

IGS-O-MN-006(0)	شهریور 1401
Approved	مصوب



شرکت ملی گاز ایران
مدیریت پژوهش و فناوری
امور تدوین استانداردها

IGS

دستورالعمل

الزامات ترموگرافی غیرفعال

Passive Thermography Requirments



تاریخ: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷
شماره: گ.دب/۰-۲۴۴/۰-۲۱۱۰۰



شرکت ملی گاز ایران



دفتر مدیرعامل

ابلاغ مصوبه هیأت مدیره

مدیر محترم پژوهش و فناوری

باسلام،

به استحضار می‌رساند در جلسه ۱۹۸۵ مورخ ۱۴۰۱/۰۸/۰۱ هیأت مدیره، نامه شماره گ.۱۰۹۹۵۰/۰۰۰/۹ مورخ ۱۴۰۱/۰۷/۲۴ آن مدیریت درمورد تصویب نهایی مقررات فنی شرکت ملی گاز ایران به شرح زیر مطرح و مورد تصویب قرار گرفت.

۱- الزامات کنترل نشستی در خطوط انتقال و شبکه های توزیع گاز طبیعی

IGS-O-SF-004(2)

۲- الزامات ترموگرافی غیرفعال

IGS-O-MN-006(0)

سید محمد پیشوایی
دبیر هیأت مدیره

رونوشت: مدیرعامل محترم شرکت ملی گاز ایران و رئیس هیأت مدیره

اعضای محترم هیأت مدیره

مشاور و رئیس دفتر محترم مدیرعامل

سرپرست محترم امور حقوقی

رئیس محترم حسابرسی داخلی

رئیس محترم امور مجامع



پیشگفتار

۱. این استاندارد/دستورالعمل به منظور استفاده اختصاصی در شرکت ملی گاز ایران و شرکت های فرعی وابسته تهیه شده است.
۲. شرکت ملی گاز ایران در مورد نیازهای عمومی از استانداردهای وزارت نفت (IPS) و در مورد نیازهای تخصصی از استانداردهای اختصاصی خود (IGS) استفاده می کند.
۳. استانداردهای شرکت ملی گاز ایران (IGS) با نظارت کمیته های تخصصی استاندارد، متشکل از کارشناسان و مشاوران بخش های مختلف تهیه و پس از تأیید شورای استاندارد (منتخب هیأت مدیره شرکت ملی گاز ایران) به تصویب هیأت مدیره شرکت ملی گاز می رسند.
۴. در تنظیم متن استانداردهای (IGS)، از همه منابع شناخته شده و معتبر علمی، اطلاعات فنی-تخصصی مربوط به صنایع گاز دنیا، مشخصات فنی تولیدات سازندگان معتبر جهانی و نیز از نتیجه پژوهش ها و تجارب کارشناسان داخلی بر حسب مورد استفاده می شود. همچنین به منظور استفاده از هر چه بیشتر از تولیدات ملی، قابلیت های سازندگان داخلی نیز مورد توجه قرار می گیرد.
۵. استانداردها به طور متوسط هر ۵ سال یک بار و یا در صورت ضرورت، زودتر، بازنگری و به روز رسانی می شود. بنابراین کاربران باید همیشه آخرین نگارش را مورد استفاده قرار دهند.
۶. هرگونه نظر و یا پیشنهاد اصلاح در مورد استانداردها مورد استقبال و بررسی قرار خواهد گرفت و پس از تأیید، استاندارد مربوطه نیز بازنگری خواهد شد.



فهرست

صفحه	عنوان
۳	۱- هدف و دامنه کاربرد.....
۳	۲- منابع.....
۴	۳- تعاریف و اصطلاحات.....
۶	۴- الزامات
۱۰	۵- معیارهای سنجش شدت و اهمیت عیوب
۱۰	۵-۱- معیار اختلاف دما (ΔT) در سیستم های الکتریکی.....
۱۱	۵-۲- معیار اختلاف دما (ΔT) در سیستم های مکانیکی.....
۱۱	۵-۳- معیار دمای مطلق (Absolute Temperature Criteria) در سیستم های الکتریکی.....
۱۳	۵-۴- معیار دمای مطلق (Absolute Temperature Criteria) در سیستم های مکانیکی.....
۱۴	۶- مستند سازی
۱۶	پیوست الف
۱۶	جدول الف-۱ : مرجع حرارتی سیستم های الکتریکی
۱۸	جدول الف-۲ : مرجع حرارتی سیستم های مکانیکی
۲۱	پیوست ب
۲۱	۱- مبانی و مفاهیم ترموگرافی
۲۲	۲- تکنیک های ترموگرافی
۲۲	۲-۱- ترموگرافی مقایسه ای (Comparative Thermography).....
۲۳	۳- اندازه گیری ضریب تابش جسم
۲۳	۴- روش مستقیم (Direct Method) محاسبه دمای پس زمینه.....
۲۴	۵- روش ساده تست کالیبره بودن دوربین ترموگرافی.....
۲۵	جدول ب-۱ : جداول عمومی ضریب تابش (ε) برای مواد مختلف

۱- هدف و دامنه کاربرد

۱-۱- هدف از تدوین این استاندارد، استقرار روشی یکسان در بکارگیری از تکنیک ترموگرافی به عنوان

یکی از تکنیک های پایش وضعیت تجهیزات در سطح شرکت ملی گاز ایران می باشد.

۱-۲- دامنه کاربرد این استاندارد در سطح شرکت ملی گاز ایران می باشد.

۱-۳- روش مورد بحث در این استاندارد، روش ترموگرافی غیر فعال (Passive) می باشد.

۱-۴- این استاندارد مشتمل بر موارد زیر است:

۱-۴-۱- عملیات ترموگرافی سیستم های الکتریکی و مکانیکی

۱-۴-۲- الزامات انجام کار تصویر برداری حرارتی به منظور پایش وضعیت تجهیزات

۱-۴-۳- معیارهای سنجش شدت و اهمیت عیوب

۱-۴-۴- اولویت بندی اقدامات مورد نیاز در خصوص خرابی ها بر مبنای دما

۱-۵- در بکارگیری از این استاندارد توجه به نکات زیر ضروری است:

۱-۵-۱- تصویر برداری حرارتی نوعی تکنیک پایش وضعیت به منظور جمع آوری و تهیه اطلاعات

حرارتی یک تجهیز در زمان تصویر برداری می باشد.

۱-۵-۲- تصویر برداری حرارتی، سیستم را بی نیاز از سایر ارزیابی ها و اندازه گیری های مفید نمی کند.

۱-۵-۳- بمنظور اطمینان یافتن از عملکرد صحیح و با قابلیت اطمینان تجهیزات، نیاز به بکارگیری

ازاین روش در کنار سایر روش های نگهداری و تعمیرات می باشد.

۲- منابع

در تهیه این استاندارد منابع زیر مورد استفاده قرار گرفته اند:

- 1- Infraspection Institute Standard:2016, "Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment"
- 2- ASTM E1934-99a:2014, "Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography"
- 3- ISO18434-1: 2008, "Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography Part 1: General procedures"
- 4- ISO18434-2: 2019, "Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography Part 2: Image interpretation and diagnostics"
- 5- NFPA 70B:2019, "Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance"
- 6- NFPA 70E:2015, "Standard for Electrical Safety In the Workplace"

۳- تعاریف و اصطلاحات

۳-۱- تصویر حرارتی (Thermogram)

نقشه حرارتی یا تصویر یک جسم که به صورت سیاه و سفید یا طیف رنگی، توزیع انرژی تابشی حرارتی مادون قرمز را بر روی سطح آن نشان می دهد .

۳-۲- تصویر بردار حرارتی (Thermographer)

شخصی است آموزش دیده و واجد شرایط به منظور بکارگیری از دوربین مادون قرمز و تصویر برداری حرارتی .

۳-۳- روش ترموگرافی فعال (Active Thermography)

در این روش، تصویر بردار حرارتی سعی دارد تا با استفاده از منابع انرژی، سوژه ی ترموگرافی را تحت تاثیر قرار داده و با بالا بردن دمای سطح آن، به ثبت عکس العمل جسم بپردازد.

۳-۴- روش ترموگرافی غیر فعال (Passive Thermography)

در این روش، تصویر بردار هیچ گونه دخالت و تاثیری در سوژه ی ترموگرافی ندارد و آن چه که دیده می شود شرایط موجود تجهیز در محیط و وضعیتی است که در آن قرار دارد. به عبارتی، تصویر بردار حرارتی تنها یک ناظر و ثبت کننده ی شرایط جاری است.

۳-۵- ترموگرافی کیفی (Qualitative Thermography)

عملیات ترموگرافی که تصاویری از نقاط نشانگر عیب و الگوی حرارتی را ارائه می دهد، اما بیانگر اطلاعات میزان درجه حرارت نمی باشد.

۳-۶- ترموگرافی کمی (Quantitative Thermography)

عملیات ترموگرافی که تصاویری از نقاط نشانگر عیب و الگوی حرارتی را همراه با مقادیر دمایی ارائه می دهد.

۳-۷- جسم سیاه (Black body)

انتشار دهنده و جذب کننده کامل انرژی تابشی حرارتی در تمامی طول موج ها را جسم سیاه گویند.

۳-۸- دوربین ترموگرافی (Thermography Camera)

دوربین ترموگرافی ابزاری است که با دریافت اشعه مادون قرمز از سطح جسم ، الگوی توزیع دمای ظاهری سطح را بوسیله تصویر سیاه و سفید یا طیف رنگی نشان می دهد.

۳-۹- ضریب تابش / نشر (Emissivity Factor)

نسبت مقدار انرژی واقعی ساطع شده از جسم مورد نظر در دما و طول موج معین به انرژی ساطع شده از یک جسم سیاه در همان دما و طول موج را ضریب تابش/نشر گویند.

۳-۱۰- قابلیت انتقال (Transmissivity)

میزان سهم اشعه عبوری از سطح جسم از کل اشعه تابیده شده به سطح جسم در یک طول موج را قابلیت انتقال گویند که برای جسم سیاه $T=0$ می باشد.

$$\tau = 1 - \varepsilon - \rho \quad T: \text{Transmissivity} \ \& \ \varepsilon: \text{Emissivity} \ \& \ \rho: \text{Reflectivity}$$

۳-۱۱- قابلیت بازتابش / انعکاس (Reflectivity)

نسبت کل میزان انرژی منعکس شده از یک سطح به میزان انرژی تابیده شده به سطح را قابلیت بازتابش گویند که برای جسم سیاه $\rho=0$ می باشد.

$$\rho = 1 - \varepsilon - \tau$$

۳-۱۲- نقطه نشانگر عیب (Exception)

هرگونه افزایش یا کاهش دمای غیرعادی در تجهیزات (به عنوان مثال اتصالات الکتریکی، هادی ها یا تجهیزات دوار و ...) که موجب بروز عیب یا ایجاد پتانسیل بالقوه برای بروز عیب شود را نقطه نشانگر عیب (Exception) گویند.

۳-۱۳- دمای پس زمینه (Background Temperature)

به دمای متناظر با تشعشع انعکاسی یک جسم داغ که به جسم برخورد می کند و به صورت انعکاسی به دوربین ترموگرافی وارد می شود، دمای پس زمینه گویند.

۳-۱۴- کارشناس همراه (Qualified Assistant)

شخصی (یا اشخاصی) است دارای صلاحیت که تجربه و اختیار اندازه گیری بار تجهیزات ، برداشتن پوشش تجهیزات و راه اندازی تجهیزات را دارد . از عملکرد و تاریخچه تجهیزات آگاه است و در خصوص کلیه اقدامات ایمنی ، قوانین و دستورالعمل های مرتبط آموزش دیده است.

۳-۱۵- اندازه گیری پایه (Baseline Measurement)

تصویر برداری حرارتی در شرایط عادی بهره برداری و وضعیت مناسب و سالم تجهیزات می باشد.



۴- الزامات

۴-۱- عملیات ترموگرافی باید در شرایطی انجام شود که عوامل محیطی تاثیرگذار از قبیل تابش خورشید، باد، بارش باران و انتقال حرارت در وضعیت مناسبی (حداقل تاثیر گذاری) برای برداشت اطلاعات باشد. بهترین زمان تصویر برداری حرارتی برای تجهیزات سایت، هوای ابری، بدون وزش باد و بارش باران می باشد.

۴-۲- با توجه به خاصیت فیلترینگ آب در عبور اشعه IR، از انجام عملیات ترموگرافی در هوای بارانی و یا بلافاصله بعد از بارش باران خودداری گردد. همچنین در مواقعی که سرعت باد از ۲۹ کیلومتر بر ساعت بیشتر باشد انجام عملیات ترموگرافی نتایج قابل استنادی را بدنبال نخواهد داشت. به منظور تخمین دقیق سرعت باد، بایستی از بادسنج استفاده کرد.

۴-۳- در دماهای کمتر از 20°C انرژی تابشی کافی برای کار با دوربین ترموگرافی وجود ندارد و برای اندازه گیری دماهای کمتر از این مقدار بهتر است از روش های مرسوم دیگر استفاده شود.

۴-۴- انجام کلیه فعالیت های عملیات ترموگرافی منوط به رعایت نظام پروانه های کار شرکت ملی گاز ایران می باشد.

۴-۵- تصویربردار حرارتی باید به منظور تقویت ملاحظات ایمنی و ارتقاء توانمندی تحلیل، به اتفاق کارشناس همراه که دارای اطلاعات کافی در زمینه تجهیزات و تاسیسات مورد بازرسی است همراهی شود.

۴-۶- تصویر بردار حرارتی باید تمامی معیارها و ضوابط ایمنی را رعایت نموده و از انجام عملیات تصویر برداری بدون لحاظ نمودن اقدامات ایمنی اجتناب نماید.

۴-۷- تصویربردار حرارتی نباید پوشش تجهیزات، علی الخصوص تابلوهای حاوی تجهیزات الکتریکی را برداشته یا اقدام به باز و بسته نمودن آنها نماید. این عملیات بایستی توسط کارشناس همراه انجام شود.

۴-۸- محفظه های تجهیزات الکتریکی و مکانیکی باید برای دسترسی مستقیم به اجزای موجود در آن، باز شوند. در برخی موارد، ممکن است نیاز به جداسازی بیشتر باشد تا امکان انجام کامل ترموگرافی فراهم شود. به عنوان مثال می توان به موانع دی الکتریک، محافظ های پلاستیکی شفاف و سایر موادی اشاره کرد که نسبت به انرژی مادون قرمز مات هستند.



۴-۹- تمام پوشش های لازم باید بلافاصله قبل از عملیات ترموگرافی باز شده و بلافاصله پس از انجام ترموگرافی بسته شود.

۴-۱۰- تصاویر ترموگرافی باید در زمان برداشت ، در فوکوس کامل باشند بطوریکه لبه های اجسام به صورت واضح دیده شوند.

۴-۱۱- به منظور پایش وضعیت ماشین ها در ترموگرافی کیفی، توصیه می شود تصویر حرارتی تهیه شده، تا حد امکان شامل بیشتر قسمت های ماشین باشد تا امکان مقایسه و تجزیه و تحلیل الگو در یک تصویر را فراهم نماید. بطور معمول ، اخذ تصاویر می تواند از زاویه ۴۵ درجه به گوشه ماشین باشد. همچنین جهت امکان مقایسه، باید تصاویر دارای محدوده دمایی (Span) یکسانی باشند.

۴-۱۲- تصویر بردار حرارتی، نباید اقدام به اندازه گیری بارالکتریکی تجهیزات نماید و این عملیات بایستی توسط کارشناس همراه انجام شود.

۴-۱۳- تصویر بردار حرارتی نباید اقدام به لمس تجهیزات مورد بازرسی نموده و باید همیشه فاصله مطمئن از تجهیزات را حفظ نماید .

۴-۱۴- برای جلوگیری از برق گرفتگی ناشی از نزدیک شدن به تجهیزات الکتریکی زیر بار ، باید فاصله مجاز رعایت گردد. (به استاندارد NFPA 70E رجوع شود)

۴-۱۵- قبل از تصویر برداری حرارتی بایستی تجهیزات مورد بازرسی تحت بار مناسب بوده و به مدت کافی جهت رسیدن به الگوی حرارتی پایدار، زیر بار قرار گیرند. بهترین حالت برای این منظور، عملکرد تحت بار نامی می باشد. صحت عملکرد تجهیزات در بیش از بار عملیاتی می تواند ضمانت کننده ی وضعیت قابل قبول و سلامت تجهیز باشد.

۴-۱۶- به منظور دستیابی به نتایج قابل استناد، ترموگرافی تجهیزات باید با بار بیشتر از ۴۰ درصد بار نامی انجام شود. انجام عملیات ترموگرافی با بار کمتر از ۴۰ درصد بار نامی نتایج مطلوبی را به دنبال نخواهد داشت.

۴-۱۷- جهت کمک به تحلیل و تفسیر تصاویر، توصیه می شود دقیقا از همان مکان، جهت و محتوای موضوع قبل، تصاویر حرارتی تهیه شوند و شرایط کارکردی ، بار تجهیز و شرایط محیطی در زمان داده برداری، تا حد امکان یکسان باشد.



۴-۱۸- تصویر بردار حرارتی هنگام انجام ترموگرافی کمی باید تمام تلاش خود را برای اطمینان از صحت دمای محاسبه شده انجام دهد و به طور خاص، باید به ضریب نشر، دمای پس زمینه، شرایط آب و هوایی و اندازه هدف توجه نماید.

۴-۱۹- جهت محاسبه دمای جسم، ضریب تابش سطح باید بطور صحیح تعیین شده و در دوربین ترموگرافی وارد گردد. (به پیوست ب رجوع شود)

۴-۲۰- با توجه به وابستگی میزان تابش اشعه مادون قرمز از سطح تجهیز به زاویه دوربین نسبت به آن، به منظور محاسبه دمای سطوح، حداکثر زاویه مجاز ترموگرافی نسبت به نرمال سطح تجهیزات ۴۵ درجه می باشد.

۴-۲۱- برای سطوح با ضریب تابش کم ($\epsilon < 0.5$)، برخی از سطوح مجاور می توانند انعکاس هایی را ایجاد کنند که همراه کننده می باشد. لذا بایستی از تکنیک هایی از قبیل تغییر موقعیت تصویر برداری و یا جلوگیری از انعکاس نور از منابع مختلف مجاور استفاده گردد. اثر تابشی اجسام بزرگ بر روی جرم های کوچک را با استفاده از یک مانع که از تابش حرارتی جلوگیری می کند، می توان از بین برد یا این که با محاسبه این دما، تاثیرات دمای پس زمینه در دوربین وارد و در محاسبات دمای جسم مورد نظر اعمال گردد.

توجه : در شرایطی که ضریب تابش سطح کم است، با استفاده از روشهای رنگ آمیزی، چسباندن نوار چسب (مانند چسب برق با $\epsilon \approx 0.95$) روی سطح جسم و یا ایجاد حفره (سوراخ) می توان ضریب تابش را اصلاح نمود. به خاطر ساختار حفره یا سوراخ پیچ ها، در ترموگرافی می توان حفره ها را با تقریب خوبی جسم سیاه در نظر گرفت و دما را به کمک دوربین ترموگرافی محاسبه کرد.

۴-۲۲- قبل از عملیات ترموگرافی بایستی منابع گرما و سرما را در اطراف تجهیز به خوبی بررسی کرده و اثر تابشی آنها را در نظر گرفت. تصاویر ترموگرافی باید از مکان هایی تهیه شوند که خطاهای ناشی از منابع دیگر همچون بازتاب های پس زمینه و بازتاب های خورشیدی حذف شده و یا در حداقل ممکن باشد.

۴-۲۳- در ترموگرافی از تجهیزات برقی بایستی دقت داشت که افزایش دمای اندک روی عایق می تواند نشانگر افزایش زیاد حرارت روی رسانا باشد.

۴-۲۴- در برنامه های تصویر برداری حرارتی دوره ای، به منظور دستیابی به اجرای ایمن، منسجم و بهینه ی عملیات ترموگرافی در تاسیسات، قبل از عملیات مذکور باید مسیر (توالی انجام) ترموگرافی مشخص گردد.



۴-۲۵- با توجه به اینکه شیشه، فیلتر اشعه مادون قرمز می باشد ، تصویر برداری نباید از پشت درها یا پنجره های شیشه ای انجام شود.

۴-۲۶- برنامه ترموگرافی سیستم های الکتریکی زیر بار باید به صورت سالانه قبل از توقف تجهیز اجرا شود.

۴-۲۷- در مواردی که سوابق تلفات ، نصب تجهیزات جدید، تغییرات در محیط و یا شرایط بار وجود دارد، تعیین دوره ی برنامه ترموگرافی برای نمونه به صورت فصلی و یا نیم ساله (تناوب ویژه) طرح ریزی گردد.

۴-۲۸- توصیه می شود انجام تصویر برداری حرارتی بلافاصله پس از تعمیرات اساسی تجهیزات انجام شود.

۴-۲۹- از به کار بردن دوربین ترموگرافی در مکان هایی با دمایی بالاتر از حداکثر دمای مجاز کار دوربین، خود داری شود.

۴-۳۰- لنز دوربین نباید در راستای تابش نور خورشید قرار گیرد، زیرا با تابش مستقیم نور خورشید به سنسور دوربین آسیب وارد خواهد آمد.

۴-۳۱- تصویربردار حرارتی باید نسبت به کالیبره بودن دستگاه ترموگرافی اطمینان حاصل نماید. (به پیوست (ب) رجوع شود)

۴-۳۲- باید در هر دو تکنیک ترموگرافی کیفی و کمی مقایسه ای (به پیوست (ب) رجوع شود) ، اندازه گیری های پایه (Baseline) برای تجهیزات حیاتی انجام شود. این امر جهت مقایسه نتایج دوره های بعدی عملیات ترموگرافی با حالت اولیه تجهیز تحت بار و شرایط محیطی یکسان بسیار مهم می باشد. داشتن الگوهای حرارتی تجهیزات در شرایط عادی بهره برداری می تواند مبنای مقایسه خوبی برای برنامه های ترموگرافی در نظر گرفته شود. همچنین این الگوهای اولیه ی عادی می تواند سرعت شناسایی تجهیزات معیوب یا دارای اشکال را بسیار افزایش دهد. تهیه ی الگوهای مبنا باید در شرایط عادی بهره برداری و وضعیت مناسب و سالم تجهیز و با دقت انجام شود. جهت دستیابی به نتیجه مطلوب در این روش بایستی شرایط تصویر برداری ، تنظیمات دوربین و همچنین شرایط بهره برداری تجهیز در تصویر برداریها یکسان باشد.



۵- معیارهای سنجش شدت و اهمیت عیوب

به منظور شناسایی میزان شدت و اهمیت عیوب، می توان از معیارهای شرح داده شده در این بخش استفاده کرد. این معیارها، مرزبندی دقیقی را ارائه نمی دهند بلکه برای کمک به اولویت بندی اقدامات تعمیراتی استفاده می شوند.

۵-۱- معیار اختلاف دما (ΔT) در سیستم های الکتریکی

تصویربرداری برای سنجش و محاسبه شدت و اهمیت عیب می تواند از معیار اختلاف دما (ΔT) استفاده نماید. در این قاعده، تفاوت دمای نقطه نشانگر عیب با یک مرجع تعریف شده، مورد ارزیابی قرار می گیرد. مرجع معمولاً می تواند دمای هوای محیط، اجزاء مشابه تحت شرایط همسان یا ماکزیمم درجه حرارت مجاز باشد.

جدول ۱: معیار اختلاف دما برای تجهیزات الکتریکی (بر اساس استاندارد NETA)

اولویت	اختلاف دما مابین اجزاء مشابه تحت بار همسان	اختلاف دما با محیط	وضعیت تجهیز / اقدام توصیه شده
۱	بزرگتر از ۱۵ درجه سانتی گراد	بزرگتر از ۴۰ درجه سانتی گراد	دارای عیب وخیم (انجام تعمیر آنی)
۲	---	۲۱ الی ۴۰ درجه سانتی گراد	تحت نظر قرار گرفته تا اقدام اصلاحی در اولین فرصت بعمل آید
۳	۴ الی ۱۵ درجه سانتی گراد	۱۱ الی ۲۰ درجه سانتی گراد	وجود عیب احتمالی (انجام تعمیرات در زمان مناسب)
۴	۱ الی ۳ درجه سانتی گراد	۱ الی ۱۰ درجه سانتی گراد	احتمال کم وجود عیب (نیاز به بررسی)



جدول ۲: معیار اختلاف دما برای تجهیزات الکتریکی و مکانیکی
(بر اساس معیار تجربی بازرسان سطح II ترموگرافی)

اولویت	اختلاف دما (ΔT)	اقدام توصیه شده
۱	بزرگتر از ۴۰ درجه سانتی گراد	اقدام اصلاحی و تعمیرات لازم است بصورت آنی انجام شود
۲	بزرگتر از ۲۰ الی ۴۰ درجه سانتی گراد	اقدام اصلاحی و تعمیرات لازم است در اولین فرصت انجام شود
۳	بزرگتر از ۱۰ الی ۲۰ درجه سانتی گراد	اقدام اصلاحی و تعمیرات حتی المقدور قبل از برنامه تعمیرات دوره ای انجام گردد
۴	۱ الی ۱۰ درجه سانتی گراد	اقدام اصلاحی در برنامه دوره ای تعمیرات قرار گرفته و در دوره بعدی انجام شود

۵-۲- معیار اختلاف دما (ΔT) در سیستم های مکانیکی

۵-۲-۱- تصویربردار حرارتی برای سنجش و محاسبه شدت و اهمیت عیب سیستم های مکانیکی می تواند از معیار اختلاف دما (ΔT) استفاده نماید. در این قاعده، تفاوت دمای نقطه نشانگر عیب با یک مرجع تعریف شده، مورد ارزیابی قرار می گیرد. مرجع معمولاً می تواند دمای هوای محیط، اجزاء مشابه تحت شرایط همسان و یا ماکزیمم درجه حرارت مجاز باشد. در جدول ۲ معیار تجربی اختلاف دما برای تجهیزات الکتریکی و مکانیکی نشان داده شده است.

۵-۲-۲- با اندازه گیری های منظم در بازه های زمانی تعیین شده در اجزاء مشابه، تحت شرایط بهره برداری و وضعیت محیطی همسان و با تکیه بر تحلیل آماری، می توان سمت و سوی عملکرد دمایی این تجهیزات را پیش بینی کرد.

۵-۳- معیار دمای مطلق در سیستم های الکتریکی

۵-۳-۱- تصویر بردار حرارتی ممکن است از معیار دمای مطلق برای شناسایی شدت و اهمیت عیوب در سیستم های الکتریکی استفاده کند. کلیه دماهای ذکر شده در این استاندارد برحسب درجه سانتی گراد می باشد.

دمای محیط = دمای نامی محیط (مجاز)

Ambient= rated Ambient Temperature

حداکثر دمای مجاز/ میزان افزایش دما ی نامی مجاز / دمای نامی محیط (مجاز)

(Ambient / Rated Rise / Maximum Allowable)



حداکثر دمای مجاز = دمای نامی محیط (مجاز) + میزان افزایش دمای نامی (مجاز)

$$\text{Maximum Allowable Temperature} = \text{Rated Ambient} + \text{Rated Rise}$$

۵-۳-۲- زمانی که به دلیل بروز عیب و وجود جزء معیوب، اجزاء و قطعات مجاور سیستم گرم شده باشند، به منظور رعایت محافظه کاری، کمترین دمای موجود در جدول مربوط به قطعات همجوار، به عنوان مرجع (از جدول الف-۱) مد نظر قرار می گیرد. به عنوان مثال، در ترموگرافی از یک ترمینال داغ که یک سیم را به بریکر وصل می کند، دمای جزئی که کمترین مقدار را دارد از جدول به عنوان مرجع مد نظر قرار می گیرد.

۵-۳-۳- در صورتیکه تصویر بردار حرارتی موفق به شناسایی کامل نوع جزء مورد بازرسی (در جداول پیوست الف) نشود، باید به منظور پرهیز از خطا کمترین دمای موجود در فهرست اجزاء همگروه و همسان در جدول الف-۱ را مد نظر گیرد. به عنوان مثال در صورتیکه سیم عایق‌داری مورد بازرسی قرار گیرد که امکان مشاهده مشخصات روی سیم موجود نباشد، کمترین دمای مجاز مختص به هادی‌های روکش دار موجود در جدول، مد نظر قرار خواهد گرفت.

۵-۳-۴- قاعده و معیار دمای مطلق براساس بهره برداری تجهیزات در حداکثر دمای محیطی مجاز و در ۱۰۰٪ بار نامی می باشد. باتوجه به اینکه چنین شرایطی در وضعیت عملی وجود ندارد، رابطه زیر برای بدست آوردن حداکثر دمای مجاز تصحیح شده (T_{maxcorr})، برای اعمال بار واقعی بهره برداری که معمولاً کمتر از میزان بار نامی می باشد و همچنین اعمال دمای واقعی محیط بکار می رود:

$$T_{\text{maxcorr}} = \{(A_{\text{meas}} \div A_{\text{rated}})^2 (T_{\text{rated rise}})\} + T_{\text{ambmeas}}$$

T_{maxcorr} = حداکثر دمای مجاز تصحیح شده (درجه سانتی گراد)

A_{meas} = بار اندازه گیری شده بر حسب آمپر

A_{rated} = بار نامی بر حسب آمپر

$T_{\text{rated rise}}$ = افزایش دمای نامی مجاز (بر اساس مقادیر استاندارد (جدول الف-۱))

T_{ambmeas} = دمای اندازه گیری شده محیط (درجه سانتی گراد)



مثال: فیوزی در دمای ۶۸ درجه سانتی گراد تحت بهره برداری قرار دارد دمای اندازه گیری شده محیط ۳۵ درجه سانتی گراد می باشد $T_{amb\text{meas}} = 35^{\circ}\text{C}$ ، بار نامی فیوز $A_{rated} = 100\text{ A}$ بوده ولی بار حقیقی اندازه گیری شده (A_{meas}) برابر با ۵۰ آمپر می باشد.

۱- ماکزیمم دمای مجاز تصحیح شده فیوز ($T_{max\text{corr}}$) چقدر است ؟

۲- آیا فیوز با توجه به دمای مشاهده شده ی آن دارای عیب می باشد ؟

$$T_{max\text{corr}} = \{(A_{meas} \div A_{rated})^2 (T_{rated\text{rise}})\} + T_{amb\text{meas}}$$

$$T_{max\text{corr}} = \{(50 \div 100)^2 (30)\} + 35 = 7.5 + 35 = 42.5^{\circ}\text{C}$$

حداکثر دمای مجاز تصحیح شده ی فیوز معادل 42.5°C می باشد. بنابراین دمای ۶۸ درجه ی سانتی گراد فیوز بیانگر نقطه نشانگر عیب (Exception) می باشد!

۵-۴- معیار دمای مطلق (Absolute Temperature Criteria) در سیستم های مکانیکی

۵-۴-۱- تصویر بردار حرارتی ممکن است از معیار دمای مطلق برای شناسایی شدت و اهمیت عیوب در سیستم های مکانیکی استفاده کند.

۵-۴-۲- زمانی که بدلیل بروز عیب و وجود تجهیز معیوب، اجزاء و قطعات مجاور سیستم گرم شده باشند، جهت رعایت محافظه کاری و پرهیز از خطا، کم ترین دمای موجود در جدول مربوط به قطعات همجوار، به عنوان مرجع (از جدول الف-۲) مد نظر قرار می گیرد. به عنوان مثال در ترموگرافی از بیرینگ یک الکتروموتور، اجزای مجاور آن عبارتند از: آب بند و روان کننده. دمای جزئی که کمترین مقدار را دارد (بیرینگ، آب بند یا روان کننده) از جدول به عنوان مرجع مد نظر قرار می گیرد. در اکثر موارد، روان کننده دارای کمترین میزان مشخصات دمایی خواهد بود.

۵-۴-۳- در صورتیکه تصویر بردار حرارتی موفق به شناسایی نوع بیرینگ، روان کننده و آب بند نشد بایستی به منظور رعایت محافظه کاری، کمترین دمای مشخصات فنی در فهرست تجهیزات همگروه و همسان موجود در جدول را به عنوان مرجع مد نظر قرار دهد. به عنوان مثال در صورتی که یاتاقانی مورد بازرسی قرار گیرد که امکان تعیین نوع بیرینگ و روانکار مقدور بوده و نوع آب بند نامعلوم نباشد، کمترین دمای مجاز مختص به آب بندهای موجود در جدول، مد نظر قرار خواهد گرفت. سپس، ماکزیمم دمای اندازه گیری شده در بیرینگ با کمترین دمای اجزای آن (بیرینگ، روانکار و آب بند موجود در جدول) مقایسه خواهد شد.



۴-۴-۵- در تجهیزات مکانیکی، در مواردی تصویربرداری نمی تواند دمای سطح اجزاء مورد نظر را به دلیل سخت بودن دسترسی، مورد اندازه گیری قرار دهد، در چنین شرایطی، به منظور قضاوت صحیح و دقیق، بایستی با بررسی های بیشتر، دمای واقعی سطح مد نظر قرار گیرد.

۴-۴-۵- قاعده و معیار دمای مطلق براساس بهره برداری تجهیزات در حداکثر دمای محیطی مجاز و در ۱۰۰٪ بار نامی/سرعت می باشد.

۶- مستند سازی

۶-۱- تصویربرداری حرارتی پس از اجرای عملیات ترموگرافی اقدام به تهیه و تکمیل گزارش و مستندات مربوطه می نماید. گزارش ارائه شده بایستی شامل اطلاعات زیر باشد:

- ۶-۱-۱- نام و مشخصات تصویر بردار و کارشناس همراه.
- ۶-۱-۲- نام سازنده، مدل، و شماره سریال دستگاه تصویربرداری مورد استفاده و ذکر هرگونه فیلتر یا تجهیز اضافی نصب شده روی دوربین.
- ۶-۱-۳- لیستی از تمامی تجهیزات تصویر برداری شده و مشخص کردن تجهیزاتی که مورد تصویر برداری حرارتی قرار نگرفته اند در فهرست تجهیزات.
- ۶-۱-۴- تاریخ انجام بازرسی و تاریخ تهیه گزارش.
- ۶-۲- در صورت بکارگیری از تکنیک ترموگرافی کیفی، تصویر بردار حرارتی باید در رابطه با هر نقطه نشانگر عیب مشاهده شده اطلاعات زیر را تهیه نماید :
 - ۶-۲-۱- محل دقیق مورد اشکال ، توضیحاتی در خصوص اشکال بوجود آمده و اطلاعاتی از قبیل اطلاعات مهم ثبت شده روی پلاک تجهیز ، شماره فاز یا مدار ، ولتاژ نامی ، نرخ و میزان جریان (به منظور کمک به تعیین یکنواختی بار و بالانس بودن فازها) و در مورد تجهیزات دوار سرعت دوران (RPM).
 - ۶-۲-۲- لازم است اطلاعات وضعیت آب و هوایی، به هنگام تصویربرداری حرارتی گزارش شود. مواردی از قبیل میزان رطوبت و دمای هوای محیط مورد اشکال و در صورت وزش باد ، سرعت وزش باد و وضعیت تابش خورشید .
 - ۶-۲-۳- درج تصاویر حرارتی و تصاویر بصری (عکس معمولی) متناظر با هر یک از نقاط معیوب در گزارش.
 - ۶-۲-۴- میدان دید (FOV) مربوط به لنز دوربین ترموگرافی.



۵-۲-۶- ذکر هر گونه اطلاعات دیگر یا شرایط خاص که نتایج، تکرارپذیری یا تفسیر خرابی را تحت تأثیر قرار داده است.

۳-۶- در صورت بکارگیری از تکنیک ترموگرافی کمی، تصویر بردار حرارتی باید در رابطه با هر نقطه نشانگر عیب، اطلاعات زیر را تهیه نماید:

۱-۳-۶- میزان فاصله دوربین ترموگرافی از نقطه نشانگر عیب.

۲-۳-۶- درصد بار عملیاتی تجهیز معیوب که بوسیله تقسیم بار در زمان اندازه گیری بر ماکزیمم بار نامی آن تجهیز بدست می آید.

۳-۳-۶- ذکر مقدار ضریب تابش، دمای پس زمینه و ضریب انتقال بکار گرفته شده در محاسبه دمای نقطه نشانگر عیب.

۴-۳-۶- در صورتیکه از معیار ΔT استفاده شده است، دمای سطح نقاط معیوب و دمای تجهیز دیگری که بعنوان مرجع در نظر گرفته شده (تجهیز همسان) و ثبت تفاوت دمای آنها.

۵-۳-۶- در صورتیکه از معیار دمای مطلق استفاده شده است، دمای سطح نقاط معیوب و دماهای استاندارد مرجع (مندرج در پیوست الف).



پیوست (الف)

جدول الف-۱: مرجع حرارتی سیستم های الکتریکی

حداکثر دمای مجاز / میزان افزایش دما ی نامی مجاز / دمای نامی محیط (مجاز) بر حسب سانتی گراد

Absolute Temperature Criteria:	
	Ambient / Rated Rise / Maximum
<u>Conductors</u> (lowest temperature criteria)	
Bare conductors ⁶ , in free air	55/25/80
Bare conductors, in enclosure	40/30/70
Bare conductors, enclosure surface	40/20/60
Insulated conductors ⁷ , in free air	30/30/60
Insulated conductors, in enclosure	30/30/60
Insulated conductors, enclosure surface	30/20/50
Insulated conductors, in sun	50/10/60
<u>Conductor Insulations</u> ⁷	
T, TW, R, RW, RU	30/30/60
THW, Polyethylene, XHHW, RH-RW	30/45/75
Varnished Cambric	30/47/77
Paper Lead	30/50/80
Varnished Polyester	30/55/85
THH, Cross Linked Polyethylene, Ethylene-Propylene	30/60/90
Silicone Rubber	30/95/125
<u>Connectors and Terminations</u> (lowest temperature criteria)	
Metals ¹⁰ , silver or silver alloy	40/40/80
Metals, copper, copper alloy or aluminum	40/50/90
Metals, aluminum alloy	52/53/105
<u>Overcurrent Devices</u> ^{8,9} (lowest temperature criteria)	
Circuit breakers, molded case	40/20/60
Circuit breakers, all others	40/30/70
Fuses	40/30/70
<u>Disconnects and Switches Including Insulators and Supports</u> ¹⁰ (lowest temperature criteria)	
40/30/70	
<u>Bushings</u> ¹¹ (lowest temperature criteria)	
Transformer, lower end	40/55/95
Circuit breaker, lower end	40/40/80
External terminal	40/30/70
<u>Coils and Relays</u> ^{8,12}	
Class 90	40/50/90
Class 105	40/65/105
Class 130	40/90/130
Class 155	40/115/155
Class 180	40/140/180
Class 220	40/180/220
<u>AC Motors, Field Windings</u> ¹³	
1.00 SF, class A	40/60/100
1.00 SF, class B	40/80/120
1.00 SF, class F	40/105/145
1.00 SF, class H	40/125/165
1.15 SF, class B	40/90/130
1.15 SF, class F	40/115/155

Note: Casing temperatures may be lower than these specified windings temperatures.

DC Motors and Generators, Windings¹³

1.00 SF, class A	40/70/110
1.00 SF, class B	40/100/140
1.00 SF, class F	40/130/170
1.00 SF, class H	40/155/195
1.25 SF, (2hr), class B	40/80/120
1.25 SF, (2hr), class F	40/110/150

Note: Casing temperatures may be lower than these specified windings temperatures.

Cylindrical Rotor Synchronous Generators, Air Cooled, Casing¹³

Class B	40/70/110
Class F	40/90/130
Class H	40/110/150

Transformers, Distribution and Power^{14,15,16}

Dry type, class 105, windings	30/55/85
Dry type, class 150, windings	30/80/110
Dry type, class 185, windings	30/115/145
Dry type, class 220, windings	30/150/180
Oil cooled, 55°C rise, casing	30/55/85
Oil cooled, 65°C rise, casing	30/65/95

- Note:
1. Oil-cooled casing temperatures measured near top of liquid in main tank.
 2. Most 55°C rise transformers built before 1962.
 3. For specialty transformers (other than power and distribution) or other liquid-cooled equipment, such as specified on the nameplate.

توجه : در خصوص موتورهای الکتریکی ، راهنمای تجربی محاسبه سرانگشتی دما ، افت دمای ۲۰ درجه سانتی گراد از سیم پیچ موتور تا قسمت بیرونی پوسته می باشد .

جدول الف-۲: مرجع حرارتی سیستم های مکانیکی (حداکثر دمای مجاز بر حسب درجه سانتی گراد)

Bearings, Rolling Element Types¹⁷

Races (for metallurgical stability)	125
Rolling elements	125
Plastic retainer (cage)	120
Steel retainer (cage)	300
Brass retainer (cage)	300
Steel shield (closure)	300
Nitrile rubber lip seal	100
Acrylic lip seal	130
Silicone lip seal	180
Fluoric lip seal	180
PTFE lip seal	220
Felt seal	100
Aluminum labyrinth seal	300

Bearings, Plain Types Material¹⁸

Tin base babbitt	149
Lead base babbitt	149
Cadmium base	260
Copper lead	177
Tin bronze	260
Lead bronze	232
Aluminum	121

Bearings, Plain Types, Factory Produced¹⁹

Rulon, filled PTFE	204
Graphite bronze	204
DU	288
PTFE lined fiberglass	177
Nylon	149
Polyurethane	82
Polyacetyl	104
Wood	71
Metalized graphite	593
Pure carbon	399
Polyolefin, UHMPW	82

Delrin	149
Zytel	107
Teflon	288
Rubber	49

Lubricants²⁰ (when used with polyamide plastic bearing retainer)

Mineral oils without EP additives, i.e., machine oils, hydraulic fluid	120
EP oils, i.e., industrial, automotive, gearbox oils	110
EP oils, i.e., rear axle, differential, hypoid gear oils	100

Synthetic oils

Polyglycols, poly-olefins	120
Diesters, silicones	110
Phosphate diesters	100
Greases (mineral oil lubricant), lithium, polyurea, bentonite, calcium complex	120

Lubricants, Greases (mineral oil), when used with steel or brass bearing retainer

Lithium base	110
Lithium complex	140
Sodium base	80
Sodium complex	140
Calcium (lime) base	60
Calcium complex	130
Barium complex	130
Aluminum complex	110
Inorganic thickeners	130
Polyurea	140

Lubricants, Solid lubricant materials

Graphite	427
Molybdenum disulfide	450
Tungsten disulfide	510
Polytetrafluoroethylene	300

Seals and Gaskets, elastomers^{21,22}

O-rings and gaskets

Butyl rubber	107
Hypalon	121
Epichlorohydrin rubber	135
Ethylene acrylic	177
EPDM	149
Fluorocarbon (viton, kalrez)	204
Fluorosilicone	177
Neoprene	149
Nitrile	135
Polyacrylate rubber	177
Polysulfide rubber	107
Polyurethane	93
Silicone rubber	232



Lip Seals

Nitrile	121
Polyacrylate rubber	149
Silicone rubber	163
Fluorocarbon (viton, kalrez)	204
Leather	93

Mechanical Seal Material²³, (see above for elastomers)

Stellite	177
Tungsten carbide	232
Stainless steel	316
Ni-resist	177
Bronze, leaded	177
Ceramic	177
Carbon	275
Silicon carbide	1,650
Glass-filled teflon	177

Power Transmission Components²⁴

V-belts	60
Chain drives: limited by maximum lube temperature.	
Gear drives: limited by maximum lube temperature.	



پیوست (ب)

۱- مبانی و مفاهیم ترموگرافی

۱-۱- عملیات ترموگرافی، یکی از روش های پایش وضعیت به منظور شناسایی و مستندسازی نقاط نشانگر عیب در تجهیزات می باشد. در مدارات و شبکه های الکتریکی، افزایش دما در اجزاء نقاط نشانگر عیب عمدتاً بدلیل اتصالات سست و معیوب، اتصال کوتاه، اضافه بار، عدم تعادل بار، نصب نادرست قطعات ایجاد می شوند. در تجهیزات دوار نیز افزایش دما عمدتاً بدلیل وجود افزایش اصطکاک ناشی از روغن کاری نامناسب، نصب غیرهم محور اجزاء دوار، قطعات فرسوده و بارهای مکانیکی غیرعادی ایجاد می شود. افزایش دما و تمرکز حرارت، یکی از اولین نشانه های بروز عیب در تجهیزات به شمار می رود که با استفاده از تصویر ترموگرافی می توان مقادیر دما و الگوی حرارتی بدنه و اجزاء جانبی آنها را مورد ارزیابی قرار داد. نگهداری و تعمیرات بر پایه وضعیت، یکی از استراتژی های موثر برای نگهداشت دارایی های فیزیکی است. تکنیک ترموگرافی یکی از ابزارهای کاربردی در استراتژی پایش وضعیت تجهیزات می باشد. در مدل های اجرایی مدیریت دارایی های فیزیکی (مدیریت نت) در بخش مراقبت های پایه (Basic Care) استفاده از روشهای پایش وضعیت (از جمله روش ترموگرافی) خصوصاً در تجهیزات بحرانی (Critical Assets) مد نظر می باشد.

۱-۲- این روش دارای کاربردهای وسیعی در زمینه های مختلف است که برخی از این کاربردها عبارتند از: پایش وضعیت و عیب یابی تجهیزات، ممیزی و مدیریت انرژی، صنعت هواپیما سازی، پزشکی و گروه های امداد و نجات.

۱-۳- تمام اشیاء با دمای بالاتر از صفر مطلق ($273/15^{\circ}\text{C}$) از خود اشعه مادون قرمز ساطع می کنند که میزان این تشعشع تابعی از درجه حرارت آنها می باشد. انرژی مادون قرمز، قسمتی از طیف الکترومغناطیس را تشکیل می دهد که طول موج آن بین ۰,۷۵ تا ۱۰۰۰ میکرون متر می باشد. دوربین های ترموگرافی دما را اندازه گیری نمی کنند بلکه با استفاده از میزان اشعه مادون قرمز و پارامترهای مختلف، دما را محاسبه می کنند. با افزایش دمای جسم، میزان انرژی تابشی بیشتر شده و طول موج پیک انرژی مادون قرمز ساطع شده از آن، کمتر می شود.

۲- تکنیک های ترموگرافی

۲-۱- ترموگرافی مقایسه ای (Comparative thermography)

در پایش وضعیت تجهیزات، از این تکنیک استفاده می شود. ترموگرافی مقایسه ای به دو صورت انجام می شود:

۲-۱-۱- ترموگرافی کیفی مقایسه ای (Comparative Qualitative Thermography)

در این روش، الگوی حرارتی یک جزء با یک جزء همسان یا مشابه، تحت شرایط عملیاتی یکسان یا مشابه، بدون تعیین مقادیر دما مقایسه می شود. این روش ترموگرافی در شناسایی یاتاقانهای داغ یا سایر اجزای دستگاه با دمای غیر طبیعی، نقاط داغ در تجهیزات برقی، اتصالات الکتریکی نامطلوب داغ، نشتی یا گرفتگی تجهیزات تبادل حرارت سیال و اجزای آن (تیوب ها) و نشت مایعات از مخازن تحت فشار، لوله ها و شیرها بسیار مؤثر است و در اکثر صنایع مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۱-۲- ترموگرافی کمی مقایسه ای (Comparative quantitative thermography)

روش کمی مقایسه ای، یک روش پذیرفته و مؤثر برای ارزیابی وضعیت تجهیزات با تعیین دمای تقریبی است. تعیین دقیق دمای واقعی یک جزء با استفاده از دوربین ترموگرافی در این زمینه بسیار دشوار است. نمونه ای از ترموگرافی کمی مقایسه ای این است که اگر دو یا چند دستگاه در یک محیط و در همان شرایط بار کار کنند، و یکی از آنها در حال افزایش درجه حرارت باشد، معمولاً نشانه ای از وجود یک وضعیت رو به وخامت است. با این حال، تعیین اختلاف دما می تواند در تعیین میزان وخامت عیب کمک کند. اندازه گیری های کیفی می توانند نواقص را تشخیص دهند، اما اندازه گیری های کمی هستند که قابلیت تعیین شدت را دارند.

۲-۱-۳- دماسنجی غیر تماسی (Non-contact thermometry)

تعیین دمای دقیق یک جسم با استفاده از دوربین ترموگرافی می تواند مشکل باشد زیرا بسیاری از عوامل فنی و محیطی بر آن تاثیر گذار هستند. اندازه گیری دقیق دما تنها در صورتی که مقادیر درجه حرارت بسیار دقیق، یا اختلاف دمای کوچک برای یک فرآیند مهم باشد انجام می شود. این روش معمولاً به منظور پایش وضعیت و عیب یابی تجهیزات استفاده نمی شود.

۳- اندازه گیری ضریب تابش جسم

۳-۱- روش تماسی (Contact Method)

در این روش، ابتدا با استفاده از دماسنج تماسی کالیبره شده مانند ترموکوپل و یا سایر روش های تماسی، دمای سطح جسم را اندازه گیری می کنیم. سپس روی سطح جسم آنقدر ضریب تابش را در دوربین تغییر می دهیم تا به دمای اندازه گیری شده برسیم.

۳-۲- روش غیر تماسی (Non-Contact Method)

با ایجاد یک سطح مبنا (که ضریب تابش مشخص دارد) روی سطح جسم، مثلاً چسباندن چسب برق روی سطح و یا اسپری رنگ و همدم شدن آن، می توان دما را به کمک دوربین ترموگرافی تعیین کرد. سپس روی سطح جسم (بجز سطح مبنا) آنقدر ضریب تابش را در دوربین تغییر می دهیم تا به دمای محاسبه شده روی سطح مبنا برسیم سپس ضریب تابش جدید را به عنوان ضریب تابش سطح در نظر می گیریم. به منظور افزایش دقت، این تست حداقل سه بار برای رسیدن به نتایج قابل قبول انجام می شود.

۴- روش مستقیم (Direct Method) محاسبه دمای پس زمینه

میزان دمای پس زمینه که در دوربین ترموگرافی وارد می شود، لزوماً یک مقدار دمای واقعی نیست. بلکه این دما تنها نشان دهنده ی میزان انرژی تابشی منتشر شده از پس زمینه می باشد.

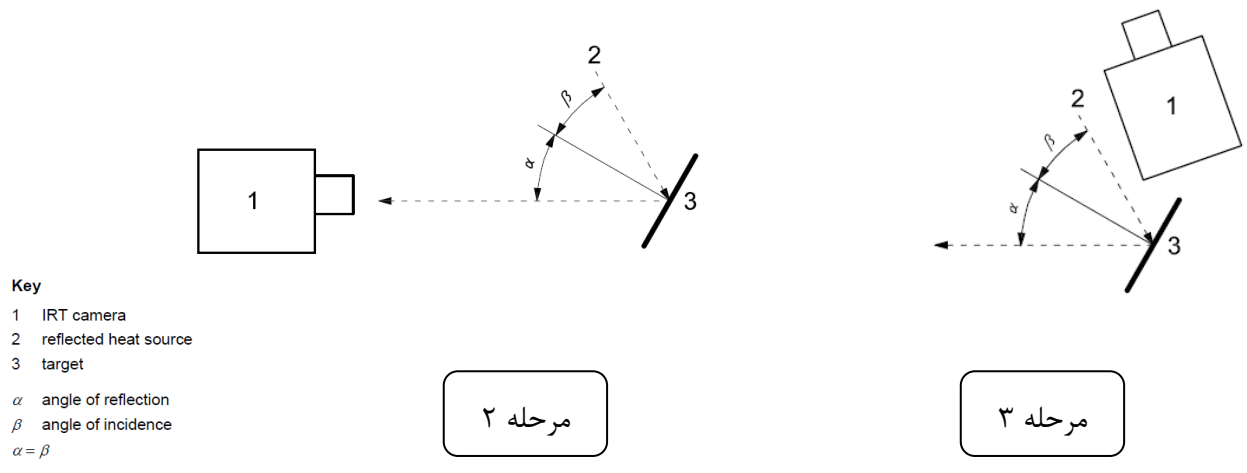
۴-۱-۱- ابتدا ضریب تابش در دوربین ترموگرافی روی عدد ۱ تنظیم گردد. (مرحله ۱)

۴-۱-۲- دوربین ترموگرافی در محل و فاصله مشخصی از جسم مورد نظر قرار داده شود. سپس زاویه تابش و بازتابش اشعه IR به صورت تخمینی مشخص گردد. (مرحله ۲)

۴-۱-۳- دوربین ترموگرافی در زاویه تابش و به سمت منبع تابش اشعه پس زمینه قرار داده شود. (مرحله ۳)

۴-۱-۴- دمای متوسط عمومی پس زمینه محاسبه گردیده و یادداشت گردد (از امکانات متوسط گیری دوربین می توان استفاده کرد) که این دما همان دمای پس زمینه (T_{ref}) جسم می باشد. (مرحله ۴)

۴-۱-۵- به منظور افزایش دقت، مراحل بالا را حداقل سه مرتبه تکرار کرده و متوسط دمای بدست آمده به عنوان دمای پس زمینه انتخاب گردد.



شکل ب-۲: محاسبه دمای پس زمینه به روش مستقیم

۵- روش ساده تست کالیبره بودن دوربین ترموگرافی

دمای نقطه انجماد و نقطه جوش آب، مرجع دمایی خوبی به منظور تست کالیبراسیون دوربین ترموگرافی می باشد. لذا دمای سطح آب ظرف پر از یخ و دمای سطح آب در حال جوش را اندازه گیری می کنیم. می توان با توجه به فشار اتمسفر در محل اندازه گیری، دمای متناظر جوش و انجماد را از جداول ترمودینامیکی استخراج کرده و با دمای محاسبه شده توسط دوربین ترموگرافی مقایسه کنیم و یا به کمک یک دماسنج، دما را اندازه گیری کنیم. دمای محاسبه شده توسط دوربین ترموگرافی، به میزان تفرانس دمای دوربین، نسبت به دمای اندازه گیری شده توسط دماسنج می تواند کمتر یا بیشتر باشد.



شکل ب-۳: نقطه انجماد و نقطه جوش آب

جدول ب-۱: جداول عمومی ضریب تابش (ε) برای مواد مختلف

Material Metals		Temperature, °F	Temperature, °C	Emissivity
Alloys	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxid.	392	200	0.9
	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxid.	932	500	0.97
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxid.	518	270	0.89
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxid.	1040	560	0.82
	80-Ni, 20-CR, oxidized	212	100	0.87
	80-Ni, 20-CR, oxidized	1112	600	0.87
	80-Ni, 20-CR, oxidized	2372	1300	0.89
Aluminum	Unoxidized	77	25	0.02
	Unoxidized	212	100	0.03
	Unoxidized	932	500	0.06
	Oxidized	390	199	0.11
	Oxidized	1110	599	0.19
	Oxidized at 599°C (1110°F)	390	199	0.11
	Oxidized at 599°C (1110°F)	1110	599	0.19
	Heavily oxidized	200	93	0.2
	Heavily oxidized	940	504	0.31
	Highly polished	212	100	0.09
	Roughly polished	212	100	0.18
	Commercial sheet	212	100	0.09
	Highly polished plate	440	227	0.04
	Highly polished plate	1070	577	0.06
	Bright rolled plate	338	170	0.04
	Bright rolled plate	932	500	0.05
	Alloy A3003, oxidized	600	316	0.4
	Alloy A3003, oxidized	900	482	0.4
	Alloy 1100-0	200-800	93-427	0.05
	Alloy 24ST	75	24	0.09
	Alloy 24ST, polished	75	24	0.09
	Alloy 75ST	75	24	0.11
	Alloy 75ST, polished	75	24	0.08
Bismuth	Bright	176	80	0.34
	Unoxidized	77	25	0.05
	Unoxidised	212	100	0.06
Brass	73% Cu, 27% Zn, polished	476	247	0.03
	73% Cu, 27% Zn, polished	674	357	0.03
	62% Cu, 37% Zn, polished	494	257	0.03
	62% Cu, 37% Zn, polished	710	377	0.04
	83% Cu, 17% Zn, polished	530	277	0.03
	Matte	68	20	0.07
	Burnished to brown color	68	20	0.4
	Cu-Zn, brass oxidized	392	200	0.61
	Cu-Zn, brass oxidized	752	400	0.6
	Cu-Zn, brass oxidized	1112	600	0.61
	Unoxidised	77	25	0.04
	Unoxidised	212	100	0.04
Cadmium		77	25	0.02
Carbon	Lampblack	77	25	0.95
	Unoxidised	77	25	0.81
	Unoxidised	212	100	0.81

(Continued)

Material Metals		Temperature, °F	Temperature, °C	Emissivity
	Unoxidized	932	500	0.79
	Candle soot	250	121	0.95
	Filament	500	260	0.95
	Graphitized	212	100	0.76
	Graphitized	572	300	0.75
	Graphitized	932	500	0.71
Chromium		100	38	0.08
		1000	538	0.26
	Polished	302	150	0.06
Cobalt	Unoxidized	932	500	0.13
	Unoxidized	1832	1000	0.23
Columbium	Unoxidized	1500	816	0.19
	Unoxidized	2000	1093	0.24
Copper	Cuprous oxide	100	38	0.87
	Cuprous oxide	500	260	0.83
	Cuprous oxide	1000	538	0.77
	Black, oxidized	100	38	0.78
	Etched	100	38	0.09
	Matte	100	38	0.22
	Roughly polished	100	38	0.07
	Polished	100	38	0.03
	Highly polished	100	38	0.02
	Rolled	100	38	0.64
	Rough	100	38	0.74
	Molten	1000	538	0.15
	Molten	1970	1077	0.16
	Molten	2230	1221	0.13
	Nickel plated	100–500	38–260	0.37
Dow metal		0.4–600	18–316	0.15
Gold	Enamel	212	100	0.37
	Plate		0.0001	
	Plate on 0.0005 silver	200–750	93–399	0.11–0.14
	Plate on .0005 nickel	200–750	93–399	0.07–0.09
	Polished	100–500	38–260	0.02
	Polished	1000–2000	538–1093	0.03
Haynes Alloy C,	Oxidized	600–2000	316–1093	0.90–0.96
Haynes Alloy 25,	Oxidized	600–2000	316–1093	0.86–0.89
Haynes Alloy X,	Oxidized	600–2000	316–1093	0.85–0.88
Inconel sheet	1000 (538)	1000	538	0.28
	1200 (649)	1200	649	0.42
	1400 (760)	1400	760	0.58
Inconel X, polished	75 (24)	75	24	0.19
Inconel B, polished	75 (24)	75	24	0.21
Iron	Oxidized	212	100	0.74
	Oxidized	930	499	0.84
	Oxidized	2190	1199	0.89
	Unoxidized	212	100	0.05
	Red rust	77	25	0.7

(Continued)

Material Metals		Temperature, °F	Temperature, °C	Emissivity
Cast iron	Rusted	77	25	0.65
	Liquid	2760-3220	1516-1771	0.42-0.45
	Oxidized	390	199	0.64
	Oxidized	1110	599	0.78
	Unoxidized	212	100	0.21
	Strong oxidation	40	104	0.95
	Strong oxidation	482	250	0.95
	Liquid	2795	1535	0.29
Wrought iron	Dull	77	25	0.94
	Dull	660	349	0.94
	Smooth	100	38	0.35
	Polished	100	38	0.28
Lead	Polished	100-500	38-260	0.06-0.08
	Rough	100	38	0.43
	Oxidized	100	38	0.43
	Oxidized at 1100°F	100	38	0.63
	Gray oxidized	100	38	0.28
Magnesium		100-500	38-260	0.07-0.13
Magnesium oxide		1880-3140	1027-1727	0.16-0.20
Mercury		32	0	0.09
		77	25	0.1
		100	38	0.1
		212	100	0.12
Molybdenum		100	38	0.06
		500	260	0.08
		1000	538	0.11
		2000	1093	0.18
	Oxidized at 1000°F	600	316	0.8
	Oxidized at 1000°F	700	371	0.84
	Oxidized at 1000°F	800	427	0.84
	Oxidized at 1000°F	900	482	0.83
	Oxidized at 1000°F	1000	538	0.82
Monel, Ni-Cu		392	200	0.41
		752	400	0.44
		1112	600	0.46
Monel, Ni-Cu oxidized		68	20	0.43
Monel, Ni-Cu Oxidized. at 1110°F	1110 (599)	1110	599	0.46
Nickel	Polished	100	38	0.05
	Oxidized	100-500	38-260	0.31-0.46
	Unoxidized	77	25	0.05
	Unoxidized	212	100	0.06
	Unoxidized	932	500	0.12
	Unoxidized	1832	1000	0.19
	Electrolytic	100	38	0.04
	Electrolytic	500	260	0.06
	Electrolytic	1000	538	0.1
	Electrolytic	2000	1093	0.16

(Continued)

Material Metals		Temperature, °F	Temperature, °C	Emissivity
Nickel oxide		1000–2000	538–1093	0.59–0.86
Palladium plate (0.00005 on 0.0005 silver)		200–750	93–399	0.16–0.17
Platinum		100	38	0.05
		500	260	0.5
		1000	538	0.1
Platinum, black		100	38	0.93
		500	260	0.96
		2000	1093	0.97
	Oxidized at 1100°F	500	260	0.07
		1000	538	0.11
Rhodium flash (0.0002 on 0.0005 Ni)		200–700	93–371	0.10–0.18
Silver	Plate (0.0005 on Ni)	200–700	93–371	0.06–0.07
	Polished	100	38	0.01
		500	260	0.02
		1000	538	0.03
		2000	1093	0.03
Steel	Cold rolled	200	93	0.75–0.85
	Ground sheet	1720–2010	938–1099	0.55–0.61
	Polished sheet	100	38	0.07
		500	260	0.1
		1000	538	0.14
	Mild steel, polished	75	24	0.1
	Mild steel, smooth	75	24	0.12
	Mild steel,			
	ELiquid	2910–3270	1599–1793	0.28
	Steel, unoxidized	212	100	0.08
	Steel, oxidized	77	25	0.8
Steel alloys	Type 301, polished	75	24	0.27
	Type 301, polished	450	232	0.57
	Type 301, polished	1740	949	0.55
	Type 303, oxidized	600–2000	316–1093	0.74–0.87
	Type 310, rolled	1500–2100	816–1149	0.56–0.81
	Type 316, polished	75	24	0.28
	Type 316, polished	450	232	0.57
	Type 316, polished	1740	949	0.66
	Type 321	200–800	93–427	0.27–0.32
	Type 321 polished	300–1500	149–815	0.18–0.49
	Type 321 w/BK oxide	200–800	93–427	0.66–0.76
	Type 347, oxidized	600–2000	316–1093	0.87–0.91
	Type 350	200–800	93–427	0.18–0.27
	Type 350 polished	300–1800	149–982	0.11–0.35
	Type 446, polished	300–1500	149–815	0.15–0.37
	Type 17-7 PH	200–600	93–316	0.44–0.51
	Type 17-7 PH			
	EPolished	300–1500	149–815	0.09–0.16
	Type C1020,			
	Oxidized	600–2000	316–1093	0.87–0.91
	Type PH-15-7 MO	300–1200	149–649	0.07–0.19
Stellite	Polished	68	20	0.18

(Continued)

Material Metals		Temperature, °F	Temperature, °C	Emissivity
Tantalum	Unoxidized	1340	727	0.14
		2000	1093	0.19
		3600	1982	0.26
		5306	2930	0.3
Tin, unoxidised		77	25	0.04
		212	100	0.05
Tinned iron, bright		76	24	0.05
		212	100	0.08
Titanium, Alloy C110M	Polished	300–1200	149–649	0.08–0.19
Oxidized at	538°C (1000°F)	200–800	93–427	0.51–0.61
Alloy Ti-95A,	Oxid. at, 238°C (1000°F)	200–800	93–427	0.35–0.48
	Anodized onto SS	200–600	93–316	0.96–0.82
Tungsten	Unoxidized	77	25	0.02
	Unoxidized	212	100	0.03
	Unoxidized	932	500	0.07
	Unoxidized	1832	1000	0.15
	Unoxidized	2732	1500	0.23
	Unoxidized	3632	2000	0.28
	Filament (aged)	100	38	0.03
	Filament (aged)	1000	538	0.11
	Filament (aged)	5000	2760	0.35
Uranium oxide		1880	1027	0.79
Zinc	Bright, galvanized	100	38	0.23
	Commercial 99.1%	500	260	0.05
	Galvanized	100	38	0.28
	Oxidized	500–1000	260–538	0.11
	Polished	100	38	0.02
	Polished	500	260	0.03
	Polished	1000	538	0.04
	Polished	2000	1093	0.06
Non-metals				
Adobe	68 (20)			0.9
Asbestos	Board	100	38	0.96
	Cement	32–392	0–200	0.96
	Cement, red	2500	1371	0.67
	Cement, white	2500	1371	0.65
	Cloth	199	93	0.9
	Paper	100–700	38–371	0.93
	Slate	68	20	0.97
	Asphalt, pavement	100	38	0.93
	Asphalt, tar paper	68	20	0.93
Basalt		68	20	0.72
Brick	Red, rough	70	21	0.93
	Gault cream	2500–5000	1371–2760	0.26–0.30
	Fire clay	2500	1371	0.75
	Light buff	1000	538	0.8
	Lime clay	2500	1371	0.43
	Fire brick	1832	1000	0.75–0.80

(Continued)

Material Metals		Temperature, °F	Temperature, °C	Emissivity
	Magnesite, refractory	1832	1000	0.38
	Grey brick	2012	1100	0.75
	Silica, glazed	2000	1093	0.88
	Silica, unglazed	2000	1093	0.8
	Sandlime	2500–5000	1371–2760	0.59–0.63
Carborundum		1850	1010	0.92
Ceramic	Alumina on Inconel	800–2000	427–1093	0.69–0.45
	Earthenware, glazed	70	21	0.9
	Earthenware, matte	70	21	0.93
	Greens No. 5210-2C	200–750	93–399	0.89–0.82
	Coating No. C20A	200–750	93–399	0.73–0.67
	Porcelain	72	22	0.92
	White Al ₂ O ₃	200	93	0.9
	Zirconia on Inconel	800–2000	427–1093	0.62–0.45
Clay	68 (20)	0.39	0.39	
	Fired at	158	70	0.91
	Shale at	68	20	0.69
	Tiles, light red	2500–5000	1371–2760	0.32–0.34
	Tiles, red	2500–5000	1371–2760	0.40–0.51
	Tiles, Dark purple	2500–5000	1371–2760	0.78
Concrete	Rough	32–2000	0–1093	0.94
	Tiles, natural	2500–5000	1371–2760	0.63–0.62
	“Brown	2500–5000	1371–2760	0.87–0.83
	“Black	2500–5000	1371–2760	0.94–0.91
Cotton cloth	68 (20)			0.77
Dolomite lime	68 (20)			0.41
Emery corundum	176 (80)			0.86
Glass	Convex D	212	100	0.8
	Convex D	600	316	0.8
	Convex D	932	500	0.76
	Nonex	212	100	0.82
	Nonex	600	316	0.82
	Nonex	932	500	0.78
	Smooth	32–200	0–93	0.92–0.94
Granite		70	21	0.45
Gravel		100	38	0.28
Gypsum		68	20	0.80–0.90
Ice, smooth		32	0	0.97
Ice, rough		32	0	0.98
Lacquer	Black	200	93	0.96
	Blue, on Al foil	100	38	0.78
	Clear, on Al foil (2 coats)	200	93	0.08 (0.09)
	Clear, on bright Cu	200	93	0.66
	Clear, on tarnished Cu	200	93	0.64
	Red, on Al foil (2 coats)	100	38	0.61 (0.74)
	White	200	93	0.95

(Continued)