The 1 st International Conference of Iranian natural hazards and environmental crise strategies and challenges
اولین همایش بین المللی مخاطرات طبیعی و بحران های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش ها

ارایه مدل بهینه سازی مصرف انرژی در فرایند پیش گرم سازی ایستگاه های تقلیل فشار گاز طبیعی

نام و نام بهمن بازگیر ۱، سید احسان قناد زاده ۲،علی سعدونی*۳ . سیدحمید رضا موسوی ٤

۱- رییس امور مالی شرکت گاز استان هرمزگان
۲- رییس امور پژوهش و فن آوری شرکت گاز استان هرمزگان
۳- کارشناس ارشد ایمنی و آتش نشانی شرکت گاز استان هرمزگان
۴-رییس HSE شرکت گاز استان هرمزگان

Archive of SID

چکیده

نقش ایستگاه تقلیل فشار گاز در توزیع و انتقال گاز همواره مورد توجه بود است. فرایند های مختلفی در این خصوص در جریان بوده که یکی از مهمترین انها پیش گرم سازی گاز جهت ورود به سایر فرایند های تعریف شده می باشد. مشکل اساسی این ایستگاهها کاهش شدید دما حین تقلیل فشار جریان می باشد که منجر به یخ زدگی رگلاتور و قطع جریان گاز می گردد. این مشکل تقریباً برای همه ایستگاههای CGS وجود دارد و ارتباطی با آب و هوای منطقه ندارد.فرایند پیش گرم سازی گاز ورودی به ایستگاه همواره با مشکلی هدر رفت انرژی در قسمت های مختلف هیتر به خصوص سطوح تبادل حرارتی با محیط مواجه بود است. در این مطالعه سعی گردیده ضمن بررسی و واکاوی تعیین سطوحی که بیشترین اتلاف حرارت از انها صورت گرفته به بیان راه کارهایی جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش بازده حراراتی پرداخته شود.همچنین در ادامه روند بررسی اقدامات اصلاحی تعریف شده که پس از بررسی و طراحی روش‌های رایج، شامل استفاده از اکونومایزر و ریکوپراتور مناسب ترین روش ها جهت بازیافت حرارت اتلافی از قسمت های مخلتف گرم کن های ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری برای پیش گرم کردن هوای ورودی به گرم کن توسط یک ریکوپراتور و یا جهت گرم کردن بخشی از آب بویلر توسط اکونومایزر تعیین گردیده است.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه تقلیل فشار - بهینه سازی – مصرف انرژی – گاز طبیعی

www.SID.ir

۱- مقدمه

در صنعت گاز طبیعی، خط انتقال گاز به شهرها دارای فشار ۱۰۰۰ psi می باشد که در ورودی شهر در ایستگاه های تقلیل فشار ۱۰۰۰ psi به ۲۵۰ psi تبدیل شده و در شبکه توزیع شهری جریان می یابد. عامل تقلیل این فشار رگلاتور می باشد که در مسیر جریان قرار دارد. مشکل اساسی این ایستگاه ها کاهش شدید دما حین تقلیل فشار جریان می باشد که منجر به یخ زدگی رگلاتور و قطع جریان گاز می گردد. این مشکل تقریباً برای همه ایستگاههای CGS[1] وجود دارد و ارتباطی با آب و هوای منطقه ندارد. در صنعت انتقال گاز طبیعی راهکارهای مختلفی ارائه شده است که از آن جمله می توان به حمام بخار در اطراف رگلاتور، گرمایش الکتریکی رگلاتور و هیترهای مشعلی اشاره کرد. امروزه در تقریباً در همه ایستگاههای تقلیل فشار از هیترهای گاز طبیعی استفاده می کنند. این سیستم های گرمایشی مقداری از گاز طبیعی خط انتقال گاز را جهت گرمایش خط انتقال می سوزاند تا قبل از ورود به رگلاتور تقلیل فشار گاز ورودی گرم شود و در حین شکست فشار جریان به دمای یخ زدگی رگلاتور نرسد.در ایام سرد سال که دمای هوای پیرامونی تا ۵ درجه سانتی گراد کاهش می یابد دما در خروجی رگلاتور کمتر از صفر درجه سانتیگراد خواهد شد. درنتیجه ذرات بخار آب موجود در گاز دچار تغییر فاز شده و به یخ تبدیل میشوند. این تغییر فاز، مسدود شدن مجرای عبور گاز در رگالتور را به همراه دارد ،به منظور جلوگیری از یخ زدن ذرات بخار آب در گاز طبیعی بر اثر کاهش فشار، گاز را قبل از کاهش دادن فشار، گرم میکنند.مثبت بودن ضریب ژول تامسون بیانگر ان است که گاز در اثر عمل واکنش و کاهش فشار سرد و دمای گاز کاهش می یابد و منفی بودن ضریب ژول تامسون به معنای گرمای شدن در اثرعمل انبساط و کاهش فشار و در نتیجه تراکم گاز موجب سرد شدن می باشد که در نتیجه سیستم گرمایشی مورد استفاده برای این منظور، یک مبدل غیرمستقیم میباشد. این نوع از سیستمهای گرمایشی بصورت یک منبع استوانه ای افقی با حجم بالا همراه با لوله های مارپیچ بوده که گاز از درون این لولهها عبور کرده و گرم میشود. در منبع استوانه ای افقی مبدل، لوله های عبور گاز طبیعی، سیال واسطه ،محلول آب و ضدیخ(و لوله آتش)لوله عبور محصولات احتراق قرار دارند. در این مبدلها، سیال داغ که حاوی انرژی گرمایی بالا است، محصولات احتراق میباشد. محصولات احتراق، حاصل واکنش مخلوط سوخت هوا در مشعل مبدل است. سیال واسطه در مبدل که نقش انتقال انرژی حرارتی از سیال گرم به سیال سرد را دارد، محلول آب و ضدیخ است. مکانیزم انتقال حرارت آب از سیال گرم به سیال سرد در این مبدلها به صورت انتقال حرارت جابجایی آزاد است. سیال سرد در این سیستم گرمایشی همان گاز سرد با دبی بسیار بالا است که هدف بالا بردن دمای آن است.

۲- معادلات حاکم بر گرم کن های ایستگاه تقلیل فشار گاز

در بررسی انرژی جنبشی به عنوان عامل کلیدی در قالب اگزرژی جنبشی (X_{ki}) جزو انرژی های سامان یافته می باشد یعنی در تبدیل انرژی می تواند بدون توجه به محیط آن بطور کامل به کار تبدیل شود. بنابراین اگزرژی جنبشی معادل همان انرژی جنبشی است که در رابطه ذیل نمایان است.

$$X_{ki} = \frac{v^2}{2} \qquad (1)$$

1- City Gas Stations

Archive of SID
www.SID.ir

در خصوص انرژی پتانسیل نیز فرضیات فوق صدق می کند به طوری که این نوع اگزرژی نیز جزء انرژی های سامان یافته می باشد و این قابلیت را دارد که بدون توجه به محیط خود، کلاً به کار تبدیل شود. بنابراین اگزرژی پتانسیل ماده ای به جرم واحد که نسبت به مرجع در ارتفاع قرار دارد به صورت ذیل می باشد:

$$X_{pi} = g.z \quad (2)$$

در این صورت مقدار اگزرژی دیفیوژنی در واحد مول برای گاز ایده آل برابر است با:

$$X_{Di} = T_0 R \ln(\frac{1}{X_0}) \quad (3)$$

که درآن X_0 برابر است با جزء مولی گاز در محیط است .همچنین اگزرژی دیفیوژنی برای گاز ایده آلی که جز i ام یک گاز مرکب که آن هم عبارت است از:

$$X_{Di} = T_0 R \ln(\frac{x^i}{x_0^i}) \quad (4)$$

و برای گاز مرکب نیز عبارت است از:

$$X_{Di} = T_0 R \sum_{i=1}^{n} x^i \ln(\frac{x^i}{x_0^i}) \quad (5)$$

که در آن x^i و x_0^i به ترتیب جزء مولی گاز در مخلوط و محیط هستند.

حال با عنایت به این نکته که هدر رفت انرژی در قسمت های مختلف یک تجهیز ایستگاه تقلیل فشار رخ می دهد میتوان به معادلات کلی حالت آن برای یک ایستگاه فرضی دست یافت خاطر نشان میدارید کلیه مقادیر بر حسب در نظر گرفتن گاز طبیعی با درصد ترکیب نرمال در ایستگاه های تقلیل فشار ارایه میگردد. مؤلفه های اگزرژی جنبشی، اگزرژیِ پتانسیل، اگزرژی وابسته به کار جریان صفر بوده و اگزرژی کلی برابر اگزرژی وابسته به آنتالپی می باشد که به طریق ذیل قابل بیان است:

$$X = X_{ph} = (h - h_0) - T_0(S - S_0) \quad (6)$$

از آنجا که آنتالپی برای گاز واقعی تابعی از دما و فشار خواهد بود پس داریم:

$$H=h(T,P) \quad (7)$$

$$dh = (\frac{\partial h}{\partial T})_P \, dT + (\frac{\partial h}{\partial P})_T dP \quad (8)$$

$$C_P = (\frac{\partial h}{\partial T})_P \quad (9)$$

و با در نظر گرفتن روابط ترمودینامیکی در این خصوص:

$$Tds = dh - vdP \quad (10)$$

$$(\frac{\partial h}{\partial P})_T = v + T(\frac{\partial s}{\partial P})_T \quad (11)$$

و نیز با توجه به روابط ماسکول در این خصوص:

$$(\frac{\partial s}{\partial P})_T = -(\frac{\partial v}{\partial t})_p \quad (12)$$

که با جایگذاری رابطه ۱۲ در ۱۱ خواهیم داشت:

$$(\frac{\partial h}{\partial P})_T = v - T(\frac{\partial v}{\partial T})_p \quad (13)$$

و با جایگذاری رابطه ۹ در ۱۲ و ۸ به نتیجه زیر خواهیم رسید :

$$dh = C_P \, dT + [v - T(\frac{\partial v}{\partial T})_P]dP \quad (14)$$

حال با انتگرال گیری از رابطه فوق به صورت ذیل عمل می نماییم

$$h - h_0 = \int_{T_0}^{T_1} C_P \, dT + \int_{P_0}^{P_1} [v - T(\frac{\partial v}{\partial T})_P dP \quad (15)$$

که در این مرحله با در نظر گرفتن روابط معادله حالت $Z=F(P,T)$ و $PV=ZRT$ داریم:

$$(\frac{\partial v}{\partial T})_p = \frac{ZR}{P} + (\frac{\partial Z}{\partial T})_p \frac{RT}{P} \quad (16)$$

. با فرض این نکته که C_P و R برای گاز طبیعی مقدار ثابتی باشد با جا گذاری در رابطه های ۱۵و ۱۶ :

Archive of SID

www.SID.ir

$$h - h_0 = C_P(T_1 - T_0) + \int_{P_0}^{P_1}[\frac{ZRT}{P} - \frac{ZRT}{P} - (\frac{\partial Z}{\partial T})_P \frac{RT^2}{P}]dP \quad (17)$$

$$h - h_0 = C_P(T_1 - T_0) + RT_1{}^2(\frac{\partial Z}{\partial T})_P \ln\frac{P_1}{P_0} \quad (18)$$

در ادامه با در نظر گرفتن انتروپی S بصورت تابعی از دما و فشار خواهیم داشت

$$S=S(T,P) \quad (19)$$

$$ds = (\frac{\partial s}{\partial T})_P dT + (\frac{\partial s}{\partial T})_T dP \quad (20)$$

$$C_P = (\frac{\partial h}{\partial T})_P = T(\frac{\partial s}{\partial T})_P \quad (21)$$

با جایگذاری روابط ۲۱ و ۱۲ در رابطه ۲۰ :

$$ds = C_P \frac{dT}{T} - (\frac{\partial v}{\partial T})_P dP \quad (22)$$

با انتگرال گیری از رابطه فوق به رابطه ذیل می رسیم :

$$s - s_0 = \int_{T_0}^{T_1} C_P \frac{dT}{T} - \int_{P_0}^{P_1}(\frac{\partial v}{\partial T})_P dP \quad (23)$$

با در نظر گرفتن معادله Z=F(T,P) و همچنین PV=ZRT و جایگذاری در معادله ۱۶و ۲۳

$$s - s_0 = C_P \ln\frac{T_1}{T_0} - ZR \ln\frac{P_1}{P_0} - (\frac{\partial Z}{\partial T})_P RT_1 \ln\frac{P_1}{P_0} \quad (24)$$

با جایگذاری معادلات ۱۸ و ۲۴ در معادله ۶ خواهیم داشت :

$$X = C_P(T_1 - T_0) - RT_1{}^2\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P \ln\frac{P_1}{P_0} - C_P T_0 \ln\frac{T_1}{T_0} - ZRT \ln\frac{P_1}{P_0} + RT_1 T_0 \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P \ln\frac{P_1}{P_0} \quad (25)$$

با تحلیل میدانی و شبیه سازی در خصوص مقادیر T_1, T_0 در حالتی که هریک از انها در مقادیر بسیار کوچک $\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$ ضرب شوند میتوان از بخش های دوم و پنجم معادله فوق صرف نظر نموده و معادله نهایی به شکل زیر ساده خواهد شد :

$$X = C_P[(T_1 - T_0) - T_0 \ln\frac{T_1}{T_0}] + ZRT_1 \ln\frac{P_1}{P_0} \quad (26)$$

برای محاسبه گرمای ویژه C_P مخلوط گاز ورودی به ایستگاه که درصد مولي سازنده هاي آن مطابق جدول گاز طبيعي مي باشد ابتدا از رابطه

$$C_P = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (27)$$

که در ان C_P تک تک سازندهای گاز طبیعی می باشد در دمای استاندارد ۲۵ درجه سانتی گراد است بدست آورده و در نهایت $C_{P\ mix}$ را بدست می آوریم. با دریافت کمیت های قابل اندازه گیری دما و فشار مربوط به هر ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری می توان اگزرژی ورودی و خروجی را محاسبه نمود. لازم به ذکر است دما و فشار نسبی هستند و هنگام بکار گیری در خصوص دمای ورودی و خروجی هر دستگاه (که در این تحقیق دستگاه مورد نظر هیتر می باشد) به مقادیر مطلق دما و فشار تبدیل شوند. مقدار ضریب تراکم پذیری با توجه به درصد مولفه هیدروکربن های گاز طبیعی مقدار Z=0.94 در نظر گرفته می شود.[۱]

۳- روش کار

مهمترین فاکتور روی رنگ شعله ها تصحیح اکسیژن نامیده میشود تنها هدف تصحیح اکسیژن این است که حجم اکسیژن محفظه احتراق برای جذب گرما متناسب با میزان سوخت افزایش یابد یا مصرف سوخت برای جذب گرما کاهش یابد. میدانیم که درصد اکسیژن تنها بوسیله تست و آزمایش تعیین میگردد که همواره با تجهیزات وابسته به نوع فاکتورها مثل گرمای

Archive of SID

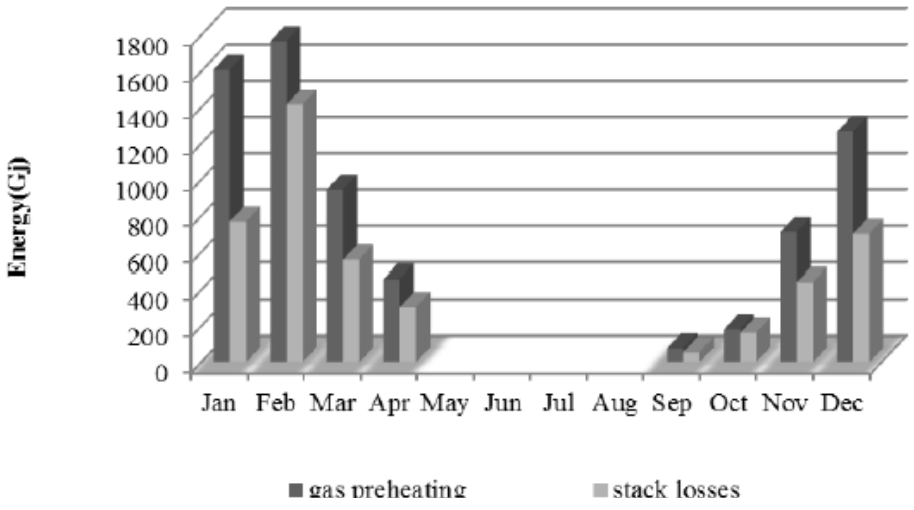
www.SID.ir

اصطکاک مکانیکی تغییر می کند. جهت بررسی روند جریان انرژی در یک گرمکن باید به ثبت اطلاعات آن پرداخته شود،ظرفیت گرم کن مورد مطالعه 30000[BTU/hr] و قطر ورودی هوا به محفظه 0.7 متر و قطر دهانه ورودی سوخت 0.451 و با فشار ورودی 250 pa بوده که در جدول (۱) اطلاعات ثبت ، شده از یک گرمکن ایستگاه تقلیل فشار ارائه گردیده است که شامل دما وفشار گاز ورودی به ایستگاه و گرمکن ، دمای گاز خروجی از گرمکن ، دمای محصولات احتراق در ورودی دودکش گرمکن ، انرژی مورد استفاده جهت گرمایش، انرژی خروجی از دودکش و دمای متوسط محیط می باشد. [۲]

جدول(۱) اطلاعات ثبت شده از گرمکن یک ایستگاه تقلیل فشار

Month	Heater inlet temp. (°c)	Heater inlet gas pressure (psi)	Heater outlet temp. (°c)	Stack inlet temp. (°c)	Stack surface temp. (°c)	Preheating $\dot{E}_{NG}$ (Gj)	Stack losses E_{Stack} (Gj)	Average ambient temp. (°c)
Jan	8	702	35.7	367	118	1609	768.5	10.3
Feb	6.8	694	38.7	476	153	1766	1416.3	8.5
Mar	7.1	707	35	438	141	946	560.2	13.7
Apr	11	718	32	427	137	456	303.7	15.2
May	15	725	Heater is off					21
Jun	18.2	728						27.5
Jul	17.3	731						29.6
Aug	19.4	737						25.4
Sep	19.6	780	29.8	453	146	76	54.4	14.2
Oct	14	763	31.4	471	152	181	161.6	12.8
Nov	12	740	33.5	398	128	710	439.5	8.9
Dec	10	720	36.3	381	122	1266	702.3	5.1

این اطلاعات نشان می دهد که قسمت اعظمی از انرژی مورد استفاده توسط گرمکن از طریق دودکش آن به محیط منتقل شده و تلف می گردد که در نمودار شکل(۱) این امر به وضوح مشهود می باشد .

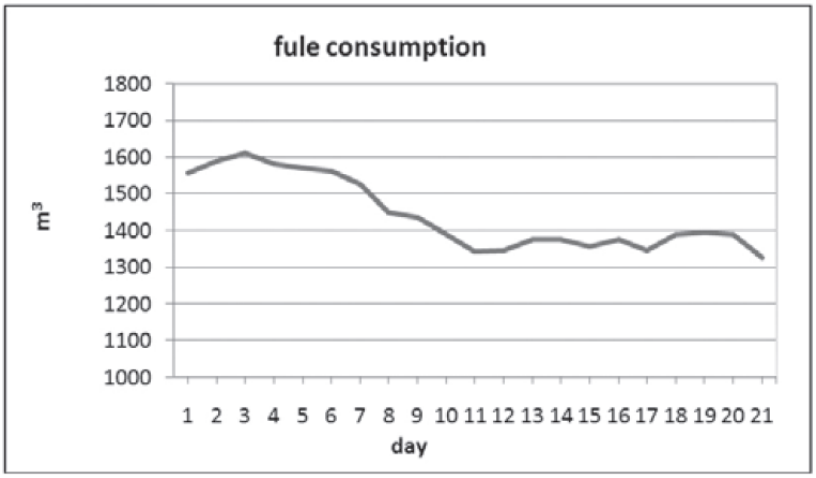


شکل (۱) : مقایسه مقدار انرژی لازم برای گرمایش گاز و میزان هدر رفت از دودکش

در اولین آزمایش به این نتیجه رسیدیم که علت کامل نبودن واکنش احتراق این است که محفظه احتراق به اندازه کافی بزرگ نیست برای برطرف کردن این مشکل، محفظه احتراق تغییر یافت و تلاش شد تا کمبود اکسیژن به محفظه احتراق جبران گردد محفظه احتراقی با ابعاد معین جهت حمایت از مشعلها و محفظه هوا طراحی شد .این محفظه باعث شد که هوای اضافی به داخل کشیده شود و واکنش ناقص به واکنش کامل احتراق مبدل گردد و رنگ شعله ها آبی شود .قبل از آن، فرآیند احتراق به خط لوله گاز محاسبه شد .میدانیم که واکنش احتراق بر مبنای اکسیداسیون هواست . بنابراین در محاسبات بکاربرده شده نسبت هوا به سوخت ملاک قرار گرفت که این نسبت 17 به 1 در نظر گرفته شده است. در ایستگاه تقلیل فشار گاز ،محفظه هوایی که هوا را به داخل برای جرقه زدن و روشن نمودن مشعلها می کیشید ، استوانه ای شکل و حجمش 0.8 مترکعب تخمین گردید (اندازه گیری ها به صورت تجربی محاسبه گردید است) این نوع هیتر دارای دو محفظه هوا برای دو مشعل است

www.SID.ir

و هر مشعل داخل یک محفظه جاسازی شده بود .هوا هم به صورت افقی و موازی سطح وارد محفظه میشد. باتغییر محفظه هوا توانستیم جهت هوای ورودی به محفظه را تغییر داده و به جای افقی و موازی سطح، عمودی و عمود بر سطح وارد شود .با اینکار حجم محفظه از 0.8 به 2.54 افزایش یافت. با این کار دو مشعل دیگر به صورت جداگانه قرار ندارند .بلکه هر دو مشعل دریک محفظه هوا که به صورت نیم استوانه است قرار دارند و هوا از بالا به داخل محفظه احتراق کشیده میشود. در ادامه روند کار بعد از اصلاح محفظه احتراق در آزمایش اول تست دوم انجام شد .در این مرحله، یک شیر الکتریکی یا سنولوئید در مسیر گاز ورودی به محفظه احتراق نصب گردید .شیر سنولوئیدی یک شیر الکتریکی ا ست که برای کنترل جریان و یا توقف مایعات و گازها بوسیله سنولوئید که یک کویلی از سیمها است با تغییر حالت شیر(بستن و باز بودن)صورت میگیرد. [3] عملیات این نوع شیر مشابه یک سوئیچ است که جریان مایع یا گاز را به صورت خودکار باز یا بسته می کند. قبلا، هیتر ایستگاه با فشار بالا و پایین بصورت متناوب یکسره کار می نمود. هنگامیکه فشار پائین برای روشن کردن مشعلها وارد میشد، راندمان حرارتی کم بود و هنگام کیه با فشار بالا وارد میشد، راندمان حرارتی زیاد بود با نصب یک ترموستات دیجیتالی توانستیم دمای وسل هیتر حمام آب گرم را ان اندازه گیری کنیم که دمای آن بین 37 تا 43 درجه سانتی گراد بود. نصب کی شیر سنولوئیدی باعث شد که حالت ورود گاز با فشار پائین برای روشن نمودن مشعلها حذف و هیتر تنها با فشار بالا و به میزان 12 ساعت در روز کار کند. هنگام کیه دمای وسل هیتر به 37 درجه سانتی گراد میرسید شیر الکتریکی شروع به بازشدن میکرد و گاز برای روشن نمودن مشعلها وارد محفظه احتراق میشد .هنگامیکه دما به 43 درجه می رسید، شیر شروع به بسته شدن میکرد با این روش توانستیم مصرف سوخت هیتر را از 1600 مترمکعب در روز به90 مترمکعب کاهش دهیم .برای ثبت دیتاها از یک تصحیح کننده استفاده کردیم که این روش کاملا "موفقیت آمیز بود.نتایج عملکرد هیتر در ایستگاه تقلیل فشار پس از انجام این اقدمات اصلاحی به شکل (۲) می باشد. [۴]



شکل (۲): منحنی نتایج پس از میزان مصرف سوخت هیتر بعد از انجام اقدمات اصلاحی

همچنین درصد ترکیب گاز ورودی به ایستگاه طبق نتایج ارایه شده به شرح ذیل (جدول شماره ۲)می باشد که با عنایت به تغذیه خطوط انتقال استان هرمزگان از منطقه سرخون و قشم موارد مورد استفاده از ستون دوم استخراج گردیده است.

فرمول	ترکیبات	گورزین	سرخون
CH_4	Methane	۸۷/۷	۸۸/۰۸۹
C_2H_6	Ethane	۴/۷	۳/۴۲۰

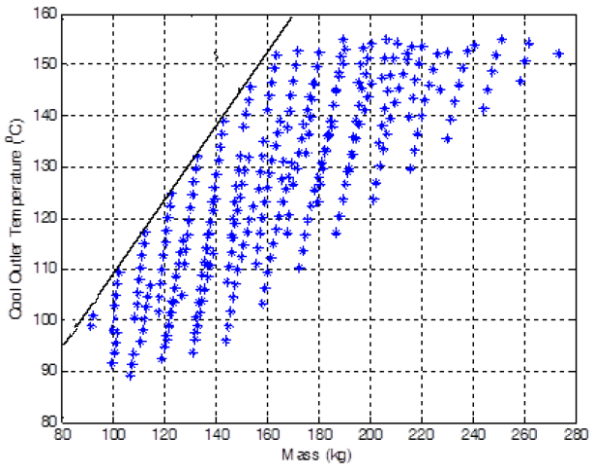
جدول (۲) : درصد ترکیب گاز تحویلی

C_4H_{10}	Iso-Butane	۰/۳۷	۰/۲۹۰
C_4H_{10}	n-Butane	۰/۴۲	۰/۳۷۰
C_5H_{12}	Iso-pentane	۰/۱۳	۰/۱۲۰
C_5H_{12}	n-pentane	۰/۱۰	۰/۰۷۰
C_6H_{14}	Hexane	۰/۰۸	۰/۰۹۰
N_2	Nitrogen	۴/۷	۵/۷۵۰
CO_2	Carbon dioxide	۰/۰۵	۰/۵۳۰

www.SID.ir

۴- مقایسه نتایج

در این بخش افت فشار گاز در ارتفاع مختلف سطح کویل و در دو دبی حجمی مورد بررسی قرار گرفته است .البته ذکر این نکته ضروری است که تولید شبکه در نزدیکی دیوار که اندازه آن از ارتفاع زبری کوچکتر باشد منطقی نیست، با رعایت این تکته میزان افت فشار گاز در شرایط مختلف فشار گاز ورودی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مشاهده یشود که با افزایش فشار ورودی و کاهش دبی حجمی گاز، میزان افت فشار گاز کاهش م ییابد .این نتیجه منطقی است، زیرا با افزایش فشار گاز ورودی و کاهش دبی حجمی، سرعت گاز ورودی به کویل کم می شود. جهت طراحی و انتخاب ابعاد بهینه کویل تک لوله از نرم افز MATLAB بهره گیری شده است و روند محاسبات کدنویسی شد تا بتوان هرچه بهتر ارزیابی مناسبی از حالتهای مختلف نموده و بهترین نتیجه را استخراج کرد. شکل (۳) نمودار تغییرات دما بر حسب وزن کویل را نشان میدهد . همانطور که مشاهده میشود به ازای هر مقدار تغییر دمای هوا، چندین نقطه با وزنهای مختلف وجود دارد .در واقع برنامه به گونهای نوشته شده است که به ازای تغییر دمای هوای مشخص، برنامه بتواند مشخصات تمام کویلهای استانداردی که میتوانند این نیاز را برآورده کنند محاسبه کند.



شکل (۳): روند تغییرات دمای خروجی بر حسب

با توضیحات داده شده میتوان اینطور استنباط نمود که هرچه موقعیت نقاط واقع شده در روی هر خطوط افقی، به سمت چپ متمایل باشد، وزن کویل کمتر بوده و به علت محدودیت نصب، در واقع طراحی بهتری برای کویل میباشد .از طرفی به ازای یک وزن خاص نیز چندین مقدار برای تغییر دمای هوا وجود دارد که با توجه به توضیحات داده شده هر چه این تغییر دما بیشتر باشد بهتر است .بنابراین میتوان گفت نقاطی که در قسمت بالا و چپ نمودار وجود دارد بهترین نقاط از نظر وضعیت مناسب کویل میباشند که هم بالاترین مقدار افزایش دمای هوا را برای یک وزن خاص دارند و هم وزن آنها در آن مقدار افزایش دما در

Archive of SID

www.SID.ir

کمترین حالت ممکن است. مطابق نمودار فوق، به نظر میرسد که برای اینکه کویل طراحی شده هم از نظر تغییرات دمای هوا و هم از نظر وزن، دروضعیت بهینه و مناسبی باشد، به طوریکه مشکل نصب نداشته باشد و از لحاظ اقتصادی هم به صرفه باشد.مبدلهای حرارتی از نوع ریکوپراتور قادرند که در فرآیندهای پیوسته برای بازیافت حرارت از سیالی که به طور پیوسته در جریان است به کار رود .در یک ریکوپراتور، هوای ورودی به محفظه احتراق با استفاده از گرمای گازهای دودکش خروجی گرم می شود. به طور کلی این روش در مواقعی که پیشگرم کردن خوراک با گازهای دودکش توسط بویلر مشکل میباشد. جهت بازیافت حرارت اتلافی از دودکش، بعد از زانویی آن یک ریکوپراتور بکار گرفته شده که دمنده به کار رفته هوا را از محیط گرفته و وارد محفظه ریکوپراتور مینماید .این هوا درون محفظه در تماس با گازهای داغ دودکش قرار گرفته و دمای آن بالا میرود . سپس این هوای گرم شده وارد محفظه انبساط شده و به سکون میرسد و سپس وارد مشعل گرمکن میشود. اکونومایزر تشکیل شده از لوله های متعددی که در یک کانال از کوره قرار گرفته اند .این لوله ها از دو طرف به دو لوله باقطر بزرگتر، که یکی برای تقسیم آب و دیگری برای جمع آوری آب گرم شده میباشد، متصل است[۵]. آب تغذیه دیگ که قبلاً توسط پمپ تحت فشاری بالا قرار گرفته از یک طرف تقسیم گشته و از لوله های اکونومایزر با سرعت کم عبور کرده و در طرف دیگر جمع شده و به هیتر فرستاده می شود .گاز داغ هیتردر داخل کانال از اطراف لوله ها جریان مییابد و بدین ترتیب قسمت عمده حرارت آن به آب منتقل میشود .بر حسب فشاریکه آب تغذیه در اکونومایزر دارا میباشد، جنس، شکل و طرز قرار گرفتن لوله ها مختلف میباشد.نتایج محاسبات اگزرژی برای ایستگاه پایلوت در نظر گرفت شده به شرح جدول ذیل می باشد.

جدول شماره (۳): نتایج محاسبات اگزرژی برای ایستگاه پایلوت مورد مطالعه بر حسب (KW)

ماه های انداز گیری	EX (IN)	EX(OUT)	Saving EX
فرودین	۳۷,۲	۲۸,۱	۱۱,۹
تیر	۱۹,۴	۹,۶	-
مهر	۲۷,۸	۲۲,۲	۷۱,۶
دی	۱۱۹,۴	۱۰۱,۷	۳۱,۷

۵- نتیجه‌گیری

به علت طراحی نامناسب گرمکن های ایستگاههای تقلیل فشار گاز طبیعی معمولاً بازده آنها بسیار پایینتر از مقدار ایده آل میباشد .به همین دلیل مقدار قابل ملاحظه ای از انرژی حرارتی سوخت از طریق گازهای خروجی از دودکش به هدر می رود .از آنجایکه تا کنون در خصوص بازیافت انرژی گازهای خروجی از دودکش این گرمکن ها طرح پژوهشی و یا عملی مناسبی انجام است .نتایج حاصل از این طرح به شرح زیر می باشد:

Archive of SID

www.SID.ir

۵-۱ پس از بررسی و طراحی روش های رایج، شامل استفاده از اکونومایزر -ریکوپراتور -سیستمهای ترکیبی حرارت و برق، مناسب ترین روش ها جهت بازیافت حرارت اتلافی از دودکش استفاده از آن برای پیشگرم کردن هوای ورودی به گرمکن توسط یک ریکوپراتور و یا جهت گرم کردن بخشی از آب بویلر توسط اکونومایزر تعیین شد

۵-۲ نکته دیگر در مورد اکونومایزر، سهولت در ساخت آن میباشد .وجود خم در ساختار کویل حرارتی سبب می شود که ساخت آن کمی دشوارتر از اکونومایزر باشد و این امر سبب بالا رفتن هزینه سرمایهگذاری طرح کویل حرارتی تک لوله می باشد.

۵-۳ طرح منتخب برای این سامانه، استفاده از حرارت اتلافی از دودکش و بازیافت آن جهت گرمایش آب بویلر به کمک مبدل اکونومایزر م یباشد.

۵-۴ با افزایش شار حرارتی، مقدار متوسطی که به دمای خروجی گاز در فشارهای مختلف اضافه میشود، یک روند افزایشی است .این در حالی است که اگر دمای ورودی گاز به گرمکن افزایش یابد، این مقدار متوسط، کاهشی خواهد بود.

۵-۵ استفاده از حداکثر فشار گاز لوله های کویل تحت هر شرایطی با کاهش فشار گاز ورودی و افزایش دبی حجمی به مبدل، حداکثر سرعت گاز افزایش می یابد.

مراجع

1- Waste Heat Recover"y, Energy Efficiency Guide for Industry in Asia .www.energyefficiencyasia.org.

2- Waste Heat Recovery:Technology and Opportunities in U.S. Industry", Prepared by BCS, Incorporated, March2008

3- Katz, D.L., Kobayashi, D., Vary, J.A., Elenbaas, J.R., Poettmann, F.H., Weinaug, C.F. (1956), "Handbook of Natural Gas Engineering". Chapter 16, pp. 597-654, McGraw-Hill Co., New York

4- Poredos, A., Kitanovski, A. (2002), "Exergy loss as a basis for the price of thermal energy". J. Energy Conver. Manage., Vol. 43, pp. 2163-2173.

5- Katz, D.L., Kobayashi, D., Vary, J.A., Elenbaas, J.R., Poettmann, F.H., Weinaug, C.F. (1956), "Handboo of Natural Gas Engineering". Chapter 16, pp. 597-654, McGraw-Hill Co., New York

Archive of SID

www.SID.ir