

ترمینال‌های دریایی واردات LNG؛ فرصت‌ها و چالش‌ها

غلامعلی رحیمی*، تورج دهقانی^۱، مؤسسه‌ی مطالعات بین‌المللی انرژی

چکیده

ترمینال‌های واردات LNG شامل زیرساخت‌ها و تأسیساتی رابط میان کشتی‌های انتقال LNG و خطوط لوله مصرف‌گاز است. در واقع این ترمینال‌ها که بخشی از زنجیره‌ی عرضه‌ی LNG به‌شمار می‌روند در مواردی که امکان فنی یا اقتصادی احداث خطوط لوله انتقال گاز فراهم نیست گاز تولیدی مناطق دور افتاده را به بازار مصرف عرضه می‌کنند. یکی از مزایای احداث تأسیسات دریایی حذف هزینه‌های مربوط به لایروبی آبراهه‌های داخلی، افزایش دسترسی به تأسیسات، ایمنی و کاهش زمان سفرهای دریایی کشتی‌های LNG به‌دلیل عدم نیاز به ورود به آبهای پرتراфик و شلوغ ساحلی است. هزینه‌های سرمایه‌ای ساخت یک ترمینال شناور جدید حدود ۶۰ درصد هزینه‌های یک ترمینال ساحلی بوده و در مدت زمان کوتاه‌تری ساخته می‌شود. یکی از عوامل اصلی مؤثر بر ساخت ترمینال‌های دریایی مخازن ذخیره‌سازی مورد نیاز برای این تأسیسات است. اگر ترمینال ظرفیت ذخیره‌سازی کافی داشته باشد می‌تواند از آن به‌عنوان ترمینال اصلی (پایه) جهت تحویل مداوم و پیوسته‌ی گاز به شبکه خطوط لوله داخلی استفاده کرد. از برخی ترمینال‌ها فقط می‌توان در شرایط پیک مصرف گاز در شبکه استفاده کرد. انعطاف‌پذیری تأسیسات FSRU زیاد است و با توجه به تغییرات تقاضای فصلی می‌تواند تغییر مکان دهند. در مواقعی از سال که تقاضای گاز زیاد است از تأسیسات FSRU به‌عنوان ترمینال شناور استفاده می‌شود و هنگامی که تقاضا کاهش می‌یابد این تأسیسات به‌عنوان کشتی انتقال LNG به‌کار می‌رود. ترمینال‌های ساحلی نیازمند اخذ مجوزهای زمان‌بر و طولانی هستند. همچنین برای ساخت این ترمینال‌ها قراردادهای بزرگ مهندسی عمران مورد نیاز است و باید حجم زیادی از مواد و مصالح و نیروی کار جابه‌جا شوند. تأثیرات محیطی تأسیسات FSRU در محل استقرار تأسیسات اندک است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۲/۱۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش داور: ۳۷/۰۴/۲۱

واژگان کلیدی:

گاز طبیعی، LNG، ترمینال دریایی، FSRU، FSU

مقدمه

LNG بررسی می‌شوند: ساختارهای ثقلی/گرانثی، سکوها دریایی و جزایر دریایی مصنوعی. تأسیسات ثابت معمولاً به‌دلیل محدودیت‌های مربوط به ساخت آنها در محل تأسیسات، برای آبهای کم عمق تا حداکثر ۱۰۰ فوت در نظر گرفته می‌شوند. همچنین تأسیسات ثابت در ناحیه‌هایی که سطح دریا هموار یا به آرامی شیب‌دار است فاقد خطرات زمین‌شناسی است و اگر رسوبات آن برای تحمل فونداسیون و وزن سازه مناسب باشد این تأسیسات احداث می‌شوند. اگر محل تأسیسات رس‌های نرم با ضخامت کافی داشته باشد مناسب احداث سکوها بستی است.

در تأسیسات ثابت امکان احداث مخازن ذخیره‌سازی در محل تأسیسات دریافت LNG وجود دارد. با توجه به محدودیت اندازه‌ی سکوها بستی، مناسب‌ترین سازه برای احداث مخازن ذخیره‌سازی در محل ترمینال واردات دریایی، تأسیسات ثقلی/گرانثی است. در ادامه اجزای فرآیندهای مربوط به ترمینال‌های دریایی در تأسیسات ثابت که بسیار شبیه به یکدیگر هستند بررسی می‌شوند.

امروزه روش‌های مختلفی برای طراحی و بهره‌برداری از ترمینال‌های واردات LNG (بسته به بازار مصرف و زیرساخت‌های مورد نیاز آن) وجود دارد. یکی از این روش‌ها ساخت ترمینال‌های دریایی دریافت LNG است. در یک ترمینال دریایی شناور، کشتی می‌تواند لنگر انداخته و از طریق سیستم بویه‌ی غوطه‌ور^۲ یا از طریق سیستم برج‌های سطحی به تجهیزات صدور گاز تبخیر شده متصل گردد. سپس گاز ارسالی از طریق خط لوله‌ی زیر دریا به ساحل انتقال یافته و به شبکه‌ی داخلی مصرف‌گاز تزریق می‌شود.

در ترمینال‌های دریایی شناور، هزینه‌ی زیرساخت‌های مربوطه به‌شدت به محل استقرار پروژه و عواملی مثل طول خط لوله‌ی دریایی و خشکی مورد نیاز جهت اتصال جریان گاز ارسالی از واحد تبخیر به شبکه‌ی داخلی گاز بستگی دارد. هزینه‌ی احداث خط لوله‌ی زیر دریا با قطر ۳۰-۲۴ اینچ حدود ۳-۴ میلیون دلار به‌ازای هر کیلومتر است؛ در حالی که هزینه‌ی خط لوله مشابه در خشکی حدود ۲-۳ میلیون دلار به‌ازای هر کیلومتر است.

۱- بررسی انواع ترمینال‌های دریایی واردات LNG

۱-۱- ساختار ثابت ترمینال‌های واردات LNG

در این بخش سه نوع ساختار ثابت برای احداث ترمینال‌های دریایی واردات

۱-۲- ساختارهای ثقلی/گرانثی

بیش از ۳۰ سال است که ساختارهای گرانثی/ثقلی در صنعت جهانی نفت استفاده شده‌اند و عملکرد مطمئن و اثبات شده‌ای دارند. سازه‌ی این

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (alirahimigh2000@yahoo.com)

موقعی که ترمینال فاقد مخازن ذخیره‌سازی برای LNG یا گاز طبیعی است باید شبکه‌ی خطوط لوله‌ی داخلی توان جذب یک‌باره‌ی حجم قابل توجهی گاز در زمان تخلیه و همچنین توان مدیریت اختلال و قطع عرضی گاز از سکو تا زمان تخلیه‌ی محموله‌ی بعدی را داشته باشد. در این شرایط با توجه به ظرفیت تبدیل مجدد به گاز و صدور گاز از سکو، مدت زمان توقف کشتی جهت تخلیه‌ی محموله طولانی‌تر خواهد بود.

۴-۱- ساختار ترمینال‌های واردات LNG بصورت جزایر مصنوعی دریایی
از دیگر روش‌های ساخت ترمینال‌های دریایی واردات LNG احداث جزایر مصنوعی در درون آبست. در این روش فضای در دسترس جهت استقرار و نصب تجهیزات ثابت مورد نیاز بسیار بزرگ و قابل توجه است. در این تأسیسات فضای کافی برای تعبیه‌ی مخازن ذخیره‌سازی LNG، احداث چندین اسکله‌ی پهلوگیری کشتی LNG، نصب تجهیزات تبدیل مجدد LNG به گاز با هوا و سایر خدمات و فرآیندهای حجیم وجود دارد. تا کنون فقط یک پروژه از این نوع در آمریکا (۱۹۹۷) و در جنوب Saltholm به بهره‌برداری رسیده است. در این ساختار به دلیل در دسترس بودن فضای کافی، امکان نصب مخازن ذخیره‌سازی نظیر مخازن ترمینال‌های ساحلی نیز وجود دارد.

۵-۱- ترمینال‌های واردات LNG شناور
وقتی محل ساخت تأسیسات ترمینال دریایی در مکانی دورتر از ساحل در نظر گرفته شود عمق آب افزایش یافته، امکان ساخت سازه‌های ثابت وجود ندارد و باید از تأسیسات شناور استفاده کرد. به طور کلی فرآیندهای مشابهی نیز برای تأسیسات شناور در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از: لنگراندازی، ذخیره‌سازی LNG و تبدیل مجدد به گاز. البته ممکن است برخی فرآیندهای مختلف نیز به تأسیسات اضافه شوند. مثلاً اگر تأسیسات

تأسیسات عمدتاً بتنی است و در مورد تأسیسات LNG جهت کار با مایعات سرد سازگار شده‌اند.

تأسیسات گرانثی مناسب استفاده در پروژه‌ها فزیندی شده‌اند. در کنار تأسیسات موجود، واحدهای جدید و اضافی گرانثی ساخته شده و می‌توانند از طریق جکت‌های آب‌های کم‌عمق و یک پل به تأسیسات موجود وصل شوند. در این صورت به دلیل استفاده‌ی مشترک از تأسیسات تولید، ذخیره‌سازی و بارگیری هم‌افزایی قابل توجهی برای کل فازهای پروژه ایجاد می‌شود. اندازه‌ی تأسیسات ثقیل/گرانثی با توجه به فضای مورد نیاز تجهیزات در بالای سازه و همچنین حجم مخازن ذخیره‌سازی مورد نیاز مشخص می‌شود.

۳-۱- ساختار سکوی ترمینال‌های دریایی واردات LNG

ترمینال‌های سکوی واردات LNG نیز مثل ساختار ترمینال‌های ثقیل/گرانثی، غیرشناور هستند و بنابراین ساختار تعبیه‌ی مخازن ذخیره‌سازی LNG آنها مشابه ترمینال‌های ساحلی است. در این روش از سکوهایی موجود دریایی برای توسعه‌ی ترمینال‌های واردات LNG استفاده می‌شود. با توجه به توسعه‌ی اغلب این سکوها برای تولید نفت خام یا عملیات استخراج و حفاری توسعه یافته‌اند، حجم فضای بالای آب در دسترس در این سکوها محدود است.

تأسیسات اصلی در بالای سکوهایی مذکور قرار داده می‌شوند. در مواقعی که مخازن ذخیره‌سازی در محل ترمینال سکوی واردات LNG وجود ندارد، LNG انتقال یافته از کشتی به تأسیسات بلافاصله به گاز تبدیل شده و توسط خط لوله به شبکه‌ی داخلی خطوط لوله‌ی گاز تزریق می‌شود. در این مواقع جهت عرضی پیوسته و بدون وقفه‌ی گاز طبیعی به شبکه، مخازن ذخیره‌سازی گاز طبیعی در غارهای نمکی مثل پروژه‌ی Freeport-McMoRan در نظر گرفته می‌شوند. همان‌طور که ذکر شد در



شکل ۲ | ترمینال دریایی واردات LNG پروژه‌ی Clearwater



شکل ۱ | تأسیسات ثقیل شرکت شل در خلیج مکزیک

وضعیت ترمینال های شناور در حال بهره‌برداری [۱]

Terinal	Location	Current Vessel	Storage m3	mmscfd	mtpa	Start-up
Bahia Blanca	Argentina	Excelsior	138.000	500	4.1	2008
Pecem	Brazil	Golar Spirit	129.000	240	2.0	2008
Guanadara Bay	Brazil	Experience from 2014	170.000	700	5.8	2009
Jebel Ali	Dubai	Golar Freeze	125.000	475	3.9	2010
Buenos Aies	Argentina	Enarse / YPE	150.000	500	4.1	2011
Jakarta Bay	Indonesia	Nusantara Regas Satu	125.000	485	4.0	2012
Heidera	Israel	Excellnce	138.000	500	4.1	2013
Tianjin	China	GdF Suez Cape Anne	145.000	750	6.2	2013
Bahia Salvador	Brazil	Golar Winter	138.000	500	4.1	2014
Mina Al Ahmadi Port	Kuwait	Golar Igloo from 2014	170.000	728	6.0	2014
klaipeda	Lithuania	Independence	170.000	384	3.2	2014
Lampung Sumatra	Indonesia	PGN Lampung	170.000	360	3.0	2014
Offshore Livomo	Italy	FSRU Toscana Golar Frost	137.000	530	4.4	2014
Jrbrel Ali	Dubai	Enarse	151.000	800	6.6	2015
Port Qasim 1	Pakistan	Exquisite	151.000	690	5.7	2015
Ain Sokhna 1	Egypt	Gallant	170.000	500	4.1	2015
Ain Sokhna 2	Egypt	BW Singapore	170.000	750	6.2	2016
Ruwais	Adu Dubai	Abu Dhabi FARU	138.000	500	4.1	2016
Cartagena	Colomdia	Grace	170.000	500	4.1	2017
Aguirre	Puerto Rico	Excelerate	138.000	500	4.1	2017
Tema	Ghana	Golar Tundra	170.000	724	6.0	2017
Aliaga Izmir	Turkey	GdF Suez Neptune	145.000	750	6.2	2018
Punta de Sayago	Uruguay	GNL Del Plete	263.000	350	2.9	2025

و دستورالعمل‌های دریانوردی، بخش مخازن ذخیره‌سازی باید قوانین ذخیره‌سازی و بخش انتقال LNG و بخش تبدیل به گاز و صدور گاز باید استانداردها و کدهای مخصوص به خود را کسب کند. خدمات جانبی کشتی FSRU شامل تجهیزات تولید و توزیع برق، ابزار دقیق، کنترل، سیستم‌های ایمنی و اطفاء حریق است.

در واحدهای FSRU تأسیسات، فاقد مخازن ذخیره‌سازی LNG بوده و فقط عملیات مربوط به تبخیر LNG در آنها انجام می‌شود. در تأسیسات شناور تبدیل مجدد LNG به گاز (FRU) کشتی انتقال LNG در کنار تأسیسات پهلو گرفته و LNG از طریق بازوهای تخلیه به تأسیسات تبخیر مستقر در سازه‌ی FRU منتقل شده و پس از تبدیل به گاز به خطوط لوله‌ی محلی مصرف گاز تزریق می‌شود.

۳- تبدیل مجدد LNG به گاز در تأسیسات دریایی

یکی از فرآیندهای اصلی تحویل LNG به بازار مصرف، تبدیل مجدد آن به گاز است. در این فرآیند LNG که در مخازن ذخیره‌سازی و در فشار اتمسفر ذخیره شده به درون تأسیسات تبخیر فرستاده شده، از طریق گرم شدن به گاز تبدیل می‌گردد و سپس وارد خطوط لوله مصرفی گاز خواهد شد. انرژی گرمایی مورد نیاز برای تبخیر LNG قابل توجه است. مثلاً برای تولید یک میلیارد فوت مکعب گاز در روز حدود ۸۵۰ میلیون بی‌تی‌یو در هر ساعت انرژی گرمایی استفاده می‌شود. این مقدار انرژی گرمایی حدوداً معادل ۲/۵-۱/۳ درصد محتوای گرمایی کل LNG تبخیر شده است. برای گرمایش LNG و تبدیل آن به گاز روش‌های مختلفی وجود دارد و از منابع گرمایی متفاوتی استفاده می‌شود. این منابع گرمایی شامل گرمای حاصل از سوزاندن گاز طبیعی، هوای محیط و آب دریاست. در انتخاب نوع و روش مورد استفاده برای تبخیر LNG عواملی مثل ایمنی در طول دوره‌ی بهره‌برداری، توجیه اقتصادی، قابلیت اطمینان و قابلیت نگهداری، فضای مورد نیاز و تناسب آن برای استفاده‌ی دریایی و تأثیرات زیست‌محیطی آن

ذخیره‌سازی و تبدیل به گاز در ترمینال در نظر گرفته شوند، تأسیسات با عنوان واحد ذخیره‌سازی و تبدیل به گاز شناور (FSRU^۲) شناخته می‌شود. اگر ترمینال، تأسیسات ذخیره‌سازی نداشته باشد، واحد شناور تبدیل به گاز FRU^۱ نامیده می‌شود. همچنین اگر تأسیسات فقط مخازن ذخیره‌سازی جهت ذخیره‌سازی دریایی LNG داشته باشد با عنوان واحد ذخیره‌سازی شناور (FSU^۳) شناخته می‌شود.

۲- واحد شناور ذخیره‌سازی و تبدیل به گاز FSRU

واحدهای FSRU در فاصله‌ی میان تأسیسات صادراتی و بازار مصرف مستقر می‌شوند و چندین کشتی انتقال LNG در آن فعالیت می‌کنند. معمولاً طول کشتی FSRU حدود ۳۵۰-۴۰۰ متر بوده و عرض آن به ۷۰ متر می‌رسد و سیستم پیشرانه (موتور) ندارد. در مواقعی که باید جداسازی سریع و تغییر مکان تأسیسات انجام شود سیستم پیشرانه‌ای نیز برای کشتی FSRU تعبیه می‌شود. اگر سازه‌ی شناور، مخازن ذخیره‌سازی نیز داشته باشد نیازمند سیستم لنگراندازی و عمق کافی آب (معمولاً بیش از ۱۶۰ فوت) جهت انطباق با اتصال خطوط لوله‌ی انعطاف‌پذیر میان تأسیسات و خطوط لوله‌ی زیر آبست.

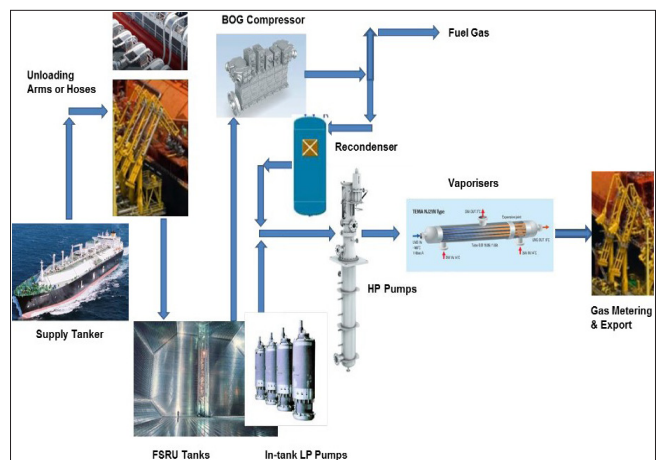
۲-۱- ساختار و اجزای واحدهای FSRU

تأسیسات FSRU به صورت یک کشتی دوجداره‌ی معمولی طراحی شده، استانداردهای این کشتی‌ها را دارد و تقریباً در اکثر کارخانه‌های کشتی‌سازی رایج دنیا قابل ساخت است. تأسیسات تبدیل به گاز در عرشه‌ی اصلی کشتی مستقر شده و معمولاً به گونه‌ای طراحی می‌شوند که مناسب صدور گاز از تأسیسات به خطوط انتقال باشند.

از آنجا که بخشی از تأسیسات FSRU، کشتی، مخازن ذخیره‌سازی و نیز واحد تبدیل به گاز است باید استانداردها، دستورالعمل‌ها و مقررات جداگانه‌ای را برآورده کند. بخش کشتی تأسیسات FSRU باید کدها



شکل ۴ | تأسیسات FSRU بندر Cabrillo



شکل ۳ | شمای کلی ساختار تأسیسات FSRU

در نظر گرفته می‌شوند.

۴- بررسی وضعیت موجود ترمینال‌های شناور در حال بهره‌برداری

در سال ۲۰۱۷ تعداد ۲۳ ترمینال شناور LNG در جهان در حال بهره‌برداری هستند. در تمامی موارد ذکر شده در جدول ۱- کشتی FSRU در محل استقرار نصب شده اما هنوز به بهره‌برداری کامل نرسیده است؛ مثل ترمینال‌های شناور غنا، ترکیه و اروگوئه. لازم به ذکر است که اگر مالکان کشتی‌های FSRU تصمیم به جابجایی تأسیسات بگیرند می‌توانند جهت بهره‌برداری آنها را به مکان دیگری انتقال دهند. این مسأله در مورد ترمینال شناور Guanabara Bay در برزیل اتفاق افتاد و در حالی که تأسیسات FSRU در سال ۲۰۰۹ به بهره‌برداری رسید در سال ۲۰۱۴ به مکان دیگری انتقال یافت. بنابراین یکی از مزایای کلیدی ترمینال‌های شناور LNG همین قابلیت جابجایی آنها جهت تطبیق با شرایط بازار گاز است.

گزارش‌ها حاکی از آنست که در اواخر سال ۲۰۱۷ ترمینال شناور Pecem در برزیل بسته شده و یک ترمینال ساحلی جایگزین آن گردیده است. این نمونه‌ای دیگر از قابلیت‌های ترمینال‌های شناور است که در صورت لزوم می‌تواند با ترمینال‌های ساحلی جایگزین شوند.

۵- ترمینال‌های شناور از رده خارج شده

طبق جدول ۲- برخی از ترمینال‌های شناور که در سال‌های گذشته به بهره‌برداری رسیده بودند، اکنون از رده خارج شده‌اند. ترمینال‌های شناور Gulf Gateway، North East Gateway و Teesside توسط شرکت انرژی Excelerate به بهره‌برداری رسیده بودند و این شرکت از طریق کشتی‌های مختلف انتقال LNG محموله‌های مورد نیاز خود را دریافت می‌کرد. ترمینال شناور Neptune که توسط شرکت Neptune SRV استفاده می‌شد اخیراً جهت استفاده به پروژه‌ی ترمینال شناور Aliaga در ترکیه انتقال یافته که نشان‌دهنده‌ی انعطاف‌پذیری ترمینال‌های شناور LNG است. این ترمینال‌ها به دلیل فقدان تقاضای محلی گاز از رده خارج شده‌اند؛ مثلاً در آمریکا با رشد تولید گاز شیل، تولید داخلی گاز طبیعی جایگزین LNG وارداتی شده است.

علاوه بر ۲۳ کشتی FSRU در حال بهره‌برداری که قبلاً به آن اشاره شد، سه کشتی FSRU دیگر (متعلق به شرکت انرژی Excelerate) نیز آماده فعالیت به عنوان ترمینال شناور هستند که در حال حاضر به عنوان کشتی انتقال LNG سرویس می‌دهند.

۶- واحدهای شناور ذخیره‌سازی LNG-FSUs

طبق جدول ۴- در حال حاضر علاوه بر کشتی‌های FSRU تعداد چهار کشتی ذخیره‌سازی شناور LNG در حال بهره‌برداری هستند.

از دیگر آلترناتیوهای ترمینال‌های ساحلی LNG، واحدهای شناور ذخیره‌سازی LNG هستند. این واحدها که کشتی‌های تبدیل شده‌ی انتقال

LNG و فاقد تأسیسات تبخیر LNG (قابل نصب روی سازه‌های FSRU) هستند یا به تأسیسات تبخیر ساحلی متصلند یا شناوری مستقل و جداگانه هستند. مزایای واحدهای شناور ذخیره‌سازی LNG مشابه مزایای واحدهای FSRU است اما مثل آنها ترمینال ساحلی نیستند، زمان ساخت کوتاه‌تری دارند و امکان تغییر مکان ندارند. این واحدها همچنین می‌توانند به صورت اجاره در اختیار مصرف‌کنندگان قرار گیرند و در مواقعی که در ساحل مشکل اختیار زمین وجود دارد نیز جایگزینی ایده‌آل برای ترمینال‌های ساحلی به شمار می‌روند.

مدت زمان تبدیل یک واحد شناور ذخیره‌سازی LNG کمتر از ۱۲ ماه است؛ یعنی کمتر از یک‌سوم زمان مورد نیاز جهت ساخت مخازن ساحلی ذخیره‌سازی LNG (حدود ۴۰-۳۶ ماه). هزینه‌ی تبدیل یک کشتی ۱۳۸۰۰۰ مترمکعبی به یک واحد شناور ذخیره‌سازی LNG حدود ۱۵۰-۱۰۰ میلیون دلار تخمین زده می‌شود. در حالی که هزینه‌ی ساخت مخازن مشابه ساحلی

۲ | ترمینال‌های شناور LNG از رده خارج شده [۱]

Terminal	Location	Charte	Vessel
N East Gateway	USA	Excelerate Eneray	Various
Gulf G Gateway	USA	Excelerate Eneray	Various
Neptune	USA	Hoehgh LNG	Neptune SRV
Teesside	UK	Excelerate Eneray	Various

۳ | ترمینال‌های شناور LNG از رده خارج شده [۱]

Vessel Name	Terminal Name	Storage 3	mmscfd	mtpa
Express	LNGO	150.900	550	4.6
Expedient	LNGO	150.900	550	4.6
Exemplar	LNGO	150.900	550	4.6

۴ | واحدهای شناور ذخیره‌سازی LNG [۱]

Terminal	Location	Vessel	Storage m3	Start-up
Kingston	Jamaica	Golar Arctic	138.000	2016
Marsaxlokk Bay	Malta	Armada LNG Mediterrana	125.000	2017
Malaka	Malaysia	Tenaga Satu	130.000	2012
Malaka	Malaysia	Tanaga Empat	130.000	2012

شناور (FSRU) نداشته باشند می‌توانند با عنوان کشتی‌های انتقال LNG فعالیت کنند. بازار ساخت واحدهای FSRU در انحصار سه شرکت کره‌ای DSME، Hyundai و سامسونگ است.

علاوه بر واحدهای مورد تقاضای در حال ساخت FSRU که به آنها اشاره شد ساخت ده ترمینال شناور دیگر نیز برنامه‌ریزی شده که از این تعداد، هفت ترمینال مربوط به شرکت انرژی Excelerate است و قرار است در کارخانه‌ی کشتی‌سازی DSME ساخته شود و سه ترمینال نیز مربوط به شرکت Höegh LNG است که در کارخانه‌ی کشتی‌سازی سامسونگ ساخته خواهد شد.

۸- مالکان و تأمین‌کنندگان خدمات کشتی‌های FSRU

مالکان اصلی کشتی‌های FSRU اغلب شرکت‌های تأمین‌کننده‌ی خدمات این کشتی‌ها بوده و تجربه‌ی کافی را در انتقال LNG دارند. شرکت‌های پیشرو در این زمینه عبارتند از: Höegh LNG، Golar LNG و شرکت انرژی Excelerate. علاوه بر این شرکت‌ها اخیراً چند شرکت جدید (BW Gas و Mitsui O.S.K. Lines (MOL) نیز وارد بازار کشتی‌های FSRU شده‌اند. شکل ۶- تعداد کشتی‌های FSRU در حال بهره‌برداری را به تفکیک تأمین‌کنندگان خدمات آنها نشان می‌دهد. شرکت دریایی Maran Gas نیز اولین کشتی خود را به کارخانه‌ی کشتی‌سازی DSME کره‌ی جنوبی سفارش داده است. شرکت OLT خود، تأمین‌کننده‌ی خدمات کشتی‌های FSRU نیست و یک کشتی را از شرکت Golar LNG (که در پروژه‌ای شریک اوست) خریداری کرده و کشتی مذکور در این پروژه‌ی مشترک در حال بهره‌برداری است.

۹- ارائه‌دهندگان خدمات کشتی‌های FSU

در حال حاضر چهار کشتی ذخیره‌سازی (FSU LNG) در حال بهره‌برداری

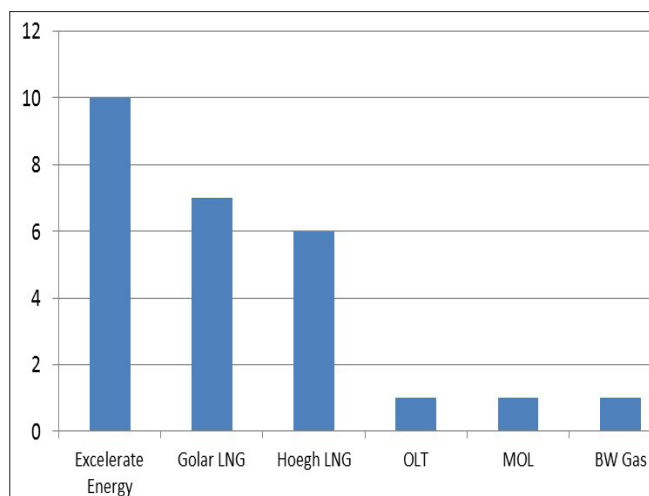
حدود ۱۴۰ میلیون دلار است و بر این اساس اگرچه هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه آنها تفاوت قابل توجهی ندارد اما می‌توان از واحدهای اجاره‌ای برای بهره‌برداری‌های کوتاه‌مدت ذخیره‌سازی شناور استفاده کرد.

برای جامائیکا استفاده از واحد FSU اقتصادی‌ترین گزینه به‌شمار می‌رود. برای ساخت دو واحد FSU در مالزی (با مالکیت شرکت پتروناس) از دو کشتی انتقال LNG با عمر بیش از سی سال استفاده شده است. بنابراین با توجه به آنکه این دو کشتی در اواخر عمر اقتصادی خود قرار دارند باید گفت هزینه‌های سرمایه‌ای آنها تا حد قابل توجهی کمتر است و در مقایسه با ساخت مخازن ذخیره‌سازی ساحلی، صرفه‌ی اقتصادی قابل توجهی دارد. در بحرین نیز یک واحد FSU احداث گردیده که برای تبدیل آن از یک کشتی جدید با ظرفیت ذخیره‌سازی ۱۷۴۰۰۰ مترمکعبی استفاده شده است. این واحد به مدت ۲۰ سال تحت اجاره است و در آن به‌جای تصمیم‌گیری در مورد احداث مخازن پرهزینه و دائمی ذخیره‌سازی LNG ساحلی از واحد اجاره‌ای شرکت Teekay استفاده شده است.

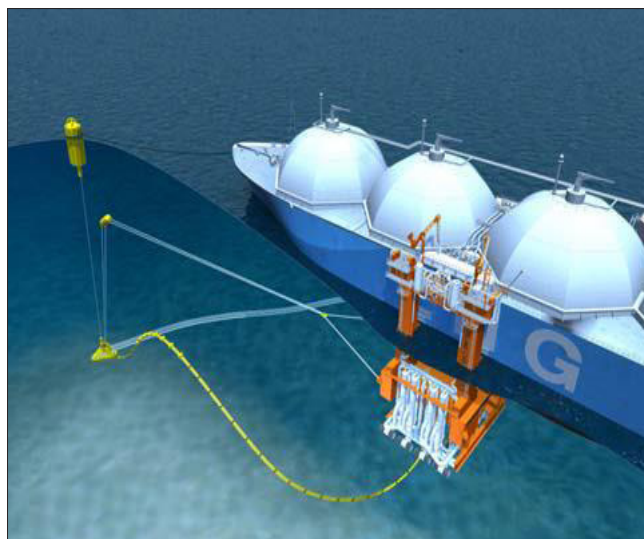
۷- واحدهای در حال ساخت FSRU

طبق جدول ۵- در دنیا ده واحد FSRU در حال ساخت است که از این تعداد، نه واحد در حال ساخت در کارخانه‌های کشتی‌سازی کره‌ی جنوبی است و یک شناور کوچک نیز در چین در حال ساخته شدن است. تعداد چهار واحد FSRU تا پایان ۲۰۱۷ به بهره‌برداری رسیده، شش واحد دیگر طی دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۱۸ تکمیل شده و تا پایان سال ۲۰۲۰ کل تعداد واحدهای FSRU به بیش از ۳۶ واحد افزایش خواهند یافت. پروژه‌ی Exmar، شناوری کوچک‌تر است که در چین در حال ساخت است.

هزینه‌ی ساخت هر یک از این واحدها حدود ۳۰۰-۲۵۰ میلیون دلار است؛ اگر این واحدها درخواست‌کننده‌ای جهت استفاده به‌صورت ترمینال



شکل ۶ | کشتی‌های FSRU در حال بهره‌برداری به تفکیک شرکت‌های بهره‌بردار [۱]



شکل ۵ | تأسیسات تبدیل مجدد به گاز شناور FSRU

Sokhna است که حدود ۵ ماه پس از انتشار مدارک مناقصه‌ی گذار فعالیت خود را آغاز کرد.

۱۱- تحلیل SWOT ترمینال‌های شناور -FSRUs

۱۱-۱- نقاط قوت

همان‌طور که قبلاً اشاره شد هزینه‌های سرمایه‌ای تأسیسات FSRU به دلیل اندازه‌ی مناسب و جمع و جور تأسیسات و کارآیی هزینه‌ای بیشتر کارخانه‌های کشتی‌سازی حدود ۶۰-۵۰ درصد ترمینال‌های ساحلی است که مزیت قابل توجهی به‌شمار می‌آید و اقتصاد و جریان نقدینگی پروژه را تا سطح قابل توجهی بهبود می‌بخشد. همچنین تأمین مالی پروژه‌های FSRU برای شرکت‌های انرژی کوچک‌تر آسان‌تر خواهد بود.

همچنین مدت زمان ساخت و تحویل کمتر ترمینال‌های FSRU موجب بهبود اقتصاد و جریان نقدینگی این پروژه‌ها می‌شود. به دلیل تحویل زودتر گاز در تأسیسات تبدیل به گاز شناور، قدرت رقابت‌پذیری مالک این گونه تأسیسات در بازار گاز افزایش می‌یابد.

عمده‌ی تأسیسات FSRUها اجاره‌ای است و آنها در مالکیت شرکت‌های کشتیرانی هستند و می‌توانند به هر پروژه‌ای تخصیص داده شوند. بنابراین برخلاف پروژه‌های ساحلی که نیازمند صرف هزینه‌های سرمایه‌ای هنگفت در ابتدای پروژه‌اند این مزیت موجب بهبود اقتصاد و جریان نقدینگی پروژه در کوتاه‌مدت می‌شود. البته در پروژه‌های بلندمدت بهتر است تأسیسات FSRU توسط شرکت‌های انرژی خریداری شوند؛ مانند پروژه‌های لیتوانی و بنگلادش. چراکه در مقام مقایسه، خرید تأسیسات یک پروژه‌ی بلندمدت (مثلاً ۲۰ ساله) ارزان‌تر از اجاره‌ی آن خواهد بود.

انعطاف‌پذیری تأسیسات FSRU زیاد بوده و با توجه به تغییرات تقاضای فصلی می‌توانند تغییر مکان دهند. این مسأله در مورد ترمینال‌های شناور

هستند و یک کشتی دیگر نیز در حال ساخت است. از این تعداد، دو کشتی که در مالکیت کامل پتروناس هستند در Melaka مالزی در حال بهره‌برداری هستند. سومین کشتی (FSU Golar Arctic) متعلق به شرکت Golar LNG و در Kingston جامائیکاست. چهارمین کشتی نیز که در مالکیت شرکت Bumi Armada است در Marsaxlokk Bay مالتا در حال فعالیت است. پنجمین کشتی FSU در حال ساخت، متعلق به شرکت Teekay LNG است که پس از تکمیل، در بحرین به بهره‌برداری خواهد رسید.

۱۰- هزینه‌های سرمایه‌ای کشتی‌های FSRU

هزینه‌های سرمایه‌ای ساخت یک ترمینال شناور جدید حدود ۶۰ درصد هزینه‌های یک ترمینال ساحلی است و در زمان کوتاه‌تری نیز ساخته می‌شود. هزینه‌ی ساخت یک ترمینال با ظرفیت صدور گاز معادل ۳ میلیون تن در سال و ظرفیت ذخیره‌سازی ۱۸۰۰۰۰ مترمکعب، بسته به موقعیت مکانی ترمینال و هزینه‌های نیروی کار محلی، حدود ۸۰۰-۷۰۰ میلیون دلار تخمین زده می‌شود. در حالی که هزینه‌ی ساخت یک ترمینال دریایی شناور مشابه، حداکثر حدود ۵۰۰-۴۰۰ میلیون دلار خواهد بود. مقایسه‌ی هزینه‌های سرمایه‌ای ساخت ترمینال دریایی شناور و ترمینال ساحلی به تفصیل در جدول ۶ ارائه شده است.

مدت زمان ساخت ترمینال ساحلی با احتساب مخازن ذخیره‌سازی LNG حدود ۴۰-۳۶ ماه تخمین زده می‌شود. در حالی که این زمان برای ساخت یک ترمینال جدید شناور حدود ۲۷-۳۶ ماه و برای یک ترمینال شناور تبدیلی حدود ۲۴-۱۸ ماه خواهد بود. این مزیت هنگامی پررنگ‌تر و مؤثرتر خواهد شد که بتوان از یک کشتی که فعالیت آن در پروژه‌ی دیگری پایان یافته، بلافاصله در پروژه‌ی جدید استفاده کرد. نمونه‌ی این نوع بهره‌برداری دومین کشتی FSRU مورد استفاده در پروژه‌ی Ain

۱۵ واحدهای در حال ساخت FSRU [۱]

Shipyard	Owner	Name	Assigned	Storage ^{m3}	mmscfd	mtpa	Completion
Hyundai	Gazprom	Marshal Vaslevskiy	Kliningrad FSRU	174.100	600	5.0	2017
Hyundai	Hoegh LNG	FSRU#7	Tema	170.000	750	6.2	2017
Samsung	Golar LNG	FSRU#8 Nanook	Brazil or Chile?	170.000	440	3.7	2017
Wison	Exmar	FSRU BARGE#1	TBA	26.230	600	5.0	2017
Hyundai	Hoegh LNG	FSRU#8	TBA	170.000	750	6.2	2018
Hyundai	Hoegh LNG	FSRU#9	Port Qasim	170.000	750	6.2	2018
DSME	BW Offshore	FSRU#3	TBA	173.000	n/a	n/a	2019
Sams ung	Hoegh LNG	FSRU#10	TBA	170.000	750	6.2	2019
Samsung	BW Offshore	Integrity	Port Qasim	173.000	750	6.2	2019
DSME	Maran Gas Maritime	FSRU#1	TBA	173.000	n/a	n/a	2020

ظرفیت ذخیره‌سازی بسیار بیشتر و در حدود ۳۳۰۰۰۰ مترمکعب است. در واقع استانداردهای مربوط به صنعت FSRU بیشتر مناسب پروژه‌های متوسط تبدیل گاز به برق با ظرفیت یک میلیون تن در سال است.

با توجه به اینکه تأسیسات FSRU در کارخانه‌های کشتی‌سازی و به صورت جمع و جور و محدود ساخته می‌شوند به دلیل محدودیت فضا امکان افزودن تأسیسات جدید به آنها وجود ندارد. در تأسیسات ساحلی به دلیل وجود فضای کافی تأسیسات، افزودن تجهیزات و واحدهای جدید مثل افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی به راحتی امکان‌پذیر است. در تأسیسات شناور امکان اضافه کردن مخازن ذخیره‌سازی جدید به تأسیسات موجود وجود ندارد و در صورت نیاز به افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی باید از کشتی‌های FSU استفاده کرد. همچنین با توجه به شرایط بازار گاز و تقاضای گاز، اگر نیاز به اضافه کردن واحد تبخیر جدید و ظرفیت ذخیره‌سازی جدید باشد باید کشتی FSRU موجود با کشتی بزرگ‌تری جایگزین شود یا آنکه یک یا دو کشتی جدید به پروژه اضافه شوند.

با توجه به اینکه ظرفیت ذخیره‌سازی کشتی‌های FSRU حدود ۱۷۳۰۰۰-۱۳۵۰۰۰ مترمکعب است اگر LNG از طریق یک کشتی با ظرفیت ۱۷۳۰۰۰ مترمکعب به ترمینال شناور منتقل شود ظرفیت کافی جهت تخلیه‌ی کل محموله وجود ندارد، کشتی انتقال جهت تخلیه معطل شده و مشمول هزینه‌ی معطلی در ترمینال شناور خواهد شد. در حالی که ظرفیت ذخیره‌سازی FSRU معادل ۱۳۵۰۰۰ مترمکعب باشد این مشکل حادتر خواهد بود. به دلیل اینکه تأسیسات FSRU در آبهای آزاد واقع شده‌اند امکان تخلیه‌ی LNG به مخازن ذخیره‌سازی تأسیسات و نیز صدور گاز طبیعی از تأسیسات

برزیل و کویت به وقوع پیوسته است. در واقع بر این اساس در مواقعی از سال که تقاضای گاز زیاد است از تأسیسات FSRU به عنوان ترمینال شناور استفاده می‌شود و هنگامی که تقاضا کاهش می‌یابد این تأسیسات به عنوان کشتی انتقال LNG به کار می‌رود. در مورد برزیل در مواقعی از سال که به دلیل کاهش بارش، تولید برق آبی کم است از این تأسیسات به عنوان ترمینال واردات LNG استفاده می‌شود. در کویت عمده‌ی مصرف گاز برای تهویه مطبوع است و بنابراین در فصل زمستان که تقاضا کم است تأسیسات مذکور برای انتقال LNG به کار می‌رود.

ترمینال‌های ساحلی نیازمند اتخاذ مجوزهای زمان‌بر و طولانی هستند. همچنین ساخت آنها نیازمند قراردادهای بزرگ مهندسی عمران بوده و باید حجم وسیعی از مواد و مصالح و نیروی کار جابجا شوند. بنابراین تأخیر در ساخت این تأسیسات زیاد خواهد بود. از سوی دیگر تأسیسات FSRU در محل کارخانه‌ی کشتی‌سازی ساخته شده و تأثیرات محیطی آن در محل استقرار تأسیسات اندک است. تنها تأثیرات محیطی این تأسیسات مربوط به ساخت اسکله و بندرگاه برای لنگراندازی و پهلوگیری کشتی‌های انتقال LNG در محل استقرار تأسیسات FSRU است.

عمده‌ی کارخانه‌های ساخت کشتی‌های FSRU در کره‌ی جنوبی واقع شده‌اند (هیوندای، سامسونگ و DSME) و تجربه‌ی فوق‌العاده‌ای در تحویل به موقع کشتی‌ها هستند. این مسأله در مورد ترمینال‌های ساحلی به دلیل وضعیت آب و هوایی منطقه و مشکلات مربوط به نیروی کار، یک چالش است و تحویل به موقع تأسیسات را با مشکل مواجه می‌کند. هنگامی که برای دیرکرد تحویل گاز به خریداران خسارت تعیین شده باشد، تحویل به موقع تأسیسات، مزیت قابل توجهی به شمار می‌رود.

به طور مشابه با توجه به اینکه ساخت تأسیسات ساحلی نیازمند جابجایی گسترده‌ی مواد، مصالح و فولاد در محل ساخت تأسیسات است. تأثیرات زیست‌محیطی آن گسترده است. در حالی که با توجه به اینکه تأسیسات FSRU در کارخانه‌های کشتی‌سازی و در محل دیگری ساخته می‌شوند تأثیرات زیست‌محیطی آن در محل استقرار تأسیسات اندک است. در صورت وجود قوانین سخت‌گیرانه‌ی زیست‌محیطی این مسأله به خوبی نمود پیدا می‌کند.

همان‌طور که قبلاً گفته شد انعطاف‌پذیری تأسیسات FSRU بیشتر است و بنابراین نرخ بهره‌برداری این تأسیسات در مقایسه با تأسیسات ساحلی بیشتر خواهد بود (شبهه مثال برزیل و کویت). نرخ بهره‌برداری تأسیسات ساحلی حدود ۴۰-۳۰ درصد گزارش شده است.

۱۱-۲- نقاط ضعف

استانداردهای صنعت FSRU محدود به ظرفیت ذخیره‌سازی ۱۷۳۰۰۰ مترمکعب و ظرفیت صدور حداکثر ۶ میلیون تن در سال است. البته در موارد خاص می‌توان سفارش ساخت مخازن ذخیره‌سازی بزرگ‌تر مثل Qmax با ظرفیت ۲۶۳۰۰۰ مترمکعب نیز داده شود. حتی در پروژه‌ی FSRU کالیننگراد

۶ مقایسه‌ی هزینه‌های سرمایه‌ای ترمینال دریایی شناور با ترمینال ساحلی

Source: An Economic Analysis of Floating Liquefied Natural Gas (FLNG), Phillip Christian Marmolejo, Massachusetts Institute of Technology, June 2014

Component	3mtpa. 180.00 m3 storage	
	Onshore	FSRU (New build)
Jetty including piping	80	80
Unloading ding lines	100	A/N
Tanks 1×180.000 m ³	180	in FSRU
FSRU Vessel	A/N	250
Process plant	100	in FSRU
Utilities	60	in FSRU
Onshore interface/infrastructure	A/N	30
CAPEX	250	360
Contingency 30% Onshore 10% FSRU	156	36
Owners s Costs	74	54
Total CAPEX	750	450

به خطوط لوله‌ی داخلی به شرایط جوی و آب و هوایی محلی بستگی خواهد داشت. عملیات تخلیه و صدور گاز نیازمند اطلاعات هواشناسی است و هنگام تعیین محل استقرار تأسیسات باید به این نکته‌ی مهم توجه کرد. اما این مسأله در مورد تأسیسات ساحلی وجود ندارد.

با توجه به اینکه ساخت تأسیسات FSRU در محل دیگری و حتی در کشور دیگری ساخته می‌شود فرصت‌های اشتغال نیروی کار و مصالح و مواد مورد نیاز از دست می‌رود. ساخت تأسیسات ساحلی در مواقع اوج کار ساخت و ساز نیازمند حدود ۱۰۰۰-۸۰۰ نیروی کار محلی است. در حالی که در تأسیسات شناور امکان اشتغال نیروی کار محلی وجود ندارد. در واقع اثرات مثبت پروژه‌های FSRU بر اقتصاد محلی بسیار اندک خواهد بود.

در نهایت با توجه به ساختار محدود تأسیسات FSRU امکان ذخیره‌سازی کافی نیتروژن جهت رقیق‌سازی LNG و انطباق گاز ارسالی با شرایط و مشخصات گاز خطوط لوله‌ی محلی وجود ندارد. این مسأله در شرایطی که گاز ارسالی جهت تزریق به خطوط لوله‌ی محلی برای مصرف خانوارها فرستاده می‌شود مشکل ساز خواهد بود اما اگر از گاز ارسالی برای استفاده در نیروگاه‌های تولید برق استفاده شود مشکلی وجود ندارد.

۱۱-۳- فرصت‌ها

اگر کشتی‌های FSRU بر اساس قراردادهای اجاره‌ای استفاده شوند امکان تحویل سریع‌تر گاز به مشتریان وجود دارد و اگر قرارداد تحویل گاز طولانی‌مدت باشد می‌توان کشتی مذکور را خریداری کرده و بر اساس قرارداد بلندمدت فعالیت کرد. این مسأله در مورد کشتی‌های FSRU

پانویس‌ها

1. deghani576@yahoo.com
2. submerged buoy system
3. Floating Storage and Regasification Unit (FSRU)
4. Floating Regasification Unit (FRU)
5. Floating Storage Unit (FSU)

منابع

- [1] Floating Liquefaction (FLNG): Potential for Wider Deployment, Oxford Institute for Energy Studies, 2016
- [2] FLNG / LNG FSRU Terminals- RISK and INSURANCE ISSUES, Paul Nicholson, Marsh LNG Practice Leader, LEG Construction Seminar, London 7th July 2015.
- [3] ARE FLOATING LNG FACILITIES VIABLE OPTIONS? Adrian J Finn, Costain Natural Resources, Hydrocarbon Processing, July 2009.
- [4] International Energy Outlook 2016-Natural gas - Energy Information Administration.
- [5] Floating LNG, Patrick Janssens, Vice President, LNG, London, 16 October 2012.
- [6] The Latest in Floating LNG Technologies, Bryan Trocquet & Scott Worthington, GasTech 2008.
- [7] Natural Gas Technology, Carlos Alberto Dorao, EPT, Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, July 2011.
- [8] Liquefaction solutions for challenge of new offshore FPSO developments, Susan Walther, David Franklin, Pat Ross and Brad Hubbard, Mustang Engineering, Houston, Offshore LNG Process.
- [9] Research of design challenges and new technologies for floating LNG, Dong-Hyun Lee, Mun-Keun Ha, Soo-Young Kim and Sung-Chul Shin, 2013.
- [10] Liquefaction Process Evaluation for Floating LNG, Maya Kusmaya, Trondheim 2014.
- [11] LNG project structures - what's best for floating LNG? 22 October 2013.
- [12] Tassie Shoal LNG Project Technology and Cost Estimate Update, MELBOURNE, AUSTRALIA, 14th November, 2012.
- [13] MARKET DRIVERS AND FLOATING LNG REGAS PROJECTS, John D White, Partner, Baker Botts L.L.P., World Gas Conference, Paris 2015.
- [14] Role of Stranded Gas in Increasing Global Gas Supplies, By Emil D. Attanasi and Philip A. Freeman, 2013.
- [15] OFFSHORE LNG RECEIVING TERMINALS, A Briefing Paper from the GUIDE TO COMMERCIAL FRAMEWORKS FOR LNG IN NORTH AMERICA, A Research and Public Education Consortium, November 7, 2006.
- [16] The Outlook for Floating Storage and Regasification Units (FSRUs), Oxford Institute for Energy Studies, July 2017.

لیتوانی و بنگلادش مصداق دارد. در حال حاضر بسیاری از تأمین‌کنندگان کشتی‌های FSRU پیشنهاد تأسیساتی را می‌دهند که شامل نیروگاه تولید برق نیز باشد. بنابراین در تأسیسات مذکور می‌توان در کنار تأسیسات ترمینال از نیروگاه شناور تولید برق نیز استفاده کرده و برق تولیدی را مستقیماً به شبکه‌ی برق محلی متصل نمود.

۱۱-۴- تهدیدها

این تهدید وجود دارد که به دلیل اندک بودن تأثیرات مثبت محلی، ساخت تأسیسات دریایی شناور توسط مسئولان محلی به تصویب نرسد. در تأسیسات ساحلی اشتغال نیروی کار، مواد و مصالح قابل توجه است. در حالی که در تأسیسات FSRU به دلیل اینکه در کشور دیگری ساخته می‌شوند این مزیت وجود ندارد.

انعطاف‌پذیری زیاد تأسیسات FSRU و امکان انتقال آن از محلی به محلی دیگر می‌تواند امنیت عرضه‌ی گاز توسط عرضه‌کنندگان را خدشه‌دار کند. از دیگر تهدیدات تأسیسات FSRU هزینه‌های نسبتاً زیاد ساخت زیرساخت‌های بندری است. بسیاری از تأسیسات FSRU بر مبنای زیرساخت‌های موجود لنگرگاهی که بخشی از برنامه‌ی توسعه‌ی آن کشور است ساخته می‌شوند و سبب صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌ها تا حد قابل توجهی خواهد شد. اگر زیرساخت‌های مربوط به بندرگاه وجود نداشته باشد هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه افزایش می‌یابد و ممکن است به اقتصاد پروژه آسیب وارد کرده و پروژه را غیراقتصادی کند. این اعتقاد وجود دارد که یکی از دلایل لغو ساخت ترمینال شناور Emirates LNG همین مسأله بوده است. ■