

## پایش وضعیت و تعمیرات پیشگیرانه با بهره‌گیری از فناوری ترموگرافی

علیرضا عبدالهی<sup>۱</sup>، محمدرضا عبدالهی<sup>۲</sup>

شرکت مدیریت تولید برق اصفهان - اصفهان ابتدای اتوبان ذوب آهن - انتهای بلوار شفق

Alireza.Abdollahi58@yahoo.com

### چکیده

از جمله راهکارهای کاربردی در خصوص نت بهره‌گیری از فناوری ترموگرافی است که در آن کاربریهای متنوعی در زمینه‌های گوناگون تعریف می‌شود. کاربریها شامل کنترل عایقی ساختمان، مسیرهای سیالات، بدنه بویلرها، دمای الکتروموتور، کویلینگ و یاتاقانها، تابلوهای برق، ترانسفورماتورها، هادیهای فشار قوی و بردهای الکترونیکی و... می‌باشد. در شرایط لازم می‌توان از موارد فوق تصویربرداری حرارتی انجام داده و تغییرات ایجاد شده در الگوی توزیع دمای سطوح را شناسایی و توسط نرم افزار آنالیز کرد تا در زمان کار یا Shut Down، اقدام لازم نسبت به رفع عیب پیشگیرانه انجام گیرد. هم اکنون ترموگرافی از ارکان اساسی CM و مدیریت انرژی بوده و براساس CPMهای تعمیراتی انجام می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ترموگرافی (گرمانگاری)، پایش وضعیت، تعمیرات پیشگیرانه و پیشگويانه.

### مقدمه

در دهه‌های اخیر راهکارهای متعددی در زمینه نگهداری و تعمیرات و اصول تعمیرات پیشگیرانه به خدمت صنعت گرفته شده‌اند. این راهکارها در صنایع بزرگی چون نیروگاهها به منظور افزایش ضریب آمادگی تولید و کاهش خروج‌های اضطراری در جهت رفع عیب پیشگیرانه نقش به‌سزایی را ایفا می‌کنند، به طوری که با پیاده‌سازی و اجرای مباحث پایش وضعیت (CM) می‌توان گامهای موثری در راستای پیشگیری از خسارات ناشی از نقص و خرابی تجهیزات، تامین لوازم معیوب، هزینه‌های مربوط به تعمیرات بلند مدت، مضرات ناشی از عدم تولید واحد نیروگاهی برداشت. موارد ذکر شده هزینه‌های قابل توجهی را در جای جای سیستم به دنبال دارد، اما در صورت اجرای به موقع و صحیح ارکان CM می‌توان هزینه‌های فوق را در اقدامات اولیه شامل تست و بازدیدهای دوره‌ای و تعمیرات پیشگیرانه آن کاهش و زمینه افزایش قابلیت‌های اطمینان در زمینه بهره‌برداری فراهم نمود. متأسفانه در حال حاضر در برخی صنایع روشهای پایش وضعیت بر اساس ایده‌های سنتی، تجربی و غیر علمی انجام می‌گیرد و لذا انجام تکنیک‌های پایش وضعیت، نوع گزارشها،

۱- لیسانس مهندسی برق-کارشناس الکترونیک دفتر مهندسی و برنامه‌ریزی، دبیر کمیته انرژی

۲- دانشجوی مهندسی IT، عضو هیئت مدیره شرکت فنی مهندسی کیهان الکترونیک سپاهان

تحلیل وقایع ، راهکارهای پیشگیری و عملیات اجرایی با اختلاف سلاقی و روشهای غیر استاندارد همراه می شود که مضرات جبران ناپذیر خود را به دنبال خواهد داشت.

بهره گیری از فن آوری ترموگرافی یکی از مباحث اساسی پایش وضعیت در صنایع (به خصوص صنایع نیروگاهی) است که در زیر به کاربردهای متنوع آن در شرکت مدیریت تولید برق اصفهان خواهیم پرداخت.

فن آوری ترموگرافی (با نامهای دیگر ترموویژن ، تصویر برداری حرارتی ، گرمانگاری ، عکس برداری حرارتی) از اواسط قرن نوزدهم میلادی با کاربریهای نظامی مورد توجه بوده و کاربرد آن در واحدهای صنعتی از نیمه دوم قرن نوزدهم با دوربینهای بسیار سنگین با وزنی حدود ۵۰ کیلوگرم آغاز گردیده است. اما امروزه با پیشرفت تکنولوژی و بهره گیری از دتکتورهای بسیار حساس و کم حجم دوربینهایی با دقت و حساسیت فوق العاده و وزن پایین جایگزین مدلهای قدیمی شده است. کاربردهای متنوع این فن آوری جای خود را در اکثر پایشها باز کرده است که میتوان به موارد زیر اشاره نمود :

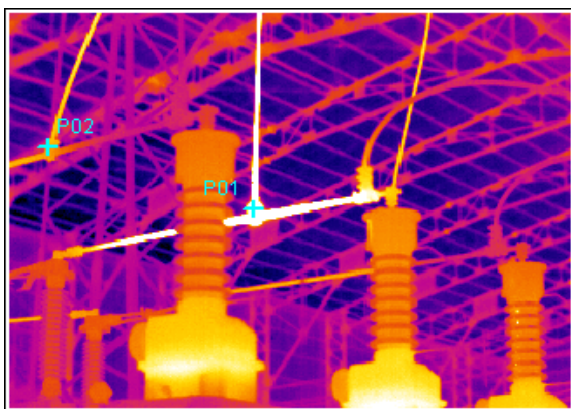
- کاربریهای صنعتی در خصوص مباحث الکتریکی (فشار قوی ، فشار ضعیف و...)، الکترونیکی ، سیالات ، کوره ها و تجهیزات دوار
- کاربریهای تاسیساتی در ساختمانها ، سوله ها در خصوص مدیریت انرژی
- کاربریهای نظامی در خصوص حفاظت های شبانه
- کاربریهای پزشکی و دامپزشکی

## کاربرد ترموگرافی در نیروگاه

### تجهیزات الکتریکی فشار قوی و پست های بلا فصل نیروگاهی

در نیروگاه اصفهان انجام ترموگرافی از تجهیزات الکتریکی فشار قوی و پست های بلا فصل آن سابقه ای بیش از ده سال دارد که در ابتدای امر با دوربین های پر حجم مدل IR470 (ساخت شرکت AGEMA کشور سوئد) و از طرف ارگانهای دیگر انجام می پذیرفت اما در حال حاضر این شرکت با خرید دوربین های جدید و بر اساس برنامه های زمان بندی شده متولی این امر شده است. انجام الزامی ترموگرافی مطابق زمان بندی ذکر شده به طور معمول دو یا سه بار قبل از تعمیرات دوره ای و اساسی می باشد. ولی در بازدیدها و بررسی های دوره ای هر دو ماه یکبار انجام می پذیرد.

در تجهیزات الکتریکی نقاط گرم بر اثر وجود مقاومتها تشکیل شده و عبور جریان الکتریکی ایجاد می گردد. علل ایجاد این مقاومتها را می توان شل بودن اتصالات ، کثیف بودن ، گرد و غبار ، اکسیده شدن سطوح داخلی اتصالات و ایجاد نقاط جوش خورده به هم ، ناخالص و نا مرغوب بودن یراق آلات نظیر کلمپها و ... ، اتصالات با مقاطع نامناسب ، فرسوده بودن اتصالات ، در گیر نشدن کامل تیغه های سکسیونرها و ... تلقی نمود.



شکل ۲- کلمپ رابط فاز وسط خط ۶۳۳- تصویر حرارتی



شکل ۱- کلمپ رابط فاز وسط خط ۶۳۳- تصویر واقعی

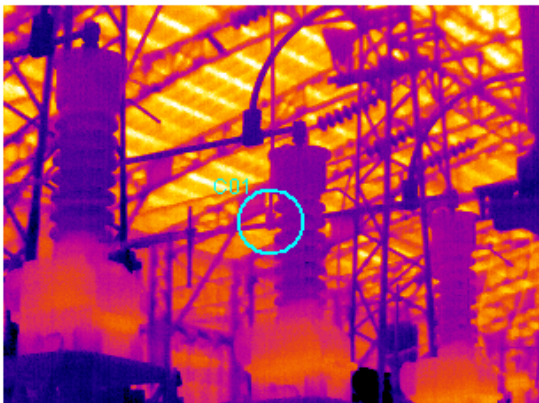
در شکل فوق کلمپ رابط فاز وسط مربوط به خط ۶۳۳ در سوئیچپارد 63 KV نیروگاه اصفهان نشان داده شده است. پس از انجام ترموگرافی نقطه بسیار داغی با دمای متجاوز از  $200^{\circ}\text{C}$  مشاهده گردید با توجه به فوریت موضوع ، هماهنگی لازم انجام شده و خط مذکور بی برق و پس از باز کردن کلمپ مذکور مشاهده گردید حرارت بالا باعث ذوب شدن و خوردگی بی متال مابین هادی و کلمپ شده بود لذا کلمپ و بی متال تعویض گردیدند و وضعیت خط به حالت اولیه باز گردانده شد.



شکل ۴ - کلمپ و هادی آسیب دیده



شکل ۳- کلمپ و بی متال آسیب دیده



شکل ۶ - تصویر حرارتی بعد از رفع عیب



شکل ۵ - اقدامات تعمیراتی پیشگیرانه

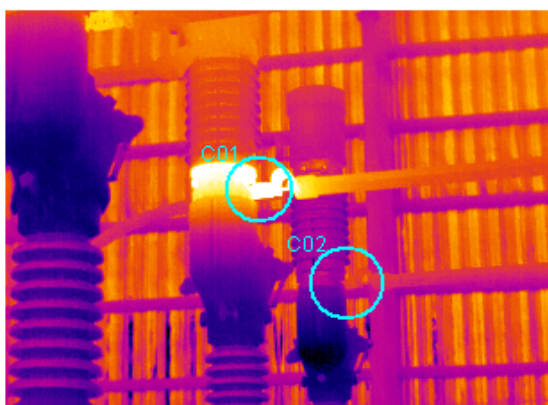
جدول ۱ - مقایسه دمای نقطه معیوب - قبل از رفع عیب      جدول ۲ - مقایسه دمای نقطه معیوب - بعد از رفع عیب

IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.8
dist	4
Max	30
Max X-pos	291
Max Y-pos	28
Description	
Lable	Value
CO1:Temp	30

IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.8
dist	4
Max	202.9
Max X-pos	135
Max Y-pos	111
Description	
Lable	Value
PO1:Temp	202.9
PO2:Temp	23.4

پستهای بلافصل نیروگاهی به دلیل وجود مولد از اهمیت ویژه ای نسبت به پست های انتقال برخوردارند. از دیگر نکات قابل توجه در این گونه پست ها تولید توان اکتیو و راکتیو واحدهای نیروگاهی با توجه به شرایط شبکه برق سراسری دائما در حال نوسان است و بعضا دستخوش حادثه شده و نهایتا منجر به خروج واحد می گردد. این نوسانات دائم و آنی باعث عبور جریانهای مختلفی از بریکرها، سکسیونرها، جمپرها و سایر اتصالات شده و در پی آن انبساط و انقباض تجهیزات، ضربات دینامیکی وارد به آنها را به دنبال دارد. لذا وقوع این عوامل به کرات باعث ایجاد مقاومت در کلیه اتصالات از ژنراتور تا خطوط خروجی انتقال می گردد.

در شکل زیر بریکر ۶۸۱۲، که یکی از بریکرهای کویلاژ (ما بین سکشن ۲ و ۳) در سوئیچیار 63 KV نیروگاه اصفهان است را نشان می دهد که فاز وسط آن به سمت سکشن ۳ دارای نقطه داغ بوده و به دلیل حاد نبودن وضعیت در تعمیرات دوره ای تحت تعمیر قرار گرفت.



شکل ۸- اتصالات بریکر ۶۸۱۲ - تصویر حرارتی



شکل ۷- اتصالات بریکر ۶۸۱۲ - تصویر واقعی



شکل ۱۰- تصویر حرارتی بعد از رفع عیب



شکل ۹- اقدامات تعمیراتی پیشگیرانه

یکی از نکات مهم و قابل توجه در ترموگرافی این است که تصویر حرارتی بدست آمده از تجهیز را نمی توان با دستورالعمل یا منبع خاصی تحلیل نمود و لذا بررسی موضوع بر اساس مطالعه موردی و مقایسه با وضعیت قبلی تجهیز یا موارد مشابه آن انجام پذیر است.

جدول ۳ - مقایسه دمای نقطه معیوب - قبل از رفع عیب      جدول ۴ - مقایسه دمای نقطه معیوب - قبل از رفع عیب

IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.8
dist	6
Max	32.11
Max X-pos	198
Max Y-pos	126
Description	
Lable	Value
CO1: Max	28.75
CO2: Max	27.13

IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.8
dist	6
Max	68.65
Max X-pos	140
Max Y-pos	106
Description	
Lable	Value
PO1:Temp	68.65
PO2:Temp	30.51

### تجهیزات الکتریکی فشار ضعیف

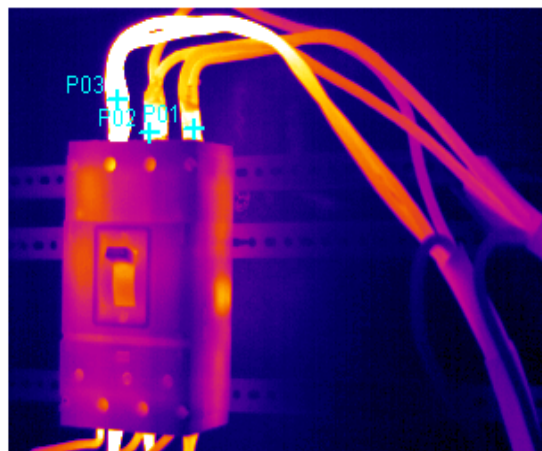
تجهیزات الکتریکی فشار ضعیف شامل هرگونه تابلوهای فرمان ، توزیع ، روشنایی و ... ، کلیدهای فشار ضعیف با قدرتهای بالا ، رله های اصلی و کمکی ، سرکابلها ، ترمینالها ، و ... می شود. انجام ترموگرافی از این تجهیزات بدلیل ثابت بودن بار آنها ، سالیانه یک یا دو بار صورت می پذیرد.

وجود نقاط گرم همیشه دلیل بر خرابی یا اشکال در اتصالات و هادیهای آنها نیست ، مثلا در برخی تصویرهای حرارتی بدست آمده از کلیدهای فشار ضعیف یا کنتاکتورها ، گرم بودن یکی از فازها دلیل بر عدم تعادل بار (و یا ضعیف بودن هادی مربوطه) آنهاست ، که مورد ذکر شده مربوط به مدارات روشنایی بوده و با تقسیم بار رفع اشکال گردید.

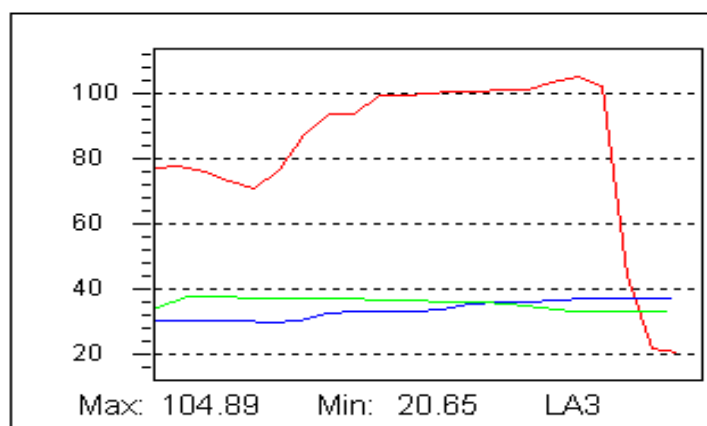
بوبین رله ها در اثر کارکرد دائمی یا قطع و وصلهای زیاد دچار کاهش عمر تدریجی و آسیب دیدگی می شوند، با انجام ترموگرافی می توان روند کاهش عمر آنها و اقدامات پیشگیرانه موثری را انجام داد.

جدول ۵ - مقایسه دمای نقاط مشخص شده بر اساس جریان عبوری

IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.9
dist	1
Max	104.25
Max X-pos	63
Max Y-pos	66
Description	
Lable	Value
PO1:Temp	39.24
PO2:Temp	42.73
PO3:Temp	104.25



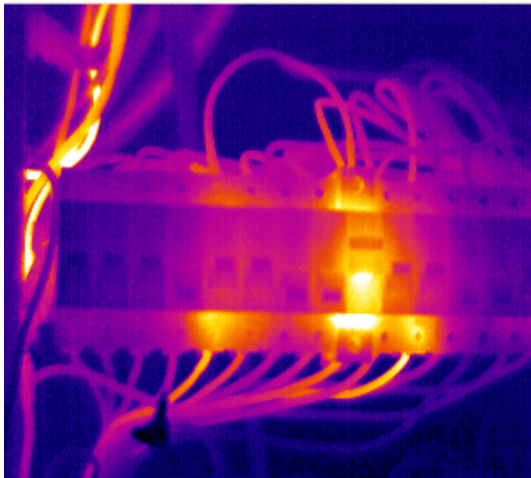
شکل ۱۱- تشخیص عدم تعادل بار در یک کلید فشار ضعیف



شکل ۱۲- طیف حرارتی نامتعادل در سه فاز کلید فشار ضعیف

## تجهیزات الکترونیکی و ابزار دقیق

اشکال بوجود آمده عمده در تجهیزات الکترونیکی و ابزار دقیق در بردهای الکترونیکی است. وجود دمای بالا پیرامون این بردها باعث گرم شدن المانها شده و نهایتاً منجر به سوختن آنها می گردد. سیستم تحریک نیروگاهها یک مثال کاملاً کاربردی در این زمینه به حساب می آید. در مدارات سیستم تحریک به سبب نوسانات پیوسته توان راکتیو، زوایای آتش تاپریستورها نیز به طور دائمی تغییر می کند که این امر خود باعث کاهش عمر المانهای بردها می گردد. در سالهای اخیر در پی سوختن مقاومت یکی از بردهای کنترل توان راکتیو، سیستم کنترل جریان تحریک و ولتاژ واحد سه نیروگاه اصفهان مختل شده و این واحد پس از چند ثانیه خارج گردید که در تحلیلهای انجام شده و بررسی نمونه های مشابه، علت حادثه گرم شدن تدریجی این مقاومت و در نتیجه سوختن آن بود. پس از این وقایع حتی الامکان سعی شده بردهای مربوط به سیستم تحریک در جهت پیشگیری از موارد ذکر شده به صورت دوره ای تصویربرداری حرارتی شوند.



شکل ۱۴- ترمینالهای ضعیف شده در اثر اکسیده شدن



شکل ۱۳- تصویر مقاومت گرم در رله ها و رکوردرها

## تجربه ای دیگر

مقاومت‌های (رئوستاهای) موجود در مدار لامپهای سیگنال ، کنتاکتورها ، رله ها عموماً نامناسب انتخاب شده و دمای بسیار بالایی دارند و در اکثر موارد عامل ایجاد حادثه شده اند لذا پس از انجام ترموگرافی تحلیل و اقدام لازم انجام می گیرد.

## تجهیزات مکانیکی حرارتی ، دوار و سیالات

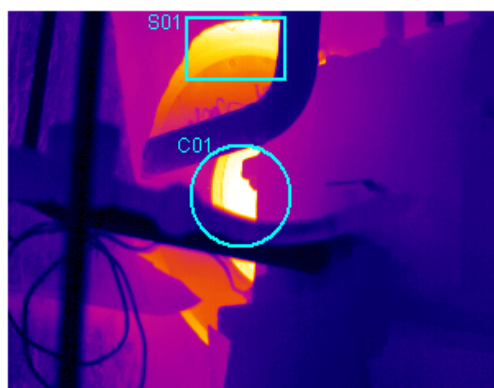
در نیروگاهها تجهیزات مکانیکی حرارتی ، دوار و سیالات شامل دیواره های بویلر ، مسيرهای عایقکاری شده سیالات ، الکتروموتورها ، کویلینگها ، یاتاقان ها و ... می شود که در زیر به ذکر چند تجربه اشاره می گردد.

برای سنجش دمای اکثر نقاط از ترموکوپل استفاده می شود اما ترموکوپلها فقط دمای محدوده کوچکی از اطراف خود را اندازه گیری کرده و قادر به سنجش پراکندگی و گسترش حرارتی در سطح وسیع نیستند ، همچنین نشتی هایی که در اثر تنشهای حرارتی در نقاط مختلف سیستم نظیر بویلر رخ می دهد به مرور زمان گسترش یافته و منجر به حادثه می گردند لذا با انجام عملیات ترموگرافی و بررسی دمای دیواره تجهیزات می توان از این گونه پیشرفتها جلوگیری نمود.

الکتروموتورهای فشار قوی به کار رفته در نیروگاهها هنگام استارت دارای زمان راه اندازی بسیار بالا و تنشهای مکانیکی شدید هستند که این تنشها به یاتاقان و کویلینگهای موتور آسیب می زند و به مرور باعث گرم شدن یاتاقانها می گردد. در تصویر زیر یاتاقان موتور G.R.FAN واحد چهار نیروگاه اصفهان نشان داده شده است که از قسمت یاتاقان دارای ناحیه گرم می باشد.

جدول ۶ - دمای نقاط مشخص شده یاتاقان موتور G.R.FAN

IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.95
dist	3.5
Max	166.62
Max X-pos	151
Max Y-pos	4
Description	
Lable	Value
CO1: Max	161.98
SO1: Max	166.62



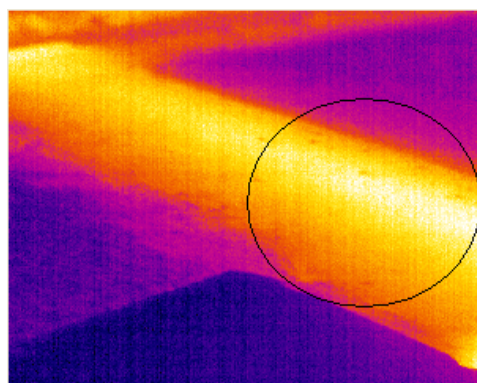
شکل ۱۵- یاتاقان موتور G.R.FAN واحد چهار نیروگاه اصفهان

### مسیرهای سیالات

در تصاویر زیر یک مسیر بخار کمکی ، درون کانال سیمانی نشان داده شده که به علت عدم عایقکاری ، درب بیرونی کانال (از جنس سیمان و به قطر ۲۵ سانتیمتر) را به شدت گرم کرده است که این مورد پس از انجام ترموگرافی مشخص شده و پس از برداشتن درب کانالها اقدام به عایقکاری لوله بخار گردید. این مورد از دیدگاه مدیریت انرژی نیز قابل بحث و بررسی است.



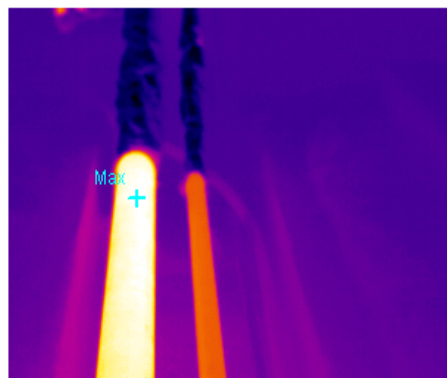
شکل ۱۷- لوله بخار عایقکاری نشده- تصویر واقعی



شکل ۱۶- درب بیرونی کانال حامل لوله بخار

جدول ۷ - دمای نقطه ماکزیمم روی سطح لوله بخار

IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.9
dist	4
Max	138.12
Max X-pos	87
Max Y-pos	116
Description	
Lable	Value
Max :Temp	138.12



شکل ۱۸- لوله بخار عایقکاری نشده- تصویر حرارتی

### نکات صرفه جویی و اقتصادی

با توجه به مطالب ذکر شده کاربرد فن آوری ترموگرافی در صنعت تنوع بسیار زیادی داشته و در هر شاخه توجیه اقتصادی و صرفه جویی خاصی را دارد. این توجیه در واحدهای نیروگاهی شامل موارد زیر می گردد:

- افزایش ضریب آمادگی تولید
- کاهش خروج های اضطراری
- افزایش قابلیت اطمینان
- کاهش مصارف داخلی
- کاهش مصرف سوخت و افزایش راندمان

با توجه به مطالب بند ذکر شده پستها و سویچیاردهای بلا فصل نیروگاهی نقش حیاتی در ارتباط ژنراتورها با شبکه سراسری دارند. به عنوان نمونه تولید انرژی واحدهای اول ، دوم و سوم نیروگاه اصفهان از طریق سویچیاردهای ۶۳ کیلوولت به شبکه سراسری منتقل شده و همچنین تعدادی فیدر خروجی ۶۳ کیلوولت از آن منشعب می گردد. میزان تولید سه واحد فوق عبارتست از:

$$(2 \times 37.5 \text{ MW}) + (1 \times 120 \text{ MW}) = 195 \text{ MW}$$

مجموع تولید در ۲۴ ساعت :

$$195 \text{ MW} \times 24 \text{ H} = 4680 \text{ MWH}$$

به دلیل بروز هرگونه اشکال در تجهیزات فشار قوی در این سویچیارده و Shutdown آن ، کل تولید از دست رفته و مصارف فیدرهای خروجی نیز قطع می شود. که در پی آن مضراتی نظیر خروج واحدها ، عدم فروش انرژی به بازار برق، وارد شدن شوک الکتریکی و حرارتی به سیستم و عواقب ناشی از آن ، بی برقی مصرف کنندگان و راه اندازی مجدد واحدها را به دنبال دارد. بدیهی است موارد ذکر شده زیانهای مالی بسیار بالایی را به دنبال خواهد داشت.

مورد درج شده در بند مسیلهای سیالات مربوط به یک مسیر بخار کمکی و به طور کلی مربوط به مسیلهای سیالات و بدنه کوره ها و.... می گردد ، عدم عایقکاری و یا عایقکاری نامناسب باعث پرت انرژی ، مصرف سوخت بیشتر و اتلاف هزینه می شود. همچنین عایقکاری اجزا سیستم بایستی با استفاده از عایقهای مناسب و اصول مربوطه انجام گردد.

در نیروگاه میزان هزینه های انجام شده فوق در مقابله با اتلاف انرژی ناچیز بوده و به دلیل کاربری دائم سیستم در مدت بسیار کوتاهی (چند ماه) قابل برگشت می باشد.

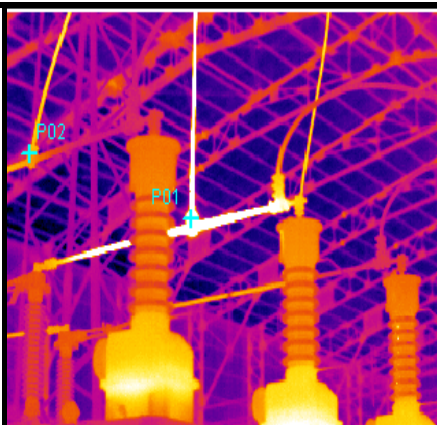
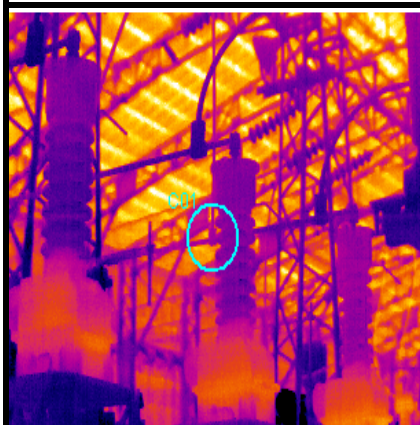


## شرکت مدیریت تولید برق اصفهان

## معاونت مهندسی و برنامه ریزی، گروه CM - گزارش ترموویژن

نام تجهیز: کلمپ رابط فاز وسط در خروجی خط 633

موقعیت تجهیز: سوئیچپارک 63 KV نیروگاه اصفهان



تصویر حرارتی بعد از رفع عیب

تصویر حرارتی قبل از رفع عیب

تصویر واقعی

شماره:

تاریخ:

ساعت:

شماره:

تاریخ:

ساعت:

شماره:

تاریخ:

ساعت:

شماره:

تاریخ:

ساعت:

شماره:

تاریخ:

ساعت:

شماره:

تاریخ:

ساعت:

علت احتمالی عیب:

شل بودن، فرسودگی، شکستگی کلمپ یا ذوب شدن بی متال  
بین کلمپ و هادی

وضعیت

 $T_2 = 202$ دمای نقطه (ناحیه) معیوب  $PO1 - (^\circ C)$  $T_1 = 25$ دمای نقطه (ناحیه) مشابه سالم  $PO2 - (^\circ C)$ اختلاف دما  $(^\circ C)$  $\Delta T = 177$ 

فوریت اقدام اصلاحی:

Operating

Shutdown ×

توصیه جهت رفع عیب:

اطلاع رسانی و برنامه ریزی سریع به منظور گرفتن خاموشی، رفع  
عیب اضطراری و صدور کارت تعمیراتی به شماره ۲۷۷۳۴۵ در  
تاریخ ۱۳۸۸/۵/۱۰ $T_3 = 30$ دمای نقطه (ناحیه) بعد از رفع عیب  $CO1 (^\circ C)$  $t = 22$ دمای محیط  $(^\circ C)$ 

RelHum=20

رطوبت نسبی (%)

EMS = 0.8

ضریب تشعشع

بازدید کننده:

Dis = 4

فاصله تجهیز تا دوربین (m)

## تحلیل

تحلیل تصویربرداری های انجام شده از موارد حائز اهمیت در ترموگرافی است ، چرا که می توان نتایج موثر و مهمی را از آن برداشت نمود. معمولا هر دوربین ترموویژن همراه با نرم افزار مخصوص خود عرضه می گردد که تحلیل تصاویر با توجه به قابلیت های این نرم افزارها انجام می گیرد. در نرم افزارهای ترموگرافی امکاناتی نظیر ابزارهای گرافیکی ، جدولی ، منحنی ها ، ایزوترمها ، اشل های حرارتی و از همه مهمتر تنظیماتی است که بر اساس پارامترهای تخصصی نرم افزار وجود دارد. بی شک یک ترموگراف حرفه ای بایستی از امکانات ذکر شده اطلاع کافی داشته باشد.

از فاکتورهای مهم در ترموگرافی چگونگی تحلیل در برخورد با حرارت نقاط اندازه گیری شده می باشد ، بدین معنی که چه اقدام مناسبی باید در این زمینه انجام دهیم. به عنوان مثال یکی از خطاهایی که در ترموگرافی برخی کلیدهای فشار ضعیف به وجود می آید این است که نقاط داغ در این کلیدها و کابل های متصل به آن نیاز به آچارکشی و تعویض ندارند و فقط جریان اضافی یا نامتعادل از کلید عبور می کند لذا به منظور رفع عیب بایستی در خروجی کلید تقسیم بار انجام شود. از موارد دیگر ، اولویت بندی تعمیراتی مطابق درجه حرارت اندازه گیری شده است که می توان تحلیلی بر احتمال عیوب در حد خفیف ، عادی و اضطراری انجام داد.

یکی از نکات دیگری که هر ترموگراف باید به آن توجه داشته باشد ، خطاهای ناشی از انعکاس حرارتی است که این موضوع در تصویربرداری از دیواره های بویلر و مسیرهای براق بسیار شایع است که بسته به محل مورد نظر راهکارهای عملی مناسبی انجام می گیرد.

## مراجع

- [۱] جزوه آموزشی Pre-LEVEL I IR Thermography Certification - دوره آموزش Pre-Level I گرمانگاری مادون قرمز ، برگزار شده توسط شرکت فن آوران مادون قرمز در نیروگاه اصفهان ، ۱۳۸۷.
- [۲] جزوه آموزشی " دوره آموزشی تخصصی گرمانگاری مادون قرمز در نیروگاهها " ، شرکت فن آوران مادون قرمز ، تهران ، ۱۳۸۶.

- [3] A N Nowicki, Infrared Thermography Handbook, Vol 1 Principle and practice Vol 2 Applications, The British Institute of Non-Destructive Testing, 2004.
- [4] ASM Handbook Vol 11 Failure Analysis and Prevention, ASM International, 2002.
- [5] Manual of Termography Camera Model: HY6800
- [6] web site : [www.nor-pro.dk](http://www.nor-pro.dk) , [www.flir.com](http://www.flir.com) , [www.infraredsys.com](http://www.infraredsys.com) , [www.ir-tc.com](http://www.ir-tc.com)