

## بررسی میزان آلاینده‌های هوای تولیدی توسط مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز

### شماره ۳ اهواز

علی کاشانی صفار<sup>۱</sup>

حسین نوروزی<sup>۲</sup>

نسرین چوبکار<sup>۳\*</sup>

[Nchoobkar20@gmail.com](mailto:Nchoobkar20@gmail.com)

لیا شوشتری کرمانشاهی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۰

#### چکیده

**زمینه و هدف:** واحدهای تولید نفت و گاز به دلیل داشتن فرآیندهای احتراق و سوزاندن ضایعات نفت و گاز، مقادیر زیادی از آلاینده‌های هوا را منتشر کرده و باعث به خطر افتادن سلامت محیط زیست و افراد می‌شوند. با توجه به گستردگی فعالیت این صنعت در استان خوزستان، در مطالعه‌ی حاضر محدوده‌ی تاثیرگذاری گازهای خروجی فلرهای مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز غرب اهواز (شماره ۳) در زمستان ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفته است.

**روش بررسی:** جهت انجام این مطالعه گازهای  $NO_2$  و  $CO_2$ ،  $SO_2$ ،  $O_3$  در چهار جهت شمال، جنوب، غرب و شرق و در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری توسط دستگاه‌های قرائت مستقیم سنجش گردید.

**یافته‌ها:** گاز  $NO_2$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $CO$  در فواصل نزدیک فلر و ذرات معلق  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  بیشتر در فاصله‌ی ۳۰۰۰ متری در محدوده‌ی جاده‌ها مقادیر بالاتر از استاندارد داشتند. در خصوص ذرات  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  نتایج نشان داد که به ترتیب ۷۹/۱۶ درصد نقاط در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس و ناسالم و ۷۵ درصد نقاط در وضعیت سالم، بیش از ۸۳/۳۳ درصد نقاط مورد اندازه‌گیری در مورد دو گاز  $SO_2$  و ۷۵ درصد نقاط در گاز  $CO$ ، ۶۶/۶۶ درصد در گاز  $NO_2$  در وضعیت بسیار ناسالم قرار داشتند.

۱- دانشجوی دکترا، گروه محیط زیست، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۲- استادیار گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۴- گروه بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به مقادیر شاخص AQI، O<sub>3</sub> و PM<sub>10</sub> عموماً در حالت ناسالم تا بسیار ناسالم قرار داشت و گاز SO<sub>2</sub> و ذرات PM<sub>2.5</sub> وضعیت بدتری در مقایسه با سایرین داشتند.

واژه‌های کلیدی: شاخص کیفیت هوا، آلودگی هوا، فعالیت انسانی، بهره‌برداری نفت و گاز.

## **Investigating the amount of air pollutants produced by Ahvaz Oil and Gas Exploitation Complex No. 3**

**Ali Kashani Saffar**<sup>1</sup>

**Hossein Norouzi**<sup>2</sup>

**Nasrin Choobkar**<sup>3\*</sup>

[Nchoobkar20@gmail.com](mailto:Nchoobkar20@gmail.com)

**Lia Shooshtari Kermanshahi**<sup>4</sup>

Admission Date: October 11, 2022

Date Received: September 11, 2022

### **Abstract**

**Background and Objective:** Oil and gas production units emit large amounts of air pollutants due to combustion processes and burning of oil and gas wastes and endanger the health of the environment and people. Considering the extent of the activity of this industry in Khuzestan province, in the current study, the range of influence of the flares of the flares of the West Ahvaz oil and gas exploitation complex (number 3) in the winter of 2018 has been investigated.

**Material and Methodology:** To carry out this study, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO gases were measured in four directions: north, south, west and east and at distances of 50, 100, 500, 1000, 2000 and 3000 meters by direct reading devices.

**Findings:** NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, and CO gas were higher than the standard in the distances near the flare, and PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> suspended particles were more than the standard at a distance of 3000 meters from the roads. Regarding PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> particles, the results showed that 79.16% of the points were in unhealthy condition for the sensitive and unhealthy groups and 75% of the points were in healthy condition, respectively, more than 83.33% of the measured points in the case of two SO<sub>2</sub> gas and 75% of the points in CO gas, 66.66% in NO<sub>2</sub> gas were in very unhealthy condition.

**Discussion and Conclusion:** According to AQI index values, O<sub>3</sub> and PM<sub>10</sub> were generally unhealthy to very unhealthy, and SO<sub>2</sub> gas and PM<sub>2.5</sub> particles were in worse condition compared to others.

**Keywords:** Air quality index, air pollution, human activity, oil and gas exploitation.

---

1- Department of Environment and Natural Resources, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

2-Assistant professor, Department of Environment and Natural Resources, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

3-Associate professor, Department of Environment and Natural Resources, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran. \*(Corresponding Author)

4- - Assistant professor, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

## مقدمه

ترکیبات فتوشیمیایی (ازن)، ترکیبات و مواد سمی، برخی فلزات و ترکیبات آلی، بنابراین ایجاد می‌کند که الگویی برای پراکنش آلاینده‌های هوا شبیه‌سازی شود تا میزان تاثیر این آلاینده‌ها تعیین شود (۹،۱۰). حملات قلبی و مغزی، عقب ماندگی ذهنی، اختلالات تنفسی، عوارض عصبی و بینایی، کم خونی، جهش‌های ژنی، سقط جنین و هزینه‌های هنگفت اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم از جمله عوارض این گازهاست (۱۱). ذرات معلق با قطر آئروپویسمیک کمتر از ۱۰ میکرون از جمله آلاینده‌هایی می‌باشد که در ترکیب با مواد آلی و معدنی، در هوا منتشر می‌شوند. براساس گزارشات سازمان بهداشت جهانی به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم ذرات معلق، میزان مرگ و میر ۱ تا ۳ درصد افزایش می‌یابد (۱۲).

همچنین، انتقال گرد و غبار از مناطق بیابانی منبع مهمی برای آلودگی ذرات بخصوص در مناطق غربی آسیا نظیر ایران است. مطالعات اپیدمیولوژیک ارتباط قوی بین ذرات معلق محیطی و افزایش مرگ و میر و عوارض مربوط به بیماری‌های مرتبط با قلب و عروق و تنفس به ویژه در مناطق شهری را نشان می‌دهد و این ارتباط در ذرات  $PM_{2.5}$  در مقایسه با ذرات  $PM_{10}$  و یا کل ذرات معلق بالاتر است، زیرا ذرات  $PM_{2.5}$  می‌تواند به اعماق کیسه‌های هوایی ریه نفوذ کنند (۱۳). WHO گزارش کرده است که ذرات  $PM_{10}$  می‌توانند سبب آسم، برونشیت، حملات قلبی، کاهش عملکرد ریه و مرگ و میر شوند به شکلی که افزایش غلظت ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب این ذرات، نرخ و مرگ و میر را ۶ درصد افزایش می‌دهد (۱۴). با توجه به اهمیت آلاینده‌های هوا، مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است از جمله Yousefian و همکاران (۲۰۲۰) تاثیر ذرات معلق و آلاینده‌های هوا بر روی کیفیت هوای تهران (۱۱)، Tong و همکاران (۲۰۲۰) پیش بینی و مدل‌سازی آلاینده‌های هوا را در هنگ کنگ (۱۲) و Aslam و همکاران (۲۰۲۰) غلظت ذرات معلق در هوای ابرشهرهای جنوب آسیا را بررسی کردند. این در حالی است که بسیاری از شهرهای ایران، به شکل روزانه درگیر آلودگی هوا با گازها و نیز ذرات معلق هستند. آلاینده می‌تواند متناوب یا پیوسته یا دوره‌ای آزاد شوند یا از یک یا چندین منبع نقطه‌ای یا غیر

آمار بین المللی خسارات ناشی از آلودگی هوا نشان می‌دهد که بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا چهارمین رتبه مرگ و میر را به خود اختصاص داده‌اند. به گزارش سازمان ملل متحد هر ساله ۳ میلیون نفر از مردم جهان به دلیل آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند. این آسیب‌ها به وسیله ایجاد غلظت و رسوب بسیاری از ترکیبات شیمیایی آلاینده هوا حادث گردیده است (۱). فعالیت‌های انسانی، به ویژه انقلاب‌های صنعتی، اکوسیستم‌ها را تا حدی با مقیاسی نجومی در این عصر مدرن تغییر می‌دهند. به عنوان مثال آلودگی‌های صنعتی ناشی از فرآیندهای پالایش نفت، بسیاری از حیات وحش و زیستگاه‌های طبیعی را از بین برده است (۲). در واقع صنعت نفت یک تهدید نهفته اصلی برای محیط زیست است و بر اکوسیستم و متعاقبا همه موجودات زنده از جمله انسان تاثیر می‌گذارد. با توجه به موضوع فوق، نگرانی عمده و خطرناک شرکت‌های صنعت نفت، تخریب محیط زیست است. به این ترتیب در حالی که صنعتی شدن در پیشرفت اقتصادی صنعت نفت در کشورهای نفتی نقش بسیار حیاتی دارد، اما این صنایع به عنوان اهداکنندگان اصلی چالش‌های آلودگی اکوسیستم در سطح جهان شناخته می‌شوند (۳،۴). در صنعت نفت آلودگی عملا مشابه تمام فرآیندهای تولید نفت و گاز، از اکتشافات نفت گرفته تا پالایش، حمل و نقل و بازاریابی است. مجموعه‌ای از ضایعات شامل ذرات معلق در هوا، انتشار گاز، فاضلاب و پسماندهای جامد در طی فرآیندهای توسعه نفت همراه با بیش از ۸۰۰ ماده شیمیایی مختلف سمی تولید می‌شود (۵،۶). اثرات زیست محیطی این آلودگی در حال افزایش اثر گلخانه‌ای، باران اسیدی، آسیب به تنوع زیستی، کیفیت هوا، خاک و آب است. صنعت پالایش نفت به طور قابل توجهی از طریق گازهایی همانند هیدروکربن‌ها، دی‌اکسید گوگرد، سولفید هیدروژن، مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق و سایر مواد سمی به افزایش آلودگی هوا کمک می‌کند (۵).

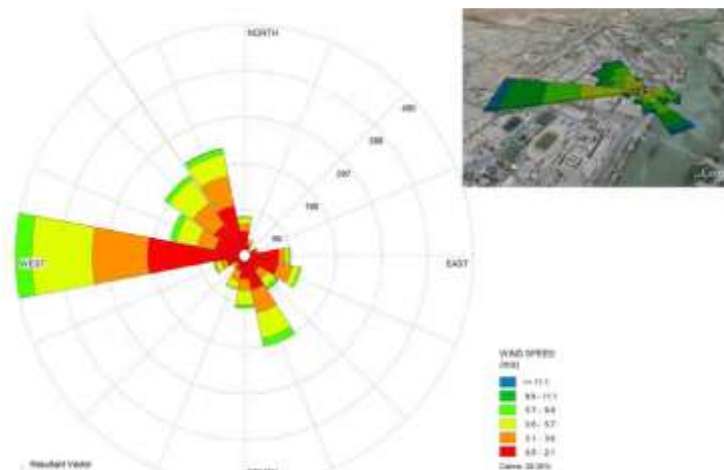
از طرفی در بسیاری از این کشورها، استفاده از سوخت‌های غیر قابل تجدید پذیری ارتباط مستقیمی با افزایش سطح آلاینده‌های هوا دارد (۷،۸). مهمترین این ترکیبات عبارتند از: ترکیبات اسیدی (سولفور و ترکیبات اکسیدکننده و احیا کننده نیتروژن)،

**مواد و روش‌ها**

معرفی شهر اهواز

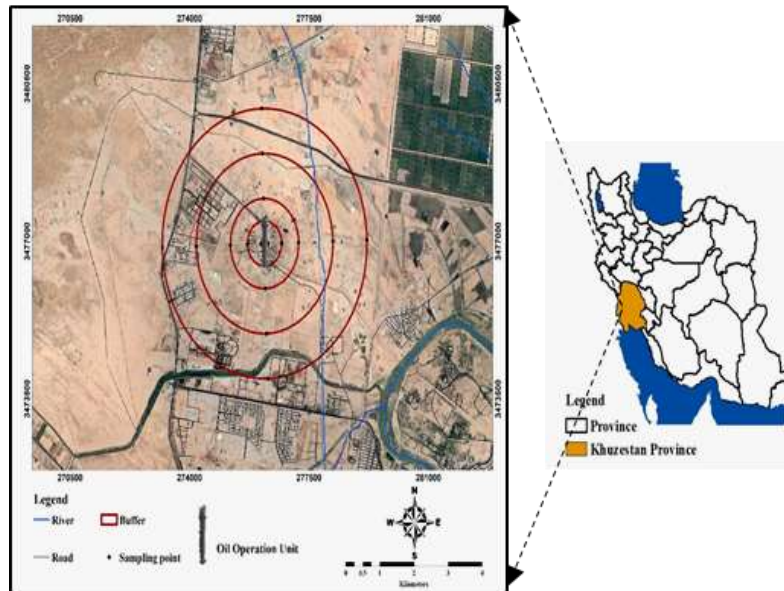
شهرستان اهواز با جمعیت ۱۰۵۹۴۶۱ نفر در قسمت خشک و نیمه خشک ایران و در عرض جغرافیایی ۳۱/۲۰ شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۴۰ درجه شرقی قرار داد (۱۵). هوای این شهر تحت تاثیر وزش بادهایی با منشأ عراق (شکل ۱- گلباد اهواز) و نیز تحت تاثیر آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی درون شهر اهواز قرار دارد. در این مطالعه محدوده‌ی تاثیر مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز شماره ۳ اهواز در غرب اهواز به عنوان منبع آلاینده (شکل ۲) در فواصل مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

نقطه‌ای آزاد شوند. همچنین تعیین چگونگی گستره پخش آلودگی از یک منبع آلوده کننده به خوبی درک و پیش بینی شود می‌توان به مبنایی مناسب برای تعیین موقعیت قرارگیری منابع آلوده کننده در یک منطقه دست یافت و به کمک آن اثرات مخرب را کاهش داد زیرا موقعیت یک منابع آلوده کننده‌ی هوا نظیر صنایع نفتی، می‌تواند نقش مهم و مؤثری در کیفیت هوای یک منطقه در تقابل با سایر منابع آلاینده داشته باشد (۴،۸). از این رو مطالعه‌ی حاضر با هدف تهیه پهنه‌بندی مکانی شاخص کیفیت هوا تحت تاثیر مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز شماره ۳ واقع در غرب اهواز انجام شده است.



شکل ۱- گلباد شهر اهواز در سال (خسروی و همکاران، ۱۳۹۵)

Figure 1. Gulbad city of Ahvaz in the year (Khosravi et al., 2015)



شکل ۲- نقشه موقعیت مکان نمونه برداری

Figure 2. Location map of sampling location

### معرفی مجتمع بهره برداری نفت و گاز شماره ۳ اهواز

این مجتمع از یک بخش بهره برداری با سوخت مصرفی گاز و گازوئیل و ۳ مشعل بلند، ۳ مشعل کوتاه و ۷۰ گودال سوخت، یک بخش نمک زدایی با سوخت گاز و دارای ۲ مشعل کوتاه و یک ایستگاه تقویت فشار گاز با سوخت گاز و گازوئیل با ۲ مشعل بلند، ۱ مشعل سرد و ۱ گودال سوخت تشکیل شده است (۱۵).

### زمان و روش نمونه برداری و سنجش

پایش گازها و ذرات معلق در زمستان ۱۳۹۸ و هر ماه یک بار (در مجموع ۳ بار) و در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر در چهار جهت شمال، جنوب، غرب و شرق مجتمع سنجش شد. غلظت گازهای  $NO_2$  (محدوده ۰ الی ۲۰) و  $CO$  (محدوده ۰ الی ۵۰۰)،  $SO_2$  (محدوده ۰ الی ۲۰) و  $O_3$  (محدوده ۰ الی ۱۰) و ذرات معلق  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  هر دو در محدوده  $0$  تا  $1000 \mu g/m^3$  به ترتیب توسط دستگاه گاز سنج محیطی پرتابل (PEGA، شرکت فن

پایا، ایران) و دستگاه اندازه گیری غلظت غبار هوا (Met One, T Aeroset-531s, USA) سنجش شد. شاخص  $AQI$  با توجه به جدول (جدول ۱) استانداردهای ملی کیفیت هوای آزاد و شاخص کیفیت هوا با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد. کیفیت هوا به گروه های پاک، سالم، ناسالم برای گروه های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک طبقه بندی شده است. آلاینده ها با بالاترین میزان شاخص به عنوان عامل آلودگی هوا در نظر گرفته شد.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

$I_p$  = شاخص کیفیت هوا برای آلاینده P

$I_{Hi}$  = منطبق با  $AQI$  مقدار  $BP_{Hi}$

$C_p$  = اندازه گیری شده آلاینده غلظت P

$BP_{Hi}$  = نقطه شکستی که بزرگتر یا مساوی  $CP$  باشد.

$BP_{Lo}$  = نقطه شکستی که کوچکتر یا مساوی  $CP$  باشد.

$I_{Lo}$  = مقدار  $AQI$  منطبق با  $BP_{Lo}$  (۱۶، ۱۷).

جدول ۱- نقاط شکست آلاینده‌ها جهت محاسبه AQI

Table 1. Breakpoints of pollutants to calculate AQI

خطرناک		بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	سالم	پاک	طبقه‌بندی کیفیت هوا	
۵۰۰-۴۰۱		۴۰۰-۳۰۱	۳۰۰-۲۰۱	۲۰۰-۱۵۱	۱۵۰-۱۰۱	۱۰۰-۵۱	AQI	
۱/۶۵-۲/۰۴	۱/۲۶-۱/۶۴	۰/۶۵-۱/۲۵	۰/۳۶۱-۰/۶۴۰	۰/۱۰۱-۰/۳۶	۰/۰۵۴-۰/۱	۰-۰/۰۵۳	NO2	نقطه شکست
یک ساعته (ppm)								
۰/۸۰۵-۱/۴۰۰	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	۰/۰۳۵-۰/۱۴۴	۰-۰/۰۳۴	SO2	
۲۴ ساعته (ppm)								
۴۰/۵-۵۰/۴	۳۰/۵-۴۰/۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۱۲/۵-۱۵/۴	۹/۵-۱۲/۴	۴/۵-۹/۴	۰-۴/۴	CO	
۸ ساعته (ppm)								
۵۰۵-۶۰۴	۴۲۵-۵۰۴	۳۵۵-۴۲۴	۲۵۵-۳۵۴	۲۵۴-۱۵۵	۵۵-۱۵۴	۰-۵۴	PM10	
۲۴ (µg/m <sup>3</sup> ) ساعته								
۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۶۵/۵-۱۵۰/۴	۳۵/۱-۶۵/۴	۱۵/۵-۳۵	۰-۱۵/۴	PM2.5	
۲۴ (µg/m <sup>3</sup> ) ساعته								
۰/۵۰۵-۰/۶۰۴	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	-	-	O3	
یک ساعته (ppm)								
*	*	۰/۱۱۶-۰/۳۷۴	۰/۰۹۶-۰/۱۱۵	۰/۰۷۶-۰/۰۹۵	۰/۰۶۰-۰/۰۷۵	۰-۰/۰۵۹	O3	
۸ ساعته (ppm)								

\*وقتی غلظت از ۸ ساعته از ۰/۳۷۴ ppm فراتر رود، مقدار AQI باید با استفاده از غلظت از ۱ ساعته محاسبه شود.

آنالیز آماری

محاسبه شاخص‌ها با استفاده از نرم افزار اکسل (Excel) انجام شد. جهت رسم نقشه‌های پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا از نرم افزار Arc-GIS استفاده شد.

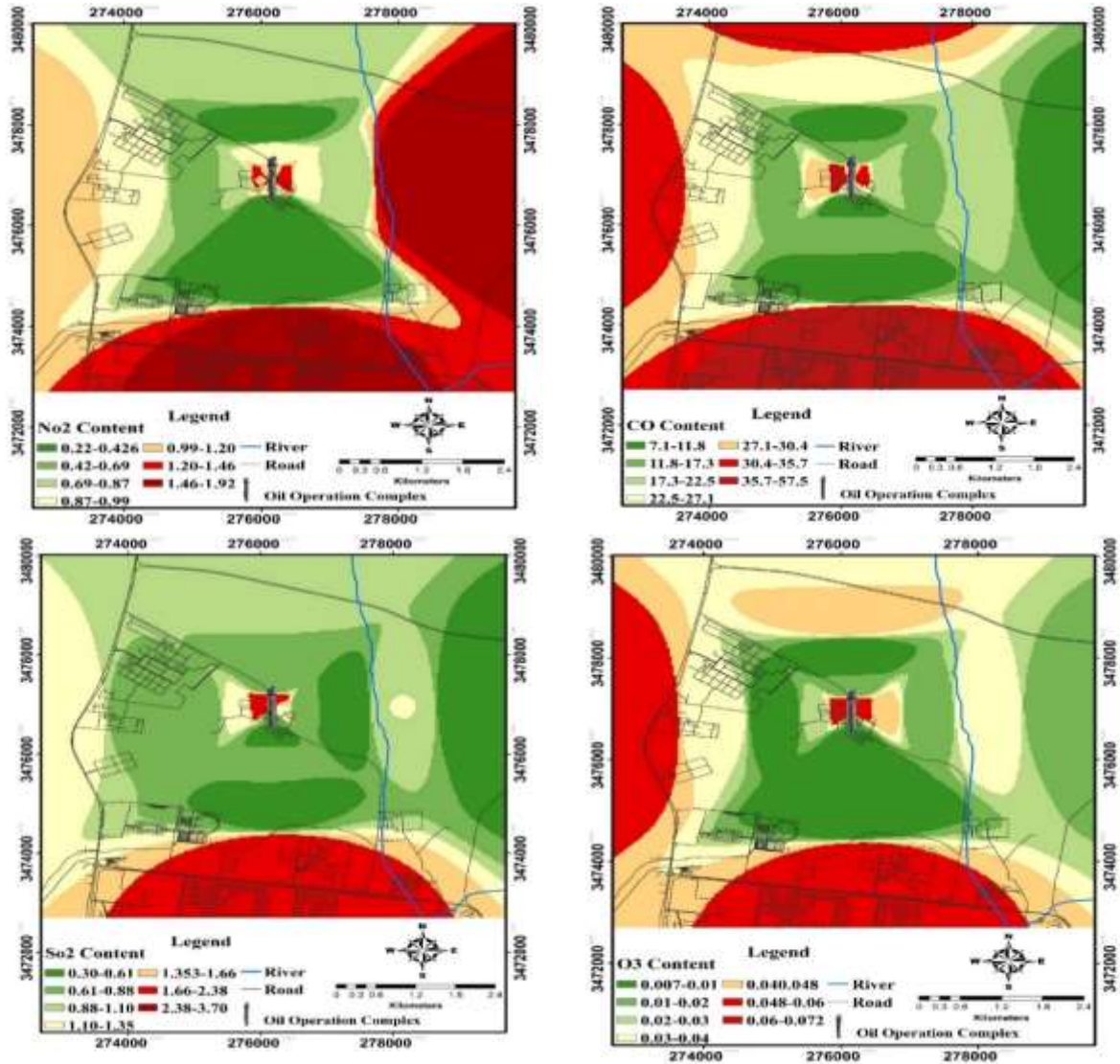
نتایج

پراکنش آلاینده‌ها در جهت‌های جغرافیایی در زمستان

۱۳۹۸

در جدول ۲ مقادیر شاخص‌های کیفیت بهداشتی هوا گازهای NO<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub>، SO<sub>2</sub>، O<sub>3</sub> و شکل ۳ پهنه‌بندی آلاینده‌ها در زمستان نشان داده شده است. در فصل زمستان گاز SO<sub>2</sub> وضعیت بسیار ناسالم را در تمامی فواصل به جز در جنوب در فاصله ۵۰ متر (خطرناک)، در شمال (در فواصل ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر وضعیت ناسالم) و در شرق در فاصله‌ی ۲۰۰۰ متر وضعیت ناسالم و در در فاصله ۳۰۰۰ متر وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس، در سایر

فواصل در وضعیت بسیار ناسالم قرار داشت. CO در تمامی فواصل به جز در شمال فاصله ۳۰۰۰ متری در وضعیت سالم، در جنوب در فاصله ۱۰۰۰ متری در وضعیت ناسالم، در شرق در فاصله‌ی ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر در وضعیت سالم و در فاصله‌ی ۵۰۰ متر در وضعیت ناسالم و در فاصله ۱۰۰۰ متری در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس، در سایر فواصل در وضعیت بسیار ناسالم قرار داشت. NO<sub>2</sub> در هر چهار جهت غرب، شرق، جنوب و شمال تا فاصله‌ی ۱۰۰۰ متری در وضعیت بسیار ناسالم و در فواصل ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس قرار داشت. گاز O<sub>3</sub> در فاصله ۵۰ متری در جهت غرب، شرق، جنوب و شمال در وضعیت بسیار ناسالم، در جنوب در فاصله ۱۰۰ متری در وضعیت سالم و در سایر جهات و فواصل در وضعیت پاک قرار داشت.



شکل ۳- پهنه‌بندی گازهای هوای اطراف مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز شماره ۳ در فصل زمستان

Figure 3. Zoning of air gases around the oil and gas exploitation complex No. 3 in the winter season



جدول ۳- مقادیر گازهای اطراف (ppm) بهره‌بردارانی نفت و گاز شماره ۳ در فاصله ۵۰ تا ۳۰۰۰ متری در زمستان ۱۳۹۸

Table 2. Values of gases in the surrounding air (ppm) of oil and gas production No. 3 at a distance of 50 to 3000 meters in the winter of 2018

متر	CO			So <sub>2</sub>			O <sub>3</sub>			NO <sub>2</sub>			خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	سالم	پاک
	شمال	جنوب	شرق	شمال	جنوب	شرق	شمال	جنوب	شرق	شمال	جنوب	شرق						
۵۰	۲۳	۲۷/۵	۲۶/۱۳	۲۷/۲۵	۰/۵۸	۰/۱۷	۰/۱۵۲	۰/۱۶۷	۰/۱۵۶	۰/۱۳۳	۷/۱۳	۱/۱۳	۱/۰۹	۱/۱۳	۱/۰۹	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۷
۱۰۰	۳۱/۵۳	۳۱/۶	۳۰/۱۹	۳۹	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵
۵۰۰	۱۸/۳	۲۷/۳	۱۹/۱	۱۴	۰/۳	۰/۶	۰/۴	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵
۱۰۰۰	۱۶/۸۵	۱۳/۵۸	۷/۳	۱۰	۰/۳	۰/۵۸	۰/۳۳	۰/۴	۰/۳۰	۰/۱۳	۰/۷۷	۰/۵۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
۲۰۰۰	۳۱/۵۷	۳۴/۷	۱۵/۴۱	۲۶	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۲۹	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۱۰	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱
۳۰۰۰	۸/۰۹	۳۳/۱۸	۷/۰۳	۲۳	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۱۴	۰/۵۹	۰/۲۲	۰/۰۵۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹

روند تغییرات ذرات معلق PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در جدول ۳ نشان داده شده است. کیفیت ذرات PM<sub>2.5</sub> در فاصله ۵۰ متری در جنوب در وضعیت ناسالم و در سایر فواصل در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس قرار داشت. در فواصل ۱۰۰ و ۵۰۰ متری به جز در جهت شرق در سایر جهات وضعیت ناسالم برای

گروه‌های حساس بود. در فاصله ۱۰۰۰ متری، در غرب، شرق و شمال وضعیت سالم و در جنوب وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس بود. در فاصله ۲۰۰۰ متری در غرب و جنوب وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس و در شرق و شمال در وضعیت ناسالم قرار داشت. در فاصله ۳۰۰۰ متری در غرب و جنوب

۳۰۰۰ متری در جنوب (ناسالم برای گروه‌های حساس) در سایر جهات و فواصل وضعیت سالم را نشان دادند. پهنه‌بندی ذرات معلق آلاینده‌ها هوا در شکل ۴ نشان داده شده است.

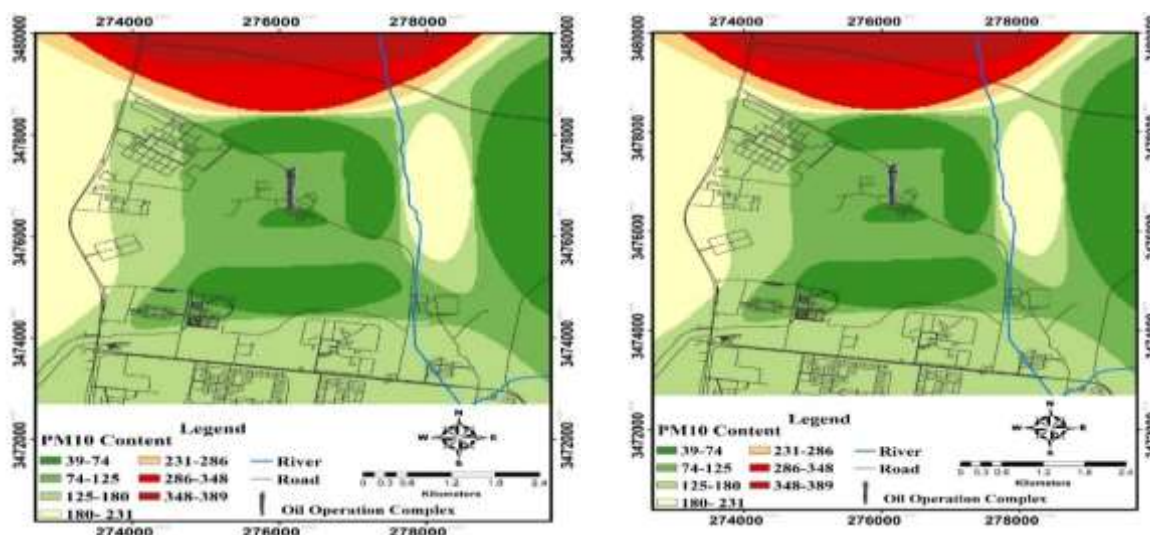
وضعیت ناسالم و در شرق و شمال وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس قرار داشت. ذرات  $PM_{10}$  به جز در فاصله ۵۰ متری در شرق (ناسالم برای گروه‌های حساس)، فاصله ۲۰۰۰ متری در جنوب و شمال (ناسالم برای گروه‌های حساس) و در فاصله

جدول ۳- مقادیر ذرات خروجی معلق هوای اطراف مجتمع (ppm) بهره‌برداری نفت و گاز شماره ۳ در فاصله ۵۰ تا ۳

کیلومتری در زمستان ۱۳۹۸

Table 3. Amounts of particulate matter emitted in the air around the oil and gas production complex (ppm) at a distance of 50 to 3 km in the winter of 2018

PM <sub>10</sub>				PM <sub>2.5</sub>				متر
شمال	جنوب	شرق	غرب	شمال	جنوب	شرق	غرب	
۱۱۹/۴	۱۱۲	۱۶۳/۸	۱۰۱	۵۴/۵	۶۹	۴۶	۴۱/۲۵	۵۰
۸۶/۹	۱۱۵	۱۱۲	۹۵/۸	۴۷/۱۴	۶۱	۳۲	۳۷/۲	۱۰۰
۷۸	۹۰	۸۱	۸۱	۳۶/۷	۵۰	۲۷/۱۱	۲۴/۷۹	۵۰۰
۶۵/۷	۱۰۰	۷۲	۶۳	۲۸/۱۱	۳۹	۲۸	۲۸/۸۹	۱۰۰۰
۲۱۰	۱۶۷	۸۱	۳۰۷	۷۳	۶۲	۶۸	۵۵/۲۵	۲۰۰۰
۳۹/۷	۲۱۰	۶۳	۳۹۱	۳۹/۱	۷۱	۵۷	۸۱/۲۹	۳۰۰۰
خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	ناسالم برای گروه‌های حساس	سالم	پاک			



شکل ۴- نقشه ذرات خروجی معلق هوای اطراف مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز شماره ۳ در فصل زمستان

Figure 4. The zoning map of particulate matter emissions around the oil and gas exploitation complex No. 3 in the winter season

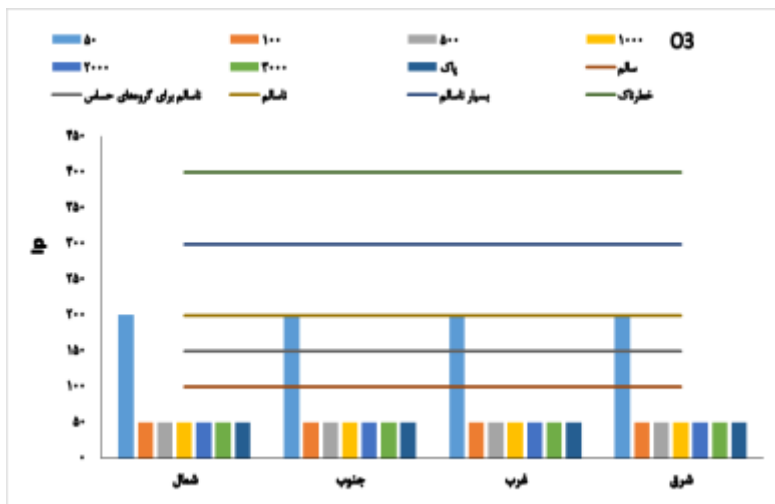
۶. گاز  $SO_2$  در شمال، جنوب و شرق در فاصله ۵۰ متری و در غرب در فاصله‌ی ۳۰۰۰ متری بالاترین مقدار را داشت (شکل ۷).  
 CO در شمال، جنوب و شرق در فاصله ۵۰ متری و در غرب در فاصله‌ی ۱۰۰ متری بالاترین شاخص  $I_p$  را داشت (شکل ۸).

در مورد گاز  $NO_2$  شاخص  $I_p$  در فاصله شمال در ۵۰۰ و در فواصل ۵۰ متری در جنوب، غرب و شرق بالاترین مقدار را داشت (شکل ۵). گاز  $O_3$  در هر چهار جهت شمال، جنوب، غرب و شرق بالاترین مقدار شاخص  $I_p$  را در فاصله‌ی ۵۰ متری داشت (شکل ۶).



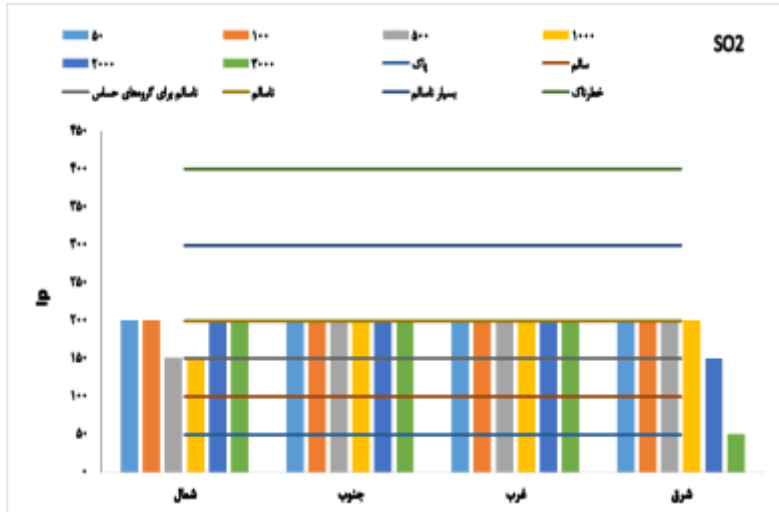
شکل ۵- مقادیر شاخص کیفیت هوا ( $I_p$ ) برای گاز  $NO_2$  خروجی فلر

Figure 5. Air quality index values ( $I_p$ ) for flare  $NO_2$  gas



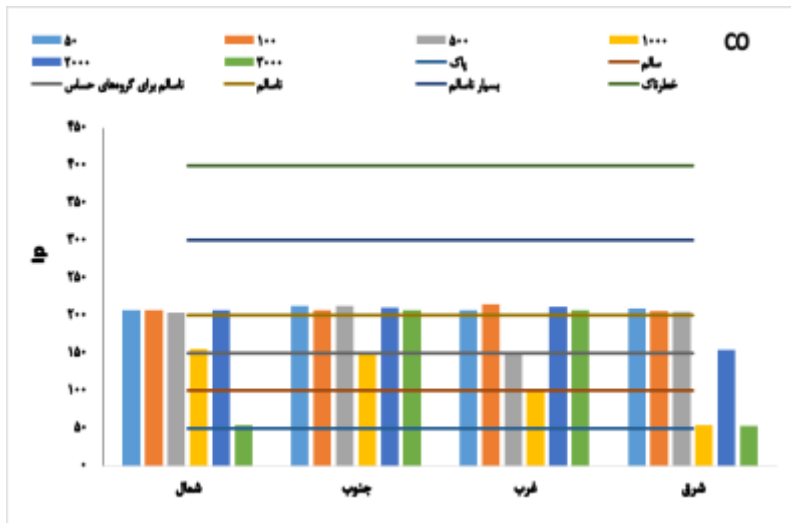
شکل ۶- مقادیر شاخص کیفیت هوا ( $I_p$ ) برای گاز  $O_3$  خروجی فلر

Figure 6. Air quality index values ( $I_p$ ) for  $O_3$  gas at the flare outlet



شکل ۷- مقادیر شاخص کیفیت هوا (I<sub>p</sub>) برای گاز SO<sub>2</sub> خروجی فلر

Figure 7. Air quality index values (I<sub>p</sub>) for flare SO<sub>2</sub> gas

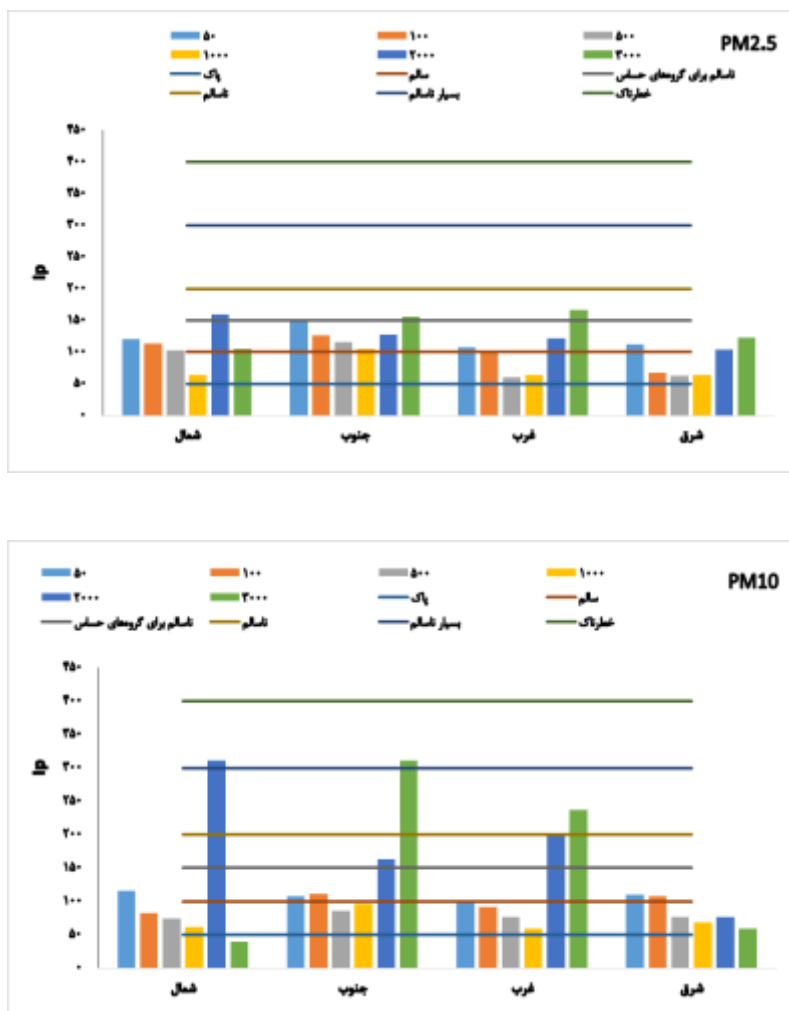


شکل ۸- مقادیر شاخص کیفیت هوا (I<sub>p</sub>) برای گاز CO خروجی فلر

Figure 8. Air quality index values (I<sub>p</sub>) for flare CO gas

۳۰۰۰ متری بالاترین مقدار، در شمال در فاصله‌ی ۲۰۰۰ متر و در شرق در فاصله‌ی ۵۰ متری بالاترین میزان را داشت (شکل ۹).

شاخص I<sub>p</sub> در مورد ذرات PM<sub>2.5</sub> در جنوب در فواصل ۳۰۰۰ متر و در شمال در فاصله‌ی ۲۰۰۰ متر بالاترین میزان را داشت. شاخص I<sub>p</sub> در مورد ذرات PM<sub>10</sub> در جنوب و غرب در فاصله‌ی



شکل ۹- مقادیر شاخص کیفیت هوا ( $I_p$ ) برای ذرات معلق خروجی فلر

Figure 9. Air quality index values ( $I_p$ ) for flare exhaust particles

#### بحث

با توجه به جدول ۲ بیش از ۸۳/۳۳ درصد نقاط مورد اندازه‌گیری در مورد دو گاز  $SO_2$  و ۷۵ درصد نقاط در گاز  $CO$ ، ۶۶/۶۶ درصد در گاز  $NO_2$  در وضعیت بسیار ناسالم قرار داشتند. در خصوص گاز  $O_3$ ، ۷۵ درصد نقاط در وضعیت سالم و پاک قرار داشتند و فقط ۵۰ متر نزدیک فلر وضعیت بسیار ناسالم را نشان داد. مقدار مجاز غلظت  $NO_2$  ۱۰۰ ppb، مدار مجاز  $O_3$  و  $SO_2$  ۷۵ ppb، مقدار مجاز غلظت  $CO$  ۹/۴ ppb تعیین شده که داده‌های بدست آمده از مطالعه‌ی حاضر از این حد مجاز عبور کرده‌اند. افزایش غلظت دو گاز  $CO$  و  $SO_2$  در فاصله ۲۰۰۰ متری در هر چهار جهت را می‌توان با وجود جاده‌های بین شهری با ترافیک بالا مرتبط دانست زیرا ناشی از احتراق ناقص هستند به شکلی که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، استفاده از سوخت

معمولاً منابع آلاینده‌ی گازی در سه دسته مکانیسم انتشار طبیعی، منابع احتراق و فرآیندهای تولید صنعتی تقسیم می‌شوند. منابع صنعتی ذرات معلق مانند فولاد، بارهای سنگین ترافیکی، سوزاندن بی رویه مواد زائد جامد و کارخانه‌های مختلف منابع اصلی ذرات و گازهای موجود در هوا هستند (۱۵،۱۸). واحدهای تولید نفت و گاز به دلیل داشتن فرآیندهای احتراق و سوزاندن حجم زیادی از ضایعات نفت و گاز، مقادیر زیادی از آلاینده‌های هوا را منتشر کرده و باعث صدمه به محیط زیست و به خطر افتادن سلامت افراد می‌گردند. طی فرآیند احتراق، آلاینده‌های گازی زیادی که عمدتاً ترکیبات هیدروکربنی،  $SO_2$ ،  $CO$ ،  $NO_2$  و  $O_3$  هستند وارد اتمسفر می‌شوند (۱۸).

تجدید ناپذیر عامل افزایش سطح آلودگی است. مطالعات نشان می‌دهد منشا تقریباً ۴۸ درصد  $CO$ ، ۳۲ درصد  $NOx$  و ۵۲ درصد  $SO_2$  موجود در هوا وسایل نقلیه موتوری هستند (۱۹،۲۰) و این موضوع افزایش غلظت این گازها را در محدوده‌ی جاده‌ها تأیید می‌کند. در غرب فلر با فاصله گرفتن از فلر تا شعاع ۱۰۰۰ متری به دلیل عدم وجود تاسیسات شهری، کاهش گازهای شاخص کیفیت هوا و نیز ذرات معلق مشاهده شد اما در محدوده ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری با افزایش فعالیت‌های شهری و مراکز تردد وسایل نقلیه نظیر مرکز میوه و تر بار و نیز اتوبان اهواز - دزفول و مرکز تعویض پلاک، سطح آلودگی به گازهای  $CO$  و  $NO_2$  افزایش پیدا کرد و در واقع این زیرساخت‌ها نقش یک فلر با خروجی بالای گاز  $CO$  را دارند، در حالی که در محدوده‌های ۱۰۰۰ متری در هر چهار جهت فلر و نیز ۵۰۰ متری در شرق فلر و شمال به دلیل وجود زمین‌های کشاورزی و نیز جمعیت‌های محدود روستایی شاخص‌های وضعیت بهتری را در مقایسه با نقطه ۵۰ و ۱۰۰ متری نزدیک مجتمع داشتند. وضعیت گازهای خروجی در فصل زمستان در فاصله‌ی ۵۰ متری، وضیت بسیار ناسالم را داشت که این موضوع را می‌توان مرتبط با افزایش فعالیت شرکت‌های بهره برداری نفت در زمستان به دلیل افزایش ساعت کار مجتمع به دلیل کاهش دمای هوا و نیاز بیشتر به محصولات نفت و گاز دانست.

گاز  $CO$  به علت سبک‌تر بودن در مقایسه با هوا (جرم مولکولی ۲۸ که تقریباً با جرم مولکولی هوا (۲۹) برابر می‌کند) در فلرهایی با ارتفاع بالا خطر کمتری دارد زیرا به سطح زمین نمی‌رسد (هر چند با افزایش ساخت آپارتمان در این مناطق این خطر در حال افزایش است) اما در فلرهایی با ارتفاع پایین که در مجتمع فعال هستند این خطر بسیار جدی است. البته افزایش غلظت آن در نتیجه فعال بودن چندین فلر، می‌تواند عامل سقوط این گاز به سطح زمین باشد (۲۱،۲۲).

در خصوص ذرات  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  نتایج نشان داد که به ترتیب ۷۹/۱۶ درصد نقاط در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس و ناسالم و ۷۵ درصد نقاط در وضعیت سالم قرار داشتند و مقایسه مقادیر این ذرات با آخرین حد استاندارد سالانه ایران (برابر با ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب) نشان می‌دهد که این ذرات در تمام

جهت مورد اندازه‌گیری خارج از استاندارد بودند. ذرات  $PM_{10}$  در زمستان این ذرات به جز در غرب در فاصله ۲۰۰۰ (ناسالم) و ۳۰۰۰ (بسیار ناسالم) متری، در شرق (۵۰ متری، در فاصله ۲۰۰۰ متری) و در جنوب و شمال و ۳۰۰۰ متری در جنوب در بیشتر نقاط وضعیت سالم را نشان دادند. این وضعیت در مورد ذرات با توجه قرارگیری اهواز در منطقه خشک و وزش باد از مناطق خشک اطراف که با ذرات گرد و غبار سبک همراه است، قابل توجیه است. همچنین در جهت غرب تردد بالای وسایل نقلیه در جاده اهواز - دزفول که جاده دسترسی به شهرک صنعتی و نیز مرکز تعویض پلاک می‌باشد و در جنوب و جنوب غرب میدان میوه و تر بار و نیز ورزشگاه الغدیر و مناطق مسکونی پدافند هوایی، عامل درجه‌ی بالایی آلودگی هوا به ذرات است. با توجه به این نتایج علاوه بر فعالیت مجتمع بهره‌برداری شماره ۳، وزش باد از روی زمین‌های کشاورزی و بایر در فاصله ۳۰۰۰ متری در سرد و شرق در فصل سرد (در فصل سرد آبیاری زمین‌های کشاورزی حرکت ذرات را از مزارع کاهش می‌دهد) یکی دیگر از منابع افزایش ذرات گرد و غبار هستند.

در مطالعه‌ی Aslam و همکاران (۲۰۲۰) (۱۳) و Gurjar و همکاران (۲۰۰۸) (۲۳) نیز گزارش شده است. Khodeir و همکاران (۲۰۱۲) (۲۴)، سوزاندن نفت در جده را عامل ۱۸ درصد تولید ذرات  $PM_{10}$  و ۶۹ درصد ذرات  $PM_{2.5}$  را گزارش کردند که غلظت بالای این ذرات در ۵۰ متری فلرها را تأیید می‌کند. علاوه بر این منابع طبیعی نظیر طوفان گرد و غبار با منشا داخلی و نیز خارجی که عامل انتقال ذرات به منطقه است نیز وضعیت فعلی را تشدید کرده است که در این منشا آلودگی در منطقه‌ی - گزارش شده است (۱۲). Aslam و همکاران (۲۰۲۲) غلظت بالای ذرات معلق را عامل بیمارهای تنفسی گسترده در بین ساکنان بخش‌های مختلف پاکستان عنوان کرده است (۱۲).

شاخص AQI هر آلاینده را به طور جداگانه تعریف و بررسی می‌کند و ایده اصلی این شاخص این است که مقابله با هر آلاینده به طور جداگانه، به دلیل اثرات بهداشتی شناخته شده ناشی از قرار گرفتن انسان‌ها در معرض آن آسان‌تر است (۲۵). با توجه به مقادیر شاخص AQI وضعیت آلاینده‌های مورد بررسی به جز در مورد  $O_3$  و  $PM_{10}$  عموماً در حالت ناسالم تا بسیار ناسالم

- Environmental Science and Management. Vol. 4. pp. 483-492.
- Adebiyi, F.M. 2020. Paraffin wax precipitation/deposition and mitigating measures in oil and gas industry: a review, Petroleum Science and Technology 2020; <https://doi.org/10.1080/10916466.2020.2904400>.
  - Lyu, X.P., Chen, N., Guo, H., Zhang, W.H., Wang, N., Wang, Y., Liu, M. 2016. Ambient volatile organic compounds and their effect on ozone production in Wuhan, central China. Science of the Total Environment. Vol. 541. pp. 200-209.
  - Song, P., Wang, L., Hui, Y., Li, R. 2015. PM<sub>2.5</sub> Concentrations Indoors and Outdoors in Heavy Air Pollution Days in winter. Procedia Engineering. Vol. 121. pp.1902–1906.
  - Adebiyi, F.M. 2022. Air quality and management in petroleum refining industry: A review. Environmental Chemistry and Ecotoxicology. Vol. 4. pp. 89-96.
  - Cheng, S., Zhang, J., Wang, Y., Zhang, D., Teng, G., Chang-Chien, G.P., Huang, Q., Zhang, Y.B., Yan, P. 2019. Global research trends in health effects of volatile organic compounds during the last 16 years: a bibliometric analysis, Aerosol and Air Quality Research. Vol. 19. pp.1843-1834.
  - Hamid, A., Akhtar, S., Atique, S.A., Huma, Z., Mohay Uddin, S.G., Asghar, S. 2019. Ambient air quality & noise level monitoring of different areas of Lahore (Pakistan) and its health impacts. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 28. pp.623–629.

قرار داشت که در این بین گاز SO<sub>2</sub> و ذرات PM<sub>2.5</sub> وضعیت بدتری در مقایسه با سایرین داشتند. هر چند مقادیر بالای ذرات PM<sub>2.5</sub> ارتباط مستقیمی با ریزش گرد و غبار که یک پدیده طبیعی است، دارد اما حضور مقادیر بالایی از این ذرات به این دلیل که ممکن است حاوی مولکول‌های گازی محرک و سوزش آور باشند که در صورت استنشاق می‌توانند مستقیماً روی بدن اثر سو بگذارند، بسیار اهمیت دارد (۲۶). Al-Awadhi (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای مشابه بر روی غلظت آلاینده‌های صنایع نفت و گاز در شهر کویت نیز گرد و غبار با منشأ طبیعی، عامل تشدید کننده آلودگی بود (۲۷، ۲۸).

یافته‌های مطالعه‌ی حاضر نشان دهنده‌ی پیچیدگی الگوی پراکندگی ذرات و گازهای آلاینده در مناطق شهری بوده و مقادیر بالای و خطرناک گازهای خروجی و نیز سایر منابع آلاینده و شرایط طبیعی حاکم (خشکسالی و وزش باد همراه با گرد و غبار)، لازم است تا میزان و دامنه‌ی تاثیرگذاری ذرات و گازهای مورد اندازه‌گیری بر ساکنان این منطقه به شکل دقیقتری مورد مطالعه قرار گیرد.

#### نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که میزان آلودگی در منطقه‌ی غرب اهواز تحت تاثیر چندین متغیر از جمله حضور مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز شماره ۳، تاسیسات شهری نظیر رهگشا و بازار میوه و تربار و نیز جاده دسترسی قرار داد. عامل تشدید کننده وضعیت آلودگی خشکسالی، وزش باد و عدم پوشش گیاهی در سطح منطقه به عنوان عامل تقلیل دهنده آلودگی بود. از این رو مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز می‌تواند به عنوان عامل تولید کننده گازهای خطرناک و ذرات معلق باشد اما لزوماً عامل اصلی آلاینده‌ی در منطقه غرب اهواز نیست اما با توجه به چنین سطحی از آلاینده‌ی باید اقداماتی برای کاهش انتشار آلاینده‌های خروجی از این مجتمع انجام شود.

#### References

- Kumar, S.D., Dash A. 2018. Seasonal variation of air quality index and assessment, Global Journal of

14. WHO. 2005. Particulate matter air pollution: how it harms health. Fact sheet EURO/ 04/ 05 B, Copenhagen, Rome.
15. List of air pollutant emissions (caused by man-made sources in Ahvaz metropolis, including compilation and evaluation of emission reduction scenarios). Environ Protec Organiz. (2022). (In Persian)
16. Goudarzi, G., Omidi-Khaniabadi, Y. 2015. Application of Gaussian Model for assessment of particle matter dispersion from Doroud Cement Plant Stack, Lorestan. 3 th Nation Congress of Air and Noise Pollution Management; University of Sanati Sharif Tehran, Iran. (In Persian)
17. Otaru, A., Odigure, J., Okafor, J., Abdulkareem, A. 2013. Model prediction of particulate dispersion from a Cement Mill Stack: Case study of a Cement Plant in Nigeria. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. Vol. 2. pp. 97-110.
18. Choomanee, P., Bualert, S., Thongyen, T., Salao, S., Szymanski, W.W., Rungratanaubon, T. 2020. Vertical variation of carbonaceous aerosols with in the PM<sub>2.5</sub> fraction in Bangkok, Thailand. Aerosol and Air Quality Research. Vol. 20. pp. 43-52.
19. Corson, S. 2006. Private Transportation Vs Mass Transit. The Environmental ASPECTS.
20. Ideriah, T.J.K., Warmate, A.G., Alabraba, M.A. 2008. Effect of Naked Lamp on levels of Air pollutants in Port Harcourt. Nigeria, Research Journal of Applied Sciences. Vol. 3(1). pp. 77-80.
21. Heydari-Nejad, Q., Shuai, M. 2016. Investigating the effect of inter-tunnel
8. Zhang, H., Srinivasan, R.A. 2020. Systematic review of air quality sensors, guidelines, and measurement studies for indoor air quality management. Sustainability. Vol. 12. pp. 9045.
9. EPA. 2014. Air quality index (AQI), a guide to air quality and your health. US Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Outreach and Information Division Research Triangle Park, North Carolina.
10. Dash, A.K., Dash, S.K. 2017. Atmospheric pollution load assessment through air quality index: A case study. Indian Journal of Environmental Protection. Vol. 37(9). pp. 736-741.
11. Yousefian, F., Faridi, S., Azimi, F., Aghaei, M., Shamsipour, M., Yaghmaeian, K., Hassanvand, M.S. 2020. Temporal variations of ambient air pollutants and meteorological influences on their concentrations in Tehran during 2012-2017. Scientific Reports. Vol. 10. pp. 292-303.
12. Tong, X., Ho, J.M.W., Li, Z., Lui, K.H., Kwok, T.C.Y., Tsoi, K.K.F., Ho, K.F. 2020. Prediction model for air particulate matter levels in the households of elderly individuals in Hong Kong. Science of the Total Environment. Vol. 717. pp. 135323.
13. Aslam, A., Ibrahim, M., Shahid, I., Mahmood, A., Kashif Irshad, M., Yamin, M., Muhammad Tariq, G., Shamshiri, RR. 2020. Pollution Characteristics of Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and Constituent Carbonaceous Aerosols in a South Asian Future Megacity. Applied Sciences. Vol. 10. pp. 8864-8874.



- characteristics of carbonaceous aerosol in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> of Lhasa city, the Tibetan Plateau. *Atmospheric Environment*. Vol.127. pp.340–346.
26. Sojinu, S.O., Ejeromedoghene, O. 2019. Environmental Challenges Associated with Processing of Heavy Crude Oils, Processing of Heavy Crude Oils - Challenges and Opportunities. Ramasamy Marappa Gounder, IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.82605>, Available from [intechopen.com/chapters/64885](https://www.intechopen.com/chapters/64885).
27. Al-Awadhi, J.M. 2014. Measurement of Air pollution in Kuwait City Using Passive Samplers. *Atmospheric and Climate Sciences*. Vol. 4. pp. 253-271.
28. Tajuddin Mansouri, S., Zarghami, I. 2021. Explain the Human-Environment Relationship Using a Critique of the Theoretical Foundations of Space Syntax. *Human and Environment*. Vol. 60. pp. 159-181.
- chimney geometry on pollutant spreading in the external environment. *Madras Mechinchal Engineering Journal*. Vol. 17. pp. 22-13 (In Persian).
22. Jackson, W., Lavdas, L., Pitrolo, M., Loberger, D., Kelly, D.N. 2009. Imple smoke dispersion model for prescribed and wildland fires in flat to gently rolling terrain, Help for the User Interface for Vsmoke-Gis and Vsmoke Version 2.2.1.
23. Gurjar, B.R., Butler, T.M., Lawrence, M.G., Lelieveld, J. 2008. Evaluation of emissions and air quality in megacities. *Atmospheric Environment*. Vol.42. pp. 1593–1606.
24. Khodeir, M., Shamy, M., Alghamdi, M., Zhong, M., Sun, H., Costa, M., Chen, L.C., Maciejczyk, P. 2012. Source apportionment and elemental composition of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Jeddah City, Saudi Arabia. *Atmospheric Pollution Research*. Vol. 3. pp. 331–340.
25. Li, C., Chen, P., Kang, S., Yan, F., Hu, Z., Qu, B., Sillanpää, M. 2016. Concentrations and light absorption