

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی سیستم های انرژی

عنوان:

تحلیل اکسرژی و توسعه چرخه سرمازا با مبرد چند جزئی واحد NGL خارک

اساتید راهنما:

دکتر محمد حسن سعیدی (دانشگاه صنعتی شریف)

دکتر مجید عمیدپور (دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی)

نگارش:

مهذب حیدری

خرداد ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ

حق چاپ، تکثیر و مالکیت نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها باموافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.
- ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
- ۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر:

بدینوسیله مراتب قدردانی و تشکر خود را از زحمات و بذل توجه اساتید راهنمای ارجمند جناب آقایان **دکتر محمدحسن سعیدی** و **دکتر مجید عمیدپور** که در طول انجام این پژوهش همواره شامل حال من بوده است، ابراز می دارم. نقطه نظرات جامع و کلیدی ایشان در جای جای این تحقیق، نحوه فکر کردن و رویارویی صبورانه با مسائل علمی را به من آموخت. از خداوند منان آرزوی موفقیت در تمامی مراحل زندگی برای ایشان خواستارم. همچنین از جناب آقای **دکتر مصطفی مافی** که همواره با صبر و متانت خاص خودشان بنده را راهنمایی نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم و از خداوند متعال آرزوی توفیق روزافزون ایشان را خواستارم.

چکیده

در تحقیق حاضر تحلیل اکسرژی چرخه سرمازای دما پایین واحد NGL خارک انجام داده شده است. واحد جمع آوری میعانات گاز طبیعی خارک به همراه سیکل تبریدش توسط نرم افزار HYSYS مدلسازی شده است تا مقدمات تحلیل اکسرژی فراهم آید. تحلیل اکسرژی به مهندسین کمک میکند تا فهم و درک عمیقی از مسئله ای که با آن کار میکنند، پیدا کنند و بتوانند یک مقایسه منطقی بین انتخابهای مختلف طراحی انجام دهند. معادلات تلفات اکسرژی و راندمان برای اجزاء اصلی سیستم سرمازای واحد NGL مانند کمپرسور، مبدل های حرارتی و شیرهای خفگی توسعه داده شده است. در ادامه تلفات اکسرژی کل سیکل و راندمان اکسرژی کلی سیکل بدست آمده است. نتایج نشان میدهد که محل اصلی اتلاف انرژی در سیکل سیستم مبدل گرمایی است.

همچنین عبارتی برای حداقل کار لازم برای سیستم پیدا شده است، که نشان میدهد حداقل کار لازم تنها به خصوصیت های سیال فرآیندی ورودی و خروجی و دمای محیط بستگی دارد. با استفاده از کار واقعی ورودی راندمان اکسرژی کلی یک سیستم نمونه سرمازای واحد NGL بدست می آید. سپس با استفاده از تئوری هدفگذاری میزان کاهش مصرف انرژی در اثر افزایش تعداد طبقات محاسبه شده است. به منظور انجام آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی نمودار ضریب کارنو برحسب جریان گرما (انتالپی) برای نشان دادن توزیع اتلاف انرژی در سیکل رسم شده است. در ضمن محاسبات ضریب عملکرد (COP) با تحلیل نمودارهای P-H و T-S انجام شده است.

در ادامه استفاده از روش های دیگر برای افزایش راندمان سیکل، مانند سیکل با مبرد چند جزئی مورد توجه قرار گرفت. این نوع سیستمها به خاطر اجزاء ساده تر و نیاز به تعمیر و نگهداری کمتر، در دهه اخیر اهمیت زیادی در بسیاری از کاربردها از جمله مایع سازی گاز طبیعی پیدا کرده اند.

در تحقیق حاضر یک سیکل دما پایین با مبرد چند جزئی شبیه سازی و توسعه داده شده است. در این سیکل سیال عامل به جای پروپان خالص مخلوطی از پروپان، پروپیلن، بوتان و ایزوبوتان است. در نهایت پارامترهای اساسی چرخه سرمازا مانند ترکیب اجزاء و دبی مبرد و فشارهای عملیاتی برای رسیدن به حداقل کار کمپرسور، بهینه سازی شده اند.

کلمات کلیدی: فرایند دمپائین، سیستم سرمازای چند مرحله ای، آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی، بازده، مبرد چند جزئی، کار کمپرسور

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات انجام شده	۱
۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	طراحی سیستمهای تبرید	۵
۱-۲-۱	چیدمان سیکل های تبرید	۸
۲-۲-۱	هدفگذاری توان مصرفی موردنیاز سیستم سرمازا	۹
۳-۱	سابقه مطالعات	۱۰
۴-۱	اهداف تحقیق حاضر	۱۵
۵-۱	سرفصل های مطالب تحقیق	۱۶
۲	فصل دوم: آنالیز و بهینهسازی سیستمهای سرمازای دماپائین بردخالص	۱۷
۱-۲	مقدمه	۱۸
۲-۲	واحد جمع آوری میعانات گاز طبیعی خارک	۱۸
۱-۲-۲	شرح کلی پروژه:	۱۸
۲-۲-۲	تشریح فرآیند مایع سازی گاز طبیعی	۲۰
۳-۲-۲	تشریح سیکل تبرید پروپان	۲۲
۴-۲-۲	شبیه سازی	۲۵
۳-۲	مروری بر روشهای آنالیز و بهینه سازی سیستمهای سرمازای مبرد خالص	۲۷
۲-۳-۱	آنالیز اگزرژی	۲۷
۱-۱-۳-۲	تئوری آنالیز اگزرژی	۲۹
۲-۳-۲	بسط و توسعه روابط آنالیز اگزرژی	۳۵
۲-۳-۲-۱	کمپرسورها:	۳۶
۲-۳-۲-۲	مبدلهای حرارتی:	۳۶
۳-۲-۳-۲	شیرهای خفگی:	۳۷
۴-۲-۳-۲	سیستم سرمازا:	۳۷
۳-۳-۲	نتیجه های شبیه سازی و بحث در مورد آن	۳۸
۴-۳-۲	حداقل توان مصرفی سیستم سرمازای دماپائین	۴۰
۵-۳-۲	دیاگرام P-H و T-S	۴۳

۴۵	تکنولوژی پینچ	۴-۲
۴۶	تئوری هدفگذاری	۱-۴-۲
۵۰	روش طراحی	۲-۴-۲
۵۰	آنالیز سیستم سرمازای مسئله نمونه با استفاده از تکنولوژی پینچ	۳-۴-۲
۵۴	آنالیز ترکیبی پینچ و آگرژی	۵-۲
۵۵	بهینه سازی سیستم سرمازای مسئله نمونه با آنالیز ترکیبی پینچ و آگرژی	۱-۵-۲
۶۱	جایگاه چرخه های سرمازای میرد چندجزئی در فرایندهای دمپائین	۶-۲
۶۲	فصل سوم: طراحی چرخه های سرمازای میرد چندجزئی	۳
۶۳	مقدمه	۱-۳
۶۵	چرخه سرمازا با میرد چندجزئی	۲-۳
۶۷	پیشبینی خواص ترمودینامیکی میردهای چندجزئی و محاسبات تعادل فازی آنها	۳-۳
۶۸	انتخاب اجزاء میرد سیستمهای سرمازای دمپائین	۱-۳-۳
۶۸	انتخاب معادله حالت مناسب	۲-۳-۳
۷۰	معادله حالت پنگ-رابینسون	۱-۲-۳-۳
۷۲	طراحی و بهینه سازی سیستم تبرید تک مرحله ای با میرد چندجزئی	۴-۳
۷۸	پارامترهای کلیدی چرخه های سرمازای میرد چندجزئی	۵-۳
۷۸	فشارهای عملیاتی	۱-۵-۳
۷۹	درصد ترکیب اجزاء میرد	۲-۵-۳
۷۹	دبی میرد	۳-۵-۳
۸۰	تحلیل اکسرژی سیکل تبرید با میرد چند جزئی	۶-۳
۸۱	نتیجه گیری	۷-۳
۸۲	فصل چهارم : نتیجه گیری و پیشنهادات	۴
۸۳	نتایج و بحث	۱-۴
۸۶	تحقیقات آینده	۲-۴
۸۶	ارائه روشی جهت دستیابی به نوع و تعداد مناسب اجزاء میرد چندجزئی	۱-۲-۴
۸۶	جایگزین کردن سیکل میرد چند جزئی بجای مجموعه توربو اکسپنדרها و کمپرسورها	۲-۲-۴

۵ منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: دیاگرام دما پایین و دیاگرام سنتی دیاگرام پیازی جدید..... ۴
- شکل ۲-۱: ارتباط بین هسته فرایند، شبکه میدل‌ها و سیستم سرمازای یک فرایند دمپائین..... ۴
- شکل ۳-۱: نمودار GCC یک فرایند دمپائین..... ۵
- شکل ۴-۱: یک سیستم سرمازای ساده تراکمی و نمودار فشار-انتالپی آن..... ۶
- شکل ۵-۱: شماتیک ساده یک سیستم سرمازای دوطبقه‌ای و نمودار فشار - انتالپی آن..... ۷
- شکل ۶-۱: گستره دمائی پیشنهادی برای سیالات مختلف به عنوان میرد مناسب..... ۷
- شکل ۷-۱: نمودار جامع ترکیبی آگزرژی..... ۹
- شکل ۸-۱: استفاده از EGCC جهت بررسی تاثیر سطوح دمائی بروند بر روی توان مصرفی..... ۱۰
- شکل ۹-۱: مقایسه بین کارهای مبتنی بر تحلیل پینچ و مبتنی بر برنامه نویسی ریاضی..... ۱۱
- شکل ۱۰-۱: شماتیک چرخه سرمازای میردچندجزئی یک مرحله‌ای..... ۱۵
- شکل ۱-۲: دیاگرام جریان فرآیندی واحد NGL خارک و پنج واحد اصلی آن..... ۲۰
- شکل ۲-۲: شماتیک دیاگرام جریان واحد جمع آوری گاز طبیعی خارک..... ۲۱
- شکل ۳-۲: سیکل تبرید واحد استخراج میعانات گازی خارک..... ۲۳
- شکل ۴-۲: تصویری از شبیه سازی سیکل تبرید واحد..... ۲۶
- شکل ۵-۲: تعریف آگزرژی جریان..... ۳۱
- شکل ۶-۲: تابع حالت آگزرژی..... ۳۲
- شکل ۷-۲: محاسبه آگزرژی جریان حرارت در دمائی بالاتر از دمای محیط..... ۳۳
- شکل ۸-۲: محاسبه آگزرژی جریان حرارت در دمائی پایین‌تر از دمای محیط..... ۳۴
- شکل ۹-۲: حجم کنترل برای موازنه آگزرژی..... ۳۵
- شکل ۱۰-۲: راندمان آگزرژی اجزاء مختلف سیکل تبرید..... ۴۰
- شکل ۱۱-۲: تلفات آگزرژی اجزاء مختلف سیکل تبرید..... ۴۰
- شکل ۱۲-۲: استفاده از سیکل تبرید برگشت‌پذیر جهت سرمایش جریان فرآیندی..... ۴۲
- شکل ۱۳-۲: سیستم استفاده شده در محاسبه حداقل توان مصرفی سیکل تبرید و سیستم معادل با آن..... ۴۳
- شکل ۱۴-۲: دیاگرام فشار-انتالپی سیکل تبرید پروپان..... ۴۵
- شکل ۱۵-۲: دیاگرام دما-انتروپی سیکل تبرید پروپان..... ۴۵
- شکل ۱۶-۲: نمودار ترکیبی یک فرایند نمونه..... ۴۷
- شکل ۱۷-۲: نحوه ترسیم نمودار ترکیبی جامع با استفاده از نمودار ترکیبی..... ۴۸
- شکل ۱۸-۲: سطوح مناسب سرویس‌های جانبی با استفاده از نمودار GCC..... ۴۹
- شکل ۱۹-۲: اثر متقابل بین هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری اولیه سیستم..... ۵۰
- شکل ۲۰-۲: نمودار CC سیکل تبرید واحد NGL..... ۵۱
- شکل ۲۱-۲: نمودار GCC سیکل تبرید واحد NGL..... ۵۲
- شکل ۲۲-۲: نمودار GCC اصلاحی فرایند سیکل تبرید واحد NGL و سطوح سرمازای پیشنهادی..... ۵۳
- شکل ۲۳-۲: نمودار EGCC فرایند مسئله نمونه قبل از انجام اصلاحات..... ۵۶
- شکل ۲۴-۲: نمودار EGCC فرایند مسئله نمونه بعد از انجام اصلاحات (حالت الف)..... ۵۶
- شکل ۲۵-۲: نمودار EGCC نمودار جریان اکسرژی..... ۵۷
- شکل ۲۶-۲: نمودار EGCC فرایند مسئله نمونه قبل از انجام اصلاحات..... ۶۰
- شکل ۲۷-۲: نمودار EGCC فرایند مسئله نمونه بعد از انجام اصلاحات مرحله اول..... ۶۰
- شکل ۲۸-۲: نمودار EGCC فرایند مسئله نمونه بعد از انجام اصلاحات مرحله دوم (حالت ب)..... ۵۵
- شکل ۱-۳: فرآیند پریکو - ساده ترین سیکل میرد چند جزئی..... ۶۱
- شکل ۲-۳: نمودار ترکیبی فرآیند پریکو..... ۶۱
- شکل ۳-۳: مقایسه بین سیستم‌های سرمازا با میرد خالص و چندجزئی..... ۶۳
- شکل ۴-۳: چرخه سرمازای میرد چندجزئی توسعه داده شده در این تحقیق..... ۷۱
- شکل ۵-۳: نمایی از رابط کاربر نرم افزار WORK برای طراحی چرخه سرمازای میرد چندجزئی..... ۷۲

۷۴	شکل ۳-۶: نمودار ترکیبی طراحی نهایی
۷۵	شکل ۳-۷: بررسی تاثیر فشارهای عملیاتی
۷۶	شکل ۳-۸: بررسی تاثیر درصد ترکیب اجزاء مبرد
۷۶	شکل ۳-۹: بررسی تاثیر دبی مبرد
۷۷	شکل ۳-۱۰: سیکل تبرید با مبرد چند جزئی توسعه یافته در این تحقیق برای محاسبات اکسرژی
۸۴	شکل ۴-۱: سیستم توربو اکسپندر-کمپرسور موجود در واحد NGL
۸۵	شکل ۴-۲: سیستم سرمزای مبرد چندجزئی واحد NGL پیشنهادی برای تحقیقات آینده

فهرست جداول

۲۴	جدول ۲-۱: اطلاعات حرارتی جریان‌های فرایندی چرخه سرمزای پروپان
۲۶	جدول ۲-۲: دما فشار و دبی جرمی جریانهای فرآیندی سیکل تبرید
۳۳	جدول ۲-۳: روابط آگزرژی برای شرایط مختلف
۴۲	جدول ۲-۴: حداقل توان مصرفی مورد نیاز جهت سرمایش جریان‌های فرایندی
۵۲	جدول ۲-۵: مشخصات سیستم‌های سرمزای موجود و پیشنهادی
۵۶	جدول ۲-۶: توان مصرفی و راندمان آگزریک سیستم سرمزا برای دو حالت قبل و بعد از اصلاحات
۷۳	جدول ۳-۱: ثابت‌های بحرانی و فاکتور خروج از مرکز
۷۳	جدول ۳-۲: ضرایب ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب دما برای اجزاء مبرد چندجزئی
۷۶	جدول ۳-۳: شرایط عملیاتی بهینه سیکل
۷۶	جدول ۳-۴: درصد ترکیب بهینه اجزاء مبرد
۷۷	جدول ۴-۱: توان مصرفی، راندمان آگزریک، اتلاف اکسرژی و ضریب عملکرد حالت‌های مختلف

فهرست علائم و اختصارات

اختصارات

متان	C_1
اتان	C_2
پروپان	C_3
نمودار ترکیبی	CC
ضریب عملکرد چرخه سرمازا	COP
آنالیز ترکیبی پینچ و آگزرژی	CPEA
آب خنک‌کننده واحد	CW
نمودار ترکیبی آگزرژی	ECC
نمودار جامع ترکیبی آگزرژی	EGCC
نمودار جامع ترکیبی	GCC
شبه‌مدل‌های حرارتی	HEN
فرایند استخراج میعانات گاز طبیعی	NGL
چرخه سرمازای مبرد چندجزئی	MRC
مسئله بهینه‌سازی با تابع هدف و قیدهایی غیرخطی	NLP

متغیرها و پارامترها

میزان بار حرارتی	Q
نرخ تبادل حرارت	\dot{Q}
آنتروپی	S
آنتروپی بر واحد جرم یا مول	s
آنتالپی	H
دما	T
آنتالپی بر واحد جرم یا مول، ضریب انتقال حرارت	h
آگزرژی جریان	Ex
نرخ آگزرژی جریان	\dot{Ex}
آگزرژی ویژه جریان	e
تلفات آگزرژی بر واحد جرم	i
نرخ تلفات آگزرژی	\dot{I}
تولید آنتروپی	s_{gen}
کار محوری	W
توان مصرفی	\dot{W}
فیوگاسیته، ضریب اصطکاک	f
فیوگاسیته جزء i ام در مخلوط چند جزئی	f_i
انرژی هلمهولتز	A
قطر هیدرولیکی	d_h
نسبت سطح انتقال حرارت ثانویه به سطح انتقال حرارت کلی	f_s
رسانائی حرارتی سیال	k
ضریب ثابت در فرمول ضریب انتقال حرارت	K_h

ضریب ثابت در فرمول فشار ثابت	K_p
ظرفیت گرمایی ویژه فشار ثابت	C_p
نرخ ظرفیت گرمایی	CP
انرژی گیبس	G
انرژی گیبس در واحد مول	g
دبی مولی یا جرمی	\dot{m}
فشار	P
حجم	V
ثابت جهانی گازها، مقاومت حرارتی ناشی از رسوب	R
ضریب تراکم پذیری	Z
تعداد مول	N
حداقل اختلاف دمای محدود	ΔT_{\min}
فشار مکش کمپرسور	P_{\min}
فشار تخلیه کمپرسور	P_{\max}
دمای مادون سرد شدن مبرد	T_{Subcool}
دمای میانی در چرخه‌های سرمازای چند طبقه‌ای	$T_{\text{intermediate}}$
دمای مبرد در خروج از پیش‌سردکن	$T_{\text{precooled}}$
افت فشار	ΔP
ضریب اثر متقابل در معادله حالت پنگ - رابینسون	k_{ij}

علائم یونانی

بازده پره	η
ضریب کارنو	η_C
راندمان آگزرژیک چرخه سرمازا	η_{ex}
راندمان ایزونتروپیک	η_s
تلفات آگزرژی در شبکه مبدل‌های حرارتی	σT_0
چگالی	ρ
فاکتور خروج از مرکز	ω
حجم مخصوص مولی	v

زیرنویس‌ها

مشخصات بحرانی	c
حالت مرجع	o
مقطع ۱	۱
مقطع ۲	۲
مقطع ورودی	in
مشخصات مربوط به مخلوط مواد خالص، متان	m
حداکثر	max
حداقل	min
مقطع خروجی	out
مشخصات کاهشده	r

مجموع
آب

total
w

بالانویس ها

فاز گاز	G
فاز بخار	v
فاز مایع	L
گاز ایده آل	*

۱ فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات انجام شده

مقدمه و مروری بر تحقیقات انجام شده

۱-۱ مقدمه

واحد بازیافت NGL یکی از فرایندهایی است که در آن نیاز به سردسازی می باشد. گاز شیرین شده پس از طی مرحله آبیگری وارد این واحد شده و محصول نهایی به نام NGL Product ذخیره و آماده مصرف یا صادرات می شود. در این تحقیق، ابتدا یکی از واحدهای NGL با نرم افزار HYSYS شبیه سازی شده است. سپس با استفاده از روش تحلیل اکسرژی، اجزاء مختلف این سیکل بررسی شده اند.

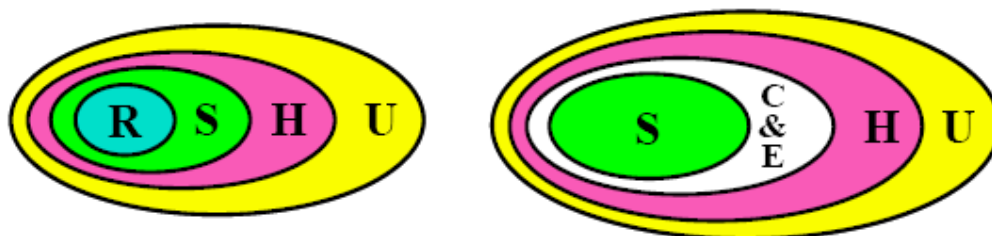
در صنایع فرایندی شیمیایی^۱، فرایندهای بسیاری وجود دارند که تمام یا قسمتی از فرایندهای آنها در زیر دمای محیط انجام می گیرد. فرایند جداسازی میعانات گاز طبیعی^۲ (NGL) و فرایندهای مایع سازی و جداسازی گازها^۳ در صنایع پتروشیمی از آن جمله اند. برای تامین برودت مورد نیاز در این نوع فرایندها، از یک سیستم سرمازا^۴ استفاده می شود. این سیستم ها اغلب نیاز دارند حرارت را از جریان های سرد شونده واحد (منبع حرارتی) گرفته و آن را به یک سطح دمائی بالاتر (چاه حرارتی) پس دهند. منبع حرارتی در صنایع فرایندی گازی است که نیاز به سرد شدن دارد و چاه حرارتی سیستم می تواند آب خنک کننده^۵ واحد و یا جریان های گرم شونده واحد باشد. معمولاً هر اندازه سطح دمائی برودت مورد نیاز فرایند، کاهش می یابد، سیستم سرمازای آن نیز پیچیده تر می شود.

در فرایندهای دما پایین مانند جداسازی میعانات گاز طبیعی، طراحی سیستم سرمازا مهمترین قسمت مصرف کننده انرژی و هزینه های اولیه سرمایه گذاری است. هزینه توان مصرفی^۶ کمپرسورها، هزینه غالب عملیاتی سیستم سرمازا می باشد. متدلوژی های در حال توسعه تمایل دارند طراحی کل سیستم فرایندی را با تاکید خاصی بر طراحی فرایند های دما پایین انجام دهند.

دیاگرام پیازی^۷ کلاسیکی که توسط لینهاف و دال در سال ۱۹۸۸ ارائه شده در شکل الف-۱-۱ نشان داده شده است. این دیاگرام برای نشان دادن لایه های اصلی (راکتورها، سیستم جداسازی^۸، سیستم بازیافت گرما^۱ و سیستم

-
۱. chemical process industry (CPI)
 ۲. Natural Gas Liquid Recovery Process
 ۳. Gas Liquefaction and Separation Processes
 ۴. Refrigeration Cycle
 ۵. Cooling Water System
 ۶. Shaftwork
 ۷. Onion diagram
 ۸. Separation System

تامین گرمایش و سرمایش^۲ در طراحی فرایند استفاده می شود. در صنعت NGL هر چند رآکتور وجود ندارد اما کمپرسورها و اکسپاندرها آنقدر مهمند که نباید بیرون از دیاگرام بمانند. این اجزا باید در سطح سیستم بازیابی گرما و یا حتی قبل از آن در نظر گرفته شوند. در واقع دیاگرام پیازی ارایه شده توسط لینهاف در سال ۱۹۸۲، کمپرسورها و اکسپاندرها به عنوان لایه ای جداگانه در نظر گرفته شده بود. با به حساب آوردن این اجزا و حذف کردن سیستم رآکتور، یک دیاگرام دمایی پیازی جدید در شکل ب-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ دیاگرام پیازی سنتی و جدید [۴]

دیاگرام پیازی سنتی شکل الف

دیاگرام پیازی جدید شکل ب

با توجه به مسائل ذکر شده و با به حساب آوردن فشار جریان به عنوان یک متغیر مهم در طراحی، طراحی یکپارچه مجموعه کمپرسورها و اکسپاندرها و مبدل های حرارتی امری اجتناب ناپذیر است.

بنابراین، معمولاً یک فرایند جداسازی گاز از چهار جزء اصلی زیر تشکیل می شود:

۱- هسته فرایندی^۳ (به طور مثال برج های واحد جداساز)

۲- شبکه مبدل های حرارتی^۴

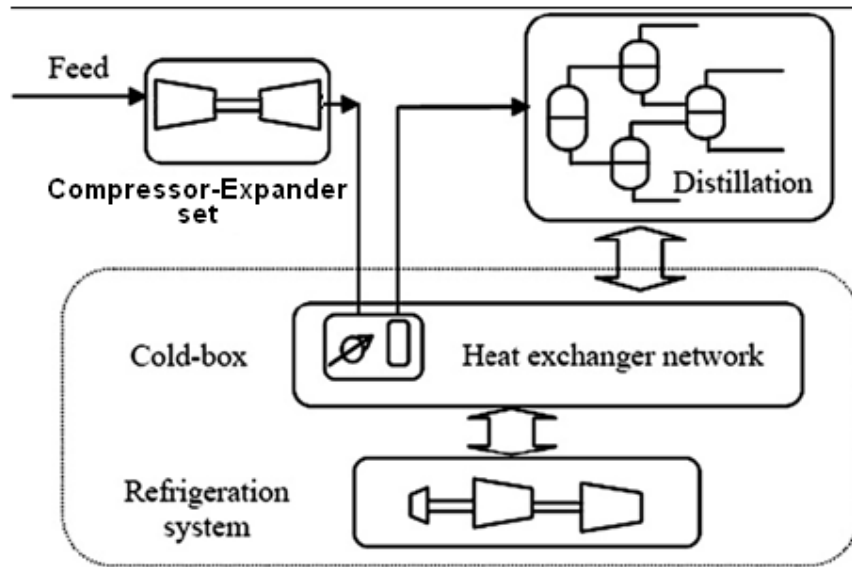
۳- مجموعه کمپرسورها و اکسپاندرها^۵

۴- سیستم سرمازا^۶

شکل ۱-۲ ارتباط بین اجزاء مختلف یک فرایند جداسازی دمایی را نشان می دهد. طراحی فرایندهای دمایی معمولاً از هسته فرایند مانند برج های جداکننده شروع می شود و با طراحی یکپارچه مجموعه کمپرسورها و اکسپاندرها و شبکه مبدل های حرارتی و سپس سیستم سرمازا ادامه می یابد. چهار جزء فوق الذکر کاملاً به هم

۱. Heat Recovery System
۲. Utility System
۳. Core Process
۴. Heat Exchanger Network (HEN)
۵. Compressor-expander set
۶. Refrigeration System

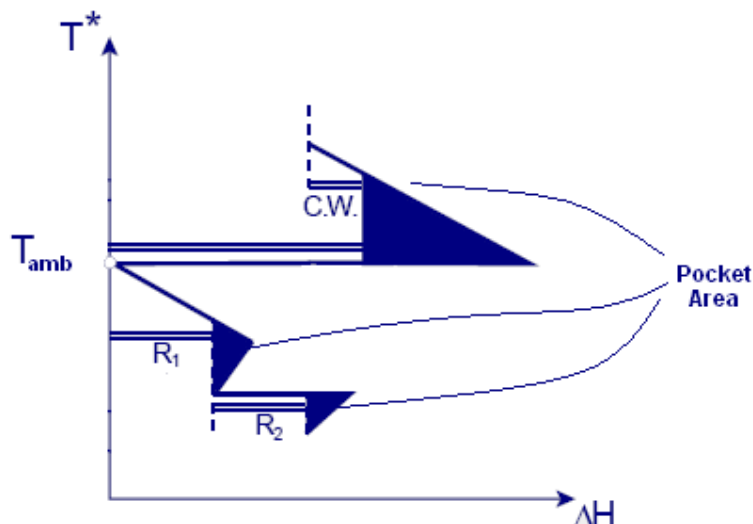
وابسته بوده و هرگونه تغییر یا اصلاحی در هسته فرایندی و یا شبکه مبدل‌های حرارتی باعث تغییر پارامترهای سیستم سرمازا شامل توان مصرفی، سطح دمائی و میزان برودت موردنیاز و... خواهد شد و همین اندرکنش‌های موجود بین اجزاء، طراحی سیستم سرمازا را در فرایندهای دمپائین پیچیده می‌نماید.



شکل ۱-۲ ارتباط بین هسته فرایند، شبکه مبدل‌ها و سیستم سرمازای یک فرایند دمپائین [۵] به‌عنوان مثال، شکل ۱-۳ که نمودار جامع ترکیبی^۱ (GCC) یک فرایند دمپائین نمونه را نشان می‌دهد، در نظر بگیرید. این نمودار بیانگر منابع گرم و سرد موجود در فرایند و یا به عبارتی چشمه‌ها و چاه‌های حرارتی فرایند می‌باشد. واضح است که طراحی بهینه سیستم سرمازا بدون در نظر گرفتن هسته فرایندی و یکپارچه-سازی^۲ بین آنها امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۱. Grand Composite Curve

۲. Integration



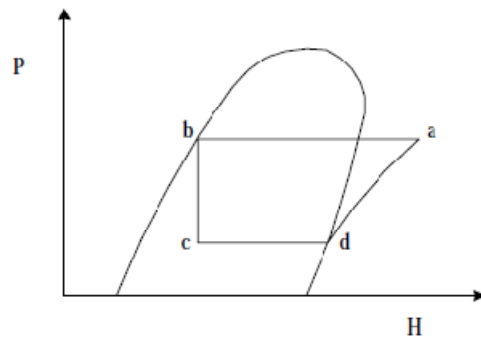
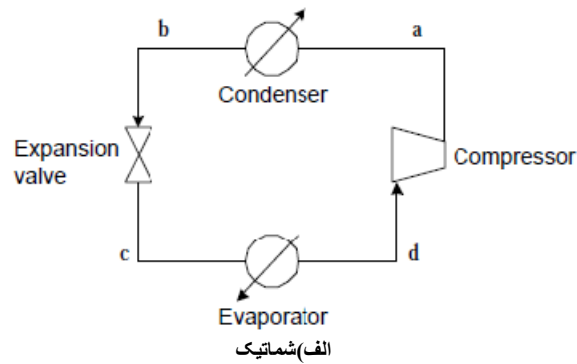
شکل ۳-۱ نمودار GCC یک فرایند دماپائین

۲-۱ طراحی سیستم‌های تبرید

کلیه سیستم‌های سرمازا را می‌توان به سه دسته کلی سیستم‌های تراکمی^۱، جاذب رطوبت^۲ (دیسیکانت)، جذبی^۳ تقسیم نمود. از میان دسته‌بندی فوق‌الذکر، فقط سیستم‌های سرمازای تراکمی توانایی تامین برودت در سطوح دمائی بسیار پائین را دارا می‌باشند. لذا سیستم‌های سرمازای مورد استفاده در فرایندهای دماپائین همگی از نوع تراکمی می‌باشند که واحد متراکم کننده آن می‌تواند کمپرسورهای سانتریفوژ^۴، و یا رفت و برگشتی^۵ باشد. در این تحقیق بر روی سیستم های تراکمی تمرکز می‌کنیم.

یک سیستم سرمازای تراکمی ساده^۶ از چهار قسمت تشکیل می‌شود که عبارتند از: کمپرسور، چگالنده^۷، تبخیرکننده و شیرخفگی^۸ (انبساط). شکل ۴-۱ شماتیکی از یک سیستم سرمازای تراکمی را نشان می‌دهد.

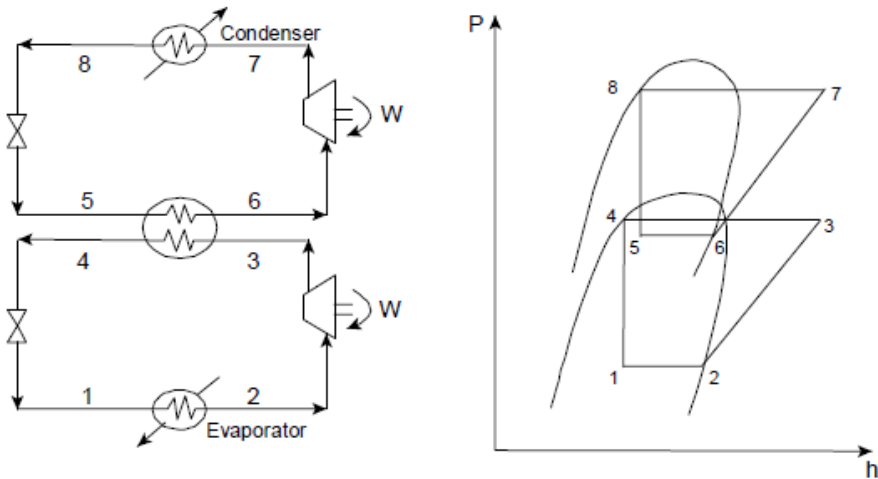
۱. Compression System
۲. Adsorption System
۳. Absorption System
۴. Centrifugal
۵. Reciprocating
۶. Single Compression Refrigeration Cycle
۷. Condenser
۸. Expansion Valve



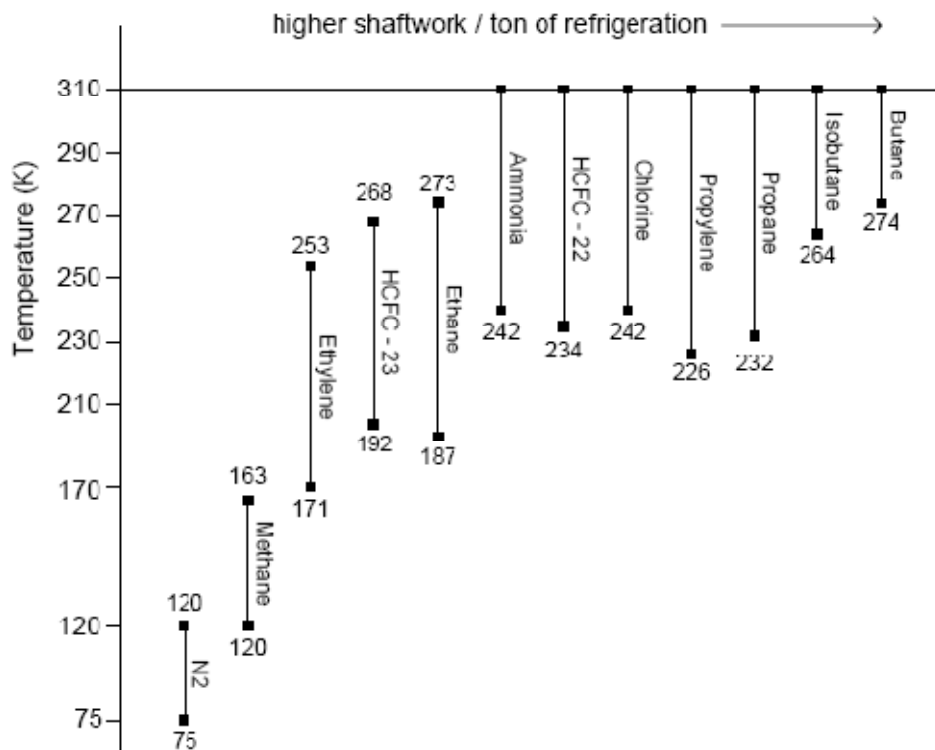
ب) نمودار فشار-آنتالپی

شکل ۱-۴: یک سیستم سرمزای ساده تراکمی [۲]

چنین چرخه‌های ساده‌ای معمولاً می‌توانند سرمایش تا 40°C - را تامین کنند. هنگامی‌که به بروودت در سطوح دمائی پائین نیاز باشد، باید از سیستم‌های سرمزای طبقه‌ای^۱ (زنجیره‌ای) استفاده شود. این نوع سیستم‌ها شامل دو یا تعداد بیشتری چرخه سرمزا با مبردهای مختلف هستند. شکل ۱-۵ شماتیک ساده‌ای از یک سیستم سرمزای دو طبقه‌ای را نشان می‌دهد. چرخه پائینی سیستم، حرارت را از سطح دمائی ۱-۲ گرفته (تولید بروودت) و به سطح دمائی ۳-۴ پس می‌دهد. چرخه فوقانی، حرارت را در سطح دمائی ۵-۶ از چگالنده چرخه پائینی گرفته و آن را به سطح دمائی ۷-۸ که یک چاه حرارتی خارجی است، انتقال می‌دهد.



شکل ۵-۱: شماتیک ساده یک سیستم سرمزای دو طبقه-ای و نمودار فشار-انتالپی آن
 به دو دلیل باید از سیستم‌های طبقه‌ای برای تولید برودت در سطوح دمایی پائین استفاده نمود: (۱) معمولاً مبردی را نمی‌توان یافت که گستره دمایی وسیع بین دمای تبخیرکننده و چگالنده را پوشش دهد و (۲) در صورت وجود یک مبرد، استفاده از آن جهت پوشش گستره وسیع دمایی بین دمای تبخیرکننده و چگالنده باعث افزایش توان مصرفی کمپرسورهای سیستم سرمازا می‌شود. شکل ۶-۱ گستره دمایی پیشنهادی را برای سیالات مختلف که در آن محدوده می‌توانند به عنوان مبردی مناسب به کار گرفته شوند را نشان می‌دهد. مرز پائینی دمای سیال معادل با دمای نقطه جوش در فشار اتمسفریک می‌باشد. مرز بالایی پیشنهادی، دمایی است که گرمای نهان تبخیر آن برابر با ۵۰٪ گرمای نهان تبخیر در فشار اتمسفریک است.



شکل ۶-۱: گستره دمایی پیشنهادی برای سیالات مختلف به عنوان مبرد مناسب

البته علاوه بر گستره دمائی مناسب باید ملاحظات دیگری نیز مانند پتانسیل تخریب لایه اوزن^۱ (ODP)، پتانسیل گرمایش کره زمین^۲ (GWP)، پایداری شیمیائی^۳، اشتعال‌پذیری^۴، غیر سمی بودن^۵، خوردگی^۶ و خواص ترمودینامیکی و فیزیکی در محدوده دمائی سرمایش را جهت انتخاب مبرد مناسب بررسی نمود. دمای تبخیر مبرد باید بسیار بالاتر از دمای انجماد آن در شرایط فشار عملیاتی سیستم سرمازا باشد. فشار مبرد در تبخیرکننده نباید کمتر از فشار اتمسفر باشد تا مشکلات مربوط به عملکرد صحیح سیستم در اثر نشتی به حداقل برسد. همچنین بالا بودن فشار عملیاتی مبرد منجر به افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری به علت ضرورت استفاده از مواد مرغوب‌تر در تجهیزات سیستم سرمازا با فشار عملیاتی بالا، خواهد شد. نکته دیگر، لزوم بالا بودن گرمای نهان تبخیر در شرایط عملیاتی تبخیر است. در این حالت دبی مبرد چرخه سرمازا کمتر شده و توان مصرفی کمپرسور کاهش می‌یابد. عامل مهم دیگر در انتخاب مبرد، شکل منحنی T-S (دما-آنترپنی) مبرد در ناحیه دو فاز است. همان‌طور که در شکل ۱-۶ مشخص است، هرچه شیب مربوط به سمت راست منحنی تیزتر باشد، به سرویس جانبی خارجی^۷ کمتری برای چگالش مبرد نیاز است.

۱-۲-۱ چیدمان سیکل های تبرید

کارایی سیکل های تبرید با ضریب عملکرد^۸ (COP) سنجیده می‌شود که برابر است با نسبت گرمای جذب شده در اواپراتور به انرژی مصرف شده در کمپرسور. امکان بهبود عملکرد چرخه سیستم سرمازا با استفاده از برخی تجهیزات جانبی مانند جداکننده^۹، خنک‌کن میانی^{۱۰}، ظرف میانی^{۱۱}، مبدل بازیاب^{۱۲}، جوش‌آورها^{۱۳} و همچنین اعمال تغییراتی در آرایش چرخه وجود دارد. در واقع باید آرایش^{۱۴} چرخه سرمازا و چیدمان تجهیزات مختلف آن را نیز جزء متغیرهای طراحی سیستم محسوب نمود.

-
۱. Ozone Depletion Potential
 ۲. Global Warming Potential
 ۳. Chemical Stability
 ۴. Flammability
 ۵. Non-toxic
 ۶. Corrosion
 ۷. External Utility System
 ۸. Coefficient of Performance
 ۹. Economizer
 ۱۰. Inter-cooler
 ۱۱. Pre-saturator
 ۱۲. Suction Vapor-Liquid Heat Exchanger
 ۱۳. Re-boiling
 ۱۴. Configuration