



Exploring air quality and industrial pollution sources in Bandar Abbas city: A three-year analysis (2020-2023)

Zahra Khebri¹ | Afshin Danehkar^{2✉} | Farhad Nejadkorki³ | Fateme Sadeghian⁴

1. Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: z.khebri@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: danehkar@ut.ac.ir

3. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Desertology, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: f.nejadkorki@yazd.ac.ir

4. Department Environmental Science, Arman Sabz Mohit Researchers Company, Yazd University Technology and Innovation Center, Yazd Science and Technology Park, Yazd, Iran. E-mail: f.sadeghian1367@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The Air Quality Index (AQI) serves as a crucial indicator for assessing daily air quality, informing individuals about cleanliness or pollution levels, and highlighting associated health impacts. This study delves into the dynamics of air quality in Bandar Abbas city over a three-year span from 2020 to 2023, exploring its correlation with meteorological factors. AQI data (For 11:00 AM and 11:00 PM every day) sourced from Bandar Abbas' air pollution monitoring station were analyzed alongside meteorological parameters such as wind speed, wind direction, cloud cover, temperature, and humidity obtained from the University of Iowa website. Statistical analyses were conducted using SPSS software version 27. Results revealed direct relationships between AQI and wind direction, as well as temperature, and an inverse correlation with cloud cover at daytime. Moreover, AQI exhibited significantly higher levels during summer compared to other seasons. Additionally, a significant relationship was observed between the concentrations of O ₃ and SO ₂ and wind direction at nighttime. The study identified prominent sources of industrial pollution, including Setare Khalij Fars Refinery, Bandar Abbas Refinery, Al Mahdi Aluminum, Hormozgan Steel, Kaveh Steel, and Bandar Abbas Thermal Power Plant, primarily situated to the west of the city. Acknowledging the significant impact of wind direction on AQI, the study underscores the importance of considering both the prevailing wind direction and the distance of pollutant sources from the city in industrial site selection, especially in light of the region's complex topography.
Article history: Received 01 November 2023 Received in revised form 30 April 2025 Accepted 01 May 2025 Published online 01 July 2025	
Keywords: AQI, Air pollution, Polluting industries, Wind direction.	

Cite this article: Khebri, Z., Danehkar, A., Nejadkorki, F., & Sadeghian, F. (2025). Exploring air quality and industrial pollution sources in Bandar Abbas city: A three-year analysis (2020-2023). *Journal of Natural Environment*, 78 (Monitoring and Management of Natural Environmental Pollutants), 1-17.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.367551.2618>



بررسی کیفیت هوا و منابع آلودگی صنعتی در شهر بندرعباس: تحلیل سه ساله (۱۳۹۹-۱۴۰۱)

زهرا خبری^۱ | افشین دانه کار^۲ | فرهاد نژادکورکی^۳ | فاطمه صادقیان^۴

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: z.khebri@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: danehtar@ut.ac.ir
۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: f.nejadkoorki@yazd.ac.ir
۴. گروه محیط زیست، شرکت پژوهندگان آرمان سبز محیط، مرکز فناوری و نوآوری دانشگاه یزد، پارک علم و فناوری یزد، یزد، ایران. رایانامه: f.sadeghian1367@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	شاخص کیفیت هوا جهت گزارش روزانه کیفیت هوا استفاده می شود، پاک بودن یا آلوده بودن هوا و اثرات سلامتی مرتبط با آن را به مردم نشان می دهد. به همین منظور بررسی تغییرات کیفیت هوای شهر بندرعباس و همبستگی آن با پارامترهای هواشناسی طی سال های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ محور توجه این مطالعه بوده است. داده های شاخص کیفیت هوا (برای ساعت ۱۱ صبح و ۱۱ شب هر شبانه روز) از ایستگاه پایش آلودگی هوای بندرعباس و داده های هواشناسی برای ساعت های مذکور (شامل سرعت باد، جهت باد، پوشش ابر، دما و رطوبت) از سایت دانشگاه آيووا اخذ شد. برای محاسبات آماری از ویرایش ۲۷ نرم افزار SPSS استفاده گردید. نتایج روزانه نشان داد که شاخص کیفیت هوا با جهت باد و دما ارتباط مستقیم و با پوشش ابر ارتباط معکوس داشته و این شاخص در تابستان به طور معنی داری بیشتر از سایر فصل ها است. نتایج نشان داد غلظت ازن و دی اکسید گوگرد در شب با جهت باد ارتباط معنی دار داشته است. مهمترین کانون های بالقوه آلودگی صنعتی در محدوده مورد مطالعه شامل پالایشگاه ستاره خلیج فارس، پالایشگاه بندرعباس، آلومینیوم المهدی، فولاد هرمزگان، فولاد کاوه و نیروگاه حرارتی بندرعباس شناسایی شدند که در غرب شهر قرار دارند. با توجه به ارتباط قوی بین جهت باد و شاخص کیفیت هوا، فاصله کانون های آلاینده از شهر به همان میزان جهت باد غالب، اهمیت دارد. بنابراین در مکان یابی صنایع باید علاوه بر جهت باد غالب، فاصله بهینه از شهر نیز با توجه به پیچیدگی توپوگرافی در نظر گرفته شود.
کلیدواژه ها: AQI آلودگی هوا، جهت باد، صنایع آلاینده.	

استناد: خبری، زهرا؛ دانه کار، افشین؛ نژادکورکی، فرهاد؛ و صادقیان، فاطمه (۱۴۰۴). بررسی کیفیت هوا و منابع آلودگی صنعتی در شهر بندرعباس: تحلیل سه ساله (۱۳۹۹-۱۴۰۱). محیط زیست طبیعی، ۷۸ (ویژه نامه پایش و مدیریت آلاینده های محیط زیست طبیعی)، ۱۷-۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.367551.2618>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

آلاینده‌های هوا بر سلامت انسان‌ها، گیاهان، ساختمان‌ها، جانوران، رودخانه‌ها و محیط‌زیست اثرات منفی زیادی از جمله انواع بیماری‌های سرطانی، چشمی و اختلالات تنفسی، جهش ژنی، تولید باران‌های اسیدی و تشکیل ازن در سطح تروپوسفر، دارند. یکی از راهکارهای مؤثر جهت کنترل کیفیت هوا، تعیین میزان واقعی آلاینده‌ها و تشریح کیفیت هوا در مقایسه با مقدار استاندارد است (Shafieivarzaneh and Emamimeybodi, 2016). مدیریت پایش و نظارت بر کیفیت هوا در شهرهای بزرگ داده‌های کیفیت هوا را به شاخص کیفیت هوا تبدیل و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار عموم مردم قرار می‌دهد. شاخص کیفیت هوا (AQI)^۱ جهت گزارش روزانه کیفیت هوا استفاده می‌شود، پاک بودن یا آلوده بودن هوا و اثرات سلامتی مرتبط با آن را به مردم نشان می‌دهد. شاخص کیفیت هوا برای پنج آلاینده اصلی هوا، از جمله ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن، ازن سطح زمین، مونوکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد محاسبه می‌شود. این شاخص به شش طبقه تقسیم‌بندی شده که هر طبقه را به سطوح مختلف سلامت مرتبط می‌سازد. محدوده این شاخص بین ۰ تا ۵۰۰ است. هر چه این مقدار بالاتر باشد، آلودگی هوا بیشتر و اثر آن بر سلامتی انسان بیشتر است. مقدار شاخص ۱۰۰ بیانگر مقدار مجاز آلاینده‌ها طبق استانداردهای ملی کشور است. مقادیر کمتر از ۱۰۰ قابل قبول فرض می‌شوند؛ اما با عبور شاخص از ۱۰۰، کیفیت هوا ناسالم خواهد شد (Horn and Dasgupta, 2024). ارتباط شاخص کیفیت هوا با سطوح سلامتی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌های شاخص کیفیت هوا و ارتباط آن با سطح اهمیت بهداشتی و رنگ‌های مربوط با آن (Horn and Dasgupta, 2024)

شاخص کیفیت هوا	کیفیت هوا	رنگ‌ها
۰-۵۰	پاک	سبز
۵۱-۱۰۰	قابل قبول	زرد
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس	نارنجی
۱۵۱-۲۰۰	ناسالم	قرمز
۲۰۱-۳۰۰	بسیار ناسالم	بنفش
بالتر از ۳۰۰	خطرناک	قرمز تیره

در شهرهای با جمعیت بیش از ۳۵۰ هزار نفر، سازمان‌های متولی باید AQI را به‌صورت روزانه به عموم مردم گزارش دهند (Environmental Research Institute, 2011). به‌منظور محاسبه AQI در یک شهر، در مرحله اول غلظت ذرات معلق، ازن سطح زمین، مونوکسیدکربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسیدگوگرد توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا موجود در سطح شهر اندازه‌گیری می‌شود. سپس داده‌های خام حاصل از ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا به‌مقادیر AQI جداگانه برای هر آلاینده تبدیل می‌شود. سپس بالاترین مقدار AQI محاسبه‌شده در هر ایستگاه به‌عنوان مقدار AQI آن ایستگاه گزارش می‌شود. پس از آنکه بالاترین مقدارهای AQI برای هر ایستگاه سنجش محاسبه شد، باید بالاترین مقادیر AQI تمامی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا سطح شهر با همدیگر مقایسه شده و بیشترین مقدار AQI در بین تمامی ایستگاه‌ها به‌عنوان مقدار AQI آن شهر گزارش گردد (Environmental Research Institute, 2011). بررسی و تحلیل این شاخص در مطالعات زیادی استفاده شده است. Lorestani و همکاران (۲۰۰۸) جهت تعیین سهم منابع مختلف در آلودگی هوای شهر بندرعباس، ضمن انجام نمونه‌برداری کاملاً تصادفی از خروجی اگزوز ۲۰۰ دستگاه خودروی عمومی و ۵۰ دستگاه خودروی مزایده‌ای مدل ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۲، اقدام به استقرار ۱۰ ایستگاه اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های هوا در سطح شهر گردید. نتایج حاصل نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها به‌خصوص ایستگاه‌های میدان اسکله شهید باهنر، چهارراه مرادی و چهارراه رسالت، شاخص نهایی کیفیت هوا بالاتر از حد استاندارد بوده و در بیشتر روزها کیفیت بهداشتی هوای این شهر در گستره غیربهداشتی قرار داشته است. همچنین آلاینده‌های O₃ و CO سهم تقریباً برابری در تجاوز کیفیت بهداشتی از حد استاندارد داشته و به‌عنوان آلاینده مسئول شناخته شده‌اند. این امر بیانگر آن است که علاوه بر منابع آلاینده متحرک (وسایل نقلیه)، منابع آلاینده ثابت (صنایع) نیز سهم مهمی در آلودگی هوای شهر بندرعباس دارا هستند. که یکی از دلایل آن استقرار صنایع مختلف در اطراف شهر بندرعباس و تولید مقادیر فراوانی گازهای آلاینده به‌خصوص دی‌اکسید

¹Air Quality Index

ازت توسط این صنایع است. Toulabi و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به بررسی شاخص کیفیت هوا در محدوده پالایشگاه بندرعباس پرداختند، نتایج نشان داد از بین آلاینده های مورد مطالعه، مقدار PM_{10} و SO_2 در بعضی از روزها، از حداکثر غلظت مجاز استاندارد هوای آزاد بیشتر بود. بیشترین AQI منتج از حداکثر غلظت PM_{10} به میزان بیش از ۳۰۰، در مرداد ماه و بیشترین AQI منتج از SO_2 به میزان بیش از ۳۰۰ و در شهریورماه به ثبت رسید، اما دیگر آلاینده ها بیشترین غلظت را در تیرماه داشتند. Ataei و Hasheminasab (۲۰۱۱) به منظور بررسی تأثیرگذاری شرایط هواشناسی بر افزایش و کاهش آلودگی از فراسنج های دما، باد، رطوبت نسبی، بارش و فشار در ارتباط با عمده ترین آلاینده ها NO و SO_2 و CO شهر اصفهان استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد در روزهایی که سرعت باد کم و میزان فشار زیاد باشد آلودگی افزایش یافته و روزهایی که رطوبت نسبی افزایش یابد از مقدار CO و SO_2 کاسته می شود. فصل تابستان در شهر اصفهان آلوده ترین فصل سال بوده به طوری که طی سه سال مقدار عددی شاخص استاندارد آلودگی هوا بالای ۱۲۰ محاسبه شده است.

Akbari و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه ای به پهنه بندی ماهانه میزان آلودگی هوا براساس میزان ذرات معلق و بررسی نحوه ارتباط آن با عوامل اقلیمی شامل سرعت باد، جهت باد و میزان بارش در شهر مشهد پرداختند. مقایسه و همپوشانی این داده ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. از روش همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط شاخص های اقلیمی و شاخص استاندارد آلودگی هوا استفاده شد. نتایج نشان داد عوامل اقلیمی بر کاهش آلودگی هوا نقش مشهودی داشته اند، به طوری که در فروردین ماه به دلیل بارش های بهاره آلودگی کاهش یافته است. ماه های دی و بهمن نیز به دلیل وارونگی دما و بارش کمتر، آلاینده ها نسبت به ماه های گرم روند افزایشی داشته اند. جهت باد در کاهش آلودگی هوا مؤثر بوده و در فروردین و آذر بیشترین ارتباط را نشان داد. همچنین ایستگاه های صدف، لشگر و نخریسی به دلیل ترافیک بیشتر، بارش، سرعت باد کمتر و جهت باد موافق، آلاینده بیشتری داشتند. Asadzadeh و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تغییرات آلاینده های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی در شهر بجنورد، گزارش کردند که آلاینده هایی نظیر PM_{10} و CO دارای دو پیک؛ یکی در تابستان و یکی در زمستان هستند. بیشترین غلظت میانگین آلاینده های NO_2 - CO - PM_{10} در دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده است، ولی برای SO_2 بیشترین غلظت در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی گراد ثبت شده بود. Panahi (۲۰۱۸) بررسی ارتباط بین آلاینده های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در وارونگی شدید شهر تبریز را مورد پژوهش قرار داد. براساس نتایج به دست آمده مقدار PM_{10} با شدت وارونگی و فشار، CO با شدت وارونگی، میزان فشار و رطوبت نسبی، SO_2 با شدت وارونگی و میزان دما، دارای همبستگی معنی دار بودند. همچنین رطوبت نسبی و دما بعد از شدت وارونگی دمایی مؤثرترین عنصر بر روند آلاینده های CO و SO_2 بود. در نتیجه متغیرهای شدت وارونگی، دما، رطوبت نسبی و میزان فشار بیشترین تأثیر را بر غلظت آلاینده ها داشته اند. Ramezani و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه ای به تحلیل و پیش بینی سناریویی اثرات تغییرات آب و هوا در آلودگی هوای شهر تهران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد شاخص های دی اکسید کربن، ازن و ذرات معلق با دما مرتبط بوده اند، به صورتی که در مورد دی اکسید کربن در ارتباط با شرایط دمایی، روند افزایشی یا ثابتی تا سی سال آینده خواهد داشت. Barid-Kazemi و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی ارتباط پارامترهای هواشناسی با روند تغییرات $PM_{2.5}$ براساس شاخص AQI در مشهد طی سال های ۱۳۹۳-۱۳۹۵، نشان دادند که تغییرات غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ طی سه سال اختلاف معنی داری داشته؛ اما روند این تغییرات ثابت نبوده است. همچنین به وجود همبستگی معنی دار و معکوس بین غلظت $PM_{2.5}$ و سرعت باد و نبود ارتباط معنی دار بین غلظت این آلاینده و سایر پارامترهای هواشناسی (دما، رطوبت نسبی و بارش) پی بردند. Farhadi و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی آلاینده های هوا و داده های هواشناسی شهر بیرجند طی سال های ۱۳۹۶-۱۳۹۴، آلاینده های کربن منوکسید، ازن و ذرات معلق را بر مبنای رگرسیون خطی مورد توجه قرار دادند. نتایج نشان داد بیشترین ضریب همبستگی به آلاینده مونواکسید کربن با حداقل درجه حرارت به میزان ۰/۵۳ و کمترین مقدار آن ۰/۱۶ بود. بیشترین ضریب همبستگی آلاینده ذرات معلق با سرعت باد ۰/۳۳ و کمترین مقدار آن با فشار با ضریب ۰/۰۸ تعیین شد. بیشترین ضریب همبستگی آلاینده ازن نیز با حداکثر درجه حرارت ۰/۵ و کمترین مقدار آن با جهت باد برابر با ۰/۰۹ بود.

Arghadeep و Roy (۲۰۲۳) در مطالعه ای به بررسی ارتباط بین غلظت آلاینده های هوا و پارامترهای هواشناسی در مرکز شهر هند بر مبنای مدل سازی آماری پرداختند. در این مطالعه داده های هواشناسی مثل میانگین دمای روزانه، رطوبت نسبی، بارندگی و

سرعت باد طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. آلاینده‌های هوا در این پژوهش شامل PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، NO_2 ، SO_2 ، CO ، NH_3 و O_3 بود. نتایج نشان داد اکثر آلاینده‌ها همبستگی منفی با متغیرهای هواشناسی (بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت باد) داشتند. با این حال، فصول بر نحوه واکنش آنها تأثیرگذار بود. Gulin Birim و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر PM_{10} در شهر ازمیر ترکیه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد رطوبت نسبی بیشترین تأثیر را بر ذرات معلق دارد. همچنین دما از نظر آماری رابطه معنی‌داری با غلظت ذرات معلق نداشته است. Shen و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی شاخص کیفیت هوا در شانگهای چین به این نتیجه رسیدند که کیفیت هوای محیط در حال بهبود، با این حال اثرات هم‌افزایی بین آلاینده‌های هوا $PM_{2.5}$ ، O_3 و NO_2 رو به افزایش است. این نشان می‌دهد که معیارهای آلودگی هوا براساس هم‌افزایی چند آلاینده نسبت به مدل‌های شاخص کیفیت هوای تک آلاینده که ممکن است تأثیر هم‌افزایی بین آلاینده‌ها بر پیش‌بینی کیفیت هوای محیط را نادیده بگیرند، کیفیت هوای محیط را بهتر توصیف می‌کنند. Lee و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی آلودگی هوای کره جنوبی با استفاده از شاخص کیفیت هوای روزانه (DAQx) پرداختند. میانگین یک ساعته حداکثر روزانه O_3 ، NO_2 و میانگین ۲۴ ساعته روزانه PM_{10} و $PM_{2.5}$ از ۴۲ ایستگاه پایش کیفیت هوا (کنار جاده، شهری و زمینه) برای محاسبه DAQx استفاده شد. NO_2 سالانه بیشتر DAQx را در ایستگاه‌های کنار جاده و شهری تشکیل می‌داد، در حالی که O_3 آلاینده غالب در ایستگاه‌های زمینه بود. در زمستان، PM_{10} رایج‌ترین عامل DAQx حداقل در همه انواع ایستگاه‌ها بود. آلاینده غالب هوا در تابستان NO_2 در ایستگاه‌های کنار جاده‌ای و ازن در ایستگاه‌های شهری و زمینه بود.

تاکنون پژوهشی به بررسی اثر جهت باد غیر غالب بر شاخص کیفیت هوا نپرداخته است. هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی (به‌خصوص جهت باد) بر شاخص کیفیت هوا و بررسی دلایل آن است. در ادامه به اهدافی چون، بررسی روند تغییرات فصلی و ماهانه شاخص کیفیت هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی نیز می‌پردازد.

روش‌شناسی پژوهش

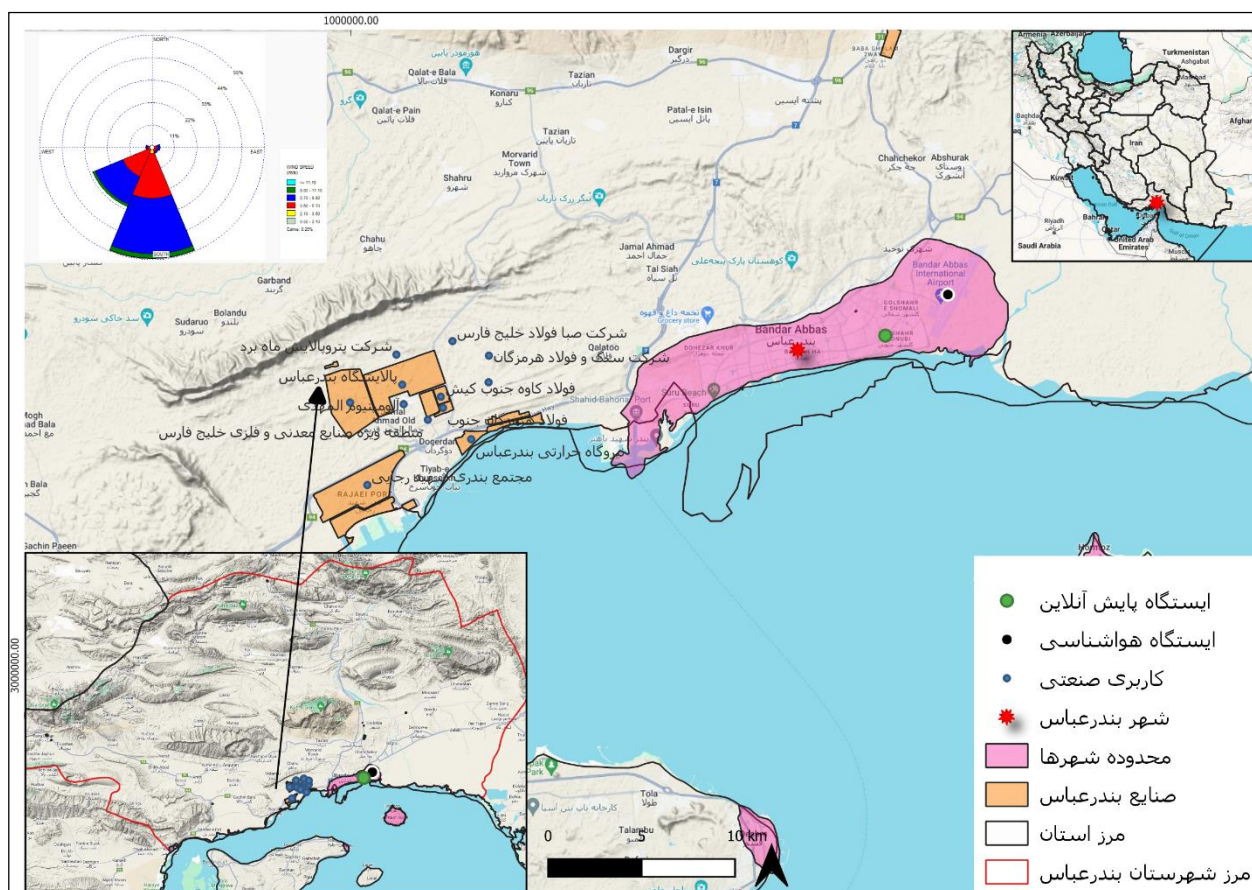
بندرعباس یکی از بزرگ‌ترین بنادر ایران، مرکز استان هرمزگان و شهرستان بندرعباس است. این شهر با مساحت ۱۲۵ کیلومترمربع در جنوب استان هرمزگان واقع شده و از شمال به مناطق کوهستانی و از جنوب به دریا منتهی می‌شود، بنابراین سطح شهر از شمال به جنوب، به‌صورت شیب‌دار و با ارتفاع ۰ تا ۲۰ متر از سطح دریاست. ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا، ۱۰ متر است. شهر بندرعباس، دارای آب و هوای گرم و مرطوب است و حدود ۹ ماه از سال، فصل تابستان است. حداکثر و حداقل دما در روزهای سال (از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ میلادی) به‌ترتیب ۴۴ و ۴ درجه سانتی‌گراد است (Khajeh, et al., 2014). داده‌های شاخص کیفیت هوای ایستگاه پایش آلودگی هوای بندرعباس (موقعیت ایستگاه پایش در شکل ۱ مشخص گردیده است)، برای ساعت ۱۱ صبح و ۱۱ شب هر شبانه‌روز، طی سه سال (۱۳۹۹-۱۴۰۱)، از سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور (سامانه پایش کیفی هوای کشور) اخذ شد. همچنین داده‌های هواشناسی، شامل سرعت باد، جهت باد، پوشش ابر، دما و رطوبت نسبی هوا، مربوط به ایستگاه هواشناسی بندرعباس برای ساعت ۱۱ صبح و ۱۱ شب هر شبانه‌روز طی مدت سه سال مورد نظر، از سایت دانشگاه آیووا با دقت زمانی نیم ساعت، اخذ گردید (University of Iowa, 2023). جهت صحت‌سنجی داده‌های هواشناسی سایت مذکور، داده‌های هواشناسی مورد مطالعه برای سال ۲۰۲۱ مربوط به ایستگاه سینوپتیک بندرعباس از سازمان هواشناسی کشور اخذ و با داده‌های همان تاریخ، در سایت دانشگاه آیووا مقایسه شد. نتایج نشان داد که داده‌ها تقریباً صد در صد همپوشانی دارند، نتایج همبستگی داده‌های هواشناسی سایت دانشگاه آیووا و ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در جدول ۲ ارائه شده است.

لازم به ذکر است که داده‌های شبانه ایستگاه پایش هوا کاستی داشت به‌طوری که در مجموع فقط ۷۸۹ شبانه‌روز از ۱۰۹۵ شبانه‌روز مورد مطالعه، دارای برداشت شبانه بود. در ادامه ابتدا با استفاده از نمودار جعبه‌ای داده‌های پرت شناسایی و حذف و با استفاده از آزمون کولموگرواف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. به سبب نرمال نبودن برخی داده‌ها از آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس و برای داده‌های نرمال از آزمون پارامتریک جهت آزمون فرضیه‌ها استفاده گردید. همچنین جهت بررسی ارتباط بین شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی از آزمون همبستگی اسپیرمن در نرم‌افزار SPSS، ویرایش ۲۷ استفاده شد.

جدول ۲- نتایج صحت سنجی داده های هواشناسی سایت دانشگاه آیووا برای سال ۲۰۲۱

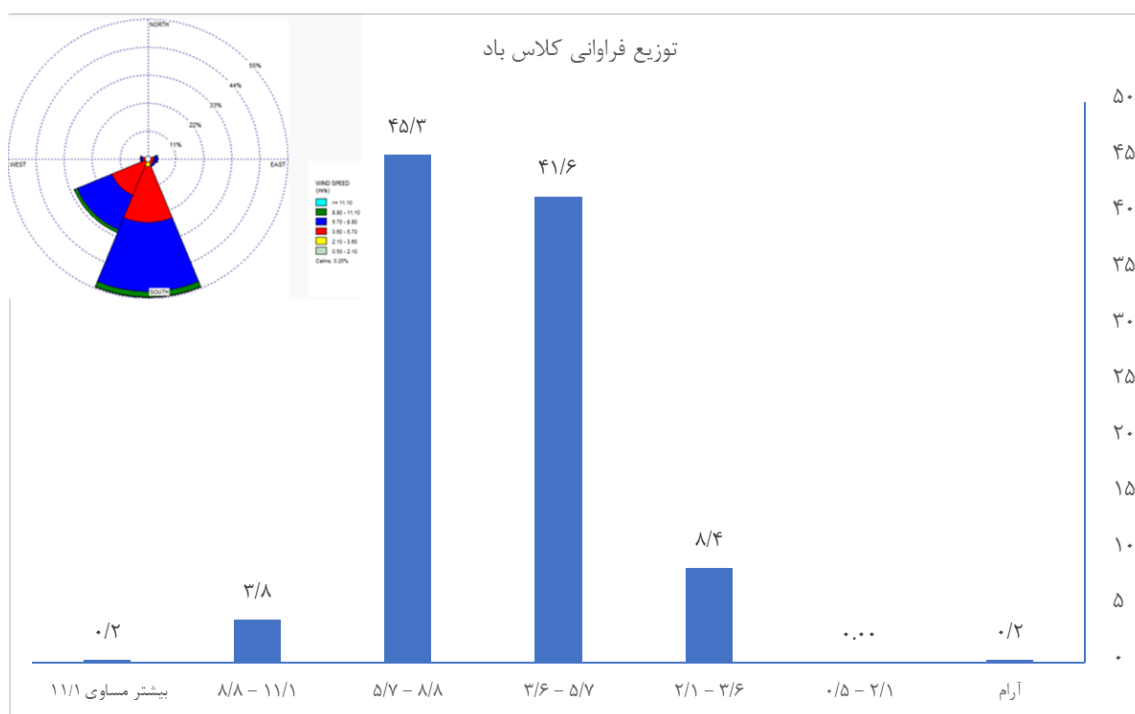
سرعت باد- ایستگاه سینوپتیک	جهت باد- ایستگاه سینوپتیک	رطوبت- ایستگاه سینوپتیک	دما- ایستگاه سینوپتیک		
			۰/۹۹۹**	ضریب همبستگی پیرسون	
			۰/۰۰۰	Sig. (2-tailed)	دما-سایت
			۲۵۸۶	تعداد	
		۰/۹۹۶**		ضریب همبستگی پیرسون	رطوبت-سایت
		۰/۰۰۰		Sig. (2-tailed)	
		۲۵۸۶		تعداد	
	۱/۰۰۰**			ضریب همبستگی پیرسون	جهت باد-سایت
	۰/۰۰۰			Sig. (2-tailed)	
	۲۴۵۷			تعداد	
۱/۰۰۰**				ضریب همبستگی پیرسون	سرعت باد-سایت
۰/۰۰۰				Sig. (2-tailed)	
۲۵۸۶				تعداد	

** در سطح یک درصد معنی دار است. * در سطح پنج درصد معنی دار است.

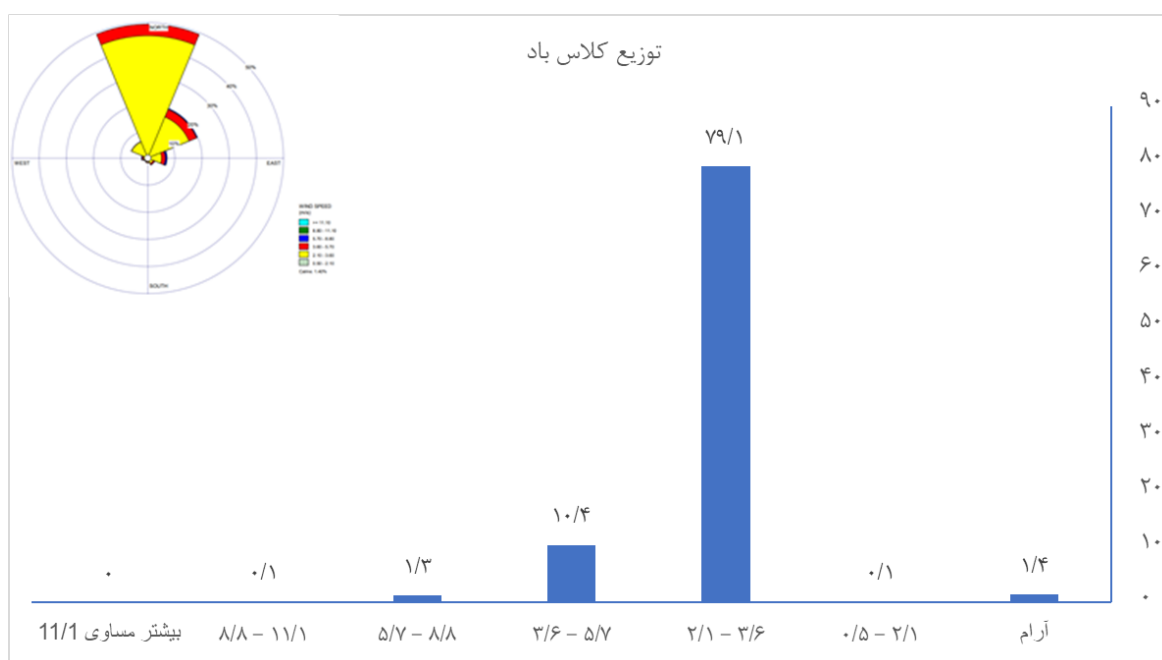


شکل ۱- موقعیت ناحیه و شهرک های صنعتی نسبت به شهر بندرعباس همراه با موقعیت ایستگاه پایش و ایستگاه هواشناسی

نقشه موقعیت صنایع نسبت به محدوده مورد مطالعه نیز با استفاده از نرم افزار QGIS تهیه شد، که در شکل ۱ نشان داده شده است. گلباد شهر بندرعباس در ساعت های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار WRPLOT View برای داده های شبانه و روزانه به تفکیک ترسیم شد. با توجه به شکل ۲-الف، باد غالب در ساعت های مورد مطالعه (۱۱ صبح) جنوب به شمال بوده است که بیشتر با سرعت ۵/۷ تا ۸/۸ متر بر ثانیه (آبی رنگ) و پس از آن ۵/۷-۳/۶ متر بر ثانیه (محدوده قرمز رنگ) در جریان بوده است. در ۴۵ درصد ساعت های مورد مطالعه (۱۱ صبح) باد با سرعت ۵/۷ تا ۸/۸ متر بر ثانیه و در ۴۲ درصد ساعت های مورد مطالعه صبح، باد با سرعت



شکل ۲- الف. گلباد و نمودار پراکنش سرعت باد در بازه زمانی مورد مطالعه (ساعت ۱۱ صبح هر روز، طی سه سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹)



شکل ۲- ب. گلباد و نمودار پراکنش سرعت باد در بازه زمانی مورد مطالعه (ساعت ۲۳ هر شب، طی سه سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹)

۳/۶ تا ۵/۷ متر بر ثانیه جریان داشته است. همچنین حدود ۰/۲ درصد بادهای در ساعاتی مورد مطالعه صبح، جز بادهای آرام بودند. یعنی سرعتی کمتر از ۰/۵ متر بر ثانیه داشته‌اند. میانگین سرعت باد در ساعاتی مورد مطالعه صبح، ۵/۷ متر بر ثانیه است. در شکل ۲-ب، گلباد ساعت ۱۱ هر شب طی مدت سه سال مورد مطالعه را نشان داده است (لازم به ذکر است که داده‌های شبانه دارای گپ هستند). جهت باد غالب در شب‌ها برعکس روزها، شمال به جنوب بوده است و ۷۹ درصد از ساعاتی مورد مطالعه شب، باد با سرعت ۲/۱ تا ۳/۶ متر بر ثانیه در جریان بوده و میانگین باد در شب برابر با ۲/۷ متر بر ثانیه بود.

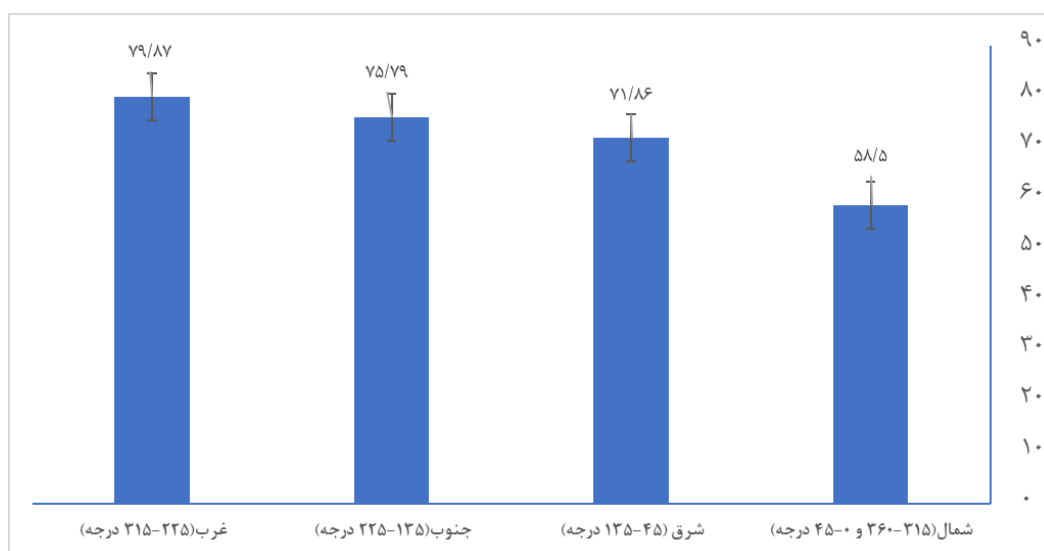
یافته های پژوهش

الف- ارتباط بین شاخص کیفیت هوای بندرعباس و پارامترهای اقلیمی: نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن مطابق جدول ۳ نشان داد، شاخص کیفیت هوا با جهت باد و دما ارتباط معنی دار و مستقیم و با پوشش ابر ارتباط معکوس و معنی دار در سطح یک درصد داشت. همچنین ارتباط شاخص کیفیت هوا با رطوبت معکوس بوده؛ اما معنی دار نیست. لازم به ذکر است که ارتباط شاخص کیفیت هوا با زاویه جهت باد (۰-۳۶۰ درجه) در سطح پنج درصد معنی دار بود، اما بعد از تقسیم بندی جهت باد به چهار جهت اصلی، ارتباط در سطح یک درصد معنی دار شد. به عبارتی، زمانی که باد از سمت غرب جریان داشته، شاخص کیفیت هوا عدد بالاتری را نشان داده و هوا وضعیت بدتری داشته است (شکل ۳). همچنین هرچه دما بالاتر بوده، شاخص کیفیت هوا نیز در وضعیت بدتری قرار داشته است و زمان هایی که درصد پوشش ابر بیشتر بوده، شاخص کیفیت هوا کمتر و وضعیت بهتری را نشان داده است.

جدول ۳- نتیجه آزمون همبستگی اسپیرمن بین شاخص کیفیت هوا و فاکتورهای اقلیمی در بندرعباس

شاخص AQI	پارامترهای هواشناسی
ضریب همبستگی	جهت باد - چهارجهتی
۰/۱۰۹**	
معنی داری	
۰/۰۰۳	سرعت باد
تعداد	
۷۴۰	
ضریب همبستگی	پوشش ابر
۰/۶۴	
معنی داری	
۰/۰۸۴	جهت باد
تعداد	
۷۴۰	
ضریب همبستگی	رطوبت
-۰/۱۸۹**	
معنی داری	
۰/۰۰۰	دما
تعداد	
۶۳۱	
ضریب همبستگی	جهت باد
۰/۰۹۳*	
معنی داری	
۰/۰۱۱	رطوبت
تعداد	
۷۳۸	
ضریب همبستگی	دما
-۰/۰۳۴**	
معنی داری	
۰/۳۶۰	جهت باد
تعداد	
۷۳۹	
ضریب همبستگی	رطوبت
۰/۱۳۳**	
معنی داری	
۰/۰۰۰	دما
تعداد	
۷۴۰	

** در سطح یک درصد معنی دار است. * در سطح پنج درصد معنی دار است.



شکل ۳- میانگین شاخص کیفیت هوای شهر بندرعباس در جهت‌های مختلف (ساعت ۱۱ صبح هر روز طی سه سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹)

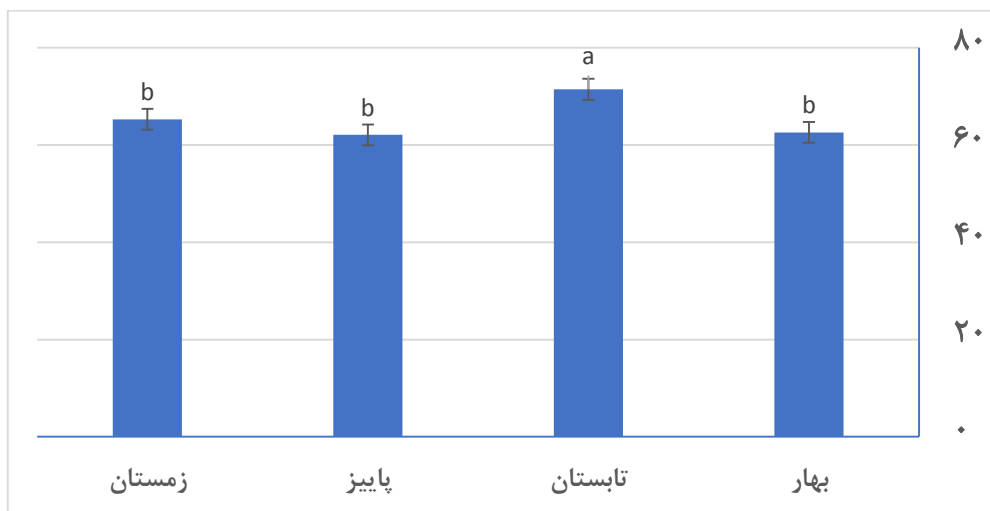
ب- تغییرات فصلی شاخص کیفیت هوای بندرعباس: نتیجه آزمون کروسکال-والیس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین فصل‌های مختلف از لحاظ میانگین شاخص کیفیت هوا وجود دارد ($\text{sig}=0/001$) (جدول ۴). به‌طوری که شاخص کیفیت هوا در تابستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر فصل‌ها است (میانگین AQI در این فصل در دوره سه ساله، ۷۱/۴۸ است)، پس از آن به‌ترتیب بیشترین میزان AQI را فصل‌های زمستان (۶۵/۳)، بهار (۶۲/۶) و پاییز (۶۲/۱) به‌خود اختصاص داده‌اند (جدول ۵ و شکل ۴).

جدول ۴- نتیجه آزمون کروسکال-والیس تغییرات فصلی شاخص کیفیت هوا در بندرعباس

۷۴۰	تعداد
۳	درجه آزادی
۰/۰۰۱**	Sig
***همبستگی در سطح یک درصد معنی‌دار است.	

جدول ۵- پارامترهای آماری مربوط به داده‌های شاخص کیفیت هوا به تفکیک فصل در دوره سه ساله در بندرعباس

فصل	تعداد	میانگین AQI	انحراف معیار	خطای استاندارد	حداقل	حداکثر
بهار	۱۷۳	۶۲/۶	۲۵/۴۶	۱/۹۳	۲۳	۱۲۴
تابستان	۱۷۳	۷۱/۴۸	۱۹/۴۳	۱/۴۷	۲۲	۱۲۲
پاییز	۲۲۸	۶۲/۱	۲۴/۶۴	۱/۶۳	۶	۱۲۵
زمستان	۱۶۶	۶۵/۳	۲۳/۵۵	۱/۸۲	۲۲	۱۲۴
جمع	۷۴۰	۶۵/۱۳	۲۳/۷۲	۰/۸۷	۶	۱۲۵



شکل ۴- نمودار مقایسه فصلی شاخص کیفیت هوای شهر بندرعباس (۱۴۰۱-۱۳۹۹) - ستون های هم حرف اختلاف معنی دار ندارند

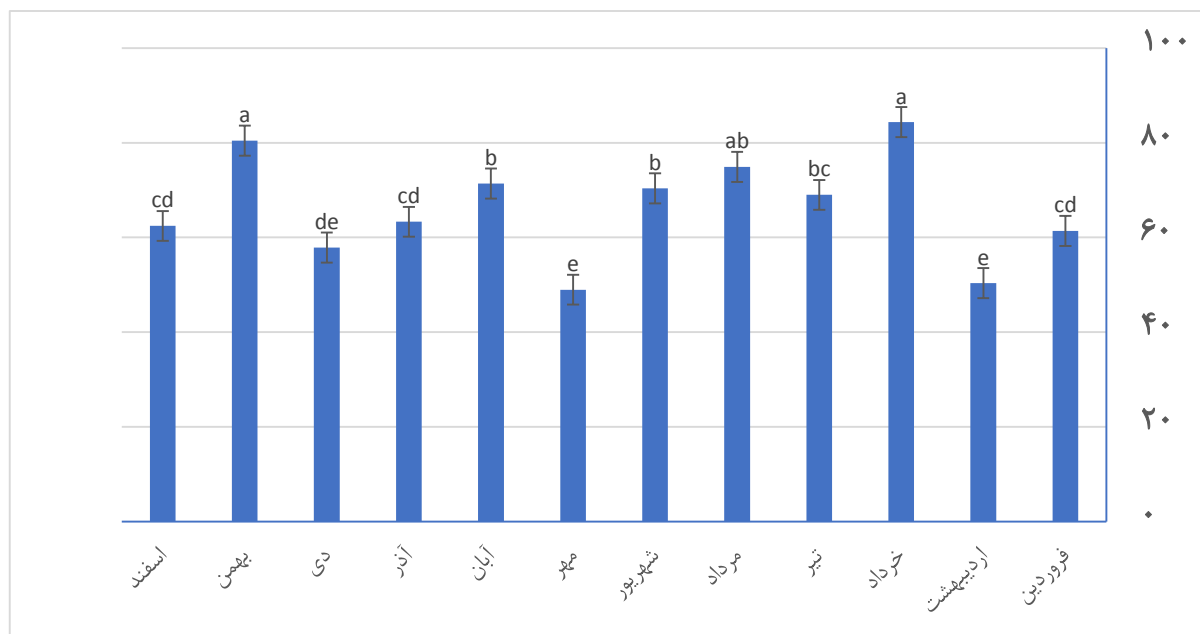
پ- میانگین ماهانه شاخص کیفیت هوای بندرعباس: نتیجه آزمون کروسکال-والیس نشان داد که اختلاف معنی داری بین ماه های مختلف سال از لحاظ میانگین شاخص کیفیت هوا وجود دارد (جدول ۶). با توجه به نتایج که در شکل ۵ و جدول ۷ نشان داده شده است، بیشترین مقدار شاخص کیفیت هوا، مربوط به خرداد (۸۴/۳)، بهمن (۸۰/۵) و مرداد (۷۴/۹) و کمترین مقدار مربوط به مهر (۴۸/۹)، اردیبهشت (۴۸/۹۷) و دی (۵۷/۸) است. به عبارتی، شاخص کیفیت هوا در خرداد، بهمن و مرداد ماه به طور معنی داری بیشتر از سایر ماه ها و در اردیبهشت و خرداد به طور معنی داری کمتر از بقیه ماه ها است.

جدول ۶- نتیجه آزمون کروسکال-والیس تغییرات ماهانه شاخص کیفیت هوا در بندرعباس

۷۴۰	تعداد
۱۱	درجه آزادی
۰/۰۰۱**	sig
***همبستگی در سطح یک درصد معنی دار است.	

جدول ۷- پارامترهای آماری مربوط به داده های شاخص کیفیت هوا به تفکیک فصل در شهر بندرعباس

ماه	تعداد	میانگین AQI	انحراف معیار	خطای استاندارد	حداقل	حداکثر
فروردین	۸۷	۶۱/۴	۲۵/۹۷	۲/۷۸	۲۴	۱۳۴
اردیبهشت	۵۲	۵۰/۳۵	۲۰/۵۵	۲/۸۵	۲۳	۱۲۰
خرداد	۳۴	۸۴/۳۸	۱۵/۴۵	۲/۶۵	۵۸	۱۱۵
تیر	۵۶	۶۹	۲۵/۱۷	۳/۳۶	۲۲	۱۳۲
مرداد	۵۸	۷۴/۹	۱۷/۴۹	۲/۲۹	۵۲	۱۳۲
شهریور	۵۹	۷۰/۴	۱۴/۱۵	۱/۸۴	۳۵	۱۰۳
مهر	۶۴	۴۸/۹۷	۳۱	۳/۸۷	۶	۱۰۷
آبان	۷۹	۷۱/۴۲	۲۱/۸۲	۲/۴۵	۳۲	۱۲۵
آذر	۸۵	۶۳/۳۲	۱۶/۱۸	۱/۷۵	۳۳	۱۰۷
دی	۶۱	۵۷/۸۵	۱۶	۲/۰۵	۲۳	۱۰۴
بهمن	۴۲	۸۰/۴۸	۱۷/۷۷	۲/۷۴	۳۷	۱۳۴
اسفند	۶۳	۶۲/۴۴	۲۸/۲۶	۳/۵۶	۲۲	۱۱۸
جمع	۷۴۰	۶۵/۱۳	۲۳/۷۲	۰/۸۷	۶	۱۲۵



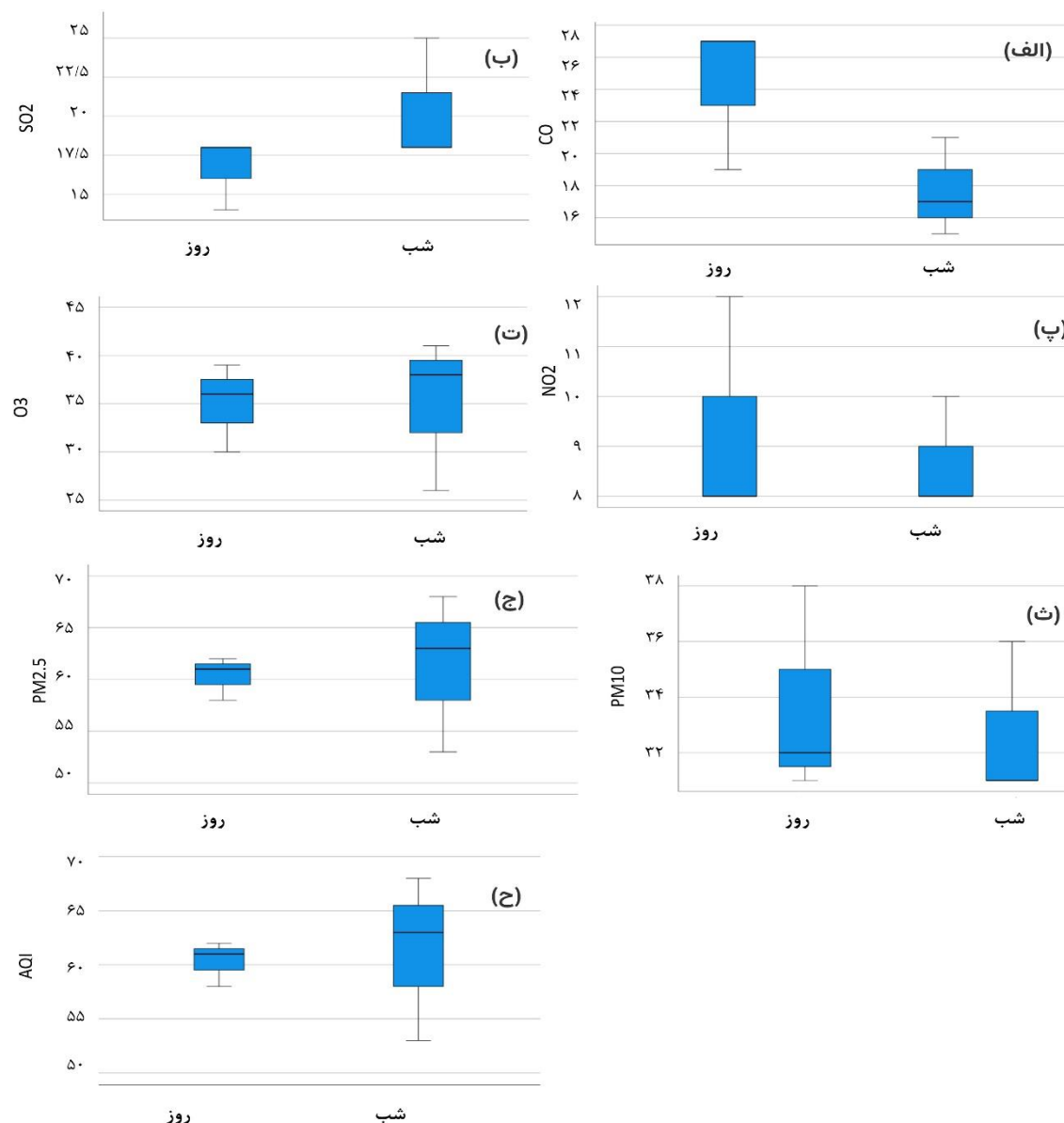
شکل ۵- نمودار تغییرات ماهانه شاخص کیفیت هوای شهر بندرعباس (۱۴۰۱-۱۳۹۹) (ستون‌های هم حرف اختلاف معنی‌داری ندارند)

ت- آلاینده مسئول آلودگی هوای بندرعباس: شاخص کیفیت هوا شش طبقه دارد که از طبقه سوم به بعد ($AQI > 100$) ناسالم است. در شهر بندرعباس در مجموع سه سال مورد مطالعه (ساعت ۱۱ صبح هر روز) ۱۳۶ روز ناسالم است. در اکثر اوقات (۶۹ درصد) ذرات معلق کمتر از $2.5/\mu m$ میکرون، آلاینده مسئول است. بیشترین تعداد روز ناسالم مربوط به سال ۱۴۰۰ با ۵۶ روز و کمترین روز ناسالم مربوط به سال ۱۴۰۱ با ۳۹ روز است (جدول ۸). باید توجه داشت که این نتایج فقط مربوط به ساعت ۱۱ صبح هر روز است.

جدول ۸- فراوانی آلاینده‌های مسئول در روزهای ناسالم در مدت زمان مورد مطالعه (ساعت ۱۱ صبح هر روز طی سه سال) در شهر

بندرعباس								
سال	آلاینده	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	جمع روزهای ناسالم
۱۳۹۹	فراوانی	۶	۳۴	۱	-	-	-	۴۱
	درصد فراوانی	۱۴/۶	۸۲/۹	۲/۴	-	-	-	۱۰۰
۱۴۰۰	فراوانی	۸	۳۵	-	۱	۱۱	۱	۵۶
	درصد فراوانی	۱۴/۳	۶۲/۵	-	۱/۸	۱۹/۶	۱/۸	۱۰۰
۱۴۰۱	فراوانی	۱۲	۲۵	-	۲	-	-	۳۹
	درصد فراوانی	۳۰/۸	۶۴/۱	-	۵/۱	-	-	۱۰۰
جمع سه سال	فراوانی	۲۶	۹۴	۱	۳	۱۱	۱	۱۳۶
	درصد فراوانی	۱۹/۱	۶۹/۱	۰/۷	۲/۲	۸/۱	۰/۷	۱۰۰

ث- وضعیت کیفیت هوای شبانه و روزانه شهر بندرعباس: جهت مقایسه کیفیت هوای شبانه و روزانه شهر بندرعباس، داده‌های مربوط به ساعت ۱۱ شب در طول مدت مطالعه (۱۳۹۹-۱۴۰۱) نیز دریافت شد اما با توجه به گپ زیادی که در داده‌های شبانه ایستگاه پایش بندرعباس وجود داشت، این داده‌ها صرفاً جهت مقایسه شبانه‌روزی کیفیت هوا و همچنین ارتباط بین آلاینده‌های هوا و جهت باد مورد بررسی قرار گرفت. دیاگرام کلی از داده‌های شبانه و روزانه در مدت مورد مطالعه در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج آزمون من‌ویتنی، اختلاف معنی‌داری به‌جز مونواکسید کربن، بین غلظت آلاینده‌ها در شب و روز نشان نداد. غلظت مونواکسید کربن در روز به‌طور معنی‌داری بیشتر از شب است ($\text{sig} = 0.002$). که دلیل اصلی آن می‌تواند کمتر شدن ترافیک در شب باشد.



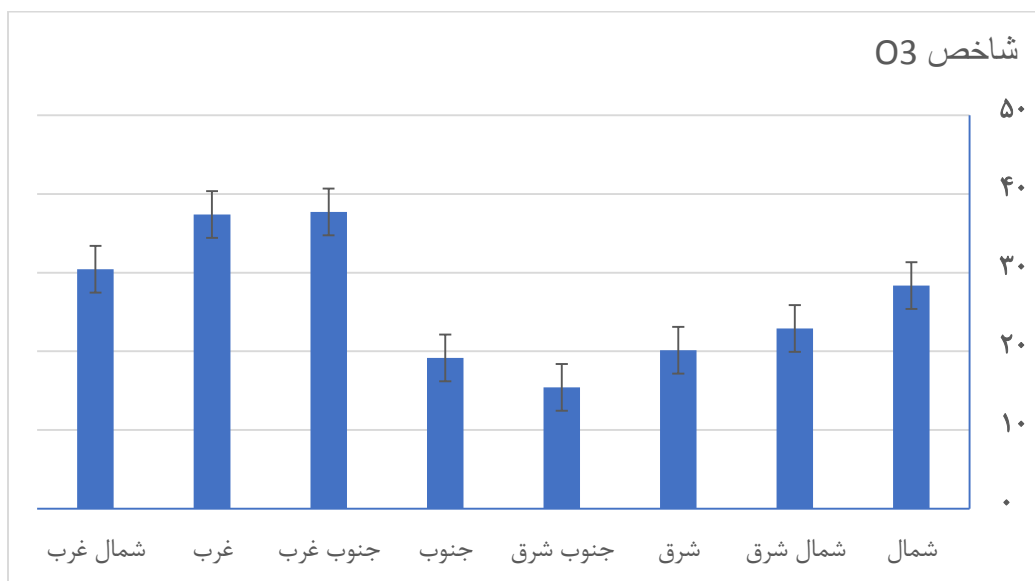
شکل ۶- دیاگرام کلی مربوط به داده های شبانه و روزانه در دوره مورد مطالعه.

(الف) غلظت مونواکسید کربن در شب به طور معنی داری کمتر از روز است. (ب) غلظت دی اکسید گوگرد در شب بیشتر است اما معنی دار نیست. (پ) میانگین غلظت دی اکسید نیتروژن در روز بیشتر است اما معنی دار نیست. (ت) غلظت ازن در شب بیشتر است اما معنی دار نیست. (ث) غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در روز بیشتر است اما معنی دار نیست. (ج) غلظت ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون در شب بیشتر است اما معنی دار نیست. (ح) شاخص کیفیت هوا در شب بیشتر است اما معنی دار نیست.

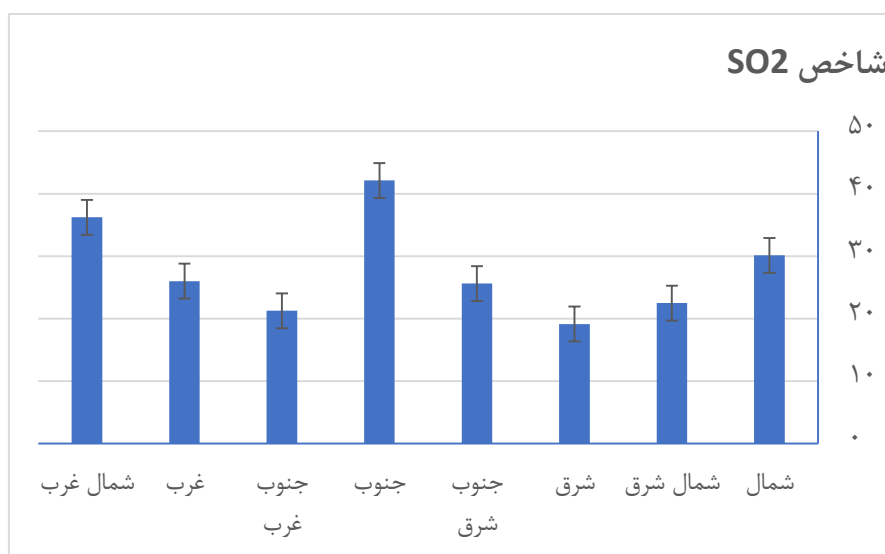
ج. ارتباط شاخص کیفیت هوا و آلاینده ها با پارامترهای اقلیمی در شب: شاخص کیفیت هوا در شبها ارتباط معنی دار و مستقیم با دما ($CC^2=0/077$ و $sig=0/003$) و نقطه شبنم ($CC=0/08$ و $sig=0/002$) داشته و با پوشش ابر ارتباط معنی دار و معکوس دارد ($CC=-0/175$ و $sig=0/000$). ارتباط معنی داری بین شاخص کیفیت هوا و سایر پارامترها مشاهده نشد. نتایج، ارتباط معنی داری بین غلظت ازن ($sig=0/000$) و دی اکسید گوگرد ($sig=0/003$) با جهت باد نشان داد. به عبارتی، زمانی که باد از سمت غرب، شمال غرب، جنوب غرب در جریان است، غلظت ازن نیز بیشتر است (شکل ۷). همچنین در زمانی که باد از سمت جنوب جریان داشته غلظت دی اکسید گوگرد بیشتر است (شکل ۸). به طور کلی از ۸۱۵ ساعت مورد مطالعه در روز (ساعت ۱۱ صبح)، در ۶۶ ساعت، آلاینده مسئول ازن است. این در حالی است که از ۷۸۸ ساعت مورد مطالعه در شب، در ۱۲۰ ساعت آلاینده مسئول ازن است. به عبارتی حضور ازن در شبها (ساعت ۱۱ شب) بیشتر است. اما این نتیجه گیری، به دلیل اینکه فقط یک ساعت در شب و

²Correlation Coefficient

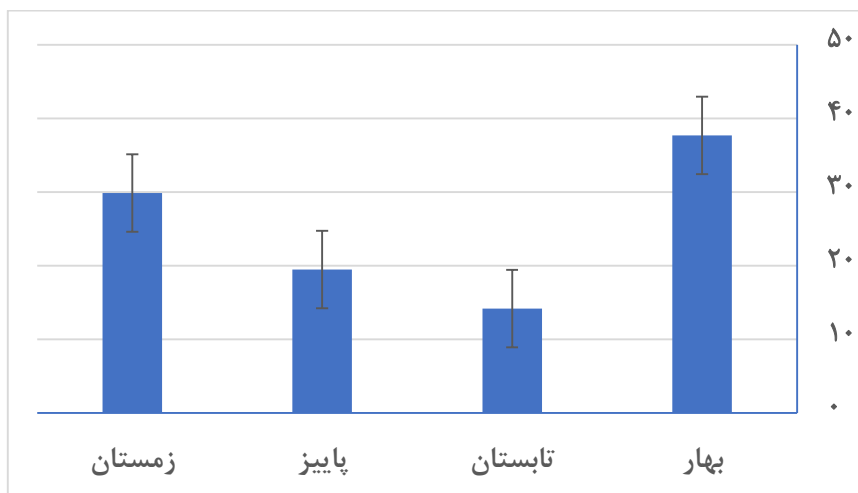
روز در نظر گرفته شده است نمی‌تواند دقیق باشد. چرا که غلظت ازن می‌تواند عصرها بیشتر باشد که در این مقاله به علت محدودیت داده مطالعه نشده است. در کل (با در نظر گرفتن داده‌های شبانه و روزانه) ازن در بهار و زمستان بیشتر از فصل‌های دیگر است (شکل ۹).



شکل ۷- نمودار میانگین شاخص ازن نسبت به جهت باد در شب



شکل ۸- نمودار میانگین شاخص دی‌اکسید گوگرد و جهت باد غالب در شب



شکل ۹- میانگین شاخص ازن در فصول مختلف طی سه سال (۱۳۹۹-۱۴۰۱)

بحث و نتیجه گیری

همان طور که نتایج نشان داد، شاخص کیفیت هوا با جهت باد و دما ارتباط معنی دار و مستقیم و با پوشش ابر ارتباط معنی دار و معکوس دارد. در مواقعی که باد از سمت غرب جریان دارد و دما نیز بالا است، شاخص کیفیت هوا عدد بالاتری را نشان داده و هوا وضعیت بدتری دارد. با توجه به نقشه موقعیت ناحیه و شهرک های صنعتی نسبت به شهر بندرعباس (شکل ۱)، بیشتر صنایع از جمله پالایشگاه ستاره خلیج فارس، پالایشگاه بندرعباس، فولاد هرمزگان، فولاد کاوه، آلومینیوم المهدی، صبا فولاد خلیج فارس، سنگ و فولاد هرمزگان، نیروگاه حرارتی بندرعباس و منطقه ویژه صنایع معدنی و فلزی خلیج فارس، در قسمت غربی شهر بندرعباس واقع شده اند. هر چند صنایع مهم و آلاینده در جهت باد غالب (جنوب به شمال) نسبت به بندرعباس نیستند، اما فاصله نسبتاً کم این صنایع آلاینده نسبت به شهر بندرعباس می تواند دلیل معنی داری ارتباط شاخص کیفیت هوا با جهت غربی باد باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت همان طور که جهت باد غالب اهمیت دارد، فاصله صنایع تا مرکز جمعیتی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. به عبارتی از نکات مکان یابی صنایع علاوه بر جهت باد غالب، باید به فاصله تا مراکز جمعیتی نیز توجه شود. مهمترین فاکتورهای پراکنش آلاینده های هوا توپوگرافی (مدل رقومی ارتفاع)، کاربری اراضی (به دلیل تأثیر آن روی ضریب زبری، آلودگی بون)، سرعت باد، جهت باد، دما، رطوبت نسبی، پوشش ابر، بارش و فشار هوا هستند (Khebri, et al., 2016). پیشنهاد نویسندگان این است که جهت مکان یابی صنایع آلاینده، در درجه اول بهتر است که در مطالعات ارزیابی اثرات واحد مورد نظر، شعاع تأثیر صنایع (با استفاده از مدل سازی پخش آلودگی هوا و استفاده از مدل های معتبری که فاکتورهای مذکور را در نظر بگیرد مانند مدل AERMOD) مشخص شده و به عنوان مبنا، برای فاصله آنها تا مراکز جمعیتی، قرار گیرد. صرفاً جهت باد غالب نمی تواند مبنای خوبی برای مکان یابی صنایع جهت اثر بر کیفیت هوای شهر باشد چون باد همیشه از جهت غالب جریان ندارد و ممکن است مانند نتایج این مطالعه، اگر فاصله مناسب بین صنعت و شهر رعایت نشده باشد، وقتی باد از جهت غیر غالب جریان دارد هم باعث اثر بر کیفیت هوای شهر شود. بنابراین باید فاصله صنایع تا شهر به صورت بهینه و حداقل با در نظر گرفتن توپوگرافی و جهت باد، انتخاب گردد. برای مثال فاصله می تواند تحت تأثیر توپوگرافی بین شهر و صنعت باشد. چون پیچیدگی توپوگرافی می تواند به عنوان یک مانع در مقابل پراکنش آلاینده های هوا باشد. برای مثال اگر بین شهر و صنعت پیچیدگی توپوگرافی وجود نداشته و مسطح باشد نسبت به جایی که پیچیدگی توپوگرافی وجود داشته باشد که ارتفاع آن از ارتفاع دودکش صنایع بلندتر باشد، فاصله بیشتری از شهر لازم است. چون مانعی بین صنعت و شهر وجود ندارد و آلودگی می تواند با سرعت بیشتر و فاصله بیشتری از منبع منتقل شود. نتایج این مطالعه مشابه یافته های پیشین (Farhadi, et al., 2019; Ramezani, et al., 2015; Akbari, et al., 2018; Panahi, 2021) است که آن ها نیز معنی دار بودن ارتباط بین پارامترهای هواشناسی (جهت باد و دما) و آلاینده های هوا را نشان دادند. نتیجه بررسی فصلی شاخص کیفیت هوا در شهرستان بندرعباس در سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ نشان داد که اختلاف معنی داری بین

فصل‌های مختلف از لحاظ میانگین شاخص کیفیت هوا وجود داشته، به‌طوری که شاخص کیفیت هوا در تابستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر فصول بوده است. هوای گرم، خشک و بدون اختلاط، باعث تجمع آلاینده‌ها در هوا می‌شود. این پدیده «رکود» نامیده می‌شود. رکود هوا زمانی رخ می‌دهد که یک توده هوا برای مدت زمانی طولانی در یک منطقه توقف می‌کند. مطابق با یافته‌های Khajeh و همکاران (۲۰۱۴) در بندرعباس از اواخر فصل بهار و اوایل فصل تابستان افزایش میزان تابش خورشیدی و گرادیان حرارتی بین این منطقه و ارتفاعات مجاور، موجب وزش بادهایی با سرعت زیاد به سمت منطقه می‌شود و نیز میزان همبستگی بین گردوغبار و بارش سالانه حاکی از آن بود که بین دو پارامتر، همبستگی معنی‌دار و منفی وجود دارد و با کاهش بارندگی میزان گردوغبار افزایش می‌یابد. در تابستان میزان بارندگی در شهر بندرعباس به حداقل رسیده و رطوبت خاک به‌شدت کاهش می‌یابد و نهایتاً با وجود مناطق گسترده حساس به فرسایش بادی، شرایط برای ایجاد پدیده گردوغبار و افزایش ذرات معلق فراهم می‌شود. بنابراین با توجه به عدم وزش باد و ریزش باران در فصل تابستان در بندرعباس، ذرات معلق در محل باقی می‌ماند و اگر رکود هوا با پدیده وارونگی همراه شود باعث آلودگی شدید هوا می‌شود. در یک مطالعه، محققان در هند دریافتند که آب و هوای خشک و گردوغبار همراه با افزایش دما به‌طور قابل توجهی حضور آلودگی PM_{10} موجود در هوا را افزایش می‌دهد. به‌طور خاص، آنها تخمین زدند که گردوغبار پسته‌دار تا ۴۰ درصد از کل ذرات معلق را در تابستان به‌دلیل خاک سست، خاکستر معلق در هوا و گردوغبار جاده تشکیل می‌دهد (Samita et al., 2022).

نتیجه بررسی ماهانه شاخص کیفیت هوا در بندرعباس طی سه سال نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ماه‌های مختلف سال از لحاظ میانگین شاخص کیفیت هوا وجود داشته و بیشترین مقدار مربوط به خرداد، بهمن و مرداد و کمترین مقدار مربوط به مهر، اردیبهشت و دی بوده است. همچنین نتایج نشان داد در بندرعباس طی سه سال، ۱۳۶ روز در ساعت ۱۱ صبح هر روز، ناسالم بوده است و بیشترین تعداد روز ناسالم در مدت مورد مطالعه مربوط به سال ۱۴۰۰ و کمترین روز ناسالم مربوط به سال ۱۴۰۱ بوده و در اکثر اوقات ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون، آلاینده مسئول بوده است. این یافته‌ها مشابه نتایج Lorestani و همکاران (۲۰۰۸) در شهر بندرعباس بود، با این وجود برخلاف نتایج پژوهش، آلاینده‌های O_3 و CO به‌عنوان آلاینده مسئول شناخته شدند. یکی از دلایل افزایش ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون، افزایش وقوع پدیده گردوغبار با منشأ طبیعی در شش ماهه ابتدای سال و وقوع پدیده وارونگی دما با آغاز فصول سرد سال است. همچنین تأثیر توده گردوغباری از عرض‌های پایین و بادهای ۱۲۰ روزه از جنوب شرق کشور را نمی‌توان نادیده گرفت (Salamat Hormozi et al., 2016).

تفاوت معنی‌دار بین داده‌های شبانه و روزانه به‌جز مونو اکسید کربن، مشاهده نشد و کمتر بودن غلظت مونواکسیدکربن در شب می‌تواند ناشی از کم شدن ترافیک باشد. بررسی داده‌های شبانه (ساعت ۱۱ شب) ارتباط معنی‌دار بین شاخص کیفیت هوا و جهت باد نشان نداد، اما غلظت ازن و دی‌اکسید گوگرد با جهت باد معنی‌دار بود. غلظت ازن وقتی جهت باد از سمت صنایع (غرب) و غلظت دی‌اکسید گوگرد وقتی باد از سمت جنوب در جریان بوده، بیشتر است. ازن یکی از مهمترین ترکیبات شیمیایی اتمسفر است که اثر مضر بر سلامت انسان و اکوسیستم در لایه تروپوسفر دارد (Bing Li et al., 2022). ازن در تروپوسفر با واکنش اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، مونواکسید کربن (CO) و ترکیبات آلی فرار (VOC)، در حضور نور خورشید ایجاد می‌شود (Sicard et al., 2020). ازن تولید شده در روز از بین نمی‌رود بلکه در صورت وجود وارونگی دما در شب، به‌صورت تجمعی در نزدیک سطح زمین به‌دام می‌افتد و وارونگی اجازه اختلاط و خروج آن را از تروپوسفر نمی‌دهد (NASA, 2014). ازن تولیدی در روز می‌تواند توسط باد در شب منتقل شود (NASA, 2014)، غلظت بالای ازن در شب می‌تواند با وارونگی دما مرتبط باشد که تحت آن ازن تولید شده به روش فوتوشیمیایی، در طول روز به‌دام می‌افتد. با حضور تدریجی وارونگی در عصر و توقف ترافیک، سطح ازن افزایش می‌یابد و حدود چهار ساعت پس از نیمه شب به اوج می‌رسد (Steinberger and Ganor, 1979). علاوه بر ترافیک، با توجه به قرار گرفتن صنایع در بخش غربی که مستعد تولید آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار (پالایشگاه‌ها) و اکسیدهای نیتروژن (صنایع فولاد و پالایشگاه‌ها) است، این انتظار وجود دارد که وقتی جهت باد از سمت غرب که موقعیت صنایع بندرعباس است، در جریان است غلظت ازن نیز بیشتر باشد.

افزایش سطح ازن در ساعات شبانه بندرعباس ممکن است به عوامل متعددی برگردد، اما یکی از اصلی‌ترین عوامل، اثر تجمعی ازن در شرایط وارونگی دما است. فعالیت‌های صنعتی از جمله کارخانه‌ها، نیروگاه‌ها و واحدهای صنعتی دیگر ممکن است منابع

اصلی آلودگی هوا باشند، که در این زمان ها انتشار گازها و ذرات آلاینده بیشتر است، که منجر به افزایش سطح ازن می شود. همچنین، آلودگی دریایی نیز می تواند نقش مهمی در افزایش سطح ازن در هوا در ساعات شبانه داشته باشد، زیرا فعالیت های دریایی مانند کشتی ها و حمل و نقل دریایی مواد آلاینده را به هوا منتقل می کنند. ترافیک شهری همچنین می تواند به این افزایش کمک کند، زیرا اکسیدهای نیتروژن از ماشین ها به هوا منتقل می شوند و در ترکیب با شرایط هواشناسی شبانه، باعث افزایش ازن می شوند. در کل تغییرات هواشناسی می توانند به افزایش ازن کمک کنند، زیرا کاهش دما در شب باعث افزایش پایداری جوی و تجمع آلاینده ها می شود، که در نتیجه منجر به افزایش سطح ازن در هوا می گردد. علت معنی دار بودن دی اکسید گوگرد با جهت باد جنوب می تواند در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد. شهر بندرعباس به دلیل قرار گرفتن در شاهراه ارتباطی کشور با تردد بالای وسایل نقلیه و همچنین تراکم بالای استقرار صنایع خصوصاً در قسمت غربی این شهرستان، مواجه است. صنایع بزرگی همچون آلومینیوم، روی، مس، فولاد، نیروگاه برق و پالایشگاه های نفت در این جهت از شهرستان مستقر هستند. از نیروگاه و پالایشگاه و مجتمع های فولاد می توان به عنوان مهم ترین کانون آلاینده هوا در محدوده استقرار صنایع در غرب این شهر نام برد. علاوه بر این ریزگردها مهم ترین کانون آلاینده هوا در این شهرستان هستند. چهار کانون ریزگرد در شرق و غرب بندرعباس، شن های روان جاسک و شوره زارهای بندرلنگه منبع آلودگی هوا هستند (Nabipeylashkarian, et al., 2020). از مواردی که منجر به کنترل کیفیت هوای بندرعباس خواهد شد تأمین زیرساخت های سنجش آلودگی، اعمال راهکارهای کاهش برای صنایع آلاینده هوا از جمله مجتمع های فولاد و پالایشگاه ها، ایجاد کمر بند فضای سبز اطراف شهر، حفظ و گسترش فضای سبز درون شهری (Zupancic, et al., 2015)، مکان یابی درست صنایع، کنترل فعالیت های عمرانی و منابع ساکن تولید کننده گردوغبار و مدیریت صحیح منابع آب و خاک، ضرورت نظارت بر فعالیت صنایع و کنترل بر تجهیز آنها به سیستم های نوین کنترل آلودگی است.

References

- Akbari, E., Fakheri, M., PourGholam, E., Akbari, Z., 2015. monthly zoning of air pollution and investigation of its relationship with Climatic factors (Case study: Mashhad city). Journal of Natural Environment 68(4), 547-533. (In persian)
- Arghadeep, B., Chowdhury I.R., 2023. Investigating the association between air pollutants' concentration and meteorological parameters in a rapidly growing urban center of West Bengal, India: a statistical modeling-based approach. Modeling Earth Systems and Environment 9(4), 2877-2892.
- Asadzadeh, S.N., Hashemi, M., Dolati, M., Kermani, M., 2017. Investigating the trend of changes in air pollutants and its relationship with meteorological parameters in Bojnord city in 2014. Rahvard Salamat 3 (In persian).
- Ataei, H., Hasheminasab, S., 2011. Statistical study of air pollution in Isfahan city and its relationship with climate parameters. Tehran: The 11th Congress of Geographers of Iran. (In Persian)
- BaridKazemi, S., Moeinian, K., Taghipour, A., Nasehinia, H., 2019. Investigating the relationship between meteorological parameters and PM2.5 changes based on AQI index in Mashhad during 2014-2015. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences 7(2). (In Persian)
- Birim, N.G., Turhan, C., Atalay, A.S., Gokcen Akkurt, G., 2023. The influence of meteorological parameters on PM10: a statistical analysis of an urban and rural environment in Izmir/Türkiye. Atmosphere 14(3), 421.
- DOE. 2023. aqms.doe.ir. Accessed 2023. aqms.doe.ir. (In Persian)
- Environmental Research Institute, Occupational Health Center. 2011. Guide for calculating, determining and announcing the air quality index, requirements, instructions and specialized guidelines of the Occupational Health Center. Environmental Research Institute. (In Persian)
- Farhadi, R., Kargar, M., Zolfaghari, Gh., 2021. Prediction of air pollutants (CO, O3, PM10) and meteorological parameters of a case study: Birjand city. Scientific Quarterly of Environment and Transsectoral Development 71, 64-75. (In Persian)
- Heidari, M., Heidarinejad, Z., Alipour, V., Dindarloo, K., Rahmanian, O., Goodarzi, B., Mousapour, H., 2017. Evaluation of Air Quality based on Air Quality Index in Kerman City, 2015. Environmental Health Research 3(3), 208-218.

- Horn, S.A., Dasgupta, P.K., 2024. The Air Quality Index (AQI) in historical and analytical perspective a tutorial review. *Talanta* 267, 125260.
- Khajeh, M., Kheyrandish, H., Pishdad, S., 2014. Investigating the trend of the dust phenomenon and studying the winds affecting it (case study: Bandar Abbascity, Hormozgan province). *Environmental Erosion Research* 4(4), 37-48. (In Persian)
- Khebri, Z., Nejadkoorki, F., Talebi, S., 2016. Developing Air Pollution Modeling (AERMOD) in MATLAB Software. *Journal of Natural Environment* 69(2), 377-399. (In Persian)
- Lee, H., Lee, J., Oh, S., Park, S., Mayer, H., 2023. Air pollution assessment in Seoul, South Korea, using an updated daily air quality index. *Atmospheric Pollution Research* 14(4), 101728.
- Li, X.B., Yuan, B., Parrish, D.D., Chen, D., Song, Y., Yang, S., Liu, Z., Shao, M., 2022. Long-term trend of ozone in southern China reveals future mitigation strategy for air pollution. *Atmospheric Environment* 269, 118869.
- Lorestani, B., Cheraghi, M., Sobhan, S., 2008. "study and investigation of air polluting sources in Bandar Abbas city. the second specialized conference and exhibition of environmental engineering. Tehran. (In Persian)
- Mokhtari, M., Miri, M., Mohammadi, A., Khorsandi, H., Hajizadeh, Y., Abdollahnejad, A., 2015. "Estimation of air quality index and health hazards attributed to PM10, PM2.5 and So2 in the air of Yazd city. *Mazandaran University of Medical Sciences* 25(131), 14-23. (In Persian)
- Nabipeylashkarian, S., Habibi, A., Mahfozi, M., 2020. nvestigating the problem of dust production on the surface of Shoor and Khorkhoran wetlands in Hormozgan province. Tehran: he 4th national conference on soil protection and watershed management with a focus on dust. (In Persian)
- NASA, Jet Propulsion Laboratory. 2014. *Nighttime Tropospheric Ozone Impacts and Relationship to Air Quality*. Washington: NASA - Jet Propulsion Laboratory-Health & Air Quality.
- Panahi, A., 2018. Investigating the relationship between air quality index pollutants and meteorological parameters in extreme inversions of Tabriz city. *Geographical Space Scientific Research Quarterly* 18(62), 63-76. (In Persian)
- Ramezani, N., Alijani, B., Borna, R., 2019. Analysis and scenario forecasting of climate change effects on air pollution in Tehran metropolis. *Geography and Environmental Hazards* 30, 115-132. (In Persian)
- Salamati Hormozi, V., Hamzehnejad, M., Omidvar, K., Hosseinpur, M., 2016. Colloquial and remote analysis of the dust storm event in Hormozgan province. *Environmental Science and Technology* 21(12). (In Persian)
- Sasmita, S., Kumar, D.B., Priyadharshini, B., 2022. Assessment of sources and health impacts of PM10 in an urban environment over eastern coastal plain of India. *Environmental Challenges* 7, 100457.
- Shafieivarzaneh, Z., Emamimeybodi, A., 2016. "Investigating the air quality of Isfahan city based on AQI index during the years 2008 to 2013 (case study: Maidan Azadi station). The fifth international conference on new researches in management, economics and accounting. Saint Petersburg. (In persian)
- Shen, L., Lu, X., Huynh, T.L.D., Liang, C., 2023. Air quality index and the Chinese stock market volatility: Evidence from both market and sector indices. *International Review of Economics & Finance* 84, 224-239.
- Sicard, P., Paoletti, E., Agathokleous, E., Araminienè, V., Proietti, C., Coulibaly, F., De Marco, A., 2020. Ozone weekend effect in cities: Deep insights for urban air pollution control. *Environmental Research* 191, 110193.
- Steinberger, E H, and E Ganor. 1980. "High ozone concentrations at night in Jerusalem and Tel-Aviv. *Atmospheric Environment* 14 (2): 221-225.
- Toulabi, A., Zare, M., Mahvi, M., Shahryari, A., Sarkhosh, A., Rahmani, M., 2012. Investigating the air quality index in the air around Bandar Abbas Refinery. *Hormozgan Medical Journal* 16. (In Persian)
- U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. 2023. *AERMOD Model Formulation*. Research Triangle Park, NC.
- University of Iowa State. n.d. *Iowa State University*. Accessed 2020-2023. https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=IR_ASOS.
- Zupancic, T., Claire, W., Mike, B., 2015. *The impact of green space on heat and air pollution in urban communities: A meta-narrative systematic review*. Vancouver: David Suzuki Foundation, Green Belt.