

مروری بر روش‌های نوین بر آورد موجودی انتشار متان در شبکه توزیع گاز طبیعی

سیدمحمدسعید خاتمی، حمیدرضا افشون، سیده‌مهدی جباری*
ایران، خراسان رضوی، شرکت گاز، واحد پژوهش و فناوری، صندوق پستی ۹۱۷۳۵-۳۶۳

نویسنده مسئول ایمیل: smehdi.jabbari@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

چکیده

گاز طبیعی به‌عنوان یک منبع انرژی پاک، در هنگام سوختن به‌صورت معمول حدود ۵۰ درصد کربن‌دی‌اکسید کمتری نسبت به زغال‌سنگ منتشر می‌کند. از سوی دیگر، اثر گرمایشی متان در یک بازه بیست‌ساله ۸۶ برابر کربن‌دی‌اکسید است؛ بنابراین افزایش نشر متان، مزیت کربن‌دی‌اکسید حداقلی آزاد شده بر اثر سوختن را خنثی می‌کند. از این‌رو، مقوله انتشار متان به‌عنوان یک مسئله زیست‌محیطی مهم، در پژوهش‌های گوناگون ارزیابی شده است. امروزه در بخش‌های مختلف صنعت گاز، حرکت به سمت اندازه‌گیری سیار نشت متان آغاز شده است. مهم‌ترین دستاورد این ایده افزایش سرعت در یافتن نشتی‌ها و همچنین فراهم‌شدن پتانسیل برای پوشش حداکثری نشریابی در شبکه توزیع گاز و در فضای شهری بوده است. در این مطالعه، تلاش شده است تا با بررسی پروژه‌های اخیر انجام‌شده در زمینه نشریابی از شبکه توزیع گاز طبیعی، ایده‌های جدید به‌کاررفته دقیق‌تر بررسی شوند.

کلمات کلیدی: موجودی انتشار، اندازه‌گیری نشر متان، شبکه توزیع گاز، ضریب نشر.

۱. مقدمه

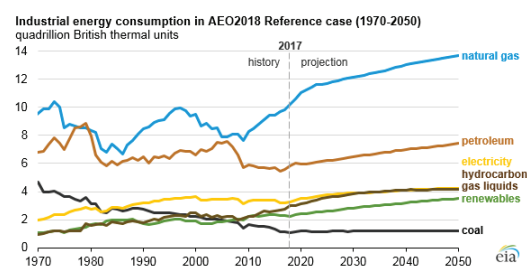
تقاضای جهانی انرژی طی سالیان اخیر به‌دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی به سمت سوخت‌هایی با محتوای کربن کمتر متمایل شده است. میزان CO_2 آزاد شده یک سوخت در هنگام سوختن، بنا به میزان کربن آن متغیر است. در (جدول ۱) میزان پوند کربن آزاد شده بر میلیون Btu انرژی آزاد شده سوخت‌های مختلف ذکر شده است.

جدول ۱. مقایسه پوند کربن آزاد شده بر میلیون Btu انرژی آزاد شده در سوخت‌های مختلف

۲۲۸/۶	زغال سنگ (آنتراسیت)
۲۰۵/۷	زغال سنگ (قیر)
۲۱۵/۴	زغال سنگ (lignite)
۲۱۴/۳	زغال سنگ (subbituminous)
۱۶۱/۳	سوخت دیزل و روغن گرمایش
۱۵۷/۲	بنزین (بدون اتانول)
۱۳۹	پروپان
۱۱۷	گاز طبیعی



علاوه بر این، مطابق گزارش‌های سالانه اداره اطلاعات انرژی آمریکا^۱ در برآورد میزان مصرف حامل‌های مختلف انرژی، همان گونه که در (شکل ۱) ملاحظه می‌شود، سهم گاز طبیعی در سالیان پیش رو افزایش خواهد یافت [۱]؛ در نتیجه روند افزایش تقاضای منابع انرژی، به‌ویژه گاز طبیعی، از یک سو و مسائل مربوط به دستیابی به انرژی پاک و اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی از سوی دیگر، تقاضای جهانی برای دستیابی به این سوخت را رونق ویژه‌ای بخشیده است.



شکل ۱. روند مصرف جهانی حامل‌های انرژی [۱]

از سوی دیگر، متان به‌عنوان یک گاز گلخانه‌ای^۲ اثرات زیست‌محیطی خطرناکی نیز دارد. اثر گرمایشی متان در یک بازه بیست‌ساله و صدساله به‌ترتیب ۸۶ و ۳۴ برابر کربن‌دی‌اکسید تخمین زده شده است [۲]؛ بنابراین افزایش نشر متان در محیط، می‌تواند مزیت کربن‌دی‌اکسید حداقلی آزادشده بر اثر سوختن متان را خنثی کند (جدول ۱) [۳]. با این حال، متان تنها یک گاز گلخانه‌ای نیست؛ بلکه نشر آن بر کیفیت هوا نیز اثر سوء دارد. در نواحی شهری، واکنش متان با NO_x منجر به تسریع تشکیل ازن می‌شود [۴]. علاوه بر این، طبق برآوردهای صورت‌گرفته، حوادث مربوط به خطوط لوله انتقال و توزیع گاز طبیعی در آمریکا سالیانه به‌طور متوسط ۱۷ حادثه منجر به مرگ، ۶۸ حادثه همراه با آسیب‌دیدگی و ۱۳۳ میلیون دلار خسارات مالی ایجاد می‌کند [۵].

بر اساس مطالب بیان‌شده ملاحظه می‌شود که تخمینی دقیق و علمی برای ارزیابی میزان نشر متان در زیرساخت‌های شبکه توزیع گاز طبیعی امری ضروری‌ست. با انجام این امر، علاوه بر کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی نشر گاز، از اتلاف این ثروت ملی نیز جلوگیری خواهد شد. لذا در این پژوهش، تلاش شده است تا با مرور پروژه‌های انجام‌گرفته در کشورهای پیشرفته، ضمن مقایسه مقادیر اتلاف‌شده متان در بخش‌های مختلف این صنعت، دستاوردها و ایده‌های جدیدی

که در سالیان اخیر، در مبحث انتشار متان توسعه یافته است، دقیق‌تر بررسی شود.

۲. مروری بر روش‌های نوین نشریابی و پروژه‌های مرتبط با آن

امروزه به‌دلیل حساسیت فراوان مسائل زیست‌محیطی، مقوله مدیریت کربن و نشر متان در صنعت نفت و گاز، تمرکز و توجه سازمان‌های مربوط و تولیدکنندگان بزرگ گاز طبیعی بر این موضوع دوچندان شده است. عموماً در صنایع نفت و گاز، سه نوع نشر تعریف می‌شود: نشر احتراقی، نشر تخلیه‌ای، نشر فرار. نشر احتراقی ناشی از انتشار گاز در اثر احتراق نیافتن کامل در تجهیزات گوناگون است. در بخش توزیع، این نوع از انتشار تنها در هیترهای گاز ایستگاه‌های تقلیل فشار یافت می‌شود. نشر تخلیه‌ای در اثر آزادسازی عمدی گاز به‌علت راه‌اندازی، توقف اضطراری، تحریک ابزارآلات کنترل نئوماتیکی یا شرایط عملیاتی غیرمطلوب (مانند آسیب‌دیدگی خطوط لوله) ایجاد می‌شود. نشر فرار شامل اتلاف غیرعمدی گاز از سطوح آب‌بندی‌شده، اتصالات یا شکاف‌های ایجادشده است [۶]. تا به امروز، عمده تحقیقات در زمینه انتشار متان در بخش‌های بالادستی و پایین‌دستی صنعت نفت و گاز، از میان نشرهای سه‌گانه مذکور، مربوط به نشر فرار بوده است که یک نشر ناخواسته و پیوسته محسوب می‌شود [۷-۱۰].

سازمان حفاظت از محیط‌زیست^۳ (EPA) آمریکا در سال ۲۰۱۱ مطالعاتی را در بررسی میزان انتشار متان در حوزه صنعت گاز انجام داد [۱۱]. در این پروژه، روش اتخاذشده مشابه مطالعات مذکور در سال ۱۹۹۲ بود؛ به این بیان که در این پروژه، از ضریب نشرهای^۴ تخمین‌زده‌شده در سال ۱۹۹۲ استفاده شد؛ با این تفاوت که ضریب فعالیت تجهیزات گوناگون به‌روزرسانی شد. در نتیجه با روش متداول، ضرب این دو رقم برای هر دسته از تجهیزات موجود در صنعت گاز طبیعی و تجمیع مقادیر حاصل، میزان نشر سالانه متان در زیرساخت‌های صنعت گاز محاسبه شد. نتایج محاسباتی این پروژه نشان داد که از رقم 6890 Gg نشر متان در زیرساخت‌های گاز طبیعی در سال ۲۰۱۱ حدود 1329 Gg (حدود ۱۹ درصد) در زیرمجموعه شبکه توزیع گاز اتفاق می‌افتد [۱۱].

با این حال، برآوردهای EPA در سال ۲۰۱۷ تفاوت‌های

3. Environmental Protection Agency (EPA)

4. Emission Factor (EF)

1. U.S. Energy Information Administration

2. Greenhouse Gas

قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد؛ به طوری که رقم ۱۹ درصدی نشر متان در شبکه توزیع گاز طبیعی به رقم ۷ درصد (۴۷۵Gg) تقلیل پیدا کرده است [۱۲]. مطابق تخمین‌های EPA در سال ۲۰۱۷ در بخش تولید و اکتشاف رقم انتشار متان ۰/۲۲۸ تریلیون فوت مکعب است و این مقدار برای بخش‌های فراوری، ذخیره‌سازی و انتقال و همچنین توزیع گاز به ترتیب ۰/۰۲۴، ۰/۰۶۸ و ۰/۰۲۵ تریلیون فوت مکعب است.

همان گونه که مشخص است، در روش متداول تخمین ضریب نشر، صحت و درستی کار بر مبنای دسته‌بندی دقیقی از تجهیزات گوناگون و همچنین انتخاب نمونه آماری کاملاً تصادفی استوار شده است؛ لذا در شرایطی که نمونه آماری تهیه شده نمایانگر ویژگی‌های جامعه آماری حاوی آن نباشد، ممکن است تخمین‌های انجام گرفته اختلاف چشمگیری با واقعیت داشته باشد. به عنوان نمونه در مطالعات اخیر برایان لمب^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۵ که از روش اندازه‌گیری درجا و مستقیم، مشابه با روش اتخاذ شده در پروژه سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا استفاده شد، استفاده کردند، سهم بخش توزیع گاز در نشر متان به رقم ۳۹۳Gg (در قیاس با میزان ۱۳۲۹Gg) کاهش یافت [۱۳]. علاوه بر این در برخی پروژه‌های مشابه، تخمین‌ها ارقام بزرگ‌تری را از مطالعات سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا نشان می‌دهند؛ به طوری که محاسبات کاریون^۲ [۱۴] رقم ۶/۲ درصد-۱۱/۷ درصد و پیشل^۳ و همکارانش [۱۵] عدد ۱۷ درصد را برای نشر متان در مقایسه با میزان ۲/۳ درصد محاسبه شده توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا به نمایش می‌گذارد [۱۶].

بنابراین در این قسمت تلاش شده است برخی از پروژه‌های انجام شده در آمریکا در زمینه نشر متان در بخش شبکه توزیع گاز، به همراه روش استفاده شده در آن ارزیابی مختصری شود.

۲.۱. اندازه‌گیری مستقیم با روش نمونه‌برداری جریان - بالاً (HFS)

در این پروژه که در سال ۲۰۱۵ توسط برایان لمب با همکاری صندوق حفاظت از محیط‌زیست آمریکا^۵ و در

1. Brian Lamb
2. Karion
3. Peischl
4. High Flow Sampling (HFS)
5. Environmental Defense Fund

مقیاسی ملی اجرایی شد، اندازه‌گیری مستقیم نشر متان از تعداد ۲۳۰ خط لوله زیرزمینی و همچنین ۲۲۹ ایستگاه اندازه‌گیری و تقلیل فشار گاز طبیعی به روش HFS در دستور کار قرار گرفت [۱۳]. داده‌های اندازه‌گیری نشر گاز با استفاده از فرایند طبقه‌بندی شده تصادفی از مکان‌های منتخب، برای به حداقل رسانیدن خطا در تخمین و بسط مقادیر میانگین، جمع‌آوری شد. اندازه‌گیری داده‌ها در بازه زمانی ماه می تا نوامبر ۲۰۱۳ صورت گرفت؛ لذا از ارزیابی تأثیر فصل زمستان بر نشر متان خودداری شده است. برای ایجاد یک طبقه‌بندی از تجهیزات شبکه توزیع گاز، برای پوشش مناسب و کامل آن، این تجهیزات به سه دسته زیر تقسیم شدند:

۱. ایستگاه اندازه‌گیری و تقلیل فشار ۱۰۰-۳۰۰ پوند بر اینچ مربع (psi)؛
۲. خطوط لوله اصلی شبکه با جنس پلاستیک؛
۳. خطوط لوله خدمات با جنس فولاد محافظت نشده؛
۴. خطوط لوله اصلی شبکه با جنس فولاد محافظت نشده؛
۵. خطوط لوله اصلی شبکه با جنس چدن؛
۶. ایستگاه تقلیل فشار در فشارهای بیشتر از ۳۰۰ psi؛
۷. ایستگاه اندازه‌گیری و تقلیل فشار در فشارهای بیشتر از ۳۰۰ psi؛
۸. ایستگاه تقلیل فشار ۱۰۰-۳۰۰ psi؛
۹. تجهیزات مشترکین جزء.

لازم به ذکر است که در این مطالعه، داده‌های نشر تجهیزات مشترکین ارزیابی نشده‌اند و از مقادیر حاصل از مطالعات EPA استفاده شده است [۱۳]. در این پروژه، طرح و برنامه نمونه‌گیری بدین صورت اتخاذ شد که پس از دسته‌بندی داده‌ها به صورت فوق، با همکاری شرکت‌های توزیع گاز هر منطقه، میزان نشر گاز تعدادی از تجهیزات مذکور به صورت کاملاً تصادفی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، برای اندازه‌گیری نشست‌های زیرزمینی خطوط لوله، شرکت‌های توزیع منطقه‌ای ابتدا دسته‌بندی‌ای از چنین نشست‌هایی را به کار گرفتند و سپس برای رفع آن اقدام می‌کنند. نشستی‌های مذکور معمولاً از نظر ایمنی به دسته‌های نشست ۱، ۲ و ۳ طبقه‌بندی می‌شوند که در آن، نشست‌های کلاس ۱، نیاز به تعمیر فوری دارند. البته بایستی اشاره کرد که در این پروژه، به علت تعمیر فوری این نشست‌ها و خطرات احتمالی آن، از اندازه‌گیری آن اجتناب شده است. پس از اینکه طبقه‌بندی صورت گرفت، سنسورهای دستی متان برای ترسیم نقشه نشست‌های سطحی و همچنین به منظور تعیین تعداد شبکه‌های نمونه لازم برای ضبط کامل یک نشست، استفاده شد. در بیشتر موارد، فقط یک یا دو شبکه



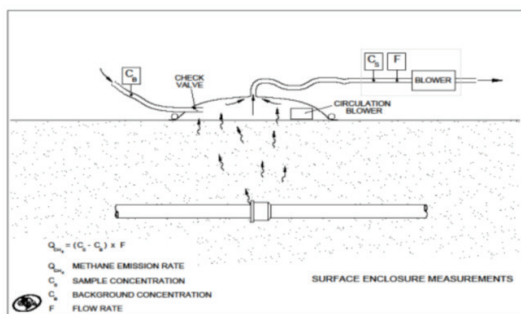
محفظه مورد نیاز بود؛ اگرچه در برخی موارد شدیدتر، ۲۹ شبکه استفاده شده است.

اندازه‌گیری نشت خط لوله زیرزمینی با تغییراتی در روش HFS که شامل یک سیستم محفظه سطحی برای اخذ گاز و هدایت آن به ابزار اندازه‌گیری بود، انجام شد. از آنجایی که نشت در طیف وسیعی از اندازه‌ها رخ داده است، سیستمی انعطاف‌پذیر و سازگار طراحی شد. رویکرد کلی این سیستم مشابه با پروتکل‌های استفاده‌شده در فرایندهای اندازه‌گیری شار محفظه دینامیکی ۱ است، جایی که هوا از طریق محفظه در یک دبی اندازه‌گیری شده وارد می‌شود، غلظت متان پس از رسیدن به شرایط حالت پایدار، در جریان هوای ورودی و در خروجی تعیین می‌شود و سپس دبی نشت با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌شود.

$$Q_{\text{Natural gas}} = F_{\text{Sampler}} * (C_{\text{Sample}} - C_{\text{Background}}) \quad (1)$$

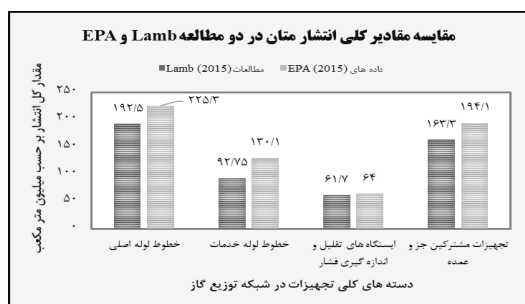
در این معادله $Q_{\text{Natural gas}}$ دبی انتشار گاز طبیعی از یک تجهیز مدنظر برحسب SCFM، F_{Sampler} دبی جریان نمونه اندازه‌گیری شده برحسب SCFM، C_{Sample} غلظت گاز طبیعی در جریان گاز نمونه‌گیری شده، $C_{\text{Background}}$ غلظت گاز طبیعی در حوالی تجهیز مدنظر است.

محفظه مذکور از یک غشای پلاستیکی گذاشته شده بر روی یک قاب پی‌وی‌سی سفت‌وسخت ساخته شده است تا جریان آزاد هوا به محفظه را از طریق یک لوله ورودی انعطاف‌پذیر و خروجی را از طریق یک پورت فراهم کند که در آن غلظت گاز متان به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری می‌شود. هوای محیط از طریق مجرای ورودی به داخل محفظه کشیده می‌شود و با استفاده از یک دستگاه نمونه‌بردار جریان-بالا از محفظه خارج می‌شود. میزان دبی جریان هوای محفظه در بازه ۶-۸ SCFM تعیین شده است که در نتیجه زمان اقامت در حدود یک تا دو دقیقه طول می‌کشد؛ به‌طوری که شرایط حالت پایدار پس از حدود پنج دقیقه فراهم شده است. پس از تثبیت غلظت نمونه، مقدار آن به‌همراه غلظت جریان هوای ورودی و همچنین سرعت ثبت می‌شود. (شکل ۲) نحوه نمونه‌برداری از محل یک نشر زیرزمینی توسط ایجاد یک محفظه را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمونه‌برداری از یک محفظه سطحی ۴*۴ توسط نمونه‌بردار جریان-بالا [۳۱]

در (شکل ۳)، مقایسه مقادیر کلی انتشار متان تجهیزات گوناگون موجود در زیرساخت توزیع گاز آمریکا در دو پروژه مذکور و مطالعات EPA به نمایش گذاشته شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، بیش از ۵۵ درصد کل انتشار گاز متان در کشور آمریکا و در سال ۲۰۱۵ مربوط به خطوط لوله زیرزمینی اعم از خطوط لوله اصلی و خطوط لوله خدمات است و پس از آن رقم ۳۲ درصدی نشر متان از تجهیزات مشترکین اعم از جزء و عمده، بیشترین سهم را داراست.



شکل ۳. مقایسه مقادیر انتشار گاز طبیعی از دسته‌های کلی تجهیزات شبکه توزیع گاز آمریکا در مطالعات EPA و برابری لمب

۲.۲. اندازه‌گیری مستقیم به روش محفظه دینامیکی ۲

این پروژه را در بازه سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ و در دانشگاه بوستون آمریکا، تعدادی از پژوهشگران و متخصصان

3. Dynamic Chamber Method

1. Dynamic chamber flux measurement
2. Hi-Flow Sampler

این دانشگاه با مدیریت مارگارت هندریک^۱ انجام دادند [۱۷]. هدف از انجام این کار، شناسایی و گزارش انتشار گاز طبیعی از تعداد ۱۰۰ نقطه نشستی گاز در خطوط لوله اصلی توزیع گاز با جنس چدن در شهر بوستون آمریکا اعلام شد. در این پروژه برای شناسایی نشرهای زیرزمینی این اقدامات انجام شد:

۱. ابتدا در هر سایت نمونه برداری، میزان نشت گاز با استفاده از واحد یونیزاسیون شعله^۲ ارزیابی شد؛
۲. نقشه های سایت نمونه برداری ترسیم و تمامی نقاط ممکن برای فرار گاز شناسایی شد؛
۳. اندازه گیری های محفظه دینامیکی برای تعیین دبی انتشار در هر یک از نقاط ممکن برای فرار گاز انجام شد؛
۴. میزان غلظت متان در خاک و نقاط دسترسی مطلوب^۳ با استفاده از یک دستگاه نشانگر گاز قابل احتراق^۴ تعیین شد و آسیب های احتمالی به پوشش های گیاهی به دلیل قرار گرفتن طولانی مدت در معرض گاز طبیعی ارزیابی شد.

گاز طبیعی از هوا سبک تر است؛ لذا در صورت ایجاد یک نقطه نشستی، به سمت بالا نفوذ می کند و از منشأ انتشار دور می شود. اغلب لوله های توزیع گاز طبیعی، زیر سطوح نفوذناپذیر از قبیل جاده ها و پیاده روها دفن می شوند؛ در نتیجه متان منتشر شده از لوله های زیرزمینی، در امتداد مسیرهایی که حداقل مقاومت برای فرار را دارند، نفوذ کرده و به طرف بالا حرکت می کند. نقاط فرار گاز در سطح یک شهر شامل دریچه آدمرو، نقاط دسترسی مطلوب، شکاف های پیاده رو و سواره رو، حاشیه پیاده روها، چمن های شهری، سوراخ های حفاری در آسفالت ها و... است.

در این مطالعه، اندازه گیری های محفظه دینامیکی با هدف تعیین شار خروجی از یک نشستی انجام گرفت. برای نیل به این هدف، ۴ محفظه با اشکال و ابعاد متفاوت (۱۴، ۱۶/۱، ۱۷/۲، ۵۵/۶ لیتر) برای انطباق بهتر با نقاط فرار گاز مختلف طراحی شده است. بدنه محفظه ها از جنس پلاستیک است که با لوله های کیسه ای پر از شن و ماسه برای آب بندی بهتر با سطوح نمونه برداری مستحکم شده است. همچنین درون هر محفظه یک فن قرار گرفت تا اطمینان حاصل شود که هنگام نمونه برداری، هوا درون محفظه به درستی مخلوط می شود. در بالای هر محفظه سه حفره با قطر یک سانتی متر

1. Margaret Hendrick
2. Flame Ionization Unit
3. Utility access points
4. Combustible gas indicator (CGI)

تعبیه شده است که از دو تای آن ها، نمونه برداری گاز از فضای آزاد محفظه به کمک یک لوله پلاستیکی ۱/۴ صورت می گیرد. حفره سوم نیز با استفاده از یک بست مناسب فیکس می شود تا ناهمگونی های فشار ناشی از تلاطم باد کاهش یابد. حفره اول از طریق لوله پلاستیکی به خط ورودی آنالایزر گاز و حفره دوم نیز به خروجی آنالایزر متصل می شود. سپس برای نمونه برداری، گاز از طریق یکی از حفره ها به طرف آنالایزر مکیده می شود و تحت تجزیه و تحلیل این دستگاه قرار می گیرد. پس از تعیین غلظت متان در هوای مکیده شده توسط دستگاه، در نهایت از طریق خروجی آنالایزر به محفظه بازمی گردد. این عمل در یک بازه زمانی مشخص تکرار می شود تا تغییرات غلظت متان در طول زمان تعیین شود. در انتها پس از ثبت داده ها توسط آنالایزر، یک رگرسیون خطی ساده انجام می شود تا شیب خط به صورت $(\text{ppm CH}_4 \cdot \text{sec}^{-1})$ محاسبه شده و با استفاده از رابطه زیر، دبی انتشار متان (F_p) تخمین زده شود.

$$F_p = S \cdot 10^{-6} \cdot V \quad (2)$$

در این رابطه، S_p شیب نمودار مذکور و V_p حجم محفظه است.

در این پروژه، اندازه گیری شار انتشار متان برای مقادیر نشر در محدوده $23/6 - 0/04$ Lpm صورت گرفت. یکی از نتایج این بررسی تعیین نحوه توزیع اندازه نشستی است؛ به طوری که برآوردها نشان می دهد، تنها ۷ درصد از نقاط نشستی حدود ۵۰ درصد کل انتشار متان را شامل می شود. یکی دیگر از دستاوردهای این پروژه بیان می کند که شار نشر متان رابطه مستقیمی با فشار عملیاتی خطوط لوله دارد؛ به طوری که در خطوط با فشار بیشتر میزان انتشار گاز طبیعی نیز افزایش می یابد.

۳.۲. استفاده از آنالیزورهای شرکت پیکارو^۵ برای نقشه برداری از نشستی های خطوط لوله زیرزمینی و تعیین غلظت انتشار متان

یکی از شرکت های پیشرو در زمینه نشریابی و اندازه گیری انتشار متان، شرکت پیکاروست. این شرکت تاکنون محصولات گوناگونی را در این حوزه معرفی کرده است. یکی از تکنولوژی های ارائه شده، دستگاه نقشه بردار پیکارو^۶ است که در اندازه گیری غلظت گاز های مختلف و تهیه نقشه های نشریابی استفاده شده است و مبتنی بر آنالیزورهای طیف سنجی حلقه پایین حفره^۷ (CRDS) است.

5. Picarro
6. Picarro Surveyor
7. Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS)



در این تکنولوژی که در آن یک آنالیزور سیار متان CRDS به همراه یک پلت فرم برای ذخیره و پردازش داده‌ها و یک سیستم بادسنج برای تعیین جهت و سرعت باد ادغام شده است، غلظت متان موجود در هوا محاسبه می‌شود، سپس نقشه‌نشتی آن ترسیم شده و در انتها به گروه‌های تعمیر و مصرف‌کنندگان اعلام‌خطر می‌شود. نکته جالب توجه درباره این تکنولوژی این است که تمامی این فرایندها به صورت سیار و در سرعت نرمال خودرو انجام می‌شود. نحوه بیان میزان نشتی برحسب ppm است که اندازه‌گیری آن توسط CRDS‌هایی مانند ۲۳۰۱G و ۲۴۰۱G انجام می‌شود. تکنولوژی طیف‌سنجی شرکت پیکارو قادر به اندازه‌گیری غلظت جزئی گازهای گوناگون همانند متان، کربن‌دی‌اکسید، مونوکسید کربن و بخار آب با دقت بسیار زیاد طی ماه‌ها جمع‌آوری داده به صورت مستمر و پایدار است.

نقشه بردار پیکارو نشتی‌های موجود در یک ناحیه را به مراتب سریع‌تر از روش‌های سنتی آن بررسی می‌کند؛ به طوری که در یک ناحیه معین شده می‌تواند در یک ساعت ۵۰۰ نقطه را بررسی کند؛ لذا سبب می‌شود که فرایند نشریابی در شبکه توزیع گاز با تعداد دفعات بیشتر، دقیق‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر انجام گیرد؛ در نتیجه مسائل ایمنی با بهبودهای چشمگیری همراه خواهد بود.

۱.۳.۲. استفاده از CRDS برای نشت‌یابی خطوط لوله

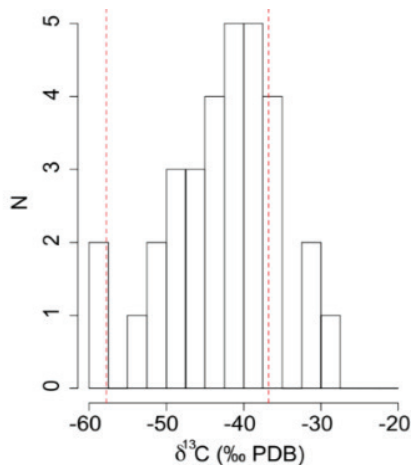
زیرزمینی در ایالت واشنگتن

این پروژه را در سال ۲۰۱۳ و با هدف شناسایی نشت متان از خطوط لوله در ایالت واشنگتن، گروهی از محققان از دانشگاه‌های مختلف به سرپرستی رابرت جکسون^۱ صورت دادند [۱۶]. در این مطالعه حدود ۱۵۰۰ مایل از خیابان‌های این ایالت با استفاده از آنالیزور ۲۳۰۱G و به صورت سیار از نظر نشریابی ارزیابی‌های دقیق شدند. نقشه‌های ۵۸۹۳ نشتی گاز طبیعی در محدوده ۸۸/۶ - ۲/۵ ppm ترسیم و علاوه بر تعیین غلظت، دبی انتشار گاز از برخی خیابان‌های شهر برای شار انتشار متان در محدوده ۲۵/۵ - ۶/۴ Lpm با استفاده از دیگر تکنولوژی شرکت پیکارو، A۰۴۹۱^۲ اندازه‌گیری شد. پس از شناسایی و نقشه‌برداری، محدوده و تعداد نشتی‌های متان بدین صورت ارائه شد: تعداد ۱۱۲۲ نشتی بزرگ‌تر از ۵ ppm، ۳۳۴ نشتی بزرگ‌تر از ۱۰ ppm و ۶۷ نشتی بزرگ‌تر از ۲۵ ppm. میانگین انتشار متان در سطح شهر نیز

1. Robert Jackson
2. Mobile Plume Mapping Kit

۴/۶ ppm محاسبه شد.

یکی از مختصات ویژه این کار شناسایی و تعیین منبع انتشار متان بوده است که برای نیل به این هدف، آنالیزور G۲۱۱۲i شرکت پیکارو استفاده شده است. شناسایی منبع نشت متان بدین معناست که مشخص شود آیا منشأ یک نشت نوعی زیست‌زاست^۳ یا گرمازا^۴، منابع زیست‌زا معمولاً شامل نشت متان از مراکز دفن زباله^۵، فاضلاب^۶ و تالاب‌هاست^۷ و گرمازا مربوط به انتشار این گاز از صنایع نفت و گاز است که تشخیص آن به روش نشانه‌های ایزوتوپی و از طریق ایزوتوپ $\delta^{13}\text{C}_4$ صورت می‌گیرد. معمولاً برای تعیین منشأ متان از استاندارد PDB^۸ استفاده می‌کنند؛ بدین ترتیب که پس از شناسایی یک نقطه نشتی متان، مقدار PDB ایزوتوپ $\delta^{13}\text{C}_4$ را دستگاه G۲۱۱۲i اندازه‌گیری می‌کند. با علم به این مسئله که مقادیر PDB برای منابع زیست‌زای انتشار متان در محدوده رقم ۵۵- درصد بوده و همچنین برای منابع گرمازا در حدود ۳۵- درصد تعیین شده است، می‌توان اقدام به ارزیابی منشأ نشت متان کرد [۱۶، ۱۸]. (شکل ۴) مقادیر PDB برای ایزوتوپ $\delta^{13}\text{C}_4$ را به همراه مقادیر میانگین این ترم که با خطوط نقطه‌چین مشخص شده است، ارائه می‌کند.

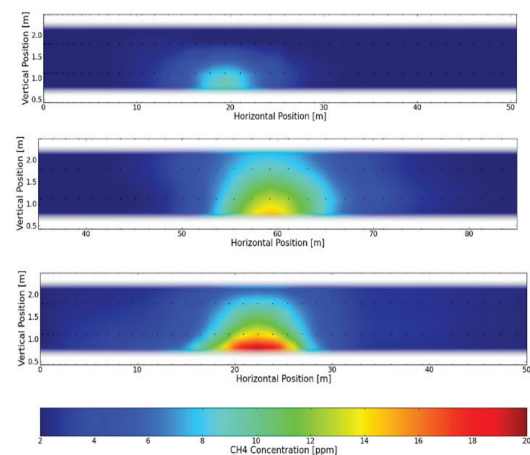


شکل ۴. مقادیر PDB نشت متان (خطوط نقطه‌چین مقادیر میانگین را نشان می‌دهد که برای منبع گرمازا عدد ۲۶/۸- درصد و برای منبع زیست‌زانی ۵۷/۸- درصد محاسبه شده است.)

اما در این پروژه علاوه بر موارد مذکور، میزان شار نشت

3. Biogenic
4. Thermogenic
5. Landfill
6. Sewer
7. Wetland
8. Pee Dee Belemnite

متان از برخی خطوط لوله زیرزمینی و اثر سرعت باد بر این متغیر نیز ارزیابی شده است. (شکل ۵) به طور همزمان پروفایل غلظت و میزان دبی انتشار متان برای سه خیابان را نشان می‌دهد. مقادیر شار برای سه تصویر (شکل ۵) به ترتیب از بالا به پایین ۶/۴، ۵/۲۵ و ۲۱ لیتر بر دقیقه تخمین زده شده است. این در حالی است که در مقایسه بین تصویر وسط و تصویر پایین، به وضوح مشخص است که غلظت متان در تصویر سوم مقادیر بیشتری را در بر می‌گیرد. نکته حائز اهمیت، توجه به پارامتر سرعت باد است که در پنل سوم و دوم مقادیر آن به ترتیب ۱/۲۳m/s و ۱/۷۵m/s است. در بررسی و ارزیابی تأثیر سرعت باد بر میزان غلظت و پراکندگی متان در هوا باید توجه کافی را مبذول داشت؛ به این معنا که لزوماً میزان غلظت زیاد متان در محیط نشان از دبی زیاد نشستی گاز نیست و بسته به میزان سرعت باد، باید در این موضوع اظهار نظر کرد.



شکل ۵. مقادیر و پراکندگی غلظت متان در سه خیابان ایالت واشنگتن [۱۶]

۲.۳.۲. استفاده از CRDS برای نشت‌یابی خطوط لوله زیرزمینی در شهر بوستون

در سال ۲۰۱۲ و در شهر بوستون، پروژه‌ای مشابه با کار فوق، به همان شیوه و تجهیزات، یعنی استفاده از دستگاه‌های طیف‌سنجی شرکت پیکارو با هدایت ناتان فیلیپس^۱ انجام شده است [۱۸]. در این پروژه، تمامی ۷۸۵ مایل خیابان‌های شهر بوستون زیر ذره‌بین نشریابی قرار گرفته و حدود ۳۳۵۶ مورد نشستی در خطوط لوله با مقادیر زیاد غلظت متان (تا ۱۵ برابر بیشتر از مقدار مجاز در محیط) گزارش شده است. ذکر این نکته ضروری است که معمولاً در مطالعات انجام‌شده در زمینه انتشار گاز طبیعی، آستانه مجاز غلظت متان در محیط

1. Nathan Phillips

۲/۵ ppm در نظر گرفته می‌شود [۱۶-۱۸]. طبق مشاهدات، بیشترین مقدار غلظت اندازه‌گیری شده متان در هوا ۲۸/۶ ppm بوده است، همچنین تعداد ۴۳۵ نقطه از نقاط دارای نشت گاز مقادیر انتشار بین ۵-۲/۵ ppm داشته‌اند و علاوه بر این، در ۹۷ نقطه نیز مقادیر بین ۵-۱۰ ppm گزارش شده است.

طبق محاسبات صورت گرفته، چگالی نشر متان در دو شهر واشنگتن و بوستون مقادیری نزدیک به هم دارد. در شهر بوستون به‌زای هر مایل مسیر، تعداد نقاط نشت گاز ۳/۹ بوده و در واشنگتن این مقدار ۴/۲ گزارش شده است. تنها تفاوت در مبحث انتشار متان برای این دو شهر، مقدار ماکسیمم غلظت متان است که در بوستون، همان گونه که ذکر شد، ۲۸/۶ ppm و در واشنگتن ۸۸/۶ ppm اندازه‌گیری شده است.

۴.۲. استفاده از خودروی نقشه‌بردار گوگل^۲ (GSV) برای اندازه‌گیری شار انتشار متان و نقشه‌برداری از نشستی‌های خطوط لوله زیرزمینی

در سال ۲۰۱۵، گروهی از محققان دانشگاه کلرادو در یک همکاری ملی با شرکت گوگل و سازمان EDF آمریکا، روشی مبتنی بر ترکیب آنالیزورهای متان شرکت پیکارو با خودروی GSV ارائه دادند که نتایج آن در سال ۲۰۱۷ منتشر شد [۱۹]. هدف از انجام این پژوهش، تعیین شار انتشار متان از شبکه توزیع گاز کشور آمریکا برای تسریع و تسهیل در اولویت‌بندی تعمیرات و جایگزینی خطوط لوله دارای نشستی عنوان شده است. شروع این پروژه در شهرهای ایندیاناپولیس، بورلینگتون، بوستون و جزیره استاتن بوده که تاکنون ایالت‌های دیگر را نیز پوشش داده است [۲۰].

این سیستم نقشه‌بردار نشستی اتومات، هم‌زمان موقعیت مکانی و میزان انتشار متان نقطه مذکور را بدون نیاز به اطلاعات باد ثبت می‌کند. اندازه نشستی، به وسیله بررسی مستمر GSV که شامل ۲ تا ۵ گذر در هر بخش از یک مسیر است، تخمین زده می‌شود. به عبارت دیگر، صرفاً با در دست داشتن داده‌های غلظت متان به همراه الگوریتمی که در ادامه توضیح داده می‌شود، می‌توان اقدام به شناسایی و اندازه‌گیری میزان نشستی کرد. البته طبق توضیح محققان این پروژه، روش مذکور، مقادیر نشستی را محافظه‌کارانه تخمین زده است. با این حال اگر چه مقادیر تخمین زده‌شده

2. Google Street View Car



با دقت کمتری محاسبه شده است، سرعت زیاد ثبت نتایج و همچنین پوشش گسترده‌تر مسیرها سبب می‌شود که روش فوق، مقرون به صرفه‌تر از روش‌های مشابه موجود باشد.

برای تخمین اندازه نشتی، فرضیه‌ای ارائه شده است که با دراختیار داشتن الگوهای غلظت متان در فضا، می‌توان نسبت به برآورد شار انتشار مبادرت ورزید. برای نیل به چنین الگویی پنج آزمایش انتشار کنترل شده صورت گرفته است. این پنج آزمایش انتشار، شامل یک آزمایش کالیبراسیون انتشار (برای مرتبط کردن الگوی غلظت متان به شار انتشار) در زمین باز، یک آزمایش اعتبارسنجی^۱ در زمین باز و سه آزمایش اعتبارسنجی در شرایط شهری است. شرایط شش گانه زیر برای انجام آزمایش‌های انتشار کنترل شده، ثبت شده است: تاریخ انجام آزمایش، موقعیت مکانی، میزان انتشار، شناسه GSV، فاصله از منبع انتشار و سرعت رانندگی.

میزان انتشار در هر دو آزمایش کالیبراسیون و اعتبارسنجی در محدوده ۱-۵۰ Lpm اختیار شده است. در دو آزمایش انجام شده در زمین باز و بدون مانع (که برای این کار یک فرودگاه متروکه در فورت کالینز انتخاب شده است)، میزان انتشار متان ۲۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ Lpm و فاصله خودرو تا نقطه انتشار مقادیر ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ متری در نظر گرفته شده است. سه آزمایش اعتبارسنجی اجرا شده در شهر بر مبنای میزان ترافیک از یکدیگر مجزا شده‌اند که شامل ترافیک سنگین، نیمه سنگین و کم حجم بوده است. در آزمایش‌های انجام شده در فضای شهری، شرایط تقریباً مشابهی در نظر گرفته شد، با این تفاوت جزئی که مقادیر نرخ انتشار متان ۱/۵، ۰، ۱۰، ۲۵، ۴۵ و ۵۰ Lpm و فاصله از نقطه انتشار بین ۵ تا ۲۱ متر معین شد. علاوه بر این، محل رهاسازی گاز، مبتنی بر شبیه‌سازی نشتی گاز از یک خط سرویس، در یک نقطه ۵۰ سانتی متری از لبه جاده مقرر شد. اما سرعت خودرو برخلاف شرایط آزمایشی در زمین باز و بدون مانع که ثابت بوده است، با توجه به شرایط ترافیکی در حدود ۱۵ Km/h-۴۰ متغیر بوده است. برای هر موقعیت مکانی و در هر میزان انتشار گاز نیز، خودرو ۴ تا ۶ بار عبور کرده است.

اما آزمایش‌های پنج گانه انتشار کنترل شده برخی نتایج زیر را در بر داشته است:

- در طول آزمایش‌ها کالیبراسیون، غلظت متان در

پس زمینه^۲ ۱/۹۷ ppm بوده است (که در فضای آزاد بیرون از ستون متان رهاسازی شده اندازه‌گیری شده است)؛

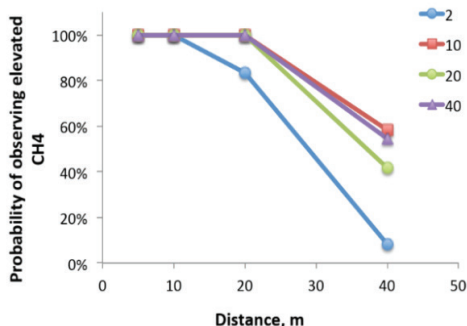
- در فاصله‌های کمتر از ۲۰ متر از منبع نشر و در تمامی مقادیر شار انتشار (۲-۴۰ Lpm) غلظت متان لااقل بزرگ‌تر از ۱۰ درصد غلظت پس زمینه بوده است (شکل ۶)؛
- در فاصله‌های بزرگ‌تر از ۲۰ متر از منبع نشر، گاهی اوقات غلظت متان، اندازه‌گیری و بعضی اوقات تشخیص پذیر نبوده است (شکل ۶). در نتیجه این امر محتمل است که در چنین فواصلی تخمین شار انتشار کمتر از حد واقعی محاسبه شده باشد؛
- در نهایت، فاصله ۲۰ متر و کمتر از آن از محل نشر، به‌عنوان یک محدودیت برای استفاده از GSV معرفی شد.

اما پس از انجام آزمایش کالیبراسیون، کارهای تحلیلی ریاضی بر روی داده‌های موجود با هدف رسیدن به رابطه‌ای مطمئن برای تخمین شار نشر متان انجام شد. لذا هر ستون متان رهاسازی شده با سه پارامتر توصیف شد: غلظت متان حداکثری، مساحت زیر نمودار هر ستون متان و نسبت مساحت مذکور به غلظت متان حداکثری. پس از ارزیابی‌های تحلیلی صورت گرفته توسط نرم‌افزار ANOVA و بررسی تأثیرگذاری پارامترهای سه گانه مذکور و همچنین انجام آزمایش‌های اعتبارسنجی، در نهایت رابطه ۳ به‌عنوان یک معادله تجربی برای تخمین شار انتشار متان ارائه شده است:

$$\log_{10}(\text{release rate}) = 0.1178 + 0.08267 * M \quad (3)$$

$$- 0.005175 * A + 0.08628 * K$$

در این رابطه M ماکسیمم غلظت متان، A مساحت زیر نمودار هر ستون متان و K نیز نسبت مساحت مذکور به غلظت متان حداکثری است.

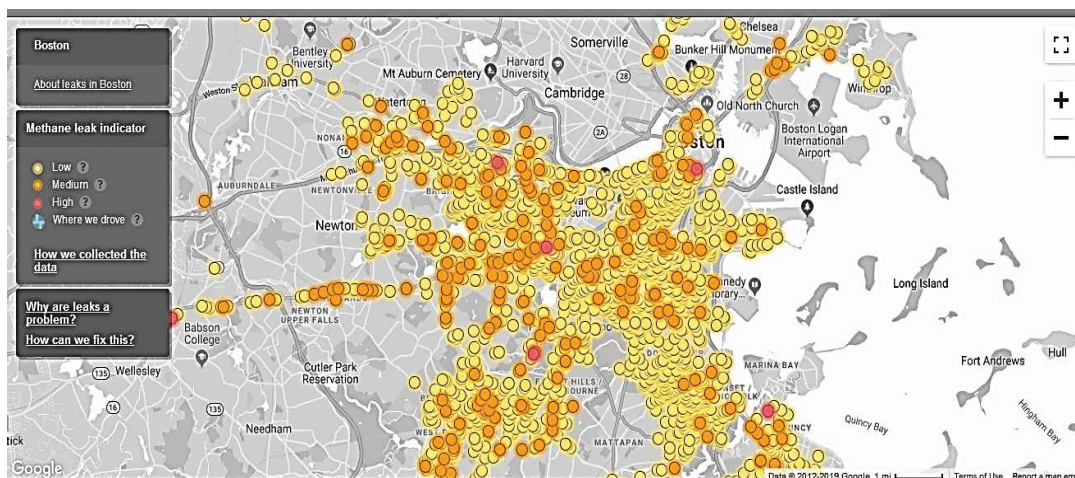


شکل ۶. احتمالات خوانش متان در آزمایش کالیبراسیون برای مقادیر نرخ انتشار ۲-۴۰ Lpm و فاصله از منبع نشتی متان ۲ تا ۴۰ متری [۱۹]

3. Background CH4 concentration

1. Validation
2. Fort Collins

در انتها پس از تعیین نرخ انتشار متان در محیط، مقادیر ثبت شده و به صورت عمومی مشاهده می شود (شکل ۷) به همراه موقعیت مکانی، به صورت آنلاین در سایت EDF [۲۰].



شکل ۷. نمایی از نقشه نشر متان به همراه موقعیت مکانی در شهر بوستون [۲۰]

۱.۴.۲. صحت‌سنجی سیستم GSV توسط گروهی از محققان دانشگاه کلرادو

۸۰ درصد موارد تشخیص داده شده با سیستم GSV، دستگاه اندازه‌گیری RMLD توان تشخیص و اندازه‌گیری را نداشته است.

اندازه‌گیری‌های مستقیم تیم تحقیقاتی این پروژه نشان می‌دهد که حدود ۷۶ درصد از نقاط دارای نشستی تعیین شده از سایت مذکور، در واقع دارای نشستی گاز بوده است؛ اما با این حال محققان این پروژه گزارش داده‌اند که در مقادیر انتشار پایین (کمتر از ۱/۶ گرم بر دقیقه) سیستم اندازه‌گیری سیار GSV مقادیر نشستی را بیشتر از حد واقعی تخمین می‌زند. در نتیجه نکات بیان شده نشان می‌دهد که ضریب انتشار گاز محاسبه شده توسط شرکت‌های توزیع گاز منطقه‌ای با یک ضریب حدود ۲/۴ کمتر از مقدار واقعی آن است.

۳. جمع‌بندی

در این مطالعه، تلاش شد تا با بررسی پروژه‌های اخیر صورت گرفته در آمریکا در زمینه تشخیص نشر متان از شبکه و زیرساخت توزیع گاز طبیعی و تجهیزات گوناگون آن، ضمن مقایسه مقادیر اتلاف شده گاز مذکور در بخش‌های مختلف این صنعت، دستاوردها و ایده‌های جدیدی که در سالیان اخیر، در مبحث تشخیص انتشار متان، توسعه یافته است، دقیق‌تر ارزیابی و بررسی شوند. همان گونه که در کارهای انجام شده ملاحظه شده است، با گذر زمان حرکت از تکنولوژی‌های

در سال ۲۰۱۸ و در دانشگاه کلرادو، تعدادی از محققان بر روی سیستم GSV آزمایش‌هایی را برای ارزیابی عملکرد این سیستم انجام دادند [۲۱]. نحوه انجام آزمایش‌ها به گونه‌ای است که ابتدا تعدادی از نقاط دارای نشستی ثبت شده در (شکل ۷) به صورت اتفاقی انتخاب می‌شود که این نقاط نشستی قبلاً توسط سیستم GSV اندازه‌گیری شده و بر روی سایت فوق قرار گرفته است. سپس اطلاعات نقاط مشخص شده به شرکت‌های توزیع گاز منطقه‌ای^۱ ارسال می‌شوند تا هر یک از شرکت‌های مربوطه، نقاط مشخص شده را در مکان و به صورت مستقیم با استفاده از یک دستگاه مبتنی بر لیزر^۲ اندازه‌گیری کنند. در نهایت پس از اندازه‌گیری LDC، تیم تحقیقاتی این پروژه با استفاده از یک سیستم اندازه‌گیری مستقیم HFS اقدام به اندازه‌گیری درجا و مقایسه مقادیر نشستی حاصل از آن با سیستم‌های GSV و RMLD می‌کند.

نتایج حاصل از انجام این آزمایش‌ها حاوی نکات مهمی بوده است. طبق ارزیابی‌های صورت گرفته، مشخص شده است که گروه بررسی نشستی LDC (که با استفاده از دستگاه RMLD اقدام به اندازه‌گیری نشستی می‌کنند)، تنها در ۲۰ درصد از موارد تعیین شده توانسته است نشستی گاز را تشخیص دهد و اندازه‌گیری کند. به عبارت دیگر در

1. Local gas Distribution Company (LDC)
2. Remote Methane Leak Detector (RMLD)





۴. منابع

- [1]. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>
- [2]. Intergovernmental Panel on Climate Change, AR5. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group, I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report.
- [3]. Wigley, T. M. L. "Coal to gas: The influence of methane leakage". *Clim. Change* 2011, 108, 601-608.
- [4]. West, J.J., Fiore, A.M., Horowitz, L.W., Mauzerall, D.L. "Global health benefits of mitigating ozone pollution with methane emission controls". *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 2006, 103, 3988-3993.
- [5]. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), 2012. www.phmsa.dot.gov/pipeline/library/data-stats.
- [6]. EPA/GRI, "Methane Emissions from the Natural Gas Industry, Vol. 2: Technical Report". 1996, GRI-94/0257.1, EPA-600/R-96-080b.
- [7]. Allen, D.T., Pacsi, A.P., Sullivan, D.W., Zavala-Araiza, D., Harrison, M., Keen, K., Fraser, M.P., Hill, A.D., Sawyer, R.F., Seinfeld, J.H. Methane emissions from process equipment at natural gas production sites in the United States: pneumatic controllers. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 633-640.
- [8]. Allen, D.T., Torres, V.M., Thomas, J., Sullivan, D.W., Harrison, M., Hendler, A., Herndon, S.C., Kolb, C.E., Fraser, M.P., Hille, A.D., Lamb, B.K., Miskimins, J., Sawyer, R.F., Seinfeld, J.H. Measurements of methane emissions at natural gas production sites in the United States. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2013, 110 (44), 17768-17773.
- [9]. Brantley, H.L., Thoma, E.D., Squier, W.C., Guven, B.B., Lyon, D. Assessment of methane emissions from oil and gas production pads using mobile measurements. *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48, 14508-14515.
- [10]. Mitchell, A.L., Tkacik, D.S., Roscioli, J.R., Herndon, S.C., Yacovitch, T.I., Martinez,

درجا و مستقیم که در قالب سیستم نمونه برداری جریان- بالا معرفی شده است، با شتاب زیادی به سمت فناوری های سیار در جریان است که غالباً اندازه گیری و نقشه برداری از نشتی های گوناگون را در سرعت نرمال خودرو مهیا کرده است. سیستم های مبتنی بر اندازه گیری درجا و مستقیم دارای محدودیت سرعت حداقلی نمونه برداری برای تشخیص نشت بوده است؛ به طوری که در پروژه های برایان لمب و EPA تعداد نمونه های اندازه گیری شده به نسبت ضریب فعالیت در دسته ها و تجهیزات گوناگون مقادیر بسیار کمی را شامل شده است، به عنوان نمونه در مطالعه برایان لمب تعداد نشتی های ثبت شده در ایستگاه های تقلیل فشار بیشتر از ۳۰۰ psi، ۵۹ مورد بوده است؛ در حالی که تعداد کل ایستگاه های مذکور در سراسر آمریکا حدود ۴۵۰۰ مورد (ضریب فعالیت) است. بنابراین می توان این گونه بیان کرد که مهم ترین دستاورد استفاده از سیستم های سیار تشخیص نشت متان، افزایش سرعت و تعداد نمونه گیری در یافتن نشتی ها و همچنین فراهم شدن پتانسیل برای پوشش حداکثری نشریابی در شبکه توزیع گاز و در فضای شهری بوده است؛ به طوری که در مطالعه اخیر صورت گرفته در دانشگاه کلرادو بخش زیادی از زیرساخت شبکه گازرسانی در شهرهای مختلف آمریکا بررسی و نقشه برداری نشت گاز انجام شد (GSV). علاوه بر این، یکی از ضعف های روش مستقیم و درجا، تخمین ضریب نشت و همچنین چگونگی گزینش روش آماری در نمونه گیری از نقاط نشتی است. در برآوردهای سازمان EPA سهم شبکه توزیع گاز طبیعی از انتشار متان در صنعت نفت و گاز آمریکا از رقم ۱۳۲۹ Gg در سال ۲۰۱۱ به ۴۷۵ Gg در سال ۲۰۱۷ تقلیل یافته است. این امر نشان می دهد احتمالاً روش آماری نمونه برداری که بر مبنای آن، ضریب نشت تخمین زده می شود، تحت برخی تغییرات قرار گرفته است.

فارغ از روش تشخیص نشت، در شبکه توزیع گاز کشور آمریکا و در میان تجهیزات گوناگون استفاده شده در این صنعت، زیرساخت خطوط لوله اعم از خطوط لوله اصلی و خدمات، با حدود ۵۵ درصد از کل انتشار، بیشترین سهم انتشار فرار گاز طبیعی را به خود اختصاص داده است و پس از آن تجهیزات مشترکین جزء و عمده (رگولاتورها و کنتورها) با ۳۲ درصد و همچنین تمامی ایستگاه های تقلیل و اندازه گیری فشار با حدود ۱۳ درصد از کل مقدار انتشار، بیشترین میزان نشت متان را در بر داشته است.

4974-4990.

- [16]. Jackson, R. B.; Down, A.; Phillips, N. G.; Ackley, R. C.; Cook, C. W.; Plata, D. L.; Zhao, K. "Natural gas pipeline leaks across Washington, DC". *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48 (3), 2051-2058.
- [17]. Hendrick, M. F.; Ackley, R.; Sanaie-Movahed, B.; Xiaojing Tang; Phillips, N. G., "Fugitive methane emissions from leak-prone natural gas distribution infrastructure in urban environments". *Environmental Pollution* 213, 2016, 710-716.
- [18]. Phillips, N. G.; Ackley, R.; Crosson, E. R.; Down, A.; Hutyra, L. R.; Bronfield, M.; Karr, J. D.; Zhao, K.; Jackson, R. B. "Mapping urban pipeline leaks: Methane leaks across Boston". *Environ. Pollut.* 2013, 173, 1-4.
- [19]. Von Fischer, J. C.; Cooley, D.; Chamberlain, S.; Gaylord, A.; Griebenow, C. J.; Hamburg, S. P.; Salo, J.; Schumacher, R.; Theobald, D.; Ham, J. "Rapid, Vehicle-Based Identification of Location and Magnitude of Urban Natural Gas Pipeline Leaks". *Environ. Sci. & Technol.* 2017, 51, 4091-4099.
- [20]. <http://www.edf.org/climate/methanemaps>,
- [21]. Zachary D. Weller, Joseph R. Roscioli, W. Conner Daube, Brian K. Lamb, Thomas W. Ferrara, Paul E. Brewer, Joseph C. von Fischer "Vehicle-Based Methane Surveys for Finding Natural Gas Leaks and Estimating Their Size: Validation and Uncertainty". *Environ. Sci. Technol.* 2018, 52, 11922-11930.
- D.M., Vaughn, T.L., Williams, L.L., Sullivan, M.R., Floerchinger, C., Omara, M., Subramanian, R., Zimmerle, D., Marchese, A.J., Robinson, A.L. Measurements of methane emissions from natural Gas gathering facilities and processing plants: measurement results. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 3219-3227.
- [11]. U. S. Environmental Protection Agency. Methane Emissions; Washington, DC, 2012; <http://epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/ch4.html>.
- [12]. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2017; https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-04/documents/us-ghg_inventory-2019-main-text.pdf.
- [13]. Lamb, B. K.; Edburg, S. L.; Ferrara, T. W.; Howard, T.; Harrison, M. R.; Kolb, C. E.; Townsend-Small, A.; Dyck, W.; Possolo, A.; Whetstone, J. R. "Direct Measurements Show Decreasing Methane Emissions from Natural Gas Local Distribution Systems in the United States". *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49 (8), 5161-5169.
- [14]. Karion, A.; Sweeney, C.; Petron, G.; Frost, G.; Hardesty, R. M.; Kofler, J.; Miller, B. R.; Newberger, T.; Wolter, S.; Banta, R.; Brewer, A.; Dlugokencky, E.; Lang, P.; Montzka, S. A.; Schnell, R.; Tans, P.; Trainer, M.; Zamora, R.; Conley, S. "Methane emissions estimate from airborne measurements over a western United States natural gas field". *Geophys. Res. Lett.* 2013, 40 (16), 4393-4397.
- [15]. Peischl, J.; Ryerson, T. B.; Brioude, J.; Aikin, K. C.; Andrews, A. E.; Atlas, E.; Blake, D.; Daube, B. C.; de Gouw, J. A.; Dlugokencky, E.; Frost, G. J.; Gentner, D. R.; Gilman, J. B.; Goldstein, A. H.; Harley, R. A.; Holloway, J. S.; Kofler, J.; Kuster, W. C.; Lang, P. M.; Novelli, P. C.; Santoni, G. W.; Trainer, M.; Wofsy, S. C.; Parrish, D. D. "Quantifying sources of methane using light alkanes in the Los Angeles basin, California". *J. Geophys. Res.* 2013, 118 (10),



A Review on the Recently Developed Methods of the Methane Emission Inventory Estimation in the Natural Gas Distribution Network

Mohammad S. Khatami, Hamid R. Afshoun, Mehdi Jabari*

Khorasan Razavi Gas Company, Research and Technology department, Mashhad, Iran.

Corresponding Author, Email: smehdi.jabbari@gmail.com

Abstract

As a clean energy source, the natural gas emits about 50 percent less CO₂ than coal when burned normally. On the other hand, the global warming potential of the methane is 86 times greater than CO₂ on a 20-year time frame. An increase in the methane emission can eliminate the advantage of minimal carbon dioxide emitted in the natural gas combustion. Hence, methane emission as an important environmental issue, has been evaluated in the various studies. Today, it has accelerated to progress of the mobile methane leak measurement in the various sectors of the natural gas industry. The most important achievement of this idea is increasing of the emission detection rate and also providing the potential for maximum coverage of leakage finding in the natural gas distribution network. In this study, the effort has been made to evaluate the new ideas of emission detection used in natural gas distribution infrastructure.

Keywords: *Emission inventory, methane emission measurement, Gas distribution network, Emission factor.*

