

راهکارهای جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر یک بویلر صنعتی

محسن مهدی‌زاده

پژوهشگاه نیرو

چکیده

پس از گاز سوز شدن یک بویلر صنعتی مشاهده گردید که لوله‌های سوپرهیتر ثانویه دچار آسیب شده و پس از مدتی گسیختگی در آنها اتفاق می‌افتد. آنالیز لوله‌های آسیب دیده نشان داد که افزایش دمای فلز عامل تخریب آنها می‌باشد. جهت بررسی و شناسایی عوامل افزایش دمای فلز آزمایش‌های مختلفی همچون آنالیز رسوب، آنالیز دود خروجی، تست عملکرد، اندازه‌گیری دمای گاز داخل بویلر صورت گرفت. نتایج آزمایش‌ها و بررسی‌ها نشان داد اندر کنش برخورد شعله با لوله‌ها و ایجاد رسوب در داخل لوله‌ها عوامل آسیب‌دیدگی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه می‌باشند. جهت رفع و جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌ها روش‌های مختلفی همچون تنظیم مشخصات مشعل، کاهش سطوح حرارتی سوپرهیتر، بهبود رژیم شیمیایی و تغییر آلیاژ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته تغییر جنس لوله‌های روبروی مشعل‌ها به فولاد آستنیتی، کاهش سطح حرارتی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه (کاهش تعداد لوپ) و اصلاح رژیم شیمیایی مهم‌ترین راهکارهای جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر ثانویه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بویلر، سوپرهیتر، اورهیت، مشعل، راهکار

۱- مقدمه

بویلر ۱۹۰ تنی مورد بررسی بر اساس مدارک طراحی برای دو حالت مازوت‌سوز و گازسوز طراحی شده است، به دلیل در دسترس نبودن سوخت گاز طبیعی در زمان راه‌اندازی اولیه، بویلر با سوخت گاز مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. پس از گازسوز شدن بویلر در سالهای اخیر، لوله‌های بویلر با مشکل تخریب در بخش لوله‌های سوپرهیتر ثانویه مواجه گردیده است.

جنس لوله‌های سوپرهیتر ثانویه فولاد ASME SA-213-T22 می‌باشد که از فولادهای متداول مورد استفاده در لوله‌های سوپرهیتر است. ابعاد اولیه لوله‌ها، ۵۰/۸ میلیمتر قطر خارجی و ۴/۱۹ میلیمتر ضخامت می‌باشد. بهره‌برداری از بویلر بصورت مداوم نبوده بلکه بر اساس شرایط کارخانه خاموش و روشن می‌شود. براساس اطلاعات دریافتی ساعات کارکرد معادل بویلر ۷۰۰۰۰ ساعت می‌باشد [۱].

دما و فشار بخار خروجی از بویلر به ترتیب 380°C و 3 Mpa می‌باشد. اما دماهای ورودی و خروجی به سوپرهیتر یک به ترتیب

حدوداً 260°C و $320-340^{\circ}\text{C}$ و برای سوپرهیتر ثانویه به ترتیب 280°C و 380°C می‌باشد. دمای گاز ورودی به مجموعه سوپرهیترها 1274°C است.

بر اساس نتایج آزمایش‌ها و بررسی‌های انجام شده لوله‌های سوپرهیتر ثانویه تحت مکانیزم اورهیت طولانی مدت و یا خزش قرار دارند. به عبارت دیگر دمای کاری آنها بیش از مقدار مجاز می‌باشد. جهت تعیین علل اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر آزمایش‌ها و بررسی‌هایی از جمله بازرسی چشمی، اندازه‌گیری دمای فلز و دمای گاز، آنالیز رسوب داخل لوله، آنالیز دود و تست عملکرد صورت گرفت. مهم‌ترین نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد.

- بررسی متالوگرافی لوله‌های آسیب دیده نشان داد که مکانیزم خزش عامل تخریب لوله‌ها است.
- بازرسی چشمی از داخل هدر ورودی سوپرهیتر اولیه نشان داد که در داخل هدر رسوب تشکیل شده است.
- آنالیز رسوب داخل لوله‌های سوپرهیتر بیانگر وجود عناصر مضر می‌باشد.

به طور کلی در طراحی مشعل، هوای ورودی از جعبه هوا با عبور از ورق مشبکی که در دهانه ورودی هوا به مشعل تعبیه می‌شود، هوا را بدون چرخش و با کمترین نوسانات وارد مشعل می‌کند. پس از این مرحله، هوای اولیه و ثانویه هر کدام از روی پره‌هایی می‌گذرند تا مقدار چرخش مورد نظر طراح به جریان هوا اعمال شود. چرخش جریان‌های هوا در اثر زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه و ثانویه نقش عمده‌ای بر کنترل شکل شعله دارد و با تغییر آن، طول و قطر شعله تغییر می‌کنند. در جدول (۱) و برای بار ۱۴۰ تن بر ساعت بخار تولیدی در حالت سوخت گاز، نتایج شبیه‌سازی تغییر زاویه ایررجیستر در سه حالت آورده شده است. حالت اول مربوط به کارکرد عادی بویلر و حالت‌های دیگر تغییر داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با بستن بیشتر زاویه پره‌های داخلی و بیرونی هم دمای گاز ورودی به لوله‌های سوپرهیتر کاهش می‌یابد و هم مقدار حرارت جذب شده در محفظه احتراق افزایش خواهد داشت.

جدول ۱- نتایج تغییر زاویه ایررجیسترهای داخلی و بیرونی

حالت	زاویه پره‌های بیرونی	زاویه پره‌های داخلی	دمای ورودی به لوله‌های سوپرهیتر، °C	Total Absorption, MW
۱	۴۶	۳۶	۱۲۰۹	۳۸/۵
۲	۵۶	۴۶	۱۱۹۷	۳۹/۳
۳	۳۶	۳۶	۱۲۲۵	۳۷/۸

۲-۱- اندازه‌گیری دمای گاز

در حال حاضر برای ارزیابی وضعیت احتراق بویلر فقط آنالیز دود خروجی از بویلر صورت می‌گیرد. چون نقطه اندازه‌گیری در بیرون بویلر و در ورودی دودکش قرار دارد بنابراین اطلاعاتی دقیقی از وضعیت احتراق و دمای گاز در داخل بویلر در دسترس نمی‌باشد. در صورتی جهت ارزیابی وضعیت احتراق و هم چنین پیشگیری از اورهیت شدن لوله‌ها به آنالیز دقیق محصولات احتراق در داخل بویلر و هم چنین توزیع دمای گاز نیاز می‌باشد.

در بویلرهای موجود کشور به دلیل شرایط کاری آنها سنسوری در داخل بویلر جهت اخذ داده وجود ندارد. جهت بر طرف نمودن این محدودیت سنسوری به نام ترموکوپل سرعت بالا (HVT) ساخته شده است. این سنسور قادر است دمای گاز داخل بویلر را در نواحی

- کیفیت آب مصرفی و رژیم شیمیایی بویلر اشکال دارد.
- کیفیت دود خروجی از بویلر، میزان مصرف سوخت گاز، راندمان بویلر و دمای گاز در محفظه احتراق تقریباً مشابه طراحی است.
- در حالت سوخت گاز شعله به شدت با لوله‌های سوپرهیتر برخورد می‌کند.
- بر اساس بررسی‌های انجام شده برخورد شعله به لوله‌ها در اثر عملکرد نامناسب مشعل‌ها و ایجاد رسوب و اختلال در جریان آب و بخار در اثر آلودگی‌های موجود در آب مصرفی بویلر و آب اسپری دو عامل آسیب‌دیدگی لوله‌ها می‌باشند.
- در این تحقیق جهت رفع و جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌ها آزمایشها و بررسی‌های مختلفی انجام گردید که در ادامه آمده است [۷-۲].

۲- تنظیم ایررجیستر مشعل‌ها

یکی از متغیرهای اصلی در تنظیم فرایند احتراق زاویه پره‌های ایررجیستر اولیه و ثانویه می‌باشد که کنترل کننده میزان اختلاط سوخت و هوا، شکل شعله و نهایتاً دمای شعله است. با تغییر در این زاویه‌ها، مولفه‌های مماسی و نرمال سرعت هوا تغییر کرده و این می‌تواند سبب تغییراتی در اختلاط هوا و شکل شعله شود. در مورد بویلر مورد بررسی مشاهدات تجربی صورت گرفته حاکی از وجود شعله‌های بزرگ و کشیده‌ای بوده که زبانه‌های شعله در جاهایی به لوله‌های سوپرهیتر برخورد می‌کنند. یک راهکار می‌تواند تغییر پارامترهای احتراقی بگونه‌ای باشد که قطر شعله را بزرگ و طول آن را کوتاه نماید، در این صورت تا حدودی حرارت تولیدی را در محدوده مورد نیاز نگهداشته و از افت راندمان بویلر جلوگیری شده و از طرف دیگر مانع از برخورد مستقیم شعله‌ها به لوله‌های سوپرهیتر می‌شود. برای دستیابی به این مهم، تغییر در زاویه ایررجیسترها می‌تواند یک پارامتر مهم باشد. با بستن زاویه پره‌های ایررجیستر به دلیل افزایش مؤلفه مماسی سرعت انتظار می‌رود که قطر شعله بزرگ و از طول آن کاسته شده و نهایتاً دمای اندازه‌گیری شده روی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه افت کند. برای بررسی و اثبات این ادعا یکسری کارهای شبیه‌سازی کامپیوتری روی واحد مربوطه انجام گرفت و در آنها نتایج تغییرات در دمای لوله‌ها با تغییر در زاویه پره‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

شعله می‌توانند تا حدودی تأثیر معکوس داشته باشد و سبب برخورد شعله‌ها به لوله‌های سوپرهیتر شود. بنابراین، بهتر است برای دوری از این موضوع و رفع مشکل، تنظیمات را بگونه‌ای تغییر داد مثلاً دهانه را بازتر نمود که قطر شعله افزایش یافته و از طول آن کاسته شود و بدین ترتیب تا حدودی از برخورد شعله به لوله‌های سوپرهیتر و اورهیت شدن آن‌ها جلوگیری نمود. بنابراین نسوزکاری اطراف مشعل یک پارامتر کلیدی و همچنین قابل تغییر و قابل کنترل جهت رفع نمودن مشکل بیش گرمایش لوله‌های سوپرهیتر بوده و مناسب نبودن آن می‌تواند سبب اورهیت شدن لوله‌ها شود و یا در صورت اورهیت شدن لوله‌ها با تغییراتی در تنظیمات آن می‌توان مشکل را برطرف نمود.

شرکت سازنده بویلر نقشه هندسی خاصی جهت نسوزکاری اطراف مشعل‌ها ارائه کرده است. مطابقت ابعاد و طرح داده شده در نقشه و نسوزکاری فعلی مشعل‌ها نشان می‌دهد که تفاوت آشکاری وجود دارد. با توجه به اینکه در حال حاضر شعله مشعل‌ها به لوله‌های سوپرهیتر برخورد می‌نماید یکی از روشهای رفع و جلوگیری از برخورد، اصلاح هندسه نسوزکاری اطراف مشعل‌ها مطابق دستورالعمل سازنده می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- نسوزکاری اطراف مشعل

۴- نشت هوا از مسیرهای خارج از ایررجیستر

یکی از مسائل دیگری که به تنظیمات مکانیکی مشعل‌ها مرتبط بوده و می‌تواند تا حدودی فرایندهای احتراقی درون محفظه کوره تأثیرگذار باشد نشت هوا از مسیرهای خارج از ایررجیستر به درون محفظه می‌باشد. این موضوع به دلیل عدم سید بودن مناسب

مختلف اندازه‌گیری نماید. علاوه بر اندازه‌گیری دمای گاز همچنین قادر به خارج نمودن محصولات احتراق از داخل بویلر و آنالیز آن (همچون O_2 ، CO و NO_x) می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- ترموکوپل سرعت بالا جهت اندازه‌گیری دمای گاز بویلر جهت صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی و بررسی دقیق‌تر تأثیر تغییر زوایای ایررجیسترها از ترموکوپل سرعت بالا جهت اندازه‌گیری دمای گاز در محل ورود به لوله‌های سوپرهیتر استفاده شد. ترموکوپل از چشمی بازدید وارد کوره شده و دما در تناژها و در فواصل مختلف اندازه‌گیری گردید. نتایج در جدول (۲) آورده شده است. اندازه‌گیری در سه حالت عادی، کاهش ۱۰ درجه‌ای زاویه پره‌های بیرونی و کاهش ۱۰ درجه‌ای زاویه پره‌های داخلی و بیرونی صورت گرفت. ملاحظه می‌گردد که با کاهش زاویه ایررجیسترها دمای گاز کاهش قابل توجهی می‌یابد.

۳- نسوزکاری اطراف مشعل

شکل نسوزکاری اطراف مشعل تأثیر بسیار قابل ملاحظه‌ای بر شکل شعله خواهد داشت. این نسوزکاری در واقع هدایت‌کننده مشعل به درون محفظه کوره بوده و با کنترل ابعاد هندسی نسوزها به نوعی می‌توان شکل شعله را تغییر داد. قطر و طول شعله از پارامترهایی هستند که تا حدودی با کمک نسوزکاری اطراف مشعل قابل کنترل می‌باشند. به صورت خیلی ساده با تنظیم نسوزکاری بگونه‌ای که دهانه آن بسته‌تر باشد (کاهش شیب سطح درون نسوز) می‌توان تا حدودی قطر شعله را کم کرده ولی طول آن را افزایش داد یا بعبارت دیگر شعله بسته‌تر خواهد شد و بالعکس. در این مورد خاص یعنی بحث اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر طویل شدن

مشعل‌ها رخ داده و در اثر آن هوا از درزهای بین مشعل و تونل باد وارد محفظه کوره می‌شود. این هوا بدین دلیل اینکه از مسیرهایی خارج از مسیر ایررجیسترها به محفظه کوره وارد می‌گردد، می‌تواند مشکلاتی را بوجود آورد. برای رفع این مشکل همانگونه که مشخص است باید از سیدبندی درست مشعل در موقعیت مناسب و عدم نشت هوا از مجاری اطراف مشعل به درون محفظه اطمینان حاصل نمود. برای اطمینان حاصل شدن از حذف تأثیر این پارامتر باید مشعل بطور مناسب در موقعیت خود قرار گیرد و از نشت هوا در مسیره‌های فرعی جلوگیری گردد.

۵- بررسی کاهش سطح حرارتی لوله‌های سوپرهیتر

شعله سوخت مایع شدیداً تشعشعی است و حدود ۶۵ درصد انرژی تشعشعی دارد در حالیکه شعله گازی، شعله‌ای دارای ۳۰ درصد انرژی تشعشعی است. به همین دلیل دمای محصولات خروجی سوخت گاز بیش از سوخت مایع می‌باشد. این عامل خود در اورهیت شدن لوله‌ها تأثیرگذار است. لذا یکی از روشهای جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌های بویلر افزایش حجم سیال عبوری از لوله‌ها است. بدین صورت که افزایش حجم سیال باعث می‌گردد که گرمای بیشتری از فلز لوله جذب سیال شده و از بالا رفتن دمای فلز لوله جلوگیری نماید. جهت بررسی تأثیر کاهش سطح حرارتی لوله‌ها از دو روش محاسباتی و شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده گردید. لوله‌های سوپرهیتر ثانویه بویلر مورد بررسی از ۲۶ لوپ تشکیل شده که هر لوپ شامل دو لوله مجزا می‌باشد. در شبیه‌سازی کامپیوتری و برای بار ۱۴۰ تن سوخت گاز، سه حالت به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت که در آنها قطر و تعداد لوله‌ها تغییر داده شده است.

حالت اول: قطر لوله‌ها ۶۰/۳ میلی‌متر و تعداد ۲۶ لوپ

حالت دوم: قطر لوله‌ها ۵۰/۸ میلی‌متر و تعداد ۲۶ لوپ

حالت سوم: قطر لوله‌ها ۵۰/۸ میلی‌متر و تعداد ۲۳ لوپ

میانگین دمای فلز لوله‌های سوپرهیتر در سه حالت مذکور، در جدول (۳) آورده شده است. با افزایش قطر لوله‌ها به ۶۰/۳ میلی‌متر، سرعت بخار در داخل لوله‌ها کاهش یافته و نرخ خنک کاری لوله به تبع آن کاهش می‌یابد. در صورتی که مشاهده می‌شود با کاهش تعداد لوپ و افزایش دبی بخار در لوله‌های باقیمانده دمای فلز

کاهش یافته است. پروفیل دمای فلز در حالت سوم در شکل (۳) و دمای ماکزیموم فلز سوپرهیتر ثانویه برای حالت فوق در شکل (۴) نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که با کاهش ۱۲ درصدی سطح حرارتی دمای فلز لوله‌های سوپرهیتر حدود ۱۱ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد.

جدول ۳- برآورد اثر قطر لوله و تعداد آن بر دمای ماکزیموم فلز

سوپرهیترها

قطر اسمی لوله (میلی‌متر)	۶۰/۳	۵۰/۸	۵۰/۸
تعداد لوله‌ها	۲۶	۲۶	۲۳
دمای سوپرهیتر اولیه، °C	۳۷۱	۳۴۱/۸	۳۳۹/۹
دمای سوپرهیتر ثانویه، °C	۴۰۷/۶	۳۸۳/۴	۳۷۲/۸

علاوه بر روش کامپیوتری از روش محاسباتی نیز جهت بررسی تأثیر کاهش حرارتی استفاده گردید. در جدول (۴) نتایج محاسبات کاهش سطح حرارتی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه در دو تناژ ۱۴۰ و ۷۰ تن آورده شده است. از محاسبات انجام شده موارد زیر حاصل می‌گردد.

۱- در اثر کاهش دادن تعداد لوپ دمای سطح مبدل حدود ۲۰ درجه سانتیگراد در حالت با لایه اکسیدی داخلی و حدود ۱۲ درجه در حالت بدون لایه اکسیدی کاهش می‌یابد.

۲- در اثر کاهش دادن تعداد لوپ دبی آب پاششی کاهش می‌یابد.

۳- در اثر کاهش دادن تعداد لوپ دمای بخار ورودی به سوپرهیتر ثانویه افزایش می‌یابد.

۶- تغییر جنس لوله‌ها

با توجه به اینکه آلیاژهای مختلف محدوده‌های دمایی سرویس مجاز متفاوتی دارند، بنابراین قطعاً یک عامل مؤثر در عمر سرویس آلیاژهای مختلف در دماهای بالا ترکیب شیمیایی آن‌ها می‌باشد. بدین صورت که ممکن است برای یک آلیاژ در دمای ۴۵۰ سانتیگراد اورهیت موضعی و انهدام زود هنگام رخ دهد ولی اگر همین آلیاژ را با آلیاژ دیگری که دارای ۵۰ درجه سانتیگراد دمای

مذکور جایگزین نمود. نکته قابل توجه بحث جوشکاری فلزات غیرهمجنس است. لازم است تا مطابق دستورالعمل و با دقت کافی صورت پذیرد. بر اساس خواص متالورژیکی و مکانیکی آلیاژهای مختلف، فولادهای آستنیتی SA-213-TP347H و SA-213-TP321H جایگزینی‌های مناسبی برای فولاد SA-213-T22 می‌باشند.

۷- تغییر و یا اصلاح رژیم شیمیایی

وجود ناخالصی‌ها در آب مورد استفاده منجر به تشکیل رسوب‌هایی درون درام‌ها، لوله‌های واتروال، لوله‌های سوپرهیتر اولیه و ثانویه خواهد شد که این رسوب‌ها روی سیکل آب و بخار درون لوله‌ها و انتقال حرارت از محفظه کوره به لوله‌ها به شدت تأثیرگذار خواهد بود. تأثیر آن بر سیکل بدین صورت که رسوب گرفتگی درون لوله‌ها از جریان یافتن پایا و یکنواخت درون لوله‌ها جلوگیری خواهد نمود. اگر میزان رسوب گرفتگی خیلی زیاد باشد می‌تواند بکلی جریان بخار درون لوله‌ها قطع شود که این موضوع منجر به اورهیت در سیستم خواهد شد. اگر میزان رسوب گرفتگی موضعی بوده و خیلی شدید نباشد، می‌تواند الگوی جریان را تغییر دهد و دبی و جریان بخار در نواحی مختلف را تغییر دهد و در برخی مناطق نزدیک به نواحی رسوب گرفته مناطق مرده یا بحرانی ایجاد نماید که با ادامه عملکرد در شرایط فوق، این نواحی بحرانی دچار اورهیت موضعی و انهدام زود هنگام خواهند گردید. تأثیر رسوب‌گذاری درون لوله‌ها بر سیکل انتقال حرارت هم بدین صورت است که از قابلیت انتقال حرارت سمت آتش به بخار درون لوله‌ها کاسته خواهد شد زیرا لایه رسوب داخلی به صورت یک عایق در این میان عمل خواهد نمود و یک گرادیان بالای دمایی در جداره لوله‌ها ایجاد می‌گردد.

در مورد بویلر مورد بررسی بازرسی چشمی هدرهای ورودی سوپرهیتر ثانویه، بررسی ریزساختاری لوله‌های سوپرهیتر و هم چنین راسب شدن رسوب در داخل لوله‌های مسدود شده نشان می‌دهند که در داخل هدرها و لوله‌های سوپرهیتر رسوب وجود دارد. وجود رسوب همراه با لایه اکسیدی داخلی به دلیل ضریب انتقال حرارت پایین آن منجر به افزایش دمای فلز و اورهیت شدن لوله‌ها و هم چنین باعث اختلال در جریان بخار می‌گردد. وجود رسوب در لوله‌های سوپرهیتر ثانویه دو دلیل می‌تواند داشته باشد

مجاز کاری بالاتر است جایگزین نمائیم مشکل فوق رفع گردد. پس تغییر جنس لوله‌های سوپرهیتر می‌تواند به عنوان یک راهکار جهت رفع مشکل اورهیت این لوله‌ها مدنظر قرار گیرد. تنها مسئله‌ای که می‌تواند موضوع فوق را محدود نماید مسائل اقتصادی است زیرا آلیاژهایی که محدوده دمایی مجاز بالاتری دارند اکثراً گرانتر بوده و تعویض کل سیستم شامل هزینه‌های بالایی خواهد شد. در این خصوص چند نکته را می‌توان لحاظ نمود. یک نکته این است که صرف هزینه فراوان و تغییر ترکیب شیمیایی تا چه حدود می‌تواند زمان سرویس‌دهی را بهبود بخشد و آیا برای این میزان افزایش عمر سرویس صرف این هزینه معقول است یا خیر، و نکته دیگر اینکه در بسیاری از موارد نیاز نیست که کل مجموعه تغییر جنس داده شوند و تنها در نواحی خاص لوله‌های سوپرهیتر که در معرض مستقیم شعله هستند و آن هم اغلب در زانویی‌ها تغییر جنس لوله می‌تواند بسیار مفید واقع گردد که در این حالت می‌توان یک قسمت کوچکی از لوله‌های سوپرهیتر را با لوله‌های با دمای مجاز کاری بالاتر تعویض نمود که این هم معمولاً شامل صرف هزینه گزافی نخواهد شد.

مواد رایج در ساخت لوله‌های سوپرهیتر را می‌توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

۱- فولادهای کربنی

۲- فولادهای کربن-مولیبدن

۳- فولادهای کم آلیاژ مقاوم در برابر خزش

۴- فولادهای زنگ نزن

در حال حاضر جنس لوله‌های سوپرهیتر مورد استفاده فولاد کروم-مولی ASME SA213 T22 می‌باشد که از فولادهای معمول جهت استفاده در بویلر می‌باشد. اگر بتوان این فولادها را با فولادهای سوپرکروم یا فولادهای آستنیتی جایگزین نمود عمر سرویس‌دهی آن‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت، زیرا فولادهای آستنیتی به عنوان نمونه دمای مجاز کاریشان حدود ۱۶۰ درجه سانتیگراد بیشتر از فولادهای ساده کرم-مولی است که این مقدار تفاوت دمای مجاز بسیار چشمگیر و حائز اهمیت است. ولی قیمت این فولادها نیز بسیار بالاتر از فولادهای کرم-مولی می‌باشد. برای اینکه بتوان در این واحد بخصوص از مزایای فولادهای آستنیتی و سوپرکروم استفاده نمود ضمن اینکه هزینه‌ها را نیز خیلی افزایش نداد، در قسمت‌های که اورهیت شدن موضعی از این مناطق رخ می‌دهد می‌توان لوله‌های کرم-مولی را با لوله‌های

یکی کیفیت نامناسب آب مورد استفاده در دی سوپرهیتر و دیگری وجود Carry over در داخل درام بخار. بر اساس بررسی های صورت گرفته هر دو عامل امکان پذیر می باشند. از سوی دیگر آنالیز شیمیایی رسوب داخل لوله های مسدود شده نشان می دهد که رسوب حاوی عناصر مضر زیادی می باشد.

بررسی سابقه موضوع در بویلرهای مشابه در صنایع دیگر، گرفتگی شدید لوله های بین دو درام در اکثر واحدها و نتایج آزمایشهای انجام شده نشان می دهند که آب کندانس شده (یا آب برگشتی از فرآیند تولید) دارای آلودگی های قابل توجهی است. همچنین بررسی آماری و آنالیز رسوب داخل بین لوله های بین دو درام نشان می دهد که آلوده بودن آب برگشتی باعث مصرف بیش از اندازه مواد افزودنی گردیده است. مصرف بیش از اندازه مواد افزودنی خود باعث مشکلات دیگر و رسوب بیشتر در لوله ها می شود. در مجموع این نتیجه حاصل می گردد که وجود آلودگی در آب ورودی به بویلر، نامناسب بودن کیفیت آب مصرفی در دی سوپرهیترها و بالا بودن میزان مصرف مواد افزودنی در رژیم شیمیایی مورد استفاده باعث اختلال در گردش بخار و ایجاد رسوب و لایه اکسیدی در سطح داخلی لوله های سوپرهیتر می گردد. این پدیده در تشدید و سرعت بخشیدن به رخداد اورهیت شدن لوله های سوپرهیتر ثانویه نقش قابل توجهی دارد. لازم به ذکر است که تشکیل لایه اکسیدی داخلی با افزایش دما با هم اندرکنش داشته و همدیگر را تشدید می نمایند.

جهت جلوگیری از ورود آلودگی و عناصر مضر به داخل سیکل آب و بخار بویلر و تشکیل رسوب در داخل لوله ها، راهکارهای اجرایی استفاده از آب مناسب در بخش دی سوپرهیتر و تغییر و یا اصلاح رژیم شیمیایی مورد استفاده است.

۸- راهکارهای اجرایی جهت رفع آسیب دیدگی

لوله های سوپرهیتر

طراحی نامناسب مشعل ها برای سوخت گاز باعث کشیدگی شعله به سمت لوله های سوپرهیتر و برخورد شعله با لوله ها و در نهایت اورهیت شدن آنها می گردد. جهت رفع این عیب راه حل اساسی تغییر مشعل ها و استفاده از مشعل هایی است که با هر دو سوخت مازوت و گاز طبیعی و با توجه به نوسانات شدید بار بویلر، عملکرد

مناسبی داشته و پارامترهای تنظیم کننده و کنترلی آن بگونه ای باشد که مانع برخورد شعله با لوله ها گردد. راه حل ذکر شده گرچه بهترین روش است اما مستلزم هزینه بسیاری است که از لحاظ اقتصادی به صرفه نمی باشد مگر اینکه تعداد توقف های اجباری و هزینه تعمیرات بسیار افزایش یابد که در آن صورت تعویض مشعل ها توجیه اقتصادی دارد. در غیر این صورت جهت کاهش میزان آسیب دیدگی، به تعویق انداختن و افزایش زمان بهره برداری براساس بررسی ها و محاسبات انجام شده به ترتیب اولویت موارد زیر توصیه می گردد.

۱- تغییر جنس دو لوله ردیف اول روبروی مشعل ها به جنس فولاد آستینیتی SA213-TP347H و یا SA213-TP321H

۲- کاهش ۱۲ درصدی سطح حرارتی لوله های سوپرهیتر ثانویه (کاهش تعداد لوپ)

۳- بستن ده درجه ای زاویه پره های ایررجیسترهای بیرونی

۴- استفاده دائمی از هیترها

استفاده از هیترها نه تنها باعث افزایش دمای آب ورودی به بویلر و کاهش دمای گاز در ورودی لوله های سوپرهیتر می شود؛ بلکه آب با کیفیت مناسب برای دی سوپرهیترها تامین می نماید.

۵- بازسازی دیرگذارهای اطراف مشعل ها مطابق نقشه سازنده جهت بهبود شکل شعله

۶- جلوگیری از نشت هوا غیر از مسیر ایررجیسترها

۷- کالیبره کردن سنسورهای مرتبط با عملکرد مشعل ها

۸- تنظیم و تمیز کاری اجزای مشعل ها

لازم است سوخت مصرفی در بازه زمانی سه ماهه مورد آنالیز قرار گرفته و در صورت تغییر آن، نسبت به تغییر پارامترهای احتراق اقدام شود.

جهت جلوگیری از ورود آلودگی و عناصر مضر به داخل سیکل آب و بخار بویلر و تشکیل رسوب در داخل لوله ها راهکارهای زیر به ترتیب اولویت توصیه می گردد.

۱- تغییر و یا اصلاح رژیم شیمیایی

۲- استفاده از آب مناسب در بخش دی سوپرهیتر

۳- اندازه گیری میزان رسوب در واحد سطح لوله های واتروال و سوپرهیتر و در صورت نیاز اسیدشویی لوله ها

۴- جلوگیری از ایجاد پدیده Carry Over در داخل درام بخار

۹- نتیجه‌گیری

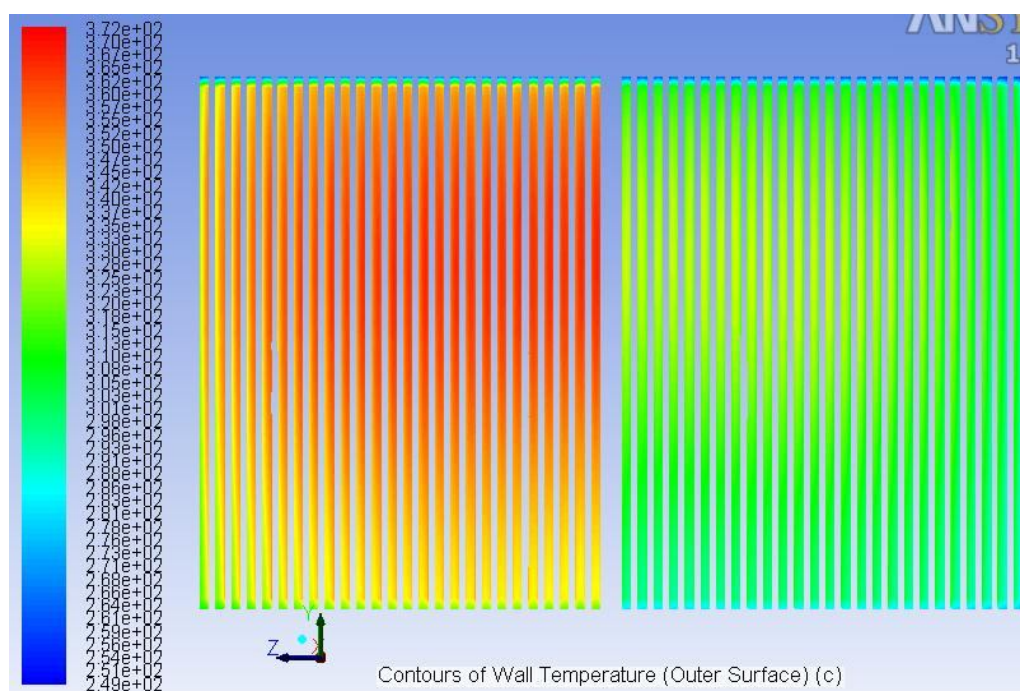
در این تحقیق به راهکارهای رفع آسیب‌دیدگی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه یک بویلر ۱۹۰ تنی صنعتی پرداخته شد. مسئله بیش‌گرمایش لوله‌ها از سه دیدگاه مورد بررسی قرار گرفت: فرایند احتراقی، جریان بخار و رژیم شیمیایی سیکل آب و بخار. در گروه اول که از اهمیت بسیار بالایی هم برخوردار بودند اشاره شد که در این زمینه تغییر در زاویه پره‌های ایررجیستر اولیه و ثانویه و همچنین هندسه مشعل‌ها از جمله متغیرهای اساسی هستند که با تنظیم آن‌ها می‌توان تا حدودی شکل و دمای شعله‌ها را کنترل نمود تا از برخورد شعله به لوله‌های سوپرهیتر و اورهیت آن‌ها جلوگیری گردد. در دسته دوم با بهسازی در الگوی جریان آب و بخار درون لوله‌های بویلر می‌توان تا حدود زیادی مشکل را مرتفع نمود. در این زمینه متغیرهایی مانند تعداد لوپ‌ها، جنس لوله‌ها و استفاده موضعی از فولادهای با دمای مجاز کاری بالا مانند فولادهای آستنیتی و همچنین تغییر در دبی بخار درون لوله‌ها مطرح می‌باشند. در این خصوص تغییر تعداد لوپ‌ها و همچنین تغییر در جنس در نواحی حرارتی بحرانی از پارامترهای اساسی می‌باشند. در دسته سوم بحث تأثیرات رسوب گرفتگی درون لوله‌های بویلر مطرح بود که این موضوع می‌تواند سیکل انتقال حرارت و سیرکولاسیون درون لوله‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد و رسوب‌ها با اختلال در سیرکولاسیون بخار درون لوله‌ها و همچنین ممانعت از انتقال حرارت مؤثر به بخار درون لوله‌ها به صورت یک لایه عایق سبب بالا رفتن موضعی دما در نواحی رسوب گرفته و نهایتاً اورهیت موضعی می‌شوند. جهت رفع این موضوع می‌توان در رژیم شیمیایی مخلوط آب و بخار ورودی تجدید نظر نمود و برخی ناخالصی‌ها را با عملیات تصفیه تکمیلی قبل از ورود آب و بخار به بویلر حذف کرد.

۱۰- منابع و مراجع

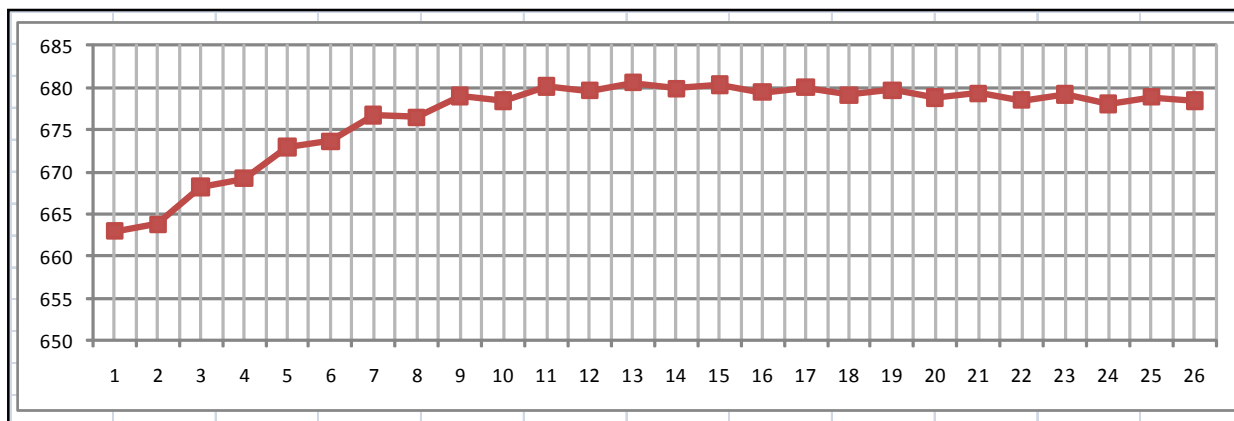
- ۱- اسناد بویلر مورد بررسی
- ۲- مهدی‌زاده، محسن و مرادی، مهدی، بررسی علل اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر یک بویلر صنعتی، بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۹۳.
- ۳- گزارشهای پروژه بررسی علل آسیب‌دیدگی لوله‌های بویلر، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۳.
- 4- R.Viswanathan, Damage mechanisms and life assessment of high temperature components, ASM Int., 1989.
- 4- D.N.French, Metallurgical failures in fossil fired boilers, 1983, Jhon Wiley and Sons.
- 6- R.D Port and H.M. Herro, The Nalco guide to boiler failure analysis, McGrew-Hill, 1991.
- ۷- موسوی، سید ابراهیم، سوپرهیترها، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۷.

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری دمای گاز بویلر در تنازهای مختلف (درجه سانتیگراد)

میانگین دما	نقطه ۶	نقطه ۵	نقطه ۴	نقطه ۳	نقطه ۲	نقطه ۱	ایرجیستر	تعداد برنر	تناژ بخار ton/h
	سوپرهیتر اولیه		وسط		سوپرهیتر ثانویه				
1120	1082	1172	1169	1161	1104	1034	عادی	3	80
1115	1137	1167	1150	1112	1093	1032	بیرونی ۱۰-	3	
1063	1063	1113	1091	1053	1031	1028	بیرونی ۱۰- داخلی ۱۰-	3	
1158	1105	1177	1196	1198	1163	1106	عادی	4	100
1143	1065	1126	1176	1184	1181	1126	بیرونی ۱۰-	4	
1126	1119	1122	1148	1161	1134	1073	بیرونی ۱۰- داخلی ۱۰-	4	
1212	1220	1179	1231	1253	1225	1212	عادی	4	140
1205	1150	1225	1250	1233	1210	1159	بیرونی ۱۰-	4	
1204	1182	1231	1232	1229	1194	1157	بیرونی ۱۰- داخلی ۱۰-	4	



شکل ۳- پروفیل دمای فلز لوله‌های سوپرهیترهای اولیه و ثانویه برای حالت سوم



شکل ۴- دمای ماکزیموم فلز لوله سوپرهیتر ثانویه در حالت سوم (کلوین)

جدول ۴- نتایج محاسبات کاهش دادن تعداد لوله‌ها در سوپرهیتر ثانویه

بار بویلر Ton/h	تعداد لوپ	بار حرارتی Kw/m ²	دمای بخار ورودی، °C	ضریب انتقال حرارت داخلی، W/m ² .°C	متوسط دمای سطح با لایه اکسیدی داخلی، °C	متوسط دمای سطح بدون لایه اکسیدی داخلی، °C	دبی آب پاششی Ton/h
140	26	58.5	275.0	1018.0	533.7	383.3	8.45
140	25	56.5	278.7	1115.5	526.2	377.7	7.79
140	24	54.0	282.4	1152.5	518.5	375.8	7.20
140	23	51.0	294.1	1192.4	515.2	370.8	4.20
70	26	29.3	275.0	621.50	450.8	374.6	4.22
70	25	28.2	278.7	641.30	446.7	370.8	4.00
70	24	26.0	282.4	662.60	438.0	365.4	3.60
70	23	23.0	294.1	685.90	430.4	362.8	2.11