مقاله

مقایسهٔ اقتصادی
تکنولوژی‌های مختلف گاز طبیعی

اکبر ناظمی*

امروزه فن‌آوری‌های بسیار زیادی برای فرآورش، انتقال و به‌کارگیری از منابع گاز طبیعی شکل گرفته‌اند. انتقال گاز طبیعی به واسطهٔ ماهیت گازی آن با دشواری روبه‌رو است و حتی استفاده از ساده‌ترین روش انتقال یعنی خطوط لوله در فواصل طولانی با مشکلات زیادی برخورد می‌کند. در هر حالت یا باید گاز طبیعی را به طریق فیزیکی مایع کرد (LNG) یا آنکه با یک روش شیمیایی مانند (GTL) به محصولات مایع یا جامد تبدیل کرد تا حمل‌ونقل آن به راحتی انجام گیرد. این دو روش اقتصادی، توانسته است دشواری حمل گاز به بازارهای دوردست را تا حد زیادی برطرف سازد و در مواردی با خط لوله رقابت کرده و عدم توجیه اقتصادی ساده‌ترین روش انتقال را پدیدار نمایند. در این مقاله تکنولوژی‌های مختلف گاز طبیعی را با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ظرفیت و فاصلهٔ انتقال آنها با یکدیگر مقایسه کرده، تکنولوژی برتر در هر فاصله را با توجه به جدیدترین قیمت‌های گاز انتخاب کرده آنگاه به مقایسهٔ کارخانه‌های GTL وLNG از لحاظ تولید و نرخ سوددهی محصولات آن خواهیم پرداخت و با خط لوله مقایسه کرده و به این نتیجه می‌رسیم که خطوط لوله برای مسافت‌های کوتاه و ظرفیت‌های بالا مناسب‌تر از دو روش دیگر می‌باشد. در صورتی که LNG برای مسافت‌های طولانی‌تر و در ظرفیت‌های بالا بهترین گزینه خواهد بود. اما تکنولوژی GTL نیز معمولاً جهت انتقال در ظرفیت‌های متوسط و مسافت‌های طولانی یک گزینهٔ مناسب می‌باشد و در نهایت پیشنهادهایی برای استفاده از این تکنولوژی‌های مفید و سودآور اقتصادی برای تصمیم‌گیران بخش انرژی کشورمان ارائه خواهیم داد.

به دلایل فراوانی پراکندگی منابع گاز طبیعی در جهان، هزینهٔ کمتر استخراج، قیمت مناسب و قابل رقابت آن با توجه به داشتن ارزش حرارتی لازم، آلایندگی کمتر محیط زیست در مقایسه با سایر سوخت‌های فسیلی و دیگر امتیازهایی که سوخت گاز دارد، در سال‌های آتی ارزش واقعی خود را در زمینه‌های مختلف تأمین انرژی نشان خواهد داد و به عقیدهٔ کارشناسان آژانس بین‌المللی انرژی، تقاضای گاز طبیعی تا سال ۲۰۲۵ دو برابر خواهد شد و بدون شک گاز طبیعی مهم‌ترین منبع تأمین انرژی در قرن آینده خواهد بود. در فناوری GTL، گاز طبیعی در یک رشته فعل و انفعالات شیمیایی به مایعات میان تقطیر هیدروکربنی مانند نفتا، سوخت جت، دیزل و پایه‌های روغنی و... تبدیل می‌شود. این فرآیند چهار مرحلهٔ کاملاً شناخته شده دارد که عبارتند از:

۱- خالص‌سازی گاز: گاز طبیعی باید تحت فرآیندهایی از ناخالصی‌هایی که موجب صدمه زدن به کاتالیست‌های گوناگون می‌شود، زدوده شود.

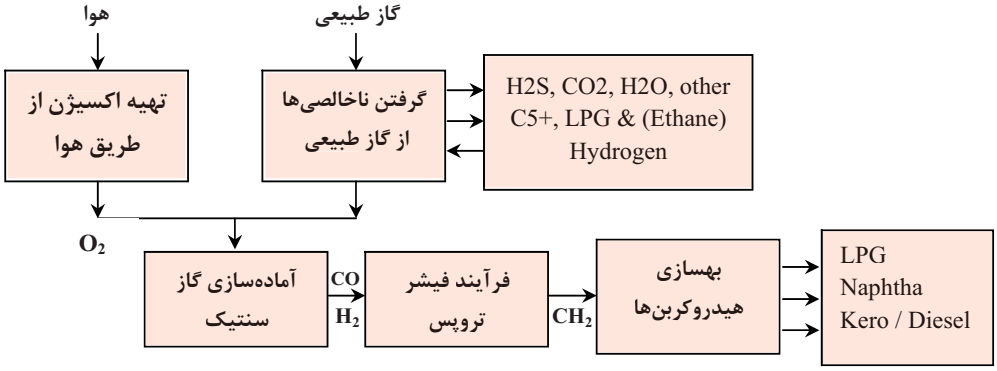
۲- آماده‌سازی گاز سنتیک (مخلوط منواکسیدکربن و هیدروژن که در جوار کاتالیست آهن یا کبالت واکنش داده می‌شود)، در واقع به عنوان خوراک برای سنتز مواد سنتیکی استفاده می‌شود.

۳- سنتز FT (Fischer-Tropsch)، در واقع این روش ساخت پارافین سنگین است. در این مرحله گاز تولید شده در مرحلهٔ اول با استفاده از واکنش FT به هیدروکربن‌های مایع تبدیل می‌شود.

۴ – به‌سازی هیدروکربن‌ها (هیدروکراکینگ/ هیدروترتینگ)، در این مرحله زنجیرهٔ هیدروکربن‌های تولید شده در مرحلهٔ بالاتر تحت عملیات تقطیر و تبدیل قرار می‌گیرد و به فرآورده‌هایی با کیفیت مرغوب و عاری از هرگونه آلودگی نیتروژن، سولفور و ترکیبات مرکاپتان تبدیل می‌شود. (در شکل شمارهٔ (۱) مراحل مختلف فرآیند GTL نشان داده شده است).

* شرکت ملی گاز ایران،کارشناس مدیریت پالایش گاز

شکل ۱: مراحل مختلف فرآیند GTL



LNG در برابر خط لوله

تاکنون خط لوله در تجارت جهانی گاز بین قاره‌ها و کشورها غالب بوده است. در سال ۲۰۰۰، ۲۱ درصد از تجارت گاز به وسیلهٔ LNG انجام شده است که تقریباً ۵/۵ درصد از تقاضای کل گاز طبیعی جهان می‌باشد. شکل۲ سهم LNG درکل تجارت جهانی گاز تا سال ۲۰۳۰ میلادی را نشان می‌دهد. این چشم‌انداز ترکیب چهار مرجع معتبر می‌باشد که در برخی از بازه‌های زمانی اختلافات قابل توجهی با یکدیگر دارند. اگرچه متوازن کردن عرضه و تقاضا در بازار گاز طبیعی براساس خط لوله می‌باشد اما در برخی از موارد با محدودیت‌های اقتصادی، فنی و حتی سیاسی مواجه می‌شود که در زیر به برخی از این محدودیت‌ها اشاره می‌شود:

– فاصلهٔ جغرافیایی زیاد بین نواحی مصرف تا مراکز اکتشاف و منابع بزرگ گاز طبیعی در بسیاری از موارد احداث خط لوله را غیرممکن ساخته است.

– برخی از کشورهای اصلی صادرکنندهٔ گاز با استفاده از خطوط لولهٔ قدیمی که در اختیار دارند به حداکثر قابلیت‌های صادراتی خود رسیده‌اند (مانند خط لولهٔ کانادا به هلند) و دیگر نمی‌توانند پاسخگوی رشد روزافزون تقاضا در دهه‌های آینده باشند.

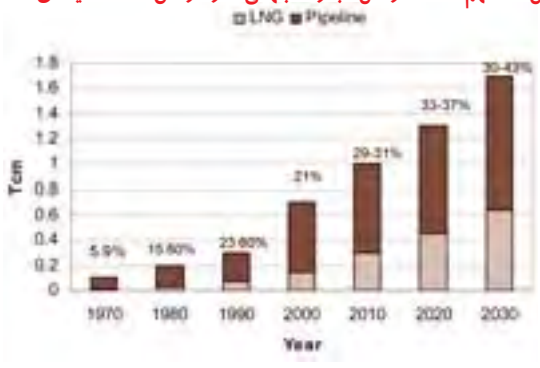
– خطوط لولهٔ بین‌المللی گاز معمولاً از چندین کشور و مرزهای فراوان عبور می‌کند، که امکان ناپایداری در اوضاع سیاسی کشورهایی که خط لوله از آنها عبور می‌کند یا طولانی شدن مذاکرات به دلیل اختلاف بر سر حق ترانزیت عبور خط لوله می‌تواند مشکلات فراوانی را پیش روی امنیت عرضهٔ مطمئن این کالای ارزشمند قرار دهد. (در سال‌های اخیر اختلافات بین روسیه و اکراین بر سرحق ترانزیت گاز به گونه‌ای امنیت انرژی اروپا را تهدید کرده که این اتحادیه به صورت جدی به فکر تأمین انرژی مورد نیاز خود از دیگر تولیدکنندگان گاز مانند ایران افتاده است یا اختلاف بر سر حق ترانزیت پاکستان در خط لولهٔ صلح که همچنان از موارد اختلافی عمده بین هند و پاکستان می‌باشد).

در صورتی که LNG بسیاری از محدودیت‌های فوق‌الذکر را ندارد، از طرفی رشد سریع نیروگاه‌های گازسوز، گرایش عمومی‌به آزادسازی بازارهای انرژی، تنوع در شکل قراردادها، رشد قابل توجه ترمینال‌های دریافت LNG و ازدیاد بازیگران و جریان تجاری بین شرق و غرب از جمله عواملی می‌باشد که باعث ایجاد بازاری پرجاذبه و نیرومند برای تولیدات کارخانه‌های LNG شده در شکل ۲ تقاضای جهانی گاز طبیعی برای بخش‌های مختلف نشان داده شده است و همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین رشد تقاضا مربوط به تولید برق با استفاده توربو ژنراتورهای گازسوز می‌باشد.

بررسی اقتصادی خط لوله و LNG

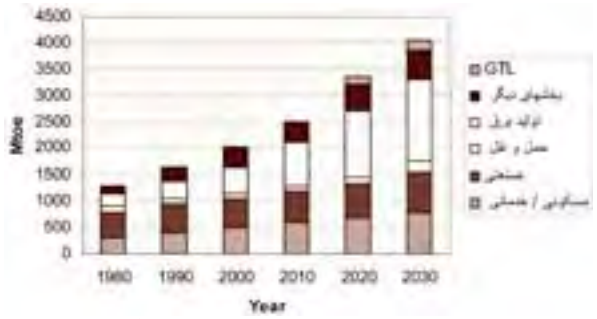
هزینهٔ سرمایه‌ای خط لولهٔ انتقال گاز در سال ۲۰۰۴ معادل یک میلیون دلار به ازای هرکیلومتر بوده است. اما در سال ۲۰۰۸ اجراء و احداث خط لولهٔ انتقال گاز به علت افزایش قابل توجه قیمت جهانی فولاد در طبقه‌بندی‌های استاندارد X۶۵ / X۷۰ و همچنین گران‌قیمت بودن انواع پوشش‌های لوله دارای هزینه‌های بسیار بالاتر از سال ۲۰۰۴ می‌باشد. به صورتی که در حال حاضر اجرای هر کیلومتر از قطرهای ۳۰ الی ۵۶ اینچ به تناسب عملیات راه‌سازی کوهستانی و عبور از موانع و یا دشت برابر ۳ الی ۳/۵ میلیون دلار جهت خرید لوله – شیر و اتصالت و ایستگاه‌های تقویت فشار گاز و مخابرات و یاردهای تعمیرات خط لوله و تجهیزات و ماشین‌آلات، آموزش نیروی انسانی و سایر هزینه‌های جنبی مانند تحصیل اراضی هزینه در برخواهد داشت. اما در بخش دریایی برای اجرای هر کیلومتر لوله با قطر ۵۶ اینچ، ۳/۵ الی ۴/۵ میلیون دلار به تناسب فعالیت‌های طراحی پایه و تفصیلی، تأمین لوله و سایر موارد مورد نیاز، اندود بتونی لوله برای جلوگیری از شناور شدن و خوردگی، عملیات لوله‌گذاری درکف دریا به تناسب عمق دریا و یا اقیانوس می‌باشد. در شکل‌های ۵ و ۶ زنجیره LNG برای یک تجارت فرضی از پنج مبداء ترینیداد و توباگو، استرالیا، قطر، اندونزی و ساخالین به مقصد شمال آمریکا در ساحل اقیانوس آرام برای سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ محاسبه شده است. با توجه به اینکه حدود ۶۰ درصد از کشتی‌های انتقال LNG دارای ۴ تانکر و از نوع کروی هستند از این نوع کشتی‌ها برای محاسبه استفاده شده است. در سال ۲۰۰۴ بزرگترین کشتی در حال بهره‌برداری ظرفیتی معادل ۱۴۰۰۰۰ متر مکعب داشته که متوسط اندازه کشتی‌های در حال بهره‌برداری در این سال ۱۱۰۲۹۲ متر مکعب می‌باشد. در انتهای سال ۲۰۰۷ و ابتدای ۲۰۰۸ بزرگترین کشتی در حال بهره‌برداری ظرفیتی معادل ۱۵۳۵۰۰ متر مکعب داشت که میانگین اندازه کشتی‌ها در این سال ۱۲۵۲۸۸ متر مکعب می‌باشد. برای محاسبه در این مقاله از مقادیر میانگین استفاده شده است. انتظار می‌رود متوسط اندازهٔ کشتی‌های انتقال LNG در سال ۲۰۱۰ به حدود ۱۳۴۶۸۴ متر مکعب، یعنی ۷/۵ درصد بیش از میانگین سال ۲۰۰۸–۲۰۰۷ افزایش یابد. در شکل ۷ سیر تکاملی حداکثر اندازهٔ کشتی‌های انتقال LNG طی دورهٔ ۲۰۰۸– ۱۹۶۳ نشان داده شده است.

شکل ۲: سهم LNG در کل تجارت جهانی گاز در افق ۲۰۳۰ میلادی



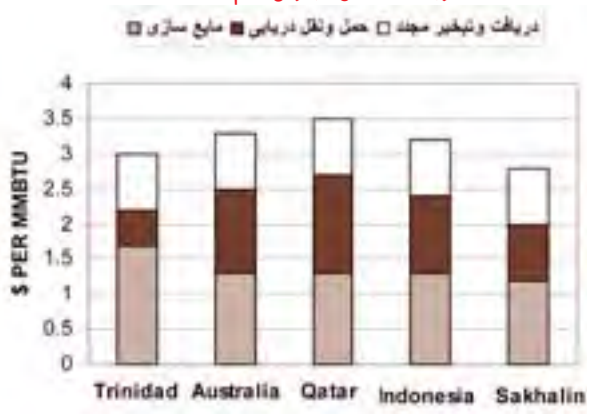
Source: IEA(International Energy Agency)

شکل۳: تقاضای جهانی گاز طبیعی برای بخش‌های مختلف

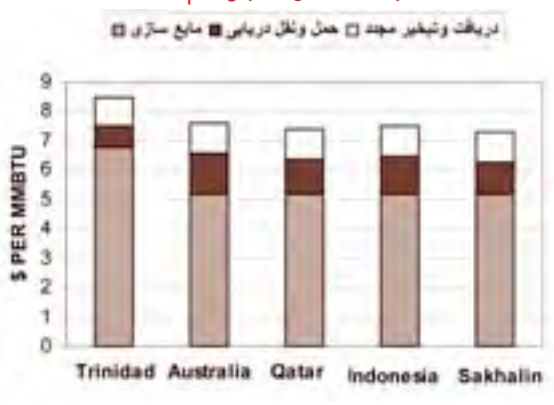


Source: CEDIGAZ

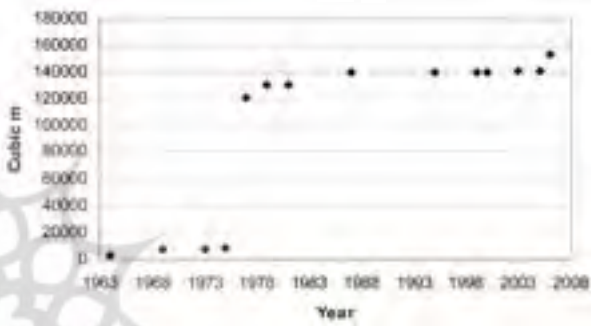
شکل۴: قیمت‌های زنجیرهٔ LNG برای یک تجارت فرضی به مقصد شمال آمریکا در ساحل اقیانوس آرام سال ۲۰۰۴



شکل ۵: قیمت‌های زنجیره LNG برای یک تجارت فرضی به مقصد شمال آمریکا در ساحل اقیانوس آرام سال ۲۰۰۸



شکل۶: سیرتکاملی حداکثر اندازه کشتی‌های انتقال LNG طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۳



بررسی اقتصادی GTLو LNG

در هـر حالت یا بایـد گاز طبیعی را به طریق فیزیکی مایع کـرد (LNG) یا آنکه با اسـتفاده از یک روش شـیمیایی مانند GTL آن را به محصولات مایع یا جامد تبدیل کرد تا حمل ونقل آن به راحتی انجام گیرد. هر چند این دو، از خوراک مشـترکی یعنی همـان گاز طبیعی اسـتفاده می‌کنند، اما بـازار محصولات آنها متفاوت اسـت. LNG بیشـتر در صنایع انرژی‌بر و محصولات GTL غالباً در سـوخت و سـایل نقلیه، ساخت نفتا، مواد شـیمیایی و پتروشـیمیایی کاربرد دارد. به علاوه فرآیند GTLشیمیایی است و از این جهت با تولید LNGکه صرفاً یک فرآیند سردسـازی اسـت متفاوت می‌باشد. می‌توان گفت که فرآیند GTL بیشتر به فرآیند تولید متانول از گاز طبیعی شباهت دارد. اهمیت این فناوری فراتر از آن اسـت که فقط وسـیله‌ای برای به فروش رساندن گاز و دسـتیابی به ذخایر تازه محسوب شـود با تبدیل گاز به فرآورده‌های نفتی در کشورهای صاحـب ذخایر نفت و گاز، ایـن فرآیند عمر ذخایر نفتی منطقه‌ای را بیشـتر کرده و در کشـورهایی که دارای ذخایر گاز بوده ولی فاقد ذخایر نفتی هسـتند و یا مقدار کمی‌نفت دارنـد، هزینه‌های واردات نفت خام و یـا فرآورده‌های نفتی را کاهش می‌دهد. همچنین می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با نوسانات قیمت نفت باشد. علاوه برآنچه گفته شد، با تبدیل گازهای همراه نفت که روی چاه‌های نفت آزاد می‌شوند، دیگر نیازی به تخلیه در هوا یا سـوزاندن آنها نخواهد بود. به این ترتیب که استخراج نفت از میادین نفتی که نمی‌توان گاز همراه نفت آنها را تخلیه کرد امکان‌پذیر شـده و همچنین از به هدر رفتن این گازها جلوگیری می‌شـود. ضمن اینکه اثرات زیست‌محیطی آنها نیز مرتفع می‌گردد. در جدول شـماره ۱ تولید GTL وLNG را از لحاظ اقتصادی برای یک کارخانه GTL با ۱۰۰هزار بشـکه در روز و یک تأسیسـات LNG با ۳ /۷میلیون تن در سال با یکدیگر مقایسـه کرده به گونه‌ای که هر بشکه محصولات GTL از لحاظ ارزش حرارتی معادل ۱۰ MMbtu گاز طبیعی می‌باشد. در جدول ۲ نرخ سوددهی کارخانه‌های مزبور را پس از یکسان کردن ارزش حرارتی آنها با یکدیگر مقایسه کرده و به این نتیجه خواهیم رسید که هر MMbtu از محصولات GTL، ۳/۲۷-۱/۷۶ دلار نرخ سـوددهی آن می‌باشد در صورتی که هر MMbtu از تولیدات کارخانه LNG، ۳/۰۴-۱/۵۴ دلار نرخ سوددهی آن می‌باشد. در شکل ۸ تفکیک هزینه‌های سرمایه‌ای مربوط به LNG در سال ۲۰۰۸ نشان داده شده است. بالاترین هزینه مربوط به بخش مایع‌سازی است. در شکل ۹ نیز تفکیک هزینه‌های سـرمایه‌ای مربوط به GTL در سـال ۲۰۰۸ نشان داده شده است. بالاترین هزینه مربوط به آماده‌سازی گاز سنتیک می‌باشد. با افزایش ظرفیت کارخانه‌های GTL هزینه سـاخت این گونه تأسیسـات نیز کاهش پیدا می‌کند. به این دلیل که تقریباً تمام فناوری‌های موجود در یک تأسیسـات GTL دارای یک خاصیت مشـترک هستند، نیاز به مقادیر زیادی از انرژی با پایه Grade بالا برای راه‌اندازی فرآیندهای جداسـازی هوا، نیازهای پیش گرمایش برای مرحله تولید گاز سـنتیک، بازیافت گرمای هدر رفته از گاز سـنتیک و اسـتفادهٔ مؤثر از آن، تولید گرمای مرتبه متوسـط یا پایین توسط فرآیند FT، تـدارک هیدروژن برای هیدروکراکر و بازیافت بهینه محصول برای به حداکثر رسـاندن مقدار محصول به دسـت آمده دارند. از آنجایی که پروژه‌های GTL دارای بازدهٔ گرمایی حدود۶۰ درصد هستند، حدود ۴۰ درصد گرما را به محیط اطراف منتشر می‌سازند و باید روش‌هایی برای بازیابی اقتصادی ۴۰ درصد گرمای مورد نظر یافت شود. یک تأسیسات GTL می‌تواند به صورت یک مجموعهٔ فرآوری گاز و تولید گاز سنتیک، همراه با حداقل دو مجموعه جداسازی هوای منفرد در قسمت جلویی، یک فرآیند تبدیل مواد شیمیایی با مقیاس بزرگ در قسـمت میانی و یک بخش پالایش در بخش انتهایی باشد. تأسیسات GTL با ظرفیت حدود ۱۵۴ هزار بشـکه در روز، دارای یک سیسـتم بزرگ بخار اسـت که بسـته به هر کدام از فناوری‌های روز مانند Smds (تکنولوژی مشهورشـرکت شل)، باید بتواند نرخ بخار لازم را که حدود ۶۰۰۰ تن در ساعت است، تأمین نماید. کار با این مقدار عظیم بخار به طور قطع کسـانی را که با امر پالایش گاز سـروکار دارند، متعجب خواهد کرد. در شـکل‌های ۱۱ و ۱۲ هزینه‌هـای تکنولوژی‌های مختلف گاز طبیعی در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ با توجه به فاصلهٔ انتقال هر یک از آنها تا بازار مصرف مقایسه شده است.

جدول۲: مقایسه نرخ سوددهی کارخانه‌های GTLوLNG

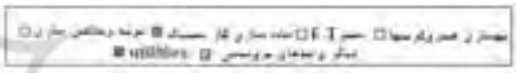
	GTL(F-T) ($/ barrel)	LNG ($ / MMBtu)
گاز طبیعی	۶ – ۱۰	۰/۶ –۱
هزینه‌های عملیاتی	۴– ۵	/۵–۰/۶
هزینه‌های سرمایه‌ای	۱۴–۲۰	۷/۵–۸/۵
هزینه تولیدات	۲۴– ۳۵	۸/۶–۱۰/۱
	(۴/۰۲–۶/۰۱) MMBtu / $	

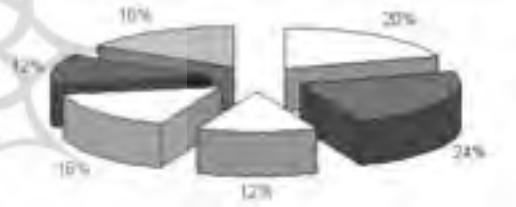
ادامه جدول۲: مقایسه نرخ سوددهی کارخانه‌های GTL وLNG

LNG ($ / MMBtu)	GTL(F-T) ($/ barrel)	
۱۱/۶۴	۳۳- ۵۳ $/ barrel	قیمت محصول در بازار NYMEX-Henry Hub
	۵/۷۸-۹/۲۸	قیمت محصول برحسب $ / MMBtu
٪۸۳/۵	٪۶۰	بازده تبدیل
۱/۵۴-۳/۰۴	۱/۷۶-۳/۲۷ $ / MMBtu	نرخ سوددهی

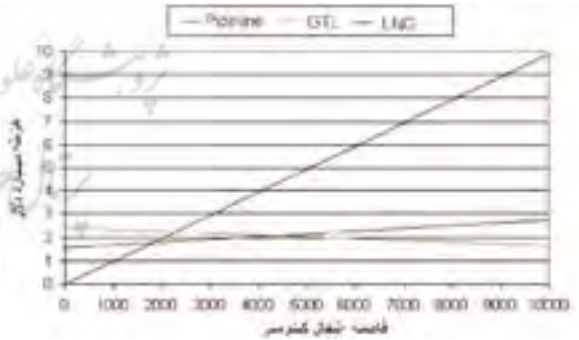
شکل۸ :تفکیک هزینه‌های سرمایه‌ای مربوط به LNG در سال ۲۰۰۸

شکل۹: تفکیک هزینه‌های سرمایه‌ای مربوط به GTL در سال ۲۰۰۸

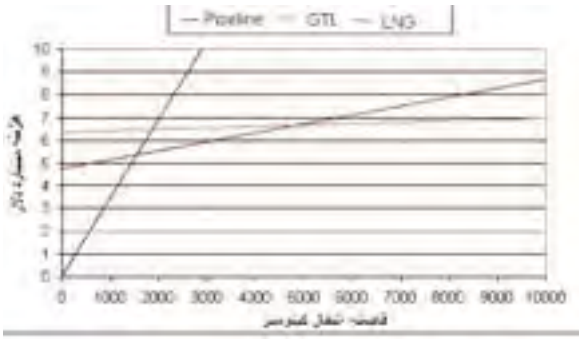




شکل۹: تفکیک هزینه‌های سرمایه‌ای مربوط به GTL در سال ۲۰۰۸



شکل۹: تفکیک هزینه‌های سرمایه‌ای مربوط به GTL در سال ۲۰۰۸



نتیجه‌گیری

هزینه‌هـای مایع‌سـازی در زنجیرهٔ LNG از ۲۰۰ دلار در هر تن در سـال ۲۰۰۴ به ۱۱۰۰- ۸۰۰ دلار در هر تن در سـال ۲۰۰۸ رسـیده و بیشـترین افزایش را به خود اختصاص داده اسـت. در این زنجیره هزینه‌های حمل و نقل دریایی و ذخیره‌سازی در پایانهٔ دریافت و تبخیر مجدد نیز نسـبت به سـال ۲۰۰۴ افزایش پیدا کرده است اما نه در نرخ یکسـان. هزینهٔ زنجیرهٔ LNG حداکثر ($ / MMBtu) ۵ /۳ در سال۲۰۰۴ بوده بـه گونه‌ای که در سـال ۲۰۰۸ حداقل ($ / MMBtu) ۷/۵ می‌باشـد. از طرفی هزینهٔ خط لولهٔ انتقال گاز در سـال ۲۰۰۴ معادل یک میلیـون دلار به ازای هر کیلومتر بوده که در سـال ۲۰۰۸ به حداقل ۳ میلیون دلار در هر کیلومتر رسـیده است. در این مقاله هزینه‌های تکنولوژی‌های مختلف گاز طبیعی در سـال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ با توجه به فاصلـهٔ انتقال هر یک از آنها تا بازار مصرف با یکدیگر مقایسـه شـده و به این نتیجه رسـیدیم که خطوط لوله برای مسـافت‌های کمتر از ۱۸۰۰ کیلومتر و ظرفیت‌های بالا مناسـب‌تر از دو روش دیگر می‌باشد. در صورتی که LNG برای مسافت‌های بیشتر از ۱۸۰۰کیلومتـر و در ظرفیت‌هـای بالا بهترین گزینه خواهد بـود. اما تکنولوژی GTL نیـز معمولاً جهت انتقال در ظرفیت‌های متوسـط و مسـافت‌های طولانی یک گزینهٔ مناسب می‌باشد. این فرآیند از نظر لجستیکی امتیازات برجسته‌ای نسبت به گاز طبیعی مایع شـده دارد و بازار گسـترده و بزرگی برای فرآورده‌هـای آن وجود دارد. در GTL برخلاف LNG وجود مشـتریان و کشتی‌های باری اختصاصی و پرخرج و ترمینال‌های ورودی گران‌قیمت، کلید توسـعهٔ پروژه محسوب نمی‌شود. زیرا می‌توان از سیستم‌های توزیع متعارف برای دسترسـی به بازار محصولات نفتی استفاده کرد. همچنین به عقد قراردادهـای خرید درازمدت احتیاجی نـدارد. در برابر این مزایا معایبی نیز دارد. به طور مثال مقادیر مربوط به طراحی یک تأسیسـات GTL با ظرفیت ۱۵۴ هزاربشکه در روز، از نظر موارد مهندسـی و ساخت بسـیار بزرگ بوده و معادل حداقل الزامات برای یک پالایشگاه نفت با ظرفیت ۳۰۰ هزار بشکه در روز خواهد بود. در سال‌های اخیر بیشترین توجه در این زمینه، بر روی ابداع یا بهبود کاتالیست‌ها، کیفیت مناسب سوخت به دست آمده و کوچکتر کردن سیسـتم‌های فرآورش متمرکز بوده اسـت، زیرا مجموعه‌ایی از چند سیستم کوچکتر احتمالاً راندمان بالاتر و هزینهٔ کمتری نسبت به یک واحد عظیم فرآوری خواهد داشـت. وجود مخازن عظیم گازی یکی از عوامل اساسـی در اقتصادی بودن طرح‌های LNG و GTL می‌باشـد. کشـور ما به این دلیل که به عنوان دومین دارندهٔ ذخایر گازی جهان شـناخته شـده اسـت و حدود ۱۶ درصد ذخایر کل جهان را دراختیار دارد از موقعیت ایده‌آلی در زمینه‌های فوق برخوردار است. توجه به فناوری‌های جدید و تحقیق و توسعه برای افزایش برداشت از مخازن و تولید هر چه بیشتر در سطوح بین‌المللی، اصلی‌ترین مسـیر حرکت کشور را باید تشـکیل دهد. بنابراین فنآوری‌های گاز، محصول صادراتی مهمی‌به شـمار می‌آید و همچنیـن می‌تواند یک محرک قوی برای همکاری‌های بین‌المللی و تعیین موقعیت استراتژیک کشور باشد.

مراجع: در دفتر ماهنامه جهت دسترسی علاقمندان در اختیار می‌باشد.