

## بررسی پیامدهای سوخت و احتراق عدم استفاده از هیترهای فشار قوی در واحدهای نیروگاه رامین

سامان علی محمدی

محمدالله ممبینی

بهروز وحدتی

کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - نیروگاه رامین  
[s.alimohamadi2008@gmail.com](mailto:s.alimohamadi2008@gmail.com)

کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - نیروگاه رامین  
[h.sarzamin17@gmail.com](mailto:h.sarzamin17@gmail.com)

کارشناسی مهندسی مکانیک - نیروگاه رامین  
[behroozvahdati@yahoo.com](mailto:behroozvahdati@yahoo.com)

### چکیده

در این مقاله پیامدهای سوخت و احتراق که در اثر عدم استفاده از هیترهای فشار قوی واحد های ۳۱۵ مگا واتی نیروگاه رامین بدست می آیند مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. پس از معرفی نیروگاه رامین، سیکل رانکین و هیترهای فشار قوی این نیروگاه دلایل لزوم استفاده از هیترهای فشار قوی تشریح می گردد، سپس راندمان بویلر مطابق استاندارد ASME PTC 4.1 در شرایط های مختلف محاسبه می شود. در مرحله بعد پس از بدست آوردن میزان افزایش مصرف سوخت با مقایسه راندمان بویلر میزان ضرر و زیان عدم استفاده از این هیترها در هر ۶ واحد نیروگاه رامین طی سال ۱۳۹۴ محاسبه می شود. در ادامه با محاسبه راندمان سیکل تأثیر عدم استفاده از هیترها بر راندمان تعیین می گردد و در نهایت پیامدهای افزایش میزان مصرف سوخت و افزایش فلاکس حرارتی در اثر احتراق ناقص و ضرر و زیان اقتصادی وارده به نیروگاه در طی همین سال بررسی و راه کارهای مناسب جهت رفع این مشکل ارائه می گردد.

کلمات کلیدی: بویلر - هیترهای فشار قوی - سوخت - احتراق - راندمان

### ۱- مقدمه

اولین پدیده ای که بشر توانست از آن به عنوان منبع انرژی استفاده نماید، پدیده احتراق بوده که همچنان به عنوان اولین و مهم ترین فرآیند تبدیل انرژی به شمار می آید. فرآیندی بسیار پیچیده و دقیق که انرژی درونی را با تغییر به انرژی حرارتی در بسیاری از موارد از جمله گرمایش، تولید بخار محرک و نیروی مکانیکی به کار می گیرد. اهمیت پدیده احتراق در دنیای صنعتی امروز باعث گردیده است که اصول و قواعد فراوانی در این راستا حاصل گردد به گونه ای که امروزه از طریق نرم افزارهای مختلف به مدلسازی این فرآیند پرداخته و نتایج بر این اساس بررسی و تحلیل می گردد. با وجود توسعه روز افزون فعالیت ها در خصوص احتراق اما به علت غیر محسوس بودن این پدیده، بسیاری از مسائل مهم و بدون جواب می باشد. امروزه بیش از 95 درصد انرژی مصرفی جهان از راه احتراق فراهم می شود. باوجود پژوهش های روز افزون برای دستیابی به انرژیهای جانشین، اما در سده های آینده نیز احتراق، به ویژه در نیروگاههای حرارتی که یکی از منابع مهم تولید انرژی الکتریکی در جهان می باشد، اهمیت خود را حفظ خواهد کرد. از آنجا که ذخیره سوخت های فسیلی رو به اتمام است این سوختها پیوسته گرانتر می شوند و ناگزیر می بایستی به منابع دیگری روی آورد که دسترسی به آنها دشوارتر است. از این رو انجام فرآیند احتراق با بازدهی هر چه بیشتر از اهمیت ویژه ای برخوردار می گردد. بنابراین ملاحظه می گردد که بررسی فرآیندهای احتراق یک موضوع مهم و گسترش یافته علمی است و پیشرفت تکنولوژی در دهه گذشته بازتاب این حقیقت بوده است [1].

از جمله 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 می باشد. مدیریت انرژی در واقع یافتن فرصت های ذخیره انرژی، حفظ و بهبود آنها و دستیابی به انرژی

### ۲- بدنه اصلی

این بخش از مقاله به ۴ بخش زیر تقسیم می شود :

#### ۱-۲- معرفی نیروگاه رامین

به منظور تأمین نیاز شبکه برق استان خوزستان، در سال ۱۳۵۳ طی قراردادی بین شرکت سهامی تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر) و شرکت تکنوپروم اکسپورت اتحاد جماهیر شوروی سابق، نیروگاه رامین با احداث ۲ واحد واحد ۳۰۵ مگاواتی در کیلومتر ۲۵ جاده اهواز مسجد سلیمان و در نزدیکی رودخانه کارون در شمال شرقی اهواز احداث گردید. به ترتیب طی طرح های گسترش نیروگاه این نیروگاه به ۶ واحد تبدیل شد که ۴ واحد آن ۳۰۵ مگا واتی و دو واحد آن ۳۱۵ مگا واتی می باشند. نیروگاه رامین در حال حاضر بیش از ۴۵٪ برق مصرفی استان خوزستان و ۴٪ برق کل کشور را تولید می کند و بزرگترین نیروگاه بخاری کشور می باشد. در نیروگاه رامین نیز همانند تمامی نیروگاه های بخار جهان از سیکل رانکین استفاده می گردد. بویلر های نیروگاه رامین از نوع فوق بحرانی بدون دارم و دارای پمپ سیرکولاسیون می باشند. احتراق در این بویلرها از نوع روبرو است که توسط ۱۶ مشعل ( هر طرف ۸ مشعل در دو ردیف ) انجام می شود. [3].



شکل شماره ۱: نیروگاه حرارتی رامین اهواز با ظرفیت ۱۸۵۰ مگا وات تولید برق.

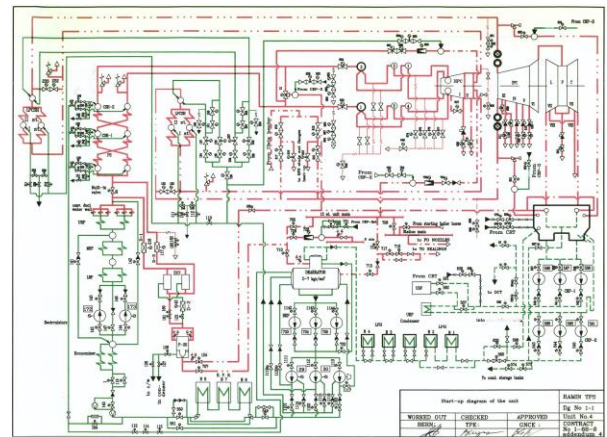


شکل شماره ۴: نمایش پوسته هیتر شماره ۸ هنگام دمنواژ.

۳-۲- محاسبه تغییرات مصرف سوخت با عدم در مدار قرارگیری هیترها از اوایل دهه ۸۰ میلادی تحقیقات عمده ای در راستای توسعه و بهبود عملکرد نیروگاهها و کاهش مصرف سوخت آنها انجام گرفته است. با توجه به اینکه در حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد هزینه های کلی یک نیروگاه مربوط به هزینه سوخت مصرفی آن می باشد، لذا بررسی عملکرد و محاسبه راندمان حرارتی از اهمیت زیادی برخوردار است. اهمیت این موضوع به گونه ای است که کاهش نرخ حرارتی به میزان ۱۰۰ Btu/kwh برای یک واحد نیروگاه ۴۰۰ مگاواتی، در حدود ۱۰۰۰۰۰ دلار صرفه جویی سالیانه به همراه خواهد داشت. راندمان سوخت به بخار یا آب، شاخص اندازه گیری همه جانبه راندمان حرارتی واقعی بویلر بوده که کارآمد بودن مبدل حرارتی بویلر را با احتساب کلیه تلفات حرارتی بویلر در نظر می گیرد. لذا این راندمان می باید در ارزیابی اقتصادی بویلر مورد محاسبه قرارگیرد. یکی از شیوه های مهم و موثر در کاهش میزان نرخ حرارتی واحدهای نیروگاهی استفاده از متدهای ارزیابی عملکرد است. در ارزیابی عملکرد با مشخص نمودن عملکرد موجود واحد و تعیین عملکرد مطلوب مطابق با شرایط و وضعیت فعلی تجهیزات، امکان برنامه ریزی های مناسب به منظور کاهش فاصله بین عملکرد فعلی و مطلوب واحد فراهم می شود و از این طریق می توان نرخ حرارتی واحد را به میزان قابل توجهی کاهش داد [4]. روش های متفاوتی جهت تعیین عملکرد واقعی واحدها وجود دارد. برخی از این روشها که در صنعت کاربرد دارد عبارتند از:

- تستهای دوره ای ارزیابی عملکرد که از روش استاندارد ASME با دقت بالا پیروی می کند.
- تستهای دوره ای عملکرد که توسط وسایل اندازه گیری واحد انجام می گیرد.
- روش محاسبه نرخ حرارتی سوخت (به ساده ترین صورت که معادل با نسبت سوخت مصرفی به توان تولیدی واحد می باشد).
- استفاده از سیستمهای پایش عملکرد که جهت بهبود مصرف انرژی به کار می رود.
- روش های اختلاف و یا انحراف.
- ترکیبهای برخی از روش های فوق.

در خصوص تست های دوره ای ارزیابی عملکرد بویلرهای نیروگاهی از استاندارد ASME PTC 4.1 استفاده می گردد که نمونه های مشابه در استانداردهای دیگر را نیز دارد اما یکی از پرکاربردترین روش ها استفاده از این استاندارد می باشد. مطابق استاندارد دو روش جهت محاسبه راندمان یک بویلر وجود دارد یک روش با نام روش مستقیم ( روش ورودی -



شکل شماره ۲: سیکل رانکین واحد ۳۱۵ مگاواتی نیروگاه حرارتی رامین اهواز [3].

۲-۲- معرفی هیترهای فشار قوی و دلایل عدم استفاده از آنها درون سیکل واحد های نیروگاه رامین ۳ هیتر فشار قوی با نام گذاری هیتر های شماره ۶، ۷ و ۸ وجود دارند که بخار مصرفی هیتر شماره ۶ از زیرکش سیلندر I.P توربین و هیترهای شماره ۷ و ۸ از زیرکش های سیلندر H.P توربین تغذیه می شوند. مقدار درجه حرارت کاری، فشار کاری و دبی بخار مصرفی آنها در جدول زیر ذکر شده است.

جدول شماره ۱: مشخصات فنی هیترهای فشار قوی نیروگاه رامین [3].

شماره هیتر	درجه حرارت (C°)	فشار بخار (kgf/cm <sup>2</sup> )	دبی بخار (ton/h)
۶	۴۲۴	۱۷/۳	۴۰/۹
۷	۳۰۸	۴۵/۵	۹۷/۷
۸	۳۶۳	۷۰/۱	۶۶/۹

وظیفه اصلی هر سه هیتر در مجموع افزایش درجه حرارت آب تغذیه ورودی به بویلر از ۱۶۹/۹ درجه سانتیگراد به ۲۷۹/۵ درجه می باشد که به عبارتی سهم هر هیتر به ترتیب شماره ۶، ۷ و ۸ درجه سانتیگراد، هیتر شماره ۷، ۵۳ درجه سانتیگراد و هیتر شماره ۸، ۱۹ درجه سانتیگراد می باشد. لازم به ذکر است که فشار آب تغذیه خروجی توربوفید پمپ ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد.

پس از راه اندازی واحد های نیروگاه رامین و اتمام دوره گارانتی با تحویل بهره برداری واحد ها از روس ها به ایرانی ها بدلیل عدم امکان کنترل سطح آب تغذیه این هیتر ها و امکان ورود آب به سیلندر های توربین که باعث خم شدن شافت های توربین می شود، این هیتر ها در مدار قرار نگرفتند. دلایل دیگر عدم امکان استفاده از این هیترها علاوه بر ریسک بهره برداری، تعمیرات بسیار مشکل (بدلیل لوپ های اسپیرال و حجیم بودن تجهیز) و عدم اطمینان به شات آف والوهای تخلیه بخار می باشد.



شکل شماره ۳: نمایش هیترهای فشار قوی واحد های نیروگاه حرارتی رامین.

خروجی از پمپ های آب گردشی کندانسور ۲۵ درجه سانتیگراد فرض شده است ( ارایه شده توسط شرکت سازنده نیروگاه ( شرکت پاور ماشین روسیه ) می باشند و سوخت گاز طراحی دارای ارزش حرارتی پایین ۹۸۵۰ کیلو کالری بر متر مکعب بوده در حالی که گاز فعلی مصرفی نیروگاه دارای ارزش حرارتی ۸۳۰۰ کیلو کالری بر متر مکعب می باشد.

No.	Test Name	Result	Test Method
1	Iron (Fe) ppm	1.2	ASTM D6395
2	Chromium (Cr) ppm	0.6	ASTM D6395
3	Aluminum (Al) ppm	2.3	ASTM D6395
4	Copper (Cu) ppm	0	ASTM D6395
5	Lead (Pb) ppm	0.5	ASTM D6395
6	Tin (Sn) ppm	0	ASTM D6395
7	Nickel (Ni) ppm	22.2	ASTM D6395
8	Titanium (Ti) ppm	0	ASTM D6395
9	Silver (Ag) ppm	0.1	ASTM D6395
10	Molybdenum (Mo) ppm	0.9	ASTM D6395
11	Silicon (Si) ppm	0	ASTM D6395
12	Sodium (Na) ppm	18.4	ASTM D6395
13	Boron (B) ppm	0.1	ASTM D6395
14	Vanadium (V) ppm	82	ASTM D6395
15	Zinc (Zn) ppm	1.3	ASTM D6395
16	Phosphorus (P) ppm	1.4	ASTM D6395
17	Calcium (Ca) ppm	0.4	ASTM D6395
18	Barium (Ba) ppm	0.6	ASTM D6395
19	Magnesium (Mg) ppm	0.6	ASTM D6395
20	Kin. Viscosity @50°C - cst	280	ASTM D445
21	Density -kg/m3 @15 °C	950	ASTM D4052
22	Pour Point - °C	+3	ASTM D97
23	Water & Sediment -vol.%	3.5	ASTM D2273
24	Ash -wt%	0.015	ASTM D482
25	Sulfur -wt%	2.76 %	ASTM D4294
26	Fuel Oil Heat Value -MJ/kg	42.6	American BUREAU of
27	Flammbestimm. Carbon Residue Heat	9.10	ASTM D324

شکل شماره ۷: نمایش آنالیز سوخت مازوت مصرفی نیروگاه.

نتایج محاسبات راندمان انجام شده در جدول شماره ۲ آمده اند. در این جدول جهت سوخت گاز واحد اعداد متر مکعب بر ساعت و جهت سوخت مایع مازوت واحد لیتر بر ساعت می باشد.

جدول شماره ۲: محاسبه راندمان بویلر در حالات مختلف

حالت	سوخت مصرفی	راندمان بویلر	مقدار سوخت مصرفی
اول	گاز طبیعی طراحی	۹۲/۸۷	۶۷۲۹۶
دوم	گاز طبیعی فعلی	۹۲/۸۷	۷۹۸۶۳/۳۲
سوم	گاز طبیعی فعلی	۹۲/۸۷	۸۳۰۶۹
چهارم	مازوت	۹۱/۸۵	۷۲۰۰۰
پنجم	مازوت	۹۱/۸۵	۷۴۸۸۷/۵۲

از جدول بالا می توان نتیجه گرفت، عدم استفاده از هیترهای فشار قوی تأثیری در راندمان بویلر ندارد بدلیل اینکه پارامترهای ترمودینامیکی بویلر با استفاده از هیترهای فشار قوی تغییر می کند و تنها میزان مصرف سوخت افزایش می یابد. در خصوص بررسی اینکه آیا وجود هیترهای فشار قوی تأثیری بر راندمان سیکل دارد. با داشتن منحنی T-S مربوط به سیکل رانکین بر اساس فرمول های زیر بدست می آید [6].

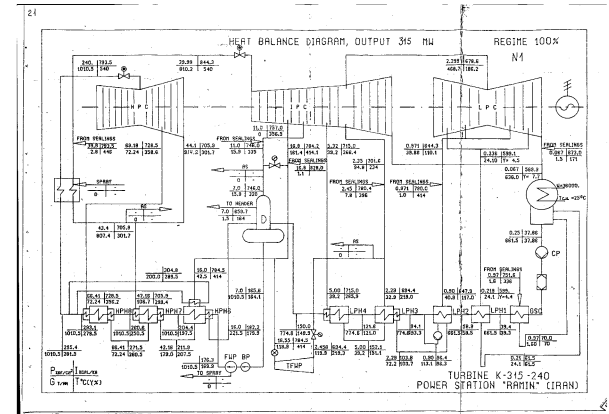
خروجی ( و روش دیگر روش محاسبه اتلاف حرارتی می باشد که بر پایه احتساب کلیه تلفات حرارتی بویلر بنا شده است و با احتساب تفاضل مقادیر تلفات دودکش و تابشی و کنوکسیونی از میزان عدد ۱۰۰ حاصل می شود. در این مقاله از روش اول استفاده می شود [5].

$$\eta = \frac{Th_o \times 100}{Th_i} \quad (1)$$

$$Th_o = \frac{(Q_{ms} \times \Delta h) + (Q_{Re} \times \Delta h) + Q_{Bd}}{1000} \quad (2)$$

$$Th_i = \frac{(Q_{Fuel} \times LHV_{Fuel})}{1000} \quad (3)$$

جهت محاسبه راندمان بویلرهای نیروگاه ۵ حالت فرض شده است. حالت اول حالت ایده آل با مصرف گاز طبیعی طراحی و تولیدی ۳۱۵ مگا وات ساعت برق و در مدار بودن هیترهای فشار قوی، حالت دوم با مصرف گاز طبیعی فعلی و تولیدی ۳۱۵ مگا وات ساعت برق و در مدار بودن هیترهای فشار قوی، حالت سوم با مصرف گاز طبیعی فعلی و تولیدی ۳۱۵ مگا وات ساعت برق و عدم در مدار بودن هیترهای فشار قوی، حالت چهارم با مصرف مازوت و تولیدی ۳۱۵ مگا وات ساعت برق و در مدار بودن هیترهای فشار قوی، حالت پنجم با مصرف مازوت و تولیدی ۳۱۵ مگا وات ساعت برق و عدم در مدار بودن هیترهای فشار قوی.



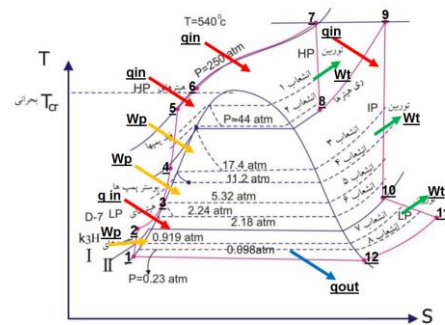
شکل شماره ۵: نمایش نقشه بالانس حرارتی No.1 [3].

GAS ANALYSIS LABORATORY		
Area/Source:	Sampling Pressure: kg/cm2:	Time & date of sampling:
RAMIN	---	19-07-1394
Sampling Point:	Sampling Temperature: °C:	Date of Testing:
CGS	---	21-07-1394
Gas Rate(MMSCMD):	Sampling Type:	Report No.:
---	S/S/BOMB	---
COMPONENTS	RESULTS	
Nitrogen	as Mole%	0.248
Carbon Dioxide	as Mole%	0.000
Methane	as Mole%	98.738
Ethane	as Mole%	1.006
Propane	as Mole%	0.006
i-Butane	as Mole%	0.001
n-Butane	as Mole%	0.001
i-Pentane	as Mole%	0.000
n-Pentane	as Mole%	0.000
Hexane +	as Mole%	0.000
Total		100.00
Apparent SP.Gravity (Air=1)		0.56
Calorific Value Btu/CuH(Gross)		1015.279
Calorific Value Btu/CuH(NET)		914.02
Water Content Lbs/MMSCF		---
Molecular Weight		---
Mercaptanes (PPM as H2S)		---
W.Dew Point T	as °C	---

شکل شماره ۶: نمایش آنالیز سوخت گاز مصرفی نیروگاه.

توضیح اینکه پارامترهای ترمودینامیکی بر اساس نقشه بالانس حرارتی نیروگاه شماره No.1 ( توربو فید پمپ در مدار باشد و دمای آب گردشی

- واحد شماره ۳ جهت تعمیرات اساسی طی سال ۱۳۹۴، ۶ ماه در مدار نبوده است.
- هر واحد حداکثر یک ماه میان تعمیرات دوره ای می باشد.
- هزینه تعمیرات، نفر ساعت هر تریپ جهت تعمیر بویلر معادل یک ساعت کارکرد واحد باشد.
- متوسط زمان تعمیر هر نشتی بویلر ۴۸ ساعت.
- قیمت فروش هر مگا وات ساعت متوسط ۶۱۴۹۹۹ ریال است.
- هزینه خرید گاز متر مکعب بر ساعتی ۸۰۰ ریال.
- هزینه خرید مازوت لیتر بر ساعتی ۱۳۰۰ ریال.



شکل شماره ۸: نمودار دما - آنترپوی سیکل نیروگاه رامین [6].

$$\eta = \frac{W_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} \quad (4)$$

$$W_{net} = W_{Turbine} - W_{pump} \quad (5)$$

$$q_{in} = (h_7 - h_6) + (1 - y)(h_9 - h_8) \quad (6)$$

$$q_{out} = (1 - y - z) + (h_{11} - h_{12}) \quad (7)$$

راندمان سیکل نیروگاه بر اساس روش های اندازه گیری راندمان متوسط ماهیانه نیروگاه های حرارتی شرکت مادر تخصصی تولید برق حرارتی بر اساس فرمول های زیر محاسبه می شود [7].

$$\eta = \frac{860}{G.H.R.} \times 100 \quad (8)$$

$$G.H.R. = \frac{T.F.E}{1000} \quad (9)$$

$$L.F.U = \frac{G.P.G}{A.P \times 100} \times 100 \quad (10)$$

$$T.F.E = N.G.E + H.F.O.E + L.F.O.E \quad (11)$$

$$N.G.E = N.G.C \times L.H.V \quad (12)$$

$$H.F.O.E = H.F.O.C \times L.H.V \quad (13)$$

$$L.F.O.E = L.F.O.C \times L.H.V \quad (14)$$

بر اساس فرمول های ارایه شده میزان راندمان متوسط سیکل در حالتی که هیتراهی فشار قوی در مدار باشند در واحد های نیروگاه رامین طی سال ۱۳۹۴ مقدار ۳۷/۴۰٪ محاسبه شده در حالی که اگر هیتراهی فشار قوی از مدار تولید حذف شوند راندمان سیکل ۳۵/۹۰٪ محاسبه شده است. به بیان دیگر ۱/۵٪ کاهش راندمان سیکل بدلیل عدم استفاده از هیتراهی فشار قوی پدید می آید.

۳-۳- پیادمد های اقتصادی عدم استفاده از هیتراهی فشار قوی جهت انجام محاسبات اقتصادی عدم استفاده از هیتراهی فشار قوی در نیروگاه رامین فرضیات زیر انجام شده است:

- تولیدی واحد ها متوسط ۳۱۵ مگا وات.
- ۲ ماه از سال واحد های ۳-۴-۵-۶ مازوت سوز بوده و مابقی ایام گاز سوز هستند.
- ۳۰ درصد نشتی های بویلر به خاطر فلاکس حرارتی بیش از حد ورودی به بویلر های و محدودیت تولید دبی بخار نامی آنها باشد.
- سال مورد مطالعه سال ۱۳۹۴ می باشد.
- واحد های شماره ۲ و ۱ قابلیت مصرف سوخت مازوت را ندارند.

با انجام فرضیات فوق در ابتدا می بایست ساعت کارکرد هر واحد نیروگاه در طی سال ۱۳۹۴ بدست بیاید که بر اساس فرضیات این ساعت کارکرد مطابق جدول زیر بدست می آیند. بر اساس راندمان محاسبه شده میزان افزایش سوخت گاز مصرفی بدلیل عدم استفاده از هیتراهی فشار قوی ۴٪ می باشد که مقدار ۳۲۰۵/۶۸ متر مکعب بر ساعت دبی گاز مصرفی اضافه محاسبه می شود با ضرب در عدد ۸۰۰ ریال ۲۵۶۴۵۴۴ ریال مبلغ ضرر هر ساعت در سوخت گاز بدست می آید. در سوخت مازوت با محاسبه راندمان مقدار افزایش سوخت گاز مصرفی بدلیل عدم استفاده از هیتراهی فشار قوی ۳/۸۵٪ می شود که مقدار ۲۸۸۷/۵۲ لیتر بر ساعت دبی مازوت مصرفی اضافه محاسبه می شود با ضرب در عدد ۱۳۰۰ ریال مبلغ ضرر هر ساعت در سوخت مازوت بدست می آید. با استفاده از مقادیر ذکر شده و داشتن ساعات کارکرد واحد های در سال ۹۴ در هر سوخت جدول زیر بدست می آید.

جدول شماره ۳: محاسبه ساعات کارکرد و میزان ضرر مصرف سوخت اضافه بدلیل عدم استفاده از هیتراهی فشار قوی.

واحد ۱	واحد ۲	واحد ۳	واحد ۴	واحد ۵	واحد ۶	
۷۹۹۲	۷۹۹۲	۲۰۶۴	۵۳۶۰	۶۴۵۶	۶۳۶۰	ساعت کارکرد با سوخت گاز
۰	۰	۱۴۴۰	۱۴۴۰	۱۴۴۰	۱۴۴۰	ساعت کارکرد با سوخت مازوت
۲۰,۴۹۵,۸۲۵,۶۵۰	۲۰,۴۹۵,۸۲۵,۶۵۰	۱۰,۶۹۸,۶۵۶,۲۶۰	۲۱,۷۱۵,۹۳۷,۲۸۰	۲۱,۹۶۲,۱۳۳,۵۰۰	۲۱,۷۱۵,۹۳۷,۲۸۰	هزینه مصرف سوخت اضافه به ریال

مجموع هزینه های مصرف سوخت گاز طبیعی اضافه بدلیل جبران مبلغ ۹۷,۳۱۸,۴۱۵,۴۷۰ ریال می شود. کل زمان خروج واحد ها بدلیل نشتی بویلر ۲۴ روز بوده که با فرض ۳۰٪ نشتی از جانب عدم استفاده از هیتراهی فشار قوی و ورود فلاکس حرارتی بیش از حد به کوره بویلر ۸ روز می شود که عدم تولید این ۸ روز مبلغ ۳۷,۱۹۵,۱۳۹,۵۲۰ ریال و هزینه تعمیرات آن ۷۷۴,۸۹۸,۷۴۰ ریال می شود. با جمع این ارقام مبلغ ۱۳۵,۲۸۸,۴۵۳,۷۰۰ ریال می شود که حدوداً مبلغ ۱۳۵ میلیارد ریال



شکل شماره ۱۰: نمایش لوله های دچار عیب بیش گرمایش بلند مدت شده.

علاوه بر مشکل ایجاد بیش گرمایش بلند مدت، عدم استفاده از هیترهای فشار قوی بدلیل افزایش حجم سوخت مصرفی به همان نسبت نیاز به افزایش هوا نیز بوجود می آید در نتیجه باعث افزایش آمپر مصرفی فن های دمنده با نام F.D.Fan، فن های مکنده با نام I.D.Fan و فن های ریسرکوله دود خروجی با نام G.R.Fan می شود. توضیح اینکه نیروگاه رامین دارای ۲ فن دمنده، ۲ فن مکنده و ۲ فن ریسرکوله دود خروجی می باشد. این افزایش آمپر مصرفی از یک جهت تأثیر منفی دارد بدلیل اینکه میزان برق مصرفی داخلی را افزایش می دهد ولی از جهت دیگر که بسیار ضروری است خصوصاً در فصول گرم تابستان که نیاز شبکه به برق تولیدی بسیار حائز اهمیت است و مثلاً نیروگاهی مانند نیروگاه رامین اهواز بدلیل پاسخگو بودن به پیک مصرف می بایست با حداکثر توان واحد های تولیدی آن در مدار باشند ولی بدلیل اینکه گرما باعث انبساط هوا می شود و از طرفی حجم هوای مصرفی بدلیل نیاز کوره جهت جبران اثر وجود هیترهای فشار قوی افزایش می یابد و فن ها دارای محدودیت می شوند. بسیار پیش آمده که در این هنگام سرکابل های الکتروموتورهای این فن ها دچار حریق شده اند و موتورهای الکتریکی آنها معیوب شده است.

اثر دیگر فنی عدم استفاده از هیترهای فشار قوی این است که بدلیل افزایش میزان سوخت و محدودیت های موجود جهت جبران هوای اضافی مورد نیاز پدیده احتراق درون کوره به سمت احتراق ناقص سوق پیدا می کند. احتراق ناقص پیامدهای بسیار زیادی دارد که یکی از آنها افزایش آلاینده های زیست محیطی می باشد. آلاینده هایی همانند گاز مونواکسید کربن و اکسید های نیتروژن بدلیل احتراق ناقص افزایش می یابند.

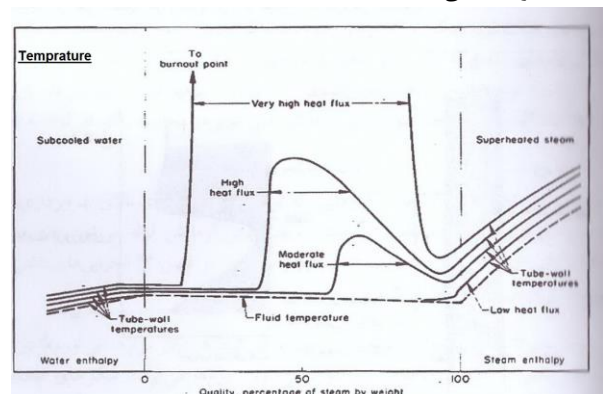
### ۳- نتیجه گیری

با بررسی نتایج بدست آمده در بخش دوم به طور واضح می توان گفت در مدار بودن یا نبودن هیترهای فشار قوی تأثیری بر راندمان بویلر ندارد بدلیل اینکه پارامترهای بهره برداری پس از در مدار آمدن هیترها با حالتی

یا ۱۳/۵ میلیارد تومان است. در حالی که مبلغ خرید ۳ دستگاه هیتر فشار قوی مدرنیزه جهت واحد های نیروگاه رامین همراه با خدمات کارشناسی نصب و راه اندازی مبلغ ۱۰ میلیارد تومان می باشد.

۲-۴- مشکلات فنی عدم استفاده از هیترهای فشار قوی در نیروگاه

همانگونه که در بخش ۲-۲ بررسی شد بدلیل عدم استفاده از هیترهای فشار قوی مقدار ۵۰/۱۳۸ کیلو ژول بر کیلوگرم انرژی بیشتری به بویلر وارد می شود که این انرژی به ازای افزایش مصرف پارامترهای سوخت و هوا می باشد. بوجود آوردن یک فلاکس حرارتی بیش از حد طراحی باعث بروز پدیده ای با نام بیش گرمایش بلند مدت<sup>۱</sup> که یکی از مهمترین علل خرابی لوله های بویلرهای نیروگاهی است می شود. در بیش گرمایش بلند مدت، دمای فلز لوله برای مدت زمان زیادی از حد قابل تحمل آن فلز بالاتر می رود. در دمای بالا، استحکام فولاد کاهش می یابد و در نتیجه لوله نمی تواند فشار داخلی را تحمل کند و می شکند. حداکثر دمای مجاز لوله ها به عناصر آلیاژی و درصد آنها بستگی دارد، به طوری که با افزایش عناصر آلیاژی و به ویژه کروم و مولیبدن، حداکثر دمای قابل تحمل افزایش می یابد. معمولاً دمایی که در دمای بالاتر از آن مشکلات دما بالا مطرح می شوند را  $T_m + 0.5$  در نظر می گیرند که در آن  $T_m$  دمای ذوب یا آبلیز فلز بر حسب درجه کلونین می باشد. لوله های دیواره کوره بویلر های نیروگاه رامین از جنس فولاد کم آلیاژ کروم و مولیبدن دار 12X1MF مطابق استاندارد Ty 14-3-341 می باشد. با توجه به مطالب فوق و شدت بیش گرمایش بلند مدت به دمای لوله، مدت زمان بهره برداری از لوله در دمای مورد نظر و متالورژی لوله بستگی دارد. بیش گرمایش بلند مدت به طور کلی دو دسته خزش و گرافیت شدن زنجیری تقسیم می شود که بیشترین حالت همان خزش است و گرافیت شدن زنجیره ای به ندرت اتفاق می افتد. در یک تعریف جامع خزش را می توان به صورت کرنش وابسته به زمان مواد در دماهای بالا تعریف کرد. در اثر خزش، تغییر شکل پلاستیک به آرامی در فلز ایجاد می شود و در نهایت منجر به ایجاد مجموعه ای از حفره ها یا ترک های مرز دانه ای در فلز می گردد. خزش در سه مرحله خزش اولیه، ثانویه و نهایی رخ می دهد که به تدریج ترک های مرز دانه گسترش و نهایتاً منجر به شکست می شوند. شکل لوله های بویلری که در اثر بیش گرمایش بلند مدت دچار نشتی می شوند به شکل دهان ماهی با ضخامت لوله بالا می باشد.



شکل شماره ۹: نمودار تغییرات درجه حرارت دیواره لوله و سیال در فلاکس های حرارتی مختلف بر حسب کیفیت بخار [8].

<sup>1</sup> Long-term overheating.

G.H.R	نرخ حرارت کل، Kcal/KWh
T.F.E	انرژی سوخت کل، Kcal
L.F.U	فکتور بار واحد، %
G.P.G	انرژی تولیدی کل، Mwh
A.P	انرژی واقعی، Mw
N.G.E	انرژی سوخت گاز طبیعی، Kcal
N.G.C	مقدار سوخت گاز طبیعی مصرفی، m <sup>3</sup> /h
H.F.O.E	انرژی سوخت مازوت سنگین، Kcal
H.F.O.C	مقدار سوخت گاز مازوت سنگین، m <sup>3</sup> /h
L.F.O.E	انرژی سوخت مازوت سبک، Kcal
L.F.O.C	مقدار سوخت مازوت سبک، m <sup>3</sup> /h

### فهرست علائم یونانی

η

راندمان

### تشکر و قدردانی

جا دارد از مدیریت محترم نیروگاه رامین جناب مهندس محمودی به خاطر مدیریت و راهبری سیستم و بوجود آوردن فضای تحقیق و بررسی مشکلات و معضلات واحدهای این نیروگاه توسط پرسنل زیر مجموعه تقدیر و تشکر و قدردانی ویژه ای گردد.

### مراجع

- سعید شاهمنصوری، ۱۳۸۶، "مدیریت احتراق در نیروگاه حرارتی شانزدن اراک"، دومین کنفرانس احتراق ایران، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.
- سید هادی جعفرنیا، غلام محمد احمدی، "افزایش بازده کوره دیگ های بخار با سیستم کنترل هوای اضافه"، نخستین همایش مشعل و کوره های صنعتی، ۱۳۹۰، تهران.
- ۱۳۷۷، "دستورالعمل بهره برداری از واحد ۳۱۵ مگا واتی (مونوبلوک)"، شماره سند M-D-3-1، اهواز، شرکت مادر تخصصی تولید برق حرارتی - نیروگاه حرارتی رامین، ۷۹-۱.
- ۱۳۹۰-۴، "شاخص های موثر در محاسبات راندمان بویلر"، شرکت پاکمن، تهران، ۲۶۴-۲۴۸.
- ۱۹۹۹، "استاندارد ASME PTC 4.1 ارزیابی عملکرد بویلرهای صنعتی"، انجمن مهندسی مکانیک آمریکا، نیویورک، آمریکا.
- مصطفی صادقی، ۱۳۸۶، "اصول بهره برداری نیروگاه بخار"، موسسه آموزش عالی صنعت آب و برق اهواز، اهواز.
- ۱۳۸۸، "دستورالعمل محاسبه راندمان متوسط نیروگاه های بخاری"، شماره سند EB-F01S، اهواز، شرکت مادر تخصصی تولید برق حرارتی - نیروگاه حرارتی رامین.
- سید ابراهیم موسوی ترشیزی، ۱۳۸۳، "بویلر و خرابی های آن"، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)، تهران.
- خلیل جنت دوست، ۱۳۸۴، "دیگ های بخار"، موسسه آموزش عالی علمی-کاربردی، تهران.
- امیر سهرابی کاشانی، ۲۰۰۶، "بررسی عملکرد احتراق و کاهش اتلاف از دودکش بویلرهای نیروگاهی"، هجدهمین کنفرانس بین المللی برق، پژوهشگاه نیرو، تهران.

که در مدار نیستند متفاوت می باشد ولی باعث افزایش ۴٪ در سوخت گاز طبیعی و ۳/۸۵٪ در سوخت مایع (مازوت) می باشد. بودن یا نبودن هیترهای فشار قوی در مدار به صورت مستقیم تأثیری بر مگا وات تولیدی واحد ها نیز ندارد و تنها در زمان تابستان که بدلیل انبساط هوا برای فن های بویلر محدودیت ایجاد می شود در مدار نبودن هیترهای فشار قوی نیز بدلیل نیاز به هوای بیشتر خود باعث محدودیت تولید واحد های نیروگاه خواهد شد که این تأثیر غیر مستقیم آن می باشد. در مدار بودن هیترهای فشار قوی درون سیکل واحد های نیروگاه رامین افزایش ۱/۵ درصدی راندمان سیکل می باشد. در حال حاضر بزرگترین مشکل فنی واحد های نیروگاه رامین عیب نشتی درون بویلر می باشد که یکی از دلایل آن افزایش فلاکس حرارتی ورودی کوره بویلر بدلیل جبران اثر هیترهای فشار قوی می باشد و نیروگاه سالانه مبالغ هنگفتی را که در بخش ۳-۳ بدقت محاسبه شده است متضرر می شود. نیروگاه رامین طی سال ۱۳۹۴ بدلیل عدم استفاده از هیترهای فشار قوی در سیکل واحد های خود مبلغ ۱۳/۵ میلیارد تومان هزینه مصرف سوخت اضافه، عدم تولید واحد ها و تعمیرات بویلرهای خود کرده است، در حالی که تنها با ۱۰ میلیارد تومان می توانست هیترهای یکی از واحد های خود را بهینه سازی کرده و آنها را در مدار تولید قرار دهد. به بیان دیگر در صورت امکان نیروگاه می تواند طی ۴/۵ سال هزینه خرید هیترهای فشار قوی جهت هر ۶ واحد خود را از جانب جبران هزینه هایی که متضرر می شود را جبران کند. از آنجایی که منابع سوخت فسیلی همانند گاز طبیعی در کشور عزیزمان ایران قیمت ناچیزی دارد به همین دلیل انجام چنین هزینه هایی برای مدیران صنعت خیلی توجیه پذیر نمی باشد. امید است انجام این محاسبات و ارائه مقاله فوق بتواند مدیران عالی رتبه وزرات نیرو و کشور را در حل مشکل هیترهای فشار قوی نیروگاه بزرگ رامین توجیه و ترغیب نماید. امید است با رفع مشکل هیترهای فشار قوی در نیروگاه رامین مشکلات بویلرهای این واحد ها و تولید آلاینده های زیست محیطی کاهش یافته و پایداری تولید این واحد ها خصوصاً در فصول گرم سال که مردم عزیز استان خوزستان نیاز مبرم به انرژی برق جهت سیستم های تبرید خانگی خود دارند، بیشتر گردد.

### فهرست علائم

Thi	انرژی گرمایی ورودی، KJ/h
Tho	انرژی گرمایی خروجی، KJ/h
Q <sub>ms</sub>	دبی حجمی بخار اصلی خروجی از بویلر، m <sup>3</sup> /h
Δh	اختلاف آنتالپی، KJ/Kg
Q <sub>Re</sub>	دبی حجمی بخار رهیت خروجی از بویلر، m <sup>3</sup> /h
Q <sub>Bd</sub>	دبی حجمی بلودان از بویلر، m <sup>3</sup> /h
LHV	ارزش حرارتی پایین سوخت، Kcal/nm <sup>3</sup>
Q <sub>Fuel</sub>	دبی حجمی سوخت مصرفی، m <sup>3</sup> /h
W <sub>net</sub>	کار کل انجام شده در سیکل، KJ
q <sub>in</sub>	گرمای ورودی به سیکل، KJ
q <sub>out</sub>	گرمای خرجی از سیکل، KJ
W <sub>Turbine</sub>	کار کل تولیدی در توربین، KJ
W <sub>Pump</sub>	کار کل مصرفی در پمپ، KJ
h	آنتالپی، KJ/Kg
y	ضریب کاهش دبی بخار ورودی به سیلندر I.P
z	ضریب کاهش دبی بخار ورودی به سیلندر L.P

13- Brian Elmengarrd, 1999, " Simulation of boiler dynamics, development, evaluation and application of general energy system simulation tools ", Technical university of Denmark, Denmark.  
 14- K.J.Mc Cauley, D.L.Kraft, 2012, " IR-CFB Boilers : Supercritical once through developments for power generation", Power generation Asia, Bangkok, Thailand.

۱۱- سید کامبیز عبدالله، مصطفی الطافی، ۱۳۹۲، " کاهش مصرفی سوخت با کاهش هوای اشافه مشعل "، پنجمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.  
 ۱۲- عبدالله خالصی دوست، بابک نوراسماعیلی، ۱۳۸۸، " بررسی اثرات زیست محیطی Sox و Nox ناشی از احتراق در نیروگاههای حرارتی سوخت فسیلی ایران "، اولین کنفرانس صنعت نیروگاهی ایران، تهران.