



KNO-1004-4202

پیاده‌سازی یک روش کاربردی در تحلیل و بهبود کیفیت توان

سعید سالارخیلی

شرکت برق منطقه‌ای تهران، ایران

s-salarkheili@trec.co.ir

اصغر اکبری فرود

دانشگاه سمنان سمنان، ایران

aakbari@semnan.ac.ir

چکیده — هدف از این مقاله، ارائه راهبردی جامع جهت تحلیل و همچنین بهبود مسائل کیفیت توان با توجه به امکانات و محدودیت‌ها می‌باشد. راهبرد ارائه شده در این مقاله مبتنی بر نتایج پروژه اندازه‌گیری کیفیت توان در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع برق منطقه‌ای سمنان در کم باری و پرباری) می‌باشد تا ضمن ارائه یک مورد عملی بتواند مورد استفاده کارشناسان صنعت برق باشد. در این مقاله سعی شده است که چالش‌ها و مسائلی که در مراحل مختلف مطالعات کیفیت توان (مونیتورینگ، تحلیل و راهکارهای اصلاحی) در یک محیط واقعی وجود دارد مورد بررسی قرار گرفته و یک روش و الگوریتم برای بررسی جامع کیفیت توان با امکانات موجود ارائه گردد.

واژه‌های کلیدی — کیفیت توان، هارمونیک ولتاژ، هارمونیک جریان

1. مقدمه

از سال 1980 تاکنون، موضوعی با عنوان کیفیت توان یا به‌طور کلی کیفیت برق، توجه ویژه‌ی دست‌اندرکاران صنعت برق و سازندگان لوازم الکتریکی را به خود جلب کرده است. این واژه بعنوان یک کلمه کلیدی است که تمام اغتشاشات سیستم برق را پوشش می‌دهد. بطور کلی اغتشاش، به هرگونه تغییر در ولتاژ، جریان و فرکانس سیستم که باعث اختلال در عملکرد صحیح وسایل الکتریکی مشترکان شود، اطلاق می‌گردد [1] و [2].

مونیتورهای کیفیت توان، تغییرات توان را در یک سیستم قدرت نمایان می‌کنند [3]. در مراجع [4-7] در مورد طرح‌ها و وسایل مونیتورینگ سیستم‌های قدرت بحث شده است. با توجه به هزینه‌های مربوط به مونیتورها و همچنین هزینه‌های پردازش اطلاعات، هدف تمامی برنامه‌های مانیتورینگ بهینه، ارزیابی سیستم با حداقل تعداد مانیتور می‌باشد [8].

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه‌ی مانیتورینگ و بهبود کیفیت توان و تهیه‌ی دستورالعمل‌ها و تدوین استانداردها انجام شده است [9-13]. اما با همه‌ی تحقیقات انجام شده در رابطه با کیفیت توان، متأسفانه اکثر این تحقیقات صرفاً پژوهش محور بوده و کمتر به چالش‌ها و مشکلات در فضای عملی و پروژه‌های صنعتی توجه شده است. در نتیجه‌ی رایج راهکاری برای مونیتور کیفیت توان در شبکه‌های مختلف بسیار مهم می‌باشد. از طرفی در این راهکار تمام شرایط باید به‌طور واقعی در نظر گرفته شود. برای مثال یکی از مسائلی که همواره در پروژه‌های کیفیت توان با آن روبرو هستیم گران بودن دستگاه‌های اندازه‌گیری و کمبود تعداد این دستگاه‌ها، خصوصاً در شرکت‌های برق منطقه‌ای می‌باشد. این باعث می‌شود که



تعداد نقطه‌های اندازه‌گیری کمتر و یا دسته‌های اندازه‌گیری همزمان کوچکتر شود. یکی دیگر از مسائلی که در یک فضای واقعی باید بررسی شود خطای اندازه‌گیری و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری با وجود این خطا می‌باشد. برای مثال در اکثر پست‌های فوق توزیع و انتقال در ایران از ترانسهای ولتاژخازنی (CVT) استفاده می‌شود. CVTها باعث بوجود آمدن خطای زیادی در اندازه‌گیری هارمونیک‌های ولتاژ می‌شود.

در این مقاله یک روش و الگوریتم برای اندازه‌گیری و تحلیل کیفیت توان در یک فضای واقعی با امکانات موجود ارائه داده می‌شود. این روند قابل پیاده‌سازی در تمام شبکه‌ها خصوصاً شبکه‌های ایران می‌باشد. در قسمت بعدی مختصری در مورد چگونگی انتخاب نقاط اندازه‌گیری بحث و یک الگوریتم هفت مرحله‌ای را پیشنهاد داده می‌شود. سپس به چگونگی تحلیل نتایج اندازه‌گیری در بخش سوم پرداخته می‌شود. در پایان برای نشان دادن روش تحلیل، نتایج مربوط به یک پست از پست‌های اندازه‌گیری شده در پروژه اندازه‌گیری کیفیت توان استان سمنان در بهار و تابستان 1390 ارائه و تحلیل می‌شود و بررسی‌های بیشتر بوسیله شبیه‌سازی انجام می‌شود.

2. راهبرد جامع در تعیین نقاط اندازه‌گیری پدیده‌های کیفیت توان

در این بخش به ذکر راهبردی جامع برای انتخاب نقاط اندازه‌گیری می‌پردازیم. در این راهبرد سعی شده تا تمام موارد لازم در یک پروژه صنعتی در نظر گرفته شود. مراحل لازم به شرح زیر می‌باشد:

- 1- آشنایی با شبکه مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز: برای این مرحله لازم است نقشه‌های دیاگرام تک خطی مربوط به شبکه‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع، نقشه گستردگی جغرافیایی، وضعیت کلیدهای کوپلاژ و خازن‌های موجود در شبکه تهیه شود.
- 2- بررسی آمار و گزارش‌های موجود در خصوص وضعیت کیفیت توان بخش‌های مختلف شبکه: در این مرحله باید با همکاری معاونت‌های بهره‌برداری و شرکت‌های توزیع و بنابر تجارب ارزشمند ایشان، آمار و گزارش‌هایی در خصوص وضعیت کیفیت توان بخش‌های مختلف شبکه و درخواست‌ها و شکایت‌های برخی مشترکین، تهیه گردد.
- 3- اولویت بندی فیدرهای توزیع: باتوجه به مراحل 1 و 2، فیدرهای موجود در سه اولویت اندازه‌گیری که نشان‌دهنده لزوم، عدم لزوم و مفید بودن اندازه‌گیری در صورت وجود اعتبار کافی، دسته‌بندی شوند.
- 4- انتخاب نقاط در سطح توزیع: در انتخاب نقاط در سطح توزیع، فیدرهای دارای اولویت اول، به منظور نصب تجهیزات اندازه‌گیری تعیین گردند. همچنین از میان فیدرهای شهری، آن دسته از فیدرهایی که تامین کننده حجم زیادی از بارهای خانگی بودند نیز در اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرند.
- 5- تعیین نقاط در سایر سطوح ولتاژی (فوق توزیع و انتقال): به منظور تعیین نقاط در سایر سطوح ولتاژی، انتخاب باید به گونه‌ای صورت گیرد که رویت پذیری شبکه تا حد امکان حفظ گردد. همچنین تلاش شود تا نقاط دارای مشکل در اندازه‌گیری‌های قبلی، نقاط انتهایی خطوط بلند، فیدر یا خطی که در ترانسفورماتور بالادست و یا بار متصل به آن مشکلاتی مشاهده شده است، مشترکین خاص یا بزرگ، نقاط ارتباطی با شبکه‌های مجاور و ... نیز جزو نقاط منتخب برای اندازه‌گیری‌های کیفیت توان باشند.
- 6- بررسی محدودیت در نصب تجهیزات/اندازه‌گیری: در صورت وجود محدودیت در نصب تجهیزات اندازه‌گیری در تمامی پست‌های فوق توزیع، از میان چندین پست که فاصله الکتریکی کمی داشته یا اطلاعات مورد نیاز از طریق بررسی اندازه‌گیری‌های قبلی در پست‌های یک ناحیه و اطلاع از شرایط شبکه و روند تغییر بار آن، قابل برداشت باشد، می‌توان برخی از پست‌ها را حذف نمود.
- 7- تعیین دسته‌های اندازه‌گیری همزمان: پس از مشخص نمودن نقاط اندازه‌گیری، نوبت به تعیین دسته‌های اندازه‌گیری همزمان می‌رسد. از آنجایی که منشأ وجود پدیده‌های کیفیت توان در یک منطقه ناشی از شبکه بالادست، بارها و یا شبکه پائین دست می‌باشد، لذا این نقاط (با



توجه به محدودیت تعداد دستگاه‌های اندازه‌گیری و امکان نصب آن‌ها) باید به گونه‌ای دسته‌بندی شوند که بتوان از اطلاعات دریافتی در بررسی همزمان سطوح ولتاژی مختلف به منظور تعیین جهت انتشار آلودگی و یافتن منبع ایجاد آن حداکثر استفاده را نمود. با توجه به موارد هفتگانه ذکر شده، نقاط منتخب به منظور نصب تجهیزات اندازه‌گیری در دوره‌های کم‌باری و پرباری انتخاب می‌شوند.

3. تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری هارمونیک

از آنجاییکه مهمترین پدیده در اندازه‌گیری کیفیت توان پدیده هارمونیک و جهت‌یابی آن می‌باشد لذا در این قسمت به ارائه راهکاری جامع در تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری هارمونیک می‌پردازیم. این راهکار وابسته به سطح ولتاژ و توپولوژی شبکه می‌باشد لذا راهکار مربوط به شبکه توزیع با شبکه فوق توزیع و انتقال متفاوت می‌باشد.

3.1. نقاط 20 و 63 کیلوولت

تشخیص جهت هارمونیک: در این سطح ولتاژ شبکه عمدتاً دارای ساختار شعاعی می‌باشد. تشخیص جهت هارمونیک و به عبارت دیگر تعیین منشا هارمونیک در حالتی که شبکه ساختار شعاعی داشته باشد یعنی موقعی که ارتباط یک پست تنها با یک پست دیگر باشد، با مقایسه هارمونیک جریان نرمالایز شده با هارمونیک ولتاژ نرمالایز شده هم فرکانس، امکان پذیر است. اگر دامنه ولتاژ هارمونیک از جریان هارمونیک بزرگتر بود، جهت از منبع به بار و اگر برعکس این حالت بود، جهت جریان هارمونیک، از بار به سمت منبع است. منظور از هارمونیک جریان نرمالایز شده، نسبت دامنه هارمونیک مورد نظر به مؤلفه اصلی جریان در آن نقطه و همچنین منظور از هارمونیک ولتاژ نرمالایز شده، نسبت هارمونیک ولتاژ در یک فرکانس به مؤلفه اصلی ولتاژ در آن نقطه است.

3.1. نقاط 230 و 400 کیلوولت

مشکلی که در جهت‌یابی هارمونیک در سطح 230 و 400 کیلوولت داریم این است که اغلب اندازه‌گیری‌ها از طریق ترانسهای ولتاژ خازنی (CVT) انجام می‌شود. این باعث بوجود آمدن خطای زیادی در اندازه‌گیری‌ها می‌شود. در ادامه برای توضیحات بیشتر خطای اندازه‌گیری CVTها بررسی می‌شود.

4. بررسی خطای CVT در اندازه‌گیری هارمونیک

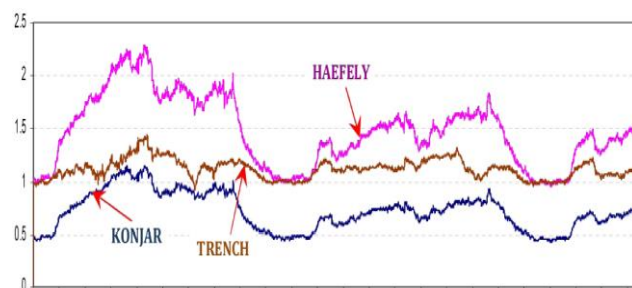
در شبکه‌های قدرت علاوه بر ترانسفورماتورهای ولتاژ الکترومغناطیسی (PT)، ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی نیز برای اندازه‌گیری ولتاژهای بالا استفاده می‌شوند. ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی یا CVTها عموماً در شبکه‌هایی با ولتاژهای 230 و 400 کیلوولت بکار گرفته می‌شوند. در این نوع ترانسفورماتورها، ابتدا با استفاده از تعداد زیادی خازن که معمولاً از نوع کاغذ با هادی آلومینیومی می‌باشند و به طور سری به یکدیگر متصل شده‌اند، ولتاژ اولیه در حدود 10 تا 30 کیلوولت کاهش می‌یابد و سپس با استفاده از یک PT کوچک مقدار ولتاژ را به ولتاژ استاندارد 100 یا 110 ولت تبدیل می‌گردد. ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی بعلاوه داشتن عایق‌بندی کمتر در ولتاژهای زیاد به مراتب ارزانتر از PTها می‌باشند و علاوه بر مسایل اقتصادی، استقامت الکتریکی آنها نیز در مقابل ولتاژهای ضربه‌ای به مراتب بیشتر از PTها است.

رفتار CVTها در فرکانس اصلی بخوبی تعریف و تحلیل و تست شده است اما رفتار آنها در فرکانس‌های بالاتر بسیار متفاوت می‌باشد. پاسخ فرکانسی CVTها به عوامل مختلفی مانند سازنده، طول عمر، مقادیر خازنها و سلفها و... بستگی دارد. لذا خطای CVTها برای فرکانس‌های مختلف یکسان نیست و از CVT برای اندازه‌گیری هارمونیک نمی‌توان استفاده کرد.

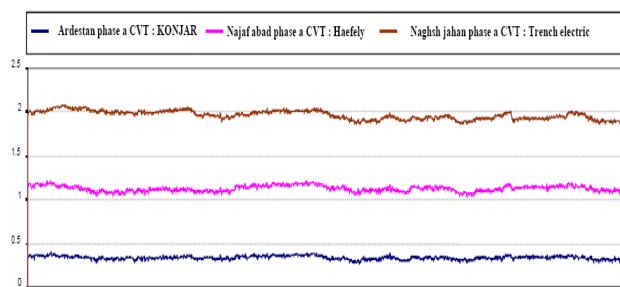
در ادامه مروری بر استانداردها و کتب معتبر در مورد خطای اندازه‌گیری هارمونیک از طریق CVT به منظور اثبات وجود خطاهای قابل ملاحظه در مقادیر هارمونیک سوم و پنجم انجام خواهد شد.



در استاندارد صنعت برق ایران (1381) آورده شده است که در بعضی از پست‌ها به خصوص پست‌های 230 و 400 کیلوولت از CVT به عنوان ترانسفورماتورهای کاهنده ولتاژ استفاده می‌گردد. از این نوع ترانسفورماتورها نباید برای مونیتورینگ کیفیت توان استفاده کرد. در استاندارد IEEE-519-1992 آورده شده است که برای اندازه‌گیری هارمونیک‌های ولتاژ نمی‌توان از CVT استفاده نمود. به این دلیل که بطور معمول، پایین‌ترین فرکانس رزونانس در پاسخ فرکانسی CVTها در حدود کمتر از 200HZ بوده و این موضوع باعث می‌شود که هارمونیک‌های ولتاژ 3 و 5 که اطراف فرکانس 200HZ می‌باشند از دقت مناسبی برخوردار نباشند. در استاندارد IEC 61000-4-7-1996 نیز آورده شده است که اندازه‌گیری هارمونیک‌ها از طریق CVT مناسب نمی‌باشد. در [2] بیان شده است که به علت وجود رزونانس در حوالی فرکانس 200HZ، CVT برای مونیتورینگ هارمونیک‌های ولتاژ مناسب نمی‌باشند. در شکل‌های (1) و (2) هارمونیک سوم ولتاژ اندازه‌گیری شده از طریق CVTهای مختلف بطور همزمان نشان داده شده است. این اندازه‌گیری در پست شهید منتظری اصفهان در سطوح ولتاژ 400KV و 230KV انجام گرفته است. همانطور که در این شکلها مشخص است اندازه‌گیری از طریق CVTهای سازندگان مختلف بر روی یک باسبار مشترک، مقادیر هارمونیک سوم متفاوتی را نشان می‌دهند که اختلاف در حد دو برابر می‌باشد. لذا مشخص نیست کدامیک از این مقادیر به مقدار واقعی هارمونیک سوم نزدیک‌تر میباشد.



شکل (1): هارمونیک سوم ولتاژ اندازه‌گیری شده از CVTهای مختلف در پست 400KV شهید منتظری



شکل (2): هارمونیک سوم ولتاژ اندازه‌گیری شده از CVTهای مختلف در پست 230KV شهید منتظری

با توجه به توضیحات داده شده مشخص می‌شود که عملاً از داده‌های اندازه‌گیری هارمونیک‌های ولتاژ نمی‌توان در شبکه انتقال نمی‌توان برای تشخیص جهت توان هارمونیک‌ها استفاده کرد اما نتایج اندازه‌گیری هارمونیک‌های جریان چون از طریق CT می‌باشند، دیگر خطای اندازه‌گیری CVTها را ندارند و برای شناسایی منابع تزریق هارمونیک قابل استفاده می‌باشند. به همین دلیل روش زیر را برای تحلیل وضعیت هارمونیک‌ها پیشنهاد می‌کنیم. مراحل این روش عبارتند از:

1- شناسایی منابع تزریق جریان هارمونیک‌ها از شبکه توزیع (پایین دست). در این مرحله سعی می‌شود با استفاده از مقادیر هارمونیک جریان، منابع تزریق جریان هارمونیک‌ها که جریان زیادی به شبکه توزیع تزریق می‌کنند به‌طوریکه تا شبکه فوق توزیع و انتقال نیز ادامه می‌یابد شناسایی شود. البته چنین اتفاقی بسیار نادر بوده و بیشتر در شبکه‌های ضعیف اتفاق می‌افتد مگر اینکه منبع تزریق هارمونیک بزرگ باشد.



- برای مثال به دلیل استفاده گسترده از لامپ‌های کم‌مصرف این لامپ‌ها به عنوان یک منبع تزریق هارمونیک در نظر گرفته می‌شود که آثار آن در شبکه فوق توزیع و انتقال نیز مشهود است.
- 2- شناسایی منابع تزریق جریان هارمونیکی از شبکه فوق توزیع و انتقال (بالادست). شناسایی منبع تولید هارمونیک در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع با استفاده از اندازه‌گیری‌های معمول که اکثراً در بیشتر شبکه‌ها انجام می‌شود تقریباً ناممکن است. چراکه در شبکه انتقال شارش توان یک جهت ثابت ندارد و در حال تغییر می‌باشد. از طرفی دیگر حضور منابع غیر هم‌فاز در کنار هم باعث مشکل‌تر شدن تحلیل نتایج نیز می‌شود. چراکه فاز دو منبع جریان هارمونیکی می‌تواند به گونه‌ای باشد که اثر یکدیگر را تضعیف و یا تشدید نمایند و باعث افزایش یا کاهش THD در باس مربوطه شود. اما در بعضی از شرایط خاص با توجه به توپولوژی شبکه و بعضی از خطوط انتقال می‌توان تعدادی از منابع قطعی تولید هارمونیک را در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع شناسایی کرد. برای مثال در شبکه 230 کیلوولت سمنان کارخانه فروسیلیس روی این شبکه قرار دارد. اندازه‌گیری‌ها تزریق جریان هارمونیکی مرتبه پنجم در حدود 38 در صد مولفه اصلی را توسط کارخانه فروسیلیس به شبکه 230 کیلوولت سمنان نشان می‌دهند.
- 3- شبیه‌سازی کامپیوتری (تحلیل): پیشنهاد این مقاله استفاده از شبیه‌سازی در کنار اندازه‌گیری می‌باشد. در این مرحله منابعی که به عنوان منبع تزریق هارمونیک شناخته شده‌اند به صورت منبع جریان هارمونیکی مدل می‌شوند و از کل شبکه پخش بار هارمونیکی گرفته می‌شود. نرم افزار Digsilent به دلیل اینکه اطلاعات شبکه ایران در این محیط موجود می‌باشد توصیه می‌شود. به کمک این نرم افزار THD را در همه باس‌ها مشاهده می‌کنیم و سهم منابع مدل شده در هارمونیک ولتاژ باس‌های مختلف مشخص می‌شود. علاوه بر این میزان دقیق بودن تحلیل ما از نتایج در این مرحله مشخص می‌شود.
- 4- شبیه‌سازی کامپیوتری (بهبود): حال که تا حد امکان شبکه مدل سازی شد و منابع عمده تولید هارمونیک شناخته شد راهکارهای بهبود کیفیت توان در این مرحله بررسی می‌شود. نکته قابل توجه این است که راهکارهای متفاوت برای اصلاح یک نقطه با استفاده از شبیه‌سازی قابل بررسی می‌باشد. برای مثال برای یک نقطه چند راهکار برای بهبود وضعیت کیفیت توان آن وجود دارد. این راهکارها عبارتند از بستن باس کوپلرهای باز، اضافه کردن ترانس جدید، احداث پست جدید یا کشیدن خط ارتباطی جدید برای پایین آوردن امپدانس ویا فیلترگذاری. به کمک شبیه‌سازی این راهکارها بررسی می‌شود و میزان تاثیر بر روی وضعیت کیفیت توان یک نقطه و سایر نقاط هم بررسی می‌شود.
- در بررسی و تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری باید نتایج اندازه‌گیری دو پروژه کم باری و پرباری در کنارهم مورد بررسی قرار گرفته شود تا بدینوسیله ضمن انجام تحلیل‌های جامعتر، شناخت کاملتر و دقیقتری نسبت به وضعیت کیفیت توان در شبکه انتقال و فوق توزیع ایجاد گردد.

5. بررسی پست 63 کیلوولت شهید میرحاج در شبکه فوق توزیع سمنان

در این قسمت برای نشان دادن چگونگی تحلیل نقاط، به بررسی نتایج استخراج شده از اندازه‌گیری پست شهید میرحاج در استان سمنان می‌پردازیم.

نقاط مونیتور شده در کم باری در پست میرحاج مطابق جدول (1) است.

جدول (1): نقاط مونیتور شده در کم باری در پست میرحاج

1	پست 63 شهید میرحاج	خروجی T1
2	پست 63 شهید میرحاج	فیدر نیروگاه
3	پست 63 شهید میرحاج	فیدر سعدی
4	پست 63 شهید میرحاج	فیدر صنعتی 2
5	پست 63 شهید میرحاج	فیدر سیمین کار



نقاط مونیتور شده در پر باری در پست میرحاج در جدول (2) و خلاصه وضعیت ولتاژ در جدول (3) نشان داده شده

است.

جدول (2): نقاط مونیتور شده در پر باری در پست میرحاج

1	پست 63 شهید میرحاج	خروجی T2
2	پست 63 شهید میرحاج	فیدر نیروگاه
3	پست 63 شهید میرحاج	فیدر سعدی
4	پست 63 شهید میرحاج	فیدر محلات
5	پست 63 شهید میرحاج	فیدر بیمارستان امیرالمؤمنین

جدول (3): خلاصه وضعیت ولتاژ در پست میرحاج

پارامترها	کم باری	پر باری
THD		
هارمونیک تا مرتبه 7		
هارمونیک بالاتر از 7		
PST		
PLT		
عدم تعادل ولتاژ		
پدیده‌های گذرا		
پدیده های کوتاه-مدت	دو پدیده از بالادست	
پدیده‌های بلندمدت		

در جدول (4) موارد زیر را باید در نظر گرفت:

- در پدیده‌های گذرا، کوتاه‌مدت و بلندمدت اگر بین 1 تا 5 پدیده ثبت شده باشد، وضعیت زرد و از 6 پدیده به بالا، وضعیت قرمز ثبت گردیده است.
- در THD، هارمونیک تا مرتبه هفت، هارمونیک‌های بالاتر از هفت، PST (شاخص کوتاه مدت فلیکر)، PLT (شاخص بلند مدت فلیکر) و عدم تعادل ولتاژ اگر بیش از 5 درصد موارد ثبت شده خارج از رنج مجاز بوده و وضعیت قرمز و اگر کمتر از 5 درصد موارد ثبت شده خارج از رنج مجاز بوده وضعیت زرد رنگ نشان داده شده است. وضعیت سفید به منزله این است که هیچ مشکلی از آن نوع پدیده مشاهده نشده است. وضعیت زرد طبق استانداردهای بین‌المللی مشکلی ندارد ولی طبق استاندارد ایران که عمدتاً مقادیر حداکثر را با رنج مجاز مقایسه میکند، وضعیت نامطلوب تلقی می‌شود.



5.1. تحلیل وضعیت ولتاژ

- 1- در شرایط کم باری هارمونیک پنجم ولتاژ در این پست خارج از رنج مجاز است و وضعیت آن قرمز است. با توجه به اندازه هارمونیکهای جریان، جهت جریان هارمونیک از سمت بار به منبع است. وضعیت کلید کوپلاژ این پست باز گزارش شده که ظاهراً به دلیل پر بار بودن ترانسهای آن است. باز بودن کلید کوپلاژ می تواند در دامنه هارمونیک پنجم ولتاژ در این پست مؤثر باشد که با شبیه سازی هارمونیک مورد بررسی قرار گرفته است (در ادامه گزارش نتایج این شبیه سازی ارائه گردیده است).
 - 2- در پر باری ظاهراً یک بخش از شینه پست که فیدرهای نیروگاه و بیمارستان امیرالمومنین را تغذیه می کند مشکلی از نظر هارمونیکهای ولتاژ ندارد ولی بخش دوم شینه که فیدرهایی مثل سعدی و محلات را تغذیه میکند دارای هارمونیک پنجم ولتاژ قوی است و وضعیت قرمز دارد.
- وضعیت اعوجاج هارمونیک برای بخش توزیع اغلب فیدرها حتی با بسته بودن کلید کوپلاژ احتمالاً نامطلوب است که در حوزه عملیاتی شرکت توزیع قرار دارد.
- خلاصه وضعیت جریان در نقاط مونیتور شده در پست میرحاج در جدول (4) ارائه شده است.

5.2. تحلیل وضعیت جریان

- 1- منبع جریان هارمونیک از مرتبه پنج، طبق اندازه گیری های کم باری، فیدر سعدی می باشد. البته در پر باری مشکلی از نظر هارمونیک پنجم جریان ثبت نشده است.
- 2- در پر باری باز هم در نقطه T2 دامنه هارمونیکهای جریان خیلی بالاست. این موضوع نشانگر آن است که احتمالاً فیدرهای دیگری از این پست که مونیتور نشده اند نیز منبع هارمونیک هستند.
- 3- در فیدر نیروگاه هارمونیکهای زوج بخصوص هارمونیک دوم از سمت بار به سمت منبع است. ظاهراً منبع جریان هارمونیک یکی از فیدرهای این پست بوده که در پر باری مونیتور نشده است.
- 4- در دیاگرام تک خطی شبکه 63 کیلوولت یک خط 63 دیگر از پست 63 سمنان به پست میرحاج مصوب است که میزان اثرگذاری احداث این خط در کاهش امپدانس شبکه و احتمالاً کاهش هارمونیک ولتاژ در این پست باید با شبیه سازی هارمونیک برر سی گردد که در ادامه نتایج این شبیه سازی ارائه می گردد.
- 5- با توجه به اینکه هارمونیک پنجم ولتاژ در این پست بالاست بنابراین م شرکت رکنین روی فیدرهای این پست در شرایط کنونی (یعنی کلید کوپلاژ باز) هارمونیک پنجم ولتاژ را مشاهده می کنند.
- 6- نکته مهم دیگر این است که در مونیتورینگ پر باری خط 63 میرحاج در پست 63 سمنان مونیتور شده که مقدار هارمونیک پنجم جریان و TDD آن شدید گزارش شده که از سمت بار است. در ادامه با شبیه سازی میزان اثرگذاری این مقدار هارمونیک جریان در با سهای پایین دست و بالادست این فیدر مورد بررسی قرار می گیرد.
- 7- فیدر محلات ضریب قدرت بسیار بدی دارد (100 در صد خارج از رنج و حدود 0/85 است. نکته مهم در اینجا این است که ضریب قدرت پایین این خط می توان باعث افت ولتاژهای بیشتری شود در شبکه توزیع شود.
- 8- فیدر نیروگاه این پست نیز ضریب قدرت بسیار پایینی دارد (در حدود 90 درصد نمونه ها حدود 0/86 بوده است)
- 9- فیدر سعدی نیز همین مشکل ضریب توان را مشابه فیدر نیروگاه دارد.

نقش وضعیت (باز یا بسته بودن) کلید کوپلاژ در پست میرحاج بر روی اعوجاج هارمونیک، توسط شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج در جدول (5) نشان داده شده است. برای این منظور یک بار هارمونیک از مؤلفه پنجم برابر با 6 درصد مؤلفه اصلی (مطابق با نتایج اندازه گیری برای ترانس T1 در کم باری)، در طرف 20 کیلوولت ترانس پست میرحاج قرارداد شده است.



همانگونه که از نتایج جدول فوق مشخص است در حالت کلید باز، اعوجاج هارمونیک پنجم ولتاژ خارج از رنج مجاز است ولی در حالت کلید بسته مشکل کاملاً حل می شود. پس یک راهکار مناسب برای کاهش اعوجاج هارمونیک ولتاژ در این پست و فیدرهای توزیع آن، بستن کلید کوپلاژ در این پست است.

نکته مهم دیگر این است که در مونیتورینگ خط 63 میرحاج در پست 63 سمنان در پر باری، مقدار هارمونیک پنجم جریان و TDD آن شدید گزارش شده که از سمت بار است. در شبیه سازی هارمونیک دیگری، یک بار هارمونیک در پست میرحاج قرار داده شده است بگونه ای که بتواند 4 درصد هارمونیک جریان در فیدر میرحاج ایجاد کند و با شبیه سازی اثر این هارمونیکهای جریان در باسهای پایین دست و بالادست بررسی شده و نتایج در جدول (6) ارائه گردیده است. همچنین، در دیاگرام تک خطی شبکه 63 کیلوولت یک خط 63 دیگر از پست 63 سمنان به پست میرحاج مصوب است که میزان اثرگذاری احداث این خط در کاهش امپدانس شبکه و احتمالاً کاهش هارمونیک ولتاژ در این پست با شبیه سازی هارمونیک بررسی گردیده که در جدول (7) ارائه شده است.

جدول (4): خلاصه وضعیت جریان در نقاط مونیتور شده در پست میرحاج

نام نقطه اندازه گیری	دوره	TDD	هارمونیکهای جریان تا مرتبه 7	هارمونیکهای جریان بالاتر از مرتبه 7	ضریب قدرت
1 خروجی T1	کم باری	بسیار شدید	بسیار شدید		
2 خروجی T2	پر باری	بسیار شدید	بسیار شدید		
3 فیدر نیروگاه	کم باری		هارمونیک دوم	هارمونیکهای 4، 6، 8 و 10	
	پر باری				
4 فیدر سعدی	کم باری	شدید	شدید		
	پر باری		هارمونیک دوم خیلی کم		
5 فیدر صنعتی 2	کم باری				
6 فیدر سیمین کار	کم باری				



		هارمونیک دوم خیلی کم		پرباری	فیدر محلات	7
				پرباری	فیدر بیمارستان امیرالمؤمنین	8

جدول (5): شبیه‌سازی اثر باز یا بسته بودن کوپلاژ پست میرحاج در THD

کوپلاژ بسته	کو پلاژ باز	نام نقطه
1/28	3/33	THD در باس 20 پست میرحاج
0/48	0/52	THD در باس 63 پست میرحاج
0/35	0/38	THD در باس 63 پست سمنان
0/11	0/11	THD در باس 230 پست سمنان

جدول (6): شبیه‌سازی اثر باز یا بسته بودن کوپلاژ پست میرحاج در THD

کوپلاژ بسته	کو پلاژ باز	نام نقطه
2/97	5/54	THD در باس 20 پست میرحاج
0/8	0/86	THD در باس 63 پست میرحاج
0/59	0/63	THD در باس 63 پست سمنان



0/18	0/19	THD در باس 230 پست سمنان
------	------	-----------------------------

جدول (7): شبیه‌سازی اثر باز یا بسته بودن کوپلاژ پست میرحاج و وجود خط دوم 230 سمنان میرحاج در اعوجاج هارمونیک ولتاژ

نام نقطه	کوپلاژ باز و وجود خط دوم 230 سمنان میرحاج	کوپلاژ بسته و وجود خط دوم 230 سمنان میرحاج
THD در باس 20 پست میرحاج	5/54	2/97
THD در باس 63 پست میرحاج	0/86	0/8
THD در باس 63 پست سمنان	0/63	0/59
THD در باس 230 پست سمنان	0/19	0/18

از نتایج پخش بار هارمونیک ارائه شده در جداول فوق مشخص است که بار هارمونیک مورد نظر (که بر اساس نتایج مونیتورینگ قرارداد شده است)، در حالت کلید کوپلاژ باز باعث شده که اعوجاج هارمونیک سمت 20 کیلوولت پست میرحاج از رنج مجاز خارج شود. نکته مهم دیگر این است که بارهای غیر خطی پست میرحاج قادر هستند حدود 0/2 درصد اعوجاج هارمونیک در سطح انتقال ایجاد کنند و این مقدار با توجه به رنج مجاز اعوجاج تکی که 1 درصد است، زیاد است. دقت شود که به پست 230 سمنان چندین پست فوق توزیع دیگر متصل است. پس به نظر می‌رسد که باید در پایین دست پست میرحاج (شبکه توزیع) راهکارهایی برای کاهش منابع هارمونیک صورت پذیرد.

همانطور که از نتایج شبیه‌سازی در جدول فوق مشخص است، اضافه شدن خط جدید 63 کیلوولت بین پست سمنان 230 و میرحاج تاثیر چندانی بر کاهش اعوجاج هارمونیک در باس‌های مختلف ندارد. تاثیر بسته شدن کلید کوپلاژ این پست بر کاهش اعوجاج هارمونیک ولتاژ به مراتب بیشتر است. علت موضوع کوتاه بودن خط ارتباطی بین پست سمنان و میرحاج است بطوریکه امپدانس ترانسفورماتور 30 مگاواتی 63/20 کیلوولت این پست حدود 18 (18 اهم در برابر 1/074 اهم) برابر امپدانس خط سمنان-میرحاج است. بنابراین بسته شدن کوپلاژ پست تاثیر بسیار بیشتری بر کاهش امپدانس شبکه در سمت 20 کیلوولت پست میرحاج دارد. لذا با توجه به آنکه مونیتورینگ‌های انجام شده حاکی از وجود منابع هارمونیک را در پایین دست پست میرحاج دارد، توصیه می‌شود که کلید کوپلاژ این پست همواره بسته نگهداشته شود و با انتقال بخشی از



0/18	0/19	THD در باس 230 پست سمنان
------	------	-----------------------------

جدول (7): شبیه‌سازی اثر باز یا بسته بودن کوپلاژ پست میرحاج و وجود خط دوم 230 سمنان میرحاج در اعوجاج هارمونیک ولتاژ

نام نقطه	کوپلاژ باز و وجود خط دوم 230 سمنان میرحاج	کوپلاژ بسته و وجود خط دوم 230 سمنان میرحاج
THD در باس 20 پست میرحاج	5/54	2/97
THD در باس 63 پست میرحاج	0/86	0/8
THD در باس 63 پست سمنان	0/63	0/59
THD در باس 230 پست سمنان	0/19	0/18

از نتایج پخش بار هارمونیک ارائه شده در جداول فوق مشخص است که بار هارمونیک مورد نظر (که بر اساس نتایج مونیتورینگ قرارداد شده است)، در حالت کلید کوپلاژ باز باعث شده که اعوجاج هارمونیک سمت 20 کیلوولت پست میرحاج از رنج مجاز خارج شود. نکته مهم دیگر این است که بارهای غیر خطی پست میرحاج قادر هستند حدود 0/2 درصد اعوجاج هارمونیک در سطح انتقال ایجاد کنند و این مقدار با توجه به رنج مجاز اعوجاج تکی که 1 درصد است، زیاد است. دقت شود که به پست 230 سمنان چندین پست فوق توزیع دیگر متصل است. پس به نظر می‌رسد که باید در پایین دست پست میرحاج (شبکه توزیع) راهکارهایی برای کاهش منابع هارمونیک صورت پذیرد.

همانطور که از نتایج شبیه‌سازی در جدول فوق مشخص است، اضافه شدن خط جدید 63 کیلوولت بین پست سمنان 230 و میرحاج تاثیر چندانی بر کاهش اعوجاج هارمونیک در باس‌های مختلف ندارد. تاثیر بسته شدن کلید کوپلاژ این پست بر کاهش اعوجاج هارمونیک ولتاژ به مراتب بیشتر است. علت موضوع کوتاه بودن خط ارتباطی بین پست سمنان و میرحاج است بطوریکه امپدانس ترانسفورماتور 30 مگاواتی 63/20 کیلوولت این پست حدود 18 (18 اهم در برابر 1/074 اهم) برابر امپدانس خط سمنان-میرحاج است. بنابراین بسته شدن کوپلاژ پست تاثیر بسیار بیشتری بر کاهش امپدانس شبکه در سمت 20 کیلوولت پست میرحاج دارد. لذا با توجه به آنکه مونیتورینگ‌های انجام شده حاکی از وجود منابع هارمونیک را در پایین دست پست میرحاج دارد، توصیه می‌شود که کلید کوپلاژ این پست همواره بسته نگهداشته شود و با انتقال بخشی از



بار این پست به پستهای مجاور و یا اضافه کردن ترانسفورماتور سوم به این پست، این امکان ایجاد شود که کلید کوپلاژ این

پست همیشه بسته باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مراحل مختلف پروژه اندازه‌گیری و تحلیل کیفیت توان استان سمنان تشریح شد. نکته قابل توجه تحلیل نتایج با استفاده از امکانات موجود بود. همچنین کارایی استفاده از شبیه‌سازی در کنار مونیتورینگ برای تحلیل نتایج و ارزیابی راهکارهای بهبود و اصلاح کیفیت توان نشان داده شد. این الگوریتم قابل پیاده‌سازی و بکارگیری در فضاهای عملی و شبکه‌های واقعی و شرکت‌های برق منطقه‌ای می‌باشد.

منابع

- [1] E. F. Fuchs and M. A. S. Masoum, "Power Quality in Electrical Machines and Power Systems". New York: Academic, 2008.
- [2] Dugan, M. F. Mc Granaghan and H. W. Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996.
- [3] Dilek Kucuk, Tolga Inan, Ozgul Salor, Turan Demirci, Yener Akkaya, Serkan Buhan, Burak Boyrazoglu, Ozgur Unsar, Eriñc Altintas, Burhan Haliloglu, Isik Cadirci, Muammer Ermis, "An extensible database architecture for nationwide power quality monitoring," Electrical Power and Energy Systems (2010)
- [4] G. Bucci and C. Landi, "A distributed measurement architecture for industrial applications", IEEE Trans. Iustrum. Meas., vol. 52, no. 1, p. 165- 174, Feb. 2003.
- [5] L. Cristaldi, A. Ferrero, and S. Salicone, "A distributed system for electric power quality measurement," IEEE Trans. Iustrum. Meas., vol. 51, no. 4, p. 776-781, 2002.
- [6] B. Byman, T. Yarborough, R. S. von Carolsfeld, and J. Van Gorp, "Using distributed power quality monitoring for better electrical system management," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 36, no. 5, pp. 1481-1485, Sep.-Oct. 2000.
- [7] I.-Y. Chung, D.-J. Won, S.-J. Ahn, J.-M. Kim, S.-I. Moon, J.-c. Seo, J.-W. Choe and G.-S. Jang, "Development of new power quality diagnosis function." J. Electr. Eng. & Technol., vol. 1, no. 1, p. 28-34, Mar, 2006.
- [8] A.A. Ibrahim, A. Mohamed, H. Shareef, S.P. Ghoshal, Optimal Power Quality Monitor Placement in Power Systems Based on Particle Swarm Optimization and Artificial Immune System, 2011 3rd Conference on Data Mining and Optimization (DMO) 28-29 June 2011, Selangor, Malaysia
- [9] IEEE Recommended Practice on "Monitoring Electric Power Quality", Std. 1159-1995.
- [10] T. G. San Roman and J. R. Ubeda, "Power Quality Regulation in Argentina: Flicker and Harmonics" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 3, 1998, p. 895-901.
- [11] M. Goldstain and P. D. Speranza, "The Quality of U. S. Commercial ac Power," INTELEC, 1982. P. 28-33.
- [12] D. D. Sabin, T. E. Grebe and A. Sundaram, "Surveying Power Quality Levels on U. S. Distribution System," Proceeding 13th International Conference on Electricity Distribution (Cired 95), Brussels Belgium, May 1995.
- [13] W. Edward Reid, "Power Quality Issues – Standards and Guidelines," IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 32, No. 3, 1996, p. 625-632.