

معرفی و کاربرد آنالیز حرارتی در عیب‌یابی واگنهای مولد برق قطارهای مسافری

علیرضا نوری^۱

شرکت قطارهای مسافری رجاء _ کارخانه برق واگنها و مولدهای برق

ARN_RPT@YAHOO.COM

چکیده

واگنهای مولد برق در سازمان قطارهای مسافری بواسطه تولید انرژی الکتریکی و ارتباط نزدیکی که با آسایش مسافران دارد، از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است. بکارگیری و اجرای روشهای پیش‌بینی خرابی و مراقبت وضعیت، یکی از اهداف کارخانه برق واگنها و مولدهای برق جهت این واگنها، می‌باشد. جهت آماده بکار بودن و قابلیت اطمینان بالا در ماشین‌آلات مکانیکی و بخصوص تجهیزات و ماشین‌آلات الکتریکی واگنهای مولد برق، بکارگیری و اجرای آنالیز حرارتی در دستورکار این کارخانه قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل و تفسیر آنالیز حرارتی براساس شرایط تجهیزات، استانداردها و دمای مجاز آنها انجام می‌گیرد و براین اساس سرویس‌ها و تعمیرات مربوطه انجام می‌شود. در این مقاله تئوری، الویت‌بندی تجهیزات و زمان انجام کار، عوامل و فاکتور مهم، روشهای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها و تجزیه و تحلیل آنها، تعیین معیارها و استانداردها، برآورد و تعیین صرفه‌جویی‌های اقتصادی و برخی نتایج انجام آنالیز حرارتی بر روی واگنهای مولد برق ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: واگن مولد برق _ آنالیز حرارتی _ مراقبت وضعیت

۱- مقدمه

بکارگیری روشهای مختلف نگهداری و تعمیرات در صنعت و پایه‌ریزی اصول نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه قدمتی بیش از ۵۰ سال دارد. تاکنون روشهای متفاوتی در ارتباط با نگهداری و تعمیرات عرضه شده است که در این میان می‌توان به روشهایی مانند تعمیرات بعد از خرابی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، نگهداری و تعمیرات با دیدگاه بهره‌وری و سایر روشها اشاره نمود. در این میان دیدگاه نگهداری بهتر از تعمیرات و پیشگیری قبل از خرابی بایستی به عنوان اولین و تنها اصل در نظر گرفته شود و نگهداری و تعمیرات براساس آن، اجراء گردد. با توجه به پیشرفت تکنولوژی، بررسی دائم وضعیت تجهیزات با تکیه بر دیدگاه فوق و اجرای روشهای مراقبت وضعیت (Condition Monitoring) و انجام نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه (Predictive Maintenance) یکی از روشهای موثر جهت تحقق هدف اشاره شده، می‌باشد.

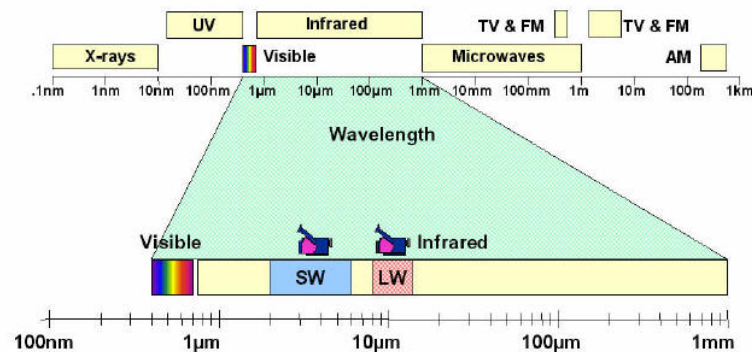
یکی از روشهای مراقبت وضعیت و پیش‌بینی عیوب ماشین‌آلات مکانیکی و الکتریکی، بهره‌گیری از آنالیز حرارتی می‌باشد. این روش جهت شناسایی و تشخیص عیوبی مانند اتصالات الکتریکی نامناسب، شل بودن قطعات و تجهیزات، تغییرات متالورژی، بار بیش از حد، خنک‌کاری نامناسب، ولتاژ نامناسب و غلط، اتصال و رسانایی نامناسب، ظرفیت نامناسب، خوردگی و فرسایش خارجی، عدم هم‌محوری و ارتعاشات بیش از حد می‌باشد. اجرای مناسب این روش در شرکت قطارهای مسافری رجاء

^۱ - کارشناس ارشد مکانیک _ طراحی کاربردی

که دارای تعداد زیادی تجهیزات الکتریکی و مکانیکی مانند مدارات و کارتهای الکترونیکی، انواع و اقسام رله، بریکرهای قدرت، خطوط انتقال قدرت، ترانسهای جریان، مقاومت و کنتاکتور، موتورهای الکتریکی، ژنراتور، بلبرینگ و رولبرینگهای سرمحور، و انواع بویلر در واگنهای مسافری، مولدهای برق و بخار، واگنهای خودکشش و توربو ترن می باشد، می تواند کاهش انفصالتها در سیر، ارتقاء قابلیت اطمینان واگنها، بهبود شرایط ایمنی و راحتی مسافر، کاهش میزان تاخیرات و بهره گیری از حداکثر ظرفیت ماشین آلات و تجهیزات و واگنها را به همراه داشته باشد.

۲- تئوری آنالیز حرارتی

انرژی مادون قرمز قسمتی از طیف الکترومگنتیک (Electromagnetic spectrum) را تشکیل می دهد. رفتار این انرژی مانند نور مرئی می باشد. این انرژی در فضا با سرعت نور حرکت کرده و می تواند منعکس، شکسته، جذب و ساطع شود. طول موج انرژی مادون قرمز بیشتر از نور مرئی بوده و بین $1000\mu\text{m}$ - $0.7\mu\text{m}$ می باشد. امواج الکترومگنتیک شامل امواج رادیویی، ماورای بنفش، x-ray و غیره می باشد. قسمت قابل مشاهده در این امواج دارای طول موج $0.75\mu\text{m}$ - $0.4\mu\text{m}$ می باشد. در شکل ۱ طیف الکترومگنتیک و تقسیم بندی آن آورده شده است.



شکل ۱- طیف الکترومگنتیک و تقسیم بندی آن

تمام اشیاء از خود تشعشع مادون قرمز ساطع می کنند. این تشعشع تابعی از درجه حرارت آنها می باشد. انرژی مادون قرمز با ارتعاشات و دوران اتمها و مولکولها تولید می شود. بالا بودن درجه حرارت در یک جسم، سبب حرکت بیشتر اتمها و مولکولها شده و انرژی مادون قرمز بیشتری از خود ساطع می کند. این انرژی با استفاده از دوربینهای مادون قرمز قابل مشاهده می باشد. اشیاء در صفر مطلق ($-273/16^{\circ}\text{C}$) دارای کمترین انرژی می باشند، از این جهت تشعشع مادون قرمز در آنها دارای کمترین مقدار می باشد. [1]

آنالیز حرارتی بر این واقعیت استوار است که هر جسم بالای صفر مطلق، انرژی را در بخش مادون قرمز طیف، تابش می کند. اگر اجسام به حد کافی گرم باشند، این تابش در بخش قابل رویت طیف واقع می شود و قابل مشاهده است. عملکرد هر دستگاه همواره با انتشار گرما همراه می باشد. این گرما می تواند ناشی از فرآیندهای تبدیل انرژی مانند احتراق، گرمایش الکتریکی، عملکرد نیروهای مانند اصطکاک یا تنشهای مکانیکی باشد. انرژی و گرمای آزاد شده پس از رسیدن به سطح جسم از طریق تشعشع یا جابجایی آزاد می شود و نتیجه آن تغییر الگویی توزیع دما در سطح جسم می باشد. کلیه سطوح بسته به میزان درجه حرارتشان، دارای یک نرخ تشعشع در ناحیه مادون قرمز می باشند.

ساختار و خواص سطح جسم نیز بر میزان انتشار تشعشع مادون قرمز موثر می باشد. تشعشع مادون قرمز برای چشم انسان نامرئی است ولی با استفاده یک سیستم گرمائمی (Thermography) می توان آن را مرئی نمود و توزیع گرمای ساطع شده را بصورت یک تصویر مرئی مشاهده نمود. برای این منظور از یک دوربین اسکن کننده که شبیه دوربین فیلمبرداری می باشد، استفاده می شود. دوربین مادون قرمز قطعات و تجهیزات گرمتر را به رنگ روشن تر و اجسام سردتر را به رنگ تیره تر

نشان می‌دهد. تصاویر آنالیز حرارتی شامل طیف وسیعی از رنگها بوده که رنگهای متمایل به سفید نشان‌دهنده دمای بالاتر و رنگهای متمایل به سیاه نشان‌دهنده دمای پایین‌تر می‌باشد. نمونه‌ای از دوربین‌های آنالیز حرارتی که در حال عیب‌یابی تجهیزات واگنهای مولد برق می‌باشند در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- نمونه‌ای از دوربین‌های آنالیز حرارتی در حال عیب‌یابی تجهیزات واگنهای مولد برق

با تجزیه و تحلیل عکسهای حرارتی نقاط ضعف تجهیزات و ماشین‌آلات که با چشم غیرمسلح قابل رویت نمی‌باشند، بخوبی مشخص شده و با طرف‌کردن عیوب مربوطه می‌توان صرفه‌جوییهای زیادی را در زمان و هزینه‌ها بدست آورد.

۳- مراحل اجرای آنالیز حرارتی

جهت پیاده‌سازی آنالیز حرارتی بایستی مراحل را اجرا و طی نمود [2]. این مراحل عبارتند از:

الویت‌بندی تجهیزات و زمان انجام آنالیز حرارتی

تعیین عوامل و فاکتور مهم در آنالیز حرارتی

تعیین روشهای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین معیارها و استانداردهای آنالیز حرارتی

برآورد هزینه‌ها و تعیین صرفه‌جویی‌های اقتصادی آنالیز حرارتی

۳-۱- الویت‌بندی تجهیزات و زمان انجام آنالیز حرارتی

جهت الویت‌بندی تجهیزات و زمان انجام آنالیز حرارتی، ابتدا باید فهرستی از تجهیزات و ماشین‌آلات تهیه شود. فهرست تجهیزات و ماشین‌آلات اساس و بنیاد بازرسی حرارتی را تشکیل می‌دهد. بدون فهرست، آنالیز کننده از تجهیزاتی که بایستی تست کند، آگاهی پیدا نمی‌کند. در این فهرست تجهیزات براساس شرایط کاری جهت انجام آنالیز حرارتی، الویت‌بندی می‌شوند. یکی از فهرست‌هایی که بایستی تهیه شود، مقادیر بحرانی برای هر قطعه از تجهیزات و ماشین‌آلات می‌باشد. این فهرست به تعیین زمان تست کمک کرده و در صورتی که عیب و مشکلی پیدا شد می‌توان با برنامه‌ریزی، حق تقدم دوره تناوب تعمیرات تجهیزات مشخص نمود.

در جدول شماره ۱ دوره تناوب انجام آنالیز حرارتی بر اساس شرایط کاری آورده شده است.

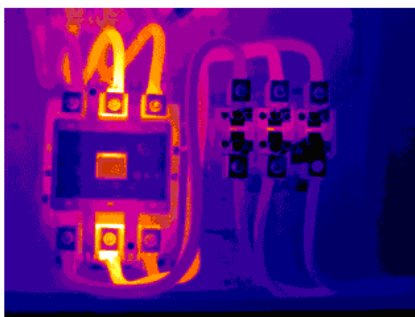
شرایط کاری	دوره تناوب انجام آنالیز حرارتی
بحرانی	هر سه ماه
ضروری و مهم	هر شش ماه
غیر ضروری	هر یکسال
پیگیری و بررسی مشکلات و تعمیرات قبلی	هر سه ماه

جدول ۱- دوره تناوب انجام آنالیز حرارتی براساس شرایط کاری

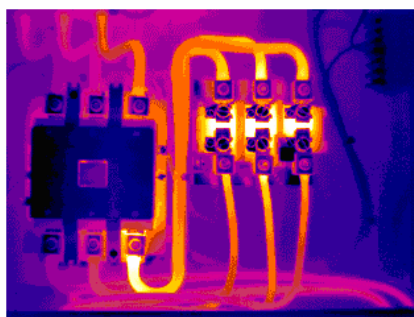
بنابراین یکی از مواردی که در فهرست یاد شده بایستی گنجانده شود، دوره تناوب انجام آنالیز حرارتی می باشد.

۲-۳- تعیین عوامل و فاکتورهای مهم در آنالیز حرارتی

آنالیز حرارتی بایستی در شرایط کاری واقعی و عملیاتی انجام گیرد. به غیر از ثبت حرارتی تجهیزات، لازم است داده ها و اطلاعاتی دیگر که در آنالیز حرارتی موثر می باشد، ثبت شود. در نظر گرفتن درجه حرارت مطلق و افزایش درجه حرارت (ΔT) به تنهایی مناسب نبوده و در تشخیص عیوب ماشین آلات و تجهیزات، خطا ایجاد می کنند. یکی از عوامل و فاکتورهای مهم در آنالیز حرارتی، بار (Load) وارده به تجهیزات می باشد که براساس آن باید شرایط تجهیزات و ماشین آلات مورد بررسی قرار گیرد. بطور مثال شکل ۳ و ۴ افزایش حرارتی یکسانی به اندازه 30°C نسبت به درجه حرارت مرجع را نشان می دهد. جهت تعیین مشکل واقعی و مخفی در تجهیزات مناسب است بار وارده به المانها اندازه گیری شود. شکل ۳ تحت 60% بار نامی است در صورتی که شکل ۴ تحت 10% بار نامی قرار دارد. از آنجائی که هر دو قطعه دارای یک مشکل می باشند، بنابراین شکل ۴ دارای عیب و خرابی نهفته بیشتری نسبت به شکل ۳ می باشد و بایستی رفع مشکل آن در الویت قرار گیرد.



شکل ۴- تجهیز تحت 10% بار نامی

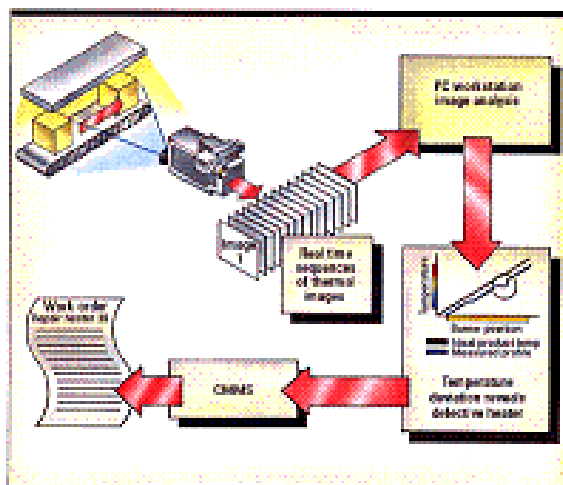


شکل ۳- تجهیز تحت 60% بار نامی

از دیگر عوامل و فاکتورهای مهمی که بایستی در آنالیز حرارتی ثبت شود، سرعت باد (Wind Speed) می باشد. براساس آزمایشات انجام شده، مشخص گردیده است، هنگامی که باد می وزد نسبت به زمانی که وزش نداریم، فزونی دما به نصف کاهش می یابد حتی اگر سرعت باد دارای مقدار کم 3 mil/h ($1/34\text{ m/s}$) باشد. [3]
از دیگر فاکتورهای موثر در آنالیز حرارتی، شرایط محیطی می باشد. شرایطی محیطی نظیر باران، برف، آفتاب، هوای صاف ولی سرد در آنالیز حرارتی موثر می باشد.
فاکتورهای محیطی مانند اثرات درجه حرارت خورشید و یا دما در شرایط بارانی و برفی بایستی اندازه گیری و در نظر گرفته شود. بنابر این شرایط محیطی در هر بار تست و آنالیز حرارتی بایستی ذکر گردد.
از دیگر فاکتورهای مهم در آنالیز حرارتی، مشخصات قطعات و تجهیزات و همچنین نوع (ویژگی و علامت مشخصه) خرابی ها شناسایی شده در هر بار آنالیز می باشد.

۳-۳- تعیین روشهای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها

دوربین‌های حرارتی و تصویر حرارتی تهیه شده، نقطه آغاز مناسب جهت جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های آنالیز حرارتی می‌باشد. قدم بعدی دایرکردن روشهای مناسب و موثر جهت گردآوری اطلاعات می‌باشد. این روشها بایستی تضمین کننده روند کار بازرسی باشد و به دمانگار (Thermographer) در پیش‌بینی و شناسایی بهتر عیوب و خرابی‌ها کمک کند. از کارآمدترین و مناسب‌ترین روش‌های جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های آنالیز حرارتی، بهره‌گیری از سیستم مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات (Computerized Maintenance Management System (CMMS)) می‌باشد. در این روش ارتباطی بین فهرست تجهیزات و ماشین‌آلات، تصاویر حرارتی جمع‌آوری شده، تعیین روند و تغییرات درجه حرارت، تعمیرات و سرویسهای انجام شده و همچنین قطعات و تجهیزات تعویض شده و موارد مورد نیاز برقرار می‌شود. روش جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های آنالیز حرارتی و استفاده از سیستم مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات در شکل ۵ آورده شده است.[4]



شکل ۵- استفاده از سیستم مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات در آنالیز حرارتی

۳-۴- تعیین معیارها، استانداردها و تجزیه و تحلیل داده‌های آنالیز حرارتی

پس از جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های آنالیز حرارتی، مرحله بعدی تعیین معیارها، استانداردها و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد. جهت ارزیابی اطلاعات حاصل از عکسبرداری حرارتی بایستی استاندارد مناسب آن تدوین شود. همانطوری که اشاره شد، عوامل مختلفی نظیر بار، جریان باد، تشعشع، ضریب هدایت گرمایی سطح اندازه‌گیری و عوامل محیطی مانند آفتابی، بارانی، برفی، صاف و سرد بودن در آنالیز حرارتی موثر می‌باشند. یک روش مناسب جهت اعمال تمام عوامل فوق در نظر گرفتن فاکتورهای مهم و موثر بر روی کارکرد قطعات و اجزاء سیستم می‌باشد. برای این منظور تیمی متشکل از متخصصین، مسئولین ایمنی و مالی، فاکتورهای مهم نظیر عوامل ایمنی، هزینه خرابی قطعات، قابلیت دسترسی قطعات یدکی و نفقات تعمیرات، تاریخچه نگهداری و تعمیرات، شرایط بارگذاری و عوامل مهم دیگر را مشخص می‌کنند. پس از مشخص شدن عوامل مهم یادشده، برای هر فاکتور امتیازهای مربوطه را تعریف کرده و براساس اهمیت هریک وزن‌دهی مربوطه مشخص می‌شود. یک نمونه از ماتریس ارزیابی و وزن دهی جهت تفسیر و استاندارد کردن عکسبرداری حرارتی در جدول ۲ آورده شده است. این جدول باید برای قطعات و اجزایی که آنالیز حرارتی بر روی آنها انجام می‌شود، تنظیم شود و بر اساس جدول شماره ۳ و برحسب امتیاز کلی بدست آمده، دستور کارهای مربوطه انجام گیرد.[5]

امتیاز							فاکتورهای مهم
جمع	وزندهی (x)	۱۰	۸	۶	۴	۲	
	۲/۵	xx					حساسیت و بحرانی بودن قطعه
	۳	xx					ایمنی و ریسک در قطعه
	۲						اثر افزایش بار
	۲						اثر شرایط محیطی
	۲						اثر انتقال حرارت جابجایی
	۱/۵						اثر انتقال حرارت تشعشع
	۲						ضعیف و نامناسب بودن قطعه در کارکرد
	۲/۵						اثر مخفی بودن منبع گرمایی
	۲/۵						اثر بالا رفتن درجه حرارت
							امتیاز کلی

جدول شماره ۲- یک مثال از ماتریس ارزیابی و وزن دهی در آنالیز حرارتی

امتیاز کلی	شرایط قطعات و اجزاء از نظر وخامت عیب	چگونگی تعمیر قطعات و اجزاء
< ۷۵	احتمال و جود عیب	قطعه بایستی تحت کنترل باشد
= ۷۵-۱۱۹	وجود عیب	در نوبت بعدی تعمیرات سرویس گردد
= ۱۲۰-۱۷۹	عیب توسعه یافته	در اولین فرصت سرویس گردد
≥ ۱۸۰	عیب حاد	بدون فوت وقت سرویس شود

جدول شماره ۳- امتیاز کلی، شرایط قطعات و دستور کارهای مربوطه

فاکتورها و عواملی که در قطعه، محل کاربرد و یا صنعت مربوطه از اهمیت خاصی برخوردار است را می توان بدون مدنظر قرار دادن امتیاز کلی تعریف کرده و سرویس بدون فوت وقت را برای آنها تعریف نمود. به طور مثال این مورد در جدول ۲ به صورت (xx) نشان داده شده است.

قبل از استفاده از جداول ۲ و ۳ بایستی فاکتورها، عوامل، امتیازها و وزن دهی براساس قطعه، محل کاربرد و عوامل موثر تعیین و اصلاح شود. جهت بهره برداری حداکثر از این روش مناسب است مقایسه ای بین تفسیرها و پیش گویی ها با نتایج بازدیدها و تعمیرات انجام شود. در صورتی که نتایج با پیش گویی ها مطابقت داشته باشد، روش، فاکتورها و امتیازات انتخاب شده مناسب بوده و می توان روش را ادامه داد ولی در صورتی که بین پیش گویی های آنالیز حرارتی و نتایج بازدیدها و تعمیرات همخوانی وجود نداشته باشد، بایستی فاکتورها و امتیازات انتخاب شده، اصلاح شود و روش یادشده تکرار شود. با اجرای این روش، سیستم آنالیز حرارتی مقادیر حقیقی خود را پیدا میکند و تفسیرها به واقعیت نزدیکتر می شود.

بر اساس دستورالعمل موسسه بین المللی تست های الکتریکی (International Electrical Testing Association (NETA)) میزان اختلاف درجه حرارت اجزاء و قطعات الکتریکی با قطعات و اجزاء مشابه و همچنین اختلاف با درجه حرارت محیط می تواند تعیین کننده شدت وخامت عیب باشد. این دستورالعمل در جدول شماره ۴ آورده شده است. [6]

اختلاف درجه حرارت اندازه گیری شده	شرایط قطعات و اجزاء از نظر وخامت عیب	چگونگی تعمیر قطعات و اجزاء
با محیط : $1-10^{\circ}\text{C}$ باجزه مشابه : $1-3^{\circ}\text{C}$	احتمال وجود عیب	قطعه بایستی تحت کنترل باشد
با محیط : $11-20^{\circ}\text{C}$ باجزه مشابه : $4-15^{\circ}\text{C}$	وجود عیب	در نوبت بعدی تعمیرات سرویس گردد
با محیط : $21-40^{\circ}\text{C}$ باجزه مشابه : $>15^{\circ}\text{C}$	عیب توسعه یافته	در اولین فرصت سرویس گردد
با محیط : $>40^{\circ}\text{C}$ باجزه مشابه : $>15^{\circ}\text{C}$	عیب حاد	بدون فوت وقت سرویس گردد

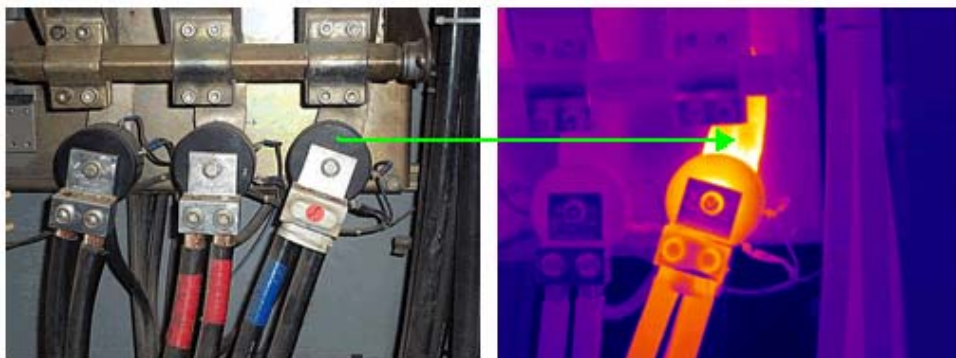
جدول ۴- دستورالعمل موسسه بین المللی تست های الکتریکی در اجرای آنالیز حرارتی

مواردی از بکارگیری این معیارها و استانداردها که بر روی تجهیزات و ماشین آلات واگنهای مولد برق شرکت قطارهای مسافری رجاء انجام شده، در ادامه آورده شده است.

براساس آمار جمع آوری شده حاصل از اجرای آنالیز حرارتی در ماشین آلات و تجهیزات که توسط موسسه بویلر بخار هاتفورد (Hartford Steam Boiler) انجام شده است، مشخص شده اتصالات الکتریکی نامناسب، بیشترین تعداد خرابی را در آمار خرابی ها تشکیل می دهد و از کل خرابی های ثبت شده، ۶۷٪ مربوط به اتصالات الکتریکی نامناسب یا شل بودن قطعات و تجهیزات می باشد.

۵-۳- برآورد و تعیین صرفه جویی های اقتصادی آنالیز حرارتی

جهت برآورد صرفه جویی ها در آنالیز حرارتی، بایستی هزینه قطعات و تجهیزات تعویضی و همچنین دستمزدها در حالت قبل از خرابی (پیش بینی عیب) و در حالت بعد از خرابی (در صورت عدم وجود روش پیش بینی عیب) ارزیابی نمود. جهت ارزیابی دقیق تر می توان ارزیابی بعد خرابی را در دو حالت، وضعیت بهتر (برآورد خسارت کمتر) و وضعیت نامناسب (برآورد خسارت بالاتر) بررسی نمود. در ادامه مثالی از برآورد اقتصادی و صرفه جویی حاصل از اجرای آنالیز حرارتی آورده شده است. با اجرای آنالیز حرارتی مشکل بار بیش از حد در یکی از فازها مطابق شکل ۶ شناسایی شده است. هزینه قطعات و دستمزدها با بکارگیری این روش (قبل از خرابی) و عدم اجرای آن (بعد از خرابی) در جدول ۵ نشان داده شده است. قابل ذکر است هزینه قطعات و دستمزدها در صورت عدم بکارگیری آنالیز حرارتی، براساس شناخت از قطعات، تجهیزات و ماشین آلات و عمق خرابی ها برآورد می شود.



شکل ۶- بار بیش از حد در یکی از فازها

قبل از خرابی (ریال)	بعد از خرابی (ریال)	هزینه صرفه جویی شده (ریال)
۳۲۵/۰۰۰	۶/۵۰۰/۰۰۰	۶/۱۷۵/۰۰۰
۲۲۷/۵۰۰	۳۰۰/۰۰۰	۷۲/۵۰۰
۵۵۲/۵۰۰	۶/۸۰۰/۰۰۰	۶/۲۴۷/۵۰۰
جمع		

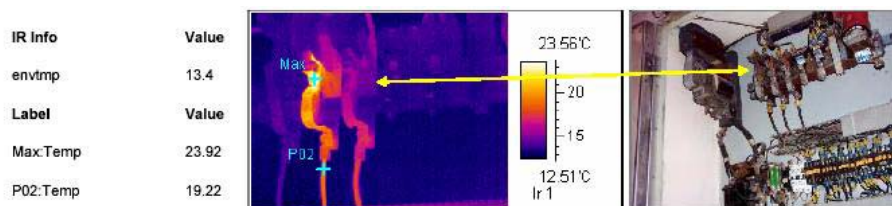
جدول ۵- هزینه ها و صرفه جویی های حاصل از اجرا و عدم اجرای آنالیز حرارتی در مجموعه شکل ۶

۴- بکارگیری آنالیز حرارتی در ماشین آلات و تجهیزات واگنهای مولد برق

دوربین مادون قرمز و اجرای آنالیز حرارتی ابزار مناسبی جهت مجموعه های نگهداری و تعمیرات می باشد. با اجرای این روش، بازرسی مطمئن و سریع تجهیزات جهت تشخیص توزیع نامناسب دمایی و پیش بینی خرابی، میسر می گردد. در آنالیز حرارتی تغییرات دمایی بین بازرسی ها، شاخصی جهت شدت خرابی ها می باشد. به عبارت دیگر دمای بالا در یک نقطه نشان دهنده محل خرابی و گستردگی محدوده دمای بالا، نشان دهنده شدت این خرابی می باشد. آنالیز حرارتی امکان کنترل و عیب یابی تعداد زیادی از نقاط یک سیستم را در زمان کمتری نسبت به روش های دیگر، فراهم می کند و از آن در عیب یابی ماشین آلات و تجهیزات مختلفی نظیر سیستم های الکتریکی، مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می توان استفاده نمود. در حال حاضر جهت تشخیص عیب و تجزیه و تحلیل مقادیر اندازه گیری شده بر روی تجهیزات واگنهای مولد برق، از ترکیب دستورالعمل موسسه NETA (جدول ۴)، درجه حرارت کاری، حداکثر درجه حرارت قابل تحمل تجهیزات و روند تغییرات درجه حرارت استفاده کرده و نسبت به صدور دستور کار اقدام می شود.

۴-۱- بکارگیری آنالیز حرارتی در ماشین آلات و تجهیزات الکتریکی واگنهای مولد برق

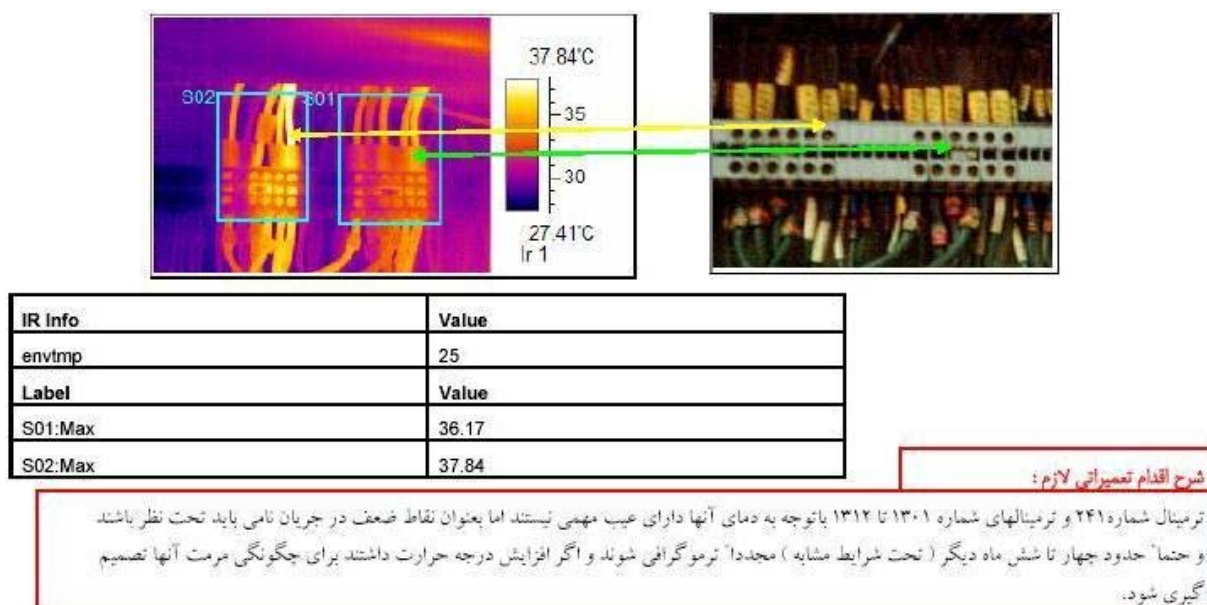
با افزایش حرارت، مقاومت الکتریکی اکثر مواد افزایش می یابد و افزایش مقاومت، سبب افزایش اتلاف حرارتی در المانی که جریان از آن عبور می کند، می شود. از آنجایی که در ماشین آلات الکتریکی و تابلوهای برق این دو اثر در کنار یکدیگر قرار دارند و همدیگر را تشدید می کنند، در نتیجه، افزایش درجه حرارت محیط بر ماشین آلات الکتریکی اثرات مخربی به همراه دارد. نامناسب و کثیف بودن تجهیزات، وجود آلودگی های محیطی، اکسید شدن اتصالات و تجهیزات، اتصالات نادرست مدار سبب کاهش سطح عبور جریان و در نتیجه افزایش حرارت نقطه اتصال و در نهایت معیوب شدن تجهیزات خواهد شد. با توجه به نکات فوق و اثرات مخرب درجه حرارت بر کیفیت عایق و عملکرد تجهیزات، درجه حرارت ماشین آلات و تجهیزات الکتریکی بایستی دائماً تحت کنترل و مراقبت قرار داشته باشند، تا در صورت نیاز تعمیرات مورد نیاز بر روی آنها انجام گیرد. در حال حاضر از آنالیز حرارتی جهت عیب یابی ماشین آلات و تجهیزات الکتریکی واگنهای مولد برق نظیر مدارات و کارتهای الکترونیکی، انواع و اقسام رله، بریکرهای قدرت، خطوط انتقال قدرت، ترانسهای جریان، مقاومتها و کنتاکتورها، موتورهای و ژنراتورهای الکتریکی، فیوزها، تجهیزات کنترل، ترمینالها، و شناسایی عیوبی نظیر اتصالات ضعیف، شل، پوسیده و نامناسب، بارهای نامتعادل، بار بیش از حد، نقاط با مقاومت بالا، فیوزهای معیوب و ولتاژهای نامناسب استفاده می شود. در ادامه برخی موارد اجرای آنالیز حرارتی بر روی تجهیزات الکتریکی واگنهای مولد برق اشاره می شود. [۷]



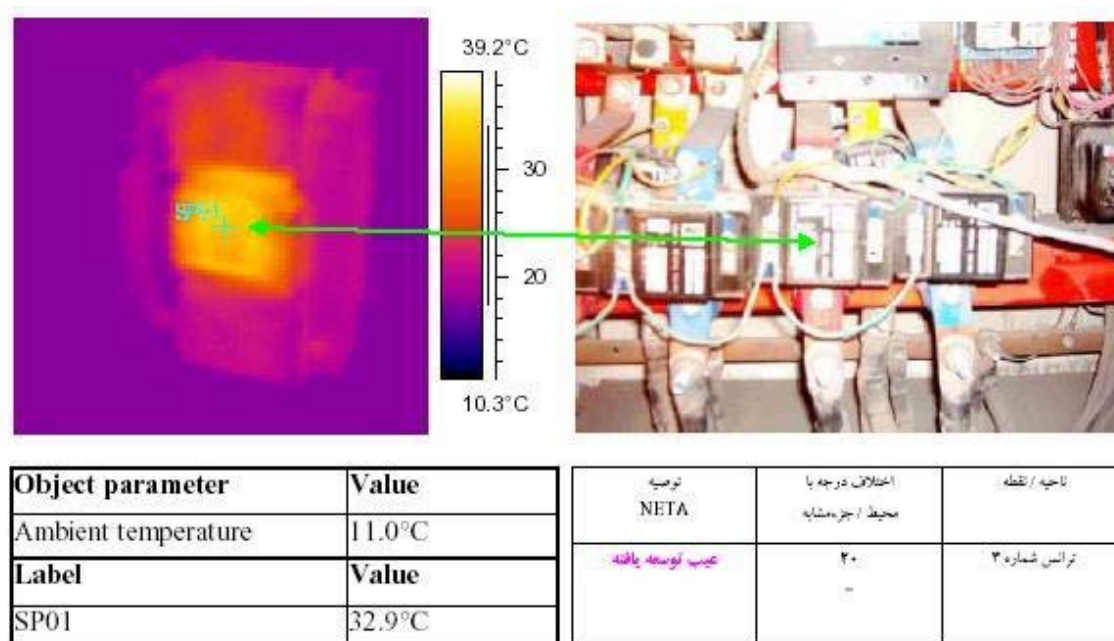
شرح اقدام تعمیراتی لازم:

اچار کشی پیچها و تمیز کردن کنتاکت کلید

شکل ۷- بهره‌گیری از آنالیز حرارتی در عیب‌یابی کلیدها

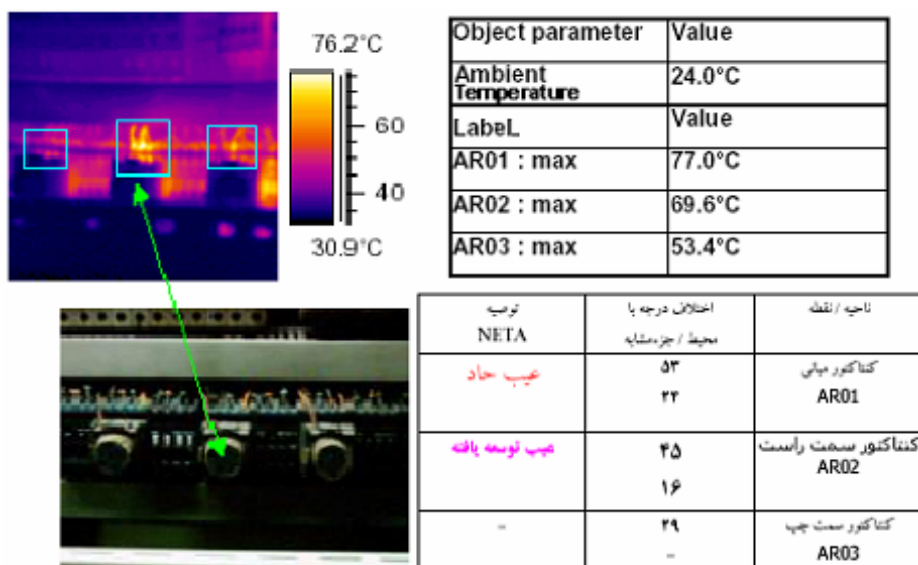


شکل ۸- بهره‌گیری از آنالیز حرارتی در عیب‌یابی ترمینال‌های واگن مولد برق



اختلاف زیاد درجه حرارت ترانس جریان شماره ۳ با محیط می‌تواند مؤید وجود عیبی در سیم پیچی ترانس باشد، لذا توصیه می‌شود در اولین فرصت که ترانس بدون بار شد، مورد بازرینی جزئی تری قرار گیرد.

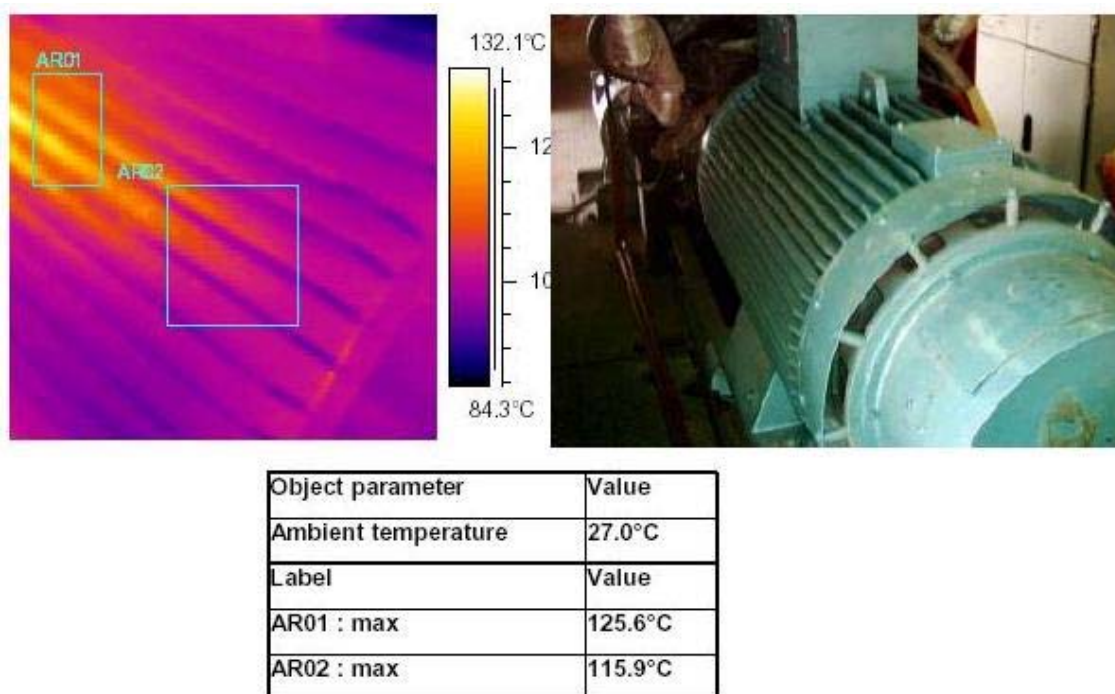
شکل ۹- بهره‌گیری از آنالیز حرارتی در عیب‌یابی ترانس‌ها در واگن مولد برق



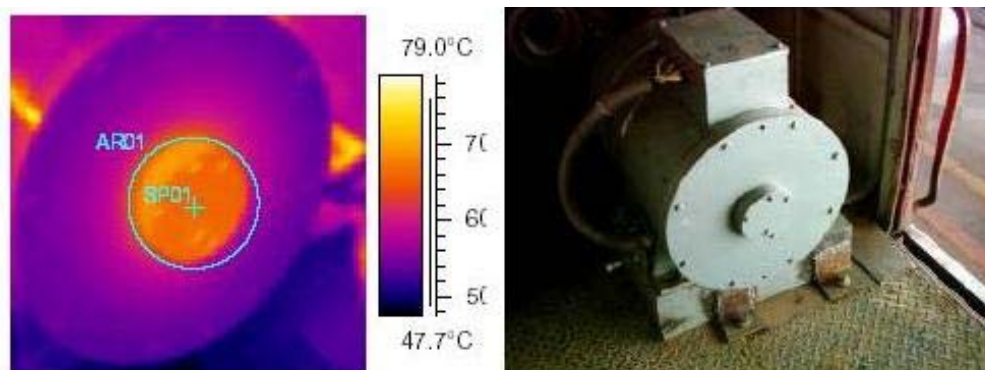
باتوجه به وضعیت حرارتی کنتاکتور وسطی و اختلاف ۲۴ درجه ای با کنتاکتور مشابه ، توصیه می شود کنتاکتور مذکور بدون فوت وقت مورد تعمیر و بازرسی جزئی تری قرار گیرد .

شکل ۱۰- بهره گیری از آنالیز حرارتی در عیب یابی کنتاکتورهای واگن مولد برق

الکتروموتورها و ژنراتورها از ماشین آلات مهم و اساسی در واگنهای مولد برق محسوب می شوند. از آنالیز حرارتی در کنار آنالیز ارتعاشات جهت پیش بینی عیوب این ماشین آلات بهره برداری می شود. عیوب قابل شناسایی در این نوع ماشین آلات شامل مشکلات سیم پیچی، بار و ارتعاشات بیش از حد، تغییرات متالورژی، ولتاژ و ظرفیت نامناسب، خنک کاری نامناسب و خرابی باتاقان ها می باشد. در ادامه نمونه ای از بکارگیری آنالیز حرارتی در الکتروموتورها و ژنراتورها آورده شده است.



شکل ۱۱- شناسایی خرابی ژنراتور واگن مولد برق ناشی از طراحی و خنک‌کاری نامناسب آن



Object parameter	Value
Ambient temperature	35.0°C
Label	Value
SP01	66.0°C
AR01 : max	70.0°C

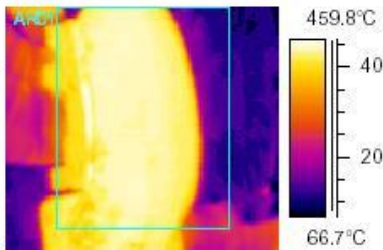
شکل ۱۲- شناسایی خرابی یاتاقان ژنراتورها ناشی از ارتعاشات بیش از حد با استفاده از آنالیز حرارتی

۴-۲- بکارگیری آنالیز حرارتی در ماشین آلات و تجهیزات مکانیکی واگنهای مولد برق

از آنالیز حرارتی در اندازه‌گیری درجه حرارت قطعات و وسایلی نظیر یاتاقانها، دمای لوله‌های رفت و برگشت آب، توربوشارژرها و سوپرشارژرها، بلوثرها و شناسایی عیوبی مانند عدم‌مهم‌محوری ماشین‌آلات دوار، نابالانسی، دمای بالای یاتاقانها، دمای بالای روغن، شکستگی، احتراق نامناسب و گرفتگی لوله حمل سیالات واگنهای مولد برق استفاده می‌شود. در ادامه نمونه‌ای از عیوب شناسایی شده در ماشین‌آلات و تجهیزات مکانیکی واگنهای مولد برق با استفاده از آنالیز حرارتی آورده شده است.

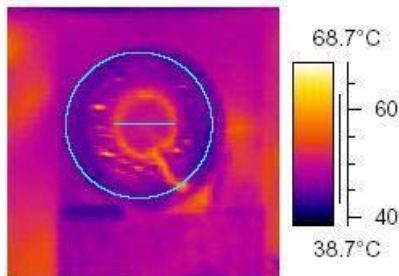
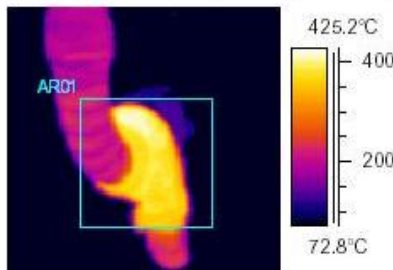
توربوشارژر سمت راست موتور

Object parameter	Value
Ambient temperature	35.0°C
Label	Value
AR01 : max	456.6°C

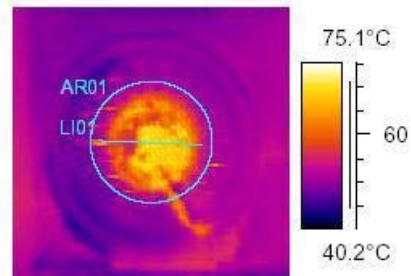


توربوشارژر سمت چپ موتور

Object parameter	Value
Ambient temperature	35.0°C
Label	Value
AR01 : max	415.4°C

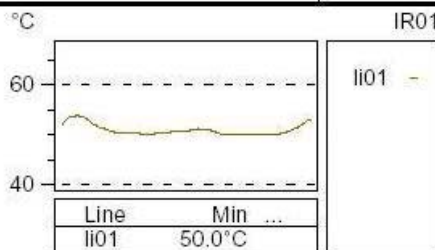


موتور ۲

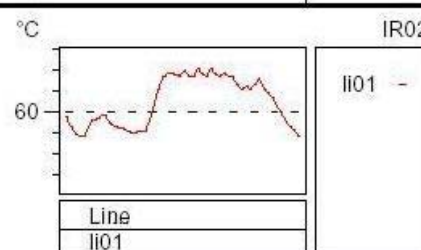


موتور ۱

Object parameter	Value
Ambient temperature	36.0°C
Label	Value
AR01 : max	64.2°C



Object parameter	Value
Ambient temperature	36.0°C
Label	Value
AR01 : max	71.1°C



شرح عیب

مقایسه دمای دو دمنده علاوه بر مشخص نمودن اختلاف حدوداً ۹ درجه سانتیگرادی دمنده موتور شماره یک با موتور شماره ۲، وضعیت نا یکنواخت توزیع دما در طول محور دمنده شماره یک را نیز مشخص میکند. بنابراین توصیه می شود موتور این دمنده خصوصاً بلحاظ نابالانسی نیز بطور جزئی تری مورد بررسی قرار گیرد.

شکل ۱۳- خرابی توربوشارژر سمت راست موتور ناشی از خرابی نازل انژکتورها و احتراق نامناسب

شکل ۱۴- شناسایی خرابی بلوئر دیزل هوا خنک ناشی از نابالانسی با استفاده از آنالیز حرارتی

۵- نتیجه گیری

اجرای مراقبت وضعیت و پیش‌بینی عیوب ماشین‌آلات مکانیکی و الکتریکی با استفاده از آنالیز حرارتی بر روی واگن‌های مولدهای برق در راستای اهداف شرکت قطارهای مسافری رجا، بوده و سبب جلوگیری از گسترش خرابی و توقف تجهیزات و ماشین‌آلات، برنامه‌ریزی مناسب برای تعمیرات مورد نیاز، افزایش آماده بکاربودن (vailability) و قابلیت اطمینان (Reliability)، کنترل کیفیت قطعات و ماشین‌آلات خریداری شده، کنترل کیفیت تعمیرات جاری و اساسی، شناسایی به موقع عیب و تمرکز تعمیرات بر روی محل خرابی، کاهش انفصال‌ها، بهبود شرایط ایمنی، راحتی و آسایش مسافری، کاهش میزان تاخیر قطارها، افزایش عمر تجهیزات، صرفه‌جویی قطعات، دستمزدها و عدم توقف ماشین‌آلات، بهره‌برداری از حداکثر ماشین‌آلات و واگن‌های مولد برق در سیر می‌شود.

مراجع

- [1] Orlove, G.L. "Answers to the Common Questions People Ask about Infrared Thermography", Infrared Training Center, 2003.
 - [2] Cawfield, S. "Infrared Inspection Data: What's hot and what's not?", Logos Computer Solutions, Inc., 2003.
 - [3] Madding, R.P., Lyon, B.R. "Wind effects on electrical hot spots - some experimental IR data", presented at Thermosense XXII, April 2000.
 - [4] Dumpert, D. "Infrared Options Multiply for Condition Monitoring", director of applications, Flir Systems Inc., Portland, 2004.
 - [5] "Repair Prioritization Based on Real Factors", Snell Infrared, a thermographic training company, 2000.
 - [6] Rogers, R.J. "Just try it!", Infrared Training Center, FLIR Systems, North Billerica, MA.
- [۷] آنالیز حرارتی انجام شده بر روی تجهیزات و ماشین‌آلات واگنهای مولد برق، کارخانه برق واگنها و مولدهای برق شرکت قطارهای مسافری رجا، ۱۳۸۳.