

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه.....
۲	۲- تاریخچه و کاربردهای ترموگرافی یا بازرسی مادون قرمز در صنعت برق.....
۴	۱-۲- مفره ها و پوشینگها.....
۴	۲-۲- اتصالات.....
۷	۳-۲- هادیا ، کابلها و سرکابلها.....
۹	۴-۲- کلیدها.....
۹	۵-۲- سکیونرها و کلیدهای جداساز.....
۱۰	۶-۲- کنتاکتورها.....
۱۰	۷-۲- پایه فیوزها.....
۱۱	۸-۲- ضعیف بودن یا بالا بودن ولتاژ تغذیه.....
۱۲	۹-۲- حرارت القایی.....
۱۲	۱۰-۲- ترانسفورماتورها.....
۱۴	۳- ارائه راه حل مناسب.....
۱۵	۱-۳- نحوه رفع عیب.....
۱۵	۲-۳- مشخصات یک اتصال خوب.....
۱۶	۳-۳- ملاک سستی یا داغ بودن یک اتصال.....
۱۹	۴- نحوه محاسبه اجزاء تلفات ناشی از اتصالات سست.....
۲۲	۵- گزارشات آماری از اتصالات سست.....
۲۳	۶- نتیجه گیری.....
۲۶	مراجع.....

۱- مقدمه

هر روزه گزارشات متعددی از خسارات ناشی از قطعی برق، خرابی تجهیزات، سوختن تابلوها، کلید فیوزها، کابلها و دیگر تجهیزات در شبکه های توزیع و همچنین تلفات انرژی در صنعت برق (شرکت های توزیع نیروی برق) انتشار می یابد . در حال حاضر سیستمهای نگهداری پیشگیرانه PM¹ از طریق بازدیدهای دوره ای از تجهیزات بصورت بازرسی چشمی (بصری)، نظافت تجهیزات، آچارکشی اتصالات و اندازه گیری بار اقدام عملی برای شناسایی نقاط ضعف و خرابی در تجهیزات شبکه های توزیع میباشد تا قبل از بروز حادثه یا خسارت، اقدامات پیشگیرانه برای تعمیر و یا اصلاح صورت پذیرد، اما آیا این موارد و اتفاقات تنها از طریق بازدیدهای دوره ای ساده و بدون کمک گرفتن از لوازم و سیستمهای مدرن کاملاً قابل شناسایی، پیش بینی و نهایتاً جلوگیری هستند؟ در پاسخ باید گفت: " خیر " زیرا امروزه در کشورهای پیشرفته، سیستمهای نگهداری پیشگیرانه (PM) به سیستمهای (نگهداری پیشگیرانه و پیشگویانه [۱]) موسوم به PPM² تبدیل شده اند و مبتنی بر استفاده از لوازم و سیستمهای مدرن و دقیق برای پیش بینی و پیشگیری از اتلاف و از دست رفتن سرمایه ها میباشند . از جمله این لوازم میتوان به دوربین های ترموویژن و همچنین دوربین های کرونا اشاره کرد ، بطوریکه براحتی میتوان میزان عیب موجود و روند پیشرفت آنرا در تجهیزات مختلف تعیین نمود . از آنجا که عبور جریان الکتریکی از دستگاهها ، تجهیزات و اتصالات با تولید حرارت همراه میباشد اندازه گیری دقیق درجه حرارت تجهیزات مختلف و مقایسه آن با شرایط کار عادی و یا مقایسه با تجهیزات مشابه و مجاور و یا حداکثر دمای کارکرد تجهیزات، بعنوان روشی برای جلوگیری، پیش بینی و نهایتاً پیشگیری از عیوب تجهیزات ناشی از اتصالات سست در شبکه های

1) PM = **Preventive Maintenance**

2) PPM = **Predictive and Preventive Maintenance**

برق (فشارقوی و فشارضعیف) و بروز اتصالی در شبکه بوده و دوربینهای ترموویژن (بازرسی مادون قرمز از طریق ترموگرافی) با دارا بودن امکان اندازه گیری دقیق درجه حرارت بدون نیاز به تماس با تجهیزات و بدون اجرای خاموشی در شبکه، این شرایط را فراهم میکنند . این تحقیق ضمن توضیح تاریخچه ترموگرافی و بازرسی مادون قرمز در صنعت برق، با ارائه نمونه های خیلی شایع خرابیها در شبکه های توزیع که به دلیل وجود نقاط داغ ناشی از اتصالات سست بوجود می آیند و ارائه گزارش آماری موضوع را شفاف تر نموده و نهایتا با انجام محاسبات ریاضی، نحوه محاسبه میزان تلفات در این اتصالات را بیان کرده است .

۲ - تاریخچه و کاربردهای ترموگرافی در صنعت برق

برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ شرکت سوئدی Power Board ، ترموگرافی یا بازرسی مادون قرمز را روی ۱۵۰۰۰۰ قطعه و تجهیز برقی صنایع سوئد در سال شروع نمود . سپس در سال ۱۹۷۶ شرکت انگلیسی Electrical Generation Board ، ترموگرافی را در خطوط انتقال شروع نمودند . شرکت Baltimore Gas & Electric نیز در صنعت برق کار خود را روی ۴۰۰۰۰ مایل از شبکه های توزیع و ۱۷۵ پست در شرکت برق Baltimore انجام دادند. بعد از موفقیتهایی که حاصل شد، بخش تعمیرات الکتریک در شرکت برق بالتیمور اعتقاد زیادی به استفاده از ترموگرافی بعنوان یک برنامه پیشگیرانه سالیانه برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه های برق پیدا کردند . این بازرسی سالیانه در شرکت بالتیمور، منتج به تهیه ۴۰۰ الی ۴۵۰ گزارش از شناسایی اشکالات عمده در شبکه شد که قسمتی از آنها نیاز به تعمیر فوری و قسمتهایی نیز نیاز به بررسی داشتند .

کاربردهای الکتریکی ترموگرافی یا بازرسی مادون قرمز، که برای شناسایی عیوب، اتصالات سست و عوامل تلفات در تمامی بخشهای صنعت برق شناسایی شده اند به شرح ذیل میباشد :

الف - شبکه های توزیع: شل بودن، خوردگی، نامناسب بودن اتصالات، خرابی و نشستی جریان در سرکابلها، خازنهای در حال خرابی، برقگیرهای خراب، کلیدهایی که کنتاکتهای آنها دچار خرابی یا ضعف شده اند، نقاط دارای حرارت بیش از حد مجاز، اضافه بارها، سیمهایی که در حال پارگی هستند.

ب - کلیدها، کنتاکتورها و بخصوص کلید فیوزها: کلیدهایی که کنتاکتهای آنها دچار خرابی میباشد، شل بودن تیغه های کلید فیوزها، وجود اکسیدشدگی، ناعادلی بار، اضافه بارها، داغی کنتاکتها، داغی کابلشوهای ارتباطی.

ج - ترانسفورماتورها: شل بودن کفشکها، ضعف در اتصالات کابلشوها به بوشینگها یا کفشکها، بوشینگهای داغ شده، نامتعادلی بار فازهای ترانس، رادیاتورهای که دچار گرفتگی شده اند، مشخص نمودن سطح روغن در ترانس.

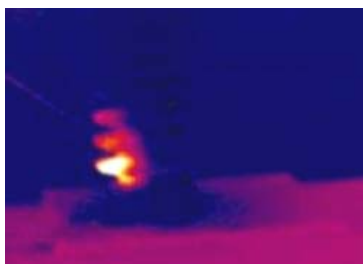
د - موتورها و ژنراتورها: نامتعادلی بار فازها، داغ شدگی زغالها، بوبینهای اتصال شده، کموتاتورهای معیوب، سایر نقاط داغ.

بر اساس آمارگیری که از خرابیهایی که توسط شرکت متروی Hatford از طریق بازرسی مادون قرمز صورت گرفته، ذکر شده است که از بین ۱۰ عاملی که در تاسیسات الکتریکی ایجاد اشکال میکنند، خرابی اتصالات در رتبه اول هستند و تنها راه سریع و بموقع جهت شناسایی این اشکالات انجام بازرسیهای سالیانه در کلیه تاسیسات الکتریکی از ساختمانهای مسکونی، تجاری و صنعتی، اعم از کابلها، باس بارها، تابلوهای توزیع، شبکه های هوایی وزمینی، موتورها و کنترلرها و ... میباشد. در این بازرسی ها کلیه نقاط داغ یا قسمتهایی که تفاوت دمایی زیادی با فازهای مشابه یا شرایط کار

عادی خود دارند مشخص میشوند، با این روش میتوان اتصالات سست ، اضافه بارها، نامتعادلی بارها، جریان زمین بیش از حد در نوترال و سایر قسمتهایی که نیاز به تعمیر دارند را شناسایی کرد [۲]. در این تحقیق سعی شده است، نمونه هایی عملی از این موارد که شناسایی شده اند در چند بخش و در تجهیزات مختلف شبکه های برق تشریح گردند تا اهمیت موضوع تلفات ناشی از اتصالات سست شفاف تر شود .

۱-۲ مقره ها و پوشینگها

اشکالاتی مانند ترکهای ریز در مقره ها که سبب آرک زدگی و تخلیه جزئی (Partial discharge) یا نشت جریان در آنها میگردد، اختلاف دمایی حدود ۱ الی ۲ درجه ایجاد میکند که توسط ترموویژنهای مرغوب قابل شناسایی هستند [۲].



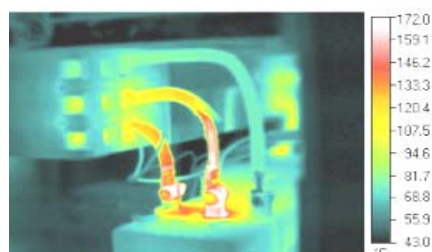
شکل ۱-۲ - در این شکل وجود آرک در پوشینگ ترانس دیده میشود.

۲-۲ اتصالات

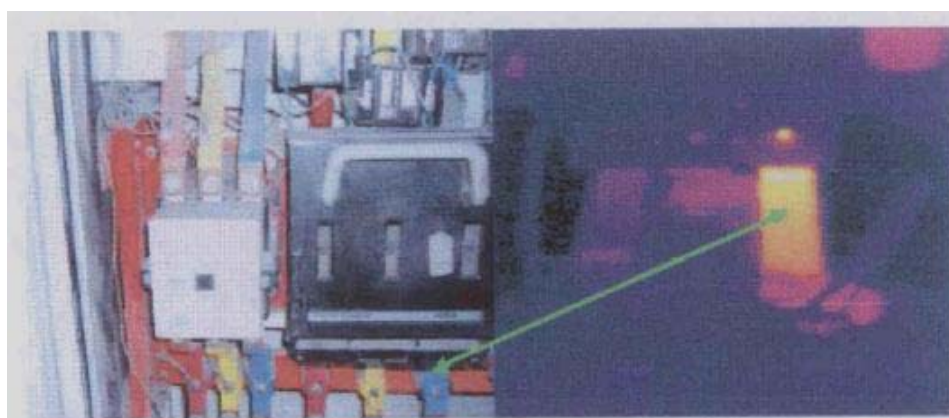
اتصالات سست از عمده ترین اشکالاتی هستند که به فراوانی در شبکه های برق و سایر سیستم های الکتریکی یافت میشوند . تجربه نشان داده است بازدید و تعمیرات عادی روی اتصالات راه حل کافی برای رفع اشکال خرابی در اتصالات نمی باشد و ممکن است بازهم عیوبی بوجود آیند . کنتاکتهای شل یا دارای فشار کم ممکن است در هنگام مونتاژ یا نصب تجهیزات یا دستگاه ها بوجود آیند، عدم استفاده از واشر فنری در اتصالاتی که در حرکت هستند (شبکه های هوایی)، هرز شدن پیچ و مهره ها (بولتها) در بولتهای زیاد سفت شده و عدم استفاده از کلمپ مناسب در اتصالات باعث

افزایش حرارت در این موارد میگذرد. افزایش حرارت در درازمدت سبب اکسیدشدگی بیشتر در محل اتصال و به دنبال آن افزایش بیشتر حرارت میگذرد. افزایش دما تا جایی ادامه مییابد که به دمای ذوب مواد تشکیل دهنده رسیده و سبب خرابی کامل تجهیز میگذرد. شل بودن کابلشوها و وجود اکسیدشدگی در محل اتصال آنها به شینه یا تیغه ارتباطی کلیدها یا سایر تجهیزات نیز از موارد شایع در تابلوها و شبکه میباشند که بایستی مورد توجه قرار گیرد.

بازرسی مادون قرمز همراه با تهیه تصاویر حرارتی به ما این امکان را میدهد که اشکال را بطور دقیق یافته و برای رفع این اشکال برنامه ریزی و اقدام نماییم [۲].

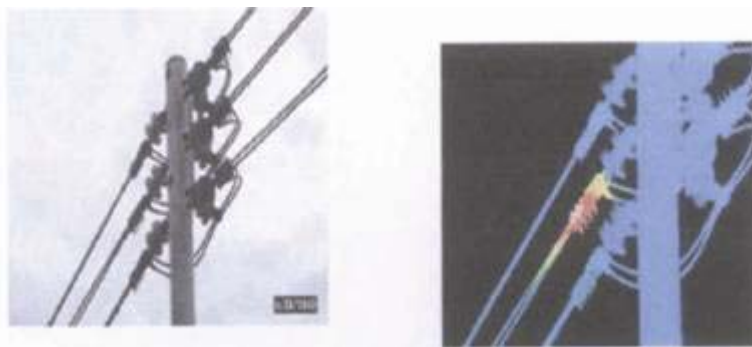


شکل ۲-۲ - افزایش مقاومت در اتصال بولت، سبب سوختگی در عایق کابل شده و این اشکال بایستی سریعاً رفع گردد [۲].



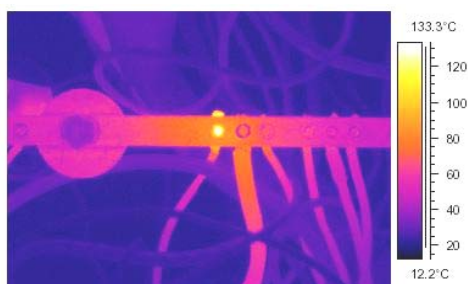
شکل ۲-۳ - در این شکل نیز وجود داغی در اتصال بولت دیده میشود [۱۳].

وجود اکسیدشدگی در محل ارتباط سیمهای شبکه به کلمپها و در محل اتصالات باعث افزایش حرارت در آنها میگذرد.



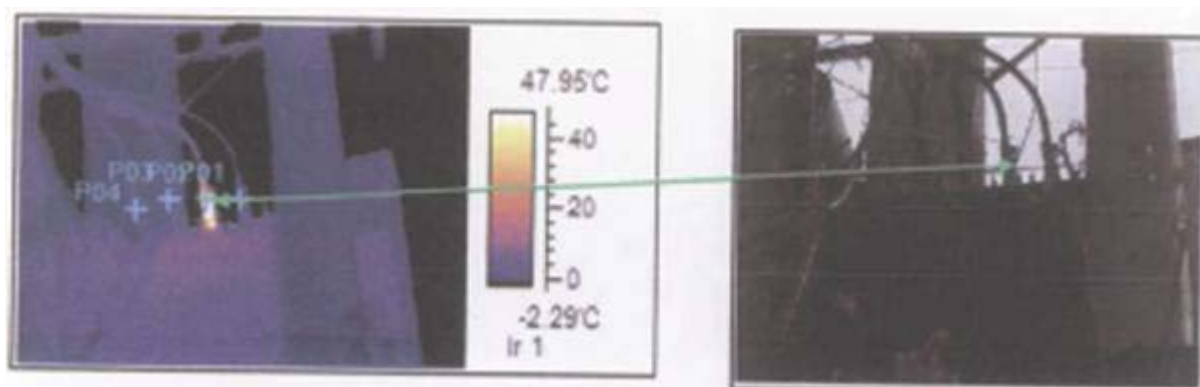
شکل ۲-۴- در این شکل وجود داغی در اتصال کلمپ شبکه دیده میشود [۱۱].

در مواردی نیز وجود جریان نول بیش از حد و شل بودن اتصال مربوط به شینه نول در تابلوها مشاهده شده است که سبب ایجاد حرارت بیش از ۱۰۰ درجه سانتیگراد میشود .



شکل ۲-۵- در این شکل وجود جریان زیاد در سیم نول در داخل یک تابلو دیده میشود [۱۳].

وجود سستی در اتصالات بین کفشکها و میله پوشینگها در ترانسفورماتورها و یا کابلشوهای مربوط به کابلهای متصل به کفشک نیز میتواند سبب ایجاد اتصال سست، داغی و آسیب رسیدن به پوشینگ ترانسها و خرابی آنها شود .



شکل ۲-۶- در این شکل وجود اشکال و داغی در اتصالات کفشک ترانس هوایی دیده میشود [۱۲].

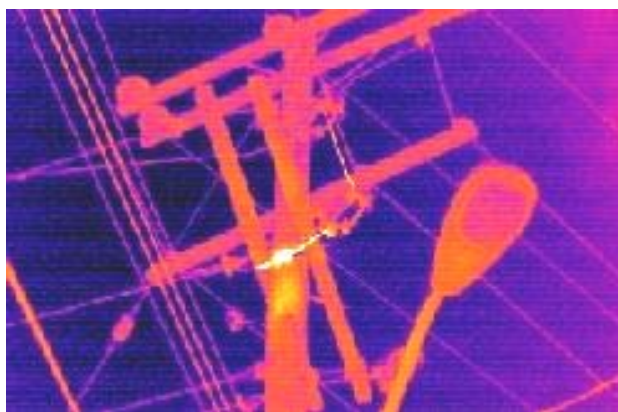
۲-۳ هادیها ، کابلها و سرکابلها

استفاده از بازرسی مادون قرمز در هادیها برای شناسایی اضافه حرارت های ناشی از اضافه بار یا کابل های سایز پایین، مقاومت های بالا ناشی از وجود اکسیدشدگی در اتصالات جمپر ها، اتصالات سست ناشی از بهم تابیده شدن سیمها در انشعابات بجای استفاده از کلمپ و شناسایی سرکابل های معیوب (دارای نشتی) بکار میرود.

وجود جمپر های غیراستاندارد نیز یکی از موارد عمده بروز داغی و تلفات انرژی در شبکه توزیع میباشد که به دو علت رخ میدهد:

الف- نامتناسب بودن مقطع سیم جمپر با جریان عبوری از آن.

ب- سست بودن محل اتصال جمپر به شبکه، ناشی از عدم استفاده از کلمپ مناسب.



شکل ۲-۷- در این شکل وجود جمپر غیراستاندارد در شبکه فشار متوسط هوایی دیده میشود [۱۳].

حرارت بیش از حد در یک هادی ممکن است ناشی از اضافه بار باشد، بنابراین نیاز به یک قرائت بار روی سیمها نیز میباشد. اگر دمای سیم بیشتر از ۳۰ درجه بالای دمای محیط باشد. اضافه حرارت میتواند ناشی از نامناسب بودن سایز کابل با جریان غیرمجاز عبوری از آن باشد.

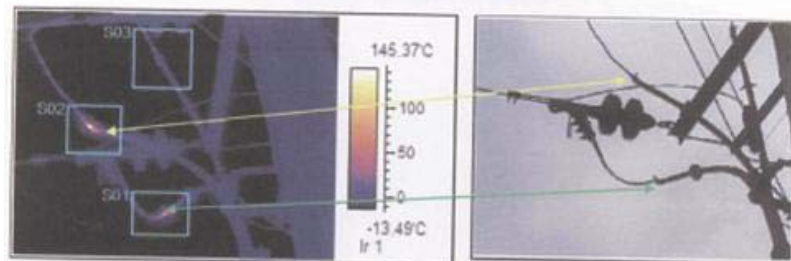
وجود داغی در سیمهایی که هیچگونه اتصالاتی در آنها وجود ندارد، نشاندهنده پارگی در رشته سیمها یا خرابی در آن میباشد.

وجود دمای بیش از حد در یکی از فازهای سیستمهای سه فاز نشاندهنده ناعادلانه بار میباشد. برای اطمینان بیشتر بایستی با استفاده از یک آمپر متر تفاوت بار فازها کنترل شوند و بعد از آن میتوان به وجود خرابی یا ناعادلانه پی برد.

وجود دمای زیاد روی یک قسمتی از کابلی که در نزدیکی آن هیچگونه اتصالاتی وجود ندارد میتواند ناشی از وجود نشتی جریان باشد و بایستی از طریق تستهای عایقی مربوطه شناسایی شده و سریعاً رفع اشکال گردد.

سرکابلها نیز یکی از تجهیزات مهم در شبکه های برق میباشند که تنها راه شناسایی اشکالات در آنها بخصوص در سرکابلهای خشک که به دلیل وجود نشتی و اتلاف انرژی گرم میشوند، استفاده از بازرسی مادون قرمز میباشد.

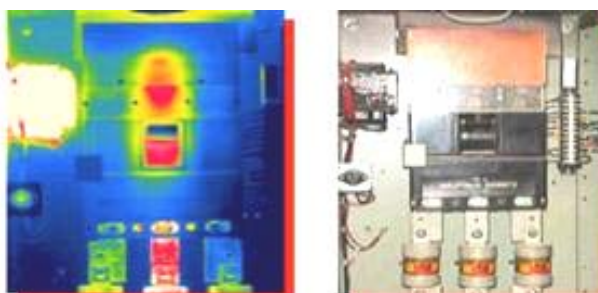
در شکل ۲-۸ یکی از سرکابلها با سرکابلهای مشابه خود حدود ۳۰ درجه اختلاف دمایی دارد که میتواند ناشی از نشتی در سرکابل یا شل بودن اتصال سیم شبکه به این سرکابل باشد. لذا ادامه این وضعیت منجر به خرابی کامل سرکابل و ایجاد خاموشی در شبکه خواهد شد [۲].



شکل ۲-۸- در این شکل وجود داغی در یکی از سرکابلها مشاهده میشود [۱۲].

۲-۴ کلیدها

در شبکه های برق انواع زیادی کلیدهای مکانیکی وجود دارند که وظیفه قطع و وصل جریان برق، قطع دستی، قطع اتوماتیک تحت اضافه بارها یا اتصال کوتاه را دارند. این کلیدها میتوانند در برابر اضافه جریانه‌های شدید برای حفاظت خطوط یا موتورها، جریان برق را قطع کنند. این کلیدها ممکن است به دلیل وجود گرمای بیش از حد نیز تحریک شده و قطع نمایند که این اضافه حرارت میتواند ناشی از وجود یک اتصال ضعیف و نامناسب باشد. تست کنتاکت رزیستانس^۳ میتواند به مشخص شدن صحت اتصالات کنتاکتهای کلیدها کمک کند [۲].

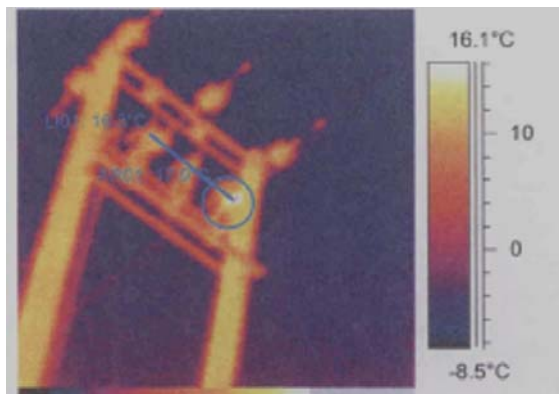


شکل ۲-۹- این شکل وجود اشکال در پل وسط کلید را نشان میدهد [۲].

۲-۵ سکسیونرها و کلیدهای جداساز

رگلاژ نبودن تیغه ها در سکسیونرها و کلیدهای جداساز و همچنین عللی از قبیل تحت فشار نبودن تیغه های این تجهیزات، وجود آرک یا اکسیدشدگی، میتواند سبب ایجاد مقاومت، حرارت و در نتیجه تلفات شود بنابراین بازرسی مادون قرمز مطمئن ترین راه برای اطمینان از سالم بودن وضعیت اینگونه کلیدها در شبکه فشارقوی میباشد [۱۳].

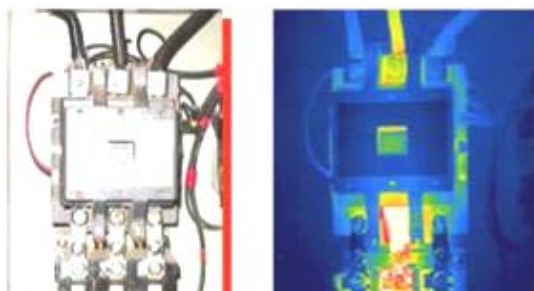
۳- تست کنتاکت رزیستانس جهت اندازه گیری مقاومت موجود بین کنتاکتهای موجود در کلیدها در رنج میکرو اهم با دستگاه مربوطه صورت میپذیرد.



شکل ۲-۱۰- این شکل وجود اشکال در پل وسط کلید سکسیونر هوایی را نشان می‌دهد [۱۳].

۶-۲ کنتاکتورها

بازرسی مادون قرمز در مورد کنتاکتورها نیز یک روش تست برای شناسایی حرارت‌های اضافی در قطعات داخلی کنتاکتور مانند اتصالات معیوب، ضعیف بودن اتصال کابل‌های ارتباطی، داغ بودن بوبین‌ها و شناسایی مقاومت‌های اضافی می‌باشد [۲]. شکل ۲-۱۱ نمونه‌ای از این اشکالات را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۱- این شکل وجود اشکال و حرارت در قسمت پایین فاز وسط کنتاکتور را نشان می‌دهند [۲].

۷-۲ پایه فیوزها

یکی از عمده‌ترین موارد اتصالات سست در تابلوهای توزیع برق، وجود اشکال در پایه فیوزها

می‌باشد، مسائلی که فقط از طریق بازرسی مادون قرمز قابل شناسایی هستند به شرح ذیل می‌باشند:

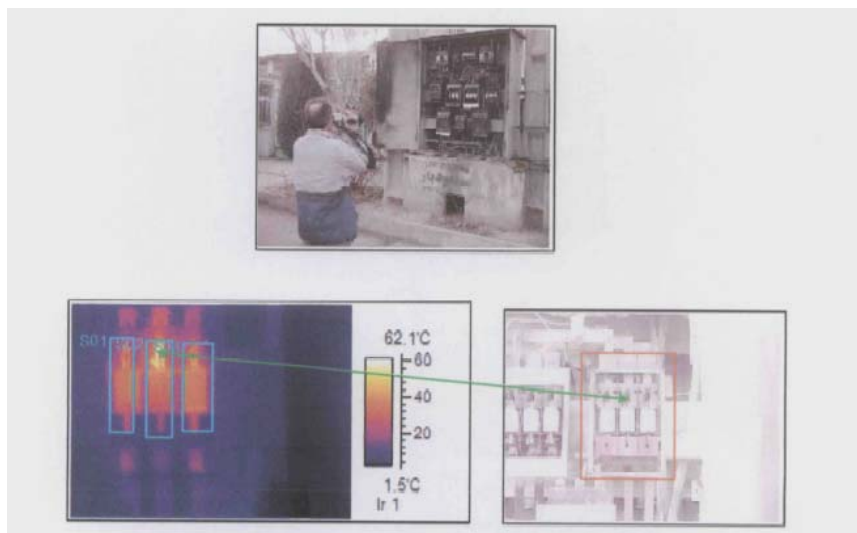
۱- شل بودن گیره‌ها در پایه فیوزها یا کلید فیوزها که یکی از موارد عمده می‌باشند و نیاز به

توجه ویژه دارد.

۲- وجود خوردگی و اکسید شدگی در گیره ها

۳- نامناسب بودن اتصال کابلشوی کابلها به پایه فیوز

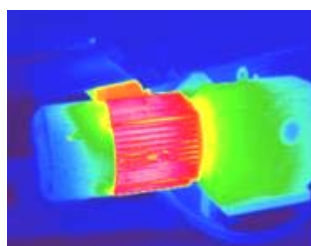
۴- وجود اضافه بار در مصرف کننده یا عبور جریان بیش از حد در یکی از فازها



شکل ۲-۱۲- این شکل وجود اشکال و حرارت در گیره پایه فیوز در فاز وسط کنتاکتور را نشان می دهند [۱۲].

۲-۸ ضعیف بودن یا بالابودن ولتاژ تغذیه

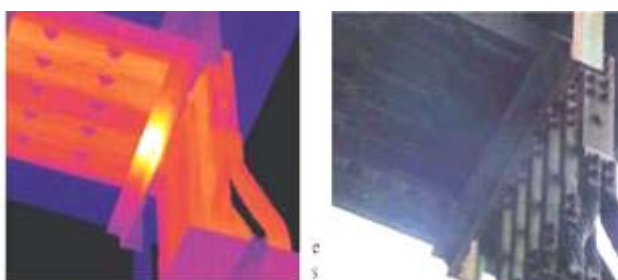
یکی دیگر از عوامل افزایش تلفات حرارتی، استاندارد نبودن ولتاژ تغذیه دستگاهها میباشد، با توجه به اینکه موتور الکتریکی یک سیستم توان ثابت میباشد، با کاهش یافتن ولتاژ تغذیه، موتور برای ایجاد توان نامی خود، سبب افزایش جریان شده و این افزایش جریان، ایجاد تلفات حرارتی مضاعف در بوبینهای موتور میکند. بالا بودن ولتاژ نیز سبب اشباع هسته موتور و ایجاد تلفات آهنی بیش از حد در هسته و در نتیجه افزایش حرارت در موتور میشود. در موتورهای سه فاز، وجود ناعادلی ولتاژ در فازها نیز، سبب افزایش جریانها و در نتیجه افزایش حرارت میشود [۲].



شکل ۲-۱۳- این شکل وجود حرارت ناشی از پایین بودن ولتاژ تغذیه را نشان می دهند.

۹-۲ حرارت القایی

جریان متناوب در هر سیستم الکتریکی سبب القای فلوی مغناطیسی در سطوح فلزی اطراف خود می‌گردد. این پدیده در سیستمهایی که جریان و فلوی مغناطیسی شدید هستند جدی تر می‌گردد. این میدان القایی سبب ایجاد جریانهای گردابی در سطوح فلزی شده و در نتیجه تلفات حرارتی ایجاد مینماید. بطور مثال وجود بولتهای آهنی در باسبارهای آلومینیومی یا مسی میتواند سبب داغ شدن بولت گردد [۲].



شکل ۲-۱۴- این شکل وجود حرارت ناشی از وجود جریانهای گردابی را نشان میدهد.

۲-۱۰ ترانسفورمرها

ترانسها نیز بایستی از نظر سطح روغن، گرفتگی لوله ها و پره های رادیاتور و اتصالات داخلی و خارجی، اتصالات کابلهای خروجی و ورودی، وجود آرکهای داخلی و خارجی و داغی در بعضی قسمتهای ترانس مورد بازرسی مادون قرمز قرار گیرند [۲].



شکل ۲-۱۵- ترانسفورماتوری که لوله های و پره های رادیاتور آن دچار گرفتگی شده است.

یکی از موارد عمده خرابی در ترانسفورماتورهای توزیع ، بروز اشکال در پوشینگها و نشت روغن در آنها میباشد که عمدتاً "بعلت نامناسب بودن اتصالات در کابلشوهای ورودی و خروجی رخ میدهد . با افزایش دمای میله برنجی پوشینگ ، واشرهای لاستیکی آن دچار عیب و سوختگی شده و منجر به نشت روغن میگردد .



شکل ۲-۱۶- ترانسفورماتوری که پوشینگ فشارضعیف نشت روغن شده است [۱۴] .

۳ - ارائه راه حل مناسب

همانطور که در مثالهای فوق دیده شد، میتوان میزان عیب موجود و روند پیشرفت آنرا در تجهیزات مختلف از طریق بازرسی مادون قرمز و شناسایی نقاط داغ، تعیین نمود. از آنجا که عبور جریان الکتریکی از دستگاهها، تجهیزات و اتصالات با تولید حرارت همراه میباشد لذا اندازه گیری دقیق درجه حرارت تجهیزات مختلف و مقایسه آن با شرایط کار عادی و نرمال، بعنوان روشی برای پیش بینی و در نهایت پیشگیری از عیوب تجهیزات در شبکه های برق و اتصالاتی در شبکه بوده و سیستمهای بازرسی مادون قرمز (دوربینهای ترموویژن) با دارا بودن امکان اندازه گیری دقیق درجه حرارت و تصویربرداری حرارتی بدون نیاز به تماس با تجهیزات مورد بازرسی، این شرایط را فراهم میکنند. تجربه نشان داده است که صرف هزینه جهت تصویربرداری حرارتی با دوربینهای ترموویژن در صنعت برق بازگشت اقتصادی خواهد داشت و این بازگشت سرمایه از طرق ذیل حاصل میگردد:

۱- کاهش تلفات.

۲- امکان بازرسی تجهیزات بدون نیاز به قطعی برق.

۳- جلوگیری از قطعیهای ناخواسته و ایجاد انرژی توزیع نشده.

۴- افزایش طول عمر بهره برداری از تجهیزات.

۵- جلوگیری از سوختن و آتش سوزی در تاسیسات و خسارت به تجهیزات و در نتیجه صرف هزینه های هنگفت برای تعمیرات غیر ضروری.

۶- نیاز کمتر به نگهداری تجهیزات رزرو (Spare) در انبارها.

بنابراین انجام بازرسی مادون قرمز یک روش کاملاً اقتصادی و یکی از نیازهای اساسی، برای بهبود عملیات بهره برداری و تعمیرات در شبکه های برق میباشد.



۳-۱- نحوه رفع عیب

پس از شناسایی نقاط داغ از طریق بازرسی مادون قرمز، بایستی بتوان علت ایجاد حرارت را بدرستی تشخیص داد، یکی از شایع ترین تصورات در بخشهای بهره برداری و نگهداری شبکه های برق بر این است که اتصالات الکتریکی داغ را میتوان با آچارکشی و سفت کردن اتصالات برطرف نمود در حالیکه این ممکن است کار را حتی بدتر کند و تصور دیگر این است که اگر یک اتصال داغ از طریق بازرسی مادون قرمز شناسایی و رفع عیب شد دیگر ضرورتی برای بازرسیهای مرتب دوره ای پیشگیرانه نیست. در حالیکه بر اساس تحقیقات و گزارشات شرکتهای فعال در این زمینه، هر دو این تصورات اشتباه میباشد.

در روشهای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه موجود در صنایع، چند رویه برای نگهداری و شناسایی اتصالات سست و سایر عیوب وجود دارد، اعم از بازرسی چشمی (بصری)، نظافت تجهیزات، آچارکشی اتصالات، تستهای جریانی، تستهای کنتاکت رزیستانس و تستهای عایقی که همگی در جای خود مورد استفاده قرار میگیرند. اما بایستی در مورد آچارکشی اتصالات دقت ویژه ای صورت پذیرد.

تحقیقات شرکتهای فعال نشان میدهد که برای رفع عیب اتصالات سست و نقاط داغ، انجام آچارکشی به تنهایی موثر نبوده و مناسبترین کار دمونتاژ کردن اتصالات است. باید در نظر داشت که در اتصالات داغ احتمال وجود اکسیدشدگی در طول بهره برداری و کثیفی سطوح اتصال بسیار بالاست، بنابراین بایستی با رویت دقیق اتصالات، کلیه این موارد برطرف شده و اتصالات مجدداً مونتاژ و آچارکشی شوند [۴].

۳-۲- مشخصات یک اتصال خوب

یک اتصال خوب بایستی دو مشخصه ذیل را داشته باشد :

الف - تمیزی سطح کنتاکت .

ب - محکم بودن و تحت فشار قراردادن سطوح اتصال .

ج - عدم وجود ناصافی و خلل در سطوح تماس اتصالات .

پس مهم است که این تفکر برای بخشهای نگهداری و تعمیرات ایجاد شود که تنها علت وجود داغی در اتصالات، به دلیل شل بودن آن نیست بلکه این اتصال میتواند دارای اکسیدشدگی، خوردگی یا کثیفی در سطوح تماس اتصال باشد و یا اینکه به دلیل خرابی در پیوند و رزوه پیچ و مهره ها (بولتها) یا استفاده از پیچ و مهره نامناسب و یا حتی به دلیل وجود ناصافی در سطوح و عدم امکان چفت شدن کامل اتصال باشد .

پیشنهاد دیگر برای سفت یا محکم نمودن پیچ و مهره ها استفاده از دستگاه پیچش اتوماتیک مجهز به ترک متر (Torque meter) است و لذا بایستی میزان پیچش مناسب پیچ و مهره ها از سازندگان اخذ شده و مورد توجه قرار گیرند [۴] .

نکته قابل توجه دیگر در عیب یابی اتصالات داغ، امکان وجود اضافه بار در تجهیزات و اتصالات است لذا بایستی همیشه در عیب یابی شبکه های برق به متناسب بودن بار عبوری از کابلها و هادیها با سائز آنها نیز توجه کامل نمود .

در خصوص کابلشوها نیز بایستی این توصیه را کرد که بهیچوجه از دستگاههایی غیر از پرس کابلشوی استاندارد هیدرولیکی، استفاده نگردد . گاهی مشاهده شده که از قیچی یا پرس کابلشوهای نامناسب استفاده گردیده است .

۳-۳- ملاک سستی یا داغ بودن یک اتصال

تجربه نشان داده است که عمر تجهیزات، تاسیسات و کلیه مواد در برابر دماها و حرارت‌های غیر مجاز کاهش می یابد. بنابراین دقت به دمای بهره برداری از تاسیسات و مورد توجه قرار گرفتن دماهای مجاز بهره برداری براساس استاندارد ها و دستورالعمل‌های سازندگان ضروری است [۵]. بنابراین اگر حداکثر دمای محیط ۴۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شود میتوان جدول ذیل را برای شناسایی نقاط داغ ناشی از اتصالات سست مورد استفاده قرار داد.

جدول حداکثر دمای بهره برداری تجهیزات	حداکثر میزان افزایش از دمای محیط	حداکثر دمای مجاز بهره برداری
کابل‌های پروتودور مورد استفاده در شبکه های فشارضعیف []	۳۰	۷۰
کابل‌های پروتولین کراس لنیک مورد استفاده در شبکه فشارقوی []	۵۰	۹۰
سیم‌های هادی خطوط []	۵۰	۹۰
اتصالات شینه های مسی به همدیگر []	۲۵	۶۵
اتصالات کابل‌های عایق به شینه ها یا کلیدها (کابلشوها) []	۲۵	۶۵
کتناکتهای کلیدهای قدرت (بریکرها) []	۸۵	۱۲۵
تیغه های کلید فیوزها ، پایه فیوزها و کتناکتهای سکسیونرها و سایر کلیدهای جداکننده []	۳۵	۷۵
ترانسفورماتورهای توزیع []	۷۰	۱۱۰

جدول ۳-۱- میزان حداکثر دمای بهره برداری از تجهیزات شبکه های توزیع برق.

روش دیگر برای شناسایی نقاط داغ ناشی از اتصالات سست در سیستمهای سه فاز، وجود اختلاف دمای اتصال یا قطعه در یک فاز با فازهای مشابه میباشد که در بازرسی مادون قرمز با تفاوت رنگ غیرعادی نشان داده میشود.

در ذیل نمای ظاهری یک دوربین ترموویژن پیشرفته که در بازرسی مادون قرمز مورد استفاده قرار میگیرد، آورده شده است.



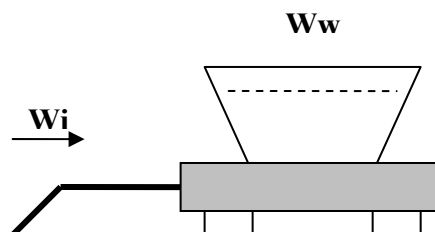
شکل ۳-۱- تصویر یک دوربین ترموویژن [۱].

۴ - نحوه محاسبه اجزاء تلفات ناشی از اتصالات سست

همانطور که در بخشهای قبل مشاهده شد یکی از عواملی که در تلفات شبکه های توزیع تاثیرگذار میباشد وجود اتصالات سست است که به صورت حرارت (تلفات ژول) به هدر میرود [۹]. گرما و حرارت انرژی است که در اثر اختلاف دما بین یک سیستم و محیط اطرافش مبادله میگردد. این حرارت سبب افزایش فرسودگی و اکسیدشدگی بیشتر در محل اتصالات و افزایش مقاومت الکتریکی محل اتصال میگردد و بصورت $(R.I^2)$ اتلاف میشود. برای تشریح بیشتر این مقوله یک هیتر الکتریکی را که در حال گرم کردن یک ظرف آب میباشد، در نظر بگیرید. با توجه به اینکه تمام شکلهای انرژی هم ارز هستند و مقدار معینی از یک شکل انرژی از بین نمی رود مگر آنکه همان مقدار در یکی از شکلهای دیگر انرژی ظاهر شود. بنابراین مقدار انرژی الکتریکی مصرف شده در هیتر را میتوان با ملاحظات و بصورت ایده آل، معادل انرژی گرمایی ذخیره شده در ظرف آب قرار داد [۱۰].

W_i ، انرژی الکتریکی مصرف شده در هیتر

W_w ، انرژی الکتریکی ذخیره شده در ظرف آب (گرمای برون داد از هیتر به ظرف آب)



$$W_i = P \cdot t$$

$$W_w = Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \rightarrow \text{if } \eta = 1 \rightarrow W_i = W_w$$

لذا میتوان نتیجه گرفت ظرف آب هنگامیکه به دمای نهایی خود برسد در هر لحظه توانی به اندازه Q را صرف میکند . پس :

$$P = Q \rightarrow P = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

در اتصالات سست میتوان موارد فوق را به این شکل تشریح کرد :

m ، جرم اتصال سست بر حسب کیلوگرم

c ، ظرفیت ویژه حرارتی (مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای جرم m)

$\Delta\theta$ ، اختلاف دمای ایجاد شده در اتصال سست با اتصالات فازهای مشابه یا سالم

مقادیر **c** برای فلزهایی مانند مس و آلومینیوم به شرح ذیل میباشد :

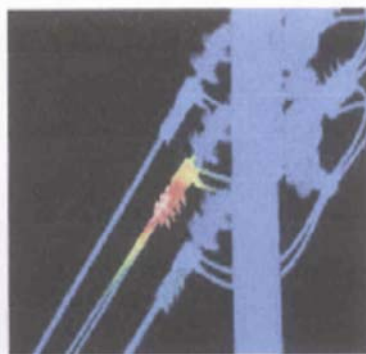
آلومینیوم ← ۰,۲۱۵

اکسید آلومینیوم ← ۰,۷۶۴

مس ← ۰,۰۹۲۳

بطور مثال میتوان گفت در اتصال سست آلومینیومی اکسید شده ذیل که جرم تقریبی کلیه اتصالات مرتبط آن ۲۰۰ گرم بوده و به میزان 100 درجه افزایش دما نسبت به فازهای مشابه یا تجهیزات مجاور دارد ، حتی اگر میزان تبادل حرارت با محیط نیز در نظر گرفته نشود ، توانی به اندازه

$$P = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 0.2 * 0.215 * 100 = 4.3 \text{ w}$$



شکل ۴-۱ - در این شکل وجود داغی در اتصال کلمپ شبکه دیده میشود [۱۱].

تلف میشود . (تبادل گرمایی با محیط نیز در نظر گرفته نشده)

که انرژی تلف شده در طول یک شبانه روز در این اتصال برابر است با :

$$(4.3 * 24 * 60 * 60) / (3600 * 1000) = 0.37 \text{ Kwh}$$

اگر انرژی تلف شده فوق در طول یک سال محاسبه شود برابر است با :

$$0.37 * 366 = 135 \text{ Kwh}$$

حال در نظر بگیرید که میلیونها مورد از این اتصالات سست در کلیه شبکه های برق موجود میباشد .

لذا هر ساله مقادیر متنابهی از انرژی الکتریکی در شبکه بصورت انرژی گرمایی در اتصالات سست

اتلاف میشود .

۵ - گزارش آماری از اتصالات سست

بر اساس بازرسی انجام شده در ۱۰ پست و ۱۰ فیدر شبکه فشارضعیف در شهر اراک نتایج فراوانی

عیوب به ترتیب ذیل حاصل گردید [۳] :

درصد فراوانی	تعداد عیب مشاهده شده	نوع اتصالات سست
۳۷	۱۱	پایه فیوزها و کلید فیوزها
۲۶	۸	جمپهای غیر استاندارد
۲۳	۷	کابلشوها
۱۰	۳	وجود داغی در بولتهاروی شینه ها
۳	۱	داغی در اتصال سیم نول ناشی از زیاد بودن جریان نول به دلیل ناتعادلی جریان
۱۰۰	۳۲	جمع

جدول ۵-۱- جدول فراوانی عیوب شناسایی شده در شبکه نمونه در شهر اراک [۳].

در جدول فوق، در جامعه آماری تعریف شده، پایه فیوزها دارای بیشترین سهم وجود سستی در اتصالات را که ناشی از شل شدن تیغه های نگهدارنده فیوز میباشد را دارا هستند. که یکی از علل آتش سوزی در تابلوها نیز مربوط به همین مقوله میباشد. لذا تصویربرداری حرارتی مادون قرمز یا اندازه گیری میزان حرارت اتصالات در تابلوها و ثبت و کنترل دمای فازهای پایه فیوزها و کابلشوهای مرتبط، توسط مسئولین کنترل بار که خوشبختانه در ساعات پیک نیز به تابلوها مراجعه میکنند، جهت انجام اقدامات پیشگیرانه لازم است.

۶ - نتیجه گیری

طی این بررسیها نمونه های متعددی از اتصالات سست شناسایی شده و میزان تلفات آنها نیز با روشهای ریاضی فوق الذکر قابل محاسبه و ارائه میباشد. در این تحقیق سعی شد اهمیت ایجاد سیستم *PPM* یا به عبارتی سیستم نگهداری پیشگیرانه و پیشگویانه در شرکتهای توزیع برق، از طریق مهندسی نمودن واحدهای خدمات فنی را تشریح نماید. لذا توجه به آیتمهای ذیل ضروری میباشد:

- ۱- بکارگیری کارشناسان فنی و متخصص در بخشهای تعمیرات و خدمات فنی.
- ۲- استفاده از تجهیزات مدرن از قبیل دوربینهای ترموویژن، دوربین های کرنا و سایر دستگاههای عیب یاب در هنگام بازدیدهای دوره ای پستها و شبکه.
- ۳- ایجاد بانکهای اطلاعاتی برای برنامه ریزی و کنترل بازدید و سرویس های ادواری.
- ۴- تجزیه و تحلیل عیوب و حوادث شبکه و تهیه دستورالعملهای بهبود بهره برداری از تجهیزات.
- ۵- تهیه و تدوین دستورالعملهای فنی برای نصب صحیح تجهیزات و انجام آچارکشی صحیح اتصالات و بولتها قبل از بهره برداری، بخصوص در تابلوها.
- ۶- انجام بازدید و سرویسهای دوره ای منظم و آچارکشی تجهیزات و یراق آلات شبکه فشارمتوسط و فشارضعیف.
- ۷- دقت بیشتر در بررسی فنی و خرید تجهیزاتی از قبیل کلید فیوزها، کلمپها و سایر یراق آلات و تجهیزات شبکه.
- ۸- استفاده از سکسیونرها یا کلیدهای جداساز بجای باز و بست جمپرها در هنگام مانورهای شبکه.



شکل ۶-۱ - در این شکل سکسیونر مانوری شبکه دیده میشود [۱۴].

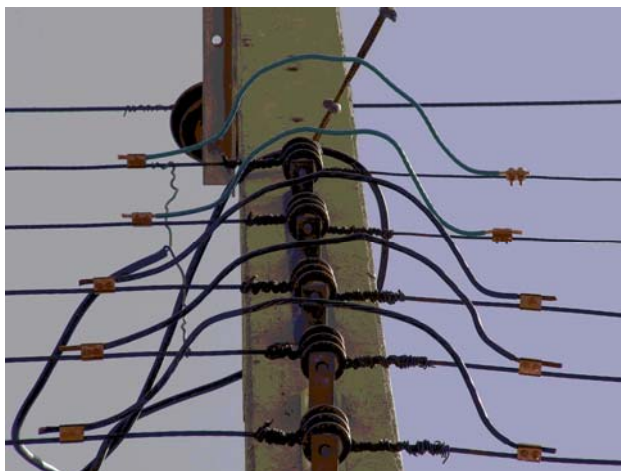
۹- استفاده از کلمپ و رکاب خط گرم در انشعابات سرخطها و جمپرهای ارتباطی پستهای هوایی و سرکابلهای پستهای زمینی به شبکه فشارمتوسط هوایی .



شکل ۶-۲ - در این شکل استفاده از کلمپ و رکاب خط گرم در سرخط شبکه ۲۰ کیلوولت جهت بازوبست در مواقع نیاز را نشان میدهد [۱۴].

۱۰- استفاده از اکیپهای خط گرم با روش فرمان از نزدیک برای داشتن امکان بازدید دقیق شبکه و انجام آچارکشی یراق آلات شبکه .

۱۱- توجه به بازسازی و اصلاح جمپرهای فشارضعیف .



شکل ۶-۳ - در این شکل ترمیم و باسازی جمپرهای شبکه فشارضعیف دیده میشود [۱۴].

۱۲- آموزش، پیگیری و نظارت بر نحوه عملکرد اکیپهای عملیات اتفاقات در انجام رفع خاموشیها و اصلاحاتی که در شبکه انجام میدهند ، بعضاً "مشاهده میگردد که به دلیل فوریتی بودن فعالیتهای این اکیپها، دقت کافی در انجام اصلاحات شبکه و اتصالات بصورت استاندارد صورت نمیپذیرد .

و بایستی توجه داشت که صرف هزینه در این بخشها کاملاً "اقتصادی و با کاهش تلفات و انرژیهای توزیع نشده، برگشت پذیر بوده و از اتلاف سرمایه های ملی نیز جلوگیری خواهد کرد .

مراجع

- ۱- گزارشات تجربیات فنی شرکت FLIR از سازندگان مطرح دستگاههای دوربین ترموویژن و دوربین کرونا به آدرس اینترنتی :
<http://www.flirthermography.com>
- ۲- تجربیات فنی آکادمی Infrared Thermography به آدرس اینترنتی :
<http://www.academy-of-infrared.com>
- ۳- گزارش فنی مورخ ۸۴/۶/۲۹ در خصوص نتایج بازدید پستها و شبکه جهت شناسایی اتصالات سست و اندازه گیری نقاط داغ ، در شرکت توزیع استان مرکزی .
- ۴- گزارش فنی در سایت Maintenance Technology به آدرس اینترنتی :
<http://www.mt-online.com>
- ۵- گزارش فنی آقای Ron Newport از موسسه institute of infrared thermography
تحت عنوان :
Electrical System Reliability utilizing Infrared Thermography
- ۶- استاندارد کابلهای مورد استفاده در شبکه توزیع - وزارت نیرو - جلد اول صفحه ۳ .
- ۷- استاندارد تابلوهای مورد استفاده در شبکه توزیع - وزارت نیرو - جلد اول صفحه ۳۰ .
- ۸- جزوه اصول کار بهره برداری از ترانسفورماتورهای توزیع - موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران -
بارگیری از ترانسفورماتور .
- ۹- کتاب بررسی تلفات الکتریکی در شبکه برقرسانی تالیف دکتر قدرت اله حیدری .
- ۱۰- کتاب فیزیک حرارت هالیدی ، مرکز نشر دانشگاهی .
- ۱۱- گزارش فنی شماره 21794 به تاریخ 1383/7/22 شرکت سنس در خصوص کاربرد ترموویژن برای بازرسی فنی تجهیزات الکتریکی شبکه توزیع برق .

۱۲- گزارش فنی شماره ۶۰۷ به تاریخ ۸۳/۱۰/۵ در خصوص تصویربرداری حرارتی شبکه های توزیع برق

استان مرکزی توسط شرکت سپیداندیشه پرداز .

۱۳- گزارش فنی شماره ۴۳۷۹/۸۵۰ به تاریخ ۸۲/۸/۱۱ در خصوص تصویربرداری حرارتی شبکه های

توزیع برق استان مرکزی توسط شرکت بتانیر .

۱۴- تصاویر نمونه اصلاح اتصالات، طی تعمیرات انجام شده در شبکه توزیع برق استان مرکزی .

