تحلیل فنی و کاربردی واحدهای قابل‌حمل LNG در کشور

احمد قضاتلو[1*]، نیلوفر فتوره‌چی[1]، مهران سرمد[1]، منصوره بصیرت[2]

۱. ایران، تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، کدپستی ۷۳۱-۵۶۶۴۱

۲. ایران، تهران، شرکت ملی گاز ایران، مدیریت پژوهش و فناوری، کدپستی ۳۳۵۴-۵۷۸۵۱

نویسندهٔ مسئول ایمیل: ghozatlooa@ripi.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰

چکیده

زنجیرهٔ فعالیت واحدهای قابل‌حمل LNG شامل تصفیه، مایع‌سازی و ذخیره‌سازی آن است و فعالیت خرده‌فروشی آن عبارت است از مصرف مقادیری کم LNG، بر اساس درخواست و نیاز مصرف‌کنندهٔ نهایی، مانند بخش حمل‌ونقل، نیروگاهی و گرمایشی. ویژگی‌های واحدهای قابل‌حمل LNG با واحدهای مقیاس بزرگ متفاوت است و مشتریان خاص خود را می‌طلبد تا از نظر اقتصادی کارا باشد. جذابیت خوراک‌رسانی به این واحدها که می‌تواند مزایای اقتصادی خوبی به‌دنبال داشته باشد و وجود مزایای متعدد و حوزه‌های متنوع کاربردیِ این واحدها، منجر شده است تا در بازار گاز جایگاه پیدا کند و آیندهٔ روشنی داشته باشد. همین موضوع جذابیت آن‌ها را در بازار داخلی کشور و تأمین اهداف استراتژیک مختلف را بیشتر کرده است؛ از جمله عدالت اجتماعی، اقتصاد مقاومتی، مقابله با تحریم‌ها، تأمین مسائل زیست‌محیطی، سودآوری و تقویت صنایع مرتبط. در این مقاله به بررسی ابعاد کمی و کیفی آن پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: واحد قابل‌حمل LNG، مایع‌سازی، گازهای دورافتاده، فلر، جایگاه‌های سوخت‌رسانی.

۱. مقدمه

بدو تجارت LNG در ترین‌های مقیاس کوچک با ظرفیت تا ۲ میلیون تن در سال مرسوم بود؛ ولی با توسعهٔ تکنولوژی و توجیه اقتصادی طرح‌ها، تولید LNG در واحدهای کوچک‌تر، جذاب‌تر و بعضاً کاربردی‌تر جلوه می‌دهد و درنتیجه با شتاب بیشتری در حال گسترش است. از طرف اتحادیهٔ بین‌المللی گاز (IGU) ظرفیت مایع‌سازی گاز از ۲/۵ تا ۷/۵ میلیون تن در سال برای واحدهای مقیاس بزرگ و ظرفیت‌های کمتر از ۰/۵ میلیون تن در سال (۱۵۰۰ تن در روز) برای واحدهای کوچک LNG و ظرفیت‌های کمتر از ۱۵۰ تن در روز برای واحدهای میکرو LNG تعریف شده است. همچنین واحدهای نانومقیاس[1] که بعضاً از آن‌ها به‌عنوان واحدهای قابل‌حمل[2] یا واحدهای کانتینری[3] LNG نیز یاد می‌شود، دارای ظرفیت ۱۵ تن در روز هستند [۱]. یک واحد قابل‌حمل LNG به‌طور معمول شامل ۱۰ کانتینر با وزن تقریبی ۳ تن برای هر کانتینر در سه بخش اصلی خالص‌سازی خوراک، مایع‌سازی گاز و ذخیرهٔ LNG است. این کانتینرها به‌راحتی با کشتی و سپس کامیون به محل مدنظر ارسال می‌شوند. (جدول ۱) به بیان نام هریک از این کانتینرها و ابعاد تقریبی آن‌ها می‌پردازد. در صورت استفاده از این آرایش برای جایگاه سوخت‌رسانی LNG به دو کانتینر اضافه نیاز است [۲].

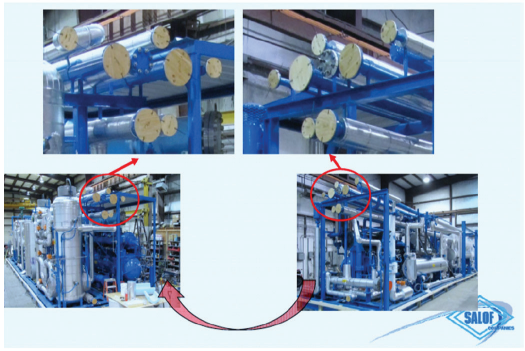
1. Nano Scale

2. Skid Mounted LNG
3. ISO Container

جدول ۱: جزئیات کانتینرهای واحد قابل‌حمل LNG به‌همراه جایگاه سوخت LNG

واحد اصلی	No	کانتینر و عملکرد	ابعاد (ارتفاع× طول × عرض)
خالص سازی خوراک	1	Feed Pressure Booster Unit	2.4×6.0×2.9 m
	2	MR and MDEA Storage Unit	2.4×6.0×2.9 m
	3	MDEA Decarburization Unit	2.4×2.4×8.0 m
	4	Molecular Sieve Dehydration Unit	2.4×6.0×2.9 m
مایع سازی گاز	5	Liquefaction Cold Box Unit	2.4×2.4×8.0 m
	6	Refrigerant Compressor Unit	2.4×2.4×8.0 m
ذخیره LNG	7	LNG Storage Tank Unit	2.4×8.0×2.9 m
	8	PSA N2 and Instrument Air Unit	2.4×6.0×2.9 m
	9	DCS Control Unit	2.4×6.0×2.9 m
	10	Electric Control Unit	2.4×6.0×2.9 m
جایگاه سوخت	11	LNGV Feeling and Metering Unit	2.4×6.0×2.9 m
	12	Station Control Unit	2.4×6.0×2.9 m

مطابق (جدول ۱) مشاهده می‌شود که عرض کانتینرها با یکدیگر یکسان است و در نتیجه اتصالات در مقطع عرضی صورت می‌پذیرد. همچنین دو کانتینر مربوط به عملیات سوخت‌رسانی دارای ابعاد یکسان هستند و در کمترین فضا قابلیت عرضهٔ سوخت را دارند. این کانتینرها پس از انتقال بدون نیاز به بتن‌ریزی و تنها با اتصالات موقتی و فلنج و بدون عملیات جوشکاری مطابق (شکل ۱) به یکدیگر متصل می‌شوند و به‌راحتی در مدار تولید قرار می‌گیرند [۳].



شکل ۱. نحوهٔ اتصال فلنجی کانتینرها به یکدیگر

چنانچه این واحد نیاز به بخش تصفیهٔ گاز نداشته باشد، هزینهٔ سرمایه‌گذاری معادل ۹۰۰ دلار برای هر تن و برای حالتی که به تصفیهٔ گاز نیاز باشد، ۱۰۰۰ دلار در تن خواهد بود [۳]. به‌طور معمول منبع تأمین گاز واحدهای قابل‌حمل LNG می‌تواند از طریق گاز مخازن کوچک و مخازن حبس‌شده، گازهای فلر (عمدهٔ منبع خوراک در جهان)، بایوگازها، متان متصاعدشده از مخازن زغال‌سنگ و البته گاز خط لوله است. خوراک این واحدها باید عاری از آب باشد که در مرحلهٔ تمیزسازی و توسط مولکولارسیوهای جاذب انجام می‌شود. همچنین مقدار CO_2 و ترکیبات گوگردی آن ناچیز باشد تا بتوان آن را به واحد مایع‌سازی ارسال کرد.

۲. مزایا و کاربرد واحدهای قابل‌حمل LNG

واحدهای قابل‌حمل LNG کارا و باصرفه هستند؛ چراکه اندازهٔ کوچک آن‌ها امکان تولید LNG را نزدیک به مناطق مورد نیاز فراهم می‌کند و این نزدیکی، کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و قیمت LNG را به‌دنبال دارد. علاوه بر آن، از خروج گازهای گلخانه‌ای در طول انتقال و جابه‌جایی‌های طولانی نیز جلوگیری می‌شود. از دیگر مزایای این واحدها می‌توان به کنترل و بالانس گاز طبیعی موردنیاز در طول دوره‌های کوتاه و بلند مصرف و همچنین امکان بهره‌مندی از گاز طبیعی برای مناطق دور از خطوط انتقال گاز با احداث ایستگاه‌های محلی توزیع گازی که از منابع LNG ذخیره‌شده تغذیه می‌شوند، اشاره کرد. همچنین مزایای دیگر این واحدها شامل موارد زیر است:

- زمان بسیار کوتاه در ساخت تجهیزات و اسمبل‌کردن آن‌ها در کانتینرهای مربوطه؛
- نیاز به فضای بسیار کم (۱۵۰۰ متر مربع)؛
- نیاز کمتر به امکانات زیرساختی اولیه؛
- یک واحد ازپیش‌ساخته‌شده با نصب سریع و آسان؛
- اجرای سریع و راحت (نصب اولیه در دو هفته) راه‌اندازی تا تولید (دو هفته)؛
- قابلیت حمل مجدد و انعطاف در شرایط مختلف عملیاتی؛
- امکان کنترل واحد از راه دور؛
- نیاز به حداقل پرسنل (دو تا سه نفر اپراتور)؛
- امکان خنک‌شدن کمپرسورها و ژنراتورها با هوای محیط، در صورت دسترسی‌نداشتن به منبع آب کافی؛
- نگهداری آسان (قطعات یدکی کمپرسور هر ۵۰۰۰ ساعت کارکرد نیاز به تعویض دارد)؛
- تعویض دیرتر مولکولارسیوها بر اساس نوع خوراک دریافتی (دو تا سه سال یک بار)؛
- کاهش هزینه‌های عملیات، تولید و نگهداری؛
- هزینهٔ سرمایه‌گذاری بسیار کمتر.

هزینهٔ سرمایه‌گذاری برای واحدهای قابل‌حمل LNG مسلماً کمتر است؛ اما اگر آن‌ها را از نظر میزان سرمایه به‌ازای هر تن ظرفیت (دلار/تن) با واحدهای مقیاس بزرگ مقایسه کنیم، لزوماً کمتر نیست. پس این واحدها از نظر صرفهٔ مقیاس، مناسب نیستند؛ اما از نظر سرعت و نیز به‌دلیل نیازنداشتن به برق مستقل و برخی از زیرساخت‌ها و تجهیزات خاص، ارجحیت دارند.

۳. تأمین خوراک واحدهای قابل‌حمل LNG

مایع‌سازی در مقیاس کوچک دلایل، می‌تواند اهداف یا انگیزه‌های مختلفی داشته باشد، مثلاً برای میدان‌های گازی کوچک در نقاط دوردست یا گازهای همراه نفت یا گاز فلر، ممکن است اقتصادی باشد و فاصله و زمان رسیدن گاز به بازار مصرف را کاهش دهد. تأمین خوراک واحدهای قابل‌حمل LNG، علاوه بر اینکه از طریق شبکهٔ انتقال گاز بسیار مرسوم و محتمل است، می‌تواند از مبادی مختلف دیگر هم انجام شود. در ادامه به بیان این مبادی، بر اساس دلایل مختلف انتخاب آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱.۳. میادین گازی بسیار کوچک

از جمله کاربردهای واحدهای قابل‌حمل LNG برای گازهای دورافتاده‌ای است که امکان ارسال و دسترسی آن‌ها به شبکهٔ خط لولهٔ سراسری وجود ندارد [۴]؛ بنابراین بر اساس حجم گاز خروجی از این مخازن می‌توان واحدهای قابل‌حمل LNG را در محل نصب کرد. بر اساس پیش‌بینی‌های به‌عمل‌آمده ۴۰ تا ۶۰ درصد مخازن گازی اثبات‌شده در جهان در گروه میادین گازی بسیار کوچک یا دورافتاده قرار می‌گیرند که به‌دلیل نداشتن صرفهٔ اقتصادی برای ارسال گاز آن‌ها توسط راهکارهای معمول، توسعه نیافته‌اند. تعداد این مخازن حدود ۱۲۰۰ میدان گازی پراکنده در جهان است که اغلب متمرکز در خاورمیانه، آفریقا (تانزانیا و موزامبیک)، آمریکای جنوبی و سیبری شمالی هستند و در اندازه‌های مختلف‌اند. همچنین گازهای دورافتاده حدود ۱۵ تا ۲۵درصد گاز مخازن در حال بهره‌برداری را تشکیل می‌دهند که عمدتاً در همان منطقه استفاده‌کردنی نیستند. (جدول ۲) به تخمین گازهای غیراقتصادی و توسعه‌نیافته در قالب گازهای همراه و گازهای دورافتاده می‌پردازد [۲].

جدول ۲: تخمین گازهای غیراقتصادی و توسعه‌نیافته

منبع	هزارمیلیارد مترمکعب	هزارمیلیارد فوت مکعب
گازهای همراه	۱۲	۴۲۳
میادین آب‌های عمیق	۸	۲۸۲
حوزه‌های ساحلی	۵	۱۴۱
حوزه‌های گازی دور از دسترس	۴۰-۲۴	۱۴۱۲-۸۴۷
مجموع	۶۵-۴۹	۲۲۵۸-۱۶۹۳

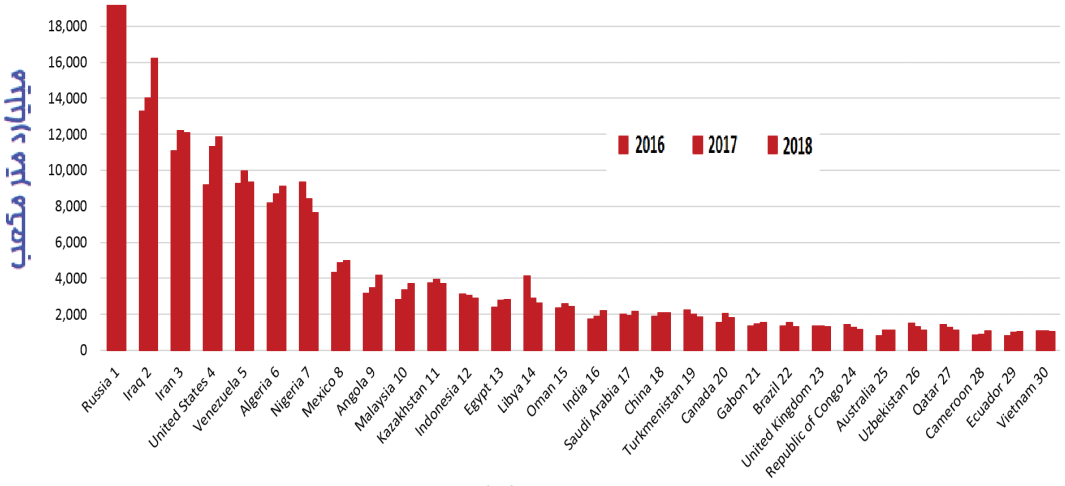
همانطور که در (جدول ۴) مشاهده می‌شود که تاکنون تا ۶۵ هزارمیلیارد مترمکعب انواع گازهای حبس‌شده در مخازن گازی جهان تخمین زده شده است که به‌لحاظ نبود امکان اقتصادی در انتقال این گازها پس از حفاری، کمتر مورد توجه و سرمایه‌گذاری قرار گرفته است؛ در حالی که با توسعهٔ تکنولوژی‌های نوین، واحدهای قابل‌حمل LNG یکی از راهکارهای بسیار مناسب برای این منظور است. از این مقدار حدود ۳۱هزارمیلیارد مترمکعب در مخازن گازی دریایی محبوس شده‌اند که انتقال آن‌ها به‌مراتب دشوارتر از انتقال گاز در مخازن خشکی است [۵]. حداقل ۳۰۰هزارمیلیارد فوت مکعب (۸/۵ هزارمیلیارد مترمکعب) گاز همراه از مخازن نفتی و گازی واقع در دریا تولید می‌شود که در کنار ۱۱۰۰هزارمیلیارد فوت مکعب گاز (۳۱هزارمیلیارد مترمکعب) موجود در مخازن حبس‌شده در اقصانقاط جهان، پتانسیل عظیمی را در به‌کارگیری این گازها و مدیریت انتقال آن ایجاد می‌کند [۶]. همچنین (شکل ۲) مکان مخازن گازی محبوس را از نظر جغرافیایی نشان می‌دهد.

شکل ۲. مکان جغرافیایی مخازن گازی محبوس

با توجه به (شکل ۲) مشاهده می‌شود در مناطقی که مخازن گازی محبوس در جهان تجمع بیشتری داشته‌اند، فرصت‌های خوبی برای توسعه و کاربرد واحدهای قابل‌حمل LNG فراهم است؛ به‌عنوان مثال در جنوب شرقی آسیا که بیشترین تمرکز در مخازن گازی محبوس را دارد، واحدهای قابل‌حمل LNG نیز در آن مناطق بیشتر نصب شده است. واحدهای قابل‌حمل LNG اغلب برای انتقال گاز استحصالی از میادین کوچک گازی‌ای احداث می‌شوند که دارای مصارف داخلی و منطقه‌ای کوچک، مانند بخش نیروگاهی باشند؛ به‌عنوان مثال از سال ۲۰۰۴ میدان گازی DongHae-1 در کرهٔ جنوبی با تولید ۵/۲ میلیارد مترمکعب یک واحد قابل‌حمل LNG را در خود مستقر کرده است و به‌طور متوسط روزانه ۹۰۰ تن LNG تولید می‌کند.

۲.۳. گازهای فلر

بر اساس الگوی ذخایر گازی، اروپا و خاورمیانه استعداد کافی را در جذب واحدهای قابل‌حمل LNG دارند. در چین واحد WSCE MiniLNG-1 مستقر در شهر Wuhai با ظرفیت تولید روزانه ۷/۵ تن LNG وجود دارد که خوراک آن به‌میزان ۳۵۰هزار فوت مکعب از گاز فلر تأمین می‌شود. با توجه به میزان فلرینگ گاز در میادین کوچک نیجریه، اندونزی و عراق، واحدهای قابل‌حمل LNG می‌تواند جایگاه مناسبی داشته باشد. بازار نیجریه و عراق در بازار LNG شباهت‌های زیادی با یکدیگر دارند، با توجه به محدودیت‌های مسائل امنیتی، انتقال محصول سرمایه‌گذاری در بخش واحدهای بزرگ LNG ریسک زیادی دارد و احتمال عرضهٔ واحدهای قابل‌حمل LNG بیش از پیش خواهد بود. (شکل ۳) به مقایسهٔ میزان فلرکردن گازهای همراه در سی کشور عمدهٔ جهان می‌پردازد [۷].



شکل ۳. کشورهای عمدهٔ فلرینگ گازهای همراه–۲۰۱۸

مطابق (شکل۳) مشاهده می‌شود، روسیه، عراق و ایران بیشترین سهم را در خاورمیانه در فلرکردن گازهای همراه دارند؛ به‌طوری که سهم ایران معادل سهم ایالات متحده است و این کشورها از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ روندی صعودی را در فلرینگ در پیش گرفته‌اند؛ لذا هیچ برنامهٔ مدونی در این حوزه و مخصوصاً در کنترل آلایندگی هوا ندارند؛ در نتیجه می‌توانند به‌عنوان یک بازار هدف بسیار قوی برای واحدهای قابل‌حمل LNG محسوب شوند [۷]. مطابق (شکل۳) در سال ۲۰۱۷، میزان فلرینگ بالغ بر ۱۴۱میلیارد مترمکعب بود و در سال ۲۰۱۸ کمی کاهش یافت و به مرز ۱۳۸میلیارد مترمکعب رسید که بخشی از این کاهش میزان فلرینگ، توسعهٔ تکنولوژی‌های نوین از جمله به‌کارگیری واحدهای LNG مستقر در میادین نفتی و گازی است. در این بین، ایران تنها کشوری است که میزان فلرینگ آن حتی نسبت به سال ۲۰۱۳ افزایش داشته است و این موضوع لزوم کنترل فلرینگ را در میادین ایران ضروری می‌کند. از طرفی نیجریه و لیبی کاهش بسیار محسوسی داشته‌اند، به‌ترتیب در حد ۱۸درصد و ۲۶درصد [۷]. (جدول۳) میادین گازی کشور را معرفی می‌کند که دارای میزان فلرینگ زیاد هستند و برای خوراک‌دهی به واحدهای قابل‌حمل LNG مناسب‌اند.

جدول ۳. میزان فلرینگ در میادین نفتی و اصلی ایران

شرکت نفتی	حوزهٔ نفتی	گاز فلر (هزار مترمکعب روزانه)
اروندان	دارخوین	۲۵۴
	یادآوران	۱۸۴۱
	آزادگان	۶۷۹
مناطق مرکزی	نفت‌شهر و سومار ۲	۸۱
فلات قاره	فروزان ۱	۵۳۵۰
	فروزان ۲	۲۵۴
	درود ۱	۱۳۸
	درود ۲	۳۲۲
	درود ۳	۲۵۷
	ابوذر ۱	۵۵۵
	رسالت	۱۱۰
	بهرگانسر	۳۷۳
	هندیجان	۲۲۶
	سلمان ۱	۲۴۳۰
مناطق نفت‌خیز جنوب	بی‌بی حکیمه	۶۲۳
	رگ سفید ۲	۵۶۶
	مارون ۳	۴۲۵
	گچساران ۱	۳۴۰

۴. کاربرد محصول واحدهای قابل‌حمل LNG

توسعهٔ پایدار وسایط نقلیهٔ سبک با سوخت گاز مایع موقعیت ویژه‌ای را برای بازار محصول این واحدها ایجاد کرده است [۴]؛ از این رو امروزه بسیاری از شرکت‌ها به‌سمت مایع‌سازی در مقیاس نانو و خرده‌فروشی محصول آن روی آورده‌اند. کاربرد LNG تولیدی این واحدها به‌طور کلی به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شود [۸]:

۱. سوخت‌رسانی به سوخت جایگاه‌های سیار (جایگاه‌های غیرمتصل به شبکهٔ سوخت‌رسانی)؛
۲. جایگاه‌های سوخت‌رسانی ترکیبی شامل عرضهٔ CNG/LNG؛
۳. ایجاد و تأمین شبکهٔ گازرسانی کوچک برای روستاها و مناطق خاص؛
۴. تزریق به واحدهای گاز مجدد برای گازرسانی منطقه‌ای و پیک‌سایی در اوج مصرف.

محصول LNG این واحدها جایگاه خود را به‌عنوان سوخت اتومبیل‌ها و ماشین‌آلات در اروپا، آمریکا و به‌ویژه چین باز کرده‌اند. به‌علاوه LNG تولیدی این واحدها می‌تواند با تریلی‌های مخصوص برای تغذیهٔ ایستگاه‌های CNG یا ارسال گاز به روستاهای دور از خط انتقال گاز حمل شود. باید توجه داشت عرضهٔ این سوخت در جایگاه‌های سوخت‌رسانی زمانی جذابیت پیدا می‌کند که قیمت گاز با قیمت سوخت‌های مرسوم چون بنزین و گازوئیل رقابت‌پذیر باشد یا مسائل زیست‌محیطی قواعد محدودکننده‌ای را ایجاد کرده باشد. به‌عنوان مثال در آمریکا هزینهٔ LNG حدود ۱/۵ تا ۲ دلار در هر گالن ارزان‌تر از گازوئیل است؛ ضمن اینکه نسبت به گازوئیل سوخت پاک‌تری است [۹]. برگشت سرمایه‌گذاری در احداث جایگاه‌های سوخت LNG نسبت به جایگاه سوخت گازوئیل حدود ۱/۵ سال است [۹]. شایان ذکر است که اختلاط LNG با CNG قابلیتی را ایجاد می‌کند تا سوخت‌رسانی در محدودهٔ وسیعی از وسایط نقلیه پوشش داده شود. (شکل ۴) نمایی از یک جایگاه سوخت LNG را نشان می‌دهد.

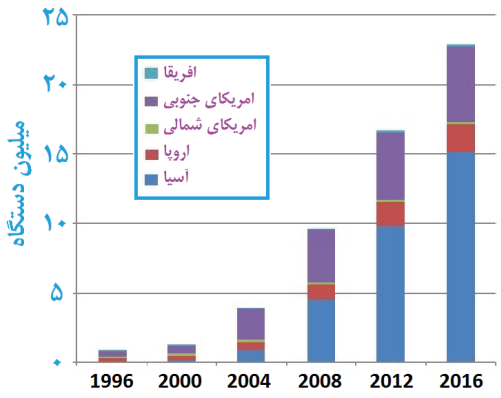
شکل ۴. نمایی از یک جایگاه سوخت LNG

در گروه عرضهٔ سوخت جایگاهی موارد ذیل بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد:

- لوکوموتیوهای ریلی برون‌شهری؛
- وسایل نقلیهٔ برون‌جاده‌ای و اتوبوس‌های عمومی؛
- کامیون‌های سنگین‌بر، بهداشتی، فرودگاهی و تانکرها؛
- ماشین‌آلات راه‌سازی، معدن‌کاری؛
- کشتی‌های کوچک، کشتی‌های مسافربر، تفریحی، بارج‌ها؛
- شناورهای نظامی و قایق‌های گشت‌زن.

در آمریکای شمالی بر اساس قیمت‌های فعلی سوخت، هزینهٔ تبدیل تجهیز تریلرهای کانتینربر (long-haul trucks) از سوخت دیزل به LNG می‌تواند در مدت سه سال بازگشت‌پذیر شود. مخزن LNG در این‌گونه تریلرها حجمی معادل ۱۳۰ تا ۲۸۰ کیلوگرم را دارد؛ بنابراین یک ایستگاه Skid LNG با ظرفیت ۱۰هزار گالن در روز می‌تواند روزانه بالغ بر ۱۰۰ تریلر را سوخت‌رسانی کند [۱۰].

در سال ۲۰۱۸، از کل ماشین‌آلات سنگین حمل‌ونقل به‌فروش‌رفته در چین، آن‌ها که سوخت LNG مصرف می‌کنند، سهمی حدود ۹/۳درصد داشته‌اند. در استان Chongqing چین ۸۵درصد تاکسی‌ها و ۹۲درصد اتوبوس‌ها موتور LNGسوز دارند. در استان‌های Shanghai, Chengdu, Xi'an, Xinjiang و Hebei چین بالغ بر ۹۰درصد وسایل نقلیهٔ عمومی از سوخت LNG استفاده می‌کنند [۱۱]. در چین بیشتر شرکت‌های دولتی‌ای که به شبکهٔ گاز دسترسی دارند، در این زمینه فعال هستند؛ به‌ویژه شرکت Kunlun که از زیرمجموعه‌های پتروچاینا‌ست. پس از چین، ایالات متحده قرار دارد. در نیمی از ایستگاه‌های سوخت‌گیری کالیفرنیا که قوانین زیست‌محیطی سخت‌گیرانه‌تری دارد، LNG دیده می‌شود. همچنین کالیفرنیا دارای شبکهٔ توزیع LNG است و اغلب وسایل نقلیهٔ سنگین از این سوخت استفاده می‌کنند. استرالیا نیز از حدود ده سال پیش وارد این حوزه شده و چند واحد کوچک مایع‌سازی احداث کرده است و LNG را برای نیروگاه‌های دوردست و ماشین‌آلات سنگین راه‌سازی و معدن حمل استفاده می‌کند. (شکل ۵) به بیان آمار وسایل نقلیهٔ گازسوز در جهان در طول سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ می‌پردازد [۱۲].



شکل ۵: تعداد وسایل نقلیهٔ گازسوز در مناطق مختلف جهان

با توجه به (شکل ۵) ملاحظه می‌شود که نرخ رشد خودروهای گازسوز در جهان با ضریب ۲۴/۲درصد در حال افزایش است؛ به‌طوری که در سال ۲۰۱۲ از ۱۶میلیون خودروی گازسوز به ۲۳میلیون در سال ۲۰۱۶ رسیده است. در این بین، ایران در صدر کشورهایی قرار دارد که از وسایل نقلیهٔ گازسوز استفاده می‌کند و جایگاه ویژه‌ای در سوخت‌رسانی گاز به خودروها دارد. همسایهٔ مرزی آن، پاکستان نیز در رتبهٔ بعدی قرار دارد. با توجه به اولویت‌های استفاده از LNG به‌جای CNG می‌توان اذعان داشت که این کشورها پتانسیل زیادی برای عرضهٔ LNG به صنایع حمل‌ونقل خود دارند. همچنین بهره‌مندی از شبکهٔ توزیع CNG در این کشورها ایدهٔ عرضهٔ سوخت LNG/CNG می‌تواند زمینه‌های لازم را در اختیار قرار دهد. یکی از کاربردهای تبدیل گازهای دورافتاده به LNG، استفاده از LNG تولیدشده به‌عنوان سوخت در واحد تولید برق تجهیزات حفاری است، به‌عنوان مثال در ایالت داکوتای شمالی آمریکا یک واحد قابل‌حمل LNG بر روی مخزن شیل گازی منطقهٔ باکن نصب شده است و گاز آن را تبدیل به سوخت تجهیزات حفاری می‌کند. مشابه این پروژه در میادین کوچک آرژانتین، کلمبیا، کانادا و استرالیا استفاده شده است [۱۳]. از طرفی اندونزی به‌دلیل جایگاه جغرافیایی خود قابلیت تأمین سوخت LNG را برای شناورها دارد؛ لذا محصول واحدهای Skid LNG در این حوزه کاربرد دارد.

۱.۴. کاربرد واحدهای قابل‌حمل LNG در کشور

استفاده از محصول واحدهای قابل‌حمل LNG در بازار داخلی کشور که اغلب به شبکهٔ سراسری گاز دسترسی دارد، می‌تواند به شرح موارد ذیل باشد:

۱. عرضهٔ گاز به روستاهای کوچک و مناطقی که هنوز به شبکهٔ انتقال سراسری گاز متصل نشده‌اند؛
۲. عرضهٔ گاز به مناطقی که تنها در مدت کوتاهی از سال (ماه‌های سرد) نیاز به گرمایش دارند؛
۳. تأمین گاز موردنیاز مشترکین گاز هنگام تعمیر شبکهٔ گاز و قطع موقت آن؛
۴. تأمین بخشی از گاز موردنیاز مشترکین، از گاز شبکهٔ سراسری؛
۵. عرضهٔ گاز مداوم به مشترکین بر اساس استقلال تأمین انرژی؛
۶. عرضه در جایگاه‌های سوخت خودروها.

۵. تحلیل بازار واحدهای قابل‌حمل LNG

بر اساس آمار منتشره از اتحادیهٔ بین‌المللی گاز، بازار واحدهای کوچک LNG حدود ۵درصد ظرفیت کل LNG تولیدی را تشکیل می‌دهد که حدود ۲۰میلیون تن در سال ۲۰۱۸ است. ساخت واحدهای مایع‌سازی برای تولید LNG برای مصارف حمل‌ونقل و جایگزین‌کردن آن به‌جای گازوئیل، به‌ویژه در ماشین‌آلات سنگین، در کشورهای چین و آمریکا با شتاب، در حال توسعه است و این می‌تواند به کشورهایی که حجم گستردهٔ حمل‌ونقل زمینی دارند، گسترش یابد تا از این طریق نیز میزان مصرف گازوئیل و انتشار آلاینده‌های خود را کاهش دهند. در سال ۲۰۱۸ چین با ظرفیت تولید حدود ۹میلیون تن در قالب ۶۰۰ واحد قابل‌حمل LNG بزرگ‌ترین تولیدکنندهٔ LNG توسط واحدهای ظرفیت کوچک در جهان است. واحدهای قابل‌حمل LNG در شهرهای مختلف چین با ظرفیت متوسط ۱۵ تن در روز در حال فعالیت‌اند که واحدهای Xinjiang Borli Energy و Bayanzouer Huayou Gas و Lanzhou Kunlun Gas نمونه‌هایی از این موارد هستند. در چین این جایگزینی رشد وسیعی داشته است؛ به‌طوری که در سال ۲۰۱۲ بیش از ۴۰۰ ایستگاه سوخت‌گیری وجود داشته و در سال ۲۰۱۵ به ۱۶۰۰ ایستگاه و در سال ۲۰۱۸ به ۴۲۰۰ ایستگاه افزایش یافته است. در چین بیشتر شرکت‌های دولتی که دسترسی به شبکهٔ گاز دارند، در این زمینه فعال هستند؛ به‌ویژه شرکت Kunlun که از زیرمجموعه‌های پتروچاینا‌ست، در این زمینه سرمایه‌گذاری‌های زیادی انجام داده است. علاوه بر اینکه شرکت‌های دیگر هم در این زمینه به‌عنوان یک فرصت سرمایه‌گذاری وارد شده‌اند و به آن توجه کرده‌اند.

کشورهای جزیره‌ای جنوب شرقی آسیا، هند، تایلند و کرهٔ جنوبی نیز برنامه‌هایی را برای توسعهٔ این صنعت برای تأمین سوخت جزایر خود در دست دارند و به‌تازگی شروع به احداث واحدهای قابل‌حمل LNG کرده‌اند و البته دولت و شرکت‌های

دولتـی در این زمینـه فعال شـده‌اند. تایلند و کـره هرکدام یک واحد مایع‌سـازی کوچک را سـاخته‌اند که محصول آن با تریلی بـرای مصرف‌کنندگان حمل می‌شـود. در هند ۱۸ تـا ۲۰ واحد صنعتـی، تجهیـزات ذخیره‌سـازی واحدهـای قابل‌حمل LNG و تبدیـل مجـدد بـه گاز را خریـداری کرده‌انـد و LNG را از ترمینال‌هـای مقیاس بـزرگ دریافت می‌کنند. پیش‌بینی شـده است ارزش تبادلات تجاری محصول واحدهای قابل‌حمل LNG در سـال ۲۰۲۱ به ۴۷میلیارد دلار برسـد. این بازار خوراک خود را عمدتـاً از گاز مخازن کوچـک دورافتاده و گازهای ارسـالی به فلـر موجود در میادین گازی بزرگ تأمیـن خواهد کرد و LNG تولیدی خود را در نیروگاه‌های برق مصرف می‌کند؛ بنابراین یکی از فاکتورهای مؤثر در توسـعهٔ بازار واحدهـای قابل‌حمل LNG جهان، توسعهٔ نیروگاه‌های برق است. دومین شاخص تأثیرگذار، اسـتفاده از سـوخت‌های پاک و ارزان‌قیمتی اسـت که بر اساس قوانین زیست‌محیطی در دو بخش حمل‌ونقل خشکی و دریا در مناطق کنترل انتشار، اغلب در حوزهٔ اروپاست. بخش دریایی آن از سـال ۲۰۲۰ شـروع به کار خواهد کرد. شاخص بعدی کاهش قیمـت جهانی گاز طبیعـی در مقابل نوسـانات قیمت نفت خام است. وجود نوسانات زیاد موجب ناپایداری بازار نفت می‌شود که در سـال‌های آتی مشـتریان با مصرف کـم را ترغیب می‌کند به واحدهای قابل‌حمل LNG بیشـتر تمایل پیدا کنند. آلایندگی زیاد دیزل و مازوت در صنایع مصرفی و نیروگاه‌ها موجب می‌شود که بازار آتی آن‌ها به‌سمت مصرف LNG سوق یابد؛ بنابراین اغلب واحدهای صنعتی کوچک و متوسط نیز مشتریان آتی واحدهای قابل‌حمـل LNG خواهنـد بود. بـا افزایش تولیـد گاز طبیعی و سهم بیشتر آن در سبد سوخت، تقاضا برای واحدهای قابل‌حمل LNG در پنج سال آتی افزایش می‌یابد و تا سال ۲۰۲۰ آسیای شـرقی و چین بزرگ‌تریـن متقاضیان این واحدهـا خواهند بود. امـروزه واحدهای قابل‌حمـل LNG در اقصانقاط جهان در حال فعالیت هسـتند. برخی آمارها حاکی از آن است که طی ده سال آینده واحدهای قابل‌حمل LNG در جهان رشـد ۱۰درصدی را تجربه خواهد کرد [۱۴]. شـرکت Energy World معتقد است در آینده کشـورهای آسیای شـرقی از جمله اندونزی، فیلیپین، سـریلانکا در کنار تقاضای فراوان کره، ژاپن و چین از متقاضیان LNG در جهان خواهند بـود و این مقدار، فراتر از ۱۲/۲میلیون تن در سـال است. حال برای ارائهٔ سـرویس در این منطقه هنوز راهکارهای کافی وجود ندارد و زنجیرهٔ ارزش این تکنولوژی اجرا نشده اسـت. در سال‌های اخیر توسعهٔ اکتشاف میادین گازی در جهان و بایوگازهای متصاعدشده از منابع مختلف، زمینهٔ توسعهٔ بـازار واحدهـای قابل‌حمـل LNG فراهم کـرده اسـت. در اروپا زیرساخت‌هایی برای سوخت‌گیری LNG، به‌ویژه در کشورهای اسپانیا، پرتقال، ایتالیا و سوئد به وجود آمده است و شرکت‌هایی کـه در زنجیرهٔ تولید گاز متان از بسـتر زغال‌سـنگ یا تولید گاز متان از بایوگاز (سـوخت بیولوژیک) فعال بوده‌اند، در این زمینه وارد شـده‌اند و این صنعت به یک فرصت سـرمایه‌گذاری تبدیل شـده اسـت. اتحادیهٔ اروپا نیز از گسـترش ترمینال‌های مقیاس کوچک حمایت می‌کند و ۱۰ تا ۲۰درصد از هزینهٔ ساخت آن‌ها را تخفیف می‌دهد. بر اسـاس منابع کوچـک گازی و بایوگازهای زغال‌سنگ، کمیته‌ای برای توسعهٔ بازار و ارائهٔ راهکار برای عرضهٔ پایدار محصول بازار تشکیل شـده است و از سال ۲۰۰۵ فعالیت می‌کنـد. کمیتـهٔ V CORE بـه توسـعهٔ واحدهـای قابل‌حمل LNG از منابع مختلف، شامل گاز خط لوله، گاز سرچاهی و گاز زغال‌سنگ در آسیا می‌پردازد. در ژاپن تعداد زیادی ترمینال‌های مقیاس کوچک تبدیل مجدد به گاز، در کنار ترمینال‌های بزرگ یـا در محـل ترمینال‌های قدیمی در حال سـاخت اسـت. حجم سرمایهٔ موردنیاز کمتر و سرعت ساخت، امکان سرمایه‌گذاری را سـهل‌تر می‌کند؛ خصوصاً انعطاف شبکهٔ گاز و قدرت مانور آن را افزایـش می‌دهد. در اندونزی نیز سـاخت تعـداد زیادی ترمینال دریافـت LNG و تبدیـل آن بـه گاز بـرای تأمیـن نیـاز جزایـر پراکنده‌ای که دسترسـی به خطوط لولهٔ گاز ندارند، برنامه‌ریزی شده است که به‌عهدهٔ شـرکت Bontang LNG است. تقاضای زیاد بـرای انـرژی، محدودیت‌های زیرسـاختی و هزینهٔ مطلوب LNG از عوامل اصلی توسـعهٔ تکنولوژی‌های LNG در آسیا در دههٔ اخیر است. به‌علاوه این عوامل در آمریکای شمالی نیز باعث ظهور بازارهای جدید شده است.

۶. شرکت‌های فعال واحدهای قابل‌حمل LNG

شرکت‌های فعال در زمینهٔ مایع‌سازی واحدهای قابل‌حمل LNG عبارت‌اند از:

1. Kerui	11. Cryostar
2. IEV GROUP	12. Siad Macchine Impianti
3. UOP-Black & Veatch	13. Expansion Energy
4. CNOOC	14. General Electric Oil & Gas
5. Stirling Cryogenics	15. Galileo Cryobox
6. Kosan Crisplant	16. Dresser - Rand
7. Chart	17. Chester
8. Jereh	18. Cryotec
9. Eajv	19. Wartsila
10. Cryonorm	20. LNG Global

در ادامه به معرفی اجمالی سه شرکت مهم‌تر و فعالیت‌های آن‌ها در حوزهٔ واحدهای قابل‌حمل LNG پرداخته می‌شود.

۱.۶. GE Oil & Gas از گروه هولدینگ GENERAL ELECTRIC

شرکت GE یکی از فعالان حوزهٔ واحدهای قابل‌حمل LNG است که با شعار نصب سریع و بهره‌برداری آنی اقدام به احداث و فروش واحدهای قابل‌حمل مایع‌سازی در ظرفیت‌های ۱۵ تا ۸۵ تن در روز می‌کند. اولین مصرف تجاری LNG تولیدشده از واحدهای کانتینری گروه هولدینگ GENERAL ELECTRIC در جایگاه‌های عرضهٔ سوخت گاز بود که در سال ۲۰۱۴ در مرز ایتالیا و اسلوانی نصب شد. این شرکت با ۴۰ سال تجربه در زمینهٔ تولید LNG و با نصب بیش از ۱۲۰ واحد بزرگ و کوچک در جهان، حدود ۷۰درصد ظرفیت مایع‌سازی جهان را به تأسیسات خود اختصاص داده است و آن را در جایگاه رهبر بازار LNG قرار داده است و در حال حاضر نیز ۱۶ واحد LNG در دست احداث دارد که ۱ واحد آن در کانادا، ۱۳ واحد در ایالات متحده و ۲ واحد نیز در آفریقا (نیجریه) راه‌اندازی خواهند شد [۱۰].

۲.۶. شرکت GALILEO

شرکت آرژانتینی گالیله، مبتکر و طراح واحدهای قابل‌حمل LNG است که با شعار «انرژی گاز در همهٔ حالت‌ها»، به ساخت و نصب این واحدها در سطح جهان می‌پردازد. واحدهای Cryobox این شرکت که گروه فناوری Galileo Technologies طراحی‌اش کرده است، به‌عنوان یک نمونهٔ کامل از واحدهای قابل‌حمل LNG است که قادر است مستقیماً در محل چاه استقرار یابد و گازهای همراه یا دورافتاده را به LNG تبدیل کند. ظرفیت این واحد ۱۵ تن در روز است. این واحد برای شروع عملیات با ظرفیت ۵۰درصد به ۱۵ دقیقه زمان و برای ظرفیت ۱۰۰درصد به ۳۰ دقیقه نیاز دارد و قادر است در طول یک روز بارها روشن و خاموش شود. همچنین می‌توان به‌طور هم‌زمان از چندین واحد تولید به‌صورت موازی برای تولید بیشتر استفاده کرد؛ به‌طوری که اگر از ۱۰ واحد موازی هم‌زمان استفاده شود، فضای موردنیاز این واحد ۲هزار مترمربع است؛ در حالی که یک واحد کوچک LNG با همین ظرفیت، فضای ۲۰هزار مترمربعی نیاز دارد. (شکل ۶) نمایی از یک مجموعهٔ ده‌واحدی را به‌همراه ابعاد تقریبی آن نشان می‌دهد.

با توجه به (شکل ۶) ملاحظه می‌شود که شرکت Galileo از روش جذب به‌عنوان تصفیهٔ خوراک استفاده کرده است و در نتیجه، توانسته از واحدهای موازی قابل‌حمل

شکل ۶. نمایی از یک مجموعهٔ ده‌واحدی به‌همراه ابعاد تقریبی آن

تا ۷ واحد را نصب و راه‌اندازی کند؛ در حالی که اگر از روش جذب آمین استفاده شود، حداکثر می‌توان تا ۲ واحد موازی قابل‌حمل استفاده کرد. بر اساس ادعای این شرکت، مهم‌ترین بازار آتی واحدهای قابل‌حمل LNG در جهان بحث استفادهٔ آن‌ها در سر چاه و جمع‌آوری گازهای همراه و تبدیل به LNG به‌منظور کاهش فلرینگ است [۳]. واحدهای قابل‌حمل LNG این امکان را فراهم می‌آورد، بدون نیاز به شبکهٔ خط لولهٔ انتقال یا صرف هزینهٔ سرمایه‌گذاری هنگفت، به‌راحتی وارد بازار پررونق LNG شد.

۳.۶. شرکت EAJV

شرکت کانادایی EAJV یک شرکت مهندسی، مشاوره‌ای و مدیریتی در حوزهٔ تبدیل گاز به LNG است. فناوری این شرکت در زمینهٔ به‌کارگیری و تبدیل گازهای حبس‌شده، گازهای فلر و گازهای همراه است و در قالب واحدهای قابل‌حمل LNG است. به‌عنوان مثال در میدان‌های گاز طبیعی حبس‌شده که ذخایرشان کم یا به‌سرعت در حال کاهش است و همچنین در بسیاری از میدان‌های گاز شیل در منطقهٔ آمریکای شمالی، مجموعه‌ای از تأسیسات واحدهای قابل‌حمل LNG خود را با ظرفیت ۱۵هزار مترمکعب در روز نصب کرده است. با اتمام ذخایر گازی هر میدان، تأسیسات خود را به‌راحتی به نقطه‌ای دیگر جابه‌جا می‌کند. این خصیصه موجب حذف زمان و سرمایه‌گذاری کلان در بخش لوله‌گذاری گاز نیز می‌شود. این نگاه در خصوص واحدهای قابل‌حمل LNG موجب سرعت‌بخشیدن به اکتشاف در میادین گاز حبس‌شده در این مناطق شده است [۱۱].

۷. نتیجه‌گیری

واحدهای مقیاس کوچک LNG می‌توانند کاربردهای مختلفی به‌ویژه برای تأمین بازار داخلی کشورها داشته باشد. این واحدها می‌توانند برای استفاده از گازهای تولیدی پراکنده

و دور از خطـوط انتقـال گاز و انتقال آن‌ها به مصرف‌کنندگان و همچنیـن برای حـل مشـکلات اوج مصـرف گاز و نیز برای گازرسـانی به نقاطی که احداث خطوط لولهٔ انتقال گاز دشوار و پرهزینه اسـت، مناسـب باشـند. از سـوی دیگر کاربردهای LNG در جهـان، به‌ویژه در بخش حمل‌ونقل روبه‌گسـترش اسـت و متناسـب بـا آن صنعـت خرده‌فروشـی LNG نیز در حال گسـترش است. ضرورت دسـتیابی به دانش فنی، تأمین سـوخت وسایل سـنگین، مدیریت گازهای فلر و گازرسانی به نقاط دوردست بهترین هدف‌گذاری برای استفاده از واحدهای Skid LNG در ایران اسـت. همچنین استفاده از این فناوری در صنعـت حمل‌ونقـل ریلـی با توجه بـه میزان زیـاد مصرف گازوئیـل و امکان جایگزینـی آن با LNG از جذابیت شـایان توجهـی برخـوردار اسـت. نیاز به فضـای کم، اجرای سـریع و نصـب آسـان در کنـار کاهـش هزینه‌هـای عملیـات، تولید و نگهداری موجب شـده اسـت که صرفـهٔ اقتصـادی واحدهای Skid LNG نسبت به سایر طرح‌های LNG بهتر باشد و این امر یک مزیت بسـیار مهم در حوزهٔ سـرمایه‌گذاری محسـوب می‌شـود. ایران به‌لطف برخورداری از منابع عظیم گاز طبیعی و به‌دلیل وقفه‌های ناشی از تحریم‌ها در دستیابی به واحدهای بـزرگ LNG، در کوتاه‌مـدت می‌تواند در راسـتای حضور در بـازار داخلی و منطقـه‌ای LNG، از طریق حمایت از توسـعهٔ واحدهای کوچـک LNG اقدام کند. بدین ترتیب ضمن عبور از سد تولید LNG در کشور، زمینهٔ توسعهٔ فناوری LNG در کشور را نیز فراهم می‌کند.

۸. تقدیر و تشکر

بدین وسیله از مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران برای حمایت از موضوع ارائه‌شـده در این مقاله تشـکر و قدردانی می‌شود.

۹. منابع

[1].Cryonorm, “LNG liquefaction plants”, 2018, http://cryonorm.com/lng-liquefaction-plants.

[2].LNG Globa,”Mini LNG Plants small scale liquefied natural gas solution”, 2017, http://www.lngglobal.com/mini-lng/mini-lng-plant-details.html.

[3]. Steve Childers, “NEW FACE OF LNG PRODUCTION”, SPATCO.COM, 803-600-1329, steve.childers@spatco.com.

[4]. Wen-sheng Cao *, Xue-sheng Lu, Wen-sheng Lin, An-zhong Gu, “ Parameter comparison of two small-scale natural gas liquefaction processes in skid-mounted packages “, Applied Thermal Engineering 26 (2006) 898–904.

[5].EPT International, “Bridge Gas Technology – A New Solution for Natural Gas Transportation”, https://ept-int.com.

[6].https://ept-int.com/international/bridge-gas-technology.

[7]. World bank.org, eia.gov, “ New Data Reveals Uptick in Global Gas Flaring”, (2016).

[8].Edward Lisowski, Wojciech Czyzycki, “TRANSPORT AND STORAGE OF LNG IN CONTAINER TANKS”, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 3 2011.

[9].Expansion Energy LLC, Key Applications for the Patented “VXTM Cycle” Small-Scale & Mid-Scale LNG Production Plants, 2014,www.expansion-energy.com

[10]. GE, GE Introduces LNG In A Box Fueling System”, 2013, https://www.genewsroom.com/press-releases/ge.

[11]. EAJV corporate, “LNG Technology, Turning Stranded Natural Gas Field Into Profit., Skid-Mounted Small-size LNG Plants”, 2018, http://www.eajv.ca/spip.php?page=article&id_article=4.

[12]. NGV Global, “International Highway and Road Signage for Natural Gas Vehicles”, Natural Gas Vehicle Knowledge Base, 2018, http://www.iangv.org.

[13]. Galileo technology, “Choose a Galileo solution for your gas projects” 2018, https://www.galileoar.com/en.

[14]. SIAD co. Ing. Giuseppe Gamba, giuseppe_gamba@siad.eu”Small scale LNG plant: perspective and technology”, Methanizing the Mediterranean Area Rome, 11-12 June 2015.

Technical and Practical Analysis of Skid Mounted LNG Plant in IRAN

Ahmad Ghozatloo[1*], Niloufar Fatourehchi[1], Mehran Sarmad[1] & Mansooreh Basirat[2]

1- Faculty member of Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

2- nationa Iranian gas company, Tehran, Iran

Corresponding Author, Email: ghozatlooa@ripi.irm

Abstract

The value chain of Skid mounted LNG units is consist of dehydration, liquefaction and LNG storage and its retail activities include of low consumption of LNG based on demand of end user such as heavy transportation vehicles, power plant and heating. The Features of Skid mounted LNG units are varies with large and mega scale LNG plants and requires its special customers to economically efficient. Skid mounted LNG units has specific position in the gas market and good outlook according to attractiveness of feeding of these units which can have good economic benefits and the numerous advantages and different fields of application of these units. This point increases its attractiveness in the domestic market of Iran and provides strategic goals including social justice, resilience, Resistive Economy, resistance to sanctions, environmental issues, profits and strengthening of related industries. This paper were discussed, the quantitative and qualitative aspects of this matter.

Keywords: *LNG, Skid mounted, liquefaction, Remote Gases, Flare, Fuel Stations.*