌کنندهای شبکه فشار متوسط با استفاده از روش‌های تخصیص بار است. با توجه به نوع مطالعات، این اطلاعات ممکن است میزان بار مصرف‌کننده‌ها در پیک شبکه، میزان بار مصرف‌کننده‌ها در کم‌باری شبکه، مدل بار سه‌سطحی یا ۲۴ ساعته مصرف‌کننده‌ها باشد (جدول ۱۷ نوع مدل‌سازی بار موردنیاز برای مطالعات مختلف را نشان می‌دهد).

مصرف‌کننده‌هایی که در شبکه فشار متوسط مدل می‌شوند، به صورت زیر هستند:

- پست‌های 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 شرکت‌های توزیع برق[۱]

بسته به سطح پایش[۲] شبکه، اطلاعات در دسترس جهت تخصیص اطلاعات بار شبکه به هریک از مصرف کنندها 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 تبادلی به عنوان نقطه بار انتهای فیدر استفاده نشود. در مواردی که نقطه تبادلی مربوط به تبادل انرژی بین دو شرکت توزیع برق است، این نقطه می‌تواند به عنوان نقطه انتهایی فیدر لحاظ شده و بار اندازه‌گیری‌شده توسط MOF به عنوان بار نقطه نهایی در محاسبات اعمال شود.

[2] Monitoring

[۳] علاوه بر این موارد، ممکن است اطلاعات دیگری نیز از شبکه در دسترس باشد که می‌تواند در مدل‌سازی دقیق‌تر بار و همچنین صحت‌سنجی 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 می‌توان این اطلاعات را جمع‌آوری کرد در جدول ۱۸ نشان داده شده‌اند.

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

ردیف	هدف	نوع کلی مدلسازی
۱	ارزیابی وضعیت شبکه به منظور برق‌رسانی 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 – کم‌باری[۳]
۵	احداث و اصلاح شبکه فشار متوسط به منظور برق‌رسانی 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 پست‌های فوق توزیع	پیک بار سالیانه
۹	جایابی نقاط مانوری شبکه	پیک بار – کم‌باری
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 برق‌رسانی 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 موردنیاز 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 دسته‌های کم‌باری، میان‌باری و پیک بار فیدر مربوطه است.**

۳) **پیک بار – کم‌باری: منظور پیک بار و کمترین بار سرخط فیدر در حوزه اصلی است.**

جدول ۱۸: منابع اطلاعاتی جهت مدل‌سازی بار شبکه

ردیف	عنوان	منبع اطلاعات
۱	بارگیری سالانه پست‌های توزیع	بانک اطلاعات بارگیری پست‌های توزیع
۲	کنتورهای فهام مشترکین دیماندی	بانک اطلاعات لوازم اندازه‌گیری
۳	اطلاعات خدمات مشترکین شامل دیماند قراردادی و دیماند مصرفی مشترکین دیماندی	بانک اطلاعات خدمات مشترکین
۴	کنتور یا ثبات‌های نصب‌شده در محل پست‌های توزیع که به صورت دوره‌ای یا آنلاین قابل قرائت بوده‌اند	بانک اطلاعات ثبات‌ها یا کنتورهای 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 پست‌های فوق توزیع[۲]	بانک اطلاعات برق منطقه‌ای
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، می‌توان سطوح پایش شبکه را به‌صورت 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	منحنی ۲۴ ساعته توان اکتیو و راکتیو پست فوق توزیع بالادست	میزان پیک توان اکتیو و راکتیو فیدر فشار متوسط	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
صفر	✓	✓				
یک	✓	✓	✓			
دو	✓	✓	✓	✓		
سه	✓	✓	✓		✓	
چهار	✓	✓	✓	✓	✓	
پنج	✓	✓	✓	✓	✓	✓

با توجه به سطح پایش شبکه و همچنین اطلاعات بار موردنیاز برای مطالعات، از روش‌های تخصیص بار زیر می‌توان استفاده کرد. این روش‌ها به منظور مدل‌سازی بار در دک بهره‌برداری بیان شده‌اند و جهت تهیه دک برنامه‌ریزی نیاز است که رشد بار با توجه به افق زمانی مطالعات لحاظ گردد.

۱) **روش مدل‌سازی بارها در پیک بار سالیانه:** با توجه به سطح پایش شبکه، روش مدل‌سازی بارها در پیک بار شبکه به صورت جدول ۲۰ است.

جدول ۲۰: انواع روش‌های مدل‌سازی بارها در پیک بار سالیانه

سطح پایش شبکه	روش مدل‌سازی بار
صفر[1]	میزان بار هریک از مصرف‌کنندها در پیک بار شبکه با سرشکن کردن بار کل پست فوق توزیع براساس ظرفیت هر یک از پست‌های توزیع (یا قدرت قراردادی مشترکین ولتاژ اولیه) تخصیص می‌یابد.[2]
یک و دو	میزان بار هریک از مصرف‌کنندها در پیک بار شبکه با سرشکن کردن بار کل فیدر براساس ظرفیت هر یک از پست‌های توزیع (یا قدرت قراردادی مشترکین ولتاژ اولیه) تخصیص می‌یابد.
سه، چهار و پنج	میزان بارهای نامعلوم در پیک بار شبکه با سرشکن کردن اختلاف بار کل فیدر و بارهای معلوم مصرف‌کنندها، براساس ظرفیت هر یک از پست‌های توزیع (یا قدرت قراردادی مشترکین ولتاژ اولیه) مربوط به بارهای نامعلوم تخصیص می‌یابد.

۲) **روش مدلسازی پروفیل بار سه سطحی:** در این روش ابتدا منحنی بار سه‌سطحی پست فوق توزیع یا فیدر را (با توجه به سطح روئیت‌پذیری) با استفاده از روش‌های مناسب (به عنوان مثال، روش K-Means Clustering) به دست می‌آوریم. سپس همانند جدول ۱۹، روش تخصیص بار را برای هر یک از این سه سطح (پیک بار، میان‌باری و کم‌باری) اجرا می‌کنیم.

۳) **روش مدلسازی پروفیل بار ۲۴ ساعته:** در این روش ابتدا منحنی بار ۲۴ ساعته میانگین پست فوق توزیع/فیدر را در یک سال به دست می‌آوریم. سپس با فرض یکسان بودن منحنی بار مصرف‌کننده‌ها با منحنی بار پست فوق توزیع/فیدر، می‌توان روش تخصیص بار را همانند جدول ۱۹ برای هر ساعت اجرا کرد. هرچند به منظور بالا بردن دقت محاسبات می‌توان منحنی بار هریک از مصرف‌کننده‌ها را به صورت پریونیت شده درآورد و سپس بار ۲۴ ساعته فیدر را با توجه به ظرفیت مصرف‌کننده‌ها و منحنی بار آن‌ها، تخصیص داد.

---

[1] با توجه به امکان دریافت اطلاعات هر یک از فیدرهای شرکت‌های توزیع از سامانه مدام، می‌توان گفت سطح پایش شبکه در ایران، بالاتر از سطح صفر است.

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

۵-۶- صحت‌سنجی اطلاعات دینامیکی[۱]

به دلیل تغییرات زیاد اطلاعات دینامیکی شبکه شامل بار مصرفی و وضعیت کلیدها و همچنین مشکلات پایش و ذخیره‌سازی آن‌ها، یکی از موارد مهم در مطالعات شبکه توزیع، صحت‌سنجی این اطلاعات است.

الف- صحت‌سنجی مدل‌سازی بار

با توجه به درنظر گرفتن برخی فرضیات و تقریب‌ها در مدل‌سازی بار، نیاز است که نتایج حاصل از آن صحت‌سنجی شود. به همین منظور می‌توان از اطلاعات اندازه‌گیری شده واقعی در شبکه در زمان‌های مختلف استفاده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی را با آن مقایسه کرد.

ب- صحت‌سنجی اطلاعات کلیدها و ساختار شبکه

با توجه به اینکه وضعیت کلیدها از لحاظ ساختار شبکه باید به‌گونه‌ای باشد که اولاً از ایجاد حلقه در شبکه جلوگیری شود و دوماً تمام شبکه برق‌دار باشد، بنابراین نیاز است در انجام مطالعات مختلف این منطق رفتاری برای کلیدها بررسی شود. به همین منظور می‌توان از دیاگرام تک‌خطی شبکه نیز استفاده کرد.

[۱] به منظور انجام صحت‌سنجی روش‌ها و استانداردهای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه، می‌توانید از مطالب بیان شده در پیوست ۳ استفاده کنید.

۷- پیوست‌ها:

پیوست ۱: ویژگی‌های نرم‌افزارهای مورداستفاده برای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

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

پ۱-۱- ویژگی‌های ابزار تحلیل پخش بار

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

پ۱-۱-۱- حداقل الزامات

حداقل الزاماتی که نرم‌افزار مورد استفاده برای محاسبات پخش بار باید داشته باشد به‌صورت زیر است:

- قابلیت انجام محاسبات پخش بار بر روی شبکه به‌اندازه کافی بزرگ[۱]،
- شبیه‌سازی پخش بار با شرایط مختلف بارگذاری و تولید در شرایط متعادل و نامتعادل، متقارن و نامتقارن،

[۱] این شاخص باید توسط شرکت‌های 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 سیم‌پیچه)، تپ‌چنجر زیر بار (LTC) اتوماتیک، و تنظیمات رگولاتور ولتاژ،
- اقدامات تنظیم‌کننده 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 به‌گونه‌ای که مطالعات را بتوان دوباره اجرا نمود،
- انجام نامحدود محاسبات در یک پایگاه داده،
- امکان گزارش‌دهی متغیرهای خروجی مانند تلفات، افت ولتاژ، ولتاژ باس‌ها، جریان‌ها، و ضرایب توان،
- هشدارهای نقض قیود ولتاژ و جریان ترانسفورماتور، خط، کابل و ژنراتور.

پ۱-۱-۲- قابلیت‌های اختیاری

قابلیت‌های اختیاری نرم‌افزارهای مورد استفاده برای انجام محاسبات پخش بار به‌صورت زیر است:

- پایگاه داده پخش بار دارای ارتباط با پایگاه‌های داده موردنیاز برای دیگر مطالعات مرتبط (شامل محاسبات اتصال کوتاه، مطالعات راه‌اندازی موتور، مطالعات پایداری، مطالعات هارمونیکی و غیره) باشد
- اجرای شبیه‌سازی‌ها به‌طور خودکار برای همه سناریوهای بهره‌برداری عملی به‌منظور تعیین تمام نقض قیود بحرانی و مرزی. هشدارهای نقض قیود بایستی در پنجره هشدارها و گزارش‌های جدولی نمایش داده شوند.

- اصلاح خودکار ویژگی‌های تجهیزات شبکه براساس دما
- مدل‌سازی ترانسفورماتورهای شیفت فاز
- مقایسه و تحلیل چند گزارش
- قابلیت‌های تبادل داده (ارسال و دریافت) به‌منظور ایجاد امکان به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها با برنامه‌های خارجی برای کاهش یا حذف ورود داده تکراری. انتقال داده می‌تواند بر مبنای صفحات گسترده، پایگاه‌های داده، و نرم‌افزار طراحی تجهیز باشد.

پ۱-۲- ویژگی‌های 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. ویژگی‌های اساسی این دو استاندارد به منظور انجام محاسبات اتصال کوتاه در این بخش توضیح داده می‌شود.

پ۱-۲-۱- ویژگی‌های اساسی برای محاسبات مبتنی بر ANSI

ویژگی‌های اساسی عبارتند از:

الف) ولتاژ قبل از خطا توسط کاربر یا براساس ولتاژ حاصل از یک پخش بار تعیین می‌شود. ولتاژ قبل از خطا می‌تواند یک مقدار ثابت برای همه باس‌ها یا مقادیر متفاوت برای هریک از باس‌ها باشد. همچنین می‌تواند براساس یک پروفیل ولتاژ سیستم حاصل از محاسبات پخش بار باشد. این مقادیر می‌توانند درصدی از kV نامی باس یا kV مبنا باشند. از گزینه تعریف توسط کاربر اغلب می‌توان در مطالعات طراحی سیستم استفاده کرد که باید بدترین سناریوهای اتصال کوتاه شبیه‌سازی شوند.

ب) محاسبه خطاهای متعادل و نامتعادل (سه‌فاز، L-G، L-L، L-L-G) نیم‌سیکل، 1.5 تا 4 سیکل، و 30 سیکل برای مطالعات مبتنی بر ANSI.

مطالعات نیم‌سیکل، ۱,۵ تا ۴ سیکل و ۳۰ سیکل شبکه برای تجهیزات جداول پ۱-۱ تا پ۱-۳ به ترتیب صورت می‌گیرد.

جدول پ۱-۱: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات نیم‌سیکل شبکه

نوع تجهیز	وظیفه
مدارشکن ولتاژ بالا	قابلیت بستن و قفل کردن
مدارشکن ولتاژ پائین	قابلیت قطع کردن
فیوز	قابلیت قطع کردن
سوئیچگیر و MMC[1]	Bus bracing
رله	تنظیمات لحظه‌ای

جدول پ۱-۲: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۱,۵ تا ۴ سیکل شبکه

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

جدول پ۱-۳: تجهیزات مورد بررسی در مطالعات ۳۰ سیکل شبکه

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

ج) بررسی قابلیت‌های عملکردی لحظه‌ای و قطع‌کننده تجهیز

د) بررسی قابلیت‌های بستن و قفل کردن مدارشکن

[1] Motor Control Center

ه) ارزیابی مدارشکن‌های متقارن یا total rated

و) توجه ویژه به مدارشکن‌های ژنراتور برای خطاهای سیستم و ژنراتور

ز) برای یک مدارشکن ژنراتور، جریان اتصال کوتاه باید مطابق با دستورالعمل‌های مشخص‌شده در IEEE Std C37.013-1997 محاسبه شود. عملکرد اتصال کوتاه محاسبه‌شده بایستی شامل kA متقارن، نامتقارن، و پیک برای عملکرد لحظه‌ای و قطع‌کننده، و همچنین dc kA و درجه عدم تقارن برای عملکرد قطع‌کننده باشد.

ح) زمان قطع کنتاکت استاندارد و قابل تعریف توسط کاربر

ط) درنظر گرفتن خودکار نسبت no ac decay (NACD)

ی) گزینه‌های کاربر برای تنظیم خودکار ظرفیت مدارشکن ولتاژ بالا

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

ل) اتصال کوتاه تک‌قطبی/دوقطبی برای سیستم‌های تک‌فاز

م) محاسبه باید انواع فازهای زیر را درنظر بگیرد: A، B، C، AB، BC، CA، LL، L1، و L2 (سیستم‌های سه‌سیمه)

پ۱-۲-۲- ویژگی‌های اساسی برای مطالعات مبتنی بر IEC

ویژگی‌های اساسی عبارتند از:

الف) تعریف ضریب c ولتاژ توسط کاربر

ب) سه نوع ضریب c بایستی منظور شوند. در جدول پ۱-۴ 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 پ۱-۴: ضرایب c برای شرایط مختلف ولتاژی مدنظر کاربر

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

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

د) برای سیستم‌های 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. انتخاب‌ها عبارتند از:

۱) 1.05 (تلرانس ولتاژ 6%+)

۲) استفاده از cmax=1.05 برای محاسبه ضرایب تصحیح امپدانس برای سیستم‌های با تلرانس ولتاژ 6%

۳) 1.1 (تلرانس ولتاژ 10%+)

۴) استفاده از cmax=1.1 برای محاسبه ضرایب تصحیح امپدانس برای سیستم‌های با تلرانس ولتاژ 10%

د) درنظر گرفتن ترانسفورماتورهای شیفت فاز

ه) تنظیم امپدانس‌های منفی و مثبت برای I''_k و I_k حداکثر/حداقل

و) به‌کارگیری خودکار ضرایب تصحیح K (یعنی K_T، K_G، K_{SO})

ز) تعیین خودکار شبکه‌های مش و بدون مش برای محاسبه I_b، I_k، و I_{dc}

ح) درنظر 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 محاسبه‌شده اتصال کوتاه

پ۱-۲-۳- ویژگی‌های مشترک برای هردو استاندارد

ویژگی‌های مشترکی که باید برای هر دو استاندارد لحاظ شود به‌صورت زیر است:

الف) درنظر گرفتن تنظیم تپ ترانسفورماتور. برای نتایج محاسبه دقیق‌تر، تنظیم تپ ترانسفورماتور بایستی درنظر گرفته شود.

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

ج) تنظیم پارامترهای المان برای مقادیر امپدانس، طول کابل/خط، و تنظیم دمای مقاومت، به‌صورت تکی و کلی

د) محاسبات اتصال کوتاه ترمینال بار

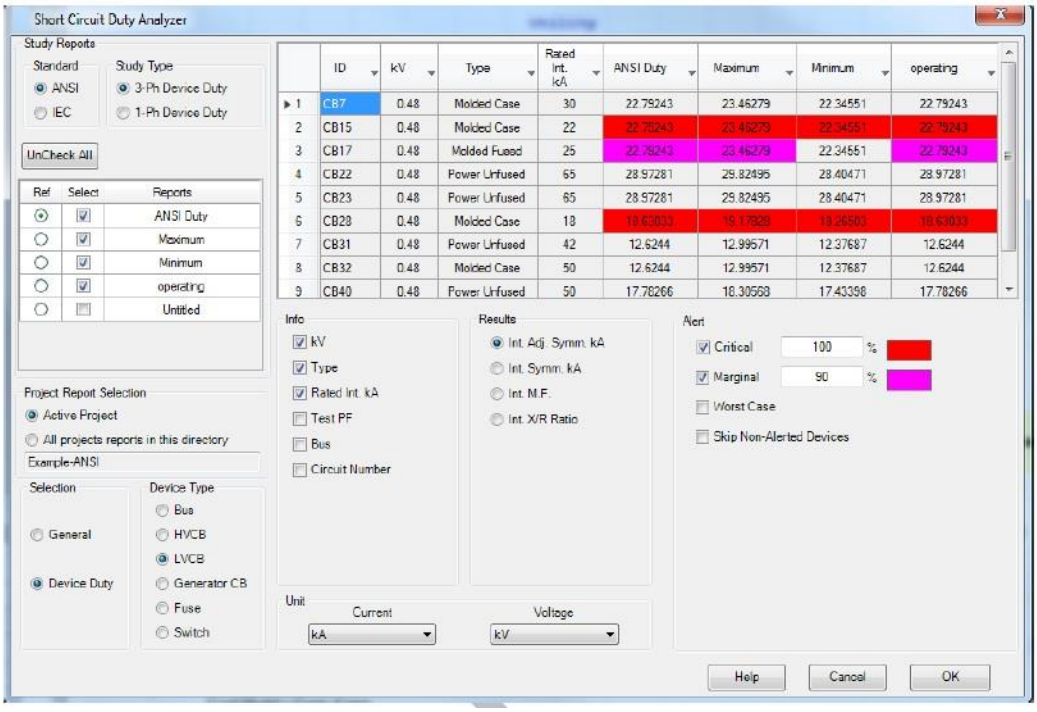
ه) تحلیل‌گر نتایج مطالعه:

محاسبات اتصال کوتاه برای یک سیستم عملی می‌تواند شامل ده‌ها حالت نشان‌دهنده شرایط بهره‌برداری مختلف باشد. گزارش‌های اختصاصی برای این حالت‌ها زمان زیادی از مهندسان خواهد گرفت. یک ابزار نرم‌افزار 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 حالت‌های مطالعه اتصال کوتاه را برای مقایسه لیست کند. بنابراین، این ابزار باید بتواند به‌طور خودکار بدترین حالت از میان تمام مطالعات انجام‌شده را شناسایی کرده و به کاربر نشان دهد.

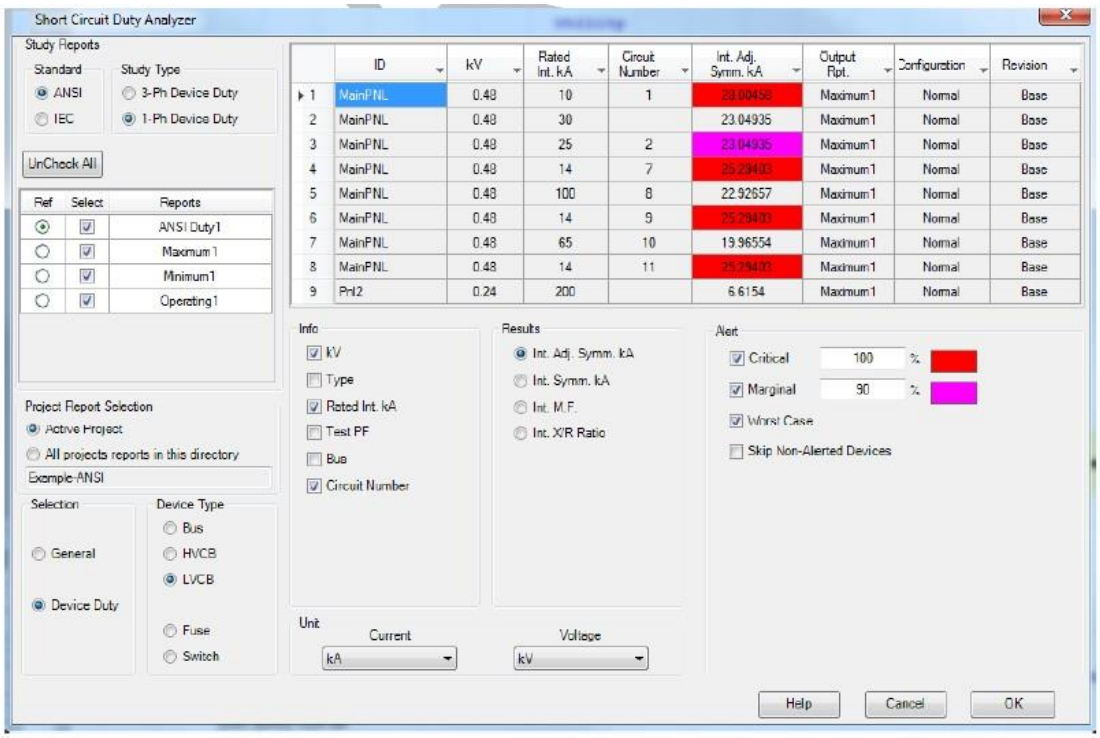
شکل‌های پ۱-۱ و پ۱-۲ یک نمونه از نتایج تحلیل‌کننده اتصال کوتاه را نشان می‌دهد. شکل پ۱-۱ نتایج ارزیابی عملکرد تجهیز مدارشکن را در چهار مطالعه مختلف ارائه می‌کند. این مطالعات شرایط بهره‌برداری مختلف سیستم را نشان می‌دهند. تحلیل‌کننده نتایج مطالعه بایستی قادر باشد تا به‌طور خودکار نتایج را از این

گزارش‌های مطالعه استخراج نموده و آن را به‌صورت خلاصه نمایش دهد. همچنین باید تمام تجهیزات با نقض قیود را براساس آستانه‌های مشخص‌شده توسط کاربر شناسایی کند.

شکل پ۱-۲ بدترین عملکرد تجهیز برای یک سیستم پنل را نشان می‌دهد. این گزارش مقایسه‌ای بین عملکرد مدارشکن‌های اصلی پنل و سایر مدارشکن‌های مربوط به هر مدار تکی انجام می‌دهد. زمانی که گزینه بدترین حالت انتخاب شود، بدترین سناریو به‌طور خودکار از میان مطالعات انتخابی تعیین می‌شود. برای هر تجهیز، نتایج بدترین حالت (که توسط نام گزارش مشخص می‌شود) را همراه با شرایط بهره‌برداری مورد استفاده در مطالعات، نظیر آرایش‌های سیستم و بازنگری‌های داده‌های مهندسی نشان می‌دهد.



شکل پ۱-۱: تحلیل‌کننده نتایج برای مقایسه چند مطالعه



شکل پ۱-۲: تحلیل‌کننده نتایج برای شناسایی بدترین حالت

ویژگی‌های اختیاری:

ویژگی‌های اختیاری عبارتند از:

الف) درنظر گرفتن پخش بارهای قبل از خطا

می‌توان از پخش بار واقعی و شرایط بهره‌برداری قبل از خطا در محاسبات اتصال کوتاه استفاده کرد. روش‌های مشخص‌شده در استاندارد ANSI و IEC اثر پخش بار قبل از خطا را نادیده می‌گیرند، اگرچه در روش IEC شرایط بهره‌برداری قبل از خطا تا اندازه‌ای در تنظیم پارامترها برای ژنراتورها و ترانسفورماتورها منظور می‌شود.

ب) گزارش‌های سفارشی با استفاده از بلوک‌های داده

نتایج ضروری محاسبات بایستی ارائه شوند. برای اهداف استفاده مختلف و الزامات سازمانی مختلف، گزارش‌های قابل سفارشی‌سازی را می‌توان با استفاده از بلوک‌های داده ارائه کرد.

ج) گزینه‌های گزارش‌دهی با جزئیات و خلاصه

نتایج دقیق مطالعه اتصال کوتاه موردنیاز هستند. یک گزارش خلاصه نیز یک مرجع ساده‌شده مثلاً برای جریان کل خطا در هر باس ارائه می‌دهد.

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

با یک کلیک ساده، به‌طور خودکار مجموعه‌ای از سناریوهای مطالعه اتصال کوتاه از پیش تعریف‌شده نشان‌دهنده شرایط متنوع بهره‌برداری سیستم اجرا شده و نتایج محاسبات همراه با بدترین وضعیت شناسایی‌شده به کاربر ارائه می‌شود. این مجموعه از سناریوهای مطالعه اتصال کوتاه اصلی شامل همه حالت‌های اساسی است که برای ارزیابی زمان یک خرابی در بهره‌برداری سیستم مورد نیاز است.

ه) یکپارچه‌سازی با هماهنگی تجهیزات حفاظتی

مدل‌سازی سه‌فاز برای سیستم‌های نامتعادل نظیر سیستم‌های توزیع. تکنیک مدل‌سازی باید پارامترهای سیستم نامتعادل و همچنین شرایط بهره‌برداری نامتعادل قبل از خطا را منظور کند.

و) محاسبات اتصال کوتاه برای خطاهای همزمان در سیستم

پیوست ۲: اعتبارسنجی اطلاعات و مدل

یکی از چالش‌های مهم در شبیه‌سازی مدل، اعتبارسنجی آن است.. اعتبارسنجی[1] و تأیید یا راستی‌آزمایی[2] دو مرحله مهم برای ارزیابی یک مدل شبیه‌سازی 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، می‌توان مدل را معتبر دانست.

اعتبارسنجی فرآیندی است که در آن میزان دقت یک مدل شبیه‌سازی در نمایش سیستم واقعی، با توجه به نوع استفاده از مدل تعیین می‌گردد. 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 می‌آید که ارتباط مستقیمی بین صحت داده‌ها و صحت مدل شبیه‌سازی وجود دارد. در اصل برای ارائه یک نتیجه قابل قبول از هر مدل شبیه‌سازی، هم نوع مدل و هم اطلاعات و داده‌هایی که برای اعتبارسنجی آن استفاده می‌گردند دارای اهمیت است. در واقع بخشی از اعتبارسنجی و نیز اعتباربخشی یک مدل مربوط به اعتبارسنجی داده‌ها است.

تایید فرآیند مقایسه دو یا چند نتیجه برای اطمینان از صحت آن است و به معنی فرآیندی است که در آن مشخص می‌گردد که آیا مدل مفهومی، شبیه‌سازی سیستم تحت مطالعه را به درستی ارائه می‌کند یا خیر؟

بطور کلی مدل را می‌توان چنین تعریف کرد "مدل، ترکیب مناسبی از خصوصیات یک سیستم و اطلاعات مربوط به آن است که به منظور بررسی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد". معمولاً مدل و میزان اطلاعات قرار داده شده در آن را نوع بررسی تعیین می‌کند. بنابراین ممکن است بررسی‌های متفاوت، مدل‌های متفاوتی از یک

---

[1] Validation
[2] verification

سیستم را لازم داشته باشد. به عبارت دیگر سیستم‌ها در بررسی‌های گوناگون دارای یک مدل منحصر بفرد نیستند. میزان فراگیری جزئیات سیستم یا میزان نزدیک بودن مدل به واقعیت با دو سوال اساسی تفسیر می‌گردند:

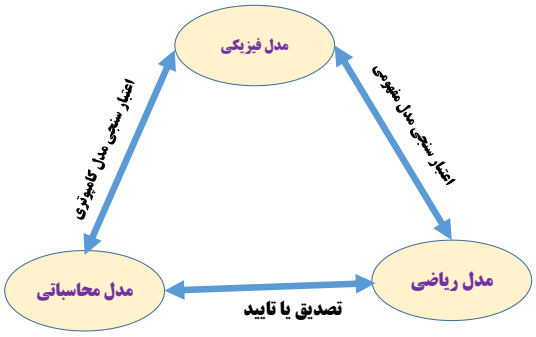
- در مدل کدام خصوصیات و جزئیات سیستم و هریک به چه اندازه باید وجود داشته باشد؟
- میزان شباهت مدل به سیستم واقعی چقدر است؟

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 می‌دهد. در این صورت نتیجه حاصل از مطالعه و بررسی مدل به واقعیت نزدیک‌تر و در نتیجه بکارگرفتن آن در سیستم واقعی عملی‌تر است. اما وجود جزئیات بیشتر در مدل سبب مشکل‌تر نمودن مطالعه و رسیدن به نتیجه نیز می‌گردد. اغلب افزودن جزئیات بیش از حد به یک مدل باعث تغییر روش بررسی شده و کلیت بحث را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگر، از قلم انداختن برخی جزئیات، تجزیه و تحلیل مدل را ساده‌تر و راه رسیدن به نتیجه را آسان‌تر و کوتاه‌تر می‌نماید اما نتایج حاصل را از واقعیت دورتر و بکارگیری آن را در سیستم واقعی بی‌ثمر خواهد ساخت. بهرحال، در مدل‌سازی معیاری برای قابل‌قبول 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 تحلیل‌گر است. این تعادل باید به گونه‌ای باشد که اولاً بررسی مدل بوسیله تکنیک‌ها و وسایل موجود امکان پذیر بوده و ثانیاً نتایج بررسی منطبق یا نزدیک به واقعیت باشد.

یک مدل براساس اهداف کلی مسئله ساخته می‌شود اگر هدف مدل پاسخگویی به یک‌سری 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

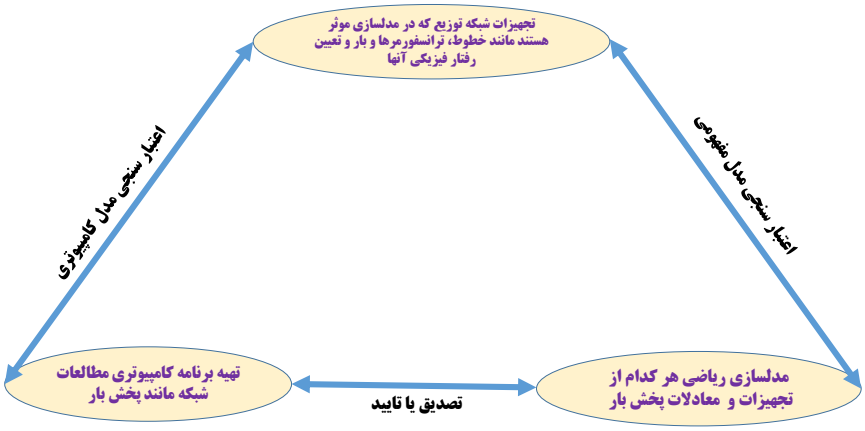
باشد. اغلب تعیین یک مدل کاملاً معتبر بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است. اطمینان از اعتبار یک مدل در محدوده کاربردهای مورد انتظارش، توسط آزمون‌ها و ارزیابی‌ها مشخص می‌گردد. اگر تست و آزمونی مشخص کند که یک مدل صحت کافی را برای هر یک از مجموعه شرایط آزمایشگاهی ندارد، می‌توان نتیجه گرفت این مدل معتبر نیست. باید توجه داشت که اگر مدل نیازمند اعتماد بالایی باشد، هزینه اعتبارسنجی و تصدیق مدل می‌تواند برای یک کاربر قابل توجه باشد.

باید توجه داشت که اعتبارسنجی و تصدیق مدل‌ها در نرم‌افزارهای تجاری سیستم‌های قدرت با دقت زیادی آزمون می‌گردد و روش‌های متعددی برای تست آن‌ها به‌کار برده می‌شود چرا که آنها مسئول و پاسخگوی کاربران خود در نقاط مختلف دنیا هستند. لذا در این بخش تمرکز بیشتر بر روی اعتبارسنجی داده‌های ورودی برای مطالعات شبکه است، هر چند که روش‌های عمومی اعتبارسنجی و تصدیق مدل در این بخش ارائه گردیده است. در شکل پ۳-۱ ارتباط بین مفاهیم مختلف در بخش مدل‌سازی، اعتبارسنجی و تصدیق داده و مدل نشان داده شده است.



شکل پ۲-۱: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مدل

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



شکل پ۲-۲: ارتباط بین مراحل مختلف ایجاد مدل مطالعات سیستم

برای اعتبارسنجی داده‌ها و مدل‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که بخش‌های بعدی به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

پ۲-۱- اعتبارسنجی مدل‌ها در مطالعات شبکه‌های توزیع

داده‌ها برای ورود به مدل مفهومی و مدل کامپیوتری از دنیای واقعی استخراج می‌شوند و همچنین برای اعتبارسنجی و آزمایش مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدیهی است که داده‌های نادرست می‌توانند منبع قابل-توجهی از عدم‌دقت در هر مدل شبیه‌سازی باشند. بنابراین وجود یک تلاش جدی برای اطمینان از دقت و صحت داده‌ها دارای اهمیت است. برای این منظور بایستی منبع اخذ هر داده‌ای که مورد استفاده قرار می‌گیرد دقیقا مشخص گردد، تا میزان قابلیت اطمینان آنها را قابل تعیین باشد. همچنین، داده‌ها باید از نظر ناهماهنگی تجزیه و تحلیل شوند و هر گونه نگرانی در خصوص صحت آنها بررسی و مرتفع گردد.

در هر مطالعه‌ای که همراه با شبیه‌سازی باشد، این احتمال وجود دارد که برخی از داده‌ها نادرست، در قالب اشتباه و یا خارج از دسترس باشند. در این شرایط باید روش‌هایی برای جمع‌آوری یا تخمین این داده‌ها استفاده شود و روش‌هایی نیز برای تحلیل حساسیت به منظور تعیین اثرات هرگونه عدم دقت در نظر گرفته شود.

همچنین لازم است امکان ذخیره و پردازش اولیه داده‌ها، برای تسهیل در شناسایی آسان خطاها، به روزرسانی‌ها و دسترسی دقیق‌تر به آنها وجود داشته باشد.

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

پ۲-۱-۱- مقایسه با سایر مدل‌ها

یکی از روش‌های مهم در اعتبارسنجی مدل، مقایسه آن با سایر مدل‌های درست است. در این روش نتایج مختلف (به عنوان مثال، خروجی‌ها) مدل شبیه‌سازی موردنظر، با نتایج مدل‌های معتبر دیگر مقایسه می‌شود. به عنوان مثال در سیستم‌های قدرت، یک مثال ساده از یک مدل شبیه‌سازی با نتایج شناخته شده مانند مدل‌های تحلیلی مقایسه می‌گردد و همچنین مدل شبیه‌سازی موردنظر با سایر مدل‌های شبیه‌سازی معتبر، مقایسه می‌شوند.

پ۲-۱-۲- اندازه‌گیری سیستم واقعی

اندازه‌گیری یکی دیگر از روش‌های مهم در اعتبارسنجی است. مقایسه با یک سیستم واقعی مطمئن‌ترین و ارجح‌ترین روش برای اعتبارسنجی یک مدل شبیه‌سازی است. با این وجود، در عمل، این کار غالباً غیرقابل اجرا است، زیرا سیستم واقعی وجود ندارد یا اینکه اندازه‌گیری‌ها 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.

پ۲-۱-۳- اعتبارسنجی با استفاده از سیستم‌های 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.

پ۲-۱-٤- اعتبارسنجی براساس داده‌های سابقه

اگر داده‌های سابقه وجود داشته باشد (بعنوان مثال، داده‌های جمع‌آوری شده از نقاط مختلف)، بخشی از داده‌ها برای ساخت مدل استفاده می‌گردد و داده‌های باقیمانده برای بررسی انطباق مدل با رفتار سیستم استفاده می‌شود.

پ۲-۱-۵- تحلیل حساسیت و تغییرپذیری پارامترها

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

پ۲-۱-٦- اعتبارسنجی پیش‌بین

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

پ۲-۱-۷- اعتبارسنجی تورینگ[1]

[1] Turing

در این روش از افرادی که در مورد عملکرد یک سیستم آگاهی دارند، سوال می‌شود که آیا می‌توانند بین سیستم واقعی و خروجی مدل تفاوت قائل شوند؟ بعنوان مثال نتایج پخش بار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری با فرمت یکسان به افراد متخصص و آشنا با شبکه نشان داده می‌شود و این افراد برای تشخیص آنها تلاش می‌نمایند.

به جز روش اعتبارسنجی سیستم‌های خبره، تمام روش‌های تفصیلی در بالا، روش‌های مبتنی بر داده برای اعتبارسنجی مدل هستند، و در میان آنها اعتبارسنجی پیش‌بین متداول‌ترین روش است. به طور کلی استفاده از اعتبارسنجی پیش‌بین به تلاش قابل‌توجهی برای تهیه و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای پشتیبانی از اعتبارسنجی مدل نیاز دارد.

پ۲-۱-۸- اعتبارسنجی نرم‌افزارهای قفل شکسته

گاهی ممکن است شرایطی پیش آید که مجبور به استفاده از نرم‌افزارهای قفل شکسته باشیم. در این صورت بهترین راه برای ارزیابی صحت نتایج نرم‌افزار قفل شکسته، مقایسه آن با نتایج همان نرم‌افزار اما تحت لایسنس معتبر است. در صورت عدم وجود چنین امکانی می‌توان نتایج را با نتایج نرم‌افزار معتبر دیگری مقایسه نمود. نکته دیگر، بحث دقت متفاوت ماژول‌های مختلف در یک نرم‌افزار است؛ به عنوان مثال از آنجایی که ماژول پخش بار چون بسیار کاربردی بوده و در جاهای مختلف به طرق مختلف استفاده می‌گردد، باگ‌های احتمالی این ماژول بسیار کمتر از ماژول کاهش مرتبه در آن نرم‌افزار 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 نرم‌افزارهای قفل شکسته می‌توانند توسط حفره‌های ایجاد شده در آن و ارائه محصول بصورت رایگان برای مقاصد سوء مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

پ۲-۲- اعتبارسنجی داده‌ها در مطالعات شبکه‌های توزیع

با فرض اینکه نرم‌افزار محاسباتی در دسترس دارای مدل‌های صحیح و دقت قابل قبول در مدل‌سازی برای آن مطالعه خاص باشد، در این بخش تعدادی از روش‌های عملی برای اعتبارسنجی داده‌های ورودی نرم‌افزارهای محاسباتی بررسی می‌گردد.

پ۲-۲-۱- اعتبارسنجی داده‌های استاتیک در مطالعات شبکه‌های توزیع

بخش عمده‌ای از اطلاعات شبکه به صورت استاتیک در نرم افزار GIS وجود دارد. از آنجا که یکی از نیازهای اصلی مطالعات شبکه‌های توزیع خصوصا اگر در ابعاد وسیع مدنظر باشد، تبدیل و انتقال اطلاعات به نرم‌افزار محاسباتی است، لذا می‌توان به روش‌های زیر تا حدود زیادی از صحت اطلاعات تبدیل‌شده و یا وارد شده اطمینان حاصل کرد.

۱- مقایسه آماری داده‌ها: در این روش تعداد داده‌های تبدیل شده مقایسه می‌گردد. بعنوان مثال اگر در پایگاه داده GIS شبکه‌ای 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 کابل‌ها طول کل مسیر تبدیل شده با مقادیر پایگاه داده مقایسه می‌گردد.

۲- **مقایسه پارامترهای نامی محاسباتی** مانند ثابت‌های خطوط و ظرفیت نامی تراسفورمرها 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 می‌گردد. در صورت وجود مغایرت می‌توان روش دوم را نیز استفاده نمود.

ب- بررسی و مقایسه همه اطلاعات تبدیل‌شده از یک نوع تجهیز

ج- اگر نرم‌افزار 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 نرم‌افزار کانورت نمی‌تواند چیزی بیش از آنچه در پایگاه داده اصلی وجود دارد ارائه نماید، اما می‌تواند راهنمایی‌هایی در خصوص تصحیح آنها بیان کند.

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

در این حالت علاوم بر موارد فوق برای بررسی صحت داده‌ها می‌توان از سایر منابع اطلاعاتی مانند کاتالوگ-های تجهیزات و داده‌های سازنده‌ها استفاده نمود.

۴- **بررسی محدوده داده‌ها**

در این روش با پایش داده‌های غیرعادی بررسی شود آیا داده‌ها در محدوده‌های طبیعی خود قرار دارند یا خیر و اینکه آیا داده‌های با اهمیت بطور مناسب مقداردهی شده‌اند.

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 می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این افراد می‌توانند در خصوص تعداد و یا نوع تجهیزات در محدوده کاری خودشان به درستی اظهار نظر نمایند.

۶- **استفاده از روشهای پیشرفته** مانند تشخیص داده‌های غلط[1] داده کاوی[2] و خوشه بندی[3] در حضور داده-های عظیم و غیره.

[1] Bad data detection
[2] Data mining
[3] Clustering

در صورت نیاز به مطالعات خیلی دقیق‌تر و تعیین صحت اطلاعات می‌توان از روش‌های فوق جهت تعیین داده‌های غلط، خارج از محدوده‌های استاندارد و دسته‌بندی آنها استفاده نمود.

پ۲-۲-۲- اعتبارسنجی داده‌های دینامیک در مطالعات شبکه‌های توزیع

اطلاعات دینامیکی، از یک طرف در مقایسه با داده‌های استاتیکی به صورت مرتب در حال تغییر بوده و ذخیره‌سازی، پایش و استفاده مداوم از آنها مشکل‌تر است. همچنین پایگاه داده جامع و یکپارچه‌ای 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 می‌روند.

الف- اعتبارسنجی اطلاعات بار

یکی از مزیت‌های اصلی در خصوص بار شبکه این است که بسیاری از آنها حاصل اندازه‌گیری و نصب تجهیزات اندازه‌گیری در شبکه است. لذا در صورت سالم بودن دستگاه اندازه‌گیری، 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 اندازه‌گیری نمی‌شود و یا اندازه‌گیری آن به صورت همزمان نیست، لذا در بسیاری از نقاط شبکه نیاز به مدل‌سازی و تخمین بار وجود دارد.

با توجه به محدویت اطلاعات در خصوص بار نقاط، استفاده از مدل‌سازی بار ضروری به نظر می‌رسد. تعیین گروه‌های مصرف، تعیین ضریب بار، ضریب همزمانی و منحنی بار نرمالیزه برای انواع کاربری‌ها می‌تواند خطاهای ناشی از کمبود اطلاعات بار را کاهش دهد.

- فرض کنید که قرار است نتایج شبیه‌سازی پروفیل ولتاژ یک فیدر توسط یک نرم افزار محاسباتی را با مقادیر واقعی ولتاژها در نقاط مختلف فیدر مقایسه گردد. حتی در صورت اندازه‌گیری بار پست‌های توزیع و بار و

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

- نامتعادل بودن سیستم
- فرسودگی تجهیزات
- خطای تجهیزات اندازه‌گیری
- دمای کاری تجهیزات
- اتصالات سست
- تلفات غیرفنی

هر کدام از موارد فوق می‌تواند منجر به تغییر نتایج شبیه‌سازی و انحراف آن از مقادیر واقعی اندازه‌گیری مانند ولتاژ گره‌ها و یا جریان‌های عبوری از شبکه گردد.

برای کاهش میزان خطای ناشی از عدم دقت مدلسازی بار در شبیه‌سازی می‌توان روش‌های زیر را مد نظر قرار داد.

۱- اندازه‌گیری‌های بیشتر در نقاط بار استفاده شده و تا حد امکان هم زمان باشند

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

۳- ولتاژهای اندازه‌گیری‌شده در نقاط بار و یا جریانهای عبوری اندازه گیری شده از شاخه‌ها می‌توانند معیار مناسبی برای ارزیابی میزان صحت مطالعات باشند.

۴- ضرایب همزمانی و ضریب بار در مطالعات لحاظ گردد

۵- دسته‌بندی انواع کاربری‌ها مانند خانگی، تجاری، کشاورزی، صنعتی، عمومی و روشنائی معابر لحاظ گردد.

۶- وابستگی بار به ولتاژ مدنظر قرار گیرد.

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

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

ب- اعتبار سنجی اطلاعات کلیدها و ساختار شبکه

بررسی، صحت‌سنجی و اعتبارسنجی این داده‌ها به مراتب راحت‌تر و قابل حصول‌تر است چرا که اولا این داده‌ها ماهیت باینری دارند و ثانیاً به دلیل اهمیتی که دارند دقیق‌تر ثبت و ذخیره می‌گردند. لذا می‌توان 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 می‌توان از نرم افزار SLD نیز استفاده نمود.

پیوست ۳: روش‌ها و استانداردهای انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه

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

پ۳-۱- روش‌های پخش بار

روش‌های پخش بار به دو دسته روش‌های مبتنی بر فاز و مبتنی بر توالی تقسیم می‌شوند که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

پ۳-۱-۱- روش‌های پخش بار مبتنی بر فاز در شبکه‌های توزیع

برای این نوع پخش بار، روش‌های مختلفی مانند الگوریتم جاروب پیشرو-پسرو، روش‌های جبران‌سازی، روش z-bus ضمنی، روش‌های نیوتن اصلاح شده (شبه نیوتن) و سایر روش‌های متفرقه وجود دارند که در ادامه بیان شده‌اند.

الف) الگوریتم جاروب پیشرو - پسرو

این الگوریتم به سه مجموعه روش مختلف به‌صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- روش‌های مجموع جریان[1]:

این روش می‌تواند برای پخش بار شبکه‌های توزیع شعاعی سه فاز (متعادل و نامتعادل) و تک‌فاز مورد استفاده قرار گیرد و اولین بار توسط کرستینک و همکاران [۱ و ۲] و آر.برگ و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۲ توسعه داده شده است. این روش، که به نام روش کرستینک معروف است، براساس قوانین ولتاژ و جریان کیرشهف و به کارگیری روش تکرار نردبانی است که شبکه را به صورت پیشرو - پسرو جارو می‌کند. در جاروی پیشرو که از آخرین گره شروع شده و به منبع ختم می‌شود، با استفاده از محاسبه مجموع جریان‌ها، ولتاژها را

[1] Current summation methods

به‌هنگام می‌کند. در جاروی پسرو که از منبع شروع شده و به آخرین گره ختم می‌شود، با محاسبه افت ولتاژها، جریان‌ها را تا حد ممکن به‌هنگام می‌کند. این روش، روش بسیار پیشتازی بوده و عمدتاً برای پخش بار فیدرهای شعاعی متعادل و نامتعادل به‌کار گرفته می‌شود. همچنین این الگوریتم به عنوان یک مرجع برای مقایسه سایر الگوریتم‌ها به کار گرفته می‌شود. بزرگترین مشکل این الگوریتم، عدم توانایی در پخش بار شبکه‌های مش است.

چانگ و همکاران [۴] یک الگوریتم پخش بار جاروب پیشرو-پسرو بهبودیافته را برای شبکه‌های توزیع پیشنهاد داده‌اند. به گونه‌ای که جاروی پسرو از جاروی پیشرو مجزاست. جاروی پسرو از قوانین ولتاژ و جریان کیرشهف برای محاسبه ولتاژ در باس‌های پایین دست استفاده می‌کند. نسبت ولتاژ مشخص شده به ولتاژ محاسبه شده در باس منبع (اولین گره)، در پایان جاروی پسرو محاسبه می‌شود. این نسبت در ولتاژ محاسبه شده در هر باس بر مبنای یک تناسب خطی ضرب می‌شود تا ولتاژ در هر باس در جاروی پیشرو را به‌هنگام کند. این الگوریتم در مقایسه با روش جاروب پیشرو-پسرو سنتی کارایی محاسباتی و سرعت همگرایی بهتری دارد.

روش جاروب پیشرو-پسرو مبتنی بر معادله درجه دوم به وسیله ایمینگلو و همکاران [۵] برای شبکه‌های 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 پسرو با استفاده از قوانین کیرشهف مشابه روش‌های قبل انجام می‌شود. ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ گره، چک شده و ولتاژهای گره با استفاده از نسبت ولتاژ پیشنهاد شده توسط جیانوه‌ای و همکاران [۶] تنظیم می‌شود. باید به این نکته اشاره شود که تعداد تکرار روش‌های پخش بار مبتنی بر معادلات درجه دوم بسیار کمتر از الگوریتم‌های جاروب مبتنی بر قانون ولتاژ کیرشهف است به جز برای سیستم‌هایی که بارهایشان وابستگی شدیدی به ولتاژ دارند.

- روش‌های مجموع توان

پاکو [۷] الگوریتم جاروب پیشرو-پسرو مقاوم را برای سیستم‌های 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 می‌شود. نقاط شکست حلقه، با شکستن حلقه‌ها و تزریق توان مختلط مساوی و مخالف در نقاط شکست ایجاد می‌شود. در توالی پسرو، توان اکتیو و راکتیو سمت ارسال هر شاخه با استفاده از جمع جبری توان بارها، شارش شاخه و تزریقات حاصل می‌شود [۸]. اخیرا داس و همکاران [۹ و ۱۰] یک روش مجموعه توان برای شبکه‌های توزیع شعاعی متعادل پیشنهاد داده‌اند. این روش با استفاده از یک گره و شاخه مساله پخش بار شعاعی را حل می‌کند. مشکل این روش این است که فقط می‌تواند اندازه ولتاژ باس‌ها را بدون فاز آن‌ها ارائه دهد.

اخیرا مقدس و همکاران [۱۱]، یک روش پخش بار سه‌فاز برای شبکه‌های توزیع شعاعی با استفاده از روش مجموع توان ارائه داده‌اند که می‌تواند منابع تولید پراکنده مختلفی را در برگیرد. یکی از مزایای این روش این است که می‌تواند 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 شبکه‌های توزیع شعاعی و مش ضعیف[۳] پیشنهاد داده‌اند. این روش بر این مبناست که در مطالعات موردی، همه گره‌های 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 به‌دست می‌آید. مزیت این روش با افزایش تعداد بارهای شبکه خود را بیشتر نشان می‌دهد.

ب) روش‌های جبران‌سازی

شیرمحمدی و همکاران [۱۳]، یک روش پخش بار جبران‌سازی تکراری جدید برای حل پخش بار شبکه‌های توزیع مش ضعیف متعادل ارائه داده‌اند. این روش از یک روش جبران‌سازی چندپایانه‌ای و قوانین کیرشهف استفاده می‌کند. شبکه مش ضعیف، یک شبکه شعاعی است که دارای تعداد محدودی حلقه ساده است. با انتخاب نقاط شکست مناسب، شبکه مش ضعیف می‌تواند به یک شبکه شعاعی تبدیل شود. سپس این شبکه شعاعی منتج شده می‌تواند با روش پیشرو -پسرو حل شود. ولتاژهای دو گره هر نقطه شکست از روش جاروب پیشرو-پسرو محاسبه می‌شود. ولتاژ هر نقطه شکست می‌تواند با تفریق ولتاژ دو گره ایجاد شده در هر نقطه شکست به‌دست آید. جریان‌های شاخه‌ای که با ایجاد نقاط شکست دچار وقفه شده است، می‌تواند با جریان تزریقی در دو سر نقطه شکست جایگزین شود بدون اینکه بر روی شرایط عملکردی سیستم تاثیر بگذارد. به عبارت دیگر، حلقه‌ها شبیه‌سازی شده‌اند.

نمایش تک‌فاز سیستم شعاعی مش ضعیف می‌تواند به طور مستقیم به شبکه‌های مش ضعیف نامتعادل سه‌فاز 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 شبکه‌های توزیع مجهز به تولید پراکنده توسعه داده شد. تولید پراکنده به صورت گره‌های PV و PQ مدل می‌شوند. برای شبکه‌های مش ضعیف دارای جبران‌سازی ولتاژ نقطه شکست، جبران‌سازی گره PV با محاسبه ماتریس حساسیت گره PV برای حذف عدم تطابق اندازه ولتاژ گره PV انجام می‌گیرد. بار هر فاز یک سکشن به صورت نصف شده و به طور یکنواخت در دو طرف سکشن، مدل می‌شود.

زو و تام سوییچ [۱۶]، خاصیت همگرایی ولتاژ نقطه شکست و الگوریتم جبران‌سازی گره PV را تحلیل کرده و متوجه شدند نرخ همگرایی به انتخاب نقطه شکست، مکان نصب تولید پراکنده و تعداد حلقه‌های مش، حساس نیست. نرخ همگرایی بیشتر به بارهای تک‌فاز بزرگ در شبکه‌های توزیع نامتعادل حساس است. بدیهی است که افزایش تعداد گره‌های PV، تعداد تکرار را افزایش می‌دهد.

پ) روش گوس Z-bus ضمنی

تسای هسیانگ چن و همکاران [۱۷]، الگوریتم Z-bus ضمنی را که از روش حل Ybus مثلثی رتبه‌بندی شده بهینه[1] استفاده می‌کند را پیشنهاد دادند. حل کامل معادلات شبکه شامل ماتریس Ybus تنک [L] و [u] و تزریقات جریان معادله است. این الگوریتم می‌تواند شبکه‌های 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، خازن‌ها و راکتورها به صورت تزریق جریان مثبت یا منفی در هر باس مربوطه مدل می‌شوند. باس‌های ژنراتوری به صورت PQ و باس مربوط به پست بالادست به صورت PV مدل می‌شوند. این روش فقط برای شبکه‌هایی مناسب است که دارای تعداد زیادی شین PQ و فقط یک شین PV هستند.

ت) روش‌های نیوتن اصلاح شده-شبه نیوتن

فن ژانگ و همکاران [۱۸]، روش نیوتن اصلاح شده را برای شبکه‌های 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 می‌دهد 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 به‌هنگام می‌شود. تحت فرض‌های فوق، این روش کارایی و مقاوم بودن خوبی را در تحلیل شبکه‌های توزیع شعاعی نشان می‌دهد.

جی.اچ.هنگ و همکاران [۱۹]، الگوریتمی را برای شبکه‌های توزیع شعاعی نامتعادل ارائه دادند که از اطلاعات باس-شاخه متداول استفاده کرده و ولتاژ گره‌ها را به عنوان متغیرهای حالت در تحلیل پخش بار در نظر می‌گیرد. این روش از مزایای ساختاری شبکه توزیع برای تشکیل ماتریس ژاکوبین استفاده کرده و از روش نیوتن –رافسون سنتی برای یافتن جواب‌ها بهره می‌برد.

به علت ساختار شعاعی، ماتریس ژاکوبین به صورت یک ماتریس بالامثلثی است. ماتریس بالامثلثی سنتی با استفاده از روش‌های فاکتورسازی مثلثی حل می‌شود. لیکن در اینجا، ماتریس ژاکوبین بالامثلثی قابل تجزیه به دو ماتریس واحد و قطری است. ولتاژ گره‌ها به سادگی با حل ماتریس واحد با استفاده از الگوریتم پسرو به دست می‌آید. همگرایی با یک تلورانس مشخص برای عدم تطابق جریان ارزیابی می‌شود. این روش بسیار مقاوم و سریع بوده و برای شبکه‌های شعاعی بزرگ کارایی خوبی دارد ولی برای شبکه‌های 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 شبکه‌های سه‌فاز نامتعادل ارائه دادند. معادلات تزریق جریان در مختصات دکارتی انجام می‌شود. ماتریس ژاکوبین ساختاری شبیه ماتریس ادمیتانس گره‌ای دارد. عناصر غیرقطری ماتریس ژاکوبین با عناصر متناظر در ماتریس ادمیتانس گره‌ای برابر بوده و ثابت هستند. فقط عناصر قطری در هر تکرار به‌هنگام می‌شوند. بنابراین تعداد عناصری که در حین هر تکرار باید مجددا محاسبه شوند بسیار کم است. برای شبکه‌های توزیع شعاعی که منابع تولید پراکنده ندارند، ماتریس ژاکوبین ثابت می‌ماند.

یک الگوریتم ترکیبی براساس روش نسبت-شارش[1] که از نسبت ولتاژ به عنوان کنترل کننده همگرایی در روش پیشرو-پسرو و روش نیوتن-رافسون سنتی استفاده می‌کند به وسیله جیان وئی و همکاران [۶]، برای سیستم‌های توزیع پیچیده (شبکه‌های 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 داده‌اند که از حل تکراری سه معادله غیرخطی برای هر شاخه نشات 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 شاخه‌های جانبی آن کاهش می‌یابد و هر روش نیوتن-رافسون به این معادلات کاهش یافته اعمال می‌شود. کارایی محاسباتی با استفاده از برخی ساده‌سازی‌ها در ماتریس ژاکوبین بهبود می‌یابد. بزرگترین مشکل این روش این است که با افزایش تعداد حلقه‌ها، سرعت همگرایی و کارایی محاسباتی به شدت کاهش می‌یابد.

اچ.ال.نگوین [۲۲]، فرمول‌بندی پخش بار سه‌فاز برای شبکه‌های توزیع یا انتقال مش متعادل یا نامتعادل را پیشنهاد داده است. در روش پیشنهادی ماتریس ژاکوبین دارای شکل پیچیده‌ای است ولی با برخی ساده‌سازی‌ها می‌توان توانایی محاسباتی آن را بهبود بخشید. این روش کاملا در فضای فازوری انجام می‌شود.

ث) روش‌های پخش بار متفرقه

الگوریتم‌های توسعه داده شده در [۲۳ و ۲۴]، از مبانی روش‌های مرسوم استفاده نکرده و روش‌های جدید با توجه به ویژگی توپولوژیکی شبکه‌های توزیع ارائه نموده‌اند.

- 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 ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه‌های 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، می‌تواند در روش پیشنهادی استفاده شود. دو ماتریس مهم در این روش، ماتریس تزریق باس به جریان شاخه[1] (BIBC) و جریان شاخه به ولتاژ باس[2] (BCBV) هستند. ماتریس BIBC رابطه بین تزریق‌های جریان و جریان‌های شاخه را نشان می‌دهد. ماتریس BCBV رابطه بین جریان شاخه‌ها و ولتاژ باس‌ها را نشان می‌دهد. معیار همگرایی این روش، ماکزیمم عدم تطابق جریان بار است. مزیت این روش، سرعت بالاتر آن در مقایسه با روش‌هایی مثل فاکتورسازی LU و جاروب پیشرو-پسرو و سایر روش‌های 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 می‌دهد. این روش کارایی بسیار خوبی برای شبکه‌های توزیع شعاعی و با برخی اصلاحات برای شبکه‌های مش ضعیف نیز دارد. از آنجا که این دو ماتریس، ماتریس بالامثلثی و پایین‌مثلثی هستند، زمان محاسبه بسیار کوتاه است. بزرگترین ضعف این روش، تشکیل این دو ماتریس با روش مشاهده مستقیم است که مشکلاتی را برای برنامه‌نویسان ایجاد می‌کند.

- روش ماتریس امپدانس حلقه

تی.اچ.چن و ان.سی.یانگ [۲۴]، در سال ۲۰۱۰ یک روش پخش بار سه‌فاز برای شبکه‌های توزیع شعاعی نامتعادل ارائه دادند. تفاوت این روش با سایر روش‌های قبلی، این است که تمام روش‌های قبلی درچارچوب باس عمل می‌کنند. در صورتی که این روش در چارچوب حلقه عمل می‌کند. این روش از ویژگی‌های توپولوژیکی

[1] Bus injection to branch current
[2] Branch current to bus voltage

سیستم توزیع شعاعی استفاده کرده و مفاهیم ماتریس امپدانس حلقه و روش‌های تزریق جریان [۲۰] را با هم ترکیب می‌کند. این روش می‌تواند با استفاده از مفهوم ماتریس امپدانس نقطه شکست برای شبکه‌های مش ضعیف هم به‌کار رود. مزیت عمده این روش این است که روش حل با ماتریس ادمیتانس باس درگیر است. در صورتی که روش‌های مطرح شده در فوق، این موضوع را درنظر نگرفته‌اند. این روش دارای سرعت همگرایی و کارایی مناسب برای شبکه‌های توزیع شعاعی نامتعادل بزرگ است. چون این روش از ساختار توپولوژیکی شبکه شعاعی و شبکه مش ضعیف استفاده می‌کند، در شبکه‌های مش این کارایی را ندارد.

پ۳-۱-۲- روش‌های پخش بار مبتنی بر توالی در شبکه‌های توزیع

روش‌های پخش بار مبتنی بر فاز، برای تحلیل یک شبکه توزیع کامل با توجه به داده‌های موجود، شبکه را به صورت تک‌فاز، دوفاز و یا سه‌فاز درنظر می‌گیرند. روش‌های مبتنی بر توالی، از شبکه‌های توالی مثبت، منفی و صفر سیستم‌های سه‌فاز نامتعادل برای حل پخش بار سه فاز نامتعادل استفاده می‌کند. دو مساله بسیار مهم در پیاده‌سازی پخش بار مبتنی بر توالی در مقایسه با پخش بار مبتنی بر فاز در سیستم‌های توزیع نامتعادل وجود دارد. اول اینکه اندوکتانس متقابل بین فازهای مختلف خطوط توزیع ترانسپوز نشده با هم برابر نیست. بنابراین، مدل‌های خط نامتقارن به‌وجود آمده در شبکه‌های توالی مثبت، منفی و صفر از هم مستقل نبوده و نمی‌توانند به صورت سه‌شبکه مجزا تحلیل شوند. دوم اینکه مدل‌سازی شیفت فاز به‌وجود آمده توسط برخی اتصالات ترانسفورماتورها خاص مشکل است. لیکن در روش مبتنی بر فاز، القای متقابل بین خطوط و شیفت فازها به راحتی می‌تواند مدل‌سازی شود.

با تزریق جریان‌های جبران‌سازی مشخص به هر دو سر باسبار یا خطوط، مدل شبکه توالی سه‌فاز دارای تزویج می‌تواند به یک مدل دیکاپل شده بر حسب سه توالی مختلف پیاده‌سازی شود [۲۶]. با استفاده از مولفه‌های توالی دیکاپل شده خطوط توزیع و ترانسفورمرها، پخش بار مبتنی بر توالی قابل پیاده‌سازی است.

ممدوح ابدوالخیر و همکاران [۲۷]، یک شبکه توزیع سه‌فاز نامتعادل را به یک شبکه سه‌فاز اصلی با خطوط سه‌فاز متعادل و شاخه‌های جانبی را به صورت دو شبکه دوفاز و تک‌فاز نامتعادل تقسیم می‌کند. بدین صورت شاخه‌های جانبی نامتعادل از سه‌فاز اصلی جدا شده و با تزریق جریان معادل‌شان جایگزین شده‌اند. تحلیل پخش بار مبتنی بر توالی، عمدتا روش نیوتن-رافسون یا دیکاپل سریع را برای تحلیل شبکه سه‌فاز نامتعادل اصلی و روش جاروب پیشرو-پسرو را برای تحلیل شاخه‌های جانبی نامتعادل به‌کار می‌برد.

جدول پ۳-۱ روش‌های پخش بار فوق‌الذکر را با هم مقایسه می‌نماید.

جدول پ۳-۱: مقایسه روش‌های پخش بار

روش‌های مبتنی بر فاز

الگوریتم		نوع شبکه	متعادل/نامتعادل	قابلیت مدل‌سازی تولید پراکنده	معیار همگرایی
روش جاروب پیشرو/پسرو		شعاعی	هر دو	دارد	ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ باس
روش مبتنی بر جبران‌سازی		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
روش‌های 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
روش‌های متفرقه	روش ماتریس‌های BIBC/BCBV	شعاعی و مش ضعیف	هر دو	دارد	ماکزیمم عدم تطابق جریان بار
	روش ماتریس امپدانس حلقه	شعاعی و مش ضعیف	هر دو	ندارد	ماکزیمم عدم تطابق ولتاژ باس

روش‌های مبتنی بر توالی

الگوریتم	نوع شبکه	متعادل/نامتعادل	قابلیت مدل‌سازی	معیار همگرایی

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

پ۳-۲- روش‌ها و استانداردهای اتصال کوتاه

تعدادی استاندارد توسط سازمان‌های مختلف برای محاسبات اتصال کوتاه تنظیم شده است. برای نمونه می‌توان به استانداردهای ANSI/IEEE، استانداردهای IEC، استانداردهای روسی (GOST)، استانداردهای چینی (GB) اشاره کرد. البته، روش‌های اساسی برای محاسبات اتصال کوتاه در همه استانداردها بسیار شبیه به هم هستند. شاید تفاوت آن‌ها در نوع مدل‌سازی 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 آن‌ها در دنیا است. در سال ۲۰۱۸، IEEE به بررسی و مقایسه دو استاندارد فوق‌الذکر برای محاسبات اتصال کوتاه در شبکه قدرت، توزیع و سیستم‌های 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 آن‌ها بیان می‌شود.

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 می‌شوند را بیان کرده است. پس از آن، به بحث مولفه‌های 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 می‌دهد. در ادامه، توضیح داده می‌شود 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 می‌کند. منبع دوم، ژنراتورهای سنکرون محلی هستند که در شبکه توزیع نصب شده‌اند و سومین منبع، موتورهای سنکرون و القایی هستند که در شبکه توزیع حضور دارند. ماشین‌های القایی مشارکت خود را در تأمین جریان اتصال کوتاه، بعد از یک تا ۱۲ سیکل از دست می‌دهند؛ ولی موتورهای سنکرون به دلیل میدان‌های تحریک‌شده، تغذیه نقطه اتصال کوتاه را ادامه می‌دهند. 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 بهره‌برداری از شبکه می‌پردازد. این بخش با بررسی اطلاعات به دست آمده از نامتقارتی جریان، محاسبه ماکزیمم جریان اتصال کوتاه، انواع خطاها، مقاومت قوس در هنگام خطا پایان می‌پذیرد. بخش ششم گزارش با بیان اصول اساسی محاسبات اتصال کوتاه شروع شده، سپس دستور کار محاسبات اتصال کوتاه را در شش گام معرفی می‌کند. نکته قابل توجه در این شش گام، گام پنجم آن است که بیان می‌دارد 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 می‌کنند، نیازی به این ضرایب نیست. در ادامه بخش ششم، به چگونگی استخراج دیاگرام تک‌خطی براساس استاندارد IEEE Std 315-1975 یا IEC 60617 پرداخته است و تمامی نمادهای تجهیزات مورد استفاده در دیاگرام تک‌خطی براساس این استانداردها است. در ادامه این بخش به چگونگی استفاده از مدار معادل تک‌فاز یا توالی مثبت سیستم سه‌فاز متعادل پرداخته است. پس از آن، چگونگی شماره‌گذاری باس‌ها و چگونگی استخراج دیاگرام

امپدانسی پریونیتی بیان شده است و سپس دیاگرام‌هایی که جریان‌های اتصال کوتاه خروجی محاسبات در آن درج می‌شوند و دیاگرام‌های تک‌خطی دارای تجهیزات حفاظتی معرفی شده‌اند. در پایان بخش ششم، روش‌های مداری موردنیاز برای ساده‌سازی شبکه‌ها به منظور انجام محاسبات اتصال کوتاه شامل فرض خطی بودن امپدانس‌ها، اصل جمع آثار، قوانین تونن و نورتن، مولفه‌های توالی و ... معرفی شده است. فصل هفتم این گزارش به چگونگی مدل‌سازی تجهیزات برای محاسبات اتصال کوتاه می‌پردازد. در ادامه گزارش، فصل هشتم و نهم به روش محاسبه اتصال کوتاه و چگونگی مدل‌سازی تجهیزات براساس استاندارد ANSI می‌پردازد. فصل دهم گزارش به چگونگی محاسبات اتصال کوتاه و مدل‌سازی تجهیزات براساس استاندارد IEC پرداخته و در ادامه مقایسه‌ای بین اتصال کوتاه براساس روش‌های استاندارد ANSI و IEC پرداخته و این گزارش با چگونگی اعتبارسنجی محاسبات اتصال کوتاه پایان می‌یابد.

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), pp372-386.

[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), pp33-38.

[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 generationmodeling 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 Unbalanaced 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 کارگروه تهیه‌کننده دستورالعمل

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