بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

بهینه‌سازی عملکرد ایستگاه تقویت فشارگاز طبیعی در جهت کاهش مصرف انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش فرآوری و انتقال گاز

محمد محمدی باغملایی

اساتید راهنما

دکتر جواد سرگلزایی

دکتر فیروز طبخی

زمستان ۱۳۹۱

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش فرآوری و انتقال گاز آقای محمد محمدی باغملایی

تحت عنوان

بهینه‌سازی عملکرد ایستگاه تقویت فشارگاز طبیعی در جهت کاهش مصرف انرژی

در تاریخ --/--/۱۳۹۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و اصالت و صحت مطالب پایان نامه مورد تایید قرار گرفت.

مدیر گروه مهندسی شیمی **دکتر مهدی پورافشاری چنار**

تقدیم به همراهان همیشگی‌ام

به پدرم به استواری کوه

به مادرم به زلالی چشمه

تشکر و قدردانی:

از راهنمایی‌های استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر سرگلزایی که در همه مراحل تحقیق و نگارش آن مرا هدایت و یاری کرده است تشکر و قدردانی می‌کنم.

همچنین با سپاس از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر طبخی که با مطالعه کامل پایان‌نامه و با نکته سنجی‌های خود موجب اصلاح این پایان‌نامه شدند.

از اساتید محترم دکتر احسان روحی گل ختمی و دکتر سعید زینالی هریس که به عنوان هیئت داوران با مطالعه دقیق پایان‌نامه و قضاوت درباره آن و ارائه نظرات و پیشنهادات عالمانه بر بنده منت گذاشتند سپاسگزارم.

از جناب آقای مهندس خدری ریاست محترم شرکت عملیات انتقال گاز منطقه ۱۰ و معاونت محترم ایشان جناب آقای مهندس نصیحت کن همچنین کارشناسان سخت کوششان جناب آقای مهندس جوکار براز جانی و رسگار مجرد که با در اختیار گذاشتن اطلاعات مربوط به این پایان‌نامه صمیمانه همکاری کردند، کمال تشکر را دارم.

اینجانب محمد محمدی باغملایی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان نامه: بهینه‌سازی عملکرد ایستگاه تقویت فشارگاز طبیعی در جهت کاهش مصرف انرژی، تحت راهنمایی آقای دکتر جواد سرگلزایی و دکتر فیروز طبخی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج درپایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه فردوسی مشهد ویا **Ferdowsi University of Mashhad** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن‌ها) استفاده شده ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر گردد.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تاریخ و امضای دانشجو

چکیده

در پژوهش انجام گرفته با استفاده از تحلیل اگزرژی به بررسی عملکرد ایستگاه تقویت فشار پرداخته شده است. هدف بهینه‌سازی عملکرد ایستگاه تقویت فشار با استفاده از تحلیل اگزرژی در جهت کاهش مصرف انرژی می‌باشد. تحلیل اگزرژی روشی ترمودینامیکی است که با استفاده از آن بازگشت‌ناپذیری‌های سیستم به صورت کمی محاسبه می‌شود. کمپرسورهای مورد استفاده در ایستگاه جهت غلبه بر افت فشار به وجود آمده در امتداد خط لوله به کار گرفته شده‌اند. کمپرسورها با سرعت‌های متغیر قادر به تراکم گاز می‌باشند. با تغییر سرعت کمپرسور، مقدار سوخت مصرف شده در محفظه‌ی احتراق توربین نیز متعاقباً تغییر می‌کند. عمل تراکم منجر به افزایش دمای گاز متراکم شده می‌شود در نتیجه استفاده از کولرهای هوا جهت خنک‌سازی آن اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. برای بررسی عملکرد ایستگاه به منحنی مشخصه توربین و کمپرسور نیاز است که برای هر کمپرسور و توربین منحصربه‌فرد می‌باشد. در ادامه به تحلیل و بررسی ده چیدمان ممکن جهت یافتن بهترین حالت بهینه از لحاظ میزان مصرف سوخت و بازگشت‌ناپذیری سیستم پرداخته شده است. برای این منظور ایستگاه تقویت فشار آبپخش واقع بر بزرگترین خط لوله‌ی انتقال گاز ترش جهان[1]، انتخاب شده است. با توجه به ترش بودن گاز انتقالی و تأثیر آن بر روی رفتار حقیقی گاز، با استفاده از تئوری حالات متناظر[2] و کمک گرفتن از نوعی معادله‌ی ساده شده‌ی ویریال رفتار حقیقی گاز مدل‌سازی شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی بیانگر این است که بازده اگزرژتیک[3] هر توربوکمپرسور شدیداً به شرایط عملیاتی کمپرسور و نسبت تراکم خواسته شده وابسته است. نتایج مدل‌سازی منجر به تعیین بهترین آرایش برای ایستگاه مورد نظر گردید. بهترین آرایش دارای دو کمپرسور سری به انضمام کولرهای هوا بوده که دارای بازده اگزرژتیک ۹۹/۵۹٪ ، تخریب اگزرژی ۱۰۴/۹۴۱ مگاوات و کاهش ۵۵/۸۷٪ در مصرف سوخت نسبت به پرمصرف‌ترین آرایش می‌باشد. از دیگر عوامل تأثیر گذار بر روی بازده اگزرژتیک[4] ایستگاه تعداد کمپرسورهای مورد استفاده است. چیدمان بهینه وابسته به نسبت تراکم مورد نظر و مقدار جریان رسیده به ایستگاه می‌باشد. همچنین در بخشی پایان‌نامه حاضر ملاحظات اقتصادی مسئله نیز در نظر گرفته شده است. این مهم با برآورد قیمت تمام شده‌ی قطعات اصلی مورد استفاده در ایستگاه و همچنین تأثیر بهینه‌سازی در مصرف سوخت سیستم و مقایسه‌ی بین چیدمان‌های مختلف انجام شده است.

کلید واژه: ایستگاه تقویت فشار، توربوکمپرسور، اگزرژی، مصرف سوخت

[1] Iranian Gas Trunk line (IGAT5)
[2] Corresponding State Theory
[3] Exergetic Efficiency

فهرست مطالب

فصل اول: کلیاتی پیرامون گاز طبیعی ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- انواع مختلف گاز طبیعی ۲

۱-۲-۱- ترکیبات متفاوت گاز طبیعی ۳

۱-۲-۲- پراکندگی جغرافیایی انواع گازها ٤

۱-۲-۳- گاز ترش و گاز شیرین ٥

۱-۳- روش‌های انتقال گاز ۷

۱-۳-۱- سیستم‌های انتقال از طریق خط لوله ۸

۱-۳-۲- طراحی تأسیسات خط لوله انتقال ۸

فصل دوم: تجهیزات به کار رفته در ایستگاه تقویت فشار ۱۰

۲-۱- تجهیزات ایستگاه‌های تقویت فشار و کارکرد آنها ۱۰

۲-۱-۱- خطوط انشعاب و انواع ایستگاه‌ها از نظر چیدمان ۱۰

۲-۱-۲- اسکرابر گاز ۱۲

۲-۱-۳- توربین گازی ۱٤

۲-۱-۴- کمپرسور گاز ۱۷

۲-۱-۵- کولر گازی ۱۸

۲-۱-۶- تجهیزات ۲۰

فصل سوم: مروری بر مطلعات انجام شده در زمینه بهینه‌سازی شبکه‌های انتقال گاز ۲۲

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- مطالعات انجام شده در زمینه بهینه‌سازی به روشهای عددی و ریاضی ۲۲

۳-۲-۱- بهینه‌سازی در جهت کاهش مصرف سوخت ۲۳

۳-۲-۲- بهینه‌سازی شبکه‌های انتقال گاز به روش‌های عددی ۲٤

۳-۲-۳- شبیه‌سازی منحنی مشخصه کمپرسورها ۲٦

۳-۲-۴- شبیه‌سازی رفتار سیالات درون لوله‌های انتقال ۲۷

۳-۳- بهینه‌سازی بر مبنای تحلیل اگزرژی ۲۸

فصل چهارم: مدل‌سازی و روابط مرتبط با آن ۳۳

۴-۱- مقدمه ۳۳

۴-۲- روابط فیزیکی و ترمودینامیکی حاکم ۳۳

۴-۳- محاسبه‌ی ضریب تراکم‌پذیری ۳٤

۴-۴- کمپرسور گریزازمرکز ۳٦

۴-۵- توربین گازی ۳۸
۴-۶- انتقال حرارت مربوط به کولرهای گازی ۴۰
۴-۷- تحلیل اگزرژی ایستگاه ۴۳

فصل پنجم: نتایج و تحلیل آنها **۴۹**
۵-۱- مطالعه موردی ۴۹
۵-۲- تحلیل اگزرژی ایستگاه با در نظر گرفتن تغییرات سرعت کمپرسور ۵۲
۵-۳- یافتن چیدمان بهینه ۵۹
۵-۳-۲- سوخت مصرفی ۶۰
۵-۳-۳- تحلیل اگزرژی چیدمان‌های ممکن ۶۲
۵-۴- تحلیل اقتصادی ۶۵
۵-۴-۱- تحلیل اقتصادی مسئله حاضر ۶۶
۵-۴-۲- ارزیابی هزینه‌های ثابت ایستگاه ۶۶

فصل ششم: جمع‌بندی و پیشنهادها **۷۱**
۶-۱- جمع‌بندی ۷۱
۶-۲- پیشنهادها ۷۲

منابع و مراجع **۷۳**

پیوست **۷۶**

فهرست اشکال

شکل (۲-۱): ایستگاه‌هایی که کمپرسورها نسبت به هم موازی هستند [۵]..... ۱۱
شکل (۲-۲): ایستگاه‌هایی که کمپرسورها نسبت به هم سری هستند [۵]..... ۱۱
شکل (۲-۳): ایستگاه‌هایی که کمپرسورها نسبت به هم موازی و سری هستند [۵]..... ۱۲
شکل (۲-۴): نمایی از اسکرابرهای صنعتی [۵]..... ۱۳
شکل (۲-۵): نمایی از اسکرابر و عمل چرخش جریان گاز درون اسکرابر [۵]..... ۱۳
شکل (۲-۶): نمایی از توربین گازی و اجزای درون آن [۶]..... ۱٤
شکل (۲-۷): نمایی از فیلتر هوای توربین گازی [۶]..... ۱۵
شکل (۲-۸): کمپرسور محوری استفاده شده در توربین گاز [۶]..... ۱۵
شکل (۲-۹): تزریق سوخت به محفظه‌ی احتراق [۶]..... ۱٦
شکل (۲-۱۰): توربین‌های فشار پایین و مولد کمپرسور [۶]..... ۱٦
شکل (۲-۱۱): تخلیه‌ی گاز به فضای بیرون [۶]..... ۱۷
شکل (۲-۱۲): نمایی از کولرهای هوای به کار رفته در ایستگاه تقویت فشار [۵]..... ۱۹
شکل (۲-۱۳): کولر هوا با دمش اجباری [۵]..... ۱۹
شکل (۲-۱۴): کولر هوا با دمش القایی [۵]..... ۲۰
شکل (۲-۱۵): کمپرسور گریزازمرکز مورد استفاده در ایستگاه تقویت فشار آبپخش[۶]..... ۲۱
شکل (۲-۱۶): توربین گازی مورد استفاده در ایستگاه تقویت فشار آبپخش [۶]..... ۲۱
شکل (۴-۱): تابعیت هد نسبت به دبی حجمی، سرعت چرخشی و بازده ایزنتروپیک [۷]..... ۳۷
شکل (۴-۲): طرحی از کمپرسور گریزازمرکز، توربین راه‌انداز آن و کولر هوا..... ۳۹
شکل (۴-۳): منحنی عملکرد توربین گازی [۶]..... ٤۰
شکل (۴-۴): نسبت اگزرژی شیمیایی به LHV با در نظر گرفتن تغییرات دما و رطوبت نسبی [۵۲]..... ٤۷
شکل (۵-۱): منحنی مشخصه کمپرسور بر گرفته از داده‌های تجربی..... ۵۲
شکل (۵-۲): منحنی مشخصه توربین بر گرفته از داده‌های تجربی..... ۵۲
شکل (۵-۳): تغییرات نسبت تراکم نسبت به سرعت کمپرسور..... ۵٤
شکل (۵-۴): تغییرات مصرف سوخت نسبت سرعت کمپرسور..... ۵۵
شکل (۵-۵): تخریب اگزرژی اجزای تشکیل دهنده ایستگاه نسبت به تغییرات سرعت کمپرسور..... ۵۵
شکل (۵-۶): تغییرات بازده پلی‌تروپیک نسبت به سرعت کمپرسور..... ۵٦
شکل (۵-۷): تخریب اگزرژی محاسبه شده توسط چاسیکوفسکی و همکارانش [۵۷]..... ۵٦
شکل (۵-۸): روند تغییرات تخریب اگزرژی کلی ایستگاه نسبت به سرعت کمپرسور..... ۵۷
شکل (۵-۹): تغییرات بازده اگزرژتیک کلی ایستگاه نسبت به سرعت..... ۵۷
شکل (۵-۱۰): تغییرات بازده راه‌انداز نسبت به سرعت کمپرسور..... ۵۸

شکل (۵-۱۱): ده چیدمان ممکن توربو کمپرسور ۵۹
شکل (۵-۱۲): مصرف سوخت مربوط به هر ترکیب‌بندی ۶۱
شکل (۵-۱۳): ترکیب‌بندی توربوکمپرسور بهینه ۶۲
شکل (۵-۱۴): تخریب اگزرژی مربوط به ده چیدمان ممکن ۶۳
شکل (۵-۱۵): بازده اگزرژتیک مربوط به هر یک از ده چیدمان ممکن ۶۵
شکل (۵-۱۶): نمودار به‌روز رسانی شاخص قیمت‌ها [۵۷] ۶۸
شکل (۵-۱۷): هزینه‌های جاری و ثابت مربوط به ده پیکربندی ۷۰

فهرست جداول

جدول (۱-۱): ترکیب درصد برخی از گازهای غیر همراه (٪ حجمی) [۲] ٤
جدول (۱-۲): ترکیب درصد برخی از گازهای همراه [۲] ٥
جدول (۱-۳): طبقه‌بندی گازها بر اساس ترکیب آنها (ترکیب ٪ حجمی) [۲] ٦
جدول (۱-۴): تخمین پراکندگی مخازن گاز جهان بر اساس گروه گاز (٪ از کل نمونه جهانی[۱]) [۲] ٦
جدول (۵-۱): جزء مولی و خواص فیزیکی گاز ورودی به ایستگاه ٥٠
جدول (۵-۲): تأثیر ضریب تصحیح بر روی دما، فشار و ضریب تراکم‌پذیری ٥٠
جدول (۵-۳): ضرایب معادلات هد، بازده پلی‌تروپیک و بازده راه‌انداز ٥١
جدول (۵-۴): پارامترهای جریان گاز ترش ٥٣
جدول (۵-۵): پارامترهای مهم در تحلیل اگزرژی ٥٤
جدول (۵-۶): تحلیل اگزرجی اجزای ایستگاه در پنج حالت ٥٨
جدول (۵-۷): شرایط جریان گاز خروجی متراکم شده از هر ترکیب‌بندی ٦٠
جدول (۵-۸): شرایط جریانی مربوط به حالت بهینه ٦٢
جدول (۵-۹): تخریب اگزرژی توربین، کمپرسور و کولر برای هر ترکیب‌بندی ٦٣
جدول (۵-۱۰): تحلیل اگزرژی مربوط به حالت بهینه ٦٥
جدول (۵-۱۱): ثوابت به کار برده شده در معادله‌ی (۵-۳) [۵۶] ٦٧
جدول (۵-۱۲): ضریب ماده، f_m [۵۶] ٦٧
جدول (۵-۱۳): ضریب فشار، f_p [۵۶] ٦٧
جدول (۵-۱۴): تعداد توربین، کمپرسور و کولر هوای به کار رفته در هر چیدمان ٦٨
جدول (۵-۱۵): قیمت تجهیزات به کار برده شده در هر یک از ده ترکیب‌بندی ٦٩
جدول (۵-۱۶): هزینه‌های جاری سوخت مصرفی هر آرایش ٦٩

علائم و نشانه‌ها

نرخ اگزرژی جریان (W)	$\dot{X}$	مجموع اجزای مولی دی‌اکسیدکربن و سولفیدهیدروژن، مساحت (m^2)	A
جزء مولی (%)	Y	جزء مولی سولفیدهیدروژن	B
ضریب تراکم‌پذیری	Z	نسبت ظرفیت گرمایی	C
	نمادهای یونانی	ظرفیت گرمایی(J/mol-K)	C_p
ضریب جابجایی (W/m^2)	α	هد کمپرسور (J/g) ،آنتالپی ویژه(J/mol)	H
ضریب تصحیح (K)، ضریب تأثیر	ε	توان ایزنتروپیک	K
بازده راه‌انداز	η_d	ارزش حرارتی حداقل(J/g)	LHV
بازده پلی‌تروپیک	η_p	دبی جرمی (kg/s)	$\dot{m}$
بازده مکانیکی	η_m	جرم مولکولی (g/mol)	M
اگزرژی ویژه (J/kmol)	ψ	توان پلی‌تروپیک	n
سرعت دورانی (rpm)	ω	سرعت چرخشی فن‌ها (rpm)	N
	زیرنویس	فشار (Pa)	p
دمای هوای محیط	0	توان خروجی (W)	P
کولر هوا	ac	نرخ انتقال حرارت (W)	$\dot{Q}$
گاز متراکم	c	دبی حجمی (m^3/s)	Q
تخلیه	d	ثابت جهانی گازها (J/mol-k)، مقامت رسانش دیواره‌ی کولر (K/W)	R
سوخت گازی، لوله‌ی پره‌دار	F	آنتروپی ویژه (J/mol-K)	S
کمپرسور گاز	gc	دمای گاز (K)	T
توربین گازی	gt	ضریب کلی انتقال حرارت (W/m^2-K)	U
پلی‌تروپیک	P	حجم ویژه گاز (m^3/kg)	v
شبه بحرانی	pc	کار مکانیکی (W)	$\dot{W}$
مکش	s	سرعت جریان (m/s)	w
توربوکمپرسور	tc	اگزرژی (J)	X

فصل اول

کلیاتی پیرامون گاز طبیعی

۱-۱- مقدمه

به دلیل سرمایه‌گذاری‌های کلان و مخارج زیاد نگهداری و عملکرد شبکه‌های انتقال گاز، کوچکترین تلاشی در بهینه‌سازی آنها به صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌ها منجر می‌شود. همچنین با توجه به تأثیرات زیست محیطی این شبکه‌ها در دراز مدت به خصوص شبکه‌های حامل گازهای ترش، تلاش‌های فراوانی برای بهبود عملکرد و طراحی آنها شده است. از جمله مشکلات عملیات انتقال گاز فاصله‌ی زیاد بین مخازن گاز و مصرف کنندگان و خریداران گاز طبیعی است که خود یکی از اصلی‌ترین عوامل افت فشار گاز می‌باشد عمده‌ترین عامل افت فشار اصطکاک بین مولکول‌های گاز و دیواره‌ی داخلی لوله می‌باشد. برای غلبه بر این پدیده‌ی ناخواسته از ایستگاه‌های تقویت فشار برای شتاب دادن به گاز و رساندن فشار آن به فشار مطلوب مقصد استفاده می‌شود.

بیشتر ایستگاه‌های تقویت فشار از سه قسمت عمده و اصلی تشکیل شده‌اند: کمپرسور که مسؤل شتاب دادن به گاز است، توربین گازی و کمپرسور هوای محوری استفاده شده در آن که نیروی محرکه‌ی لازم برای راه‌اندازی کمپرسور را بر عهده دارد و کولرهای هوا[1] که برای کاهش دمای گاز متراکم شده به وسیله کمپرسورها به کار گرفته می‌شوند. این افزایش دما به دلیل انرژی انتقال داده به گاز می‌باشد. باید توجه شود که کمپرسور مورد استفاده برای شتاب دادن گاز در ایستگاه‌ها عمدتاً از نوع کمپرسورهای گریزازمرکز می‌باشند. این نوع کمپرسورها به دلیل قیمت مناسب، ظرفیت زیاد و انعطاف‌پذیری بالای خود به دیگر انواع کمپرسورها ترجیح داده می‌شوند. نیروی مورد نیاز توربین‌ها معمولاً از سوخت‌های فسیلی و یا انرژی الکتریکی تأمین می‌شود ولی در بیشتر موارد قسمتی از گاز طبیعی انتقالی به دلیل در دسترس بودن به عنوان تأمین کننده‌ی انرژی توربین انتخاب می‌شود.

با توجه به نسبت تراکم و ظرفیت ایستگاه، ترکیب‌بندی‌های مختلفی امکان‌پذیر می‌باشد. کمپرسورها در

[1] Air Cooler

سه حالت سری، موازی و ترکیبی از آنها قابل نصب و استفاده می‌باشند. طراحی ایستگاه‌ها به گونه‌ای که قادر تغییر در آرایش توربوکمپرسورها باشند، آنها را در برابر ظرفیت‌های گوناگونی منعطف می‌کند.

با توجه افزایش نگرانی‌ها در مورد آلودگی‌های زیست محیطی، افزایش جهانی قیمت انرژی و کاهش سوخت‌های فسیلی در این پژوهش با استفاده از تحلیل اگزرژی که تواماً اجزای اصلی ایستگاه را در بر می‌گیرد به بررسی عملکرد ایستگاه و انواع چیدمان‌های ممکن برای بهینه‌سازی مصرف سوخت پرداخته شده است.

گزارش این تحقیق پنج فصل را شامل می‌شود که در ذیل به طور خلاصه به موارد هر فصل اشاره می‌شود:

فصل اول به معرفی مفاهیم کلی مربوط به گاز طبیعی و راه‌های انتقال آن اختصاص داده شده است.

فصل دوم به بررسی تجهیزات به کار رفته ایستگاه‌های تقویت فشار و انواع مختلف کمپرسورها اختصاص داده شده است..

فصل سوم به مروری بر مطالعات و تلاش‌های انجام شده در زمینه‌ی شبکه‌های انتقال گاز و بهینه‌سازی‌های انجام شده با استفاده از تحلیل اگزرژی اختصاص یافته است.

فصل چهارم شامل مدل‌سازی انجام شده و روابط ریاضی مربوط به آن می‌باشد.

فصل پنجم شامل تحلیل و بررسی نتایج به دست آمده و همچنین برآورد اقتصادی طرح می‌باشد.

فصل ششم به جمع‌بندی و ارائه‌ی پیشنهادات اختصاص یافته است.

۱-۲- انواع مختلف گاز طبیعی

به طور کلی سه نوع گاز طبیعی مشخص شده است:

۱-گازهای غیر همراه که با نفت همراه نیستند،

۲-گازهای همراه به شکل محفظه گازی که در بالای لایه‌ی نفتی در مخزن قرار دارد و

۳-گازهای همراه حل شده در نفت در شرایط مخزن (گازهای محلول).

باید توجه داشت که در بعضی مواقع، این دسته بندی مبهم و نامعلوم بوده و شرایطی پیش می‌آید که می‌تواند با طبقه‌بندی یاد شده بسیار متفاوت باشد [۱]. به هر حال، بجز نوع گاز طبیعی و خصوصیات نفتی که ممکن است همراه آن باشد، مهمترین ویژگی یک گاز، ترکیب شیمیایی آن می‌باشد. زیرا این عامل تعیین کننده‌ی فرایندی است که باید بر روی گاز انجام شود تا بتواند به خصوصیات مورد نیاز برای انتقال توسط خط و لوله و یا به صورت ال.ان.جی برسد.

۱-۲-۱- ترکیبات متفاوت گاز طبیعی

اطلاعات اصولی و منظم کمی در خصوص ترکیب گاز طبیعی در اختیار می‌باشد. در زمینه‌ی نفت مطالعاتی در این باره صورت گرفته است و بر روی طبقه‌بندی نفت خام (چگالی، مقدار سولفور و غیره) و نحوه‌ی توزیع مخازن نفتی، اطلاعات اصولی و قانون‌مندی وجود دارد ولی هیچ کار مشابهی در مورد گاز طبیعی صورت نگرفته است. اساساً این موضوع از این حقیقت ناشی می‌شود که نفت خام به علت سهولت انتقال آن همچنین ابعاد تجارت بین‌المللی آن، خریداران زیادی دارد و همیشه یک تحلیل و بررسی جامع در مورد ویژگی‌های آن در اختیار می‌باشد. در مقابل، گاز طبیعی قبل از ورود به شبکه‌ی توزیع، معمولاً فقط به واحد فرآوری فرستاده می‌شود و در حین مراحل خالص‌سازی و استخراج اجزای سنگین از آن، ترکیب شیمیایی گاز تغییر می‌کند.

بدون انجام مطالعه در عمق زمین به هیچ وجه امکان رسیدن به نتیجه‌ای در مورد ترکیب شیمیایی انواع مختلف گاز طبیعی و نحوه‌ی توزیع آنها در مناطق عمده‌ی گازی جهان، ممکن نخواهد بود. باید خاطر نشان کرد که ترکیبات بسیار متنوعی برای گاز طبیعی خام ذکر شده است (جدول (۱-۱) و (۱-۲)). این گستردگی تا حدی به علت تفاوت ترکیبات شیمیایی بین گازهای همراه (با نفت) و گازهای غیر همراه می‌باشد. یک گاز همراه ممکن است حاوی برش‌های سنگین (اتان، هیدروکربن‌های سنگین‌تر) تا ده برابر بیشتر از یک گاز غیر همراه و معمول خشک باشد. همچنین بخش زیادی از مخازن گازهای غیر همراه اما مرطوب یا گازهای میعان شده از ترکیباتی نظیر اتان، گازهای نفتی مایع شده (ال.پی.جی)[1] و سایر هیدروکربن‌های مایع، غنی می‌باشد.

گاز طبیعی ممکن است دارای مقادیر مختلفی از آلاینده‌های زیر نیز باشد:

الف-بیشتر مسائل بحرانی به سبب سولفیدهیدروژن به وجود می‌آیند. به هر حال گازهایی که بیش از ۱۰ درصد سولفیدهیدروژن داشته باشند، نظیر گازهایی که از لیک[2] و پسراد[3] (فرانسه)، بارنبورگ[4] (آلمان) و استراخن[5] (روسیه) به دست می‌آیند نسبتاً غیر معمول بوده و بسیاری از گازها عملاً بدون سولفیدهیدروژن می‌باشند.

ب-از طرف دیگر، نیتروژن و دی‌اکسیدکربن از آلاینده‌های معمول در تمام گازهای طبیعی می‌باشند،

---

[1] LPG
[2] Lacq
[3] Pecorad
[4] Barenbrug
[5] Astrakhan

مقدار متوسط نیتروژن در محدوده بین نیم تا پنج درصد (با یک حداکثر بیش از ۲۵ درصد) و مقدار دی‌اکسیدکربن بین ۰/۵ تا ۱۰ درصد (با یک حداکثر بیش از ۷۰ درصد در برخی مخازن تجاری) قرار دارد [۲].

۱-۲-۲- پراکندگی جغرافیایی انواع گازها

گازهای غیر همراه با دارا بودن بیش از ۷۰ درصد از مخازن جهان، کاملاً بر دو دسته دیگر گازها غلبه دارند. گازهای محلول شامل کمتر از ۲۰ درصد از مخازن و گازهای همراه، حدود ۱۰ درصد از مخازن را به خود اختصاص داده‌اند. با کاهش شدید مخازن نفتی در کشورهای حاشیه‌ی خلیج فارس و جستجوهای صورت گرفته در مناطق مختلف و افق‌های مناسب برای گازهای غیر همراه، سهم مخازن گاز همراه در میزان کل مخازن گازی جهان رو به کاهش است. امروزه بیش از ۸۵ درصد از مخازن گاز طبیعی جهان به گازهای غیر همراه اختصاص دارد. خاورمیانه تقریبا دارای نیمی از مخازن گازهای محلول و همچنین دارای نیمی از مخازن طاقچه‌ای گازی در جهان می‌باشد. گازهای محلول در تمام کشورهای خلیج فارس به وفور یافت می‌شود، با وجود اینکه بیش از ۸۰ درصد از طاقچه‌های گازی در ایران واقع شده‌اند. بیشتر اکتشافات اخیر خصوصاً در قطر و عربستان را می‌توان به گازهای غیر همراه نسبت داد [۲].

جدول (۱-۱): ترکیب درصد برخی از گازهای غیر همراه (٪ حجمی) [۲]

	Grpningrn (Nederland)	Lacq (France)	Frigg (Norway)	Hassi RMel (Algeria)	Urengoy (Russia)	Uch (Pakistan)	Kapuni (New Zealand)	متوسط نوعی[۱]
متان	۸۱/۳	۶۹/۰	۹۵/۷	۸۳/۷	۸۵/۳	۲۷/۳	۴۵/۶	۹۵ تا ۹۸
اتان	۲/۹	۳/۰	۳/۶	۶/۸	۵/۸	۰/۷	۵/۸	۱ تا ۳
پروپان	۰/۴	۰/۹	ε	۲/۱	۵/۳	۰/۳	۲/۹	۰/۵ تا ۱
بوتان	۰/۱	۰/۵	ε	۰/۸	۲/۱	۰/۳	۱/۱	۰/۲ تا ۰/۵
C_{5+}	۰/۱	۰/۵	ε	۰/۴	۰/۲	–	۰/۸	۰/۲ تا ۰/۵
نیتروژن	۱۴/۳	۱/۵	۰/۴	۵/۸	۰/۹	۲۵/۲	–	–
سولفیدهیدروژن	–	۱۵/۳	–	–	–	–	–	–
دی‌اکسیدکربن	۰/۹	۹/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۴	۴۶/۲	۴۳/۸	–

۱. قسمت از گاز خشک بدون آلاینده

جدول (۱-۲): ترکیب درصد برخی از گازهای همراه [۲]

	Parentis (France)	Ekofisk (Norway)	Maracaibo (Venezuela)	Uthmaniya (SAUDi)	Burgan (KWT)	Kirkuk (IRQ)	Ardjuna (Indonesia,)	متوسط نوعی
متان	۷۳/۶	۸۳/۳	۸۲/۰	۵۵/۵	۷۴/۳	۵۶/۹	۶۵/۷	۶۰ تا ۸۰
اتان	۱۰/۲	۸/۵	۱۰/۰	۱۸/۰	۱۴/۰	۲۱/۲	۸/۵	۱۰ تا ۲۰
پروپان	۷/۶	۳/۴	۳/۷	۹/۸	۵/۸	۶/۰	۱۴/۵	۵ تا ۱۲
بوتان	۵/۰	۱/۵	۱/۹	۴/۵	۲/۰	۳/۷	۵/۱	۲ تا ۵
C_{5+}	۳/۶	۱/۰	۰/۷	۱/۶	۰/۹	۱/۶	۰/۸	۱ تا ۳
نیتروژن	–	۰/۳	۱/۵	۰/۲	۲/۹	–	۱/۳	–
سولفیدهیدروژن	–	–	–	۱/۵	۰/۱	۳/۵	–	–
دی‌اکسیدکربن	–	۲/۰	۰/۲	۸/۹	–	۷/۱	۴/۱	–

۱-۲-۳- گاز ترش و گاز شیرین

نمونه‌های گاز طبیعی با توجه به اطلاعات ۲۰۰ مخزن و حدود ۶۱ درصد از مخازن اصلی اثبات شده جهان گرداوری شده‌اند که فقط شامل مخازن آمریکای شمالی نمی‌باشد.

نمونه‌های گازهای طبیعی این مخازن بر اساس ترکیب شیمیایی آنها، طبقه‌بندی شده‌اند. این دسته‌بندی بر اساس آمارهای موجود بوده و کاملاً با طبقه‌بندی که معمولاً در مقالات یافت می‌شود، هماهنگی دارد. جدول (۱-۳)، خصوصیات مربوط به چهار دسته انتخابی اصلی را نشان می‌دهد. علی‌رغم دشواری‌های مربوط به نظم و ترتیب داده‌های آماری و ساده‌سازی اجباری و تقریب‌های موجود، این جدول نتایج بسیار با ارزش و جالبی را نشان می‌دهد، که از این نتایج برای روابط حاکم بین نوع گاز (خشک، مرطوب، همراه و غیر همراه) و میزان آلاینده‌های همراه آن و همچنین به منظور تحلیل و بررسی و ویژگی‌های جغرافیایی مخازن گازی بسیار استفاده می‌شود.

گاز طبیعی ترش حدود ۳۰ درصد از مخازن گاز جهان را شامل می‌گردد. اما این مقدار برای گاز مرطوب (همراه و غیر همراه) به ۴۰ درصد افزایش می‌یابد، در حالی که برای گازهای خشک فقط ۲۵ درصد است. گازهای خشک ترش، مثل گازهای مایع شده، ممکن است در برخی موارد دارای مقادیر بسیار زیاد از آلاینده‌های متنوع باشند. اما این مواد فقط در موارد بسیار نادری به مقادیر خیلی زیاد افزایش می‌یابند. تخمین پراکندگی مخازن گاز جهان بر اساس گروه گاز در جدول (۱-٤) نشان داده شده است.

مقادیر نسبی آلاینده‌های مختلف در گازهای ترش به طور وسیعی تغییر می‌کنند [۲].

الف- دی‌اکسیدکربن رایج‌ترین آلاینده بوده و در ۸۹ درصد از مخازن گازهای ترش یافت می‌شود.

ب- سولفیدهیدروژن در ۴۵ درصد از مخازن گازهای ترش وجود دارد. معمولاً به همراه دی‌اکسیدکربن بوده و به عنوان تنها عامل اسیدی فقط در ۱۱ درصد تمام مخازن گازهای ترش وجود دارد.

گازهایی که حاوی مقادیر سرشار سولفیدهیدروژن هستند، نمی‌توانند به همان صورت منتقل و یا توزیع شوند و باید مقدار سولفیدهیدروژن موجود در گاز تا حدود ppm ۵ حجمی کاهش یابد.

جدول (۱-۳): طبقه‌بندی گازها بر اساس ترکیب آنها (ترکیب ٪ حجمی) [۲]

گروه	۱	۲	۳	۴
اتان و هیدروکربن‌های سنگینتر	<۱۰	<۱۰	>۱۰	>۱۰
هیدروژن‌سولفید	<۱	>۱	<۱	>۱
کربن‌دی‌اکسید	<۲	>۲	<۲	>۲
نام استاندارد	گاز خشک (غیر همراه) شیرین	گاز خشک (غیر همراه) ترش	گاز تر (همراه با میعانی) شیرین	گاز تر (همراه یا میعانی) ترش

جدول (۱-۴): تخمین پراکندگی مخازن گاز جهان بر اساس گروه گاز (٪ از کل نمونه جهانی[۱]) [۲]

گروه	۱	۲	۳	۴
نام استاندارد	گاز خشک (غیر همراه) شیرین	گاز خشک (غیر همراه) ترش	گاز تر (همراه با میعانی) شیرین	گاز تر (همراه یا میعانی) ترش
H_2S <۱٪	-	۰/۳	-	۳/۱
CO_2 <۲٪	-	۵/۶	-	۷/۸
CO_2 <۲٪ و H_2S <۱٪	-	۹/۶	-	۳/۷
بر حسب ٪ از کل نمونه‌های جهان	۴۷	۱۵/۵	۲۳	۱۴/۵

۱. کل نمونه‌های گرفته شده شامل ۶۱ درصد مخازن اثبات شده‌ی جهان می‌باشد که قابل بهره‌برداری بوده و شامل آمریکای شمالی نمی‌باشد.

ج- ترکیب نیتروژن و دی‌اکسیدکربن در گازهای خشک، بیشتر بوده و این گاز دارای مقادیر زیادی از آلاینده‌هاست. به طور مشابه، ترکیب سولفیدهیدروژن و دی‌اکسیدکربن در گازهای مایع شده ترش بسیار معمول می‌باشد.

لازم به ذکر است که خاورمیانه که از نظر گازهای همراه غنی می‌باشد، سهم بسیار زیادی در گازهای ترش داشته و شاید نزدیک به ۸۰ درصد از مخازن اثبات شده آن را تشکیل می‌دهد. ترکیب سولفیدهیدروژن و دی‌اکسیدکربن به وفور در هر نوع مخازن گازهای همراه قدیمی و گازهای غیر همراه که در خاف کشف

شده‌اند وجود دارد. همچنین در مخازن خاف مقادیر فراوانی نیتروژن یافت می‌شود.

۱-۳- روش‌های انتقال گاز

انتقال نسبتاً دشوار گاز طبیعی مانع گسترش معاملات بین المللی آن می‌شود. گاز طبیعی توسط خط لوله به شکل گاز فشرده یا پس از مایع‌سازی، توسط حامل متان، انتقال داده می‌شود. همچنین می‌توان آن را مورد تبدیل شیمیایی قرار داد. روش‌های مختلف انتقال گاز به شرح زیر می‌باشد [۱].

– انتقال از طریق خط لوله ساده‌ترین راه حل است اما نیاز به نصب یک شبکه از خطوط لوله به منظور اتصال نقاط تولید و دریافت به یکدیگر می‌باشد.

– انتقال گاز توسط حامل متان که به شکل فاز مایع در فشار اتمسفری و دمای حدود ۱۶۰- صورت می‌گیرد نیاز به مایع سازی گاز طبیعی دارد. انتقال گاز طبیعی تحت فشار به وسیله کشتی مورد بررسی قرار گرفته است که به دلایل اقتصادی تا کنون اهمیت زیادی نیافته است.

– می‌توان به صورت شیمیایی گاز طبیعی را به محصولی مثل متانل یا بنزین که در شرایط محیط مایع هستند تبدیل کرد. این روش با موانع فنی و اقتصادی مواجه بود اما اخیراً مورد توجه واقع شده است.

– می‌توان گرمای احتراق گاز طبیعی را به انرژی الکتریکی تبدیل کرد. به علت هزینه‌های نسبتاً زیاد این روش، تاکنون در مورد انتقال مقادیر زیاد گاز طبیعی کاربرد نداشته است. با وجود این تولید انرژی با استفاده از گاز طبیعی به عنوان منبع اولیه انرژی امروزه گسترش یافته است. واحدهای پیشرفته نیروگاه سیکل ترکیبی بازده‌هایی افزون بر ۵۵٪ داشته و همچنین توسط قوانین زیست محیطی نیز پشتیبانی شده‌اند.

اگر گاز طبیعی شامل مقادیر فراوانی از سایر هیدروکربن‌ها بجز متان باشد (گاز میعانی، گاز همراه)، جداسازی و انتقال جداگانه سنگین‌ترین برش‌ها بسیار معمول است. برای برش‌هایی شامل $C_3 - C_4$ آنها را به شکل ال.پی.جی می‌توان انتقال داد ویا برای تشکیل برش C_5^+ جداسازی شده از یک گاز همراه، با نفت خام مخلوط کرد. در غیاب تفکیک، انتقال با خط لوله به شکل جریان دو فازی گاز– مایع و یا جریان فوق بحرانی امکان‌پذیر است. انتقال در مورد جریان فوق بحرانی در فشاری بیشتر از فشارکریکاندنبار[1] انجام می‌شود که بنابراین هر گونه خطر میعان حذف می‌گردد [۳]. افزایش افت فشار نیاز به استفاده از ایستگاه‌های فشرده‌سازی مجدد داشته و بدین ترتیب هزینه‌های عملیاتی نیز بیشتر می‌شود، بنابراین لازم است تا میزان افت فشار در خط لوله مشخص گردد این افت فشار بستگی به شدت جریان گاز انتقالی، مشخصه‌های مختلف هندسی خط لوله مثل قطر، طول و پستی و بلندی‌های موجود در مسیر دارد.

[1] Cricondenbar