باسمه تعالی

راهنمای شرکت در چالش

طراحی، ساخت و بهره‌برداری دستگاه مایع سازی گاز طبیعی در مقیاس کوچک (Mini LNG) و توسعه فناوری آن

صنعت نفت و گاز از مهمترین صنایع ایران در تامین انرژی و رشد اقتصادی است و به جرات می‌توان گفت تاثیر زیادی در پیشرفت و تعالی کشور دارد. یکی از مهمترین و تخصصی‌ترین حوزه‌های صنایع نفت، صنعت ال‌ان‌جی و صنایع جانبی آن است. علاوه بر کمبود خوراک، مسائلی مانند تأمین فناوری در مقیاس بزرگ، تأمین منابع بودجه‌ای، تحریم‌ها و مشکلات سیاسی پیش روی ایران قرار دارد که سبب می‌شود ایران نتواند سهم قابل‌توجهی از بازار جهانی ال‌ان‌جی را تصاحب کند.

جایگزینی ال‌ان‌جی با سوخت‌های مایع نفتی در ناوگان حمل‌ونقل ریلی، جاده‌ای و دریایی نه‌تنها از لحاظ زیست‌محیطی به‌شدت توصیه می‌شود بلکه از لحاظ اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است. افزون بر آن صادرات ال‌ان‌جی به کشورهای همسایه از طریق زمینی یا کشتی‌های کوچک برای بازارهای موردی و نزدیک مانند پاکستان و هند قابل پیش‌بینی است.

ورود ال‌ان‌جی به عرصه کاربرد آن به‌عنوان سوخت و روند رو به رشد آن که عمدتاً ناشی از دلایل زیست‌محیطی و اقتصادی است عاملی برای توسعه واحدهای کوچک مقیاس ال‌ان‌جی خواهد بود. از سویی دیگر فناوری‌های مورد نیاز برای واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی از طریق سازندگان داخلی قابل دستیابی بوده و امکان سرمایه‌گذاری جهت تجاری سازی این محصول در توان بخش‌های غیردولتی است.

در همین راستا معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان ریاست جمهوری و شرکت ملی نفت ایران به منظور ارتقاء تاب‌آوری ملی، رقابت‌پذیری بین‌المللی، کاهش ارزبری و همچنین بهره‌مندی از ظرفیت زیست‌بوم فناوری و نوآوری، چالشی با عنوان " طراحی، ساخت و بهره‌برداری دستگاه مایع سازی گاز طبیعی در مقیاس کوچک (Mini LNG) و توسعه فناوری آن " را مطرح نموده و از طرح‌های فناورانه و نوآورانه در این زمینه حمایت می‌نمایند.

بدین منظور از نخبگان، صاحبان ایده و شرکت‌های دانش بنیان و فناور کشور دعوت می نماید تا طرح‌های خود را با توجه به شرح نیازمندی و الزامات مطرح شده از طریق سایت **Innoten.ir** ارسال نمایند.

ریاست جمهوری
معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان

شرکت ملی نفت ایران

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نفت

طراحی، ساخت و بهره‌برداری مایع سازی گاز طبیعی در مقیاس کوچک (Mini LNG)

ارسال از طریق innoten.ir

حمایت‌ها

- حمایت مالی در قالب ارائه تسهیلات تا سقف ۶۰۰ میلیارد ریال
- بلاعوض شدن تا سقف ۲۰۰ میلیارد ریال از تسهیلات به عنوان حمایت از شرکت فناور در صورت موفقیت و توسعه بازار طرح
- حمایت در جهت توسعه بازار پس از اجرای موفق پروژه بر اساس ضوابط معاونت علمی و وجود منابع
- فراهم آوردن امکان صدور ضمانتنامه و تسهیل و تسریع در فرآیندهای بانکی و اعطای تسهیلات
- تسهیل‌گری در اخذ مجوزهای الزامی و قانونی
- تامین بخشی از زیرساخت‌های مورد نیاز برای اجرای طرح

داخلی ۱۷۱ و ۱۷۲ - ۰۲۱۶۵۰۱۳۰۴۰
Innoten.ir
www.innoten.ir

برای اطلاع از سایر حمایت‌ها به راهنمای چالش مراجعه شود.

بیان مسئله

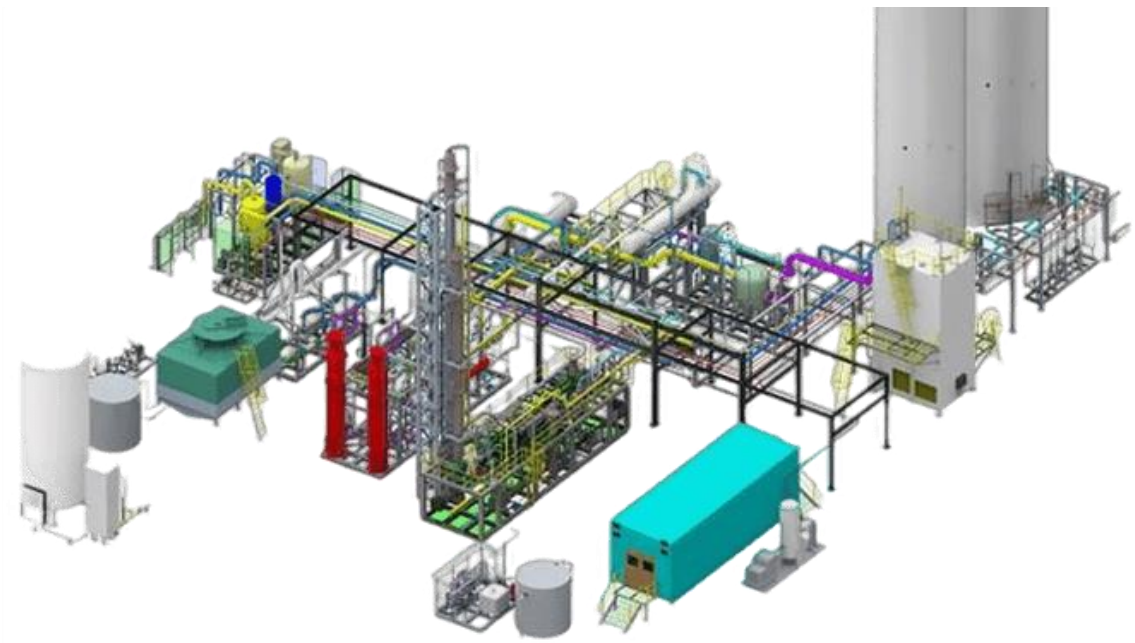
نقش صنعت نفت و گاز به عنوان مؤثرترین و بزرگترین صنعت فعال در ایران، در پیشرفت و تعالی اقتصادی کشور بر کسی پوشیده نیست. این صنعت در مسیر توسعه خود همواره با چالش‌های فراوانی مانند اعمال تحریم‌ها روبرو بوده است. اعمال این تحریم‌ها منجر به خروج برخی شرکت‌های مطرح صاحب فناوری از صنعت نفت و گاز ایران شده است.

ال‌ان‌جی یا گاز طبیعی مایع شده به‌عنوان یکی از صورت‌های مصرف و انتقال گاز طبیعی در دنیا استفاده می‌شود. این گاز پاک‌ترین سوخت فسیلی است که در بسیاری از کشورها از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی به سوخت‌های مایع مانند گازوئیل، نفت کوره و مازوت ترجیح داده می‌شود. این محصول به دلیل شرایط نگهداری (فشار عملیاتی پایین) در مقایسه با گاز طبیعی فشرده شده (CNG) از ایمنی بسیار بالاتری برخوردار است. همچنین این فناوری از نظر اقتصادی مزیت‌ها و کاربردهای خود را دارا است. در ادامه کاربردهای اصلی ال‌ان‌جی به همراه توضیحات مربوط به هر بخش ارائه شده است.

واحدهای تولید LNG به دو دسته اصلی مقیاس بزرگ با ظرفیت بیشتر از ۱/۵ میلیون تن در سال و مقیاس کوچک با ظرفیت کمتر از ۱/۵ میلیون تن در سال تقسیم بندی می‌شوند. محصول واحدهای بزرگ معمولا با کشتی‌های غول پیکر به مقاصد مصرف حمل شده و پس از تبخیر به مصارف نیروگاهی رسیده و یا به خطوط سراسری انتقال گاز تزریق می‌شود. محصول واحدهای کوچک LNG نیز با تانکرهای حمل، کشتی‌های کوچک و ناوگان ریلی به مقاصد مورد نظر مانند نقاط دور از شبکه، ایستگاه‌های سوختگیری LNG در دریا و خشکی فرستاده می‌شود.

فرآیند مایع سازی گاز طبیعی جزء کلیدی در واحدهای ال‌ان‌جی از نظر هزینه، پیچیدگی و اهمیت عملیاتی است. درک خوب طراحی، الزامات عملیاتی و کارایی سیستم برای بازدهی واحدهای مایع‌سازی گاز ضروری است. چندین فرآیند مایع‌سازی گاز طبیعی دارای لایسنس با درجات مختلف پیچیدگی وجود دارد. بازدهی حرارتی و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری برای فرآیندهای مختلف دارای لایسنس وجود دارد که تفاوت‌ها معمولاً با توجه به ترمودینامیک و هزینه کم است. نکته کلیدی در توسعه یک واحد مایع سازی موفق، انتخاب تجهیزات و پیکربندی آن برای برآورده کردن اهداف واحد است. با توجه به اینکه احداث واحدهای بزرگ ال‌ان‌جی از نظر اقتصادی نیازمند هزینه‌ای بسیار زیاد است، امروزه احداث واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی به دلیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایین مورد توجه قرار گرفته است.

هدف از برگزاری این چالش ارائه ایده‌های فناورانه، نوآورانه و بدیع در زمینه طراحی، ساخت و بهره‌برداری دستگاه مایع سازی گاز طبیعی در مقیاس کوچک (Mini LNG) و توسعه فناوری آن با توجه شرح نیازمندی و الزامات ارائه شده در راهنمای چالش به منظور بومی‌سازی ال ان جی و توسعه واحدهای کوچک مقیاس در کشور است.



تاریخچه مایع سازی گاز طبیعی (LNG)

مایع‌سازی گاز طبیعی اولین بار توسط دانشمند انگلیسی به نام مایکل فارادی و در زمانی که آزمایش‌هایی بر روی میعان گازهای مختلف و ازجمله گاز طبیعی انجام می‌داد، در قرن ۱۹ میلادی صورت گرفت. بعدها اولین سامانه تبرید فشرده در سال ۱۸۷۳ توسط لینده در شهر مونیخ آلمان ساخته شد.

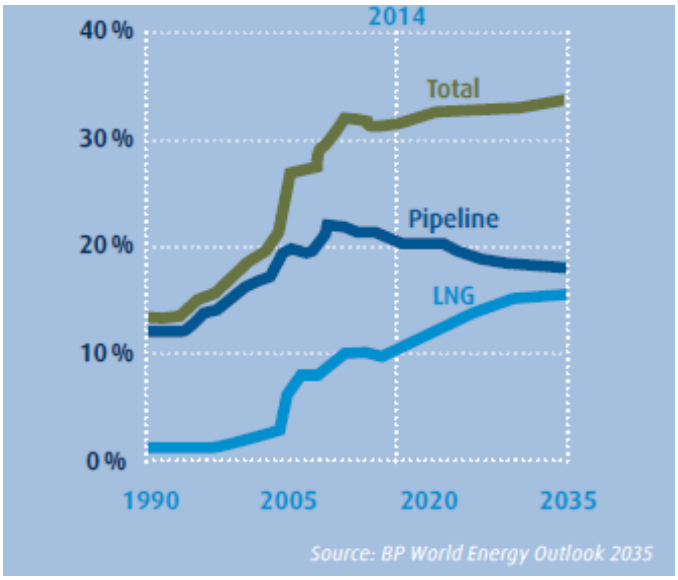
نخستین کارخانه تولید ال‌ان‌جی در ایالت ویریجینای غربی در سال ۱۹۱۷ آغاز به کار کرد. اولین واحد تجاری تولید ال‌ان‌جی در سال ۱۹۴۱ در کلیولند واقع در ایالت اوهایو به بهره‌برداری رسید ولی حجم تولید این کارخانه‌ها پایین بود. سرانجام با راه‌اندازی کارخانه Camel ال‌ان‌جی در کشور الجزایر در سال ۱۹۶۴ تجارت جهانی ال‌ان‌جی آغاز شد. کشور الجزایر به‌عنوان اولین صادرکننده و کشور انگلیس به‌عنوان اولین واردکننده ال‌ان‌جی شناخته شدند. در طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۰ تجارت جهانی ال‌ان‌جی توسعه‌یافته و تولید این فرآورده درکشورهای برونئی، اندونزی، قطر، مالزی و استرالیا آغاز شد[۱].

در دنیا فرایندهای مختلف تولید ال‌ان‌جی مراحل آزمایشگاهی و پایلوت خود را گذرانده و تأسیسات مختلفی با مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ به بهره‌برداری رسیده است. شرکت‌های بزرگی مانند لینده، کونو فیلیپس، شل، ای‌پی‌سی‌آی و بلک ویچ پریتچارد، اکسنس از اصلی‌ترین شرکت‌های توسعه‌دهنده این فناوری در دنیا هستند. در ادامه به برخی از مهم‌ترین تأسیسات تولید ال‌ان‌جی در جهان و روش بکار رفته در هر یک از این تأسیسات پرداخته خواهد شد.

درباره مایع سازی گاز طبیعی (LNG) و بررسی فناوری آن

ال‌ان‌جی[1] و یا گاز طبیعی مایع‌شده، مایعی است بی‌رنگ، بی‌بو، شفاف، غیر سمی با وزن مخصوص ۰/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب که بخش اعظم آن را متان تشکیل می‌دهد. ال‌ان‌جی از سرد شدن گاز طبیعی در فشار حدود یک اتمسفر و تا دمای ۱۶۲°C- به دست می‌آید. با میعان گاز طبیعی حجم آن به $\frac{1}{600}$ کاهش می‌یابد. این محصول در صورت خارج شدن از شرایط ویژه نگهداری (دمای ۱۶۲°C-) و آزاد شدن در محیط، به علت سرد بودن باعث تشکیل ابر سفید رنگی می‌گردد که پس از گرم شدن، سریع تبخیر شده و تبدیل به گاز می‌شود و از آنجایی که از هوا سبک‌تر است به سرعت در محیط پراکنده و منتشر می‌شود. به همین دلیل اشتعال‌پذیری آن نسبت به سایر هیدروکربن‌ها مانند LPG[2] و گاز طبیعی کمتر است. همچنین احتمال انفجار گاز مایع طبیعی به علت سرد بودن و پایین بودن سرعت احتراق آن بسیار ضعیف است. از این‌رو درصد حوادث واحدهای تولید ال‌ان‌جی نسبت به پالایشگاه‌های نفت و گاز کمتر است. تجارت ال‌ان‌جی به دلیل نیاز به سوخت پاک و ارزان در سه دهه اخیر به‌طور فزاینده‌ای درحال توسعه بوده است و سرعت پیشرفت و استفاده از آن به‌طور چشمگیری رو به رشد است (شکل ۱).

همزمان با تولید ال‌ان‌جی، تحقیقات گسترده‌ای باهدف کاهش هزینه تولید تا به امروز انجام پذیرفته است تا علاوه بر افزایش ظرفیت واحدهای تولیدی، از پیچیدگی فرآیندی و انتشار دی‌اکسیدکربن نیز کاسته شود. تحقیقات باهدف تجاری‌سازی از ۱۹۹۰ تا اوایل دهه اول ۲۰۰۰ سبب شد که هزینه تولید سالیانه هر تن ال‌ان‌جی از ۴۰۰ به ۲۰۰ دلار کاهش پیدا نماید[۲]. از طرف دیگر بازار رقابتی و پرمنفعت این محصول تلاش‌ها را برای به حداقل رساندن انرژی مصرفی شدیدتر کرده است.



شکل ۱- رشد تقاضای ال‌ان‌جی تا سال ۲۰۳۵ [۳].

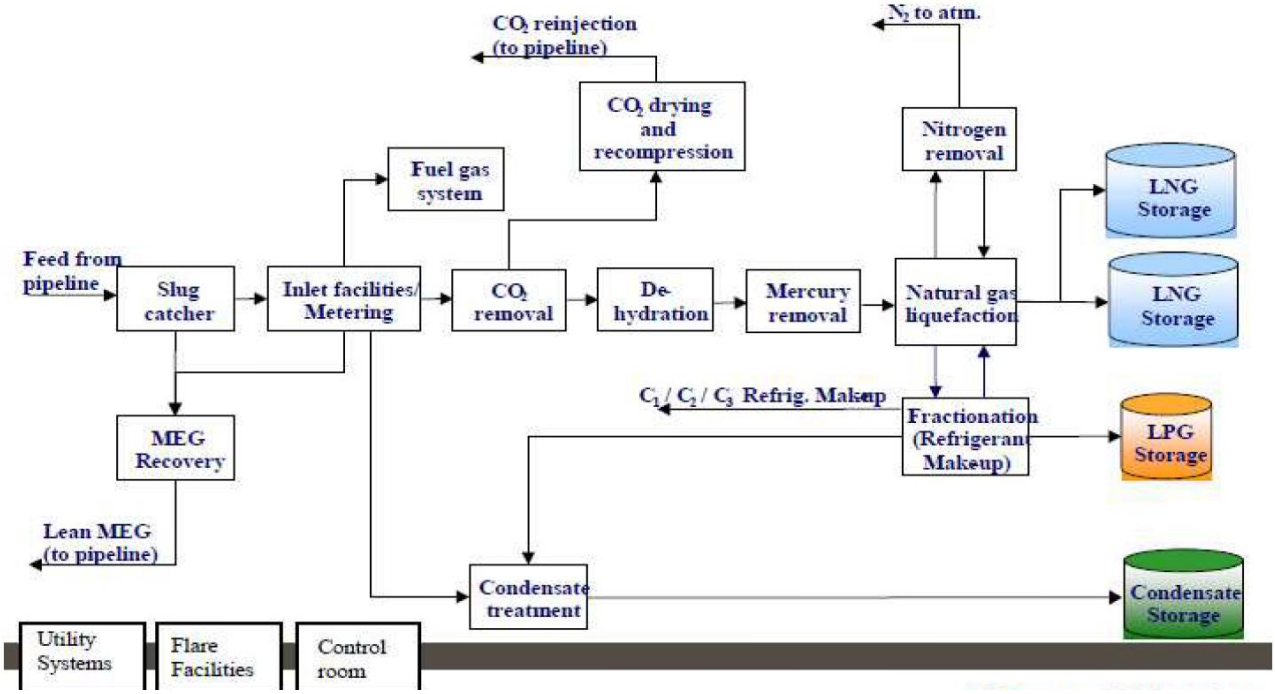
[1] Liquefied natural gas
[2] Liquefied Petroleum Gas

به‌طور کلی واحدهای مایع‌سازی از دو بخش اصلی پیش‌تصفیه و مایع‌سازی، تشکیل شده‌اند. گاز طبیعی خام پس از تصفیه و پالایش در واحدهای شیرین‌سازی، نمزدایی و جیوه‌زدایی به‌عنوان خوراک به واحد تولید گاز طبیعی مایع ارسال می‌شود. بخش اعظم خوراک ورودی به واحد ال‌ان‌جی را متان (۸۵ تا ۹۵ درصد) و بخش ناچیزی از آن را نیتروژن، اتان، پروپان و هیدروکربن‌های سبک دیگر تشکیل می‌دهد. رسیدن به دمای پایین ۱۶۲- سانتی‌گراد و به دنبال آن مایع‌سازی گاز طبیعی برای تولید ال‌ان‌جی، نیازمند استفاده از فرآیندهای سردسازی است. در تمام فرآیندهای سردسازی، گاز طبیعی طی تبادل حرارت با سیال مبرد در یک الی سه سیکل سرمایش، فوق سرد می‌شود و درنهایت به دمای جوش متان، یعنی ۱۶۲- سانتی‌گراد می‌رسد.

ناخالصی‌های موجود در گاز طبیعی (شامل نیتروژن، جیوه، رطوبت، گازهای اسیدی و هیدروکربن‌های سنگین) می‌بایست پیش از مایع‌سازی گاز جداسازی شود تا مشکلات عملیاتی (مانند یخزدگی) در حین فرایند تولید، ذخیره‌سازی و حمل به وجود نیاید.

فرآیند مایع سازی گاز طبیعی جزء کلیدی در واحدهای ال‌ان‌جی از نظر هزینه، پیچیدگی و اهمیت عملیاتی است. چندین فرآیند مایع‌سازی گاز طبیعی دارای لایسنس با درجات مختلف پیچیدگی وجود دارد.

شکل ۲ برخی از قسمت‌های کلیدی واحد ال‌ان‌جی را نشان می‌دهد. این بخش شامل دریافت خوراک، پیش‌تصفیه (شیرین‌سازی، نمزدایی، جیوه‌زدایی) و مایع‌سازی است.



شکل ۲- نمودار بلوکی واحد مایع‌سازی گاز طبیعی [۴]

دو رویکرد اساسی در احداث یک واحد ساخت ال‌ان‌جی وجود دارد که شامل:

۱. رویکرد فروش محصول به بازار و مشتریان نهایی

۲. رویکرد متراکم‌سازی در حجم زیاد به‌منظور انتقال و صادرات در مسافت‌های بالا

در رویکرد اول محصولات ال‌ان‌جی تولیدی دارای مشتری نهایی است و می‌تواند با حجم محدود تقاضای بازار را پاسخ دهد، لذا ایجاد یک واحد کوچک‌مقیاس نیز می‌تواند توجیه اقتصادی داشته باشد؛ اما در رویکرد دوم مایع‌سازی تنها به‌منظور سهولت صادرات و کاهش هزینه انتقال انجام می‌گیرد، لذا اقتصادی شدن پروژه منوط به ساخت یک کارخانه بزرگ‌مقیاس است. هدف از برگزاری این چالش منطبق بر رویکرد اول و ساخت واحدهای کوچک‌مقیاس است.

فناوری‌های ال‌ان‌جی بر اساس چرخه‌های تبرید[1] است. به‌طورکلی دو نوع چرخه در این فرآیند وجود دارد، چرخه تراکم بخار[2] و چرخه انبساط گاز[3] است. تفاوت اصلی دو چرخه در این است که مبرد در چرخه تراکم بخار تغییر فاز را تجربه می‌کند و مبرد در چرخه انبساط گاز به‌صورت گاز باقی می‌ماند.

دو چرخه شامل چهار مرحله اصلی است:

۱. فشرده‌سازی مبرد به یک جریان داغ و فشار بالا (کمپرسور)

۲. آزاد کردن گرما از مبرد فشرده (کندانسور یا خنک‌کننده و مبدل حرارتی)

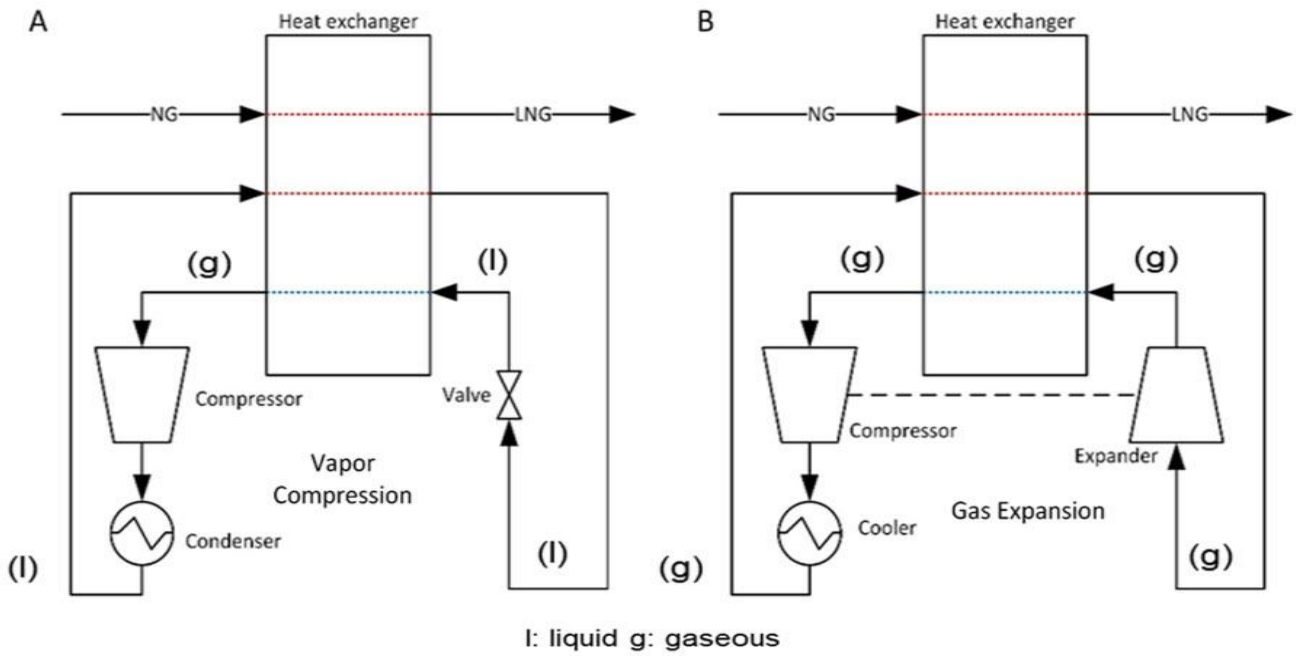
۳. انبساط مبرد فشرده به یک جریان کم‌فشار و سرد (شیر فشارشکن یا منبسط کننده)

۴. جذب حرارت توسط مبرد سرد (مبدل حرارتی)

مرحله آخر جایی است که خنک‌سازی گاز طبیعی انجام می‌شود. با تکرار این چهار مرحله می‌توان گاز طبیعی را به‌طور مداوم خنک کرد.

[1] Refrigeration cycles
[2] Vapor compression
[3] Gas expansion

شکل ۳ شماتیک کلی این دو، چرخه را نشان می‌دهد [۵] .



شکل ۳- شماتیک کلی از چرخه‌های تبرید در ال‌ان‌جی: A) چرخه‌ی تراکم بخار، B) چرخه‌ی انبساط گاز [۶]

به نسبت تعداد مراحل سردسازی و استفاده از اکسپندر، روش‌های مختلفی برای تولید ال‌ان‌جی تاکنون پیشنهاد و اجرا شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده این روش‌ها در سه دسته کلی آبشاری، مبرد مخلوط و منبسط کننده تقسیم‌بندی می‌شوند و هر یک از این روش‌ها با توجه به نوع سیال مبرد (خالص یا مخلوط)، نوع مبدل حرارتی و تعداد سیکل‌های تبرید به چند زیر روش تفکیک می‌گردد. معروف‌ترین این روش‌ها شامل موارد زیر است:

- **روش‌های آبشاری:** بهینه، آبشار ترکیبی یکپارچه، سیال مخلوط
- **روش‌های مبرد مخلوط:** منفرد، منفرد دو فشار، پیش خنک شده با پروپان، دوگانه، موازی
- **روش‌های منبسط کننده:** انبساط نیتروژن، دوگانه نیتروژن

توسعه فرآیندهای تولید LNG

در دنیا فرایندهای مختلف تولید ال‌ان‌جی مراحل آزمایشگاهی و پایلوت خود را گذرانده و تأسیسات مختلفی با مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ به بهره‌برداری رسیده است. شرکت‌های بزرگی مانند لینده، کونو فیلیپس، شل، ای‌پی‌سی‌آی و بلک ویچ پریتچارد، اکسنس از اصلی‌ترین شرکت‌های توسعه‌دهنده این فناوری در دنیا هستند. در ادامه به برخی از مهم‌ترین تأسیسات تولید ال‌ان‌جی در جهان و روش بکار رفته در هر یک از این تأسیسات پرداخته خواهد شد.

کارخانه ال‌ان‌جی در کنای[1]، نسخه اولیه فرآیند آبشاری فیلیپس[2] را مشابه آنچه در کارخانه کمل[3] استفاده می‌شد، به کار برد. این فرآیند همچنین از چرخه‌های پروپان، اتیلن و متان استفاده می‌کند، اما ظرفیت هر واحد ۵۰ درصد بیشتر از سه واحد در کمل است.

این مورد اولین فرآیندی است که از مجموعه‌های توربین/کمپرسور گاز و مبدل حرارتی پره‌صفحه‌ای[4] در هر سیکل تبرید استفاده می‌کند. نسخه جدیدی از فرآیند آبشاری، معروف به آبشار بهینه فیلیپس[5]، در سال ۱۹۹۹ توسط شرکت کونوکو فیلیپس[6] در کارخانه ال‌ان‌جی ترینیداد[7] توسعه داده شد.

فرآیند آبشار به دلیل مقدار تجهیزات مورد نیاز برای چرخه مبرد، نیاز به هزینه‌های سرمایه و نگهداری نسبتاً بالایی دارد، حتی اگر نیاز به توان نسبتاً کم باشد. بنابراین این فرآیند برای ظرفیت بالا مناسب است. ظرفیت فعلی هر واحد ۵/۲ میلیون تن در سال است [V].

فرآیند PRICO، یکی از فرآیندهای شناخته‌شده مبرد مخلوط منفرد، توسط شرکت بلک ویچ پریتچارد[8] توسعه یافته است. این فرآیند در کارخانه اسکیکدا[9] (الجزایر) در دهه ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفت. این فرآیند از یک مبرد ترکیبی منفرد متشکل از نیتروژن و هیدروکربن‌ها مانند متان، اتان، پروپان، بوتان و پنتان استفاده می‌کند [V].

فرآیند مبرد مخلوط پیش خنک شده با پروپان (C3MR) توسعه یافته توسط ای‌پی‌سی‌آی[10] یکی از فرایندهای غالب در بازار ال‌ان‌جی است. یک شماتیک اساسی از فرآیند C3MR که شامل دو مرحله اصلی، یعنی مراحل پیش خنک‌سازی پروپان و مبرد مخلوط است در شکل ۷ ارائه شده است. از زمانی که اولین نیروگاه ال‌ان‌جی با استفاده از فرآیند C3MR در سال ۱۹۷۲ در برونئی راه‌اندازی شد، ظرفیت یک واحد کمتر از ۰/۵ میلیون تن در سال به حدود ۵ میلیون تن در سال افزایش‌یافته است [V].

---

1 Kenai
2 Phillips
3 CAMEL
4 Plate-fin heat exchanger (PFHE)
5 Phillips' Optimized Cascade (POC)
6 ConocoPhillips
7 Trinidad
8 Black & Veatch Pritchard
9 Skikda
10 APCI

شل و ای‌پی‌سی‌آی فرآیند مبرد مخلوط دوگانه[1] (DMR) را برای غلبه بر محدودیت‌های ذاتی اندازه کمپرسور در استفاده از مبرد پروپان خالص برای فرآیند C3MR توسعه دادند. همان‌طور که درشکل نشان داده‌شده است، این فرآیند دارای پیکربندی مشابه فرآیند C3MR است که شامل دو چرخه مجزا، پیش خنک‌سازی و مایع سازی است. این فرآیند از دو مبدل حرارتی مارپیچی عرضه‌شده توسط لینده[2] یا ای‌پی‌سی‌آی استفاده می‌کند و برای هر سیکل مقادیر متفاوتی از توان مورد نیاز است. این فرآیند برای پروژه ساخالین ال‌ان‌جی انتخاب شد که در آن هر قطار برای تولید ۴/۸ میلیون تن در سال ال‌ان‌جی طراحی‌شده بود [۶].

فرآیند AP-X از فرآیند C3MR توسط ای‌پی‌سی‌آی توسعه یافته است. در مقایسه با فرآیند C3MR، سیکل زیرخنک‌کننده منبسط کننده نیتروژن اجازه می‌دهد تا جریان پروپان و مبرد مخلوط بدون تأثیر بر تولید کاهش یابد و ظرفیت‌های بسیار بالاتر (تقریباً ۸ میلیون تن بر سال) با استفاده از تجهیزات موجود امکان‌پذیر شود. مبدل‌ها حرارتی مارپیچی برای چرخه‌های خنک‌کننده مبرد مخلوط و نیتروژن استفاده می‌شوند [۶].

شرکت شل فرآیند مبرد مخلوط موازی[3] را توسعه داد که شامل چرخه‌های پیش خنک‌سازی و مایع سازی است. پروپان یا مبرد مخلوط می‌توانند به‌عنوان مبرد برای چرخه پیش خنک‌کننده استفاده شوند. ویژگی اصلی فرآیند مبرد مخلوط موازی این است که دو چرخه مبرد مخلوط برای مایع سازی به‌صورت موازی پیکربندی‌شده‌اند که افت فشار را در سیستم کاهش می‌دهد و قابلیت اطمینان نیروگاه را بهبود می‌بخشد و درنتیجه راندمان فرآیند را بهبود می‌بخشد. ظرفیت واحد می‌تواند با استفاده از کمپرسورهای موجود به ۸ میلیون تن در سال برسد [۶].

شرکت اکسنس وابسته به انستیتو نفت فرانسه فرآیند Liquefin را با دو چرخه مبرد مخلوط، چرخه‌های پیش خنک‌سازی و مایع سازی توسعه داد (شکل ۹). در این فرایند هر سیکل به‌گونه‌ای طراحی‌شده است که از همان مقدار توان استفاده کند، به‌طوری‌که مجموعه‌ای از درایورها را می‌توان برای کمپرسور در سیکل‌های مختلف استفاده کرد که باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه می‌شود. علاوه بر این، دبی نسبتاً کمتر مبرد مخلوط اجازه می‌دهد تا ظرفیت قطار بسیار بیشتری با کمپرسورهای محوری موجود به دست آید [۶].

یک فرآیند تک چرخه جدید به نام فرآیند آبشار ترکیبی یکپارچه[4] (IIC) که توسط شرکت گاز فرانسه[5] توسعه داده شده است. در این فرآیند مخلوطی از نیتروژن و هیدروکربن‌ها (از متان تا پروپان) به‌عنوان مبرد استفاده می‌شود.

فرآیند آبشار سیال مخلوط[6] (MFC) توسط لینده با همکاری استاتاویل توسعه داده شد و در پروژه Snohvit ال‌ان‌جی به کار رفت. ظرفیت قطاری که از این فرآیند استفاده می‌کند ۴ میلیون تن بر سال است (شکل ۶).

[1] Dual Mixed Refrigerant
[2] Linde
[3] Parallel Mixed Refrigerant
[4] Integral Incorporated Cascade
[5] Gaz de France
[6] Mixed fluid cascade

لینده و بی‌اچ‌پی یک فرآیند ال‌ان‌جی فشرده[1] مشابه فرآیند مبرد مخلوط منفرد توسعه دادند، با این تفاوت که از مبرد نیتروژن خالص استفاده می‌شود. این فرآیند تحت دو سطح فشار انبساط نیتروژن برای بهبود بازده ترمودینامیکی انجام می‌شود. برای خنک کردن نیتروژن تا دمای کافی برای مایع شدن گاز طبیعی، فرآیند ال‌ان‌جی از هر دو انبساط کننده خود یعنی خنک‌کننده و توربو منبسط کننده استفاده می‌کند[۶].

در جدول زیر اصلی‌ترین شرکت‌های صاحب فناوری در حوزه تولید ال‌ان‌جی با توجه به روش اصلی تولید ارائه شده است.

جدول ۱- فهرست شرکت‌های فناوری صاحب لیسانس تولید ال‌ان‌جی در جهان با توجه به روش اصلی تولید

نوع فرآیند		
آبشاری (cascade)	**مبرد مخلوط (MR)**	**منبسط کننده (EXP)**
Technip	APCI	BHP
Air liquide	Technip	Lindeh
ConocoPhilips	Air liquide	kryopak
	Black and veach	Hamworthy
	Shell Oil	Kanfa Aragon
	IFP	Mustang Eng
	Axens	
	Gaz de France	
	Linde	

[1] cLNG

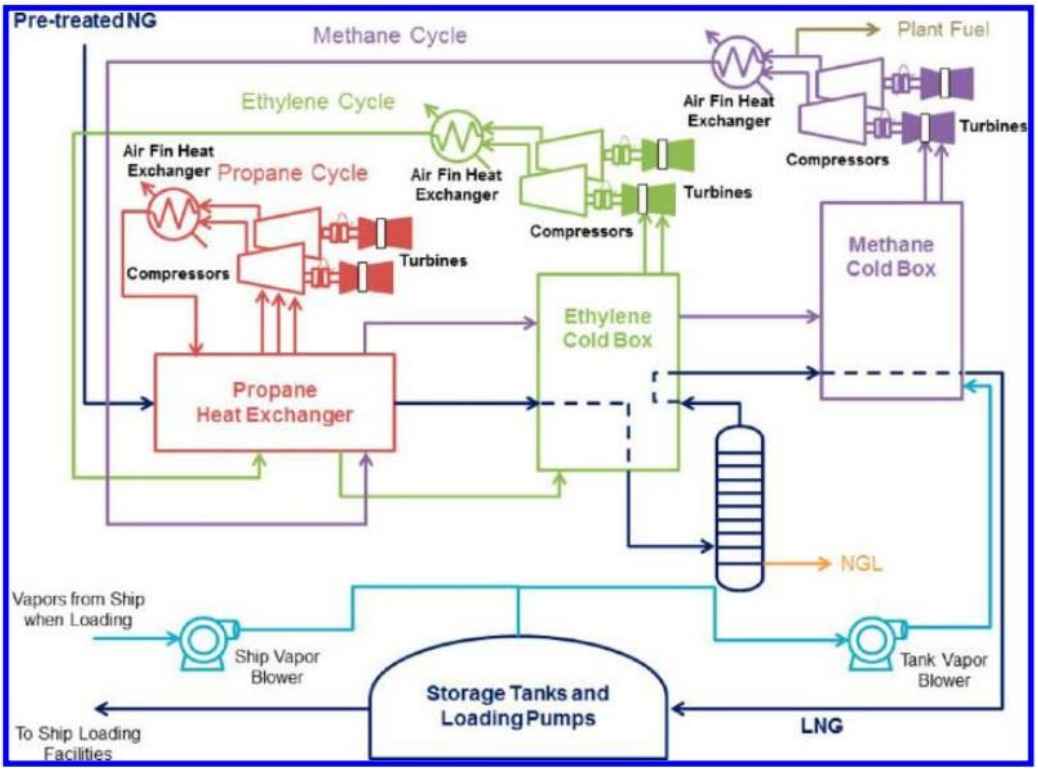
انواع فرآیندهای تولید LNG

در ادامه به ارائه مدل مفهومی هر یک از زیر روش‌های فرایندها پرداخته خواهد شد:

فرایند آبشاری بهینه:

این فرآیند از سه مبرد خالص (پروپان، اتیلن و متان) استفاده می‌کند و هر سیکل به‌طور جداگانه در سطوح فشار چندگانه کار می‌کند. این فرآیند از فرآیند آبشاری اولیه تکامل‌یافته است، به این صورت که چرخه متان به‌جای یک چرخه بسته، یک چرخه باز یا یک سیستم فید-فلش[1] است که سبب افزایش تولید ال‌ان‌جی می‌شود.
آرایش موازی توربین گاز/ کمپرسورها در هر سیکل مبرد امکان دسترسی و عملیات آسان‌تر را فراهم می‌کند. علاوه بر این، پیکربندی فرآیند امکان استفاده از همان مقدار توان را در هر چرخه فراهم می‌کند تبرید و مایع سازی در مجموعه‌ای از مبدل‌های حرارتی پره صفحه‌ای که در جعبه‌های سرد[2] عمودی چیده شده‌اند به دست می‌آید. پیش خنک کردن را می‌توان در یک مبدل از نوع هسته در کتری[3] انجام داد. مبردها توسط کمپرسورهای گریز از مرکز که توسط توربین‌های گازی هدایت شده متراکم می‌شوند. آخرین فرآیند آبشار بهینه فیلیپس (POC) از توربین‌های گاز مشتق از هوا[4] برای فرآیند مایع‌سازی استفاده می‌کند.

فرآیند آبشار به دلیل مقدار تجهیزات مورد نیاز برای چرخه مبرد، نیاز به هزینه‌های سرمایه و نگهداری نسبتاً بالایی دارد، حتی اگر نیاز به توان نسبتاً کم باشد، بنابراین این فرآیند برای ظرفیت بالا مناسب است.



شکل ۴: شماتیک کلی از فرآیند آبشاری بهینه

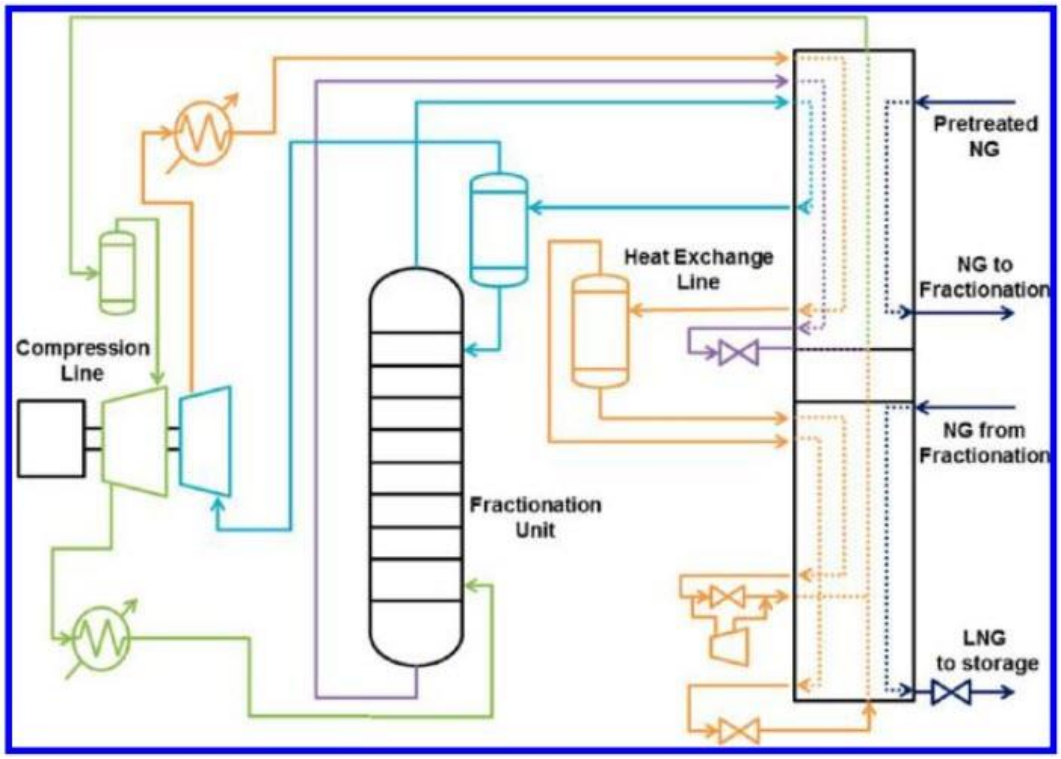
[1] Feed-flash
[2] Cold BOX
[3] Core-in-kettle
[4] Aero-derivative gas turbines

فرآیند آبشار ترکیبی یکپارچه:

این فرآیند از مخلوطی از نیتروژن و هیدروکربن‌ها (از متان تا پروپان) به‌عنوان مبرد استفاده می‌کند و شامل سه زیر واحد زیر است:

- یک خط فشرده‌سازی
- یک واحد تقسیم سیال چرخه‌ای
- یک خط تبادل حرارتی

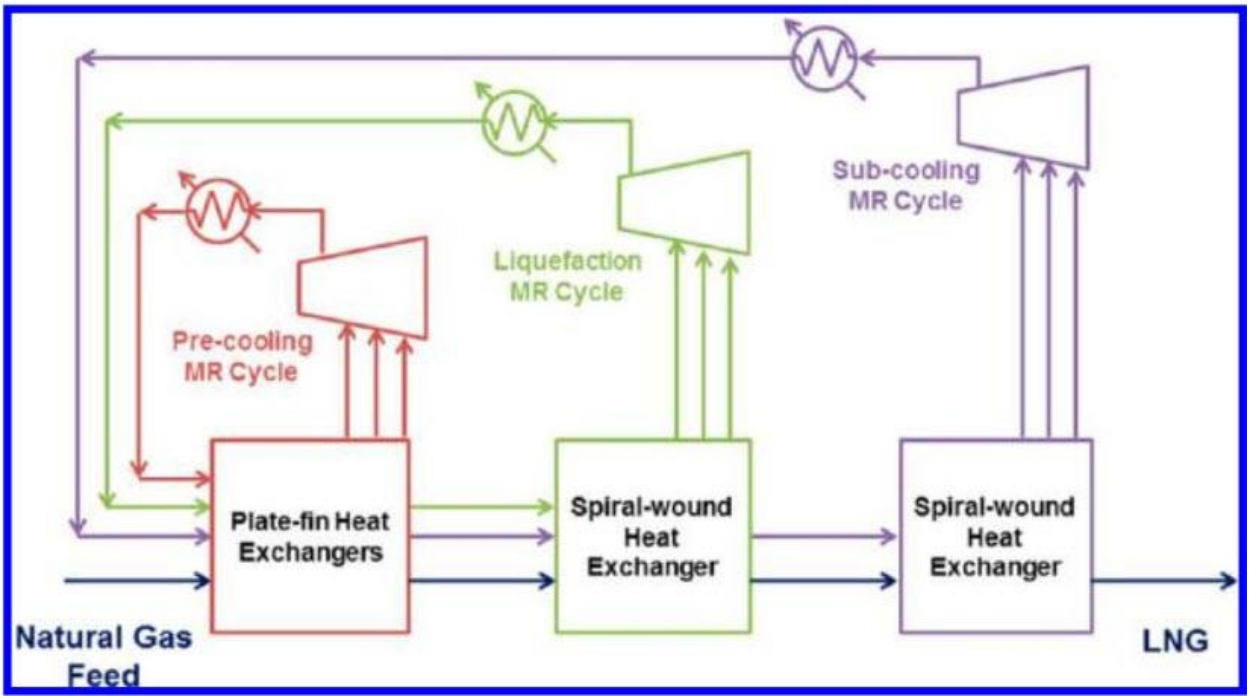
واحد تقسیم سیال چرخه مبرد، مخلوط را به دو نوع سیال تقسیم می‌کند: سیال سنگین (پنتان و بوتان) و سیال سبک (نیتروژن، متان و اتان).
سیال سنگین برای پیش خنک کردن گاز طبیعی استفاده می‌شود، درحالی‌که سیال سبک برای مایع سازی و زیرخنک کردن گاز طبیعی استفاده می‌شود.
یک خط مبادله حرارتی منفرد از دو هسته بزرگ مبدل حرارتی پره‌صفحه‌ای تشکیل شده و شامل دو بخش است: بخش بالایی برای پیش خنک کردن گاز طبیعی و بخش پایینی برای مایع کردن و خنک کردن گاز طبیعی. مشابه فرآیندهای تک سیکلی، پیش خنک‌سازی، مایع‌سازی و خنک‌سازی فرعی در یک مبدل حرارتی انجام می‌شود.



شکل۵- شماتیک کلی از فرآیند آبشاری ترکیبی یکپارچه

فرآیند آبشار سیال مخلوط:

این فرآیند مشابه فرآیند آبشاری است و همچنین از سه‌چرخه پیش خنک‌سازی، مایع سازی و خنک‌سازی فرعی تشکیل شده است. در مقایسه با فرآیند آبشار معمولی، فرآیند آبشار سیال مخلوط بازده بالاتری دارد زیرا از سه مبرد مخلوط به‌جای سه مبرد خالص استفاده می‌کند. مبردهای مخلوط از متان، اتان، پروپان و نیتروژن تشکیل‌شده‌اند، اما ترکیبات آن‌ها در هر چرخه متفاوت است. ویژگی دیگر این است که برخلاف فرآیند آبشار بهینه فیلیپس، توان مورد نیاز برای هر چرخه یکسان نیست. سیکل پیش خنک‌سازی از مبدل حرارتی پره‌صفحه‌ای استفاده می‌کند درحالی‌که، سیکل‌های مایع‌سازی و زیر خنک‌سازی از مبدل حرارتی مارپیچی استفاده می‌کنند.



شکل ۶- شماتیک کلی از فرآیند آبشاری سیال مخلوط

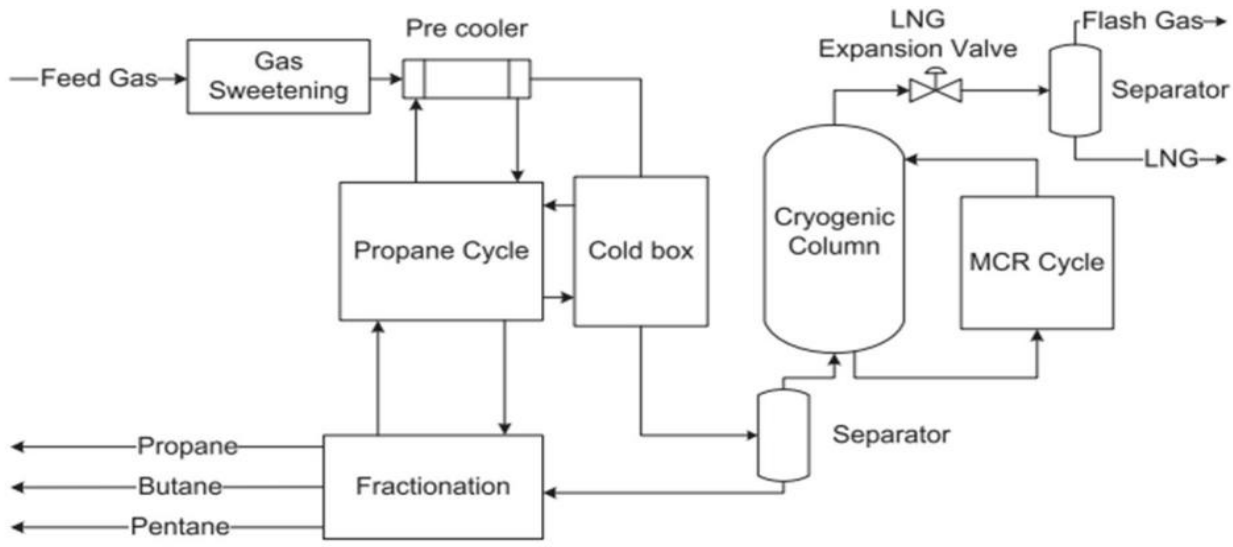
فرایند مبرد مخلوط پیش خنک شده با پروپان[1]:

یک شماتیک اساسی از فرآیند C3MR که شامل دو مرحله اصلی، یعنی مراحل پیش خنک‌سازی پروپان و مبرد مخلوط است، در
شکل ۷ نشان داده‌شده است. چرخه پیش خنک‌سازی گاز طبیعی را با استفاده از مبرد پروپان خالص تا دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد در سه یا چهار سطح فشار مختلف خنک می‌کند.
این چرخه همچنین ممکن است برای خنک کردن و مایع کردن جزئی مبرد مخلوط استفاده شود. به‌منظور استفاده از پروپان برای خنک کردن گاز طبیعی، پروپان تا فشار بالایی متراکم می‌شود که می‌تواند توسط هوای محیط یا آب خنک‌کننده کندانس شود. در چرخه مبرد مخلوط، یک مبرد مخلوط شامل نیتروژن، متان، اتان، پروپان و گاهی اوقات بوتان در یک مبدل حرارتی برودتی اصلی برای مایع کردن و خنک کردن گاز طبیعی از معمولاً ۳۵- درجه سانتی‌گراد تا بین ۱۵۰- تا ۱۶۲- درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود.

[1] Propane precooled mixed refrigerant process (C3MR)

مبردی که در چرخه پیش خنک‌سازی پردازش شده است در جداکننده فشار بالا جدا می‌شود. جریان مبرد مخلوط مایع و بخار از مدارهای جداگانه در مبدل حرارتی برودتی اصلی عبور می‌کند. جریان مبرد مخلوط مایع در خنک‌سازی در بسته گرم مبدل حرارتی برودتی اصلی که گاز طبیعی را خنک می‌کند شرکت می‌کند و در یک شیر J-T در سمت پوسته مبدل حرارتی برودتی اصلی پخش می‌شود. مبرد مخلوط مایع تبخیر می‌شود و به سمت پایین جریان می‌یابد تا یک وظیفه خنک‌کننده برای بسته پایینی ایجاد کند. جریان بخار مبرد مخلوط برای مایع کردن و خنک کردن جریان گاز طبیعی تا دمای ۱۶۲- درجه سانتی‌گراد در بسته سرد استفاده می‌شود و در یک شیر J-T در سمت پوسته مبدل حرارتی برودتی اصلی پخش می‌شود.

این جریان به سمت پایین جریان می‌یابد تا وظیفه خنک‌کننده را برای بسته سرد فراهم کند. سپس، جریان‌های مبرد مخلوط خروجی بخار و مایع با هم ادغام می‌شوند تا وظیفه خنک‌کنندگی جزئی را برای بسته‌های پایینی فراهم کنند. مبرد مخلوط کلی بخار شده تا ۴۵-۴۸ بار فشرده می‌شود. ابتدا توسط هوای محیط و آب خنک‌کننده و سپس توسط پروپان در چرخه پیش خنک‌سازی سرد و تا حدی مایع می‌شود. پیش خنک شدن در یک مبدل حرارتی از نوع کتری انجام می‌شود. چرخه مبرد مخلوط از یک مبدل حرارتی مارپیچی به‌عنوان مبدل حرارتی برودتی اصلی استفاده می‌کند. متراکم سازی پروپان توسط یک کمپرسور گریز از مرکز انجام می‌شود.

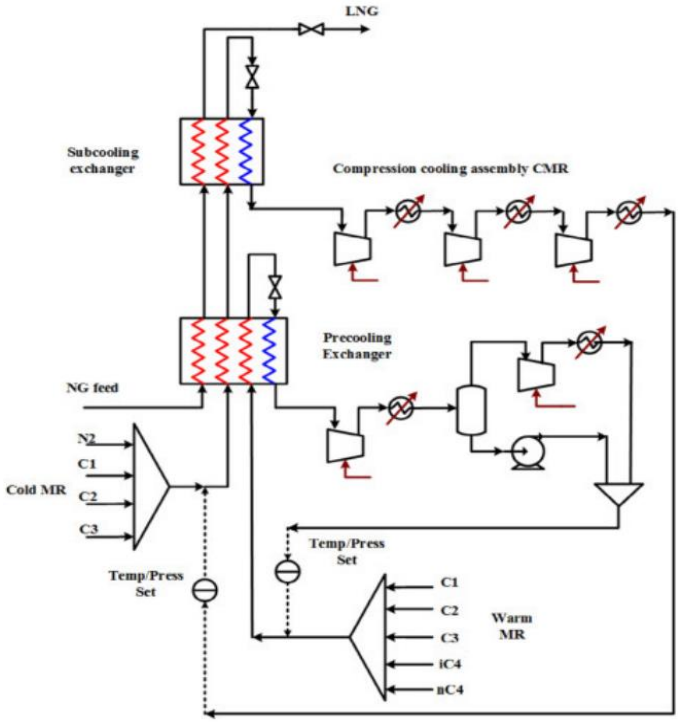


شکل ۷- شماتیک کلی از فرآیند مبرد مخلوط C3MR

فرآیند مبرد مخلوط دوگانه[1]:

همان‌طور که در
شکل ۸ نشان داده‌شده است، این فرآیند دارای پیکربندی مشابه فرآیند C3MR است که شامل دو چرخه مجزا، پیش خنک‌سازی و مایع سازی است. استفاده از یک مبرد مخلوط (که عمدتاً از اتان و پروپان تشکیل شده است) به‌جای پروپان خالص در چرخه پیش خنک‌سازی، طراحی انعطاف‌پذیرتری را در عین حفظ پیکربندی کمپرسور فراهم می‌کند.

گاز طبیعی در سیکل پیش خنک‌سازی تا دمای ۵۰- درجه سانتی‌گراد خنک می‌شود و سپس با استفاده از مخلوطی از نیتروژن، متان، اتان و پروپان، مایع‌شده و تا دمای ۱۵۳- درجه سانتی‌گراد در چرخه مایع‌سازی سرد می‌شود. ال‌ان‌جی با استفاده از یک انبساط مایع و ظرف فلاش انتهایی در دمای جوش اتمسفر آن در حدود ۱۶۱- درجه سانتی‌گراد تولید می‌شود.



شکل ۸- شماتیک کلی از فرآیند مبرد مخلوط دوگانه DMR

فرآیند مبرد مخلوط لیکوفن[2]:

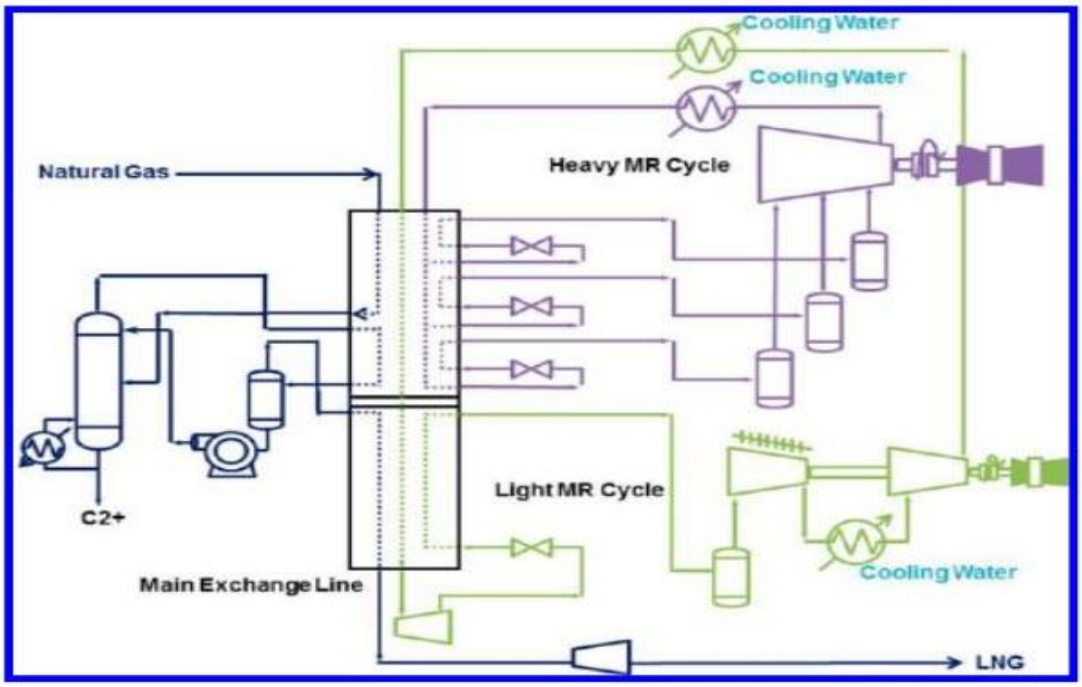
این دو مبرد از متان، اتان، پروپان، بوتان و نیتروژن تشکیل‌شده‌اند، اما ترکیبات در هر چرخه متفاوت است. سیکل پیش خنک‌سازی سنگین مبرد مخلوط برای خنک کردن گاز طبیعی و پیش خنک کردن و مایع کردن مبرد مخلوط دیگر در سه سطح فشار مختلف استفاده می‌شود. چرخه مایع‌سازی سبک مبرد مخلوط برای مایع سازی و خنک کردن گاز طبیعی استفاده می‌شود.

[1] Dual Mixed Refrigerant (DMR)

[2] Liquefin

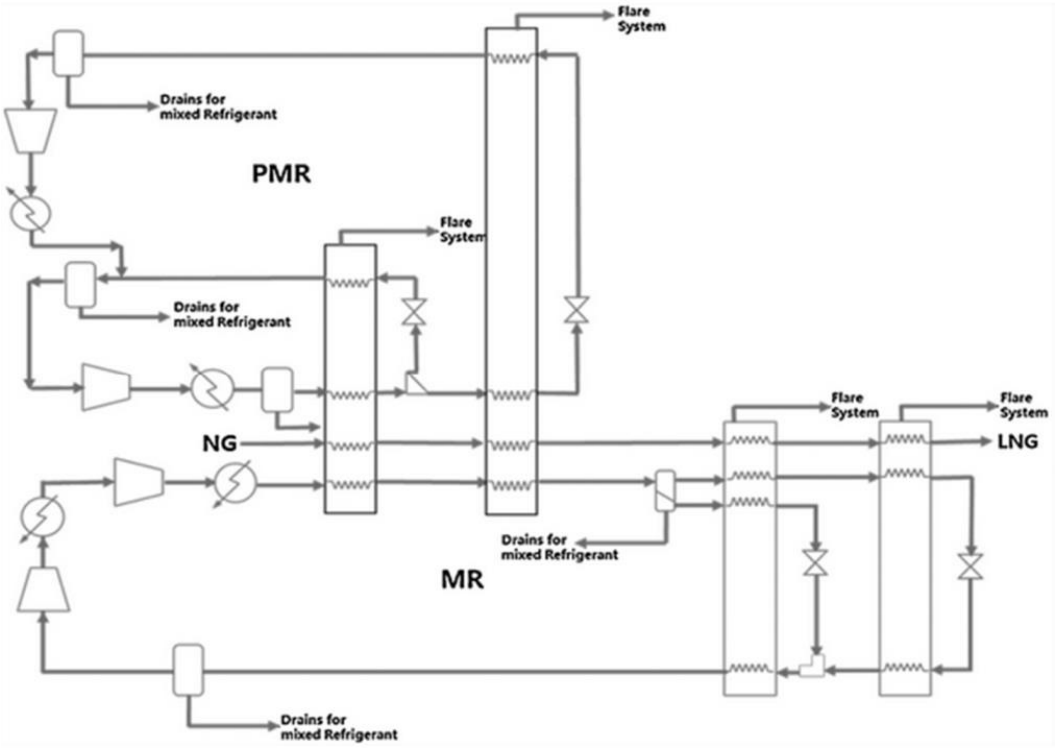
هر دو چرخه در مبدل حرارتی پره‌صفحه‌ای که در یک جعبه سرد مرتب‌شده‌اند انجام می‌شود. هر سیکل به‌گونه‌ای طراحی‌شده است که از همان مقدار توان استفاده کند، به‌طوری‌که مجموعه‌ای از درایورها را می‌توان برای کمپرسور در سیکل‌های مختلف استفاده کرد که باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه می‌شود.

علاوه بر این، دبی نسبتاً کمتر مبرد مخلوط اجازه می‌دهد تا ظرفیت قطار بسیار بیشتری با کمپرسورهای محوری موجود به دست آید [۷].



شکل ۹- شماتیک کلی از فرآیند مبرد مخلوط Liquefin

فرآیند مبرد مخلوط موازی : این فرایند شامل چرخه‌های پیش خنک‌سازی و مایع سازی است (شکل ۱۰). پروپان یا مبرد مخلوط می‌توانند به‌عنوان مبرد برای چرخه پیش‌خنک‌کننده استفاده شوند. ویژگی اصلی فرآیند مبرد مخلوط موازی این است که دو چرخه مبرد مخلوط برای مایع سازی به‌صورت موازی پیکربندی‌شده‌اند که افت فشار را در سیستم کاهش می‌دهد و قابلیت اطمینان نیروگاه را بهبود می‌بخشد و درنتیجه راندمان فرآیند را بهبود می‌بخشد.



شکل ۱۰- شماتیک کلی از فرآیند مبرد مخلوط موازی PMR

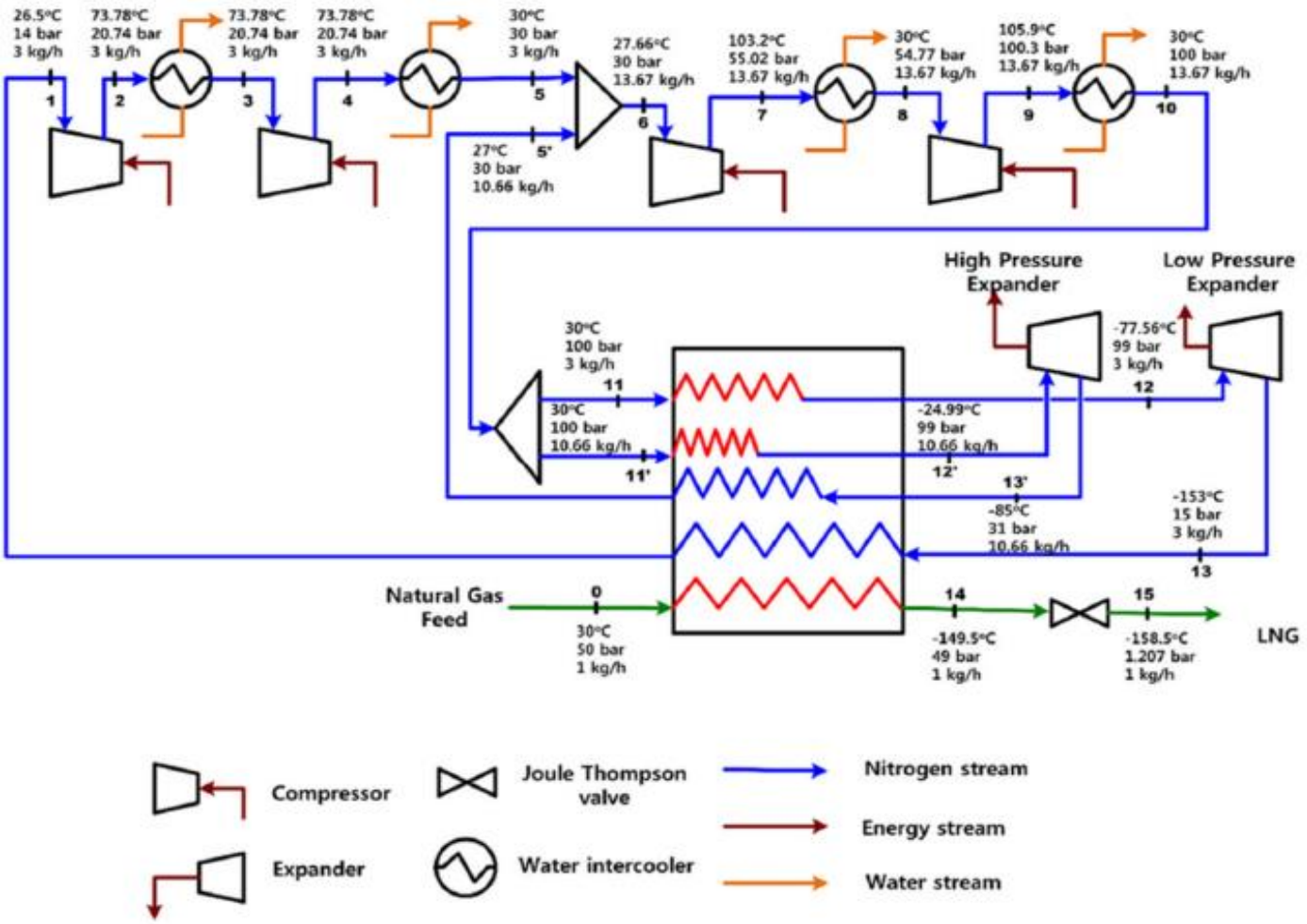
فرآیند منبسط کننده دوگانه نیتروژن[1]:

این فرایند اصلاحی فرآیند منبسط کننده تک نیتروژن است. این فرآیند در چند دهه اخیر به‌طور گسترده برای مایع سازی نیتروژن و اکسیژن مورداستفاده قرار گرفته است. این فرآیند شامل دو چرخه انبساط کننده گرم و سرد است (شکل 11).

هر دو چرخه انبساط کننده گاز طبیعی را قادر می‌سازد تا در اختلاف دمایی کوچک، مایع و فروسرد شود که نیازهای توان ویژه را کاهش می‌دهد اما اندازه مبدل حرارتی مورد نیاز را افزایش می‌دهد.

مبرد نیتروژن را می‌توان با مبرد متان در فرآیند موجود جایگزین کرد. مبرد متان ممکن است قدرت ویژه برای مایع شدن را کاهش دهد، اما استفاده از مبرد متان در مقابل مبرد هیدروکربنی به‌دلیل پیامدهای ایمنی در ارجحیت می‌باشد.

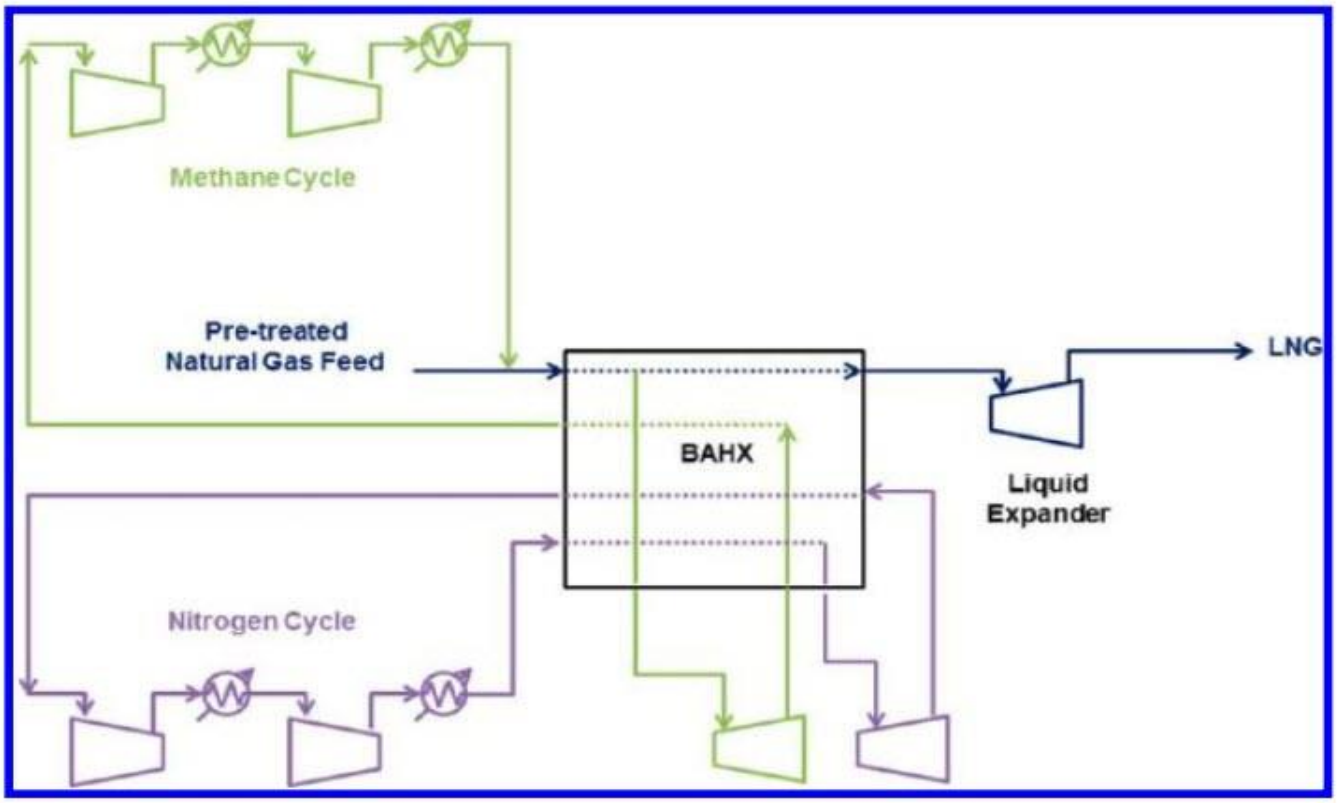
[1] Double nitrogen expander



شکل ۱۱-شماتیک کلی از فرآیند منبسط کننده دوگانه نیتروژن

همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده‌شده است، فرآیند منبسط کننده مستقل دوگانه از دو چرخه تبرید مجزا، متان و نیتروژن استفاده می‌کند تا با کاهش اختلاف دما بین مایع سازی و خنک‌سازی فرعی، کارایی فرآیند را بهبود بخشد.

درحالی‌که این فرآیند به یک مبدل حرارتی بزرگ‌تر از یک فرآیند منبسط کننده نیاز دارد، توان ویژه مورد نیاز را می‌توان در مقایسه با توان مورد نیاز برای یک فرآیند منبسط کننده کاهش داد. با این‌حال، ایمنی فرآیند به دلیل استفاده از مبرد هیدروکربنی کاهش می‌یابد. استفاده از متان نیاز به اطمینان از فاصله کافی بین تجهیزات برای جلوگیری از آتش‌سوزی جت و آسیب فشار ناشی از انفجار را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۲- شماتیک کلی از فرآیند منبسط کننده مستقل دوگانه

در مجموع با ترکیب روش‌های موجود یا در نظر گرفتن فرایندهای پیش سردسازی، تغییر مبرد یا استفاده از اکسپندر می‌توان به بهینه‌سازی فرایند یا ابداع فرایندهای جدید دست یافت. در جدول زیر به‌طور خلاصه برخی از فرایندهای اصلی تولید ال‌ان‌جی با توجه به تمایز عملکرد مبرد و مبدل حرارتی آن ارائه شده است.

جدول ۲- فرآیندهای تولید به همراه نوع خنک‌کننده و مبدل حرارتی استفاده‌شده در هر واحد

	مبرد(خنک‌کننده)			مبدل حرارتی		
فرآیند	پیش خنک‌کننده	مایع سازی	سابکولینگ	پیش خنک‌کننده	مایع سازی	سابکولینگ
POC	پروپان	اتیلن	متان	core-in-kettle یاPFHE	PFHE	PFHE
PRICO	مبرد مخلوط			Cold BoX (PFHEs)		PFHE
C3MR	پروپان	مبرد مخلوط		core-in-kettle	CWHE	
DMR	مبرد مخلوط	مبرد مخلوط		CWHE	CWHE	
Liquefin	مبرد مخلوط	مبرد مخلوط		PFHE	PFHE	
PMR	پروپان یا مبرد مخلوط	مبرد مخلوط موازی				
CII	مبرد مخلوط			Heat-exchanger line(two PFHEs)		
AP-X	پروپان	مبرد مخلوط	نیتروژن	core-in-kettle	CWHE	CWHE and PFHE
MFC	مبرد مخلوط	مبرد مخلوط	مبرد مخلوط	PFHE	CWHE	CWHE

متداول‌ترین روش‌های مورداستفاده در تولید گاز طبیعی مایع در مقیاس کوچک منبسط کننده نیتروژن و مبرد مخلوط منفرد است. در زیر مقایسه‌ای بین این دو روش انجام‌شده است.

جدول ۳- اجزای اصلی تجهیزات برای مبرد مخلوط منفرد و منبسط کننده نیتروژن

واحدها	تجهیزات مبرد مخلوط منفرد	تجهیزات منبسط کننده نیتروژن
واحد تبرید	۱ چرخه کمپرسور	۱ چرخه کمپرسور
	۱ مجموعه پمپ HMR	۲ کمپرسور منبسط کننده/تقویت‌کننده (نصب‌شده در جعبه‌های هادی)
	۲ خنک‌کننده هوا	۳ خنک‌کننده هوا
	۳ کمپرسور مکش/درام دریافت‌کننده	-
واحد مایع‌سازی	۱ جعبه سرد	۱ جعبه سرد
	۱ عدد PFHE	۱ عدد PFHE
	۱ برج جداکننده فاز	-
واحد میکاپ (تجدید)	۲ درام ذخیره‌سازی شامل خشک‌کن‌ها	۱ مخزن LN_2 با بخارساز گرمایش هوا
	۱ بخارساز گرمایش هوا	-
	۱ مخزن LN_2 با بخارساز گرمایش هوا	-

لازم به ذکر است که فرآیندهای مبرد مخلوط منفرد کارآمدتر هستند و تجهیزات دوار کمتری دارند.

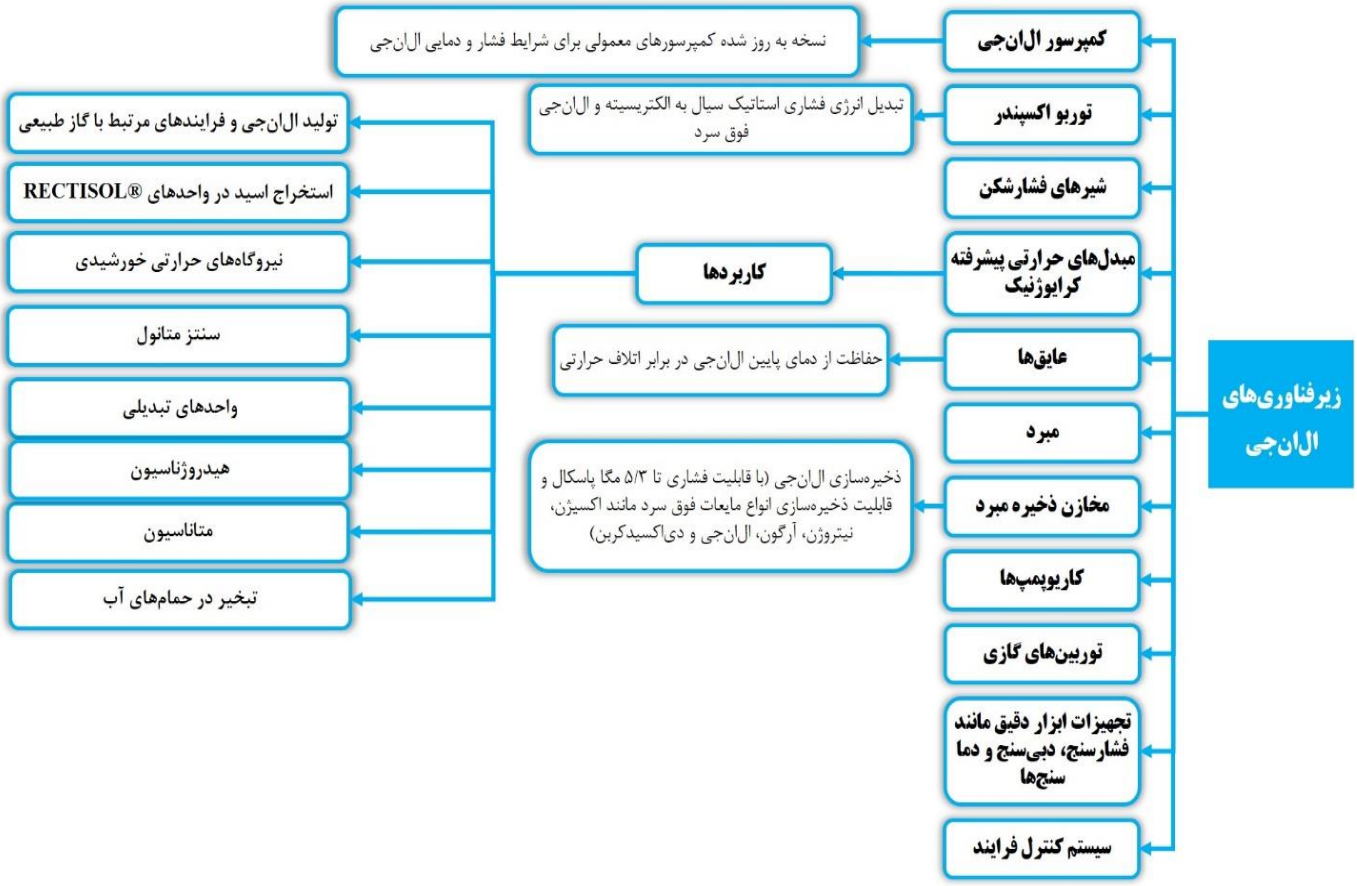
جدول ۴- مزایای و معایب فناوری‌های ال‌ان‌جی [۶]

ویژگی	روش آبشاری	روش مبرد مخلوط	روش منبسط کننده
کاربرد	ساحلی – بزرگ‌مقیاس	ساحلی و دریای-کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس	ساحلی و دریایی-کوچک‌مقیاس
راندمان انرژی	بالا	متوسط به بالا	پایین
تعداد تجهیزات	بالا	کم تا متوسط	کم
سطح انتقال حرارت	متوسط	بالا	کم
سادگی عملیات	پایین	کم تا متوسط	بالا
سهولت در راه‌اندازی و لوله‌کشی	متوسط	پایین	بالا
سازگاری با ترکیب خوراک گازی	بالا	متوسط	بالا
حساسیت به حرکت کشتی	بالا	متوسط تا بالا	کم
فضای لازم	بالا	متوسط	کم
حجم ذخیره‌سازی مبرد	بالا	متوسط به بالا	ندارد
هزینه سرمایه‌گذاری	بالا	کم تا متوسط	کم

با توجه به جدول ۴، فناوری تولید ال ان جی به روش آبشاری به دلیل ماهیت بزرگ مقیاس و هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری آن گزینه جذابی برای استفاده در واحدهای کوچک‌مقیاس نیست. با این وجود روش تولید بر اساس لایسنس‌های موجود ارائه می‌شود.

معرفی زیر فناوری‌های مرتبط با ال ان جی

با توجه به انواع مختلف فناوری تولید ال‌ان‌جی، مهم‌ترین اجزای این فناوری شامل موارد زیر است که در شکل قابل مشاهده است.



شکل ۱۳- زیر فناوری‌های ال‌ان‌جی

اگرچه همه این زیر فناوری‌ها در یک فرایند تولید ال‌ان‌جی ممکن است استفاده نشود، اما در مجموع با در نظر گرفتن همه روش‌ها موارد ذکرشده جزو اصلی‌ترین زیر فناوری‌های قابل توسعه در این فناوری است. در ادامه به بررسی اجمالی بعضی زیر فناوری‌ها پرداخته خواهد شد.

کمپرسورهای ال‌ان‌جی: از آنجا که تولید و انتقال ال‌ان‌جی در شرایط خاص دمایی رخ می‌دهد، لذا باید فناوری کمپرسورهای معمولی برای این شرایط خاص به‌روزرسانی شود. مهم‌ترین مراحلی که در زنجیره ارزش ال‌ان‌جی به کمپرسور نیاز است شامل؛ سه مرحله تولید ال‌ان‌جی، ارسال ال‌ان‌جی به مخازن ذخیره‌سازی و ارسال از طریق خطوط لوله است.

در هر یک از این مراحل فشار و دمای کاری کمپرسورها و به همین نسبت فناوری به‌کاررفته در آن ازنظر مقاومت در برابر دمای سرد و عایق‌بندی حرارتی متفاوت است. دسته اول با فشار ورودی ۱ بار و خروجی ۳۵ بار و بازه دمایی ۹۰- تا ۱۶۰- کار می‌کنند، دسته دوم با قابلیت فشار کاری تا ۳۰۰ بار و در همین بازه زمانی و دسته سوم با قابلیت تحمل فشار ۱۱۰ بار و دمای ورودی ۲۰- تا ۴۰- درجه سانتی‌گراد کار می‌کنند. از این نوع کمپرسورهای در هر فرایندی که سیال جریانی گاز فوق سرد باشد استفاده می‌گردد.

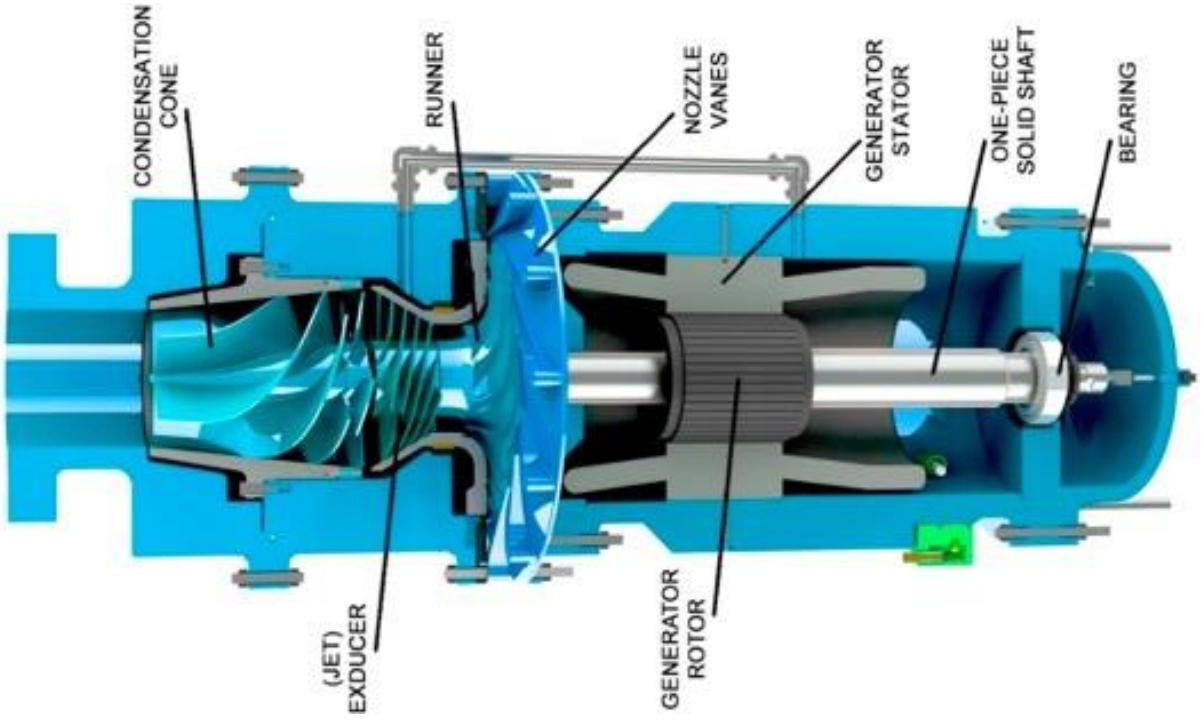
مبدل‌های حرارتی پیشرفته کرایوژنیک[1] : در این نوع مبدل حرارتی، چندین لایه از لوله‌ها به‌صورت مارپیچ در اطراف یک لوله مرکزی بزرگ، معروف به سنبه[2] پیچیده می‌شوند. این انبوه لوله را می‌توان به‌گونه‌ای طراحی کرد که بتواند حاوی بیش از یک کسر جریان باشد تا محیط‌های فرآیندی مختلف را در خود جای دهد. هر دو انتهای لوله‌ها به صفحه نگهدارنده لوله‌های جوش داده‌شده است. یک مخزن تحت‌فشار که به‌صورت موازی با انبوه لوله‌ها قرارگرفته است، کل بسته را در برمی‌گیرد. این طراحی خاص با توجه به شرایط عملیاتی آلیاژ آن امکان کار در بازه ۲۶۹- تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و تحمل فشار تا ۳۰۰ بار را دارد.

شکل ۱۴- مبدل‌های حرارتی پیشرفته کرایجنیک ساخت شرکت لینده[1] [۸]

توربو اکسپندرها: از اولین روزهای مایع سازی گاز، مزیت فرآیند ترمودینامیکی استفاده از منبسط‌کننده‌های گاز مایع برودتی به‌جای شیرهای گلوگاهی به‌خوبی مشخص بود. با بلوغ صنایع هوافضا، مواد و طرح‌های مناسب این فناوری برای محیط برودتی توسعه داده شد.اجزای اصلی اکسپندرها شامل توربین هیدرولیکی، شفت کریوژنیک عایق‌بندی شده و ژنراتور القایی است. عمده‌ترین کاربرد توربو اکسپندرها کاهش مصرف انرژی در فرایند سردسازی یا فرآوری گاز است، که از این مزیت اکسپندرها در فرایندهای مختلف مانند جداسازی هیدروکربن‌های گازی استفاده می‌شود.

شرکت‌های مختلفی امکان ساخت این تجهیز را با ویژگی‌های عملیاتی مختلف دارند. به‌طور مثال محصول ساخته‌شده در شرکت ایپیکا[3] امکان کار در شرایط دمایی ۴۵۰- تا ۹۵۰ درجه فارنهایت و فشار ۲۰۰ بار و تولید برق با توان ۱۵ مگاوات را دارد [۹].

[1] Coil-wound heat exchanger
[2] Mandrel
[1] Ipieca



شکل ۱۵- اجزای مختلف اکسپندر بکار رفته در فرایند سردسازی

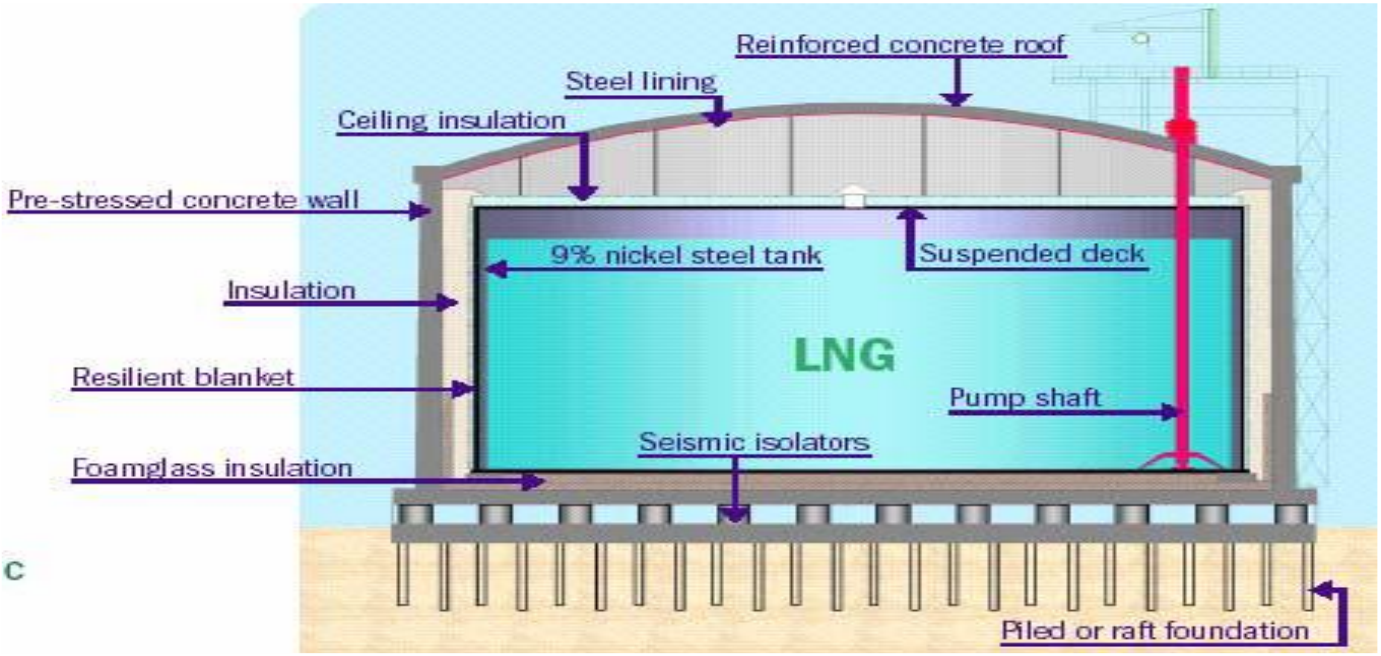
مخازن ذخیره مبرد:

در فرایندهای سردسازی، سیال مایع‌شده فوق سرد باید در محلی ذخیره‌سازی شود. لذا فناوری ذخیره‌سازی تانک‌های کرایوژنیک یکی از زیر فناوری‌های ضروری برای توسعه فناوری تولید ال‌ان‌جی است.

این تانک‌ها در حجم‌های مختلفی بین ۱ تا ۱۰۰۰ مترمکعب، با قابلیت تحمل فشار تا ۳/۵ مگا پاسکال و قابلیت ذخیره‌سازی انواع مایعات فوق سرد مانند اکسیژن، نیتروژن، آرگون، ال‌ان‌جی و دی‌اکسیدکربن موجود هستند. اغلب این مخازن دوجداره ساخته می‌شود. فضای بین مخازن با عایق پر می‌شود و دیواره‌های بیرونی مخزن معمولاً از بتن پس‌کشنده[1] ساخته می‌شوند. در

شکل یک مدل مفهومی از طراحی این مخازن نشان داده‌شده است.

[2] post tensioned concrete



شکل ۱۶- طراحی مخازن ذخیره‌سازی ال‌ان‌جی [۱۰]

عایق‌ها و عایق‌بندی: مزیت اساسی ال‌ان‌جی تراکم بالای گاز به‌واسطه دمای پایین این سیال است. حفاظت از این دما در برابر اتلاف حرارتی یک وظیفه اساسی است که توسط عایق‌ها یا طراحی خاص عایق‌بندی انجام می‌شود. عایق‌بندی تجهیزات عملکردی، خطوط لوله و مخازن ذخیره‌سازی در این فرایند الزامی است. از طرفی وجود نم و آتش سبب کاهش شدید کارایی عایق‌ها می‌شود.

عایق‌های بکار رفته در خطوط لوله تأسیسات ال‌ان‌جی اغلب از جنس پرلیت و فایبرگلاس است. سقف مخازن ذخیره‌سازی اغلب از جنس فوم سلولی و کف این مخازن از جنس شیشه سلولوزی عایق می‌شود [۱۱].

مشخصات فنی، ملاحظات و الزامات

ظرفیت در نظر گرفته شده جهت انجام این پروژه و اکتساب فناوری ساخت ال‌ان‌جی در مقیاس کوچک در حدود **۵۰ تن در روز** است. مشخصات فنی پروژه در جدول شماره ۵ ذکر شده است:

جدول ۵ - مشخصات واحد مینی ال ان جی با ظرفیت ۵۰ تن در روز

مشخصات اصلی	**میزان گاز دریافتی**	**۷۵۰۰۰ متر مکعب در روز**
	تناژ LNG تولید شده	۵۰ تن در روز
	مشخصات گاز دریافتی	میانگین کامپوزیشن گاز سبک شیرین خط لوله سراسری IGAT
شرایط	فشار گاز ورودی	۳۰ تا ۶۰ بار
	حداقل و حداکثر دمای محیط	۱۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد
	تعداد روزهای کاری در سال	۱۰۰ تا ۲۴۰
الزامات	استاندارد	استانداردهای نفت گاز ایران IPS
	سیستم خنک کاری	مبتنی بر سیستم های هوا خنک

طی این پروژه تجهیزات اصلی فرایند ساخته و برای تجهیزات جانبی از تأمین قطعات استفاده خواهد شد. با ساخت این واحد دانش فنی ساخت ال‌ان‌جی اکتساب می‌شود و همچنین محصولات این واحد به مشتریان داخلی فروخته خواهد شد. از آنجاکه طی این پروژه یک واحد فرایندی ساخته می‌شود و همزمان برخی تجهیزات باید بومی‌سازی شود، لذا مهم‌ترین نیازمندی‌های پروژه شامل موارد زیر است:

- ساخت و بومی‌سازی تجهیزات اساسی شامل؛ توربو اکسپندرها و مبدل‌های حرارتی
- طراحی جزئی واحد فرایندی
- اخذ مجوزهای احداث واحد
- تأمین تجهیزات با محوریت بازار داخلی مانند کاریوپمپ، مخازن ذخیره‌سازی، کمپرسورها
- عملیات زیربنایی، نصب و راه‌اندازی
- تأمین ماشین‌های حمل ال‌ان‌جی

همچنین همانند هر پروژه صنعتی این پروژه الزامات ایمنی، زیست‌محیطی و مجوز دریافت خوراک را باید کسب کند.

جهت ساخت یک واحد مایع‌سازی گاز طبیعی با ظرفیت ۵۰ تن تولید ال‌ان‌جی در روز، حدوداً ۱۲ میلیون دلار سرمایه‌گذاری اولیه نیاز است. گفتنی است این مبلغ بدون در نظر گرفتن هزینه تهیه زمین و مجوزهای مربوطه است.

از آنجاکه این پروژه با رویکرد بومی‌سازی و توسعه فناوری ال‌ان‌جی تعریف شده است لذا همزمان با توسعه فناوری‌های اصلی فرایند طراحی واحدهای فرایندی نیز انجام خواهد شد.

به‌منظور اجرای پروژه ۷ مرحله اصلی باید اجرا شود. این مراحل شامل موارد زیر است:

۱) مطالعات اولیه و مستندسازی دانش و امکان‌سنجی
۲) طراحی پایه
۳) طراحی جزئی و مهندسی
۴) ساخت یا تأمین اجزا و ماشین آلات
۵) نصب و اجرا
۶) تست اولیه و رفع ایرادات احتمالی و راه‌اندازی
۷) مستندسازی، تدوین دانش فنی و بهره‌برداری

در ادامه به تشریح هر یک از مراحل پرداخته می‌شود:

مرحله ۱) مطالعات اولیه و مستندسازی دانش و امکان‌سنجی:

در این مرحله شرکت یا شرکت‌های انتخاب‌شده فرصت دارند تا با بررسی اسناد موجود و مطالعات کتابخانه‌ای آخرین اطلاعات و دانش به‌روز شده در حوزه طراحی و ساخت تجهیزات فرایند تولید ال‌ان‌جی کوچک‌مقیاس را مطالعه و مستند کنند. در این مرحله لازم است تا یک مدل پایه از طراحی و خصوصیات فنی تجهیزاتی که نیاز به ساخت داخل دارند، تدوین شود. ازآنجاکه طراحی و ساخت تجهیزات اصلی به همراه ساخت واحد فرایندی به‌صورت هم‌زمان انجام می‌شود، لذا باید یک هماهنگی و توافق در طراحی بین گروه ساخت تجهیزات و گروه طراحی واحد فرایندی وجود داشته باشد.

مرحله ۲) طراحی پایه:

طراحی پایه یک واحد فرایندی شامل بخشی از فرآیند طراحی است که طی آن با بررسی کامل و میدانی و انجام محاسبات مهندسی، مشخصات اجزای اصلی پروژه تعیین می‌شود. در این مرحله فرآیندها به روشنی تعیین و کارکردهای اصلی تمامی خصوصیات عملیاتی سیستم‌ها و تجهیزات تشکیل‌دهنده پروژه مشخص می‌شود. تهیه نقشه‌های PFD و P&ID، محاسبات و تعیین مشخصات تجهیزات و ماشین‌آلات، انجام محاسبات لازم جهت تعیین توان و سایر مشخصات ماشین آلات و تعیین کلیات سیستم‌های برق، سازه، لوله‌کشی و تجهیزات کنترل و ابزار دقیق ازجمله خصوصیات این مرحله است.

مرحله ۳) طراحی جزئی و مهندسی:

در این مرحله مدل پایه طراحی با جزئیات کامل فرایندی و تجهیزات ویرایش می‌شود. از مهم‌ترین خروجی‌های این مرحله طرح‌های دوبعدی و سه‌بعدی سازه‌ها، نقشه‌های P&ID فرایند، تخمین هزینه ساخت، برنامه تدارکات تجهیزات است. در این مرحله هزینه‌های دقیق اجرای پروژه مشخص می‌شود. درواقع تمام جزئیات ساخت، تأمین و اجرای تجهیزات و فرایندها در این مرحله مشخص می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به ضرورت طرح در مورد بومی‌سازی برخی تجهیزات، طراحی مهندسی این تجهیزات چند ماه بعد از آغاز پروژه شروع خواهد شد و در زمان تکمیل این مرحله، این انتظار وجود دارد که کار ساخت و تست این تجهیزات به پایان رسیده باشد.

مرحله ۴) ساخت یا تأمین اجزا و ماشین آلات:

در فرایند توسعه و تولید ال‌ان‌جی در کشور نبود لیسانس قابل‌اتکا یکی از معضلات اصلی بوده است. در این مورد هم نبود دانش فنی ساخت تجهیزاتی مانند توربواکسپندرها و مبدل‌هایی که توانایی کار در دمای فوق سرد را داشته باشند خلأ اصلی فناوری است. لذا در این مرحله از کار به انتخاب مجری، تجهیزات گلوگاهی فرایندی شامل توربواکسپندر و مبدل (با توجه به فرایند پیشنهادی برای طراحی) و هر تجهیز دیگری که نبود آن سبب ایجاد وابستگی اساسی در توسعه فرایند شود، بومی‌سازی می‌شود. لذا این مرحله از کار در کنار فرایند اصلی که ساخت یک واحد صنعتی فرایندی تولید ال‌ان‌جی در مقیاس کوچک است بسیار با اهمیت بوده و موفقیت کل پروژه به موفقیت در بومی‌سازی این تجهیزات وابسته است. برای سایر تجهیزات فرایندی که قبلاً در کشور بومی‌سازی شده‌اند یا توسعه آن در کشور نیاز به فناوری سطح بالا ندارد امکان تأمین و خرید آن تجهیزات وجود دارد.

مرحله ۵) نصب، اجرا و ساخت:

این مرحله بلافاصله پس از نهایی شدن مرحله طراحی جزئی و مهندسی و با فرض تکمیل بومی‌سازی تجهیزات اساسی آغاز می‌شود که شامل اخذ مجوز ساخت واحدهای فرایندی، تسطیح زمین، اجرای عملیات عمرانی، نصب سازه‌ها و تأمین واحدهای خدماتی مانند آب، برق و گاز است. ساخت ساختمان، واحدهای فرایندی، لوله‌کشی، نصب تجهیزات کنترلی، ابزار دقیق و تکمیل اولیه پروژه از دیگر بخش‌های این مرحله است.

مرحله ۶) تست اولیه و رفع ایرادات احتمالی و راه‌اندازی:

پس از مرحله ساخت باید کارایی تجهیزات ساخته‌شده طی چند مرحله راه‌اندازی آزمایشگاهی، پایلوت و میدانی آزمایش شود و همچنین تمامی تجهیزات مرتبط با آن ازنظر عملکردی برای تحمل شرایط عملیاتی استاندارد لازم را کسب کنند. همچنین برای مدت یک ماه قابلیت فرایندی و تولید محصول بدون توقف اساسی تولید را داشته باشند. از این مرحله به‌عنوان مرحله راه‌اندازی و تحویل پروژه یاد می‌شود.

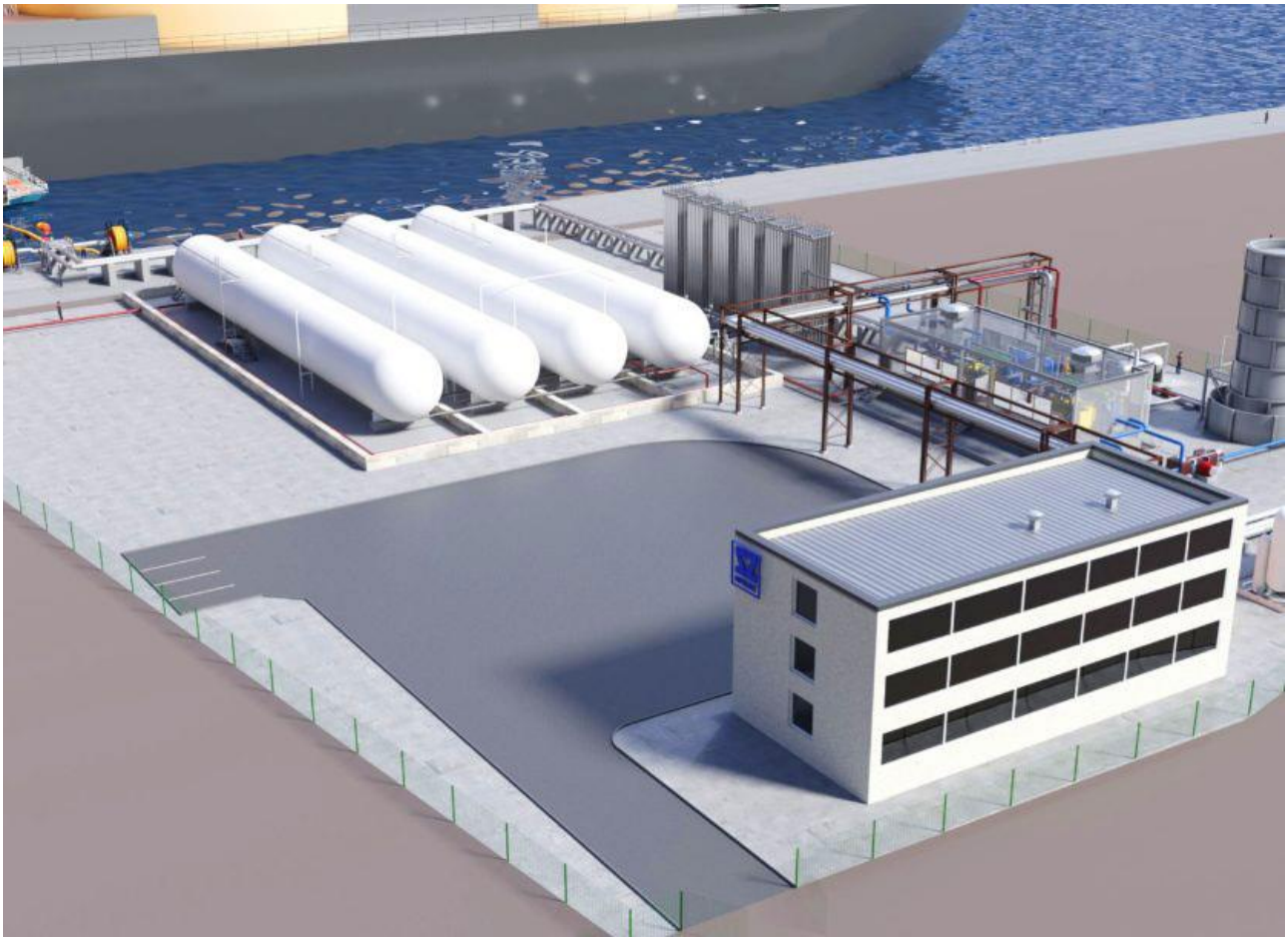
مرحله ۷) مستندسازی، تدوین دانش فنی و بهره‌برداری :

ازآنجاکه هدف اصلی پروژه توسعه فناوری تولید ال‌ان‌جی در مقیاس کوچک است، لذا کلیه مستندات و دانش فنی طرح بعد از اجرای موفق پروژه به‌منظور استفاده از آن در موارد مشابه تدوین و به کارفرما تحویل داده خواهد شد. با ارائه این مستندات و تائید آن‌ها از سوی کارفرما پایان موفقیت‌آمیز پروژه اعلام می‌گردد.

در ادامه با توجه مراحل ذکرشده، خروجی و اقلام قابل تحویل در هر مرحله مشخص‌شده است.

جدول ۶- خلاصه مراحل انجام پروژه و اقلام قابل تحویل

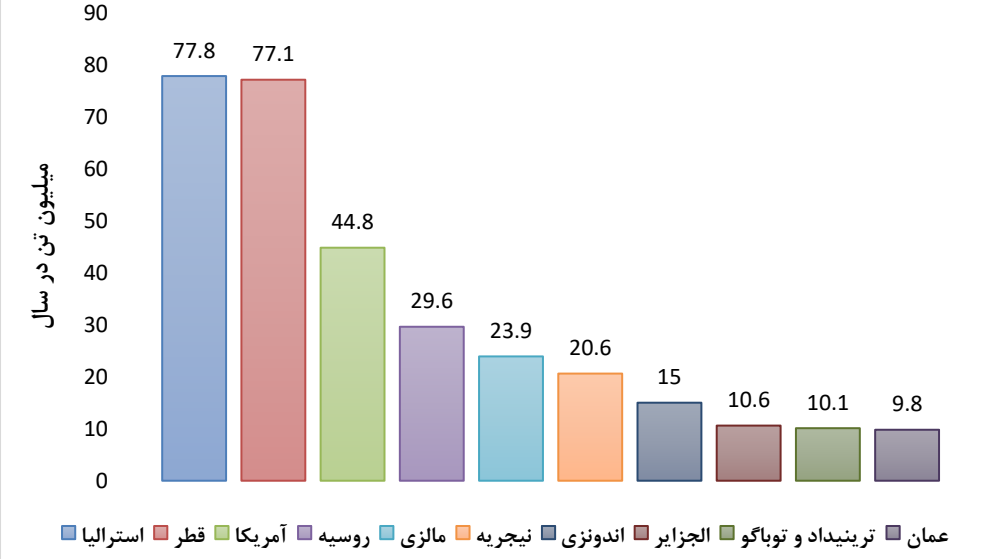
ردیف	عنوان گام اصلی	خروجی قابل تحویل
۱	**مطالعات اولیه و مستندسازی دانش و امکان‌سنجی**	مدل مفهومی و مدل پایه طراحی اجزا
۲	**طراحی پایه**	نقشه‌های PFD و P&ID، محاسبات و تعیین مشخصات تجهیزات و ماشین‌آلات، تعیین کلیات سیستم‌های برق، سازه، لوله‌کشی و تجهیزات کنترل و ابزار دقیق
۳	**طراحی جزئی و مهندسی**	طرح‌های دوبعدی و سه‌بعدی سازه‌ها، نقشه‌های P&ID فرایند، تخمین هزینه ساخت، برنامه تدارکات تجهیزات. جزئیات ساخت، تأمین و اجرای تجهیزات و فرایندها
۴	**ساخت یا تأمین اجزا و ماشین آلات**	نقشه‌های طراحی و دانش فنی تجهیزات به همراه تجهیزات ساخته‌شده
۵	**نصب و اجرا**	اخذ مجوز ساخت واحدهای فرایندی، تسطیح زمین، اجرای عملیات عمرانی، نصب سازه‌ها و تأمین واحدهای خدماتی مانند آب، برق و گاز، ساخت ساختمان و واحدهای فرایندی، لوله‌کشی و نصب تجهیزات کنترلی و ابزار دقیق
۶	**تست اولیه و رفع ایرادات احتمالی و راه‌اندازی**	راه‌اندازی و تحویل واحدهای فرایندی
۷	**مستندسازی، تدوین دانش فنی و بهره‌برداری**	نقشه‌های طراحی و دانش فنی



اطلاعات اقتصادی LNG

بر اساس آمار و اطلاعات منابع معتبر باوجود بی‌ثباتی بی‌سابقه ناشی از همه‌گیری ویروس کووید-۱۹ در بازار و اقتصاد در سراسر جهان، تجارت جهانی گاز طبیعی مایع در سال ۲۰۲۰ به ۳۶۰ میلیون تن افزایش یافت. این تقاضا در سال ۲۰۱۹ برابر با ۳۵۸ میلیون تن بوده است. ثابت ماندن یا افزایشی کم در حجم تقاضا، تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری بازار جهانی گاز طبیعی مایع در سال ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد، سالی که چند تریلیون دلار افت تولید ناخالص داخلی، به‌دلیل تلاش اقتصادهای بزرگ و کوچک برای مهار شیوع ویروس کووید-۱۹ در جهان دیده شد. این موضوع نشان می‌دهد بازار گاز طبیعی مایع همچنان بازاری رو به رشد است.

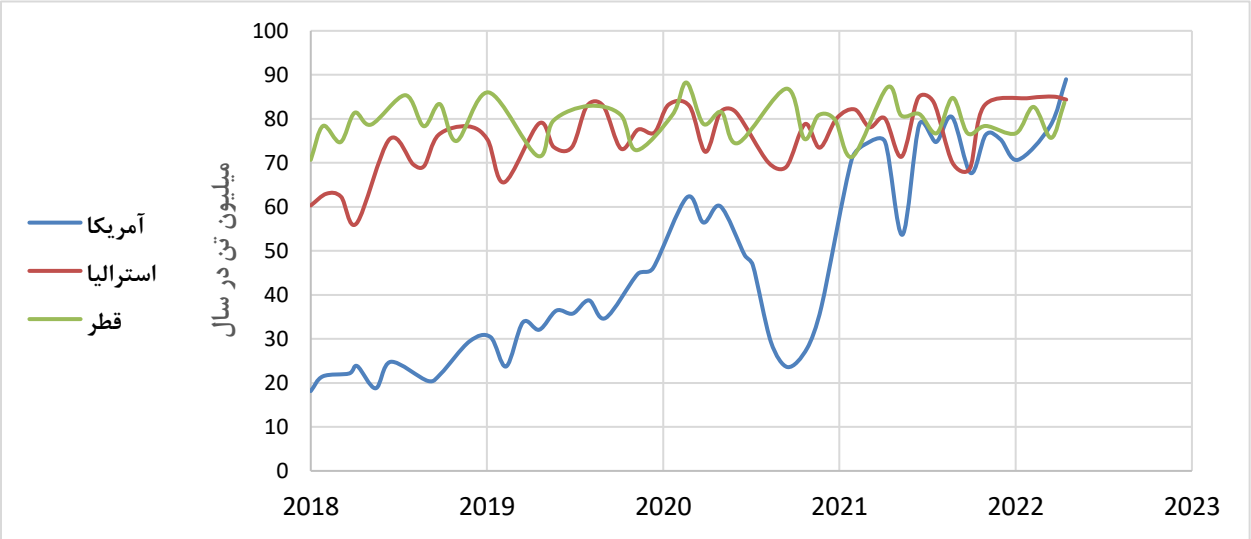
تجارت جهانی گاز طبیعی مایع (ال‌ان‌جی) در سال ۲۰۲۱، ۳۸۰ میلیون تُن گزارش شده است که نسبت به سال ۲۰۱۹ رشد بیش از ۶ درصدی را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۰، استرالیا، قطر، آمریکا و روسیه به ترتیب با تولید ۷۷/۸، ۷۷/۱، ۴۴/۸، ۲۹/۶ میلیون تن در سال بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکننده ال‌ان‌جی در دنیا بوده‌اند (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- بزرگ‌ترین تولیدکنندگان ال‌ان‌جی در سال ۲۰۲۰

آمریکا به دلیل اهمیت استراتژیک صادرات ال‌ان‌جی و نقش آن در بازار انرژی دنیا، در سال ۱۴۰۰ به بزرگ‌ترین کشور صادرکننده ال‌ان‌جی دنیا تبدیل شد و پیش‌بینی می‌شود به دلیل بازار رو به رشد ال‌ان‌جی در دنیا تا سال ۲۰۲۵، آمریکا به‌عنوان بزرگ‌ترین صادرکننده ال‌ان‌جی باقی بماند.

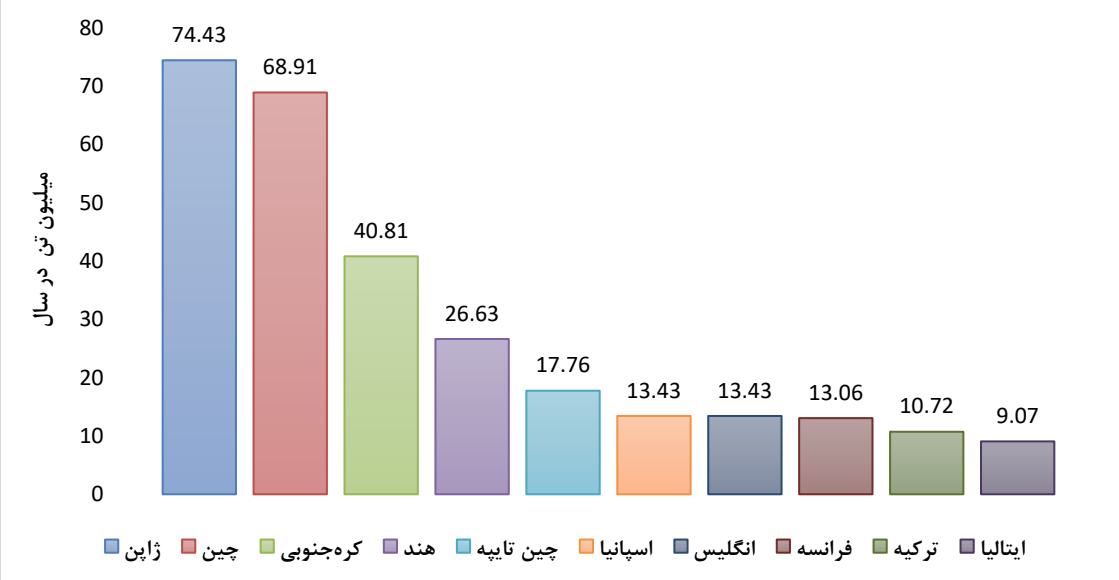
شکل ۱۸ رشد قابل‌توجه و پیشی گرفتن میزان تولید آمریکا از قطر و استرالیا را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۸- میزان تولید سه تولیدکننده بزرگ ال‌ان‌جی در ۴ سال اخیر

همسایه جنوبی ایران، قطر که در میدان گازی پارس جنوبی با کشور ما مشترک است، هم‌اکنون با ظرفیت تولید سالانه ۷۷ میلیون تن گاز طبیعی مایع از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان در دنیا به شمار می‌آید. این کشور در نظر دارد تولید خود را در گام نخست تا سال ۲۰۲۵ به ۱۱۰ میلیون تن و در گام بعدی تا سال ۲۰۲۷ به ۱۲۶ میلیون تن گاز طبیعی مایع افزایش دهد.

تقاضای جهانی ال‌ان‌جی از سال ۲۰۱۵ تا به این لحظه روندی رو به رشد داشته است. این رشد تقاضا بیشتر به دلیل افزایش تقاضا در چین و سایر کشورهای آسیا است. ژاپن، چین، کره جنوبی و هند از بزرگ‌ترین واردکنندگان ال‌ان‌جی در دنیا محسوب می‌شوند. واردات آن‌ها به ترتیب حدود ۷۴/۵، ۶۹، ۴۱ و ۲۷ میلیون تن در سال است که در مقایسه با ۱۰ سال گذشته به‌طور متوسط بیش از ۱۰ برابر شده است. پیش‌بینی می‌شود این افزایش تقاضا طی سالیان آتی همچنان ادامه داشته باشد (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- بزرگ‌ترین کشورهای واردکننده ال‌ان‌جی در دنیا

انتظار می‌رود اعلام چین مبنی بر هدف قرار دادن سیاست‌های کاهش انتشار کربن تا سال ۲۰۶۰ به افزایش تقاضا گاز طبیعی مایع منجر شود. هند در سال ۲۰۲۰ واردات خود را ۱۱ درصد افزایش داد، زیرا گاز طبیعی مایع با هزینه پایین، کمبود تولید داخلی گاز این کشور را جبران می‌کند. دو کشور عمده واردکننده گاز طبیعی مایع آسیایی ژاپن و کره جنوبی نیز اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در سال ۲۰۲۰ اعلام کردند. برای دستیابی به هدف جلوگیری از انتشار، کره جنوبی قصد دارد تا سال ۲۰۳۴ سوخت ۲۴ نیروگاه را از زغال‌سنگ به گاز طبیعی مایع تبدیل کند. به‌طورکلی، تقاضای جهانی گاز طبیعی مایع تا سال ۲۰۴۰ حدود ۷۰۰ میلیون تن برآورد می‌شود. انتظار می‌رود آسیا با کاهش تولید گاز و استفاده از گاز طبیعی مایع به‌جای دیگر حامل‌های انرژی، حدود ۷۵ درصد از این رشد را به خود اختصاص دهد. با افزایش تقاضا، پیش‌بینی می‌شود شکاف عرضه و تقاضا در اواسط دهه جاری بیشتر شود و تولید جدید کمتری نسبت به آنچه از قبل برآورد می‌شد محقق شود.

از سویی دیگر ورود گاز طبیعی مایع به کاربردهایی جدید، دورنمای بازار این حامل انرژی را بیش‌از پیش جذاب می‌کند. مهم‌ترین بازار جدید گاز طبیعی مایع استفاده از آن به‌عنوان سوخت وسایل حمل‌ونقل است. در یک دهه اخیر استفاده از گاز طبیعی مایع به‌عنوان سوخت وسایل نقلیه سنگین، کشتی و حمل‌ونقل ریلی بیشتر باهدف کاهش گازهای آلاینده، روند رو به رشدی داشته است. هرچند به نظر می‌رسد در بهترین شرایط هم نمی‌توان انتظار داشت که ایران سهم قابل‌توجهی از بازار جهانی ال‌ان‌جی را تصاحب کند، زیرا به غیر از کمبود خوراک، مسائلی مانند تأمین فناوری در مقیاس بزرگ، تأمین منابع بودجه‌ای، تحریم و مشکلات سیاسی ورود به این بازار همچنان پیش روی ما قرار دارد. اما موضوع در مورد واحدهای کوچک ال‌ان‌جی متفاوت است. اگر ایران فرصت حضور در عرصه ال‌ان‌جی در مقیاس‌های بزرگ را از دست داده، اما این فرصت هنوز برای واحدهای کوچک تمام نشده است. ورود ال‌ان‌جی به عرصه کاربرد آن به‌عنوان سوخت و روند رو به رشد آن که عمدتاً ناشی از دلایل زیست‌محیطی و اقتصادی است، عاملی برای توسعه واحدهای کوچک ال‌ان‌جی خواهد بود. از سویی دیگر فناوری‌های مورد نیاز برای واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی از طریق سازندگان داخلی قابل دستیابی بوده و امکان سرمایه‌گذاری جهت تجاری سازی این محصول در توان بخش‌های غیردولتی است.

همچنین قیمت ال‌ان‌جی در بازارهای جهانی، از ابتدای سال ۲۰۲۰ تا ابتدای سال ۲۰۲۱ به‌طور متوسط ۲ برابر شده است و در حال حاضر به دلیل بحران‌های جهانی ازجمله جنگ اوکراین و کاهش نگرانی‌های مربوط به بیماری کرونا، قیمت ال‌ان‌جی بیش از ۳۰ دلار به ازای هر میلیون واحد بریتانیایی حرارت[1] (معادل ۱/۵ میلیارد دلار به ازای هر میلیون تن) است.

تخمین اندازه بازار واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی دشوار است، زیرا آمار رسمی به‌طور گسترده در دسترس نیست. طبق گزارش اتحادیه گاز بین‌المللی IGU[2]، بازار واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی در سال ۲۰۱۴، ۲۰ میلیون تن (پایه ظرفیت مایع سازی) بود که معادل حدود ۸ درصد از تولید ال‌ان‌جی جهانی در همان سال است. بیش از ۱۰۰۰ پایانه در جهان برای دریافت ال‌ان‌جی این واحدها وجود دارد که دارای پایانه‌هایی در مکان‌هایی مانند چین، ترکیه، شیلی، ژاپن، هلند و غیره است.

[1] BTU

[2] International Gas Union

با این‌حال، حدود سه‌چهارم از کل ظرفیت مایع سازی واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی (۱۵ میلیون تن) در چین قرار دارد، جایی که بیش از ۱۰۰ پایانه ال‌ان‌جی وجود دارد. ظرفیت تولید واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی در چین به دلیل افزایش تولید داخلی گاز طبیعی و رشد تقاضای داخلی کشورها همچنان در حال گسترش است. تخمین زده می‌شود که در سال ۲۰۲۰ تولید از ۲۰ میلیون تن فراتر رود.

با توجه به کمیاب بودن نسبی داده‌ها، تخمین رشد واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی در سال‌های آینده دشوار است. بر اساس داده‌های در دسترس حدود ۱۰۰ میلیون تن در هر سال تا سال ۲۰۳۰، ال‌ان‌جی تولیدی از واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی تخمین زده می شود. به‌عنوان‌مثال، شرکت برق و گاز فرانسوی Engie تخمین می‌زند که این احتمال وجود دارد که بازار از ۷۵ میلیون تن تا ۹۵ میلیون تن در سال تا سال ۲۰۳۰ افزایش یابد. همچنین شرکت حسابداری و مشاوره ایالات‌متحده (PwC) انتظار دارد که بازار تا سال ۲۰۳۰ تا ۱۰۰ میلیون تن افزایش یابد. چندین سازمان، چشم‌انداز حجم بازار واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی را پیش‌بینی می‌کنند، اما ابهامات زیادی در مورد حجم واحدهای کوچک‌مقیاس ال‌ان‌جی وجود دارد. تقاضا در آینده و مقیاس بر اساس چشم‌اندازها متفاوت است [۱۲].

موضوع محوری چالش

هدف از برگزاری این چالش ارائه ایده‌های فناورانه، نوآورانه و بدیع در زمینه طراحی، ساخت و بهره‌برداری دستگاه مایع سازی گاز طبیعی در مقیاس کوچک (Mini LNG) و توسعه فناوری آن با توجه شرح نیازمندی و الزامات ارائه شده در راهنمای چالش به منظور بومی‌سازی ال ان جی و توسعه واحدهای کوچک مقیاس در کشور است. لذا از نخبگان، صاحبان ایده و شرکت‌های دانش بنیان و فناور کشور دعوت می‌شود، طرح‌های فناورانه و نوآورانه خود را از طریق سایت اینوتن ارسال نمایند.

شرایط طرح‌های پیشنهادی

۱) راهکارها و طرح‌های ارائه شده باید کاملاً شفاف و روشن باشند.
۲) گزارش‌ها و آنالیزهای ارائه شده باید از مراجع معتبر و براساس استانداردهای مورد قبول ارائه شده در راهنمای چالش باشند و با ملاحظات فنی مغایرتی نداشته باشد.
۳) تفسیر و شرح نتایج براساس اصول علمی و بر پایه مستندات انجام شده باشد.
۴) در صورت نیاز و تشخیص کلیه مراحل انجام کار قابل بازدید و ارزیابی باشد.
۵) استفاده از روش‌های پرهزینه و بدون توجیه اقتصادی قابل قبول نیست.
۶) طرح قابلیت تجاری‌سازی داشته باشد.
۷) طرح‌های دارای مستندات طراحی اولیه در اولویت هستند.
۸) پیش‌بینی زمانی ساخت این تجهیز نباید بیش از ۴ سال باشد.

اهم شرایط شرکت کنندگان چالش فوق به شرح زیر است:

۱) تجهیز ساز باشند.
۲) رزومه مرتبط با صنعت مینی ال ان جی و... داشته باشند.
۳) سابقه کار با شرکت‌های مرتبط را دارا باشند (گواهی رضایتمندی داشته باشند).
۴) کارگاه‌ها و تجهیزات مناسب و متناسب با ساخت تجهیز را دارا باشند.

درباره متقاضی

شرکت ملی نفت ایران

شرکت ملی نفت ایران از سال ۱۳۳۰ تاکنون عهده دار سامان بخشیدن و سیاستگذاری فعالیت های صنعت نفت اعم از اکتشاف، حفاری، تولید، پژوهش و توسعه و همچنین صادرات نفت و گاز بوده است.
این شرکت با در اختیار داشتن ذخیره های عظیم هیدروکربوری، یکی از بزرگترین شرکت‌های نفتی جهان به شمار می آید. با پیشرفت دانش و فناوری صنعت نفت و پیچیده‌تر شدن مناسبت‌های اقتصادی و سیاسی، جایگاه شرکت ملی نفت ایران نیز ارتقا یافته است. از این رو سیاست های ملی، منطقه‌ای و همکاری با کشورهای مهم صنعتی در زمینه تامین انرژی و ایجاد ثبات در بازارهای جهانی نفت در دستور کار این شرکت قرار دارد.

برخی از مشتریان بالقوه

کاربرد این نوع از پلنت ها در بخش های مختلفی می تواند تعریف بشود.

۱) در زمینه پیک سایی

جهت مصارف پیک سایی گاز در صنایع متوسط و کوچک خصوصا کارخانه های فولاد می تواند کاربرد داشته باشد. با توجه به عدم النفع بالایی که در این صنایع ایجاد می شود.
همچنین در مناطقی از کشور که در انتهای خطوط لوله گاز قرار می گیرند و در زمستان دچار قطعی گاز می باشند این فناوری می تواند بخشی از نیاز گاز روزهای سرد سال را در فصول سرد ذخیره سازی نماید و در فصول سرد استفاده نماید. دستورالعمل های مربوط به این موضوع توسط وزارت نفت و شرکت ملی گاز تدوین شده است.

۲) در زمینه سوخت حمل و نقل

یکی از سوخت های پاک در حمل و نقل شهری و بین شهری گاز طبیعی مایع شده است که بواسطه حجم کمتری که اشغال می کند اجازه استفاده در مسیرهای طولانی را می دهد. از طرفی به علت صرفه جویی در مصرف سوخت های مایع مانند گازوییل باعث ایجاد فرصت های صادراتی برای کشور می شود برای این منظور وزارت نفت با عنایت به ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید جهت کاهش مصرف سوخت های مایع مشوق هایی را در نظر گرفته است و آیین نامه آن را در سال ۱۴۰۰ ابلاغ نموده است.
همچنین بسیاری خودروهای سنگین عبوری از کشور ما می توانند از سوخت LNG استفاده کنند و در صورت وجود این زیرساخت باعث توسعه ترانزیت بین الملل در کشور خواهد شد. در حال حاضر به علت عدم وجود زیرساخت این نوع خودروها از مسیر ایران عبور نمی کنند.

۳) در زمینه گازرسانی

یکی از کاربردهای اصلی LNG در دنیا گازرسانی به نقاط دوردستی است که دسترسی به خط لوله سراسری ندارند. برای این منظور گاز طبیعی در مناطقی که دسترسی به خط لوله وجود دارد مایع سازی می شود و با خودرو به مراکز مصرف حمل می شود. این موضوع در برخی از نقاط کشور ما کاربرد دارد و می تواند از اولویت های شرکت ملی گاز قرار بگیرد.

۴) در زمینه صادرات

۵) با توجه به تناژ پایین این پلنت کاربرد آن جهت صادرات LNG در بازارهای خرده فروشی در کشورهای همسایه می باشد. کشورهای پاکستان و ترکیه در حال حاضر دارای زیرساخت های لازم جهت خرید و مصرف LNG می باشند. همچنین با توجه به افزایش قیمت این محصول توسعه زیرساخت های ان جهت حمل در ابعاد پایین و مقاصد طولانی دریایی در حال توسعه می باشد.

مشتری‌های بالقوه:

۱) ایران ال ان جی
۲) پتروشیمی خراسان
۳) پتروشیمی پردیس
۴) فولاد مبارکه اصفهان
۵) گل گهر سیرجان
۶) سیمان ساوه

معاونت معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان

این نهاد بنا بر ضرورت و با هدف ارتقای اقتدار ملی، تولید ثروت و افزایش کیفیت زندگی مردم از طریق افزایش توانمندی‌های فناوری و نوآوری در کشور و ارتقای «نظام ملی نوآوری» و تکمیل مؤلفه‌ها و حلقه‌های آن ایجاد شده است. در ایجاد این نهاد اهداف دیگری همچون توسعه «اقتصاد دانش‌بنیان» از طریق هماهنگی و هم‌افزایی بین‌بخشی و بین‌دستگاهی، ارتقای ارتباط «دانش» با «صنعت» و «جامعه»، تسهیل تبادلات بین بخش‌های عرضه و تقاضای فناوری و نوآوری و تجاری‌سازی دستاوردهای فناوری و نوآوری و توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان نیز مد نظر بوده است. علاوه بر موارد مذکور برای این معاونت اهدافی چون توسعه فناوری‌های راهبردی و اولویت‌دار ملی مصرح در نقشه جامع علمی کشور و اعتلای ارتباطات بین‌المللی علمی، فناوری و نوآوری و توسعه دیپلماسی علمی و فناوری نیز تعیین شده است. در راستای تحقق اهداف فوق و پاسخگویی به نیازهای جامعه وظایف متعددی برای این معاونت در نظر گرفته شده است. از جمله مهمترین این وظایف در سطح کلان می‌توان به برنامه‌ریزی، هماهنگی بین بخشی و هم‌افزایی در «نظام ملی نوآوری» و بین برنامه‌های توسعه و سیاست‌های کلان توسعه علم و فناوری کشور اشاره کرد. در کنار این وظایف کلان، وظایف دیگری نیز با محوریت حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان و به طور کل تقویت پایه‌های اقتصاد دانش‌بنیان در نظر گرفته شده که در برگیرنده مواردی چون، توسعه فناوری، تقویت فرآیند تجاری‌سازی و حمایت از موسسات و شرکت‌های دانش‌بنیان و شرکت‌های طراحی مهندسی، حمایت از گسترش فعالیت تحقیق و توسعه در کشور و ارتقای توان «مدیریت فناوری» در شرکت‌های دانش‌بنیان، ارتقای کارآفرینی فناورانه و بهبود فضای کسب و کار دانش‌بنیان و هدایت سرمایه‌های کشور جهت تولید کالاها و خدمات دانش‌بنیان، توسعه ساز و کارهای سرمایه‌گذاری خطرپذیر و تأمین مالی لازم در اقتصاد دانش‌بنیان، حمایت از ایجاد و توانمندسازی تشکل‌های خصوصی در زمینه تولید و توسعه صادرات کالاها و خدمات دانش‌بنیان، تحریک تقاضا، بازارسازی و تضمین بازار برای تولیدات داخلی و بازاریابی و صادرات کالاها و خدمات دانش‌بنیان و ... است.

حمایت‌های مورد نظر برای این چالش

حمایت‌های معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان

- کمک به تهیه و تنظیم نقشه راه طراحی، ساخت، برنامه کاری و زمانی آزمون (آزمایشگاهی، کارگاهی و میدانی) و ارائه خدمات فنی و مهندسی به شرکت‌های تابعه.
- مشاوره به تیم‌های برتر از طریق معرفی افراد با تجربه جهت پیشبرد اهداف پروژه.
- حمایت از فرآیند شتاب‌دهی تیم‌های برتر، توسعه فناوران و شرکت‌های زایشی دانش‌بنیان جهت ساخت Mini LNG.
- تسهیل در اخذ مجوز پروژه ساخت Mini LNG از شورای راهبری فناوری‌ها و تولیدات دانش بنیان.
- همکاری در توسعه فناوری‌های پیشنهادی در زمینه ساخت Mini LNG ، با استفاده از کلیه ظرفیت‌های قانونی موجود نظیر عدم الزام به انجام تشریفات قانون برگزاری مناقصات برای تولید بار اول اقلام فناورانه و راهبردی در معامله با شرکت‌های دانش بنیان.
- فراهم‌سازی شرایط استفاده از تسهیلات ویژه گمرگی شرکت‌های دانش بنیان جهت تسریع و تسهیل واردات برخی از اقلام کلیدی با هدف کاهش ریسک اجرای فعالیت‌های پروژه.
- ایجاد زیرساخت‌های مورد نیاز آزمون‌های آزمایشگاهی، کارگاهی و میدانی Mini LNG .
- تامین منابع مالی مورد نیاز طراحی، ساخت و اجرای آزمون‌های میدانی.
- حمایت در قالب تحقیق و توسعه از محل هزینه قطعی شده مالیات شرکت‌ها و تسهیلات کم بهره.
- حمایت مالی در قالب ارائه تسهیلات تا سقف ۶۰۰ میلیارد ریال.
- بلا عوض شدن تا سقف ۲۰۰ میلیارد ریال از تسهیلات به عنوان حمایت از شرکت فناور در صورت موفقیت و توسعه بازار طرح.
- ایجاد ساز و کار صدور ضمانت‌نامه، تسهیل و تسریع در فرآیندهای بانکی و اعطای تسهیلات از طریق صندوق‌ها با رعایت ضوابط و قوانین جاری معاونت.

حمایت‌های شرکت ملی نفت ایران

- همکاری در فرآیند شناسایی طرح‌های حائز صلاحیت به منظور تشکیل کنسرسیوم و پیشنهاد آنها به معاونت.
- همکاری و مشاوره در شناسایی زنجیره تامین داخلی و خارجی اقلام وارداتی پروژه.
- صدور مجوزهای لازم و در صورت امکان تامین زیرساخت های فیزیکی و قانونی مرتبط با وزارت نفت برای انجام طرح‌های فناورانه
- تخصیص منابع مالی جهت حمایت از طرح های فناورانه تعریف شده
- همکاری در مراحل تدوین استانداردها و دستورالعمل‌های مورد نیاز در مراحل طراحی و ساخت و انجام آزمون‌های عملکردی Mini LNG.
- همکاری و تسهیل‌گری در مراحل اعطای تسهیلات مصوب وزارت نفت از محل بودجه بند (الف) تبصره ۱۸ جهت ساخت Mini LNG.
- تضمین دریافت خدمات و خرید Mini LNG بر اساس مفاد موافقت‌نامه (به مدت ده سال پس از موفقیت در آزمون‌های میدانی).
- در صورت نیاز سرمایه گذاری در شرکت های دانش بنیان مرتبط با استفاده از ظرفیت های موجود در صندوق پژوهش و فناوری غیردولتی نفت

تعهدات و حمایت‌های مشترک

- ❖ حفظ و عدم انتشار دانش فنی مستخرج براساس دستورالعمل حقوق مالکیت فکری صنعت نفت.
- ❖ حمایت از شناسایی و به کارگیری شرکت‌های ذیصلاح و توانمند مرتبط با موضوع ساخت Mini LNG در قالب برگزاری نشست‌های تخصصی و رویدادهای فناورانه.
- ❖ همکاری و مشارکت در برگزاری نشست‌های تخصصی به منظور شکست فعالیت‌های پروژه و تهیه و تنظیم برنامه کاری و زمانی اقلام قابل تحویل Mini LNG.

منابع

[1] Remeljej, C.W. and Hoadley, A.F.A., 2006. An exergy analysis of small-scale liquefied natural gas (LNG) liquefaction processes. Energy, 31(12), pp.2005-2019.

[2] Fisher and Khakoo., 2002. Plate – Fin Heat Exchanger – An Ideal Platform for ال‌ان‌جی for Process Innovation

[3] BP Energy Outlook, 2016 Edition.

[4] John A. Sheffield and John M Campbell,.2005. “Off-Shore LNG Production How to make it happen” GPA Europ Annual Conference.

[5] Mokhatab, S., Mak, J., Valappil, J., & Wood, D. A. (2013). Handbook of liquefied natural gas. Gulf Professional Publishing.

[6] Zhang, J., Meerman, H., Benders, R., & Faaij, A. (2020). Comprehensive review of current natural gas liquefaction processes on technical and economic performance. Applied Thermal Engineering, 166, 114736.

[7] Lim, W., Choi, K., & Moon, I. (2013). Current status and perspectives of liquefied natural gas (ال‌ان‌جی) plant design. Industrial & engineering chemistry research, 52(9), 3065-3088.

[8]https://www.linde-engineering.com/en/images/Coil-wound-heat-exchangers_tcm19-407186.pdf

[9]https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/power-and-heat-generation/turbo-expanders-2013

[10] Michelle Michot Foss,ال‌ان‌جی " safety and security", Center for Energy Economics, 2003

[11https://insulation.org/io/articles/insulation-liquefied-natural-gas-in-production-and-storage/#:~:text=The%20sidewalls%20of%20LNG%20containment,of%20high%2Ddensity%20cellular%20glass

[12] https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2017/small-going-big.html

مراحل و زمان بندی شرکت در چالش

ثبت نام و ارسال طرح

در این مرحله شرکت‌کنندگان و فناوران فرصت دارند تا **۳۱ خردادماه ۱۴۰۲** با مراجعه به سایت چالش، اقدام به ارسال طرح پیشنهادی در قالب فرم مورد نظر کنند.

غربالگری و داوری مرحله اول

در این مرحله طرح‌های ارسال شده مورد غربالگری و داوری توسط داوران متخصص قرار می‌گیرند.

حمایت از ساخت نمونه

پس از داوری اولیه از تیم‌های برتر جهت ساخت نمونه محصول حمایت می‌شود.

تولید نمونه محصول

تیم‌های برتر بر اساس یک برنامه زمان‌بندی مشخص و مطابق با شاخص‌ها و الزامات تعریف شده اقدام به تولید نمونه محصول می‌کنند.

داوری فنی نمونه‌های ساخته شده

نمونه محصولات تولید شده توسط کارشناسان و متقاضیان، بر اساس شاخص‌ها و الزامات تعیین شده ارزیابی خواهند شد.

معرفی به متقاضیان

تیم برتر بر اساس نظر کارشناسان، تعیین شده و فرآیند معرفی به متقاضیان جهت همکاری و تولید صنعتی محصول تسهیل می‌گردد.

نحوه مشارکت در چالش

طرح‌های پیشنهادی خود را تا تاریخ ۳۱ خردادماه ۱۴۰۲ از طریق سایت innoten.ir ارسال نمایید.
با مراجعه به سایت، فرم ثبت نام را تکمیل نمایید.

در صورت تایید طرح شما در غربالگری اولیه، جهت آماده‌سازی مقدمات لازم و هماهنگی جهت ساخت نمونه محصول از شما دعوت خواهد شد.

۰۲۱۶۵۰۱۳۰۴۰

www.innoten.ir

info@innoten.ir