

تحلیل اقتصادی و بازاریابی انرژی از ایستگاه تقلیل فشار گاز

فرشید محمودی¹، فرشاد ریاحی²، حمید کارشکی³

¹دانشگاه صنعت نفت، دانشکده نفت اهواز

اهواز، ایران

fmpu89@gmail.com

09171076369

²دانشگاه صنعت نفت، دانشکده نفت اهواز

اهواز، ایران

Farshad.riyahi@gmail.com

09356138164

³دانشگاه صنعتی شریف

تهران، ایران

09126458505

kareshky@gmail.com

چکیده

ایستگاه های¹ تقلیل فشار گازبرروی خطوط لوله انتقال گاز قرار میگیرند و فشار گاز را از 1000Psig به 250Psig تقلیل میدهند. واحد اصلی تقلیل فشار در این سیستم ها، شیرهای فشار شکن می باشد. انرژی زیادی در هنگام کاهش ناگهانی فشار، در این شیرها به هدر میرود. در صورت استفاده از توربین ها به جای شیر فشار شکن، می توان از این انرژی بالای گاز، در هنگام افت فشار به 250Psig استفاده نمود. یعنی همان گونه که در ایستگاه های تقویت فشارگاز، به کمک کمپرسورها و با صرف انرژی اقدام به افزایش فشار گاز شده، حال میتوان همین انرژی مصرف شده را با قرار دادن توربین در ایستگاه های تقلیل فشار بازیابی نمود. در این مقاله محاسبات ظرفیت حرارتی در گرم کن ها و ملاحظات انرژی در شیرهای فشارشکن و در حالت بهینه، یعنی قرار دادن توربین های انبساطی به جای شیرهای فشارشکن، آورده شده است. و در ادامه برآورد اقتصادی و کل سرمایه گذاری (T.C.I)، سرمایه گذاری ثابت (F.C.I) و سرمایه در گردش (W.C.I) و همچنین نرخ بازگشت سرمایه محاسبه شده است. و در انتها مقایسه صرفه اقتصادی استفاده از، شیرهای فشارشکن و توربین ها صورت گرفته، که نرخ بازگشت سرمایه به ترتیب 1.5 year، 0.62 Year برآورد شده است و در مواردی که دبی گاز عبوری بالا باشد استفاده از توربین ها، توصیه میگردد.

واژه های کلیدی: ایستگاه تقلیل گاز، شیر فشارشکن، گرم کن، توربین انبساطی، انرژی، سرمایه گذاری



1- مقدمه:

با توجه به مصرف روز افزون انرژی در جهان، نیاز به استحصال بیشتر منابع انرژی امری اجتناب ناپذیر می باشد. پراکندگی منابع گاز طبیعی در نقاط خاص باعث شده است تا از سیستم های انتقال و توزیع مختلف استفاده شود. مایع نمودن و یا تبدیل گاز طبیعی به هیدرات های برای انتقال آن روش های نوین انتقال و توزیع گاز می باشد [1]. در ایران در حال حاضر اقتصادی ترین روش انتقال گاز و خطوط لوله می باشد با توجه به پاک بودن گاز طبیعی نسبت به سایر سوخت های فسیلی افزایش سهم گاز در سبد انرژی کشور، باعث توسعه سیستم های انتقال شامل خطوط انتقال فشار بالا و ایستگاه های تقویت فشار گردیده است به طوری که در پایان سال 1380 حدود 15.3 هزار کیلومتر خط لوله و هم اکنون بیش از 40 ایستگاه تقویت فشار و ایستگاه های متعدد تقلیل فشار در شهرهای مختلف وجود دارد. [2,3] به منظور جلوگیری از افزایش بیشتر طول خط لوله و با توجه به خاصیت تراکم پذیر بودن گاز می توان با احداث ایستگاه های تقویت فشار گاز از هزینه های زیاد نصب شبکه انتقال جلوگیری نمود. در ایستگاه های تقویت فشار، فشار گاز به حدود 750 تا 1100 psig می رسد سپس متناسب با نیاز مصرف کننده بایستی قبل از مصرف مجدداً این فشار در ایستگاه تقلیل فشار، کاهش یابد [1]. در ایستگاه های تقلیل فشار های گاز شهری (C.G.S) فشار به 250 psig و در ایستگاه های (T.B.S) به 60 psig توسط شیرهای فشار شکن کاهش می یابد. [3]

در این نوع کاهش فشار در حقیقت نوعی اتلاف انرژی وجود دارد که میتوان با نصب توربین های انبساطی به جای شیر فشار شکن انرژی مصرف شده در کمپرسورهای ایستگاه های تقویت فشار بازیابی نمود. گاز طبیعی با فشار بالا وارد توربین انبساطی شده و با فشار پایین از آن خارج می شود. انرژی حاصل از کاهش فشار به حرکت دورانی تبدیل می گردد. از حرکت دورانی بوجود آمده می توان به عنوان نیروی محرکه برای ژنراتور، جهت تولید الکتریسیته استفاده کرد [4].

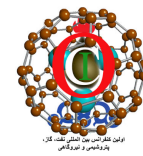
برای اولین بار به صورت عملی در سال 1987 در کشور دانمارک این فناوری جهت تولید کار محوری در کمپرسورهای بخار مورد استفاده قرار گرفت [5]. در حال حاضر 27 سیستم تبدیل فشار به انرژی (PIP pressure into power) در کل اروپا نصب شده است که در مجموع 20MW الکتریسیته تولید میکنند [5].

اهداف مورد نظر در طراحی ایستگاهها:

- فشار و دمای گاز شبکه ورودی به فشار و دمای مورد نیاز مصرف کننده تغییر یابد.
- میزان گاز خروجی از ایستگاه تامین و اندازه گیری شود.
- شرایط ایمن در بهره برداری از ایستگاه تامین شود.
- روند مصرف روزانه و یا سالیانه گاز در ایستگاهها و تداوم گازرسانی تامین گردد.

جهت دستیابی به اهداف فوق طراحی ایستگاهها بایستی شامل موارد زیر باشد:

- 1- حداقل فشار و دمای ورودی موجود و حد اکثر فشار و دمای خروجی مجاز را مشخص مینمایند.
- 2- به منظور جلوگیری از افزایش فشار در شبکه خروجی متناسب با نوع مصرف کننده تجهیزات ایمنی در ایستگاهها نصب مینمایند.
- 3- متناسب با روند مصرف گاز در ایستگاهها و همچنین تامین تداوم گازرسانی ممکن است ظرفیت ایستگاه بین چند خط تقسیم و یا از خطوط کنار گذر استفاده می نمایند .
- 4- با توجه معادله حالت گاز ها کاهش فشار همواره با کاهش دما همراه است توجه به این نکته در ایستگاه های تقلیل فشار موجب میگردد برای جلوگیری از تشکیل هیدرات، بوسیله پیش گرم کردن آن از رسیدن به نقطه شبنم گاز ممانعت میشود.

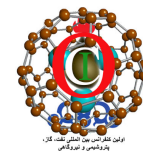


2- تحلیل اقتصادی و ملاحظات انرژی:

در ابتدا به بررسی هزینه ساخت یک ایستگاه بدون توربین می پردازیم نخست به کمک جدول زیر کل قیمت تجهیزات لازم برای ساخت یک ایستگاه (T.B.S) که دارای Line 3 میباشد که این هزینه ها برای سال 1387 از مرجع [6] گرفته را ، محاسبه، سپس ما با استفاده از اطلاعات اقتصادی از مرجع [7] هزینه ثابت (F.C.I) و سپس کل هزینه (T.C.I) و استهلاک سالیانه و در نهایت مدت زمان بازگشت سرمایه را حساب میکنیم.

جدول 1- هزینه تجهیزات لازم

Item	Specification	ارزش کل به ریال	Item	Specification	ارزش کل به ریال	Item	Specification	ارزش کل به ریال
1	Axial flow Regulator	73627500	16	Threadolet for (3-8) pipe	1828000	31	Weldolet for (6-10) pipe	378900
2	Safety relief valve	5982300	17	Nipple	2791800	32	Tee unequal B.w	797650
3	Dry gas filter	73627500	18	Ball valve scrd	7178640	33	Tee unequal B.w	398820
4	Safety shut off valve	138051000	19	Plug valve scrd	4785760	34	Tee Equal B.w	704600
5	Plug valve	23929500	20	Gauge needle valve scrd	1661725	35	Tee Equal B.w	359000
6	Plug valve	4785900	21	Stud coupling male	2552400	36	Reducer con	678000
7	Ball valve	233153400	22	Stud coupling male(tube thread)	3988200	37	Reducer con	574320
8	G-250Gas Turbine meter	229288500	23	Plug scrd	647200	38	Reducer Elbow 90	797800
9	Flange w.n	1914360	24	Pressure Gauge(300psi)	79760	39	Reducer Elbow 90	877400
10	Flange w.n	9332460	25	Pressure Gauge(160psi)	319040	40	Elbow L.R 90	159540
11	Flange w.n	151540	26	Gasket caf	2223000	41	Stud Bolts&Nuts	479520
12	Flange w.n	2206780	27	Gasket caf	287160	42	Stud Bolts&Nuts	208800
13	Flange w.n	3669120	28	Gasket caf	263220	43	Stud Bolts&Nuts	931200
14	Flange w.n	578250	29	Gasket caf	66210	44	Stud Bolts&Nuts	2568000
15	Flange w.n	578250	30	Gasket caf	31890	45	Line Pipe S.L API 5LGR.	6779900
			کل قیمت			مجموع		
Item 1-45			847637815			Σ E=954271440 Real		
Other instrument			106633625					



باتوجه به اینکه نوع فرایند سیال میباشد داریم:

جدول 3- کل هزینه های غیر مستقیم

مهندسی و نظارت	0.33E
هزینه ساختمانی	0.41E
هزینه پیمانکار	0.22E
هزینه های متفرقه	0.42E
کل هزینه های غیر مستقیم	1.38E



کل هزینه غیر مستقیم = 1316894587 Real

جدول 2- کل هزینه های مستقیم

نصب تجهیزات خریداری شده	0.47E
ابزار دقیق و کنترل (نصب شده)	0.18E
لوله کشی (نصب شده)	0.66E
سیستم های برقی (نصب شده)	0.11E
ساختمان (به همراه سرویس)	0.18E
محوطه سازی	0.1E
زمین (اگر خریداری لازم باشد)	0.06E
کل هزینه های مستقیم	3.46E



کل هزینه مستقیم = 3301779182 Real

کل هزینه های مستقیم + کل هزینه های غیر مستقیم = سرمایه گذاری ثابت

(F.C.I)=4618673770 Real سرمایه گذاری ثابت

$$F.C.I+W.C.I=T.C.I$$

$$F.C.I=0.85 T.C.I$$

$$W.C.I=0.15 T.C.I$$

پس کل سرمایه گذاری برابر با:

$$T.C.I = \frac{F.C.I}{0.85} = 5433733847 \text{ Real}$$

$$W.C.I = 815060077 \text{ Real}$$

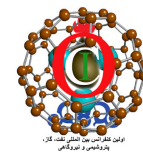
بدست آوردن درآمد روزانه:

قیمت فروش هر متر مکعب گاز خانگی با احتساب یارانه پرداختی دولت برابر با 100 ریال میباشد که البته در صورت زیاده روی در مصرف قیمت به صورت تصاعدی محاسبه شده و تا 200 ریال به ازای هر متر مکعب نیز میرسد. قیمت فروش هر متر مکعب گاز به صنایع و مراکز تجاری نیز با احتساب یارانه پرداختی دولت برابر با 350 ریال میباشد که البته در صورت زیاده روی در مصرف قیمت به صورت تصاعدی محاسبه شده و تا 500 ریال به ازای هر متر مکعب نیز افزایش میابد. بنابراین میتوان میانگین قیمت هر متر مکعب گاز را 300 ریال فرض کرد. و همچنین با این فرض که شرکت به ازای هر متر مکعب گاز 200 ریال به پالایشگاه پرداخت نماید ، پس میتوان گفت که مبلغ 100 ریال (به ازای هر متر مکعب گاز) نصیب شرکت میشود.

باتوجه به اینکه ظرفیت ایستگاه فوق $10000(m^3/hr)$ میباشد داریم: $24000(m^3/day)$ ظرفیت روزانه ایستگاه

پس درآمد روزانه ایستگاه برابر خواهد بود با:

$$100(\text{Real}/m^3) * 240000 (m^3/day) = 2.4 * 10^7 (\text{Real}/day)$$



بدست آوردن درآمد سالیانه:

$$2.4 * 10^7 \text{ (Real/day)} * (365 \text{ day/1 year}) = 8.76 * 10^9 \text{ (Real/year)}$$

واحد: دو اپراتور با حقوق ماهیانه هر کدام 8000000 ریال برای هر کدام باشد و در نظر گرفتن هزینه آب و برق ماهیانه 300000 ریال خواهیم داشت:

$$\text{Operating cost} = 550000 \text{ (Real/day)}$$

هزینه سالیانه واحد:

$$550000 \text{ (Real/day)} * 365 \text{ day/1 year} = 2.009 * 10^8 \text{ (Real/year)}$$

بدست آوردن ارزش اسقاطی ایستگاه:

بافرض اینکه ارزش اسقاطی 0.05 از هزینه تجهیزات خریداری شده باشد داریم،

$$0.05 * 954271440 = 47713572 \text{ Real}$$

بدست آوردن استهلاك سالیانه:

با توجه به اینکه عمر مفید ایستگاه حدودا 30 سال میباشد و میتوان استهلاك را از روش خطی محاسبه نمود . داریم:

= استهلاك سالیانه

بدست آوردن سود خالص و ناخالص سالیانه:

$$\text{سود ناخالص} = 8.76 * 10^9 \text{ (Real/yr)} - 2.009 * 10^8 \text{ (Real/yr)} - 3.02 * 10^7 \text{ (Real/yr)} = 8.52 * 10^9 \text{ (Real/day)}$$

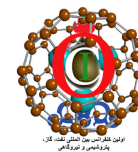
$$\text{سود خالص} = 8.52 * 10^9 (1 - 0.15) = 7.24 * 10^9 \text{ (Real/year)}$$

$$\text{ارزش اسقاطی} - \text{سرمایه گذاری ثابت} = \frac{\text{زمان بازگشت سرمایه}}{\text{متوسط استهلاك سالیانه} + \text{متوسط سود خالص سالیانه}} = 0.63 \text{ Year}$$

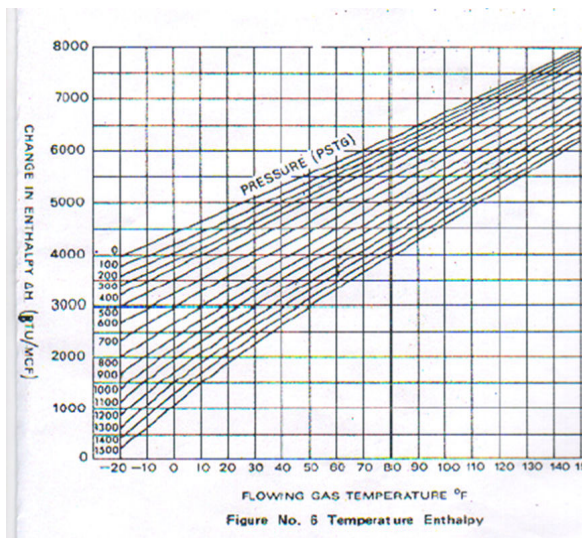
محاسبه ظرفیت حرارتی گرمکن ها:

ازگراف {1} دمای تشکیل هیدرات بدست میاید. دمای تشکیل هیدرات با فشار خروجی (250) و دانسیته (0.06) $T_H = 40^\circ \text{ F}$:

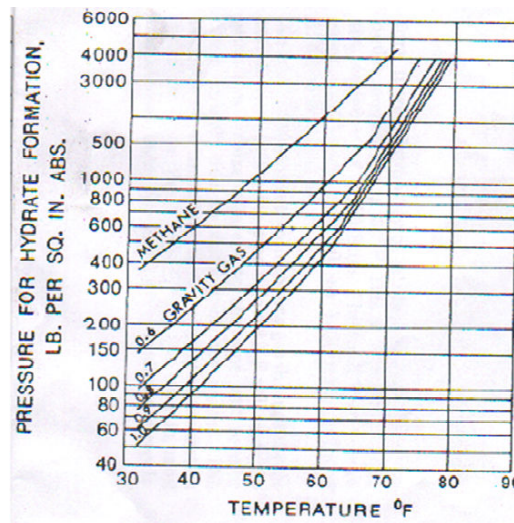
اگر به دمای تشکیل هیدرات حدود 5 درجه فارنهایت بیافزاییم با استفاده از گراف دوم (تغییرات آنتروپی گاز بر حسب دما و فشار) میتوان آنتروپی مورد نیاز را در فشار خروجی بدست آورد . $45^\circ \text{ F} = 5 + 40$ دمائی که انتظار میرود هیدرات تشکیل نشود تغییرات آنتالپی در 45° F و فشار 250 ازگراف مزبور حدود 5000 BTU/MCft خواهد شد. از طرفی با حداکثر فشار ورودی و دمایی که انتظار میرود هیدرات تشکیل نشود آنتالپی گاز حدود 3700 خواهد شد تفاوت تغییرات آنتالپی در شرایط خروجی و ورودی همان حرارت مورد نیاز در واحد حجم گاز میباشد. در مورد ایستگاه تقلیل فشار، فشار خروجی و ورودی به ترتیب 1000, 250 psig و $sg = 0.6$ مقدار حرارت برای هر متر مکعب 67 Btu می گردد. برای پیشگیری از تشکیل هیدرات در ایستگاه و دمایی که انتظار میرود هیدرات تشکیل نشود آنتالپی گاز حدود 3700 خواهد شد تفاوت تغییرات آنتالپی در شرایط خروجی



و ورودی همان حرارت مورد نیاز در واحد حجم گاز میباشد. در مورد ایستگاه تقلیل فشار، فشار خروجی و ورودی به ترتیب $sg=0.6$ و $1000,250\text{psig}$ مقدار حرارت برای هر متر مکعب 67 Btu می گردد. برای پیشگیری از تشکیل هیدرات در ایستگاه تقلیل فشار این صرفه انرژی، ضروری می باشد که تنها انرژی مصرف شده در سیستم می باشد.



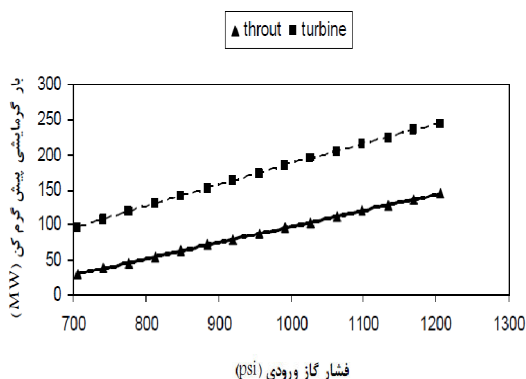
شکل 2- انرژی در مقابل دمای هیدرات



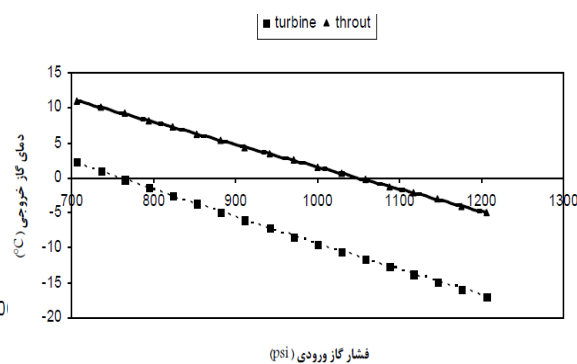
شکل 1- دمای هیدرات در مقابل فشار خروجی

3- بحث و تفسیر:

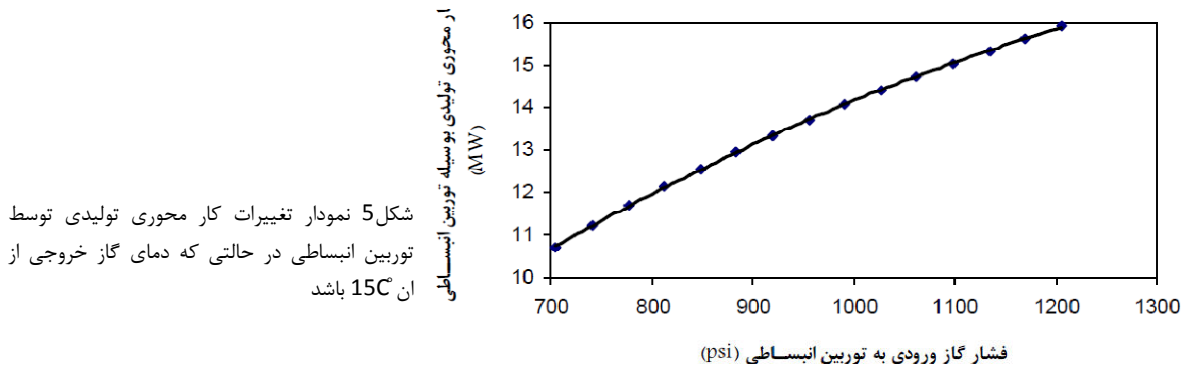
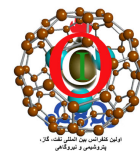
در صورت استفاده از شیر فشار شکن یا توربین انبساطی بدون پیش گرمایش، دبی گاز ورودی بر دمای گاز خروجی از آنها موثر نیست در حالی که از شکل 3 مشخص است که توربین انبساطی کاهش دمای بیشتری را در دمای گاز خروجی ایجاد میکند. لازم به ذکر است در صورت استفاده از توربین انبساطی تک مرحله ای با پیش گرمایش میزان بار گرمایشی مورد نیاز برای گاز ورودی به توربین انبساطی بیش از شیرفشار شکن است. استفاده از توربین های انبساطی چند مرحله ای نسبت به توربین های تک مرحله ای دارای مزیت های زیر است [9]: 1- کاهش انرژی مصرفی در پیش گرم کن 2- تولید سرمایه گذاری توسط توربین انبساطی چند مرحله ای



شکل 4 نمودار تغییرات بار گرمایشی پیش گرم کن

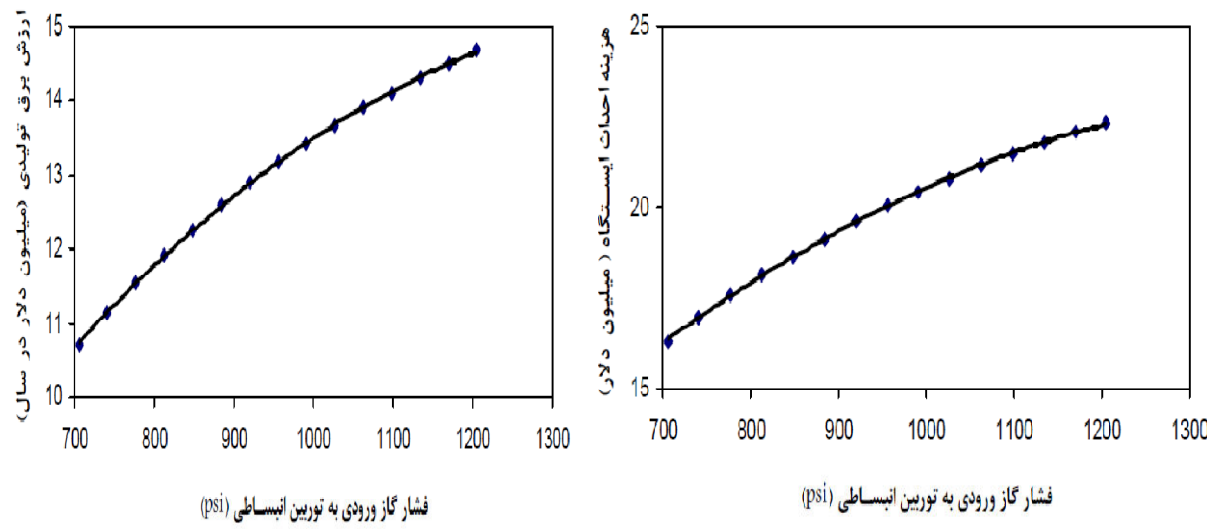


شکل 3 نمودار تغییرات دمای گاز خروجی از توربین انبساطی و شیر فشار شکن بدون پیش گرم کن خوراک



شکل 5 نمودار تغییرات کار محوری تولیدی توسط توربین انبساطی در حالی که دمای گاز خروجی از آن 15C باشد

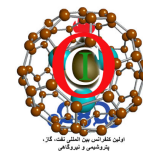
برای انجام بررسی اقتصادی، سیستم توربین انبساطی چند مرحله ای همراه با پیش گرم کن را انتخاب می کنیم و فقط هزینه ایستگاه تقلیل فشار گاز و قیمت برق تولیدی را در نظر می گیریم. هزینه احداث ایستگاه تقلیل فشار گاز در محدوده 800 \$/Kw تا 1600\$/Kw است [5] که مینا قرار داده شده است برای تعیین مقدار برق تولیدی سیستم، بازده زراتور را 96% [10] مد نظر است و مقدار 0.12 \$/Kwh را برای قیمت برق تولیدی محاسبه شده است. [11] نتایج حاصل در نمودار زیر آورده شده است.



شکل 6- نمودار تغییرات هزینه احداث ایستگاه تقلیل فشار انبساطی چند مرحله ای
 شکل 7- نمودار تغییرات ارزش برق تولیدی برای توربین گاز برای توربین انبساطی چند مرحله ای

با تقسیم هزینه احداث ایستگاه تقلیل فشار گاز بر ارزش برق تولیدی توسط آن ایستگاه می توان زمان بازگشت سرمایه را بدست آورد. نتایج حاصل نشان می دهد که زمان بازگشت سرمایه حدود 1.5 سال می باشد. [9]

بر اساس آنچه در تحلیل اقتصادی برای حالت استفاده از شیرفشار شکن آورده شد و مباحثی که از مراجع مختلف در زمینه استفاده از توربین انبساطی بیان شده است باوجود اینکه نرخ بازگشت سرمایه در حالت PIP تقریباً دوبرابر استفاده از حالت شیرهای فشار شکن است لیکن تولید برق در این فناوری بدون صرف انرژی یا سوزاندن گاز (همانند نیروگاه های سیکل ترکیبی) بوده و در واقع همان انرژی نهفته در گاز راهنگام تقلیل استفاده می گردد همچنین از دیدگاه محیط زیست این بازیابی انرژی بدون آلودگی می



باشد. ذکر این نکته ضروری است که تولید برق با این روش زمانی به صرفه است که مقدار دبی گاز عبوری بحدی زیاد باشد که توجیه اقتصادی یابد این بدان معنی است که دبی و فشار ورودی به توربین بر میزان بصره بودن برق تولیدی تأثیر بسزایی دارد.

4- نتیجه گیری:

- 1- انرژی موجود در جریان گاز پر فشار در ایستگاه های تقلیل فشار توسط شیرهای فشار شکن به هدر می رود.
- 2- برای بازیافت انرژی در ایستگاه های تقلیل فشار می توان از توربین انبساطی بجای شیر های فشار شکن استفاده نمود.
- 3- محدوده دبی و فشار و نوع سیستم توربین انبساطی مورد استفاده در این فناوری بر به صرفه بودن آن موثر است.
- 4- نرخ بازگشت سرمایه در این فناوری حدود 1.5 سال و در مورد استفاده از شیر فشار شکن در حدود 0.62 بوده اما همانطور که قبلاً ذکر گردید با ملاحظات ایمنی و پاک بودن فناوری بکارگیری آن قابل توجیه است. مشروط بر اینکه دبی عبوری در محدوده مناسب باشد.
- 5- در زمینه ملاحظات انرژی تنها انرژی خارج از سیستم ورودی به ایستگاه همان انرژی گرم کن هاست که بمنظور پیشگیری از تشکیل هیدرات بر اثر کاهش ناگهانی دما در تقلیل فشار، می باشد که با محاسبات صورت گرفته در حدود 70 Btu برای هر متر مکعب گاز بدست آمده است.

منابع:

- 1- Fischer ,H.O.P,"Gas System Piping",McGraw ,Hill,1986
- 2- عباس طرفی، "جنگ و نفت"، 1380 چاپ اول
- 3- <http://www.nigc-fars.ir>
- 4- <http://www.agkk.de>
- 5- www.state.nj.us/bpu/cleanenergy
- 6- واحد HSE شرکت گاز استان فارس
- 7- Peters M., Timmerhaus K., West R.," Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 5th ed., McGraw-Hill Companies,2002
- 8- Campbell J.M.,"Gas Conditioning and Processing",Campbell Petroleum series,1984
- 9- محبوب محمدرضا، "شبیه سازی استفاده از توربین در ایستگاه تقلیل فشار گاز جهت استحصال انرژی"، دانشگاه صنعتی اصفهان
- 10- www.rmg.de/pdf_regeltechnik/mtg_gb_0507.pdf
- 11- [www.anapsid.org/electricity cost](http://www.anapsid.org/electricity%20cost)