۴–۱ شبیه سازی واحد مایع سازی

۴–۱–۱ مقدمه

سیکل تبرید مربوط به واحد مایع سازی گاز طبیعی نیز همانند دیگر فرآیندهای تبرید، فرآیندی پیوسته می‌باشد. بدین معنا که مبرد یک چرخه کامل را که شامل مراحل تراکم، مبدل حرارتی، عبور از شیر اختناق و کندانسور می‌باشد، جهت خنک سازی گاز طبیعی طی می‌نماید. اعمال کوچک‌ترین تغییری در فرآیند مایع سازی گاز طبیعی، باعث تغییرات اساسی در تجهیزات مختلف واحد مایع سازی خواهد شد. از این رو و جهت بررسی این تغییرات که بر اثر اعمال ایده‌هایی جهت بهبود عملکرد واحد مایع سازی بوجود می‌آید، انجام شبیه سازی از واحد مایع سازی گاز طبیعی مورد نیاز است. در ابتدا لازم است که چرخه مایع سازی توضیح داده شود.

۴–۱–۲ چرخه مایع سازی

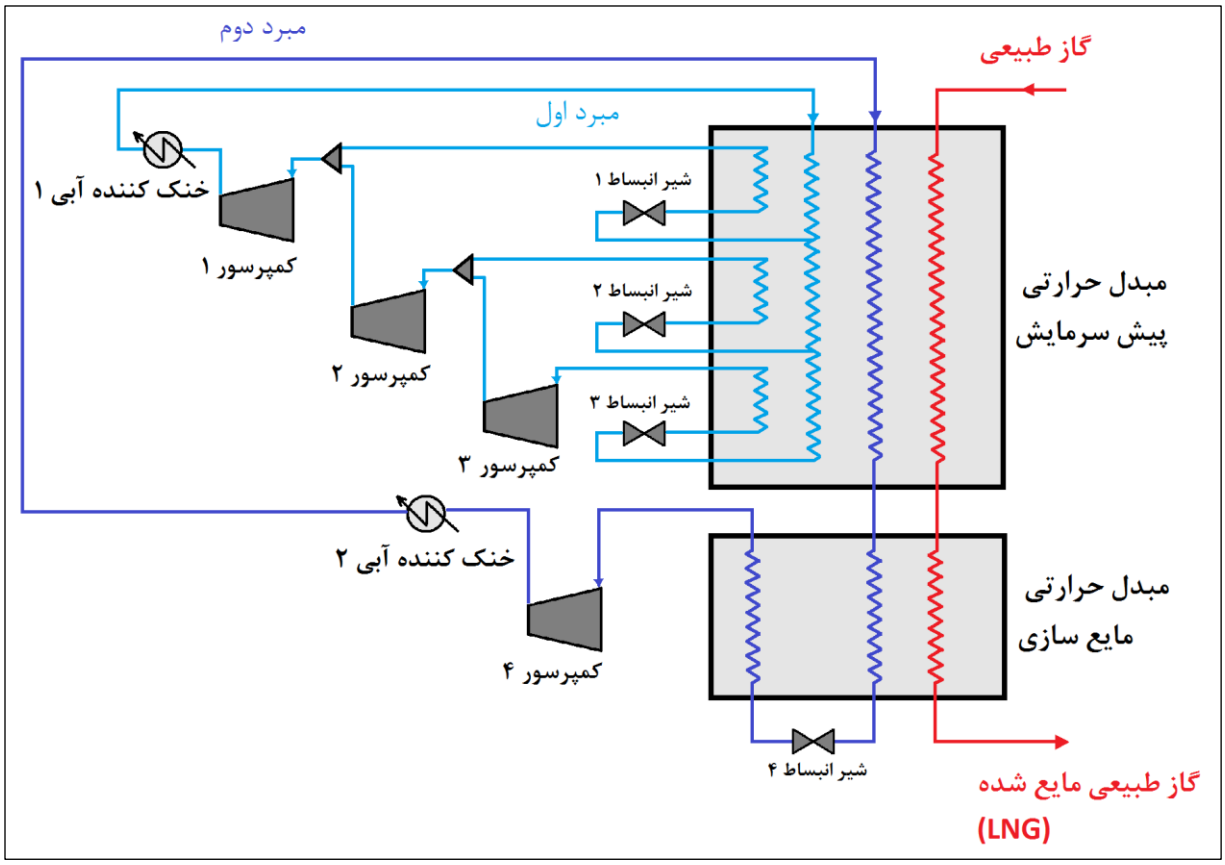
چرخه مایع سازی گاز طبیعی نیز همانند دیگر چرخه‌های تبرید از چهار مرحله اصلی تشکیل شده است که عبارتنداز:

- تراکم
- چگالش
- شیر انبساط
- تبخیر کننده

کمپرسور وظیفه افزایش فشار مبرد را بر عهده دارد. مبرد پس از افزایش فشار وارد چگالنده شده و در آنجا معمولا تا دمای حالت مایع اشباع خنک می‌شود. پس از آن و جهت رسیدن به محدوده دمایی‌ای که بتواند دمای جریان هدف را که در اینجا گاز طبیعی می‌باشد، کاهش دهد از شیر انبساط عبور می‌نماید و سپس با عبور از تبخیر کننده، حرارت مورد نیاز خود را برای رسیدن به حالت بخار اشباع از جریان هدف گرفته و باعث خنک سازی آن نیز می‌شود.

چرخه توضیح داده شده، ساده‌ترین نوع از یک چرخه تبرید می‌باشد و مطمئنا جهت خنک سازی گاز طبیعی تا حدود دمای ۱۶۰- درجه سانتی‌گراد، تغییرات و تفاوت‌هایی با این چرخه وجود خواهد داشت. ولی اساس کار و نحوه عملکرد مبرد به همین صورت خواهد بود و هر چهار مرحله اصلی توضیح داده شده شامل چرخه تبرید مربوط به مایع سازی گاز طبیعی نیز خواهد بود.

نمایی از چرخه تبرید مایع سازی گاز طبیعی به روش مخلوط مبرد دوتایی در شکل ۴-۱ آمده است.

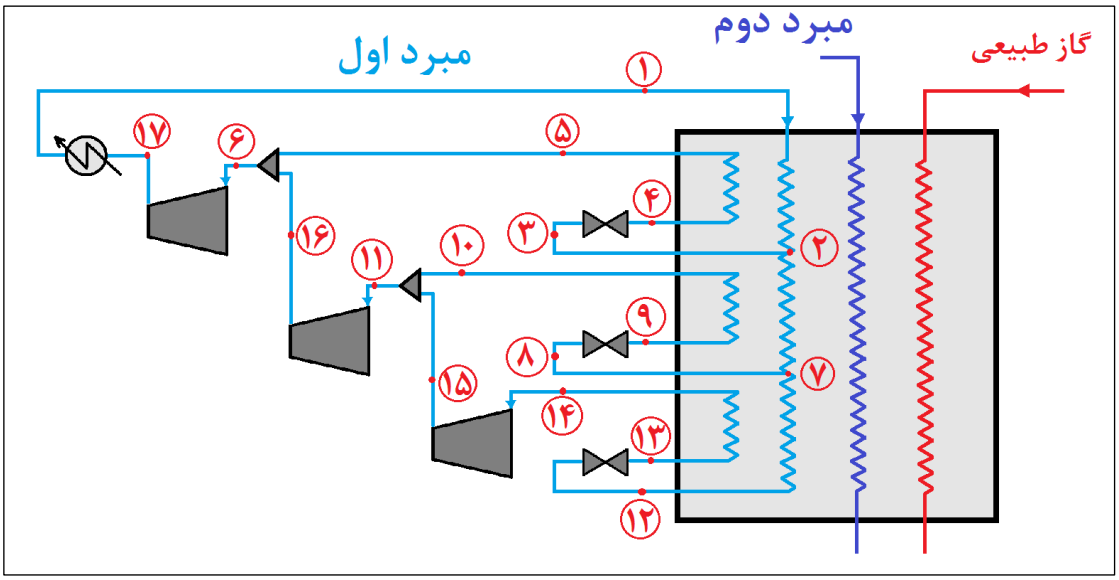


شکل ۴-۱ واحد مایع سازی گاز طبیعی

سرماسازی در روش مخلوط مبرد دوتایی بوسیله دو چرخه مبرد جداگانه صورت می‌پذیرد. چرخه اول وظیفه پیش سرمایش گاز طبیعی را تا محدوده دمایی مشخصی بر عهده دارد و به مرحله پیش سرمایش نامگذاری می‌شود. چرخه دوم نیز گاز طبیعی پیش سرمایش شده را تا دمای نهایی سرد و مایع سازی می‌نماید. در ادامه هر کدام از این چرخه‌ها را به طور جداگانه بررسی خواهیم نمود.

۴-۱-۲-۱ چرخه پیش سرمایش

این چرخه، وظیفه پیش سرمایش گاز طبیعی ورودی به واحد مایع سازی و بخشی از مبرد دوم خروجی از خنک کننده آبی یا همان واحد چگالش مبرد دوم را بر عهده دارد. همان طور که از نام این روش نیز نمایان است، مبردها از مخلوطی از هیدروکربن‌ها به همراه مقادیری نیتروژن تشکیل شده‌اند. نمایی از چرخه مربوط به این مرحله در شکل ۴-۲ آمده است. در این چرخه تبرید، مبرد اول مسیری مطابق با شکل طی می‌نماید.



شکل ۴-۲ چرخه پیش سرمایش واحد مایع سازی گاز طبیعی

مبرد اول پس از افزایش فشار و خروج از کمپرسور، وارد بخش خنک سازی با آب می‌شود. در واقع این همان مرحله چگالش می‌باشد که بخشی از آن بوسیله خنک کننده آبی صورت گرفته و بخش دیگری از آن در درون مبدل حرارتی پلیت‌فین صورت می‌گیرد. مبرد در حین خنک شدن اولیه در درون مبدل حرارتی، در

سه سطح فشار از مبدل حرارتی خارج شده و وارد شیر انبساط می‌شود. همان طور که در شکل ۴-۲ آمده است، این مرحله در سه شیر انبساط جداگانه صورت می‌گیرد.

مبرد اول، در نقطه ۱ وارد مبدل حرارتی پیش سرمایش می‌شود. مبرد اول در بین نقطه ۱ تا ۲ تا حدودی توسط جریان خنک شده بخشی از مبرد اول که از شیر انبساط ۱ خارج شده و در نقطه ۴ وارد مبدل حرارتی شده است، خنک می‌شود. در نقطه ۲، مقداری از مبرد اول از جریان اصلی جدا شده و با خروج از مبدل حرارتی، در نقطه ۳ وارد شیر انبساط ۱ شده و پس از افت فشاری معین، تا دمای مورد نقطه ۴ خنک شده و وارد مبدل حرارتی می‌شود. این جریان پس از جذب حرارت از جریان‌های گاز طبیعی، مبرد دوم و جریان اصلی مبرد اول، در نقطه ۵ از مبدل حرارتی خارج و پس از مخلوط شدن با دیگر مقادیر مبرد اول در مخلوط کننده، در نقطه ۶ وارد کمپرسور ۱ می‌شود.

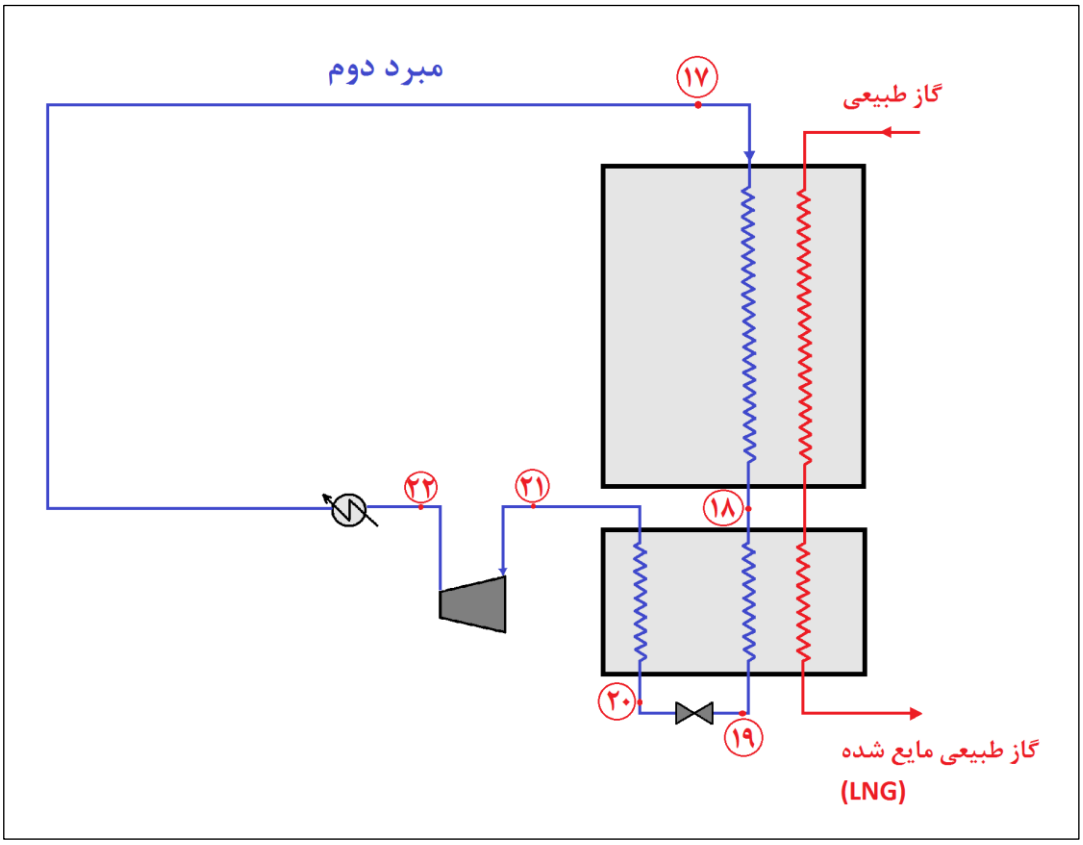
پس از جداسازی مقادیری از مبرد اول در نقطه ۲ از جریان اصلی، مابقی مبرد اول تا نقطه ۷ ادامه مسیر داده و سرد می‌شود و در این نقطه، مقادیر دیگری از مبرد اول از جریان اصلی جدا شده و پس از خارج شدن از مبدل حرارتی، در نقطه ۸ وارد شیر انبساط شده و پس از افت فشار و کاهش دما در شرایط نقطه ۹ مجددا وارد مبدل حرارتی شده و از جریان‌های مبرد اول، مبرد دوم و گاز طبیعی حرارت دریافت می‌کند و در نقطه ۱۰ از مبدل حرارتی خارج می‌شود. این مقدار از مبرد اول، پس از مخلوط شدن با دیگر مقادیر باقی مانده از مبرد اول، در نقطه ۱۱ وارد کمپرسور ۲ شده و پس از افزایش فشار تا فشار ورودی کمپرسور ۱، با جریان مبرد اول با شرایط نقطه ۵ مخلوط می‌شود.

مقادیر باقی مانده از جریان اصلی مبرد اول، پس از سرد شدن در نقطه ۱۲ از مبدل حرارتی خارج شده و پس از عبور از شیر انبساط ۳ و کاهش دما، در نقطه ۱۳ وارد مبدل حرارتی می‌شود. این جریان پس از جذب حرارت از جریان گاز طبیعی، مبرد اول و مبرد دوم در شرایط نقطه ۱۴ از مبدل حرارتی خارج شده و وارد کمپرسور ۳ می‌شود. پس از افزایش تا فشار ورودی کمپرسور ۲، با جریان ۱۰ مخلوط می‌شود.

این چرخه به صورت پیوسته عمل کرده و مرحله پیش سرمایش گاز طبیعی را تشکیل می‌دهد.

۴-۱-۲-۲ چرخه مایع سازی

مبرد دوم وظیفه مایع سازی گاز طبیعی را برعهده دارد. نمایی از این چرخه در شکل ۴-۳ آمده است.



شکل ۴-۳ چرخه مایع سازی واحد مایع سازی گاز طبیعی

مبرد دوم در نقطه ۱۷ وارد مبدل حرارتی پلیت‌فین مربوط به چرخه پیش سرمایش شده و تا محدوده دمایی مشخصی خنک می‌شود. بخش دیگری از مرحله چگالش در درون مبدل حرارتی پلیت‌فین مربوط به چرخه مایع سازی صورت می‌گیرد. مبرد دوم با شرایط نقطه ۱۸ وارد مبدل حرارتی مایع سازی شده و تا شرایط نقطه ۱۹ خنک می‌شود. سپس جریان مبرد دوم وارد شیر انبساط شده و تا دمای مورد نیاز برای مایع سازی گاز طبیعی پیش سرمایش شده و خنک سازی جریان مبرد دوم پیش از ورود به شیر انبساط، سرد می‌شود. جریان مبرد دوم در نقطه ۲۰ مجددا وارد مبدل حرارتی چرخه مایع سازی شده و پس از دریافت حرارت از جریان گاز طبیعی پیش سرمایش شده و جریان مبرد دوم که پیش از ورود به شیر انبساط وارد مبدل حرارتی شده، از مبدل حرارتی چرخه مایع سازی با شرایط نقطه ۲۱ خارج و وارد مرحله تراکم می‌شود. پس از افزایش فشار بوسیله کمپرسور تا شرایط نقطه ۲۲، جریان مبرد دوم وارد خنک کننده آبی شده و تا دمای نقطه ۱۷ خنک سازی می‌شود. همانند چرخه پیش سرمایش و مبرد اول، مبرد دوم نیز یک چرخه پیوسته را طی می‌نماید و این مراحل به طور پیوسته تکرار می‌شوند.

۴-۱-۳ مراحل شبیه سازی واحد مایع سازی

پس از آشنایی با مراحل چرخه تبرید مربوط به واحد مایع سازی گاز طبیعی به روش مخلوط مبرد دوتایی، به نحوه شبیه سازی این فرآیند می‌پردازیم.

جهت شبیه سازی واحد مایع سازی گاز طبیعی از نرم‌افزار هایسیس[1] استفاده شده است. این نرم‌افزار با توجه به دارا بودن تجهیزات اصلی مربوط به مایع سازی گاز طبیعی که از جمله مهم‌ترین آن‌ها، مبدل حرارتی می‌باشد، کمک شایانی در انجام یک شبیه سازی نزدیک به واقعیت به کاربر می‌نماید.

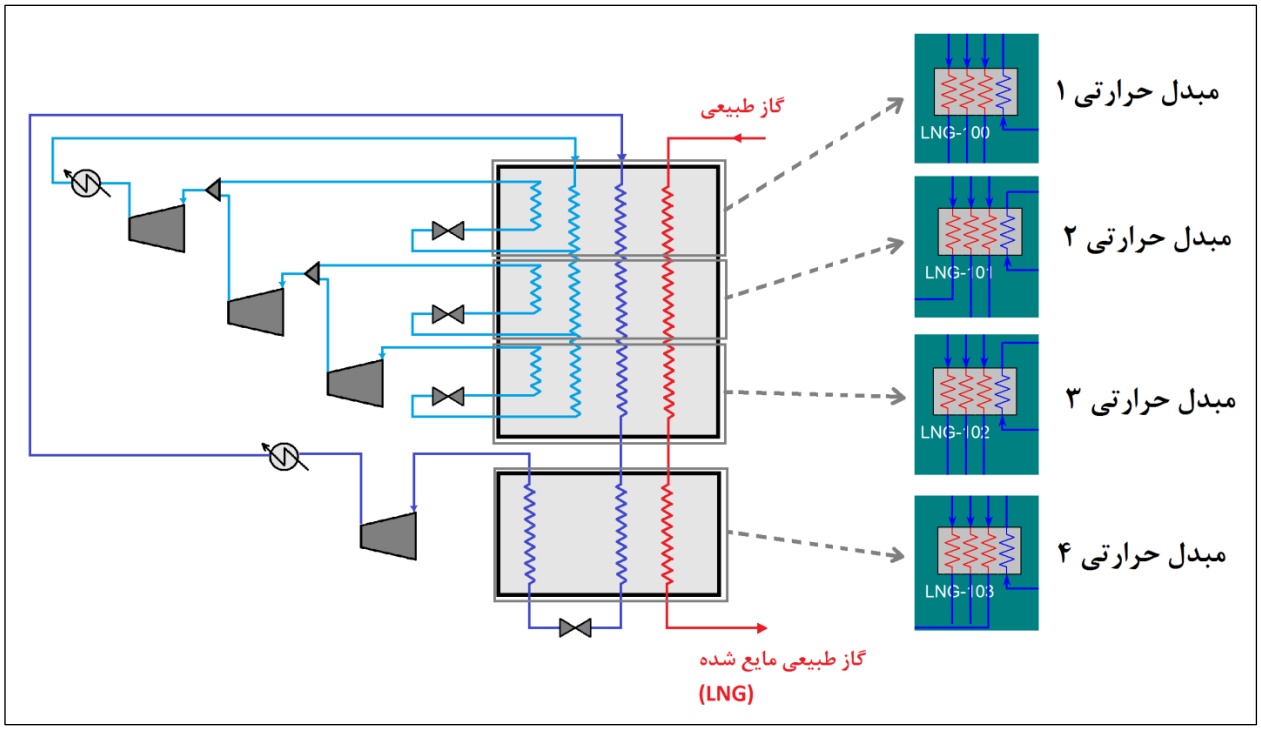
همان طور که اشاره شد، مبدل حرارتی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین تجهیزات بر عملکرد چرخه مایع سازی گاز طبیعی بوده و وجود مبدل حرارتی مختص واحدهای تولید گاز طبیعی مایع در این نرم‌افزار، شبیه سازی‌ای نزدیک به واقعیت را در اختیار خواهد گذاشت.

مراحل چهارگانه که در قسمت قبلی به آن‌ها اشاره شد را یک به یک در مورد شبیه سازی انجام شده، توضیح داده خواهد شد.

۴-۱-۳-۱ مبدل حرارتی (مرحله تبخیر کننده و بخشی از مرحله چگالش)

همان طور که اشاره شد، مرحله تبخیر طی دو مرحله پیش سرمایش و مایع سازی صورت می‌گیرد. طبق توضیحات داده شده، پیش سرمایش گاز طبیعی توسط مبرد اول طی سه سطح فشار صورت می‌گیرد و جهت شبیه سازی این مبدل حرارتی در نرم‌افزار مربوطه، جهت رسیدن به نتیجه مطلوب، باید مبدل حرارتی مربوط به مرحله پیش سرمایش را به سه مبدل حرارتی تبدیل نموده و در نرم‌افزار مرحله پیش سرمایش را در سه مبدل حرارتی صورت دهیم. نمایی از نحوه تقسیم بندی این مبدل حرارتی در شکل ۴-۴ آمده است.

[1] HYSYS



شکل ۴-۴ نحوه شبیه سازی مبدل حرارتی واحد مایع سازی گاز طبیعی

با توجه به شکل بالا، مبدل حرارتی مربوط به چرخه مایع سازی به صورت همان یک مبدل حرارتی در شبیه سازی آورده خواهد شد.

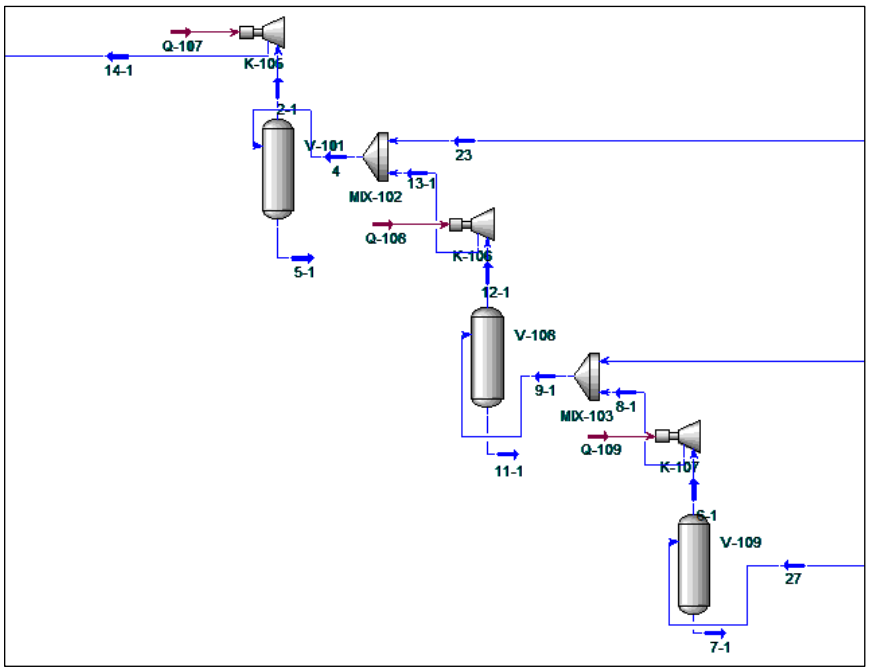
۴-۱-۳-۲ شیر انبساط

طبق توضیحات داده شده، چرخه پیش سرمایش شامل سه شیر انبساط و چرخه مایع سازی با یک شیر انبساط اقدام به خنک سازی جریان‌های مبرد اول و دوم می‌نمایند. استفاده از شیر انبساط در نرم‌افزار مربوطه بسیار ساده بوده و با وارد نمودن افت فشاری که شیر انبساط اعمال خواهد نمود، وارد شبیه سازی خواهد شد. شرایط جریان ورودی به شیر انبساط کاملا مشخص است، در حالی که دما و فشار جریان

خروجی تعیین نمی‌شود. البته فشار جریان خروجی با توجه به افت فشاری که برای شیر انبساط وارد شده است، مشخص است و دمای جریان خروجی بوسیله نرم‌افزار محاسبه می‌شود.

۴-۱-۳-۳ متراکم سازی

با توضیحات داده شده، مرحله تراکم در دو قسمت مربوط به چرخه‌های پیش سرمایش و مایع سازی صورت می‌گیرد. متراکم ساختن مبرد اول در چرخه پیش سرمایش توسط سه کمپرسور که در سه سطح فشار جریان‌های مبرد اول وارد آن‌ها می‌شوند، صورت می‌پذیرد. در شکل ۴-۵ نمایی از این شبیه سازی به نمایش درآمده است. شرایط جریان ورودی به کمپرسورها مشخص است. در مقابل تنها فشار جریان خروجی مشخص است و دمای جریان خروجی بوسیله نرم‌افزار محاسبه می‌شود.



شکل ۴-۵ واحد متراکم سازی مبرد اول

با توجه به شکل ۴-۵، در ابتدا کم فشارترین جریان مبرد اول خروجی از مبدل حرارتی چرخه پیش سرمایش وارد کمپرسور اول شده و تا فشار جریان فشار متوسط مبرد اول خروجی از مبدل حرارتی، فشارش افزایش می‌یابد. سپس این دو جریان هم فشار با یکدیگر مخلوط شده و وارد کمپرسور دوم شده و تا فشار پر فشارترین جریان مبرد اول خروجی از مبدل حرارتی، افزایش فشار پیدا می‌کنند. با مخلوط شدن این دو جریان، جریان مبرد اول با دبی کامل وارد کمپرسور سوم شده و تا فشار نهایی فشرده می‌شوند.

یادآور می‌شود، به منظور جلوگیری از ورود احتمالی مایع به داخل کمپرسور و همچنین عدم ایجاد خطا در عملکرد نرم‌افزار، قرار دادن جدا کننده دوفازی پیش از ورود جریان به داخل کمپرسور الزامی می‌باشد که در شکل بالا ملاحظه می‌کنید که برای ورودی هر سه کمپرسور، یک جدا کننده دوفازی در نظر گرفته شده است.

متراکم سازی در چرخه مایع سازی توسط یک کمپرسور صورت می‌گیرد. مشابه کمپرسورهای مربوط به چرخه مبرد اول، شرایط جریان ورودی به کمپرسور کاملا مشخص است و تنها دمای جریان خروجی مشخص نیست که توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود.

همانند مرحله تراکم چرخه پیش سرمایش، در این مرحله نیز از جدا کننده‌های دوفازی پیش از ورود جریان مبرد دوم به کمپرسورها جهت جلوگیری از ورود مایع به کمپرسور استفاده شده است.

۴-۱-۳-۴ چگالش

مرحله چگالش در هر دو چرخه پیش سرمایش و مایع سازی با استفاده از خنک کننده‌های آبی صورت می‌گیرد. در چرخه پیش سرمایش، خنک سازی بوسیله چگالنده آبی صورت گرفته و چرخه مایع سازی نیز شامل یک مرحله خنک سازی بوسیله خنک کننده آبی می‌باشد. همان طور که اشاره شد، برای هر دو مبرد

اول و دوم مرحله چگالنده، در دو قسمت صورت انجام می‌شود، ابتدا در درون خنک کننده‌های آبی جریان مبرد تا حدودی خنک می‌شود و مرحله بعدی خنک سازی مبرد، در درون مبدل‌های حراتی پیش سرمایش برای مبرد اول و مبدل های حرارتی پیش سرمایش و مایع سازی برای مبرد دوم می‌باشد.

همان طور که در شکل نمایش داده شده است، شبیه سازی این مرحله با استفاده از یک هیتر و یک کولر در نرم‌افزار صورت می‌گیرد، به گونه‌ای که جریان مبرد از درون کولر عبور می‌کند. کلیه شرایط جریان‌های ورودی و خروجی نیز مشخص می‌باشد. از درون هیتر نیز جریان آب عبور خواهد کرد که با شرایط دمایی و فشاری معلوم وارد و خارج می‌شود، ولی دبی آن توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود. یک جریان انرژی میان دو واحد کولر و هیتر قرار دارد که میزان انرژی خارج شده از جریان مبرد را مشخص می‌نماید.

۴-۲ سیکل چیلر جذبی و شبیه سازی آن

۴-۲-۱ مقدمه

تلفات حرارتی، بصورت حرارتی در یک فرآیند تعریف می‌شود که در آن این حرارت به طور مستقیم به محیط آزاد می‌شود. قابلیت استفاده از تلفات حرارتی را پارامترهایی از قبیل دما، مقدار و در دسترس بودن منبع این تلفات حرارتی مشخص می‌کند. استفاده از تلفات حرارتی مزایای زیادی دارد که اولین آن‌ها کاهش مصرف انرژی در واحد می‌باشد. افزایش بازده انرژی خود باعث مزایای دیگری از قبیل کاهش آلودگی دی‌اکسید کربن و دیگر آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. در نتیجه استفاده از تلفات حرارتی در صورت امکان، روش بسیار سودمندی می‌باشد.

فصل دوم: واحد مایع سازی گاز طبیعی به روش مخلوط مبرد دوتایی

۲–۱ مقدمه

همان طور که اشاره شد، مایع سازی گاز طبیعی به روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد که هدف نهایی هر یک از آن‌ها، کاهش دمای گاز طبیعی تا حدود ۱۶۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد ، ولی فرآیند هر کدام از این روش‌ها با یکدیگر متفاوت است که به طور کلی تفاوت آن‌ها به تعداد چرخه‌های سرماساز، نوع مبدل حرارتی اصلی مورد استفاده، نوع مبرد اعم از خالص بودن و یا مخلوطی از هیدروکربن‌ها، کمپرسورهای واحد تراکم، نوع گرداننده‌ها و در نتیجه تمامی این موارد، ظرفیت تولید این واحدها می‌باشد.

واحد مایع سازی به روش مخلوط مبرد دوتایی، از جمله روش‌هایی برای مایع سازی گاز طبیعی می‌باشد که طی دهه گذشته و پس از بهبود روش‌های اولیه که برای مایع سازی گاز طبیعی مورد استفاده قرار می‌گرفته است و در قسمت‌هایی، اعمال تغییرات اساسی در آن‌ها، توسط محققان ارائه گردیده است و از جمله روش‌های با بازده ترمودینامیکی مناسب در ظرفیت‌های بالا می‌باشد. ظرفیت تولید در این روش بستگی به تعداد واحدهایی که به طور همزمان راه‌اندازی می‌شود دارد و اکثرا ظرفیتی بیش از ۵ میلیون تن در سال دارا می‌باشد و در مواردی که در حال طراحی می‌باشد به حدود ۹ میلیون تن در سال نیز می‌رسد.

در ادامه به بیان هر یک از ویژگی‌هایی که این روش را با دیگر روش‌های موجود متمایز می‌نماید، می‌پردازیم.

۲–۲ ویژگی‌های واحد مایع سازی گاز طبیعی به روش مخلوط مبرد دوتایی

واحد مایع سازی گاز طبیعی به روش مخلوط مبرد دوتایی، دارای ویژگی‌هایی است که به تفصیل به بیان خواهد شد.

۲-۲-۱ تعداد چرخه‌های سرماساز

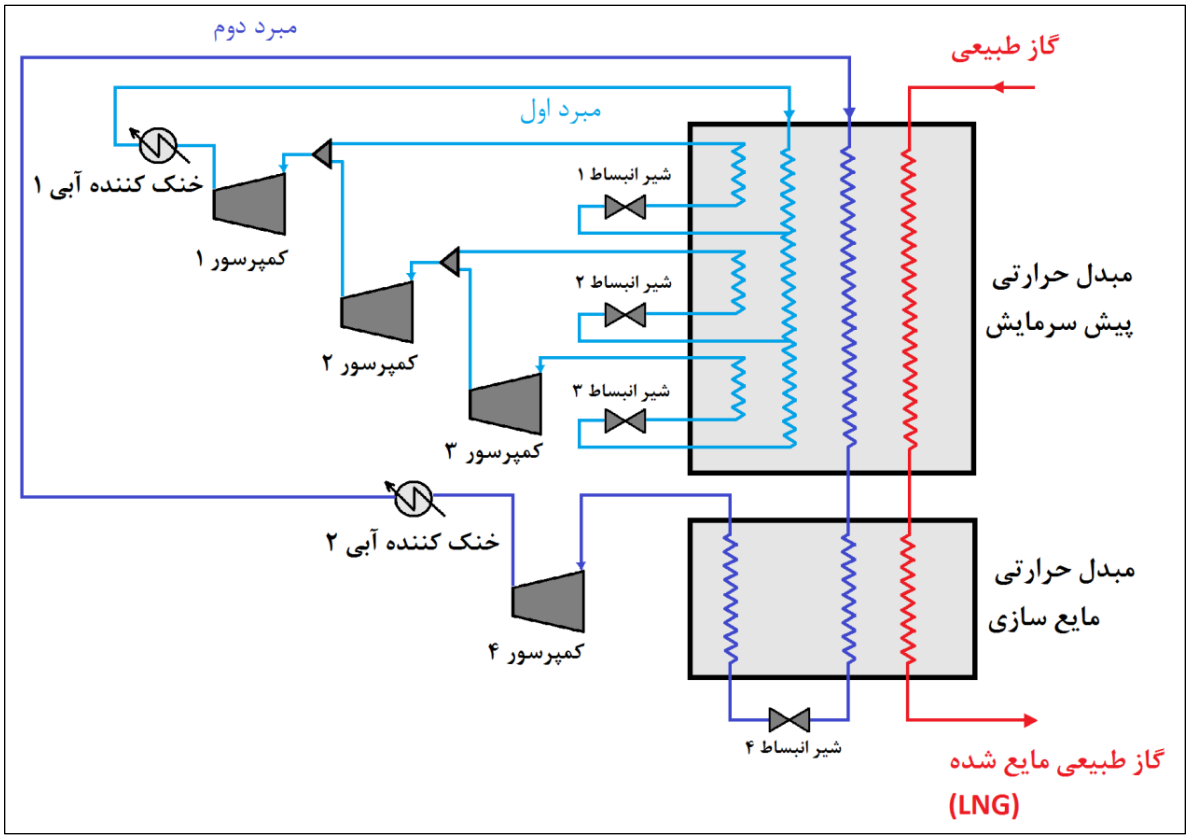
در روش مخلوط مبرد دوتایی، از دو چرخه سرماسازی که به طور کامل از یکدیگر مجزا می‌باشند، استفاده می‌شود. مبردهای به کار رفته در هر یک از این چرخه‌های سرماساز، از نوع مخلوط مبردها می‌باشد که متشکل از ترکیبی از هیدروکربن‌ها به علاوه نیتروژن می‌باشند. مبرد هر یک از این چرخه‌ها، به منظور دسترسی به شرایط بهینه مورد نظر و توانایی اعمال تغییرات در شرایط کاری مختلف، از ترکیبات متفاوتی از هیدروکربن‌ها تشکیل شده‌اند. هر کدام از این چرخه‌های سرماسازی، دارای یک مجموعه کامل از تجهیزات یک چرخه تبرید از جمله کمپرسور، مبدل حرارتی، شیر اختناق و خنک کننده‌ها می‌باشند که به طور همزمان به کار می‌افتند.

مایع سازی در این روش، همانند اکثر دیگر روش‌ها، طی دو مرحله که به مراحل پیش سرمایش[۱] و مایع سازی یا فوق سردسازی[۲] معروف هستند، تقسیم بندی می‌شود. چرخه سرماسازی اول، وظیفه پیش سرمایش گاز طبیعی تغذیه ورودی به واحد و همچنین خنک سازی مبرد چرخه سرماسازی دوم را بر عهده دارد. همان طور که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است، پیش سرمایش گاز طبیعی توسط مبرد چرخه اول، در سه سطح فشار صورت می‌گیرد و مبرد چرخه اول که از این پس به آن مبرد اول می‌گوییم، در سه سطح فشار از مبدل حرارتی مربوط به مرحله پیش سرمایش جدا شده و به سمت مرحله تراکم می‌رود. چرخه سرماسازی دوم نیز دمای گاز طبیعی را که در مرحله پیش سرمایش تا حدودی سرد شده است در مرحله مایع سازی، به مایع تبدیل می‌نماید.

---

[۱] Pre-cooling

[۲] Sub-cooling



شکل ۲-۱ واحد مایع سازی گاز طبیعی

۲-۲-۲ مبدل حرارتی

همان طور که اشاره شد، مایع سازی در این روش، طی دو مرحله که به مراحل پیش سرمایش و مایع سازی یا فوق سردسازی معروف هستند، تقسیم بندی می‌شود. در مرحله پیش سرمایش، دمای گاز طبیعی تغذیه ورودی به واحد مایع سازی گاز طبیعی تا حدودی کاهش یافته که این امر منجر به مایع سازی مقادیر کمی از هیدروکربن‌های سنگین‌تر موجود در گاز طبیعی تغذیه شده و این هیدروکربن‌های سنگین مایع شده از جریان سرد شده گاز طبیعی توسط جدا کننده‌های دو فازی جدا می‌شود که به عنوان میعانات گازی از آن‌ها استفاده‌های مختلفی می‌شود. در روش مخلوط مبرد دوتایی، در مرحله پیش سرمایش، گاز طبیعی تغذیه در یک مرحله میانی که دمای آن تا حدود ۳۵- درجه سانتی‌گراد سرد شده، از مبدل حرارتی خارج شده و

میعانات آن جدا شده و بار دیگر وارد مبدل حرارتی پیش سرمایش می‌شود و این بار تا دمای حدود ۵۵- درجه سانتی‌گراد سرد می‌شود. در این دما نیز میزانی دیگر از هیدروکربن‌های سنگین‌تر به مایع تبدیل شده که توسط جدا کننده دو فازی، از جریان اصلی گاز طبیعی خارج می‌شود. پس از این مرحله، گاز طبیعی که تا دمایی حدود ۵۵- درجه سانتی‌گراد سرد شده است، وارد مبدل حرارتی مربوط به مرحله مایع سازی یا فوق سرد سازی می‌شود. مبدل حرارتی مرحله مایع سازی، وظیفه سرد سازی و مایع سازی گاز طبیعی تا دمای حدود ۱۶۰- درجه سانتی‌گراد را بر عهده دارد.

کلیه مبدل‌های حرارتی استفاده شده در مراحل پیش سرمایش و مایع سازی که به آن‌ها اشاره شد، از نوع مبدل‌های حرارتی فشرده و یا پلیت‌فین[۱] می‌باشند. یک مبدل حرارتی پلیت‌فین مجموعه‌ای از صفحات تخت و موجدار می‌باشد که بصورت متناوب در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. یکی از مزیت‌های این نوع مبدل حرارتی این است که بیش از ۱۰ جریان می‌توانند تنها در یک واحد انتقال حرارت دهند. در شکل ۲-۲ نمایی از یک مبدل حرارتی پلیت‌فین به نمایش در آمده است. از دیگر برتری‌های این نوع مبدل حرارتی، غیر اختصاصی بودن تولید آن می‌باشد، به طوری که نوع دیگر مبدل حرارتی که استفاده از آن در واحدهای مایع سازی گاز طبیعی معمول است و به مبدل‌های حرارتی اسپیرال معروف هستند، به صورت انحصاری و تنها توسط تعداد محدودی از شرکت‌ها در جهان ساخته می شود، در حالی که مبدل‌های حرارتی پلیت‌فین دارای تکنولوژی ساخت آسان‌تری نسبت به نوع اسپیرال می‌باشد.

---

[۱] Plate-fin