







study of atmospheric pollutants concentration correlation with meteorological quantities in Bandar Abbas

Sisipoor, M.¹  | Rahnama, M.^{2,3}  | Sehat Kashani, S.^{2,3}  | Khodam, N.³  | Noori, F.³  |
Qahramani, S.⁴ 

1. Deputy Director of Development and Forecasting of Hormozgan Meteorological Department, Hormozgan, Iran.
2. Member of the academic staff of the Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran.
3. International Center for Dust Storm Studies, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran.
4. Weather forecaster.

Corresponding Author E-mail: meh.rahnama@gmail.com

(Received: 24 Sep 2023, Revised: 21 Apr 2024, Accepted: 19 Jun 2024, Published online: 19 Jun 2024)

Abstract

Air pollution and its pollutants affect human health and the environment. Knowing the factors contributing to air pollution is crucial in mitigating its impacts on industrial cities. Therefore, evaluating atmospheric pollutants concentration correlation with meteorological quantities in Bandar Abbas is considered as the main purpose of this study special economic zone. During a statistical period of one year, data from the Bandar Abbas synoptic weather station was utilized, which included measurements of wind, temperature, pressure, relative humidity, horizontal visibility, and concentration of atmospheric pollutants from the station located in the Bandar Abbas. Behavioral studies were conducted to investigate the correlation between pollutants and meteorological quantities seasonally, monthly, and daily. Also, by calculating the air quality index, the daily status of the air quality and pollutant index was determined. In general, the results of this study showed that the main reason of urban pollution in Bandar Abbas city was the abundance of two particulate pollutants, PM10 and PM2.5, and these conditions are also dependent on the weather systems and climatic conditions of the region. The daily average correlation analysis of PM10 pollutant showed that on a daily scale, this pollutant had a significant and positive relationship with wind speed and a significant and inverse relationship with relative humidity and horizontal visibility. PM2.5 pollutant showed an inverse and significant relationship with temperature and horizontal visibility.

Keywords: atmospheric pollutants, Bandar Abbas, meteorological values, air pollution.

Cite this article: sisipoor, M., Rahnama, M., Sehat Kashani, S., Khodam, N., noori, F., & Qahramani, S. (2024). study of atmospheric pollutants concentration correlation with meteorological quantities in Bandar Abbas. Journal of the Nivar, 48(124-125), 146-162. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.417740.1266>

E-mail: (1) z.ghassabi@gmail.com (2) savizsehat@yahoo.com (3) Noushin_khodam@ut.ac.ir (3) faezeh.noori@gmail.com
(4) sajad.qahramani1365@yahoo.com



مطالعه همبستگی غلظت آلاینده‌های جوی با کمیت‌های هواشناسی در بندرعباس

مرضیه سی سی پور^۱ | مهدی رهنما^۲✉ | ساویز صحت کاشانی^۳ | نوشین خدام^۳ | فائزه نوری^۳ | سجاد قهرمانی^۴

۱. معاون توسعه و پیش بینی اداره کل هواشناسی هرمزگان، هرمزگان، ایران.
۲. عضو هیات علمی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.
۳. مرکز بین‌المللی مطالعات توفان‌های گردو خاک، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.
۴. کارشناس پیش‌بین هواشناسی، هرمزگان، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: meh.rahnama@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۲، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰)

چکیده

آلودگی هوا و آلاینده‌های ناشی از آن، سلامت انسان و محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شناخت عوامل مؤثر بر آلودگی هوا به منظور کاهش آثار آلاینده‌ها در شهرهای صنعتی امری ضروری است. از این رو هدف از انجام این پژوهش مطالعه همبستگی غلظت آلاینده‌های جوی با کمیت‌های هواشناسی در بندرعباس است. برای این منظور با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی همدیدی بندرعباس شامل باد، دما، فشار، رطوبت نسبی و دید افقی و غلظت آلاینده‌های جوی از ایستگاه واقع در بندرعباس، طی دوره آماری یک‌ساله (از مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸) مطالعات رفتاری به صورت فصلی، ماهانه و روزانه در فصول مختلف انجام شد. روابط آلاینده‌ها و کمیت‌های هواشناسی از طریق تحلیل ضرایب همبستگی بررسی شد. همچنین با محاسبه شاخص کیفیت هوا، وضعیت روزانه‌ی کیفیت هوا و آلاینده شاخص هر روز نیز مشخص شد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که مسبب اصلی آلودگی شهری در شهر بندرعباس فراوانی دو آلاینده ذره‌ای PM₁₀ و PM_{2.5} بوده است و این شرایط نیز وابسته به سامانه‌های هواشناسی و وضعیت اقلیمی منطقه است. نتایج تحلیل همبستگی متوسط روزانه آلاینده‌ی PM₁₀ نشان داد در مقیاس روزانه این آلاینده با سرعت باد رابطه‌ی معنی‌دار و مثبت و با رطوبت نسبی و دید افقی رابطه‌ی معنی‌دار و معکوسی داشته است. آلاینده PM_{2.5} با دما و دید افقی رابطه معکوس و معنی‌داری نشان داد.

کلمات کلیدی: آلاینده‌های جوی، بندرعباس، کمیت‌های هواشناسی، آلودگی هوا

۱. مقدمه

سوخت‌های فسیلی، پدیده‌های آلودگی هوا مانند هجوم هواویزها است. طبق مطالعات و بررسی‌های به‌عمل آمده، آلودگی هوا سلامت مردم را به‌طور جدی تهدید کرده و موجب ایجاد طیف وسیعی از اثرات بهداشتی و بیماری‌های مختلف می‌شود. سالانه در سراسر جهان حدود هفت میلیون

آلودگی هوا به‌عنوان یکی از معضلات مهم کشورهای در حال توسعه و حتی توسعه‌یافته محسوب می‌شود و هزینه‌های ناشی از آن بخش مهمی از تولید ناخالص ملی کشورها را به خود اختصاص می‌دهد. آلودگی هوا یکی از تبعات رشد جمعیت، صنعتی‌شدن، افزایش شهرنشینی، استفاده از

استناد: سی سی پور، مرضیه؛ رهنما، مهدی؛ صحت کاشانی، ساویز؛ خدام، نوشین؛ نوری، فائزه و قهرمانی، سجاد. (۱۴۰۳). مطالعه همبستگی غلظت آلاینده‌های جوی با

کمیت‌های هواشناسی در بندرعباس. مجله نیوار، ۴۸(۱۲۴-۱۲۵)، ۱۴۶-۱۶۲. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.417740.1266>

رایانامه: (۱) z.g Hassabi@gmail.com (۲) savizehat@yahoo.com (۳) Noushin_khoddam@ut.ac.ir (۴) faezeh.noori@gmail.com

(۴) sajad.qahramani1365@yahoo.com

نفر بر اثر بیماری‌های منتسب به آلودگی هوای آزاد داخلی و خارجی جان خود را از دست می‌دهند (حیدری، ۱۳۹۴). این روزها یکی از دغدغه‌های اساسی اغلب افراد و به‌ویژه شهرنشینان، بحث آلودگی هوا است. آلودگی هوا، اثرات منفی و گاه جبران‌ناپذیری را بر سلامتی انسان‌ها دارد؛ اما پیامدهای آلودگی هوا، فقط محدود به انسان‌ها نیست؛ بلکه زندگی دیگر موجودات زنده، شامل جانوران و گیاهان را نیز دستخوش تغییر می‌کند. دامنه این پیامدها چنان گسترده است که حتی شامل آسیب رساندن به بناهای تاریخی، ساختمان‌ها و دیگر موارد نیز می‌شود. آشنایی بیشتر با ماهیت آلودگی هوا، دلایل ایجاد آن، انواع آلودگی‌ها، انواع آلاینده‌ها، مه‌دود فتوشیمیایی، تأثیر آلودگی بر سلامتی، شاخص کیفیت هوا، راهکارهایی برای پیشگیری از آلودگی می‌تواند به افراد کمک کند که نه تنها از آلوده کردن هوا بیش‌ازپیش اجتناب کنند، بلکه با شناخت آلاینده‌ها، خطرات محیط‌های آلوده‌ای که در آن حضور دارند را بسنجند و متناسب با آن، اقدامات لازم را انجام دهند. منابع عمده آلودگی هوا عبارت‌اند از: منابع طبیعی و منابع مصنوعی؛ اما تقسیم‌بندی آن‌ها ممکن است براساس ترکیب و حالت ماده، متفاوت باشد. با توجه به توسعه و پیشرفت صنایع و فناوری، توسعه شهرها، ازدیاد جمعیت و افزایش وسایل نقلیه موتوری، سهم آلاینده‌های مصنوعی که در محیط‌زیست رها می‌شوند به‌مراتب بیشتر از منابع طبیعی است. توفان‌های گردوخاک، فعالیت آتش‌فشانی، دود و خاکستر آتش‌سوزی‌های جنگلی، شهاب‌های آسمانی، چشمه‌های آبگرم معدنی، منابع گیاهی و حیوانی به‌عنوان منابع طبیعی آلودگی هوا محسوب می‌شوند. منابع مصنوعی که به دست بشر به وجود آمده و مورد استفاده روزمره قرار دارد شامل وسایل نقلیه، صنایع، منابع تجاری و خانگی است (گلکار، ۱۳۸۹). مطالعات متعددی در خصوص تغییرات غلظت آلاینده‌ها در مناطق مختلف انجام شده است. نشان و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای که در هند در خصوص تغییرات غلظت ازن سطحی و NOX انجام دادند،

به این نتیجه رسیدند غلظت‌های بیشینه ازن در ساعات بعدازظهر و مقادیر کمینه در ساعات اولیه صبح بوده است. در این مطالعه، بیشینه مقادیر نسبت اختلاط ازن در فصل زمستان گزارش شده است. در پژوهشی که در خصوص آلودگی جوی شهرهای روسیه توسط یتیی یو کوا و همکاران (۲۰۱۲) انجام گرفت به‌طور مشخص در ۸۰ درصد شهرهای روسیه، آلودگی هوا مربوط به منابع انسانی است. در ۵ درصد شهرها، میزان آلودگی هوای شهری پایین‌تر از حد استاندارد بوده است. همچنین بخش قابل‌توجهی از آلودگی هوای شهری ناشی از منابع انسانی مربوط به تعداد زیادی از صنایع آلاینده قدیمی و منسوخ‌شده و شبکه حمل‌ونقل شهری بوده است. بر اساس مطالعاتی که آیم و همکاران (۲۰۱۳) در مناطق شهری، نیمه‌شهری و روستایی استانبول درخصوص غلظت ازن سطحی و NOX بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت‌های ازن در طول شبانه‌روز مربوط به ساعات بعدازظهر و کمترین غلظت‌ها مربوط به ساعات اولیه صبح بوده است، ضمن این‌که مقادیر میانگین ماهانه نسبت اختلاط ازن از مارس شروع به افزایش نموده و در ژوئن به بیشینه مقدار در مناطق شهری و مناطق نیمه روستایی رسیده است. همچنین، مقادیر نسبت اختلاط ازن در تعطیلات آخر هفته در تمام مناطق تا ۲۸ درصد بیشتر از مقادیر ثبت‌شده در روزهای دیگر هفته بوده که یکی از دلایل آن کاهش غلظت NOX در تعطیلات آخر هفته بوده است. همچنین بین کمیت‌های هواشناسی و غلظت ذرات آلاینده مطالعاتی در مناطق مختلف جهان صورت پذیرفته است که می‌توان به مطالعه هانگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ در پکن (کشور چین) و همچنین مطالعه راشد و همکاران نیز در سال ۲۰۱۵ در مناطق شهری پاکستان اشاره کرد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که بین سرعت باد و غلظت آلاینده PM_{2.5} رابطه معنی‌دار و معکوس وجود دارد. در بررسی سطوح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران که توسط یآوری و همکاران (۱۳۹۰) مورد مطالعه قرار

گرفت، مشخص شد که بین ۷۳ تا ۸۵/۵ درصد میزان آلودگی در ایستگاه‌های سطح شهر تهران ناشی از وارونگی دما بوده است. درخصوص توزیع فضایی آلودگی شهر تهران براساس نتایج این تحقیق آلودگی مناطق مرکزی و غربی از آلودگی مناطق شهری بیشتر بوده است. همچنین طبق این بررسی درخصوص غلظت آلاینده‌ها در مناطق مختلف تهران نشان داده شده است که از شمال به جنوب تهران بر میزان غلظت آلاینده‌های NO_2 و O_3 افزوده شده و از میزان غلظت CO ، PM_{10} ، SO_2 کاسته شده است. سلیقه و همکاران (۱۳۹۴) در روشی به منظور برآورد بهترین مدل ارزیابی عناصر اقلیمی و آلودگی هوا در مشهد به بررسی ارتباط آلاینده‌های هوا شامل SO_2 ، O_3 ، NO و CO و کمیت‌های هواشناسی رطوبت نسبی، دما و سرعت باد با استفاده از ضرایب همبستگی پرداختند. ایشان در این مطالعه با استفاده از ضرایب همبستگی به این نتیجه رسیدند که از بین کمیت‌های هواشناسی، رطوبت نسبی و دما در فصل بهار و تابستان و پاییز و سرعت باد و رطوبت نسبی در فصل زمستان بیشترین تأثیر را بر روی آلاینده‌های هوا داشته‌اند. محمدی و همکاران (۱۳۹۶) داده‌های مربوط به غلظت ازن و NO_x را طی بازه زمانی ۹۰-۸۸ به صورت روزانه، ماهانه و فصلی در شهر تبریز مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات نشان داد در هر سه ایستگاه مورد بررسی الگوی تغییرات غلظت NO_x در طول روز برعکس ازن بوده است؛ به طوری که در طول صبح بیشترین و در هنگام ظهر و بعدازظهر کمترین مقدار را دارد. همچنین، بیشترین مقادیر غلظت ازن و NO_x در تمامی ساعات شبانه‌روز به ترتیب در طول فصول تابستان و پاییز و کم‌ترین مقادیر غلظت ازن و NO_x در تمامی ساعات شبانه‌روز به ترتیب مربوط به فصول زمستان و تابستان است. بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان توسط محبوب فر و همکاران (۱۳۹۷) مورد مطالعه قرار گرفت. در این مقاله از روش کتابخانه‌ای و بررسی اسناد موجود در زمینه موضوع تحقیق و

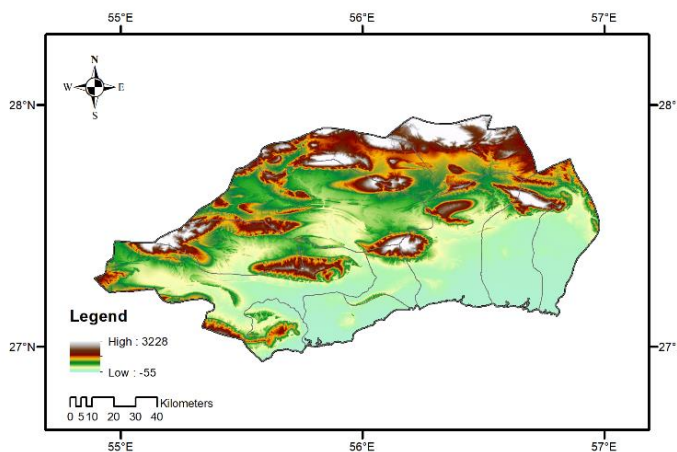
روش میدانی به طور هم‌زمان استفاده شده است. دوره آماری مورد بررسی این تحقیق سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۰ بوده است. طبق این بررسی‌ها و براساس داده‌های ۱۴ ایستگاه سنجش آلودگی هوا مستقر در منطقه اصفهان و مطابق با گزارش‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست، در مجموع اصفهان به طور متوسط در سال ۱۲ روز دارای آلودگی بحرانی است که از حد آستانه می‌گذرد و این ۱۲ روز در ماه‌های آبان، آذر و دی اتفاق افتاده است. بررسی تغییرپذیری‌های سالانه غلظت آلاینده‌های هوا در کلان‌شهر تهران موضوع تحقیق خراسانیان و همکاران (۱۳۹۸) طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ بوده است. ایشان در تحقیق خود به این نتیجه رسیده‌اند که روند تغییر غلظت سالانه آلاینده‌ها برای همه‌ی آلاینده‌ها به‌غیر از ذرات معلق کاهشی بوده است. با استناد به نتایج تحقیقات ایشان، حذف وسیله‌های نقلیه فرسوده، استفاده از وسیله‌های نقلیه هیبریدی و افزایش مصرف خودروهای گازسوز، نقش مهمی در کاهش آلودگی هوای تهران داشته؛ به طوری که کاهش انتشار گاز کربن منوکسید در سطح شهر تهران نتیجه اثربخشی برنامه‌های کنترل آلودگی هوای تهران با خروج خودروهای فرسوده و جایگزینی با خودروهای سواری دوگانه‌سوز بوده است. بررسی میزان غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های زیرزمینی متروی شهر تهران و مقایسه آن با غلظت‌های محیطی توسط بلورچی و همکاران (۱۳۹۹) مورد مطالعه قرار گرفت. هدف این مطالعه بررسی میزان غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در چهار ایستگاه زیرزمینی مترو آزادی، انقلاب، توحید و ولی‌عصر و مقایسه آن‌ها با غلظت این ذرات در هوای آزاد بوده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها در این تحقیق نشان داد که میانگین سالانه غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در چهار ایستگاه متروی یادشده به ترتیب ۶۸ و ۴۷ میکروگرم بر مترمکعب و در هوای آزاد اطراف این ایستگاه‌ها به ترتیب ۴۲ و ۲۹ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. نتایج این بررسی نامطلوب بودن کیفیت هوای ایستگاه‌های زیرزمینی مترو در مقایسه با هوای سطح شهر تهران را نشان داد. با توجه به اهمیت

گرفت، مشخص شد که بین ۷۳ تا ۸۵/۵ درصد میزان آلودگی در ایستگاه‌های سطح شهر تهران ناشی از وارونگی دما بوده است. درخصوص توزیع فضایی آلودگی شهر تهران براساس نتایج این تحقیق آلودگی مناطق مرکزی و غربی از آلودگی مناطق شهری بیشتر بوده است. همچنین طبق این بررسی درخصوص غلظت آلاینده‌ها در مناطق مختلف تهران نشان داده شده است که از شمال به جنوب تهران بر میزان غلظت آلاینده‌های NO_2 و O_3 افزوده شده و از میزان غلظت CO ، PM_{10} ، SO_2 کاسته شده است. سلیقه و همکاران (۱۳۹۴) در روشی به منظور برآورد بهترین مدل ارزیابی عناصر اقلیمی و آلودگی هوا در مشهد به بررسی ارتباط آلاینده‌های هوا شامل SO_2 ، O_3 ، NO و CO و کمیت‌های هواشناسی رطوبت نسبی، دما و سرعت باد با استفاده از ضرایب همبستگی پرداختند. ایشان در این مطالعه با استفاده از ضرایب همبستگی به این نتیجه رسیدند که از بین کمیت‌های هواشناسی، رطوبت نسبی و دما در فصل بهار و تابستان و پاییز و سرعت باد و رطوبت نسبی در فصل زمستان بیشترین تأثیر را بر روی آلاینده‌های هوا داشته‌اند. محمدی و همکاران (۱۳۹۶) داده‌های مربوط به غلظت ازن و NO_x را طی بازه زمانی ۹۰-۸۸ به صورت روزانه، ماهانه و فصلی در شهر تبریز مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات نشان داد در هر سه ایستگاه مورد بررسی الگوی تغییرات غلظت NO_x در طول روز برعکس ازن بوده است؛ به طوری که در طول صبح بیشترین و در هنگام ظهر و بعدازظهر کمترین مقدار را دارد. همچنین، بیشترین مقادیر غلظت ازن و NO_x در تمامی ساعات شبانه‌روز به ترتیب در طول فصول تابستان و پاییز و کم‌ترین مقادیر غلظت ازن و NO_x در تمامی ساعات شبانه‌روز به ترتیب مربوط به فصول زمستان و تابستان است. بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان توسط محبوب فر و همکاران (۱۳۹۷) مورد مطالعه قرار گرفت. در این مقاله از روش کتابخانه‌ای و بررسی اسناد موجود در زمینه موضوع تحقیق و

موضوع، هدف از انجام این پژوهش، مطالعه روند تغییرات غلظت آلاینده‌های جوی و بررسی همبستگی آن‌ها با کمیت‌های هواشناسی در بندرعباس تعیین شده است.

۲- مواد و روش‌ها
۲-۱- منطقه مورد مطالعه
 استان هرمزگان در جنوب ایران و در شمال تنگه هرمز قرار دارد. کرانه‌های این استان در شرق بر دریای عمان و در غرب

بر خلیج فارس قرار دارند. این استان در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. شهر بندرعباس که در جنوب استان هرمزگان واقع شده از شمال به ارتفاعات و کوه‌ها و از جنوب به دریا منتهی می‌شود؛ بنابراین شیب عمومی شهر در راستای شمال به جنوب است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر بندرعباس

۲-۲- داده‌های مورد استفاده
 داده‌های مورد استفاده در این تحقیق داده‌های ساعتی دما، فشار، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، دید افقی دریافت شده از ایستگاه همدیدی بندرعباس طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ (فروردین تا اسفند ۱۳۹۶) شامل PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، SO_2 ، O_3 و NO_2 از مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ (فروردین تا اسفند ۱۳۹۶) از ایستگاه ثابت واقع در سایت جنوبی منطقه ویژه صنایع معدنی و فلزی خلیج فارس است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه همدیدی بندرعباس

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	کمینه مطلق دما	بیشینه مطلق دما	میانگین بارش
بندرعباس	۵۶°۱۷'	۱۱°۲۷'	۱۰	۲	۵۱	۱۶۵

۲-۳- روش تحقیق
 در این تحقیق به منظور مطالعه همبستگی غلظت آلاینده‌های جوی با کمیت‌های هواشناسی در بندرعباس، در گام نخست آمار و اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی دریافت گردید. این داده‌ها شامل کمیت‌های هواشناسی (باد، دما، فشار، رطوبت نسبی) طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ می‌باشد. همچنین غلظت آلاینده‌های جوی (PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، SO_2 ، O_3 و NO_2) در ایستگاه منطقه ویژه طی دوره آماری یادشده از سازمان محیط زیست دریافت گردید. پس از بررسی داده‌های اخذ شده، در گام نخست تغییرات ماهانه کمیت‌های هواشناسی و غلظت آلاینده‌های جوی بطور مستقل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس

۲۰۱۸ می‌باشد. همچنین داده‌های ساعتی شامل آلاینده‌های هوا شامل PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، SO_2 ، O_3 و NO_2 از مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ (فروردین تا اسفند ۱۳۹۶) از ایستگاه ثابت واقع در سایت جنوبی منطقه ویژه صنایع معدنی و فلزی خلیج فارس است.

بزرگ‌تر یا مساوی C_p است، BP_{Lo} نقطه شکستی که کوچک‌تر یا مساوی C_p باشد، I_{Hi} مقدار AQI منطبق با BP_{Hi} ، I_{Lo} مقدار AQI منطبق با BP_{Lo} کمیت‌های مورد استفاده در رابطه‌ی (۱) از جدول (۲) که نقاط شکست برای AQI را نشان می‌دهد، به دست می‌آید. در ابتدا مقادیر میانگین‌های مربوطه برای هر آلاینده محاسبه شد. سپس میانگین مربوط به هر آلاینده در هر روز، به‌عنوان کمیت C_p در رابطه فوق در نظر گرفته و حد بالا و پایین این مقدار غلظت و آستانه‌های شاخص کیفیت هوای متناظر با حدود این مقادیر، با استفاده از جدول نقاط شکست به دست آمد؛ فرمول ویژه برای هر آلاینده در نرم‌افزار اکسل نوشته و شاخص کیفیت هوا برای هر آلاینده به دست آمد. شاخص نهایی کیفیت هوا در هر روز با انتخاب بیشترین AQI از بین شاخص‌های به‌دست‌آمده تمامی آلاینده‌ها، برای ایستگاه موردنظر، در نظر گرفته شد. پس از آن تعداد روزهای آلوده و آلاینده شاخص همراه نیز مشخص شد. ارتباط آماری آلاینده‌ها با کمیت‌های هواشناسی به روش تحلیل همبستگی انجام شد. همبستگی در نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت و ضرایب همبستگی با دقت یک هزارم به دست آمدند.

همبستگی متوسط روزانه آلاینده‌های مختلف با هریک از کمیت‌های هواشناسی بررسی شد. ارتباط آماری آلاینده‌ها با کمیت‌های هواشناسی به روش تحلیل همبستگی انجام شد. همبستگی در نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت و ضرایب همبستگی با دقت یک هزارم به دست آمدند. به منظور دستیابی به نتایج بهتر، رفتار شبانه‌روزی کمیت‌های هواشناسی و آلاینده‌ها در فصول مختلف (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸) نیز مورد بررسی قرار گرفت. در گام بعدی بررسی شاخص کیفیت هوا برای آلاینده‌های مختلف ایستگاه منطقه ویژه اقتصادی و خروج تعداد روزهای آلوده هر آلاینده طی دوره آماری (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸) و تعیین سطح کیفیت هوا بر اساس شاخص نهایی کل طی محاسبه و تحلیل شد. در این پژوهش میزان شاخص کیفیت هوا (AQI) با استفاده از رابطه (۱) (ندافی و همکاران، ۱۳۹۱) محاسبه شده است. از این فرمول برای تمام روزهای دارای داده‌ی آلودگی استفاده خواهد شد.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1)$$

که در این رابطه I_p شاخص کیفیت هوا برای آلاینده P ، C_p غلظت اندازه‌گیری شده آلاینده P ، BP_{Hi} نقطه شکستی که

جدول ۲. نقاط شکست برای محاسبه‌ی AQI بر اساس EPA آمریکا (۲۰۱۰) (روحانی مقدم، ۱۳۹۷)

نقاط شکست							AQI	طبقه بندی کیفیت هوا
O_3 (ppm) ^۱ ۸ ساعته	O_3 (ppm) یک ساعته	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) ۲۴ ساعته	PM_{10} ($\mu g/m^3$) ۲۴ ساعته	CO(ppm) ۸ ساعته	SO ₂ (ppm) ۲۴ ساعته	NO ₂ (ppm) یک ساعته		
۰-۰.۰۵۴	-	۰-۱۲	۰-۵۴	۰/۰-۴/۴	۰/۰۰۰-۰/۰۳۴	۰-۰.۰۵۳	۰-۵۰	خوب
۰.۰۵۵-۰.۰۷۰	-	۱۲-۲۵/۴	۵۵-۱۵۴	۴/۵-۹/۴	۰/۰۳۵-۰/۱۴۴	۰/۰۵۴-۰/۱	۵۱-۱۰۰	متوسط
۰.۰۷۱-۰.۰۸۵	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	۲۵/۵-۵۵/۴	۱۵۵-۲۵۴	۹/۵-۱۲/۴	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	۰/۱۰۱-۰/۳۶۰	۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس
۰/۰۸۶-۰/۱۰۵	۰/۱۶۵-۰	۵۵/۵-۱۵۰/۴	۲۵۵-۳۵۴	۱۲/۵-۱۵/۴	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	۰/۳۶۱-۰/۶۶۰	۱۵۱-۲۰۰	ناسالم
۰/۱۰۶-۰/۲۰۰	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۰/۶۵-۱/۲۴	۲۰۱-۳۰۰	خیلی ناسالم
۰/۲۰۱-۰/۶۰۰	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴	۴۲۵-۵۰۴	۳۰/۵-۴۰/۴	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴	۱/۲۵-۱/۶۴	۳۰۱-۴۰۰	خطرناک
	۰/۵۰۵-۰/۶۰۴	۳۵۰/۵-۵۰۰	۵۰۵-۶۰۴	۴۰/۵-۵۰/۴	۰/۸۰۵-۱/۰۰۴	۱/۶۵-۲/۰۴	۴۰۱-۵۰۰	

ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی بندرعباس اقدام به مطالعه چگونگی تغییرات کمیت‌های

۳- بحث و نتایج

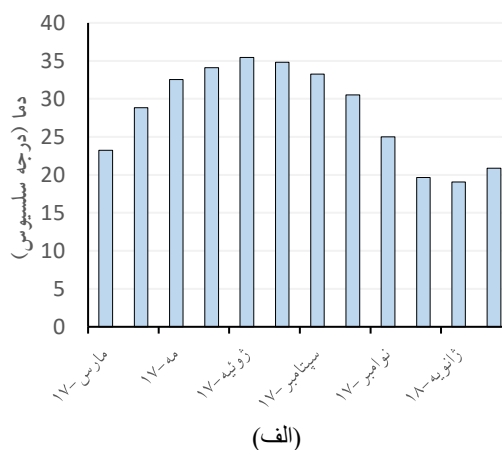
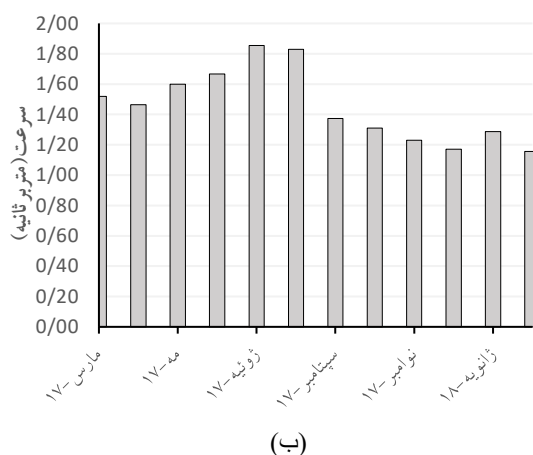
^۱ Air Quality Index

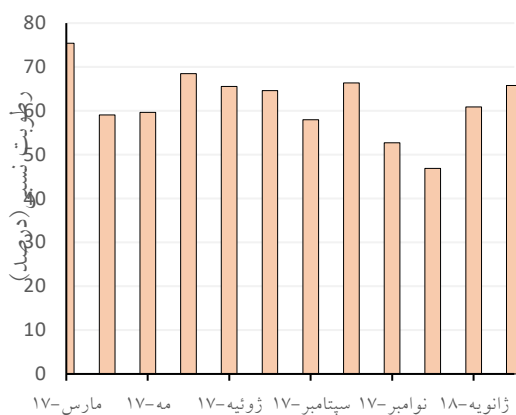
شکل‌گیری بیشتر نسیم دریا به خشکی در این فصول باشد. ماه‌های سرد سال مطابق شکل ۲-ج با داشتن میانگین فشاری ۱۰۱۴/۱۰ میلی‌بار پرفشارترین و ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت با داشتن میانگین فشاری ۹۹۵/۱۵ میلی‌بار کم‌فشارترین ماه‌ها در شهر بندرعباس می‌باشند. به‌طور کلی افزایش فشار در ماه‌های سرد سال (از اکتبر تا مارس) تحت تأثیر سامانه‌های پرفشار سبیری و کاهش فشار در ماه‌های گرم هم متعلق به تأثیر سامانه کم‌فشار فصلی است. بیشینه‌ی رطوبت نسبی در ماه‌های گرم (۶۶/۲۲٪) و کمینه‌ی مربوط به ماه‌های سرد (۵۷/۸۵٪) است. از دلایل افزایش رطوبت نسبی در ماه‌های گرم سال (مقارن با متأثر شدن منطقه از سامانه‌های کم‌فشار فصلی)، افزایش محتوای بخار آب به علت تبخیر سطحی و بالا رفتن ظرفیت نگهداری بخار آب است. معمولاً از ماه مه به بعد با توجه به تقویت نسیم دریا و همچنین تأثیر سامانه‌های موسمی و جریان‌های شرقی شاهد روند افزایشی در میزان رطوبت نسبی بخصوص در مناطق ساحلی هستیم. کمترین مقدار میانگین ماهیانه رطوبت نسبی با مقدار عددی ۴۶/۹۰٪ مربوط به ماه دسامبر مشاهده شد.

هواشناسی (باد، دما، فشار، رطوبت نسبی) طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ شد. گام بعدی مطالعه غلظت آلاینده‌های جوی (PM_{10} ، NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO ، $PM_{2.5}$) در ایستگاه منطقه ویژه طی دوره آماری یادشده بوده است.

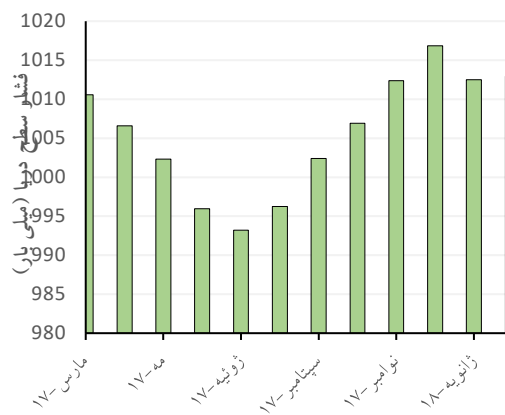
۳-۱- تغییرات ماهانه کمیت‌های هواشناسی و غلظت آلاینده‌های جوی

تغییرات ماهانه کمیت‌های دما، سرعت باد، فشار و رطوبت نسبی طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده گرم‌ترین ماه در بندرعباس ماه ژوئیه با میانگین دمایی ۳۵/۴۷ درجه سلسیوس و خنک‌ترین ماه در این شهر ماه ژانویه با میانگین دمایی ۱۹/۰۸ درجه سلسیوس است. نتایج بررسی تغییرات متوسط ماهانه سرعت باد در منطقه بندرعباس نشان داد، بیشترین مقادیر مربوط به ماه‌های گرم سال است و کمینه‌های سرعت در ماه‌های سرد اتفاق افتاده است، بیشینه متوسط سرعت در ماه ژوئیه ($1/85 m/s$) و کمینه آن در ماه فوریه ۲۰۱۸ ($1/16 m/s$) مشاهده شد. یکی از دلایل بیشتر بودن مقادیر متوسط سرعت در فصول گرم، می‌تواند به دلیل





(د)

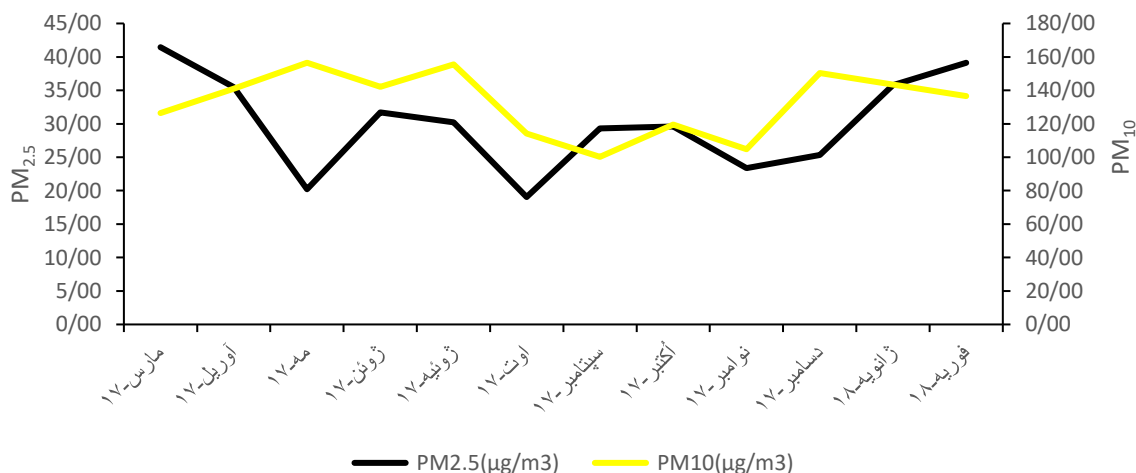


(ج)

شکل ۲. تغییرات ماهانه الف) دما، ب) سرعت باد، ج) فشار و د) رطوبت نسبی طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸

سپتامبر غلظت به $100/23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ افت پیدا کرده است و با شروع ماه‌های سرد دوباره شاهد روند افزایشی غلظت این آلاینده به مقدار بیشینه خود بوده‌ایم. بیشترین و کمترین غلظت ماهانه در سال ۲۰۱۷ به ترتیب متعلق به ماه مه با مقدار $156/52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و ماه سپتامبر با مقدار $100/23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است. بازه مورد مطالعه مقدار میانگین غلظت این آلاینده در ماه مه و اوت افزایش چشمگیری پیدا کرده است.

تغییرات ماهانه غلظت آلاینده PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ در شکل ۳ نشان داده شده است. در سال ۲۰۱۷ بیشینه متوسط غلظت PM_{10} متعلق به ماه‌های سرد (دسامبر، ژانویه و فوریه) با مقدار میانگین $143/46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، سپس ماه‌های مارس، آوریل و مه با مقدار میانگین $141/26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و بعد ماه‌های گرم (ژوئن، ژوئیه و اوت) با مقدار میانگین $137/25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است. با رسیدن ماه



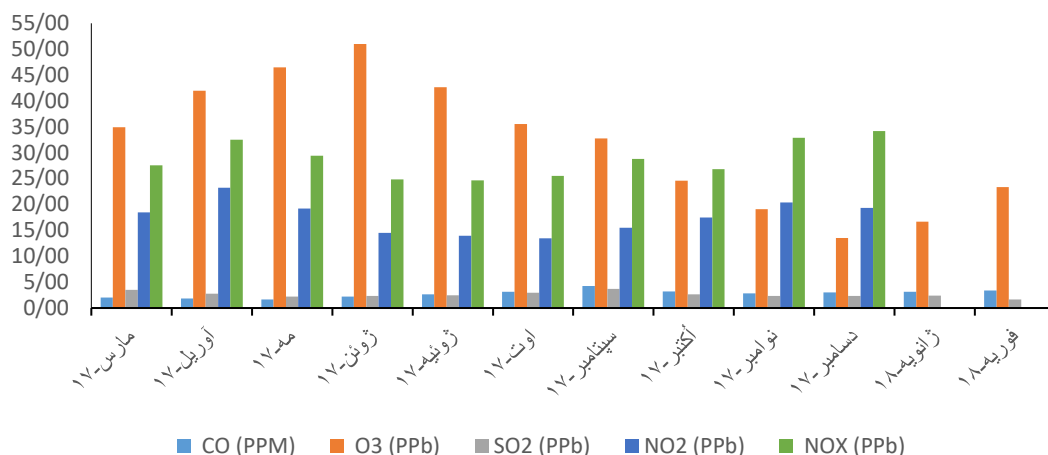
شکل ۳. تغییرات ماهانه غلظت آلاینده PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸

۲۰۱۷ نشان داد که در ماه سپتامبر بیشترین مقدار غلظت ($4/25 \text{ ppm}$) و در ماه مه ($1/68 \text{ ppm}$) کمترین مقدار غلظت این آلاینده مشاهده می‌شود. بیشترین و کمترین غلظت ماهانه

تغییرات ماهانه غلظت آلاینده‌هایگازی منتخب طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج تغییرات ماهانه غلظت آلاینده‌ی CO در سال

کمترین غلظت ماهانه O_3 به ترتیب متعلق به ماه‌های ژوئن و اوت $51/01$ ppb و دسامبر $13/55$ ppb بوده است. مطابق شکل در ماه سپتامبر بیشترین مقدار غلظت و در ماه فوریه کمترین مقدار غلظت SO_2 آلاینده مشاهده می‌شود.

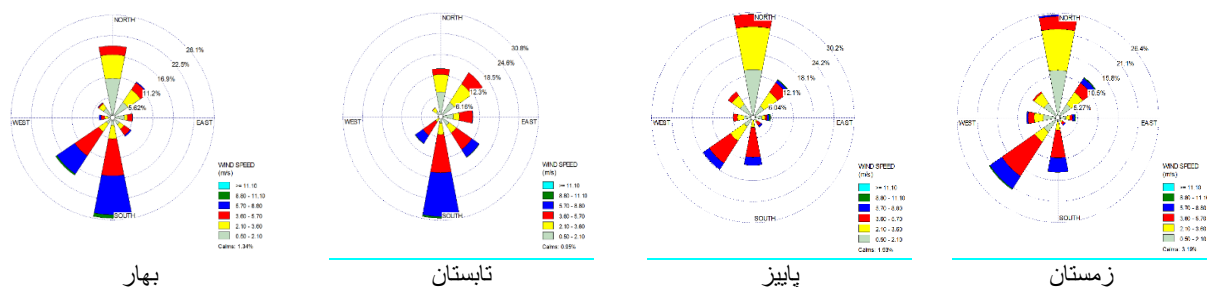
NO_2 در این سال به ترتیب متعلق به ماه آوریل ($23/55$ ppb) و اوت ($13/47$ ppb) است و برای آلاینده NOX به ترتیب برابر با $36/16$ ppb برای ماه دسامبر و $24/66$ ppb برای ماه ژوئیه است. این آلاینده از مارس تا دسامبر دارای نوسانات کوچکی بوده است. طی این دوره آماری بیشترین و



شکل ۴. تغییرات ماهانه غلظت آلاینده‌های منتخب طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸

متفاوت می‌باشند. در هنگام وزش تندبادهای شدید در فصول سرد در بندرعباس الگوی پرفشار و در فصول گرم (بهار و تابستان) الگوی کم‌فشار گرمایی در منطقه شکل می‌گیرد. در هر دو مورد شیو فشاری ایجاد شده عامل مهمی در شکل‌گیری تندبادهای شدید و گردوخاک‌های محلی هستند. شیو فشاری ناشی از ریزش هوای سرد در اثر هجوم پرفشار سیبری و کم‌فشار گرمایی جنوب کشور در فصول گرم سبب ایجاد و افزایش غلظت گردوخاک‌های محلی می‌شود.

گلبادهای فصلی (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸) در شکل ۵ نمایش داده شده است. به‌طور کلی جهت شدیدترین بادهای اتفاق افتاده در بندرعباس که با گردوخاک و افزایش گردوخاک همراه هستند در فصول سرد و گرم متفاوت می‌باشند. در فصل سرد (پاییز و زمستان) شدیدترین بادهای وزیده شده شمال شرقی و شمالی و در فصول گرم (بهار و تابستان) جنوبی و جنوب غربی می‌باشند. الگوی باد که در نتیجه آرایش فشاری منطقه است، در فصول سرد و گرم



شکل ۵. گلبادهای فصلی (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸)

۲-۳- همبستگی متوسط روزانه آلاینده‌های مختلف با کمیت‌های هواشناسی

همبستگی متوسط روزانه آلاینده‌های مختلف با کمیت‌های هواشناسی (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸) در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج تحلیل همبستگی برای آلاینده‌ی PM_{10} نشان داد در مقیاس روزانه این آلاینده با سرعت باد رابطه‌ی معنی‌دار و مثبت و با رطوبت نسبی و دید افقی رابطه‌ی معنی‌دار و معکوسی داشته است. آلاینده $PM_{2.5}$ در مقیاس روزانه

با رطوبت نسبی رابطه مستقیم و معنی‌دار و با دما و دید افقی رابطه معکوس و معنی‌داری نشان داد. CO با سرعت باد رابطه‌ی معکوس نشان داد. SO_2 نیز فقط با دما رابطه مستقیم و معنی‌داری نشان داد. آلاینده O_3 با دما و سرعت باد رابطه مستقیم و با فشار و دید افقی رابطه‌ی معکوس و معنی‌داری نشان داد. قوی‌ترین همبستگی با فشار و سپس با دما بوده است. آلاینده‌های NO_2 نیز با فشار رابطه‌ی مستقیم و معنی‌دار و با رطوبت نسبی رابطه معکوس و معنی‌داری نشان داد.

جدول ۳. همبستگی متوسط روزانه آلاینده‌های مختلف با کمیت‌های هواشناسی (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸).

		سرعت باد	رطوبت نسبی	فشار	دما	دید افقی
PM_{10}	ضریب همبستگی پیرسون	.200**	-.291**	-0.081	0.034	-.260**
	سطح معنی‌داری	0	0	0.135	0.531	0
	تعداد متغیرها	339	339	339	339	339
$PM_{2.5}$	ضریب همبستگی پیرسون	-0.032	.352**	0.1	-.185**	-.466**
	سطح معنی‌داری	0.559	0	0.064	0.001	0
	تعداد متغیرها	344	344	344	344	344
CO	ضریب همبستگی پیرسون	-.164**	0.044	0.066	-0.052	0.074
	سطح معنی‌داری	0.002	0.411	0.219	0.335	0.173
	تعداد متغیرها	344	344	344	344	344
O_3	ضریب همبستگی پیرسون	.409**	0.006	-.692**	.677**	-.337**
	سطح معنی‌داری	0	0.917	0	0	0
	تعداد متغیرها	344	344	344	344	344
SO_2	ضریب همبستگی پیرسون	0.06	0.029	-0.066	.144**	0.008
	سطح معنی‌داری	0.272	0.595	0.223	0.008	0.885
	تعداد متغیرها	342	342	342	342	342
NO_2	ضریب همبستگی پیرسون	-0.097	-.156**	.124*	-0.114	.154**
	سطح معنی‌داری	0.099	0.008	0.034	0.051	0.008
	تعداد متغیرها	293	293	293	293	293

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. ** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

۳-۳- رفتار شبانه‌روزی کمیت‌های هواشناسی و آلاینده‌ها در فصول مختلف (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸):

نتایج مقایسه الگوی روزانه‌ی آلاینده‌های مختلف نشان می‌دهد که در همه فصول، تمامی آلاینده‌ها به‌جز O_3 و SO_2 در طی ساعات شبانه‌روز دارای دو بیشینه‌اند که یکی در اوایل

صبح (حدود ۶ تا ۹ صبح) و دیگری در طی ساعات شب رخ می‌دهد، به‌طوری‌که از ساعت ۱۸-۱۷ بعدازظهر روند افزایشی در پیش گرفته و تا نیمه‌شب ادامه می‌یابند. برای آلاینده ازن در طول شب مقادیر کم و در طول روز مقادیر بالایی ملاحظه شد؛ به‌طوری‌که نمودار روزانه آن بیشینه این آلاینده را در ساعات ۱۱ تا ۱۵ ظهر نشان می‌دهد. در مورد

اکسیدهای نیتروژن که منشاء صنعتی دارند، واکنش‌های فوتوشیمیایی تولید ازن را تقویت می‌کند.

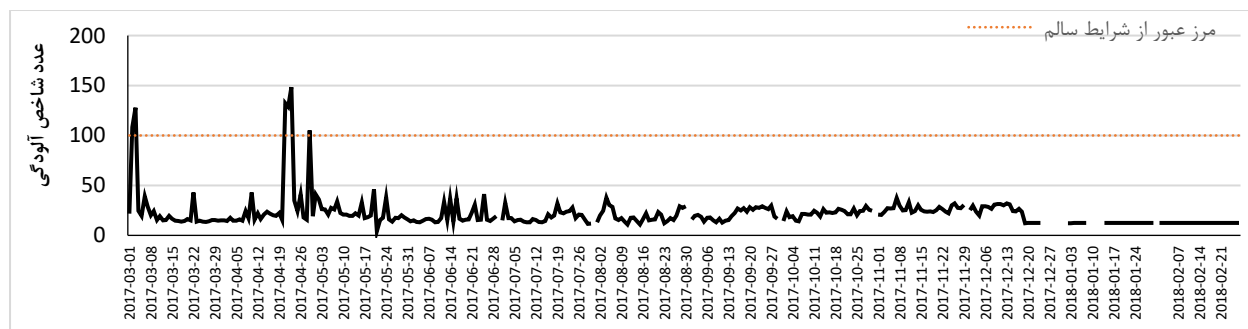
۳-۴- بررسی شاخص کیفیت هوا برای آلاینده‌های مختلف ایستگاه منطقه ویژه اقتصادی و خروج تعداد روزهای آلوده هر آلاینده طی دوره آماری (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸)

شکل‌های ۶ تا ۱۱ شاخص آلودگی هوا آلاینده‌های مختلف را طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که طی این دوره آماری، آلاینده CO به مدت پنج روز هوا را آلوده کرده است که بالاترین شاخص در تاریخ ۱۷ اوت با مقدار ۲۰۹ است. در مورد آلاینده NO₂ نیز مشاهده می‌شود که آلاینده NO₂ نیز شش روز بهاری در سال ۲۰۱۷ را در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس قرار داده است که بیشترین شاخص در ۲۳ آوریل با مقدار ۱۴۸ ثبت شد. خوشبختانه آلاینده SO₂ به صورت روزانه در این دوره آماری، در هیچ روزی وضعیت کیفی هوا را از شرایط سالم عبور نداده است. بررسی شاخص کیفیت هوا برای آلاینده O₃ نشان داد که طی این دوره آماری یک‌ساله، این آلاینده ۵۰ روز باعث آلودگی کیفیت هوا شده که بیشتر روزهای آلوده در فصول گرم سال (از مارس تا ژوئیه) بوده‌اند؛ هرچند که در ماه سپتامبر نیز ۴ روز آلوده مشاهده شد. همان‌طور که از نمودار شاخص این آلاینده پیداست، ملاحظه می‌شود که بیشترین تعداد روزهای آلوده متعلق به ژوئن و ژوئیه بوده است و بخصوص در ماه‌های مه، ژوئن و ژوئیه مقادیر بیشتر شاخص مشاهده می‌شود. این آلاینده نیز بیشتر کیفیت هوا را در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس (۲۹ روز) قرار داده است، اما نتایج تعداد روزهای ناسالم (۱۳ روز) و بسیار ناسالم (۸ روز) را نیز نشان می‌دهند؛ به طوری که بیشترین مقادیر شاخص (۲۰۲ تا ۲۰۵) در روزهای ماه ژوئن ۲۰۱۷ در مرحله بسیار ناسالم نیز رسیده است. بیشترین شاخص ازن با مقدار

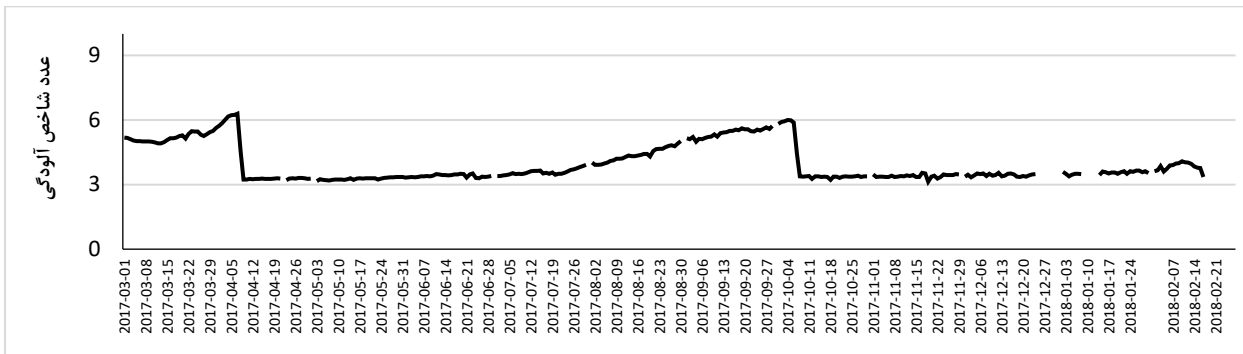
آلاینده SO₂ با توجه به این که اطلاعات این آلاینده بسیار پراکنده و مقادیر نزدیک به هم ثبت شده بودند، نتیجه قابل توجهی گرفته نشد و طی هر فصل نوسانات متفاوتی نشان داد. با توجه به رفتار روزانه آلاینده‌ها قابل توجه است؛ به این صورت که بیشینه‌ی تمامی این آلاینده‌ها به جز آلاینده‌ی ازن، با افت سرعت باد همراه بوده است. یکی از دلایل بیشینه شبانگاهی آلاینده‌ها وارونگی دمایی، کاهش سرعت باد، افزایش فشار، پایداری شبانه و کاهش ارتفاع لایه مرزی به خصوص در فصل زمستان است که آلاینده‌های هوا در زیر این لایه به دام می‌افتند. با توجه به نزدیکی ایستگاه به منابع آلاینده و خشکی هوا در ساعات شب، ماندگاری آلودگی و بیشینه‌های شبانه قابل انتظار است. وجود بیشینه در ساعات اولیه صبح می‌تواند به دلیل ماندگاری آلودگی شبانه و افت سرعت باد باشد؛ همچنین این بیشینه‌های صبحگاهی تا حدودی به دلیل تردد خودروهای ایاب و ذهاب کارکنان نیز است که در کنار سرعت کم باد (تا قبل از ساعت ۸ صبح که هنوز سرعت باد افزایش قابل ملاحظه‌ای نیافته است) غلظت این آلاینده‌ها را افزایش می‌دهد. از ساعت ۱۰ صبح به بعد که تابش بیشتر شده، با ایجاد نسیم دریا به خشکی، سمت باد جنوبی و سرعت باد بیشتر می‌شود، لایه مرزی ناپایدار شده و آلاینده‌ها مقادیر کمتری دارند، البته این شرایط معرف الگوی میانگین شبانه‌روزی آلاینده‌هاست؛ چرا که به طور طبیعی در مواقعی در ساعات روز به دلیل تخلیه و بارگیری و سوخت‌گیری کشتی‌ها و تردد ماشین‌آلات سنگین در اسکله، حجم تردد بالای وسایل نقلیه موتوری، مقادیر بالایی مشاهده می‌شود که ممکن است به صورت لحظه‌ای غلظت آلاینده‌ها را تا حد زیادی بالا ببرند؛ اما با توجه به نزدیکی ایستگاه موردنظر به دریا، این آلاینده‌ها اغلب به علت سرعت بالاتر (نسیم دریا به خشکی) پراکنده می‌شوند و ماندگار نیستند. علت بیشینه ازن در ساعات بعدازظهر شدت تابش و افزایش دماست که در کنار سایر آلاینده‌ها مثل هیدروکربن‌های نسوخته و

وضعیت خطرناک قرار داده است. هرچند افزایش تعداد روزهای آلوده ذرات معلق تا حدود زیادی مربوط به ماهیت فعالیت‌های موجود در منطقه ویژه اقتصادی بوده، اما در برخی از این روزها می‌توان احتمال تأثیر سامانه‌های بزرگ مقیاس را در نظر گرفت که ممکن است در کنار فعالیت‌های صنعتی مقادیر شاخص را به مراحل بسیار ناسالم و خطرناک برسانند. محاسبه شاخص کلی کیفیت هوا ایستگاه پایش منطقه ویژه به‌طور واضح نشان می‌دهد که وضعیت کیفیت هوا در منطقه ویژه چندان مناسب نیست. بررسی کلی آلاینده‌ها اعم از آلاینده‌های گازی (CO, NO_2, SO_2, O_3) و ذرات معلق ($PM_{10}, PM_{2.5}$) نشان داد که از ۳۴۴ روز دارای داده‌ی ثبت‌شده آلودگی، ۱۹۸ روز کیفیت هوا سالم نیست و در مرحله‌ی هشدار قرار گرفته است. همچنین طبق بررسی بیشترین آلودگی نیز متعلق به ذرات معلق است. شرایط اقلیمی منطقه، کاهش بارش و سست بودن خاک از جمله دلایل افزایش فراوانی PM_{10} شده است.

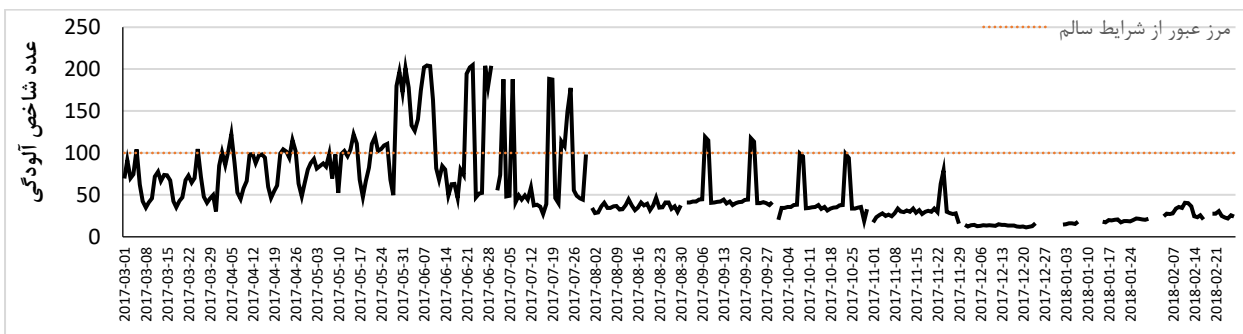
۲۰۵ در ۲۳ ژوئن مشاهده شد که کیفیت هوا را در وضعیت بسیار ناسالم قرار داده است. نتایج نشان داد که طی این دوره آماری یک‌ساله، آلاینده $PM_{2.5}$ ، ۱۲۲ روز را آلوده کرده است، فراوانی روزهای آلوده این آلاینده در همه فصول مشاهده می‌شود. این آلاینده در روزهای بحرانی خود کیفیت هوا را بیشتر در مرحله‌ی ناسالم برای گروه‌های حساس نگه داشته است، اما در ۶ روز وضعیت هوا را در شرایط ناسالم نیز قرار داده است. بیشترین مقادیر شاخص این آلاینده با مقدار ۱۵۸ و ۱۵۶ به ترتیب در ۱۸ فوریه ۲۰۱۸ و ۲۴ دسامبر سال ۲۰۱۷ هستند. نتایج نشان می‌دهد فراوانی و تداوم روزهای آلوده PM_{10} در همه فصول مشاهده می‌شود. در واقع مشاهده می‌شود که مقادیر شاخص برای این آلاینده همواره در مرز قرار دارند و حتی اگر از شرایط سالم فراتر نرفته‌اند اما حالت نوسانی داشته‌اند. این آلاینده ۸۲ روز را در طول سال آلوده کرده که ۷۰ روز آن وضعیت کیفی را در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس، ۹ روز ناسالم، ۲ روز بسیار ناسالم و یک روز (۲۴ ژوئن ۲۰۱۷) با مقدار عددی شاخص ۳۵۰ در



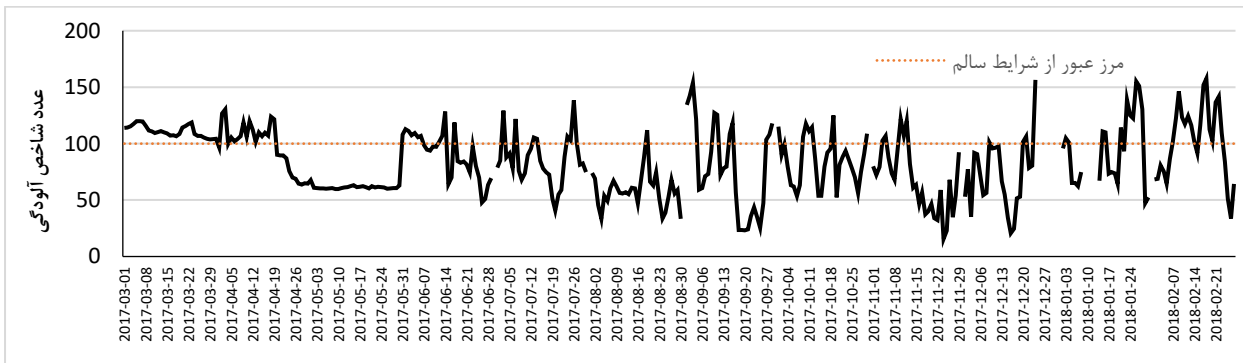
شکل ۶. شاخص آلودگی هوا آلاینده CO برحسب ppm طی دور آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸



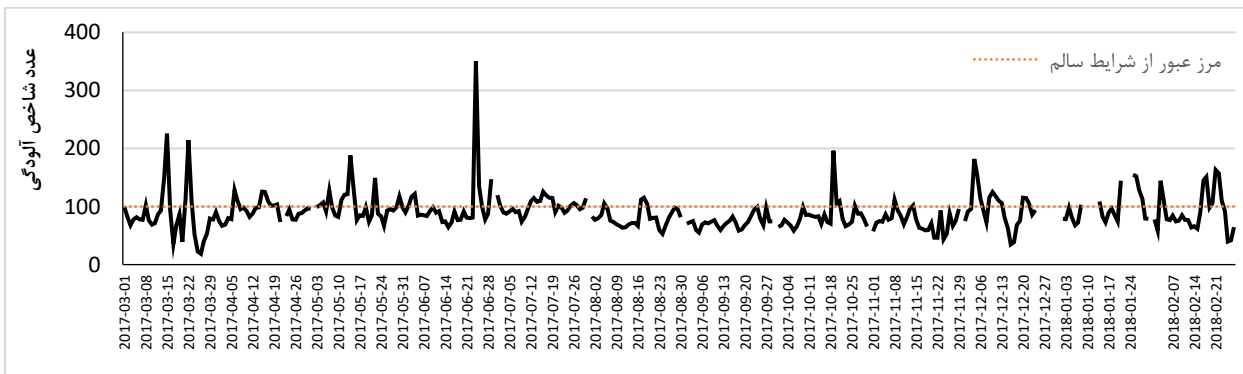
شکل ۷. شاخص آلودگی هوا آلاینده NO2 برحسب ppm طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸



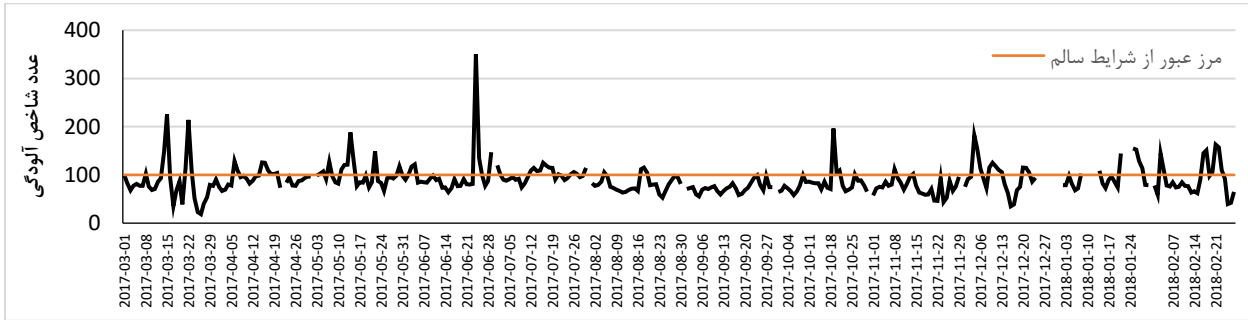
شکل ۸. شاخص آلودگی هوا آلاینده SO2 برحسب ppm طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸



شکل ۹. شاخص آلودگی هوا آلاینده O3 برحسب ppm طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸



شکل ۱۰. شاخص آلودگی هوا آلاینده PM2.5 برحسب میکروگرم بر مترمکعب طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸

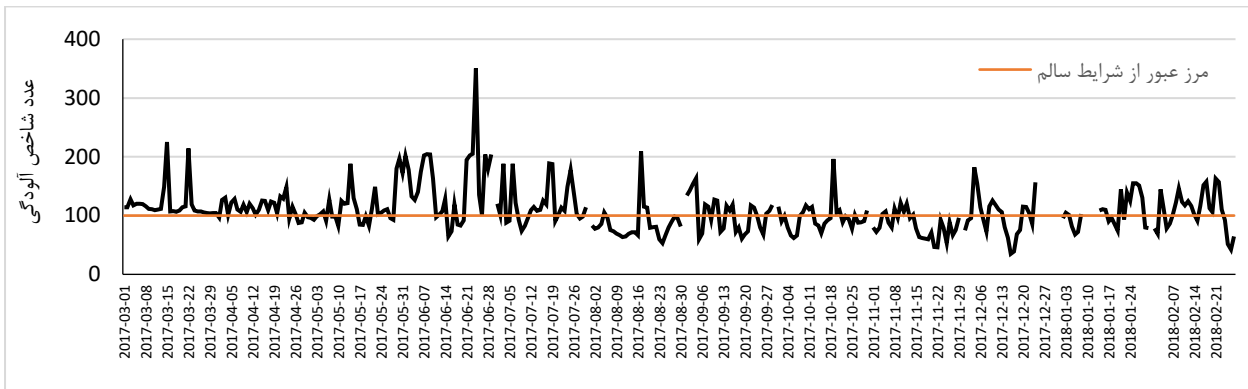


شکل ۱۱. شاخص آلودگی هوا آلاینده PM10 برحسب میکروگرم بر مترمکعب طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸

آلاینده‌ها، برای ایستگاه منطقه ویژه اقتصادی به دست آمده که در شکل زیر نشان داده شده است.

۳-۵- تعیین سطح کیفیت هوا بر اساس شاخص نهایی کل طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸

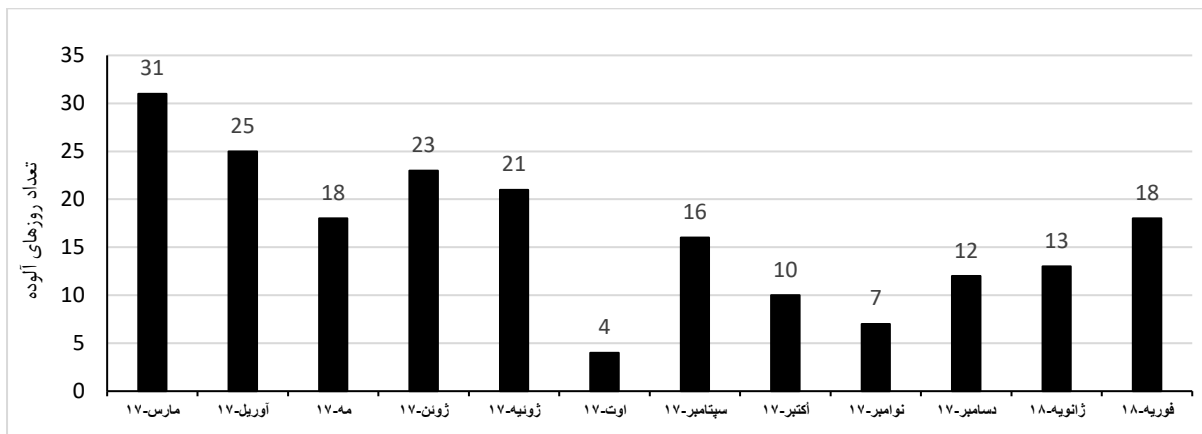
درنهایت، شاخص نهایی کیفیت هوا در هر روز، با انتخاب بیشترین AQI از بین شاخص‌های به دست آمده تمامی



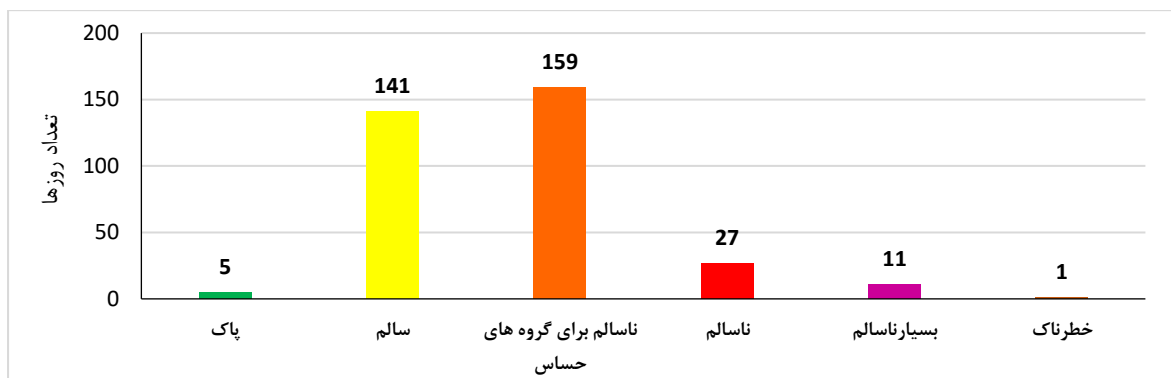
شکل ۱۲. شاخص نهایی کیفیت هوا ایستگاه منطقه ویژه اقتصادی طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸

افزایش فراوانی PM10 شده است. شکل ۱۳ بر اساس نتایج حاصل از استخراج شاخص نهایی آلاینده به دست آمده است. مطابق این شکل در مارس ۲۰۱۷ بیشترین تعداد روزهای آلوده به ثبت رسیده است. در طول دوره آماری مورد مطالعه ۱۹۸ روز آلوده ثبت شده است که ۱۵۹ روز آن در بیشترین تعداد محدوده ناسالم برای گروه‌های حساس، ۲۷ روز در محدوده ناسالم، ۱۱ روز در محدوده بسیار ناسالم و ۱ روز در محدوده خطرناک بوده است. نتایج در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

محاسبه شاخص کلی کیفیت هوا ایستگاه پایش منطقه ویژه به طور واضح نشان می‌دهد که وضعیت کیفیت هوا در منطقه ویژه چندان مناسب نیست. بررسی کلی آلاینده‌ها اعم از آلاینده‌های گازی (CO, NO₂, SO₂, O₃) و ذرات معلق (PM₁₀, PM_{2.5}) نشان داد که از ۳۴۴ روز دارای داده‌ی ثبت شده آلودگی، ۱۹۸ روز کیفیت هوا سالم نیست و در مرحله هشدار قرار گرفته است. همچنین طبق بررسی بیشترین آلودگی نیز متعلق به ذرات معلق است. شرایط اقلیمی منطقه، کاهش بارش و سست بودن خاک از جمله دلایل



شکل ۱۳. تعداد روزهای آلوده نهایی براساس شاخص کل به تفکیک هر ماه طی دوره آماری مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸



شکل ۱۴. وضعیت کیفیت هوای بندرعباس (مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸)

۴. نتیجه گیری

شهری و منطقه ویژه صنعتی بندرعباس، نشان داد بیشترین تعداد روزهای آلوده متعلق به آلاینده $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و سپس O_3 بوده است و آلاینده های CO ، SO_2 و NO_2 سهم کمتری در آلودگی داشته اند، در این بین نیز PM_{10} و $PM_{2.5}$ ، شاخص ترین آلاینده های شهر بندرعباس بوده اند. نتایج تحلیل همبستگی متوسط روزانه آلاینده PM_{10} نشان داد، در مقیاس روزانه این آلاینده با سرعت باد رابطه ای معنی دار و مثبت و با رطوبت نسبی و دید افقی رابطه ای معنی دار و معکوسی داشته است. آلاینده $PM_{2.5}$ با دما و دید افقی رابطه معکوس و معنی داری نشان داد. این ذرات می توانند به صورت ثانویه تولید شوند و با توجه به اینکه نسبت به ذرات بزرگ تر ماندگاری بیشتری در جو دارند، غلظت بالایی را در این منطقه به خود اختصاص داده اند. آلاینده O_3 با دما و سرعت باد رابطه مستقیم و با فشار، دید افقی و رطوبت نسبی رابطه ای

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت آلودگی شهر بندرعباس، از داده های هواشناسی و غلظت آلاینده های هوا استفاده شده است. با استفاده از داده های دیدبانی هواشناسی شامل باد، دما، فشار، رطوبت نسبی و دید افقی از ایستگاه هواشناسی همدیدی بندرعباس و غلظت آلاینده های جوی شامل PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، SO_2 ، O_3 و NO_2 از ایستگاه واقع در منطقه ویژه اقتصادی، طی دوره آماری یک ساله (از مارس ۲۰۱۷ تا فوریه ۲۰۱۸) مطالعات رفتاری به صورت فصلی، ماهانه و روزانه در فصول مختلف انجام پذیرفته است. روابط آلاینده ها و کمیت های هواشناسی از طریق تحلیل ضرایب همبستگی بررسی شد. همچنین با محاسبه شاخص کیفیت هوا، وضعیت روزانه ای کیفیت هوا و آلاینده شاخص هر روز نیز مشخص شد. بررسی شاخص کیفیت هوا در مناطق

های زیرزمینی متروی شهر تهران و مقایسه آن با غلظت های محیطی.

۲. حیدری، م.، و حیدری نژاد، ض.، و علیپور، و.، و دیندارلو، ک.، و رحمانیان، ا.، و گودرزی، ب.، و موسی پور، ح. (۱۳۹۶)، ارزیابی کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا در شهر کرمان در سال ۱۳۹۴: پژوهش در بهداشت محیط، ۳(۳)، ۲۰۸-۲۱۸.

۳. خراسانیان، ز.، و میرقعی دینان، ن.، و صوفی زاده، س.، و رسول زاده، ر. (۱۳۹۸)، ارزیابی اثربخشی برنامه های کنترل آلودگی هوا در تهران با استفاده از تجزیه و تحلیل روند کیفیت هوا. علوم محیطی، ۱۷(۱)، ۲۳۹-۲۵۲.

۴. روحانی مقدم، م.، (۱۳۹۸)، پایش کیفیت هوای شهر رفسنجان در بازه یک ساله ۹۶-۱۳۹۵: یک گزارش کوتاه. مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، دوره ۱۷.

۵. سلیقه، م.، کاخکی مهنه، ح.، (۱۳۹۴)، بررسی روابط بین عناصر آب و هوایی و نوسانات آلودگی هوا، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهاردهم، تابستان ۹۴.

۶. گلکار، ف و فرهمند، ع ، (۱۳۸۹)، آلودگیهای محیط زیست، تهران، انتشارات ماندگار.

۷. محبوب فر، م.، و رامشت، م.، و یزدان پناه، ح.، و اذانی، م. (۱۳۹۷)، بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان. مدیریت شهری، ۱۷(۵۰)، ۳۲۳-۳۳۶.

۸. محمدی، ن.، و ظروفچی بنیس، خ.، و شاکری، م.، و شاکر خطیبی، م.، و فاتحی فر، ا.، و محمودیان، ا. (۱۳۹۶) تحلیل ارتباط بین ازن سطحی و اکسیدهای نیتروژن در هوای شهر تبریز. مهندسی عمران و محیط زیست (دانشکده فنی)، ۴۷(۱) (پیاپی ۸۶)، ۱۰۷-۱۱۴.

۹. محمدی، ن.، (۱۳۹۶) تحلیل ارتباط بین ازن سطحی و اکسیدهای نیتروژن در هوای شهر تبریز. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز. 114, 47.1(86).

معکوس و معنی داری نشان داد. قوی ترین همبستگی ازن با فشار و سپس با دما بوده است که حاکی از تطابق آن با تقویت کم فشارهای گرمایی در فصول گرم سال است. آلاینده NO_2 تقریباً در همه فصول طی ساعات روز با سرعت باد و دما رابطه منفی و با فشار رابطه مثبت نشان داد. این همبستگی ها در فصول سرد قوی تر بوده اند، به این معنی که آلاینده مذکور در شب های سردتر دارای غلظت بالاتری بوده است. این آلاینده فقط در فصول سرد طی ساعات روز با رطوبت نسبی رابطه معکوس نشان داده است. آلاینده SO_2 در حین روز در همه فصول با رطوبت نسبی رابطه معنی دار و مثبت داشته، این آلاینده با دما در تابستان رابطه منفی و در زمستان مثبت و با فشار در فصل تابستان رابطه مثبت و در زمستان رابطه منفی نشان داده است. نتایج بررسی تغییرات شبانه روزی PM_{10} دو الگوی متفاوت را در فصول گرم و سرد نشان داده است. در فصول سرد غلظت این آلاینده در ساعات صبح و در فصول گرم در ساعات بعدازظهر بیشتر بوده است. بندرعباس در فصول گرم سال با توجه به برخورداری از نسیم دریا به خشکی (باد جنوبی)، شاهد غبار عصرگاهی و در فصول سرد سال تحت تأثیر سامانه های پرفشار دارای غبار صبحگاهی است. یکی از دلایل افزایش غلظت PM_{10} در بندرعباس کاهش بارش طی سالیان اخیر بوده است که به دلیل شرایط خاص منطقه (نظیر سست بودن خاک) وزش هر باد سطحی سبب خیزش و افزایش غلظت گرد و خاک در هوا می شود. با توجه به رابطه مستقیم ازن با دما، علت بیشینه ازن در ساعات بعدازظهر شدت تابش و افزایش دماست که در کنار سایر آلاینده ها مثل هیدروکربن های نسوخته و اکسیدهای نیتروژن که منشاء صنعتی دارند، واکنش های فوتوشیمیایی تولید ازن را تقویت می کند. تاکنون مسبب اصلی آلودگی شهری در شهر بندرعباس فراوانی دو آلاینده ذره ای PM_{10} و $\text{PM}_{2.5}$ بوده است و این شرایط نیز وابسته به سامانه های هواشناسی و وضعیت اقلیمی منطقه است.

۵. مراجع

۱. بلورچی، آ.، عتابی، ف و معطر، ف.، علی احیایی، م. (۱۳۹۹)، بررسی میزان غلظت ذرات معلق در ایستگاه

۱۰. ندافی، ک.ک.، یونسیان، م.م. (۱۳۹۱) راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا، انتشارات پژوهشکده محیط زیست تهران.

۱۱. یآوری، ح.، و نجارسلیمه، م. (۱۳۹۰) سطوح وارونگی در آلودگی های شهر تهران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۱۷(۲۰)، ۸۹-۱۰۵.

12. Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet no. 313. Updated March (2014). Geneva: World Health Organization.
13. Huang F, Li X, Wang C, Xu Q, Wang W, Luo Y, et al.(2015) PM2.5 Spatiotemporal Variations and the Relationship with Meteorological Factors during 2013-2014 in Beijing, China Journal of Plos One. 2015:3:1-17.
14. Im U, Incecik S, Guler M, Tek A, Topcu S, Unal YS, Yenigun O, Kindap T, Odman MT, Tayanc M,(2013) "Analysis of surface ozone and nitrogen oxides at urban, semi-rural and rural sites in Istanbul, Turkey", Science of The Total Environment, 2013: 443, 920-931.
15. Nishanth T, Satheesh Kumar MK, Valsaraj KT, (2012) "Variations in surface ozone and NOx at Kannur: a tropical, coastal site in India", Journal of Atmospheric Chemistry, 69 (2), 101-126.
16. Rasheed A, P.Aneja V, Aiyyer A, Rafique U.(2015) Measurement and Analysis of Fine Particulate Matter (PM2.5) in Urban Areas of Pakistan. Journal of Aerosol and Air Quality Research. 2015:15:426-39.
17. Susaya J, Kim KH, Shon ZH, Brown RJC, (2013) "Demonstration of long-term increases in tropospheric O3 levels: Causes and potential impacts", Chemosphere, 92 (11), 1520-1528.
18. Stull R, (1988) "Meteorology for scientists and Engineers".