

اوج سائی مصرف گاز طبیعی با استفاده از سیستم تزریق مخلوط پروپان - هوا

مینا گرجی آرا

چکیده: ایران با شبکه گسترده گازرسانی و توسعه روزافزون آن جهت امنیت و انعطاف پذیری عرضه گاز طبیعی و کاهش ریسک عملیاتی نیازمند ذخیره سازی گاز طبیعی میباشد. سیستم انتقال گاز بر اساس حداکثر مصرف گاز طراحی گردیده و نظر به اینکه قسمت عمده مصرف گاز در بخش خانگی، تجاری بوده و مصرف در این بخش فصلی و تابع درجه حرارت میباشد، بنابراین از ظرفیت بالقوه تولید و انتقال در فصول گرم استفاده نمی گردد. علاوه بر این پیک های سوزنی مصرف که در سردترین روزهای سال با افت درجه حرارت رخ میدهند باعث افزایش ناگهانی مصرف گاز شده که خارج از ظرفیت تولید و انتقال گاز بوده و مجبور به برداشت بیشتر از حجم گاز خطوط لوله انتقال شده، در نتیجه افت فشار در شبکه گازرسانی ایجاد و امکان قطع گاز مخصوصاً در انتهای شبکه انتقال گاز کشور پیش می آید. جهت حل این معضل از روش های استفاده از مخازن زیرزمینی گاز طبیعی، گاز طبیعی مایع شده، پروپان- هوا و گاز طبیعی فشرده شده در کشورهای مصرف کننده گاز استفاده می گردد که در کشور ایران در حال حاضر هیچکدام از این روش ها اجرا نگردیده است و تنها یک طرح در زمینه ذخیره سازی گاز طبیعی در حال اجرا و چند طرح در دست بررسی می باشد. در این مقاله کلیه تجهیزات سیستم تزریق پروپان- هوا جهت پیک سائی مصرف گاز به عنوان یک روش پیک سائی مصرف گاز معرفی گردیده است.

واژه های کلیدی: سیستم انتقال گاز طبیعی، اوج سائی مصرف گاز، ذخیره سازی گاز طبیعی، سیستم تزریق پروپان- هوا، عدد وب (Wobbe)

مصرف گاز طبیعی سریع ترین رشد منابع انرژی را در جهان تا سال ۲۰۰۶ داشته است. بطوریکه مصرف آن از ۹۵ تریلیون فوت مکعب در سال ۲۰۰۳ به ۱۸۲ تریلیون فوت مکعب در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. کشور ایران دومین دارنده ذخایر اثبات شده گاز طبیعی دنیا میباشد و توسعه روز افزون پروژه های گاز رسانی، به ویژه در بخش خانگی در کشورمان باعث شده است که هر ساله در طول زمستان، موازنه تولید و تقاضای گاز کشور منفی باشد و علی رغم اعمال محدودیت های جدی برای مصرف گاز نیروگاه ها و صنایع بزرگ (تأمین سوخت از طریق سوخت های مایع)، در برخی از شهرهای کشور افت شدید فشار گاز و گاهی قطعی گاز گزارش شود. سیستم انتقال گاز بر اساس حداکثر مصرف گاز طراحی گردیده و نظر به اینکه قسمت عمده مصرف گاز در بخش خانگی، تجاری بوده و مصرف در این بخش فصلی و تابع درجه حرارت می باشد، از ظرفیت بالقوه تولید و انتقال در فصول گرم استفاده نمی گردد. علاوه بر این پیک های سوزنی مصرف گاز که در سردترین روزهای سال با افت درجه حرارت رخ می دهند باعث افزایش ناگهانی مصرف گاز شده که خارج از ظرفیت تولید و انتقال گاز بوده و مجبور به برداشت بیشتر از حجم گاز خطوط لوله انتقال گاز شده و در نتیجه افت فشار شبکه گازرسانی ایجاد شده و امکان قطع گاز مخصوصاً در انتهای شبکه انتقال کشور پیش می آید. سیستم های انتقال گاز براساس این مقدار ناگهانی و موقتی افزایش مصرف، طراحی نمی گردند. بنابراین در این شرایط سیستم دچار افت فشار شده و مشکل کمبود و قطعی گاز رخ خواهد داد. راهکارهای متفاوتی جهت امنیت و انعطاف پذیری عرضه گاز و کاهش ریسک عملیاتی پیشنهاد می گردد. تمامی کشورهای دارای شبکه گازرسانی نظیر ایالات متحده، روسیه، اکراین، آلمان و غیره از سیستم های امنیتی نظیر مخازن زیرزمینی، سیستم تزریق پروپان - هوا و ذخایر LNG جهت اوج سائی مصرف استفاده می نمایند.

بنابراین در ایران هم پروژه های ذخیره سازی گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی مطرح و چندین مخزن نظیر سراجیه قم، یورتشاه ورامین انتخاب و در دستور اقدام شرکت ملی گاز ایران قرار دارند. با توجه به اینکه تعداد این ذخایر زیرزمینی در مقابل حجم مصرف گاز در ایران کافی به نظر نرسیده و هر ساله ریسک قطعی گاز مخصوصاً در شمال کشور و در انتهای مسیر گازرسانی وجود داشته، استفاده از سیستم تزریق پروپان- هوا در شرایط پیک به عنوان یک راه حل جهت پیک سائی برای شهرهای کوچک مورد بررسی قرار می گیرد. در این مقاله ابتدا به وضعیت تولید و مصرف و منابع تولید پروپان در کشور پرداخته و سپس سیستم تزریق پروپان- هوا مورد بررسی فنی قرار خواهد گرفت.

۱- مروری بر پروپان و منابع تامین آن در کشور

پروپان ترکیب اصلی گاز پروپان (Liquidified Petroleum Gas) می باشد که در فصول مختلف بسته به درجه حرارت درصد آن نسبت به بوتان تغییر خواهد کرد. جهت تامین فشار بخار مطلوب محصول LPG، در فصول گرم درصد پروپان در LPG کمتر بوده و در فصول سرد سهم آن افزایش می یابد.

پروپان در درجه حرارت و فشار اتمسفریک به صورت گاز بوده و تحت فشار متوسط یا دمای پایین به صورت مایع در می آید. بنابراین به راحتی در مخازن تحت فشار به صورت مایع ذخیره گردیده و منتقل می شود. پروپان در حالت مایع ۲۷۰ برابر نسبت به حالت گاز فشرده تر بوده و هر گالن مایع آن ۲۷۰ گالن گاز معادل ۳۶ فوت مکعب استاندارد گاز تولید می نماید.

پروپان به عنوان محصول جانبی حاصل از پالایش گاز و نفت بوده و به صورت مستقل تولید نمی گردد. بنابراین درصد آن نسبت به ترکیب نفتخام و مقادیر فرآورده های نفتی متفاوت بوده و در فصول مختلف سال مقادیر آن متفاوت خواهد بود. در پالایشگاه های گاز جهت تنظیم نقطه شبنم هیدروکربوری پروپان جدا گردیده و پروپان به عنوان محصول جانبی پالایش گاز محسوب می گردد. البته در ایران بخشی از پروپان مصرفی از طریق پتروشیمی تامین میگردد.

پروپان در دنیا در بخش های خانگی، تجاری، صنایع، کشاورزی و پتروشیمی به کار می رود و در بخش پتروشیمی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اما در ایران پروپان تنها به عنوان سوخت در بخش خانگی، تجاری صنایع و خودروها مصرف می گردد و مصرف آن فصلی و تابع درجه حرارت میباشد. با توجه به فصلی بودن مصرف پروپان، قیمت جهانی آن در فصل سرما افزایش یافته و قیمت آن در فصول مختلف متفاوت خواهد بود.

جهت ذخیره سازی پروپان می توان از مخازن نمکی زیرزمینی استفاده کرده و از طریق خط لوله و کامیون آن را به مخازن تحت فشار با ظرفیت های متفاوت عملیاتی منتقل نموده و در شبکه گاز شهری مورد استفاده قرار داد. در حال

حاضر در کشور آمریکا ۷۰،۰۰۰ مایل شبکه انتقال LPG وجود دارد.

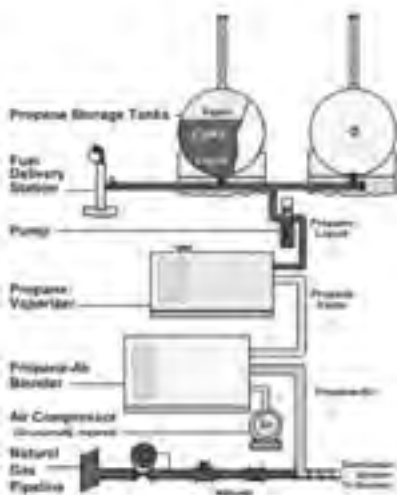
تمامی تجهیزات نظیر مخازن، شیرها، رگلاتورها، لوله ها، اتصالات، اندازه گیرها و که در انتقال و ذخیره سازی LPG و پروپان استفاده میگردند باید بر اساس استاندارد ساخته شوند (National Fire Protection Association) NFPA ۵۸، NFPA ۵۹.

۲- تولید و مصرف گاز مایع در ایران

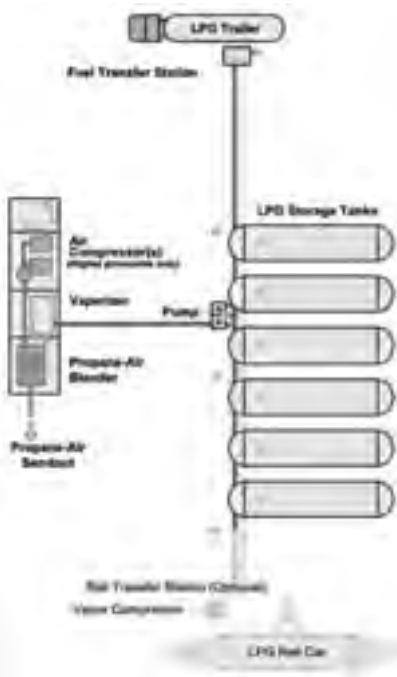
گاز مایع تولیدی پالایشگاه های نفتی عمدتاً به عنوان سوخت مصرف میشود و بسته به خوراک نفتخام میزان گاز مایع در فصول مختلف متفاوت خواهد بود. مقدار مصرف گاز مایع فصلی بوده و در سال های مختلف میزان مصرف آن رو به کاهش است. در سال ۱۳۸۴، ۱/۴ درصد مصرف گاز مایع نسبت به سال ۱۳۸۳ کاهش یافته است که عمدتاً ناشی از توسعه شبکه گاز طبیعی در کشور میباشد. گاز مایع مصرفی کشور بخشی از طریق پالایشگاه های نفتی کشور، بخشی از طریق پتروشیمی (به صورت زمینی و دریایی) و بخشی از طریق واردات (به منظور انتقال بهینه و کاهش انتقال گاز مایع از جنوب کشور به شمال کشور از طریق ترکمنستان LPG وارد و در شمال کشور مصرف می گردد و به جای آن LPG پتروشیمی از جنوب صادر می گردد و دلیل واردات کمبود LPG نمی باشد) تامین می گردد. گاز مایع شرکت پخش فرآورده های نفتی با تانکرهای گازکش (گازکش جاده پیما) با ظرفیت ۱۸ تن منتقل می گردد.

محصول جانبی پالایشگاه های گاز فجر جم و پارس جنوبی پروپان می باشد. تولید پالایشگاه پارس جنوبی از طریق خط لوله به اسکله منتقل و صادر می شود. تولید پالایشگاه فجر جم با تانکر منتقل شده، به مصارف داخلی رسیده و یا صادر میگردد. تولید پالایشگاه سرخون و قشم به صورت مخلوط پروپان و بوتان بوده و به مصرف داخلی می رسد.

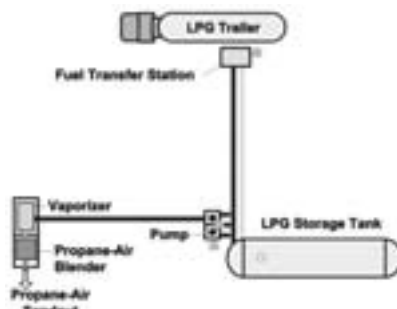
با توجه به فصلی بودن مصرف پروپان و کاهش درصد آن در LPG در فصل تابستان، مازاد آن در پالایشگاه های مختلف قابل ذخیره سازی می باشد بنابراین ظرفیت مازاد پروپان و امکان ذخیره سازی آن باید مورد بررسی قرار گیرد



شکل (۱): شماتیک سیستم تزریق پروپان-هوا



شکل (۲): شماتیک سیستم بزرگ تزریق



شکل (۳): شماتیک سیستم کوچک تزریق پروپان- هوا

ساعت موجودند. در انواع شعله مستقیم، شعله مستقیم و غیرمستقیم حمام آبی، بخاری و برقی موجودند.

در طراحی خطوط انتقال گاز لازمست منحنی نقطه شبنم مخلوط پروپان - هوا و مخلوط ۵۰٪ پروپان - هوا و ۵۰ درصد گاز طبیعی در نظر گرفته شود تا رابطه بین دما و فشار در جریان پایین دست تبخیرگر طوری حفظ شود تا از کندانس پروپان تبخیر شده در سردترین شرایط آب و هوایی جلوگیری بعمل آید.

۳-۵ - مخلوط گر پروپان - هوا

مخلوط پروپان - هوا با مخلوط کردن تقریباً ۶۰ درصد پروپان و ۴۰ درصد هوا ایجاد میشود. این مخلوط جهت جایگزینی حدود ۵۰ درصد گاز طبیعی به سیستم انتقال گاز تزریق میشود. انواع مختلف مخلوط کن هوا-پروپان وجود دارد که بسته به سایر تجهیزات سیستم انتخاب می گردد. در مخلوط گر ونچوری بخار پروپان فشار بالا توسط ونچوری با هوای اتمسفریک مخلوط می گردد. سیستم ونچوری معمول ترین روش برای تولید مخلوط گاز تا فشار ۱۵ psig می باشد. فشارهای بالاتر با هوای فشرده شده قابل دستیابی می باشد.

در کاربراتور اتمسفریک از یک شیر pull-thru و بوستر گاز و در کاربراتور فشاری از یک شیر push-thru و کمپرسور هوا استفاده می شود.

۳-۶ - محاسبات سیستم تزریق پروپان

۱ گالن پروپان مایع معادل ۳۶/۴۵ فوت مکعب گاز پروپان یا به عبارتی ۱ کیلوگرم آن معادل ۱۹ فوت مکعب گاز پروپان می باشد که به نسبت تقریبی ۶۰-۴۰ با هوا مخلوط می گردد و مخلوط گاز پروپان- هوا جهت تزریق تولید خواهد شد. این گاز تقریباً با نسبت ۴۵ درصد با گاز طبیعی مخلوط و با ارزش حرارتی مشابه گاز طبیعی به شبکه گاز تزریق می گردد. برای تولید روزانه ۲۰۰ هزار مترمکعب این حجم گاز مقدار تقریبی ۱۵۰ تن پروپان لازم می باشد. لذا برای جایگزینی ۱۰ روزه زمان پیک یک شهر با مصرف ۲۰۰ هزار متر مکعب در روز ۱۵۰۰ تن پروپان و تقریباً ۴۵ مترمکعب در دقیقه هوا لازم می باشد یعنی برای جانشینی مخلوط پروپان- هوا با گاز طبیعی

و در صورتیکه دو سوخت ضرایب Wobbe مشابه داشته باشند، انرژی حاصل از سوخت مشابه خواهند داشت و معمولاً اختلاف تا ± 5 درصد مجاز بوده و تفاوت قابل ملاحظه ای برای مصرف کنندگان ایجاد نخواهد کرد.

ضریب Wobbe به صورت ذیل تعریف میگردد:

$$\text{Wobbe index} = \frac{\text{higher heating value}}{\text{value}}$$

البته خواص شعله برای بعضی ترکیبات سوختی با عدد Wobbe قابل پیش بینی نبوده و تست هایی در زمینه سرعت و زردی شعله ممکن است لازم باشد.

با حفظ مقدار پروپان تقریباً ۶۰ درصد و ۴۰ درصد هوا عدد Wobbe سوخت حاصل در محدوده گاز طبیعی حفظ می گردد. مشخصات تجهیزات مورد استفاده در سیستم تزریق پروپان - هوا به اختصار در ذیل آورده شده است.

۳-۲ - مخازن ذخیره سازی

بیشتر مخازن پروپان در این سیستم، استیل، بدون سرمایش و تحت فشار بوده و سایزهای مختلفی از آنها موجود می باشد. این مخازن براساس استاندارد ASME ساخته شده و فشار عملکرد آنها حداقل ۲۵۰ Psig میباشد. همچنین جهت نگهداری پروپان میتوان از مخازن سرمایشی در فشار نزدیک اتمسفر (همانند مخازن LNG) استفاده نمود. مخازن نگهداری هرگز به صورت ۱۰۰ درصد پر نشده و در درجه حرارت ۶۰F حداکثر ۸۵ درصد مخزن پر میگردد.

۳-۳ - پمپ

فشار پروپان در مخازن ذخیره سازی با درجه حرارت تغییر می کند، به منظور اطمینان از تامین فشار مناسب بیشتر سیستم های پیک سائی دارای پمپ می باشند. محدوده وسیعی از پمپ ها با نیروی محرکه موتور وجود دارند

۳-۴ - تبخیرگر

تبخیرگر برای گرم کردن مایع پروپان و تولید حجم مورد نیاز گاز برای اختلاط به کار می رود و در اندازه های از ۱۰ گالن تا هزاران گالن در

تا در فصل زمستان جهت برطرف نمودن پیک زمستانی مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۳- مروری بر سیستم پیک سائی پروپان - هوا

در سیستم تزریق پروپان- هوا شکل (۱)، مایع پروپان از مخازن نگهداری خارج شده، در صورتیکه لازم باشد فشار مورد نیاز توسط پمپ تامین می گردد، و سپس مایع در تبخیرگر تبخیر شده و به بخار فوق اشباع تبدیل و در مخلوط گر (Blender) با هوا مخلوط و بعد از سیتی گیت، CGS، به سیستم توزیع و انتقال گاز تزریق می گردد. حجم مخلوط پروپان و هوا کمتر از ۵۰ درصد کل جریان گاز طبیعی-هوا-پروپان تنظیم می گردد تا وزن مخصوص مخلوط کمتر از ۱ نگه داشته شود. این سیستم در مقیاسه ای کوچک و بزرگ قابل طراحی بوده و شماتیک سیستم بزرگ و کوچک و تفاوت های آنها در شکل های (۲) و (۳) مشاهده میشود.

سایز و مکان سیستم اوج سائی مصرف به پارامترهای ذیل بستگی دارد:

- حداقل و حداکثر دبی جریان در ساعت و روز
- فشار سیستم توزیع گاز طبیعی
- انطباق با مشخصات گاز طبیعی عدد (Wobbe)
- همچنین حجم مخزن LPG مورد نیاز به موارد ذیل بستگی دارد:
- ماکزیمم دبی مصرفی مورد نیاز و تعداد روزها یا ساعت هایی که ذخیره سازی لازم است.
- مکان در دسترس
- منابع تامین LPG و وسائل انتقال آن (راه آهن و تانکر)

۳-۱-۱ - قابلیت تعویض سوخت گازی

برای حفظ راندمان بالا و حداقل مشکلات زیست محیطی و حفظ کیفیت گاز طبیعی، قابلیت جانشینی سوخت با سوخت گازی دیگر مهم میباشد تا بدون تغییر در وسیله گاز سوز قابل استفاده باشد.

برای مقایسه انرژی حاصل از سوخت دو ترکیب مختلف گاز در یک وسیله گازسوز از شاخصی به نام Wobbe Index استفاده می شود. ضریب Wobbe به صورت زیر تعریف گردیده

- 6- *J. D. Naber, D. L. Siebers, S. S. Di Julio and C. K. Westbrook, j. Combustion and flame, 99(2), p. 192, 1994.*
- 7- *Vander Heyden, US Patent 6,058,761, 2000*
- 9- *Hammond, et al., US Patent 5,635,626, 1997, Measurement of a gas characteristic*
- 10- *Driftmeier, US Patent 6,539,775, 2003, Method and apparatus for the measurement of the interchangeability of LPG/air mixtures with natural gas*
- 11- *Altemark, et al., US Patent 4,941,345, 1990, Method and apparatus for the measurement of gas properties.*
- 12- *Ruffcorn, S. D., Hoch, J. P. (1994-2004). Energy Gases Data Extensions, Standby Systems, Inc.*

اجرای پروژه های پیک سائی با استفاده از LNG نیز بسیار پرهزینه و تحت لیسانس می باشد و مشکل انتقال تکنولوژی وجود دارد. بنابراین مطالعات بیشتر و تکمیلی در زمینه های فنی و اقتصادی سیستم تزریق پروپان- هوا ممکن است راه گشای کنترل زمان پیک مصرف گاز باشد.

منابع و مراجع:

- 1- *EIA Report, International outlook, 2006.*
- 2- *National Propane Gas Association, Facts about Propane, Lisle, Illinois.*
- 3- *Handbook Butane-Propane Gases, Third Edition, 1951, Jenkins Publications, Inc.*
- 4- *An Analysis of U.S. Propane Markets Winter 1996-97, Energy Information Administration, 1997.*
- 5- *NFPA 58, Liquidified petroleum gas code, National Fire Protection Association Publications, 2004.*

با ارزش حرارتی ۱۰۰۰ BTU تقریباً ۵۹ درصد LPG و ۴۱ درصد هوا لازم خواهد بود. با توجه به اینکه یک مخزن با ظرفیت اسمی ۳۰۰۰۰ گالن ظرفیت نگهداری ۴۹ تن پروپان را داشته، با توجه به اینکه ۸۵ درصد مخزن پر می گردد، تقریباً ۳۱ مخزن ۳۰۰۰۰ گالنی جهت جانشینی مصرف ۲۰۰ هزار متر مکعب در روز گاز طبیعی به مدت ۱۰ روز، در شرایط پیک، لازم می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به فصلی بودن مصرف پروپان و وجود مازاد مصرف در بعضی پالایشگاه ها و همچنین امکان واردات، جهت مرتفع نمودن پیک مصرف و کاهش ریسک قطع گاز، سیستم تزریق پروپان- هوا برای شهرهای شمال کشور و شهرهای کوچک انتهای مسیر گازرسانی پیشنهاد می گردد. همچنین لازم به ذکر است که پروژه های مخازن زیرزمینی گاز محدود بوده و نیازهای مصرف پیک کشور را برآورده نمی سازد، و همچنین