

# فصل ۱

## مقدمه :

اهداف این فصل :

- ۱- مقدماتی در مورد سیکل تبرید
- ۲- مبردها و تاثیرات آنها بر محیط زیست
- ۳- رئوس مطالب
- ۴- پژوهشهای پیشین

## ۱.۱ کاربرد سیکل تبرید

صنایع فرایندی بسیاری وجود دارند که تمام یا بخشی از فرایندهای آنها در زیر دمای محیط انجام می‌گیرند به عنوان مثال میتوان از موارد زیر نام برد :

۱- واحد تولید اکسیژن از هوا

۲- واحد مایع سازی گاز طبیعی

۳- واحد تولید پروپان

۴- تولید LNG<sup>۱</sup>

۵- واحد آمونیاک

۶- جداسازی مایعات هیدروکربنی و واحدهای NGL

فرایندهای دمائین<sup>۲</sup> به علت هزینه‌های بالای تجهیزات و انرژی موردنیاز از جمله صنایع فرایندی هزینه‌بر<sup>۳</sup> می‌باشند. قسمت عمده‌ای از این هزینه‌ها (۲۵٪ الی ۵۰٪)، مربوط به سیستم سرمازای آنهاست. لذا، طراحی بهینه سیستم سرمازا از نظر میزان مصرف انرژی از پارامترهای تاثیرگذار در بهینه‌سازی کل فرایند می‌باشد و به همین دلیل، طراحی سیستم‌های سرمازا در این نوع فرایندها، همواره از موضوعات قابل تأمل و چالش برانگیز در تحقیقات مهندسی بوده است [۲].

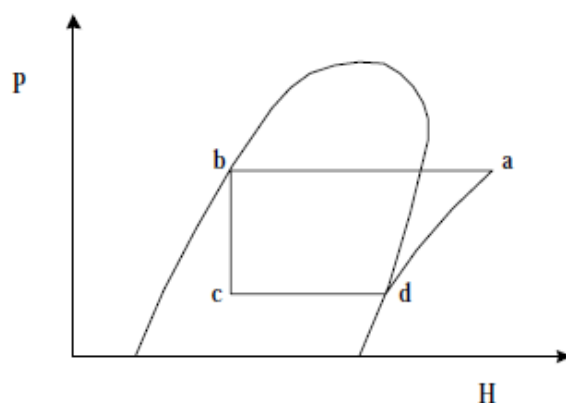
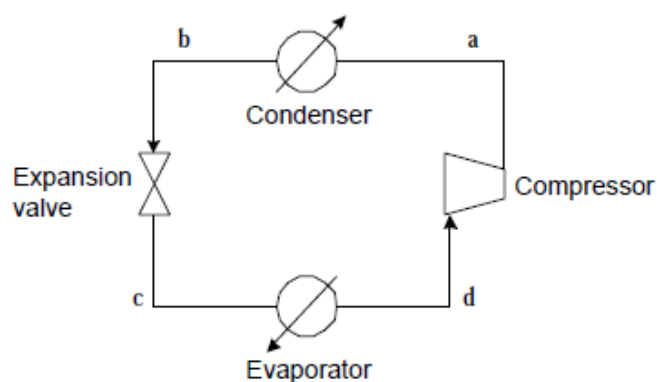
کلیه سیستم‌های سرمازا را می‌توان به چهار دسته کلی سیستم‌های تراکمی<sup>۴</sup>، جاذب رطوبت<sup>۵</sup>، جذبی<sup>۶</sup> و افشانکی<sup>۷</sup> تقسیم‌بندی نمود. از میان دسته‌بندی فوق‌الذکر، فقط سیستم‌های سرمازای تراکمی توانائی تامین برودت در سطوح دمائی بسیار پائین را دارا می‌باشند. لذا سیستم‌های سرمازای مورد استفاده در فرایندهای

- 
- 1- Liquefied Natural Gas Process
  - 2- Low Temperature Processes
  - 3- Capital Intensive
  4. Compression System
  5. Adsorption System
  6. Absorption System
  7. Steam Jet System

دمپائین همگی از نوع تراکمی می‌باشند که واحد متراکم کننده آن می‌تواند کمپرسورهای سانتریفوژ<sup>۱</sup>، پیچی<sup>۲</sup> و یا رفت و برگشتی<sup>۳</sup> باشد.

### ۲.۱. سیستم تبرید تراکمی

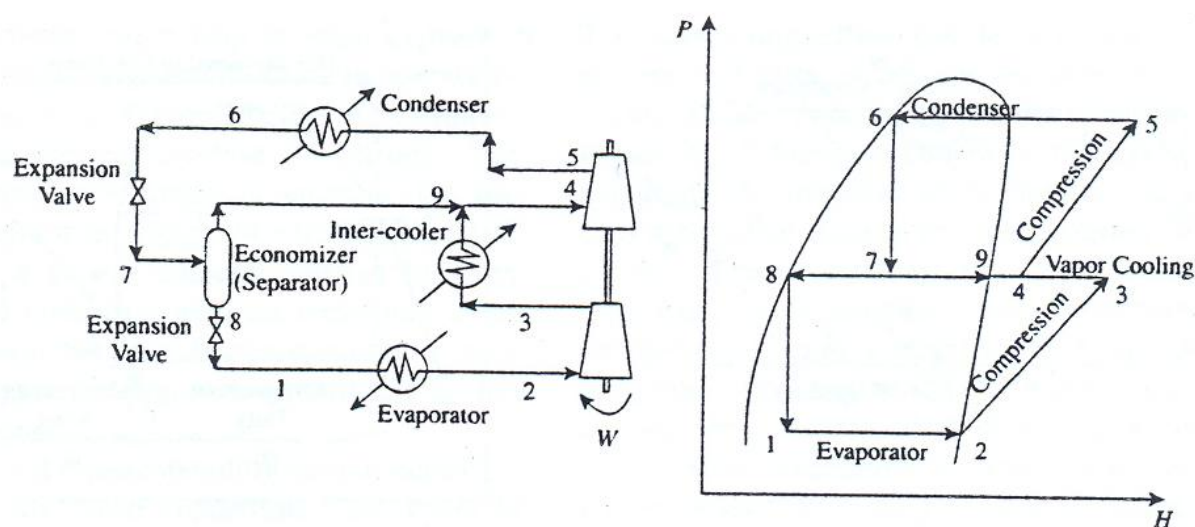
یک سیستم تبرید تراکمی ساده<sup>۴</sup> از چهار قسمت تشکیل می‌شود که عبارتند از: کمپرسور، چگالنده<sup>۵</sup>، تبخیرکننده و شیرخفگی<sup>۶</sup> (انبساط). شکل زیر شماتیکی از یک سیستم سرمازای تراکمی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ - سیستم تبرید ساده تراکمی [۲]

- 
- 1-Centrifugal
  - 2- Screw
  - 3- Reciprocating
  - 4-Single Compression Refrigeration Cycle
  - 5- Condenser
  - 6- Throttle Valve

چنین چرخه‌های تبرید معمولاً می‌توانند سرمای‌شان تا  $-40^{\circ}\text{C}$  را تامین کنند [۲]. در سیکل‌های تبرید امکان بهبود عملکرد سیکل، با استفاده از برخی تجهیزات جانبی و اعمال تغییراتی در آرایش چرخه وجود دارد. یکی از این روشها، جداکردن بخار و مایع مبرد قبل از ورود به شیر فشار شکن و فرستادن بخار آن به کمپرسور میباشد واضح است وقتی که مایع اشباع در شیر فشار شکن منبسط می‌شود، درصد بخار موجود در مایع افزایش می‌یابد و این باعث افزایش حرارت دریافتی توسط اواپراتور و افزایش عملکرد سیکل میشود. نمایی از سیکل تبرید دو مرحله‌ای در شکل ۱-۲ آورده شده است.



شکل ۱-۲ - سیستم تبرید تراکمی دو مرحله‌ای [۲]

با افزایش مراحل سیکل تبرید تراکمی یا افزایش تعداد کمپرسورهای سیکل مقدار ظرفیت سرمای‌شی سیکل افزایش می‌یابد. اما با توجه به افزایش هزینه خرید و نگهداری کمپرسور که قسمت عمده‌ای از قیمت سیکل سرمای‌ش را به خود اختصاص می‌دهد. افزایش مراحل سیکل نیاز به بررسی دقیق‌تری بین افزایش ظرفیت سیکل و افزایش هزینه کمپرسورها میباشد.

### ۳.۱. مبردهای ایده آل

به بیان کلی، مبرد<sup>۱</sup> مایعی است که با جذب حرارت از یک مایع به صورت عامل خنک کن<sup>۲</sup> عمل می نماید. در سیکل تراکمی، مبرد سیال عامل<sup>۳</sup> سیکل بوده و با تبخیر و تقطیر تناوبی، به ترتیب حرارت را جذب و دفع می نماید. برای اینکه مبردی برای استفاده در سیکل تراکمی مناسب باشد بایستی دارای خواص شیمیایی، فیزیکی و ترمودینامیکی ویژه ای باشد که استفاده از آن را مطمئن و اقتصادی سازد. باید توجه شود که مبرد ایده آل وجود ندارد. و به دلیل اختلاف فاحش شرایط و نیازهای کاربردهای مختلف، مبردی وجود ندارد که بتواند برای همه کاربردها مناسب باشد.

به طور کلی یک مبرد باید دارای خواص زیر باشد :

۱- در فشار بالاتر از اتمسفر در تبخیر کننده به جوش آید . این عمل از اینکه در قسمت ورودی

کمپرسور خلا ایجاد شود جلوگیری میکند .

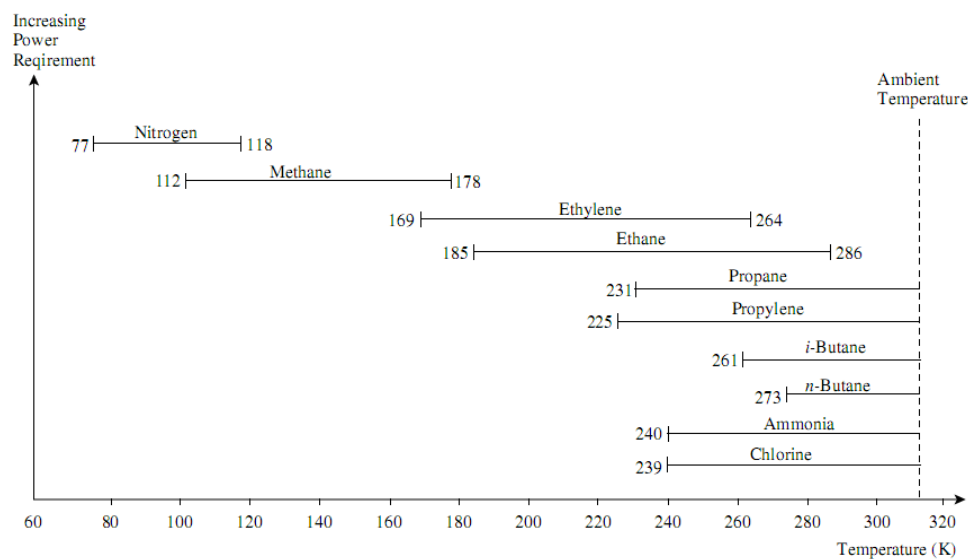
۲- در یک فشار معقول و در شرایط محیطی کندانس شود فشار قابل قبول معمولا فشاری کمتر از ۲۰ بار میباشد .

۳- توانایی گرفتن مقدار زیادی گرما از جریان گاز را داشته باشد که مستلزم داشتن گرمای نهان تبخیر بالاست .

۴- غیر سمی و غیر خورنده

۵- در دسترس و گران نباشد .

در شکل ۱-۳ محدوده دمای بهینه از نظر فنی و اقتصادی مواد مختلف به عنوان مبرد را نشان میدهد .



شکل ۱-۳ - گستره دمائی پیشنهادی برای مبردهای مختلف [۲]

#### ۱.۴. مبردها و محیط زیست :

##### ۱.۴.۱. تاثیر بر لایه ازن :

تشعشعات ماورا بنفش خورشید ملکول فریون را می شکافد و اتم کلر بدست آمده، ملکول ازن را که از سه اتم اکسیژن تشکیل شده است را تجزیه نموده و باعث تخریب آن میشود . در صورتیکه تشعشعات ماورا بنفش خورشید توسط لایه ازن جذب نشود و به سطح زمین برسد باعث ایجاد بیماریهایی از قبیل سرطان پوست و برای چشم انسان نیز مضر است همچنین مانع رشد گیاهان میشود.

کلرو فلورو کربن ها (CFCs) و هیدرو کلرو فلورو کربن ها (HFCs) به دلیل وجود کلر در ترکیب آنها عامل اصلی تخریب لایه ازن<sup>۱</sup> هستند

برای جلوگیری از تخریب لایه ازن پروتکل مونترال در سال 1970 به امضاء رسید.

## ۱.۴.۲. اثر گلخانه ای و گرمایش زمین<sup>۱</sup>:

زمین در اثر نفوذ انرژی خورشید در جو گرم میشود برخی از گازها انرژی اشعه مادون سرخ را از سطح زمین جذب میکنند و مانع ترک آن از جو زمین میشوند در نتیجه زمین گرمتر میشود شش گاز پرفلوروکربن ها (PFCs)، سولفور هگزا فلورید (SF<sub>6</sub>)، دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>)، متان (CH<sub>4</sub>)، اکسید نیتروژن (N<sub>2</sub>O)، هیدروفلوروکربن ها (HFCs) به عنوان گازهای گلخانه ای شناخته شده اند. برای کاهش گازهای گلخانه ای، پروتکل کیوتو در سال 1997 در کیوتو ژاپن به امضا رسید [۳].

### ۱.۵. مبردهای هیدروکربنی:

پروپان (R-290) و ایزوبوتان (R-600a) در کنار بعضی دیگر از هیدروکربنها می توانند در سیکل‌های تراکمی - تبخیری استفاده شوند. در اروپای شمالی حدود ۳۵ درصد یخچالها با مبردهای هیدروکربنی کار می کنند. از جمله خواص این مبردها راندمان زیاد و در عین حال اشتعال پذیری بسیار بالا می باشد. در ایالات متحده استفاده از این نوع مبردها به دلیل استانداردهای ایمنی بسیار محدود است. این مواد، دارای خواص ترمودینامیکی عالی بوده به همین دلیل، برای کاربرد در یخچال های خانگی، سیستم‌های تبرید تجاری کوچک و همچنین سیستم های تهویه مطبوع از عمومیت زیادی برخوردار شده اند. اما، اشتعال پذیری بالای این مواد، مستلزم این است که موارد ایمنی مربوطه به دقت رعایت شوند. یکی از خطراتی که از اهمیت زیادی هم برخوردار است، این است که چون هیدروکربن ها هیچ بویی ندارند، وجود و غلظت بالای آن ها در محل سرویس و نگهداری که بسیار هم خطرناک است، قابل تشخیص نخواهد بود مبردهای هیدروکربنی در کلاس A3 (قابلیت اشتعال بالا) در طبقه بندی استاندارد اشری<sup>۲</sup> قرار دارند. اما دارای نکات مثبت زیادی هستند از قبیل اینکه بر لایه ازن تاثیر نمی گذارند و سهم خیلی کمی در گرمایش زمین دارند. همچنین سمی نیستند، قابلیت سازگاری زیادی با فلزات ساخته شده در تجهیزات سیکل تبرید

1- Global warming potentials (GWP)

2-Ashrea

را دارند و قابلیت آمیختن<sup>۱</sup> بدون از دست دادن خواص با روغنها را دارند. [۵و۴] اشتعال پذیری ضعف اصلی مبردهای هیدروکربنی است که البته با توجه به گزارشهای منتشر شده از شرکت بوش<sup>۲</sup> آلمان نشان از درصد ۱ به ۵ میلیون در انفجار سیکل تبرید با این مبردها را دارد که این درصد نشان میدهد که اشتعال پذیری سیکل‌های تبرید با مبردهای هیدروکربنی بسیار پایین است [۶].

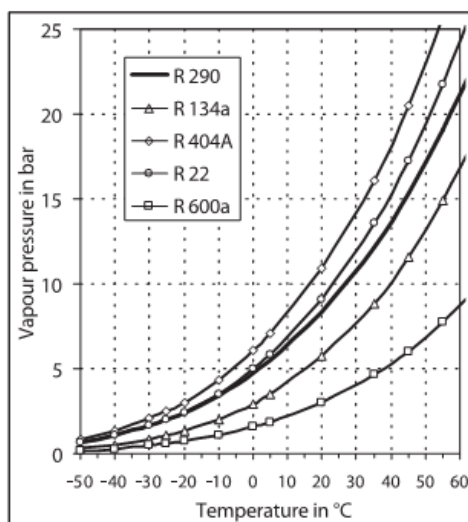
با توجه به مزایایی که در قسمت فوق شرح داده شد و با توجه به اینکه استفاده از مبردهای هیدروکربنی در صنایع شیمیایی رایج است. در ادامه این قسمت در مورد مزایا این مبردها نسبت به مبردهای رایج R-12 و R-134a، میپردازیم. ویژگی این مبرد در جدول ۱-۱ آمده است.

جدول ۱-۱- ویژگی مبرد پروپان و مقایسه با مبردهای دیگر [۷]

Refrigerant	R 290	R 134a	R 404A	R 22	R 600a
Name	Propane	1,1,1,2-Tetra-flouro-ethane	Mixture R 125 R 143a R 134a	Chloro-difluoro-methane	Isobutane
Formula	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> F	44/ 52/ 4	CHF <sub>2</sub> Cl	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> CH
Critical temperature in °C	96.7	101	72.5	96.1	135
Molecular weight in kg/kmol	44.1	102	97.6	86.5	58.1
Normal boiling point in °C	-42.1	-26.5	-45.8	-40.8	-11.6
Pressure at -25 °C in bar (absolute)	2.03	1.07	2.50	2.01	0.58
Liquid density at -25 °C in kg/l	0.56	1.37	1.24	1.36	0.60
Vapour density at t <sub>g</sub> -25/+32 °C in kg/m <sup>3</sup>	3.6	4.4	10.0	7.0	1.3
Volumetric capacity at -25/55/32 °C in kJ/m <sup>3</sup>	1164	658	1334	1244	373
Enthalpy of vaporisation at -25 °C in kJ/kg	406	216	186	223	376
Pressure at +20 °C in bar (absolute)	8.4	5.7	11.0	9.1	3.0



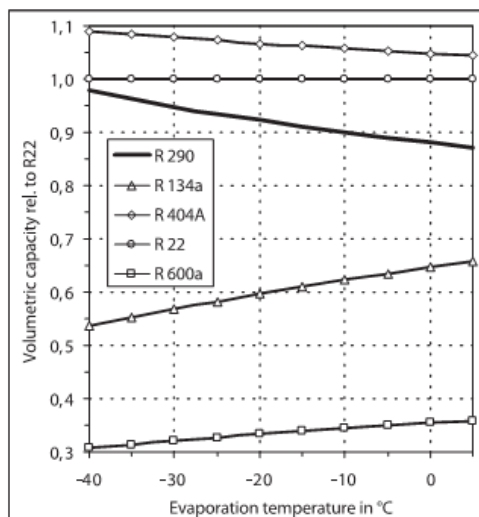
در شکل ۴-۱ نمودار فشار بخار مبرد بر حسب دمای اواپراتور ترسیم شده است. همانطور که مشخص است مبرد R-600a دارای فشار بخار کمتری نسبت به مبردهای دیگر است. با بررسی دقیق تر شکل مشاهده میشود که مبرد پروپان در دمای اواپراتور  $25^{\circ}\text{C}$  تقریباً همانند مبرد R-22 دارای فشار یکسانی است، همچنین این دو مبرد با توجه به جدول ۱-۱ دارای دمای جوش نرمال<sup>۱</sup> تقریباً یکسانی هستند.



شکل ۴-۱ - فشار بخار مبردهای مختلف بر حسب دمای اواپراتور [۷]

در شکل ۵-۱ نمودار دمای اواپراتور بر حسب ظرفیت حجمی مبردهای مختلف در دمای  $45^{\circ}\text{C}$  کندانسور و دمای  $32^{\circ}\text{C}$  مکش کمپرسور را نشان میدهد همانطور که مشاهده میشود مبرد R-600a دارای کمترین ظرفیت حجمی است. ظرفیت حجمی به صورت نسبت ظرفیت اواپراتور به دانسیته گاز ورودی به کمپرسور تعریف میشود.

مبرد پروپان دارای ۹۰٪ ظرفیت حجمی مبرد R-22، در دمای  $45^{\circ}\text{C}$  کندانسور است و این نشان میدهد که ساینز کمپرسور برای هر دو مبرد تقریباً به یک اندازه است.



شکل ۱-۵- دمای اواپراتور بر حسب ظرفیت حجمی برای مبردهای مختلف در دمای  $45^{\circ}\text{C}$  کندانسور و

دمای  $32^{\circ}\text{C}$  مکش کمپرسور [۷]

مقدار دبی جرمی بر حسب گرم در سیکل‌های تبرید خانگی با مبرد R-290, R-600a تقریباً ۴۰-۴۵٪

سیکل‌های مذکور با مبردهای R-22, R-12, R-134a است [۷].

#### ۱.۶. رئوس مطالب :

در مقدمه این پایان نامه به شرح و معرفی سیکل تبرید پرداخته شد. همچنین مبردها و اثرات آنها بر محیط زیست و مبردهای هیدروکربنی توضیح داده شد. در فصل دوم با توجه به ضرورت بهینه سازی سیکل و بعثت افزایش بهای انرژی و سیاست‌های دولت در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش مصرف آن و از طرفی، هزینه‌های هنگفت سرمایه‌گذاری در بخش صنایع فرایندی دماپائین، به روشهای بهینه سازی و کاهش کار سیستم سرمازا پرداخته شده است. فصل سوم در مورد سیکل واحد NGL که سیکل تبرید این واحد در این پایان نامه بررسی شده است پرداخته ایم. در نهایت در فصل چهارم تمام توضیحات ارائه شده در فصلهای پیشین را برای سیکل تبرید واحد NGL انجام داده‌ایم، به این صورت که در ابتدا سیکل شبیه-سازی شده و سیکل مورد نظر با روشهای توضیح داده در فصل دوم بهینه شده و کار کمپرسور کاهش یافته و در انتهای فصل به تغییر مبرد سیکل پرداخته ایم که نتایج نشان از کاهش کار کمپرسورهای سیکل تبرید را دارد.

## ۱.۷. پژوهشهای پیشین :

پژوهشهای محققین پیشین شامل دو قسمت میباشد. در ابتدا به تحقیقات و نتایج انجام شده در مورد مبردها میپردازیم. در قسمت بعد در مورد تحقیقات انجام شده در زمینه واحد NGL و تحلیل اکسرژی و پینچ میپردازیم.

اولین موفقیت و توسعه در زمینه مبردهای هیدروکربنی R-600a و R-290 در سال ۱۹۹۶ در آلمان بود که محققین را برای تحقیق در این زمینه تشویق کرد ریچاردسن و بتورس<sup>۱</sup> [۸] از مبرد R-290 و R-600a به طور مجزا و ترکیبی از هم استفاده کردند آزمایش تجربی آنها نشان داد که در حالت مخلوط مبردهای R-290 و R-600a دارای COP<sup>۲</sup> بیشتری نسبت به R-12 هستند.

جو و همکاران<sup>۳</sup> [۹] به آنالیز سیستم سرمایش منازل با مبرد R-134a و مقایسه بازده این سیکل با مخلوطی از مبرد R-290 , R-600a با نسبت ۵۰٪ برای هر مبرد پرداخت. آزمایشات تجربی این محقق نشان داد که توان مصرفی به اندازه ۴٪ و دبی جرمی مبرد به اندازه ۴۰٪ کاهش میابد

دونکسو و همکاران<sup>۴</sup> [۱۰] به مقایسه مبرد R-12 با مخلوط مبردهای R-290 , R-600a با درصد جرمی بین ۰,۲ تا ۰,۶ برای مبرد R-290 پرداخت. او نشان داد که COP به اندازه ۱,۷٪ تا ۲,۴٪ برای مخلوط مبرد ها افزایش میابد.

باسکین<sup>۵</sup> [۱۱] در مورد درصدهای مختلف مبردهای R-290 , R-600a در سیکل یخچال خانگی پرداخت و بهترین درصد ۴۰/۶۰ و ۳۰/۷۰ (R-290 , R-600a) را نتیجه گرفت.

لیم و همکاران<sup>۶</sup> [۱۲] در آزمایش تجربی خود به مقایسه مبرد R-12 با مخلوطی از مبردهای R-600a , R-290 پرداخت. نتایج مقایسه دو مبرد نشان از کاهش توان کمپرسور به اندازه ۳٪ برای مخلوط مبردها بود.

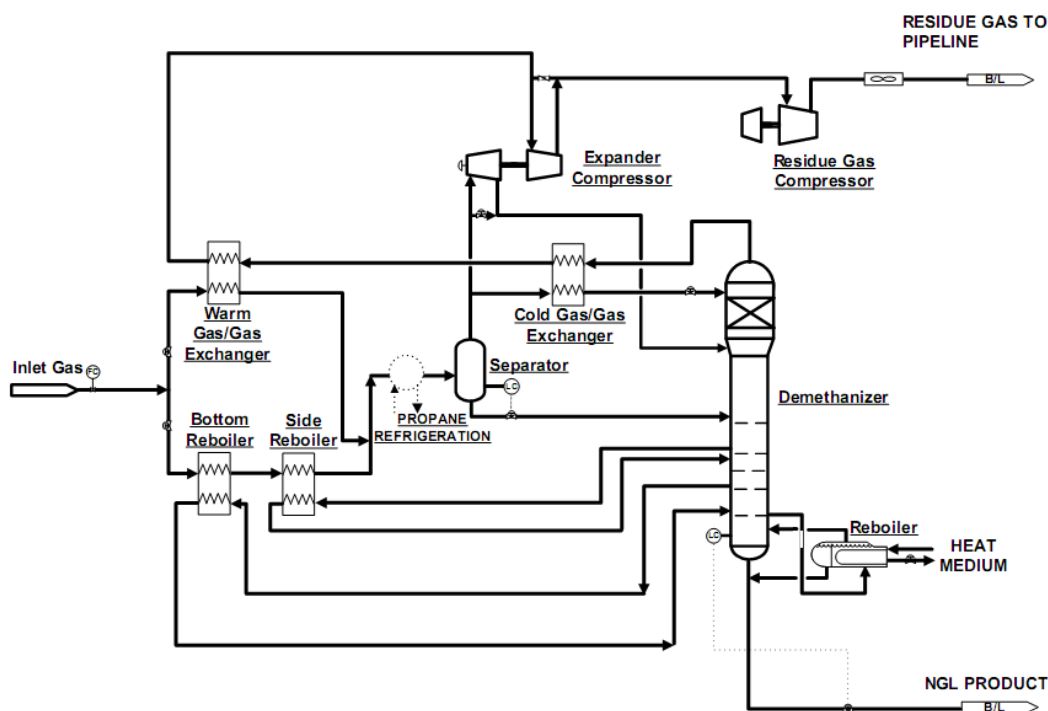
- 
- 1- Richardson and Butterworth
  - 2-Coefficient of performance
  - 3- Jwo et al.
  - 4- Dongsoo et al.
  - 5- Baskin
  - 6-Lim et al.

مانی و سلادوری<sup>۱</sup> [۱۳] به آنالیز و مقایسه مبردهای R-12 و R-134a با مخلوطی از مبردهای R-600a و R-290 پرداخت. درصد مولی مبرد R-290، ۶۸٪ و R-600a، ۳۲٪ بود. نتایج این تحقیق نشان داد که COP سیکل تبرید برای مخلوط مبردها به اندازه ۳٫۹٪~۲۵٫۱٪ برای دمای اواپراتور پایین‌تر از  $-8^{\circ}\text{C}$  و به اندازه ۱۱٫۸٪~۱۷٫۶٪ در دمای اواپراتور بالاتر از  $-8^{\circ}\text{C}$  بیشتر از مبرد R-12 است. COP مبرد R-134a پایین‌تر از مبرد R-12 در تمام حالات می‌باشد و مخلوط مبرد ها دارای مصرف انرژی کمتری به اندازه ۶٫۸٪~۱۷٫۴٪ نسبت به مبرد R-12 و به اندازه ۸٫۹٪~۲۰٪ نسبت به مبرد R-134a می‌باشد.

گالسبی<sup>۲</sup> [۱۴] استفاده از منبسط کننده در واحد NGL برای بازیابی اتان و کاهش قدرت کمپرسور را پیشنهاد داد. طراحی واحد NGL بستگی زیادی به فشار برج دی متانایزر<sup>۳</sup> دارد. در فشارهای پائین یا متوسط (۴۰۰ Psia یا پائین تر) فراریت نسبی خیلی زیاد و مطلوب برای فرآیند جدایش هیدروکربنها در داخل برج دی متانایزر است. اما نیاز به توان کمپرسور که ۲۵٪~۵۰٪ هزینه واحد را تشکیل می‌دهد، افزایش می‌ابد. در حالیکه در فشارهای بالا (بالای ۴۰۰ Psia) نیاز به توان کمپرسور کمتری است اما فراریت نسبی کاهش می‌ابد و جدایش هیدروکربنها مشکل تر است.

لی و همکاران<sup>۴</sup> [۱۵] از ری بویلر<sup>۵</sup> در برج و سیکل تبرید پروپان برای سرمایش گاز ورودی برای افزایش بازیابی NGL استفاده نمود. شکل (۱-۶)

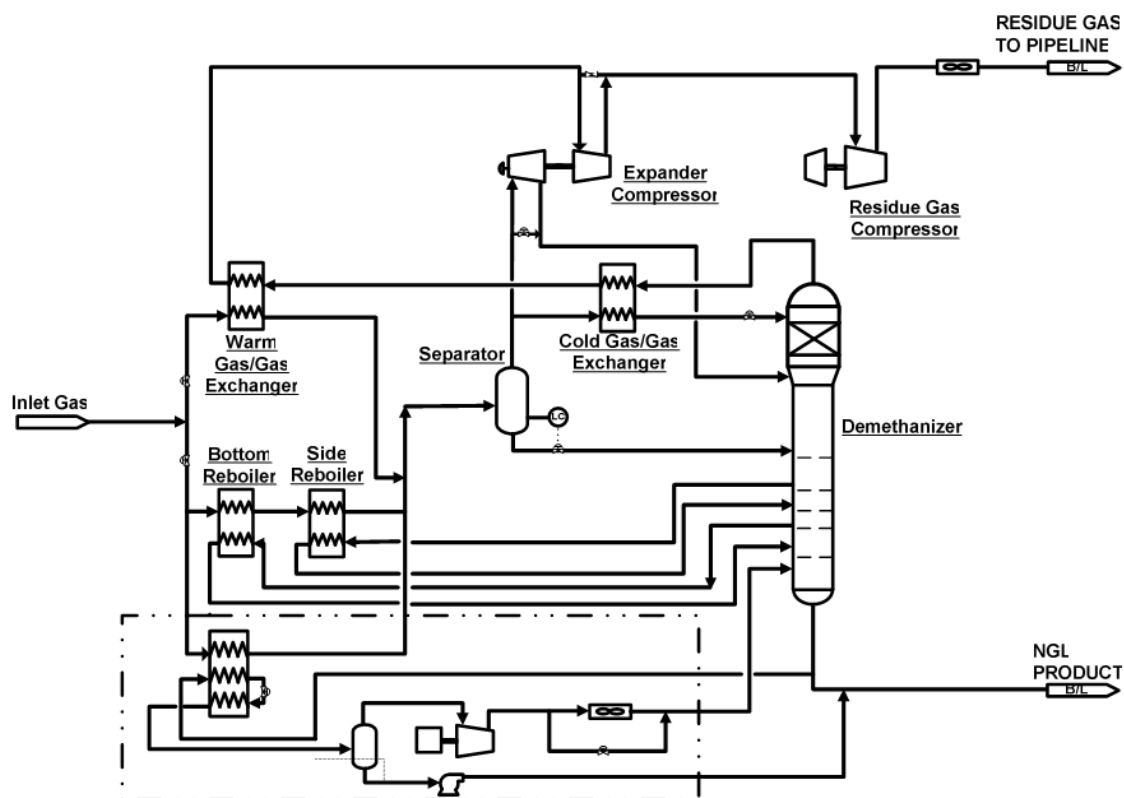
- 
- 1- Mani&Selladurai
  - 2- Gulsby
  - 3- Demethanizer column
  - 4- Lee et al
  - 5- Reboiler



شکل ۱-۶- نمایش از واحد بازیافت NGL با ری بویلر در برج دی متانایزر [۱۵]

نصیر و همکاران<sup>[۱۶]</sup> به بررسی سیکلی پرداخت که از مزیت های آن استفاده نکردن از ری بویلر و سیکل تبرید خارجی بود. این سیکل در شهر مکزیک واقع شده است.

لی و همکاران [۱۷] سیکلی را برای تولید NGL یا بازیافت اتان پیشنهاد داد. که بیشترین تمرکز به قسمت انتهایی برج دی متانایزر بود. در این تحقیق به بررسی سیکلی پرداخت که از NGL تولیدی واحد برای سرمایش گاز ورودی استفاده می شد شکل (۷-۱) دیاگرام این جریان را نشان میدهد (مستطیلی که با خط چین در پائین برج نشان داده شده است) بخشی از جریان NGL خروجی از برج دی متانایزر به طور کلی و یا به طور جزئی بخار شده و سرمایش لازم را تامین میکند. بخار تولیدی از سیکل تبرید به برج باز میگردد و باعث افزایش فشار بحرانی شده و در نتیجه فراریت نسبی افزایش میابد و مقدار بازیابی NGL ثابت یا افزایش میابد.



شکل ۱-۷- نمایش از واحد بازیافت NGL بدون سیکل تبرید پروپان [۱۷]

لینهف و دهلی<sup>۱</sup> [۱۸] از آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی برای تحلیل سیستم های خنک کاری دمپائین استفاده کردند. آنها با استفاده از این روش، کار محوری مورد نیاز را ۳,۸۳۱ مگاوات کاهش دادند.

دهلی و زهنگ<sup>۲</sup> [۱۹] آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی را در مورد سیکل ترکیبی توربین بخار و توربین گازی سیکل بسته اعمال کردند و به افزایش بازده سیکل در حدود ۰,۸۲ درصد دست پیدا کردند.

مانیم و زهو<sup>۳</sup> [۲۰] بررسی های اقتصادی را همراه با آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی در مورد یک سیکل ترکیبی تولید توان اعمال کردند. نتیجه بهینه سازی آنها افزایش بازده سیکل مورد مطالعه از ۴۵,۰۲ درصد تا ۴۹,۸۵ درصد با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی بود.

1-Linnhoff & Dhole

2-Zheng & Dhole

3- Manninen & Zhu

فنگ و زهو<sup>۱</sup> [۲۱] آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی را در مورد یک سیکل ترکیبی توربین بخار و توربین گازی اعمال کردند. در این سیکل دمای هوای ورودی به توربین گاز در کوره افزایش می‌یابد و محصولات احتراق از توربین گاز عبور نمی‌کنند. افزایش بازده سیکل ترکیبی مورد مطالعه در حدود ۱/۷۴ درصد محاسبه گردیده است.

فابریگو و همکاران<sup>۲</sup> [۲۲] به آنالیز اکسرژی سیکل تبرید در فرآیند تولید پروپیلین و اتیلن پرداخت. در این تحقیق سیکل تبرید با مبرد اتیلن و پروپیلین با نرم افزار HYSYS شبیه سازی شده. در این تحقیق با تغییر در فشار کمپرسورهای سیکل تبرید مبرد اتیلن به اندازه ۱۳٪ از اتلاف اکسرژی کم کرده است. مافی و همکاران<sup>۳</sup> [۲۳] به آنالیز اکسرژی و پینچ سیکل تبرید واحد اولفین پرداخت. این محقق با رسم نمودارهای EGCC<sup>۴</sup> توانست کار کمپرسورهای سیکل تبرید را به اندازه ۱۲۵۱ KW کاهش دهد. مهر پویا<sup>۵</sup> [۲۴] در زمینه آنالیز اکسرژی سیکل تبرید با مبرد پروپان برای واحد NGL پرداخت و از نتایج آن به صورت زیر است :

- ✓ اوپراتور و کندانسور دارای بیشترین بازگشت ناپذیری<sup>۶</sup> هستند
- ✓ با افت فشار بیشتر در اوپراتور میتوان به دمای کمتری در اوپراتور رسید اما باعث تلفات کار بیشتری میشود.
- ✓ COP برای سیکل واقعی ۱,۸ بدست آمد.
- ✓ COP با افزایش افت فشار در اوپراتور کاهش میابد(کار کمپرسور زیاد میشود)

---

1-Feng & Zhu  
 2- Fabrega et al.  
 3-Mafi et al.  
 4-Exergy Grand Composite Curve  
 5- Mehrpooya et al  
 6-irreversibility

# فصل ۲

## روشهای تحلیل و بهینه سازی

اهداف این فصل :

۱- آنالیز اکسرژی و روابط مربوطه

۲- تکنولوژی پینچ

۳- آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی



## مقدمه :

## ۱.۱. مقدمه :

در سال‌های اخیر موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی تبدیل به یکی از مباحث مهم و اساسی در تمامی صنایع انرژی‌بر شده است. از چندین دهه قبل، با روبه‌کاهش نهادن منابع سوخت‌های فسیلی، موضوع بحران انرژی یکی از مسائل مهم و اساسی روز دنیا گردید. این مسئله در کنار افزایش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به یک استراتژی مهم در تمامی صنایع، تبدیل نموده است.

با گذشت زمان، راهکارهای گوناگونی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی مطرح شدند که استفاده مجدد از انرژی تلف شده در خود واحدها، یکی از این راهکارها می‌باشد. در این خصوص، روش‌های مختلفی برای استفاده مجدد از انرژی‌های تلف شده، ارائه گردیده که به مبحث بازیافت انرژی حرارتی معروف شدند. بحث کاربردی که در زمینه بازیافت انرژی مطرح گردید، یکپارچه‌سازی حرارتی بود.

از ابزارهای مفیدی که در یکپارچه‌سازی ابداع گردیده است، تکنولوژی پینچ می‌باشد. هدف تکنولوژی پینچ رسیدن به حداکثر انرژی بازیافت شده در فرایند و به حداقل رساندن مقدار سرویس‌های جانبی گرمایشی و سرمایشی موردنیاز فرایند و به تبع آن کاهش هزینه‌های مصرفی انرژی است. از محاسن این روش، تعیین حداکثر بازیافت انرژی در کل فرایند می‌باشد. محدودیت اصلی تکنولوژی پینچ این است که تنها به تحلیل حرارتی سیستم‌ها پرداخته و قادر به بررسی توان یا کار محوری سیستم‌ها نمی‌باشد. بنابراین در سیستم‌هایی مانند چرخه‌های تولید برودت و توان که علاوه بر انرژی حرارتی با توان یا کار محوری نیز سروکار دارند، می‌بایست تکنولوژی پینچ توسعه داده شود. از آنجا که آنالیز اکسرژی روش موثری برای بررسی توان و کار محوری می‌باشد، می‌توان با تلفیق مناسب آنالیز اکسرژی و تکنولوژی پینچ، به راه حل عملی و مفید جهت بررسی همزمان انرژی حرارتی و توان مصرفی سیستم‌ها دست یافت. این تکنیک، آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی (CPEA) نامیده می‌شود. با کاربرد این تکنیک بر روی سیستم‌های سرمازا، علاوه بر تعیین اهداف بار حرارتی می‌توان اهداف مربوط به کار محوری سیستم سرمازا را نیز هدفگذاری نمود. در این بخش، ابتدا

توضیح مختصری بر مفاهیم آنالیز اکسرژی و تکنولوژی پینچ ارائه می‌شود و سپس در ادامه، به تشریح تکنیک آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی می‌پردازیم.

## ۲.۱. آنالیز اکسرژی :

### ۱.۲.۱. مقدمه :

در علم ترمودینامیک دانشمندان قانون اول ترمودینامیک را بر مبنای انرژی و قانون دوم ترمودینامیک را بر مبنای اکسرژی بنا نهاده اند. حداکثر کاری که از شکل مشخصی از انرژی طی یک فرآیند بازگشت پذیر تا حالت تعادل با محیط، قابل استحصال است، اکسرژی یا قابلیت کاردهی انرژی، نامیده می‌شود. به عبارتی دیگر، انرژی دارای بقاست ولی اکسرژی حین انجام فرآیندهای واقعی در حال تخریب و کاهش است. در واقع اکسرژی مبین کیفیت انرژی است.

در تحلیل اکسرژی با استفاده از ترکیب معادلات بقای جرم و انرژی با قانون دوم ترمودینامیک، ابزاری ایجاد می‌گردد که به وسیله آن طراحی اقتصادی و بهینه سازی سیستمهای انرژی، قابل انجام است. به کمک تحلیل اکسرژی محل و مقدار اتلافات اکسرژی در یک سیستم انرژی مشخص شده و با کاهش این اتلافات از طریق اعمال تغییرات ممکن اقتصادی، بازده سیستم افزایش یافته و سیستم به حالت ایده ال نزدیکتر میگردد. این اطلاعات از طریق دیگری (مثلا تحلیل انرژی یا قانون اول) قابل دستیابی نمی‌باشند. این روش برای ارتقاء راندمان کل و همچنین کارایی اقتصادی یک سیستم و مقایسه عملکرد سیستمهای مختلف بسیار سودمند می‌باشد. در این فصل بالانس آنروپی، مفاهیم اکسرژی و بالانس اکسرژی حجم کنترل، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۱.۲.۲. بالانس آنروپی :

بالانس آنروپی برای سیستم بسته به صورت زیر بیان می‌گردد [۲۵].

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_b + S_{gen} \quad (1-0)$$

و بالانس آنتروپی حجم کنترل به صورت زیر است:

$$\frac{dS_{CV}}{dt} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum_i \dot{m}_i s_i - \sum_e \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen} \quad (2-0)$$

بالانس آنتروپی حجم کنترل در حالت جریان پایدار به این صورت بیان می گردد:

$$0 = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum_i \dot{m}_i s_i - \sum_e \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen} \quad (3-0)$$

### ۳.۲.۱. عوامل تغییر آنتروپی :

تغییر آنتروپی سیستم را می توان در دو بخش عمده مورد بررسی قرار داد:

-تغییر آنتروپی در اثر انتقال حرارت

-تغییر آنتروپی در اثر بازگشت ناپذیری های داخلی ( افت فشار، اصطکاک، اختلاط، انبساط ناگهانی ...

بنابراین آنتروپی از طریق دریافت حرارت و بازگشت ناپذیریهای داخلی، افزایش می یابد و تنها راه برای کاهش

آنتروپی سیستم، گرفتن حرارت از آن است [۲۵].

### ۳.۱. تحلیل اکسرژی :

تحلیل سیستم های ترمودینامیکی بر اساس قانون دوم را تحلیل اکسرژی می نامند. طبق این قانون در هر

فرآیند واقعی، آنتروپی تولید شده متناظر با تخریب اکسرژی است. در این تحلیل هدف، شناخت محل، نوع و

مقدار تولید آنتروپی، طی فرآیندهای مختلف ترمودینامیکی و عوامل مؤثر بر تولید این بازگشت ناپذیرهاست .

از این طریق، علاوه بر ارزیابی کارایی اجزاء مختلف، راه های افزایش کارایی نیز شناسائی می گردد [۲۵].

### ۱.۳.۱. اکسرژی و انرژی :

در بررسی سیستم حرارتی، تعادل اکسرژی مشابه تعادل انرژی است، با این تفاوت که تعادل انرژی بیانگر بقای

انرژی و تعادل اکسرژی، حاوی عباراتی برای تنزل کیفیت انرژی است.