



فن آوران مادون قرمز (سهامی خاص)
Fanavaran Modoon Ghermez Pvt.L.S

گزارش توجیهی استفاده از دوربینهای ترموویژن (تصویر بردارهای حرارتی مادون قرمز) Thermal Imaging Cameras

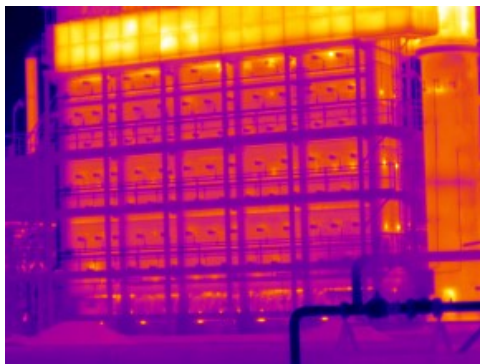
در نگهداری و تعمیرات (نت) تجهیزات صنعتی بعنوان سیستم مراقبت وضعیت (Condition Monitoring)

شرکت فن آوران مادون قرمز
تهران - کریمخان زند، شماره ۱۰۳، واحد ۴ کد پستی ۱۵۸۵۶۸۳۷۳۵
تلفن: ۸۸۸۱۳۱۰۱ فاکس: ۸۸۸۱۳۱۰۲

مقدمه

بکارگیری روشهای مختلف نگهداری و تعمیرات در صنعت و پایه ریزی اصول نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PdM) قدمتی بیش از پنجاه سال دارد. تا کنون روشهای متفاوتی در ارتباط با نگهداری و تعمیرات عرضه شده است که میتوان به روشهایی مانند تعمیرات بعد از خرابی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و تعمیرات با دیدگاه بهره وری اشاره نمود. اما امروزه جدای از روشها، دیدگاه "نگهداری بهتر از تعمیرات" و "پیشگیری قبل از خرابی" به عنوان اصلی ترین دیدگاه در نظر گرفته شده در یک سیستم نگهداری و تعمیرات است. البته با توجه به پیشرفت تکنولوژی، بررسی دائم وضعیت تجهیزات با دیدگاههای فوق و اجرای روشهای مراقبت وضعیت (Condition Monitoring) و انجام نگهداری و تعمیرات پیشگویانه (Predictive Maintenance) از روشهای موفق و مؤثر جهت تحقق اهداف اشاره شده میباشد.

یکی از روشهای مراقبت وضعیت و پیش بینی عیوب تجهیزات، استفاده از تصویر برداری حرارتی (ترموویژن) میباشد. در این روش چنانچه در شکل - ۱ نشان داده شده است بر اساس تصاویر حرارتی تهیه شده توسط دوربینهای ترموویژن از تجهیزات مختلف (تجهیزات الکتریکی و مکانیکی، مشعلها و کوره ها، مسیر های سیالات، عایقها و ایزولاسیون تجهیزات و نظایر آن) و تجزیه و تحلیل آنها توسط نرم افزارهای پیشرفته میتوان عیوب و نقاط ضعف تجهیزات دستگاههای مختلف را قبل از آنکه به عیوب عمده تبدیل گردیده و منجر به خسارات مهم مالی و احیاناً انسانی شده و ادامه تولید را مواجه با وقفه نمایند، آشکار و از بروز آنها جلوگیری کرد.



شکل - ۱

تجزیه و تحلیل و تفسیر تصاویر حرارتی (ترموویژن) بر اساس شرایط تجهیزات، استانداردها و دمای مجاز آنها انجام میگردد و بر این اساس سرویسها و تعمیرات مربوطه انجام میشود. الویت بندی تجهیزات، زمان انجام کار، عوامل و فاکتورهای مؤثر، روشهای جمع آوری اطلاعات و داده ها و تجزیه و تحلیل آنها، تعیین معیارها و استانداردها، بررسی صرفه جویی های اقتصادی مواردی است که در خصوص این روش (همانند هر روش دیگر مراقبت وضعیت) باید بررسی و به آن پرداخته شود.

تاریخچه تصویر برداری حرارتی

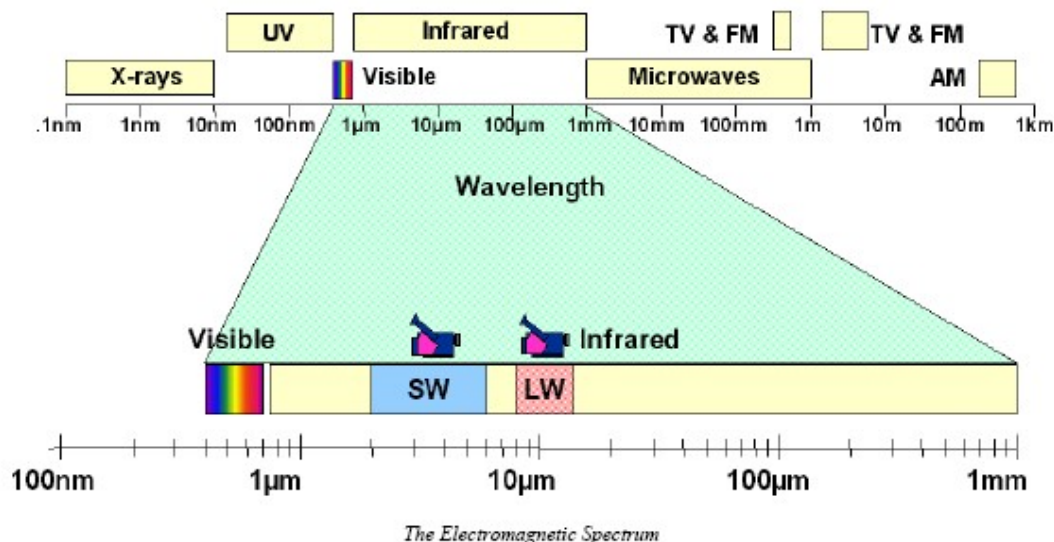
در نیمه قرن نوزدهم ویلیام هرشل (Sir William Herschel) برای اولین بار موفق به تهیه ترمو گرام (عکس حرارتی) گردید. لیکن این پدیده تا مدتها بدون پیشرفت قابل توجهی باقی ماند تا اینکه در سال ۱۸۸۰ و بعد از آن در سال ۱۸۹۲

پیشرفتهای قابل توجهی در اندازه گیری درجه حرارت توسط تصویر برداری پدید آمد. طی جنگهای جهانی اول و دوم استفاده از دانش ترمو گرافیک بیشتر منحصر به کاربردهای نظامی و تسلیحاتی گردید. در سال ۱۹۶۰ و پس از دو دهه تحقیق و بررسی مداوم سرانجام کاربرد عملی و اقتصادی پدیده تصویر برداری حرارتی (ترمو ویژن) ظاهر گشت، اما در این زمان تهیه یک عکس حرارتی بیش از ده دقیقه طول میکشید و بعلاوه تصاویر حاصل ، از دقت عمل کافی برخوردار نبودند که این امر تجزیه و تحلیل عکسها را دشوار می ساخت.

پس از گذشت ده سال اولین سیستم عکسبرداری حرارتی که از نیتروژن مایع جهت خنک کردن سنسورهای آن استفاده میشد ابداع گردید. این سیستم که به صورت دوربین نسبتاً بزرگی ساخته میشد، در حدود ۴۰ تا ۵۰ کیلو گرم وزن داشت. در سال ۱۹۷۵ عکسبرداری حرارتی (مادون قرمز) از نظر تکنولوژی ساخت و تکنیک کاربرد وارد مرحله ای جدید گردید. در این زمان وزن دوربین و ملحقات آن به حدود ۱۵ کیلو گرم کاهش یافت. در دهه های ۸۰ و ۹۰ بکارگیری دتکتورها و سنسورهای بسیار حساس و نیز استفاده از کامپیوتر و قدرت ضبط تصاویر باعث پیشرفت فوق العاده ای در این روش گردید که دوربینهای امروزی نیز همچنان ادامه این پیشرفتها میباشند.

تئوری تصویر برداری حرارتی (ترموویژن)

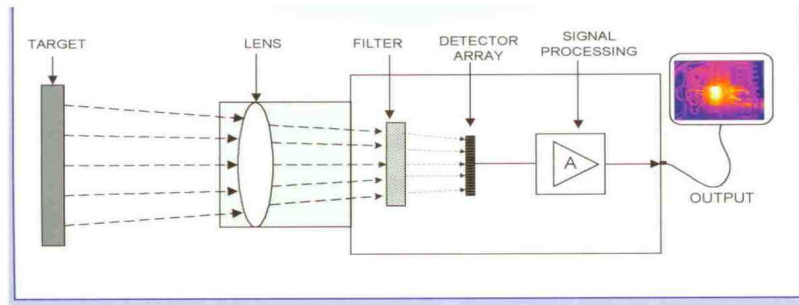
امواج مادون قرمز چنانچه در شکل - ۲ نشان داده شده است قسمتی از طیف امواج الکترو مغناطیس را تشکیل میدهند و طول موج آنها در دو ناحیه " طول موج مادون قرمز کوتاه (۲ تا ۵ میکرون) " و " طول موج بلند مادون قرمز (۷ تا ۱۴ میکرون)" گسترده شده اند.



شکل - ۲

از طرفی امواج مادون قرمز یا امواج حرارتی از تمام موجودات و اجسامی که دارای دمایی بالاتر از صفر مطلق (0°C / ۲۷۳ -) باشند ساطع میشوند و کلیه سطوح بسته به میزان درجه حرارتشان دارای نرخ (Rate) مشخصی از تشعشع در ناحیه مادون قرمز

میباشد (که البته این تشعشع برای چشم انسان نامرئی است). اما تصویر بردارهای حرارتی با توجه به ساختار تشکیل دهنده آنها (که در شکل - ۳ نشان داده شده است) انرژی حرارتی تشعشعی ساطع شده از اجسام را دریافت و با تمرکز آن به روی دتکتور به سیگنالهای الکترونیکی تبدیل مینمایند. این سیگنالها پس از تقویت به قسمت ویدئو منتقل و در آنجا پس از پردازشهای لازم به قسمت نمایش دهنده ارسال و به صورت تصویر دیده میشوند.



شکل - ۳

استفاده از تصویر برداری حرارتی در برنامه های مراقبت وضعیت (Condition Monitoring)

در ابتدا بایستی خاطر نشان کرد که استفاده از روش ترموویژن در تجزیه و تحلیل شرایط کار تجهیزات مستلزم اطلاع کافی و دقیقی از تئوری و اصول مربوط به این تکنیک نمی باشد و با داشتن اطلاعات نسبی در این خصوص نیز میتوان از آن استفاده کرد. اما آموزشهای تخصصی در این زمینه را باید مهم شمرد چون معمولاً بدون اخذ چنین آموزشهایی (که در حال حاضر نیز در دنیا در سطوح مختلف استاندارد شده اند) به هیچوجه بهره برداری از این روش مطلوب نخواهد بود و چه بسا سرمایه های صرف شده را نیز راکد و بلا مصرف نماید. بهر حال استفاده از تصویر برداری حرارتی را میتوان با انجام اقدامات اجرایی زیر در برنامه های نگهداری و تعمیرات عملی نمود:

- شناخت کامل و الویت بندی تجهیزاتی که میتوانند تحت مراقبت وضعیت (Condition Monitoring) قرار گیرند.
- تهیه دوربین ترموویژن و یا اخذ خدمات از شرکتهای ارائه کننده سرویسهای ترمو ویژن
- آموزش افراد مرتبط با روش ترموگرافی در واحدهای مربوطه و متشکل از کارشناسان تعمیرات و امور مهندسی
- بررسی عوامل و فاکتورهای مهم در آنالیز حرارتی، تجزیه و تحلیل روشهای جمع آوری اطلاعات و داده ها و پردازش آنها
- تعیین معیارها و استانداردهای لازم
- تحت کنترل داشتن و برآورد هزینه ها و صرفه جویی های اقتصادی حاصل از انجام تصویر برداری حرارتی

جهت شناخت کامل و الویت بندی تجهیزات و دسته بندی زمان انجام تصویربرداری حرارتی، ابتدا باید فهرستی از تجهیزات و ماشین آلات تهیه شود و تا حدودی رفتار حرارتی آنها شناخته شود. این مرحله اساس و بنیاد بازرسی ترموویژن را تشکیل میدهد و اصولاً بدون داشتن این اطلاعات فرد تصویر بردار ترموویژن (ترموگراف) از تجهیزاتی که باید مورد نگهداری و تعمیرات قرار گیرد آگاهی پیدا نمیکند. در این فهرست ، تجهیزات بر اساس شرایط کاری جهت بازرسی ترموویژن الویت بندی میشوند. در تهیه این فهرست مقادیر بحرانی برای هر تجهیز باید مد نظر قرار گیرند، چنین فهرستی به تعیین زمان تصویر براری حرارتی کمک کرده و

در صورتی که عیب و مشکلی پیدا شد با برنامه ریزی میتوان حق تقدم دوره تناوب تعمیرات را مشخص نمود. برای این منظور میتوان از جدول شماره- ۱ کمک گرفت.

شرایط کاری	دوره تناوب انجام تصویربرداری حرارتی (ترموویژن)
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

تهیه دوربینهای ترموویژن و یا اخذ خدمات از شرکتهای ارائه کننده این سرویسها نقطه آغازین استفاده از این روش در سیستم نگهداری و تعمیرات میباشد لذا همانند هر فعالیت تخصصی دیگر، انجام مشاوره ها ی لازم در این خصوص و باتوجه به تنوع محصولات و خدمات ضروریست.

قدم بعدی دایر نمودن روشهای مناسب و مؤثر در چرخش اطلاعات است بطوریکه تضمین کننده روند کار بازرسی بوده و به تصویر بردار ترموویژن بیشترین کمک را در جهت پیش بینی و شناسایی بهتر عیوب و خرابیها نماید. این مهم مستلزم هماهنگی بین کلیه واحدهای نگهداری و تعمیرات میباشد. بهره گیری از " سیستم مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات" (Computerized Maintenance Management System – CMMS) از کارآمدترین و مناسبترین روشهای نگهداری و تعمیرات است که این مطلب میتواند در خصوص بازرسی ترموویژن نیز پیاده شود. در این روش ارتباطی بین فهرست تجهیزات و ماشین آلات، تصاویر حرارتی تهیه شده، تعیین روند و تغییرات درجه حرارت، تعمیرات و سرویسهای انجام شده و همچنین قطعات و تجهیزات تعویض شده برقرار میشود و تمامی موارد در اسرع وقت و با دقت لازم در اختیار واحد مدیریت نگهداری و تعمیرات خواهد بود تا بتوان از حسن اجرا و حصول نتایج لازم اطمینان حاصل نماید.

کاربردها و توجیه فنی استفاده از تصویر برداری حرارتی

شناخت کاربردهای متفاوت دوربینهای ترموویژن و اجرای تصویربرداریهای حرارتی در صنایع مختلف میتواند روش مناسبی در توجیه فنی استفاده از این ابزار در مجموعه های نگهداری و تعمیرات باشد، چون در صورت شناخت کاربردها براحتی میتوان دریافت که نتایج استفاده از سیستمهای ترموویژن شامل موارد زیر خواهد بود.

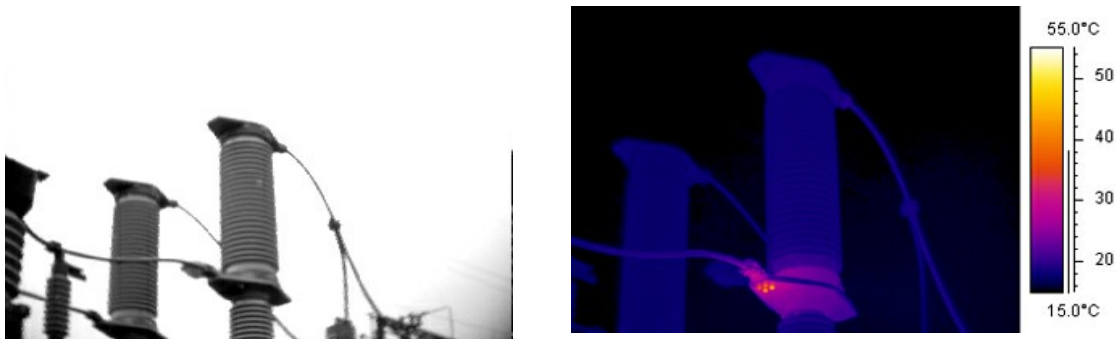
- کاهش زمان توقف تولید با حذف اتفاقات ناخواسته
- کمک در بهبود برنامه ریزی و زمانبندی بازرسی تجهیزات

- جلوگیری از اتلاف سرمایه ها و انرژی مصرفی
- سرعت بخشیدن به انجام بازرسیهای بیشتر در زمان کمتر
- افزایش دقت و کارایی در عملیات بازرسی فنی تجهیزات
- امکان بازرسی تجهیزات بعد از تعمیرات انجام شده
- امکان بهره برداری هرچه بیشتر از خطوط تولید از طریق افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات و نمایش وضعیت پروسه های تولید

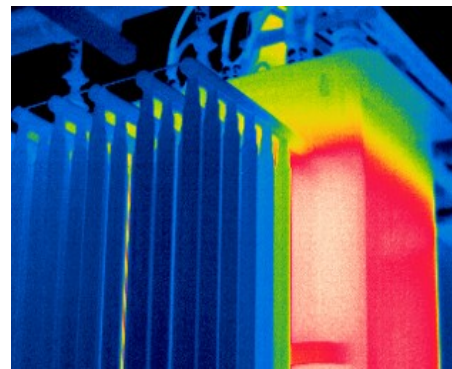
چند نمونه از کاربرد سیستمهای ترموویژن برای عیب یابی و بازرسی فنی تجهیزات بشرح زیر میباشد .

الف - تجهیزات الکتریکی

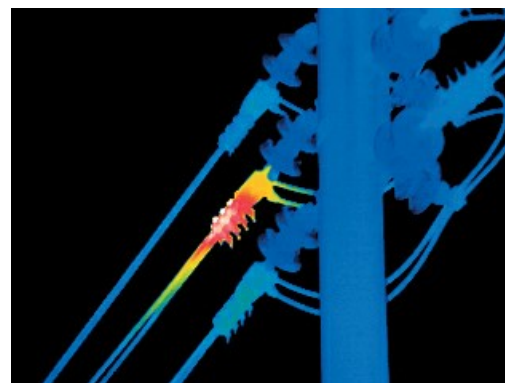
از آنجا که عبور جریان الکتریکی از مدارات ، دستگاهها و تجهیزات الکتریکی همواره با تولید حرارت همراه میباشد لذا اندازه گیری درجه حرارت و تهیه عکسهای حرارتی اجزاء و تجهیزات الکتریکی راهنمای مطمئنی در تعیین نقاط ضعف که احتمالا در آینده منجر به اتصالیهای عمده خواهد گردید میباشد . نقاط گرم در تجهیزات الکتریکی اغلب در اثر محکم نبودن ، اکسید شدن و یا خوردگی اتصالات و همچنین عدم تقارن فازها و یا خرابی عایق سیم پیچها بوجود می آید که تمامی این موارد را میتوان (چنانچه در شکلهای ۵ تا ۱۱ نشان داده شده است) با کاربرد دوربینهای ترموویژن در اندازه گیری درجه حرارت تجهیزاتی چون خطوط انتقال نیرو ، پستهای فشار قوی ، ترانسفورماتورها ، سوئیچها ، فیوزها ، کابلها و کلیه تجهیزات کنترل و تابلوهای برق آشکار نموده و آنها را قبل از اینکه منجر به اتفاقات مخرب در سیستم برق گردد برطرف نمود .



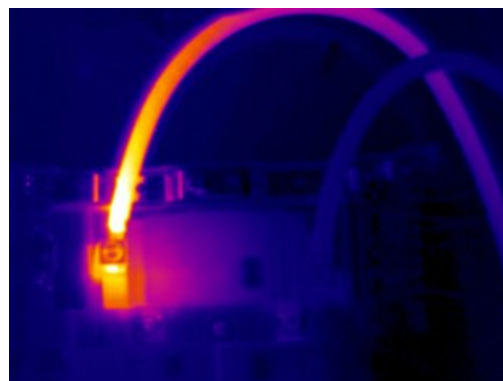
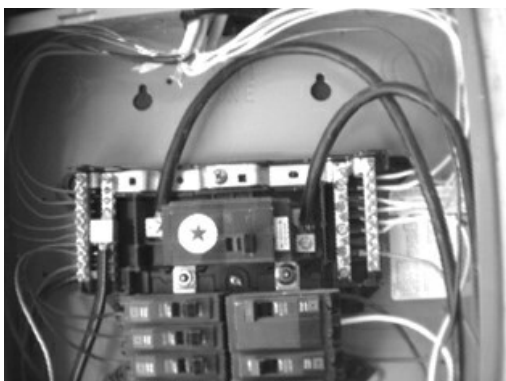
شکل - ۵ : عیب موجود بر روی اتصال هادی به کلید برق فشارقوی



شکل - ۶ : عدم خنک کنندگی مناسب ترانسفورماتور در اثر کاهش سطح روغن



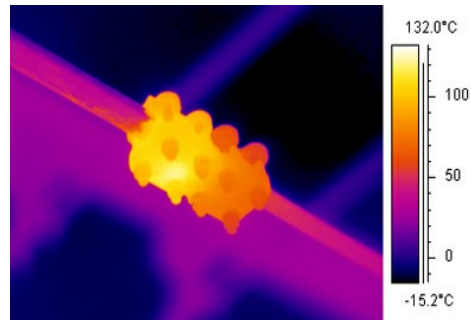
شکل - ۷ : خرابی Jumper در محل اتصال پیچها برروی هادی شبکه توزیع نیروی برق



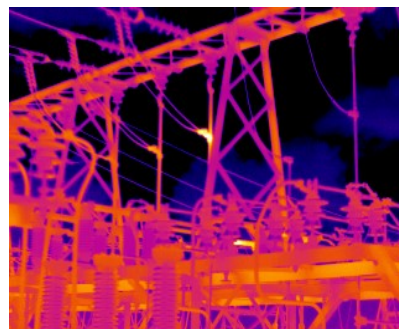
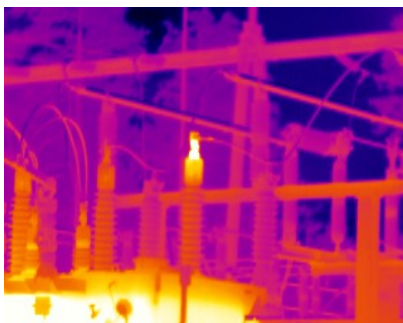
شکل - ۸ : عیب موجود برروی محل اتصال سیم در تابلو توزیع برق فشارضعیف



شکل - ۹: آشکار سازی محل عیب در جعبه تغذیه برق یک وسیله برقی



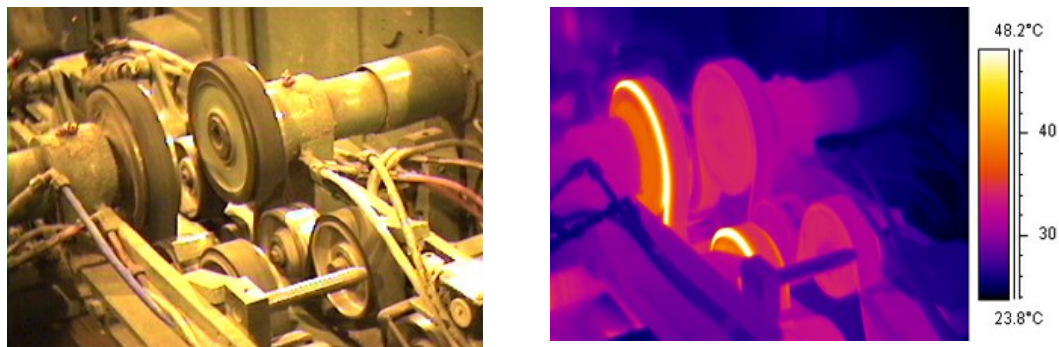
شکل - ۱۰: حرارت بیش از حد مجاز بر روی کلمپ موجود بر روی باس بار برق فشار قوی



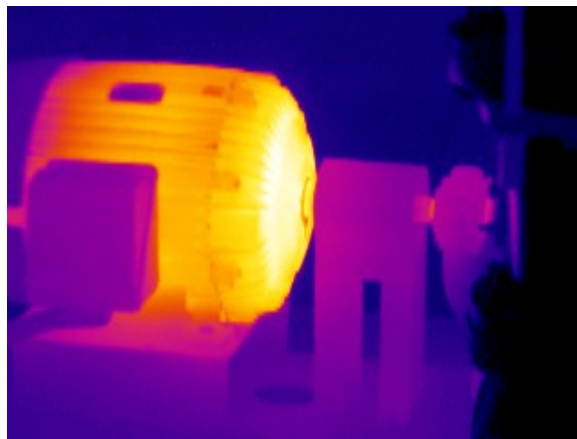
شکل - ۱۱: نمونه ای از آشکار سازی عیبهایی بر روی اتصال هادی به بوشینگ ترانس و زنجیره مقره

ب - تجهیزات مکانیکی

افزایش درجه حرارت در تجهیزات مکانیکی پدیده ای است که اغلب از خرابی یا تاقانها ، عدم روغنکاری مناسب ، عدم هم محوری و یا سرعت بیش از حد قطعات متحرک ناشی می گردد . لذا با بکار گیری سیستمهای ترموویژن در اندازه گیری درجه حرارت قطعات و وسایلی نظیر چرخ دنده ها ، شافتها ، کوپلینگها ، پولیها ، تسمه ها ، زنجیرها ، نقاله ها ، کمپرسورها ، پمپهای خلاء و کلاچها و تجزیه و تحلیل نقاط گرم موجود در آنها میتوان بخوبی علاوه بر تعیین محل عیب ، روند پیشرفت آنرا نیز مشخص نمود و بمنظور تعیین میزان ضرورت رفع عیب و زمان آن از نتایج حاصله استفاده کرد . مزیت کاربرد سیستمهای ترموویژن در مقایسه با سایر سیستمهای عیب یابی (مانند سیستم سنجش ارتعاش) عدم نیاز بکارگذاری سنسورها و تماس مستقیم با تجهیزات میباشد. مضافاً اینکه در بسیاری از تجهیزات یافتن عیوب با استفاده از سیستمهای دیگر بغیر از روش ترموگرافیک بسهولت و با دقت کافی امکان پذیر نیست . بعنوان مثال میتوان بعیب ناشی از خوردگی کامل جاروبکها در ماشینهای الکتریکی اشاره کرد که با پیدایش چنین عیبی و از روی تعیین درجه حرارت محل تماس ذغالها با کلکتور و از فاصله دور میتوان بوجود یا عدم وجود عیب مذکور پی برد . شکلهای ۱۲ و ۱۳ نمونه هایی از کاربرد دوربینهای ترموویژن را در آشکار ساختن عیوب موجود در بخشهای مختلف مکانیکی نشان میدهند.



شکل - ۱۲ : نابالانسی پولی انتقال نیروی محرکه که منجر به داغی بیش از حد تسمه گردیده است.



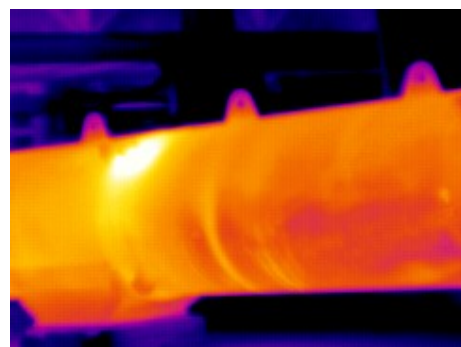
شکل - ۱۳ : خرابی یاتاقان انتهایی موتور الکتریکی منجر به افزایش حرارت در حد غیر مجاز گردیده است .

ج - عایقهای حرارتی

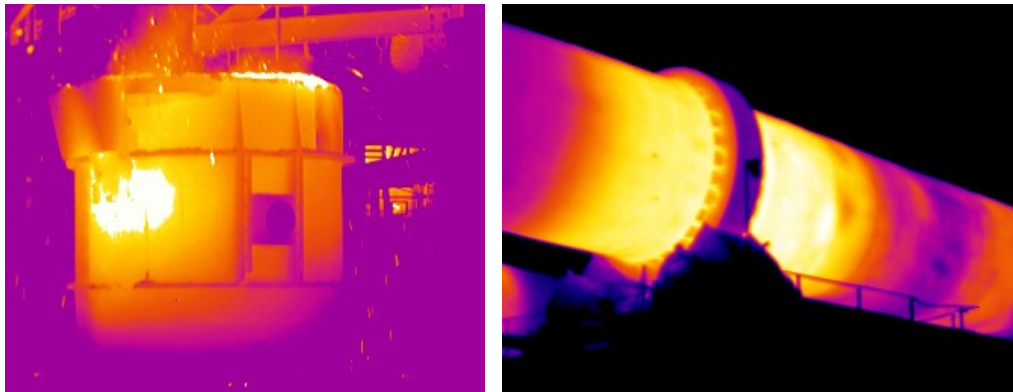
یکی از مهمترین کاربردهای ترموویژن عیب یابی و بازرسی عایقهای حرارتی کوره ها ، بویلرها ، خشک کنهای حرارتی، پاتیلهای ریخته گری ، تانکهای ذخیره سازی مواد گرم و لوله های انتقال سیالات می باشد . باین نحو که اگر بخشی از عایق تجهیزات مذکور در اثر عوامل مختلف از بین رفته باشد ، چون در آن محل نقطه گرم ایجاد میشود میتوان این نقاط گرم را با استفاده تصاویر ترموگرافیک شناسائی و میزان پیشرفت خرابی عایق را اندازه گیری نمود . شکلهای ۱۴ تا ۱۶ نمونه هایی از تصویرهای ترموگرافیک است که مبین وضعیت نامناسب عایقهای حرارتی در قسمتهای مختلفی از تجهیزات میباشد .



شکل - ۱۴ : خرابی عایق در نقاطی از خط انتقال سیالات



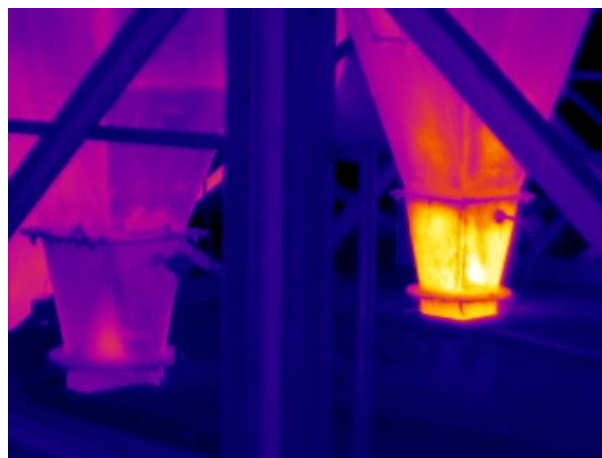
شکل - ۱۵ : آشکار سازی عیب عایق حرارتی مسیر عبور سیال



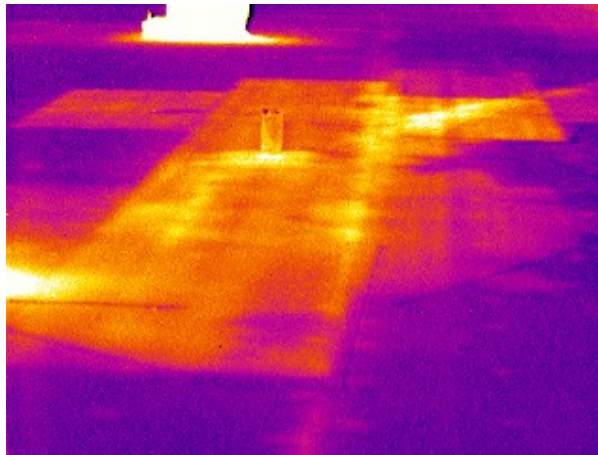
شکل - ۱۶ : نمونه ای از آشکار سازی عیب اجر های نسوز کوره فولاد سازی و سیمان

د- تعیین راندمان (تلفات) حرارتی تجهیزات و مکانها

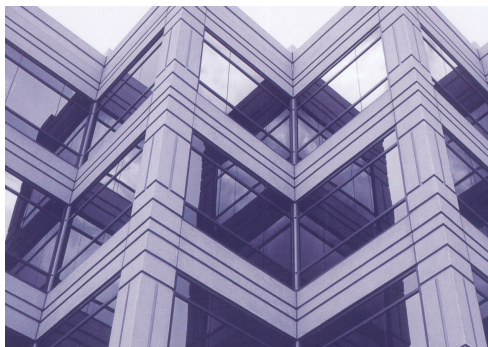
در بسیاری از تجهیزات با اندازه گیری میزان درجه حرارت سیال (یا مواد) ورودی و خروجی براحتی میتوان تلفات حرارتی را تعیین و در محاسبه راندمان حرارتی تجهیزات مذکور از آنها استفاده نمود . یکی از بارزترین نمونه های این کاربرد تعیین راندمان حرارتی برجهای خنک کننده در نیروگاهها و کارخانجات مختلف (شکل ۱۷) و یا تعیین میزان اتلاف انرژی حرارتی در ساختمانها میباشد . (شکلهای ۱۸ و ۱۹)



شکل - ۱۷ : تعیین میزان درجه حرارت در محل ورودی و خروجی یک برج خنک کننده



شکل - ۱۸ : نامناسب بودن ایزولاسیون پشت بام



شکل - ۱۹ : تلفات حرارتی بعلت عدم دوجداره بودن شیشه

۵ - مسیر عبور سیالات گرم

علاوه بر امکان بررسی وضعیت عایقهای مسیر عبور سیالات گرم ، با استفاده از سیستمهای ترموویژن میتوان محللهای نشتی را نیز در این مسیرها مشخص و آنها را قبل از ایجاد حادثه برطرف نمود . شکل ۲۰ و ۲۱ نمونه ای از این کاربرد را در مشخص نمودن نشت بخار از یک مسیر سیال و همچنین یک تله بخار را نشان میدهند .



شکل - ۲۰ : نشت بخار در داخل یک تله بخار



شکل - ۲۱ : نشت بخار از مسیر سیال

نتیجه گیری و پیشنهاد

باتوجه به توسعه و گسترش تجهیزات و صنایع ناکارآمد شدن روشهای سنتی بازدیدهای پرIODیک و پیشگیرانه روزه روز ملموس تر میشوند. ازطرفی تجربیات چندین ساله در استفاده از دوربینهای ترموویژن مبین اهمیت بکارگیری فن آوری تصویر برداری حرارتی (ترموویژن) بمنظور بهبود روشهای بهره برداری ، بازرسی فنی و انجام تعمیرات میباشد. دراین راستا با مد نظر قراردادن این مطلب که بر اساس گزارشهای مستند مراکز تحقیقاتی معتبر و شرکتهای متعدد در دنیا صرف هزینه ای معادل یک دلار برای انجام تصویر برداری های ترموویژن بازگشتی معادل ۴ دلار را به همراه خواهد داشت میتوان اقدامات اجرائی زیر را بکار بست :

- ۱- شناخت کامل تجهیزاتی که میتوانند توسط این روش مورد مراقبت وضعیت (**Condition Monitoring**) قرار گیرند.
- ۲- تهیه دوربین ترموویژن و نرم افزارهای مربوطه و یا اخذ خدمات از شرکتهای ارائه کننده سرویسهای ترموویژن
- ۳- آموزش گروهی ویژه درارتباط باروش تصویربرداری حرارتی (ترموویژن) در واحدهای مربوطه و متشکل از کارشناسان تعمیرات و امور مهندسی

با عنایت بموارد فوق و خصوصاً استفاده روزافزون صنایع مختلف از دوربینهای ترموویژن ، این شرکت بعنوان تخصصی ترین مرکز ترموویژن در کشور آمادگی دارد تا ضمن ارائه دوربینهای مذکور ، خدمات آموزشی و پس از فروش آن را در اختیار آن شرکت قرار دهد. در خاتمه ضمن اشاره مجدد به اهمیت خدمات پس از فروش تجهیزات ترموویژن خصوصاً **آموزش و کالیبراسیون آنها** ، یادآوری مینماید که در صورت عدم ارائه خدمات تخصصی در این زمینه ، هزینه های سرمایه گذاری شده میتواند راکد و بلامصرف بماند .