



راهنمای فنی بازرسی شبکه های توزیع، تاسیسات الکتریکی و

تجهیزات دوار بکمک فن آوری گرمانگاری



شرکت توانیر - معاونت هماهنگی توزیع - دفتر نظارت بر توزیع

تالیف و ترجمه: مسعود صادقی خمایی - سید اعتضاد مقیمی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳	۱- پیشگفتار.....
۴	۲- دامنه کاربرد.....
۴	۳- کلمات کلیدی.....
۵	۴- هدف.....
۶	۵- وظایف و مسئولیتهای تصویر بردار حرارتی.....
۷	۶- وظایف و مسئولیتهای متقاضی.....
۸	۷- الزامات سخت افزاری و تجهیزات مورد استفاده.....
۸	۸- فرایند بازرسی.....
۱۰	۹- مستند سازی.....
۱۱	۱۰- کاربرد معیار دلتا T.....
۱۳	۱۱- کاربرد معیار دمای مطلق در تجهیزات الکتریکی.....
۱۷	۱۲- کاربرد معیار دمای مطلق در تجهیزات مکانیکی.....
۲۰	۱۳- مراجع.....
۲۱	۱۴- پیوست.....

۱- پیشگفتار:

نویا بودن بکارگیری فن آوری گرمانگاری در صنعت توزیع کشور و از طرف دیگر تاکید که در حال حاضر در بهره گیری از این فن آوری وجود دارد موجب بروز برخی مشکلات و سوء تفاهم در باب چگونگی کیفیت فنی فرآیند گرمانگاری نزد متخصصان و کارشناسان صنعت توزیع شده است .

علی رغم وجود دستورالعملی در این حوزه که توسط دفتر نظارت بر توزیع معاونت هماهنگی توزیع توانیر تهیه شده است نیاز به تهیه راهنمای فنی و توصیفی فرآیند گرمانگاری بوضوح احساس شده و مجلد حاضر تحت عنوان "راهنمای فنی و توصیفی بازرسی شبکه های توزیع و تجهیزات دوار بکمک فن آوری گرمانگاری" با هدف هدایت صحیح فرآیند گرمانگاری در شبکه های توزیع و تاسیسات الکتریکی تهیه شده است .

راهنمای حاضر تلفیقی از مطالب علمی تخصصی در زمینه گرمانگاری و تجربیات ویژه این حوزه می باشد و فرض بر این قرار گرفته تا کاربران و بکار گیرندگان این راهنما با مطالب پایه ای این فن آوری آشنایی داشته و آموزش مقدماتی ذریبط را دریافت داشته اند .

لذا راهنمای حاضر برای کاربران توصیف شده فوق مرجعی مناسب جهت افزایش قابلیت و ارتقاء توانمندی تحلیل تصاویر حرارتی خواهد بود که منجر به ارتقاء بهره وری در سرمایه گذاری شرکتهای توزیع در حوزه فن آوری گرمانگاری شده و در نتیجه موجبات ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه های توزیع و تاسیسات الکتریکی را فراهم خواهد آورد .

در بکارگیری این راهنما توجه به چند نکته زیر ضروری می باشد:

- تصویر برداری حرارتی نوعی تکنیک بازرسی و بازدید بمنظور جمع آوری و تهیه اطلاعات یک سیستم در زمان معین می باشد .
- تصویر برداری حرارتی سیستم را بی نیاز از سایر ارزیابی ها و اندازه گیری های مفید نمی کند .
- بازرسی و بازدید مادون قرمز از شبکه های الکتریکی و تجهیزات دوار به تنهایی تضمین کننده عملکرد صحیح چنین تجهیزاتی نیست و بمنظور اطمینان یافتن از عملکرد صحیح و با قابلیت اطمینان از تجهیزات نیاز به سایر انواع تستها و تعمیرات و نگهداری می باشد

۲- دامنه کاربرد:

- ۱- این راهنما فرآیندهای اجرایی و فنی بازرسی شبکه‌ها و تاسیسات الکتریکی را تحت پوشش دارد.
- ۲- در این راهنما مسئولیتها و وظایف کارفرما (شرکت توزیع یا صنایع متقاضی بکارگیری گرمانگاری) و اکیپ تصویر برداری حرارتی بصورت دقیق تشریح می‌شود بطوریکه موجب افزایش ایمنی و اجرای کار با کیفیت مطلوب برای هر دو طرف گردد.
- ۳- این راهنما به افزایش حجم اجرای عملیات گرمانگاری کمک موثری خواهد نمود.
- ۴- این راهنما نحوه انجام عملیات گرمانگاری در نزدیکی تجهیزات برقدار و پر خطر را ارائه خواهد نمود.
- ۵- در این راهنما تحلیل اطلاعات و تصاویر گرمانگاری و فرآیندهای اجرایی بهره‌برداری بررسی خواهد شد.
- ۶- در این راهنما محدوده‌های مجاز حرارتی تجهیزات الکتریکی و اجزاء مکانیکی دستگاهها معرفی و تشریح خواهد شد.
- ۷- در این راهنما با توجه به چندین استاندارد و دستورالعمل معتبر ملی و بین‌المللی اولویت بندی اقدامات اصلاحی براساس آنالیز حرارت تشریح شده و راهکارهای لازم ارائه خواهد شد.

۳- کلیمات کلیدی

- **کارفرما:** شخصیت حقوقی یا حقیقی که درخواست بازرسی به شیوه گرمانگاری دارد.
- **تجهیز معیوب:** هرگونه تجهیزات الکتریکی که دارای دمای غیرعادی در اتصالات الکتریکی، یا اجزا دوار بوده بطوریکه موجب بروز عیب یا ایجاد پتانسیل بالقوه برای بروز عیب شود.
- **دوربین گرمانگاری:** نوعی دوربین که براساس فن آوری مادون قرمز امکان تصویر برداری حرارتی را فراهم می‌آورد.
- **تصویر حرارتی:** تصویری که براساس فن آوری مادون قرمز تهیه شده و امکان اندازه گیری و تحلیل دمای اجزاء مختلف تصویر به طرق مختلف مکانیزه و در آن فراهم می‌گردد.

- **تصویر بردار حرارتی:** شخصی است که آموزش لازم را دریافت نموده و قابلیت بکارگیری دوربین مادون قرمز و اخذ تصاویر حرارتی را دارا می باشد .
- **گرما سنج غیر تصویری:** دستگاهی است که با اندازه گیری تشعشع دارای قابلیت سنجش حرارت اجزاء مختلف می باشد .
- **فرآیند عملیات گرمانگاری مادون قرمز:** فرایندی است که شامل جمع آوری اطلاعات یک ساختار ، سیستم ، شبکه و ... بوده و با مشاهده و ثبت تصاویر تشعشع مادون قرمز و ارائه اطلاعات توأم می باشد
- **تحلیل گرمانگاری مادون قرمز:** فرایندی است که شامل تحلیل تصاویر و اندازه گیری الگوهای حرارتی ساطع شده از اجزاء مختلف ساختار ، شبکه و سیستم مورد بازرسی می باشد .
- **تجهیزات دوار:** تجهیزات و ماشین آلات الکتریکی و مکانیکی که دارای اجزاء دوار می باشند .

۴- هدف:

- ۴-۱: مقصود از بازرسی و بازدید و بکارگیری فن آوری مادون قرمز شناسایی و مستندسازی اجزاء دارای اشکال و معیوب در شبکه های الکتریکی و تجهیزات دوار می باشد .
- ۴-۱-۱- در شبکه های الکتریکی اجزاء معیوب و دارای اشکال عمدتاً بدلیل اتصالات سست و معیوب ، اتصال کوتاه، اضافه بار، نامتعادلی بار، نصب ناصحیح و نادرست قطعات ایجاد می شوند .
- ۴-۱-۲- در تجهیزات دوار اجزاء معیوب و دارای اشکال عمدتاً بدلیل وجود اصطکاک ناشی از روغن کاری نامناسب، نصب غیرهم محور و دارای انحراف اجزاء دوار، قطعات پوسیده و فرسوده و بارهای مکانیکی غیرعادی ایجاد می شود .
- ۴-۲: ارائه نظریه و اظهار نظر کارشناسی درخصوص دلایل بروز عیب و اشکال، صحت عملکرد سیستم و توصیه فعالیتهای اصلاحی نیاز به داشتن آگاهی و مهارتهایی بیش از تصویربرداری حرارتی دارد لذا یکی از اهداف این راهنما ارائه اطلاعات و آگاهی های لازم فنی و تخصصی به کاربران جهت تسهیل تفسیر تصاویر حرارتی می باشد .

۵- وظایف و مسؤلیتهای تصویر بردار حرارتی:

۱-۵- بازرسی و بازدید مادون قرمز باید در شرایطی انجام شود که عوامل محیطی تاثیرگذار از قبیل تابش خورشید، باد، بارش باران، انتقال حرارت و ... در وضعیت مناسبی برای برداشت اطلاعات صحیح باشد .

۲-۵- تصویر بردار حرارتی باید دارای اطلاعات کافی و مناسبی درخصوص اجزاء قطعات مورد بازرسی ، ساختار تجهیزات ، تئوری و اطلاعات پایه ای شبکه های الکتریکی و تجهیزات دوار باشد تا با داشتن این اطلاعات بتواند الگوهای تابش مادون قرمز این تجهیزات را مورد تحلیل و بررسی قرار دهد .

۳-۵- تصویر بردار حرارتی باید از تجهیزات و امکانات مناسبی که دارای قابلیت لازم برای انجام وظایف محوله باشند استفاده نماید .

۴-۵- تصویر بردار حرارتی در صورتیکه فاقد تخصص لازم در حوزه تاسیسات الکتریکی و شبکه های برق باشد لازم است بمنظور تقویت ملاحظات ایمنی و ارتقاء توانمندی تحلیل به اتفاق یک کارشناس فنی ذیصلاح که دارای اطلاعات کافی در زمینه تجهیزات و تاسیسات مورد بازرسی است همراهی شود .

۵-۵- کارشناس فنی همراه قاعداً باید دارای درجه مهندسی یا تکنسین بوده و تصویر بردار نباید وظایفی را که بطور عادی از جمله مسؤلیتهای کارشناس فنی همراه میباشد انجام دهد مگر آنکه دارای مجوزها و شرایط تخصصی لازم و مورد تأیید شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی باشد .

۱-۵-۵- تصویر بردار حرارتی نباید پوشش تابلوهای حاوی تجهیزات الکتریکی را برداشته یا اقدام به باز و بسته نمودن آنها نماید .

۲-۵-۵- تصویر بردار حرارتی نباید اقدام به اندازه گیری بار تجهیزات نماید .

۳-۵-۵- تصویر بردار حرارتی نباید اقدام به لمس تجهیزات مورد بازرسی نموده و باید همیشه فاصله مطمئن از تجهیزات را حفظ نماید .

۵-۵-۴- در صورت وجود ضرورت موارد ذکر شده در سه بند فوق باید توسط کارشناس فنی همراه که توسط شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی تایید صلاحیت شده است انجام گردد

۵-۵-۵- تصویر بردار حرارتی باید معیارها و ضوابط ایمنی مورد تایید شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی را برآورده نمود و به کلیه نکات عمومی و استاندارد ایمنی توجه نماید .

۵-۶- تصویر بردار حرارتی باید نسبت به دقت تجهیزات اندازه گیری مورد استفاده اطمینان حاصل نموده و دقت دستگاهها را با دقت مورد ادعای سازندگان آن مورد مطابقت قرار دهد. ۵-۷- پس از انجام تعمیرات لازم و در صورت درخواست شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی تصویر بردار حرارتی مجدداً اجزاء معیوب و تعمیر شده را جهت حصول اطمینان مورد بازرسی مجدد قرار می دهد .

۶- وظایف و مسئولیتهای شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی:

۶-۱- شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی باید در تهیه لیست تجهیزات مورد بازرسی بصورتی که مسیر و امکان دسترسی به آنها به سهولت فراهم آید کمک و همکاری نماید . ۶-۲- شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی باید کارشناس فنی همراه توانمندی را که دارای آگاهی و اطلاعات لازم در خصوص عملکرد و گذشته تجهیزات مورد بازرسی باشد همراه تصویر بردار حرارتی اعزام بنماید در غیر اینصورت تصویر بردار حرارتی باید دارای مجوزهای لازم از جانب شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی بشرح زیر باشد :

۶-۲-۱- تاییدیه و مجوزهای لازم بمنظور دسترسی به تجهیزات مورد بازرسی و اطلاع رسانی به پرسنل بهره بردار در خصوص انجام فعالیت بازرسی

۶-۲-۲- باز و بسته نمودن و برداشتن و گذاشتن پوششها و درهای تجهیزات برقی قبل و بعد از عملیات بازرسی مادون قرمز

۶-۲-۳- اطمینان حاصل نمودن نسبت به این که تجهیزات مورد بازرسی تحت بار مناسب قرار داشته و تجهیزات مورد بازرسی به مدت کافی جهت رسیدن به الگوهای حرارتی پایدار تحت بار بوده اند .

۶-۲-۴- مجوزهای لازم برای اندازه گیری جریان در صورت درخواست تصویر بردار حرارتی

۳-۶- پس از انجام تصویربرداری حرارتی، شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی درخصوص نتایج حاصل از اجرای فرآیند تصویربرداری و کلیه اقدامات انجام شده و نشده اصلاحی مسئولیت کامل خواهد داشت .

۴-۶- بعد از اجرای اقدامات اصلاحی و تعمیرات شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی می تواند مجوز لازم برای بازرسی مجدد تجهیزات معیوب جهت اطمینان یافتن از برطرف شدن معایب را صادر نمایند .

۷- الزامات سخت افزاری و تجهیزات مورد استفاده

۱-۱- الزامات عمومی :

۱-۱-۷- سیستم تصویربرداری مادون قرمز می بایست دارای قابلیت آشکارسازی تشعشع سانع شده و تبدیل آن به سیگنال تصویری قابل نمایش به روی مانیتور باشد تصویربرداری می تواند بصورت سیاه و سفید یا رنگی انجام شود .

۱-۱-۷-۲- رنج طیف عملکرد سیستم آشکارساز مادون قرمز عموماً در دامنه ۲ الی ۱۴ میکرومتر می باشد.

۱-۱-۷-۳- تصویر حرارتی باید دارای قابلیت تمایز و تجزیه حرارت تا $0.3^{\circ}C$ باشد .

۱-۱-۷-۴- دستگاه تصویر برداری حرارتی جهت تسهیل کار باید قابل حمل و نقل و پورتابل باشد .

۸- فرایند بازرسی :

۸-۱- کلیه شبکه ها و تجهیزات مورد بازرسی باید برقرار بوده و تحت بار مناسب باشند . بهترین حالت برای این منظور عملکرد تحت بار نامی می باشد . در برخی موارد صحت عملکرد تجهیزات در بیش از بار معمولی می تواند ضمانت کننده وضعیت قابل قبول و سلامت تجهیز یا شبکه باشد .

۸-۲- کلیه اجزاء و تجهیزاتی که قرار است مورد بازرسی قرار گیرند باید قبل از باز نمودن و جداکردن پوشش و محافظ یا درب مورد بازرسی قرار گرفته تا هرگونه شرایط غیر ایمن احتمالی مورد شناسایی قرار گیرد . در صورت شناسایی هرگونه حرارت یا وضعیت غیرعادی متقاضی می بایست فعالیتهای ذیربط اصلاحی را روی تجهیزات معیوب انجام داده و شرایط را برای آغاز بازرسی مادون قرمز فراهم نماید .

۸-۳- پوشش محافظ برخی دستگاههای مکانیکی و الکتریکی باید بمنظور ایجاد راه دسترسی به اجزاء داخلی آنها باز شود . همچنین در برخی موارد برای دسترسی به اجزاء داخلی نیاز به

پیاده سازی برخی قطعات می باشد. برخی اجزاء بکاررفته در تجهیزات الکتریکی و مکانیکی از قبیل جداسازهای الکتریکی و در برابر اشعه مادون قرمز مات و غیرشفاف محسوب می شوند.

۸-۴- در بازرسی مادون قرمز و حرارتی می توان از ترکیبی از تجهیزات تصویربرداری (دوربین حرارتی، دماسنج های مادون قرمز (فاقد قابلیت تصویر برداری) استفاده نمود. در تصویربرداری حرارتی برداشت تصاویر با وضوح مناسب و با دقت اندازه گیری حرارتی کافی مورد تاکید می باشد. دماسنج های مادون قرمز صنعتی با ایجاد امکان اندازه گیری نقطه ای حرارت احتمال هرگونه تماس لمسی توسط تصویربردار بمنظور سنجش حرارت اجزاء و قطعات را از بین می برند و موجب ارتقاء ایمنی می شوند.

۸-۶- با بکارگیری فهرست و چک لیستی که توسط شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی تهیه شده و در اختیار تصویربردار قرار گرفته است کلیه اجزاء قطعات و یا تجهیزات شبکه یا تاسیسات الکتریکی تحت پوشش تصویربرداری قرار گرفته و به این شیوه احتمال عدم بازرسی اجزاء شبکه یا تاسیسات کاهش می یابد.

۸-۷- حتی المقدور اجزاء مشابه شبکه یا تاسیسات که تحت بار مشابه قرار دارند باید مورد مقایسه قرار گیرند. در چنین مقایسه ای بطور معمول می توان اجزاء معیوب یا دارای اشکال را به سادگی شناسایی نمود.

۸-۷-۱- تصاویر حرارتی می تواند بصورت الکترونیک یا روی نوار مغناطیسی (در دستگاههای قدیمی) ضبط و ثبت شود و باید نهایت دقت بعمل آورده شود که تصاویر با وضوح مناسبی تهیه شوند.

۸-۷-۲- تصاویر عادی و غیرحرارتی می تواند بوسیله دوربین مجزا یا توسط دوربین های حرارتی که قابلیت ثبت تصاویر عادی را نیز دارند تهیه شوند.

۸-۷-۲-۱- تصاویر عادی جهت حصول اطمینان از ثبت دقیق جزئیات تهیه می شوند. و می توان مواردی را که در تصاویر حرارتی امکان مشاهده آن وجود ندارد در این تصاویر دید همچنین توصیه می شود تصاویر عادی با پرسپکتیو، وضوح، روزلوشن، و سایر خصوصیات تصویری مشابه تصاویر حرارتی تهیه شود. و بهتر است تصاویر حرارتی و عادی در مستندسازی در کنار هم و نزدیکترین فاصله بصورت مجاور هم تهیه شوند.

۸-۸: به عنوان یک پیشنهاد بمنظور تنظیم اقدامات اصلاحی می توان از بخشهای ۱۰ و ۱۱ این راهنما جهت اولویت بندی و زمانبندی اقدامات اصلاحی استفاده نمود. اما لازم به توضیح است که مطالب ذکر شده در بخشهای ۱۰ و ۱۱ مطالبی قطعی نبوده و دارای درجه های از ریسک خطا می باشد در مجموع انجام اقدامات اصلاحی و تعمیراتی در سریعترین زمان ممکن می تواند از وقوع ریسک و خطرات پیش بینی نشده جلوگیری بعمل آورد.

۸-۹: در بسیاری تجهیزات موتوری خصوصاً در تاسیسات الکتریکی قطعات دارای سرعت بالایی می باشند تهیه تصاویر حرارتی باید با تمهیدات خاص انجام شده و نیاز به بکارگیری تجهیزاتی با سرعت تصویر برداری بالا می باشد همچنین در چنین شرایطی با توجه به ماهیت متحرک تجهیزات رعایت نکات ایمنی حائز اهمیت بسیار زیادی می باشد.

۹- مستند سازی:

۹-۱- تصویر بردار حرارتی پس از اجرای بازرسی اقدام به تهیه و تکمیل گزارش و مستندات بازرسی می نماید اطلاعات زیر باید در گزارشی که به شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی تصویر برداری ارائه می شود تهیه شود.

۹-۱-۱- نام و شماره تصویر بردار حرارتی و درجه و سطح گواهینامه و جواز تصویر برداری

۹-۱-۲- نام و آدرس و مشخصات متقاضی تصویر برداری (شرکت توزیع و ...)

۹-۱-۳- نام دستیاران و همراهان اعزامی و منتخب شرکت توزیع برق یا متقاضی صنعتی که در طول پروسه تصویر برداری همراهی نموده اند.

۹-۱-۴- نام سازنده، مدل، و شماره سریال دستگاه تصویر برداری مورد استفاده

۹-۱-۵- فهرست کامل تجهیزات تصویر برداری شده که در لیست ارائه شده متقاضی موجود بوده اند و فهرست تجهیزاتی که در فهرست متقاضی موجود بوده و تصویر برداری نشده اند و ارائه توضیحاتی در خصوص دلایل عدم تصویر برداری

۹-۱-۶- تاریخ انجام بازرسی و تاریخ تهیه گزارش

۹-۲- بهنگام تهیه گزارش بازرسی موارد زیر باید در رابطه با هر نقطه معیوب یا موارد اشکال مشاهده شده تهیه شود.

۹-۲-۱- محل دقیق مورد اشکال یا نقطه عیب

- ۹-۲-۲-۲- توصیف مورد اشکال از قبیل اطلاعات درج شده روی Plate ، شماره فاز یا مدار، ولتاژ نامی ، نرخ و میزان جریان و در مورد تجهیزات دوار سرعت گردش
- ۹-۲-۳- لازم است اطلاعات وضعیت آب و هوایی بهنگام تصویربرداری حرارتی گزارش شود. مواردی از قبیل دمای هوای احاطه کننده مورد اشکال ، و وضعیت تابش خورشید .
- ۹-۲-۴- تصاویر حرارتی و تصاویر عادی متناظر با هر یک از نقاط عیب یا موارد اشکال
- ۹-۲-۵- میزان و محدوده دید لنز دوربین حرارتی
- ۹-۲-۶- ذکر و گزارش هرگونه فیلتر یا تجهیز اضافی نصب شده روی دوربین
- ۹-۲-۷- تهیه گزارش توسط کارشناس فنی همراه درخصوص نوع عیب و اهمیت آن در بهره‌برداری ایمن و بدون وقفه از سیستم
- ۹-۲-۸- گزارش هر نوع اطلاعات دیگر یا وضعیت خاصی که روی نتایج تاثیرگذار باشد و یا بتواند به نوعی مانع بروز عیب شود .
- ۹-۳- سایر اطلاعات مورد نیازی که جنبه کمی داشته و باید در گزارش ثبت گردند بشرح زیر می‌باشد .
- ۹-۳-۲- درصد بار تجهیز معیوب که بوسیله تقسیم بار در زمان اندازه‌گیری بر ماکزیمم بار نامی آن تجهیز بدست می‌آید .
- ۹-۳-۳- میزان تشخیص ، دمای منعکس شده و مقدار انتقالی بکاررفته برای محاسبه دمای تجهیز و معیوب و مورد دارای اشکال
- ۹-۳-۴- در صورتیکه از قانون دلتا T استفاده شده باشد نیاز به ثبت دمای سطح و رویه تجهیز استاندارد و تجهیز دیگری که بعنوان مرجع در نظر گرفته شده (تجهیز همسان) و ثبت تفاوت دمای آنها می‌باشد
- ۹-۳-۵- وقتی از قانون دمای مطلق استفاده می‌شود باید دمای رویه و سطوح جسم معیوب و استاندارد و دماهای استاندارد مرجع آن ذکر شود .

۱۰- کاربرد معیار دلتا T (تفاوت دما) در تصویر برداری شبکه های توزیع و تجهیزات دوار

۱-۱۰- تصویر بردار حرارتی برای سنجش و محاسبه شدت و اهمیت اشکال و عیب می تواند از معیار دلتا T (تفاوت دما) استفاده نماید. در این قاعده یا معیار تفاوت دمای شیء یا تجهیز مورد بررسی با یک مرجع تعریف شده انجام می شود. مرجع معمولاً می تواند دمای هوای محیط، تجهیز مشابه و همسان تحت بار با وضعیت مشابه و ماکزیمم درجه حرارت مجاز باشد.

تحلیل تصاویر حرارتی بمنظور بکارگیری در تعمیرات و نگهداری براساس استاندارد (NETA)

اولویت	تفاوت دما مابین اجزا مشابه تحت بار همسان	تفاوت حرارت با دمای محیط	فعالیت توصیه شده اصلاحی	شرایط تجهیز از لحاظ وخامت عیب
۴	۱ الی ۳ درجه	۱ الی ۱۰ درجه	احتمال وجود عیب، نیاز به بررسی بیشتر و مراقبت و کنترل	احتمال وجود عیب
۳	۴ الی ۱۵ درجه	۱۱ الی ۲۰ درجه	بیانگر وجود عیب احتمالی، در لیست نوبتگاری تعمیرات قرار گیرد	وجود عیب در مراحل اولیه
۲	بیش از ۱۵ درجه	۲۱ الی ۲۰ درجه	تحت نظر قرار گرفته و اقدام اصلاحی در اولین فرصت بعمل آید.	عیب توسعه یافته
۱	بیش از ۱۵ درجه	درجه ۴۰	تعمیر آنی (بدون فوت وقت سرویس گردد)	معیوب

استاندارد نظامی (SH) ۲۱۹۴-ML-STD-۲۱۹۴ (نیروی دریایی ایالات متحده) تجهیزات الکتریکی

اولویت	تفاوت دما Delta T	فعالیت اصلاحی پیشنهادی
۴	۱۰ الی ۲۵ درجه	بروز عیب و اختلال در عملکرد تجهیز محتمل نیست ولی لازم است تعمیرات در برنامه سرویس دوره ای قرار گرفته و بصورت عادی مورد تعمیر قرار گیرد
۳	۲۵ الی ۴۰ درجه	بروز عیب، خرابی و اختلال در عملکرد تجهیز محتمل می باشد و لازم است تعمیرات انجام گیرد.
۲	۴۰ الی ۷۰ درجه	بروز عیب، خرابی و اختلال در عملکرد تجهیز قطعی است و لازم است اقدام اصلاحی انجام گیرد.
۱	بیش از ۷۰ درجه	بروز عیب، خرابی و اختلال در عملکرد تجهیز قریب الوقوع است و نیاز به انجام اصلاح و تعمیر آنی می باشد.

براساس قاعده و معیار تجربی برای تجهیزات الکتریکی و مکانیکی
(*Level-II Certified Infrared Thermographer Reference Manual*. Infrasppection Institute)

اولویت	تفاوت دما Delta T	فعالیت اصلاحی پیشنهادی
۴	۱ الی ۱۰ درجه	اقدام اصلاحی و تعمیرات در برنامه دوره‌ای تعمیرات قرار گرفته و در دور بعدی انجام شود.
۳	۱۰ الی ۲۰ درجه	اقدام اصلاحی و تعمیرات حتی المقدور سریعتر از برنامه تعمیرات دوره‌ای انجام گردد.
۲	۲۰ الی ۴۰ درجه	اقدام اصلاحی و تعمیرات لازم است در اولین فرصت انجام شود.
۱	بزرگتر از ۴۰ درجه	اقدام اصلاحی و تعمیرات لازم است بصورت آنی انجام شود.

قاعده تفاوت‌ها در موتورهای الکتریکی سیم پیچ‌ها و درون موتور (تصویربرداری پس از سکون موتور و در حالت توقف). (*Infrared Inspection of Motor Cores*, by Michael Dreher, ۱۹۹۲)

اولویت	تفاوت دما Delta T	اقدامات اصلاحی پیشنهادی
۳	۱ الی ۱۰ درجه	بروز عیب یا اشکال محتمل نمی‌باشد
۲	۱۰ الی ۲۰ درجه	بروز عیب و اشکال محتمل می‌باشد. نیاز به انجام تست و بررسی بیشتر و مشورت با متخصص ذیربط می‌باشد.
۱	بیش از ۲۰ درجه	بروز عیب و اشکال در موتور جدی می‌باشد اقدام اصلاحی و تعمیرات سریعاً انجام گردد.

۱۱- کاربرد معیار دمای مطلق در سیستم‌های الکتریکی

۱۱-۱- تصویر بردار حرارتی می‌تواند قاعده و معیار دمای مطلق را که براساس استانداردهای IEEE-ANSI و NEMA تبیین شده و بشرح ذیل تشریح می‌شود را جهت تفسیر نتایج بکارگیرد.

۱۱-۲- کلیه دماهای ذکر شده در مطالب ذیل برحسب سلسیوس می‌باشد. در این قاعده در تفسیر نتایج تصویر برداری تجهیزات حداکثر دمای مجاز، میزان افزایش دمای نامی (مجاز) و دمای ممیط در نظر گرفته می‌شوند
دمای ممیط = دمای نامی ممیط
حداکثر دمای مجاز = دمای نامی ممیط + میزان افزایش دمای نامی (مجاز)

۱۱-۳- زمانی که بدلیل بروز عیب و وجود تجهیز اشکال دار اجزاء و قطعات مجاور سیستم گرم شده باشند بدلیل رعایت محافظه کاری و پرهیز از خطا دمای خنک ترین قطعات همجوار مورد نظر قرار می گیرد .

۱۱-۴- در صورتیکه در فهرست مرجع پیوست چندین دمای متفاوت برای تجهیزات مشابه ذکر شده باشد، انتخاب محافظه کارانه بمنظور پرهیز از خطا ، کمترین دمای ارائه شده در فهرست می باشد . در صورتیکه تجهیز دارای اضافه دما نسبت به حداکثر دمای مجاز موجود در لیست باشد لازم است تجهیز مورد نظر در محدوده دمایی مجاز مشخصات فنی مورد بهره برداری قرار گیرد .

۱۱-۵- در صورتیکه تصویر بردار حرارتی موفق به شناسایی کلاس عایقی تجهیز مورد بازرسی نشد او باید به لحاظ پرهیز از خطا بصورت محافظه کارانه کمترین دمای مشخصات فنی را در فهرست تجهیزات همگروه و همسان موجود در فهرست پیوست در نظر گیرد .
بعنوان 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 فهرست پیوست مورد نظر قرار خواهد گرفت

۱۱-۶- لازم به توضیح است که قاعده و معیار دمای مطلق براساس بهره‌برداری تجهیزات در 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_{max_corr}) برای اعمال بار واقعی بهره‌برداری که معمولاً کمتر از میزان بار نامی می باشد و همچنین اعمال دمای واقعی محیط بکار می رود .

$$T_{max_corr} = \left\{ \left(A_{meas} \div A_{rated} \right)^2 \left(T_{ratedrise} \right) \right\} + Tamb_{meas}$$

T_{max_corr} = حداکثر دمای مجاز تصحیح شده

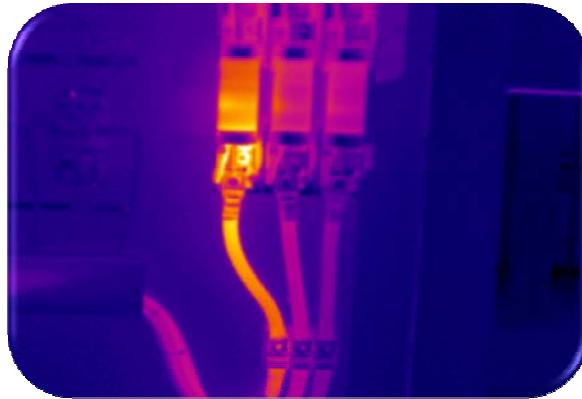
A_{meas} = بار اندازه‌گیری شده بر حسب آمپر

A_{rated} = بار نامی بر حسب آمپر

$T_{ratedrise}$ = افزایش دمای نامی (در فهرست ارائه شده است)

$Tamb_{meas}$ = دمای اندازه‌گیری شده محیط

- مثال: فیوزی در دمای ۶۸ درجه تحت بهره‌برداری قرار دارد دمای اندازه‌گیری شده محیط ۳۵ درجه می‌باشد $(T_{amb\ meas}) = 35^\circ C$ بار نامی فیوز (A_{rated}) ۱۰۰ آمپر بوده اما بار حقیقی آن A_{meas} پس از اندازه‌گیری معادل ۵۰ آمپر می‌باشد
- ۱- ماکزیمم دمای مجاز تصحیح شده فیوز چقدر می‌باشد؟
 - ۲- آیا فیوز با توجه با دمای مشاهده شده آن دارای اشکال می‌باشد؟



$$T_{max\ corr} = \left\{ \left(A_{meas} \div A_{rated} \right)^2 \left(T_{ratedrise} \right) \right\} + T_{amb\ meas}$$

$$T_{max\ corr} = \left\{ \left(50 \div 100 \right)^2 \left(30 \right) \right\} + 35$$

$$T_{max\ corr} = 42/5^\circ C$$

لذا مشاهده می‌شود حداکثر دمای مجاز تصحیح شده فیوز که معادل $42/5^\circ C$ درجه می‌باشد بنابراین دمای ۶۸ درجه فیوز بیانگر وجود عیب در این تجهیز خواهد بود.

جدول مرجع حرارتی تجهیزات الکتریکی (بدلیل تخصصی بودن مبحث موارد بدون ترجمه آمده است)

نوع تجهیز	حداکثر دمای مجاز / میزان افزایش دمای نامی (مجاز) / دمای محیط
انواع هادیها (قاعده کمترین دما)	
Bare conductors _v , in free air	۵۵/۲۵/۸۰
Bare conductors, in enclosure	۴۰/۳۰/۷۰
Bare conductors, enclosure surface	۴۰/۲۰/۶۰
Insulated conductors _v , in free air	۳۰/۳۰/۶۰
Insulated conductors, in enclosure	۳۰/۳۰/۶۰
Insulated conductors, enclosure surface	۳۰/۲۰/۵۰
Insulated conductors, in sun	۵۰/۱۰/۶۰
انواع مختلف عایقها (مربوط به هادیها)	
T, TW, R, RW, RU	۳۰/۳۰/۶۰
THW, Polyethylene, XHHW, RH-RW	۳۰/۴۵/۷۵
Varnished Cambric	۳۰/۴۷/۷۷
Paper Lead	۳۰/۵۰/۸۰
Varnished Polyester	۳۰/۵۵/۸۵

THH, Cross Linked Polyethylene, Ethylene-Propylene	۳۰/۶۰/۹۰
Silicone Rubber	۳۰/۹۵/۱۲۵
اتصالات، سرکابلها و ترمینالها (قاعده کمترین دما)	
Metals, silver or silver alloy	۴۰/۴۰/۸۰
Metals, copper, copper alloy or aluminum	۴۰/۵۰/۹۰
Metals, aluminum alloy	۵۲/۵۳/۱۰۵
کلیدها و فیوزها (قاعده کمترین دما)	
Circuit breakers, molded case	۴۰/۲۰/۶۰
Circuit breakers, all others	۴۰/۳۰/۷۰
Fuses	۴۰/۳۰/۷۰
سکسیونرها و قطع کننده ها	
(lowest temperature criteria)	۴۰/۳۰/۷۰
انواع بوشینگ (قاعده کمترین دما)	
Transformer, lower end	۴۰/۵۵/۹۵
Circuit breaker, lower end	۴۰/۴۰/۸۰
External terminal	۴۰/۳۰/۷۰
رله ها و بوبین ها	
Class ۹۰	۴۰/۵۰/۹۰
Class ۱۰۵	۴۰/۶۵/۱۰۵
Class ۱۳۰	۴۰/۹۰/۱۳۰
Class ۱۵۵	۴۰/۱۱۵/۱۵۵
Class ۱۸۰	۴۰/۱۴۰/۱۸۰
Class ۲۲۰	۴۰/۱۸۰/۲۲۰
انواع موتور AC و سیم پیچ ها	
۱.۰۰ SF, class A	۴۰/۶۰/۱۰۰
۱.۰۰ SF, class B	۴۰/۸۰/۱۲۰
۱.۰۰ SF, class F	۴۰/۱۰۵/۱۴۵
۱.۰۰ SF, class H	۴۰/۱۲۵/۱۶۵
۱.۱۵ SF, class B	۴۰/۹۰/۱۳۰
۱.۱۵ SF, class F	۴۰/۱۱۵/۱۵۵
انواع موتور DC و ژنراتورها	
۱.۰۰ SF, class A	۴۰/۷۰/۱۱۰
۱.۰۰ SF, class B	۴۰/۱۰۰/۱۴۰
۱.۰۰ SF, class F	۴۰/۱۳۰/۱۷۰
۱.۰۰ SF, class H	۴۰/۱۵۵/۱۹۵
۱.۲۵ SF, (۲hr), class B	۴۰/۸۰/۱۲۰
۱.۲۵ SF, (۲hr), class F	۴۰/۱۱۰/۱۵۰
Note: Casing temperatures may be lower than these specified windings temperatures.	
انواع ژنراتور سنکرون باروتور سیلندری	
Class B	۴۰/۷۰/۱۱۰
Class F	۴۰/۹۰/۱۳۰
Class H	۴۰/۱۱۰/۱۵۰
ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع	
Dry type, class ۱۰۵, windings	۳۰/۵۵/۸۵
Dry type, class ۱۵۰, windings	۳۰/۸۰/۱۱۰
Dry type, class ۱۸۵, windings	۳۰/۱۱۵/۱۴۵
Dry type, class ۲۲۰, windings	۳۰/۱۵۰/۱۸۰
Oil cooled, ۵۵°C rise, casing	۳۰/۵۵/۸۵
Oil cooled, ۶۵°C rise, casing	۳۰/۶۵/۹۵

۱۲- معیار دلتا T (Delta t) در تجهیزات مکانیکی

۱-۱۲: قاعده دلتا T می تواند مورد استفاده تصویر بردار حرارتی برای بازرسی تجهیزات مکانیکی قرار گیرد. قاعده دلتا T بطور معمول در تجهیزات مکانیکی نیز مشابه تجهیزات الکتریکی بر حسب تفاوت دمای تجهیز مکانیکی با دمای مرجع می باشد. شیوه کاربرد این معیار مطابق مفاد بند (۱۰-۱) می باشد.

۱۲-۲: با بکارگیری اندازه گیری های منظم در بازه های زمانی تعیین شده در تجهیزات مشابه تحت شرایط بهره برداری مشابه و وضعیت محیطی همسان، و با تکیه بر تحلیل آماری می توان سمت سوی افزایش حرارت تجهیزات را از قبل مورد پیش بینی قرار داد.

۱۳- معیار دمای مطلق در سیستم های مکانیکی

۱-۱۳- مشابه بند ۱-۱۱

۲-۱۳- مشابه بند ۱-۱۱

۳-۱۳- مشابه بند ۱-۱۱

۱۳-۴- در تجهیزات مکانیکی در بسیاری موارد، تصویربرداری نمی تواند دمای سطح اجزاء ذکر شده لیست ذیل را بدلیل سخت بودن دسترسی، مورد اندازه گیری قرار دهد در چنین شرایطی قضاوت صحیح و دقیق وابسته به دسترسی و اندازه گیری دمای واقعی براساس مشخصات فنی ذیل می باشد.

۱۳-۵- دماهای مجاز ذکر شده در فهرست ذیل براساس ۱۰۰٪ (بار/سرعت) نامی تجهیزات می باشد.

۱۳-۶- معیار حداکثر دمای مجاز در تجهیزات مکانیکی بشرح زیر می باشد.

جدول مرجع حرارتی تجهیزات مکانیکی (بدلیل تخصصی بودن مبحث موارد بدون ترجمه آمده است)

نوع تجهیز	حداکثر دمای مجاز
انواع بلبرینگ و یاطاقان (از انواع با اجزاء غلتان)	
Races (for metallurgical stability)	۱۲۵
Rolling elements	۱۲۵
Plastic retainer (cage)	۱۲۰
Steel retainer (cage)	۳۰۰
Brass retainer (cage)	۳۰۰
Steel shield (closure)	۳۰۰
Nitrile rubber lip seal	۱۰۰
Acrylic lip seal	۱۳۰
Silicone lip seal	۱۸۰

Fluoric lip seal	۱۸۰
PTFE lip seal	۲۲۰
Felt seal	۱۰۰
Aluminum labyrinth seal	۳۰۰
انواع بلبرینگ و یاطاقان (از انواع با اجزاء تخت)	
Tin base babbitt	۱۴۹
Lead base babbitt	۱۴۹
Cadmium base	۲۶۰
Copper lead	۱۷۷
Tin bronze	۲۶۰
Lead bronze	۲۳۲
Aluminum	۱۲۱
سایر انواع بلبرینگ و یاطاقان (تولید شده توسط کارخانجات)	
Rulon, filled PTFE	۲۰۴
Graphite bronze	۲۰۴
DU	۲۸۸
PTFE lined fiberglass	۱۷۷
Nylon	۱۴۹
Polyurethane	۸۲
Polyacetyl	۱۰۴
Wood	۷۱
Metalized graphite	۵۹۳
Pure carbon	۳۹۹
Polyolefin, UHMPW	۸۲
Delrin	۱۴۹
Zytel	۱۰۷
Teflon	۲۸۸
Rubber	۴۹
۲. انواع روغن ها (در شرایط نگهداری با بلبرینگ های پلی آمیدی)	
Mineral oils without EP additives, i.e., machine oils, hydraulic fluid	۱۲۰
EP oils, i.e., industrial, automotive, gearbox oils	۱۱۰
EP oils, i.e., rear axle, differential, hypoid gear oils	۱۰۰
انواع روغن های مصنوعی	
Polyglycols, poly-olefins	۱۲۰
Diesters, silicones	۱۱۰
Phosphate diesters	۱۰۰
انواع گریس از نوع معدنی	
calcium complex	۱۲۰
انواع گریس از نوع معدنی (در شرایط نگهداری با بلبرینگهای از نوع برنج یا استیل)	
Lithium base	۱۱۰
Lithium complex	۱۴۰
Sodium base	۸۰
Sodium complex	۱۴۰
Calcium (lime) base	۶۰
Calcium complex	۱۳۰
Barium complex	۱۳۰
Aluminum complex	۱۱۰
Inorganic thickeners	۱۳۰
Polyurea	۱۴۰
روغن کاری با انواع مواد جامد	
Graphite	۴۲۷
Molybdenum disulfide	۴۵۰

Tungsten disulfide	۵۱۰
Polytetrafluoroethylene	۳۰۰
انواع کاسه نمد، گاسکیت و آب بندی	
O-rings and gaskets	
Butyl rubber	۱۰۷
Hypalon	۱۲۱
Epichlorohydrin rubber	۱۳۵
Ethylene acrylic	۱۷۷
EPDM	۱۴۹
Fluorocarbon (viton, kalrez)	۲۰۴
Fluorosilicone	۱۷۷
Neoprene	۱۴۹
Nitrile	۱۳۵
Polyacrylate rubber	۱۷۷
Polysulfide rubber	۱۰۷
Polyurethane	۹۳
Silicone rubber	۲۳۲
آب بندی و کاسه نمد لبه دار	
Nitrile	۱۲۱
Polyacrylate rubber	۱۴۹
Silicone rubber	۱۶۳
Fluorocarbon (viton, kalrez)	۲۰۴
Leather	۹۳
Mechanical Seal Material^{۲۳}	
Stellite	۱۷۷
Tungsten carbide	۲۳۲
Stainless steel	۳۱۶
Ni-resist	۱۷۷
Bronze, leaded	۱۷۷
Ceramic	۱۷۷
Carbon	۲۷۵
Silicon carbide	۱,۶۵۰
Glass-filled teflon	۱۷۷
اجزا و قطعات انتقال قدرت	
V-belts	۶۰

۱. Maintenance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems International Electric Testing Association, ۲۷۰۰ W. Centre Ave., Suite A, Portage, Michigan ۴۹۰۲۴
۲. Infrared Thermal Imaging Survey Procedure for Electrical Equipment ML-STD-۲۱۹۴ (SH). Naval Publications and Printing Service, ۷۰۰ Robbins Ave., Bldg. ۴D, Philadelphia, Pennsylvania ۱۹۱۱۱
۳. Level-II Certified Infrared Thermographer Reference Manual. Infrasppection Institute, ۴۲۵ Ellis Street Burlington, New Jersey ۰۸۰۱۶
۴. Infrared Inspection of Motor Cores, by Michael Dreher, ۱۹۹۲. Available from Infrasppection Institute
۵. ANSI/IEEE C۳۷.۱۰-۲۰۰۳. IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis
۶. ANSI/IEEE C۳۷.۲۰.۱-۱۹۸۷ Standard for Metal-Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breaker Switchgear ANSI/IEEE C۳۷.۲۰.۲-۱۹۸۷ Standard for Metal-Clad and Station-Type Cubicle Switchgear ANSI/IEEE C۳۷.۲۰.۳-۱۹۸۷ Standard for Metal-Enclosed Interrupter Switchgear
۷. ANSI/IEEE Standard ۲۴۲-۱۹۸۶, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems
۸. NEMA AB-۱, Molded Case Circuit Breakers
۹. ANSI/IEEE C۳۷.۴۰-۱۹۸۱, Service Conditions and Definitions for High-Voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-Pole Air Switches, Fuse Disconnecting Switches and Accessories
۱۰. ANSI/IEEE Standard C۳۷.۳۰-۱۹۷۱, Definitions and Requirements for High-Voltage Air Switches Insulators and Supports
۱۱. IEEE C۳۷-۱۹۹۱, Guides and Standards for Circuit Breakers, Switchgear, Relays, Substations and Fuses
۱۲. ANSI/IEEE C۳۷.۶۳-۱۹۸۴ Standard Requirement for Overhead, Pad-Mounted, Dry-Vault, and Submersible Automatic Line Sectionalizers for AC Systems
۱۳. NEMA MG۱-۱۹۸۷, Motor and Generators
۱۴. ANSI/IEEE Standard ۱۴۱-۱۹۸۶, Power Switching, Transformation, and Motor-Control Apparatus
۱۵. ANSI/IEEE C۵۷.۹۴-۱۹۸۲ IEEE Recommended Practice for Installation, Application, Operation and Maintenance of Dry-Type General Purpose Distribution and Power Transformers
۱۶. ANSI/IEEE C۵۷.۹۲-۱۹۸۱ IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Power Transformers Up to and Including ۱۰۰MVA with ۵۵° and ۶۵° Average Winding Rise
۱۷. SKF General Catalogue ۴۰۰۰ US, ۱۹۹۱, SKF
۱۸. Machinery's Handbook, ۲۲nd Edition, Industrial Press
۱۹. The Plane Bearing Handbook, ۱۹۸۹, Bearings Inc
۲۰. Steyr Bearings Technical Manual ۲۸۱E, ۱۹۸۱, Steyr
۲۱. Parker O-Ring Handbook, Parker Seals
۲۲. CR Handbook of Seals, CR Industries
۲۳. Duraseal Manual, Durametallc
۲۴. Eaton Power Transmission Catalogue, Eaton
۲۵. **Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment** ۲۰۰۸ Edition

پیوست ۱:

▪ مروری بر انتقال حرارت

فلسفه تصویر برداری حرارتی بر مبنای اندازه گیری انرژی حرارتی ساطع شده از سطح و رویه یک جسم و تبدیل آن به تصویر و نقشه حرارتی استوار است. تصویر برداری حرارتی نیازمند درک رفتار انرژی حرارتی، دما و انواع مختلف انتقال حرارت بوده و بر این اساس امکان تفسیر و تحلیل نتایج حاصل از تصویر برداری حرارتی را خواهد یافت. مباحث ذکر شده در این پیوست حداقل اطلاعات لازم در خصوص پدیده انتقال حرارت و اشعه مادون قرمز و چگونگی سازو کار سنجش دما بدون تماس مستقیم را فراهم می آورد.

▪ شیوه های انتقال حرارت:

گرما یکی از انواع انرژی محسوب می شود و مانند سایر انواع انرژی، گرما نه خودبخود تولید می شود و نه از بین می رود بلکه انرژی حرارتی به سایر انواع انرژی تبدیل می شود و همچنین سایر انواع انرژی نیز به انرژی حرارتی تبدیل می گردند.

انرژی حرارتی از سه طریق زیر منتقل می شود

رسانایی: انتقال حرارت از طریق رسانایی در درون مواد با جنبش مولکولی و برخورد اتم ها صورت می گیرد

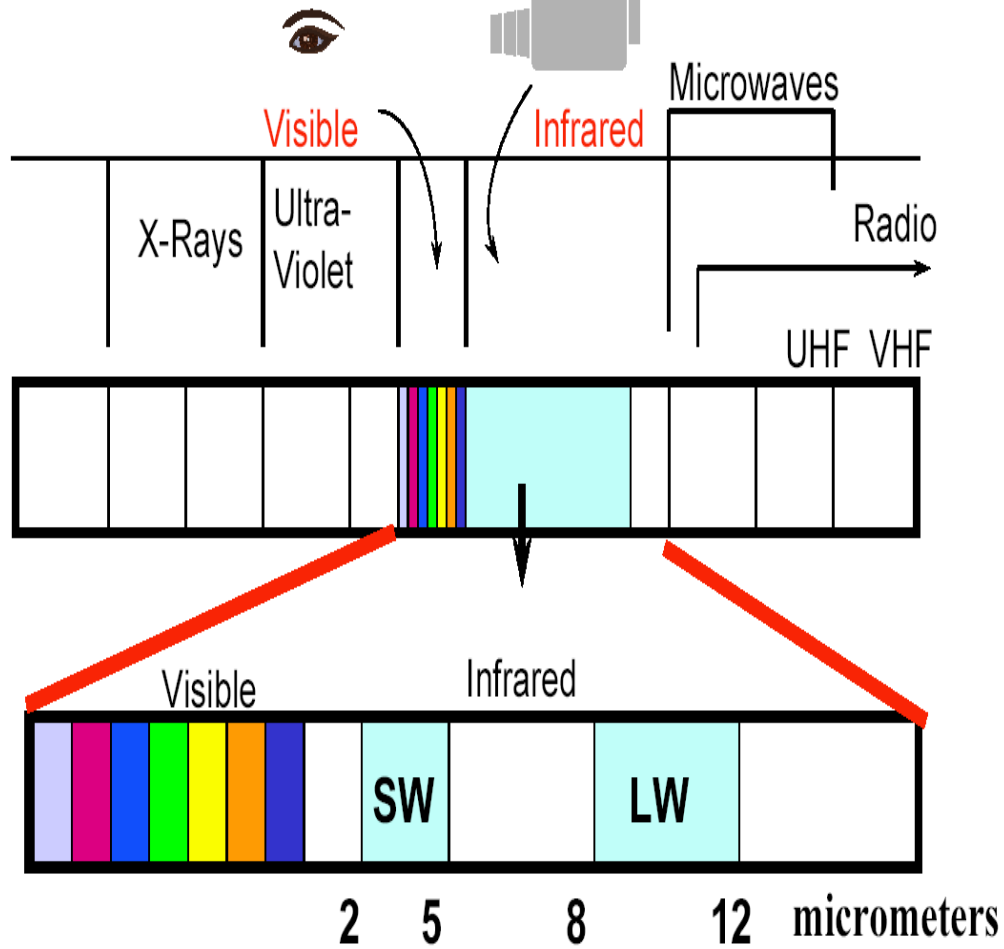
همرفت: انتقال حرارت از طریق همرفت خصوصا در سیالات صورت گرفته و این نوع انتقال حرارت بدلیل جابجایی سیال صورت می گیرد

تابش: انتقال حرارت در این روش به شیوه ای مشابه نور انجام می گیرد، با سرعتی مشابه نور و در مسیر مستقیم و بدون نیاز به محیط واسط (تشعشع حرارتی در خلاء نیز انجام می گردد) انتقال حرارت بطور کلی و در اغلب موارد بصورت ترکیبی از سه شیوه فوق انجام می گیرد

انتقال حرارت تابشی:

انتقال حرارت از طریق تابش در طیف الکترومغناطیس در حوزه اشعه مادون قرمز جا گرفته و دارای طول موج ۰.۷۵ میکرومتر الی ۱۰۰ میکرومتر می باشد البته در عمل اندازه گیری ها در حدود طول موج ۲۰ میکرومتر انجام می شود

Electromagnetic Spectrum...



طیف الکترومغناطیسی و موقعیت باند مادون قرمز در این طیف

دما و تبدیل واحدهای حرارتی

تبدیل واحدهای حرارت سیستم متریک و سیستم انگلیسی

$$T \text{ Celsius} = \frac{5}{9} (T \text{ Fahrenheit} - 32)$$

$$T \text{ Fahrenheit} = \frac{9}{5} T \text{ Celsius} + 32$$

$$T \text{ Rankine} = T \text{ Fahrenheit} + 459.7$$

$$T \text{ Kelvin} = T \text{ Celsius} + 273.16$$

Absolute zero (zero R = zero K) is equal to -273.15°C and is also equal to -459.67°F .