ارزیابی و تخمین ضرایب انتشار آلاینده‌های گازی در واحدهای تولید گاز و گاز مایع

داود کاه‌فروشان[1]، اسماعیل فاتحی‌فر[1*]، علیرضا معصومی[2]، محسن صفاریان[2]، مسعود متین‌فر[2]، نعمت‌اله جعفرزاده حقیقی‌فرد[3]

۱- تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی شیمی، مرکز تحقیقات مهندسی محیط‌زیست، تبریز

۲- اهواز، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب

۳- اهواز، دانشگاه جندی‌شاپور، دانشکده علوم پزشکی

پیام نگار: **fatehifar@sut.ac.ir**

چکیده

صنایع تولید و فراوری نفت و گاز یکی از آلاینده‌ترین صنایع از نظر آلودگی هوا هستند و لازم است میزان آلودگی از منابع آلاینده در این صنایع شناسایی و تعیین شوند. در این مقاله یک واحد فرایند گاز و گاز مایع در ایران به‌صورت موردی انتخاب و ضرایب انتشار منابع آلاینده در این واحد با استفاده از ضرایب انتشار کلی مراجع و روش آنالیز سوخت تعیین شدند. نتایج نشان داد مهمترین منابع انتشار آلاینده‌ها در واحد مذکور شامل مشعل گازی، توربین‌های گازی، پیت و بویلر واحد نمزدایی گاز می‌باشند. در این میان مشعل گازی بیشترین مقدار آلاینده‌های THC و CH4 و توربین گازی بیشترین مقدار آلایندهٔ NO_2 به محیط را در این واحد منتشر می‌کنند. ضرایب انتشار فرایندی برای آلاینده‌های گازی NO_2، CO، SO_2، THC و CH_4 در واحد منتخب به ترتیب ۵۱۳/۳، ۲۷۳۱، ۰، ۱۸۰۵/۳ و ۲۲۵/۶ بر حسب g/۱۰۰۰Kg گاز مایع تولیدی به‌دست آمد. بررسی‌ها نشان داد ضریب انتشار فرایندی برای CH_4 به دلیل امکان نشت بالای این گاز می‌تواند خطای بالایی دربر داشته باشد. برای سایر آلاینده‌ها با توجه به مشابهت فرایندها و دستگاه‌ها در صنایع نفت و گاز، ضرایب انتشار ارائه شده می‌توانند به عنوان تخمین کلی از میزان انتشار آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، واحد تولید گاز و گاز مایع، ضرایب انتشار، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد، مونواکسید کربن

۱- مقدمه

واحدهای تولید نفت و گاز به‌دلیل دربر داشتن فرایندهای احتراق و سوزاندن حجم زیادی از سوختهای فسیلی، مقادیر زیادی از آلاینده‌های هوا را منتشر کرده و باعث صدمه به محیط‌زیست و به خطر افتادن سلامت افراد می‌شوند. طی فرایند احتراق، آلاینده‌های گازی زیادی که عمدتاً ترکیبات هیدروکربوری (THC)[1]، SO_2، NO_2 و CO هستند وارد هوا می‌شوند [۱]. بنابراین لازم است که منابع آلاینده در واحدهای تولید نفت و گاز شناسایی شده و میزان انتشار آلاینده‌ها از این منابع به‌طور مرتب پایش شوند تا در نهایت برنامه‌ریزی‌های لازم جهت به حداقل رساندن ضایعات زیست محیطی صورت گیرد [۲].

روش‌های مختلفی برای پایش مناسب آلاینده‌ها وجود دارد. روش پایش مداوم، اندازه‌گیری مستقیم آلاینده‌ها در منابع، استفاده از روش موازنهٔ جرم، استفاده از روش‌های مهندسی، مدل‌سازی و استفاده از ضرایب انتشار، از جملهٔ این روش‌ها هستند. هرچند در

1. Total Hydro Carbon

میان روش‌های فوق، اندازه‌گیری مداوم و مستقیم آلاینده‌ها یکی از مطمئن‌ترین روش‌های پایش آلودگی هواست، اما در برخی از شرایط، اندازه‌گیری مداوم امکان‌پذیر نیست و یا نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد دارد. بنابراین در شرایطی که پایش منابع آلاینده به‌صورت کلی و دراز مدت مد نظر باشد ضرایب انتشار به عنوان شاخصی مناسب می‌توانند برای پیش‌بینی و کنترل میزان آلودگی هوا به کار روند [۳]. ضرایب انتشار عبارتند از متوسط آماری میزان انتشار آلاینده در هوا به عنوان نتیجه‌ای از برخی فعالیت‌ها نظیر احتراق یا تولید در واحد صنعتی [۴]. با توجه به این تعریف، ضریب انتشار، نماینده‌ای از میزان انتشار حاصل از یک منبع آلایندهٔ معین است که در ارتباط با میزان آلاینده ورودی به هوا از آن منبع و فعالیت مرتبط با آن منبع در نظرگرفته می‌شود. ضرایب انتشار منابع آلاینده توسط مراجع مختلفی ارائه شده اند. به عنوان نمونه، آژانس محیط زیست آمریکا (EPA)[1] در سند موسوم به (AP-42)، ضرایب انتشار آلاینده‌های هوا را برای انواع منابع آلایندهٔ صنعتی ارائه کرده است. اما بدلیل کلی و تقریبی بودن این ضرایب انتشار، ممکن است کاربرد آنها برای برخی منابع آلاینده توأم با خطا باشد [۵]. در این صورت، لازم است برای هر کدام از منابع آلاینده در واحدهای صنعتی، ضرایب انتشار جداگانه تدوین شود و یا حداقل میزان خطای بالقوه آنها مشخص گردد. ضرایب انتشار تصحیح شده برای منابع آلاینده در واحدهای تولید نفت و گاز توسط برخی موسسات، نظیر انجمن تولید کنندگان نفت کانادا (CAPP)[2] و انجمن منطقه‌ای شرکت‌های تولید نفت و گاز آمریکای لاتین و کارائیب موسوم به ARPEL[3] ارائه شده است [۶و۷]. به علت این که این ضرایب انتشار برای منابع آلاینده در فرایندهای نفت و گاز ارائه شده‌اند می‌توانند نسبت به ضرایب انتشار کلی، دقت بالایی داشته باشند. اما چون این ضرایب انتشار برای صنایع نفت و گاز کشورهای خاص ارائه شده اند، برای سایر کشورها ممکن است دقت کمی داشته باشند.

در این تحقیق هدف ارزیابی و اصلاح ضرایب انتشار کلی مراجع در ارتباط با منابع بالقوهٔ انتشار آلاینده‌های گازی و ارائه ضرایب انتشار کلی فرایندی برای یک واحد منتخب تولید گاز و گاز مایع در ایران است. با توجه به این که ضرایب انتشار فرایندی بر اساس اطلاعات فرایندی و آنالیز سوخت‌های مصرفی در واحد منتخب ارائه شده‌اند، می‌توان آنها را برای تدوین برنامه‌های پایش و کنترل آلاینده‌های هوا ناشی از واحدهای مذکور و واحدهای مشابه در ایران به‌کار برد.

1. Environmental Protection Agency
2. Canadian Association Petroleum Producers
3. Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean

۲- روش مطالعه

برای انجام کار ابتدا مشخصات منابع آلاینده در واحدهای مختلف تعیین می‌شوند. در ادامه، مشخصات سوخت مصرفی به‌دست آمد تا سپس ضرایب انتشار آلاینده‌ها مشخص شوند.

۲-۱ تعیین مشخصات منابع آلاینده در واحد منتخب گاز و گاز مایع

در واحدهای گاز و گاز مایع هدف تفکیک میعانات گازی از گاز سبک همراه نفت است. گازهای همراه نفت پس از جداسازی از نفت در واحدهای بهره‌برداری و تقویت فشار، به واحدهای گاز و گاز مایع ارسال می‌شوند. واحد مورد بررسی، روزانه (MMscf/day)[4] ۱۰۳ (میلیون فوت مکعب استاندارد در روز) گاز غنی و ۵۳۱۰ بشکه مایعات گازی را به عنوان خوراک دریافت می‌کند. پس از عملیات تفکیک گاز سبک و گاز مایع، نم زدایی و فشارافزایی، محصول واحد (MMscf/day) ۶۵ گاز سبک و ۲۳۳۱۶ بشکه در روز گاز مایع است. عمده ترین منابع آلاینده در واحد گاز و گاز مایع مورد نظر، مشعل گازی، توربین‌های گازی، پیت و بویلر هستند. مشعل مورد استفاده از نوع بلند بوده و در اکثر مواقع در حالت غیر اضطراری یا پایلوت عمل می‌کند. حالت‌های اضطراری بندرت و در مدت‌های کوتاه کم اتفاق می‌افتد. بنابراین می‌توان از حالت احتراق مشعل در حالت اضطراری در مقایسه با زمان احتراق در حالت پایلوت صرف‌نظر کرد. از توربین‌های گازی به عنوان موتور کمپرسور برای انتقال گاز مایع و گاز به مراکز مورد نظر استفاده می‌شود. در واحد مورد نظر دو نوع تجاری مختلف توربین گازی به‌کار می‌آید که در کل، عملکرد یکسان دارند. از پیت نفتی برای سوزاندن و حذف ضایعات نفتی در محوطه‌های فرایند استفاده می‌گردد. پیت نفتی واحد در هر ماه حدوداً یک الی دو بار به مدت چند ساعت در حالت اضطراری بکار می‌رود و در سایر مواقع در حالت پایلوت عمل می‌کند.

در واحد مذکور از یک بویلر نیز استفاده می‌گردد که این بویلر جزیی از سیستم نم‌زدایی گاز با استفاده از اتیلن گلیکول است. از بویلر

4. Million Standard Cubic Feet

Archive of SID

www.SID.ir

مزبور برای جداسازی آب و تغلیظ مجدد اتیلن گلیکول استفاده می‌گردد. سوخت توربین‌های گازی و بویلر واحد نم‌زدایی و همچنین مشعل و پیت در حالت پایلوت، گاز سوختی است که از خود واحد تأمین می‌گردد. در جدول (۱) مشخصات منابع آلاینده در واحد گاز و گاز مایع منتخب ارائه شده است. خوراک مورد استفاده برای تمام منابع آلاینده گاز سبک سوختی است. با توجه به اینکه در منابع احتراقی بدلیل متغیر بودن میزان شدت جریان در طول احتراق، استفاده از تجهیزات شدت جریان سنجی برای تعیین میزان متوسط جریان گاز، زیاد دقیق نخواهد بود و از طرفی در این منابع بخصوص مشعل‌ها، استفاده از این تجهیزات مانند اریفیس به دلیل امکان نشت گاز و یا مسدود شدن جریان در لوله‌ها، با محدودیت روبه‌رو است، شدت جریان متوسط میزان احتراق سوخت گازی در منابع آلاینده را می‌توان از روش موازنه جرم با دقت قابل قبولی به‌دست آورد. معادله اساسی برای این روش به‌صورت زیراست [۶]:

$$G_{\text{منبع}} = G_p - G_s \qquad (۱)$$

جدول ۱- مشخصات منابع آلاینده در واحد گاز و گاز مایع

منبع آلاینده	شدت جریان متوسط (MMscf/day)
مشعل بلند	۱ (در حالت پایلوت)
پیت	۰/۲۵ (در حالت پایلوت)
۲ عدد توربین گازی (مدل رویس رویز)	۱/۸
۴ عدد توربین گازی (مدل سولار)	۳/۶
بویلر	۰/۲

در این رابطه $G_{\text{منبع}}$ میزان متوسط سوخت مصرفی در منبع احتراقی و G_p متوسط گاز تولید شده از نفت است که از نسبت گاز به نفت در نفت خام واحد بهره‌برداری محاسبه می‌گردد. G_s میزان گازی است که به عنوان محصول از واحد خارج می‌گردد. از آنجایی که در واحد تولید گاز و گاز مایع از خود سوخت تولیدی در واحد، به‌عنوان سوخت منابع احتراقی نیز استفاده می‌گردد، با ناچیز فرض کردن میزان تلفات و نشتی گاز از اختلاف مقادیر گاز ورودی و خروجی، میزان متوسط گاز سوخته شده درمنابع احتراقی محاسبه می‌گردد. لازم بذکر است که در مشعل‌های گازی استفاده از روش موازنهٔ جرم برای محاسبه میزان متوسط شدت جریان گاز احتراقی با توجه به متغیر بودن میزان احتراق گاز بخصوص در مواقع اضطراری، تقریب بیشتری خواهد داشت که با توجه به ماهیت متوسط بودن ضرایب انتشار می‌تواند میزان انتشار از منابع آلاینده را در دراز مدت به خوبی پیش‌بینی کند.

۲-۲ تعیین مشخصات گاز سوختی

برای برآورد کردن میزان انتشار آلاینده‌های گازی هوا از منابع آلاینده، بایستی مشخصات سوخت مصرفی هر یک از منابع، جداگانه تعیین گردد. از آنجایی‌که سوخت توربین‌های گازی، بویلر، مشعل و پیت (در حالت پایلوت) گاز سبک سوختی است، لذا با توجه به مدت زمان اندک احتراق مشعل و پیت در حالت اضطراری، تعیین مشخصات سوخت گازی مبنا قرار گرفت. برای آنالیز مشخصات سوخت گازی شش نوبت نمونه برداری به‌صورت ماهانه صورت گرفت و اجزای ترکیب گاز با دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Chrompack CP9000 آنالیز گردید. متوسط داده‌ها به عنوان معیاری از کیفیت متوسط سوخت گازی در نظر گرفته شد. ارزش حرارتی بالای سوخت (HHV)[1] با استفاده از جزء مولی و ارزش حرارتی بالای هر یک از اجزای ترکیب سوخت از معادله زیر تعیین شد [۷]:

$$HHV_{fuel} = \sum_{i=1}^{N} (\%\, mole_i \times HHV_i) \qquad (۲)$$

در معادله (۲)، HHV_{fuel}، ارزش حرارتی سوخت، HHV_i ارزش حرارتی تک‌تک اجزاء، N تعداد اجزاء و $\%mole_i$ درصد مولی ترکیب اجزای سوخت می‌باشد.

۲-۳ ضرایب انتشار منابع آلاینده

در جدول‌های (۲) تا (۴) ضرایب انتشار EPA، CAPPو ARPEL برای هر کدام از منابع آلاینده در واحد گاز و گاز مایع بر حسب

1. High Heating Value

Archive of SID
www.

واحد (lb/MMBtu[1]) ارائه شده‌اند. واحد مذکور واحد متداول برای بیان ضرایب انتشار آلاینده‌هاست که امکان می‌دهد میزان آلایندگی سوخت‌های مختلف با هم مقایسه شوند. با توجه به وجود اختلاف اساسی بین ضرایب انتشار ارائه شده، دیدگاه اجتناب از خطای تخمین پایین، در تعیین میزان آلاینده‌های ناشی از واحد گاز و گاز مایع مورد نظر، مبنا قرار گرفت [۶]. بدین صورت که برای تعیین ضرایب انتشار کلی آلاینده‌ها در واحد گاز و گاز مایع، ضرایب انتشار با مقدار عددی بالا در بین ضرایب انتشار مراجع انتخاب شدند. در نهایت ضریب انتشار مورد نظر با توجه به ترکیب و ارزش حرارتی بالای گاز سوختی تصحیح گردید. برای تعیین ضرایب انتشار کلی لازم است میزان انتشار آلاینده‌ها از منابع آلاینده تعیین شوند. تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از معادله زیر صورت گرفت [۴]:

$$E = A \times EF \times (1-ER/100) \quad (۳)$$

در این رابطه E میزان انتشار از هر منبع، A میزان فعالیت آن منبع که معادل مقدار گاز سوخته شده در منبع است، EF ضریب انتشار و ER بازدهی کاهش انتشار کلی به‌صورت درصد می‌باشد. ER در ارتباط با بازدهی حذف یا کاهش دستگاههای کنترل آلودگی موجود در محل تعریف می‌شود. از آنجائی که هیچ یک از منابع آلاینده در واحد مورد بررسی، مجهز به وسیله کنترلی نیستند این مقدار برای کلیه منابع، صفر منظور شد.

جدول ۲- ضرایب انتشار مراجع برای احتراق گاز سوختی در توربین گازی (lb/MMBtu) [۹، ۸ و ۶]

مرجع	NO_2	CO	SO_2	THC	CH_4
CAPP	۰/۲۹۵	۰/۱۷۷	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۱۰۹۷	۰/۰۰۸۵۶
EPA[1و2]	۰/۲۹۵ (۰/۳۲)	۰/۱۷۷ (۰/۰۸۲)	۰/۰۰۳۳۸ (۰/۰۰۰۵۸)	ارائه نشده	(۰/۰۰۸۵۶) ۰/۰۰۸۶۴
ARPEL	۰/۱۰۴	۱/۵	ارائه نشده	۰/۱۳۴	۰/۰۱۲

۱- ضرایب انتشار برای توربینهای گازی با سوخت گازی بدون وسیله کنترلی (جدول‌های (۳-۱-۱) و (۳-۱-۲) الف سند (AP-42)

۲- اعداد داخل پرانتز ضرایب انتشار EPA برای توربینهای گازی بدون تجهیزات کنترل آلودگی هوا در بار بالای ۸۰٪ هستند.

جدول ۳- ضرایب انتشار مراجع برای احتراق سوخت گازی در بویلر (lb/MMBtu) [۱۰، ۸ و ۶]

مرجع	NO_2	CO	SO_2	THC	CH_4
CAPP[1]	۰/۱۲۱	۰/۱۴۸	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۲۲۵
EPA[2]	۰/۱۶۷	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰۵۸	ارائه نشده	۰/۰۰۲۲۵
ARPEL	۰/۱۳	۱/۵	ارائه نشده	۰/۰۱۸	خیلی کم

۱- ضرایب انتشار بر اساس اطلاعات کارخانه‌های سازنده بویلرهای لوله آتشی[2] مورد استفاده در صنایع تولید گاز ارائه شده است.

۲- ضرایب انتشار برای بویلرهای لوله آتشی بدون وسیله کنترل آلودگی در تمام اندازه‌ها (جدول‌های (۱-۴-۱) و (۱-۴-۲) سند (AP-42)

جدول ۴- ضرایب انتشار مراجع برای احتراق گازها در مشعل (lb/MMBtu) [۱۱، ۸ و ۶]

مرجع	NO_2	CO	SO_2	THC	CH_4
CAPP	۰/۰۶۸	۰/۳۷	ارائه نشده	۰/۱۴	۰/۰۸
EPA	۰/۰۶۸	۰/۳۷	ارائه نشده	۰/۱۴	۰/۰۸
ARPEL	۰/۰۹۸	۱/۳	ارائه نشده	۴/۷۲	۰/۶۱

1. Million British Thermal Unit
2. Fire Tube

www.SID.ir

۳- نتایج و بحث

۳-۱ مشخصات سوخت گازی

نتیجه آنالیز مشخصات سوخت گازی مورد استفاده در منابع احتراقی در واحد گاز و گاز مایع مورد نظر در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به آنالیز سوخت گازی میزان H_2S برای گاز سوختی صفر است. از آنجائی که منبع تولید SO_2 در فرایندهای احتراق، H_2S است. بنابراین ضریب انتشار SO_2 برای کلیه منابع آلاینده صفر فرض گردید. در عمل ممکن است مقادیر اندکی SO_2 تولید گردد که دلیل این امر می‌تواند مقدار ناچیز ترکیبات گوگردی در گازهای احتراق باشد. همچنین ارزش حرارتی بالای گاز سوختی مورد استفاده در واحد گاز و گاز مایع مورد نظر با استفاده از معادله (۲)، (Btu/scf) ۱۲۳۰ تعیین گردید. ارزش حرارتی متوسط گزارش شده در مراجع برای گاز سوختی (Btu/scf) ۱۰۲۰ است که این مقدار با مقدار تعیین شده حدود ۱۷٪ اختلاف دارد [۱۰].

۳-۲ برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها در واحد گاز و گاز مایع منتخب

ضرایب انتشار تصحیح شده برای منابع آلاینده در واحد گاز و گاز مایع با استفاده از روش آنالیز سوخت در جدول (۶) ارائه شده است. با استفاده از این ضرایب انتشار، برآورد انتشار آلاینده‌ها از منابع مورد بررسی به‌صورت کیلوگرم آلاینده منتشر شده در روز در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۵- ترکیب و مشخصات متوسط سوخت گازی مورد استفاده در واحد گاز و گازمایع منتخب (٪ مولی)

ترکیب	بوتان	اتان	پروپان	(نرمال/ ایزو بوتان)	(نرمال/ ایزو پنتان)	هگزان	نیتروژن	دی اکسید کربن	سولفید هیدروژن
درصد مولی	۷۷/۵	۱۶/۳۷	۴/۷۰	۰/۷۵	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۰

جدول ۶- ضرایب انتشار تصحیح شده برای منابع آلاینده در واحد گاز و گاز مایع[1] (lb/MMscf)

منبع آلاینده	NO_2	CO (ARPEL)	SO_2	THC (ARPEL)	CH_4
توربین گازی	(EPA) ۳۹۳/٦	۱۸٤٥	۰	۱٦٤/۸	(ARPEL) ۱٤/۸
بویلر	(EPA) ۲۰٦/٦	۱۸٤٥	۰	۲۲/۱	(EPA) ۲/۸
مشعل و پیت[2]	(ARPEL) ۱۲۰/٥	۱٥۹۹	۰	٥۸۰٥/٦	(ARPEL) ۷٥۰/۳

۱- عبارات داخل پرانتز نشان‌دهندهٔ مرجع اصلی برای ضریب انتشار تصحیح شده است.

۲- برای پیت، با توجه به مشابهت احتراق در حالت پایلوت، همان ضرایب انتشار مشعلها لحاظ شده‌است.

جدول ۷- میزان انتشار آلاینده‌ها از هر یک منابع آلاینده در واحد گاز و گاز مایع (kg/day)

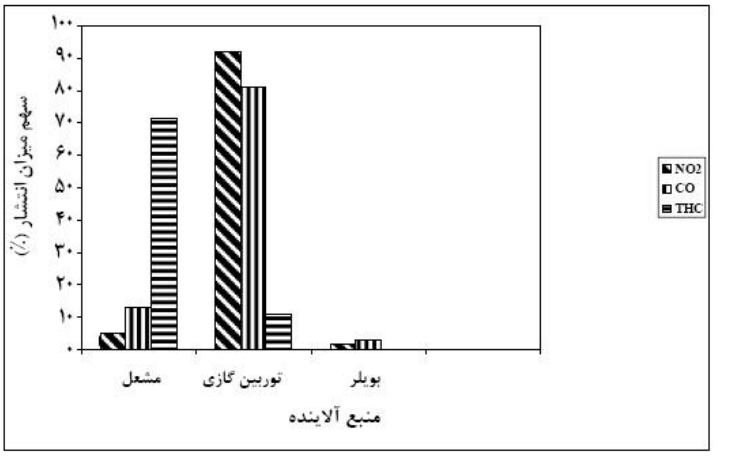
منبع آلاینده	NO_2	CO	SO_2	THC	CH_4
مشعل	۵۴/۷	۷۲۵/۹	۰	۲۶۳۵/۷	۳۴۰/۶
پیت	۱۳/۷	۱۸۱/۵	۰	۶۵۸/۹	۸۵/۲
توربین‌های گازی	۹۶۴/۹	۴۵۲۳/۲	۰	۴۰۴/۰	۳۶/۳
بویلر	۱۸/۸	۱۶۷/۵	۰	۲/۰	۰/۳
جمع	۱۰۵۲/۱	۵۵۹۸/۱	۰	۳۷۰۰/۶	۴۶۲/۴

Archive of SID
www.

همان طور که نتایج نشان می‌دهند در واحد گاز و گاز مایع بیشترین آلودگی به ترتیب مربوط به آلاینده‌های CO و THC می‌باشد. دلیل این امر ماهیت فرایند احتراق است که باعث می‌گردد حجم زیادی از محصولات احتراق که عمدتاً CO است وارد اتمسفر گردد. گاز CO در اتمسفر به CO_2 تبدیل می‌شود که یکی از گازهای مهم گلخانه‌ای بوده و به‌طور مستقل از احتراق کامل سوختهای فسیلی نیز تولید می‌شود. میزان انتشار CO در ارتباط مستقیم با مکانیزم احتراق و میزان بازدهی احتراق است. در حالت احتراق با سوخت یکسان، هر چقدر بازدهی منبع احتراقی بالاتر باشد بدلیل احتراق کامل، CO کمتری تولید خواهد شد [۱۲]. در عمل به دلیل کنترل بهتر شرایط در بویلرها و توربین‌های گازی، بازدهی آنها معمولا نزدیک به ۱۰۰٪ است. در حالی که در مشعل‌ها به‌دلیل عدم کنترل شرایط احتراق و تأثیر باد در شعله باز مشعل‌ها، بازدهی بسیار پایین‌تر است [۱۳]. در توربین‌های گازی، میزان انتشار CO به میزان بارگذاری نیز وابسته است. برای مثال توربین‌های گازی که زیر بار کامل خود کار می‌کنند به علت رسیدن به بازدهی‌های بالای سوخت، تشکیل CO را کاهش خواهند داد. برعکس، یک توربین گازی که در بار متوسط یا پایین کار می‌کند به علت بازدهی‌های پائین سوخت و در نتیجه احتراق ناقص، تشکیل CO را افزایش خواهد داد [۹]. همانطور که شکل (۱) نشان می‌دهد در بین منابع آلاینده، بویلرها در مقایسه با سایر منابع احتراقی، آلودگی کمتری تولید می‌کنند. در مقابل بیشترین آلودگی مربوط به توربین‌های گازی است. حدود ۸۱٪ از CO در واحد گاز و گاز مایع ناشی از احتراق در توربین‌های گازی است. همچنین عمده NO_2 تولیدی در واحد گاز و گاز مایع (نزدیک به ۹۲٪) نیز ناشی از فرایند احتراق در این منابع است. دلیل بالا بودن انتشار NO_2 از توربین‌های گازی می‌تواند مربوط به مکانیسم‌های تولید NO_2 باشد که در ارتباط با دمای منبع احتراقی است. NO_2 و NO طی چندین فرایند واسطه از واکنش اکسیژن با نیتروژن هوا در دمای بالا تشکیل می‌شوند. در نهایت نیز با توجه به پایداری کم NO، این گاز سریعاً به NO_2 اکسید می‌شود. در توربین‌های گازی با توجه به بالا بودن دما در شعله، تشکیل NO_2 و NO بیشتر از سایر منابع احتراقی است [۹].

برخلاف NO_2 عمدهٔ انتشار دو آلاینده THC و CH_4 ناشی از احتراق در مشعل گازی است. این دو آلاینده از عدم احتراق و رهایش گازهای سوختی، به خصوص در احتراق باز، مانند احتراق در مشعل-ها ناشی می‌شوند. انتشار CH_4 در ارتباط با ترکیبات هیدروکربنی بوده و ممکن است هم از طریق احتراق ناقص (رهایش بدون سوختن) و هم از طریق واکنش‌های شکست در هسته شعله به وجود آید. بنابراین میزان انتشار این ترکیب بستگی به ترکیب گاز خواهد داشت. افزایش بازدهی احتراق ممکن است منجر به کاهش CH_4 شود. اما میزان CO_2 و احتمالاً NO_x را کاهش نخواهد داد. بهترین راه برای کاهش میزان این آلاینده‌ها در مشعل‌ها حداقل کردن گازهای ورودی به مشعل‌ها است مشروط به اینکه گازهای زائد مستقیماً وارد هوا نشوند [۱۴].

البته باید توجه کرد که گاز CH_4 می‌تواند به علت فراریت از خطوط لوله، تجهیزات کنترلی، سیستم‌های در حال تعمیر و غیره نیز منتشر شود. در جدول (۸) سهم میزان انتشار از این دسته از منابع برای CH_4 ارائه شده است [۱۵]. مقادیر نشان می‌دهند که سهم مشعل‌ها از کل انتشار CH_4 در واحدهای فرایند نفت و گاز حدود ۲۷٪ است و بقیه عمدتاً ناشی از نشتی از سیستم‌ها می‌باشد. لذا عدم توجه به این امر می‌تواند خطاهای زیادی را در تخمین میزان انتشار متان داشته باشد.



شکل ۱- سهم آلایندگی منابع برای آلاینده‌های NO_2، CO و THC در واحد گاز و گاز مایع

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۸- سهم میزان انتشار CH_4 از منابع تکی در صنعت نفت و گاز [۱۵].

غیره	تخلیه‌ها و تعمیرات	خطوط لوله	تجهیزات کنترلی	کمپرسورها	مشعل‌ها	منبع آلاینده
۸	۸	۱۸	۱۴	۲۵	۲۷	سهم‌میزان انتشار (٪)

۳-۳ تعیین ضرایب انتشار فرایندی آلاینده‌ها

ضرایب انتشار فرایندی برای آلاینده‌ها در واحدهای صنعتی می‌تواند بر اساس خوراک و یا محصول تولیدی واحد محاسبه گردد. در این تحقیق، ضرایب انتشار فرایندی برای واحد منتخب بر اساس میزان گاز مایع تولیدی واحد محاسبه گردید. ضرایب انتشار فرایندی با فرض چگالی گاز مایع تولیدی معادل(kg/m^3) ۵۵۳ محاسبه شد [۱۶]. همان گونه که نتایج نشان می‌دهند (جدول (۹))، بیشترین ضرایب انتشار فرایندی، به ترتیب، مربوط به آلاینده‌های CO، THC و NO_2 است. چنانچه قبلا بحث شد برای متان به‌دلیل امکان نشت این گاز از طریق تخلیه و رهایش گاز به‌صورت عمدی یا غیر عمدی، ضریب انتشار ارائه شده می‌تواند خطای بالایی داشته باشد. بنابراین برای آلاینده فوق بهتر است تخمین دقیق‌تری با در نظر گرفتن میزان نشتی گاز صورت گیرد.

جدول ۹- ضرایب انتشار فرایندی آلاینده‌ها در واحد گاز و گاز مایع منتخب (g/1000kg LPG)

ضریب انتشار	NO_2	CO	SO_2	THC	CH_4
واحد منتخب	۵۱۳/۳	۲۷۳۱/۰	۰	۱۸۰۵/۳	۲۲۵/۶

۴- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های گازی در واحد گاز و گاز مایع عبارتند از: مشعل، توربین‌های گازی، پیت و بویلر. در این میان مشعل‌های گازی با توجه به شرایط احتراق در هوای آزاد و احتمال وزش باد و در نتیجه افت بازدهی و نیز احتمال سوزاندن گازهای زاید و تصفیه نشده در شرایط اضطراری، پتانسیل بالایی برای تولید آلاینده‌های هوای محیط دارند. بر طبق نتایج به‌دست آمده، عمدهٔ آلاینده‌های مشعل‌ها محصولات ناقص احتراق نظیر گازهای CO و THC هستند. همچنین مشعل‌ها بدلیل این که گازهای خام حاصل از چاه‌های نفت ممکن است مقادیر بالایی از H_2S داشته باشند می‌توانند در حالت‌های فعال، منبع انتشار مقادیر زیادی از گازهای H_2S نسوخته و SO_2 باشند [۱۴]. منابع آلایندهٔ دیگری که مقدار زیادی از آلاینده‌های گازی را در واحدهای فرایند تولید گاز منتشر می‌کنند توربین‌های گازی هستند. به خصوص توربین‌های گازی عمده NO_2 ناشی از فرایندهای احتراق را در واحدهای فرایندی گاز و گاز مایع وارد هوا می‌کنند. یکی از راه‌های کاستن این آلودگی‌ها اتخاذ شیوه‌های مدیریت ضایعات گازی و کاهش حجم گازهای زاید ورودی به مشعل‌ها و اصلاح ساختار توربین‌های گازی است.

نتایج نشان می‌دهند که ضرایب انتشار کلی ارائه شده در مراجع برای منابع آلاینده در واحدهای فرایند نفت و گاز دارای اختلاف فاحش هستند. دلیل این امر دو عامل مهم است. اولاً ضرایب انتشار مراجع از مقادیر متوسط به‌دست آمده‌اند و ثانیاً این ضرایب انتشار، برخی پارامترهای فرایندی مهم نظیر ترکیب سوخت، بازدهی فرایند و شرایط محیطی را لحاظ نمی‌کنند. بنابراین بایستی از طریق مطالعات جداگانه ضرایب انتشار خاص فرایندی ارائه شوند و یا ضرایب انتشار مراجع تا حد امکان اصلاح گردند. در این صورت می‌توان امیدوار بود که با فراهم بودن اطلاعات دقیق فرایندی برآورد خوبی از میزان آلودگی در واحدهای تولید نفت و گاز فراهم شود.

۵- تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب انجام گرفته است. لذا از همکاری صمیمانه کلیه مسئولین و کارشناسان بخصوص آقای مهندس احمد عطایی رئیس واحد پژوهش و توسعه شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب تشکر و قدردانی می‌گردد.

Archive of SID

مراجع

[1] Bhatita, S C., "Environmental Pollution and Control in Chemical Process Industries", khanna Publishers, 1th Ed., New Delhi, India, pp. 44-65, (2001).

[۲] مشعل، «نشریه کارکنان صنعت نفت ایران»، شماره ۲۷۰، (۱۳۸۳).

[3] Heinsohn, R. J., Kabel, R. L., "Sources and Control of Air Pollution", Printic Hall, 1th Ed., Upper Saddle River, NJ, USA, Chapter 8, pp. 329-386, (1999).

[4] USEPA, "Introduction to AP 42", Volume 1, 5th. Ed. United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park. NC., USA, (1995).

[5] USEPA, "Procedures for Preparing Emission Factor Documents, Office of Air Quality and Standards", 1th Ed., U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC., USA, (1997).

[6] CAPP, "A National Inventory of Greenhouse Gas: Criteria Air Contaminant and Hydrogen Sulphide Emissions by the Upstream Oil and Gas Industry", Canadian Association of Petroleum Producers, 1th Ed., Clearstone Engineering Ltd., Calgary, Alberta, (2004).

[7] API, "Compendium of Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for the Oil and Gas Industry", American Petroleum Institute, (2001). Available from: www.api.org/ehs/climate/new/upload/2004_COMPENDIUM.pdf.

[8] ARPEL, "Guidelines for Atmospheric Emissions Inventory Methodologies in the Petroleum Industry", Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean, 1th Ed., Alberta, Canada, (1998).

[9] USEPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources", 5th Ed. AP-42, Section 3.1. Stationary Internal Combustion Sources, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC., USA, (2000).

[10] USEPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources", 5th Ed. AP-42, Section 1.4. Natural Gas Combustion, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC., USA, (1998).

[11] USEPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources", 5th Ed., AP-42, Section 13.5. Industrial Flares, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC., USA, (1993).

[12] Sonibare, J.A., Akeredolu, F.A., "A Theoretical Prediction of Non-methane Gaseous Emissions from Natural Gas Combustion", Energy Policy, Vol. 32, pp. 1653–65, (2004).

[13] Leahey, D.M., Preston, K., Strosher, M., "Theoretical and Observational Assessments of Flare Efficiencies", Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 51, pp. 1610-1616, (2001).

[14] EEA, "Waste incineration, flaring in gas and oil extraction. In: Emission Inventory Guidebook", Environmental European Agency, 1th Ed., Oxford, pp. B 626 (1-7), (2006).

[15] Moore, S., "Abatement of Methane Emissions, IEA Greenhouse Gas Research and Development Program", (1998). Available from: http://www.ieagreen.org.uk.

[16] Lewis, C.A., "Fuel and Energy Production Emission Factors", AEA Technology, 156, 7 Harwell Didcot. OX, UK, (1997).

Archive of SID

www.SID.ir