

معرفی پارامترهای تأثیرگذار در عدم تطابق نتایج حاصل از شبیه سازی کامپیوتری و اندازه گیری در شبکه های توزیع برق

پیمان صلاح^۱، علی اکبر بصیری^۲، داود عابدی^۳، علی اصغر قدیمی^۳

۱- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تفرش، peyman.salah@taut.ac.ir

۲- شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی

۳- گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، a-ghadimi@araku.ac.ir

چکیده

با افزایش پیچیدگی های سیستم قدرت، شبیه سازی های کامپیوتری امروزه به یکی از مهم ترین ابزارها در طراحی، بهره برداری و کنترل سیستم های قدرت تبدیل شده اند. از طرفی لازمه داشتن نتایج دقیق و امکان اعتماد به آنها، مدل سازی دقیق شبکه ها در نرم افزار می باشد.

به علت پیچیدگی های سیستم توزیع و تعداد زیاد اجزای آن از یکسو و تعداد کم وسایل اندازه گیری از سوی دیگر معمولاً اطلاعات وارد شده در نرم افزارها دارای خطا بوده و باعث می شوند نتایج شبیه سازی در کامپیوتر با مقادیر شبکه واقعی یکسان نباشد و نتوان مطالعات و برنامه ریزی شبکه را بدرستی انجام داد.

در این مقاله پارامترهای تأثیرگذار در عدم تطابق شناسایی و در قالب دو دسته پارامترهای استاتیکی و دینامیکی معرفی می شوند. روش ارائه شده، در شبکه نمونه شهر آشتیان بررسی و چگونگی نزدیک شدن مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری حاصل از نصب دیتالاگر در یک پست خانگی نشان داده شده است.

پارامترهای معرفی شده در این مقاله می تواند در تمامی موارد مشابه به عنوان دستورالعملی جامع مورد استفاده همه شرکتهای توزیع قرار گیرد.

کلمات کلیدی: اعتبارسنجی شبیه سازی ها، اندازه گیری، شبکه های توزیع، منحنی بار، الگوی بار خانگی

۱- مقدمه

امروزه مهندسین برق به علت افزایش پیچیدگی های سیستم قدرت به استفاده از ابزارهای شبیه سازی جهت طراحی هایشان روی آورده اند و ابزارهای شبیه سازی تقریباً به تنها ابزارهای فهم مشخصات دینامیکی سیستم ها تبدیل شده اند. شبکه های توزیع نیز از این موضوع مستثنی نیستند و امروزه جهت بررسی رفتار این سیستم ها از نرم افزارهای مختلفی استفاده می شود تا بتوان برنامه ریزی و طراحی مناسبی را در این زمینه انجام داد. با این وجود عدم تطابق نتایج حاصل از شبیه سازی و مقادیر واقعی باعث عدم اطمینان به نتایج شبیه سازی ها و شکست راهکارهای آنها جهت امور گوناگونی چون حفاظت سیستم ها، کاهش تلفات، بهبود کیفیت توان، تعادل بار و ... شده است.

این موضوع بعد از خاموشی سراسری سال ۱۹۹۶ که در شمال غرب آمریکا اتفاق افتاد بیشتر مطرح شد و برای این منظور مطالعاتی تحت عنوان اعتبارسنجی شبیه سازی ها در خطوط انتقال به انجام رسید [۱]. اما از آنجایی که به علت پیچیدگی و بزرگی سیستم قدرت و وجود مؤلفه ها و تجهیزات بسیار زیاد امکان تحلیل ها بسیار مشکل بود، راهکارهایی ارائه شد تا سیستم قدرت به زیرسیستم هایی تبدیل شود تا اعتبارسنجی شبیه سازی به مناطق کوچکتری با تعداد تجهیزات کمتر محدود و یافتن پارامترهای مؤثر در عدم تطابق نتایج ساده تر گردد. برای این منظور در شبیه سازی ها قسمت های حذف شده شبکه با یک شیفت دهنده فاز ایده آل [۲-۳]، یک ژنراتور سنکرون بزرگ که به صورت یک منبع ولتاژ ثابت استفاده می شود [۴] و یا یک امپدانس متغیر که مقدار آن توسط اندازه گیری های بهنگام تنظیم می شود

جایگزین گردید [۵]. ایراد دو روش اول در این است که مؤلفه‌های دینامیکی به سیستم مدل‌سازی شده اضافه می‌کنند و پارامترهای این تجهیزات اضافه شده، خود روی درستی شبیه‌سازی‌ها تأثیر می‌گذارند. روش ارائه شده در مرجع [۵] نیز در شبکه‌های توزیع به علت نبود وسایل اندازه‌گیری آنلاین یا به‌هنگام قابل استفاده نیست.

لذا در شبکه‌های توزیع که شعاعی بوده و حذف یک پست تأثیری در سایر بخش‌های شبکه ندارد، می‌توان جهت انجام مطالعات، یک قسمت از شبکه را (یک پست فشار ضعیف به همراه تمامی فیدرها) از کل شبکه جدا کرده تا شبکه کوچکتر شده و یافتن پارامترهای تأثیرگذار در اختلاف نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ساده‌تر شود. تنها نکته‌ای که در این جداسازی باید مدنظر قرار گیرد این است که ولتاژ سمت فشار قوی ترانسفورماتور، به یک منبع ولتاژ (ولتاژ تونن) وصل شود که مقدار آن هم برابر ولتاژ فاز به فاز سمت فشار قوی ترانسفورماتور در حالت بی‌باری باشد. اضافه نمودن یک منبع ولتاژ مشکلی را که اضافه کردن ژنراتور سنکرون (با اضافه کردن مؤلفه‌های دینامیکی به سیستم مدل‌سازی شده) در خطوط انتقال ایجاد می‌نمود، نخواهد کرد.

در این مقاله بعد از جداسازی یک پست خانگی (پست هوایی دشت) از شبکه توزیع شهر آشتیان و جایگذاری سمت فشار قوی ترانسفورماتور آن با یک منبع ولتاژ، تمامی پارامترهای مؤثر در عدم تطابق نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری معرفی و جهت اعتبارسنجی نتایج مورد آزمایش قرار خواهد گرفت.

۲- معرفی پارامترهای مؤثر در عدم تطابق نتایج

با بررسی‌های به عمل آمده و نگاهی به تجهیزات شبکه توزیع به نظر می‌رسد دلایل عدم تطابق نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مربوط به دو عامل کلی زیر باشد:

الف: یکسان نبودن پارامترهای استاتیکی شبکه واقعی و مدل نرم‌افزاری که در اینجا منظور از پارامترهای استاتیکی، مقادیر مربوط به تجهیزات شبکه می‌باشد که با گذشت زمان تغییری در آن‌ها ایجاد نمی‌شود.

ب: تفاوت بین پارامترهای دینامیکی شبکه واقعی و مدل نرم‌افزاری، که منظور از پارامترهای دینامیکی مقادیری از شبکه هستند که سالیانه، روزانه و یا حتی ساعتی دستخوش تغییر می‌شوند.

در ادامه به معرفی پارامترهای فوق پرداخته شده است.

۱-۲ پارامترهای استاتیکی مؤثر در عدم تطابق نتایج

این پارامترها در یک سیستم توزیع در سه گروه پارامترهای مرتبط با پست‌ها، خطوط و مشترکین قابل دسته‌بندی می‌باشند، که در ادامه به تفصیل تشریح خواهند شد.

۱-۱-۲ پارامترهای استاتیکی پست

هنگام برداشت یا ورود اطلاعات مربوط به پارامترهای استاتیکی پست‌ها خطاهایی بشرح زیر ممکن است اتفاق بیفتد که در نتایج محاسبات کامپیوتری تأثیرگذار می‌باشند.

✓ در نظر نگرفتن کابل اتصال خروجی ترانسفورماتور به تابلو یکی از علل عدم تطابق نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، در نظر نگرفتن یا ورود اشتباه اطلاعات مربوط به ابعاد کابل‌های ارتباط‌دهنده سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور تا شینه‌های فشار ضعیف داخل تابلوی پست می‌باشد، که می‌تواند باعث تفاوت بین مدار واقعی و مدل‌سازی شده گردد.

✓ خطا در ورود اطلاعات ترانسفورماتور

ترانسفورماتور مهم‌ترین عنصر پست الکتریکی می‌باشد و پارامترهای آن در محاسبات تأثیرگذار می‌باشد. از جمله پارامترهایی که هنگام ورود به نرم‌افزار باید مورد دقت و توجه قرار گیرد عبارتند از: ظرفیت نامی، ولتاژهای اولیه و ثانویه، تلفات بی‌باری، نوع اتصال یا همان گروه برداری و امپدانس‌های توالی.

✓ در نظر نگرفتن وضعیت تپ ترانسفورماتور

تپ چنجر بعضی ترانسفورماتورها به صورت فصلی به جهت مقابله با افت ولتاژها در مقادیر مختلف تنظیم می‌شود. مقدار دقیق تپ باید در نرم‌افزار وارد شده تا نتایج ولتاژ در طول شبکه فشار ضعیف درست محاسبه شود.

✓ ورود نادرست اطلاعات سیستم زمین

در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف جهت تغذیه مصرف‌کننده‌ها نیاز به سیم نول می‌باشد. این سیم که از نقطه مشترک ستاره سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور منشعب می‌شود به سیستم زمین پست متصل می‌شود. در حالت‌های نامتعادل (که عموماً شبکه‌های فشار ضعیف در این حالت هستند) مقاومت سیستم زمین در محاسبات پخش بار تأثیرگذار بوده و حتماً باید موقع برداشت اطلاعات و ورود آن به نرم‌افزار دقت کافی به عمل آید.

✓ رعایت نکردن توالی فاز بین خروجی تابلوها و سرکابل روی تیر

همان‌طوری که می‌دانیم خروجی فشار ضعیف ترانسفورماتور به کلید مادر و از آنجا به شینه‌ها اتصال پیدا می‌کند. سپس

✓ عدم تشخیص صحیح ابعاد هادی‌ها

یکی دیگر از عوامل مهم در مدلسازی شبکه، مشخصات سیم‌های هوایی استفاده شده در شبکه فشار ضعیف می‌باشد. سیم‌های استفاده شده در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف معمولاً مسی با سطح مقطع‌های استاندارد ۱۰، ۱۶، ۲۵، ۳۵، ۵۰ می‌باشد [۶]. خطا در ورود اطلاعات سیم‌ها باعث اختلاف بین مقاومت سیم‌ها و همچنین مقادیر نامی جریان سیم‌ها و در نتیجه خطا در شبیه‌سازی یا تصمیم‌گیری‌ها خواهد شد. همچنین خطا در ورود ابعاد صحیح هادی‌های هوایی که به دلایل خطای دید ایجاد می‌شود از دیگر دلایل عدم تطابق می‌تواند باشد.

✓ عدم همخوانی مقطع جامپر‌ها با هادی‌ها

اصولاً در انشعابات، نقاط مانور و ... در شبکه‌های توزیع از جامپر‌هایی استفاده می‌شود. یکسان نبودن مقطع جامپر‌ها با هادی‌ها در برخی نقاط شبکه سبب افزایش مقاومت و ایجاد افت در ولتاژ و به طور کل تغییر نتایج پخش بار می‌گردد. لذا در مدلسازی شبکه‌های توزیع این پارامتر نیز باید مدنظر باشد.

✓ ورود نادرست ابعاد کابل سرویس‌ها

جهت اتصال کنتور مشترکین به یکی از فازهای شبکه توزیع از کابل‌هایی موسوم به کابل سرویس استفاده می‌شود. طبق استاندارد، ابعاد این کابل‌ها باید 6×2 باشد [۶]، اما در برخی شبکه‌ها از کابل‌های 4×2 نیز استفاده شده است. واضح است با تغییر ایجاد شده در سطح مقطع کابل‌ها مقاومت آن‌ها تغییر یافته و باعث تغییر در نتایج پخش بار خواهد شد. عدم ورود مقاومت استاندارد این کابل‌ها نیز، می‌تواند از علل تفاوت در نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری باشد.

۲-۱-۳ پارامترهای استاتیکی مشترکین

مشترکین به عنوان آخرین حلقه از زنجیره سیستم قدرت می‌باشند و با توجه به تعداد زیاد آن‌ها به نظر می‌رسد اطلاعات آن‌ها تأثیر زیادی بر تمامی محاسبات شبکه داشته باشد. لذا هنگام برداشت اطلاعات و ورود آن‌ها به نرم افزار باید موارد ذیل مورد توجه قرار گیرد.

✓ عدم ورود تعداد دقیق مشترکین

تعداد دقیق مشترکین متصل شده به هر فیدر یکی از تأثیرگذارترین پارامترها در محاسبات شبکه می‌باشد. اضافه یا کم بودن مشترکین مدلسازی شده در نرم‌افزار به طور مستقیم در میزان جریان کشیده شده از شبکه و در نتیجه در

برای هر فیدر فشار ضعیف از این شینه‌ها انشعاب‌گیری انجام و توسط کابل به سر تیر انتقال می‌یابد. عدم توجه به نحوه اتصال فازهای شینه‌ها و سرکابل روی تیر باعث خواهد شد فاز تمامی مشترکین آن فیدر اشتباه برداشت شود. برای نمونه اگر در یکی از فیدرها، توالی فاز بین اتصال سیم‌های روی تیر و شینه‌ها رعایت نشود ممکن است فازها بترتیب از بالا به پایین به جای RST، SRT شوند. در نتیجه تمامی مشترکینی که از سیم بالایی تغذیه می‌شوند از دید نرم‌افزار به فاز R وصلند، در حالی که عملاً از فاز S تغذیه می‌شوند و بالعکس. این مسئله باعث اختلاف بار فازها در واقعیت و مدل نرم‌افزاری خواهد شد.

✓ در نظر نگرفتن کابل اتصال خروجی تابلو به تیر

در نظر نگرفتن یا ورود اشتباه اطلاعات مربوط به طول و ضخامت کابل‌های ارتباط‌دهنده شینه‌های فشار ضعیف داخل تابلوی پست تا سرکابل تیرهای فشار ضعیف یکی دیگر از علل تفاوت بین مدار واقعی و مدل‌سازی شده می‌باشد.

۲-۱-۲ پارامترهای استاتیکی خطوط

هنگام برداشت یا ورود اطلاعات مربوط به پارامترهای استاتیکی خطوط، خطاهایی بشرح زیر ممکن است اتفاق بیفتد که در نتایج محاسبات کامپیوتری تأثیرگذار می‌باشند.

✓ خطا در تشخیص نقاط مانور

در شبکه‌های توزیع شعاعی به منظور بالا بردن قابلیت اطمینان و گاهی بهبود مشخصات فنی، نقاطی را جهت مانور (جابجایی مصرف کننده‌ها از یک فیدر به فیدر دیگر) در نظر می‌گیرند. عدم دقت در ورود دقیق نقاط مانور شبکه، در نرم‌افزار سبب خواهد شد که مشترکین یک فیدر در محدوده فیدر یا پست دیگری فرض شوند و تعداد دقیق مشترکین و بالطبع میزان بار هر فیدر یا پست با مقادیر واقعی متفاوت باشد.

✓ جابجایی فازها در طول خطوط

با توجه به این‌که معمولاً قرارداد بدین صورت است که فازها به ترتیب از بالا به پایین، R، S و T می‌باشند بنابراین تمامی مشترکینی که از فاز بالایی تغذیه می‌شوند در نرم‌افزار به فاز R متصل می‌شوند. فرض کنید هنگام تعمیرات یا انشعاب‌گیری جای فاز R و T در بخشی از فیدر عوض شده باشد. این جابجایی باعث می‌شود در بخش سمت راست نقطه تعمیر، فاز مشترکین در عمل فاز T و در نرم‌افزار همان فاز R باشند که این مسئله باعث اختلاف شدید در بار فازها خواهد شد.

میزان افت ولتاژ، تلفات، میزان نامتعادلی و ... تأثیر می‌گذارد و ممکن است نتایج محاسبات را از نتایج واقعی دور نماید.

✓ تشخیص نامناسب تعرفه مشترکین

از آنجایی که هر یک از مشترکین خانگی، تجاری، صنعتی، عمومی و کشاورزی دارای الگو و میزان مصرف خاصی بوده و با ضریب توان خاصی کار می‌کنند، لذا لازم است هنگام ورود به نرم‌افزار نوع مشترکین به صورت دقیق وارد شود. میزان دقیق مصرف و الگوی رفتاری هر یک از مشترکین، پارامتر متغیری می‌باشد که در بخش پارامترهای دینامیکی به طور دقیق تشریح خواهند شد.

✓ فازیابی نادرست مشترکین

یکی از دلایل مهم در عدم تطابق نتایج، اشتباه در تشخیص فاز مورد استفاده هر مشترک به دلیل پیچش بیش از حد کابل‌ها در بالای تیر (شکل (۱)) و ورود این اطلاعات غلط به نرم‌افزار می‌باشد، که باعث اختلاف در بار فازها در عمل و نرم‌افزار و بالطبع در نتایج پخش بار می‌گردد (به دلیل تفاوت در میزان مصرف مشترکین خانگی). لذا هنگام برداشت اطلاعات، در صورت عدم تشخیص فاز مشترک باید با بالا رفتن از تیر این مشکل را مرتفع کرد و یا از دستگاه فازیابی استفاده نمود.



شکل (۱): فازیابی نادرست مشترکین به علت پیچش بیش از حد سیم‌ها

✓ در نظر نگرفتن مصارف غیر رایج

در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف علاوه بر مصرف کننده‌های دارای شماره اشتراک که میزان مصرف و محل اتصال آن‌ها مشخص می‌باشد، مصرف کننده‌های دیگری وجود دارند که جهت مدل‌سازی شبکه باید اطلاعات آن‌ها مد نظر قرار گیرد. از جمله این مصارف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مصارف موقت: در هنگام ساخت و ساز واحدهای مسکونی، معمولاً از کنتورهای موقتی جهت تغذیه مصرف کننده‌هایی نظیر بالابر و دستگاه‌های جوشکاری استفاده می‌شود. این

مصرف کننده‌ها دارای الگو و میزان مصرف متفاوتی در مقایسه با بارهای معمولی هستند و هنگام مدل‌سازی شبکه باید مورد توجه قرار گیرند.

- انشعابات غیر مجاز: برخی از مصرف کننده‌ها به صورت غیرمجاز یا به صورت مخفی و پنهان و بدون پرداخت هزینه‌ای یا هزینه‌ای بسیار کم، از انرژی برق استفاده می‌کنند.

- استفاده از فازهای روز جهت روشنایی معابر: در بعضی از شبکه‌های توزیع سیم پنجم حذف شده و روشنایی معابر از طریق کلید فتوسل توسط یکی از فازها تغذیه می‌شود. در این موارد باید فاز اتصال و همچنین ساعات کارکرد آن مورد توجه قرار گیرد.

- استفاده از فازهای روز در مناسبت‌های مذهبی: در برخی مناطق جهت استفاده از انرژی برق در مناسبت‌های ملی یا مذهبی انشعابی از یکی از فازها گرفته می‌شود. فاز اتصال، میزان و زمان مصرف این مصرف غیررایج باید در هنگام برداشت اطلاعات مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲ معرفی پارامترهای دینامیکی مؤثر در عدم تطابق نتایج:

این پارامترها نیز همچون پارامترهای استاتیکی در سه گروه پارامترهای پست‌ها، خطوط و مشترکین قابل دسته‌بندی می‌باشند، که در ادامه به تفصیل تشریح خواهند شد:

۲-۲-۱ پارامترهای دینامیکی پست

پارامترهای تجهیزات پست نیز در اثر شرایط محیطی یا طول عمر دچار تغییراتی هر چند اندک می‌شوند. این تغییرات نیز باید در نرم‌افزار لحاظ شوند و عدم توجه به آن‌ها می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در عدم تطابق نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری باشد.

✓ عدم توجه به وضعیت ولتاژ سمت اولیه

در مسیر انتقال توان از پست ۶۳/۲۰ به پست فشار ضعیف از طریق سیم‌های هوایی فشار متوسط، افت ولتاژ رخ خواهد داد. به طوری که ولتاژ فاز به فاز سمت فشار قوی ترانسفورماتور توزیع، دیگر ۲۰ کیلوولت نخواهد بود و مقدار کمتری خواهد داشت. عدم در نظر گرفتن این افت ولتاژ در نتایج پخش بار بسیار تأثیرگذار خواهد بود.

✓ نادیده گرفتن اثر طول عمر ترانسفورماتور

در اثر گذشت زمان و پیر شدن عایق‌ها و روغن ترانسفورماتور و در نتیجه کندی انتقال حرارت (در اثر کم شدن خاصیت

خنک‌کنندگی (روغن) ممکن است مقاومت سیم‌پیچ‌ها دچار تغییراتی گردد که باید در مدل‌سازی شبکه مدنظر قرار گیرد.

✓ چشم‌پوشی کردن از اثرات دمای محیط

گرما و درجه حرارت بالا بر روی کار دستگاه‌های الکتریکی اثرات سوئی داشته و سبب می‌گردد تا وسایل الکتریکی نتوانند وظایف خود را به خوبی انجام دهند. یکی از این تجهیزات ترانسفورماتورها هستند و بدلیل اینکه تعداد زیادی از آنها در شبکه‌های برق مورد استفاده می‌باشد، باید مورد توجه قرار گیرند. وجود تلفات باعث ایجاد گرما در ترانسفورماتور و در نتیجه بالا رفتن دمای سیم‌پیچ‌ها می‌گردد. این گرما باید تخلیه گردد تا ترانسفورماتور بتواند بطور طبیعی به کار خود ادامه دهد. هرچه تفاوت دمای محیط و سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور بیشتر باشد، عمل تبادل حرارت و خنک‌کنندگی بهتر انجام می‌شود. مطابق استانداردها درجه حرارت ماکزیمم ۴۰ درجه سانتیگراد برای محیط پذیرفته شده است. تا این درجه حرارت ترانسفورماتور ظرفیت نامی خود را دارا می‌باشد و در صورت افزایش دمای محیط از قدرت ترانسفورماتور کاسته شده و قدرت عملی ترانسفورماتور بر اساس فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد [۷]:

(درجه حرارت محیط) / [توان نامی * درجه حرارت نامی ($40^{\circ}C$)] = توان عملی
در عمل در مناطق گرمسیری هنگام بهره‌برداری از ترانسفورماتور آن‌را با یک ظرفیت پایین‌تر مورد استفاده قرار می‌دهند که با فرمول فوق نیز مطابقت دارد.

۲-۲-۲ پارامترهای دینامیکی خطوط

با توجه به این‌که اکثر تجهیزات شبکه در فضای آزاد و تحت تأثیر شرایط جوی و محیطی قرار دارند ممکن است دچار تغییرات اندکی گردند. بیشتر این تغییرات در بخش‌های مکانیکی و یا عایق‌ها اتفاق می‌افتد که در محاسبات پخش بار تأثیری ندارند. تنها سه پارامتر به شرح ذیل در محاسبات اثرگذار می‌باشند:

✓ در نظر نگرفتن اثرات دمای محیط در هادی‌ها و کابل‌ها

درجه حرارت هادی تحت تأثیر افزایش حرارت محیط، تابش خورشید و جریان الکتریکی افزایش می‌یابد. بنابراین اگر جریان عبوری از هادی‌ها ثابت هم در نظر گرفته شود، باز هم درجه حرارت هادی‌ها تحت تأثیر درجه حرارت محیط و تابش خورشید قرار دارند.

تأثیر درجه حرارت هادی در مقدار مقاومت هادی را می‌توان از رابطه (۱) بدست آورد. البته مقاومتی که از این طریق بدست می‌آید مقاومت DC می‌باشد که برای مقاطعی معادل هادی‌های

متداول در شبکه‌های توزیع نیرو تفاوت مقاومت DC و AC زیاد نمی‌باشند، بنابراین برای محاسبه مقاومت AC نیز می‌توان تقریباً از رابطه زیر استفاده نمود.

$$R_c = R_o \cdot \frac{M + t_c}{M + t_o} \quad (1)$$

که در این رابطه R_c مقاومت هادی در درجه حرارت هادی، R_o مقاومت اولیه هادی در درجه حرارت t_o و مقادیر t_c و t_o به ترتیب درجه حرارت هادی در حالت اولیه و حالت ثانویه بر حسب سانتیگراد می‌باشد. همچنین M ثابت هادی می‌باشد که مقدار آن برای هادی آلومینیوم فولاد برابر ۲۲۸ و برای هادی مسی برابر ۲۳۵ می‌باشد [۸-۹]. همان‌طوری که این رابطه نشان می‌دهد مقاومت یک خط انتقال در یک روز گرم تابستان که درجه حرارت هادی به حدود ۶۰ درجه سانتیگراد می‌رسد نسبت به یک شب زمستان که درجه حرارت هادی منفی ۵ درجه سانتیگراد، حدود ۲۹/۱ درصد افزایش می‌یابد، که به همین نسبت تلفات توان نیز افزایش می‌یابد [۹]. لذا هنگام مدل‌سازی‌ها باید این پارامتر نیز مدنظر قرار گیرد.

✓ نادیده گرفتن اثر فرسودگی اجزا

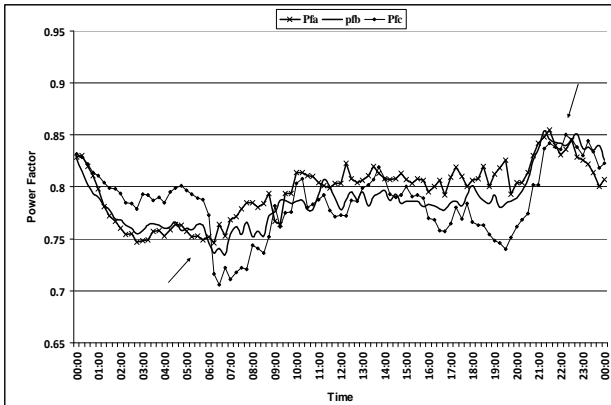
اجزای شبکه‌های توزیع در اثر مرور زمان، عوامل طبیعی و آلودگی‌های محیطی دچار فرسودگی شده و مشخصات الکتریکی آن‌ها دچار تغییر می‌شود. بی‌شک یکی از علل اختلافات بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، نادیده گرفتن پیری اجزای سیستم قدرت است، به طوری که در قسمت مقاومت سیم‌ها و کابل‌ها و سایر تجهیزات قدرت در نرم‌افزار، همان مقاومت تجهیزات در شرایط نو بودن اعمال می‌شود. در حالی که با توجه به عمر تجهیز این مقادیر نیاز به بازبینی دارد.

در این زمینه برای تعیین میزان تأثیر طول عمر در مقاومت سیم‌ها یک تحقیق در برق منطقه‌ای اصفهان [۱۰] انجام شده است که طبق آن افزایش مقاومت کابل‌ها به طور متوسط ۲۶٪ و افزایش مقاومت سیم‌ها به طور متوسط ۲۸٪ می‌باشد، که بالطبع به همین میزان تلفات شبکه توزیع افزایش می‌یابد.

✓ وجود اتصالات سست و عدم مدل‌سازی آن

اتصالات اجزای شبکه‌های توزیع در اثر مرور زمان و در اثر نوسانات ناشی از باد و طوفان دچار لقی و فرسایش می‌گردند. این گونه اتصالات در سیم‌ها، کابل‌ها، اتصالات و سایر تجهیزات شبکه باعث افزایش مقاومت آن‌ها می‌شود. نادیده گرفتن این اتصالات در مدل‌سازی‌ها می‌تواند یکی از علل اختلافات بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری قلمداد شود.

روشنایی می‌باشد) بیشتر از ساعات نیمه شب (که در آن تأثیر روشنایی کمتر بوده و وسایلی چون یخچال و کولر با ضریب توان کمتر مورد استفاده هستند) خواهد بود. بدیهی است با تغییر این پارامتر نتایج حاصل از پخش بار نیز تغییر خواهد داشت. در شکل (۲) تغییرات ضریب توان سه فاز مشترکین یک پست خانگی مشاهده می‌شود.



شکل (۲): منحنی ضریب توان پست خانگی هوایی دشت در یک شبانه‌روز

✓ خطا در مدل‌سازی مصرف ماهیانه مشترکین

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد نیاز جهت انجام محاسبات پخش بار، میزان توان مصرفی هر یک از مشترکین می‌باشد. این میزان مصرف دقیقاً جریان کشیده شده را تحت تأثیر قرار داده و در محاسبات افت ولتاژ و تلفات به طور مستقیم دخالت دارد. لذا بسته به ماهی که پخش بار در آن انجام می‌شود باید مصرف همزمان‌سازی شده (نرمالایز شده) مشترکین در مدل‌سازی لحاظ شود. [۱۱]

✓ شبیه‌سازی نامناسب الگوی رفتار بار

جهت انجام مطالعات پخش بار نیاز به دانستن میزان توان مصرفی در ساعات مختلف شبانه روز می‌باشد. الگوی رفتار بار منحنی‌ای است که از طریق آن می‌توان به میزان مصرف هر مشترک در ساعات مختلف شبانه روز، از جمله پیک بار و مینیمم مصرف پی برد. این منحنی بسته به تعرفه مصرف‌کننده (خانگی، تجاری، صنعتی و ...) دارای اشکال مختلفی می‌باشد. در خصوص مصرف‌کننده‌های خانگی نیز این منحنی در فصل‌ها، و روزهای مختلف نظیر روزهای کاری، تعطیلات آخر هفته و همچنین مناسبت‌های ملی و مذهبی متغیر است. تعیین شکل و میزان این منحنی با توجه به نوع و مقدار انرژی هر مشترک مسأله بسیار مهمی است که هنگام ورود میزان توان هر مشترک در نرم‌افزار لازم و ضروری است.

۳- معرفی پست مورد مطالعه و مشکلات موجود

در تحقیق اشاره شده قبلی [۱۰] برای این منظور انواع اتصالات در حالت سفت و شل مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد مقاومت بعضی از اتصالات در اثر شل شدن از دو برابر نیز تجاوز می‌کند که از یک طرف باید هنگام محاسبات به آن توجه داشت و از طرف دیگر لزوم سرویس‌های ادواری و آچارکشی اتصالات را توجیه می‌نماید.

✓ خطا در مدل‌سازی صحیح خازن‌ها

در شبکه‌های توزیع گاهی از خازن‌های موازی یا رگولاتورهای ولتاژ جهت جبران‌سازی توان راکتیو و بهبود پروفیل ولتاژ استفاده می‌شود. بدیهی است با گذشت زمان ظرفیت این خازن‌ها دچار تغییر و بالطبع میزان جبران‌سازی این تجهیزات تغییر می‌نماید، که می‌تواند نقش بسزایی در نتایج پخش بار داشته باشد. لذا این مورد نیز در مدل‌سازی‌ها باید مدنظر قرار گیرد.

✓ در نظر نگرفتن نشتی جریان بوسیله شاخه درختان

پوشانده شدن سطح هادی‌ها با شاخ و برگ درختان به خصوص در هنگام بارش باران سبب ایجاد جریان نشتی و بالطبع، باعث ایجاد تلفات در شبکه خواهد شد. این تلفات به صورت یک مقاومت یا بار در قسمت‌های تحت اثر قابل مدل‌سازی بوده و باید مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲-۳ پارامترهای دینامیکی مشترکین

مشترکین به عنوان مصرف‌کننده انرژی برق طبیعت بسیار متغیر یا دینامیکی دارند. این تفاوت‌ها در اثر عواملی چون نوع، تعداد و زمان بکارگیری وسایل برقی در منازل مختلف، شرایط آب و هوایی، فصل، هفته، روز و حتی ساعت، ایجاد می‌شود. لذا هنگام انجام محاسبات الکتریکی شبکه باید این اطلاعات به درستی و دقیقاً برای همان زمان وارد نرم‌افزار شوند. در ادامه این پارامترها مورد بررسی قرار گرفته است.

✓ عدم بالانس بار مشترکین سه‌فاز

از آنجایی که احتمال عدم تعادل بار بین فازهای مشترکین سه‌فاز بسیار بالاست، بنابراین هنگام ورود اطلاعات مصرف مشترکین سه فاز در نرم‌افزار باید توجه داشت که هر سه فاز لزوماً به صورت مساوی توان مصرف نکرده‌اند.

✓ خطا در ورود ضریب توان بارها

ضریب توان در مصارف مختلف، مقادیر متفاوتی دارد. این تفاوت در یک نوع خاص از بارها نیز مشهود است و در طول شبانه‌روز و بنابر نوع مصرف مشترکین متغیر می‌باشد. برای مثال میزان ضریب توان در ساعات پیک بار (که بیشتر ناشی از

در شبکه مورد مطالعه (شهر آشتیان)، پستی هوایی دشت که اغلب بارهای خانگی را تغذیه می‌نماید جهت مطالعات انتخاب شد. این پست دارای یک فیدر روشنایی معابر و چهار فیدر خروجی است که به سمت اداره برق (جنوب پست مورد مطالعه)، زینبیه (شرق پست مورد مطالعه)، کوهپایه (شمال شرق پست مورد مطالعه) و مدرسه فرقانی (شمال غرب پست) رفته‌اند. تعداد مشترکین و فازی که از آن تغذیه می‌کنند به تفکیک هر فیدر در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): تعداد مشترکین هر فیدر پست نمونه به تفکیک فاز

نام فیدر	تعداد مشترکین در هر فیدر	تعداد مشترکین تک‌فاز				تعداد مشترکین سه‌فاز
		تعداد مشترکین در فاز A	تعداد مشترکین در فاز B	تعداد مشترکین در فاز C	مجموع	
مدرسه	۶۷	۲۶	۲۱	۱۸	۶۵	۲
کوهپایه	۱۱۴	۳۵	۴۴	۳۴	۱۱۳	۱
زینبیه	۴۳	۱۵	۱۱	۱۵	۴۱	۲
اداره برق	۱۳۶	۵۹	۴۵	۳۱	۱۳۵	۱
مجموع	۳۶۰	۱۳۵	۱۲۱	۹۸	۳۵۴	۶

با بررسی پارامترهای معرفی شده در مقاله در شبکه مورد مطالعه تفاوت‌های زیر در شبکه واقعی و شبکه مدل‌سازی شده و اطلاعات وارد شده در نرم‌افزار مشاهده شد:

✓ پارامترهای استاتیکی پست:

ظرفیت ترانسفورماتور در فصل تابستان و زمستان یکسان فرض شده بود. زاویه شیفت فاز ترانسفورماتور ۳۰- درجه در نظر گرفته شده بود، در حالی که مقدار واقعی آن ۱۵۰- درجه می‌باشد. مقاومت زمین پست ۱/۱ اهم بود که در نرم‌افزار لحاظ نشده بود. تپ ترانسفورماتور هم در وضعیت نرمال بود.

✓ پارامترهای استاتیکی خطوط:

در ۳۰ درصد موارد ابعاد هادی‌ها اشتباه تشخیص داده شده بود، در مورد کابل سرویس‌ها نیز، کابل سرویس همه مشترکین در نرم‌افزار ۶*۲ لحاظ شده بود که با بررسی شبکه مشخص شد کابل سرویس ۵۴ درصد مشترکین ۴*۲ می‌باشد. همچنین ابعاد و طول کابل‌های زیر زمینی فشار ضعیف ترانسفورماتور تا سر کابل روی تیر اشتباه وارد شده بودند.

✓ پارامترهای استاتیکی مشترکین:

به علت ساخت و سازهای موجود تعداد مشترکین جدید اضافه شده به شبکه بعد از آخرین به‌روزرسانی شبکه ۱۰ مورد بود. تعرفه مشترکین عمومی که در ناحیه وجود داشتند (۱۰ مشترک)، در نرم‌افزار خانگی لحاظ شده بودند. به دلیل پیچش بیش از حد سیم‌ها در برخی تیرها و وجود جعبه تقسیم‌هایی که در ارتفاع بالا نصب شده بودند (در برخی نقاط شبکه) سبب شده بود فاز تغذیه ۸۰ مشترک اشتباه برداشت شود. در مورد مصارف غیر رایج نیز ۲ مورد برق دزدی، ۴ مورد استفاده از فازهای روز در مراسم مذهبی و یک مورد کنتور موقت مشاهده گردید.

✓ پارامترهای دینامیکی پست‌ها

کابل‌های رابط سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور تا شینه‌های ماقبل کلید کل در مدل‌سازی لحاظ نشده بود. با مشاهده وضعیت تپ ترانسفورماتور که در حالت نرمال خود بود و اندازه‌گیری ولتاژ فشار ضعیف ترانسفورماتور مشاهده شد که ولتاژ سمت اولیه ترانسفورماتور ۲۰ کیلوولت نیست و باید ۱۹/۶ لحاظ گردد. دمای محیط نیز در ماهی که پیک اتفاق می‌افتد و مطالعات در آن صورت می‌گیرد بین ۱۸ تا ۴۵ درجه سانتیگراد متغیر بود که تأثیر دما در ظرفیت ترانسفورماتورها و مقاومت کابل‌ها و هادی‌ها لحاظ نشده بود. عمر ترانسفورماتور از زمان آمدن در مدار ۱۰ سال می‌باشد. طول کابل‌های سمت فشار ضعیف تا سر کابل‌های روی تیر نیز، اشتباه در نظر گرفته شده بود.

✓ پارامترهای دینامیکی خطوط

با مشاهده شبکه و سؤال از مسئولین با سابقه اداره برق آشتیان مشخص گردید، قدمت برخی از نقاط پست مورد مطالعه ۲۰ سال می‌باشد حال آن‌که برخی قسمت‌ها نهایتاً ۲ سال است که وارد شبکه شده‌اند. آن‌چه مهم بود ورود مقادیر مربوط به نو بودن تجهیزات در نرم‌افزار بود و این اثر نادیده گرفته شده بود. اتصالات سست نیز در شبکه وجود داشت که از طریق ترموگرافی قابل مشاهده بودند و در مدل‌سازی‌ها لحاظ نشده بودند. در بخش مورد مطالعه یک خازن ۱۲/۵ کیلوواری وجود داشت که در مدل‌سازی لحاظ نشده بود، که به دلیل ورود تازه آن به مدار بی‌شک ظرفیت آن تغییری نداشته است. تداخل شاخه درختان با هادی‌ها نیز در فیدرهای اداره برق، زینبیه و کوهپایه به وفور وجود داشت که در مدل‌سازی لحاظ نشده بودند.

✓ پارامترهای دینامیکی مشترکین

پارامترهای فوق در یکی از فیدرها (فیدر کوهپایه) نشان داده شده است.

جدول (۲): مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری قبل و بعد از اصلاح پارامترهای سیستم توزیع

ردیف	نتایج دیتالاگر	قبل از اصلاح پارامترها		بعد از اصلاح پارامترها	
		نتایج پخش بار	درصد خطا نسبت به اندازه‌گیری	نتایج پخش بار	درصد خطا نسبت به اندازه‌گیری
Ia	۱۰۸/۱	۹۷/۷	۹/۶۲	۱۰۱/۳	۶/۲۹
Ib	۱۲۵/۵	۱۵۹/۶	-۲۷/۱۷	۱۲۷/۳	-۱/۴۳
Ic	۱۰۴/۸	۱۴۶/۸	-۴۰/۰۷	۹۸/۷	۵/۸۲

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بحث یکسان‌سازی نتایج شبیه‌سازی و واقعی شبکه توزیع مورد مطالعه قرار گرفت. با مطالعات و مشاهدات انجام شده تمامی پارامترهای مؤثر در تفاوت بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شناسایی و در قالب دو دسته پارامترهای استاتیکی و دینامیکی معرفی گردیدند. در شبکه مورد مطالعه اصلاحات لازم انجام شده و ملاحظه شد که نتایج پخش بار و اندازه‌گیری تا حد زیادی به هم نزدیک شده‌اند.

با مراجعه به مشترکین سه‌فاز و بارگیری در پیک مصرف، عدم بالانس بار در فازهای این مشترکین مشاهده شد. با مشاهده دیتابیس شبکه مورد مطالعه، مشاهده گردید ضریب توان برای انواع بارها (خانگی، عمومی و تجاری) و در ساعات مختلف شبانه‌روز یکسان وارد شده است (۰/۸۵). با مشاهده نتایج ثبت شده توسط دیتالاگرهای نصب شده در پست هدف در چند روز مختلف مشاهده گردید که ضریب توان بار مشترکین خانگی در زمان ماکزیمم ۰/۸۵ و در زمان مینیمم ۰/۷۵ می‌باشد که بسته به ساعتی که قرار است در آن پخش بار انجام شود باید این ضرایب بار به درستی وارد شوند (شکل (۲)).

مصرف ماهیانه مشترکین نیز بر اساس میزان نرمالیزه نشده در مدل‌سازی لحاظ شده بود. الگوی بار تک مشترک خانگی با استفاده از اطلاعات لاگر کلید مادر تعیین، ولی الگوی بار مشترکین عمومی با توجه به کمبود دیتالاگر بدست نیامد و برای آنها از الگوی بار مصارف عمومی مشابه در اراک استفاده شد. مصارف موقت نیز در شبکه تحت مطالعه یک مورد مشاهده شد که در نرم‌افزار در نظر گرفته نشده بود.

۴- مقایسه نتایج پخش بار و اندازه‌گیری قبل و بعد از اصلاح پارامترها در نرم‌افزار

بعد از مطالعات صورت پذیرفته و مشاهدات انجام شده از شبکه و با اصلاح پارامترهای معرفی شده در مقاله، در نرم‌افزار مورد استفاده (CYMDIST)، مشاهده شد که نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تا حد زیادی به هم نزدیک شده‌اند. در جدول (۲) نتایج حاصله قبل و بعد از اعمال و اصلاح

۶- منابع

- [۱] KOSTEREV D.N., TAYLOR C.W., MITTELSTADT W.A.: 'Model validation for the August 10, 1996 WSCC system outage', IEEE Trans. Power Syst., 1999, 14, 3, pp. 967-979
- [۲] KOSTEREV D.N.: 'Hydro turbine-governor model validation in Pacific northwest', IEEE Trans. Power Syst., 2004, 19, 2, pp. 1144-1149
- [۳] HUANG Z., GUTTROMSON R.T., HAUER J.F.: 'Large-scale hybrid dynamic simulation employing field measurements'. IEEE PES General Meeting 2004, Denver, USA, 5-10 June 2004
- [۴] HUANG Z., KOSTEREV D., GUTTROMSON R.T., NGUYEN T.: 'Model validation with hybrid dynamic simulation'. IEEE PES General Meeting 2005, Montreal, Canada, 18-22 June 2005
- [۵] J.MA, D.HAN, W.J.SHENG, R.M.HE, C.Y.YUE, J.ZHANG: 'Wide area measurement-based model validation and its application', IET generation, transmission & Distribution., 2008, pp. 906-916
- [۶] توانیر، استانداردهای شبکه توزیع، تیرماه ۷۵
- [۷] سهراب فاضلی، اسداله امیدواری‌نیا، " تأثیر سوء درجه حرارت محیط در کارایی تجهیزات از جمله ترانسفورماتورها"، چهارمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، بندرعباس، فروردین ۷۳
- [۸] راهنمای ترانسفورماتورها، توزیع روغنی شرکت ایران ترانسفو
- [۹] مسعود صادقی خمایی، سید اعتضاد مقیمی، " مروری بر روش‌های محاسبه، ارزیابی و تخمین تلفات در شبکه‌های توزیع نیروی برق"، شرکت توانیر، تابستان ۸۷
- [۱۰] مهدی معلم، محمد اسماعیل همدانی گلشن، فرهاد گنجی، " بررسی اثر فرسودگی اجزا و اتصالات نامناسب بر تلفات شبکه توزیع"، هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، تهران، اردیبهشت ۸۱
- [۱۱] توانیر، مدیریت توزیع، " اندازه‌گیری انرژی الکتریکی در بخش توزیع، دستورالعمل تعیین مستمر تلفات انرژی"، اسفند ۸۵