

شناسایی منابع و برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از خطوط و تجهیزات انتقال گاز ایران

کاظم کاشفی^{۱*}، سیدشایان سیف^۲، محمدصادق یوسفزادگان^۲، اسماعیل قاسمی کفرودی^۱، محسن میاندهی^۲، مصطفی تسبندی^۴

۱- ایران، تهران، پژوهشگاه صنعت نفت

۲- ایران، تهران، جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران

۳- ایران، تهران، شرکت ملی گاز ایران

۴- ایران، تهران، شرکت انتقال گاز ایران

نویسنده مسئول:

ایمیل: kashfik@ripi.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۷

چکیده

مهم‌ترین مسئله در کنترل و کاهش گازهای گلخانه‌ای، شناسایی صحیح منابع انتشار و اندازه‌گیری و برآورد دقیق میزان انتشار از این منابع می‌باشد. راه‌های مختلفی برای اندازه‌گیری میزان انتشار وجود دارد که با توجه به ماهیت انتشار از منابع مختلف باید بهترین روش به کار گرفته شود. در این مقاله، منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای متان (CH_4) و دی‌اکسید کربن (CO_2) از خطوط و تجهیزات انتقال گاز ایران شناسایی شده و میزان نشر این گازها از منابع مربوطه محاسبه و برآورد شده است. در این مطالعه ۶۸ ایستگاه تقویت فشار مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و انواع نشر متان و دی‌اکسید کربن (شامل نشر فرار، تخلیه و احتراقی) از تجهیزات این بخش‌ها در همهٔ حالات عملیاتی شناسایی شده و شدت نشر سالانه از آن منابع (با استفاده از روش ضرایب نشر و ضرایب فعالیت) برآورد شده است. توزیع سن ایستگاه‌ها، انواع توربین و کمپرسور، پراکندگی ظرفیت و نسبت ظرفیت بر خط ایستگاه‌ها، پارامترهایی هستند که در تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این مقاله ۲۵ منبع نشر در تأسیسات و عملیات‌های انتقال گاز شناسایی شده است که مهم‌ترین آن‌ها شامل نشر فرار از شیرهای بین‌راهی (۳۷/۸ درصد)، نشر فرار از بلودان لانچر-سیورها (۲۰/۷ درصد)، نشر فرار از تجهیزات روی زمینی خطوط لوله (۱۲/۲ درصد)، نشر احتراقی از ایستگاه‌ها (۱۲/۵ درصد)، و نشر تخلیه از سیل کمپرسورها (۱۰/۸ درصد) می‌باشد.

کلمات کلیدی: گازهای گلخانه‌ای، انتشار، انتقال گاز، ایستگاه تقویت فشار

۱- مقدمه

دیگر، بررسی و تعیین کل میزان نشر حاصل از بخش‌های مختلف صنعت گاز را دشوار می‌نماید. در حال حاضر، تحقیقات مختلفی در دنیا برای اندازه‌گیری نشر گازهای گلخانه‌ای از صنایع انجام شده است که هدف آن‌ها شناسایی منابع نشر، برآورد میزان نشر و تدوین راهکارهایی برای کاهش یا حذف نشر از منابع آن بوده است [۵-۱۲]. این تحقیقات به‌وسیلهٔ سازمان‌های شناخته‌شدهٔ بین‌المللی صورت پذیرفته و نتایج آن‌ها به‌صورت مرجعی برای بررسی‌های بعدی توسط دیگر کشورها و شرکت‌ها استفاده می‌گردد.

در سال ۱۹۹۱ سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا^۱ با همکاری پژوهشگاه صنعت گاز آمریکا^۲ تحقیقات جامعی را با هدف برآورد میزان نشر متان از صنعت گاز طبیعی آن کشور آغاز نمود [۵]. انجام این پژوهش داده‌های لازم برای

داشتن محیطی سالم، از ملزومات تداوم حیات در کرهٔ خاکی می‌باشد. یکی از عوامل تأثیرگذار بر محیط‌زیست انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو می‌باشد، به‌طوری که پس از تغییرات قابل‌ملاحظه در حجم گازهای گلخانه‌ای جو زمین پس از دورهٔ صنعتی‌شدن، دمای کرهٔ زمین روند افزایشی را طی نموده و به‌تدریج باعث به‌خطراتادن گونه‌های زیستی و روند زندگی بشر شده است [۱-۴].

یکی از منابع عمدهٔ انتشار گازهای گلخانه‌ای، عملیات اجرایی در صنعت گاز است. هریک از این بخش‌های این صنعت به‌طور گوناگون سبب انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که باید میزان انتشار آن‌ها کنترل شده و کاهش یابد. گستردگی و پیچیدگی صنعت گاز از یک سو و کمبود تجهیزات و روش‌های مناسب برای تخمین میزان نشر گازهای گلخانه‌ای از سوی

1. Environmental Protection Agency (EPA)
2. Gas Research Institute (GRI)





ارزیابی میزان تولید گاز گلخانه‌ای متان و همچنین اثر نسبی زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی بر پدیده گرمایش زمین و نیز امکان در نظر گرفتن گاز طبیعی به عنوان بخشی از استراتژی تغییر سوخت و منابع انرژی را در اختیار قرار داد.

سازمان ملل برنامه گسترده‌ای را با عنوان راهنمای فهرست گازهای گلخانه‌ای توسط پنل بین‌المللی در مورد تغییرات آب‌وهوا^۱ به اجرا گذاشت، که در نتیجه آن یکی از بزرگ‌ترین و جامع‌ترین فهرست‌های منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۱۹۹۶ تهیه شد [۶].

در سال ۱۹۹۸ پژوهشگاه گاز کانادا پروژه‌ای را انجام داد که در آن منابع نشر احتراقی که منجر به انتشار گاز دی‌اکسید کربن نیز می‌شوند، شناسایی و میزان نشر از آن‌ها برآورد شد [۷]. این مطالعه علاوه بر گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های دیگر مانند مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید سولفور، ترکیبات آلی فرار، کل ترکیبات آلی و ذرات خاص را شامل می‌شود.

مؤسسه نفت آمریکا نیز مطالعه جامع و گسترده‌ای را بر روی روش‌های مختلف تخمین و ارزیابی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای انجام داده است. در این پروژه مجموعه‌ای فراگیر از ضرایب نشر گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۰۴ تدوین شد. همچنین عملیات صنایع نفت و گاز در بخش‌های مختلف و منابع نشر مربوط به آن‌ها به طور کامل شرح داده شد [۹و۸]. جوهانسون و همکارانش [۱۰] به بررسی استراتژی‌هایی جهت کاهش نشر دی‌اکسید کربن در صنایع پالایشگاه نفت اتحادیه اروپا پرداختند. نتایج ارزیابی آن‌ها نشان داد که راهبردهای کوتاه‌مدت در کاهش انتشار CO_2 (مانند جایگزینی سوخت و اندازه‌گیری‌های بازده انرژی)، می‌تواند انتشار دی‌اکسید کربن را تا $9-40 MtCO_2/year$ (معادل ۶-۴۰ درصد از کل انتشار پالایشگاه‌ها) کاهش دهد.

السالم [۱۱] نیز به شناسایی منابع انتشار دی‌اکسید کربن در سه پالایشگاه کویت، محاسبه میزان انتشار آن‌ها و ارائه راهکارهایی به منظور کاهش انتشار دی‌اکسید کربن پرداخته است. او در سال ۲۰۱۵ گزارش کرد که میزان انتشار دی‌اکسید کربن از پالایشگاه‌های بررسی شده، $2/88$ ، $3/2$ و $3/78$ مگاتن در سال می‌باشد؛ و گرمکن‌های مشعل‌دار در واحدهای تأمین انرژی^۲، بیشترین درصد انتشار (معادل ۶۲-۷۵ درصد، بسته به ساختار هر پالایشگاه) را دارند.

در همین راستا، در این مقاله به شناسایی و برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل متان و دی‌اکسید کربن از خطوط و تجهیزات روی زمینی انتقال گاز در ایران پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا تقسیم‌بندی تأسیسات اصلی انتقال گاز با توجه به فرایند عملیاتی آن‌ها (به تفکیک عملیات نرمال، راه‌اندازی، تعمیرات، انحرافات و حوادث) و نیز بر اساس انواع نشر محتمل در آن‌ها (مشمتمل بر نشر فرار، تخلیه و احتراقی) ارائه شده است. سپس با استفاده از روش‌های مختلف، میزان انتشار از این منابع برآورد و اندازه‌گیری شده‌اند که نتایج تحلیل مربوطه نیز در این نوشتار ارائه شده است.

۲- مراحل اجرای تحقیق

انتقال روزانه بالغ بر ۶۰۰ میلیون متر مکعب استاندارد گاز طبیعی از نقاط استحصال تا مبادی مصرف و پایانه‌های صادراتی گاز در ایران، از طریق ۶۸ تأسیسات تقویت فشار با بیش از ۲۰۰ دستگاه کمپرسور و توسط ۳۲ هزار کیلومتر خط لوله انجام می‌شود [۱۲]. برآورد میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در عملیات انتقال گاز مستلزم بررسی و فعالیت‌های گسترده‌ای بوده است که بدین منظور در این تحقیق اقدامات ذیل انجام شده است:

- بررسی فرایندها و روش‌های عملیاتی در کلیه تأسیسات (ایستگاه‌ها، شیرهای بین‌راهی، خطوط لوله و تأسیسات جانبی)
- جمع‌آوری اطلاعات و آمار از کل جامعه آماری (شامل تعداد و مشخصات ایستگاه‌ها، خطوط لوله و سایر بخش‌ها)
- بررسی مستندات و دستورالعمل‌های موجود (مشمتمل بر روش‌های اجرایی عملیات نرمال، راه‌اندازی، توقف اضطراری و حوادث، همچنین سوابق و مستندات حوادث، بازرسی‌ها و سایر پروژه‌های مرتبط)
- تعیین تمامی منابع دارای پتانسیل انتشار متان یا دی‌اکسید کربن در عملیات انتقال گاز

- شناسایی روش‌های اندازه‌گیری، محاسبه و برآورد ضرایب نشر
- اجرای مراحل اندازه‌گیری تجربی و انجام محاسبات یا شبیه‌سازی جهت برآورد میزان نشر از منابع مختلف
- تعیین میزان انتشار سالانه از هریک از منابع نشر

۳- تقسیم‌بندی منابع انتشار در انتقال گاز

پارامترهای گوناگونی در اتلاف گاز و نشر آن در طی فرایند انتقال گاز طبیعی دخیل هستند، لذا تقسیم‌بندی‌های مختلفی از منابع اتلاف گاز قابل انجام است. در این نوشتار به منظور تعیین تمامی منابع بالقوه نشر متان و دی‌اکسید کربن، هر بخش به تجهیزات و دستگاه‌های تشکیل دهنده تقسیم شده و

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2. European Union (EU)
3. Energy supply units (fired heaters)

منابع نشر بر اساس نوع تجهیزات، حالات عملیات و نوع نشر (به شرح ذیل) شناسایی می‌شوند.

۳-۱- تقسیم‌بندی منابع انتشار بر اساس نوع تجهیزات
انتقال گاز طبیعی از مبادی تولید و پالایشگاه‌ها تا مراکز مصرفی، از طریق شبکه سراسری خطوط لوله انتقال گاز انجام می‌شود. وظیفه فراهم آوردن فشار مناسب برای جریان یافتن دبی مورد نیاز گاز و غلبه بر افت فشار گاز در مسیر خط لوله، بر عهده ایستگاه‌های تقویت فشار گاز^۱ می‌باشد. همچنین جهت جداسازی بخش‌های مختلف خطوط انتقال گاز در زمان تعمیرات، رفع نشتی و ترکیب خطوط، از ایستگاه‌های شیر بین‌راهی^۲ (در فواصل حدود ۳۰ کیلومتر بر روی خطوط انتقال) استفاده می‌گردد. هر یک از تأسیسات مذکور شامل تجهیزات اصلی (مانند توربوپمپ، کمپرسور، کولر هوایی و...) و تجهیزات منفرد دیگری (مانند تجهیزات نیوماتیک، فلنج‌ها، اتصالات و...) می‌شود.

۳-۲- تقسیم‌بندی منابع انتشار بر اساس حالات عملیات

به دلیل آنکه بیش از یک نوع نشر ممکن است در یک تجهیز خاص رخ دهد، باید حالت‌های مختلف عملیات را شناخت که عبارت‌اند از: عملیات راه‌اندازی^۳، عملیات نرمال^۴، عملیات تعمیر و نگهداری^۵، انحرافات غیرمنتظره^۶ و حوادث^۷.

۳-۳- تقسیم‌بندی منابع انتشار بر اساس نوع نشر
نشر گازهای آلاینده از صنعت گاز را می‌توان به نشر احتراقی^۸، نشر تخلیه^۹ و نشر فرار^{۱۰} تقسیم‌بندی کرد. نشر احتراقی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر احتراق ناقص گاز در آگزوز موتورها (توربین‌ها)، فلرها، برنرها و... ناشی می‌شود. نشر تخلیه می‌تواند یک نشر پیوسته یا بسیار نامنظم و گاه و بیگاه باشد که در اثر آزادسازی تعمدی گاز به علت راه‌اندازی، خاموشی اضطراری، تحریک ابزارآلات کنترل نیوماتیکی، شرایط عملیاتی غیرمطلوب (مانند آسیب دیدگی خطوط لوله)، تخلیه گاز از PSV، تزریق گاز و... در مکان‌های مشخص یا در جاهای غیرمنتظره اتفاق بیفتد. همچنین نشر فرار (یا نشتی) به اتلاف غیر تعمدی گاز از شیرها، پمپ‌ها، فلنج‌ها، اتصالات و دیگر سطوح نشت‌بندی شده اطلاق می‌شود؛ این نوع نشر معمولاً پیوسته بوده و در حین عملیات نرمال و بدون علائم قابل توجه رخ می‌دهد، لذا مدت زمان نشر فرار عموماً بسیار بیشتر از نشر تخلیه می‌باشد.

با توجه به بررسی تجهیزات متفاوت، حالات عملیات مختلف و انواع نشر، منابع مختلف که به‌طور بالقوه دارای پتانسیل انتشار در عملیات انتقال گاز هستند، در جدول ۱ آورده شده‌اند و آن دسته از منابعی که نشر از آن‌ها محتمل بوده و میزان انتشار آن‌ها غیر قابل چشم‌پوشی بوده است، در این جدول شماره‌گذاری شده‌اند. همچنین جدول ۲ شرح مختصری از ماهیت نشر را برای هر یک از منابع ۲۵ گانه (اشاره شده در جدول ۱) ارائه می‌دهد.

نوع تجهیزات	نوع گاز	حالات عملیات و نوع نشر													
		راه‌اندازی			عملیات نرمال			تعمیرات			انحرافات			حوادث	
		CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
ایستگاه‌های تقویت فشار	CH ₄	۱		۵	۹	۱۳	۱۶								۲۲
	CO ₂					۱۴									
ایستگاه‌های شیر بین‌راهی	CH ₄	۲		۶	۱۰	۱۷									۲۳
	CO ₂														
خطوط لوله	CH ₄	۳		۷	۱۱	۱۸									۲۴
	CO ₂														
تأسیسات جانبی	CH ₄	۴		۸	۱۲	۱۵	۱۹								۲۵
	CO ₂														

جدول ۱- منابع انتشار در عملیات انتقال گاز

8. Combustion
9 Vent
10 Fugitive

1. Gas Compression Stations
2. Valve Stations
3. Start-up
4. Normal Operation
5. Maintenance

6. Process Upsets. خروج گاز به اتمسفر و یا تجهیزات احتراق از جمله فلر، به دلیل افزایش فشار عملیاتی و یا خاموش کردن اضطراری تجهیزات.
7. Mishaps. حوادث اتفاقی که منجر به پخش گاز به اتمسفر می‌گردد، از جمله عامل شخص ثالث و یا آتش‌سوزی و انفجار.





منبع نشر	توصیف نشر
۱	تخلیه متان به دلیل پرچ کردن تجهیزات به هنگام راه اندازی ایستگاهها
۲	تخلیه متان به دلیل پرچ کردن تجهیزات به هنگام راه اندازی اولیه شیرهای بین راهی
۳	تخلیه متان به دلیل پرچ کردن خطوط لوله به هنگام راه اندازی اولیه خطوط انتقال
۴	تخلیه متان به دلیل پرچ کردن تجهیزات جانبی به هنگام راه اندازی ایستگاهها
۵	تخلیه متان در حین عملیات نرمال ایستگاهها، مانند استار ترهای گازی توربینها و سیل کمپرسورها
۶	تخلیه متان در حین عملیات نرمال شیرهای بین راهی (تخلیه هنگام باز کردن و بستن شیرها)
۷	تخلیه متان در حین عملیات نرمال خطوط لوله
۸	تخلیه متان در حین عملیات نرمال تجهیزات جانبی، مانند عملکرد شیر اطمینان
۹	نشت متان حین عملیات نرمال از اتصالات و تجهیزات ایستگاهها، مانند فلنچها، تجهیزات نیوماتیک و استکها
۱۰	نشت متان در حین عملیات نرمال از اتصالات و تجهیزات شیرهای بین راهی و به ویژه نشت از بلودانها
۱۱	نشت متان در حین عملیات نرمال از اتصالات و منافذ خطوط لوله
۱۲	نشت متان در حین عملیات نرمال از اتصالات و تجهیزات جانبی، مانند لانچر-رسیورها
۱۳	انتشار متان سوخته نشده در توربینها در ایستگاهها
۱۴	انتشار دی اکسید کربن به دلیل احتراق در توربینها در ایستگاهها
۱۵	انتشار متان سوخته نشده در هیتراهای گازی در ایستگاهها
۱۶	تخلیه متان به دلیل بلودان تجهیزات در حین تعمیرات ایستگاهها و تخلیه اسکرابرها
۱۷	تخلیه متان به دلیل بلودان تجهیزات در حین تعمیرات شیرهای بین راهی
۱۸	تخلیه متان به دلیل بلودان تجهیزات در حین تعمیرات خطوط لوله مانند پیگرانی
۱۹	تخلیه متان به دلیل بلودان تجهیزات در حین تعمیرات تجهیزات جانبی ایستگاهها
۲۰	تخلیه متان به دلیل انحراف شرایط عملیاتی از حالت نرمال در ایستگاهها مانند عملکرد شیرهای اطمینان
۲۱	تخلیه متان به دلیل انحراف شرایط عملیاتی از حالت نرمال در تجهیزات تقلیل فشار
۲۲	تخلیه یا آتش گرفتن متان در حوادث مختلف در ایستگاهها
۲۳	تخلیه یا آتش گرفتن متان در حوادث مختلف در شیرهای بین راهی
۲۴	تخلیه یا آتش گرفتن متان در حوادث مختلف در خطوط لوله، مانند پارگی خطوط لوله
۲۵	تخلیه یا آتش گرفتن متان در حوادث مختلف در تجهیزات جانبی ایستگاهها

جدول ۲- توصیف نشر از منابع انتشار مختلف در انتقال گاز

۴- نحوه محاسبه میزان انتشار در انتقال گاز

اغلب تخمین های نشر گازهای گلخانه ای بر مبنای روش ضریب نشر هستند. میزان نشر برابر است با جمع حاصل ضرب ضریب نشر^۱ و ضریب فعالیت^۲ برای منابع نشر مختلف که از رابطه (۱) به دست می آید.

$$E_{total} = \sum (E_i \times AF) \quad (1)$$

به ترتیب بیانگر ضریب نشر و ضریب AF و EF، در این رابطه میزان نشر کلی است. به عنوان مثال، در E فعالیت بوده، و برآورد میزان نشر فرار (نشستی) از ایستگاههای تقویت فشار، برابر با تعداد ایستگاههای تقویت فشار (AF) ضریب فعالیت در جامعه آماری مورد مطالعه (کل کشور) بوده و ضریب نشر

1. Emission Factor
2. Activity Factor

برابر با متوسط شدت انتشار گاز متان از کلیه تجهیزات و (EF) اتصالات موجود در ایستگاهها در طول یک سال می باشد. ضریب نشر ایستگاهها با اندازه گیری تجربی از چندین ایستگاه نمونه به دست می آید و برای افزایش دقت باید ایستگاههای منتخب به گونه ای انتخاب شوند که از نظر ظرفیت، سن تجهیزات و نوع تکنولوژی، بهترین گزینهها برای نمایندگی کل جامعه آماری باشند، تا بتوان ضریب نشر متوسط آنها را به کل ایستگاهها تعمیم داد. اگر تعداد ایستگاههای تقویت فشار در این مثال را فرض کنیم و میزان نشستی متوسط از ایستگاههای N برابر با متر مکعب در سال باشد، میزان نشر متان L منتخب برابر با متر مکعب N×L ناشی از عملیات نرمال از ایستگاهها برابر با در سال می باشد. برای افزایش دقت میزان انتشار به دست آمده می توان تجهیزات موجود در ایستگاهها را به گروههای مختلف تقسیم بندی کرد و سپس میزان انتشار آنها را به دست آورد

۴-۱- برآورد ضریب فعالیت

بسته به رتبه تخمین، ضریب فعالیت می‌تواند کلی باشد (مانند تعداد ایستگاه‌ها، کیلومتر خطوط لوله)، و یا به‌طور جزئی‌تر و خاص‌تر (مانند نوع تجهیزات و به‌تفکیک مدل و سن آن‌ها) بیان شود. برخی از تخمین‌ها بر مبنای داده‌های مهندسی و یا موازنه جرم محاسبه می‌شوند. باید روش مناسب برای رسیدن به اهداف با در نظر گرفتن میزان دردسترس بودن ضرایب فعالیت و داده‌ها برای تخمین مهندسی انتخاب شود.

۴-۲- روش‌های برآورد ضریب نشر

از بین روش‌های اندازه‌گیری و برآورد نشر موجود، روش‌های زیر در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند: روش‌های اندازه‌گیری تجربی: شامل استفاده از دستگاه Hi-Flow Sampler و کیسه‌های کالیبره شده (مناسب برای اندازه‌گیری نشر فرار از کلیه تجهیزات، و یا نشر ناشی از نشتی در تجهیزات و اتصالات در تأسیسات انتقال گاز، مثلاً شدت تخلیه از بلودان‌ها در برخی از ایستگاه‌ها)

روش شبیه‌سازی با نرم‌افزار: استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی (مانند PHAST) (مناسب جهت برآورد نشر تخلیه از تجهیزات یا عملیاتی که دستورالعمل یا شرایط مشخصی داشته باشند، مثلاً میزان تخلیه گاز در عملیات راه‌اندازی و یا حوادث) محاسبات مهندسی: استفاده از روش‌های محاسباتی بر مبنای مدل‌های ترمودینامیکی، مشخصات فرایندی، سایز تجهیزات و شرایط عملیاتی (از آنجا که قبل از تعمیرات، تأسیسات از گاز تخلیه شده و حجم داخلی تجهیزات به‌همراه دما و فشار گاز موجود در آن‌ها مشخص است، تخمین میزان نشر تخلیه شده در تعمیرات قابل محاسبه می‌باشد).

استفاده از ضرایب نشر معتبر بین‌المللی: شامل روش استفاده از ضرایب API، روش EPA-21 و نتایج دستورالعمل‌های معتبر مانند EPA، AGA و... (زمانی استفاده می‌شوند که یا امکان اندازه‌گیری و محاسبه میزان نشر وجود نداشته و یا با خطای زیادی همراه باشد، مثلاً میزان نشر احتراقی از توربین‌ها) با توجه به منابع نشر و ماهیت آن‌ها (که در جداول ۱ و ۲ معرفی شدند)، برای هر یک از منابع نشر روش یا روش‌های مناسبی در نظر گرفته شده و در جدول ۳ نشان داده شده است.

حالات عملیات و نوع نشر						نوع گاز	نوع تجهیزات
راه‌اندازی	عملیات نرمال			انحرافات	حوادث		
تخلیه	تخلیه	فرار	احتراقی	تخلیه	تخلیه		
B	A,B,C	A	C,D	C	B	CH ₄	ایستگاه‌های تقویت فشار
-	-	-	C,D	-	-	CO ₂	
B	B,C	A	-	C	-	CH ₄	ایستگاه‌های شیر بین‌راهی
B	B,C	B,D	-	C	-	CH ₄	خطوط لوله
B	B,C	A	C,D	C	B	CH ₄	تأسیسات جانبی

جدول ۳- روش‌های به‌کاررفته برای برآورد میزان نشر از منابع انتشار

حوادث ایستگاه‌ها) جمع‌آوری گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند که در ادامه به تشریح بیان خواهد شد.

۵-۱- ایستگاه‌های منتخب تقویت فشار

در این تحقیق مشخصات کامل ۶۸ ایستگاه تقویت فشار در مناطق عملیاتی انتقال گاز گردآوری و تحلیل‌های موردنیاز روی آن‌ها انجام شد. سپس جهت اندازه‌گیری میدانی، ایستگاه‌هایی انتخاب گردید که بیشتر نقاط طیف گسترده

لازم به ذکر است که روش‌های در نظر گرفته شده برای هر منبع در صورت لزوم می‌توانند با روش‌های دیگر که از دقت و کارایی بهتری برخوردار باشند، جایگزین شوند.

۵- آنالیز آماری

به‌منظور بررسی و برآورد دقیق‌تر میزان انتشار در عملیات انتقال گاز، داده‌ها و پارامترهای آماری مختلفی (در حوزه ایستگاه‌های تقویت فشار، خطوط لوله، شیرهای بین‌راهی و





انواع توربین، انواع کمپرسور، سن ایستگاه و نسبت ظرفیت بر خط را پوشش دهند؛ و همچنین تلاش بر این بوده است که ایستگاه‌های منتخب بر روی خطوط سراسری مختلف قرار داشته و در مناطق مختلف عملیاتی باشند. در نهایت، بر اساس تقسیم‌بندی ایستگاه‌ها مطابق جدول ۴، هشت ایستگاه انتخاب گردید و اندازه‌گیری میدانی میزان نشر متان (CH₄) و دی‌اکسید کربن (CO₂) بر روی آن‌ها انجام شد.

پارامتر	دسته‌بندی	تعداد
نوع توربین	SIEMENS	۲۳
	ZORYA	۹
	NEVESKI	۸
	NUOVO PIGNONO	۷
	MOTOR SICH	۶
سایر برندها	۱۵	
نوع کمپرسور	SIEMENS	۲۰
	SUMMY	۱۵
	NUOVO PIGNONO	۹
	NEVESKI	۷
	CLARK	۵
سایر برندها	۱۲	
گروه سنی ایستگاه	بالاتر از ۲۰ سال	۱۶
	۱۰ تا ۲۰ سال	۲۰
نسبت ظرفیت بر خط	کمتر از ۲۵	۳۸
	۲۵ تا ۳۵	۱۲
	۳۵ تا ۵۰	۷
	۵۰ تا ۶۰	۶
	بیش از ۶۰	۱

جدول ۴- نحوه تقسیم‌بندی ایستگاه‌های تقویت فشار گاز

که نسبت تعداد نشستی به طول خطوط لوله نشستی‌یابی شده در هر سال مشخص است، تعداد کل نشستی‌ها در هر سال با استفاده از طول کل خطوط لوله به‌عنوان ضریب فعالیت محاسبه می‌شود. طول خطوط لوله در برخی از دیگر موارد نیز به‌عنوان ضریب فعالیت مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۵-۳- آمار شیرهای بین‌راهی

شیرهای بین‌راهی در خطوط لوله انتقال گاز یکی از زیرگروه‌های تأسیسات هستند که در این تحقیق بررسی شده‌اند. مهم‌ترین نشر ناشی از آن‌ها مربوط به پاسی شیرها و انتشار به محیط از طریق بلودان می‌باشد. به همین جهت تعداد آن‌ها در مناطق عملیاتی مختلف، ضریب فعالیت برای محاسبه میزان کل انتشار سالانه محسوب شده، و از این رو آمار مربوط به فراوانی آن‌ها به‌همراه شیرهای لانچر-رسیور جمع‌آوری گردیده و در محاسبات انتشار لحاظ گردیده است.

۵-۴- آمار حوادث ایستگاه‌های تقویت فشار

آمار حوادث رخ داده‌شده در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ دریافت و بررسی شد. در سال ۱۳۸۹، ۱۶ مورد نشت گاز و آتش‌سوزی رخ داده است که از این تعداد ۷ مورد مربوط به ایستگاه‌ها و ۹ مورد مربوط به خطوط لوله بوده است. در سال ۱۳۹۰، تعداد حوادث ثبت‌شده ۲۱ مورد بوده که از این تعداد ۹ مورد مربوط به ایستگاه‌ها و ۱۲ مورد مربوط به خطوط لوله بوده است. بررسی شرح حوادث نشان داد که همه حوادث ثبت‌شده همراه با انتشار متان یا دی‌اکسید کربن نبوده یا مقدار آن‌ها ناچیز بوده است. به‌عنوان مثال، برخی از حوادث به‌دلیل آتش‌گرفتن روغن یا علف‌های محوطه ایستگاه بوده و منبع احتراق گاز طبیعی نداشته‌اند. همچنین برخی از حوادث به‌دلیل اتصال برق رخ داده‌اند. بررسی علل حوادث و ریشه‌یابی آن‌ها از نقطه‌نظر ایمنی اهمیت فراوانی دارد، اما با توجه به اهداف این تحقیق، حوادثی که توأم با انتشار گاز یا آتش‌سوزی قابل توجه بوده‌اند، انتخاب شده و در محاسبات لحاظ گردیده‌اند.

۶- یافته‌های تحقیق

با توجه به داده‌های آماری به‌دست‌آمده و تحلیل آن‌ها و همچنین اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انجام‌شده، میزان کل انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای از مجموعه عملیات انتقال گاز در کشور برآورد گردید. جدول ۵، یافته‌های این تحقیق را در خصوص نقش و سهم عوامل مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای در عملیات انتقال گاز ایران نشان می‌دهد.

گفتنی است از آنجا که ظرفیت ایستگاه‌ها به‌تنهایی شاخص کافی برای پیش‌بینی اندازه تجهیزات و قطر لوله‌ها نمی‌باشد (بلکه ظرفیت و تعداد توربوکمپرسورهای موجود در هر ایستگاه است که مشخص‌کننده توان هر توربین و اندازه تجهیزات می‌باشد)، بنابراین شاخص جدیدی به‌نام «ظرفیت بر خط» تعریف شده که برابر با نسبت ظرفیت کل ایستگاه به تعداد واحدهای توربوکمپرسوری فعال در آن می‌باشد. با توجه به اینکه در هر ایستگاه یک واحد به‌صورت standby در نظر گرفته می‌شود، شاخص ظرفیت بر خط طبق رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$(۲) \quad (۱ - \text{تعداد واحدها}) / (\text{ظرفیت ایستگاه}) = \text{ظرفیت بر خط}$$

۵-۲- آمار خطوط لوله

اطلاعات طول خطوط لوله انتقال گاز به‌تفکیک قطر آن‌ها جمع‌آوری گردید. اهمیت این داده‌ها در محاسبه ضرایب فعالیت نشان داده می‌شود. به‌عنوان مثال، میزان نشستی از منافذ و اتصالات خطوط لوله با توجه به تعداد نشستی‌های پیداشده و شدت جریان نشستی از هر یک از آن‌ها محاسبه یا شبیه‌سازی می‌گردد. از آنجایی



جمع	درصد نشر	حالت عملیاتی	نوع نشر	شرح	نوع گاز	نوع تجهیزات
۲۴.۶٪	۰.۷٪	نرمال	تخلیه	استارتر توربین‌ها	CH ₄	ایستگاه‌های تقویت فشار
	۱۰.۸٪	نرمال	تخلیه	سیل کمپرسورها	CH ₄	
	۰.۱٪	نرمال	فرار	تجهیزات روی زمینی	CH ₄	
	۰.۱٪	نرمال	فرار	استک‌ها	CH ₄	
	۰.۱٪	نرمال	احتراقی	متان	CH ₄	
	۱۲.۵٪	نرمال	احتراقی	دی‌اکسید کربن	CO ₂	
	۰.۱٪	تعمیرات	تخلیه	تعمیرات	CH ₄	
	۰.۲٪	تعمیرات	تخلیه	بازرسی فنی	CH ₄	
۳۷.۸٪	۳۷.۸٪	نرمال	فرار	بلودان	CH ₄	ایستگاه‌های شیر بین‌راهی
۱۶.۹٪	۱۲.۲٪	نرمال	فرار	تجهیزات	CH ₄	خطوط لوله
	۲.۳٪	تعمیرات	تخلیه	تعمیرات	CH ₄	
	۲.۳٪	تعمیرات	تخلیه	پیگرانی	CH ₄	
	۰.۱٪	حوادث	تخلیه	تخلیه و آتش‌سوزی	CH ₄	
۲۰.۷٪	۲۰.۷٪	نرمال	فرار	بلودان لاینچر-رسیورها	CH ₄	تأسیسات جانبی
۱۰۰٪	۱۰۰٪					مجموع

جدول ۵- سهم و نقش تأسیسات و فعالیت‌های انتقال گاز در کل انتشار

۷- نتیجه‌گیری

تحلیل مدارک و اطلاعات موجود و مصاحبه با متخصصین انتقال گاز از دیگر منابع اطلاعاتی این تحقیق بوده‌اند. نتایجی که از این تحقیق گرفته شد، عبارت‌اند از: پارامترهای توزیع سن ایستگاه‌ها، انواع توربین و کمپرسور و نسبت ظرفیت بر خط ایستگاه‌ها، روی ۶۸ ایستگاه تقویت فشار مورد بررسی قرار گرفتند که نشان داد: ۱۶ ایستگاه انتقال گاز قبل از ۳۵ سال گذشته ساخته شده، و در بازه زمانی ۱۸ تا ۳۵ سال پیش ایستگاه انتقال گاز جدیدی به شبکه کشوری افزوده نشده است. بنابراین توزیع سن ایستگاه‌ها گسترده بوده و از تنوع بالایی برخوردار می‌باشد. Nuovo Pignono و Siemens، Zorya، Neveski به ترتیب پرکاربردترین نوع توربین‌ها و همچنین Siemens، Neveski و Summy، Nuovo Pignono به ترتیب پرکاربردترین نوع کمپرسورهای به‌کاررفته در ایستگاه‌های تقویت فشار هستند.

در این تحقیق، ابتدا منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای متان و دی‌اکسید کربن از عملیات انتقال گاز در ایران (شامل ایستگاه‌های تقویت فشار، خطوط لوله سراسری، شیرهای بین‌راهی و تجهیزات جانبی) در پنج حالت عملیاتی مختلف شامل راه‌اندازی، عملیات نرمال، تعمیرات، انحرافات و حوادث شناسایی شد. سپس انتشار از این منابع به سه زیرگروه نشر شامل نشر فرار، تخلیه و احتراقی تقسیم و از روش تعیین ضرایب نشر و ضرایب فعالیت برای برآورد شدت نشر از این منابع استفاده شد. ضرایب فعالیت با استفاده از تحلیل اطلاعات جامعه آماری موردنظر تعیین گردید. همچنین برای محاسبه ضرایب نشر، با توجه به ماهیت هر یک از منابع گفته‌شده، از روش‌های مختلفی از جمله اندازه‌گیری‌های تجربی شدت جریان نشر فرار با دستگاه Hi-Flow Sampler، شبیه‌سازی با نرم‌افزار PHAST، محاسبات مهندسی و استفاده از ضرایب نشر بین‌المللی استفاده شد. بازدهی‌های میدانی از تأسیسات،

Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago”, *Climate Change* 61 (3): 261–293, 2003.

[5] <http://www.epa.gov>.

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Reference Manual (Volume 3)”, United Nations Environment Programme, the Organization for Economic Co-operation and Development, the International Energy Agency, and the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996.

[7] Gas Research Institute Canada (GRI Canada), “Handbook for Estimating Methane Emissions from Canadian Natural Gas Systems”, Prepared by Clearstone Engineering Ltd., Enerco Engineering Ltd., and Radian International for Gas Technology Canada, Guelph, ON, 1998.

[8] <http://www.api.org>.

[9] API 2004 - American Petroleum Institute (API), “Compendium of Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for the Oil and Gas Industry”; API, Washington, DC, 2004.

[10] Johansson, D., J., Rootzen, T., Bernstsson, F., Johnsson, “Assessment of Strategies for CO₂ Abatement in the European Petroleum Refining Industry”, *Energy* 2012; 42: 375e86.

[11] Al-Salem, S.M., “Carbon Dioxide (CO₂) Emission Sources in Kuwait from the Downstream Industry: Critical Analysis with a Current and Futuristic View”, *Energy* 81 (2015) 575-587.

[12] www.nigc-nigtc.ir/

۲۵ منبع نشر در تأسیسات و عملیات‌های انتقال گاز شناسایی شد و نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین نشر ناشی از شیرهای بین‌راهی در خطوط لوله انتقال گاز مربوط به پاسی شیرها و انتشار به محیط از طریق بلودان می‌باشد.

مهم‌ترین عوامل انتشار در این مجموعه شامل نشر فرار از شیرهای بین‌راهی (۳۷/۸ درصد)، نشر فرار از بلودان لانچر-رسیورها (۲۰/۷ درصد)، نشر فرار از تجهیزات روی زمینی خطوط لوله (۱۲/۲ درصد)، نشر احتراقی از ایستگاه‌ها (۱۲/۵ درصد) و نشر تخلیه از سیل کمپرسورها (۱۰/۸ درصد) می‌باشند.

شیرهای بین‌راهی با ۳۷/۸ درصد رتبه اول در انتشار را داشته و ایستگاه‌ها با ۲۴/۶ درصد در رتبه دوم قرار دارند. انتشار تجهیزات جانبی و خطوط لوله با انتشار به ترتیب ۲۰/۷ درصد و ۱۶/۹ درصد در رده‌های سوم و چهارم قرار می‌گیرند.

نشر فرار با بیش از ۷۰/۸ درصد بیشترین سهم را در بین همه انواع نشر به خود اختصاص داده است.

نشر تخلیه با ۱۶/۵ درصد در رتبه دوم بوده و نشر احتراقی با ۱۲/۷ درصد سهم کمی از کل انتشار را دارد.

۹۵ درصد انتشارات در حالت عملیات نرمال انتقال گاز اتفاق می‌افتند و تنها ۴/۹ درصد آن‌ها مربوط به عملیات تعمیرات است.

سهم انتشار در حوادث نیز برابر با ۰/۱ درصد و قابل صرف‌نظر کردن است.

۹- مراجع

[1] United Nations, “Prototype Global Sustainable Development Report (Online unedited edition)”, New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development, 2014.

[2] James, Paul, Liam Magee, Andy Scerri, Manfred B. Steger, *Urban Sustainability in Theory and Practice: Circles of Sustainability*, London: Routledge, 2015.

[3] James, Paul, Andy Scerri, *Circles of Sustainability Urban Profile Process*, “Accounting for Sustainability: Combining Qualitative and Quantitative Research in Developing ‘Indicators’ of Sustainability”, *International Journal of Social Research Methodology*, 13 (1): 41–53, 2010.

[4] Ruddiman, W.F., “The Anthropogenic



Evaluation of Greenhouse Gases Emission Inventory in Iranian Gas Transmission Facilities and Pipeline

Kazem Kashefi ^{1*}, Seyyed Shayan Saif ², Mohammad Sadegh Yousefzadegan ²,

Ismail Ghasemi Kfarrodi ¹, Mohsen Mardehdi ³, Mostafa Tasbundi ⁴

1- Oil Industry Research Institute, Tehran, Iran

2- University of Tehran Jihad, Tehran, Iran

3- National Iranian Gas Company, Tehran, Iran

4- Iran Gas Transmission Company, Tehran, Iran

Email: kashefik@ripi.ir

Abstract

Identifying the right sources of pollution, followed up with accurate emission measurement, is the first but the most important step in reducing and controlling greenhouse gases. Methane and carbon dioxide emission of Iranian gas transmission facilities is discussed in this article. All compression stations and transmission pipeline across the country are within the scope of this research. Different emission types (fugitive, vent and combustion) in various operating modes (normal, maintenance, startup and process upsets) were considered and annual emission rates for all identified sources were measured or estimated, based on emission/activity factors methods. Stations age and capacity, type of turbines and compressors and the ratio of capacity to number of runs were considered in statistical analysis. The results revealed 25 emission categories, among which fugitive emission from station valves was the greatest with 37.8% share of total emission. Fugitive emission from blow-downs of launcher-receivers (20.7%), fugitive from above-ground pipelines (12.2%), combustion emission in stations (12.5%) and vent from compressor seals (10.8%) were the other emission sources, respectively.

Keywords:

Greenhouse Gases, Emission, Gas Transmission, Compressor Station.

