

نمونه‌هایی از اجرای موفق برخی تکنیک‌های پایش وضعیت در واحد CM نیروگاه حرارتی شازند

احمد کندی^۱، محمد صالح غلامی دیلمی^۲

شرکت مدیریت تولید برق شازند (نیروگاه حرارتی شازند) - واحد CM

AHMADKANDI56@YAHOO.COM

چکیده

این مقاله به تشریح برخی از نتایج بکارگیری تکنیک‌های پایش وضعیت (Condition Monitoring) در نیروگاه حرارتی شازند می‌پردازد. از جمله این روش‌ها که در بهبود بهره‌وری نت در نیروگاه شازند بکار گرفته شده‌اند، تکنیک‌های آلتراسونیک، ضخامت‌سنجی، ترموویژن و آنالیز کارایی را می‌توان نام برد. اداره CM نیروگاه شازند از سال ۱۳۸۶ تا کنون با بهره‌گیری از این تکنیک‌ها در مورد تجهیزاتی که رابطه مستقیم و غیرمستقیم با تولید انرژی الکتریکی دارند توانسته است همگام با آنالیز ارتعاشات موجب افزایش راندمان، کاهش هزینه و حجم تعمیرات، جلوگیری از گسترش خرابی‌ها و در نهایت افزایش قابلیت اطمینان و پایداری در تولید واحدها گردد.

واژه‌های کلیدی: پایش وضعیت، نگهداری و تعمیرات، قابلیت اطمینان، انرژی الکتریکی، پایداری واحدها.

مقدمه

نیروگاه حرارتی شازند با ظرفیت تولید ۱۳۰۰ مگاوات انرژی الکتریکی، دارای ۴ واحد ۳۲۵ مگاواتی بوده و از سال ۱۳۷۹ به شبکه سراسری تولید برق کشور پیوسته است. شرکت مدیریت تولید برق شازند با اتکاء به نیروهای جوان و استعدادهای داخلی شروع به فعالیت نموده و توانسته در این راستا به موفقیت‌های قابل توجهی دست یابد. از جمله دستاوردهای مورد بحث، استقرار واحد پایش وضعیت (CM) به صورت حرفه‌ای و مستقل می‌باشد و شرکت مدیریت تولید برق شازند اولین نیروگاه کشور است که اقدام به تأسیس این واحد در داخل شرکت نموده است. واحد CM نیروگاه شازند فعالیت رسمی خود را از سال ۱۳۸۳ با پیاده‌سازی برنامه آنالیز ارتعاشات تجهیزات دوار شروع نموده و هم‌اکنون علاوه بر پایش وضعیت ارتعاشات بسیاری از تجهیزات دوار به صورت دقیق و حرفه‌ای، برخی دیگر از تکنیک‌های بازرسی و پایش وضعیت را هم در دست اجرا دارد. تعداد تجهیزات دوار موجود در سایت نیروگاه که تحت پایش کلیه برنامه‌های مراقبتی واحد

۱- تکنسین مسئول اداره CM نیروگاه حرارتی شازند

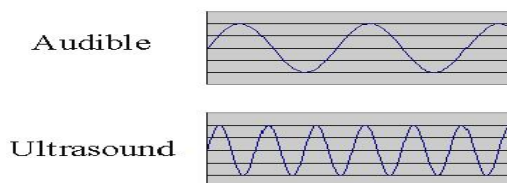
۲- رئیس اداره CM نیروگاه حرارتی شازند

CM قرار دارند ۴+۵۰۹ می‌باشند. کلیه این تجهیزات از اواخر سال ۱۳۸۶ از طریق تکنیک ارزیابی وضعیت صدا و آلتراسونیک هم مورد پایش قرار می‌گیرند. همچنین از ابتدای سال ۱۳۸۷ برنامه ارزیابی ترموویژن و ضخامت‌سنجی نیز بطور گسترده در دستور کار واحد CM گنجانده شد تا با بهره‌گیری از تجربیات گذشته، برنامه‌های مفید و بهینه برای آینده پیاده‌سازی گردد. برنامه‌ای که هدف نهایی آن پایش وضعیت همه جانبه تجهیزات و رسیدن به بالاترین سطح قابلیت اطمینان و پایداری در تولید با صرف حداقل هزینه‌ها می‌باشد.

آنالیز آلتراسونیک

پیاده سازی و اجرا، تجهیزات شامل در برنامه و نتایج حاصل شده

از آنجا که تجهیزات موجود در واحدهای فرآیندی معمولاً با دما و فشار بالا و سرعت‌های زیاد کار می‌کنند و همچنین تجهیزات پر قدرت دیگر مانند پمپ‌های بزرگ و توربوژنراتورها، با سر و صدای زیادی در حال کار می‌باشند؛ معمولاً سطح نویز (Noise) در محیط این واحدها نسبتاً بالا است. بخشی از این صداها مربوط به وضعیت نرمال تجهیزات و بخش دیگری از آنها نشانه وجود مشکل در تجهیز هستند. وجود صدای غیرعادی از اولین نشانه‌های بروز عیب در یک تجهیز است که می‌تواند ما را نسبت به وجود عیب مطلع نماید. با توجه به نوع تجهیز و کاربرد آن در سیستم و نیز بر اساس وضعیت تجهیز در زمان کارکرد، صدایی از آن شنیده می‌شود که این صدا فقط بخشی از صدای تولید شده است که گوش ما قادر به شنیدن آن است. چرا که گوش انسان قادر به شنیدن فرکانس‌های صوتی زیر ۲۰ کیلوهرتز بوده و از تشخیص صداها بالای این فرکانس ناتوان است. به این امواج صوتی، صداها مافوق صوت یا امواج آلتراسونیک می‌گوییم (شکل ۱). این در حالیست که بخش عمده‌ای از صدای تجهیزات دوار در فرکانس‌های بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز از تجهیز متصاعد می‌شوند. در صورتیکه بتوان این فرکانسها را به حوزه شنوایی انسان نزدیک کرد آنگاه قادر خواهیم بود با ورود به دنیای امواج مافوق صوت گام بلندی در پایش وضعیت تجهیزات از طریق تحلیل و ارزیابی این امواج صوتی برداریم.



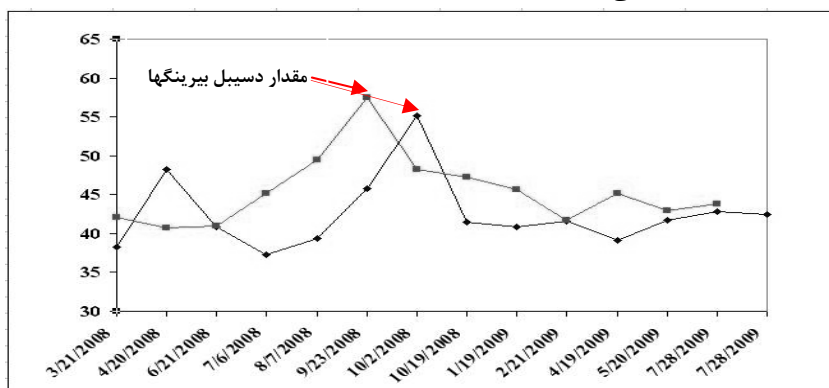
شکل ۱- دو نمونه از شکل موج مربوط به امواج صوتی

امروزه در این زمینه دستگاههای پیشرفته‌ای ساخته شده است که قادرند صداها مافوق صوت را دریافت کرده و پس از تبدیل به فرکانسهای محدوده شنوایی انسان، امکان شنیدن آن با همان کیفیت اولیه را میسر نمایند. در شکل ۲ نمونه‌ای از یک دستگاه ارزیابی آلتراسونیک را مشاهده می‌نمایید که در ارزیابی آلتراسونیک تجهیزات نیروگاه شازند از این دستگاه استفاده شده است. این دستگاه دارای سنسور تماسی جهت ارزیابی بیرینگ تجهیزات دوار، بازرسی وضعیت عملکرد تله‌های بخار و چک نشستی داخلی انواع والوها می‌باشد. همچنین یک سنسور فلاکسیبل نیز جهت نشستیابی مسیرهای هوای فشرده و سایر گازهای تحت فشار از جمله متعلقات این دستگاه است که کاربرد زیادی در سایت نیروگاه دارد.



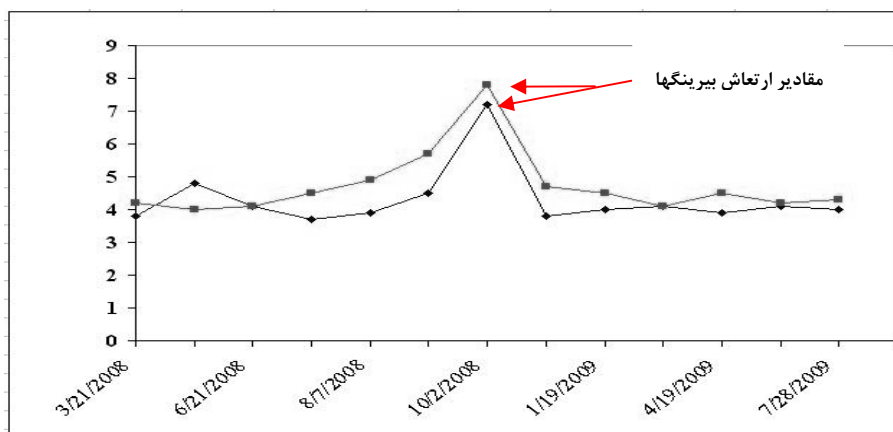
شکل ۲- دستگاه ارزیابی آلتراسونیک

تدوین برنامه ارزیابی وضعیت تجهیزات دوار از طریق آلتراسونیک، همگام با برنامه آنالیز ارتعاشات تجهیزات دوار با این هدف شروع شد که فعالیتهای این تکنیک بتواند هم‌عرض با فعالیت های ارتعاشی حرکت نموده و این دو تکنیک، نتایج یکدیگر را تحت پوشش قرار دهند. در این راستا بنا شد تا داده‌برداری دوره‌ای آلتراسونیک در اول هر ماه و داده‌برداری دوره‌ای ارتعاشات در وسط هر ماه انجام گیرد. با توجه به تعداد زیاد تجهیزات موجود در برنامه، این برنامه‌ریزی دارای دو ویژگی می باشد: اول اینکه در اول هر ماه با حجم عظیمی از داده‌برداری از طریق هر دو تکنیک و تحلیل اطلاعات مواجه نیستیم زیرا فقط داده‌های ارتعاشی، مورد آنالیز و بررسی قرار می‌گیرند، دوم اینکه فاصله بازرسی و داده‌برداری بجای سی روز به پانزده روز کاهش خواهد یافت که این امر موجب افزایش قابلیت اطمینان و پایش بهتر تجهیزات خواهد شد. بعوان مثال در صورتیکه موردی مشکوک یا اضطراری در حین داده‌برداری با تکنیک آلتراسونیک مشاهده شد می‌توان جهت اطمینان و تأیید موضوع از آنالیز ارتعاشات نیز کمک گرفت. این موضوع در هنگام داده‌برداری و آنالیز ارتعاشات نیز صادق می‌باشد، بطوریکه در اکثر موارد نتایج داده برداری ارتعاشات و آلتراسونیک، یکدیگر را تأیید می نمایند.



شکل ۳- نمونه‌ای از منحنی داده‌برداری آلتراسونیک که افزایش مقادیر دسیبل بیرینگهای غلطشی یک پمپ و بهبود شرایط آن پس از تعمیرات را نشان میدهد.

در شکل ۳ نمونه‌ای از منحنی نتایج بدست آمده در داده‌برداری دوره‌ای یک پمپ سانتریفیوژ را مشاهده می‌کنید. منحنی مقادیر شدت آلتراسونیک بیرینگها (بر حسب دسیبل) و منحنی تغییرات ارتعاشی شکل ۴ هر دو روند افزایشی داشته و بیانگر پدید آمدن مشکل در تجهیز فوق می باشند. پس از انجام تعمیرات (تعویض بیرینگها) و داده‌برداری مجدد، همانطور که در منحنیها مشخص است وضعیت به حالت عادی باز گشته است. جهت آگاهی از چگونگی و علت مشکل پدید آمده در این بیرینگها که از نوع غلتشی و بالیرینگ (Ball Bearing) بودند، حلقه بیرونی آنها برش داده شد و خوردگی سطح تعدادی از ساچمه‌ها (Ball) و بخشی از سطح حلقه داخلی (Inner Race) بیرینگ مشاهده شد.



شکل ۴- نمونه‌ای از منحنی داده‌برداری ارتعاشات که افزایش مقادیر ارتعاش بیرینگهای پمپ مذکور در شکل ۳ و بهبود شرایط آن پس از تعمیرات را نشان می‌دهد.

در طول اجرای برنامه و در حین داده‌برداری و آنالیز مقادیر شدت صدای آلتراسونیک تجهیزات دوار، تجربیاتی بدست آمد که هر یک به نوبه خود موجب تکمیل‌تر شدن برنامه و بهبود فرآیند عیب‌یابی در تجهیزات گردید. از جمله این تجربیات میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. انتخاب نقطه‌ای که قرار است سنسور تماسی^۱ دستگاه را جهت داده‌برداری در آن نقطه قرار دهیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این انتخاب نقش بسزایی در صحت داده‌برداری و ارقام قرائت شده دارد. انتخاب نقطه مورد نظر در اظهار نظر و تصمیم‌گیری درباره تجهیز مورد نظر مهم و حیاتی می‌باشد لذا در تعیین این نقطه برای اولین بار بر روی تجهیز باید دقت لازم به عمل آید.

۲. جهت جلوگیری از بروز خطا و یکسان‌سازی نتایج، داده‌برداری همیشه باید از یک نقطه انجام شود. برای سهولت داده‌برداری و ثابت بودن نقطه مورد نظر بهتر است بر روی بدنه تجهیز در نقطه مورد نظر، با مته ۲ یا ۳ میلیمتری سوراخی به عمق نیم تا یک میلیمتر ایجاد نماییم. این سوراخ علاوه بر اینکه محل ثابتی برای داده‌برداری خواهد بود از حرکت نوک پراب و اصطلاحاً سُر خوردن آن در هنگام داده‌برداری جلوگیری خواهد نمود.

۳. نویزهای ناخواسته یا مزاحم معمولاً در واحدهای فرآیندی مانند نیروگاه‌ها بطور گسترده و در سطوح بالایی وجود دارند. جهت جلوگیری از بروز خطا در ارزیابی و داده‌برداری لازم است ابتدا در حالیکه تجهیز در حال کار نیست، سطح نویز موجود در آنرا اندازه‌گیری نموده و مطمئن شویم که از سازه و تجهیزات مجاور، نویزی به تجهیز مورد نظر وارد نمی‌شود. در صورت وجود نویزهای ناخواسته، مقادیر آنها باید در هنگام داده‌برداری از تجهیز، مد نظر قرار گیرد.

۴. زمان بازرسی و پریود یا بازه برداری در مورد تجهیزات مختلف، متفاوت می‌باشد. پس از اولین داده‌برداری و مشخص کردن سطح نویز تجهیزات، بازه داده‌برداری را ماهیانه انتخاب می‌کنیم. تجهیزاتی که مقادیر دسیبل بیرینگهای آنها در داده‌برداریهای بعدی افزایشی باشد تحت مراقبت ویژه قرار گرفته و بازه داده‌برداری از آنها نصف یا کمتر خواهد شد. در صورت ادامه روند افزایش، مجوز تعمیراتی جهت بازدید و رفع عیب صادر خواهد شد.

پیاده سازی آنالیز آلتراسونیک در ارزیابی وضعیت نشتی داخلی والوها و تله‌های بخار^۲

یکی دیگر از کاربردهای مفید و موثر تکنیک آلتراسونیک، ارزیابی وضعیت نشتی داخلی والوهای موجود در مسیرهای پرفشار سیکل فرآیند می‌باشد. نشتی داخلی، یکی از مشکلات مزمن و پرشمار در سیکلهای فرآیندی است که موجب کاهش راندمان

1- Contact Probe

2- Steam Trap

سیکل و افزایش هزینه و حجم تعمیرات می‌شود. از آنجا که فشار و سرعت سیال در سیکلهای فرآیندی معمولاً بالاست، در صورتیکه در والوهای بسته (Close) یا تله‌های بخار، نشتی داخلی وجود داشته باشد این فشار و سرعت بالای سیال موجب اغتشاش^۱ در دهانه خروجی والو می‌شود. این اغتشاش تولید نویزهایی می‌کند که با استفاده از هدفون دستگاه آلتراسونیک به خوبی قابل تشخیص می‌باشند. یکی دیگر از کاربردهای مفید استفاده از امواج آلتراسونیک، در بررسی عملکرد تله‌های بخار می‌باشد. عملکرد مطلوب تله‌های بخار، تأثیر بسزایی در راندمان سیستم‌های گرمایشی و همچنین جلوگیری از ضربات آب^۲ همراه با بخار دارد. بنابراین اطمینان از عملکرد مطلوب این تجهیزات نیز مهم و حیاتی است. در صورتیکه عملکرد یک تله بخار نرمال باشد به محض تجمع کندانس در محفظه، تله عمل کرده و آنرا تخلیه می‌کند. این عملکرد بصورت متناوب و بسته به حجم کندانس موجود در ورودی تله بخار، تکرار می‌گردد. از آنجا که عبور بخار در حین گذر از تله، همراه با فشار و سرعت بالا صورت می‌گیرد، باعث ایجاد صدایی می‌گردد که این صدا با سنسور تماسی دستگاه آلتراسونیک به راحتی قابل شنیدن است. بدین ترتیب اپراتور می‌تواند عملکرد تله را به راحتی ارزیابی نماید. در این ارزیابی سه حالت ممکن است وجود داشته باشد که وضعیت عملکرد تله بخار را نشان خواهد داد. حالت اول در صورتی است که کارکرد تله بخار نرمال بوده و تخلیه کندانس به درستی انجام می‌شود. در این حالت صدای قطع و وصل شدن جریان عبور بخار (از طریق هدفون دستگاه) کاملاً مشخص خواهد بود. حالت دوم وضعیت دائم باز^۳ تله بخار است که صدای شدید عبور بخار بدلیل باز ماندن تله شنیده می‌شود. حالت سوم وضعیت دائم بسته^۴ تله است که در این وضعیت احتمال مسدود شدن و یا بی‌فشار بودن مسیر وجود خواهد داشت. در شکل ۵ نمونه‌هایی از عیوب کشف شده در بررسی والوها و تریپها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵- تصویر سمت راست: نفوذ مازوت بداخل محفظه تریپ، تصویر وسط: خوردگی اطراف نازل خروجی محفظه تریپ، تصویر سمت چپ: خوردگی سطح آببندی Seat یک والو دستی

ارزیابی نشتی‌های الکتریکی در تجهیزات برق فشارقوی با استفاده از امواج آلتراسونیک

بالا بودن سطح ولتاژ در خطوط و تجهیزات برق فشارقوی، کار تعمیرات را در حین برقرار بودن خطوط و تجهیزات، خطرناک و گاهی اوقات تقریباً غیرممکن می‌نماید. زمانیکه خطوط بی‌برق شوند دیگر امکان ارزیابی و عیب‌یابی وجود نخواهد داشت بخصوص در مورد عیوبی که با بی‌برق شدن خط نشانه‌های آن از بین می‌روند. از جمله این عیوب تخلیه جزئی^۵، پدیده کرونا و آرک هستند که در صورت وقوع، همراه با صدای خاصی می‌باشند. در حالت عادی زمانیکه از کنار خطوط برق فشارقوی یا محوطه پستها عبور می‌کنیم بخشی از این صدا قابل شنیدن است اما مشکل اینجاست که نقطه وجود عیب دقیقاً معلوم نیست. با توجه به بالا بودن ولتاژ و خطرات موجود، امکان نزدیک شدن به خطوط و تجهیزات محدود می‌باشد. با استفاده از سنسور سهمی‌گون دستگاه آلتراسونیک^۶ (شکل ۶) از فاصله ایمن نسبت به دکلها و تجهیزات پست می‌توان به آسانی عیوب فوق را

- 1 Turbulence
- 2 Water Hammer
- 3 Faile Open
- 4 Faile Close
- 5 Partial Discharge
- 6 Parabolic Sensor

شناسایی و نقطه‌یابی نمود. در این بازرسی، پدیده تخلیه جزئی در کنتاکتهای بریکر Earth خروجی ترانسهای اصلی به وضوح مشاهده گردید.

مواردی که در تجهیزات برق فشارقوی نیروگاه از این طریق مورد ارزیابی قرار گرفتند عبارتند از:

۱. خروجی چهار دستگاه ترانس اصلی (Main Transformer) 230/20 kv مربوط به خروجی ژنراتورها به همراه کلیه مقره‌ها و پوشینگها.
۲. خروجی چهار دستگاه ترانس یونیت (Unit Transformer) 20/6.6 kv که جهت مصارف داخلی واحدها می‌باشند.
۳. ورودی دو دستگاه ترانس استیشن (Station Transformer) که از شبکه سراسری به نیروگاه وارد می‌شوند به همراه کلیه مقره‌ها و پوشینگها.
۴. خطوط خروجی ترانسها و اتصالات بالای دکل‌های خروجی ترانسها تا قبل از ورود به پست.



شکل ۶- ارزیابی خطوط انتقال توسط سنسور سهمی‌گون دستگاه آلتراسونیک

نشستی هوای فشرده

قبل از شروع فعالیت ارزیابی آلتراسونیک در نیروگاه، حجم زیادی از هوای کنترل‌کننده‌ی تجهیزات نیوماتیک (Pneumatic Actuator) بدلیل مختلف هدر می‌رفت. از جمله این دلایل، می‌توان کیفیت پایین قطعات، مناسب نبودن اتصالات و بالا بودن دمای محل نصب تجهیزات را نام برد. هدر رفتن حجم بالایی از هوای کنترل‌کننده‌ی تجهیزات نیوماتیک نیز موجب لزوم افزایش تولید هوای فشرده توسط کمپرسورها و در نتیجه افزایش مصرف داخلی (انرژی الکتریکی) و استهلاک زود هنگام کمپرسورها می‌گردید. با بهره‌گیری از دستگاه آلتراسونیک و استفاده از سنسور فلاکسیبل آن (شکل ۲) که شبیه یک میکروفون عمل میکند این امکان فراهم شد تا کلیه نشستی‌های خارجی، محل‌یابی شده و جهت رفع آنها اقدامات اصلاحی و تعمیراتی انجام گردد. نتایج حاصل از این ارزیابی که اکچوئیتورهای نیوماتیکی در سالن توربین و بویلر (حدود ۱۱۳۶ دستگاه) را شامل می‌شود عبارتست از:

- نشستی نسبتاً زیاد هوا از اتصالات ۱۹۰ دستگاه اکچوئیتور مربوط به والوهای ورودی سوخت مشعلهای بویلر شناسایی شد.
 - نشستی نسبتاً زیاد هوا از اتصالات ۱۷۲ دستگاه اکچوئیتور مربوط به اگنایتر (Ignitor) یا شمعک مشعلهای بویلر شناسایی شد.
 - نشستی هوا از اتصالات و متعلقات والوهای نیوماتیکی در سالن توربین و سایر بخشهای سایت به تعداد ۳۴۷ مورد شناسایی شد.
- قابل ذکر است که نتایج حاصل شده، طی سه دوره ارزیابی که فاصله زمانی هر یک شش ماه بوده است صورت گرفته و فعالیتهای انجام شده در این راستا به نتایج زیر منتهی شده است:
- صدور مجوز تعمیرات برای رفع نشستی در مواردی که امکان رفع نشستی با آچار کشی و محکم کردن اتصالات امکان‌پذیر بوده است.

- استفاده از قطعات یدکی با کیفیت و دوام بالاتر و مقاوم در برابر دمای بالا و خوردگی.
- طراحی سیستم‌های جدید و بهینه‌تر توأم با استهلاک کمتر توسط همکاران ایزاردقیق.

در پایان بررسی، تغییرات محسوسی در کاهش مصرف داخلی انرژی الکتریکی کمپرسورها مشاهده شده است که جهت اطمینان بیشتر، محاسبه و ارزیابی دقیقتر در حال انجام می‌باشد.



شکل ۷- بررسی وجود نشتی هوا از اتصالات نیوماتیکی یک کنترل والو

ضخامت‌سنجی

معمولاً تصور بر این است که برنامه‌های پایش وضعیت، بیشتر برای تجهیزاتی بکار می‌رود که رفتار و پارامترهای آنها قابل نمایش^۱ باشد، مانند تجهیزات دوار که پارامترهایی چون ارتعاش، آلتراسونیک، وضعیت روانکاری، راندمان آنها و یا تجهیزات الکتریکی که پارامترهای الکتریکی آنها قابل مانیتورینگ است. اما باید گفت که دامنه کاربرد پایش وضعیت در نیروگاه می‌تواند گسترده‌تر از تجهیزات دوار یا بخش الکتریک باشد. قابلیت انعطاف و امکان هماهنگ‌سازی ابزارها و تکنیکهای مختلف در عیب‌یابی و پایش وضعیت تجهیزات، این امکان را فراهم می‌کند که ابزارها و تکنیکهای مختلف در قالب برنامه‌های پایش وضعیت، با توجه به نیازها و اولویتها پیاده‌سازی و استقرار یابند. در این رابطه، تکنیک ضخامت‌سنجی که جزو آزمون‌های غیرمخرب^۲ بشمار می‌رود، در اغلب سیکل‌های فرآیندی به هنگام تعمیرات دوره‌ای، بر روی یکسری از تجهیزات خاص انجام می‌شود. معمولاً تجهیزات حساس و کلیدی که نقش مستقیم و مهمی در فرآیند تولید دارند، در زمان تعمیرات اساسی واحدها توسط واحد^۳ UT، NDT و یا شرکتهای پیمانکار فعال در این زمینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در این میان نواحی و نقاطی هستند که بدلیل محدودیت زمان و گستردگی تجهیزات، معمولاً هیچ‌گاه مورد ضخامت‌سنجی قرار نمی‌گیرند و در واقع روش^۴ تعمیر پس از خرابی^۴ برای آنها اجرا می‌شود. بعنوان مثال در بعضی موارد شاهدیم که نقطه‌ای از یک لوله عبور سیالی مانند آب یا بخار، سوراخ شده و یا تغییرات جزئی در پارامتری از سیال (فشار) موجب ترکیدن لوله گردیده است.

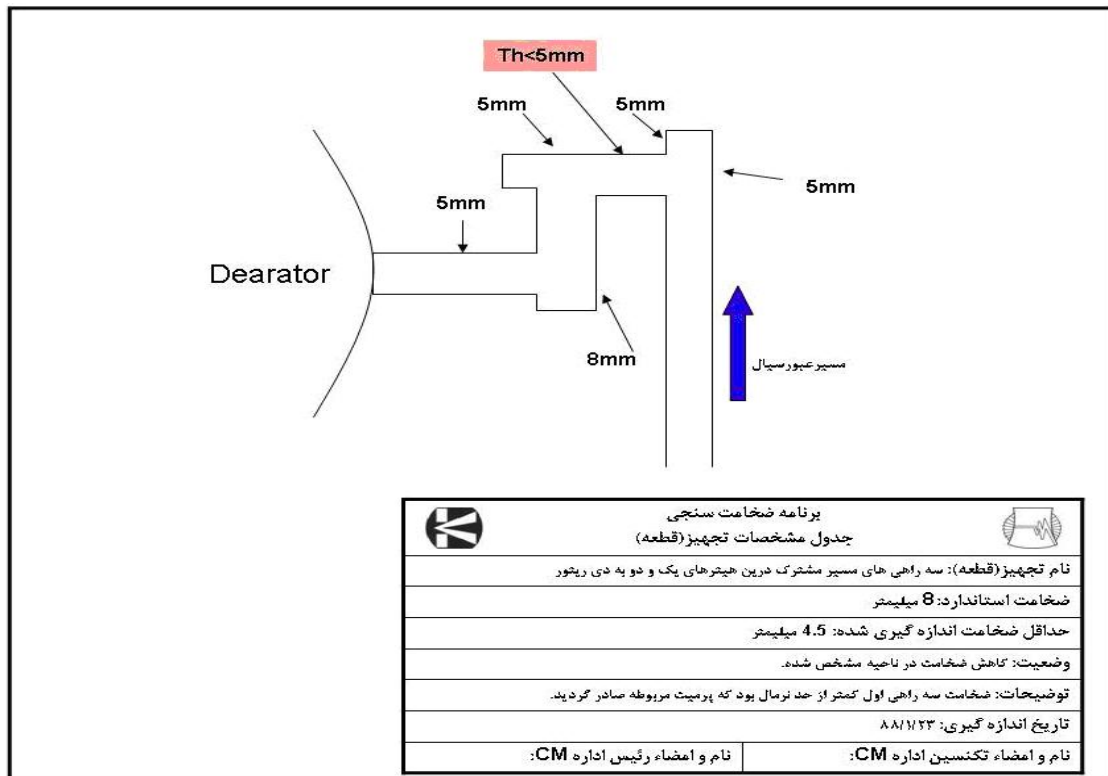
منظور از انجام برنامه ضخامت‌سنجی در نیروگاه، کاربرد این تکنیک به روشی گسترده‌تر از انجام تست بر روی تجهیزات مهم و کلیدی است که در زمان تعمیرات اساسی یعنی هر پنج سال یکبار انجام می‌شود. با ارزیابی تجربیات بدست آمده در طول تعمیرات دوره‌ای متعدد و بررسی موارد عیب و گزارشهای تعمیراتی مشاهده شد که در بخش پایپینگ (Piping) و مخازن، گزارشهای متعددی از نشت سیالات از بدنه لوله‌ها و مخازن، در نقاطی مانند زانوئی‌ها، بدنه والوها، آرفیس‌ها (Orifice)، سراهی‌ها، محل‌های اتصال و سایر نقاطی که در مسیر عبور سیال قرار دارند به چشم می‌خورد که در برنامه تعمیرات اساسی قرار ندارند. نکته قابل توجه در این پدیده، تکراری بودن موارد عیب و ناگهانی بودن آنهاست که موجب محدودیت و گاهی، توقف تولید واحد می‌گردد. این مشکل در بخشهایی از سیکل نمود بیشتری دارد که سیال مورد نظر با فشار، دما و سرعت نسبتاً زیادی در حال عبور بوده و نوسان این پارامترها نیز زیاد است. در مسیرهایی مانند زانوئی‌ها، آرفیس‌ها و جاهایی که در معرض بیشترین فشار و تماس هستند. فرسایش سطح داخلی تجهیزات بیشتر است. این پدیده در سیکل‌های فرآیندی مانند نیروگاه بنا به دلایلی که موجب تسریع روند سایش و خوردگی در تجهیزات سیکل می‌شوند روی می‌دهد. این عوامل عبارتند

- 1 Monitoring
- 2 Non Distractive Test
- 3 Ultrasonic test
- 4 Run To Failure

از، عدم طراحی مناسب پایپینگ، استفاده از مواد و تجهیزات بی کیفیت، تغییرات شیمیایی در پارامترهای سیال که موجب واکنش منجر به خوردگی گردد و همچنین بروز تنش در هنگام بهره برداری.

در برنامه CM ضخامت سنجی که مدنظر ماست، ابتدا نواحی و نقاطی که در معرض سایش^۱ هیدرودینامیکی بیشتری هستند و یا سابقه عیوبی مثل سوراخ شدن مسیرها یا ترکیدگی لوله ها را دارند مشخص می شوند. سپس برای تمام آنها شماتیک یا نقشه پایپینگ (شکل ۸)، طبق موقعیت محلی، طراحی می گردد تا بتوان نقاط یا نواحی که در محل، اندازه گیری و ارزیابی شده است را بر روی شماتیک نمایش داد.

مرحله بعدی، تهیه اطلاعات از مشخصات فنی تجهیز مورد ارزیابی است. اطلاعاتی از قبیل پارامترهای سیال عبوری، ضخامت اولیه تجهیز یا قطعه مورد نظر، مدت زمان کارکرد آن و سایر پارامترهای مورد نیاز جهت درج در جدول اطلاعات شماتیک مربوط به هر بخشی که قرار است ارزیابی شود می باشد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید یک لوله عبور آب کندانس مربوط به درین هیتر قشارقوی نیروگاه در نقاطی که بیشترین احتمال فرسایش وجود دارد مورد ضخامت سنجی قرار گرفته است. در نقطه ای که مقدار ضخامت آن بصورت رنگی مشخص شده است، مقدار ضخامت بر اثر فرسایش و عبور سیال، به میزان کمتر از حد مجاز رسیده و نیاز به ترمیم دارد.



شکل ۸- نمونه ای از شماتیک تهیه شده جهت ثبت نتایج

از مهمترین ویژگیهای این ارزیابی، تشخیص و تعیین نقاط و نواحی است که بدلائل مختلف دچار فرسایش شده و در برنامه های تعمیرات دوره ای مورد ارزیابی قرار نگرفته اند. در این تکنیک می توان با داده برداری دوره ای، ثبت و مقایسه اطلاعات جمع آوری شده، روند فرسایش را در هر نقطه از سیکل فرآیندی حتی در زمان در مدار بودن واحد و فشار دار بودن سیکل، مورد پایش قرار داد. در این بازرسی از دستگاه ضخامت سنج شکل ۸ استفاده شده است. نتایج حاصل از پیاده سازی این تکنیک و عیوب کشف شده به شرح زیر می باشد:

1 Erosion

- کوتاهتر شدن بازه زمانی در ارزیابی دوره‌ای از پنج سال به دو و نیم سال و در برخی نقاط هر شش ماه یکبار که حاصل آن افزایش قابلیت اطمینان سیکل می‌باشد.
- تعویض و ترمیم تعداد چهار عدد فشارشکن خروجی پمپهای آب تغذیه به قطر ۱۵ اینچ و ضخامت اولیه ۱۵ میلی‌متر شکل ۹ بدلیل کاهش ضخامت.



شکل ۹- دستگاه ضخامت‌سنج شرکت کرات کرامر شکل ۱۰- فشارشکن خروجی بوسترپمپ آب تغذیه (ترمیم محل خوردگی)

- تعویض و ترمیم دو عدد زانویی و فشارشکن منتهی به کندانسور (شکل ۱۰) به قطر ۵ اینچ و ضخامت ۵ میلی‌متر.
- تعویض ۴ عدد سهراهی و فشارشکن مربوط به مسیر تخلیه هیتراهای فشارقوی به دی‌اریتور (شکل ۱۱) به قطر حداکثر ۱۵ اینچ و ضخامت ۱۵ میلی‌متر.



شکل ۱۲- سهراهی مسیرهای منتهی به دی‌اریتور



شکل ۱۱- مسیرهای منتهی به کندانسور

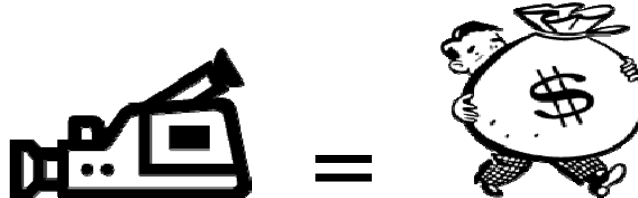
دمانگاری یا ترموویژن (Thermography)

یکی دیگر از تکنیکهای پایش وضعیت و عیب یابی تجهیزات نیروگاه، استفاده از تصویربرداری حرارتی (ترموویژن یا ترموگرافی) است. در این روش بر اساس تصاویر حرارتی تهیه شده توسط دوربینهای ترموویژن از تجهیزات و نقاط مختلف (تجهیزات الکتریکی، مکانیکی، مشعلها، کوره‌ها، مسیرهای عبور سیالات، عایقهای حرارتی و...) و تجزیه و تحلیل این تصاویر با نرم افزارهای ویژه می‌توان عیوب حرارتی آنها را نقطه یابی و تحلیل نمود. تجزیه و تحلیل تصاویر حرارتی بر اساس شرایط کارکرد تجهیزات، استانداردها و دمای مجاز تجهیز در حین کار انجام شده و بر این اساس، سرویسها و تعمیرات مورد نیاز انجام می‌گردد. اولویت بندی تجهیزات، زمان انجام کار، عوامل و فاکتورهای موثر، روش‌های جمع آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل آنها، تعیین معیارها و استانداردها، و بررسی صرفه جویی‌های اقتصادی مواردی است که در استفاده از این روش (همانند هر روش دیگر پایش وضعیت) باید بررسی و بدان پرداخته شود. در اینصورت به راحتی می‌توان دریافت که استفاده از تکنیک ترموگرافی در نگهداری و تعمیرات، نتایج و منافع زیر را بدنبال خواهد داشت (شکل ۱۲).

- افزایش قابلیت اطمینان در پروسه بازرسی فنی تجهیزات
- امکان بازرسی تجهیزات در حال کار

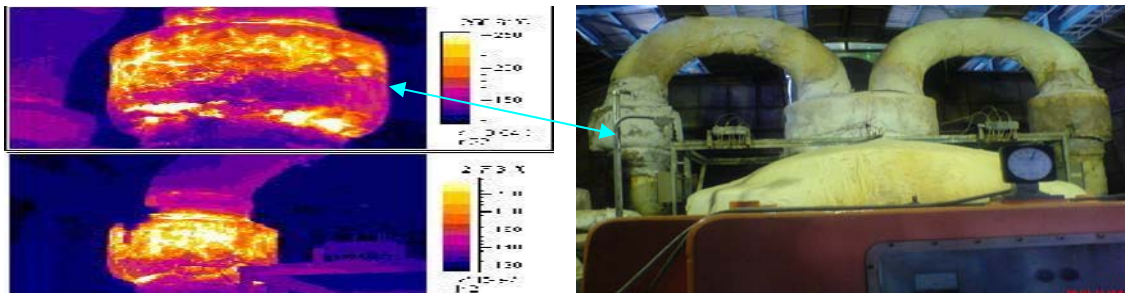
Original Thickness¹

- افزایش سرعت بازرسی تجهیزات
- کاهش زمان توقف بدلیل تعمیرات
- امکان بازرسی تجهیز پس از تعمیر، جهت تعیین اثربخشی تعمیرات
- کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری
- کمک به بهبود برنامه ریزی تعمیرات



شکل ۱۳- منافع حاصل از پیاده‌سازی ترموویژن در صنعت!

از آنجا که سیکل یک نیروگاه حرارتی، هم از لحاظ مکانیکی و هم از لحاظ ترمودینامیکی دارای تعداد زیادی تجهیز و فرآیند است که برخی از آنها با دماهای نسبتاً بالا کار می‌کنند، استفاده از تکنیک ترموویژن ابزاری سودمند و کاربردی، جهت بررسی توزیع دما در تجهیزات و پروسه‌های فرآیندی این مجموعه خواهد بود. بعنوان مثال کیفیت عایق‌بندی فلنچهای ورودی بخار اصلی به^۱ توربین و تجهیزات سیکل فرآیند، نقش مهمی در جلوگیری از اتلاف دما و تمرکز تنش حرارتی در تجهیزات این پروسه خواهد داشت. با توجه به بالا بودن دمای بخار اصلی و اختلاف زیاد آن با دمای محیط، ضروریست عایق‌بندی مناسب و با کیفیت باشد. همانگونه که در شکل ۱۴ ملاحظه می‌شود، ضعف شدید در عایق حرارتی موجب انتقال حرارت به بیرون شده است.



شکل ۱۴- بررسی وضعیت عایق‌بندی لوله‌های ورود بخار به توربین (سمت راست: تصویر معمولی-سمت چپ: تصویر ترموویژن)

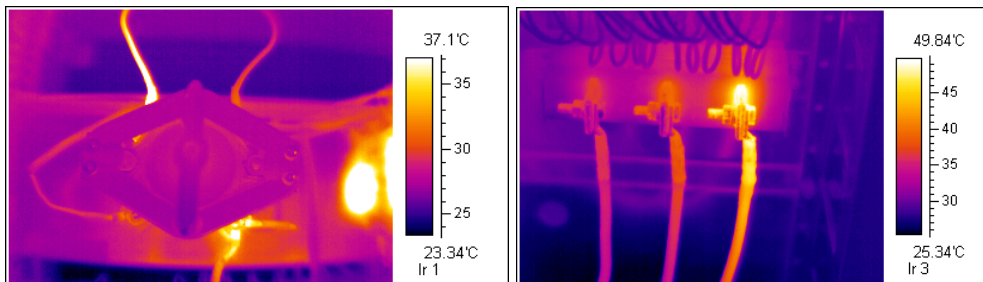
ارزیابی وضعیت نشستی داخلی نیز توسط تصاویر ترموویژن قابل بررسی است. در مواردی که دمای سیال عبوری از والو در حالت بسته بودن آن نسبت به زمان باز بودن و همچنین نسبت به دمای محیط، اختلاف زیادی داشته باشد، در صورت وجود نشستی داخلی در والو، امکان تشخیص آن وجود خواهد داشت.



شکل ۱۵- بررسی وضعیت عملکرد والوها و تله‌های بخار (سمت راست: تصویر معمولی-سمت چپ: تصویر ترموویژن)

نکته دیگری که در ارزیابی ترموویژن قابل توجه می‌باشد این است که این تکنیک فقط برای موارد افزایش دما و پروسه‌های داغ نیست بلکه در مواردی که کاهش شدید دما موجب بروز خسارت شود نیز کاربرد دارد. بعنوان مثال در برج خنک کن اصلی یک نیروگاه حرارتی، نفوذ سرما بداخل برج در فصل زمستان، احتمال یخ زدگی رادیاتورها را پی خواهد داشت. با بررسی ترموویژن، می‌توان وضعیت دمایی تجهیزات داخل برج را بررسی کرده و همچنین منافذ و محل‌های نفوذ سرما بداخل برج را شناسایی رفع عیب نمود.

استفاده از تکنیک ترموویژن در بخش الکتریک و ابزار دقیق نیروگاه نیز، کاربرد گسترده‌ای دارد. در واقع موثرترین کاربرد آن در CM مربوط به بخش الکتریک نیروگاه و تجهیزات برق فشارقوی می‌باشد. هرگونه عیب الکتریکی که باعث تولید حرارت در مدارات، اتصالات و بدنه تجهیزات الکتریکی گردد به آسانی و با دقت و کیفیت بالا قابل تصویربرداری خواهد بود. ترانسفورماتورهای اصلی و جانبی نیروگاه، ژنراتور و تجهیزات جانبی و خطوط برق شارقوی، سوئیچ‌گیرها و باتریخانه‌ها از جمله تجهیزات و بخش‌های الکتریکی هستند که کاربرد تکنیک ترموگرافی برای بررسی عیوب حرارتی در آنها مفید و سودمند خواهد بود.



شکل ۱۶- دو نمونه از عیوب حرارتی (شُل بودن اتصالات) که با تصویربرداری با دوربین ترموویژن مشخص شده‌اند.

نتایج حاصل از پیاده‌سازی و اجرای تکنیک ترموویژن

- در ارزیابی وضعیت توزیع دمایی در تجهیزات دوار اعم از الکتروموتورها و پمپها در نواحی بیرینگها، مکانیکال سیلها و بدنه تجهیزات دوار که طی سه دوره ارزیابی و تصویربرداری شده است؛ خوشبختانه مورد حادی مشاهده نشد. تعداد ۹۰۵ تجهیز دوار در این ارزیابی مورد بررسی قرار گرفت.
- ارزیابی وضعیت توزیع دمایی در اتصالات، کلیدهای قطع و وصل و مدارات فرمان کلیه تجهیزات الکتریکی سه فاز ۳۸۰ ولت و تک فاز ۲۲۰ ولت که طی سه دوره ارزیابی و تصویربرداری شده است؛ ۲۱ مورد عیوب حرارتی ناشی از شُل بودن محل اتصالات، نامناسب بودن سرکابل و کابلشوها و صحیح نبودن اتصالات تشخیص داده شد. دو نمونه این موارد را در (شکل ۱۴) مشاهده می‌فرمایید. کلیه موارد فوق پس از انجام کار تعمیراتی برطرف شده و وضعیت دمایی محل اتصال به حالت عادی باز گشته است.

- تعیین نقاط معیوب و ضعیف از لحاظ عایق‌بندی بدنه بویلر و توربین، لوله‌های انتقال و سایر نقاط عایق‌بندی شده که تعداد موارد عیب ۵۶ ناحیه و بیشتر مربوط به عایق‌بندی بدنه کوره بویلر و لوله‌های انتقال بخار به توربین می‌باشد. بخش عمده‌ای از موارد مذکور رفع عیب شده است و بقیه نیز در حال تکمیل و بهبود وضعیت عایقی می‌باشند.
- ترانسهای اصلی و جانبی نیروگاه به تعداد ۴۰ دستگاه مورد ارزیابی کامل قرار گرفتند که خوشبختانه مورد حادی مشاهده نشد و همگی از لحاظ توزیع دمایی در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارند.
- تابلوها یا پانلهای الکتریکی به تعداد ۸۸ دستگاه مورد ارزیابی کامل قرار گرفتند. تعداد ۱۸ مورد عیب حرارتی مشخص گردید. این عیوب شامل نامناسب بودن اتصالات، شُل بودن اتصالات، از بین رفتن عایق کابلها و در برخی موارد خرابی رله‌ها را شامل می‌شدند.

آنالیز کارایی (Performance Analysis)

با پیشرفت تکنولوژی، گسترش و تنوع در ساخت سنسورها، کنترلرها و طراحی حفاظتها برای سیستم‌های صنعتی، دقت و کیفیت تولید، روبه افزایش نهاده و طراحی سیستمها به سمت افزایش کارایی و کاهش تلفات پیش برده می‌شوند. در این شرایط، سعی و تلاش مهندسين و طراحان بر آن است تا با صرف حداقل هزینه‌ها، ضمن افزایش پایداری و قابلیت اطمینان واحدها، حداکثر راندمان یک سیستم بدست آید و تلفات انرژی به حداقل برسد. به عبارت دیگر، هدف نهایی این است که سیستم در زمان کارکرد خود در بالاترین سطح کارایی قرار داشته باشد. از دیدگاه برنامه‌های پایش وضعیت، بررسی وضعیت کارکرد یک تجهیز با توجه به پارامترهای مربوط به عملکرد آنرا آنالیز کارایی یا (Performance Analysis) می‌گوییم. در آنالیز کارایی، با توجه به نوع تجهیز و وظیفه‌ای که بر عهده دارد، پارامترهایی که تأثیر مستقیم و غیر مستقیم بر عملکرد نهایی آن تجهیز یا سیستم دارند مورد بررسی و پایش قرار می‌گیرند. پارامترهایی چون دما، فشار، دبی، پارامترهای ورودی، خروجی، وضعیت روانکار و... که با بررسی این پارامترها، ثبت سوابق و مقایسه آنها، تغییرات عملکرد تجهیز یا سیستم قابل بررسی و ارزیابی بوده و می‌توان با توجه به شرایط فعلی، روند کارکرد تجهیز در آینده را نیز تا حدود زیادی پیش بینی نمود. این بررسی و آنالیز به ما کمک خواهد کرد تا بتوانیم فرا رسیدن بهترین زمان برای تعمیر تجهیزات را پیش بینی نموده و برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری دقیق و مناسبی در جهت تأمین قطعات یدکی مورد نیاز، هزینه، زمان و حجم تعمیرات داشته باشیم.

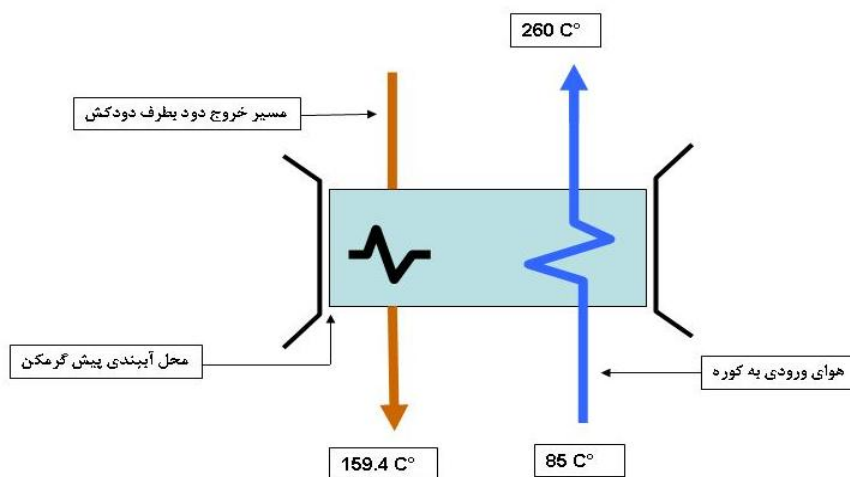
بعنوان مثال، در یک نیروگاه حرارتی، بررسی راندمان بویلر، یکی از مهمترین برنامه‌های آنالیز کارایی به شمار می‌رود. بررسی راندمان بویلر از طریق آنالیز و بررسی پارامترهای ورودی، خروجی و کارکرد بویلر قابل بررسی است. پارامترهایی چون دمای آب ورودی، دمای بخار خروجی، میزان سوخت مصرف شده، دمای دود خروجی، میزان آلاینده‌های موجود در دود خروجی از دودکش، میزان هوای مصرفی جهت سوخت، بررسی دمای متال لوله‌های سوپرهیترها و سایر پارامترهای قابل اندازه‌گیری می‌تواند با مقایسه با شرایط استاندارد سازنده، ما را در بررسی راندمان و کارایی بویلر راهنمایی نماید.

همچنین در مورد برج‌های خنک‌کن، سیستم توربین، هیترهای فشارقوی و فشارضعیف، پمپ‌ها و سایر سیستم‌های موجود در نیروگاه نیز به همین ترتیب، امکان بررسی و آنالیز وجود خواهد داشت. این برنامه هم‌اکنون توسط همکاران واحد پشتیبانی فنی شرکت مدیریت تولید برق سازند تحت پیگیری و اجرا می‌باشد و هدف از تشریح آن در این مقاله، ارائه این تکنیک بعنوان یکی از ابزارهای پایش وضعیت می‌باشد.

آنالیز کارایی و راندمان هنوز در ابتدای مسیر استقرار قرار دارد و نتایج قابل ملاحظه زیادی هنوز کسب نشده است. علی‌ایحال در زیر یک نمونه از نتایج آنالیز کارایی در نیروگاه سازند آورده شده است.

ارائه یک مطالعه موردی از آنالیز کارایی: بررسی میزان توان مصرفی فن‌های تغذیه هوای بویلر

در این بررسی میزان مصرف برق فن‌های تغذیه هوای بویلر که به اختصار FDF^۱ نامیده می‌شوند مورد مطالعه قرار گرفته است. با مقایسه میزان مصرف داخلی تجهیزات ۶/۶ کیلوولت نیروگاه، مشخص شد که میزان مصرف داخلی FDF واحد شماره دو نسبت به واحدهای دیگر پایین‌تر می‌باشد. جهت مشخص شدن این اختلاف، بررسی‌های مختلفی انجام شد و در پایان مشخص شد که شرایط مکانیکی از قبیل وضعیت دمپرها و ورودی و خروجی، نوع پره و سیستم خنک‌کاری و همچنین شرایط الکتریکی مانند توان موتور و جریان نامی الکتروموتور فن‌ها در هر چهار واحد کاملاً یکسان می‌باشد. بررسی‌های بیشتر نشان داد که تنها اختلاف موجود در میزان فلوی هوایی است که فن‌ها تأمین می‌کنند. هوایی که توسط فن‌ها از محیط گرفته می‌شود در هنگام ورود به کوره به دو بخش تقسیم می‌شود، یکی هوایی که جهت احتراق وارد کوره می‌شود و دیگری هوایی که از بخش آب‌بندی پیش‌گرمکن هوا (شکل ۱۵) عبور نموده و مستقیماً وارد دودکش می‌گردد. با توجه به این موضوع، در شرایط فلوی هوا و سوخت یکسان، میزان O₂ و CO₂ موجود در محصولات احتراق اندازه‌گیری شد. با مقایسه مقادیر بدست آمده مشخص شد که میزان O₂ در خروجی دودکش واحد دو از سایر واحدها کمتر است. دلیل این موضوع، مناسب بودن بخش آب‌بندی پیش‌گرمکن هوا بود که باعث جلوگیری از فرار بیش از حد هوا به سمت دودکش می‌گردد. پس از اطمینان از نتایج فوق، تنظیم بخش آب‌بندی پیش‌گرمکن‌های واحد سه در دستور کار قرار گرفت. پس از انجام تنظیمات مورد نیاز و اندازه‌گیری میزان مصرف داخلی نتایج جالبی بدست آمد. با اندازه‌گیری برق مصرفی الکتروموتور این فن‌ها مشخص شد که توان مصرفی آنها این فن‌ها حدود ۷ درصد کاهش یافت. این کاهش مصرف برابر با ۳۶۳ مگاوات ساعت صرفه‌جویی مصرف برق در طول یکماه برای واحد سه نیروگاه می‌باشد!



شکل ۱۷- شماتیک پیش‌گرمکن هوای ورودی به کوره

نتیجه‌گیری

واحد CM نیروگاه سازند با هدف افزایش قابلیت اطمینان و پایداری تجهیزات و همچنین ارتقاء سطح کیفی برنامه‌های نگهداری و تعمیرات تأسیس گردید. بکارگیری تکنیک‌های مشروح در این مقاله و تعامل و همکاری گروه‌های تعمیراتی و از همه مهمتر حمایت مدیریت ارشد نیروگاه موجب شد تا در بخش‌های مختلف فعالیت این واحد، شاهد پیشرفت و بهبود وضعیت باشیم. کاهش نشتی داخلی والوها و نشتی هوای فشرده، بهبود عملکرد تله‌های بخار، کشف عیوب حرارتی تجهیزات الکتریکی و... شاهدهی بر این مدعا می‌باشند.

دیدگاه این مقاله، تجربیات و پتانسیلهای موجود در سایت نیروگاه حرارتی سازند بوده است. پیاده‌سازی تکنیک‌ها و استفاده از ابزارهای پایش وضعیت نیز با توجه به همین دیدگاه بوده است. اما نکته مهم و قابل توجه در استقرار برنامه‌های پایش وضعیت،

¹ Forced Draft Fan

شناسایی پتانسیلها و منابعی است که می توانند مورد توجه و استفاده پرسنل این بخش قرار گیرند. چه بسا در صنایع بزرگ و پیچیده که امکانات و دستگاههای پیشرفته ای هم جهت پایش وضعیت موجود باشد ولی بدلیل عدم شناسایی پتانسیلها و فرصتها و یا فقدان پرسنل آگاه در این زمینه، این دستگاهها بدون استفاده مانده و یا به شایستگی از آنها استفاده نمی شود.

مراجع

- [۱] مدارک و مستندات مربوط به ارزیابی‌های دوره‌ای اداره CM شرکت مدیریت تولید برق شازند
- [۲] راهنمای استفاده از دستگاه تست آلتراسونیک SDT
- [۳] حسین وروانی‌فراهانی - احمدکندی، "ارزیابی آلتراسونیک و کاربردهای آن جهت پایش وضعیت تجهیزات در نیروگاههای حرارتی"، صفحه ۱، سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات، دانشگاه صنعتی شریف،
- [۴] راهنمای استفاده از دستگاه ضخامت‌سنج اداره CM
- [۵] گزارش‌های دوره‌ای از ارزیابی ترموویژن تجهیزات نیروگاه، تهیه شده توسط شرکت فن‌آوران مادون قرمز
- [۶] وبسایت شرکت SDT به آدرس WWW.SDT.northamerican
- [۷] نشریه داخلی شرکت مدیریت تولید برق شازند