



بروندادهای تخصصی

گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

پژوهشگاه نیرو گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

سال ششم، شماره ۱۹، بهار و تابستان ۱۴۰۰



به نام خدا

گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: آرمان صفایی

سر دبیر: هادی نوروزی

مدیر اجرایی: هادی نوروزی

گرافیسیت و صفحه آرا: آرمان صفایی

ویراستار: آرمان صفایی

↩ **همکاران این شماره:** فرشید منصوربخت، سارا خیامیم، تارا خیامیم، آرمان صفایی، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاک، سعید طاهری و هادی نوروزی

↩ **همکاران گروه:** فرشید منصوربخت، مجتبی گیلوانژاد، سارا خیامیم، آرمان صفایی، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاک، سعید طاهری و هادی نوروزی

↩ **همکاران معاونت پژوهشی:** مسعود حسنی مرزونی، نوشین فرودی

نشانی الکترونیکی: hnorouzi@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید

دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه تجهیزات خط و پست

تلفن: ۰۲۱-۸۸۵۹۰۱۷۳

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۵۷۴۷۸۶

اعضای هیئت تحریریه:

مجتبی گیلوانژاد، فرشید منصوربخت، آرمان صفایی،

سارا خیامیم، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاک،

سعید طاهری و هادی نوروزی

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست» با هدف ایجاد بستر مناسب برای تبادل اطلاعات مربوط به تجهیزات خط و پست به صورت داخل پژوهشگاهی منتشر می شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلا مانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش های درج شده بر عهده نویسندگان است.

• سخن سردبیر

۱

• خبر و گزارش

۲

• تعیین ضوابط فنی راه‌اندازی و سرویس و نگهداری تجهیزات پست‌های عایق‌گازی

۴

• فناوری‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات تجهیزات شبکه توزیع نیروی برق

۲۲

• امکان‌سنجی و طراحی و ساخت ترانسفورماتور خشک در رده فوق توزیع

۶۰



سخن سردبیر

سپاس خداوند را که هستی، نام از او یافت و خرد را بی میانجی حکمت آموخت تا او را بشناسیم که شناخت او، از شناخت خود و دنیای اطراف خود شروع می‌شود.

بدون شک یکی از ویژگی‌های عصر حاضر این است که نشر و تبادل اطلاعات همزمان با پیشرفت تکنولوژی و فناوری در زمینه‌های مختلف علمی، با سرعت زیاد در حال انجام است. در مورد سیستم‌های قدرت و تجهیزات مرتبط با آن نیز چه در زمینه تکنولوژی و چه در زمینه پژوهش‌ها و خدمات انجام یافته، تغییرات رو به جلو بوده و پیشرفت‌های زیادی در مراحل مختلف تولید تا توزیع و مصرف برق، شکل گرفته است. تجهیزات و فعالیت‌های مربوط به خط و پست نیز از این مقوله مستثنی نبوده و با توجه به اهمیت فراوان آن، در کارایی سیستم قدرت نقش بسزایی دارد.

پروژه‌ها و تحقیقات انجام شده در گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست پژوهشگاه نیرو، همواره در مسیر پیشرفت و در سطح فعالیت‌های پیشرو در دنیا می‌باشد. با توجه به اهمیت نشر و تبادل اطلاعات سعی شده است که این نشریه پژوهشی از انواع فعالیت‌های پژوهشی و تخصصی انجام شده در گروه باشد تا بتوان با استفاده از نشر این فعالیت‌ها در قالب گزارشات و مقالات، ارتباط مناسبی با گروه‌های مختلف داخل پژوهشگاه و همچنین سایر مراکز علمی و تحقیقاتی مثل دانشگاه‌ها برقرار کرد.

هادی نوروزی

گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

آغاز پروژه

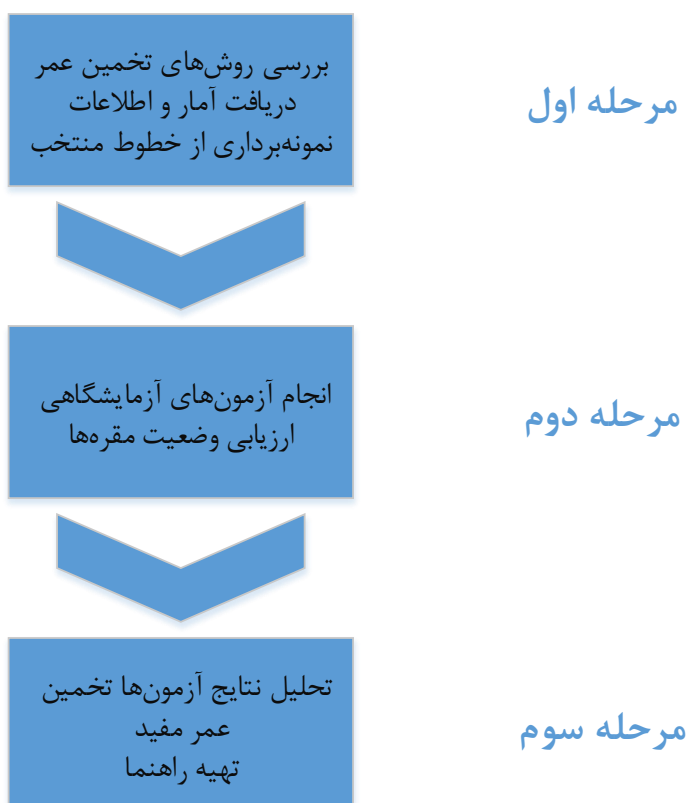
بررسی میزان آسیب دیدگی مقره های سیلیکونی نصب شده در استان یزد در اثر تابش

اشعه UV و تخمین عمر باقیمانده

👤 مدیر پروژه: هادی نوروزی

با توجه به خاصیت آب‌گریزی مقره‌های سیلیکونی، این مقره‌ها بهترین گزینه برای مناطق آلوده هستند و از وقوع شکست الکتریکی سطحی جلوگیری می‌کنند. اما مهم‌ترین چالش در استفاده از مقره‌های سیلیکونی از دست رفتن خواص مکانیکی و عایقی آنها تحت استرس‌های محیطی است که اصطلاحاً پیرشدگی (Aging) نامیده می‌شود. پدیده پیرشدگی سبب می‌شود که خاصیت آب‌گریزی سطح مقره کاهش پیدا کند و یا از بین برود. در چنین شرایطی رفتار مقره شبیه مقره‌های سرامیکی خواهد بود و در صورت بروز گرد و غبار شدید شکست الکتریکی سطحی رخ خواهد داد. با توجه به شرایط اقلیمی استان یزد، تابش اشعه فرابنفش یکی از عواملی است که تأثیر بسزایی بر پیری مقره‌های سیلیکونی دارد. این اشعه لاستیک سیلیکونی را خراب می‌کند و عمر مفید آن را کوتاه می‌کند. پس از شکستن زنجیره‌های ماکرومولکولی مقره با تابش فرابنفش، واکنش‌هایی مانند اکسیداسیون، پیوند عرضی و بسیاری دیگر از واکنش‌های شیمیایی رخ می‌دهد که منجر به تغییر ساختار داخلی آن می‌شود. در نتیجه، ترک خوردگی و ردهای سفید روی سطح عایق ظاهر می‌شود و آب‌گریزی کاهش می‌یابد. با توجه به استفاده قابل توجه از مقره‌های سیلیکونی در استان یزد، به منظور انجام تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و اتخاذ استراتژی مناسب برای تعویض مقره‌ها و همچنین مقایسه انواع مختلف مقره‌های نصب شده، تخمین عمر مفید مقره‌ها ضروری است.

این پروژه دارای سه مرحله اساسی است. در مرحله اول روش‌های نوین تخمین عمر مقره‌های پلیمری مورد بررسی قرار می‌گیرد، آمار و اطلاعات مورد نیاز از شرکت برق منطقه‌ای دریافت می‌شود، و نمونه‌برداری مقره‌ها از شبکه انجام خواهد شد. علاوه بر نمونه‌های برداشت شده از شبکه نمونه مقره‌های نو نیز در صورت امکان مورد نیاز خواهد بود. در مرحله دوم آزمون‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌ها انجام خواهد شد این آزمون‌ها شامل آزمون‌های مکانیکی، الکتریکی و موادی برای استخراج شاخص‌های تخمین عمر خواهد بود. در مرحله سوم نتایج آزمون‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت و تخمین عمر مفید انجام خواهد شد. در پایان نتایج به دست آمده با ارزیابی‌های قبلی شرکت برق منطقه‌ای یزد مقایسه خواهد شد و یک راهنما برای بهره‌برداران شبکه تهیه خواهد شد.



تعیین ضوابط فنی راه‌اندازی و سرویس و نگهداری تجهیزات پست‌های عایق‌گازی

✍️ مدیر پروژه: آرمان صفایی

چکیده

پست‌های عایق‌گازی (GIS) که با گاز هگزا فلورید گوگرد (SF₆) پر فشار به عنوان عایق الکتریکی پر شده‌اند، در دهه‌های اخیر به طور گسترده در سیستم‌های قدرت الکتریکی به دلیل مزایایی مانند ابعاد کم، عدم نفوذ آلودگی در آن، دوره زمانی طولانی تعمیر و نگهداری و قابلیت اطمینان بالا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علت گسترش این پست‌ها آن است که بخش‌های انرژی دار شده با ولتاژ بالا توسط محفظه پست محافظت می‌شوند، به همین دلیل از اختلالات ناشی از نفوذ میدان‌های مصون می‌باشند. مزایای ذکر شده در خصوص پست‌های GIS، در صورت انجام صحیح اقدامات فنی مرتبط در دوره‌های راه‌اندازی و سرویس و نگهداری، قابل حصول است. این مهم با بررسی سوابق بهره‌برداری پست‌های احداث شده به روشنی قابل درک است. این اقدامات فنی شامل آزمون‌ها و بازرسی‌های مربوط به راه‌اندازی و سرویس و نگهداری پیشگیرانه ست‌های GIS می‌باشد و نقش مهمی در بهبود عملکرد پست‌های مورد نظر دارد. به این ترتیب، در این مقاله اقدامات فنی مورد نیاز در هنگام راه‌اندازی و سرویس و نگهداری پست‌های GIS در قالب آزمون‌ها و بازرسی‌های مورد ارائه شده است.

مقدمه

تکنولوژی پست‌های با عایق‌گازی مدرن همواره از زمان معرفی آن در سال ۱۹۶۰، رو به پیشرفت بوده است. ساختار ماژولار سوئیچگیر در این پست‌ها، طراحی انعطاف‌پذیر را ممکن می‌کند. افزایش طول عمر

پست‌های GIS، وابستگی بسیاری به راه‌اندازی مناسب و انجام صحیح و به موقع اقدامات تعمیر و نگهداری دارد [۱]. میزان خرابی تجهیزات GIS در حدود ۱۶/۶٪ تا ۴۰٪ میزان خرابی تجهیزات معمولی با عایق هوا است. با این حال، مکان‌یابی خرابی در تجهیزات GIS آسان نیست. هنگامی که خرابی در یکی از تجهیزات GIS رخ می‌دهد، مدت زمان زیادی لازم است تا GIS تعمیر شود و این امر منجر به خاموشی بلند مدت می‌گردد. بنابراین، به منظور دستیابی به پایش و تشخیص دقیق‌تر خرابی در تجهیزات GIS، در مرجع [۲] روش جدیدی پیشنهاد شده است.

سوئیچگیرها در پست‌های با عایق گازی که شامل زیرمجموعه‌های دی‌الکتریک، مکانیکی، و الکترونیکی هستند، حالت‌های مختلفی از خرابی را نشان می‌دهند که می‌تواند منجر به عدم عملکرد صحیح و مشکلات دی‌الکتریکی گردد. سوئیچگیرهای GIS به دلیل استفاده از عایق گازی فضای کم‌تری را در ولتاژ بالاتر اشغال می‌کنند و از لحاظ تکنولوژی پیشرفت عظیمی داشته‌اند. تجهیزات ولتاژ بالا با محدوده ولتاژ ۵۲ تا ۱۲۰۰ کیلوولت امروزه در شبکه‌های قدرت حائز اهمیت هستند و بنابراین، باید از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشند. در چنین شرایطی، پست‌های با عایق گازی برای تامین کردن مصرف روزافزون برق با توجه ویژگی خاص خود که شامل صرفه‌جویی در فضا و در نتیجه کاهش هزینه‌هاست مورد استفاده قرار می‌گیرند. اخیراً، استفاده از سیستم GIS در شبکه‌های انتقال و همچنین شبکه‌های توزیع MV نیز بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۳]. بنابراین، نیاز به تدوین و بررسی اقدامات مربوط به مدیریت و نگهداری این تجهیزات در شبکه برق به طور ویژه‌ای احساس می‌شود، زیرا واسط مهمی در اتصال تجهیزات در شبکه برای تشکیل یک شبکه برق هستند [۳].

در این مقاله، با استناد به استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه، ضوابط فنی راه‌اندازی و سرویس و نگهداری پست‌های با عایق گازی ارائه شده است. ضوابط فنی راه‌اندازی خود به دو بخش آزمون‌های

راه‌اندازی و بازرسی‌های راه‌اندازی تقسیم‌گشته است. در هر بخش، روال انجام آزمون و معیار تایید آن آورده شده است. در ادامه، ضوابط فنی سرویس و نگهداری شرح داده شده است. به منظور انجام اقدامات سرویس و نگهداری، سه زمان‌بندی کوتاه‌مدت، اقدامات دوره‌ای (سرویس و نگهداری پیشگیرانه)، و اقدامات اساسی پیشنهاد شده است که هرکدام، به تفکیک تجهیزات در GIS، بازرسی‌ها، اقدامات، اندازه‌گیری‌ها، و آزمون‌های مربوط به خود را دارند.

ضوابط فنی راه‌اندازی

(الف) آزمون‌های راه‌اندازی

اقدامات مرتبط با راه‌اندازی پست‌های GIS شامل آزمون‌ها و بازرسی‌های مورد نیاز است. آزمون‌های پیشنهادی در مرحله راه‌اندازی شامل آزمون‌های کلی سوئیچگیر و آزمون‌های عملکردی مربوط به تجهیزات دارای قطعات متحرک (دینامیک) و اصلی موجود در GIS (بریکر، سکسیونر و ترانس ولتاژ و جریان) می‌باشند. این آزمون‌ها شامل آزمون اندازه‌گیری مقاومت مدار اصلی و مقاومت کنتاکت‌ها، آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی (مگر)، آزمون فشار محفظه‌ها، آزمون نشتی گاز و آب‌بندی بودن محفظه‌ها، آزمون برر سی میزان رطوبت و ناخالصی گاز، آزمون عملکرد صحیح دنسیتی سوئیچ و دنسیتی مانیتور، آزمون‌های عملکردی، آزمون پیوستگی و رسانایی الکتریکی شبکه زمین، مجموعه آزمون دی‌الکتریک، و آزمون تخلیه الکتریکی جزئی (PD) می‌باشد.

در ادامه به توضیح مختصر روال انجام آزمون هر یک از آزمون‌ها و معیار تایید آن‌ها پرداخته خواهد شد.

• آزمون اندازه‌گیری مقاومت مدار اصلی و مقاومت کنتاکت‌ها.

این مجموعه آزمون به منظور اندازه‌گیری مقاومت مدار اصلی و کنتاکت‌های موجود انجام می‌شود.

به منظور انجام آزمون مقاومت مدار اصلی، بریکر، سکسیونر و سوئیچ اتصال به زمین باید بسته باشند (در حالی که اتصالات بیرونی اتصال دهنده آن به زمین باید باز باشند) و ولتاژ دو سر مدار پس از تزریق ۱۰۰ آمپر تا ۴۰۰ آمپر جریان DC، اندازه گیری شود. در آزمون مقاومت کنتاکت‌ها روش کار به نحوی است که توسط منبع جریان، یک جریان DC در رنج ۱۰۰ آمپر تا ۴۰۰ آمپر را از مداری که شامل بریکر، سکسیونر، سوئیچ زمین کننده یا هر تجهیز دیگری که مقاومت کنتاکت آن باید اندازه گیری شود عبور داده می شود و میزان مقاومت محاسبه می شود. در زمان اندازه گیری مقاومت، دمای محیط نیز ثبت می گردد تا نتایج با مرجع ۲۰ درجه سانتی گراد اصلاح گردد.

به عنوان معیار قبولی آزمون‌ها در این مرحله، نباید مقادیر اندازه گیری شده با معیار اعلامی توسط کارخانه سازنده اختلاف محسوسی داشته باشند.

• آزمون اندازه گیری مقاومت عایقی (مگر).

این آزمون با استفاده از دستگاه آزمون مقاومت عایقی (مگر) برای اندازه گیری مقاومت عایقی قسمت‌های مختلف و اطمینان حاصل کردن از اینکه خاصیت عایقی افت پیدا نکرده باشد انجام می شود.

این آزمون در دو حالت انجام می شود، حالت اول کل مدار بسته شده و با بدنه مقاومت عایقی اندازه گیری شود. استقامت عایق بدنه یا ایزولاتورهای نگهدارنده نشان داده خواهد شد. در حالت دوم بریکر یا سکسیونر را باز کرده و بقیه مدار بسته می شوند، یعنی دوسر بریکر یا سکسیونر ولتاژ داده شده و مقاومت عایقی فاصله بین دو کنتاکت بررسی می شود. معمولاً از مگر ۵ کیلوولتی برای انجام این آزمون استفاده می شود. اندازه گیری در دو حالت پل باز و حالت پل بسته به زمین در سه فاز انجام می شود. بهتر است در زمان انجام آزمون هر فاز (سیستم سه فاز در یک محفظه) دو فاز دیگر به هم و به زمین وصل شوند. در این آزمون باید دمای محیط در زمان اندازه گیری، نیز ثبت می گردد و نتایج با مرجع ۲۰ درجه سانتی گراد اصلاح گردد.

به عنوان معیار قبولی آزمون‌ها در این مرحله، نباید مقادیر اندازه‌گیری شده با معیار اعلامی توسط کارخانه سازنده اختلاف محسوسی داشته باشند. در استاندارد ANSI برخی مقادیر معیار برای مقاومت عایقی با توجه به سطح ولتاژ نامی تجهیز ارائه شده است [۴].

• آزمون فشار محفظه‌ها.

این آزمون با این هدف اطمینان از این موضوع انجام می‌شود که تمام محفظه‌ها تحت فشار گاز مشخص شده قرار داشته باشند.

برای انجام این آزمون، با استفاده از فشارسنج و تجهیزات مربوطه، تطابق مقدار قرائت شده فشار با مقدار مرجع مقایسه می‌شود. هر محفظه یک پایشگر چگالی یا دنسیتی سوئیچ دارد، در برخی سیستم‌های GIS برای هر بی به غیر از بریکر یک پایشگر چگالی (دنسیتی سوئیچ) در نظر گرفته می‌شود و از آن‌جا که گاز همه بخش‌ها از طریق لوله به هم متصل هستند، تعداد پایشگر چگالی (دنسیتی سوئیچ) هر محفظه با شامل بریکر دو عدد می‌باشد. پایشگر چگالی (دنسیتی سوئیچ) معمولاً شامل چندین گام یا آلارم می‌باشند، که با توجه به میزان افت و افزایش فشار، هرکدام از آلارم‌ها فعال می‌شوند و باید متناسب با آلارم گزارش شده، اقدامات لازم جهت حفظ فشار محفظه در محدوده مجاز انجام شود. فشار نامی محفظه‌های حاوی گاز توسط کارخانه سازنده مشخص می‌شود. با استفاده از دماسنج، دمای تجهیز هنگام اندازه‌گیری خوانده شده و از طریق فشارسنج در همان زمان فشار نیز ثبت می‌شود. سپس با استفاده از منحنی فشار-دمای گاز SF₆، چگالی مربوط به این فشار و دمای ثبت شده بدست می‌آید که بایستی برابر با چگالی نامی تجهیز باشد.

هر سازنده چگالی نامی مورد نیاز برای کار تجهیز تولیدی خود را به عنوان معیار مقایسه مشخص می‌کند و کاربر با استفاده از منحنی فشار-دمای گاز SF₆ و با توجه به چگالی مخصوص معیار، و دمای بهره‌برداری، فشار مورد نیاز را مشخص می‌کند.

• آزمون نشتی گاز و آببندی بودن محفظه‌ها.

آزمون نشتی یا محکم بودن محفظه گاز، این اطمینان را می‌دهد که نرخ نشتی گاز SF₆ تجهیز GIS مورد بهره‌برداری، از مقدار مشخص شده مجاز، تجاوز نمی‌کند.

برای انجام این آزمون، با استفاده از ابزاری مانند آشکارساز نشتی SF₆، تمامی قسمت‌های مونتاژ شده به منظور یافتن نشتی، مورد بررسی قرار می‌گیرند. این آزمون باید پس از پر کردن هر محفظه با گاز SF₆ تا رسیدن به اندازه فشار نامی مشخص شده توسط سازنده انجام گیرد. به طور کلی بررسی وجود نشتی در سه مرحله وکیوم که در آن فشار نامی تا ۱ میلی‌بار پایین می‌آید، در مرحله قراردهی محفظه در نصف فشار نامی تجهیز، و در مرحله قرارگیری تجهیز در فشار نامی خود، انجام می‌شود تا در هر مرحله از عدم وجود نشتی در محفظه اطمینان حاصل شود. روش‌های بسیاری برای انجام این آزمون پیشنهاد شده‌اند، که روش پیشنهادی این مقاله در راه‌اندازی و تعمیر و نگهداری، روش اسنیفینگ یا همان استفاده از دستگاه آشکارساز نشتی گاز SF₆ و استفاده از آب و صابون برای یافتن محل نشتی می‌باشد.

نرخ نشتی مجاز ۰/۱ درصد در سال در تجهیزات ولتاژ متوسط و کم‌تر از ۰/۵ درصد در سال برای تجهیزات فشار قوی می‌باشد. با این وجود پیشنهاد می‌شود در مرحله راه‌اندازی هیچگونه نشتی در تجهیزات مربوطه وجود نداشته باشد [۵].

• آزمون بررسی میزان رطوبت و ناخالصی گاز.

به طور کلی اندازه‌گیری کیفیت گاز SF₆، که شامل مقدار رطوبت آن نیز می‌شود، باید به منظور پایش کردن حضور ذرات و عوامل خارجی در گاز SF₆ انجام شود [۶].

برای بررسی میزان رطوبت از دو معیار نقطه شبنم و ppm حجمی یا وزنی استفاده می‌شود [۶]. زمانی که گاز در یک فشار خاص، به دمای نقطه شبنم می‌رسد، بخار آب موجود در گاز در حالت تعادل با آب مایع

قرار می‌گیرد. در مورد معیار نقطه شبنم بیان آن با دما به تنهایی کفایت نمی‌کند و فشار سیستم اندازه‌گیری حتماً باید قید شود. دو معیار نقطه شبنم و ppm وزنی یا حجمی قابل تبدیل می‌باشند. برای انجام آزمون بررسی میزان رطوبت و ناخالصی گاز روش‌های بسیاری وجود دارد.

حداکثر میزان مجاز رطوبت گاز مورد استفاده در GIS در فشار ۱۰۰ کیلوپاسکال برابر ۲۰۰ ppm حجمی و ۲۵ ppm وزنی می‌باشد. همچنین مقدار نقطه شبنم ۳۶- درجه سانتی‌گراد تعیین شده است. در صورت عدم دسترسی به معیار کارخانه طبق معیار کلی IEEEC37122.1 در فشار سیستم اندازه‌گیری شده، رطوبت نباید در بدترین حالت از میزان متناظر با نقطه شبنم منفی ۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر باشد [۶]. حدود ویژگی‌های قابل قبول گاز جدید SF₆ از لحاظ میزان ناخالصی، مورد استفاده در تجهیزات الکتریکی در جدول (۱) ارائه شده است [۷].

• آزمون عملکرد صحیح دنسیته سوئیچ و دنسیته مانیتور.

این آزمون به منظور اطمینان حاصل کردن از عملکرد صحیح پای‌شگر چگالی یا همان دنسیته سوئیچ انجام می‌شود.

اندازه‌گیری‌هایی برای مقایسه با مقادیر ثبت شده در کارخانه انجام می‌گیرند تا اطمینان حاصل شود با معیار اعلامی توسط کارخانه سازنده سازگاری داشته باشد. این مقادیر براساس دستورالعمل سازنده و طراحی می‌باشند. با کاهش فشار محفظه، برای بررسی عملکرد بریکر تحت فشار بالا، باید اطمینان حاصل شود که آلام کاهش فشار ظاهر شده باشد. همچنین مقادیر زمانی ریست قفل باز شونده/تریپینگ، مقادیر ریست قفل بسته شونده و مقادیر ریست قفل باز بست خودکار باید اندازه‌گیری شوند تا با معیار اعلامی توسط کارخانه سازنده اختلاف نداشته باشند [۸].

جدول (۱): مشخصات قابل قبول گاز نو مورد استفاده در تجهیزات الکتریکی [۷].

مشخصه	حدود خلوص قابل قبول
درصد خلوص SF ₆	حداقل ۹۹/۸ درصد وزنی
تترفلوراید کربن (CF ₄)	حداکثر ۵۰۰ ppm وزنی
مجموع N ₂ +O ₂	حداکثر ۵۰۰ ppm وزنی
هوا	کمتر از ۰/۲ درصد حجم کل
H ₂ O	کمتر از ۲۰۰ ppm حجمی
ذرات روغن	کمتر از ۱۰ ppm وزنی
SO ₂	کمتر از ۲ ppm حجمی
اسیدیته	حداکثر ۰/۳ ppm وزنی

در فشارهای مختلف، باید آلارم‌های افزایش و کاهش فشار متناظر، پس از جبران‌سازی با توجه به دما، به درستی ظاهر شوند. همچنین مقادیر فشار اندازه‌گیری شده در هنگام وقوع هرکدام از آلارم‌ها باید با معیار اعلامی توسط کارخانه سازنده تطابق داشته باشند [۸].

• آزمون‌های عملکردی.

پس از اینکه بریکرها، سکسیونرها و دیگر تجهیزات نصب و اتصالاتشان محکم شد، آزمون‌های عملکردی روی آن‌ها انجام می‌گیرد تا اطمینان حاصل شود که در طول فرآیند جابجایی و مونتاژ آسیب ندیده باشند و عملکرد صحیح داشته باشند [۸]. توجه به این نکته ضروری است که آزمون فشار محفظه،

آزمون ناشتی محفظه، آزمون میزان رطوبت گاز، آزمون وجود ناخالصی در گاز و آزمون اندازه‌گیری مقاومت کنتاکت‌ها و مقاومت عایقی (مگر) که در آزمون‌های مشترک کلی سوئیچگیر اشاره شد نیز جز آزمون‌های عملکردی تجهیزات اشاره شده هستند.

آزمون‌های عملکردی بریکر، سگ سیونر و تراز سفورماتور ولتاژ و جریان در ادامه ارائه شده‌اند. در حین انجام آزمون‌های عملکردی بریکر باید توجه داشت که به علت اثر خنک‌کنندگی گاز بر روی اصطکاک کنتاکت‌های بریکر، بدون وجود گاز نباید به بریکرها فرمان داده شود. آزمون‌های عملکردی بریکرها که به صورت مشترک روی همه مکانیزم‌ها انجام می‌گیرد شامل آزمون زمان عملکرد (تایمینگ)، آزمون حداقل ولتاژ عملکرد، آزمون اندازه‌گیری جریان موتور، آزمون آنتی-پمپینگ، آزمون عملکرد صحیح شمارنده بریکر، و آزمون عملکرد اینترلاک‌های مکانیکی و الکتریکی می‌باشند. آزمون‌های عملکردی سکسیونرها و سوئیچ‌های زمین شامل آزمون زمان عملکرد (تایمینگ)، و اندازه‌گیری جریان موتور محرک می‌باشند. در نهایت آزمون‌های عملکردی ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ شامل آزمون کلاس دقت و نسبت تبدیل، آزمون پلاریته، آزمون مقاومت سیم‌پیچ، و آزمون اشباع می‌باشند.

• آزمون پیوستگی و رسانایی الکتریکی شبکه زمین.

باید سیستم زمین GIS برای بررسی پیوستگی الکتریکی تحت آزمون قرار گیرد. معمولاً این آزمون به سه بخش بررسی پیوستگی الکتریکی سیستم زمین، آزمون ولتاژ تماس، و اندازه‌گیری مقاومت زمین تقسیم می‌گردد.

• مجموعه آزمون دی‌الکتریک.

از دی‌الکتریک کل GIS با هدف اطمینان حاصل کردن از کافی بودن خاصیت عایقی آن، آزمون به عمل آید. برای این منظور، ولتاژی مشخص به تجهیزات اعمال می‌شود. بخش عایقی GIS شامل قسمت‌های مانند

مقره‌ها و گاز SF₆ می‌باشد. برای انجام این آزمون GIS باید به طور کامل نصب و در حداقل فشار عملکردی خود قرار داشته باشند. انجام این آزمون در مرحله راه‌اندازی اطمینان ایجاد می‌کند که در طول جابجایی هیچگونه آسیبی به تجهیزات وارد نشده باشد و به خوبی در محل نصب مونتاژ شده باشند. آزمون دی‌الکتریک شامل مجموعه آزمون ولتاژ فرکانس قدرت یا ولتاژ AC، آزمون ولتاژ ضربه کلیدزنی، و آزمون ولتاژ ضربه صاعقه می‌باشد.

لازم به ذکر است ولتاژ ضربه کلیدزنی و همچنین ولتاژ ضربه صاعقه آزمون‌هایی هستند که معمولاً در محل نصب و هنگام راه‌اندازی انجام نمی‌شوند و در کارخانه صورت می‌پذیرند. با این حال، در برخی استانداردها به این دو آزمون در بررسی دی‌الکتریک اشاره شده است.

• آزمون تخلیه الکتریکی جزئی (PD).

تخلیه الکتریکی یک ضربه جریان کوچک با دامنه‌ی زمانی کم را در سیستم جاری می‌کند. با شناسایی، اندازه‌گیری و یا نظارت بر این پالس‌های جریانی در سیستم، می‌توان درباره‌ی حالت کلی دستگاه و یا سیستم عایقی، اطلاعات تشخیصی مناسبی به دست آورد. PD می‌تواند موضعی و ناشی از پدیده‌ی کرونا در عایق گاز یا دشارژهای کوچک دیگر در فضاها، مرزی فلز و یا دی‌الکتریک در تجهیز باشد.

برای انجام این آزمون، روش‌های مختلفی وجود دارد، از جمله روش سنتی الکتریکی (پیشنهاد شده در IEC 60270 برای رنج فرکانس ۳۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز)، روش آکوستیک برای رنج فرکانس ۱۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز، روش VHF/UHF (فرکانس بالا/فرابالا) برای رنج فرکانس ۰/۱ تا ۲ گیگاهرتز (طول موج ۰/۱۵ تا ۳ متر)، روش شیمیایی، روش عکس‌برداری برای شناسایی محل وقوع PD، و استفاده از ترانسفورماتور جریان فرکانس بالا.

معیار در اندازه‌گیری PD، مطابق استاندارد IEC 62271-203 در روش الکتریکی، میزان بار الکتریکی به دست آمده از سیستم اندازه‌گیری به کار رفته است که عموماً بر اساس واحد پیکوکولن گزارش می‌شود. حداکثر سطح مجاز تخلیه جزئی نباید بیشتر از 5 pC در ولتاژ آزمون گردد. بسته به استانداردها این مقدار می‌تواند کم‌تر از 10 pC نیز برای تجهیزات باشد.

(ب) بازرسی‌های راه‌اندازی

در هنگام راه‌اندازی پست GIS نیاز است تا از برخی از تجهیزات بازرسی‌هایی به منظور اطمینان حاصل کردن از مونتاژ و عملکرد صحیح آن‌ها صورت پذیرد. این بازرسی‌ها به تفکیک تجهیزات انجام می‌شوند. بازرسی‌های راه‌اندازی بر روی کل سوئیچگیر، بریکرها (که خود با توجه به مکانیزم‌های فرمان بریکر، به چهار بخش مشترک بین مکانیزم‌ها، مکانیزم نوع فنری، مکانیزم نوع پنوماتیک، و مکانیزم نوع هیدرولیک تقسیم‌بندی می‌شود)، سکسیونرها و سوئیچ‌ها، ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان، و اتاقک کنترل محلی انجام می‌شود.

ضوابط فنی سرویس و نگهداری

اقدامات مرتبط با آزمون‌ها و بررسی‌های سرویس و نگهداری مربوط به تجهیزات مختلف GIS بر اساس سه دسته کلی اقدامات سرویس و نگهداری کوتاه‌مدت، دوره‌ای، و اساسی، به تفکیک تجهیزات GIS بیان می‌شوند.

(الف) اقدامات کوتاه‌مدت

اقدامات کوتاه‌مدت به طور روزانه و یا چندین بار در سال، پیشنهاد می‌شود که یک بازرسی کوتاه‌مدت و اغلب بصری از تمام تجهیزات GIS صورت گیرد و نیاز به بدون برق کردن تجهیزات نیست. هدف از این بازرسی، تأیید صحت عدم وجود علائم فرسایش و خوردگی غیرمنتظره یا از بین رفتن تجهیزات است و

معمولاً توسط اپراتورهای پست انجام می‌شود. این بازرسی‌های روزانه به تفکیک تجهیزات بر روی بریکرها (مشترک بین همه مکانیزم‌ها، مکانیزم نوع فنری، مکانیزم نوع هیدرولیک، مکانیزم نوع پنوماتیک)، سکسیونرها و سوئیچ‌ها، سرکابل‌ها، ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان، و برق‌گیر انجام می‌شود. همچنین بازرسی‌های مورد نیاز بر روی موارد عمومی در GIS نیز انجام می‌شود. نمونه‌هایی از بازرسی‌های بریکر به عنوان مهمترین تجهیز دینامیک پست‌های با عایق‌گازی در ادامه آورده شده است.

از جمله موارد مشترک بین همه مکانیزم‌ها می‌توان به بررسی موقعیت نشان‌گر (اندیکاتور) و وضعیت سوئیچ، بررسی و ثبت فشار نامی گاز محفظه بریکر، کنترل سیستم اتصال زمین، کنترل شمارنده عملکرد و تعداد قطع و وصل، بررسی وجود بو یا صدای غیرعادی در محفظه، بازدید ظاهری از داخل مکانیزم عملکرد کلید و بررسی هیتروشنایی کماند بریکر اشاره کرد.

مواردی چون بررسی عدم نشستی هوای فشرده در مکانیزم کلید و تخلیخ آب تقطیر شده در مخزن هوای فشرده مکانیزم از جمله اقدامات پیشنهادی در مورد مکانیزم پنوماتیک می‌باشد. از جمله بازرسی‌های کوتاه مدت در مورد مکانیزم هیدرولیک، بررسی عدم نشستی و سطح روغن هیدرولیک و در مورد مکانیزم فنری بررسی عملکرد فنرهای قطع و وصل و بررسی دشیپات‌ها می‌باشند.

(ب) اقدامات دوره‌ای

اقدامات دوره‌ای که در واقع همان سرویس و نگهداری پیشگیرانه می‌باشند، با توجه به اقدام سالیانه (در صورت نیاز ۳ یا ۵ سال یک بار)، برای تجهیزات انجام می‌شود. اقدامات این بخش در دو قسمت بازرسی‌ها و آزمون‌ها دسته‌بندی می‌شوند. پیشنهاد می‌شود تمامی اقداماتی که در بازدیدهای کوتاه مدت اشاره شده‌اند، در بازرسی‌های دوره‌ای نیز مجدداً انجام شوند. زمان اقدامات دوره‌ای در بیشتر موارد به صورت سالیانه در نظر گرفته می‌شود. بازرسی‌ها، اقدامات، آزمون‌ها، و اندازه‌گیری‌های دوره‌ای به تفکیک تجهیزات بر روی

بریکرها (مشترک بین همه مکانیزم‌ها، مکانیزم نوع فنری، مکانیزم نوع هیدرولیک، مکانیزم نوع پنوماتیک)، سکسیونرها و سوئیچ‌ها، سرکابل‌ها، ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان، برق‌گیر، و سایر تجهیزات سوئیچگیر انجام می‌شود. آزمون‌های کلی و مشترک بر روی سوئیچگیر شامل آزمون‌های بررسی رطوبت و خلوص، بررسی فشار و نشتی گاز، تخلیه جزئی، مجموعه آزمون اندازه‌گیری مقاومت مدار اصلی و مقاومت کنتاکت‌ها، و آزمون اندازه‌گیری مقاومت عایقی (مگر) می‌باشد. آزمون‌های دوره‌ای بریکر نیز به تفکیک مکانیزم عملکرد قابل دسته‌بندی می‌باشند. از جمله آزمون‌های دوره‌ای بریکر مشترک برای تمامی مکانیزم‌ها شامل اندازه‌گیری جریان موتور شارژکننده، آزمون عملکرد کلید، آزمون آنتی پمپینگ، آزمون تایمینگ و آزمون حداقل ولتاژ عملکرد می‌باشد. هر مکانیزم با توجه به تعاریف و ویژگی‌های خاص خود اقدامات و آزمون‌هایی علاوه بر موارد مشترک دارد، به عنوان نمونه آزمون شارژ و دشارژ فنر در بریکر با مکانیزم نوع فنری انجام می‌شود.

در مورد سکسیونر آزمون‌هایی چون آزمون زمان عملکرد و آزمون اندازه‌گیری جریان موتور شارژکننده از جمله موارد پیشنهادی در این مقاله می‌باشند. این نکته حائز اهمیت است که در مورد تجهیزات کلیدزنی، تعداد عملکرد کلید علاوه بر زمان بهره‌برداری به عنوان معیار فرارسیدن زمان انجام آزمون در نظر گرفته می‌شود.

زمان انجام آزمون‌های دوره‌ای ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان به طور معمول و براساس دستورالعمل شرکت‌های سازنده هر ۵ سال یکبار می‌باشد که از آن جمله می‌توان به آزمون کلاس دقت و آزمون نسبت تبدیل، آزمون پلاریته و آزمون مقاومت سیم‌پیچ و آزمون اشباع اشاره کرد.

همچنین اندازه‌گیری جریان نشتی برق‌گیر متداول‌ترین آزمون پیشنهاد شده در دستورالعمل‌های سازنده در مورد برق‌گیر بوده است.

در قسمت بازرسی‌های دوره‌ای و پیشگیرانه بریکر و برای تمامی مکانیزم‌ها از جمله موارد زیر قابل

دسته‌بندی هستند:

- بررسی عملکرد صحیح پرشر سوئیچ‌ها.
- آب‌بندی بودن درب مکانیزم و سالم بودن نوار آب‌بندی.
- بررسی صدای غیرعادی در موتور شارژ کننده و سالم بودن آن.
- بررسی مرتب بودن و پیوستگی سیم‌بندی داخل مکانیزم.
- آچارکشی داخل ترمینال‌ها.
- بررسی وجود نشتی در محفظه بریکر.
- بررسی عملیاتی سیستم تریپ (قطع).
- و

در این میان مشابه آزمون‌های این دوره، مواردی مختص هر مکانیزم وجود دارد که از آن جمله می‌توان به بررسی سلامت لوله‌ها و استحکام اتصالات مربوط به سیستم هوای فشرده و کنترل عدم وجود نشتی هوا در آن، بررسی سلامت فشار سنج هوای فشرده، بررسی عادی بودن فشار سیستم هوای فشرده در مورد مکانیزم پنوماتیک اشاره کرد.

اقدامات مرتبط با مکانیزم هیدرولیک شامل مواردی چون بررسی عدم وجود نشتی روغن در دمپر، شیرها، لوله‌های ارتباطی و جک‌ها. کنترل سطح روغن هیدرولیک و اصلاح سطح روغن در صورت نیاز، بررسی فشار روغن سیستم هیدرولیک، بررسی لوله‌های ارتباطی سیستم هیدرولیک از لحاظ نشتی و سالم بودن، کنترل و ثبت ساعت کارکرد پمپ هیدرولیک. اطمینان از عملکرد فشارسنج سیستم هیدرولیک، بررسی سوئیچ‌های فشاری سیستم هیدرولیک می‌باشد و در نهایت بازرسی‌های دوره‌ای مکانیزم فنی بریکر مواردی

چون بررسی کلیه قطعات متحرک داخل مکانیزم از لحاظ خوردگی، زنگ‌زدگی، شکستگی و سایر موارد، بازرسی از مکانیزم فنر، بررسی عملکرد چرخ‌دنده‌ها، بررسی عملکرد لیمیت سوئیچ‌ها و بررسی لرزش غیرعادی تجهیزات ناشی از عملکرد مکانیزم اشاره کرد.

(ج) اقدامات اساسی

زمان انجام اقدامات بلند مدت یا تعمیرات اساسی هر ۱۵ سال یکبار و یا بعد از هر تعمیر اساسی می‌باشد. البته معیار عملکردی تجهیزات و شرایط تجهیزات عامل تعیین‌کننده در زمان انجام این اقدامات هستند. تمامی آزمون‌های راه‌اندازی در این بخش باید مجدداً انجام شوند. این نکته قابل ذکر است که بازرسی‌های اساسی در رابطه با تجهیزات دینامیک از اهمیت بالایی برخوردار است و بنابراین بازرسی‌های این مرحله به ویژه برای بریکر و سوئیچ‌ها پیشنهاد شده‌است. بازرسی‌ها و اقدامات اساسی بر روی بریکرها و تمام مکانیزم‌های مربوطه و سکسیونرها و سوئیچ‌ها انجام می‌شوند. با بررسی مراجع و استانداردهای مرتبط در مورد تمامی مکانیزم‌های عملکردی بریکر اقداماتی چون موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- بررسی اتصالات و پیچ و مهره‌ها، و تعویض در صورت نیاز.
- تعویض جذب‌کننده‌های رطوبت.
- تمیز کردن داخلی تجهیزات.
- روغن کاری قطعات مورد نیاز بریکر.
- تعویض کنتاکت‌ها، نازل‌ها و قطعاتی که دچار فرسودگی شده‌اند.
- تمیز کردن داخلی محفظه بریکر از گرد و خاک و اضافات ناشی از تفکیک گاز پس از تخلیه گاز با پارچه کتان مناسب.
- تعویض واشرها و پیچ و مهره‌های فرسوده شده.

- تعویض روغن در قسمت‌های مورد نیاز مانند دمپر.
 - بررسی وجود نشتی در محفظه بریکر.
 - تعویض روغن سیستم هیدرولیک طبق نظر سازنده (در مکانیزم هیدرولیک).
- بررسی اتصالات و پیچ و مهره‌ها و تعویض در صورت نیاز، تعویض جذب‌کننده‌ها، تعویض کنتاکت‌ها، نازل و قطعاتی که دچار فرسودگی شده‌اند و موارد مشابه در قالب اقدامات اساسی بر روی این تجهیز قابل انجام هستند. در ادامه نمونه اقدامات اساسی سکسیونر آورده شده است:
- تعویض اتصالات و پیچ و مهره‌ها در صورت فرسودگی.
 - تعویض جذب‌کننده‌های رطوبت.
 - تمیز کردن داخلی تجهیزات.
 - روغن کاری قطعات مورد نیاز سکسیونر، سوئیچ‌های زمین و سوئیچ‌های زمین با سرعت بالا.
 - تعویض کنتاکت‌ها، نازل‌ها و قطعاتی که دچار فرسودگی شده‌اند و

نتیجه‌گیری

افزایش روز افزون تعداد پست‌های عایق‌شده با گاز SF₆ و گسترش بهره‌برداری از آنها به جهت مزایای عمده آنها نسبت به پست‌های عایق‌شده با هوا، اهمیت موضوع تعمیر و نگهداری این پست‌ها در طول عمر و کاهش هزینه‌های تحمیلی آشکار شده است. در این مطالعه، در ابتدا با استناد به استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه، آزمون‌ها و بازرسی‌های مورد نیاز هنگام راه‌اندازی پست‌های با عایق‌گازی به طور کامل آورده شده است. در توصیف آزمون‌ها، روال انجام آزمون و معیار تایید آنها شرح داده شده است. بازرسی‌های مورد نیاز هنگام راه‌اندازی به تفکیک تجهیزات انجام می‌شود. در ادامه، ضوابط فنی سرویس و نگهداری پست‌های با عایق‌گازی ارائه شد که با توجه به سه دسته اقدامات کوتاه‌مدت، اقدامات دوره‌ای، و اقدامات اساسی، و به تفکیک تجهیزات، شامل بازرسی‌ها، اندازه‌گیری‌ها، و آزمون‌ها بررسی شده‌اند.

مراجع

- [1] Glaubitz, Peter, Petr Rudenko, Shen Wei, and Li Dejun. "Sustainable performance of gas-insulated switchgear." In 2012 International Conference on High Voltage Engineering and Application, pp. 509-513. IEEE, 2012.
- [2] Xu, Honghua, Chunning Wang, Taoyun Wang, Lanying Yang, and Hongzhong Ma. "Condition assessment of gas-insulated switchgear based on multiple information." In 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), pp. 1278-1282. IEEE, 2015.
- [3] Subramaniam, Aravinth, Animesh Sahoo, Sai Srinivas Manohar, Santosh Janaki Raman, and Sanjib Kumar Panda. "Switchgear Condition Assessment and Lifecycle Management: Standards, Failure Statistics, Condition Assessment, Partial Discharge Analysis, Maintenance Approaches, and Future Trends." IEEE Electrical Insulation Magazine 37, no. 3 (2021): 27-41.
- [4] ANSI/NETA MTS-2011: Standard for maintenance testing specifications for electrical power equipment and systems.
- [5] CIGRE SF₆ Tightness Guide, 2010.
- [6] IEEE Std C37.122.5-2013: IEEE Guide for Moisture Measurement and Control in SF₆ Gas-Insulated Equipment.
- [7] IEC 60376: Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) and complementary gases to be used in its mixtures for use in electrical equipment, Edition 3.0 2018-05.
- [8] IEC 62271-100: High-Voltage Switchgear and Controlgear-Part 100: Alternating-Current Circuit Breaker.

فناوری‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات تجهیزات شبکه توزیع نیروی برق

✍️ مدیر پروژه: تارا خیامیم

چکیده

نگهداری و تعمیرات شبکه‌های توزیع به دلایل افزایش پایداری در حداکثر بار شبکه، کاهش ضرر ناشی از عدم فروش انرژی تولیدشده، افزایش عمر تجهیزات و افزایش کیفیت انرژی تحویلی بسیار حائز اهمیت است. مبحث نگهداری و تعمیرات شامل روش‌ها و فناوری‌های بسیار متنوعی بوده و در طول زمان پیشرفت‌های قابل توجهی داشته‌است. یکی از نکات قابل توجه در فناوری‌های حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات، بررسی انتقال و دریافت داده‌ها در دو حالت استاتیک و دینامیک می‌باشد. با گسترش فناوری سنسورها و همچنین اینترنت اشیاء، رویکرد فناوری‌های نوین در حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات به سمت دینامیک و دریافت اطلاعات به صورت زمان-حقیقی است. در این پژوهش فناوری‌های تجهیزات نگهداری و تعمیر شبکه‌ی توزیع برق، به دو بخش فرآیندها و تجهیزات تفکیک شده‌اند. فرآیندهای نگهداری و تعمیر شامل 8 فرآیند بودند که موارد پر استفاده آن نگهداری و تعمیر مبتنی بر شرایط، مبتنی بر زمان و نگهداری و تعمیر پیش‌گیرانه و پیش‌بینانه هستند که امروزه استفاده از نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه و مبتنی بر قابلیت اطمینان بیشتر توصیه می‌شود. شاخه تجهیزات این درخت نیز در سه دسته‌بندی ابزار و ماشین‌آلات، سامانه‌ها و نرم‌افزارها و بسترها و زیرساخت‌ها بیان شده‌است. در پایان با بررسی استراتژی‌های کنونی، استراتژی‌های پیشنهادی کلان برای نگهداری و تعمیر تجهیزات شبکه توزیع ایران براساس اطلاعات شبکه ایران و کشورهای پیشرو ارائه شده‌است.

مقدمه

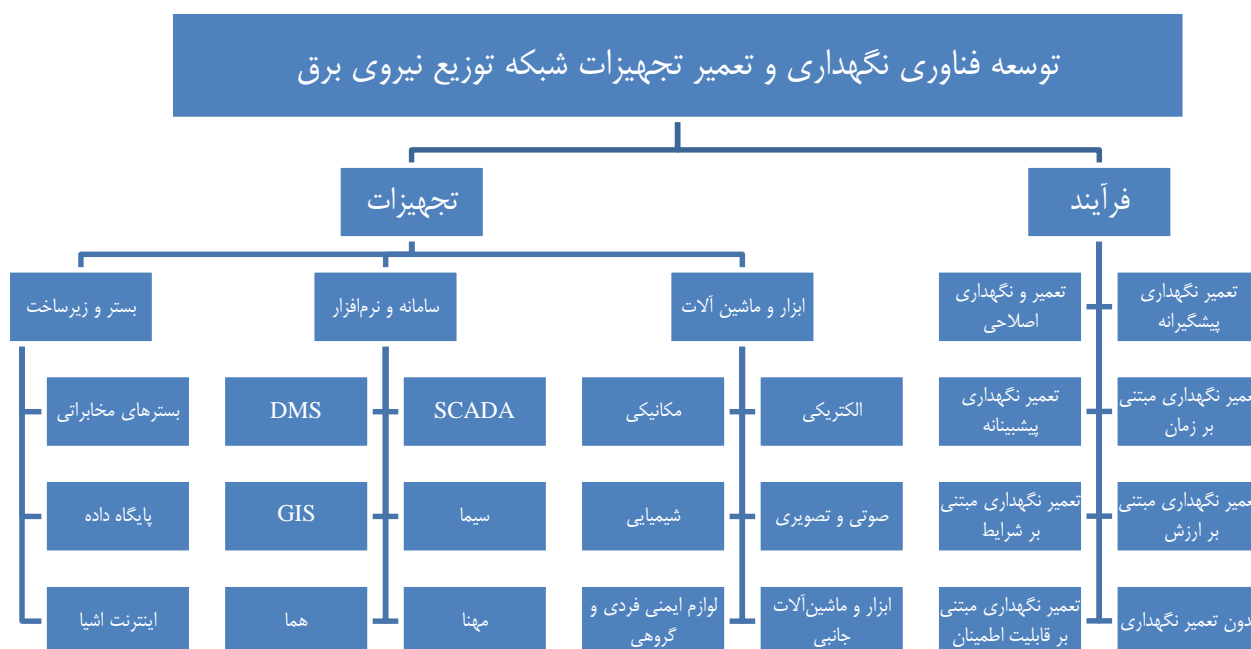
نگهداری و تعمیر مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و عملکردها است که هر کدام با توجه به تعاریف خود، مأموریت عملیاتی نگه داشتن دستگاه‌ها و ماشین‌آلات و تجهیزات را در بهترین شرایط ممکن دارند که باعث می‌گردند قابلیت عملیاتی آنها حفظ شود. در شبکه‌ی توزیع نیروی برق نیز به دلایلی همچون رضایت مشتریان و داشتن برقی پایا، نگهداری و تعمیرات بسیار حائز اهمیت است. مهم‌ترین ویژگی شبکه‌های توزیع، گستردگی قابل ملاحظه آنهاست. همین امر باعث می‌شود تجهیزات در سطوح ولتاژی توزیع، اگرچه به تنهایی نسبت به تجهیزات نیروگاهی و المان‌های سطوح انتقال از ارزش و اهمیت کمتری برخوردارند، اما در کل سیستم توزیع با توجه به تعداد المان‌ها و گستردگی جغرافیایی، دارای ارزش ویژه‌ای شوند. در شبکه توزیع ایران بیش از ۶۰ تجهیز از قبیل انواع ترانسفورماتورها و کابل‌ها تا برق‌گیر، رله، فیوز، کلیدهای قدرت، سگ‌شنالایزر، مقره و یراق‌آلات وجود دارد که هر کدام نیاز به نگهداری و تعمیرات ویژه‌ای دارند. از سویی دیگر، در شبکه توزیع مدرن به جز تجهیزات مربوط به توزیع برق، تجهیزات و تاسیسات تامین برق (به طور مثال واحدهای تولید پراکنده) نیز وجود دارد. اما با توجه به تمرکز پژوهش بر روی تجهیزاتی که در شرکت‌های توزیع برق ایران مورد استفاده و بهره‌برداری قرار می‌گیرند، این منابع به صورت سیستم‌های بسته‌ای در نظر گرفته می‌شوند که به شبکه توزیع اتصال پیدا می‌کنند و از نقطه اتصال به بعد حوزه بررسی ما می‌باشد. در این پژوهش، مبحث فناوری نگهداری و تعمیرات اینگونه دیده می‌شود که عملیات نگهداری و تعمیر تجهیزات شبکه توزیع با توجه به فرآیندهای تکنولوژیکی که در شاخه فرآیند درخت معرفی خواهند شد و به وسیله ابزار، تست‌ها و نرم‌افزارهایی که در شاخه تجهیزات فناوری آورده می‌شوند، انجام خواهد گرفت.

درخت فناوری نگهداری و تعمیرات تجهیزات شبکه توزیع

درخت فناوری با هدایت سیاست‌گذاری در رابطه با فناوری مورد نظر، به تعیین اولویت‌ها و سمت و سوی کلان حرکت فناوری کمک می‌نماید. در این پژوهش فناوری‌های حوزه نگهداری و تعمیرات در دو بخش فرآیند و تجهیزات مورد بررسی قرار گرفته‌است. اجزای مرتبط با فناوری نگهداری و تعمیر تجهیزات شبکه توزیع نیروی برق در شکل (۱) نشان داده شده‌است. در شاخه‌ی فرآیندهای نگهداری و تعمیر، انواع فرآیندهای موجود که شامل ۸ نوع: نگهداری و تعمیر پیش‌گیرانه، اصلاحی، مبتنی بر زمان، پیش‌بینانه، مبتنی بر ارزش، مبتنی بر شرایط، بدون نگهداری و تعمیر و مبتنی بر قابلیت اطمینان می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در شاخه‌ی دیگر درخت فناوری تجهیزات موجود در این فناوری بیان شده‌است و این شاخه خود شامل سه زیرشاخه‌ی ابزار و ماشین‌آلات، سامانه و نرم‌افزار و بستر و زیرساخت می‌باشد. در زیرشاخه‌ی ابزار و ماشین‌آلات، ابزار، ماشین‌آلات، روش‌ها و فناوری‌های مورد استفاده در حوزه‌ی تعمیر و نگهداری شبکه‌ی توزیع قرار می‌گیرند که زیرشاخه‌های آن شامل الکتریکی، مکانیکی، صوتی و تصویری، شیمیایی، لوازم ایمنی فردی و گروهی و ابزار و ماشین‌آلات جانبی مورد استفاده در عملیات تعمیر و نگهداری است که در ادامه به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. از سویی دیگر، با ورود فناوری‌های نوین در زمینه‌ی کنترل، مانیتورینگ و اتوماسیون شبکه‌ی توزیع، حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات به شدت تحت تأثیر قرار گرفته‌است. از این رو، در درخت فناوری و در شاخه‌ی فناوری‌های تجهیزات، بخشی به بررسی سامانه‌های موجود در شبکه توزیع برق اختصاص داده شده‌است و در این بخش انواع سامانه‌ها نظیر^۱ DMS،

^۱ Distribution management system

SCADA^۱، سامانه سیما، هما و GIS^۲ مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، با توجه به روند رو به رشد توسعه ای اتوماسیون شبکه‌ی توزیع و همچنین رویکرد شبکه‌های قدرت جهان به سمت هوشمند سازی و نفوذ اینترنت اشیا، ایجاد بسترها و زیر ساخت‌های مناسب از اهمیت شایانی برخوردار گشته است. در این راستا و با توجه به اهمیت ایجاد بسترهای مناسب به منظور بهبود کیفیت و بهینه‌سازی فرآیند تعمیر و نگهداری شبکه‌ی توزیع، در شاخه‌ای از فناوری‌های تجهیزات به بررسی بسترها و زیرساخت‌های مناسب در سه بخش بسترهای مخابراتی، پایگاه‌های داده و اینترنت اشیا پرداخته شده است.



شکل (۱): درخت فناوری نگهداری و تعمیر تجهیزات شبکه توزیع نیروی برق

- فناوری‌های فرآیند نگهداری و تعمیرات

^۱ Supervisory control and data acquisition

^۲ Geographic information system

پیشرفت‌های حاصل از رشد تکنولوژی و گسترش روزافزون صنایع موجب گردیده است تا ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی از پیچیدگی‌های بیشتری برخوردار گردند. ریچارد ال. دفت عقیده دارد هر قدر پیچیدگی فناوری افزایش یابد، عرضه دانش فنی پشتیبان فناوری نیز دارای شرایط خاص و ویژه‌ای می‌شود. بنابراین دو مفهوم بسیار مهم و دو مقوله اساسی که تحقق و عمل به آنها موجبات بقا و تداوم خطوط مختلف تولید و کاهش هزینه‌ها را فراهم می‌آورند، نگهداری و تعمیر هستند [۱]. هنگامی که سازمان قصد انتخاب و انتقال فناوری را دارد، می‌بایست فناوری را از جهات مختلف مورد ارزشیابی قرار دهد و سه عامل استراتژی، ساختار و فناوری نیز باید سازگار باشند. به ویژه هنگامی که شرایط یا اوضاع به صورت رقابتی تغییر کند. سازمانی که نتواند از فناوری مناسب استفاده کند و یا نتواند بین استراتژی و ساختار سازمانی هماهنگی لازم را برقرار کند، نمی‌تواند در این رقابت پیروز باشد. بنابراین شناخت روش‌ها و فناوری‌های فرآیند نگهداری و تعمیر و مزایا و معایب هر یک با توجه به نوع ساختاری که باید در آن استفاده شود بسیار حائز اهمیت است. در ادامه به معرفی برخی از مهم‌ترین فناوری‌های مختلف این حوزه پرداخته خواهند شد.

لازم به ذکر است که، مبحث نگهداری و تعمیرات شامل روش‌ها و فناوری‌های بسیار متنوعی بوده و در طول زمان پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. رویکردهای مختلف برای نگهداری و تعمیر تجهیزات، تأثیرات متفاوتی بر ایمنی، تداوم سرویس‌دهی، بهینه‌سازی زیرساخت‌های شبکه برق، حفاظت از تجهیزات، بهره‌وری انرژی، مدیریت قطعات یدکی کارآمد و کل هزینه‌های شبکه توزیع نیروی برق دارد. در روش‌های تعمیر و نگهداری، اهمیت قابلیت اطمینان و تأثیر آن بر روی نصب و بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود و برای رسیدن به نتیجه مطلوب لازم است رویکردها و روش‌های متنوع نگهداری و تعمیر تجهیزات را در کنار یکدیگر مقایسه و بهترین گزینه‌ها برای شرایط مختلف کشور انتخاب گردند. در ادامه به طور خلاصه

فناوری‌هایی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند در جدول (۱) معرفی شده‌اند. همانطور که مشاهده شد، روش‌های نگهداری و تعمیرات شبکه برق را می‌توان در ۸ گروه تقسیم نمود که هر یک دارای تعاریف، مزایا و معایب جداگانه‌ای می‌باشند. در جداول (۲) و (۳) خلاصه‌ای از مواردی که در هر یک از این روش‌ها وجود دارد را می‌توان مشاهده کرد.

جدول (۱): معرفی انواع روش‌های نگهداری و تعمیر

فناوری نگهداری و تعمیر	توضیحات
اصلاحی ^۱	تجهیز پس از خرابی تعمیر می‌شود.
مبتنی بر زمان ^۲	به‌صورت دوره‌ای بر اساس زمان بازدید و تعمیر می‌شود. نوعی روش پیشگیرانه است.
پیشگیرانه ^۳	بر اساس مدت زمان و یا میزان استفاده از تجهیز تعمیرات پیشگیرانه صورت می‌گیرد.
مبتنی بر شرایط ^۴	هنگامی که شرایط تجهیز (شاخص مورداندازه‌گیری زمان حقیقی) در منطقه نامطلوب قرار می‌گیرد، تعمیر صورت می‌پذیرد.
پیشبینانه ^۵	برنامه تعمیر در آینده تجهیز را بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده در گذشته و حال مشخص می‌سازد.
مبتنی بر ارزش ^۶	با توجه به ارزش هر تجهیز، تعمیر و نگهداری آن صورت می‌پذیرد.
مبتنی بر قابلیت اطمینان ^۷	با اولویت پایداری و قابلیت اطمینان شبکه، برنامه تعمیر و نگهداری تدوین می‌شود.
بدون نیاز به نگهداری و تعمیر ^۸	تعمیر صورت نمی‌پذیرد و تجهیز با سپری کردن طول عمر مشخصی، اسقاط می‌شود. (مانند پست‌های دفنی بدون دسترسی و تابلوهای GIS Maintenance Free)

^۱ Corrective Maintenance (CM)

^۲ Time-based Maintenance (TBM)

^۳ Preventive Maintenance (PM)

^۴ Condition-based Maintenance (CBM)

^۵ Predictive Maintenance (PdM)

^۶ Value-based Maintenance (VBM)

^۷ Reliability Centered Maintenance (RCM)

^۸ Maintenance Free

● فناوری‌های تجهیزات نگهداری و تعمیر شبکه توزیع

در دنیای صنعتی امروز تو سعه‌های چ شمشگیری در زمینه اتوما سیون، هو شمند سازی، انعطاف‌پذیری و یکپارچه سازی با حفظ اصل توزیع مشاهده می شود. مبحث تکنولوژی اطلاعات و نقش کلیدی آن در کلیه زمینه‌های فوق‌الذکر و سایر زمینه‌ها انکارناپذیر است. یکی از زمینه‌های تاثیر گرفته از فناوری اطلاعات سیستم‌های نگهداری و تعمیرات است. در چند سال اخیر به موازات رشد تکنولوژی اطلاعات، زمینه‌های به کارگیری قابلیت‌های آن در سیستم‌های تعمیراتی نیز مورد تحقیق و پژوهش قرار گرفته است و نتیجه این تحقیقات، معرفی زمینه‌های نوین نگهداری و تعمیرات شامل تعمیرات مجازی، تعمیر از راه دور، تعمیرات بر پایه شبکه، کاربرد سیستم‌های خبره در عیب‌یابی ماشین‌آلات و زمان باز سازی آنها، کاربرد شبیه سازی در زمینه‌های مختلف نگهداری و تعمیر و کاربرد هوش مصنوعی در نگهداری و تعمیرات(نت) می‌باشد. در این بخش ابتدا به معرفی ابزار و ماشین‌آلات در حوزه‌های مختلف الکتریکی، مکانیکی، شیمیایی، صوتی و تصویری برای نگهداری و تعمیر شبکه برق می‌پردازیم. سپس سامانه‌ها و نرم‌افزارهایی که برای عملیات نت مورد استفاده قرار می‌گیرند را بررسی کرده و بستر و زیرساخت‌های مورد نیاز برای محقق شدن این عملیات را معرفی خواهیم کرد.

جدول(۲): مزایا و معایب انواع روش‌های نگهداری و تعمیر

فرآیند	مزایا	معایب
نگهداری و تعمیر اصلاحی (Corrective Maintenance)	-حداقل هزینه -نگهداری خوب از ماشین‌آلات -مصرفی نظیر ابزار برقی، کاربری‌های خانگی	-غیر قابل قبول بودن و خطر نک بودن در صورت استفاده از آن برای تجهیزات ساختمانی، تجاری، نیروگاه‌ها و نفت و گاز - هزینه از دست‌دهی بسیار بالا

معایب	مزایا	فرآیند
- خسارت قابل توجه ثانوی ناشی از قطعه و یا تجهیز خراب شده به دیگر سیستم‌های مرتبط		
- نیاز به کارمندان بیشتر برای برنامه‌ریزی آن و احتمال نگهداری و تعمیر بیش از حد یا کمتر از حد نیاز - احتمال خرابی‌های پس از PM هنگامی که وظایف به درستی تکمیل نشده باشند.	- افزایش طول عمر مفید تجهیزات - کاهش خرابی‌های غیرمنتظره - اطلاع از وضعیت تجهیزات و تاریخچه کارهای صورت گرفته بر روی آنها به صورت متمرکز با استفاده همزمان از نت پیش‌گیرانه و سیستم CMMS	نگهداری و تعمیر پیش‌گیرانه (Preventive Maintenance)
- هزینه بالای استقرار - بهره‌گیری حداکثری از این روش مستلزم وجود مجموعه‌ای از تحلیل‌ها و مهارت‌های پیشرفته است.	- افزایش ممیزی‌های موفق - تصمیم‌گیری کاملاً مبتنی بر داده‌ها و شرایط تجهیز	نگهداری و تعمیر پیش‌گویانه (Predictive Maintenance)
- احتمال ایجاد توقف‌های طولانی مدت و تاثیر منفی بر تولید - هزینه بالای تامین قطعات و لوازم یدکی	- عدم نیاز به برنامه‌ریزی - مناسب برای تجهیزات کم اهمیت و ارزان قیمت	بدون نگهداری و تعمیر (Free Maintenance)
- هزینه تجهیزات تشخیص - هزینه آموزش کارکنان	- کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات - افزایش قابلیت اطمینان سیستم - کیفیت بهتر محصول - کاهش هزینه‌های قطعات یدکی و نیروی کار - کاهش زمان ازکار افتادگی	نگهداری و تعمیر مبتنی بر شرایط (Condition Based Maintenance)
- نیاز به فلسفه مدیریت منابع برای موفقیت - نیاز به مدیریت قوی و پشتیبانی زیاد - نیاز به ابزارهای قوی برای اندازه‌گیری و نمره‌دهی ارزشی - فرآیندی هزینه‌بردار	- بازگشت سرمایه سریع - بهبود مداوم طراحی و اجرا - انجام کار در زمان کوتاه با کیفیت بالا	نگهداری و تعمیر مبتنی بر ارزش (Value Based Maintenance)

معايب	مزایا	فرآیند
<p>-نیازمند زمان طولانی و سرمایه‌گذاری بزرگ برای استقرار</p> <p>-بسیاری از تیم‌های نگهداری، منابع و دانش کافی برای به کارگیری این رویکرد را ندارند.</p>	<p>-حداکثرسازی قابلیت اطمینان در هر تجهیز با توجه به برنامه نگهداری مستقل آن</p> <p>- کاهش ریسک با اولویت بندی فعالیت‌های نگهداری با توجه به میزان اهمیت هر تجهیز</p>	<p>نگهداری و تعمیر مبتنی بر قابلیت اطمینان (Reliability centered Maintenance)</p>
<p>-نادیده گرفتن بقیه خرابی‌ها</p> <p>-برنامه‌های با فاصله زمانی کوتاه همراه با ریسک</p> <p>-برنامه‌های با فاصله زمانی طولانی باعث خرابی بیش از حد می‌شود.</p> <p>-افزایش هزینه‌های ناشی از نگهداری بیش از حد</p>	<p>-حداقل آموزش</p> <p>-هزینه‌های طولانی مدت پایین</p> <p>-اجرای آسان</p> <p>-برنامه قابل پیش‌بینی</p> <p>-مناسب برای دارایی‌های مداوم در حال اجرا</p>	<p>نگهداری و تعمیر مبتنی بر زمان (Time Based Maintenance)</p>

جدول (۳): ویژگی‌های هر یک از انواع نگهداری و تعمیر

کاهش هزینه‌های نگهداری	کاهش هزینه اجرا	افزایش هزینه اجرا	افزایش کیفیت	افزایش قابلیت اطمینان	افزایش طول عمر مهارت	نیاز به ریسک بالا	کاهش هزینه‌های نگهداری
✓	✓						
	✓					✓	
		✓	✓	✓	✓		
✓		✓	✓	✓	✓		
✓		✓	✓	✓	✓		
✓		✓	✓	✓	✓		

✓		✓	✓		✓	✓		نگهداری و تعمیر مبتنی بر شرایط (CBM)
	✓			✓				نگهداری و تعمیر مبتنی بر زمان (TBM)

➤ ابزار و ماشین آلات

توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر و شبکه‌های هوشمند به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر آینده‌ی شبکه‌ی توزیع نیز تأثیر دارد. افزایش فلوی جریان دوطرفه‌ی تنشی که دارایی‌های شبکه تحمل می‌کنند را افزایش می‌دهد، به خصوص تابلو برق‌های فشار متوسط. علاوه بر این، ورود انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌برداران را به نوسازی دارایی‌ها و تجهیزات واداشته تا بتوانند انعطاف‌پذیری سیستم را حفظ کنند و برای دستیابی به پایداری موردنیاز شبکه، بهره‌برداران شبکه باید مانیتورینگ و ارتباط مخابراتی میان دارایی‌ها را بهبود بخشند. از این رو، این امر توسعه‌ی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری را برای جلوگیری از خرابی‌های بحرایی می‌طلبد. توسعه‌ی سنسورهای درجه حرارت، مکانیکی، تخلیه جزئی (PD^۱) و غیره، مانیتور پیوسته و زمان-حقیقی تجهیزات شبکه را فراهم نموده‌است [۲].

در درخت فناوری‌های تعمیر و نگهداری، یکی از زیرشاخه‌های آن، ابزار و ماشین‌آلات است. ابزار و ماشین‌آلات به شش دسته‌ی صوتی و تصویری، الکتریکی، شیمیایی، مکانیکی و لوازم ایمنی فردی و گروهی و ابزار و ماشین‌آلات جانبی تقسیم می‌شوند. در ادامه به بیان تجهیزات، فناوری‌ها، روش‌ها، تست‌ها و آزمایشاتی که در راستای نگهداری و تعمیر عناصر شبکه‌ی توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرند پرداخته شده‌است.

^۱ Partial discharge

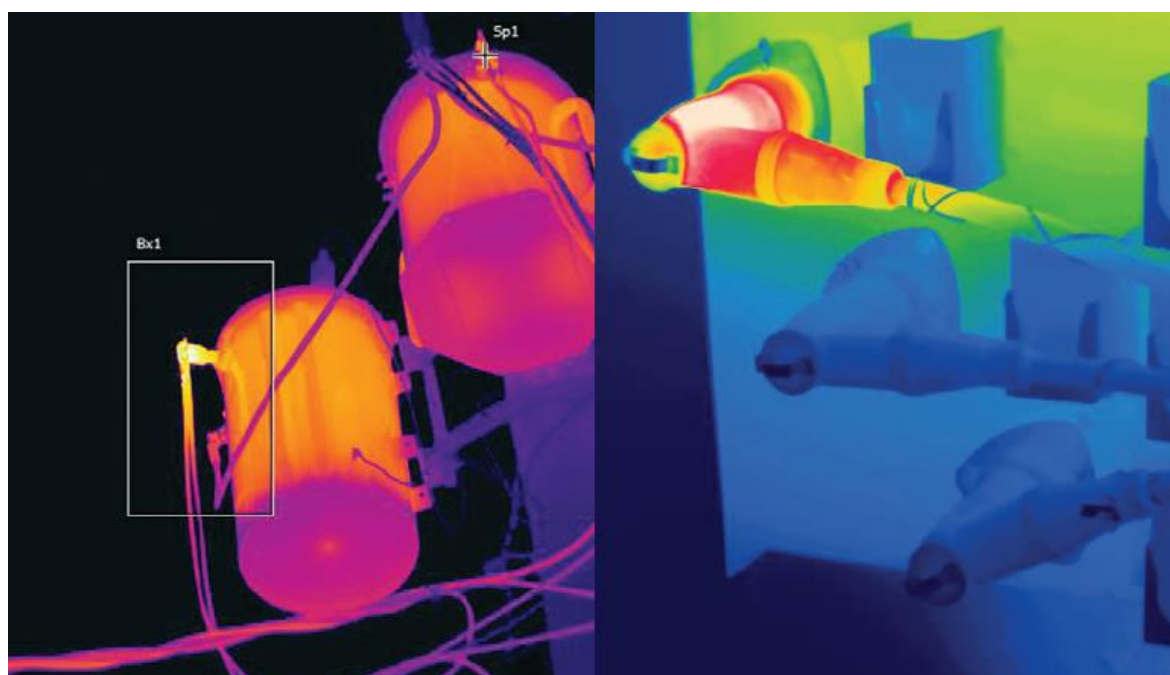
• صوتی و تصویری

بخش صوتی و تصویری به معنای فناوری‌ها، ابزار و روش‌های مرتبط با انواع دوربین‌ها و همچنین دریافت و تحلیل صوت می‌باشد. صدای تولیدی توسط تجهیزات سیستم قدرت حاوی اطلاعاتی از قبیل ارزش مکانیکی، PD و غیره می‌باشد، به خصوص در تجهیزاتی مانند ترانسفورماتور، کلید قدرت و تابلو برق. از این رو، زمانی که پارامترهای عملیاتی برخی بخش‌ها و یا تجهیزات از حالت نرمال درآید، صدای تولیدی توسط تجهیز قدرت نیز تا حد مشخصی تغییر خواهد کرد و با تحلیل بلندی و تن صدای تولیدی، مکان صدای غیرعادی تولید شده، نوع و شدت نویز غیرعادی با توجه به مشخصه‌های صدا به طور مؤثری شناسایی می‌گردد. علاوه بر این، عبور جریان الکتریکی از یک هادی تولید حرارت می‌کند و مطابق قانون اول ژول، هم مقاومت و هم جریان بر حرارت تولیدی اثر گذارند. از آنجایی که بسیاری از خطاها میزان مقاومت الکتریکی هادی‌ها را افزایش می‌دهند، وجود آنها می‌تواند توسط تصویربرداری حرارتی شناسایی گردد.

بخش صوت و تصویر این پژوهش شامل شناسایی تخلیه جزئی در ترانسفورماتور و کابل، شناسایی حرارتی تجهیزات پست برق و شناسایی خرابی در مقره‌ها و سر کابل‌ها است. در شبکه‌ی توزیع، تجهیزاتی نظیر کابل‌های ولتاژ متوسط، لوازم جانبی کابل مانند مفاصل و ترمینال‌ها و ترانسفورماتورهای توزیع بیش‌تر در معرض تخریب عایقی قرار دارند. این کابل‌ها دارای تعداد زیادی مفصل و ترمینال هستند و کابل‌ها با طول‌های مختلف دارای امپدانس‌های متفاوتی هستند. تخلیه‌ی جزئی در تمامی قسمت‌های بیان شده اعم از کابل، مفاصل، ترمینال‌ها، باس بار، ترانسفورماتورها و تجهیزات کلیدزنی می‌تواند رخ دهد.

تصویربرداری حرارتی تجهیزات نیز سال‌هاست که توسط اپراتورهای شبکه‌ی توزیع برای مانیتور تجهیزات پست مورد استفاده قرار می‌گیرد و در حال حاضر، سیستم تصویربرداری حرارتی به صورت دائمی

نصب می‌گردد. شکل (۲) نمونه‌ای از این نوع تصویربرداری حرارتی را نشان می‌دهد. استفاده از سیستم خودکار تصویربرداری حرارتی و نرم‌افزارهای نوین سبب شده تا سیستم مانیتورینگ توسعه یابد و در موارد خرابی‌های غریب‌الوقوع تجهیزات هشدارهای لازم را دهد. برای مثال تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورهای قدرت (از منظر تغییر سطح روغن و عملکرد پمپ)، کلیدهای قدرت (روغن و نشتی SF₆) و قطع‌شدگی‌های مکانیکی (اتصالات نامناسب و آلودگی) از جمله مواردی هستند که نشانه‌های حرارتی آنها به عنوان علائم وقوع خرابی تلقی می‌گردد.



شکل (۲): تصویربرداری حرارتی تجهیزات پست [۳]

• الکتریکی

مبحث الکتریکی در حوزه‌ی فناوری‌های تعمیر و نگهداری شامل ابزارها، تست‌ها و روش‌هایی می‌گردد که پایه و اساس الکتریکال دارند. این بخش شامل شناسایی تخلیه جزئی در ترانسفورماتور و کابل، شناسایی

درجه حرارت ترانسفورماتور، شناسایی میزان تخریب سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور، شناسایی میزان لرزش ترانسفورماتور، شناسایی خرابی کلید قدرت داخل تابلو برق، سنجش حرارتی تابلو برق، سنجش دمایی کابل برق، شناسایی میزان دما و رطوبت در کابل‌های زیرزمینی، مانیتور خطوط هوایی، ابزارها و سیستم‌های کنترلی و ارتباط مخابراتی و تست‌ها و روش‌های الکتریکی است.

یکی از روش‌ها برای تشخیص PD، شناساگر PD القایی تحت عنوان ترانسفورماتور جریان فرکانس بالا (HFCT)^۱ است. همچنین، در ترانسفورماتورها و کابل‌های قدرت، سیگنال‌های رادیویی باند VHF^۲/UHF^۳ تولیدی توسط PD با استفاده از آنتن‌های نصب شده در پنجره‌های مخصوص دی‌الکتریک و یا آنتن‌های قرارداده شده در داخل مخزن از طریق دریچه‌های روغن و همچنین آنتن‌های نصب شده در حفره‌ها و نقاط پایانی مسیر کابل‌ها، دریافت می‌شود و این امر یکی دیگر از روش‌های تشخیص PD به‌شمار می‌رود. روش دیگر برای تشخیص PD، پنجره‌های فعال دی‌الکتریک (AWD)^۴ نصب شده بر حفره‌ی نظارت ترانسفورماتور و کابل است که پالس‌های AE و UHF تولیدی توسط PD را تشخیص می‌دهند [۴].

با استفاده از پارامترهای لرزش، ولتاژ و جریان می‌توان تغییرات احتمالی در ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ترانسفورماتور را پیش‌بینی نمود. بنابراین، شناخت مشخصه‌های لرزش ترانسفورماتور به منظور شناسایی خطاهای الکتریکی و مکانیکی با استفاده از استراتژی‌های مانیتورینگ لرزش، امری ضروری است. یکی از روش‌های شناسایی لرزش ناشی از تنش‌های مکانیکی و الکتریکی، اندازه‌گیری و تحلیل توابع پاسخ

^۱ High-frequency current transformer

^۲ Very high frequency

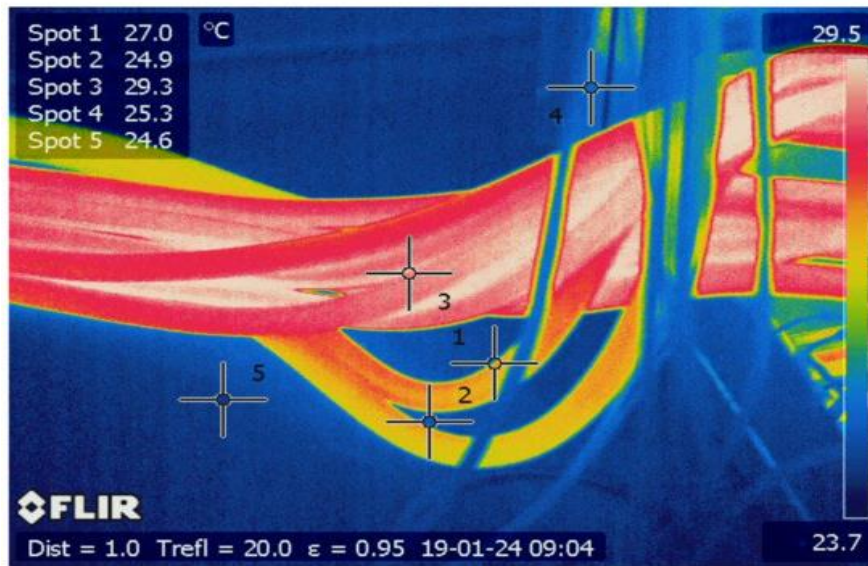
^۳ Ultra-high frequency

^۴ Active dielectric window

فرکانسی لرزش (FRF^1) می‌باشد. لرزش ترانسفورماتور معمولاً ناشی از تنش‌های الکترومغناطیسی در سیم‌پیچی‌ها و تنش مغناطیسی در هسته می‌باشد و هر دو نیرو به صورت فضایی توزیع می‌شوند. فهم تفاوت بین دو نیروی فوق در روش FRF برای شناسایی نوع تخریب در ترانسفورماتور امری مهم است [۵].

روش‌های الکتریکی در سنجش درجه حرارت تابلو برق شامل سنسورهایی نظیر سنسورهای بی‌سیم RF و سنسورهای ترمومتر IR هستند. شکل (۳) نمایی از مانیتورینگ درجه حرارت با استفاده از این روش در تابلو برق را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های نوین برای مانیتور درجه حرارت، سنسورهای دمای فیبر نوری است که به‌طور پیوسته دمای اتصالات مهم تابلو برق را اندازه گرفته تا به سرعت اضافه بار و وضعیت خطا را تشخیص دهند. برای مانیتور کردن وضعیت کابل و دمای آن نیز سنسورهای فیبر نوری می‌توانند وضعیت غیرعادی دمایی در کابل‌های قدرت را بدون نقطه کور، ۲۴ ساعته و ۳۶۵ روز در سال، در مکان‌ها و فضاهای دور از دسترس که برای ورود افراد بسیار باریک است، تشخیص دهند. علاوه بر این، یکی از روش‌ها در سنجش میزان دما و طوبت کابل‌های زیرزمینی، طراحی سنسورهای پراکنده در سطح شبکه است که ابتدایی‌ترین وظیفه‌ی آن مانیتور کردن است. از مزایای این سنسورهای پراکنده، اندازه‌گیری پارامترهای رطوبت و دما است که برای تعیین میزان پیرشدگی سیم‌پیچ‌ها به‌منظور پیش‌بینی خطا ضروری است، می‌باشد.

¹ Frequency response function



شکل (۳): تحلیل درجه حرارت تابلو برق [۶]

در سال‌های اخیر، مانیتور خطوط هوایی از طریق تکنولوژی IoT بسیار سریع‌تر، ساده‌تر و ارزان‌تر شده است. با استفاده از سنسور خطوط که بین دو قطب نصب شده‌اند، بهره‌بردار می‌تواند فلوی جریان را به صورت زمان-حقیقی مشاهده کند تا بتواند ظرفیت خطوط را برای توزیع الکتریسیته‌ی بیش‌تر بهینه کند [۷]. از سویی دیگر، استفاده از DTS در کابل‌های توزیع که در حال حاضر مسئول بیش‌تر خطاها در سیستم توزیع هستند، سبب شده تا بتوان کابل‌های قدرت را به صورت زمان-حقیقی مانیتور کرد. همچنین، مانیتور درجه حرارت به بهره‌بردار اجازه می‌دهد تا ظرفیت خطوط را تنظیم کند. اگر بتوان ظرفیت‌های دینامیکی شبکه‌های برق را در زمان واقعی کنترل و اصلاح کرد، می‌توان با حفظ یک حاشیه‌ی ایمنی قابل قبول، توان عملیاتی خط توزیع را افزایش می‌دهد. مانیتور DSS در فیبر نوری می‌تواند برای کنترل وقوع یخ‌زدگی در خطوط قدرت به کار رود [۸].

در بخش الکتریکی فناوری‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات شبکه‌ی توزیع، سیستم‌های کنترلی نیز جای دارند که وظیفه‌ی آنها انتقال اطلاعات با توجه به شرایط شبکه و مقادیر اندازه‌گیری شده است و این امر



شامل ارسال پیام‌هایی به مرکز کنترل (مکانی که اطلاعات پردازش می‌شوند)، می‌باشد. در مواقعی که کانال‌های مخابراتی موجود برای سیستم مناسب نباشند و شبکه‌ی موجود تنها برای عملکرد سیستم کنترلی رزرو شده‌باشد، یک مسیر موازی ارتباطی می‌تواند نصب گردد (شامل بی‌سیم و یا PLC). ارتباط میان تجهیزات اولیه (کابل و تابلوبرق و غیره) و ثانویه‌ی شبکه‌ی توزیع از یک نقطه‌ی مرکزی مانند سیستم‌ها/دیتابیس‌های کنترل مرکزی فراهم می‌گردد. رایج‌ترین سیستم‌های کنترل مرکزی موجود، سیستم‌های SCADA/DMS هستند. سیستم کنترلی دیگری که در شاخه‌ی ابزارهای الکتریکی فناوری‌های شبکه‌ی توزیع جای می‌گیرد، واحد پایانه‌ی کنترل از راه دور (RTU) است که یک واحد داده‌برداری و کنترل خوداتکا است که عموماً بر پایه‌ی ریزپرداز ساخته می‌شود و به کنترل و نظارت تجهیزات راه دور می‌پردازد [۹].

انواع روش‌ها و آزمایشاتی که بر روی تجهیزات شبکه‌ی توزیع در راستای فرآیند تعمیر و نگهداری صورت می‌گیرد نیز شامل تست ولتاژ بالا است که برای اطمینان از سالم بودن عایق کابل به کار می‌رود. برای کابل‌های فشار ضعیف این تست می‌تواند توسط میگر انجام شود و برای کابل‌های فشار متوسط و فشار قوی از دستگاه ولتاژ بالا استفاده می‌شود. علاوه بر این، تست‌های آفلاین ترانسفورماتور شامل تست استقامت الکتریکی روغن و روش پاسخ دی‌الکتریکی، جزء روش‌های الکتریکی هستند.

• شیمیایی و مواد

بخش شیمیایی و مواد شامل دو مبحث فناوری‌های مبتنی بر علم مواد و تست‌های و روش‌های شیمیایی است. مبحث مواد شامل روش‌های نوینی است که به صورت روکش و یا مواد افزودنی با اهداف خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مبحث شیمیایی نیز شامل تست‌ها و روش‌هایی است که باید در بخش‌های دارای مواد شیمیایی به خصوص ترانسفورماتور، به منظور بررسی وضعیت این مواد صورت گیرند. در مبحث مواد، کلیه‌ی قسمت‌های یراق‌آلات مقره‌ها، هادی و سیم زمین باید در برابر خوردگی ناشی از شرایط

جوی محیط و سایر عوامل تخریبی محافظت شوند. این موضوع شامل مواردی مانند حمل و نقل و تعمیرات و نگهداری نیز می‌باشد. سطح کلیه قطعات آهنی که در معرض هوای آزاد کار خواهند (به جز فولاد ضد زنگ)، باید طبق ISO ۱۴۶۱ و یا استانداردهای معادل آن گالوانیزه گردند. با وجود اعمال موارد فوق بر تجهیزات شبکه، در مناطقی مانند استان خوزستان، وقوع پدیده‌ی گرد و غبار و به دنبال آن وزش باد با سرعت بالا و رطوبت بالا، منجر به چسبندگی ریزگردها بر روی سطوح مقره‌های شبکه‌ی توزیع و فوق توزیع می‌گردد. یکی از راه‌حل‌ها استفاده از فناوری‌های نوین نظیر فناوری نانو می‌باشد. فناوری نانو قابلیت کاربرد در ساخت قطعات تجهیزات شبکه را دارد؛ همچنین در پوشش‌های هادی‌ها، مقره‌ها، برقگیر و کابل‌ها می‌تواند به کار گرفته شود. از سویی دیگر، مقره‌های پرسلینی به صورت وسیعی در خطوط توزیع در حال استفاده هستند و این مقره‌ها تحت تنش‌های الکتریکی و محیطی قرار دارند. افت خواش و شکست که معمولاً ناشی از آلودگی می‌باشد، مشکلات بسیاری را به خصوص در نواحی با آلودگی زیاد به همراه دارد. یکی از راه‌حل‌های مناسب جهت جلوگیری از این امر اعمال لعاب نانو ساختار با ویژگی خود تمیز شونده و آبگریز است. این پوشش علاوه بر این ویژگی‌ها، چسبندگی بسیار خوبی با سطح در مقره‌ها ایجاد می‌کند [۱۰ و ۱۱].

مبحث تست‌ها و روش‌های شیمیایی نیز شامل شناسایی رطوبت و گاز محلول در روغن ترانسفورماتور، تصفیه‌ی شیمیایی روغن ترانسفورماتور و تست ولتاژ شکست آن، آب محلول در آن، تست گوگرد خورنده، تست اندازه‌گیری PCB، تست فورفورال، تست اسیدپتته، تست تانژانت دلتا و تست کشش سطحی می‌باشد [۱۲].

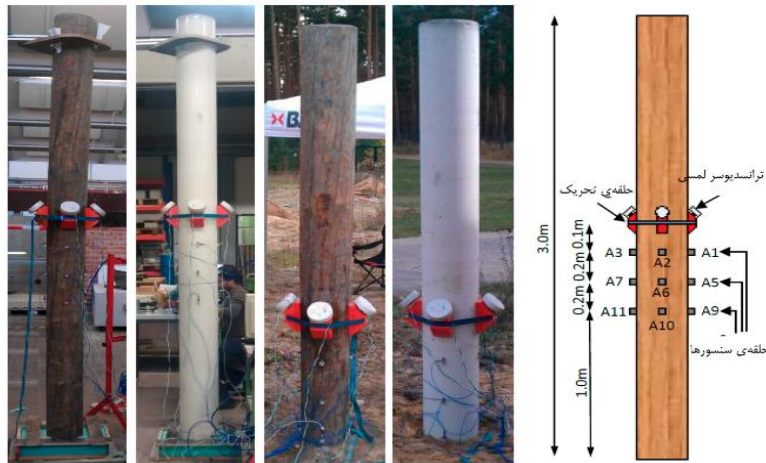
• مکانیکی

یکی از سازه‌های مکانیکی شبکه‌ی توزیع، تیرها و پایه‌ها است که رسیدگی و پایش وضعیت سلامت آنها به طور سنتی شامل روش‌هایی نظیر عیب‌یابی بصری، عیب‌یابی از طریق صدا و حفاری مقاومت است. بازرسی بصری، بدون شک، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های ارزیابی است، اما محدود به مناطق قابل دسترس و آسیب سطح است و روش‌هایی نظیر حفاری صدا و مقاومت به شدت به قابلیت اطمینان و دقت اپراتور بستگی دارد. از روش‌های جایگزین این روش‌های سنتی می‌توان به متدهای مبتنی بر موج هدایت شده^۱، مانند آزمایش یکپارچگی شمع^۲، اشاره کرد که روش‌های آزمایش برای شمع‌های بتونی و پایه‌های عمیق هستند و این روش‌ها داده‌های کمی عینی را ارائه می‌دهند و قادر به شناسایی بالقوه‌ی آسیب داخلی و ارزیابی وضعیت بهداشتی مناطق غیر قابل دسترسی مانند بخش‌های جاسازی شده‌ی شمع‌های پایه و قطب‌های ابزار، هستند. در آزمایش موج هدایت شده، امواج تنش از طریق فشار ناگهانی و یا تغییر شکل ناشی از تحریک ضربه در یک ساختار ایجاد می‌شوند که متعاقباً از طریق ساختار مشابه انتشار انتشار امواج صوتی از طریق هوا منتشر می‌شوند. در سازه‌های تیر و پایه، نوع موج‌های تولیدی از طریق تست موج هدایت شده، امواج طولی، خمشی و ریلی هستند. روش‌های مبتنی بر موج تنش دارای پتانسیل‌های امیدوارکننده‌ای در شناسایی آسیب و نظارت بر سلامت شمع‌های پایه و تیرها هستند، برخی موضوعات مهم مرتبط با عدم قطعیت انتشار موج در ساختارهای درون‌سروسی باید مورد توجه قرار گیرد. این مسائل شامل تأثیر تعبیه‌ی خاک همراه با شرایط ناشناخته‌ی خاک و ساختار زیر خط زمین، تولید حالت‌های مختلف موج به دلیل تحریک فرکانس باند پهن، پیچیدگی خصوصیات ماده‌ی سازه که می‌تواند غیر همگن (بتن مسطح) یا ناهم سان‌گرد (چوب) باشد، حساسیت به تغییرات محیطی مانند نوسانات رطوبت و دما و تأثیر

^۱ Guided wave-based

^۲ Pile integrity testing

محل برخورد، می‌باشد. از این رو، روش‌های نوینی مانند استفاده از شبکه‌ای از مبدل‌های لمسی و شتاب‌سنج‌ها در کنار یک تکنیک پیشرفته‌ی پردازش سیگنال برای ارزیابی وضعیت دارایی و طبقه‌بندی آسیب معرفی شده‌است که تصویری از آزمایشات این روش در شکل (۴) نشان داده شده‌است [۱۳].



شکل (۴): روش استفاده از شبکه‌ای از مبدل‌های لمسی و شتاب‌سنج‌ها در وضعیت پایش تیرها و

پایه‌های شبکه‌ی توزیع [۱۳]

• تجهیزات ایمنی و ابزار و ماشین آلات جانبی

در نهایت نیز به بیان تجهیزات ایمنی فردی و گروهی و همچنین ابزار و ماشین آلات جانبی مورد استفاده در عملیات تعمیر و نگهداری پرداخته شده‌است. ایمنی همواره به عنوان یکی از سخت‌ترین و مهم‌ترین محدودیت‌های موردنظر در طراحی، احداث، بهره‌برداری و عملیات پس از آن یعنی تعمیرات و نگهداری تلقی گشته‌است. عدم رعایت موارد ایمنی در تمامی این حوزه‌ها موجبات اعمال ضرر به سرمایه ملی، اتلاف انرژی و عدم رضایت و بدبینی مشترکین و از همه مهم‌تر حوادث جانی و مالی برای مشترکین و کارکنان صنعت برق را به دنبال خواهد داشت. از این رو، برخی از این تجهیزات عبارتند از: لباس کار، کمربندهای

ایمینی سیمبانی، دستکش‌های حفاظتی، فازمتر فشار ضعیف، تفنگ پرتاب سیم ارت، کلاه ایمنی، دستکش ایمنی و دستگاه اتصال زمین موقت برای خطوط فشار ضعیف و فشار متوسط و قوی. در بخش ابزار و ماشین آلات جانبی مورد نیاز در عملیات تعمیر و نگهداری به بیان تجهیزات مکانیکی و ربات‌های مورد استفاده در صنعت تعمیر و نگهداری به جای انسان پرداخته شده است. تعدادی از این تجهیزات عبارتند از: چوب استیک یا پرش، بالابر خط، بالابر غلتان هادی، دستگاه حمل‌کننده‌ی تجهیزات، دستگاه تزریق روغن، دستگاه آیس پلاست به منظور شست و شوی مقره و ربات‌های یخ‌شکن و بازرسی پست.

در شکل (۵) تصویری از ربات پرنده‌ی بازرسی خطوط برق نشان داده شده است. این ربات یک ربات پرنده بازرسی است که می‌تواند در حوزه‌های بررسی و بازرسی و همچنین عیب‌یابی خطوط برق به کار گرفته شود و توانایی بررسی و شناسایی محیط‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس مانند خطوط انتقال برق فشار قوی، دکل‌های مخابراتی، ایستگاه‌های اضطراری و دیگر محیط‌ها و دستگاه‌هایی را که در ارتفاع بالا و یا مکان‌های صعب‌العبور مانند بالای برج‌ها نصب شده‌اند، پایش، کنترل و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه می‌کند [۱۴].



شکل (۵): تصویری از ربات پرنده‌ی بازرسی خطوط برق [۱۴]

➤ سامانه‌ها و نرم‌افزارها

با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی و استفاده بهتر از امکانات و داشتن سطح خدمات خوب، شبکه هوشمند از الزامات آینده سیستم قدرت می‌باشد. شبکه توزیع هوشمند از زیر مجموعه‌های مهم شبکه هوشمند است که نقش حیاتی داشته و درگاه ارتباطی بین مشترک و شبکه می‌باشد. شبکه‌های برق هوشمند قادر به مواجهه با رویدادهای غیرمنتظره هستند و می‌توانند قسمت مشکل‌زا را از شبکه جدا نمایند تا بقیه شبکه به حالت کار عادی برگردد. با توجه به اینکه شبکه هوشمند بسیار پرهزینه می‌باشد، لذا می‌بایست با هوشمندی زیادی در اجرای آن عمل کرده تا در عین تامین نیازهای مشترکین، این عمل چه از لحاظ فنی و چه از لحاظ اقتصادی به صورت مناسب صورت پذیرد. کاربری‌های این شبکه‌ها شامل اندازه‌گیری پیشرفته، پاسخ به تقاضا، منابع تولید پراکنده و ذخیره‌سازی، اتوماسیون توزیع، آگاهی فراگیر از موقعیت منطقه و حمل و نقل الکتریکی می‌باشد.

شبکه‌های هوشمند توزیع نیرو، شبکه‌های به هم پیوسته دو سویه‌ای می‌باشند که در آن اطلاعات نقش بنیادی در فرایند توزیع انرژی ایفا می‌نماید. توزیع هوشمند نیرو سامانه‌های مبتنی بر ترکیب فناوری اطلاعات و ارتباطات با توانمندی‌های پردازشی رایانه‌ها و سیستم‌های الکتریکی می‌باشد. ارتقا سیستم‌های کنونی سخت‌افزاری غیر هوشمند به شبکه‌های دو سویه توزیع شده کارآمد و اقتصادی که در آن بهره‌وری سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در صنعت برق به طرز چشمگیری بالا می‌رود، از اهداف اصلی هوشمندسازی شبکه می‌باشد. بالا رفتن ضریب اطمینان و پایداری شبکه از اهداف دیگر به کارگیری این فناوری می‌باشد. از طرف دیگر سیستم می‌تواند با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در مواقع بحرانی، تصمیم‌گیری نماید و از خاموشی‌های ناخواسته جلوگیری کند. افزایش استفاده از اطلاعات دیجیتال و فناوری‌های کنترل سبب می‌شود قابلیت اطمینان، امنیت و بهره‌وری از شبکه‌ی برق، و همچنین یکپارچگی تولید پراکنده، پاسخ به

میزان تقاضا، و بهره‌وری انرژی بیشتر شود. تکنولوژی‌های مرتبط با شبکه‌ی هوشمند بر اساس نوع کاربرد و نوع تجهیز در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، برخی تجهیزات و سامانه‌ها نظیر SCADA، PMU و کنترلر ولت/وار مختص شبکه‌ی توزیع و حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات نبوده است. با توجه به این شکل، تکنولوژی‌هایی نظیر FAN^۱، کلیدهای هوشمند، بانک‌های خازنی، تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند نظیر کنتور هوشمند و DMS در شبکه‌ی توزیع استفاده می‌گردند [۱۵]. در همین راستا در این بخش به معرفی و بررسی سامانه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در ارتباط با نگهداری و تعمیر تجهیزات شبکه توزیع نیروی برق خواهیم پرداخت.

Type of device Main stakeholders	Generation Utilities, cooperatives, end users...	Transmission Transmission System Operator (TSO)	Distribution Distribution System Operator (DSO)	Consumption End-users (residential, industrial...)
Communication networks	Micro-Grids and Smart Cities Wide Area Network (WAN)	(no transmission)	Micro-Grids and Smart Cities Field Area Network (FAN)	Home Area Network (HAN)
Electric-power infrastructure		High Voltage Direct Current (HVDC), Superconductors Flexible AC Transmission Systems (FACTS) Fault Current Limiters (FCL)	Smart Switches Capacitor Banks	Vehicle-to-Grid (V2G) Smart Inverters
Electronic devices and sensors		Dynamic Line Rating (DLR) Phasor Measurement Unit (PMU)	Advanced Metering Infrastructure (AM), Smart meters, MDMS...)	Smart Appliances and In-Home Display (IHD)
Systems and processes	Wide-Area Measurement System (WAMS) Wide-Area Monitoring & Control (WAMC) Supervisory Control and Acquisition Data (SCADA)		Distribution Management System (DMS), Distribution Automation (DA) Volt/VAR Control (VVC), Conservation Voltage Reduction (CVR) Smart Protection: Predictive (Failure Prediction Algorithms) or Reactive (Fault Detection, Isolation and Restoration, FDIR)	Building and Home Energy Management Systems (HEMS) Demand Response (DR) Net Metering Virtual Power Plant (VPP) Demand Forecasting

Technology application ● Optimize grid monitoring and control ● Enhance physical network capacity ● Enable active customer contribution

شکل (۶): تکنولوژی‌های مرتبط با شبکه‌ی هوشمند [۱۵]

^۱ Field area network

در این بخش، سامانه‌های SCADA، GIS، DMS، مهنا، سیما و هما مورد بررسی قرار گرفته است. هر یک از این سامانه‌ها به نوبه خود روشی برای نگهداری و تعمیر شبکه توزیع برق دارند. به عنوان مثال، سامانه‌ی هما از شرکت تذر و افزار که در شرکت توانیر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، از نت پیش‌گیرانه در سامانه خود استفاده می‌کند و سامانه مهنا در راستای پیاده‌سازی طرح جامع بهره‌برداری و دیسپاچینگ شرکت‌های توزیع نیروی برق به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی بازدید، نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه شبکه پیاده‌سازی گردیده است.

➤ بسترها و زیرساخت‌ها

تا اینجا با انواع روش‌های نگهداری و تعمیر و همچنین سامانه‌هایی که در شبکه توزیع برق برای انجام نگهداری و تعمیر استفاده می‌شود، آشنا شدیم. اما تمامی موارد فوق نیاز به زیرساختی برای دریافت اطلاعاتی از قبیل انواع تجهیزات شبکه توزیع، تعداد دفعات بازدید از تجهیز، آخرین تاریخ بازدید و تعمیر آن دارد که خود به روش‌های گوناگونی قابل انجام است. بنابراین در این بخش به بررسی انواع بسترها و زیرساخت‌های موجود که برای دریافت و انتقال اطلاعات و داده‌ها در این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌پردازیم و آن را به سه دسته کلی اینترنت اشیا، پایگاه داده و بسترهای مخابراتی تقسیم‌بندی می‌کنیم.

در این بخش، مفاهیم اینترنت اشیا و اینترنت اشیا صنعتی تعریف و تفاوت آنها و نقش IIoT در نگهداری مبتنی بر شرایط مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که، از فناوری IoT نیز بیشتر برای جمع‌آوری داده و پردازش هوشمند آن استفاده می‌شود. امروزه برای استفاده از هر نوع داده‌ای که وجود دارد، نیاز به یک محیطی برای ذخیره‌سازی و واکنشی اطلاعات داریم که پایگاه داده این وظیفه را بر عهده دارد، در ادامه این قسمت پایگاه‌های داده‌ای مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در بخش بسترهای

مخابراتی، بسترها و زیر ساخت‌های مختلفی از جمله PLC، GSM، GPRS، Wimax که برای انتقال داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی شده‌اند. جمع‌بندی بسترهای مخابراتی در جدول (۴) بیان شده‌است.

جدول (۴): جمع‌بندی بسترهای مخابراتی

مخابراتی بستر	محدوده پوشش دهی	کاربرد	مزایا	معایب
PLC	1-3 Km (BPL)	AMI EV شبکه هوشمند ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS	مصرف توان پایین تجهیزات ارزان مناسب برای تجهیزات با حافظه و توان محاسباتی پایین	پهنای باند پایین وجود تداخلات فرکانسی و نویز در شبکه‌های فشار ضعیف
فیبر نوری	IEEE 802.3ah (AON): up to 10 Km BPON, GPON: up to 20-60 Km EPON: up to 10-20 Km	اتوماسیون توزیع در یافت اطلاعات از پست‌ها AMI ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS	ارتباطات با فاصله‌ی زیاد پهنای باند بسیار بالا مقاومت در برابر تداخلات رادیویی و الکترومغناطیسی وجود تجهیزات ارتباطی مقیاس بالا	هزینه‌ی بالای تجهیزات ترمینال سخت بودن ارتقا نامناسب برای کاربردهای اندازه‌گیری نامناسب برای بک هال شبکه
GSM	1-10 Km	AMI Demand response ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS	امنیت مدیریت از راه دور متغیر بودن سرعت با توجه به شبکه، مکان و فاکتورهای دیگر	نرخ داده‌ی پایین

مخابراتی	بستر	محدوده پوشش‌دهی	کاربرد	مزایا	معایب
				گسترش بسیار سریع	
	GPRS	1-10 Km	ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS AMI Demand response	پهنای باند بالا ارتباط مستمر با اینترنت سرویس نقطه به نقطه گسترش آسان ارزان بودن نسبت به GSM	نرخ داده‌ی پایین ظرفیت محدود برای تمام کاربران
	RF	-	ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS	نصب آسان نصب مقرون به صرفه	تداخل رادیویی با سرویس‌های دیگر
	Wi-Fi	IEEE 802.11e/s: up to 300 m (outdoors) IEEE 802.11n: up to 1 Km	اتوماسیون توزیع AMI V2G ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS	استقرار شبکه با هزینه‌ی کم تجهیزات ارزان انعطاف‌پذیری بالا و مناسب برای کاربردهای گوناگون	مصرف توان بالا برای بسیاری از تجهیزات شبکه‌ی هوشمند مدیریت شبکه‌ی پیچیده تداخل بسیار بالا به دلیل عملکرد در طیفی شلوغ
	Zigbee	30-50 m	شبکه هوشمند AMI ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS		نرخ داده و محدوده‌ی پوشش‌دهی کم

مخبراتی	بستر	محدوده پوشش دهی	کاربرد	مزایا	معایب
	Dial-up	-	ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS		
	WiMAX	802.16: 0-10 Km 802.16 m: 0-5 Km (optimum), 5-30 (acceptable), 30- 100 (reduced performance) Km	AMI Demand response ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS	مناسب برای هزاران کاربر همزمان پوشش دهی بیشتر نسبت به Wi-Fi	پیچیدگی مدیریت شبکه هزینه‌های بالای تجهیزات
	WRAN	10-100 Km	AMI V2G ارتباط بین پست‌ها با سیستم SCADA/DMS	محدوده پوشش دهی بالا سرعت بالا مقرون به صرفه به دلیل عدم نیاز به نصب تجهیزات جدید	تنها مناسب برای مناطق که امکان دسترسی تکنولوژی‌های کابل، DSL و پهنای باند وجود ندارد

لازم به ذکر است، در زمینه استانداردها و پروتکل‌های موجود مرتبط با این مبحث، کمیته‌ی فنی ۵۷ (TC^۱) (57) استاندارد IEC مرتبط با تجهیزات و سیستم‌های کنترل سیستم‌های قدرت از جمله EMS، SCADA، اتوماسیون توزیع، حفاظت از راه دور و تبادل اطلاعات مربوط زمان-حقیقی و غیر زمان-حقیقی فعال می‌باشد که در برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات شبکه‌های قدرت به کار می‌رود. کار گروه‌های این کمیته در جدول (۵) بیان شده‌است [۱۶].

^۱ Technical committee

جدول (۵): کارگروه‌های IEC 57 [۱۶]

کارگروه	استاندارد ایجاد شده
استانداردهای کنترل و حفاظت از راه دور	IEC ۶۰۸۷۰-۵
ارتباط IEDها و مدل‌های ارتباطی در سیستم‌های قدرت	IEC ۶۱۸۵۰
رابط‌های نرم‌افزاری برای بهره‌برداری و برنامه‌ریزی شبکه‌ی قدرت	IEC ۶۱۹۷۰
استانداردهای مرتبط با تبادل اطلاعات میان سیستم‌های توزیع الکتریکی	IEC ۶۱۹۶۸
امنیت داده‌ها و ارتباطات	IEC ۶۲۳۵۱
استانداردهای مرتبط با ارتباطات بازار انرژی	IEC ۶۲۳۲۵
سیستم‌های مخابراتی برای منابع انرژی پراکنده	IEC ۶۱۸۵۰-۷-۴۲۰

استانداردهای IEC ۶۱۹۶۸ مجموعه استانداردهای مرتبط با تبادل داده‌ها میان سیستم‌های توزیع الکتریکی است. این استاندارد رابط‌هایی را برای سیستم مدیریت توزیع (DMS) تعریف کرده است. همچنین، استانداردهای IEC ۶۱۹۷۰ مجموعه استانداردهای مرتبط با رابط‌های سیستم‌های مدیریت انرژی (EMS) می‌باشد. از کاربردهای این استاندارد در شبکه‌ی توزیع، ارائه‌ی دستورالعمل‌هایی در زمینه‌ی تبادل اطلاعات با سیستم‌های خارج از محیط مرکز کنترل از جمله سیستم‌های توزیع خارج از مرکز کنترل که نیاز به تبادل داده‌های زمان-حقیقی با مرکز کنترل دارند، می‌باشد.

استاندارد IEC ۶۲۳۲۵ مجموعه‌ای از استانداردهای مرتبط با تنظیم مقررات ارتباطات بازار انرژی است. این استاندارد شامل بخش‌هایی نظیر مدل‌های اطلاعاتی رایج (CIM^۱) برای بازارها، استفاده از خدمات وب

^۱ Common information model

برای مبادله‌ی داده‌های الکترونیک در بازار انرژی اروپا، ساختارهای دینامیک رایج برای بازارهای آمریکای شمالی و ساختارهای دینامیک داده برای بازار آینده می‌باشد.

گزارش فنی IEC ۶۲۳۵۷ در واقع نقشه‌ای جامع و کامل از تمامی استانداردهایی که از تعاملات باز و قابل همکاری بین بازیگران، اجزا و سیستم‌ها در حوزه‌ی شبکه‌های الکتریکی از تولید تا مصرف‌کنندگان شامل انتقال و توزیع، فراهم می‌کند. استاندارد IEC ۶۱۸۵۰ استاندارد برای تعریف پروتکل‌های ارتباطی برای تجهیزات الکتریکی هوشمند در پست‌ها است. بخش‌هایی از این استاندارد که مرتبط با شبکه‌ی توزیع می‌باشد در جدول (۶) بیان شده است.

جدول (۶): استانداردهای IEC ۶۱۸۵۰ مرتبط با شبکه‌ی توزیع [۱۶]

تعریف زبان ارتباطی در پست‌های الکتریکی	IEC ۶۱۸۵۰-۶
ساختار مخابراتی برای منابع تولید پراکنده	IEC ۶۱۸۵۰-۷-۴۲۰
ارتباط بین پست‌های الکتریکی	IEC ۶۱۸۵۰-۹۰-۱
ارتباط بین پست‌ها و مراکز کنترل	IEC ۶۱۸۵۰-۹۰-۲
مانیتورینگ شرایط	IEC ۶۱۸۵۰-۹۰-۳

نتیجه‌گیری

نگهداری و تعمیرات شبکه‌های توزیع به دلایل افزایش پایداری در حداکثر بار شبکه، کاهش ضرر ناشی از عدم فروش انرژی تولیدشده، افزایش عمر تجهیزات و افزایش کیفیت انرژی تحویلی بسیار حائز اهمیت است. مبحث نگهداری و تعمیرات شامل روش‌ها و فناوری‌های بسیار متنوعی بوده و در طول زمان پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. در این میان موضوع مهمی که باید به آن توجه گردد ارتباط تنگاتنگ توسعه‌ی فناوری‌های حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات شبکه‌ی توزیع با حوزه‌ی طراحی شبکه‌ی توزیع است.

در مبحث ارتقاء فناوری‌های نگهداری و تعمیرات، می‌بایست حوزه‌ی طراحی نیز در نظر گرفته شود تا فناوری‌های این حوزه در راستا با اولویت‌های حوزه‌ی طراحی انتخاب گردند. از سویی دیگر، در فناوری‌های حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات، انتقال و دریافت داده‌ها در دو حالت استاتیک و دینامیک بررسی می‌گردند. با گسترش فناوری سنسورها و همچنین اینترنت اشیاء، رویکرد فناوری‌های نوین در حوزه‌ی نگهداری و تعمیرات به سمت دینامیک و دریافت اطلاعات به صورت زمان-حقیقی است. در ادامه به جمع‌بندی مطالب بیان شده در این پژوهش پرداخته شده‌است.

در این پژوهش به بیان فناوری‌های تجهیزات نگهداری و تعمیر شبکه‌ی توزیع برق پرداخته شده‌است. این فناوری‌ها همان‌طور که در درخت دانش نیز نشان داده شد، به دو بخش فرآیندها و تجهیزات تفکیک شده‌اند. فرآیندهای نگهداری و تعمیر شامل ۸ فرآیند بودند که موارد پر استفاده آن نگهداری و تعمیر مبتنی بر شرایط، مبتنی بر زمان و نگهداری و تعمیر پیش‌گیرانه و پیش‌بینانه هستند که امروزه استفاده از نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه و مبتنی بر قابلیت اطمینان بیشتر توصیه می‌شود. شاخه تجهیزات این درخت در سه دسته‌بندی ابزار و ماشین‌آلات، سامانه‌ها و نرم‌افزارها و بسترها و زیرساخت‌ها بیان شده‌است. در بخش ابزار و ماشین‌آلات که یکی از زیرشاخه‌های درخت اصلی است، به بیان تجهیزات، فناوری‌ها، روش‌ها، تست‌ها و آزمایشاتی که در راستای نگهداری و تعمیر عناصر شبکه‌ی توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرند پرداخته شده‌است. مطابق دسته‌بندی‌ای که در درخت انجام شده، این زیرشاخه خود شامل شش بخش صوتی و تصویری، الکتریکی، شیمیایی و مواد، مکانیکی، لوازم ایمنی فردی و گروهی و ابزار و ماشین‌آلات جانبی مورد استفاده در عملیات تعمیر و نگهداری، است. در بخش سامانه‌ها و نرم‌افزارها و زیرساخت‌ها، ابتدا به معرفی سامانه‌های SCADA، GIS، سیما و هما پرداخته شده‌است. هر یک از این سامانه‌ها به نوبه خود روشی برای نگهداری و تعمیر شبکه توزیع برق دارند که معرفی آن به تفصیل در این بخش بیان شده‌است.

سپس، مفاهیم اینترنت اشیا و اینترنت اشیا صنعتی تعریف و تفاوت آنها و نقش IIoT در نگهداری مبتنی بر شرایط مطرح شده است. در انتها، بسترها و زیر ساخت‌های مختلفی از جمله Zigbee، GSM، GPRS، Wimax که برای انتقال داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، معرفی شده‌اند.

پس به عنوان نتیجه‌گیری می‌توان گفت، شاخص‌هایی از قبیل اقلیم و شرایط آب و هوایی، ساختار سیستم قدرت، استراتژی‌های تعمیرنگهداری، مشخصات فنی تجهیزات (شامل میزان اهمیت تجهیز)، طول عمر و نرخ خرابی تجهیزات، بار شبکه (شامل ضریب و چگالی بار، مدل بار شبکه و ضریب بهره‌برداری ترانسفورماتور)، تلفات، حوادث و قطعی‌ها، قوانین مقررات ضوابط دستورالعمل‌ها و استانداردها، جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها، برنامه‌ریزی سیستم (شامل هزینه‌های تعمیرنگهداری)، بازار میان شرکت‌های توزیع و پیمانکاران و سیاست‌های کلان و نقشه راه کشور از جمله مسائل زیست‌محیطی بر روی حوزه نگهداری و تعمیر تجهیزات شبکه توزیع تاثیر گذار هستند. این عوامل در شکل (۷) نشان داده شده است. در ادامه به توضیح بیشتر برخی از آنان پرداخته شده است.



شکل (۷): عوامل تاثیرگذار بر نگهداری و تعمیر تجهیزات شبکه توزیع نیروی برق

برای مثال، شاخص اقلیم یکی از شاخص‌های تاثیرگذار بر نگهداری و تعمیرات شبکه‌ی توزیع می‌باشد. کشور ایران به ۵ اقلیم آب و هوایی شامل گرم و مرطوب، گرم و خشک، معتدل و مرطوب، معتدل و خشک و سرد تقسیم‌بندی شده‌است. در مناطق ساحلی به دلایل بالا بودن رطوبت هوا و سطح آب‌های زیرزمینی، سبب می‌گردد تا فواصل عایقی بین هادی‌ها کافی نباشد و موجب اتصالی‌های شدید، سوختن مقره‌ها، فیدرها و کلیدها گردد. همچنین، نفوذ و بالا آمدن آب به دلیل جاری شدن سیلاب در اثر بارندگی‌های شدید در فصل زمستان سبب نفوذ آب به داخل کانال‌ها و زیرتابلوهای توزیع شده و سبب وقوع اتصالی‌های شدیدی در سرکابل‌ها و تابلوها می‌گردد. در مناطق گرم و مرطوب، خوردگی و فرسایش شدید بدنه‌ی تابلوها و تجهیزات پست، کابل‌های توزیع و همچنین پوسیدگی تیر آهن و مصالح آهنی ساختمان پست در اثر رطوبت

بالای هوا سطح اتفاقات و خاموشی‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین، در مناطقی مانند استان خوزستان، وقوع پدیده‌ی گرد و غبار و به دنبال آن وزش باد با سرعت بالا و رطوبت بالا، منجر به چسبندگی ریزگردها بر روی سطوح مقره‌های شبکه‌ی توزیع و فوق توزیع می‌گردد. ترکیبات ریزگردها شامل نمک، منیزیم، آهن، سولفات، سولفور و آلومینیوم است و مجموعه‌ی عناصر نمک، سولفور، سولفات منیزیم، آهن، سیلیس کربنات منیزیم و کلسیم سبب خوردگی شدید تجهیزات می‌شود و چسبندگی کل روی سطح مقره و تجهیزات موجب ایجاد جرقه و خاموشی‌های خطوط می‌گردد. از این رو، بهره‌برداران شبکه برای کاهش اثرات خوردگی به دنبال راه‌حلی نظیر فناوری نانو در ساخت قطعات تجهیزات شبکه و همچنین در پوشش‌های هادی‌ها، مقره‌ها، برقگیر و کابل‌ها هستند.

اهمیت استراتژی‌های تعمیر و نگهداری در تحلیل وابستگی میان فعالیت‌های نگهداری و نوسازی است و همین امر سبب تولید استراتژی گوناگون نظیر تعمیر و نگهداری اصلاحی، پیش‌گیرانه، مبتنی بر زمان، مبتنی بر شرایط، مبتنی بر قابلیت اطمینان و بدون نیاز به تعمیر و نگهداری، شده است. نگهداری اصلاحی نوعی استراتژی است که پس از وقوع خطا صورت می‌گیرد در حالی که پیش‌گیرانه پیش از وقوع خطا انجام می‌شود. استراتژی اصلاحی، به دلایل اقتصادی و در مواردی که تبعات جدی ایجاد نگردد، هم‌چنان بر استراتژی‌های دیگر ارجح می‌باشد. اما، جنبه‌ی منفی نگهداری اصلاحی وقوع خطاهای شدید به تبع ایجاد یک خطای کوچک و وارد کردن آسیب‌های اقتصادی فراوان به شبکه می‌باشد. اسی‌با شد، تراتژی تعمیر و نگهداری مبتنی بر زمان، بر اساس یک برنامه‌ی دوره‌ای زمان‌بندی شده می‌باشد. یکی از مزایای این روش، چک/تعمیر دوره‌ای تجهیزات اما به صورت همزمان است، اما اگر این دوره‌ی زمانی بهینه نباشد می‌تواند سبب بروز خطاهای فنی و یا اقتصادی گردد که ناشی از قطعی‌های غیر ضروری است. در کشور ایران، به دلیل بالا نبودن دستمزدهای نیروهای انسانی، سادگی در گزارش‌دهی و اجرای آسان، استراتژی تعمیر و

نگهداری مبتنی بر زمان و بازدیدهای دوره‌ای همچنان مورد توجه شرکت‌های توزیع می‌باشد. اما، برنامه‌های تعمیر و نگهداری در این روش، بسته به هر شرکت توزیعی متفاوت است. عدم وجود استانداردهای مشخص مدیریت دارایی و تنوع برنامه‌های شرکت‌های توزیع، تعیین این‌که شرکت‌های توزیع در حال اجرای صحیح برنامه‌های خود هستند را با دشواری مواجه می‌سازد. در روش مبتنی بر شرایط، برخلاف روش مبتنی بر زمان، عملیات تعمیر و نگهداری تنها در صورت وقوع یک خطا انجام می‌گردد. در این روش، برنامه‌ی نگهداری با هدف اعمال نظارت بر پارامترهای کنترل، تحت عملکرد عادی است و این امر مستلزم مانیتور سیستماتیک و تعریف پارامترهای کنترلی دارایی‌ها می‌باشد. از سویی دیگر، هوشمندسازی و ورود فناوری اطلاعات به حوزه‌ی تعمیر و نگهداری و همچنین لزوم بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، روش مبتنی بر قابلیت اطمینان و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی که در زمینه‌های نگهداری، نوسازی، تعیین پیرشدگی و مانیتورینگ توسعه یافته‌اند، نظیر دیاگرام حالت، روش‌های فازی، شبکه‌های عصبی و غیره، گسترش یافته‌است. یکی دیگر از استراتژی‌های نوین در زمینه‌ی نگهداری و تعمیرات، روش بدون تعمیر و نگهداری است که تجهیز در طول عمر مفید خود نیازی به انجام عملیات تعمیر و نگهداری نخواهد داشت، همین امر ممکن است تجهیز را از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نکند و همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، با توجه به بالا نبودن دستمزد نیروی انسانی در ایران، این روش، استراتژی مناسبی برای پیاده‌سازی در کشور نمی‌باشد. بنابراین، انتخاب استراتژی مناسب تعمیر و نگهداری وابسته به عوامل متعددی از جمله نوع تجهیز، برنامه و رویکرد شرکت‌های توزیع و غیره می‌باشد.

با توجه به اینکه ۳۵ درصد از سرمایه‌گذاری‌های صنعت برق، به بخش توزیع مربوط است و عدم طراحی صحیح، هدایت سیستم بدون برنامه‌ریزی و تعیین اهداف بدون کنترل پروژه‌ها، موجبات اعمال ضرر به سرمایه‌ی ملی، اتلاف انرژی و عدم رضایت و بدبینی مشترکین را به دنبال داشته‌است، بنابراین لزوم آموزش

و انتقال دانش، نوآوری، رعایت نکات فنی و استانداردها، نظارت، کنترل و ارزیابی در سیستم‌های توزیع شدیداً احساس می‌شود. با توجه به آمار تفصیلی صنعت برق و آمار تأسیسات شبکه‌ی توزیع برق ایران در سال ۱۳۹۸، ۸۶/۵٪ طول شبکه‌ی توزیع، خطوط فشار ضعیف هوایی می‌باشد (۳۲۵/۲ هزار کیلومتر) و ۱۳/۵٪ طول شبکه‌ی توزیع نیز خطوط فشار ضعیف زمینی (۵۰/۹ هزار کیلومتر) می‌باشد. همچنین، ۹۷٪ ترانسفورماتورهای شبکه‌ی توزیع، ترانسفورماتور هوایی و تنها ۳٪ ترانسفورماتورهای توزیع، زمینی است.

با توجه به آمارهای بیان شده و احتمال بالای بروز اتصال کوتاه در خطوط هوایی ناشی از صاعقه، طوفان، رشد درختان، حیوانات، شکست عایقی و دیگر عوامل محیطی و غیرمحیطی، اتخاذ استراتژی مناسب تعمیر و نگهداری شبکه‌ی هوایی که می‌تواند دلیل بسیاری از خاموشی‌های شبکه باشد، امری ضروری است. با توجه به بررسی‌های صورت پذیرفته در بخش آینده پژوهی و بررسی تجربیات کشورهای پیشرو در زمینه‌ی تعمیر و نگهداری خطوط هوایی، رویکرد شرکت‌های مرتبط با صنعت برق این کشورها پس از سال‌ها تجربه در زمینه‌ی ارتباط مخابراتی و اتوماسیون شبکه‌ی توزیع، مانیتور آنلاین بی سیم خطوط هوایی با استفاده از تکنولوژی سنسور هوشمند، پردازش سیگنال و هوش مصنوعی می‌باشد. مزیت استفاده از سنسورها در خطوط هوایی، مدیریت دارایی پیش‌بینانه است که در آن سنسور خطوط می‌تواند اطلاعات را به سیستم بالا سری، زمانی که خروجی‌های موقت به دلایلی از جمله سقوط درخت و یا دیگر اجسام بر روی خطوط اتفاق می‌افتد، ارسال کنند. در کشور ایران استراتژی پیش‌گیرانه، روش مورد استفاده برای خطوط هوایی است که به صورت بازدیدهای دوره‌ای صورت می‌گیرد. اما، تنها تعریف کردن فعالیت‌های PM و اجرای آنها ضامن موفقیت تیم نگهداشت در جلوگیری از بروز خرابی‌ها نمی‌باشد. شرایط عملیاتی تجهیزات به مرور زمان تغییر می‌کند و علاوه بر آن، داده‌ها و اطلاعات به دست آمده از خرابی‌ها و فواصل آنها، روز به روز بیش‌تر می‌گردد. در نتیجه نمی‌توان تنها یکبار فعالیت‌های پیش‌گیرانه را تعریف کرد و برای همیشه به

آنها اکتفا کرد. بنابراین، می‌بایست به سوی روش‌های بهینه‌سازی PM پیش رفت. سه روش مرسوم برای بهینه‌سازی جدول زمان‌بندی PMها وجود دارد: نگهداری و تعمیرات بر پایه‌ی قابلیت اطمینان (RCM)، گزارش خرابی و سیستم اقدامات اصلاحی و رویکرد مبتنی بر قضاوت.

همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، خطوط کابلی زمینی نیز جزئی از شبکه‌ی خطوط توزیع مدرن شده‌است. بنابراین، فهم روش‌ها و استراتژی‌های متفاوت مدیریت این دارایی بسیار مهم است، برای مثال بیش‌تر خرابی‌های کابل‌ها ناشی از خسارت شخص ثالث، سازنده و مشکلات نصب بوده‌است. نگهداری‌های برنامه‌ریزی شده و جایگزینی کابل‌ها صرفاً براساس عمر آنها امری غیرقابل انجام و هزینه‌بر و غیر ضروری است. از این رو، تعمیر و نگهداری خطوط کابلی به روش‌های پیشرفته‌تری نیاز دارد. یکی از این روش‌ها، طراحی سنسورهای پراکنده در سطح شبکه است که ابتدایی‌ترین وظیفه‌ی آن مانیتور کردن است. از مزایای سنسورهای پراکنده، اندازه‌گیری پارامترهای رطوبت و دما است که برای تعیین میزان پیرشدگی سیم‌پیچ‌ها به‌منظور پیش‌بینی خطا، ضروری است. علاوه‌براین، مکان‌یابی خطا نیز با این روش تسهیل می‌یابد.

پست‌ها یکی از بخش‌های مهم سیستم قدرت هستند که سطوح ولتاژ متفاوت را به هم متصل می‌کنند و وظایف کنترل و هماهنگی آنها برای پایداری کل شبکه بسیار ضروری هستند. شرکت‌های توزیع ایران به منظور تعمیر و نگهداری پست‌های توزیع زمینی و هوایی، از برنامه‌های بازدید، نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه استفاده می‌کنند. در کنار مزایای PM از قبیل فاکتور ریسک کم‌تر به دلیل بازدید منظم تجهیزات و ساختمان پست، دنبال کردن یک برنامه‌ی منظم و حفظ بودجه، صرف انرژی و هزینه‌ی کم‌تر با نگهداری و تعمیر مناسب تجهیز و نگهداری آن در شرایط کارکردی مناسب و وقوع قطعی‌های کم‌تر، این روش معایبی از قبیل نگهداری و تعمیر بیش از حد نیاز، نیاز به استفاده از نیروی کار بیش‌تر، وقوع خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده، افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کاهش طول عمر دارایی‌ها را در بر دارد. از سویی دیگر،

بهره‌برداران در کشورهای اروپایی، چین و آمریکا، بیش‌ترین سرمایه‌گذاری را در تجهیزات و سرویس‌ها برای اتوماسیون پست‌ها انجام داده‌اند و رویکرد این کشورها به سوی پست‌های هوشمند است. دیجیتال‌سازی پست‌ها به معنای استفاده از محصولات و سیستم‌های نوآورانه در صنعت مانند اتوماسیون فرآیند که فرصت‌های جدیدی برای اجرای فرآیندهای پربازده را فراهم می‌کند، می‌باشد. در این رویکرد، استراتژی نگهداری و تعمیر تجهیزات پست نظیر ترانسفورماتور، تابلو برق و کلیدهای قدرت نیز می‌بایست به سمت روش‌های هوشمند پیش رود. جدول (۷) چکیده‌ای از استراتژی‌های کنونی و پیشنهادی برای تجهیزات شبکه توزیع ایران را براساس اطلاعات شبکه ایران و کشورهای پیشرو ارائه می‌کند.

جدول ۷: استراتژی‌های نگهداری و تعمیر مورد استفاده حال و آینده شبکه توزیع ایران

شبکه توزیع	استراتژی مورد استفاده کنونی	استراتژی پیشنهادی برای ارتقا
خطوط هوایی	تعمیرنگهداری اصلاحی، مبتنی بر زمان و پیش‌گیرانه	تعمیرنگهداری پیش‌بینانه و مبتنی بر قابلیت اطمینان
خطوط زمینی	تعمیرنگهداری اصلاحی، مبتنی بر زمان و پیش‌گیرانه	تعمیرنگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان از طریق طراحی سنسورهای پراکنده در سطح شبکه
پست‌ها	تعمیرنگهداری اصلاحی، مبتنی بر زمان و پیش‌گیرانه	تعمیرنگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان از طریق هوش‌مندسازی و بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی

در پایان لازم به ذکر است که تجهیزات، تست‌ها و روش‌های معرفی شده در این پژوهش جهت شناختن و معرفی روش‌ها و تجهیزات موجود در حوزه نگهداری و تعمیرات شبکه‌ی توزیع است که مدیران شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن تمامی جوانب از جمله مباحث اقتصادی و سهولت استفاده و راه‌اندازی، در صدد انتخاب هر یک از آنها برخوانند آمد.

مراجع

- [۱]. کامرانی، محسن، قنبری، محسن و توکلی عبدالرضا، " بررسی عملکرد سیستم نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه با رویکرد بهره‌برداری بهینه در شبکه‌های توزیع"، شرکت برق منطقه‌ای تهران، ۱۳۹۱.
- [۲]. مهدی واشقانی فراهانی، " بررسی علل اتصالی سر کابل‌های هوایی ۲۰ کیلووات و ارائه راهکارهای کاهش حوادث مشابه"، چهارمین همایش کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق، خرداد، ۱۳۸۲.

- [3]. [available] online: <https://flir.com/discover/instruments/utilities/thermal-imaging-cameras-for-substation-monitoring/>
- [4]. [available] online: <https://senseor.com>
- [5]. Y. Wang and J. Pan, "Comparison of mechanically and electrically excited vibration frequency responses of a small distribution transformer," IEEE transaction on power delivery, Vol. 32, June, 2017.
- [6]. [available] online: <https://osensa.com/switchgear-temperature-monitoring>
- [7]. [available] online: <https://lem.com>
- [8]. M. Alonso, H. Amaris, D. Alcala and D. M. Florez, "Smart sensors for smart grid reliability," Sensors, April, 2020.
- [9]. [available] online: <https://globenewswire.com>
- [۱۰]. "مجموعه استانداردهای شبکه های هوایی توزیع برق روکش دار و عایق شده - قسمت ۱-۲: تجهیزات و یراق آلات هادی های روکش دار فشار متوسط و الزامات آزمون،" استاندارد صنعت برق ایران، شرکت مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)، شهریور، ۱۳۹۱.
- [۱۱]. "سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری نانو در صنعت برق و انرژی، تدوین مبانی توسعه و هوشمندی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی،" پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی مواد غیرفلزی، مرداد، ۱۳۹۳.
- [۱۲]. فصلنامه‌ی ترانسفوماتور، سال دوم، شماره ۶، پاییز، ۱۳۹۵.
- [13]. U. Dackermann, Y. Yu, E. Niederleithinger, J. Li and H. Wiggenhauser, "Condition assessment of foundation piles and utility poles based on guided wave propagation using a network of tactile transducers and support vector machines," Sensors, December, 2017.
- [14]. [available] online: <https://kanc.ir/inspector-of-power-lines/>
- [15]. "Introduction to smart grids; Beyond smart meters," Energy transition institute, 2015.
- [16]. [available] online: <https://www.iec.ch/dyn>

امکان‌سنجی و طراحی و ساخت ترانسفورماتور خشک در رده فوق توزیع

مدیر طرح: هادی نوروزی

محقق: مهدی وکیلان

ترانسفورمرها از جمله کلیدی‌ترین ادوات مورد استفاده در صنعت برق هستند. اهمیت ترانسفورمرها در تولید، انتقال و توزیع قدرت تنها به دلیل قیمت بالای این تجهیز نبوده، بلکه هزینه‌ی ناشی از مقدار انرژی انتقال داده نشده در مدت زمان خرابی این تجهیز نیز، بسیار قابل توجه خواهد بود. هر چند پیشرفت‌های زیادی در زمینه بهبود عملکرد این تجهیز حیاتی صورت گرفته است، اما اهمیت این محصول و رقابت تجاری بین تولید کنندگان باعث شده است که بسیاری از تولیدکنندگان ترانسفورمر در سراسر دنیا به دنبال ارتقا کیفیت محصولات خود باشند. در طراحی و ساخت ترانسفورمرها علاوه بر توجه به برآورده کردن مشخصات عملکردی الکتریکی و مغناطیسی باید به مشخصات عملکردی عایقی، مکانیکی و حرارتی ترانسفورمر توجه لازم صورت بگیرد.

یکی از حوزه‌های مهم در ارتباط با ترانسفورماتورهای قدرت و توسعه فناوری‌های مرتبط آن استفاده از روش‌ها و تکنولوژی‌های جدید برای استفاده بهینه و مناسب از زیرساخت‌های سیستم قدرت می‌باشد. در واقع با توجه به رشد و توسعه تجهیزات مختلف در شبکه نیاز است که همگونی و توازن قابل قبول در تمام عناصر موجود صورت گیرد تا بتوان با استفاده از آن باعث رشد یکپارچه شبکه شد.

یکی از فناوری‌هایی که در شبکه فوق توزیع و انتقال قابلیت بکارگیری پیدا کرده است، انواع ترانسفورماتورهای خشک می‌باشد. در واقع ترانسفورماتورهای خشک به صورت سنتی در رده توزیع و فشار متوسط همواره مورد توجه بوده و کارکرد داشته است، اما با توجه به دلایلی از قبیل رشد شهرها و

توسعه آنها و در نتیجه همجواری پست‌های فوق توزیع و انتقال در مکان‌های مسکونی و همچنین مسئله استفاده بهینه از زمین نیاز به استفاده از عناصری که دارای حجم و فضای اشغال شده کمتری می‌باشند بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

ترانسفورمرهای خشک (Dry Type Transformers) که عمدتاً هم از نوع با عایق رزینی می‌باشند، هم‌اکنون به صورت وسیع در مکان‌هایی که خطر آتش‌سوزی با استفاده از روغن‌های معدنی غیر قابل قبول باشد، از جمله در ادارات، فروشگاه‌ها، ساختمان‌ها، برج‌های مسکونی، تونل‌ها، متروها، برخی مناطق حساس در نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، پتروشیمی‌ها و بیمارستان‌ها و ... در رده ولتاژ توزیع استفاده می‌شوند. تعمیر و نگهداری بسیار کم و افزایش قابلیت اطمینان از سایر مزایای اصلی ترانسفورمرهای خشک می‌باشند. استاندارد IEC 60076-11 در رابطه با ترانسفورمرهای خشک می‌باشد. در شکل ۱، دو نمونه ترانسفورمر خشک فوق توزیع رزینی با تپ چنجر زیر بار ساخته شده توسط شرکت‌های ABB و Siemens نشان داده شده‌اند.



الف



ب

شکل ۱: دو نمونه ترانسفورمر خشک فوق توزیع رزینی با تپ چنجر زیر بار (الف- ABB و ب-)

(Siemens)

ترانسفورمرهای خشک عمدتاً در رده ولتاژ توزیع به کار گرفته می‌شدند. امروزه با توجه به بزرگ شدن شهرها و همجواری پست‌های فوق توزیع و انتقال به مکان‌های مسکونی و همچنین زیاد شدن تعداد

پست‌های GIS، ترانسفورمرهای خشک برای رده ولتاژ فوق توزیع نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. تا جایی که، شرکت ABB ترانسفورمرهای خشک را تا سطح ولتاژ ۷۲/۵ کیلوولت تولید می‌نماید. نمونه دیگری که برای برزیل ساخته شده است و با توان ۲۵ مگاوات آمپر در شکل ۲، نشان داده شده است.



شکل ۲: نمونه ترانسفورمر ۲۵ مگاوات آمپری خشک فوق توزیع رزینی با تپ چنجر زیر بار ساخته شده در برزیل

عدم امکان تعمیر و بازسازی سیم‌پیچ‌ها در یک ترانسفورمر خشک رزینی، عیب این نوع ترانسفورمر می‌باشد. بدین منظور، استفاده از عایق‌های جایگزین برای رزین در ترانسفورمرهای خشک، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. عایق NOMEX که مشخصات الکتریکی و انتقال حرارت بسیار خوبی داشته و عیب ذکر شده برای عایق رزین در ترانسفورمرهای خشک را ندارد و علاوه بر آن امکان تعمیر در محل را نیز دارد، یکی از عایق‌های جایگزین است که مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در شکل ۳، یک نمونه ساخته شده ترانسفورمر ۲۵ مگاوات آمپر، ۴۰/۵ کیلوولت خشک با عایق نومکس و استقامت عایقی ضربه صاعقه ۲۰۰ کیلوولت، نشان داده شده است.



شکل ۳: ترانسفورمر نمونه ۲۵ مگاوات آمپر، ۴۰,۵ کیلوولت خشک با عایق نومکس و استقامت عایقی

ضربه صاعقه ۲۰۰ کیلوولت

هدف از انجام این پروژه، امکان‌سنجی استفاده از ترانسفورمرهای خشک در رده ولتاژ فوق توزیع در داخل کشور و دستیابی به طراحی از نظر انتخاب نوع هسته، نوع سیم پیچی‌ها، نوع ماده عایقی، نوع تپ چنجر زیر بار و دانش فنی ساخت این نوع ترانسفورمرها در رده ولتاژ فوق توزیع می‌باشد. بررسی فرآیند ساخت و تولید عایق‌های مورد استفاده، انجام خواهد شد. نوع تپ چنجر و گروه برداری و تاثیر بر روی طراحی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. مراحل ساخت، تست و بهره‌برداری از ترانسفورماتور خشک پس از تعیین الزامات و چالش‌های طراحی در پروژه انجام خواهد گرفت.

از جمله مهمترین نتایج و دستاوردهای پروژه "امکان‌سنجی و طراحی و ساخت ترانسفورماتور خشک در

رده فوق توزیع" عبارتند از:

- استفاده بهینه از ظرفیت موجود
- کاهش ابعاد و وزن ترانسفورماتور و فضای مورد نیاز جهت بکارگیری در پست
- افزایش ایمنی و کاهش احتمال و خطر آتش سوزی
- استفاده در پست‌های GIS و کاهش فضای مورد نیاز
- کاهش بسیار زیاد هزینه های تعمیر و نگهداری
- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت ترانسفورماتور خشک در رده فوق توزیع