



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## رتبه‌بندی آلاینده‌های آلی خطرناک در منطقه پارس جنوبی با استفاده از شاخص‌های انتشار، واکنشگری و بهداشتی

معصومه مرادزاده، خسرو اشرفی\*، مجید شفیعی پور مطلق

گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

زمینه و هدف: صنایع هیدروکربنی به دلیل ماهیت خاص فرایندی، منابع بالقوه انتشار ترکیبات آلی محسوب می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند مستقیماً یا با تولید ترکیبات ثانویه بر روی سلامتی افراد تاثیر نامطلوب ایجاد نمایند. بنابراین شناسایی آنها گام مهمی در تدوین برنامه‌های کنترلی محسوب می‌شود. این مطالعه با هدف شناسایی نوع و میزان ترکیبات آلی فرار در منطقه پارس جنوبی صورت گرفت.

روش بررسی: در این مطالعه مقطعی، فرایندهای صنعتی مستقر در منطقه بررسی و اطلاعات لازم برای تخمین انتشار ترکیبات آلی گردآوری شد. جرم انتشار یافته از هر یک از ترکیبات آلی فرار در یک دوره یکساله (میانگین ۹۲ تا ۹۳) برآورد و براساس سه معیار جرم منتشره، مخاطرات بهداشتی و پتانسیل تولید ازن با واکنشگری، اولویت‌بندی شدند.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین میزان انتشار از نشتی تجهیزات و تانک‌های ذخیره (۶۴ درصد)، برج‌های خنک‌کننده (۲۱ درصد) و فلرینگ (۱۱ درصد) رخ داده است. ۱۷۱ نوع ماده آلی از این فرایندها منتشر می‌شوند که بیشترین جرم انتشار یافته مربوط به پروپیلن (۲۱ درصد) بود. آلکن‌ها بیشترین سهم را در کل جرم منتشره (۴۱ درصد) و تولید ازن (۷۸ درصد) داشتند. با وزن‌دهی فهرست مواد براساس سه معیار مورد نظر، فرمالدهید مهمترین ماده آلی فرار منتشره بود و مهمترین واحدهای انتشار نیز واحدهای الفین و آروماتیک بودند.

نتیجه‌گیری: این روش می‌تواند ابزاری مفید برای شناسایی ترکیبات آلی موثر در چنین مناطقی باشد. در منطقه پارس جنوبی بهینه‌ترین استراتژی کنترلی، کنترل انتشار فرمالدئید از فرایندهای الفین و آروماتیک است. کنترل منابع انتشار پروپیلن، اتیلن و بوتیلن در اولویت بعد قرار دارد.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۱  
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۹/۱۳  
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۱۸  
تاریخ انتشار: ۹۷/۱۲/۲۱

واژگان کلیدی: صنایع هیدروکربنی، فهرست انتشار، ترکیبات آلی فرار، معیار واکنشگری، حد مواجهه شغلی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

khshrafi@ut.ac.ir

## مقدمه

آلودگی هوا یکی از مشکلات مهم جوامع شهری و صنعتی محسوب می‌شود به طوری که هزینه‌های مرتبط با آن بخش مهمی از تولید ناخالص ملی کشورها را به خود اختصاص می‌دهد. براساس برآوردهای سازمان بهداشت جهانی، آلودگی هوای محیط با تشدید بیماری‌هایی از قبیل بیماری‌های قلبی، سکتة قلبی، سرطان ریه، بیماری‌های مزمن ریوی سالانه باعث مرگ بیش از ۴ میلیون نفر می‌شود (۱). آمار بالای مرگ و میر مرتبط با آلودگی هوا و تداوم مشکلات بهداشتی ناشی از آن سبب شد که موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان در سال ۲۰۱۳، آلودگی هوا را به‌عنوان سرطانزای قطعی انسان دسته‌بندی نماید (۲).

در مناطق صنعتی به‌ویژه صنایع هیدروکربنی، به‌دلیل وجود منابع گوناگون انتشار، تنوع آلاینده‌های خطرناک، مواجهه طولانی مدت با مواد شیمیایی و غیره، سلامت کارکنان صنعتی و ساکنان مناطق پیرامون به شکل جدی تهدید می‌شود. در این شرایط تدوین و پیاده‌سازی برنامه‌های کنترل آلودگی هوا، امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. اولین گام در اجرای هر برنامه پیشگیرانه یا کنترلی، تعیین منابع انتشار و نوع آلاینده‌های منتشره است. ترکیبات آلی فرار (Volatile Organic Compounds (VOC)) سهم عمده‌ای در آلودگی هوا و مشکلات ناشی از آن در چنین مناطقی دارند.

بیشتر VOCها در فهرست آلاینده‌های خطرناک قرار (۳) همچنین در حضور اکسیدهای نیتروژن (Nitrogen Oxides (NOx)) و در مقابل نور خورشید منجر به تشکیل ازن فتوشیمیایی می‌شوند (۴). ازن اکسیدکننده‌ای قوی است که عامل تحریک و کاهش عملکرد سیستم تنفسی و تشدید آسم است. پیش‌بینی می‌شود سریع‌ترین نرخ تشکیل ازن و بالاترین راندمان به ازای هر مولکول NOx منتشر شده، در شرایطی است که همزمان غلظت‌های بالایی از NOx و ترکیبات آلی فرار واکنش‌پذیر وجود دارند و این شرایط در انتشارات غنی از NOx و VOC صنایع نفت و پتروشیمی قابل مشاهده است (۵) در صنایع هیدروکربنی (فرآوری نفت و گاز)

VOCها به‌صورت پیوسته از دودکش‌ها، فلرها، نشتی تجهیزات و به‌صورت گاه به‌گاه از ونت‌های فرایندی منتشر می‌شود. این صنایع، انواع مختلف ترکیبات آلی فرار با قابلیت‌های متفاوت از لحاظ ورود به واکنش‌های تشکیل ازن را منتشر می‌کنند. مطالعات انجام شده در منطقه هوستون آمریکا که در مجاورت سایت‌های پتروشیمی واقع شده نشان دادند که ترکیب هوای این منطقه تحت تاثیر سایت صنعتی مجاور، با هوای سایر مناطق شهری تفاوت‌های قابل توجه دارد. همچنین ترکیبات آلی فرار به‌شدت واکنشگر (High Reactivity VOC (HRVOC)) که در هوای این شهر مشاهده می‌شود منجر به ایجاد غلظت‌های بالای ازن می‌شود که منشاء اصلی آن صنایع پتروشیمی واقع در منطقه و انتشاراتی است که حاوی HRVOC و NOx هستند (۱۰-۶).

منطقه پارس جنوبی نیز از شرایط مشابهی برخوردار است. انتشار ترکیبات متنوع آلی فرار از فرایندهای نفت، گاز و پتروشیمی و همچنین انتشار گسترده اکسیدهای نیتروژن حاصل از احتراق در صنایع مستقر در این منطقه، احتمال وقوع واکنش‌های فتوشیمیایی را در آن شدت می‌بخشد. تابش شدید نور خورشید، توپوگرافی خاص منطقه و احاطه شدن آن بین کوه و دریا و نیز افزایش تولید عوامل اکسیدکننده OH و یون کلر به دلیل مجاورت با دریا این احتمال را افزایش می‌دهد. با توجه به تعدد واکنش‌های اتمسفری و سنتتیک و مسیره‌های متفاوتی که هر یک از واکنش‌ها می‌تواند داشته باشد، حتی مواد آلی نسبتاً ساده می‌تواند شیمی بسیار پیچیده‌ای در جو داشته باشد. تهیه فهرستی که ترکیبات آلی موجود در هوای یک منطقه را براساس سهم آنها در تولید ازن و نیز مخاطراتی که هر یک برای سلامتی انسان دارند ذکر کرده باشد می‌تواند ابزاری کارآمد برای تعیین سیاست‌های مدیریت کیفیت هوای آن منطقه محسوب شود. از طرفی برای استفاده از مدل‌های کیفیت هوا که از ابزارهای اصلی مدیریت کیفیت هوا محسوب می‌شود، نیاز است میزان انتشار ترکیبات آلی به تفکیک برای منطقه مورد نظر تعیین شود همچنین مکانیسم شیمیایی که برای پیش‌بینی واکنش‌های شیمیایی اتمسفری در این

از لحاظ تاثیر آنها بر سلامتی افراد در معرض دارد تا امکان تخصیص بهینه منابع در سیاست‌گذاری‌های مدیریت کیفیت هوای منطقه فراهم شود. با توجه به وجود چندین منطقه مشابه در کشور و تعداد رو به گسترش آنها، ضرورت انجام چنین مطالعاتی برای تدوین برنامه‌های کنترلی موثر، دو چندان می‌شود.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه، در منطقه پارس جنوبی و براساس اطلاعات مرتبط با سال ۹۳ تا ۹۵ انجام شده است. منطقه پارس جنوبی با  $14000 \text{ ha}$  در جنوب ایران (شکل ۱) و در طول  $27/626-27/2$  و عرض جغرافیایی  $52/469-53/5$  واقع شده است. در زمان انجام این مطالعات، ۱۰ پالایشگاه گازی و ۱۴ شرکت پتروشیمی در این منطقه به بهره‌برداری رسیده و در حال تولید بوده‌اند.

### – برآورد انتشار ترکیبات آلی از منابع انتشار منطقه

از رویکرد زیر برای تعیین میزان انتشار هر یک از مواد آلی در منطقه استفاده شده است:

مدل‌ها استفاده می‌شود براساس موجودی انتشار ترکیبات آلی و فراوانی این ترکیبات اصلاح و متناسب سازی می‌شود.

کاهش انتشار بر پایه میزان واکنشگری اولین بار در سال ۱۹۶۶ برای لس آنجلس مطرح شد (۱۱). بعد از آن مطالعات زیادی در خصوص تعیین و درجه‌بندی مواد آلی براساس پتانسیل آنها در تولید ازن انجام شد. مشخص شد که واکنشگری ترکیبات فرار آلی به نسبت مواد آلی به اکسیدهای نیتروژن موجود در مخلوط هوا بستگی دارد (۱۲). بعد از آن واکنشگری افزایشی مجموعه‌ای از ترکیبات آلی با اندازه‌گیری اثر ناشی از افزودن مقدار کمی از هر ترکیب آلی به مخلوطی از ترکیبات آلی و  $\text{NO}_x$  که در محفظه مه دود تحت تابش نور قرار گرفته بود، تعیین شد (۱۳). نتیجه این مطالعات، معیار  $\text{MIR}$  (Maximum Incremental Reactivity) یا واکنشگری افزایشی حداکثر بود که به صورت نسبی اثر واکنشگری هر ماده آلی فرار را در تشکیل ازن فتوشیمیایی مشخص می‌کند و به‌طور گسترده برای اولویت بندی ترکیبات آلی منتشره در یک منطقه استفاده می‌شود (۱۴-۱۷).

این تحقیق سعی بر تهیه و تفسیر کمی و کیفی انتشار ترکیبات آلی از منطقه پارس جنوبی و سپس اولویت‌بندی این ترکیبات



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

- با همکاری شرکت‌های صنعتی واقع در منطقه و سازمان‌های ذیربط، کلیه پرسشنامه‌ها تا حد ممکن برای سال‌های ۹۳ تا ۹۵ تکمیل شد. لیکن برخی اطلاعات عملکردی و داده‌های فعالیت در برخی شرکت‌ها، پایش یا ثبت نشده بود. در این موارد از روش‌های جایگزین برای تخمین انتشار استفاده شد که به اختصار در جدول ۲ به آن اشاره شده است.

- داده‌ها جمع‌آوری و محاسبات لازم برای تخمین انتشار VOCs انجام شد.

- از آنجا که در اکثر موارد انتشار مواد آلی فرار در قالب کلی VOCs قابل محاسبه بود از بانک اطلاعاتی SPECIATE 4.4 برای تعیین پروفایل انتشار ترکیبات آلی فرار منابع انتشار استفاده شد (۲۲). این پروفایل‌ها ترکیب درصد گازهای منتشره را براساس نوع منبع مشخص می‌کند. جدول ۱ شامل شماره پروفایل‌ها، نام و سطح کیفی پروفایل است.

با توجه به آنکه موجودی انتشار در منطقه‌ای مشابه به نام منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی انجام شده بود (۲۳) در برخی موارد از اطلاعات عملکردی فرایندهای مشابه در آن منطقه برای جبران نقص اطلاعات استفاده شد. این اطلاعات بیشتر در خصوص مخازن ذخیره و نشستی تجهیزات فرایندهای الفین مستقر در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی (ماهشهر) بود که دارای فرایندهایی مشابه با منطقه پارس جنوبی است.

- ابتدا با کمک مراجع علمی مثل روش‌های پیشنهادی برنامه بهبود موجودی انتشار سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۸)، پروتکل تخمین انتشار پالایشگاه‌های نفت (۱۹) و مستندات مرجع کنترل و پیشگیری یکپارچه آلودگی و بهترین تکنیک‌های موجود در صنایع شیمیایی بزرگ (۲۰) منابع انتشار محتمل تعیین شدند. سپس شرح فرایند و نقشه‌های PFD (Process Flow Diagram) فرایندهای صنعتی مستقر در منطقه بررسی شد تا کلیه تجهیزاتی که احتمال انتشار آلاینده‌ها برای آنها وجود دارد شناسایی شود.

- بهترین روش‌های تخمین انتشار برای هر یک از فرایندها و تجهیزات براساس روش‌های پیشنهادی برنامه بهبود موجودی انتشار سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۸)، پروتکل تخمین انتشار پالایشگاه‌های نفت (۱۹) که از این به بعد پروتکل نامیده می‌شود، مستندات AP-42 (۲۱) و میزان داده‌های فعالیت موجود و قابل دسترسی انتخاب شد.

- داده‌های فعالیت مورد نیاز برای تخمین انتشارات هر گروه از منابع انتشار مشخص و پرسشنامه‌هایی متناسب با آن تهیه شد. پرسشنامه‌ها در قالب فایل‌های Excel و با توجه به ماهیت هر شرکت، مختص آن شرکت تهیه شد. هر فایل Excel حداقل حاوی هفت صفحه با عناوین منابع احتراقی، نشرهای فرایندی، کمپرسورها، پمپ‌ها، فلرها، مخازن و یوتیلیتی بود.

جدول ۱- پروفایل‌هایی از بانک اطلاعات SPECIATE 4.4 استفاده شده برای تعیین انواع هیدروکربن‌های منتشره از هر منبع انتشار

شماره پروفایل	نوع فرایند
۰۰۱	بویلرهای احتراق بیرونی گاز طبیعی - سوخت ضایعات نفتی
۰۰۳	بویلرهای احتراق بیرونی - سوخت گاز طبیعی
۰۰۷	توربین‌های گازی
۰۰۷۹	فلرها در صنایع شیمیایی
۰۰۵۱	فلرها - گاز طبیعی
۸۹۴۹	تولید گاز طبیعی
۸۸۶۱	فرایندهای الفین (اتیلن و پروپیلن)
۰۰۶۸	پروپیلن
۲۵۴۷	واحدهای تولید پلی اتیلن

محاسبات برای هر یک از منابع انتشار موجود در منطقه براساس روش‌هایی ذکر شده در جدول ۲ انجام شد.

جدول ۲- روش‌های استفاده شده برای تخمین جرم انتشار VOCها، کلی و به تفکیک

نام منبع انتشار	متدولوژی محاسبه جرم انتشار کل VOC	کد پروفایل استفاده شده*
بویلرها و کوره‌ها	متدولوژی سطح ۳B پروتکل و داده‌های پایش	۰۰۰۳
فلرها	متدولوژی سطح ۵ پروتکل (تخمین مقدار ترکیبات آلی ارسالی به فلر، راندمان احتراق و استفاده از ضرایب انتشار متناسب)	۰۰۵۱ و ۰۰۷۹
نشستی از تجهیزات	متدولوژی سطح ۴ و ۵ پروتکل - شمارش یا تخمین تعداد تجهیزات و استفاده از ضرایب انتشار	کد ۸۸۶۱ و تخمین براساس سیال داخل تجهیزات
مخازن	متدولوژی سطح ۲ (استفاده از نرم افزار TANKS v4.09D) و استفاده از اطلاعات فرایندهای مشابه	ترکیبات با توجه به مایع داخل مخزن مشخص شده است.
برج‌های خنک کننده	متدولوژی سطح ۵ پروتکل (استفاده از ضرایب انتشار)	۸۸۶۱
بارگیری و تخلیه	متدولوژی سطح ۴ در پروتکل (ضرایب انتشار)	۸۸۶۱

\*برگرفته از بانک اطلاعات SPECIATE 4.4

به جرم VOC تزریق شده (g) به سیستم است. ازن شاخصی از آلاینده‌های ثانویه است که در واکنش‌های فتوشیمیایی VOCها با اکسیدهای نیتروژن تولید می‌شوند. رتبه هر ماده آلی در تولید ازن در منطقه (RO<sub>p</sub>) مطابق با معادله ۱ محاسبه شده است.

$$R_{O_3} = \frac{E_i \times MIR_i}{\sum_1^n E_i \times MIR_i} \quad (1)$$

برای اینکه شاخص OEL-TWA را در فرایند اولویت‌بندی VOCها دخالت دهیم لازم بود مقیاس آن با MIR متناسب شود. واکنشگری ترکیبات آلی منجر به تولید ازن می‌شود و OEL-TWA ازن بین ۰/۰۵ تا ۰/۲ است. مقدار MIR برای ترکیبات آلی موجود در فهرست بین ۰/۰۴ و ۱۴ و مقدار OEL-TWA بین ۰/۳ تا ۱۰۰۰ ppm متغیر است. بنابراین بازه ۰/۳-۱۰۰۰ با بازه ۰/۰۴-۱۴ متناسب شد و سپس اولویت بندی کلی ترکیبات مطابق با معادله ۲ مجدداً انجام شد.

$$R_{Total} = \frac{E_i \times MIR_i}{\sum_1^n \frac{E_i \times MIR_i}{TWA_{ieq}}} \quad (2)$$

### اولویت‌بندی ترکیبات آلی فرار براساس تاثیر بر سلامتی

ترکیبات آلی فرار بعد از ورود به اتمسفر تحت تابش خورشید وارد واکنش‌های مختلفی می‌شوند که خود منجر به تولید آلاینده‌های ثانویه‌ای می‌شود که گاه به مراتب از ماده اولیه‌ای که آنرا تولید کرده خطرناک‌تر است. در این مطالعه، جرم انتشار یافته هر VOC با متوسط زمانی- مکانی حد مواجهه شغلی (Occupational Exposure Limits- Time-Weighted Average (OEL-TWA)) به‌عنوان یک شاخص بهداشتی و MIR به‌عنوان شاخصی در تولید آلاینده‌های ثانویه (۲۴) وزن دهی و اولویت بندی شده است. MIR بیانگر حداکثر مقدار ازنی است که در اثر افزایش مقدار مشخصی از ماده آلی به مخلوطی از هوای غنی از NO<sub>x</sub> تولید می‌شود. منظور از هوای غنی از NO<sub>x</sub>، مخلوطی از هوا است، که غلظت NO<sub>x</sub> در آن در حدی است که تشکیل ازن به تغییر غلظت NO<sub>x</sub> حساس نبوده و بیشترین حساسیت را به تغییر غلظت ترکیبات آلی دارد. واحد MIR، جرم ازن تولید شده (g)

وقتی مطابق با معادله ۱ فهرست انتشار با مقدار MIR هر ماده وزن دهی شد، ترتیب اولویت آنها تفاوت چشمگیری با زمانی که صرفاً براساس جرم انتشار اولویت‌بندی شده بودند ایجاد شد. در نمودار ۱ این تفاوت قابل مشاهده است. در این حالت فقط ۴ ترکیب آلی پروپیلن، اتیلن، فرمالدئید و ایزوبوتیلن با سهم به ترتیب ۴۶/۳، ۲۱/۵، ۶/۵ و ۶/۴ درصد قابل توجه هستند و بیشتر از ۸۰ درصد وزن فهرست جرمی - واکنشگری را به خود اختصاص می‌دهند در حالی که ۴۳/۳ درصد از جرم کل انتشار به این ۴ ماده اختصاص داشت.

ترکیبات آلی به ۷ گروه شیمیایی تقسیم شدند. سهم انتشار هر یک از این ۷ گروه در نمودار ۲ قابل مشاهده است. سهم گروه‌های شیمیایی در فهرست جرمی - واکنشگری کاملاً متفاوت از سهم آنها در فهرست جرمی بود. همان‌گونه که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود آلکن‌ها سهم ۷۸ درصد از فهرست جرمی - واکنشگری را به خود اختصاص داده‌اند در حالی که سهم آنها در فهرست جرمی ۴۲ درصد است. در مقابل آلکان‌ها که ۳۶/۴ درصد در فهرست جرمی نقش داشته‌اند فقط ۶/۵ درصد در فهرست جرمی - واکنشگری نقش دارند.

که در آن:  $E_i$  = جرم منتشر شده از ماده نام در منطقه (تن در سال)،  $MIR_i$  = معیار واکنشگری افزایشی حداکثر ماده نام (بدون واحد)،  $TWA_{ieq}$  = متوسط زمانی - مکانی حد مواجهه شغلی ماده نام تعدیل شده با دامنه تغییرات MIR (ppm) و  $n$  = تعداد کل VOCها منتشره از واحدهای صنعتی مستقر در منطقه است.

## یافته‌ها

### - مهمترین VOCها از لحاظ جرم انتشار یافته

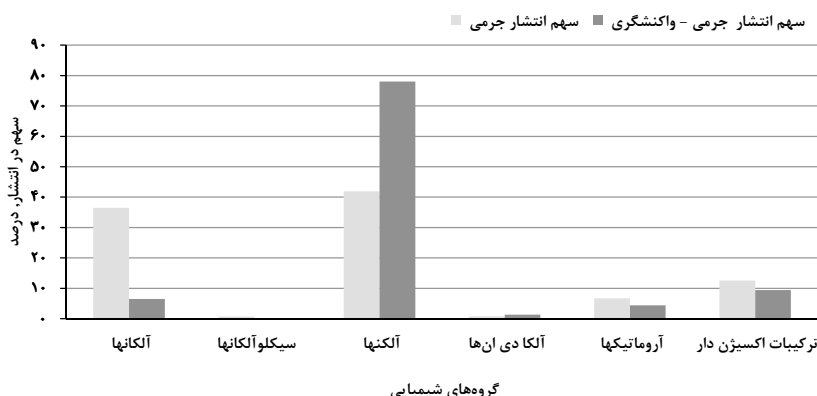
نتایج نشان دادند که ۱۷۷ نوع ماده آلی از واحدهای صنعتی مستقر در پارس جنوبی منتشر می‌شوند. حدود ۸۰ درصد از جرم انتشار یافته از شرکت‌های پتروشیمی و ۲۰ درصد از آن متعلق به پالایشگاه‌های گاز است. ۹۹ درصد جرم انتشار یافته به ۴۰ نوع ماده آلی و ۸۰ درصد آن به ۱۱ ماده آلی اختصاص دارد. تحلیل‌های انجام شده بعدی روی ۴۸ ماده اول فهرست که ۹۹ درصد جرم انتشار یافته را به خود اختصاص داده بودند نشان داد، بیشترین جرم انتشار یافته به پروپیلن (۲۱/۷ درصد)، اتیلن (۱۲/۸ درصد)، n- بوتان (۹/۸ درصد) و پروپان (۹/۳ درصد) اختصاص داشته است.

### - مهمترین ترکیبات آلی موثر بر تولید ازن فتوشیمیایی در منطقه



نمودار ۱- مقایسه سهم VOCs در فهرست جرمی (درصد) و فهرست جرمی - واکنشگری (درصد) و مقادیر MIR





نمودار ۲- سهم گروه‌های شیمیایی در فهرست جرمی - واکنشگری (درصد) و فهرست جرمی (درصد) ترکیبات آلی منتشره در پارس جنوبی

است. بر این اساس، فرمالدئید مهمترین VOC منتشره در این منطقه شناسایی شد که در آخرین فهرست‌بندی ۹۰ درصد وزن را به خود اختصاص داده است. این ماده در فهرست جرمی رتبه هشتم و در فهرست جرمی - واکنشگری رتبه چهارم را داراست.

مهمترین ترکیبات آلی موثر بر سلامتی افراد در معرض با وزن دهی مجدد فهرست جرمی براساس MIR و OLE-TWA مطابق با معادله ۲ اولویت‌ها و سهم VOCها در فهرست جدید تغییر کرد. در جدول ۳ خلاصه‌ای از نتایج کلیه محاسبات انجام شده (برای ۴۰ ماده اول موجود در VOC منتشر شده که بیشترین جرم انتشار را داشته‌اند) و نتایج آن قابل مشاهده

جدول ۳- فهرست، مشخصات و مقادیر محاسبه شده برای مواد آلی منتشره از صنایع مستقر در منطقه ویژه انرژی پارس و رتبه‌بندی آنها

ردیف	نام ترکیب آلی	جرم انتشار یافته (تن /سال)	سهم در فهرست جرمی، (درصد)	MIR $\left(\frac{O_3(g)}{VOC(g)}\right)$	سهم در فهرست جرمی و واکنشگری E*MIR	TWA (PPM)	TWA-eq	$\left(\frac{E * MIR}{TWA - eq}\right)$	وزن دهی شده نهایی	سهم در فهرست
۱	Formaldehyde	۵۳۴/۸۶	۲/۶۴	۹/۴۶	۵۰۵۹/۸	۰/۳	۰/۰۴	۱۲۰۴۷۱۵	۸۴/۴۱۵	۶/۴۷
۲	Acrolein	۱۳/۰۹	۰/۰۹	۷/۴۵	۹۷/۵۴	۰/۱۲	۰/۰۱	۶۹۶۷۲/۴۴	۴/۸۸۲	۰/۱۲
۳	Diethanol amine	۶۷/۴۷	۰/۴۶	۲/۴۷	۱۶۶/۶۵	۰/۲۱	۰/۰۳	۵۹۵۱۷/۰۵	۴/۱۷	۰/۲۱
۴	Benzene	۳۰۲/۱	۲/۰۶	۰/۷۲	۲۱۷/۵۱	۰/۲۸	۰/۰۷	۳۱۰۷۳/۵۵	۲/۱۷۷	۰/۲۸
۵	1,3-butadiene	۶۰/۹۳	۰/۴۱	۱۲/۶۱	۷۶۸/۳۱	۲	۰/۲۸	۲۷۴۳۹/۶۹	۱/۹۲۳	۰/۹۸
۶	Ethanolamine	۵۹/۸۲	۰/۴۱	۶/۸۱	۴۰۷/۳۸	۰/۵۲	۰/۴۲	۹۶۹۹/۵۷۷	۰/۶۸	۰/۵۲
۷	Ethylene	۱۸۷۳/۰۶	۱۲/۷	۹	۱۶۸۵۷	۲۱/۵۶	۲/۰۰	۶۰۲۰/۵۵۲	۰/۴۲۲	۲۱/۵۶
۸	Propylene	۳۱۶۹/۵۵	۲۱/۵	۱۱/۶۶	۳۶۹۵۶	۴۷/۲۸	۵/۰۰	۵۲۷۹/۵۶۶	۰/۳۷	۴۷/۲۸
۹	Toluene	۳۵۹/۱۶	۲/۴۴	۴	۱۴۳۶/۶	۱/۸۴	۲/۰	۵۱۳۰/۸۱۸	۰/۳۶	۱/۸۴
۱۰	Isobutylene	۷۹۱/۱۷	۵/۳۸	۶/۲۹	۴۹۷۶/۴	۶/۳۷	۲۵۰	۱۴۲۱/۸۳۹	۰/۱	۶/۳۷
۱۱	Acetaldehyde	۶۶/۰۶	۰/۴۵	۶/۵۴	۴۳۲/۰۳	۰/۵۵	۲۵	۱۲۳۴/۳۶۳	۰/۰۸۶	۰/۵۵
۱۲	Ethylbenzene	۸۹/۹۶	۰/۶۱	۳/۴	۳۰۵/۸۷	۰/۳۹	۲۰	۱۰۹۲/۳۹۴	۰/۰۷۷	۰/۳۹
۱۳	Isomers of xylene	۱۷۹/۱۱	۱/۲۲	۷/۷	۱۳۷۹/۱	۱/۷۶	۱۰۰	۹۸۵/۰۹۱	۰/۰۶۹	۱/۷۶
۱۴	N-hexane	۳۴۰/۷۲	۲/۳۲	۱/۲۴	۴۲۲/۴۹	۰/۵۴	۵۰	۶۰۳/۵۵۴	۰/۰۴۲	۰/۵۴
۱۵	Ethylene glycol	۹۷/۴۶	۰/۶۶	۳/۱۳	۳۰۵/۰۴	۰/۳۹	۳۷	۵۸۸/۸۷۸	۰/۰۴۱	۰/۳۹
۱۶	Pentadiene	۱۴/۹	۰/۱	۱۲/۵	۱۸۶/۲۶	۰/۲۴	۲۵	۵۳۴/۱۶۴	۰/۰۳۷	۰/۲۴

ادامه جدول ۳- فهرست، مشخصات و مقادیر محاسبه شده برای مواد آلی منتشره از صنایع مستقر در منطقه ویژه انرژی پارس و رتبه‌بندی آنها

ردیف	نام ترکیب آلی	جرم انتشار یافته (تن/سال)	سهم در فهرست جرمی، (درصد)	MIR $\left(\frac{O_{3(g)}}{VOC(g)}\right)$	E*MIR	سهم در فهرست جرمی واکنشگری	TWA-PPM	TWA-eq	$\left(\frac{E * MIR}{TWA - eq}\right)$	سهم در فهرست وزن دهی شده نهایی
۱۷	Propylene oxide	۴۵/۹۸	۰/۳۱	۰/۲۹	۱۳/۳۳	۰/۰۲	۲	۰/۰۲۸	۴۷۶/۲۳۸	۰/۰۳۳
۱۸	Cis-2-butene	۹۵/۹۴	۰/۶۵	۱۴/۲۴	۱۳۶۶/۱	۱/۷۵	۲۵۰	۳/۵	۳۹۰/۳۲۱	۰/۰۲۷
۱۹	1-butene	۱۲۸/۳	۰/۸۷	۹/۷۳	۱۲۴۸/۳	۱/۶	۲۵۰	۳/۵	۳۵۶/۶۷۷	۰/۰۲۵
۲۰	Ethylene oxide	۵۶/۵۹	۰/۳۹	۰/۰۳۹	۲/۲۱	۰	۱	۰/۰۴	۱۵۷/۶۴۳	۰/۰۱۱
۲۱	methanol	۶۲۳/۱۴	۴/۲۴	۰/۶۷	۴۱۷/۵۱	۰/۵۳	۲۰۰	۲/۸	۱۴۹/۱۰۹	۰/۰۱
۲۲	N-butane	۱۴۳۷/۳۶	۹/۷۸	۱/۱۵	۱۶۵۲/۹	۲/۱۱	۱۰۰۰	۱۴	۱۱۸/۰۶۹	۰/۰۰۸
۲۳	Isomers of pentane	۷۳۳/۵۴	۴/۹۹	۱/۴۵	۱۰۶۳/۶	۱/۳۶	۱۰۰۰	۱۴	۷۵/۹۷۴	۰/۰۰۵
۲۴	Isomers of butene	۲۰/۳۵	۰/۱۴	۱۲/۲۲	۲۴۸/۶۸	۰/۳۲	۲۵۰	۳/۵	۷۱/۰۵۱	۰/۰۰۵
۲۵	Styrene	۱۰/۸۱	۰/۰۷	۱/۷۳	۱۸/۷	۰/۰۲	۲۰	۰/۲۸	۶۶/۸	۰/۰۰۵
۲۶	Propane	۱۳۶۶/۴	۹/۳	۰/۴۹	۶۶۹/۵۴	۰/۸۶	۱۰۰۰	۱۴	۴۷/۸۲۴	۰/۰۰۳
۲۷	Isomers of hexane	۱۹/۲۷	۰/۱۳	۱/۳۱	۲۵/۲۵	۰/۰۳	۵۰	۰/۷	۳۶/۰۶۸	۰/۰۰۳
۲۸	Cyclohexane	۱۰۰/۴۲	۰/۶۸	۱/۲۵	۱۲۵/۵۲	۰/۱۶	۳۰۰	۴/۲	۲۹/۸۸۷	۰/۰۰۲
۲۹	N-pentane	۲۹۵/۷۴	۲/۰۱	۱/۳۱	۳۸۷/۴۲	۰/۵	۱۰۰۰	۱۴	۲۷/۶۷۳	۰/۰۰۲
۳۰	Isobutane	۲۹۲/۴	۱/۹۹	۱/۲۳	۳۵۹/۶۵	۰/۴۶	۱۰۰۰	۱۴	۲۵/۶۸۹	۰/۰۰۲
۳۱	Isomers of decane	۱۳/۷۷	۰/۰۹	۰/۹۴	۱۲/۹۴	۰/۰۲	۴۵	۰/۶۳	۲۰/۵۳۹	۰/۰۰۱
۳۲	3-methylpentane	۱۰/۳	۰/۰۷	۱/۳۱	۱۳/۴۹	۰/۰۲	۵۰	۰/۷	۱۹/۲۷	۰/۰۰۱
۳۳	Isopentane	۱۷۸/۹۷	۱/۲۲	۱/۴۵	۲۵۹/۵۱	۰/۳۳	۱۰۰۰	۱۴	۱۸/۵۳۷	۰/۰۰۱
۳۴	N-heptane	۶۷/۸۶	۰/۴۶	۱/۰۷	۷۲/۶۱	۰/۰۹	۴۰۰	۵/۶	۱۲/۹۶۷	۰/۰۰۱
۳۵	N-decane	۱۰/۶۵	۰/۰۷	۰/۶۸	۷/۲۵	۰/۰۱	۴۵	۰/۶۳	۱۱/۵	۰/۰۰۱
۳۶	Ethane	۴۸۳/۸۲	۳/۲۹	۰/۲۸	۱۳۵/۴۷	۰/۱۷	۱۰۰۰	۱۴	۹/۶۷۶	۰/۰۰۱
۳۷	N-octane	۳۳/۸۵	۰/۲۳	۰/۹	۳۰/۴۶	۰/۰۴	۳۰۰	۴/۲	۷/۲۵۳	۰/۰۰۱
۳۸	Isomers of octane	۶/۳۷	۰/۰۴	۱/۴۵	۹/۲۴	۰/۰۱	۳۰۰	۴/۲	۲/۱۹۹	۰
۳۹	Acetone	۳۵/۴۴	۰/۲۴	۰/۳۶	۱۲/۷۶	۰/۰۲	۵۰۰	۷	۱/۸۲۳	۰
۴۰	Cyclopentane	۴/۱۲	۰/۰۳	۲/۳۹	۹/۸۶	۰/۰۱	۶۰۰	۸/۴	۱/۱۷۳	۰
	کل	۱۴۷۳۳/۱۹	۱۰۰			۱۰۰				۱۰۰

\* مواجهه شغلی بیش از این حد، حتی برای یک لحظه نیز مجاز نیست.

### – سهم منابع انتشار

منابع انتشار به ۵ گروه تقسیم شدند، سهم هر یک از این منابع در انتشار VOCها مطابق جدول ۴ است. سهم فرایندهای صنعتی در انتشار ترکیبات شدیداً واکنشگر برای ۶ فرایند اصلی در منطقه رتبه‌بندی شد. مطابق نمودار ۳ فرایندهای الفین با ۶۲ درصد بیشترین سهم را در انتشار این گروه از VOCها داشتند. دومین رتبه به فرایندهای پلیمری با سهم ۲۸/۸ درصد اختصاص دارد.

### – مقایسه ترکیب انتشار با سایر مناطق

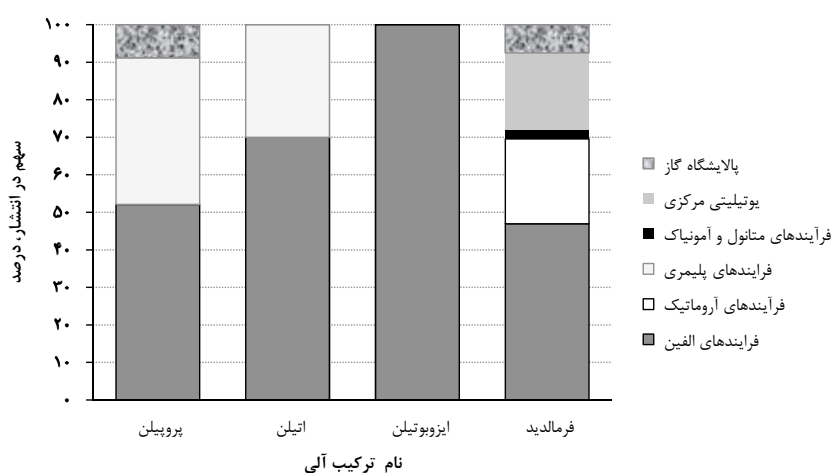
اصولاً موجودی انتشار ترکیبات آلی یک منطقه به منظور بررسی

و کنترل تشکیل ازن در آن منطقه تهیه می‌شود. مطالعاتی که در منطقه خاورمیانه در زمینه بررسی غلظت و نحوه تشکیل ازن یا غلظت ترکیبات آلی انجام شده است، گرچه غلظت بالای ازن را تایید کرده‌اند اما هیچکدام فهرست انتشاری برای منطقه یا منطقه‌ای مشابه با پارس جنوبی ارائه نکرده‌اند (۳۰-۲۵). بهترین مطالعات در دسترس، تحقیقات مفصلی است که طی دو کمپین مطالعاتی در خصوص تاثیر صنایع نفتی مجاور شهر هوستون آمریکا انجام شده است. این شهر دارای جمعیت قابل توجه و صنایع بزرگ پالایشگاهی و پتروشیمیایی است. تحلیل‌ها نشان دادند که پروپیلن، اتیلن، بوتن‌ها و ۳ بوتادین عاملان



جدول ۴- سهم منابع نشر مختلف در انتشار VOCها در پارس جنوبی

در شرکت‌های پتروشیمی (درصد)	در پالایشگاه‌های گازی (درصد)	کل (درصد)	نوع منبع انتشار
۱۰/۸۰	۲/۹۷	۹/۳۵	فلرها
۶۳/۶۷	۸۳/۴۵	۶۶/۸۲	نشستی از تجهیزات، ونت‌های فرایندی و مخازن
۴/۴۲	۱۳/۵۸	۶/۰۲	احتراق
۰/۸۸	۰	۰/۷۲	بارگیری
۲۰/۹۲	۰	۱۷/۰۹	برج‌های خنک کننده
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	کل



نمودار ۳- سهم انواع فرایند در انتشار ترکیبات آلی شدیداً واکنشگر (درصد)

مطالعاتی گسترده تعیین شده است. با اینکه این مطالعات قدیمی است اما با توجه به جامعیت آن همچنان این ترکیب مبنای تحقیقات و توسعه ابزارهای پیش بینی و کنترل مثل تهیه MIR قرار گرفته است (۱۴، ۲۴). مقایسه این ترکیب میانگین با ترکیب موجودی انتشار پارس جنوبی نشان می‌دهد که آلکان‌ها، آلکن‌ها و آروماتیک‌ها سه گروه شیمیایی اصلی حاضر در هر دو منطقه هستند اما سهم‌های متفاوتی دارند. آلکان‌ها فراوان‌ترین ماده آلی در هوای محیط شهری است (۵۲ درصد جرمی) اما در پارس جنوبی، آلکن‌ها (۳۸ درصد جرمی) فراوان‌ترین ماده هستند. از طرف دیگر سهم آروماتیک‌ها در محیط‌های شهری بیش از پارس جنوبی است (۲۷ درصد در مقابل ۷ درصد).

اصلی تشکیل ازن در منطقه هستند (۸). جدول ۴ ترکیب فهرست انتشار مواد آلی فرار را در این شهر در مقایسه با مقادیر معادل آن در پارس جنوبی نشان می‌دهد. شباهت‌هایی بین ترکیب این دو فهرست انتشار وجود دارد اما همانطور که جدول ۵ نشان می‌دهد اتیلن و پروپیلن سهم بیشتری در فهرست انتشار پارس جنوبی دارند.

بررسی ترکیب انتشار در وایومینگ آمریکا که یکی از بزرگ‌ترین مناطق تولید گاز طبیعی در ایالت متحده آمریکا است (۳۱) تفاوت زیادی را بین پروپیل انتشار در پارس جنوبی و وایومینگ نشان می‌دهد. در وایومینگ آلکان‌ها نقش اصلی را ایفا می‌کنند اما در پارس جنوبی آلکن‌ها گونه اصلی هستند. میانگینی از ترکیب هوای ۳۹ شهر ایالات متحده آمریکا طی

جدول ۵- سهم VOCها در موجودی انتشار هوستون و موجودی انتشار پارس جنوبی براساس جرم انتشار

ردیف	نام ماده آلی	هوستون (درصد)	پارس جنوبی (درصد)
۱	پروپان	۷	۹/۳۸
۲	n- بوتان	۷	۹/۸۷
۳	اتیلن	۶	۱۲/۸۶
۴	پروپیلن	۶	۲۱/۷۶
۵	متانول	۵	۴/۲۸
۶	ایزوبوتان	۴	۲/۰۱
۷	ایزومرهای پنتان	۴	۵/۰۳
۸	هگزان	۴	۲/۳۴
۹	بنزن	۳	۲/۰۷
۱۰	پنتان	۳	۲/۰۳

## بحث

گرچه ترکیبات آلی منتشره از صنایع مستقر در منطقه بسیار متنوع هستند (۱۷۷ نوع) اما تعداد محدودی از آنها بیشترین نقش را در مخاطرات بهداشتی ایجاد شده، دارند. پروپیلن، اتیلن، ایزوبوتیلن و فرمالدئید بیشترین نقش را در تشکیل ازن و آلاینده‌های ثانویه در منطقه دارند. اما با توجه به مخاطرات بهداشتی فرمالدئید، این ماده به‌عنوان مهمترین ترکیب آلی موجود در منطقه شناخته شد که لازم است استراتژی‌های کنترل در درجه اول بر آن متمرکز شود. فرمالدئید هم خود ماده‌ای خطرناک محسوب می‌شود و هم با واکنشگری بالایی که دارد در تولید آلاینده‌های ثانویه در منطقه موثر است بنابراین با توجه به میزان انتشار قابل توجه این ماده در منطقه (رتبه هشتم در فهرست جرمی) رتبه نخست فهرست انتشار وزن‌دهی شده را به خود اختصاص داده است.

در صنایع نفتی مستقر در منطقه، هیدروکربن‌های گازی در دما و فشار بالا فرآوری می‌شوند بنابراین احتمال نشت و فرار این مواد از تجهیزات مختلف و پر شمار موجود در این صنایع به طرز قابل توجهی افزایش می‌یابد. نتایج نیز نشان می‌دهند که مهمترین منبع انتشار ۴ ترکیب اصلی تاثیرگذار شناسایی شده در پارس جنوبی، نشتی تجهیزات است. فرایندهای الفین و سپس واحدهای

پلیمری به ترتیب بیشترین سهم را بین واحدهای صنعتی مختلف به خود اختصاص داده‌اند. این منابع انتشار عمدتاً متعلق به صنایع پتروشیمی مستقر در منطقه هستند. چهار شرکت پتروشیمی با ظرفیت بالا در منطقه دارای این فرایند هستند که از لحاظ فراوانی و ظرفیت تولید، اولین رتبه را بعد از پالایشگاه‌های گاز به خود اختصاص داده‌اند. لیکن انتشارات پالایشگاه‌های گازی بیشتر در گروه شیمیایی آلکان‌هاست که میزان واکنشگری آنها در مقایسه با آلکن‌ها (الفین‌ها) بسیار پایین است. این موضوع می‌تواند دلیل اصلی حصول این نتایج باشد.

مقایسه ترکیب انتشار پارس جنوبی با مناطق دیگر نشان می‌دهد که ترکیب انتشار این منطقه به دلیل تمرکز صنایع پتروشیمی و پالایش گاز با مناطق شهری و مناطقی که صرفاً صنایع پالایش گاز دارند متفاوت بوده و از واکنشگری بیشتری (تمایل به تشکیل ازن) برخوردار است. چون انتشار آروماتیک‌ها بعلاوه آلکن‌ها در پارس جنوبی (۵۳ درصد جرمی) بسیار بیشتر از انتشار آنها در مناطق شهری (۴۲ درصد جرمی) و مناطق با تمرکز صنایع پالایش گاز است (کمتر از ۲۰ درصد). از طرفی مقادیر واکنشگری آروماتیک‌ها (با MIR بین ۷/۲۴ و ۱۹/۱۴) و آلکن‌ها (با MIR بین ۹/۳۶ و ۱۳/۵) بسیار بیشتر از واکنشگری آلکن‌ها (با MIR بین ۷/۲۴ تا ۳/۹۸) است (۳۲) که عمده ترکیب هوای شهری

تعیین نمود. این مدل‌ها علاوه بر شبیه سازی عوامل موثر در پخش و پراکنش آلاینده‌ها، باید قادر به پیش‌بینی واکنش‌های فتوشیمیایی نیز باشند. هر ماده آلی امکان ورود به طیف گسترده‌ای از واکنش‌های فتوشیمیایی را دارد که با توجه به تعدد ترکیبات آلی فرار موجود در این منطقه پیش‌بینی را با پیچیدگی و صرف وقت هزینه قابل توجه همراه می‌سازد و عدم قطعیت‌های دیگری را نیز به مسئله اضافه می‌کند. از طرف دیگر برای آنالیز حساسیت لازم است ایستگاه‌های پایش و اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار و ازن در منطقه تحت بررسی و منطقه تحت تاثیر مستقر باشد تا امکان ارزیابی تغییر دقت مدل ناشی از تغییر در انتشار فراهم شود. چنین بررسی‌هایی می‌تواند دستور کار تحقیقات بعدی باشد.

### نتیجه‌گیری

VOCها جزو آلاینده‌های خطرناک محسوب می‌شوند و با ورود به واکنش‌های فتوشیمیایی در جو منجر به تولید آلاینده‌های ثانویه می‌شوند. شناسایی انواع VOCهای منتشره و منابع انتشار آنها، محاسبه جرم انتشار، ارزیابی خطرات این ترکیبات و اولویت‌بندی آنها رویکردی بوده است که در این مطالعه اتخاذ شده است. روش به کار گرفته شده در این مطالعه، می‌تواند ابزاری برای تعیین مهم‌ترین آلاینده‌های منتشره و شناسایی منابع انتشار آنها قبل از صرف هزینه قابل توجه برای اندازه‌گیری‌های میدانی، پایش و مدل‌سازی باشد. بنابر نتایج حاصل از این مطالعه، تمرکز بر کنترل و کاهش نشأت ترکیبات آلی شامل فرمالدئید، پروپیلن و اتیلن در فرایندهای الفین می‌تواند بیشترین تاثیر را در کاهش مخاطرات بر سلامت افرادی که در معرض این آلودگی‌ها قرار دارند داشته باشد. بدیهی است به تحقیقات میدانی بعدی و مدلسازی کیفیت هوا برای تایید این نتایج نیاز است. لیکن حتی تهیه مدل پیش‌بینی کیفیت هوا برای منطقه که بتواند اثر انتشار ترکیبات آلی مختلف از صنایع مستقر را پیش‌بینی کند نیاز به اطلاعات انتشار این مواد به‌عنوان ورودی مدل دارد که در این مطالعه تهیه و ارائه شده است.

(۵۲ درصد) و مناطق تحت تاثیر پالایشگاه‌های گازی (حدود ۸۰ درصد جرمی) را تشکیل می‌دهد. بنابراین مواد واکنشگر در ترکیب انتشار این منطقه بالاتر است.

در پارس جنوبی و هوستون که هر دو دارای صنایع پتروشیمی هستند پروپیلن و اتیلن دو ماده اصلی تاثیرگذار در تشکیل ازن هستند. همچنین ترکیب موجودی انتشار این دو منطقه به نسبت به مناطق شهری یا با صنایع پالایش گاز شباهت بیشتری باهم دارند. این مسئله تاییدی است بر نتایج اخذ شده در این مطالعه که نشان می‌دهد صنایع پتروشیمی بیشترین تاثیر را در انتشار مواد آلی و مواد آلی تاثیرگذار بر تشکیل ازن دارند.

در برخی محاسبات و برآورد انتشارات از فرضیات و ساده‌سازی‌هایی استفاده شده است که اصلاح آنها می‌تواند نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری حاصل کند. به‌عنوان مثال نشستی از تجهیزات که بیشترین سهم را در انتشارات به خود اختصاص داد براساس فاکتورهای انتشار پیش فرضی تخمین زده شده که ممکن است تطابق لازم با شرایط واقعی را نداشته باشد و نیاز است براساس روش‌های دقیق‌تر برآورد شوند. در تفسیر پروفایل انتشار نیز به‌ویژه برای فلرها و نشستی‌ها عدم قطعیت زیادی وجود داشته و قطعاً نیاز به اندازه‌گیری و ارزیابی دقیق‌تر وضعیت برای بهبود دقت کار دارد.

امکان تعیین عدم قطعیت موجودی‌های انتشار که شامل تعداد بسیار زیاد منابع انتشار هستند به‌صورت آنالیزهای آماری وجود ندارد. در منطقه تحت مطالعه در زمان جمع‌آوری اطلاعات ۱۴۳ دودکش و ۶۳ فلر وجود داشته است. تعداد مخازن، شیرها، پمپ‌ها و ... بسیار زیاد است به نحوی که در برخی فرایندها شمارش آنها امکان‌پذیر نشده است و ناچاراً تعداد آنها با توجه به فرایندهای مشابه تخمین زده شده است. در موارد محدود و در خصوص برخی منابع انتشار که وضعیت انتشار آنها کاملاً شناخته شده است ممکن است تعیین عدم قطعیت به‌صورت آماری با نمونه‌گیری امکان‌پذیر باشد (۳۰) لیکن در سایر موارد صرفاً ممکن است بتوان این عدم قطعیت را به‌صورت کیفی تعیین نمود یا با استفاده از مدل‌های فتوشیمیایی کیفیت هوا و آنالیز حساسیت فاصله اطمینان را

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "تعیین پتانسیل واکنشگری VOCها در تولید ازن فتوشیمیایی در مناطق تولید نفت، گاز و پتروشیمی" در مقطع دکترا در سال ۹۷ است که با حمایت دانشگاه تهران و در دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست انجام گردیده است. از پرسنل محترم شرکت‌های صنعتی مستقر در منطقه، سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و شرکت ملی صنایع پتروشیمی که در جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز همکاری و مساعدت نموده‌اند، صمیمانه تشکر می‌شود.

مکانیسم شیمیایی مناسب برای پیش‌بینی واکنش‌های فتوشیمیایی نیز براساس ترکیب انتشار منطقه و شناسایی مهمترین گونه‌های تاثیرگذار تعیین و اصلاح می‌شوند و نتایج این مطالعه می‌تواند در این خصوص هم راهگشا باشد. بنابراین گرچه تعیین عدم قطعیت موجودی انتشار تهیه شده نیازمند به‌کارگیری مدل‌های کیفیت هواست لیکن بدون وجود موجودی انتشار مشابه با آنچه در این مطالعه تهیه شده، این مدل‌سازی امکان‌پذیر نیست.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### References

- Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*. 2017;389(10082):1907-18.
- Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghis-sassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *The Lancet Oncology*. 2013;14(13):1262-63.
- USEPA. EPA's 2011 national-scale air toxics. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2015.
- Haagen-Smit AJ. Chemistry and physiology of Los Angeles smog. *Industrial & Engineering Chemistry*. 1952;44(6):1342-46.
- Ryerson T, Trainer M, Angevine W, Brock C, Dissly R, Fehsenfeld F, et al. Effect of petrochemical industrial emissions of reactive alkenes and NOx on tropospheric ozone formation in Houston, Texas. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2003;108(D8).
- Buzcu B, Fraser MP. Source identification and apportionment of volatile organic compounds in Houston, TX. *Atmospheric Environment*. 2006;40(13):2385-400.
- Czader BH, Byun DW, Kim S-T, Carter WP. A study of VOC reactivity in the Houston-Galveston air mixture utilizing an extended version of SAPRC-99 chemical mechanism. *Atmospheric Environment*. 2008;42(23):5733-42.
- Daum PH, Kleinman LI, Springston SR, Nunnermacker L, Lee YN, Weinstein-Lloyd J, et al. A comparative study of O3 formation in the Houston urban and industrial plumes during the 2000 Texas Air Quality Study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2003;108(D23).
- Parrish D, Allen D, Bates T, Estes M, Fehsenfeld F, Feingold G, et al. Overview of the second Texas air quality study (TexAQS II) and the Gulf of Mexico atmospheric composition and climate study (GoMACCS). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2009;114(D7).
- Xie Y, Berkowitz CM. The use of conditional probability functions and potential source contribution functions to identify source regions and advection pathways of hydrocarbon emissions in Houston, Texas. *Atmospheric Environment*. 2007;41(28):5831-47.
- Finlayson-Pitts BJ, Pitts Jr JN. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press; 1999.
- Dodge MC. Combined effects of organic reactivity and NMHC/NOx ratio on photochemical oxidant formation—a modeling study. *Atmospheric Environment* (1967). 1984;18(8):1657-65.
- Carter WP, Pierce JA, Luo D, Malkina IL. Envi-

- ronmental chamber study of maximum incremental reactivities of volatile organic compounds. *Atmospheric Environment*. 1995;29(18):2499-511.
14. Carter WP. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *Air & Waste*. 1994;44(7):881-99.
  15. Huang C, Chen C, Li L, Cheng Z, Wang H, Huang H, et al. Emission inventory of anthropogenic air pollutants and VOC species in the Yangtze River Delta region, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2011;11(9):4105-20.
  16. Liang X, Chen X, Zhang J, Shi T, Sun X, Fan L, et al. Reactivity-based industrial volatile organic compounds emission inventory and its implications for ozone control strategies in China. *Atmospheric Environment*. 2017;162:115-26.
  17. Ou J, Zheng J, Li R, Huang X, Zhong Z, Zhong L, et al. Speciated OVOC and VOC emission inventories and their implications for reactivity-based ozone control strategy in the Pearl River Delta region, China. *Science of the Total Environment*. 2015;530:393-402.
  18. USEPA. Air emissions inventory improvement program. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2017 [cited 2018 Jul 25]. Available from: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/air-emissions-inventory-improvement-program-eiip>.
  19. RTI International. Emissions estimation protocol for petroleum refineries. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2015 [cited 2018 August 12]. Available from: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/efpac/protocol/Protocol%20Report%202015.pdf>.
  20. Institute for Prospective Technological Studies, Sustainable Production and Consumption Unit, European IPPC Bureau. Reference document on best available techniques in the large volume organic chemical industry. Brussels, Belgium: European Commission; 2003.
  21. USEPA. Compilation of air pollutant emission factors. AP-42. 5th ed. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2000.
  22. Hsu Y, Divita F, Dorn J. SPECIATE version 4.4 database development documentation. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2014.
  23. Ashrafi K. Emission inventory of petrochemical special economic zone of Iran. Khuzestan: Petrochemical Special Economic Zone; 2016 (in Persian).
  24. Carter WP. Development of a database for chemical mechanism assignments for volatile organic emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2015;65(10):1171-84.
  25. Barkley MP, González Abad G, Kurosu TP, Spurr R, Torbatian S, Lerot C. OMI air-quality monitoring over the Middle East. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017;17(7):4687-709.
  26. Fountoukis C, Ayoub MA, Ackermann L, Perez-Astudillo D, Bachour D, Gladich I, et al. Vertical ozone concentration profiles in the Arabian Gulf region during summer and winter: sensitivity of WRF-Chem to planetary boundary layer schemes. *Aerosol and Air Quality Research*. 2018;18:1183-97.
  27. Ghanavati Hormozi A, Naddafi K, Nabizadeh Nodahi R, Jaafarzadeh N. Determination and emission factories of SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> gases in the Fanavaran Petrochemical. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;3(1):83-92 (in Persian).
  28. Hajizade Y, Nazmara S, Teiri H, Parseh I. Determination of volatile organic compounds (VOCs) and total hydrocarbons (THCs) in ambient air of a petrochemical complex in Iran and their urinary metabolites in employees. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017;10(1):103-14 (in Persian).
  29. Lelieveld J, Hoor P, Jöckel P, Pozzer A, Hadjinicolaou P, Cammas J-P, et al. Severe ozone air pollution in the Persian Gulf region. *Atmospheric Chemistry & Physics*. 2009;9(4):1393-406.
  30. Rahimpour R, Bahrami AR, Ghorbani F, Assari MJ, Negahban AR, Rahimnejad S, et al. Evaluation of urinary metabolites of volatile organic compounds and some related factors in petrochemical industry workers. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2014;24(116):119-31 (in Persian).
  31. Carter WP, Seinfeld JH. Winter ozone formation and VOC incremental reactivities in the Upper Green River Basin of Wyoming. *Atmospheric Environment*. 2012;50:255-66.
  32. Carter WPL. SAPRC atmospheric chemical mechanisms and VOC reactivity scales. California: University of California; 2013.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Ranking of hazardous organic pollutants using emission, reactivity and health criteria in the South Pars Zone

M Moradzadeh, Kh Ashrafi\*, M Shafiepourmotlagh

Department of Environment Engineering, School of Environment, College of Engineering, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 12 September 2018

**Revised:** 4 December 2018

**Accepted:** 9 December 2018

**Published:** 12 March 2019

**Keywords:** Hydrocarbon processing industries, Emission inventory, Volatile organic carbons, Reactivity scale, Occupational exposure limit

**\*Corresponding Author:**

khshrafi@ut.ac.ir

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Hydrocarbon processing industries are considered as potential sources of volatile organic compounds (VOCs) due to their specific nature. These compounds can directly or indirectly through producing secondary pollutants have adverse effects on the health of individuals. Therefore, identification of them is an important step in the formulation of control programs. This study aimed to identify the type and amount of the most important volatile organic compounds in the South Pars region.

**Materials and Methods:** In this study, industrial processes located in the region were investigated and information was gathered for estimation of VOCs emissions. The emission was estimated over a one-year period and was ranked according to three criteria including emission, health hazards and ozone production potential.

**Results:** The results showed that the greatest emission was due to equipment leakage and storage tanks (64%), cooling towers (21%) and flaring (11%). The 171 VOCs were determined in Plum of these processes and propylene had the greatest contribution (21%). The alkenes had the highest share in total mass (41%) and ozone production (78%). By weighting the list based on the three criteria mentioned above, formaldehyde is the most important emitted VOC and the main sources of it were olefins and aromatic units.

**Conclusion:** This method can be a useful tool for identifying effective organic compounds in such areas. Here, the optimum control strategy is mitigating of emission of formaldehyde from the aromatic and olefins processes. The next priority is to control propylene, ethylene and butylene emission sources.

Please cite this article as: Moradzadeh M, Ashrafi Kh, Shafiepourmotlagh M. Ranking of hazardous organic pollutants using emission, reactivity and health criteria in the South Pars Zone. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;11(4):515-28.