فصلنامهٔ مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری‌عمومی، دورهٔ ۸ ، شمارهٔ ۲۷، تابستان ۹۷

بررسی آثار محیط‌زیستی گاز مشعل در ایران واهمیت آن در راستای تعهدات کشور در توافق پاریس[۱]

امیر وهاب‌پور،[۲] سید محمد شجاعی،[۳] محمد طهماسب‌زاده،[۴] فاطمه رسولی[۵]

چکیده

یکی از سرچشمه‌های مهم تولید گازهای گلخانه‌ای در ایران، سوزاندن گازهای همراه نفت است که زیان‌های اقتصادی و مشکلات محیط‌زیستی مختلفی به همراه دارد. در این پژوهش زوایای مختلف آسیب گاز مشعل بر محیط‌زیست بررسی و تا حدی که اطلاعات در دسترس اجازه می‌دهد، جایگاه و وضعیت ایران نیز در مواجهه با این معضل تبیین می‌شود. همچنین، برای برآورد میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای به نتایج یک روش‌شناسی دقیق اشاره شده که براساس اطلاعات ماهواره‌ای از حجم گاز مشعل در مناطق نفت‌خیز ایران محاسبه شده است. نتایج حاکی از آن است که سالیانه حدود ۵۳ میلیون تن دی‌اکسید کربن از طریق گاز مشعل در ایران منتشر می‌شود. این در حالی است که ایران براساس توافق‌نامهٔ پاریس (COP21) به کاهش ۴ الی ۸ درصدی گازهای گلخانه‌ای متعهد

۱. تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۳

۲. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، پژوهشکدهٔ علوم و فناوری انرژی شریف (نویسندهٔ مسئول)؛ رایانامه: a.vahabpour@seri.sharif.edu

۳. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، پژوهشکدهٔ علوم و فناوری انرژی شریف؛ رایانامه: m.shojaee@seri.sharif.edu

۴. کارشناسی ارشد محیط‌زیست، پژوهشکدهٔ علوم و فناوری انرژی شریف؛ رایانامه: f.rasouli@seri.sharif.edu

۵. دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، پژوهشکدهٔ علوم و فناوری انرژی شریف؛ رایانامه: m.tahmasebzadeh@seri.sharif.edu

است و این ایجاب می‌کند که در کشور برای نیل به این هدف با کمترین هزینه سیاست‌گذاری صحیحی وجود داشته باشد. از آنجاکه گاز مشعل به‌تنهایی حدود ۷/۴ درصد از میزان انتشار دی‌اکسید کربن کشور را به خود اختصاص داده است و حذف آن تقریباً تمام تعهدات غیرمشروط کشور را نیز در معاهدهٔ پاریس پوشش می‌دهد، می‌توان از ظرفیت‌های معاهدهٔ پاریس برای رفع این مشکل بهرهٔ مناسبی گرفت.

کلیدواژه‌ها: گاز همراه نفت، گاز مشعل، آثار محیط‌زیستی، گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن، توافق‌نامهٔ پاریس (COP21)

۱. مقدمه

در فرایند استخراج نفت همواره مقداری آب و گاز طبیعی هم که در لایه‌های زیرین وجود دارند همراه نفت از چاه خارج می‌شوند. جدا از گازی که همراه نفت از چاه بالا آمده، وقتی نفت به سطح زمین و فشار اتمسفر می‌رسد هیدروکربن‌های سبک‌تر موجود در نفت هم تبخیر شده و به شکل گاز درمی‌آیند. مجموعهٔ این گازها را که هنگام استخراج از میادین نفتی به‌عنوان محصول جانبی نفت محسوب می‌شود گاز همراه نفت[6] می‌نامند. در بسیاری از موارد جمع‌آوری این گازها که از لحاظ ارزش حرارتی بسیار غنی هم هستند دشوار است یا از لحاظ اقتصادی به‌صرفه تشخیص داده نمی‌شود. درنتیجه به دلایلی چون حفظ ایمنی منطقه، ترشی بیش از حد و قابل استفاده نبودن، دوری محل استخراج از خشکی، دشواری انتقال گاز و... در محل تولید سوزانده (فلر) می‌شود. درمجموع باید پذیرفت که گازِ همراه یک محصول جانبی است و تولید نفت همواره نسبت به تولید گاز اولویت بیشتری داشته است و دارد.

به مجموعهٔ این گازهای سوزانده‌شده در بخش‌های بالادستی نفت و گازهای سوزانده‌شده در پالایشگاه‌ها، صنایع شیمیایی و برخی کارخانجات (مانند کُک‌سازی‌ها)، گاز مشعل[7] گفته می‌شود. در تمام این موارد، هدف اصلی از سوزاندن گاز، از بین بردن هیدروکربن‌های گازی و ترکیبات ارگانیک فرار، و وارد کردن محصولات احتراق به اتمسفر است. مشعل‌های با ارتفاع زیاد برای جریان زیاد گاز و مشعل‌های با ارتفاع کم همراه با محفظهٔ احتراق همانند زباله‌سوزها جهت سوزاندن گازهای غیرسمی استفاده می‌شوند.

علاوه بر گاز همراه سوزانده‌شده در بخش بالادستی نفت، نوع دیگری از عملیات مشعل نیز در پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها وجود دارد که ممکن است به‌طور مستمر و پیوسته یا موقت و ناپیوسته اتفاق بیفتد. در این واحدها، مشعل جزئی از سیستم ایمنی به شمار می‌رود و برای

6. Associated Petroleum Gas
7. Flared gas

امنیت پرسنل مجموعهٔ موردنظر و نیز حفاظت از اجزای مختلف سیستم‌ها طراحی می‌شود. در اکثر فرایندهای پالایشگاهی و پتروشیمی طراحی مشعل به گونه‌ای است که سوزاندن گازهای زائد از بروز خطرها، آتش‌سوزی‌ها، انفجار و صدمه دیدن کارکنان جلوگیری می‌کند و با تبدیل مواد قابل‌اشتعال، سمی و بخارات خورنده به ترکیبات کم‌ضرر، آن‌ها را به اتمسفر تخلیه می‌کند. از آنجاکه گازهای سوزانده‌شده در واحدهای مذکور می‌تواند از رویدادهای مختلفی ناشی شده باشد، بنابراین ترکیبات موجود در گاز مشعل صنایع پایین‌دستی یکنواخت نبوده و حجم و مدت زمان عملیات مشعل معمولاً منظم و قابل‌پیش‌بینی نیست.

۱. ۱. آمارهای جهانی و ملی گاز مشعل

براساس جدیدترین آمار بانک جهانی که در سال ۲۰۱۶ منتشر شده است، سالیانه حدود ۱۵۴ میلیارد متر مکعب گاز در سراسر جهان سوزانده می‌شود. این رقم معادل ۵ درصد تولید گاز طبیعی در کل دنیا، ۲۵ درصد مصرف گاز در ایالات متحده، ۳۰ درصد مصرف گاز در اتحادیهٔ اروپا و ۷۵ درصد صادرات گاز کشور روسیه است. انرژی حاصل از سوزاندن این مقدار گاز معادل ۲/۴ میلیون بشکه نفت خام در روز است. تنها در قارهٔ آفریقا بالغ بر ۳۵ میلیارد متر مکعب گاز در سال سوزانده می‌شود که برابر با نصف میزان مصرف انرژی در تمام این قاره است (GGFR, 2017).

شایان ذکر است که معمولاً آمار و اطلاعات دقیقی از مقدار گاز سوزانده‌شده در میادین نفتی کشورهای مختلف جهان منتشر نمی‌شود؛ درنتیجه اغلب داده‌های رسمی ارائه‌شده در زمینهٔ گاز مشعل براساس برآوردهای برنامهٔ جهانی کاهش گاز مشعل[8] است که تحت نظر بانک جهانی فعالیت می‌کند. نگاهی به جدول ۱ که مربوط به آمار مؤسسهٔ GGFR در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ م است، نشان می‌دهد که در میان کشورهای سوزانندهٔ گاز مشعل، ایران در جایگاه سوم جهان قرار دارد. بر همین اساس، در ۲۰۱۵ م ایران با سوزاندن ۱۲/۱ میلیارد متر مکعب گاز همراه، حدود ۸ درصد از گاز مشعل جهان را به خود اختصاص داده است. این رقم وقتی بهتر درک می‌شود که بدانیم حجم گاز طبیعی تولیدی در پالایشگاه فاز ۱ پارس جنوبی در همان سال حدود ۹ میلیارد متر مکعب بوده است (مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۹۵؛ Elvidge et al, 2012: 3).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که دسترسی به اطلاعات یکپارچه در ساختار موجود، تقریباً امکان‌پذیر نیست. معتبرترین متولی جمع‌آوری آمار و اطلاعات بخش انرژی کشور، مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی وابسته به معاونت برنامه‌ریزی و نظارت بر منابع هیدروکربوری

8. Global Gas Flaring Reduction program (GGFR)

وزارت نفت است که هر سال با انتشار ترازنامهٔ هیدروکربوری کشور، اطلاعات بخش‌های مختلف انرژی را از منابع تا مصرف نهایی منتشر می‌کند. در بخش‌های نسبتاً پراکنده‌ای از ترازنامهٔ مزبور، آمار گاز مشعل به شکل محدود و کلی منعکس شده است که نیازمند تحقیق و کاوش است. جمع‌بندی این آمار حدود ۱۰ میلیارد متر مکعب در سال (معادل روزانه ۲۷/۲ میلیون متر مکعب یا ۲۰۰ هزار بشکه نفت خام) را نشان می‌دهد و ۱۸/۵ درصد کمتر از رقمی است که برنامهٔ GGFR گزارش می‌کند (مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۹۵).

جدول ۱. حجم گاز سوزانده‌شده در بیست کشور نخست در جهان

رتبه	نام کشور	۲۰۱۵*	۲۰۱۴	۲۰۱۳
۱	روسیه	۲۱/۲	۱۹/۷	۲۱/۱
۲	عراق	۱۶/۲	۱۴/۰	۱۳/۳
۳	ایران	۱۲/۱	۱۲/۲	۱۱/۱
۴	آمریکا	۱۱/۹	۱۱/۳	۹/۲
۵	ونزوئلا	۹/۳	۱۰/۰	۹/۳
۶	الجزایر	۹/۱	۸/۷	۸/۲
۷	نیجریه	۷/۷	۸/۴	۹/۳
۸	مکزیک	۵/۰	۴/۹	۴/۳
۹	آنگولا	۴/۲	۳/۵	۳/۲
۱۰	مالزی	۳/۷	۳/۴	۲/۸
	مجموع جهان	۱۴۷	۱۴۵	۱۴۱

منبع: مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۹۵

* واحد: میلیارد متر مکعب

گذشته از هدرروی منابع و زیان اقتصادی آن، خسارت‌های سوزاندن گاز مشعل بر محیط‌زیست هم که موضوع این پژوهش است بسیار وسیع است و سالیانه در جهان باعث ورود ۴۰۰ میلیون تن گاز دی‌اکسید کربن به اتمسفر می‌شود. رقمی که معادل آلودگی ناشی از ۷۷ میلیون خودروی سواری است و ۲ درصد کل انتشار CO_2 از منابع اولیهٔ هیدروکربنی را تشکیل می‌دهد. با توجه به تشدید پدیدهٔ گرمایش جهانی و تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر این موضوع، امروزه برای کنترل منابع تولید گازهای گلخانه‌ای تلاش زیادی صورت می‌گیرد. طبیعتاً سوزاندن گاز همراه، از آن جهت که در ازای آلودگی آن هیچ ارزش افزوده یا خدماتی

در اختیار بشر قرار نمی‌گیرد، ازجمله موارد دارای اولویت برای کاهش است که شایسته است مورد مطالعهٔ بیشتری قرار گیرد (Farina, 2011: 8; Olivier, 2012: 24).

۲. آثار محیط‌زیستی گاز مشعل

سوزاندن بیش از ۱۵۰ میلیارد متر مکعب گاز طبیعی تصفیه‌نشده در صنایع نفت، باعث ورود حجم عظیمی از آلاینده‌های مضر به جو زمین می‌شود. این موضوع زیست‌بوم[9] را در ابعاد مختلفی تحت تأثیر قرار می‌دهد و علاوه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، آثار مختلفی بر محیط پیرامون خود دارد. در این بخش پیامدهای ناشی از انتشار آلاینده‌های ناشی از گاز مشعل بیشتر بررسی خواهد شد.

۲. ۱. انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترکیبات آلاینده

با فرض احتراق کامل، محصولات حاصل از سوزاندن گاز مشعل CO_2، SO_X و NO_X خواهد بود. اما احتراق این گازها هیچ‌گاه به‌طور ایدئال اتفاق نمی‌افتد، هرچند که راندمان احتراق مشعل‌های گازی معمولاً بالای ۹۰ درصد است (Charles et al, 2011: 17).

مهم‌ترین ترکیباتی که بر اثر احتراق گاز مشعل وارد جو می‌شوند عبارت‌اند از:

۱) دی‌اکسید کربن. این گاز که مهم‌ترین محصول احتراق است، هرچند به‌طور مستقیم موجب آلودگی محیط‌زیست نمی‌شود، اما با تشدید اثر گلخانه‌ای نقش مؤثری در روند گرمایش زمین ایفا می‌کند. محصولات احتراق، به‌جز CO_2، تقریباً همگی سمی و برای سلامتی موجودات زنده مضر هستند.

۲) اکسیدهای گوگرد. ترکیبات گوگرددار موجود در جریان گاز مشعل ازجمله H_2S در فرایند احتراق تشکیل SO_X می‌دهند. اکسیدهای گوگرد بی‌رنگ، بویی مخصوص دارند و غیرقابل‌اشتعال‌اند. دی‌اکسید گوگرد با ورود به جو به سرعت تبدیل به SO_3^{2-} می‌شود و بعد از آن با انحلال در محیط مرطوب تشکیل اسید سولفوریک می‌دهد. لذا هرچند SO_X را نمی‌توان یک گاز گلخانه‌ای به حساب آورد، اما مهم‌ترین نگرانی از انتشار آن مربوط به باران‌های اسیدی است (Ericsson and Camner, 1983: 43).

۳) اکسیدهای نیتروژن (NO_X). NO_X طی واکنش با اکسیژن هوا باعث ایجاد اوزون تروپوسفری شده، و آثار بسیار ناهنجاری بر سیستم تنفسی بر جای می‌گذارد. همچنین NO_X در ایجاد رسوبات اسیدی، کاهش کیفیت هوا، اختلال در دید، و پدیدهٔ اوتروفیکاسیون[10] نقش دارد (EEA, 2012).

9. Ecosystem

۱۰. خورگی یا اوتریفیکاسیون یک واکنش بیولوژیکی در پاسخ به ازدیاد ورود مواد مغذی به منابع آبی است. نیترون، فسفر، نور خورشید و گاز کربنیک چهار عامل اصلی‌اند که در این پدیده نقش دارند.

۴) مونواکسید کربن. این ماده ممکن است در اثر احتراق ناقص در مشعل ایجاد شود. به دلیل مرگ‌آور بودن تنفس مونواکسید کربن، آن را می‌توان خطرناک‌ترین ترکیب کربنی حاصل از احتراق به شمار آورد.

۵) ذرات معلق.[11] این مواد با ایجاد آلودگی هوا به شکلی مشهود، ملموس‌ترین آلایندهٔ محیط‌زیستی ناشی از احتراق به شمار می‌روند. ذرات معلق یا مستقیماً از احتراق ناقص در مشعل و به صورت هیدروکربن نسوخته (دوده) به وجود می‌آیند که به آن نوع اولیه می‌گویند، یا به صورت غیرمستقیم از واکنش اکسیدهای سولفور و نیتروژن با ترکیبات هوا مثل اوزون تولید می‌شوند که نوع ثانویه نامیده می‌شوند (Mangia et al, 2015: 7670).

۶) مواد آلی فرار. ازجمله بیش از ۲۵۰ مادهٔ سمی و سرطان‌زا مانند بنزوپیرن، بنزن و تولوئن.

۷) فلزات سنگین. مانند جیوه، آرسنیک و کروم.

جدا از احتراق متعارف گازهای همراه، در بسیاری از موارد این گازها بدون آنکه سوزانده شوند به اتمسفر تخلیه[12] می‌شوند. در ترکیب هیدروکربن‌های سبکی که به اتمسفر تخلیه می‌شوند درصد متان غالب است و خود متان یکی از گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. میزان متان رهاشده در اتمسفر توسط ایران حدود ۴۰۰ هزار تن در سال تخمین زده می‌شود (کاوه، ۱۳۸۵: ۹۲). با فرض اینکه GWP[13] برای گاز متان برابر با ۲۱ باشد، رقمی برابر با ۸/۵ میلیون تن معادل CO_2[14] حاصل خواهد شد.

۲. ۲. تأثیر بر روی سلامت انسان‌ها

در مطالعات پزشکی متعددی تأثیر سوء گاز مشعل را در کشورهای درگیر این مشکل بررسی شده است. توجه به این پژوهش‌ها از آن جهت حائز اهمیت است که سلامتِ بخش بزرگی از جمعیت مناطق جنوبی کشور ما، به دلیل همجواری با مناطق عملیاتی نفت و گاز، مستقیماً در معرض آثار سوء آلاینده‌های ناشی از احتراق گاز مشعل قرار دارد. مثلاً، بررسی‌ها نشان می‌دهد قرار داشتن طولانی‌مدت در معرض هوای آلوده به گازهای حاصل از احتراق گاز مشعل می‌تواند عملکرد سیستم تنفسی افراد مشغول به کار در مناطق بالادستی دارای گاز مشعل را تحت تأثیر قرار دهد و استنشاق ذرات معلق و اکسیدهای گوگرد موجب بیماری‌های مضمن تنفسی مانند آسم و برونشیت در این افراد شود (Egwurugwu et al, 2013; Gobo, 2009). در کشور ما از سال ۹۳ به بعد هر ساله با نخستین بارندگی‌های فصل پاییز، بسیاری از

11. Particulate Matter (PM)
12. Vent
13. Global Warming Potential
14. CO_2 Equivalent

شهروندان خوزستانی دچار مشکلات شدید تنفسی می‌شوند. به طوری که در آبان سال ۹۴ بیش از ۱۰ هزار نفر از مردم به دلیل مشکلات تنفسی به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی مراجعه کردند (منصور آل کثیر، ۱۳۹۴). برخی منابع از این بارندگی به‌عنوان باران اسیدی نام می‌برند و آن را به آلاینده‌های ناشی از گاز مشعل نسبت می‌دهند، درحالی که برخی مسئولان این مسئله را تکذیب کرده و عوامل دیگری چون آتش‌زدن مزارع نیشکر، انباشت زباله، سکون هوا را از دلایل بروز این مشکلات معرفی می‌کنند. به هر حال هنوز هیچ یک از مراجع علمی ذی‌صلاح علت قطعی این پدیده را مشخص نکرده‌اند (انفرادی، ۱۳۹۳).

آثار سوء آلاینده‌های ناشی از گاز مشعل بر سلامت انسان تنها به دستگاه تنفسی محدود نمی‌شود. در یک پژوهش شاخص‌های آزمایشگاهی عملکرد کلیه مانند سطح اوره، کریتینین، پتاسیم، فسفات‌های غیرآلی و اسید اوریک برای یک جامعهٔ آماری ۸۰۰ نفره مطالعه شده است. در این پژوهش اثبات شد افرادی که در معرض استنشاق هوای آلودهٔ مناطق دارای گاز مشعل بوده‌اند برای ابتلا به بیماری‌های کلیوی بسیار مستعدتر هستند. زمانی که همین جامعهٔ آماری در یک آزمایش خون شرکت داده شدند، نتایج به وضوح نشان داد که این افراد از لحاظ تعداد گلبول‌های قرمز، تعداد پلاکت، غلظت هموگلوبین و چند شاخص دیگر نسبت به افراد عادی وضعیت بدتری دارند (Argo, 2001; Egwurugwu, 2013).

۲. ۳. فرسایش خاک و آلودگی آب

نمونه‌برداری از خاک مناطقی که در مجاورت مشعل‌های گازی قرار دارند نشان داد که بسیاری از پارامترهای حیاتی خاک برای رشد گیاه از جمله ظرفیت تبادل یون،[15] مقدار نیتروژن موجود در خاک، میانگین مقدار مواد آلی و... بسیار پایین‌تر از حد معمول هستند. آزمایش‌های خاک‌شناسی نشان داد اسیدیتهٔ خاک در نواحی نزدیک مشعل‌های گازی بالاست (۵/۸ ~ ۴/۳ = pH). این مسئله باعث می‌شود که امکان جذب ریزمغذی‌ها توسط ریشهٔ گیاهان به حداقل برسد و نتوانند رشد مطلوبی داشته باشند (Atuma1 and Ojeh, 2013; Sanchez, 1976).

کیفیت آب مناطق مجاور مشعل‌های گاز نیز یکی از موضوعاتی است که تحقیقات بسیاری درمورد آن شده است. در یکی از پژوهش‌های مهم، پارامترهای متعددی همچون دما، رنگ، طعم، شفافیت، هدایت الکتریکی، pH، BOD، COD، TDS، و میزان یون‌هایی چون سولفات، نیترات، فسفات، کلراید، فلوئوراید، کلسیم، سدیم، آهن، مس، روی و... در نمونه‌گیری‌ها سنجش شد. مقایسهٔ نتایج با استانداردهای سازمان جهانی بهداشت نشان می‌دهد اکثر پارامترهای آب در بازه‌های تعیین‌شده قرار دارند، اما شماری از مهم‌ترین آن‌ها شامل طعم،

15. CEC = Ciation Exchange Capacity

رنگ، دما و اسیدیته از معیارهای استاندارد فاصلهٔ زیادی دارند. همچنین شماری از نمک‌های محلول و نیز هدایت الکتریکی آب هم در بازه‌ای غیرمجاز قرار دارند و این به وضوح نشانگر تأثیر آلاینده‌های گاز مشعل است (Dami et al, 2012; Amukali, 2012).

۲. ٤. تأثیر روی گونه‌های گیاهی و جانوری

تغییرات به‌وجودآمده در کیفیت خاک مناطق آلوده که در قسمت قبل بیان شد تأثیر مستقیمی روی پراکندگی گونه‌های گیاهی و جانوری دارد. برای مثال، نشان داده شده است که تأثیرات سوء گاز مشعل بر روی فرسایش خاک حداقل تا شعاع ۵۰۰ متری مشعل‌های گازی کاملاً محسوس بوده و روی کیفیت پوشش گیاهی اثر مستقیم دارد. به تبع آسیب به گونه‌های گیاهی، زیست‌بوم جانوری منطقه هم در معرض تهدیدات جدی قرار می‌گیرد. حرارت بسیار بالای مشعل که از طریق جریان همرفت و نیز تشعشع دمای ارتفاعات بالاتر جو محیط را تحت تأثیر قرار می‌دهد، می‌تواند تا شعاع زیادی را تحت تأثیر قرار داده و مانعی بزرگ برای پرواز پرندگان و حرکت آن‌ها در مسیرهای عادی مهاجرتشان باشد (Ogidiolu, 2003: 51).

۳. برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از گاز مشعل در ایران

در این قسمت، پژوهش انجام‌گرفته برای محاسبهٔ ضرایب انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از گاز مشعل تشریح می‌شود. طی این پژوهش با برنامهٔ GGFR ارتباط برقرار شد و با تکیه بر اطلاعات ماهواره‌ای این مؤسسه، تمامی داده‌های مربوط به حجم گازهای همراه سوزانده‌شدهٔ ایران جمع‌آوری شد. برنامهٔ GGFR به کمک مرکز ملّی اطلاعات محیط‌زیست آمریکا[16] از سال ۲۰۰۹ در حال ثبت و جمع‌آوری اطلاعات گازهای مشعل سراسر جهان است.[17] نحوهٔ ثبت داده‌ها توسط ماهواره به صورت روزانه و در هر روز چندین مرتبه است. برای این کار، ماهواره با حسگرهای دقیقِ خود نورهای ساطع‌شده از سطح زمین را، که در محدودهٔ شعلهٔ ناشی از احتراق گاز مشعل هستند، دریافت و سپس با طیف‌سنجی نور مادون قرمز، تخمینی از دمای شعله ارائه می‌کند. حسگرهای مذکور همچنین قادرند ابعاد شعله را نیز تخمین بزنند. این داده‌ها به‌عنوان ورودی‌های یک الگوریتم پیچیده وارد نرم‌افزار شده، و در نهایت تقریبی از حجم گاز متان معادل سوزانده‌شده در گاز مشعل به دست می‌آید (Elvidge, 2009).

پس از دریافت داده‌های خام ماهواره‌ای از وضعیت گازهای مشعل ایران، موقعیت مکانی و شرکت‌های نفتی مسئول هر مشعل مشخص گردیده و پایگاه دادهٔ حاصل‌شده با اطلاعات

16. National Center for Environmental Information (NCEI)

۱۷. برای این کار از عکس‌برداری‌های ماهوارهٔ VIIRS ناسا استفاده می‌شود.

درصد ترکیبات گاز مشعل تکمیل شده است. درمورد ترکیب درصد گاز مشعل، اطلاعات منتشرشده توسط وزارت نفت در مزایدهٔ گازهای همراه، در کنار اطلاعات حاصل از آنالیز میدانی طی چند پروژهٔ تحقیقاتی مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامهٔ کار، اطلاعات مذکور مبنای محاسبات، تحلیل و الگوسازی قرار می‌گیرد و براساس اطلاعات تفکیکی گاز سوزانده‌شده در مناطق مختلف، میزان انتشار گازهای آلایندهٔ هر کدام مشخص خواهد شد.

۳. ۱. انتخاب روش برآورد انتشار گازهای احتراق

تخمین کامل و دقیق میزان انتشار گازهای مشعل بسیار دشوار و تقریباً غیرممکن است، زیرا شرایط آن‌ها اجازهٔ استفاده از روش‌های متداول را برای اندازه‌گیری مستقیم غلظت آلاینده‌ها نمی‌دهد، و به همین علت تلاش‌های محدودی در این زمینه انجام شده است (عسکریه، ۱۳۹۱).

به‌طور کلی، میزان انتشار ناشی از احتراق گاز مشعل به چهار روش اندازه‌گیری، استفاده از ضرایب انتشار، محاسبات و شبیه‌سازی قابل محاسبه است. در روش اندازه‌گیری، تلاش می‌شود غلظت آلاینده‌ها در خروجی گاز مشعل توسط تجهیزات دقیق اندازه‌گیری شود. عملیات مربوط به نمونه‌گیری و اندازه‌گیری مستلزم وجود تجهیزات ویژه و فراهم بودن شرایط عملیاتی مناسب است. شرایط نامناسب محیطی، بلندی ارتفاع مشعل، طول زیاد شعله، دمای بسیار بالا، و در مواردی جهت متغیر و شدت باد، استفاده از این روش را مشکل می‌کند. روش ضریب انتشار روشی ساده و ارزان برای تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای واحدهای صنعتی، بدون نیاز به اندازه‌گیری است. بنابراین با توجه به نوع گاز مشعل، ترکیب درصد گاز و ارزش حرارتی، شرایط عملکرد مشعل و شرایط محیطی عدم قطعیت‌های بسیاری وجود خواهد داشت. در روش محاسبه، میزان انتشار، خصوصاً درمورد گازهای دی‌اکسید کربن و اکسیدهای گوگرد، براساس تحلیل نوع سوخت و موازنهٔ جرمی آن تخمین زده می‌شود. در صورتی که داده‌های ورودی برای محاسبه دقت خوبی داشته باشند، این روش نسبت به روش ضرایب انتشار تخمین دقیق‌تری خواهد داشت. با پیشرفت نرم‌افزارهای کامپیوتری، شبیه‌سازی یا استفاده از CFD[18] برای برآورد میزان انتشار آلاینده‌های گاز مشعل استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی انتشار آلاینده‌ها، لازم است هندسهٔ کاملی از مشعل شامل شکل و نوع آن، ارتفاع، قطر خروجی و مشخصات نوک مشعل، همچنین ترکیبات گاز ورودی و دبی و شرایط محیطی به‌طور کامل مشخص باشد (U.S. EPA, 2015).

یکی دیگر از روش‌های نوینی که برای برآورد میزان انتشار آلاینده‌های گاز مشعل استفاده

18. Computational Fluid Dynamics

شده است، روش محاسبهٔ معکوس[19] است. این روش بر پایهٔ اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در امتداد مسیر جریان باد غالب، و در منطقه‌ای دورتر از احتراق، و سپس تخمین غلظت آن‌ها در منشأ برای توزیع این غلظت است (Ismail et al, 2014). در این روش الگویی که برای تخمین توزیع غلظت در فضا استفاده می‌شود بسیار تعیین‌کننده خواهد بود. برای نمونه، کاه‌فروشان و همکاران در پژوهشی با استفاده از روش محاسبهٔ معکوس به محاسبهٔ میزان انتشار آلاینده‌های گاز مشعل‌های ترش در مناطق نفت‌خیز ایران پرداختند، و ضمن اذعان به عدم قطعیت بالای این روش، نشان دادند که به‌طور کلی شرایط عملکرد مشعل تأثیر زیادی بر میزان انتشار آلاینده‌های آن دارد. مثلاً، در این پژوهش نشان داده شد که دمای محیط تأثیری در میزان انتشار ندارد اما وزش باد نقش مهمی در این امر دارد، هرچند چگونگی این تأثیر همچنان نامشخص است (Kahforoushan et al, 2011: 23).

با توجه به مطالب بیان‌شده، بدیهی به نظر می‌رسد که مناسب‌ترین روش برآورد میزان انتشار آلاینده‌های گازهای مشعل ایران، روش محاسبه خواهد بود. میزان انتشار کربن دی‌اکسید، کربن مونواکسید، سولفور دی‌اکسید و ترکیبات آلی فرار وابستگی تام به ترکیب گاز دارد و از طریق محاسبهٔ جرمی به دست می‌آید. میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن و دوده بیشتر به شرایط احتراق وابسته است و چندان به ترکیب گاز بستگی ندارد. بنابراین، استفاده از ضرایب انتشار برای این ترکیبات کافی است و نیازی به ترکیب درصد گاز سوزانده‌شده نیست. در پژوهشی که در ۲۰۱۵ م اوموکورو و اسماعیل انجام دادند، برای برآورد میزان انتشار آلاینده‌های غیرهیدروکربنی از منشأ گازهای مشعل یک الگو توسعه داده شد (Umukoro & Ismail, 2015). این الگو براساس موازنهٔ جرم واکنش احتراق برای ترکیبات ۱۲ نمونه از گازهای مشعل مناطق مختلف ایجاد شد و به وسیلهٔ آن میزان تقریبی انتشار گازهای CO_2، CO، NO، NO_2 و SO_2 در خلال سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ در کل جهان تخمین زده شد. با این حال تا کنون پژوهشی که انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از سوزاندن گاز مشعل را به‌طور خاص در ایران برآورد کند مشاهده نشده است.

۳. ۲. محاسبات برآورد میزان انتشار

در مطالعهٔ حاضر ازآنجاکه داده‌های دبی حجمی گاز مشعل، ترکیب درصد گاز، و دمای شعلهٔ مشعل بر مبنای اطلاعات ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، در انتخاب روش مناسب تخمین انتشارات فرض بر این است که داده‌های ورودی کاملاً قابل‌اتکا هستند و از این جهت عدم قطعیتی وجود ندارد. در این مطالعه، با استفاده از اصل موازنهٔ جرم و درنظر

19. Back Calculation

گرفتن راندمان‌های مختلف احتراق، بر پایهٔ روابطی که در پروتکل EPA ۲۰۱۵ ارائه شده است (U.S. EPA, 2015)، و در نظر گرفتن معادلهٔ احتراق هیدروکربن‌ها، میزان انتشار CO_2 و CO و SO_2 محاسبه شد، و با توجه به اینکه میزان نشر NO و NO_2 به مشخصات گاز طبیعی بستگی ندارد، از ضریب انتشار پیشنهادشده توسط EPA استفاده شد. ضرایب انتشار مذکور در حجم گاز سوزانده‌شده برای هر یک از مشعل‌های موجود در پایگاه داده ضرب شده و میزان انواع آلایندهٔ منتشرشده برای هر یک از مشعل‌ها به دست آمد. معادلهٔ ۱ از جمله معادلات اصلی به‌کاررفته در این محاسبات است:

$$E_i = \sum_{n=1}^{N} ((Q_n) \times [1 - (f_{H_2O})_n] \times (\frac{T_0}{T_n}) \times (\frac{P_n}{P_0}) \times K_{eff} \times \frac{(C_{i,n} \times PMN_{i,n})}{\text{درصد } 100} \times \frac{MW_i}{MVC} \times K) \quad (۱)$$

E_i : میزان انتشار آلایندهٔ i برحسب تن (امریکایی) در دورهٔ زمانی اندازه‌گیری

N : دفعات اندازه‌گیری

n : اندیس دورهٔ اندازه‌گیری

Q_n : حجم گاز سوزانده‌شده در دورهٔ زمانی اندازه‌گیری n ام (برحسب acf [۲۰])

$(f_{H2O})_n$: محتوای رطوبت گاز خروجی در دورهٔ n ام (براساس حجمی)

T_0 : دمای شرایط استاندارد (520 °R یا 528 °R)

T_n : دما در شرایط اندازه‌گیری جریان در دورهٔ n ام (برحسب °R)

P_0 : فشار استاندارد متوسط (1 atm)

P_n : متوسط فشار اندازه‌گیری جریان در دورهٔ n ام (برحسب atm)

K_{eff} : ضریبی برای محاسبهٔ راندمان مشعل. برای آلاینده‌هایی ناشی از احتراق مانند SO_2، K_{eff} برابر با راندمان احتراق مشعل (C_{eff}) خواهد بود، و برای آلاینده‌های نسوخته یا حاصل از احتراق ناقص (مانند VOCs) برابر حاصل تفاضل راندمان تخریب از راندمان ۱۰۰ درصد ($D_{eff} - 1$) خواهد بود.

$C_{i,n}$: غلظت آلایندهٔ i یا عامل تولید آن در سمت واکنش‌دهنده‌ها، در دورهٔ n (درصد حجمی خشک)

PMN_i [۲۱] : نسبت استوکیومتریک عامل تولیدکنندهٔ آلاینده i

MW_i : وزن مولکولی آلاینده i (kg/kmol)

MVC : ضریب تبدیل حجم مولی = 836،6 (scf/kmol) در شرایط استاندارد

K : ضریب تبدیل = 0،0011023 (US tones/kg)

20. Actual cubic feet
21. Precursor Mole Number

۳. ۳. نتایج محاسبات و تحلیل آن

جمع‌بندی نتایج محاسبات درمورد کلیهٔ گازهای مشعل ایران، نشان می‌دهد سالانه حدود ۴۷ میلیون تن کربن دی‌اکسید و ۲۱۱ هزار تن متان در کشور از طریق گاز مشعل منتشر می‌شود که مجموعاً از لحاظ قابلیت گرمایش زمین معادل حدود ۵۳ میلیون تن کربن دی‌اکسید است. با در نظر داشتن کل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور که حدود ۷۰۰ میلیون تن در سال برآورد می‌شود[۲۲]، انتشار آلاینده‌های ناشی از گاز مشعل بالغ بر حدود ۷/۶ درصد از کل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور خواهد بود.

علاوه بر این، حدود ۱۹۸ هزار تن کربن مونواکسید، ۸۷۸ هزار تن سولفور دی‌اکسید، ۴۱ هزار تن دوده، ۲۳ هزار تن اکسیدهای نیتروژن، و ۸۸ هزار تن هیدروکربن‌های فرار غیر متان، از طریق گاز مشعل منتشر می‌شود.

جدول ۲. مجموع انتشار آلاینده‌ها با فرض راندمان احتراق ۵,۹۶ درصد، راندمان تخریب ۹۸ درصد و دودزایی متوسط[۲۳]

	CO_2	CO	SO_2	PM	NO	NO_2	NMVOC	Methane
میزان انتشار سالیانه (Tonnes/y)	۴۷/۱۲	۰/۲۰	۰/۸۸	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۲۱
GWP (eq. CO_2 Tonnes/y) افق زمانی صدساله، براساس ارزیابی پنجم IPCC	۴۷/۱۲	–	–	–	–	–	–	۵/۹۲

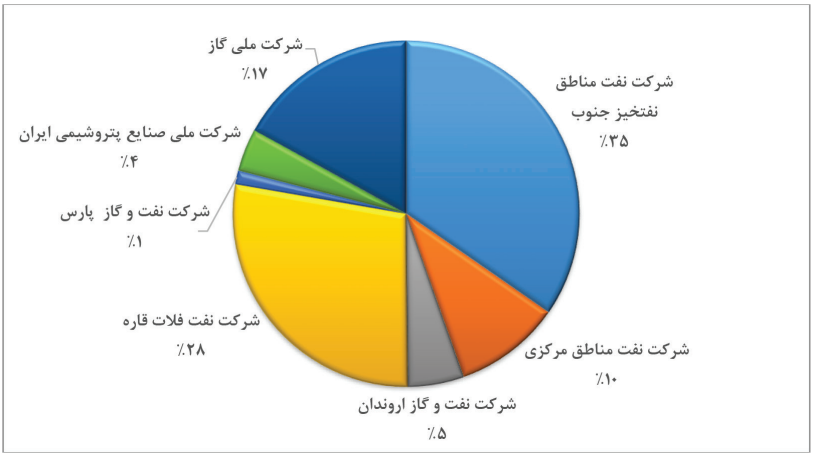
پس از انجام محاسبات بر روی داده‌های ماهواره‌ای کل مشعل‌های گاز کشور، حجم گاز سوزانده‌شده در هر یک از شرکت‌های نفتی زیرمجموعهٔ شرکت ملی نفت ایران، و میزان انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از گازهای مشعل هر کدام از این شرکت‌ها در جدول ۳ آورده شده است. همچنین در شکل ۱ سهم هر کدام از شرکت‌های تابعهٔ شرکت ملی نفت ایران از میزان انتشار آلاینده‌ها بر اثر سوزاندن گاز مشعل به تفکیک مشاهده می‌شود.

۲۲. بر مبنای آمار و اطلاعات سال ۱۳۹۴

۲۳. برای شرایط عملکرد مناسب طبق نظر EPA

جدول ۳. حجم گاز سوزانده‌شده در شرکت‌های تابعهٔ وزارت نفت

شرکت نفتی	حجم گاز مشعل (میلیون م. م. در روز)	Methane	NO_x (tone/hr)	SO_2 (tone/hr)	CO (tone/hr)	CO_2 (tone/hr)
شرکت نفت مناطق نفت‌خیز جنوب	۱۱/۶	۷/۶	۰/۸	۱۵/۶	۲۶/۴	۱۴۸۶/۷
شرکت نفت فلات قاره	۸/۵	۳/۷	۰/۴	۳۲/۳	۱۵/۲	۸۷۷/۷
شرکت ملی گاز	۶/۵	۳/۱	۰/۳	۸/۱	۱۰/۴	۵۸۴/۰
شرکت نفت مناطق مرکزی	۳/۳	۱/۸	۰/۲	۳/۵	۶/۹	۳۸۷/۱
شرکت نفت و گاز اروندان	۱/۷	۱/۱	۰/۱	۱/۰	۴/۳	۲۴۱/۸
شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران	۱/۳	۰/۱	۰/۱	۱۴/۸	۴/۹	۲۵۳/۵
شرکت نفت و گاز پارس	۰/۹	۰/۵	۰/۰	۰/۰	۱/۵	۸۷/۴
جمع	۳۳/۹	۱۷/۹	۲/۰	۷۵/۳	۶۹/۷	۳۹۱۸/۲

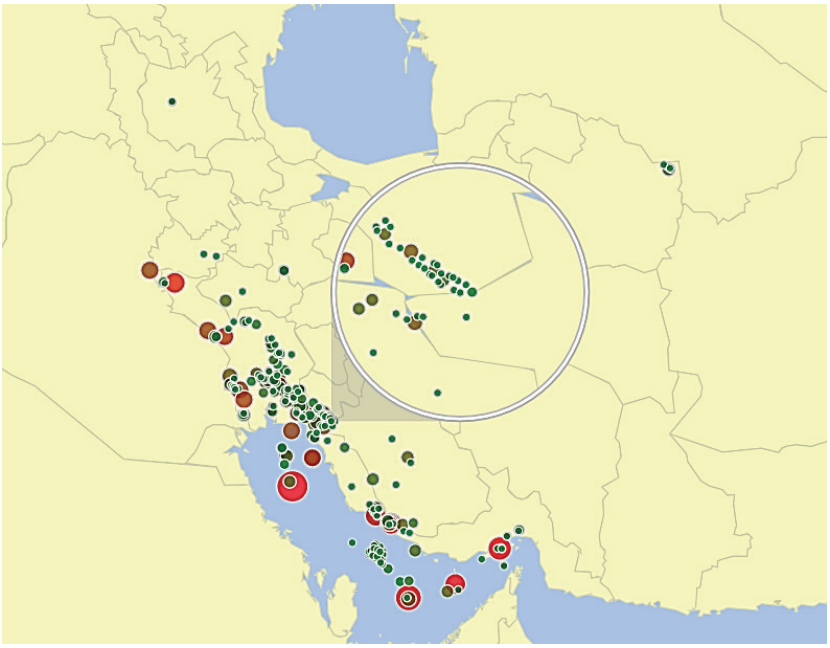


شکل ۱. سهم شرکت‌های تابعهٔ وزارت نفت از حجم گازهای مشعل

همان‌طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و شرکت نفت فلات قاره با سوزاندن به‌ترتیب ۱۱/۶ و ۸/۵ میلیارد متر مکعب گاز در روز که ۳۵ و ۲۸ درصد از کل گاز مشعل کشور را شامل می‌شود، بیشترین سهم را در میزان انتشار گازهای

گلخانه‌ای و آلایندهٔ ایران دارند. گازهای مشعل پرحجم منطقهٔ عسلویه نیز که عمدتاً مربوط به پالایشگاه‌های گازی این منطقه هستند، باعث شده‌اند که حدود ۱۷ درصد از حجم گازهای مشعل کشور در شرکت ملی گاز ایران وجود داشته باشد.

با پیاده‌سازی داده‌های ماهواره‌ای با مقیاس بزرگی میزان انتشار آلاینده بر روی نقشهٔ ایران، اطلس پراکندگی انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از گاز مشعل در ایران مطابق شکل ۲ حاصل می‌شود. در این شکل قطر و رنگ دوایر نشان‌دهندهٔ بزرگی حجم گاز سوزانده‌شده در مناطق علامت‌گذاری شده است و با تغییر طیف رنگ از سبز به قرمز شدت گاز مشعل افزایش می‌یابد.



شکل ۲. پراکندگی و بزرگی میزان انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از گاز مشعل در پهنهٔ ایران

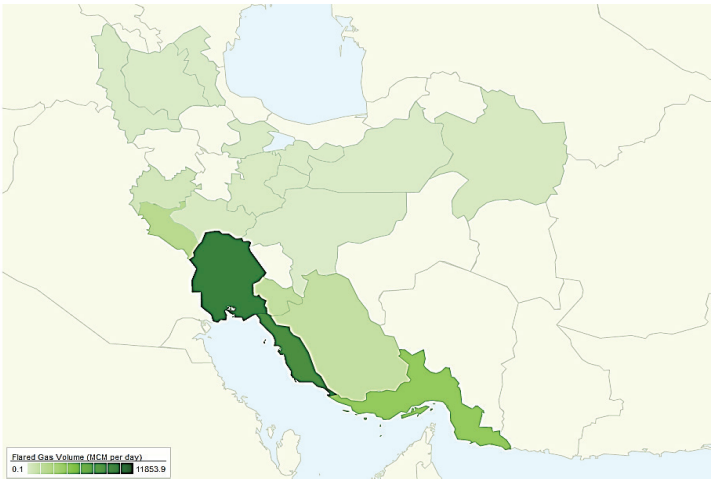
این شکل به‌خوبی نشان‌دهندهٔ تراکم مشعل‌های گازی در استان‌های جنوبی، به‌خصوص خوزستان و بوشهر است و مشخص می‌کند که صدها منبع آلاینده به محیط‌زیست این دو استان تحمیل می‌شود. دسته‌بندی گازهای مشعل کشور به تفکیک استانی و محاسبهٔ میزان تولید آلاینده برای هر کدام، اطلاعات جدول ۴ را پدید می‌آورد[۲۴].

۲۴. در این جدول هم گازهای مشعل بالادستی مربوط به گاز همراه و هم گازهای مشعل پایین‌دستی ناشی

جدول ٤. حجم گاز مشعل در هریک از استان‌های کشور و میزان تولید آلاینده‌های ناشی از آن

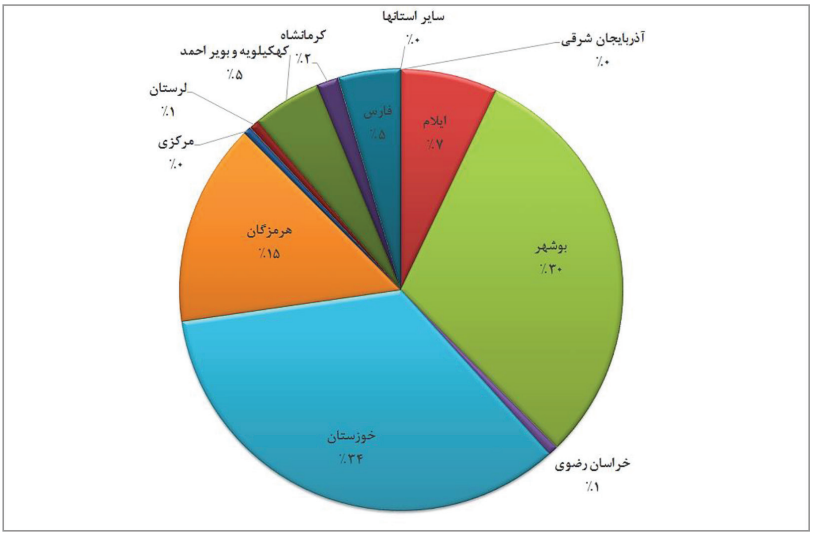
نام استان	حجم گاز مشعل (میلیون‌نم.م. در روز)	Meth-ane	VOC (tone/hr)	NO_x (tone/hr)	SO_2 (tone/hr)	CO (tone/hr)	CO_2 (tone/hr)
خوزستان	۱۱/۷۰	۷/۰۶	۱۰/۳۷	۰/۷۸	۲۱/۳	۲۷/۵	۱۵۲۹/۴
بوشهر	۱۰/۴۱	۴/۳۹	۶/۵۱	۰/۵۴	۴۱/۸	۱۹/۵	۱۱۰۹/۰
هرمزگان	۴/۲۳	۲/۳۹	۲/۹۰	۰/۲۲	۱/۸	۷/۶	۴۲۹/۰
ایلام	۲/۳۶	۱/۲۹	۱/۷۷	۰/۱۳	۲/۰	۴/۶	۲۵۹/۰
کهکیلویه و بویراحمد	۱/۶۲	۱/۰۲	۱/۴۸	۰/۱۱	۱/۷	۳/۸	۲۱۰/۵
فارس	۱/۳۹	۰/۷۹	۱/۰۹	۰/۰۸	۱/۲	۲/۸	۱۵۹/۶
خراسان‌رضوی	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۱	۳/۰	۰/۳	۱۷/۶
لرستان	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۵	۰/۴	۲۴/۵
سایراستان‌ها	۱/۶۸	۰/۸۴	۱/۱۶	۰/۰۹	۲/۱	۳/۲	۱۷۹/۶
مجموع	۳۳/۸۸	۱۷/۹۴	۲۵/۵۰	۱/۹۸	۷۵/۳	۶۹/۷	۳۹۱۸/۲

اطلس مربوط به میزان انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از گاز مشعل در استان‌ها نیز مطابق شکل ۳ و سهم هر یک از استان‌ها در کل میزان انتشار مطابق شکل ۴ است.



شکل ۳. پراکندگی میزان انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از گاز مشعل در استان‌ها

از فعالیت پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها لحاظ شده‌اند.



شکل ٤. سهم استان‌های مختلف کشور از میزان آلاینده‌های ناشی از گاز مشعل

همان‌طور که اشاره شد و در شکل ۴ نیز مشخص است، استان‌های خوزستان، بوشهر و هرمزگان بیشترین سهم انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از گاز مشعل را در ایران دارند (مجموعاً حدود ۸۰ درصد) که به تبع آن انتظار می‌رود چالش‌های محیط‌زیستی در این استان‌ها جدی‌تر باشد. لازم به توضیح است که بالا بودن میزان گاز مشعل در استان هرمزگان به دلیل انتساب اکثر جزایر ایرانی خلیج فارس و سکوهای مناطق دریایی به این استان است.

٤. فرصت‌های معاهدهٔ محیط‌زیستی پاریس (COP21)

براساس کنوانسیون چارچوب ملل متحد درمورد تغییر اقلیم (UNFCCC)[25] و بیست‌ویک دوره از مذاکرات کنفرانس اعضا (COP)،[26] کشورهای درحال‌توسعه می‌بایست برای مقابله با تغییر اقلیم مورد حمایت قرار گیرند. از مهم‌ترین دستاوردهای کنفرانس بیست و یکم که در شهر پاریس برگزار شد، تأکید بر ایجاد سازوکارهای عملی برای کشورهای درحال‌توسعه بود تا بتوانند در راستای اقدامات کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خود در چارچوب سند مشارکت معین ملی (NDC)،[27] از فرصت‌های حمایتی برخوردار شوند (UNFCCC, 2015).

جمهوری اسلامی ایران بر مبنای سند مشارکت معین ملی (NDC) خود متعهد شده است

25. United Nations Framework Convention on Climate Change
26. Conference of Parties
27. Nationally Determined Contributions

تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سناریوی ادامهٔ روندهای موجود (BaU)[۲۸] انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۴ درصد غیرمشروط و ۸ درصد مشروط کاهش دهد. به همین منظور، ایران می‌تواند از فرصت‌های موجود ذیل کنوانسیون و کنفرانس اعضا بهره گیرد. یکی از اقداماتی که در جهت کاهش تغییر اقلیم در ایران می‌تواند مورد تمرکز قرار گیرد، کنترل یا کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از سوزاندن گاز مشعل است. در حال حاضر کشور ایران با تولید سالانه حدود ۷۱۲ میلیون تن گاز گلخانه‌ای یکی از ۱۰ کشور نخست منتشرکنندهٔ گازهای گلخانه‌ای در جهان به شمار می‌رود. در این بین، حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن گاز مشعل ــ همان‌طور که قبلاً اشاره شد ــ معادل حدود ۵۳ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید در سال است که سهمی معادل ۴٫۷ از مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود (UNFCCC decisions, 2015). با حمایت‌های مالی دولتی و بین‌المللی در جهت اجرایی شدن طرح‌های کاهش سوزاندن گاز مشعل، می‌توان حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از گاز مشعل را تا حد قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد. تحقق این امر به برآورده شدن تعهدات جمهوری اسلامی ایران بر مبنای سند مشارکت معین ملی (NDC) کمک قابل‌توجهی خواهد کرد.

خوشبختانه در کشور ما برنامهٔ زمان‌بندی مشخصی برای حرکت به سمت حذف کامل گازهای مشعل وجود دارد، که مشخصاً می‌توان به برنامهٔ پنج‌سالهٔ ششم توسعهٔ کشور اشاره کرد. در بند الف مادهٔ ۵۹ این برنامه آمده است: «دولت مکلف است که کلیهٔ طرح‌های جمع‌آوری، مهار، کنترل و بهره‌برداری از گازهای همراه تولید و مشعل در کلیهٔ میدان‌های نفتی و تأسیسات صنعت نفت را با تسهیل و تعیین نرخ عادلانهٔ خوراک آن‌ها ظرف مدت حداکثر سه ماه از تاریخ تصویب این قانون از طریق فراخوان به بخش خصوصی و تعاونی واگذار کند، به گونه‌ای که تا پایان برنامهٔ ششم توسعه، حداقل ۹۰ درصد از گازهای مشعل مهار و کنترل شده باشد» (قانون برنامهٔ پنج‌سالهٔ ششم توسعهٔ جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۶). تحقق این بند به معنای آن است که در ابتدای سال ۲۰۲۳ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از گاز مشعل نیز به همین میزان کاهش خواهد یافت یعنی معادل کاهش دست کم ۶٫۷ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور. به این ترتیب کاهش انتشار نامشروطی که ایران در توافق پاریس نسبت به آن متعهد شده، می‌بایست بسیار زودتر از هدف تعیین‌شده در این توافق محقق شود.

برآوردها حاکی از آن است که در کشورهای خاورمیانه، راهکارهای متداول بازیابی و جمع‌آوری گازهای مشعل به سرمایه‌گذاری بین ۶۰ تا ۸۰ دلار به ازای هر هزار متر مکعب احتیاج دارند (Farina, 2011). با این فرض، حذف کامل گازهای مشعل در ایران مستلزم سرمایه‌گذاری

28. Business as Usual

با رقمی بین ۲ تا ۳ میلیارد دلار است. این در حالی است که به دلیل محدودیت‌های تأمین مالی که در سال‌های اخیر بر اثر تحریم‌ها به وجود آمده است، سرمایه‌گذاری در میدان‌های نفت و گاز مشترک با کشورهای همسایه نسبت به طرح‌هایی چون بازیابی و جمع‌آوری گازهای مشعل در اولویت بالاتری قرار داشته است. در این میان استفاده از تسهیلات مالی پیش‌بینی‌شده ذیل توافق پاریس می‌تواند فرصت خوبی برای رفع موانع سرمایه‌گذاری در پروژه‌های حذف گاز مشعل باشد. ازجملهٔ این فرصت‌ها می‌توان به صندوق تسهیلات جهانی محیط‌زیست (GEF)[۲۹] اشاره کرد.

صندوق GEF تحت مدیریت سازمان ملل متحد و با هدف اعطای کمک‌های مالی بلاعوض[۳۰] به کشورهای درحال‌توسعه برای حفاظت از محیط‌زیست جهانی، و ترویج رفاه و امرار معاش پایدار در جوامع محلی تأسیس شده است. این صندوق با کمک‌های مالی از پروژه‌های ملی کشورهای درحال‌توسعه که دارای منافع مشترک با اهداف حفاظت از محیط‌زیست جهانی هستند، حمایت می‌کند. جمهوری اسلامی ایران در سال‌های اخیر در زمینهٔ تغییر اقلیم برخی حمایت‌های مالی را از صندوق GEF دریافت کرده است. این حمایت‌ها به‌طور عمده بر روی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای متمرکز است و بیشترین حمایت مالی انجام‌گرفته از طرح‌های پیشنهادی جمهوری اسلامی ایران، حدود ۵/۵ میلیون دلار در طرح بهبود بهره‌وری انرژی در صنایع است. یکی از موضوعات موردتمرکز کشورهای درحال‌توسعه در زمینهٔ تغییر اقلیم، کنترل یا کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از سوزاندن گازهای مشعل است. پروژهٔ کاهش سوزاندن گاز فلر در نیجریه در ابتدای سال ۲۰۱۳ به تصویب بانک جهانی رسید و مورد حمایت صندوق GEF قرار گرفت. در صورت آماده‌سازی مستندات لازم، نظیر این پروژه در ایران نیز قابل‌تعریف است و دریافت تسهیلات مالی از این صندوق دور از ذهن نخواهد بود (UNFCCC Financial mechanism, 2015).

۵. جمع‌بندی و نتیجه

در این پژوهش پس از بیان ابعاد مختلف مسئلهٔ گاز مشعل در ایران، صدماتی که محصولات احتراق این گازها ایجاد می‌کنند، مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده، ایجاد عوارض جسمی و بیماری‌های مختلف در انسان، آلوده کردن آب‌های سطحی، و فرسایش و آلوده کردن خاک‌های حاصلخیز مورد بررسی قرار گرفت. این آسیب‌ها که نشان‌دهندهٔ اهمیت اجرای طرح‌های جمع‌آوری و بازیابی گاز مشعل است، نیازمند

29. Global Environmental Facility
30. Grant

برنامه‌ریزی مناسب است.

به منظور فراهم آوردن اطلاعات کافی برای مدیران تصمیم‌گیرنده، در این پژوهش برای نخستین بار با تکیه بر داده‌های موثق ماهواره‌ای و با استفاده از یک روش‌شناسی معتبر، از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های ناشی از گاز مشعل تخمینی ارائه شد. در گام بعد این اطلاعات پردازش‌شده و میزان انتشار آلاینده‌ها به تفکیک شرکت‌های نفتی مسئول و استان‌های مربوطه بیان شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین میزان آلایندهٔ تولیدی از گاز مشعل در کشور مربوط به گاز CO_2 است. شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، با توجه به پراکندگی میدان‌های نفتی تحت اداره در استان خوزستان، بیشترین میزان تولید گاز مشعل و درنتیجه آثار مخرب را بر محیط‌زیست در این استان بر جای گذاشته است. پس از آن شرکت نفت فلات قاره به علت مشعل‌های پرحجم مناطق دریایی و شرکت ملی گاز به دلیل شرایط نامناسب گازهای مشعل منطقهٔ عسلویه، دومین و سومین شرکت‌های تولیدکنندهٔ گازهای آلاینده و گلخانه‌ای کشور محسوب می‌شوند. با توجه به تنوع فراوان گازهای سمی ناشی از احتراق و آثار سوء آن‌ها بر سلامت انسان و همچنین بر زیست‌بوم مناطق، چنانکه در متن به آن اشاره شد، حرکت در جهت حذف گاز مشعل می‌بایست ازجمله اولویت‌های اصلی کشور برای احیای محیط‌زیست استان‌های خوزستان، بوشهر و هرمزگان باشد.

جدا از اهمیت کاهش آلاینده‌های ناشی از گاز مشعل در مقیاس محلی، تعهدات ملی کشور برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز نکته‌ای است که نمی‌توان از آن غافل بود. لذا در این مقاله، تعهدات ایران در کنفرانس پاریس برشمرده و اشاره شد که با توجه به تعهد جمهوری اسلامی ایران به کاهش انتشار غیرمشروط ۴ درصد و مشروط ۸ درصد تا سال ۲۰۳۰، ایران می‌تواند از فرصت‌های مالی و همکاری بین‌المللی پیش‌بینی‌شده ذیل کنوانسیون و کنفرانس اعضا بهره بگیرد. به نظر می‌رسد در صورتی که همکاری مؤثری بین نهادهای ذی‌ربط، علی‌الخصوص وزارت نفت و سازمان حفاظت محیط‌زیست شکل بگیرد، توافق پاریس می‌تواند به‌منزلهٔ یک فرصت تاریخی برای حذف کامل گاز مشعل از صنایع بالادستی و پایین‌دستی نفت ایران باشد. خوشبختانه راهکارهای فنی دستیابی به این هدف در مجموعهٔ شرکت‌های تابعهٔ وزارت نفت تا حد خوبی شناخته شده است. هرچند وزارت نفت به دلیل وجود مشکلات در جذب سرمایه‌گذاری که ناشی از تحریم‌های دههٔ گذشته است و در اولویت قرار دادن عملیات در میادین مشترک، در اجرای طرح‌های جمع‌آوری و بازیابی گاز مشعل راه دشواری در پیش دارد، اما تکیه بر توانمندی‌های بخش

خصوصی در این عرصه می‌تواند بسیار راهگشا باشد.[۳۱] از طرفی سازمان محیط‌زیست هم می‌تواند با درنظر داشتن آسیب‌های فراگیر آلایندگی گاز مشعل که در این مقاله به بخشی از آن اشاره شد، این موضوع را جزء اولویت‌های نظارت و اقدام خود قرار دهد. ظرفیت‌های همکاری بین‌المللی نیز که به‌واسطهٔ توافق پاریس فراهم می‌شود، می‌تواند به انتقال تجربیات موفق و تأمین مالی پروژه‌ها کمک شایانی کند.

قدردانی و تشکر

نگارندگان این مقاله مراتب سپاس خود را از مدیریت محترم پژوهشکدهٔ علوم و فناوری انرژی شریف ابراز می‌دارند که با حمایت و راهنمایی خود در به نتیجه رسیدن این پژوهش مؤثر بودند. گروه‌های مدیریت و بهینه‌سازی انرژی و انرژی و محیط‌زیست پژوهشکدهٔ انرژی شریف نیز در نگارش این مقاله همکاری داشتند و اطلاعات مفیدی فراهم آوردند؛ بدین وسیله از کمک‌های این دو گروه قدردانی و تشکر می‌شود.

کتابنامه

انفرادی، فتانه. «باران در اهواز هزار نفر را راهی بیمارستان کرد». *همشهری آنلاین*. قابل‌دسترس در:
www.hamshahrionline.ir/details/275798/Health/publichealth [1393/8/3]
عسکریه، محمدهاشم. ۱۳۹۱. «استانداردسازی شرکت ملی نفت ایران». گزارش داخلی. پژوهشکدهٔ علوم و فناوری انرژی شریف.
قانون برنامهٔ پنج‌سالهٔ ششم توسعهٔ جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۶ ـ ۱۴۰۰).
کاوه، محسن. ۱۳۸۵. بازیافت گازهای مشعل و تأثیر آن بر کاهش آلاینده‌های هوا. پایان‌نامهٔ مقطع کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شریف.
منصور آل‌کثیر، قاسم. «باران اهواز ۱۰ هزار نفر را روانهٔ بیمارستان کرد». *خبرگزاری مهر*. قابل‌دسترس در:
www.mehrnews.com/news[1394/8/9] 2953943/
مؤسسهٔ مطالعات بین‌المللی انرژی. ۱۳۹۵. *ترازنامهٔ هیدروکروبوری کشور در سال ۱۳۹۳*. تهران: هزارهٔ سوم اندیشه.

Amukali, O. 2012. "Assessment of water pollution in Ndokwa-East Local Government area". MSc. Dissertation. University of Maiduguri.
Argo, James. 2011. "Unhealthy Effects Of Upstream Oil And Gas Flaring". Intr. Americas Centre for Environment and Health. Canada.
Atuma1, Morrison Ifeanyi and Vincent Nduka Ojeh. 2013. "Effect of Gas Flaring on Soil and Cas
sava Productivity in Ebedei, Ukwuani Local Government Area, Delta State, Nigeria". *Journal of Environmental Protection*. Vol. 4. No. 10.
Charles, A. B. et al. 2011. "Selecting the Proper Flare Systems". John Zink Co. LLC. American Institute of Chemical Engineers (AIChE).

۳۱. وزارت نفت یک بار در سال ۱۳۹۳ به عرضهٔ گاز مشعل در مزایده مبادرت کرد که به دلیل مشکلاتی در چارچوب قرارداد پیشنهادی، استقبال نسبتاً ضعیفی از آن صورت گرفت. آسیب‌شناسی و رفع این چالش‌ها می‌تواند از مؤثرترین اقدامات باشد.

Dami, A. et al. 2012. “Effects of Gas Flaring and Oil Spillage on Rainwater Collected for Drinking in Okpai and Beneku, Delta State, Nigeria”. *Global Journal of Human Social Science, Geography and environmental Geosciences*. Vol. 12. Issue 13.
EEA. 2012. “Nitrogen oxides (NOx) emissions (APE 002)”. European Environment Agency (EEA). Copenhagen K. Denmark.
Egwurugwu J. N. et al. “Impact of Prolonged Exposure to Oil and Gas Flares on Human Renal Functions”. 2013. *International Research Journal of Medical Sciences*. vol. 1(11). pp. 9-16.
Egwurugwu, J. N. et al. 2013. “Impacts of prolonged exposure to gas flares on someblood indices in humans in the Niger Delta Region, Nigeria”. *Archives of Applied Science Research*.
Elvidge, c. et al. 2012. “Satellite Data Estimation of Gas Flaring Volumes”. NOAA. National Geophysical Data Center.
Elvidge, Christopher D. et al. 2009. “A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data”. Energies. pp. 595-622.
Ericsson, Gunilla and Camner Per. 1983. “Health effects of sulfur oxides and particulate matter in ambient air”. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. Vol. 9. Supplement 3 .pp 1-52.
Farina, M. F. 2011. “Flare Gas Reduction: Recent global trends and policy considerations”. General Electric Company.
GGFR (World Bank. Global Gas Flaring Reduction Program). 2017. Available at: www.worldbank.org.
Gobo, A. E. 2009. “Health Impact of Gas Flares on Igwuruta/ Umuechem Communities in Rivers State”. *Journal of Applied Science and Environmental Management*. vol. 13(3). pp. 27-33.
International, R. 2015. “Emissions Estimation Protocol for Petroleum Refineries”. U.S. EPA.
Ismail, o. s. et al. 2014.”Modelling combustion reactions for gas flaring and its resulting emissions”. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
Kahforoushan, D. et al. 2011. “Estimation of Emission Factors for Sour Gas Flares”. *The 7th International Chemical Engineering Congress & Exhibition (IChEC 2011)*. Kish. Iran. 21-24 November.
Mangia, Cristina et al. 2015. “Secondary Particulate Matter Originating from an Industrial Source and Its Impact on Population Health”. *International journal of environmental research and public*, pp. 7667-7681.
Ogidiolu, A. 2003. “Effects of Gas Flaring on Soil and Vegetation Characteristics in Oil Producing Region of Niger Delta Nigeria”. *International Journal of Ecology and Environmental Dynamics*. Vol. 1. No. 1. pp. 47-53.
Olivier, J.et al. 2012. “Trends in global CO2 emissions: 2012 Report”. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency Hague.
Sanchez, P. A. 1976. *Properties and Mismanagement of Soil in the Tropics*. New York: John Wiley and Sons.
Umukoro, G. Ezaina. and O. Saheed Ismail. 2015. “Modelling emissions from natural gas flaring”. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
UNFCCC. 2015. “A Brief Overview of Decisions”. Available at: unfccc.int/docu-

mentation/decisions/items/2964.php.
UNFCCC. 2015. “Review of the Financial Mechanism”. Available at: http://unfccc.int/cooperation_support/financial_mechanism/review/items/3658.php.
UNFCCC. 2015. “The Paris Agreement”. Available at: unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php.