

## برآورد انتشار آلاینده‌های هوا در صنایع بالادستی نفت و گاز

محمد ارحامی، دانشگاه صنعتی شریف ■ فرزاد نژادبهداری، سید عمادالدین علوی\*، پرسا احمدی‌نیا، مدیریت HSE شرکت ملی نفت ایران

## چکیده

امروزه آلودگی هوا با توجه به اثرات مخربی که بر سلامتی انسان، محیط زیست و سایر موجودات دارد بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. رشد روزافزون صنایع و متعاقب آن افزایش آلاینده‌های منتشر شده، سهم عمده‌ای در تشدید آلودگی‌ها ایفا می‌کنند. بنابراین بررسی و آگاهی از وضعیت انتشار آلاینده‌های هوا از منابع مختلف، اتخاذ تصمیمات راهبردی و مدیریت بهینه‌ی آلودگی هوا را تسهیل می‌کند. ایران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های نفت و گاز در دنیا باید در زمینه‌ی حفاظت از محیط زیست و دستیابی به اهداف توسعه‌ی پایدار نیز اقدامات متوازی انجام دهد. از این‌رو تدوین نقشه‌ی راه کاهش انتشار آلاینده‌ها و پیاده‌سازی راهکارهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت می‌تواند این صنعت را با اهداف توسعه‌ی پایدار همسو نماید. اولین گام در این زمینه، آگاهی از وضعیت موجود میزان انتشار است. البته بسته به نوع تجهیز، فعالیت و فرآیند مربوطه، متغیرهای مؤثر زیادی وجود دارد که نوع آلاینده‌ی و میزان آنرا تحت تأثیر قرار می‌دهند. از آنجا که در صنایع بالادستی نفت و گاز آلاینده‌های متفاوتی از جمله مونواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ترکیبات آلی فرار از تجهیزات متنوعی از قبیل مشعل‌ها، تجهیزات احتراقی، گودال سوخت، حوضچه‌های تبخیر، مخازن و تجهیزات دارای نشت منتشر می‌شوند، انتخاب روش مناسب برای برآورد انتشار هر تجهیز باید متناسب با سطح دسترسی به اطلاعات پایه‌ی مورد نیاز و بودجه‌ی تخصیص یافته صورت پذیرد. در این مقاله به‌منظور برآورد انتشار آلاینده‌های هوا در صنایع بالادستی نفت و گاز، ضرایب انتشار بومی برای آلاینده‌های قابل تولید در منابع مختلف بررسی و ارائه شده است.

## اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۲/۲۱

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۵/۱۱

## واژگان کلیدی:

ضریب انتشار، آلاینده‌های هوا، صنایع بالادستی نفت و گاز

## مقدمه

ویژه‌های برخوردار است و نیاز مبرمی به ارائه و اجرای راهکارهای مناسب و مؤثر در این راستا وجود دارد. ارائه‌ی راهکارهای مؤثر و اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مناسب جهت کاهش این آلاینده‌ها نیازمند برآورد صحیح و قابل‌اتکاء و همچنین داشتن اطلاعات مکفی از وضعیت تولید آلاینده‌هاست. کاهش و کنترل مؤثر و بهینه‌ی آلاینده‌های هوا با شناخت وضع موجود و برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها و به‌دنبال آن، برآورد میزان آلاینده‌ی در مناطق عملیاتی بالادستی شرکت ملی نفت ایران با تدوین روش استاندارد برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها محقق می‌گردد. با این رویکرد، پتانسیل موجود برای بهبود وضعیت و کاهش میزان انتشار و تدوین نقشه‌ی راه کاهش انتشار آلاینده‌ها در مناطق عملیاتی بالادستی نفت و گاز انجام خواهد شد [۱].

## ۱- ضرایب انتشار

کنترل انتشار از منابع آلاینده‌ی صنایع بالادستی نفت و گاز یک الزام زیست محیطی بدیهی است. کاربرد روش‌های بهینه جهت کنترل و کاهش انتشار از این منابع مستلزم برآوردی از وضعیت موجود آلودگی است. کنترل آلودگی از این منابع بدون محاسبه‌ی دقیق انتشار نیز

فرآیندهای استخراج و تولید نفت و گاز تأثیرات متنوعی بر محیط زیست دارند. دامنه‌ی این تأثیرات در حوزه‌های مختلف هوا، آب و پساب، خاک و ... به عوامل متعددی نظیر گستردگی و پیچیدگی فرآیند، میزان حساسیت محیط زیست پیرامون و میزان مؤثر بودن سیاست‌های کنترل و به‌سازی محیط زیست بستگی دارند. در میان حوزه‌های مختلف آلودگی و تخریب محیط زیست، انتشار آلاینده‌های هوا و به‌تبع آن آلودگی هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس آمار منتشر شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO)، در ۲۰۱۲ حدود ۳/۷ میلیون نفر در جهان بر اثر آلودگی هوا دچار مرگ زودرس شده‌اند. اثرات سوء آلودگی هوا بر سلامتی انسان‌ها می‌تواند با هزینه‌های زیاد درمانی و هزینه‌های ناشی از کاهش بازدهی کارکنان یا عدم حضور آنها در محل کار همراه باشد. این رخدادها، سالیانه میلیاردها دلار هزینه به جوامع بشری تحمیل می‌کنند [۳].

با رشد روزافزون صنایع نفتی ایران، میزان آلاینده‌های مخرب محیط زیست به‌خصوص در بخش هوا و به‌دنبال آن شکایات و جرایم زیست محیطی ناشی از آن روبه افزایش است. بنابراین کنترل و کاهش آلاینده‌های هوا در صنایع بالادستی نفت و گاز از اهمیت

\* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (s.e.alavi@ut.ac.ir)

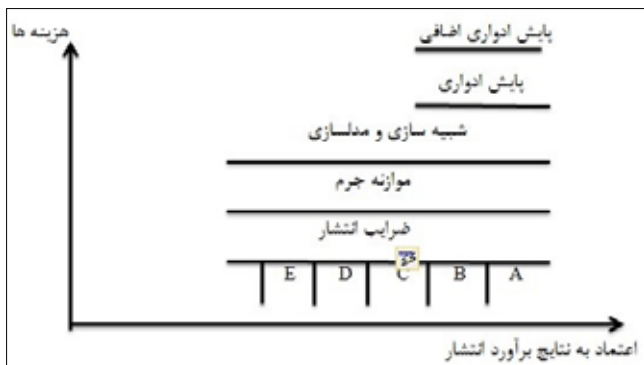
## ۲-۱- روش‌های دستیابی به ضرایب انتشار و دقت آنها

در راستای تعیین میزان انتشار آلاینده‌های هوا در صنایع بالادستی نفت و گاز در شرکت ملی نفت ایران، ضروری است ابتدا مبانی برآورد انتشار تدوین شده و سپس مروری بر انواع روش‌های موجود در منابع ملی و بین‌المللی انجام گردد. در این قسمت خلاصه‌ای از مبانی روش‌های موجود بیان شده است. بر اساس مطالعات، شیوه‌های متعددی جهت برآورد انتشار گازهای آلاینده‌ی هوا از منابع انتشار وجود دارد که از جمله‌ی مهم‌ترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۵]:

- ۱) ممیزی و اندازه‌گیری
- ۲) محاسبات مهندسی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیندها
- ۳) استفاده از ضرایب انتشار

در بخش ممیزی و اندازه‌گیری، روش‌هایی نظیر پایش مستمر و پایش ادواری مد نظر است. در هر یک از این روش‌ها به‌وسیله‌ی تجهیزات مخصوصی، میزان و نوع انتشار از منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا برآورد می‌گردد. در بخش محاسبات مهندسی می‌توان از روش‌های موازنه‌ی جرم و مدل‌سازی بهره برد که بر اساس اصول پایه‌ای در مهندسی، انتشار از منابع انتشار آلاینده‌های هوا برآورد می‌شود. در روش سوم با استفاده از ضرایب انتشار که بیانگر میزان انتشار آلودگی به‌ازای واحد فعالیت هستند میزان و نوع انتشار برآورد می‌گردد.

شکل-۱ روش‌های موجود برآورد انتشار گازهای آلاینده هوا و عدم قطعیت در روش‌های فوق را با یکدیگر مقایسه می‌کند [۶]. شکل-۱ نشان می‌دهد روش‌های ممیزی و اندازه‌گیری نظیر پایش مستمر و پایش ادواری با وجود داشتن دقت زیاد، هزینه‌های قابل توجهی دارند. در رتبه‌ی بعدی روش‌های موازنه‌ی جرم و مدل‌سازی قرار دارند که از دقت زیادی برخوردارند اما استفاده از آنها نیازمند درک عمیق مباحث نظری در برآورد انتشار و انجام محاسبات عددی و مدل‌سازی و شبیه‌سازی است. علاوه بر این در مقایسه با روش‌هایی نظیر استفاده



شکل ۱- عدم قطعیت در روش‌های برآورد انتشار و رتبه‌ی ضرایب انتشار [۱۰۴]

امکان‌پذیر است اما امکان دارد نتیجه‌ی بهینه را به‌همراه نداشته باشد. همچنین برآورد انتشار آلاینده‌های هوا یکی از گام‌های استقرار نظام مدیریت انرژی-محیط زیست است. بنابراین محاسبه‌ی انتشار آلاینده‌های هوا از صنایع بالادستی نفت و گاز کشور با روشی مناسب و دقتی معقول ضروری به‌نظر می‌رسد.

تخمین میزان انتشار آلاینده‌های هوا از منابع تولید، اولین گام برای تهیه‌ی برنامه‌ی کنترل و کاهش آلاینده‌هاست. این داده‌ها می‌توانند در سطوح مختلف برای آلاینده‌های  $H_2S$ ,  $SO_x$ ,  $UHC^f$ ,  $CO$ ,  $VOC^g$ ,  $NO_x$  استخراج شوند. داده‌های حاصل از آنالیز منابع انتشار و پایش آلاینده‌های هوا می‌تواند بهترین تخمین از میزان انتشار را ارائه کند. اما به‌کارگیری این روش با محدودیت‌هایی مواجه است و جمع‌آوری چنین داده‌هایی بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است. در این‌گونه مواقع استفاده از ضرایب انتشار توصیه می‌شود و با در دست داشتن ضرایب انتشار می‌توان از رابطه‌ی ۱- برای محاسبه‌ی میزان انتشار استفاده کرد:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (1)$$

که در آن E میزان انتشار کل، A میزان فعالیت تولیدکننده‌ی آلودگی، EF ضریب انتشار بر حسب واحد فعالیت و ER کارایی سیستم‌های تصفیه در کنترل آلاینده است. معمولاً فعالیت بر حسب میزان سوخت مصرفی، تولید محصولات، مصرف مواد اولیه، مدت فعالیت و سایر واحدهای مشابه محاسبه می‌شوند و ضرایب انتشار بر حسب میزان انتشار بر این واحدها بیان می‌شوند. مثلاً در واحدهایی که از سوخت گاز طبیعی استفاده می‌کنند میزان انتشار بر حسب جرم آلاینده‌ی تولیدی بر میزان مصرف گاز (مثلاً مترمکعب) بیان می‌شود [۴].

## ۱-۱- مراجع ضرایب انتشار

مهم‌ترین مراکزی که اقدام به ارائه‌ی ضرایب انتشار برای منابع مختلف آلاینده‌های هوا کرده‌اند عبارتند از: آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده‌ی آمریکا (EPA)، آژانس محیط زیست اتحادیه‌ی اروپا (EEA) و اتحادیه‌ی اکتشاف و تولید کانادا (CAPP). این سه مرکز با استفاده از آنالیز نمونه‌ها، محاسبات مهندسی و مدل‌سازی، مقادیر ضرایب انتشار را برای منابع مختلف آلاینده‌ی هوا توسعه داده‌اند. در این مقاله به‌منظور تعیین ضرایب انتشار هر یک از آلاینده‌ها بر اساس نوع منبع آلاینده، از نتایج پروژه‌ی پژوهشی استانداردسازی برآورد انتشار آلاینده‌های هوا در شرکت ملی نفت ایران استفاده شده است. مطالعات فوق به‌منظور بومی‌سازی ضرایب انتشار آلاینده‌های هوا در صنایع بالادستی نفت و گاز کشور انجام شده است [۲۴].

است. در این راستا تولید و انتشار آلاینده‌های هوا در صنایع بالادستی نفت و گاز از منابعی مانند مشعل، تجهیزات احتراقی، گودال سوخت، تجهیزات با پتانسیل نشت، حوضچه‌ی تبخیر و مخازن هیدروکربوری انجام می‌شود. در جدول ۱- نوع آلاینده‌های هوای قابل انتشار از منابع مختلف در صنایع بالادستی نفت و گاز ارائه شده است [۱۱].

### ۳- برآورد ضرایب انتشار بر اساس منابع مختلف

با توجه به داده‌های در دسترس، عدم قطعیت موجود و سطح کیفی داده‌های مورد نظر، برای هر تجهیز سطوح مختلف ضرایب انتشار ارائه می‌شود. در سطح اول، تنها ضریبی بر اساس کمترین داده‌های موجود ارائه می‌گردد که هرچه به سطوح بالاتر می‌رویم دقت این ضرایب بیشتر شده و به تبع آن وابستگی به متغیرها نیز افزایش می‌یابد. در این مقاله به منظور تسهیل در ارائه‌ی مطلب، تنها سطح یک ضرایب بومی تولید شده در پروژه‌ی پژوهشی استانداردسازی برآورد انتشار آلاینده‌های هوا در شرکت ملی نفت ایران ارائه شده و در صورت نیاز خواننده به سطوح بالاتر ضرایب انتشار (با دقت بیشتر)، توصیه می‌شود راهنمای برآورد انتشار آلاینده‌های هوای شرکت ملی نفت ایران [۲] مطالعه و استفاده شود.

### ۳-۱-۱- مشعل

در سطح یک، ضرایب انتشار به تفکیک مشعل‌های گرم و اسیدی ارائه شده است. ضرایب انتشار سطح اول برای مشعل‌های گرم در جدول ۲- آورده شده است. اگر درصد جرمی هیدروژن سولفید ( $y_{H_2S}$ ) در سوخت مصرفی موجود باشد، استفاده از رابطه‌ی تعریف شده در ستون اول جدول فوق برای تعیین ضریب انتشار دی‌اکسید گوگرد دقیق‌تر است. برای مشعل‌های گرم ضرایب انتشار هیدروژن سولفید و دی‌اکسید گوگرد با استفاده از کسر جرمی هیدروژن سولفید، رتبه‌ی A- خواهد داشت. برای محاسبه‌ی انتشار مشعل‌های گرم در این سطح تنها نیاز به نرخ سوخت و کسر جرمی هیدروژن سولفید آن یا تنها ارزش حرارتی سوخت است. برای مشعل‌های اسیدی اگر تنها نرخ سوخت ورودی به مشعل یا ارزش حرارتی آن مشخص باشد می‌توان از ضرایب جدول ۳- استفاده کرد [۱۰-۷].

### ۳-۲- تجهیزات احتراقی

ضرایب انتشار برای هر گروه از تجهیزات احتراقی بر حسب مقدار سوخت مصرفی و ارزش حرارتی سوخت ورودی به تجهیز ارائه شده است که به منظور استفاده از این ضرایب برای محاسبه‌ی انتشار هر یک از گازها، باید نرخ یا ارزش حرارتی سوخت ورودی به تجهیز موجود

از ضرایب انتشار هزینه‌های بیشتری داشته و به داده‌های بیشتری نیاز دارند. هرچند روش استفاده از ضرایب انتشار در مقایسه با روش‌های فوق هزینه‌ی کمتری دارد اما در صورت استفاده‌ی صحیح، نتایج آن می‌تواند در سطح نتایج حاصل از پایش مستمر باشد [۱۹].

### ۲- منابع آلاینده‌ی هوا و انواع انتشار

صنایع بالادستی نفت و گاز به‌عنوان یکی از بخش‌های مؤثر در فرآیند آماده‌سازی نفت و گاز جهت مصرف داخلی و همچنین صادرات به سایر کشورها همواره مورد توجه بوده‌اند. از طرفی با توجه به انواع تجهیزات و مواد تولیدی و مصرفی در صنایع بالادستی نفت و گاز، تولید حجم قابل توجهی از آلاینده‌های هوا در این بخش امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین تخمین میزان انتشار از تجهیزات و بخش‌های مختلف با جزئیات مربوط به نحوه‌ی کارکرد هر بخش و ارائه‌ی کمی آن به مراجع ذیصلاح می‌تواند موجب آگاهی از وضعیت موجود شده و تعیین راهکارهای مفید و عملی جهت کنترل و کاهش میزان انتشار را تسهیل بخشد. جهت نیل به این هدف تعیین منابع تولید آلودگی در صنایع بالادستی نفت و گاز، آشنایی با انواع آلاینده‌های تولیدی توسط هر تجهیز و نحوه‌ی تخمین میزان انتشار تولیدی توسط تجهیزات امری ضروری

۱ | آلاینده‌های هوای قابل انتشار از منابع تولید مختلف صنایع بالادستی نفت و گاز

آلاینده‌ها	تجهیزات با پتانسیل نشت	گودال سوخت	حوضچه‌ی تبخیر	مخازن هیدروکربوری	احتراقی		
					توربین	بویلر	گرمکن
CO					.	.	.
NO <sub>x</sub>					.	.	.
SO <sub>x</sub>					.	.	.
H <sub>2</sub> S							
UHC					.	.	.
VOC					.	.	.

۲ | ضرایب انتشار آلاینده‌ها سطح یک: مشعل‌های گرم [۱ و ۲]

آلاینده	میانگین ضریب انتشار آلاینده‌ها (kg/kg)	میانگین ضریب انتشار آلاینده‌ها (g/GJ)	رتبه‌ی ضریب انتشار
CO	۰/۰۱۷۹	۴۸۸	B
NO <sub>x</sub>	۰/۰۰۲۴	۶۱/۲	B
دوده	۰/۰۰۱۴	۴۳/۳	B
UHC <sub>s</sub>	۰/۰۰۵۳	۱۳۳/۷	B
*SO <sub>x</sub>	(۰/۰۲۶/۸۲۵) <sub>y<sub>H2S</sub></sub>	۶۴۹	C (A)
*H <sub>2</sub> S	(۰/۰۰۰۵/۰۳) <sub>y<sub>H2S</sub></sub>	۱۳	C (A)

\* در صورت موجود بودن درصد جرمی سولفید هیدروژن از رابطه‌ی داخل پرانتز استفاده شود

باشد. محاسبه‌ی انتشار تجهیزات احتراقی به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود [۱۴-۱۱]:

### ۳-۴- تجهیزات با پتانسیل نشت

در این سطح برای محاسبه‌ی میزان انتشار از فلنچ‌ها و شیرآلات برای هر واحد عملیاتی، ضرایب انتشار آلاینده‌ها ارائه شده‌اند. در این سطح تنها با دانستن سن تجهیزات، می‌توان میزان انتشار آلاینده‌ها را برای شیرآلات و فلنچ‌ها در واحد عملیاتی محاسبه کرد. دامنه‌ی کاربرد این

### ۳-۲-۱- عمومی

در جدول ۴- ضرایب انتشار تجهیزات احتراقی (به طور عمومی و بدون در نظر گرفتن نوع تجهیز) ارائه شده‌اند. این ضرایب زمانی استفاده می‌شوند که نوع تجهیز احتراقی مشخص نیست، سوخت ورودی به تجهیزات احتراقی، گازی است و میزان سوخت مصرفی یا ارزش حرارتی سوخت ورودی موجود باشد. مقدار  $SO_2$  تولیدی تا حد زیادی به مقدار گوگرد (S) موجود در سوخت وابسته است. اگر این مقدار در دسترس باشد دقیق‌ترین روش محاسبه‌ی  $SO_2$ ، استفاده از موازنه‌ی جرم است. در صورت عدم وجود اطلاعات دقیق‌تر و عدم امکان استفاده از موازنه‌ی جرم از این ضرایب استفاده شود.

### ۳-۲-۲- اختصاصی

در این بخش ضریب انتشار برای تجهیزات احتراقی معین (شامل توربین، بویلر و گرمکن) با دقت بیشتری ارائه می‌گردد. بنابراین در صورت معلوم بودن نوع تجهیز احتراقی توصیه می‌شود از ضرایب زیر استفاده شود. این ضرایب زمانی به کار می‌روند که سوخت ورودی به بویلرها گازی است و میزان سوخت مصرفی یا ارزش حرارتی سوخت ورودی برای بویلرها موجود باشد.

الف) بویلر: ضرایب انتشار مربوط به گازهای آلاینده حاصل از احتراق در بویلر در جدول ۵- ارائه شده‌اند.

ب) گرمکن: ضرایب انتشار مربوط به گازهای آلاینده حاصل از احتراق در گرمکن در جدول ۶- ارائه شده‌اند.

ج) توربین: ضرایب انتشار مربوط به توربین‌ها برای گازهای مختلف در جدول ۷- ارائه شده‌اند.

### ۳-۳- گودال سوخت

ضرایب انتشار حاصل از گودال سوخت در سطح اول تنها نیازمند جرم هیدروکربنی ورودی به گودال سوخت است. ضرایب انتشار این سطح در جدول ۸- ارائه شده‌اند. توجه شود در صورت ورود جریان‌های مختلط یا چندفازی، باید تنها جرم بخش هیدروکربنی در محاسبات لحاظ گردد. ضرایب انتشار ارائه شده، محدود به انتشار حاصل از احتراق ترکیبات نزدیک به نفت‌خام در حالت آتش استخری با قطر هیدرولیکی گودال بزرگ‌تر از یک متر است و برای یافتن انتشار از سایر سوخت‌ها یا ابعاد کوچک‌تر گودال، شبیه‌سازی مستقیم پیشنهاد می‌شود. با توجه به تغییر زیاد گوگرد ورودی در گودال سوخت، جهت محاسبه‌ی  $SO_2$

۳ | ضرایب انتشار آلاینده‌ها سطح یک: مشعل‌های اسیدی [۱ و ۲]

رتبه‌ی ضریب انتشار	میانگین ضریب انتشار آلاینده‌ها (g/Gj)	میانگین ضریب انتشار آلاینده‌ها (kg/kg)	آلاینده
D	۴۱	۰/۰۰۰۳	CO
D	۶۲/۵	۰/۰۰۰۵	NO <sub>x</sub>
D	۱۷/۵	۰/۰۰۰۱	UHC
D	۹۱۰۰۰	۰/۷۵	SO <sub>x</sub>
D	۳۸۰۰	۰/۰۳۱	H <sub>2</sub> S

۴ | ضرایب انتشار تجهیزات احتراقی (عمومی) [۱ و ۲]

رتبه‌ی ضریب انتشار	ضرایب انتشار بر حسب (g/Gj) در سطح اطمینان ۹۵٪	ضرایب انتشار بر حسب (g/Kg fuel) در سطح اطمینان ۹۵٪	آلاینده
D	۹۹	۵/۳	CO
B	۶۰	۳/۲	NO <sub>x</sub>
C	۸/۷	۰/۴	SO <sub>2</sub>
E	۱۷۰/۶	۹/۱	UHC

۵ | ضرایب انتشار بویلرها [۱ و ۲]

رتبه‌ی ضریب انتشار	ضرایب انتشار بر حسب (g/Gj) در سطح اطمینان ۹۵٪	ضرایب انتشار بر حسب (g/Kg fuel) در سطح اطمینان ۹۵٪	آلاینده
C	۹۷/۳	۵/۱	CO
B	۴۰/۹	۲/۱	NO <sub>x</sub>
B	۵/۹	۰/۳	SO <sub>2</sub>
D	۱۰۲/۷	۵/۴	UHC
B	۵۱۹۴۰	۲۷۲۷	CO <sub>2</sub>

۶ | ضرایب انتشار گرمکن‌ها [۱ و ۲]

رتبه‌ی ضریب انتشار	ضرایب انتشار بر حسب (g/Gj) در سطح اطمینان ۹۵٪	ضرایب انتشار بر حسب (g/Kg fuel) در سطح اطمینان ۹۵٪	آلاینده
C	۴۹/۸	۲/۶	CO
B	۳۳/۷	۱/۸	NO <sub>x</sub>
C	۳/۵	۰/۲	SO <sub>2</sub>
E	۱۲۳/۱	۶/۴	UHC

انتشار این سطح در رده‌ی D-ضرایب انتشار قرار گرفته است. تخمین انتشار کل ترکیبات آلی فرار از سطح حوضچه‌های تبخیر در سطح اول نیازمند تعیین دو متغیر میانگین حجم پرشدگی و میانگین نرخ پساب ورودی به حوضچه‌های تبخیر است. برای اندازه‌گیری پساب ورودی به حوضچه‌های تبخیر حجم پساب‌های خروجی از هر کارخانه در طول یک روز مشخص می‌شود. با جمع این مقادیر میانگین نرخ پساب ورودی به حوضچه‌های تبخیر در طول یک روز بر حسب مترمکعب در روز به دست می‌آید. همچنین برای تعیین میانگین حجم پرشدگی، نیاز است تغییر ارتفاع حوضچه در طول یک سال در نظر گرفته شود و مقداری به‌عنوان میانگین ارتفاع پرشدگی برای هر حوضچه‌ی تبخیر معرفی شود [۱۲].

$$E=0.0423*Q*(1-\exp(-0.0138(V/Q))) \quad (2)$$

در رابطه‌ی ۲، Q نرخ بر حسب مترمکعب در روز، V حجم بر حسب مترمکعب و E میزان انتشار بر حسب تن در سال است.

### ۳-۶- مخازن نگهداری

در جدول ۱۱ ضرایب انتشار جهت محاسبات انتشار ترکیبات آلی فرار (VOCs) ملاحظه می‌شود. ضرایب انتشار در سطح یک بر اساس نوع مشخصات سازه‌ای مخازن ارائه شده است. با توجه به اینکه مخازن به دو گروه مخازن سقف ثابت عمودی و مخازن سقف شناور تفکیک شده‌اند اطلاعات مورد نیاز جهت استفاده از این ضرایب تنها بر اساس نوع مخازن است و محاسبه‌ی انتشار، اطلاعات مربوط به میزان سیال ذخیره‌سازی شده در سال بر حسب بشکه برای این مخازن است. لازم به ذکر است به‌علت اینکه نوع سیال (نفت خام، محصولات تقطیری) در این سطح مشخص نشده ضرایب ارائه شده نسبت به سایر سطوح دقت کمتری دارند [۱۲].

### نتیجه‌گیری

آلودگی هوا با توجه به اثرات زیان‌بار روی سلامت انسان، سایر جانداران و محیط زیست، همواره در کانون توجه قرار داشته است. یکی از الزامات اساسی در راستای مقابله با این پدیده، کنترل میزان انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف است. از طرفی کاهش مؤثر آلاینده‌های هوا تنها پس از برآورد دقیق و قابل‌اتکا از وضع موجود و میزان انتشار این آلاینده‌ها امکان‌پذیر است. دستورالعمل‌های محاسبه‌ی انتشار ابزار مهمی برای محققان و سیاست‌گذاران در راستای ارزیابی میزان انتشار، تعیین سهم تجهیزات متفاوت در این انتشار و از همه مهم‌تر ارائه‌ی نقشه‌ی راه به‌منظور اعمال سیاست‌های کنترلی هستند. یافتن روش‌های بهینه، استانداردهای این روش‌ها و در نهایت برآورد دقیق انتشار آلاینده‌ها،

سطح برای فلنج‌ها و شیرآلات در تمامی مناطق عملیاتی بالادستی نفت و گاز است. در جدول ۹- با توجه به سن تجهیزات و منطقه، درصد تجهیزات با پتانسیل نشت ارائه شده است. در جدول ۱۰- سطح اول ضریب انتشار در مناطقی با قدمت بیش از ۲۰ سال و کمتر از ۲۰ سال برای شیرآلات و فلنج‌ها ارائه شده است. سایر تجهیزات در این سطح استفاده نشده است. منظور از سایر تجهیزات، ابزارآلات، بازوهای بارگیری و شیرهای اطمینان تخلیه فشار هستند [۱۱].

بنابراین برای محاسبه‌ی مقدار نشت در این سطح کافی است تعداد شیرآلات و فلنج‌های موجود در سایت در عدد مربوطه در جدول ۹- ضرب و نتیجه‌ی حاصل در ضریب انتشار ارائه شده در جدول ۱۰- ضرب گردد. عدد حاصل میزان انتشار VOCs از شیرآلات و فلنج‌های موجود در سایت را در واحد کیلوگرم در سال نمایش می‌دهد.

### ۳-۵- حوضچه‌ی تبخیر

در سطح یک، کمترین میزان داده‌ها برای تخمین انتشار ترکیبات آلی فرار از سطح حوضچه‌های تبخیر نیاز است. با توجه به رده‌بندی ضرایب

رتبه‌ی	ضرایب انتشار بر حسب (g/Gj) در سطح اطمینان ۹۵٪	ضرایب انتشار بر حسب (g/Kg fuel) در سطح اطمینان ۹۵٪	آلاینده
B	۱۱۴/۵	۶/۲	CO
B	۷۹/۱	۴/۳	NO <sub>x</sub>
C	۱۱/۸	۰/۶	SO <sub>۲</sub>
D	۲۲۴/۷	۱۲/۱	UHC

رتبه‌ی	میانگین ضریب انتشار آلاینده‌ها (kg/kgHC)	آلاینده
D	۰/۰۱۷	CO
D	۰/۰۰۴۷	NO <sub>x</sub>
D	۰/۰۰۲۹۵	دوده
D	۰/۰۱۳	UHC <sub>s</sub>

تجهیزات	مناطق با سن بیشتر از ۲۰ سال (%)	مناطق با سن کمتر از ۲۰ سال (%)
شیرآلات	۲/۳۲	۰/۶۸
فلنج	۲/۹۹	۱/۰۷

در کشور برای برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها از این مناطق محسوس است. بدین منظور در مطالعه‌ی حاضر ضرایب انتشار آلاینده‌های هوا در صنایع بالادستی نفت و گاز بر اساس منابعی با پتانسیل نشت، تدوین گردیده، الگوی بومی این ضرایب که با شرایط عملیاتی کشور انطباق مناسبی دارد توسعه داده شده و در قالب یک راهنمای اجرایی در اختیار کارشناسان امر قرار گرفته است. روش‌های استاندارد برآورد انتشار که در این مقاله ارائه شده، برای محاسبه و تخمین میزان انتشار از تجهیزات احتراقی، مشعل‌ها و گودال سوخت، مخازن نگهداری و حوضچه‌های تبخیر و همچنین نشتی‌های موجود در تجهیزات و صنایع بالادستی نفت و گاز شرکت ملی نفت ایران تدوین شده است. همچنین اگر منابع موجود در صنایع دیگر هم کارکرد مشابه داشته باشند می‌توان برای آن تجهیزات و آلاینده‌های متناظر، از این ضرایب استفاده کرد. در نهایت در مطالعه‌ی حاضر روش برآورد انتشار از تجهیزات عمده در صنایع بالادستی نفت و گاز ارائه و امکان محاسبه‌ی آن بر اساس ضرایب بومی شده فراهم گردیده است. ■

گامی بلند در جهت کاهش آلاینده‌ی محیط زیست از طریق صنایع مختلف است.

با توجه به گستردگی صنعت نفت و گاز در کشور، برآورد انتشار آلاینده‌ها در صنایع بالادستی نفت و گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با وجود اهمیت موضوع، نبود دستورالعملی واحد

۱۰ | ضریب انتشار VOC در صنایع بالادستی نفت و گاز [۱ و ۲]

تجهیزات	منطقه یا سن بیشتر از ۲۰ سال (kg/ year/site)	منطقه یا سن کمتر از ۲۰ سال (kg/ year/site)
شیر آلات	۸۵/۰۸	۳۳/۵۹
فلنج	۶	۲/۵۶

۱۱ | ضرایب انتشار برای ترکیبات آلی فرار (VOCs) مخازن هیدروکربوری [۱ و ۲]

نوع تجهیز	فرعیه انتشار	واحد	رتبه
مخازن سقف شناور	$10^{-3} * 1/16$	Kg/bbl	D
مخازن سقف ثابت	$10^{-1} * 2/25$	Kg/bbl	D

## پانویس‌ها

1. World Health Organization (WHO)
2. Upstream Oil and Gas Industry (UOG)
3. Volatile Organic Carbon
4. Unburned Hydrocarbons

## منابع

- [۱] پروژه‌ی پژوهشی استانداردسازی برآورد انتشار آلاینده‌های هوا در شرکت ملی نفت ایران، مدیریت پژوهش و فن‌آوری، مدیریت HSE شرکت ملی نفت ایران، دانشگاه صنعتی شریف-۱۳۹۵
- [۲] راهنمای برآورد انتشار آلاینده‌های هوا شرکت ملی نفت ایران، کد مدرک -NIOC-HSE-EN-GU-۴۳-۰۰۰-۱۳۹۸
- [3] Ambient (outdoor) air quality and health. World health Organization, 2012; Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.
- [4] Code of Federal Regulation (CFR) 40, Part 51.100(s), U.S. Environmental Protection Agency, Available at: [http://www.epa.gov/ttn/caaa/t1/fr\\_notices/proposal.pdf](http://www.epa.gov/ttn/caaa/t1/fr_notices/proposal.pdf).
- [5] Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Available at: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>. 2014
- [6] Plejdrup, M., et al., EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013, European Environment Agency, 2013.
- [7] AP-42, Compilation of air pollutant emission factors, in Industrial Flares. U. S. Environmental Protection Agency. 1991,
- [8] Cain, J., J. Seebold, and L. Young, Overview of Flaring Efficiency Studies. ChevronTexaco Energy Research and Technology Company, 2002.
- [9] Preferred and alternative methods for estimating Air emissions from oil and gas field production and processing operations, Eastern Research Group, Inc, 1999.
- [10] Stroscher, M., Investigation of Flare Gas Emissions in Alberta, Environment Canada Conservation and Protection, The Alberta Energy and Utilities Board, and The Canadian Association of Petroleum Producers: Alberta/Calgary, 1996.
- [11] Methods for estimating atmospheric emissions from E&P operations, Exploration and Production Forum, Editor, The Oil Industry International. 1994.
- [12] Emission estimation technique manual for oil & gas exploration & production. Australian Government, 2010.
- [13] Emissions from oil and gas production facilities. Eastern Research Group, Inc: Morrisville, North Carolina, 2007.
- [14] Environmental atmospheric emissions from UK oil and gas exploration and production facilities in the continental shelf area, U. K. Offshore Operators Association Limited, Brown and R. Environmental, 1993.