کد مقاله: CCI2023
Archive of SID

دومین کنفرانس احتراق ایران
بهمن ماه 1386- مشهد- دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

انجمن احتراق ایران

مدیریت احتراق در نیروگاه حرارتی شازند اراک

سعید شاهمنصوری[1]
اراک، کیلومتر 20 جادهٔ بروجرد، نیروگاه حرارتی شازند
S2hmansoori@yahoo.com

چکیده

"مدیریت احتراق" فرآیندیست جامع در راستای بهینه‌سازی و بهبود احتراق که با نگرشی نتیجه‌گرا به بررسی وضعیت احتراق و حفظ آن در حداکثر بازدهی و حداقل آلودگی می‌پردازد. نیروگاههای حرارتی به عنوان مراکز تبدیل انرژی، نقش عمده‌ای را در عرصهٔ انرژی ایفا می‌کنند و فرآیندِ احتراق اساس و پایهٔ این چرخه می‌باشد. در نیروگاه حرارتی شازند؛ با توجه به کیفیت پایین ساخت و نصب تجهیزات که دارای مشکلات زیادی از جمله در احتراق می‌باشند؛ فعالیت های انجام شده در راستای رفع مشکلات احتراق منجر به تدوین و استقرار فرآیند مدیریت احتراق گردید. این فرآیند توسط کمیتهٔ احتراق و با همکاری قسمت‌های مختلف تعمیرات و بهره‌برداری انجام پذیرفت. مدیریت احتراق در چهارچوب ساختار نیروگاه، با بررسی کمیت‌های خروجی و تحلیل آنها، نقاط بحرانی را استخراج کرده و با استفاده از اطلاعات تئوری و سوابق تجربی شاخصهای کلیدی را شناسایی و تحت کنترل قرار می‌دهد. نقاط بحرانی شامل مقادیر غیر مجاز آلاینده‌ها در دود خروجی و تغییرات ظاهری در شعله و انرژی خروجی می‌باشد و شاخصهای کلیدی نیز متغیرهای مستقلِ قابل کنترل بوده که از طریق ابزارهای کنترلی به سیستم احتراق اعمال می‌گردد. هدف مدیریت احتراق، حذف نقاط بحران از طریق شاخصهای قابل کنترل می‌باشد که در نیروگاه شازند در موارد بسیاری انجام و نتایج قابل قبولی حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت احتراق- بهینه‌سازی- بهبود- نقاط بحرانی

1- مقدمه

اولین پدیده‌ای که بشر توانست از آن به عنوان منبع انرژی استفاده نماید، پدیدهٔ احتراق بوده که همچنان به عنوان اولین و مهم‌ترین فرآیند تبدیل انرژی به شمار می‌آید. فرآیندی بسیار پیچیده و دقیق که انرژی درونی را با تغییر به انرژی حرارتی در بسیاری از موارد از جمله گرمایش، تولید بخارِ محرک و نیروی مکانیکی به کار می‌گیرد. اهمیتِ احتراق در دنیای صنعتی امروز باعث گردیده است که اصول و قواعد فراوانی در این راستا حاصل گردد به گونه‌ای که امروزه از طریق نرم‌افزارهای مختلف به مدلسازی این فرآیند پرداخته و نتایج بر این اساس بررسی و تحلیل می‌گردد. با وجود توسعهٔ روز افزونِ فعالیت‌ها در خصوص احتراق اما به علت غیر محسوس بودن این پدیده، بسیاری از مسائل مبهم و بدون جواب می‌باشد.

از جملهٔ مسائل مهم در دنیای صنعتی امروز که به نوعی بیانگر قدرت صنعتی و حتی سیاسی بسیاری از کشورها شده است، دستیابی و حفظ انرژی و در یک کلام "مدیریت انرژی" می‌باشد. مدیریت انرژی در واقع یافتن فرصت‌های ذخیرهٔ انرژی، حفظ و بهبود آنها و دستیابی به انرژی بیشتر در آینده می باشد، چراکه بدون حضور انرژی چرخ صنعت و پیشرفت از حرکت باز خواهد ایستاد. آنچه از آن به عنوان فرصت‌های ذخیرهٔ انرژی نام برده می‌شود در واقع شناخت، حفظ و بهینه‌سازی فرآیندهای تبدیل انرژی بوده که در انواع مختلف در حال تحقق می‌باشند؛ یکی از مهم‌ترینِ این فرآیندها، احتراق می‌باشد که

[1] کارشناسی ارشد مهندسی صنایع (مدیریت سیستم)

www.SID.ir

Archive of SID

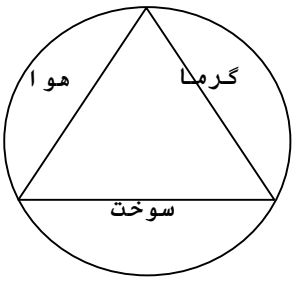
در واقع تنها فرآیند تبدیل انرژی فسیلی به انرژی حرارتی بوده و مدیریت آن به معنای مدیریتِ انرژی خواهد بود. نیروگاههای حرارتی به عنوان کارخانه‌های تبدیلِ انرژی، از جمله صنایع مادر در خصوص دستیابی به فرصت‌های ذخیرهٔ انرژی بوده که با استفاده از فرآیند احتراق به دنبال تأمین انرژی الکتریکی از طریق انرژی حرارتی موجود در سوخت می‌باشند. "مدیریت احتراق" به عنوان بخشی از مبحث مدیریت انرژی، به دنبال حصول انرژی هرچه بیشتر از فرآیند احتراق با حفظ اصول و محدودیت‌های سیاسی، اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی می‌باشد. در این مقاله پس از تشریح فرآیند مدیریت احتراق به بررسی نمونه‌های اجرایی در نیروگاه شازند در این راستا پرداخته شده است.

2- فرآیند احتراق

احتراق فرآیندیست پویا، قابل برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل‌پذیر؛ بنابراین فرآیند احتراق را نیز می‌توان مدیریت کرد. یکی از پایه‌های مدیریت، حصول هدفِ از پیش تعیین شده می‌باشد. هدف فرآیند احتراق رسیدن به فلسفهٔ وجودی آن یعنی انرژی بوده و انرژیِ هرچه بیشتر با هزینه و اتلاف کمتر، هدف کلیهٔ سیستم‌های مبدل انرژی می‌باشد. در نتیجه:

"مدیریت احتراق": فرآیندیست جامع و پویا در راستای بهینه‌سازی و بهبود احتراق

که مفهوم "بهینه‌سازی" در آن، حصول حداکثر انرژی با صرفِ حداقل مواد اولیه می‌باشد، البته در صنعت امروز رعایت مسائل زیست‌محیطی را نیز باید به آن اضافه نمود. مفهوم "بهبود" نیز همان بهینه‌سازی از بُعد نوسازی در ساختار فرآیند احتراق می‌باشد. مناسب‌ترین الگوی ارائه شده جهت یک سیستم احتراق، مثلثِ اکسیدکننده، سوخت و گرما می‌باشد که به مثلث احتراق نیز معروف است. حذف هر یک از اضلاع مثلث به معنای فروپاشی آن یعنی عدم وجود احتراق می‌باشد. مثلث احتراق بیانگر سه پایهٔ اصلی و ضروری جهت تشکیل احتراق می‌باشد اما در صنایع پیشرفته، این سه مورد لازم بوده اما کافی نمی‌باشند چرا که امروزه هدف فقط احتراق نبوده بلکه مسائل مهم‌تری نیز از جمله صرفه جویی در انرژی، مصرف کمتر سوخت و انرژی اولیه و همچنین مسائل زیست‌محیطی شامل آلودگی هوا و مسائل خوردگی مطرح می‌باشند. به همین دلیل منطقی به نظر می‌رسد که الگوی احتراق را به صورت شکل زیر تکمیل نماییم.



شکل (1): مثلث احتراق اصلاح شده

در شکل(1) مثلث احتراق توسط یک دایره احاطه شده است. به عبارت دیگر احتراق بهینه در محدوده‌ای مشخص حاصل می‌گردد و مدیریت احتراق به دنبال یافتن حداکثر سطح مثلث در دایرهٔ محدودیت‌ها می‌باشد. جهت یافتن حداکثر سطح مثلث احتراق در دایرهٔ محدودیت، علاوه بر تغییر اضلاع مثلث نیازمند استفاده از ابزارهای دیگری نیز می‌باشیم که در الگوی مذکور جایگاه مشخصی برای آنها لحاظ نشده است. علت اینست که بدون وجود ابزارهای کنترلی و نظارتی نیز احتراق حاصل می‌گردد اما محدودیتی بر آن وجود نخواهد داشت. محدودیت‌های فرآیند احتراق متقاوت می‌باشند اما مهم‌ترین آنها به صورت خاص و جزئی به خصوص در صنایع و نیروگاهها عبارتند از:

- محدودیت در مصرف سوخت (به علت مسائل اقتصادی و سیاسی)
- محدودیت در مصرف مواد اولیهٔ جانبی مانند بخار یا هوا جهت پاشش سوخت‌های سنگین
- محدویت در انرژی‌های اولیه شامل الکتریسیته جهت انتقال و انرژی حرارتی جهت گرمایش

www.SID.ir

Archive of SID

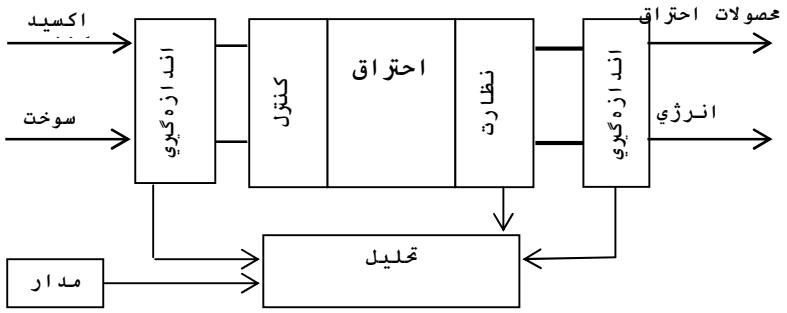
- محدودیت زیست محیطی شامل میزان تشکیل مواد آلاینده (CO- NOx- SO_2)
- محدودیت سیستم‌های نگهداری و تعمیرات شامل مسائل خوردگی، رسوب‌گذاری و آلودگی فیزیکی در کوره‌ها
- محدودیت بهره‌برداری صنایع مرتبط با انرژی مانند نیروگاهها

3- فرآیند مدیریت احتراق

در مباحث سیستمی، فرآیند؛ بیانگر یک چرخه با مراحل متفاوت طی یک سلسله مراتب مشخص جهت حرکت در مسیر، با آگاهی از نحوهٔ پیمودن می‌باشد. احتراق دارای ساختاری کاملاً فرآیندی می‌باشد به طوریکه سوخت و اکسیدکننده را به صورت ورودی دریافت و پس از واکنش احتراق بر روی آنها، انرژی و محصولات را خارج می‌سازد (رابطهٔ شمارهٔ (1)).

انرژی + محصولات احتراق ⟵ سوخت + اکسیدکننده (1)

در نگرش مدیریت احتراق با توجه به اهداف اصلی، فرآیند دارای جزئیات بیشتری می‌باشد چراکه به دنبال کنترل فرآیند در محدوده‌ای مجاز هستیم لذا نیازمند ابزارهایی جهت اندازه‌گیری، نظارت و کنترل می‌باشیم. اندازه‌گیری هر آنچه که هزینه کرده‌ایم و هرآنچه که به دست خواهیم آورد؛ نظارت بر آنچه که بدون حضور ما انجام خواهد شد و کنترل آنچه که ناخواسته خواهد بود. تصویری از آنچه بیان شد را می‌توان به صورت شکل زیر نشان داد.



شکل (2): جریان فرآیند مدیریت احتراق

مدیریت احتراق یک فرآیند نتیجه‌گرا می‌باشد و به دنبال حفظ شرایط احتراق در محدودهٔ مجاز از طریق ابزارهای کنترلی می‌باشد .منظور از نتیجه‌گرایی در مدیریت احتراق، تمرکز بر خروجی‌های فرآیند می‌باشد و منظور از حفظ شرایط، کنترل ورودیهای فرآیند با اعمال راهکارهای بهینه از طریق ابزارهای کنترلی می‌باشد. ورودی‌های اصلی در فرآیند مدیریت احتراق عبارتند از:

- اکسیدکننده که عمدتاً هوا می‌باشد.
- سوخت گاز
- سوخت مایع
- سیستم پاشش سوخت مایع
- سوخت جامد (با توجه به عدم استفاده از این نوع سوخت در نیروگاههای کشور از آن صرفه نظر شده است).
- داده‌های تئوری و محاسباتی

هر یک از کمیت‌های ورودی قابلیت اندازه‌گیری به صورت کمی را دارا می‌باشند، به طور مثال هوای ورودی دارای عوامل مؤثر در احتراق مانند دبی، فشار، دما و ... می‌باشد که هر کدام دارای قابلیت اندازه‌گیری و ابزارهایی جهت کنترل می‌باشند.

خروجی‌های اصلی در فرآیند احتراق عبارتند از:

www.SID.ir

Archive of SID

- محصولات احتراق۲ یا دود خروجی
- انرژی حاصل از فرآیند احتراق
- مشخصه‌های ظاهری فرآیند احتراق یعنی شعله

خروجی‌ها بر خلاف ورودی‌ها دارای قابلیت کنترلی نمی‌باشند و کنترل کمیت‌ها به نوعی وابسته به کمیت‌های ورودی می‌باشد. اندازه‌گیری در خروجی‌ها نیز به صورت کمی و کیفی می‌باشد بدین صورت که برخی از عوامل مانند مقادیر گازهای آلاینده در محصولات احتراق قابل اندازه‌گیری و برخی دیگر مانند طول، جهت و وضعیت ظاهری شعله به صورت مشاهدات چشمی و کیفی می‌باشند.

بر اساس فرآیند مدیریت احتراق (شکل (2)) کمیت‌های ورودی به تفکیکِ عوامل مؤثر در احتراق تحت اندازه‌گیری قرار گرفته و مقادیر اندازه‌گیری به صورت مداوم۳و یا تناوبی ثبت و گزارش می‌گردد و داده‌های لازم به عنوان بانک اطلاعاتی و سوابق در اختیار قسمت تحلیل قرار می‌گیرد. عوامل مؤثر پس از اندازه‌گیری از ابزارهای کنترلی گذشته و فرآیند احتراق حادث می‌گردد. پس از اینکه احتراق در شرایط پایدار قرار گرفت، عوامل بحران‌زا در کمیت‌های خروجی اندازه‌گیری و ثبت می‌گردند. عوامل بحران‌زا در واقع شاخصهایی از کمیت‌های خروجی می‌باشند که تغییرات آنها در محدودهٔ معینی، مجاز می‌باشد و خروج از محدوده به معنای خروج وضعیت احتراق از حالت بهینه می‌باشد؛ در مفهوم الگوی احتراق، عدم دستیابی به حداکثر سطح مثلث احتراق در دایرهٔ محدودیت‌ها می‌باشد. تعیین حد بحران به روشهای مختلف تئوری، تجربی و استانداردها می‌باشد که از مدارک و مراجع قابل استخراج است. مشخصه‌های مربوط به عوامل بحران‌زا نیز به صورت داده وارد قسمت تحلیل می‌گردد. در قسمت تحلیل عوامل بحران‌زا با مقادیر استخراجی از مدارک و مراجع مقایسه و نقاط بحران شناسایی می‌گردد.

جهتِ هر یک از نقاط بحران، شاخصهایی موجود است که باعث بروز بحران شده‌اند، این شاخصها در واقع عوامل مؤثر در کمیت‌های ورودی می‌باشند که با تغییر خود باعث تغییر در خروجی شده‌اند. نتایج تحلیل به صورت راهکارهای بهینه و بهبود به شاخصهای کلیدیِ مؤثر، از طریق ابزارهای کنترلی بر ورودی اعمال می‌گردد. راهکارهای بهینه، مواردیست که به صورت سریع و بدون نیاز به اعمال هزینه یا توقف در تولید، بر فرآیند اعمال شده و در اولویت اول قرار دارند اما راهکارهای بهبود در اولویت دوم قرار داشته و در صورت عدم حصول نتیجه از طریق بهینه‌سازی، اعمال می‌شوند. راهکارهای بهبود در واقع اقدامات اصلاحی در سیستم نگهداری و تعمیرات بوده و راهکارهای بهینه به صورت تنظیمات در حین بهره‌برداری می‌باشد.

4- روند اجراییِ مدیریت احتراق

مراحل فرآیند مدیریت احتراق را به صورت گامهای اجرایی زیر می‌توان مستقر نمود.

گام اول) جمع‌آوری داده‌ها۴

پشتوانهٔ هر فرآیند و نظام جامعی، وجود بانک اطلاعاتی قوی و به روز شده۵ می‌باشد. در فرآیند مدیریت احتراق نیز قبل از اقدام می‌بایست چهارچوب مشخصی جهت جمع‌آوری داده‌ها تدوین گردد. داده‌های فرآیند را می توان به چند بخش اصلی زیر تقسیم نمود:

الف) داده‌های اندازه‌گیری شده توسط تجهیزات اندازه‌گیری شامل جریان، دما و فشار

ب) داده‌های کیفی که به صورت بازدیدهای چشمی قابل نظارت می‌باشد مانند وضعیت شعله

ج) داده‌های طراحی و محاسباتی که از طریق مدارک طراحی و منابع تئوری قابل استخراج یا محاسبهٔ مجدد می‌باشند مانند راندمان، هوای تئوری احتراق، نسبت هوا به سوخت و هوای اضافی

---

[2] Flue Gas
[3] On line
[4] Data
[5] Up to date

www.SID.ir

Archive of SID

در خصوص داده‌های قابل اندازه‌گیری، تجهیزات ابزاردقیقی شامل گیج‌های فشار، فلومترها، دماسنج‌ها وجود دارد و در خصوص داده‌های کیفی نیز ابزارهای نظارتی همچون چشمی‌ها و دوربین‌های نصب شده بر روی کوره موجود می‌باشد که انواع آنها در صنایع مختلف، متفاوت است.

جهت تسهیل در شناسایی داده‌های مورد نیاز برای فرآیند مدیریت احتراق؛ در جدول (1)، لیست نمونه‌ای از داده‌های مؤثر با توجه به کمیت‌های اصلی، ابزار و محل اندازه‌گیری، روش جمع‌آوری، نحوه و دورهٔ نظارت به طور جامع و مطابق با ساختارِ نیروگاه حرارتی شازند ارائه شده است.

جدول (1): لیست نمونه‌ای از داده‌های مدیریت احتراق

شماره	عامل مؤثر	نوع	کمیت اصلی	ابزار اندازه‌گیری	محل اندازه‌گیری	روش جمع‌آوری	نحوهٔ نظارت	دورهٔ نظارت
D1	جریان (Flow)	کمی	هوای ورودی	جریان سنج (Flowmeter)	مسیر اصلی ورودی (مشترک کلیهٔ مشعل‌ها)	سیستم کنترل Oparation Manitoring	بررسی منحنی‌ها (Curves)	مداوم (Online)
							بررسی گزارش‌ها (Logs)	
D2	فشار Pressure	کمی	هوای ورودی	فشار سنج (Pressure switch)	خروجی فن‌های دمندهٔ هوا ورودی هیترهای گرمایش خروجی هیترهای گرمایش	سیستم کنترل (OM)	بررسی منحنی‌ها	مداوم
							بررسی گزارش‌ها	
D3	دما Temprature	کمی	هوای ورودی	دماسنج (Thermometer)	ورودی فن‌های دمندهٔ هوا ورودی هیترهای گرمایش خروجی هیترهای گرمایش	سیستم کنترل (OM)	بررسی منحنی‌ها	مداوم
							بررسی گزارش‌ها	
D4	توزیع طبقاتی	کمی	هوای ورودی	فلومتر	ورودی هر طبقه از مشعل‌ها	چک لیست	بررسی چک لیست‌ها	روزانه (A Shift)
D5	توزیع پیرامونی	کمی	هوای ورودی	فلومتر	هوای اصلی پیرامونی مشعل	چک لیست	بررسی چک لیست‌ها	روزانه
		کیفی		چشمی کوره	کوره			زمان استارت مشعل

گام دوم) شناسایی نقاط بحران[6]

با توجه به نگرش نتیجه‌گرای مدیریت احتراق، بعد از استقرار بانک اطلاعاتی جامع، گام اصلی شناسایی نقاط بحران در فرآیند می‌باشد، به طور کلی هدف از مدیریت احتراق نیز شناسایی نقاط بحرانی و تلاش جهت بهینه‌سازی و بهبود آنها می‌باشد. معیار شناسایی نقاط بحرانی بر اساس حدود مجاز عوامل بحران می‌باشد لذا بعد از ورود داده‌های مربوط به خروجی، مقادیر به صورت مقایسه‌ای تحلیل شده و هرگونه خروج از حد مجاز گزارش می‌گردد. در جدول (2)، کلیهٔ عوامل احتمالی که به نوعی تغییرات آنها باعث بحران می‌گردد لیست شده و حدود بحرانی آنها بر اساس مدارک، مراجع و استانداردها به صورت عددی و یا سوابق تجربی ارائه گردیده است.

[6] Crisis Point

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (2): لیست نقاط بحرانی در فرآیند مدیریت احتراق

شماره	عامل بحران	کمیت اصلی	دادهٔ مرتبط	حد بالای بحران	حد پایین بحران	معیار شناسایی	مرجع
C1	منو اکسید کربن (CO)	دود خروجی	D26	150 ppm	0 ppm	افزایش بالاتر از حد بحران	سازمان محیط زیست ایران
C2	اکسیدهای نیتروژن (NOx)	دود خروجی	D27	350 ppm	0 ppm	افزایش بالاتر از حد بحران	سازمان محیط زیست ایران
C3	دی اکسید گوگرد (SO2)	دود خروجی	D28	800 ppm	0 ppm	افزایش بالاتر از حد بحران	سازمان محیط زیست ایران
C4-1	اکسیژن (O2)	دود خروجی	D30	6%	3%	خروج از محدودهٔ بحران	مراجع تئوری
C4-2	اکسیژن (O2)			7%	4%	خروج از محدودهٔ بحران	مراجع تئوری
C5	طول شعله	شعله	D33	تجربی	تجربی	افزایش یا کاهش بیش از حد طول شعله	تحلیل‌های تئوری
C6	پایداری شعله	شعله	D34	تجربی	تجربی	تغییر در سرعت و فاصله از مشعل	تحلیل‌های تئوری
C7	جهت شعله	شعله	D35	تجربی	تجربی	بالاکشیدن، برگشت و تمایل به طرفین	تحلیل‌های تئوری
C8	صدای شعله	شعله	D37	تجربی	تجربی	صدای غیر نرمال	تحلیل‌های تئوری
C9	قابلیت نگهداری	شعله	D38	تجربی	تجربی	خاموشی	تحلیل‌های تئوری
C10	برگشت سوخت	سوخت گاز	D13	محاسباتی	محاسباتی	تغییر در دبی سوخت برگشتی	مستندات و محاسبات مشعل
C11	برگشت سوخت	سوخت مایع	D20	محاسباتی	محاسباتی	تغییر در دبی سوخت برگشتی	مستندات و محاسبات مشعل
C12	ظرفیت حرارتی	انرژی خروجی	D39	محاسباتی	محاسباتی	تغییرات دمایی بخار تولیدی	مدارک طراحی بویلر
C13	ظرفیت مشعل	_____	D40	محاسباتی	محاسباتی	تغییر در دبی سوخت برگشتی	مدارک طراحی مشعل
C14	راندمان احتراق	_____	D41	_____	محاسباتی	کاهش راندمان احتراق از میزان نرمال	مدارک و مستندات طراحی
C15	هوای احتراق	_____	D42	_____	محاسباتی	کاهش هوای واقعی از میزان تئوری	مدارک و مستندات طراحی
C16	نسبت هوا به سوخت	_____	D43	_____	محاسباتی	تغییر نسبت هوا به سوخت	مدارک و مستندات طراحی
C17	نسبت تعادل	_____	D44	_____	محاسباتی	تغییر نسبت تعادل	مدارک و مستندات طراحی
C18	هوای اضافی	_____	D45	_____	محاسباتی	تغییر میزان هوای اضافی	مدارک و مستندات طراحی
C19	دمای دود	دود خروجی	D31	260 °C	135 °C	خروج از محدودهٔ بحران	مراجع تئوری
				315 °C	163 °C		مراجع تئوری
C20	شکل ظاهری		D32	تجربی	تجربی	تغییر رنگ	تحلیل‌های تئوری

گام سوم) شناسایی و تحلیل شاخص‌های کلیدی[7]

بروز بحران ناشی از به هم خوردن شرایطِ عامل‌های مؤثر در کمیت‌های ورودی به فرآیند احتراق می‌باشد. به عبارت دیگر شاخصهای کلیدی، متغیرهای قابل کنترل در فرآیند احتراق می‌باشند که تغییر در شرایط آنها منجر به تغییرات در خروجیِ فرآیند احتراق می‌گردد. در مدل احتراق، شاخص‌های کلیدی حکم وجوهِ مثلث احتراق بوده که با تغییر آنها سطح مثلث احتراق تغییر می‌یابد. در بیان ریاضی شاخص‌های کلیدی به عنوان متغیر مستقل بوده که عوامل بحران‌زا تابعی از آنها می‌باشند، یعنی:

$$C = f(K) \qquad (2)$$

که در رابطهٔ (2)؛ C به عنوان نقاط بحرانی، متغیری وابسته به K یعنی شاخص‌های کلیدی می‌باشد و f تابعی می‌باشد که از طریق تئوری و یا تجربی قابل استخراج است. در جدول (3) کلیهٔ شاخص‌های کلیدی و قابل کنترل مختص کمیت‌های ورودی فرآیند احتراق با استناد به صنعت نیروگاه (سوخت گاز) استخراج و چگونگی بروز بحران و اثرات آن ارائه شده است.

[7] Critical Key

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (3): لیست شاخصهای کلیدی در فرآیند مدیریت احتراق (سوخت گاز)

شماره	شاخص کلیدی	کمیت اصلی	دادهٔ مرتبط	چگونگی بحرانی	اثرات بحران
K1	دبی	هوای ورودی	D1	افزایش غیر نرمال	کاهش انتقال حرارت، کاهش راندمان، افزایش NOx، افزایش تلفات دودکش
				کاهش غیر نرمال	افزایش CO، اتلاف سوخت، تولید دوده
K2	فشار	هوای ورودی	D2	افزایش غیر نرمال	افزایش NOx، کاهش راندمان، کاهش انتقال حرارت، تغییر طول شعله
				کاهش غیر نرمال	افزایش CO و NOx، تغییر طول شعله
K3	دما	هوای ورودی	D3	کاهش غیر نرمال	افزایش CO، کاهش راندمان، خوردگی، تغییر سطح هوای اضافی
K4	توزیع طبقاتی	هوای ورودی	D4	عدم تقارن	افزایش CO و NOx و O2، کاهش راندمان، تغییر طول شعله
K5	توزیع پیرامونی	هوای ورودی	D5	عدم تقارن	افزایش CO و NOx، تغییر طول شعله، کاهش راندمان
K6	اغتشاش	هوای ورودی	D6	چرخش نامناسب	افزایش CO و NOx، تغییر طول شعله، کاهش راندمان
K7	مرحله‌بندی	هوای ورودی	D7	تقسیم‌بندی نامناسب	افزایش CO و NOx، تغییر طول شعله، کاهش راندمان، تغییر دمای شعله و انتقال حرارت
K8	دبی	سوخت گاز	D8	افزایش غیر نرمال	افزایش CO، کاهش راندمان، افزایش مصرف سوخت، افزایش طول شعله
				کاهش غیر نرمال	کاهش انرژی خروجی، افزایش O2، کاهش راندمان، کاهش طول شعله
K9	فشار	سوخت گاز	D9	افزایش غیر نرمال	کاهش انرژی، افزایش دانسیتهٔ سوخت، افزایش مصرف سوخت
				کاهش غیر نرمال	افزایش CO و NOx، کاهش راندمان
K10	دما	سوخت گاز	D10	کاهش غیر نرمال	کاهش دانسیته، کاهش انرژی، افزایش CO، کاهش راندمان
K11	توزیع طبقاتی	سوخت گاز	D11	عدم تقارن	نامتعادل شدن شرایط کوره، تغییر اشتعال‌پذیری شعله
K12	توزیع پیرامونی	سوخت گاز	D12	عدم تقارن	افزایش CO، کاهش راندمان، تغییر جهت شعله، ناپایداری شعله
K13	برگشت سوخت	سوخت گاز	D13	افزایش غیر نرمال	تغییر کارایی مشعل، تغییر شرایط انتقال حرارت، کاهش راندمان، تغییر اشتعال پذیری
				کاهش غیر نرمال	تغییر کارایی مشعل، افزایش مصرف سوخت، تغییر اشتعال پذیری
K14	پاکیزگی	سوخت گاز	D14	کثیف شدن سوخت	نوسان دبی و فشار سوخت، ناپایداری شعله

گام چهارم) بهینه‌سازی و بهبود[8]

همانطور که اشاره شد؛ شاخص‌های کلیدی، متغیرهای مستقلِ قابل کنترل می‌باشند لذا با شناسایی نقاط بحرانی و تعیین شاخص‌ها کلیدی مؤثر به راحتی می‌توان جهت بهینه‌سازی و بهبود گام برداشت. هر یک از شاخصهای کلیدی دارای راهکاری بهینه و بهبود خاص خود بوده و از طریق ابزارهای کنترلی تنظیم و یا اصلاح می‌گردند که با توجه به محدودیت مقاله، جداول مربوطه ارائه نشده است.

[8] Optimization & Improvement

www.SID.ir

Archive of SID

5- فرآیند مدیریت احتراق در نیروگاه حرارتی شازند

5-1- آشنایی با بویلر نیروگاه شازند

نیروگاه حرارتی شازند دارای 4 واحد 325 مگاواتی می‌باشد که بویلر آن ساخت شرکت Dong fang Boiler works کشور چین،کارکرد زیر نقطهٔ بحران، دارای ری هیت میانی، سیرکولاسیون طبیعی، درام‌دار، تحت فشار و با مشعلهای روبروی هم و با شرایط بهره‌برداری زیر می‌باشد:

ماکزیمم ظرفیت بخار تولیدی =1065 t/h
فشار بخار خروجی سوپرهیت = 16.7Mpa
دمای بخار خروجی سوپرهیت = 540^oC
فلوی بخار ری هیت = 862.8 t/h
فشار بخار خروجی ری هیت = 3.4Mpa
دمای بخار خروجی ری هیت = 540 ^oC

5-2- سیستم هوا و دود در بویلر

هوای مورد نیاز برای احتراق بوسیله دو عدد فن (Forced Draft Fan) تأمین می گردد و میزان هوای مورد نیاز برای احتراق؛ که متناسب با تعداد مشعلها بوده و در بارهای مختلف، متفاوت می باشد؛ بوسیله دمپر کنترلی ورودی تنظیم می گردد. هوای ورودی به بویلر در سه مرحله گرم می‌شود: هیتر بخاری اولیه (Steam Air heater)، هیتر بخاری ثانویه و هیتر هوا/ دود (یا ژانگستروم) (Gas Air Heater). هوا پس از گرمایش از طریق مسیرهای هوا در دو طرف کوره به کانال‌های اصلی مشعل‌ها (Windbox) وارد می‌شود. کنترل هوای ورودی برای هر مشعل از طریق دمپرهای کنترلی تنظیم می‌گردد. پس از احتراق هوا و سوخت در کوره، محصولات احتراق با عبور از 5 مرحله بخار سوپرهیت و 2 مرحله بخار ری‌هیت وارد ژانگستروم شده و در نهایت از دودکش خارج می‌گردند.

5-3- ساختمان مشعلها

بویلر نیروگاه دارای 24 عدد مشعل در دو طرف کوره می‌باشد که در هر طرف سه طبقهٔ چهارتایی مشعل نصب شده است. مشعل‌ها از نوع مرحله‌ای سه گانه با دمپرهای کنترلی مجزا و دوگانه سوز (گاز طبیعی و مازوت) می‌باشند: (شکل (3)).

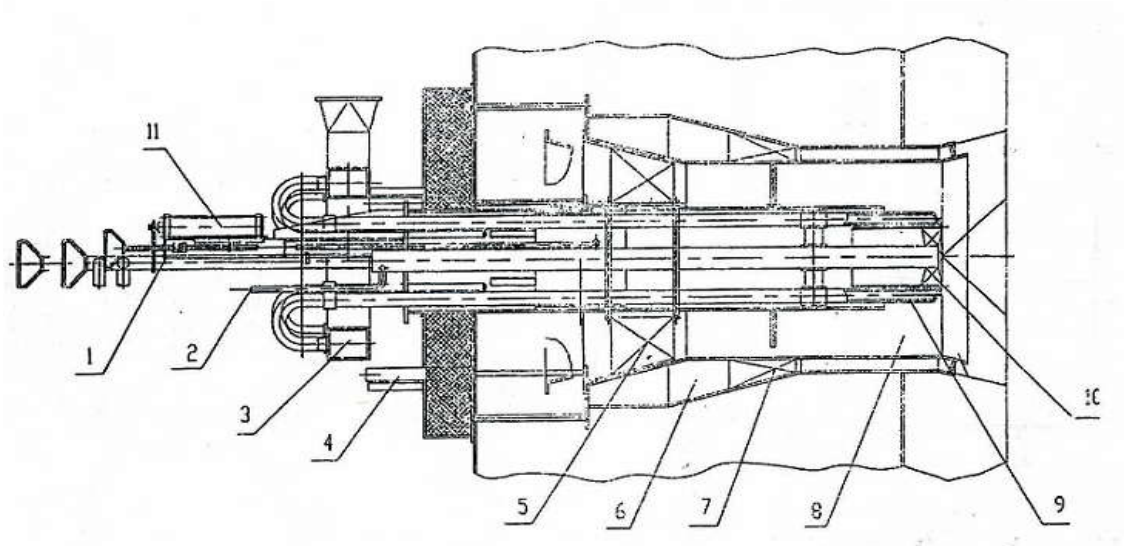
1. هوای اولیه (Primary air)
2. هوای ثانویه (Secondary air)
3. هوای ثالثیه (Tritiary air)

وظیفهٔ هوای اولیه، اختلاط هوا با مه سوخت[9] قبل از سوختن جهت جلوگیری از تجزیهٔ حرارتی سوخت در دمای بالا می‌باشد. هوای ثانویه، هوای اصلی احتراق بوده و در تنظیم شکل شعله و میزان چرخش نقش مؤثری دارد. دمپر ثانویه دارای پره‌های چرخشی یا سویلر بوده که قابلیت تنظیم میزان هوای چرخش را دارا می‌باشند. هوای ثالثیه نیز از اطراف وارد محفظهٔ احتراق شده و با خنک‌کاری شعله باعث کاهش NOx حرارتی در شعله می‌گردد. مقدار هوای ثانویه با تغییر دمپرهای اولیه و ثالثیه، تغییر می کند و وضعیت سویلرهای دمپر ثانویه تأثیر بسزایی در توزیع و چرخش هوا دارد. وضعیت مناسب هوای اولیه و ثالثیه به موقعیت سویلرها بستگی داشته که تنظیم آنها از طریق سعی و خطا و با توجه به نوع سوخت صورت می‌گیرد.

[9] Oil fog

www.SID.ir

Archive of SID



1- گان یا لولهٔ ورود سوخت مایع 2- هوای خنک کاری گان 3- هدر توزیع سوخت گاز 4- دمپر ثانویه 5- پره های چرخندهٔ هوای ثانویه 6- مسیر هوای کاهندهٔ Nox 7- پره های چرخندهٔ هوای کاهندهٔ Nox 8- مسیر هوای اصلی احتراق 9- نازلهای سوخت گاز 10- پره‌های پایدارکنندهٔ مشعل 11- محرک حرکت گان

شکل (3): نمای کلی از مشعل‌های موجود در نیروگاه حرارتی شازند

مشکلات فراوان در سیستم احتراق نیروگاه شازند، از طراحی گرفته تا نصب و راه‌اندازی، منجر به انجام فعالیت‌های چشمگیری در این زمینه شده است. با توجه به عدم امکان ارائهٔ کامل فعالیت‌های مدیریت احتراق تنها به دو مورد اجرایی که منجر به تنظیمات بهینه و اقدامات اصلاحی بهبود شده، پرداخته‌ایم (هر دو مورد در سوخت گاز می‌باشند.). جمع‌آوری داده‌ها در نیروگاه از طریق سیستم کنترل گسترده (DCS) و محلی (Local) صورت گرفته و با توجه به عدم استقرار سیستم آنالیز دود به صورت مداوم (Online) از دستگاه تست دود مدل Testo استفاده می‌گردد. چک لیست‌ها، لاگ شیت‌های بهره‌برداری، منحنی‌ها و فرم‌های تست دود به عنوان بانک اطلاعاتی در فرآیند مدیریت احتراق جمع‌آوری و گزارش می‌گردد.

1-4-5- مورد تنظیم و بهینه‌سازی

گام اول) شناسایی نقاط بحران

با توجه به گزارش تست دود (جدول (4)) و استفاده از جدول(2)، بالا بودن مقدار CO در محصولات خروجی (C1)، به عنوان نقطهٔ بحران شناسایی گردید.

گام دوم) شناسایی شاخصهای کلیدی

بر اساس جدول (3)، شاخصهای کلیدی K1~10 و K12 و K14 تعیین گردید.

گام سوم) بهینه‌سازی

شاخصهای فشار (K2) و دمای هوا (K3) چک و با مقادیر طراحی مقایسه گردید و مغایرتی مشاهده نشد.

شاخصهای دبی (K8)، فشار (K9) و دمای سوخت گاز (K10) چک و با مقادیر طراحی مقایسه گردید و مغایرتی مشاهده نشد.

شاخص توزیع طبقاتی هوا (K4) با بررسی فشار هوای سر مشعل در محل چک گردید و مشکلی مشاهده نشد.

شاخص مرحله‌بندی هوا (K7) از طریق چک دمپرهای سه‌گانه و مقایسه با مقادیر تنظیمی انجام و مغایرتی مشاهده نشد.

از صحتِ شاخصهای توزیع پیرامونی (K5) و اغتشاش هوا (K6) با بررسی وضعیت نرمال شعله، اطمینان حاصل شد.

از پاکیزگی سوخت گاز (K14) با بررسی اختلاف فشار فیلترهای سوخت، اطمینان حاصل گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص دبی هوا (K1)، نسبت به هوای احتراق ارائه شده در مدارک طراحی مغایرت داشت. جهت بررسی بیشتر هـوای احتـراق مجدد مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت:

5-4-1-1- محاسبهٔ هوای احتراق در سوخت گاز

در این بخش سعی بر این است که هوای تئوریِ مورد نیاز احتراق در نیروگاه شازند از سه طریق تعیین و بررسی گردد. هدف از محاسبهٔ هوای تئوری جهت احتراق از سه روش در واقع بررسی اشکالات در مدارک و تثبیت میزان هوای تئوری جهت استناد و استخراج خطاها و مشکلات در شرایط واقعی می باشد.

روش اول: محاسبهٔ هوای تئوری از طریق معادلات احتراق

در این روش با لحاظ ترکیبات سوخت و شرایط موجود در مدارک طراحی هوای مورد نیاز کوره با وجـود 23 مـشعل و 5 درصد هوای اضافی در بار کامل بویلر، $456 m^3/s$ محاسبه گردید.

روش دوم: استخراج مقادیر از جداول استاندارد و محاسبهٔ هوای تئوری احتراق

در این بخش نسبت هوا به سوخت از جداول استاندارد در مراجع، استخراج و مبنای محاسبات قرار گرفته، با توجه به داده‌های احتراقِ سوخت های هیدروکربونی، نسبت هوا به سوخت تئوری جهت گازهای مختلف قابل استخراج می باشد، لذا با در اختیار داشتن AFR جهت هر یک از گازهای موجود در سوخت گاز مصرفی نیروگاه و درصد حجمی آنها به راحتی می توان نسبت هوا به سوخت کلی را تعیین نمود. به طور مثال جهت گاز متان، CH_4 با 85/009 درصد حجمی در سوخت گاز، نسبت هوا به سوخت تئوری برابر 17/195 در واحد جرم می باشد یا به عبارتی یک کیلوگرم سوخت نیازمند 17/195 کیلوگرم هوا جهت احتراق کامل می باشد. در این روش هوای مورد نیاز احتراق در شرایط مشابه روش اول، $435 m^3/s$ محاسبه گردید.

روش سوم: استفاده از مدارک و مستندات نیروگاه

در مدارک و اسناد طراحی نیروگاه، میزان هوای احتراق در شرایط مشابه دو روش قبلی $421 m^3/s$ ارائه شده است اما طبق بررسی‌های به عمل آمده چندین مورد اشتباه در محاسبات مشاهده گردید که هیچگونه توجیهی برای آنها از طریق شرکت سازنده ارائه نگردید.

تناقض در مقادیر هوای احتراق، باعث گردید که شاخص دبی هوا (K1) به عنوان عامل بحران‌زای اصلی تعیین و بهینه‌سازی بر روی آن انجام گیرد که تنظیمات انجام شده در جدول (4) آمده است.

جدول (4): مراحل بهینه‌سازی شرایط احتراق در واحد شمارهٔ 2 – در شرایط سوخت گاز – 22 مشعل- 290 مگاوات

ردیف	شرایط	دبی هوا (K1) m^3/s	مقدار CO ppm	تغییرات اعمال شده
1	گزارش اولیه	426	800	متعادل ساختن کوره
2	بهینه‌سازی	440	145	افزایش هوا
3	بهینه‌سازی	445	140	افزایش هوا

با توجه به جدول (4)، با افزایش میزان هوای ورودی احتراق از 426 (m^3/s) به 440، میزان CO به طور چـشمگیری کـاهش یافته است لذا با رسیدن به حد مطلوب و کاهش اندک CO با افزایش بیشتر هوا، بهینه‌سازی متوقف گردید.

5-4-2- مورد بهینه‌سازی و بهبود

گام اول) شناسایی نقاط بحران

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس گزارش ارسالی، وضعیت شعله‌ها در کورهٔ واحد شمارهٔ یک بسیار غیر طبیعی بوده به طوریکه امتداد شعله در ارتفاعی حدود 10 متر بالای کوره قابل مشاهده بود. پس از بازدید از وضعیت شعله‌ها از طریق چشمی‌ها، عوامل زیر به عنوان نقاط بحران شناسایی گردید که باعث به هم خوردن شرایط نرمال کوره و افزایش میزان آلاینده‌ها گردیده بودند.

شعله در مشعل شمارهٔ RC3 به مشعل بسیار نزدیک بود (C6).

شعله در مشعل شمارهٔ RC4 ناپایدار بوده و جهت آن به سمت بالا متمایل بود (C6,7).

شعله در مشعل شمارهٔ RC1 بسیار ناپایدار بود (C6).

شعله در مشعل شمارهٔ FB1 به مشعل بسیار نزدیک بود (C6).

شعله در مشعل شمارهٔ FB2 ناپایدار بوده و دارای پرش بود (C6,9).

شعله در مشعل شمارهٔ RB2 بالاکشیدگی زیادی داشت (C5,7).

گام دوم) شناسایی شاخصهای کلیدی

از آنجاکه عامل اصلی بحران شعله شناسایی گردید، شاخصهای K2, K4~7, K8~9, K11, K12 به عنوان عوامل کلیدی استخراج شد.

گام سوم) بهینه‌سازی و بهبود

فشار هوا (K2) در نقاط مختلف مسیر هوا چک گردید و مغایرتی مشاهده نشد.

از نحوهٔ اغتشاش (K6) و مرحله‌بندی هوا (K7) با چک و بررسی دمپرهای سه‌گانهٔ مشعلها، اطمینان حاصل گردید.

دبی (K8) و فشار هوا (K9) چک گردید و مغایرتی مشاهده نشد.

از توزیع طبقاتی سوخت (K11) با توجه به فشار سوخت سر مشعل‌ها، اطمینان حاصل گردید.

اگرچه عامل اصلی بحران شناسایی گردید اما با توجه به حساسیت وجود آلاینده‌ها و سابقهٔ هوای احتراق، در وحلهٔ اول بهینه‌سازی مطابق به شرح جدول (5) صورت گرفت که متأسفانه نتیجهٔ چندانی حاصل نگردید.

جدول (5): مراحل بهینه‌سازی در واحد شمارهٔ یک

Load (MW)	تعداد مشعل	فلوی هوا (m3/s)	O2 (٪)	Co (ppm)	Nox (ppm)	توضیحات
300	23	430	1.93	811	457	RB3 خارج
300	23	450	2.37	354	485	افزایش هوا
300	23	455	2.77	319	463	افزایش هوا
300	22	455	2.59	290	463	خارج کردن RB2
300	22	455	2.87	413	460	خروجRC1-RC2
300	20	455	3.85	271	445	خروج RC3-RC4

همانطور که در جدول (5) مشخص است، اگرچه تغییر هوا در مرحلهٔ اول باعث کاهش CO گردیده است اما با کاهش مشعل‌ها و افزایش مجدد هوا تغیی چندانی حاصل نگردید همچنین تغییرات Nox بسیار اندک و نا متعادل می‌باشد و در مجموع روند تغییرات از رابطهٔ خاصی تبعیت نمی‌کند و متناسب با خروج مشعل‌ها متغیر است.

در نتیجه بررسی وضعیت شاخصهای باقیمانده به زمان تعمیرات دوره‌ای واحد موکول گردید و پس از خروج واحد موارد به شرح زیر چک و اصلاح گردید:

- به علت طراحی نامناسب مسیرهای هوا و اتاقک هوای مشعل‌ها، توزیع طبقاتی (K4) و پیرامونی (K5) مشکل داشته و باعث تغییر طول شعله در مشعل‌های بحرانی گردیده بود (شکل 4- الف). به جز چند مورد تعمیراتی بر روی پره‌های چرخنده (شکل 4- ب)، اقدام خاصی صورت نپذیرفت. با توجه به عدم امکان تغییر در سیستم طراحی مقرر گردید که تنظیم شاخص‌های مذکور از طریق دمپرهای کنترلی مشعل‌ها صورت پذیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

- به علت سوختگی نازل‌های گاز در مشعل‌های بحرانی (شکل 5- الف)، کلیهٔ مشعل‌ها دارای شعله‌ای جهت‌دار و ناپایدار شده و باعث تغییر شرایط کوره شده بودند. کلیهٔ نازل‌های سوخته شده به طور کامل تعویض گردید (شکل 5- ب).
- به علت سوختگی پایدارکننده‌های شعله در مشعل‌های بحرانی (شکل 5- الف)، شعله در برخی از آنها ناپایدار بود که کلیهٔ موارد معیوب تعویض گردید (شکل 5- ب).

6- نتیجه‌گیری

در خصوص مورد اول، با تنظیم هوای احتراق، میزان CO در محصولا احتراق از $800ppm$ به $140ppm$ کاهش یافته و در محدودهٔ مجاز قرار گرفت که بیانگر رفع بحران از طریق شاخصهای کلیدی می‌باشد. در مورد دوم نیز با اعمال اقدامات اصلاحی در تعمیرات دوره‌ای، شرایط کوره به وضعیت نرمال بازگشته و هرگونه بالاکشیدگی و ناپایداری در شعله‌ها حذف گردید. علاوه بر حذف موارد بحرانی در واحدها، خطاها و عیوب بسیاری در طراحی، نصب و راه‌اندازی مشاهده گردید که به وضوح اهمیت بازطراحی را حتی در صنایع جوان پر رنگ‌تر می‌سازد. مدیریت احتراق با توجه به این نکته به دنبال رسیدن به نقطهٔ آرمانی در صنعت انرژی امروز می‌باشد.

6-1- مشکلات نیروگاه

فعالیت‌های انجام گرفته در نیروگاه اثرات مثبت و تجربیات فراوانی را به دنبال داشته است اما کماکان مشکلاتی در این راستا وجود دارد که به اجمال و به صورت کلی به شرح زیر می‌باشد:

1- در اختیار نبودن مدارک طراحی کوره، مسیرهای هوا و مشعل‌ها
2- عدم وجود مرجع تنظیم هوای مرحله‌ای در مشعل‌ها با توجه به تغییر شرایط
3- عدم تطابق میزان هوای محاسباتی احتراق و مقادیر واقعی (وجود اشتباهات فراوان در مدارک)
4- فقدان تجهیزات کنترلی مناسب در سیستم احتراق (فلومتر هوا، فشارسنج های مناسب، آنالایزر آن لاین و ...)
5- وجود مشکلات در تجهیزات موجود (دمپرهای کنترلی و سه‌گانه، دوربین‌ها، چشمی‌ها، داکت‌ها و ...)
6- بروز احتراق ناقص با وجود هوای کافی و افزایش میزان آلاینده‌ها
7- نامناسب بودن وضعیت شعله در اکثر موارد (ناپایداری، طول بلند، بالاکشیدگی و ...) و نبودن مرجع در این خصوص
8- سوختگی نازل‌های گاز، غلاف‌ها و اگنایتورها
9- سوختگی رفرکتوری مشعل‌ها
10- مسدود شدن گان‌های مازوت
11- نامتعادل بودن وضعیت کوره از لحاظ هوایی (میزان اکسیژن خروجی) و دمایی (تشعشع دیواره‌ها و مشعل‌ها)

مقاله ارائه شده، قسمت کوچکی از فعالیت‌های انجام شده در راستای مدیریت احتراق بوده که به صورت بسیار خلاصه و بدون پرداختن به مسائل تحلیلی و محاسباتی بیان شده است و در واقع چکیدهٔ مختصری از مطالعات انجام شده در این خصوص می‌باشد. هدف از ارائهٔ این مختصر، گشودن پنجره‌ای بر مقولهٔ مدیریت احتراق می‌باشد که در کشور ما با وجود کثرت صنایع مرتبط، چندان توجهی به آن نمی‌گردد. مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در این خصوص به صورت جامع و کامل در اسناد نیروگاه شازند موجود می‌باشد (مرجع6).

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (4- الف) عدم تناسب در پره‌های چرخندهٔ هوا

شکل (4- ب): اصلاح پره‌های چرخندهٔ هوا

شکل (5- الف): سوختگی نازل‌های گاز و استابلایزرها

شکل (5- ب): تعویض نازل های گاز و ترمیم استابلایزرها

مراجع

1- بارنارد، ج.ا.، برادلی ج.ن."شعله و احتراق"، ترجمهٔ محمد خشنودی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، 1368
2- میالی، م.،" سوخت و احتراق"، دانشگاه صنعت آب و برق، جزوهٔ آموزشی گروه نیروگاه، 1378
3- وارناتز،یو.ماس، ج.، "احتراق"، ترجمهٔ دکتر محمد مقیمیان، دانشگاه فردوسی مشهد،1381
4- نبهانی، ن.، "سوخت و احتراق"، انتشارات ناقوس، تهران، 1384
5- نجفی، ا.، مدیریت سوخت در نیروگاه شازند، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد (صنایع)، دانشگاه آزاد اراک، 1382
6- شاهمنصوری، س.، مدیریت احتراق در نیروگاه شازند، پروژهٔ تحقیقاتی، نیروگاه شازند، 1386
7-DEC, Mapna Co., " combustion of fuel in boilers and combustion control systems".- shazand power plant, 2000
8-DEC, Mapna Co., "Design, Operation, Maintenance Manual of Shazand power plant", Vlo. 3/part 2, 2002
9-DEC, Tavanir," Firing equipment instruction"- Shazand power plant manual, 1997
10- Charles E. Baukal,Jr ,"Industrial burners handbook",CRC PRECC,2003

www.SID.ir