

## Original Article



# Study and Investigating the Effect of Meteorological Quantities on the Pollution Potential of Arak City

Received: 2023.09.19

Accepted: 2023.04.07

Mahmood Omid<sup>1</sup>, Saviz Sehat Kashani<sup>2\*</sup>, Mehdi Rahnama<sup>2</sup>, Noushin Khoddam<sup>2</sup>, Faezeh Noori<sup>2</sup>, Gholamreza Moradi<sup>1</sup>, Mohammadreza Ahmadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Markazi Province  
Meteorology Office, Arak,  
Iran

<sup>2</sup> Research Institute of  
Meteorology and  
Atmospheric Science  
(RIMAS), Tehran, Iran

## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Urbanization and air pollution, especially in megacities, are major issues today. Understanding the factors contributing to this problem is crucial, and reducing the associated risks is a top priority for city and country officials. Arak City in Iran is one of the most polluted cities in the country, with industrial activities being the main cause of pollution. This research aims to investigate the meteorological factors that contribute to the pollution potential of Arak City, including wind speed, temperature, pressure, precipitation, boundary layer height, vertical velocity of the atmosphere at the levels of 825, 700, and 500 mb, and air conditioning coefficient. The study ultimately confirms Arak City's reputation as one of the most polluted cities in Iran.

**Material and Methods:** In this article, from the 20-year statistics of the Arak observation station (1380-1399) for the quantities of the earth's surface, including wind speed, temperature, pressure, and precipitation, as well as the 20-year data from 2001 to 2020, the reanalyzed data of Era5 from the database ECMWF has been used for upper-level quantities. To check other atmospheric quantities, including boundary layer height, wind speed in the upper atmosphere, and vertical wind at 825, 700, and 500 mb levels, Era5 reanalyzed data with a resolution of 0.25 degrees extracted from the ECMWF database were used.

**Results and Discussion:** The results indicated that low temperatures in the cold period of the year, as well as low night and morning temperatures in the cold months of the year, can cause temperature inversion and increase the retention potential of atmospheric pollutants. The average wind speed indicates the low and insignificant effect of the wind, especially in the cold days of the year and in the morning and night hours. Daily per capita rainfall of less than 1 mm did not have a significant effect in reducing pollutants. The investigation of meteorological quantities in the upper levels of the atmosphere showed that the height of the boundary layer fluctuates between 200 and 1400 m daily, which was less than 400 m from late November to January. Analysis of the vertical velocity at altitudes of 825 and 700 hPa revealed a downward movement during winter, autumn, and spring, while an upward trend was noted during daytime hours in the summer season. Furthermore, a descent was observed at the 500 hPa level throughout all seasons during nighttime hours, which is not as effective as the other two altitude levels. Examining the daily air ventilation coefficient also indicated its high fluctuations throughout the year from 800 to 7500 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>. The number of hourly changes also indicated fluctuation in the range of 22000 to around zero. The maximum ventilation coefficient at 12 UTC was between 3000 and 20000 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>. At 00:00, 03:00, and 21:00 UTC, the ventilation coefficient was less than 1500 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> on all days of the year. Also, according to the location of Arak and Shazand, there is a possibility of the transfer of atmospheric pollutants from Shazand to Arak, especially in spring, autumn, and winter.

**Conclusion:** Overall, the study of weather patterns at both ground level and in higher parts of the atmosphere highlights the risk of pollution buildup and low ventilation in Arak City, particularly during the colder months and during nighttime and early morning hours. As a result, it is important for policies to prioritize the establishment of low-pollution industries and the management of sources of pollution, especially during the aforementioned times.

**Keywords:** Arak, Pollution potential, Ventilation coefficient, Boundary layer

### How to cite this article:

Omid, M., Sehat Kashani, S., Rahnama, M., Khoddam, N., Noori, F., Moradi, Gh. and Ahmadi, M., 2024. Study and Investigating the Effect of Meteorological Quantities on the Pollution Potential of Arak City. Environ. Sci. 22(3): 447-468

\* Corresponding Author Email Address: s-sehat@irimo.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1340



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## مطالعه و بررسی تأثیر کمیت‌های هواشناسی بر پتانسیل آلودگی شهر اراک



تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

محمود امیدی<sup>۱</sup>، ساویز صحت کاشانی<sup>۲\*</sup>، مهدی رهنما<sup>۲</sup>، نوشین خدام<sup>۲</sup>، فائزه نوری<sup>۲</sup>، غلامرضا مرادی<sup>۱</sup>، محمدرضا احمدی<sup>۱</sup>

## چکیده مبسوط

<sup>۱</sup> اداره کل هواشناسی استان مرکزی، اراک، ایران<sup>۲</sup> پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

**سابقه و هدف:** توسعه شهرنشینی و آلودگی هوای شهری بویژه در کلان‌شهرها بعنوان یکی از معضلات جامعه بشری مطرح می‌شود و تلاش برای شناخت عوامل تأثیرگذار در مطالعات علمی اهمیت دوچندانی یافته و کاهش مخاطرات آن در دستور کار ویژه مسئولان و سیاست‌گذاران شهری و کشوری قرار دارد. شهر اراک یکی از هشت کلان‌شهر آلوده ایران به حساب می‌آید که آلودگی آن بطور عمده تحت تأثیر فعالیت صنایع است. هدف این مقاله مطالعه و بررسی کمیت‌های هواشناسی اثرگذار بر پتانسیل آلودگی شهر اراک شامل سرعت باد، دما، فشار، بارش، ارتفاع لایه‌مرزی، سرعت قائم جو در ترازهای ۸۲۵، ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری و ضریب تهویه هوا بعنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور تعیین شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این مقاله از آمار ۲۰ ساله ایستگاه همدیدی شهر اراک (۱۳۸۰-۱۳۹۹) برای کمیت‌های سطح زمین شامل سرعت باد، دما، فشار و بارش و همچنین از داده‌های ۲۰ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰) باز تحلیل شده ERA5 از پایگاه داده‌های ECMWF برای کمیت‌های سطوح فوقانی استفاده شده است. برای بررسی سایر کمیت‌های جوی شامل ارتفاع لایه‌مرزی، تندی باد در ترازهای بالای جو و باد قائم در ترازهای ۸۲۵، ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری نیز از داده‌های باز تحلیل شده ERA5 با تفکیک ۰/۲۵ درجه بصورت روزانه استفاده شد. هدف اصلی این مقاله شناسایی کمیت‌های هواشناسی تأثیرگذار بر پتانسیل آلودگی، بررسی کمیت‌های جوی و پتانسیل آلودگی از نظر پراکنش زمانی و تحلیل صحیح وضعیت آلودگی و عوامل آن با هدف یاری به مدیریت منابع آلاینده بود. به این منظور نخست به بررسی روند تغییرات میانگین شبانه‌روزی، ماهانه و فصلی کمیت‌های هواشناسی مذکور پرداخته شد. سپس با استفاده از ارتفاع لایه‌مرزی و متوسط باد در لایه مرزی کمیت ضریب تهویه محاسبه شد و تغییرات آن بصورت شبانه‌روزی، ماهانه و فصلی ارزیابی شد. همچنین برای بررسی انتقال آلودگی از شازند به سمت شهر اراک گلباد برای این منطقه تهیه و امکان انتقال آلودگی بررسی شد.

**نتایج و بحث:** نتایج بررسی تأثیر کمیت‌های هواشناسی بر پتانسیل آلودگی هوای شهر اراک نشان داد که کمیت دما می‌تواند به‌طور مستقیم در کیفیت هوای این شهر اثرگذار باشد. به‌طوری‌که دماهای پایین و کاهش دمای شبانه بویژه در فصول سرد سال می‌تواند سبب شکل‌گیری وارونگی و افزایش پایداری در نزدیکی سطح زمین شود. این وضعیت سبب کاهش ارتفاع لایه‌مرزی و کاهش ضریب تهویه شده و در نتیجه بالاتر رفتن پتانسیل نگهداشت آلاینده‌های جوی را به همراه دارد. سرعت قائم جو نیز در فصل‌های سرد سال سبب فرونشینی شده که باعث افزایش میزان آلاینده‌ها می‌شود. باین‌حال نتایج تحلیل سرعت باد و سرانه بارشی نشان داد که این دو کمیت تأثیر کم و ناچیزی در کاهش آلاینده‌ها در سطح شهر اراک دارند. همچنین با توجه به موقعیت مکانی شهر اراک و شازند و بررسی گل‌باد این دو شهر، احتمال انتقال آلاینده‌های جوی از شازند به اراک بویژه در فصول بهار، پاییز و زمستان وجود دارد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی بررسی کمیت‌های هواشناسی سطح زمین و سطوح فوقانی جو حاکی از پتانسیل بالای نگهداشت آلودگی و کم بودن ضریب تهویه شهر اراک است که بویژه در ماه‌های سرد سال و در ساعت‌های شبانه و صبحگاهی قابل توجه‌تر است. بنابراین، سیاست‌ها می‌بایست بر استقرار صنایع با آلاینده‌گی کم باشد و مدیریت منابع آلاینده به‌طور خاص در ایام سرد سال و ساعات شبانه و صبحگاهی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** اراک، پتانسیل آلودگی، ضریب تهویه، لایه‌مرزی

**استناد به این مقاله:** امیدی، م.، س. صحت کاشانی، م. رهنما، ن. خدام، ف. نوری، غ. مرادی و م. احمدی. ۱۴۰۳. مطالعه و بررسی تأثیر کمیت‌های هواشناسی بر پتانسیل آلودگی شهر اراک. فصلنامه علوم محیطی. ۲۲(۳): ۴۶۸-۴۴۷

\* Corresponding Author Email Address: s-sehat@irimo.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1340



## مقدمه

می‌شود. (Kayes *et al.* (2019) با ذکر اینکه کمیت‌های هواشناسی نقش بسزایی در تأثیرگذاری بر کیفیت هوای محیط شهری دارند و از آنجاییکه داکا، پایتخت بنگلادش، یکی از نقاط معروف آلودگی هوا در میان کلان‌شهرهای جهان است، تأثیرات بالقوه هواشناسی بر معیارهای آلاینده هوا را برای این کلان‌شهر مورد مطالعه قرار دادند. (Oji and Adamu (2020 نیز در هندوستان با مطالعه همبستگی بین کمیت‌های هواشناسی و غلظت آلودگی نشان دادند که غلظت آلاینده‌ها در جو در شرایط افزایش بارندگی، دمای پایین و افزایش رطوبت در فصل مرطوب نسبت به فصل خشک کمتر است. علاوه بر این، تحلیل همبستگی پیرسون از آلاینده‌ها و متغیرهای هواشناسی به برقراری ارتباط قوی بین دما، رطوبت نسبی، بارش و غلظت آلاینده در هر دو فصل خشک و مرطوب اشاره می‌کند. بررسی ارتباط احتمالی بین آلودگی هوا و متغیرهای هواشناسی در حوضه رودخانه سیوک در ترانسیلوانیا، معروف به قطب سرد رومانی توسط Bodor *et al.* (2020 نشان داد که آلاینده‌ها در طول دوره‌های گرم‌تر، بویژه در تابستان، غلظت‌های کمتری را نشان می‌دهند و غلظت‌های بالاتر قابل توجهی در فصل زمستان ناشی از استفاده از وسایل گرمایشی به دلیل تغییرات فصلی در مصرف انرژی (سوزاندن زیست‌توده) و پایداری جو مشاهده شد. (Liu *et al.* (2020 در پژوهشی، مشاهدات ساعتی بارش، باد و غلظت PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در شهر کینه‌وآندا در کشور چین را طی سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بارش دارای اثر مهار مرطوب معینی روی PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> است و اثر مهاری آن روی PM<sub>10</sub> بیشتر از PM<sub>2.5</sub> است. (Liu *et al.* (2020 در پژوهشی با عنوان یافتن رابطه بین آلودگی هوا و شرایط آب‌وهوایی در چین به این نتیجه رسیدند که تأثیر شرایط هواشناسی بر غلظت آلاینده هوا با نوع آلاینده تفاوت دارد و همچنین میزان تأثیر در مناطق مختلف متفاوت است. باینکه غلظت آلاینده‌های هوا در بیشتر ایستگاه‌ها تحت تأثیر عوامل متعدد هواشناسی قرار گرفت اما میزان تأثیر کمیت‌های هواشناسی به نوع آلاینده‌ها و موقعیت جغرافیایی

یکی از موضوعات مهم و ضروری در زمینه سلامت شهروندان در کلان‌شهرها موضوع آلودگی هوا است. آلودگی هوا زمانی رخ می‌دهد که گازها، ذرات گرد و خاک، دود یا بو وارد جو شود و برای انسان، حیوانات و گیاهان مضر باشد (Chodari, 2013). این تغییرات می‌توانند از طریق فرآیندهای طبیعی مانند خروج ذرات از آتشفشان‌ها یا گردبادهای صحرایی یا از طریق فرایند مصنوعی ناشی از کاربردهای مختلف صنعتی و حمل‌ونقل ایجاد شوند (Allahabadi and Ahmadi Asoor, 2011). علل آلودگی هوا به عوامل مختلفی از جمله انتشار، مقیاس محلی و همدیدی، شرایط جوی، شرایط عوارض زمینی، فرآیندهای شیمیایی جو، مناطق اطراف منبع انتشار و فصل سال بستگی دارد (Hosseinibalam and Hejazi, 2012). بهترین شرایط برای پخش آلاینده‌ها معمولاً با ناپایداری شدید و استقرار یک لایه آمیزش ضخیم همراه است. این موضوع در شرایط هوای آفتابی در ساعات روز، بویژه در تابستان‌ها رخ می‌دهد. درحالی‌که نامطلوب‌ترین شرایط زمانی حاصل می‌شود که وارونگی دمایی وجود داشته و لایه مجاور سطح زمین پایدار باشد. در این اوقات تلاطم سرکوب شده و حرکات عمودی به‌گونه‌ای مؤثر تضعیف می‌شود (Skoro, 2001).

(Gassmann and Mazzeo (2000 در پژوهشی به بررسی پتانسیل آلودگی هوا در آرژانتین پرداختند و از پتانسیل آلودگی هوا بعنوان معیاری از شرایط جوی که قادر به انتقال و رقیق کردن آلاینده‌ها در هوا، صرف‌نظر از وجود منابع آلاینده تعریف کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از ارتفاع اختلاط و باد می‌توان پتانسیل آلودگی هوا را تعیین کرد. در این مقاله یک تحلیل آماری از ارتفاع اختلاط و باد، به‌منظور تعیین مناطق با تهویه جو بالا یا ضعیف در آرژانتین، ارائه شده است. بررسی یک مطالعه موردی از آلودگی شدید هوا در ۴ تا ۹ دسامبر ۲۰۱۳ در دلتای رودخانه یانگ تسه توسط Xu *et al.* (2016) نشان داد شرایط سکون جو که با سرعت کم باد سطحی، وارونگی دمایی در لایه‌مرزی سیاره‌ای و سامانه پرفشار ضعیف و نیز رخداد مه همراه است به تجمع آلاینده‌ها منجر

دارند در حالی که سهم قابل توجهی در انتشار  $\text{NO}_2$  و  $\text{SO}_2$  را دارا هستند. Borhani *et al.* (2023) با استفاده از ترکیب محصولات سنجش‌ازدور شامل چگالی ستون ازن از سنجنده سنتینل ۵ همراه با کمیت‌های دما، سرعت باد و نم و ویژه و نیز اطلاعات جغرافیایی و جمعیت استان تهران، آثار آلودگی ازن بر اقلیم شهری و وضعیت پوشش گیاهی در ۱۶ شهرستان این استان را بررسی کردند. نتایج نشان داد یک روند فصلی در تغییرات چگالی ازن در تمام مناطق وجود دارد به طوری که بیشترین مقادیر در فصل گرم و کمترین آن در فصل سرد سال به دست آمد. همچنین از نظر موقعیت جغرافیایی بیشترین مقادیر در شهرستان‌های شهریار و پاکدشت و کمترین آن در شهرستان شمیرانات ثبت شده است. علاوه بر این، یک همبستگی مثبت بین چگالی ستون ازن و شاخص پوشش گیاهی به دست آمد، در حالی که همبستگی بین چگالی ستون ازن با سرعت باد، نم و ویژه و دما منفی است. با توجه به مضرات و آسیب‌های زیست‌محیطی انتشار ذرات معلق، Borhani *et al.* (2023) در مطالعه‌ای به بررسی و تعیین غلظت  $\text{PM}_{2.5}$  و  $\text{PM}_{10}$  و تأثیر کمیت‌های هواشناسی بر آن در چهار ایستگاه در کارخانه سیمان کرمان طی فصول مختلف سال پرداختند. نتایج حاکی از آن است که بیشینه مقادیر غلظت ذرات معلق در سال‌های مختلف در مکان‌های متفاوتی مشاهده می‌شود. همچنین افزایش غلظت ذرات معلق با افزایش رطوبت نسبی و بارندگی مشاهده شد.

بررسی مطالعات و طرح‌های تحقیقاتی انجام شده در خصوص آلودگی هوای شهر اراک نشان داد که منابع آلاینده، سیاهه انتشار آلاینده‌ها و برخی کمیت‌های هواشناختی همچون سرعت باد مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این در حالی است که علاوه بر منابع آلاینده، عوامل دیگری از جمله پتانسیل آلوده‌پذیری، تأثیرپذیری منطقه، ویژگی‌های اقلیمی و کمیت‌های هواشناسی نیز در افزایش غلظت آلاینده‌ها از اهمیت بسزایی برخوردارند که این موضوع تاکنون برای شهر اراک مطالعه نشده است. در مکان‌بای مناطق صنعتی و شهری توجه به ضریب تهویه هوا و پتانسیل آلودگی هوای منطقه

ایستگاه‌ها نیز بستگی دارد. Voiculescu *et al.* (2020) مطالعه‌ای ارتباط کمیت‌های هواشناسی (دما، رطوبت نسبی، تابش مستقیم) و تغییر غلظت  $\text{NO}_2$  در یک محیط شهری در رومانی را مورد بررسی قرار دادند. به طور کلی مقدار  $\text{NO}_2$  در جو نزدیک به زمین، در تابستان کمینه و در اواخر پاییز/مستان در بیشتر سال‌ها بیشینه است. همچنین ترافیک عامل مهمی در آلودگی جوی  $\text{NO}_2$  در ساعات روز است.

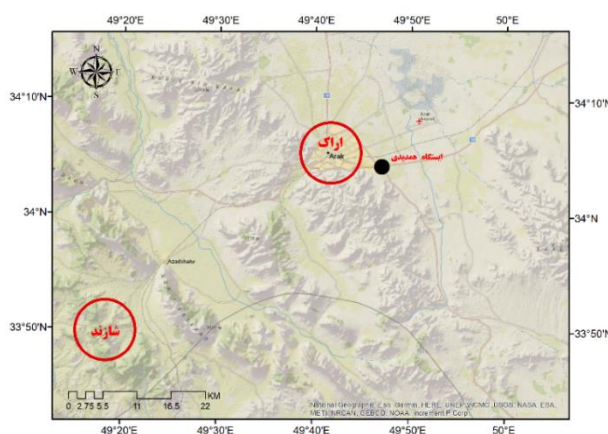
نتایج پژوهش Karam *et al.* (2013) نشان می‌دهد که شهر اراک از نظر عوارض زمینی شرایط خاصی را دارا است به طوری که دشت اراک توسط یک سلسله ارتفاعات محدود شده و چاله طبیعی بسته‌ای را پدید آورده است. Nowrozi, and Shamsipour (2014) در پژوهشی با استفاده از مدل متوسط مقیاس آلودگی هوا (TAPM) به بررسی الگوی پخش آلاینده‌ها در شهر اراک پرداختند. آن‌ها دو روز از دوره گرم سال و دو روز از دوره سرد سال با شرایط هوای آرام و با شرایط وجود باد و داده‌های منتشر شده از نیروگاه برق سازند در جنوب غرب اراک را به مدل معرفی کردند. نتیجه حاکی از آن بود که در شرایط وزش باد و حالت ناپایدار جوی، جریان باد به صورت افقی و قائم موجب انتقال آلاینده‌ها به مناطق دورتر شده و تعدیل آلودگی را سبب می‌شود؛ اما در شرایط هوای آرام با گرم شدن سطح زمین و جو مجاور آن، جریان‌های همرفتی در سطح زمین ایجاد شده و منجر به تعدیل آلودگی هوا می‌شود. نتایج بررسی شاخص آلودگی در سال ۱۳۹۰ توسط Kermani *et al.* (2016) نشان داد که بر اساس شاخص بهداشت کیفیت هوا، میزان آلودگی هوا در هفت کلان‌شهر کشور در وضعیت نامناسبی قرار دارد و بر این اساس کیفیت هوا در شهرهای اهواز، اراک، تهران، اصفهان، شیراز، تبریز و مشهد به ترتیب در ۸۵، ۴۳، ۴۷، ۶۰، ۷۰، ۷۳، و ۲۹ درصد از روزها از حد استاندارد تجاوز کرده است. Badamfirooz *et al.* (2022) با استفاده از مدل‌سازی آلودگی هوا توسط مدل ADMS اثر انتشار ذرات معلق و گازهای ناشی از فعالیت‌های صنایع مختلف بر محیط‌زیست شهر اراک را برآورد کردند. نتایج نشان داد که در انتشار گاز  $\text{CO}$  صنایع سهم کمتری نسبت به حمل‌ونقل

۰۰ دقیقه شمالی، با ارتفاع ۱۷۰۰ متر بالاتر از سطح دریا واقع شده است و به دلیل حضور بسیاری از صنایع یکی از شهرهای صنعتی مهم در ایران است (Salehi et al., 2021؛ Ghahroudi Tali, 2016). موقعیت مکانی و تصویر ماهواره‌ای شهر اراک، شازند و ایستگاه هواشناسی اراک در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در تصویر ماهواره مشاهده می‌شود ارتفاعات این منطقه به‌گونه‌ای است که فلات اراک را احاطه کرده و محیط طبیعی متنوعی را شکل داده است. این شهر در کانون همگرایی دو رشته‌کوه غربی و جنوبی در مدخل دره‌ای که ارتفاعات را از هم جدا می‌کند، قرار گرفته است. تأثیرات این نوع عوارض زمینی ویژه باعث محبوس شدن شهر اراک توسط ارتفاعات و مانع خروج آلودگی هوا از شهر می‌شود و همچنین صنایع در مسیر بادهای غالب و بادهای محلی شرقی قرار گرفته و باعث ورود آلودگی هوا به داخل شهر می‌شود.

ضرورت دارد. عدم توجه به عوامل مذکور، وضعیت تهویه‌پذیری شهر و همچنین تغییرات زمانی تهویه‌پذیری می‌تواند با تحلیل اشتباه منجر به تصمیمات نادرست در مقوله آلودگی هوا، بویژه هنگام عکس‌العمل‌های فوری و کوتاه‌مدت در مواقع هشدار و نیز در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت شود. همان‌طور که اشاره شد آنچه کمتر مورد توجه قرار گرفته پتانسیل نگهداشت آلاینده‌های جوی با استفاده از کمیت‌های جوی بعنوان یک ویژگی اقلیمی و صرف‌نظر از منابع آلاینده در یک منطقه است. بنابراین این مقاله با هدف شناسایی کمیت‌های هواشناسی تأثیرگذار بر پتانسیل آلودگی، شناسایی کمیت‌های جوی و پتانسیل آلودگی از نظر پراکنش زمانی و تحلیل صحیح وضعیت آلودگی و عوامل آن در شهر اراک با هدف یاری به مدیریت منابع آلاینده تهیه شده است.

### منطقه مورد مطالعه

شهر اراک که در ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ۳۴ درجه و



شکل ۱- موقعیت مکانی شهر اراک، شازند و ایستگاه هواشناسی اراک

Fig. 1- Location and satellite image of Arak city, Shazand and Arak meteorological station

Era5 با تفکیک ۰/۲۵ درجه به صورت روزانه استفاده خواهد شد که از پایگاه داده ECMWF استخراج و مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب تراز ۸۲۵ میلی‌باری به دلیل شرایط ارتفاعی منطقه است که تقریباً هم‌ارتفاع با این تراز است. روند تغییرات کمیت‌های مذکور به صورت روزانه، ماهانه و فصلی در ۸ ساعت سینوپ (UTC ۰۰:۰۰، ۰۳:۰۰، ۰۶:۰۰، ۰۹:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۵:۰۰، ۱۸:۰۰، ۲۱:۰۰) مورد بررسی قرار گرفته و میانگین شبانه‌روزی، ماهانه و فصلی تحلیل شده است. همچنین ضریب تهویه هوا با توجه به ارتفاع لایه‌مرزی و متوسط سرعت باد در

### مواد و روش‌ها

در این مقاله از آمار ۲۰ ساله ایستگاه همدیدی اراک از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ (۲۰۲۰-۲۰۰۱) برای کمیت‌های سطح زمین شامل سرعت باد، دما، فشار و بارش و همچنین داده‌های باز تحلیل شده Era5 از پایگاه داده‌های ECMWF (CDS, 2017) برای کمیت‌های سطوح فوقانی در بازه زمانی مورد مطالعه استفاده شده است. برای بررسی سایر کمیت‌های جوی شامل ارتفاع لایه‌مرزی، تندی باد در ترازهای بالای جو و باد قائم در ترازهای ۸۲۵، ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی‌باری از داده‌های باز تحلیل شده

اوایل آبان میانگین دما بیش از ۱۰ درجه سلسیوس است و پس از آن تا پایان سال میانگین دما کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس است. متوسط دمای کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس در دوره سرد سال و در بازه آذر ماه تا اسفند ماه کمتر از پنج درجه سلسیوس در شرایط پایدار جوی عدم شکل‌گیری جریانات همرفتی و جابجایی را سبب می‌شود. دامنه تغییرات میانگین فشار در طول روزهای سال بین ۸۲۵ تا ۸۳۵ میلی‌بار است. بیشترین میانگین فشار روزانه در اواسط مهرماه است و کمترین مقادیر در اواخر خردادماه است. میانگین فشار در روزهای اواسط مهر تا اواخر دی‌ماه بالا است که حاکی از عدم امکان شکل‌گیری جریانات همرفتی است. به طور میانگین سرعت باد حدود سه متر بر ثانیه است (شکل ۳). پیشینه میانگین سرعت باد در روزهای ابتدایی و پایانی سال است. کمینه میانگین سرعت باد نیز از اوایل مهر تا اواخر بهمن ماه در حدود ۱/۵ متر بر ثانیه و گاه کمتر است. مقادیر کم میانگین سرعت باد در شهر اراک حاکی از امکان جابجایی کم آلودگی‌ها توسط باد سطحی است. سرعت کم باد در ساعات‌های شبانه و صبحگاهی و افزایش کم متوسط سرعت باد در ساعات‌های روزانه در زمان سرد سال موجب افزایش پتانسیل نگهداشت آلاینده و جابجایی کمتر آن‌ها در طول روز می‌شود. در نمودار شکل ۴ تغییرات روزانه متوسط سرعت قائم جو در تراز ۸۲۵، ۷۰۰ و ۵۰۰ میلی-بار آمده است. همان‌طور که در شکل مشخص است تغییرات فرونشینی جو در تراز ۷۰۰ میلی‌بار بیشتر از دو تراز فشاری ۸۲۵ و ۵۰۰ میلی‌باری است. بررسی فرونشینی جو در تراز ارتفاعی ۷۰۰ میلی‌باری در بازه زمانی فروردین تا اواسط خرداد و همچنین از اواخر شهریور تا پایان سال حاکی از فرونشینی جو است و در بازه اواسط خرداد تا مهر ماه میل به صعود در جو وجود دارد. تراز ارتفاعی ۵۰۰ میلی‌باری نسبت به دو تراز ارتفاعی دیگر بیشتر میل به خنثی بودن وجود دارد. تراز ارتفاعی ۸۲۵ میلی‌باری نیز با مقادیر کمتری، روندی شبیه تراز ۷۰۰ میلی‌باری دارد؛ در بازه اواسط خرداد تا مهر ماه میل کمی به صعود وجود دارد و در سایر روزهای سال در این تراز ارتفاعی میل به فرونشینی جو وجود دارد.

طول لایه‌مرزی محاسبه و نمودارهای مربوطه تهیه و مورد تحلیل قرار گرفته است. سرعت باد در لایه‌های جو بر اساس مؤلفه‌های  $u$  و  $v$  از داده‌های باز تحلیل‌شده Era5 است که برای به دست آوردن متوسط سرعت باد از رابطه (۱) استفاده می‌شود (Holton, 2004).

$$V = \sqrt{v^2 + u^2} \quad (1)$$

ضریب تهویه حاصل ضرب ارتفاع عمق لایه‌مرزی و میانگین سرعت باد در همان ارتفاع است. از آنجاکه سرعت باد در ارتفاع متغیر است لذا متناسب با هر ارتفاع یک سرعت باد خواهیم داشت و رابطه حاصل برای محاسبه ضریب تهویه (Chan, 2012) به شکل زیر خواهد بود.

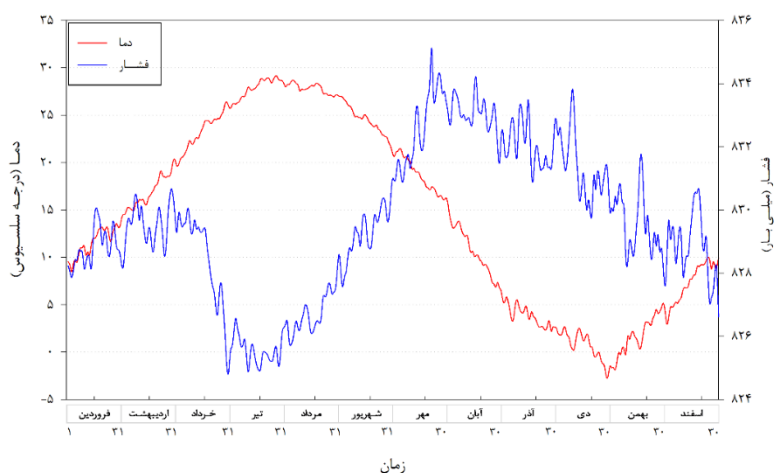
$$VC = Z_i * U \quad (2)$$

که در آن  $Z_i$  ارتفاع لایه‌مرزی جوی برحسب متر و  $U$  متوسط سرعت باد (متر بر ثانیه) در لایه‌مرزی است. در این مقاله به‌طور مختصر به امکان جابجایی آلودگی از نقاط دیگر به شهر اراک پرداخته شده است. البته بررسی دقیق این امر نیاز به تحقیق گسترده دارد. یکی از موارد مهم انتقال آلودگی به شهر اراک که بسیار مورد بحث است، امکان جابجایی آلودگی شهر شازند به این شهر است. با توجه به موقعیت شهر شازند و واقع شدن در جنوب غربی شهر اراک بررسی گلباد شهر شازند می‌تواند جهت انتشار آلاینده‌ها را نشان دهد. در این مقاله داده مورد استفاده جهت ترسیم گلباد شازند در تراز ارتفاعی ۸۰۰ میلی‌بار از داده‌های history+ سایت meteoblue استفاده شده است که در آن تنها داده‌های سال ۲۰۱۹ در قسمت Era5 به‌صورت آزاد در دسترس است.

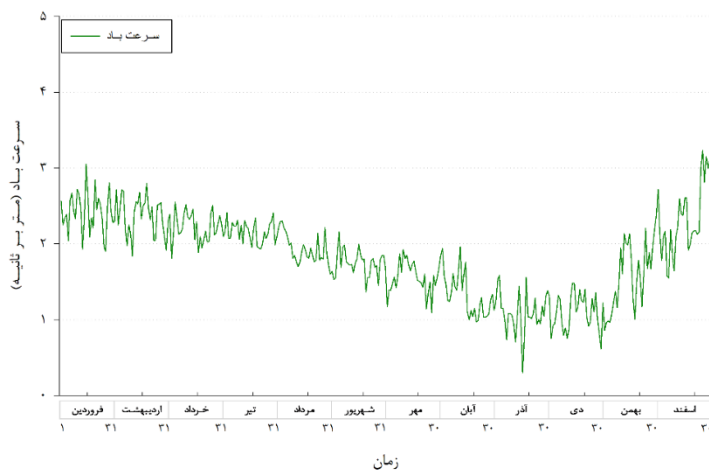
## نتایج و بحث

### بررسی روند میانگین شبانه‌روزی کمیت‌های مورد مطالعه

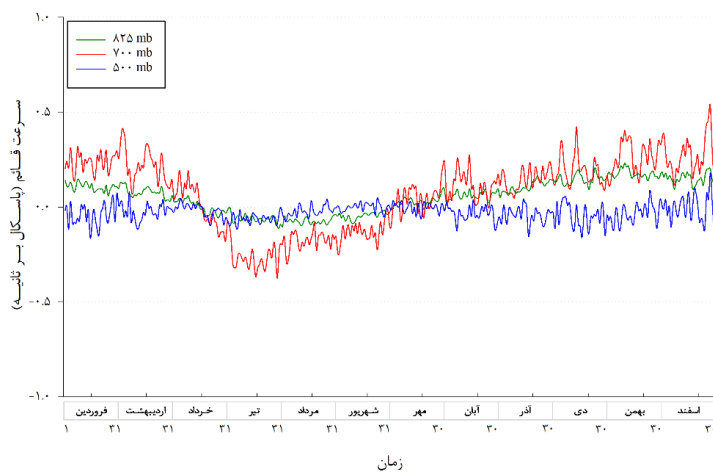
شکل ۲ روند تغییرات میانگین دمای روزانه و فشار را در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹ در شهر اراک نشان می‌دهد. پیشینه میانگین دما در روزهای پایانی تیرماه و ابتدای مردادماه حدود ۲۹ درجه سلسیوس است. کمینه میانگین دما نیز در اواخر دی‌ماه حدود ۲/۵- درجه سلسیوس است. از ابتدای سال تا



شکل ۲- متوسط تغییرات روزانه دما (آبی) و تغییرات متوسط روزانه فشار (قرمز) طی سال‌های (۱۳۹۹-۱۳۸۰)  
 Fig. 2- Average daily changes in temperature (blue) and average daily changes in pressure (red) during the years (2001-2020)



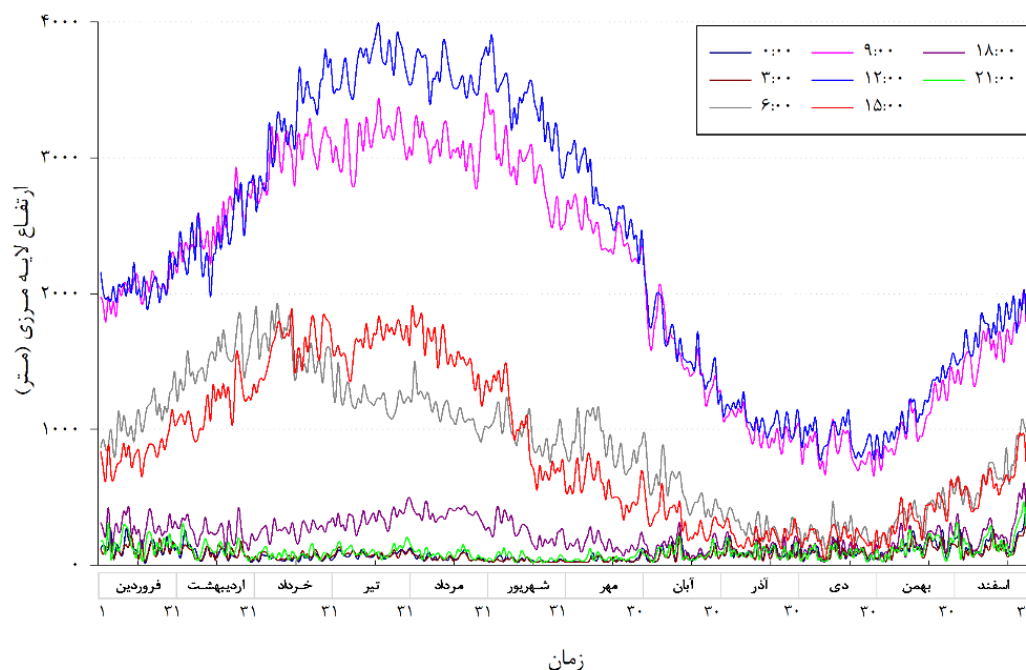
شکل ۳- تغییرات روزانه متوسط سرعت باد طی سال‌های (۱۳۹۹-۱۳۸۰)  
 Fig. 3- Average daily changes of wind speed during the years (2001-2020)



شکل ۴- تغییرات روزانه متوسط سرعت قائم جو در تراز ۸۲۵ (سبز)، ۷۰۰ (قرمز) و ۵۰۰ (آبی) میلی بار طی سال‌های (۱۳۹۹-۱۳۸۰)  
 Fig. 4- Average daily changes of atmospheric vertical velocity at the level of 825 (green), 700 (red) and 500 (blue) mb during the years (2001-2020)

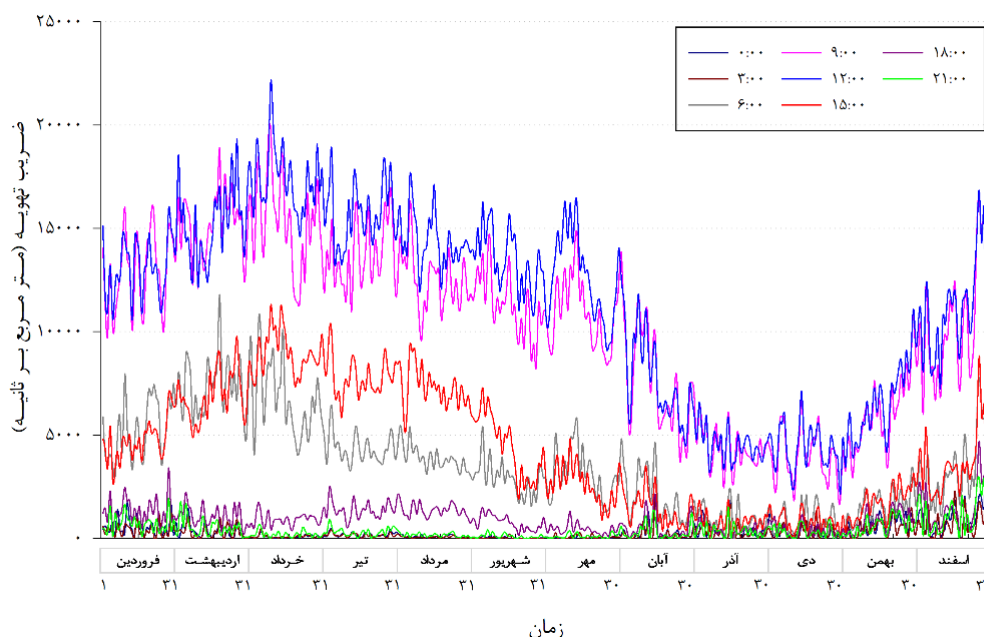
مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط روزانه ضریب تهویه جو طی ساعت‌های ۰۰ تا ۲۱ UTC در نمودار شکل ۶ نوسانات زیاد آن را در طول سال و همچنین در ساعت‌های شبانه‌روز نشان می‌دهد. میزان نوسانات ضریب تهویه در بازه ۲۲۰۰۰ مترمربع بر ثانیه تا حدود صفر در ساعاتی از روز در نوسان است. در ساعت‌های ۰۹ و ۱۲ UTC ضریب تهویه در طول سال نسبت به سایر ساعت‌های روز بالاتر است. بیشترین آن حدود ۲۰۰۰۰ تا کمترین آن حدود ۳۰۰۰ مترمربع بر ثانیه در روزهای سرد سال است. در ساعت ۰۶ و ۱۵ UTC نیز ضریب تهویه بین ۴۰۰۰ تا ۸۰۰۰ مترمربع بر ثانیه تا پایان تابستان در نوسان که پس از آن از مقدار آن کاسته می‌شود به طوری که از آذر ماه تا اسفند ماه به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌رسد. در ساعت ۱۸ UTC نیز ضریب تهویه در طول سال کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است و حتی در آذر ماه تا اسفند ماه به کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع بر ثانیه می‌رسد. به طور کلی متوسط ضریب تهویه روزانه طی ساعت‌های ۰۳، ۰۰ و ۲۱ UTC در طول سال کمتر از سایر ساعت‌ها است؛

تغییرات قابل توجه ارتفاع لایه مرزی شهر اراک طی ساعات ۰۰ تا ۲۱ UTC در شکل ۵ به خوبی نمایان است. به طور کلی تغییرات میانگین ارتفاع لایه مرزی در طول سال در ساعت شب ناچیز است، در حالی که با توجه به تغییرات دمایی، در طی روز تغییرات قابل توجهی مشاهده می‌شود. در طول سال میزان تغییرات ارتفاع متوسط لایه مرزی در روزهای گرم سال از کمتر از ۲۰۰ متر در ساعت‌های ۰۳، ۰۰ و ۲۱ UTC تا بیش از ۳۰۰۰ متر در ساعت‌های ۰۹ و ۱۲ UTC نوسان دارد. دامنه این میزان نوسان در روزهای سرد سال از کمتر از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر است. در ساعت‌های ۰۶ و ۱۵ UTC ارتفاع لایه مرزی در روزهای گرم سال به بیش از ۱۰۰۰ متر می‌رسد و در بازه زمانی اواخر آبان تا اواخر بهمن کمتر از ۴۰۰ متر است. ارتفاع کم لایه مرزی در ساعات شبانه‌روز و صبحگاهی بویژه در روزهای سرد سال سبب بالا رفتن پتانسیل نگهداشت آلاینده‌های جوی می‌شود. از آنجاکه تغییرات ضریب تهویه مشابه ارتفاع لایه مرزی است، در این قسمت نیز تغییرات این کمیت به صورت سه ساعتی



شکل ۵- متوسط تغییرات روزانه ارتفاع لایه مرزی در ساعات (۰۰ و ۰۳ و ۰۶ و ۰۹ و ۱۲ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۱ UTC) طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹)  
Fig. 5- Average daily changes of boundary layer height in hours (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, and 21 UTC) during the years (2001-2020)





شکل ۶- تغییرات روزانه متوسط ضریب تهویه در ساعات (۰۰ و ۰۳ و ۰۶ و ۰۹ و ۱۲ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۱ UTC) طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹)  
 Fig. 6- Average daily changes of the ventilation coefficient in hours (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 and 21 UTC) during the years (2019-2020)

بسیار کم و حدود ۰/۵ تا ۱ متر بر ثانیه است. همچنین در ساعت‌های ۱۸ و ۲۱ نیز حدود ۰/۵ تا ۱/۵ متر بر ثانیه است. متوسط سرعت کم باد در این ساعات در ماه‌های مختلف سال و بخصوص ماه‌های سرد سال گواه بر عدم جابجایی آلاینده‌ها در این ساعات شبانه‌روز است. متوسط سرعت باد طی ساعت ۰۶ تا ۱۵ UTC بین ماه‌های مختلف سال اختلاف بیشتری دارد و در ساعت ۱۲ UTC این اختلاف به ۲/۵ متر بر ثانیه نیز می‌رسد. نکته قابل ذکر متوسط سرعت باد کم در ماه‌های آذر و دی حتی در ساعت ۱۲ UTC است. بررسی تغییرات متوسط فشار ماهیانه طی ساعت‌های ۰۰ تا ۲۱ UTC نشان داد که پرفشارترین ماه‌ها به ترتیب آبان، مهر و آذر و میزان تغییرات متوسط فشار در این ماه‌ها در شبانه‌روز حدود دو میلی‌بار است. کم فشارترین ماه‌ها به ترتیب تیر، مرداد و خرداد و میزان تغییرات متوسط فشار حدود ۲/۵ میلی‌بار است. متوسط فشار بالا در ماه‌های سرد سال و میزان کمتر تغییرات روزانه در این ماه‌ها حاکی از پایداری بیشتر جو و در نتیجه افزایش پتانسیل آلودگی هوا در این ماه‌ها است.

### بررسی تغییرات میانگین ماهانه کمیت‌های مورد مطالعه

در این بخش روند تغییرات میانگین ماهانه کمیت‌های دما، سرعت باد، فشار، سرعت قائم جو در ترازهای مختلف، ارتفاع لایه‌مرزی و ضریب تهویه هوا مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. با توجه به محدودیت، در این بخش تنها بخشی از نتایج در قالب جدول ارائه می‌شود. متوسط تغییرات دمای ماهیانه طی ساعات ۰۰ تا ۲۱ UTC در جدول ۱ حاکی از اختلاف دما تا ۲۵ درجه سلسیوس در ساعات ۰۰، ۰۳، ۲۱ و ۱۸ UTC بین ماه‌های گرم و سرد سال و همچنین اختلاف دما تا ۳۰ درجه سلسیوس بین ماه‌های گرم و سرد سال در ساعات ۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ UTC است. اختلاف موجود و همچنین دماهای کمتر در ماه‌های سرد سال بخصوص در ساعات شبانه و صبحگاهی می‌تواند کاهش ارتفاع لایه‌مرزی در این ماه‌ها را بیان دارد و افزایش پتانسیل آلودگی هوا را به همراه داشته باشد. تغییرات متوسط سرعت باد ماهیانه طی ساعات ۰۰ تا ۲۱ UTC در جدول ۲ بیان می‌دارد طی ساعات‌های ۰۰ و ۰۳ UTC متوسط سرعت باد در تمام ماه‌ها

جدول ۱- متوسط ماهانه دمای هوا در ساعات ۰۰ و ۰۳ و ۰۶ و ۰۹ و ۱۲ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۱ UTC طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹)

Table 1. Average monthly air temperature at 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, and 21 UTC during the years (2001-2020)

	0	3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00
فروردین (April)	7.5	6.3	11.6	15.5	16.6	14.4	11.6	9.4
اردیبهشت (May)	11.9	11.5	17.7	21.5	22.3	20.2	16.8	14.2
خرداد (June)	16.8	16.9	24.2	28.6	29.9	28	23.6	20.2
تیر (July)	21.6	21.2	28.3	33.1	34.5	32.3	28	24.9
مرداد (August)	21.6	20.5	28	33.2	34.6	31.9	27.4	24.5
شهریور (September)	17.8	16	24	29.9	31.4	27.7	23.6	20.6
مهر (October)	12.4	10.5	18	24	25.4	21.1	17.9	14.9
آبان (November)	6.1	4.9	9.2	14.2	15.5	11.8	9.6	7.6
آذر (December)	0.7	-0.2	2.5	6.8	8.6	5.3	3.4	1.8
دی (January)	-2.2	-3.1	-0.8	3.4	5.4	2.3	0.4	-1.1
بهمن (February)	-1.2	-2.2	0.6	4.9	6.8	4	1.9	0.3
اسفند (March)	3.5	2.3	6.6	11.2	12.8	10.1	7.4	5.4

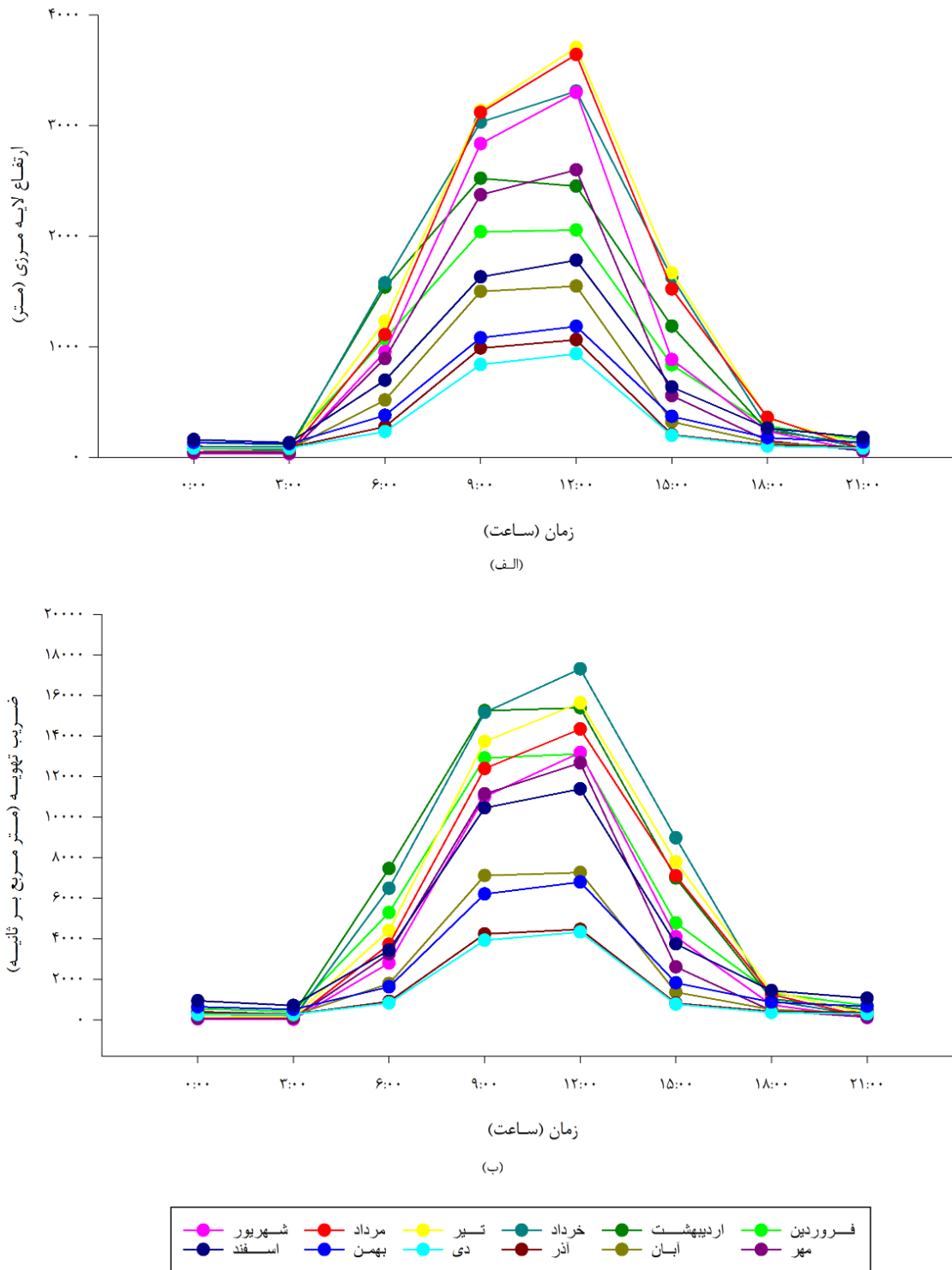
جدول ۲- متوسط سرعت باد ماهانه در ساعات ۰۰ و ۰۳ و ۰۶ و ۰۹ و ۱۲ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۱ UTC طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹)

Table 2. Average monthly wind speed at 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 and 21 UTC during the years (2001-2020)

	0:00	3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00
فروردین (April)	1.13	0.96	1.96	3.81	4.44	3.39	2.12	1.53
اردیبهشت (May)	0.88	0.75	2.07	3.94	4.55	3.48	2.05	1.24
خرداد (June)	0.55	0.4	1.71	3.63	4.48	3.97	1.94	1.02
تیر (July)	0.65	0.49	1.55	3.43	4.22	4.2	1.74	1
مرداد (August)	0.51	0.4	1.35	3.04	4.06	3.8	1.09	0.74
شهریور (September)	0.41	0.33	1.06	2.82	3.91	3.21	1.26	0.74
مهر (October)	0.43	0.31	0.99	2.97	3.7	2.13	1.42	0.81
آبان (November)	0.5	0.42	0.98	2.15	2.65	1.68	1.24	0.66
آذر (December)	0.64	0.57	0.91	1.65	1.89	1.31	0.84	0.69
دی (January)	0.6	0.57	0.85	1.68	2.08	1.36	0.9	0.69
بهمن (February)	1	0.92	1.3	2.51	2.94	1.99	1.4	1.1
اسفند (March)	1.23	1.1	1.83	3.53	4.3	3.04	2.03	1.6

نمودار تغییرات ماهیانه متوسط سرعت قائم جو نشان داد که در تمام ماه‌های سال در ساعت‌های ۰۳، ۰۰ و ۲۱ UTC تراز ۸۲۵ میلی‌بار فرونشست هوا وجود دارد. در ساعت ۱۸ UTC نیز بجز ماه‌های تیر، مرداد و شهریور که امکان صعود کم هوا را دارند در سایر ماه‌های سال فرونشست هوا وجود دارد. در مهرماه نیز به جز ساعت‌های ۰۹، ۱۲ و ۱۵ UTC در سایر ساعت‌های روز شرایط فرونشست دارد و همچنین خرداد ماه نیز شرایط مهر ماه را دارد تنها در ساعت ۰۶ UTC با هم اختلاف دارند. سایر ماه‌های سال که شامل ماه‌های سرد سال و فروردین و اردیبهشت می‌شود در کلیه ساعت‌های شبانه‌روز به‌طور متوسط شرایط فرونشست هوا برقرار است. نمودار تغییرات ماهیانه متوسط سرعت قائم جو در تراز ۷۰۰ میلی‌بار بیان می‌دارد که در تمام ماه‌های سال بجز تیر و مرداد در ساعت‌های ۰۳، ۰۰ و ۲۱ UTC فرونشست هوا وجود دارد. در ساعت ۱۸ UTC نیز به جز ماه‌های تیر، مرداد و شهریور که امکان صعود کم هوا را دارند در سایر ماه‌های سال فرونشست هوا وجود دارد. تغییرات ماهیانه فرونشستی جو در ساعت ۰۹، ۱۲ و ۱۵ UTC در ماه‌های مختلف سال نسبت به سایر ساعت‌های شبانه‌روز زیاد است. دامنه تغییرات در ساعت ۱۲ UTC بین ۰/۶- تا ۰/۲۵ پاسکال بر ثانیه است. از آبان تا اسفند و همچنین فروردین و اردیبهشت متوسط ماهانه سرعت قائم جو نشان می‌دهد در کلیه ساعت‌های شبانه‌روز شرایط فرونشست هوا برقرار است. تغییرات ماهیانه متوسط سرعت قائم جو در ساعات ۰۰ تا ۲۱ UTC میل به خنثی بودن در تراز ۵۰۰ میلی‌باری را در اغلب ماه‌ها نشان می‌دهد. بررسی متوسط سرعت قائم جو در ساعت ۰۰ تا ۰۶ UTC در ماه‌های گرم سال با توجه به حاکم شدن پراتفان جنب حاره بر روی کشور و همچنین استان مرکزی میل به فرونشستی جو در تراز ۵۰۰ میلی‌بار را در این ماه‌ها نشان می‌دهد و در مورد ماه‌های سرد سال در این بازه ساعتی در تراز ۵۰۰ میلی‌بار به میزان کم میل به صعود وجود دارد. در ساعت ۱۲ UTC در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد متوسط سرعت قائم جو مهیا بودن شرایط صعود را گواه است. در نمودار شکل ۷ تغییرات متوسط ارتفاع لایه‌مرزی و ضریب

تهویه هوا ماهیانه آمده است. کمترین ارتفاع لایه‌مرزی به ترتیب در ماه‌های دی، آذر و بهمن است که ارتفاع لایه‌مرزی در این ماه‌ها در ساعت ۰۹ و ۱۲ UTC حدود ۱۰۰۰ متر و کمتر است. در ماه‌های تیر و مرداد نیز بیشترین ارتفاع لایه-مرزی در ساعت ۱۲ UTC به‌طور متوسط بیش از ۳۵۰۰ متر است. میزان تغییرات متوسط ارتفاع لایه‌مرزی در ساعت‌های ۰۳، ۰۰، ۲۱ و ۱۸ UTC به علت پایداری بیشتر جو و عدم دریافت تابش طی این ساعت‌ها در ماه‌های مختلف اختلاف زیادی ندارد؛ اما در سایر ساعت‌ها در طول روز یعنی بین ساعت ۰۶ تا ۱۵ UTC به علت تابش و ناپایداری شدن جو اختلاف متوسط ارتفاع لایه‌مرزی قابل توجه است. اختلاف متوسط ارتفاع لایه‌مرزی در ساعت‌های ۰۹ و ۱۲ UTC در ماه دی و تیر بیش از ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر نیز است. تغییرات متوسط ارتفاع لایه‌مرزی در طول ساعت‌های شبانه‌روز در ماه‌های دی، آذر و بهمن به نسبت سایر ماه‌ها بسیار کمتر است که گواه بر انباشت آلاینده‌ها در صورت وجود آن‌ها است. بررسی نمودار شکل ۳-۳۷ متوسط ضریب تهویه ماهیانه طی ساعت‌های ۰۰ تا ۲۱ UTC نتایج قابل توجهی را ارائه می‌نماید. ضریب تهویه در ساعت‌های ۰۳، ۰۰، ۱۸ و ۲۱ در کلیه ماه‌های سال کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ماه‌های آذر و دی در ساعت‌های ۰۶ و ۱۵ UTC متوسط ضریب تهویه کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۰۹ و ۱۲ UTC ضریب تهویه حدود ۴۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ماه‌های آبان و بهمن در ساعت‌های ۰۶ و ۱۵ UTC متوسط ضریب تهویه کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۰۹ و ۱۲ UTC ضریب تهویه حدود ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در سایر ماه‌ها ضریب تهویه در ساعت ۰۶ بین ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ مترمربع بر ثانیه و در ساعت ۱۵ UTC بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. بیشترین ضریب تهویه را خرداد ماه در ساعت ۱۲ UTC با ۱۷۰۰۰ مترمربع بر ثانیه دارد. ضریب تهویه ماه‌های مهر، اسفند و شهریور در ساعت ۰۹ UTC ۱۰۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ مترمربع بر ثانیه و در ساعت ۱۲ UTC ۱۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است.



شکل ۷- تغییرات متوسط ارتفاع لایه مرزی و (ب) ضریب تهویه هوا ماهانه در ساعات ۰۰ و ۰۳ و ۰۶ و ۰۹ و ۱۲ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۱ UTC طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹)

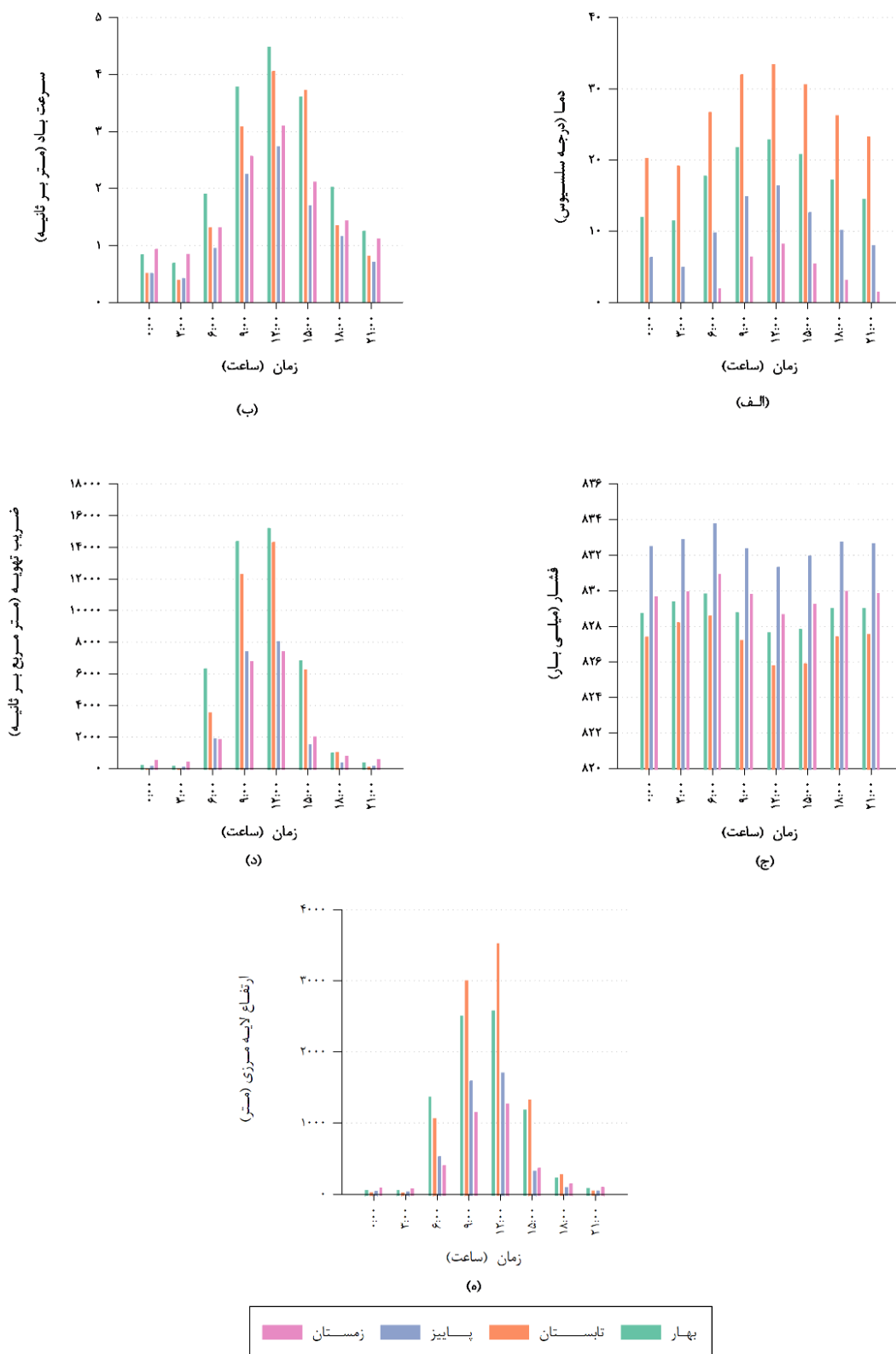
Fig. 7- Changes in average boundary layer height (top) and air conditioning coefficient (bottom) monthly at 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, and 21 TC during the years (2001-2020)

## بررسی روند میانگین فصلی کمیت‌های

### مورد مطالعه

متوسط تغییرات دمای فصلی طی ساعات ۰۰ تا ۲۱ UTC حاکی از اختلاف دما تا حدود ۲۰ درجه سلسیوس در ساعات ۱۸ تا ۰۳ UTC و اختلاف دما تا حدود ۲۵ درجه سلسیوس در ساعات ۰۶ تا ۱۵ UTC بین فصل زمستان و تابستان است. دماهای کمتر در دو فصل پاییز و زمستان بخصوص در ساعات شبانه و صبحگاهی در پایین بودن ارتفاع لایه مرزی در این دو فصل تأثیرگذار است؛ بنابراین می‌تواند سبب افزایش پتانسیل نگهداشت آلاینده‌ها در این زمان شود (شکل ۸، الف). متوسط سرعت باد در فصل‌های زمستان و بخصوص پاییز در تمام ساعات‌های شبانه‌روز کم است و همان‌طور که در نمودار ب از شکل ۸ آمده است میزان متوسط سرعت باد در این فصول در اغلب ساعات کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه است. متوسط سرعت باد در فصل بهار و تابستان با اختلاف کمی بیشتر از زمستان و پاییز است. به‌طور کلی متوسط سرعت باد کم بویژه در ساعات‌های شبانه و صبحگاهی در تمام فصول حاکی از امکان جابجایی کم آلاینده‌ها و ارتفاع کم لایه مرزی است. سرعت باد در فصول گرم در ساعات‌های روزانه به‌طور متوسط بیشتر از فصول گرم سال است که ارتفاع لایه مرزی بیشتری را در این فصول سبب می‌شود. متوسط فشار در فصل پاییز بیش از سایر فصل‌ها است که در نمودار ج شکل ۸ مشخص است. فصل زمستان نیز با حدود ۲ میلی‌بار متوسط فشار کمتر پس از فصل پاییز متوسط فشار بیشتری نسبت به فصل تابستان و بهار دارد. کمترین متوسط فشار فصلی را فصل تابستان دارد که دامنه تغییرات متوسط فشار آن بین ۸۲۶ تا ۸۲۸/۵ میلی‌بار است. در ساعات‌های ۱۲ و ۱۵ UTC متوسط فشار کمترین مقدار را در فصل تابستان دارد. متوسط فشار بالا در فصل پاییز و زمستان این فصل‌ها را مستعد نگهداشت آلاینده‌ها می‌کند و متوسط فشار کم در فصل تابستان و بهار، ایجاد جریانات همرفتی و جابجایی هوا را سبب می‌شود. نمودار

د شکل ۸ متوسط ضریب تهویه فصلی طی ساعات‌های ۰۰ تا ۲۱ UTC را نشان می‌دهد. در تمامی فصل‌ها ضریب تهویه در ساعت ۱۸، ۰۳، ۰۰ و ۲۱ UTC کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۰۶ و ۱۵ UTC متوسط ضریب تهویه در فصل زمستان و پاییز کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۰۶ UTC ضریب تهویه در تابستان و بهار به ترتیب برابر با ۴۰۰۰ و ۷۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۱۵ UTC ضریب تهویه در تابستان و بهار برابر با ۸۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۰۹ و ۱۲ UTC ضریب تهویه فصل پاییز و زمستان بین ۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۰۹ UTC ضریب تهویه در تابستان و بهار به ترتیب برابر با ۱۲۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. در ساعت ۱۲ UTC ضریب تهویه در تابستان و بهار حدود ۱۴۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ مترمربع بر ثانیه است. همان‌طور که نمودار ه از شکل ۸ نشان می‌دهد متوسط ارتفاع لایه مرزی در فصل تابستان اختلاف قابل توجهی با سایر فصل‌ها بویژه با فصل پاییز و زمستان دارد. طی ساعات‌های ۱۸، ۰۳، ۰۰ و ۲۱ UTC اختلاف بین متوسط ارتفاع لایه مرزی کم است. در ساعات‌های ۰۶ و ۱۵ UTC اختلاف بین فصل زمستان و پاییز کم است. همچنین این اختلاف بین تابستان و بهار نیز کم است؛ اما این اختلاف بین فصول سرد و فصول گرم سال در ساعات‌های ذکر شده قابل توجه است. در ساعات‌های ۰۹ و ۱۲ UTC اختلاف بین فصل زمستان و تابستان در ساعت ۰۹ UTC حدود ۲۰۰۰ متر و در ساعت ۱۲ UTC بیش از ۲۰۰۰ متر است؛ بنابراین با توجه به تغییرات متوسط ارتفاع لایه مرزی در فصل‌های زمستان و پاییز و کم بودن ضریب تهویه هوا امکان انباشت آلاینده‌های جوی بخصوص در ساعات‌های شبانه و صبحگاهی زیاد است. در فصل‌های تابستان و بهار بخصوص در طول روز با توجه به افزایش ارتفاع لایه مرزی و نیز وزش باد مؤثر پتانسیل نگهداشت آلاینده‌ها کم می‌شود.



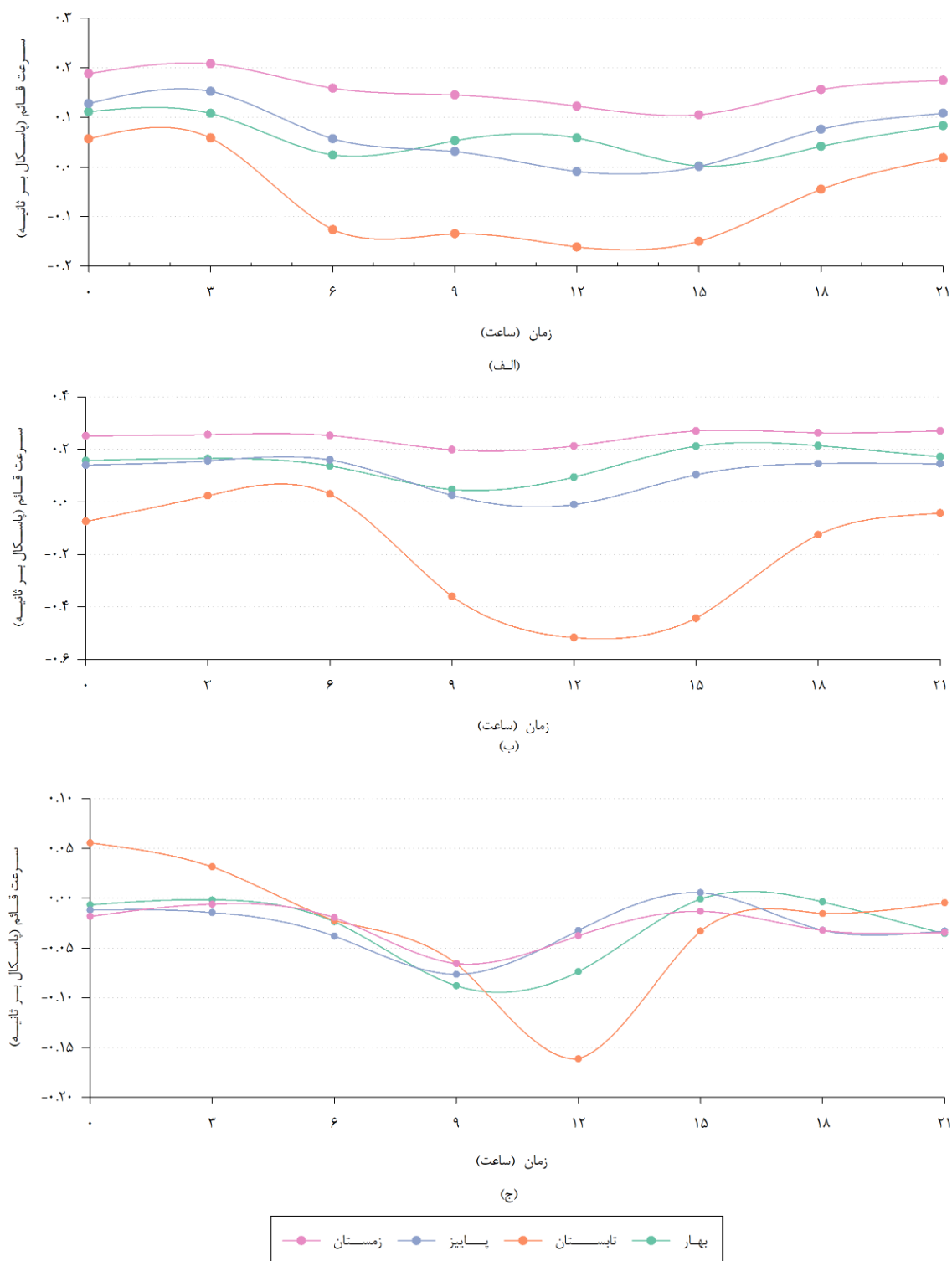
شکل ۸- متوسط تغییرات فصلی (الف دما، ب) سرعت باد، ج) فشار، د) ضریب تهویه هوا و د) ارتفاع لایه مرزی طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹)  
 Fig. 8- Average seasonal changes of a) temperature, b) wind speed, c) pressure, d) air conditioning coefficient and d) boundary layer height during the years (2001-2020)

صبحگاهی شرایط خنثی و در ساعت‌های ظهر میل به صعود هوا در این تراز وجود دارد.

در این مقاله بارش مؤثر و همچنین ناپایداری جوی همراه با سامانه‌های بارشی بعنوان کمیتی که می‌تواند موجب کاهش آلاینده‌های جوی شود مورد بررسی قرار می‌گیرد. میزان متوسط بارش طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ در ایستگاه همدیدی اراک ۳۰۸/۵ میلی‌متر است. نمودار بارش سالانه در این بازه زمانی که در شکل (۱۰) آمده است حاکی از ثبت بارش سالیانه به میزان بیش از ۴۰۰ میلی‌متر در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ است. در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۶ نیز میزان بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر بوده است. متوسط بارش سالیانه به میزان ۳۰۸/۵ میلی‌متر بارش و با سهم روزانه کمتر از یک میلی‌متر در سال نقش قابل توجهی برای کاهش آلاینده‌ها نیست.

تعداد روزهای بارشی و میزان بارش روزانه بیش از ۱۰ میلی‌متر طی دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ آمده در نمودار شکل (۱۱) حاکی از متوسط ۶۸ روز همراه با بارش و تنها ۹ روز همراه با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر است. بیشترین روز همراه با بارش ۹۲ روز در سال ۱۳۸۶ و کمترین روز همراه با بارش ۵۰ روز در سال ۱۳۹۶ است. در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر به ترتیب ۱۳ و ۲ روز است. سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ بیشترین روزهای همراه با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر ۱۵ روز است. با توجه به میزان بارش متوسط سالیانه و همچنین تعداد روزهای بارشی و بویژه اینکه اغلب روزهای بارشی کمتر از ۱۰ میلی‌متر است، می‌توان گفت بارش بعنوان یک کمیت اقلیمی نمی‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش آلاینده‌ها داشته باشد.

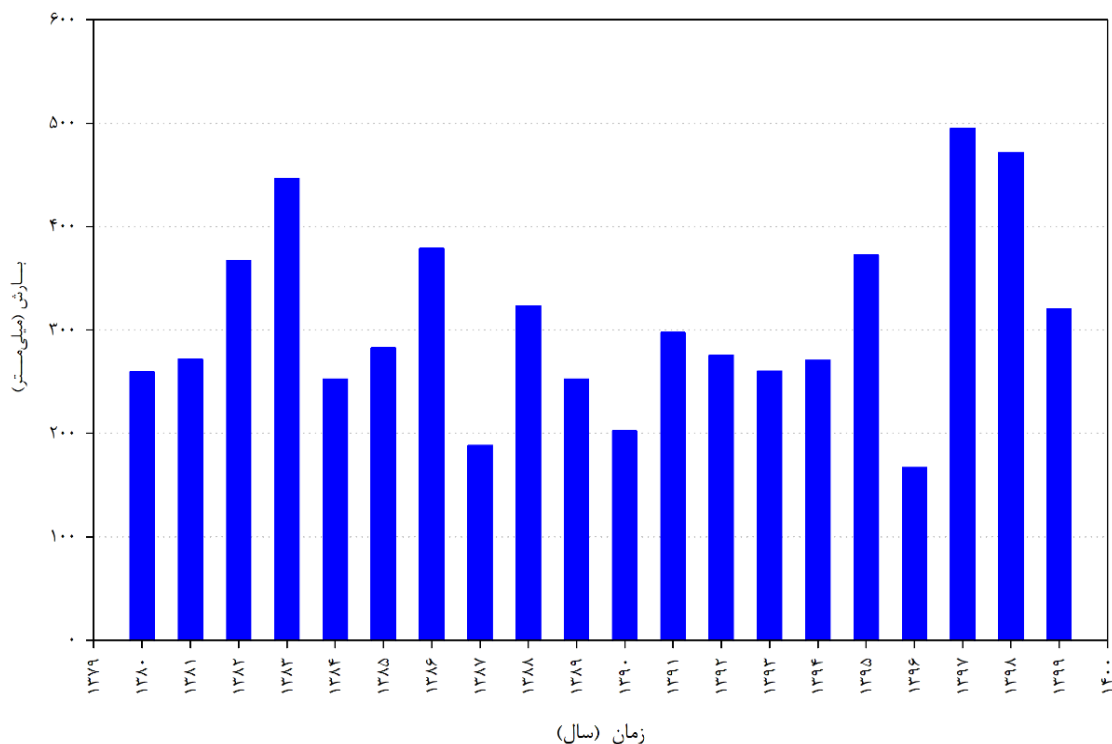
نحوه تغییرات متوسط سرعت قائم جو در فصول مختلف طی ساعت‌های ۰۰ تا ۲۱ UTC در ترازهای ۸۲۵ میلی‌بار بیانگر شرایط فرونشست در تمامی ساعت‌های شبانه‌روز در فصل‌های زمستان، پاییز و بهار است که در نمودار (الف) از شکل ۹ آمده است. در فصل تابستان نیز در ساعت‌های ۰۰، ۰۳ و ۲۱ با توجه به متوسط سرعت قائم جو شرایط فرونشست در تراز ۸۲۵ میلی‌بار وجود دارد. در ساعت ۰۶ تا ۱۸ UTC در فصل تابستان شرایط برای صعود جو در این تراز وجود دارد. تحلیل نمودار تغییرات متوسط سرعت قائم جو نشان از عدم صعود هوا در این تراز ارتفاعی بخصوص در فصول همراه با آلودگی است. نمودار (ب) از شکل ۹ نحوه تغییرات متوسط سرعت قائم جو در فصول مختلف طی ساعت‌های ۰۰ تا ۲۱ UTC در تراز ۷۰۰ میلی‌بار است که بیانگر شرایط فرونشست در کلیه ساعت‌های شبانه‌روز در فصل‌های زمستان، پاییز و بهار است. در فصل تابستان نیز در ساعت‌های ۰۳ و ۰۶ UTC با توجه به متوسط سرعت قائم جو شرایط - فرونشست در تراز ۷۰۰ میلی‌بار وجود دارد. در ساعت ۰۹ تا ۱۸ UTC در فصل تابستان شرایط برای صعود جو در این تراز وجود دارد. در روزهای سرد سال تغییرات متوسط سرعت قائم جو نشان از عدم صعود هوا در تراز ارتفاعی ۷۰۰ میلی‌باری است. بررسی وضعیت فصلی تغییرات متوسط سرعت قائم جو در تراز ۵۰۰ میلی‌بار در نمودار (ج) از شکل ۹ نیز نوسانات کم‌تر این تراز ارتفاعی را نسبت به ترازهای ۸۲۵ و ۷۰۰ میلی‌باری نشان می‌دهد. در فصل تابستان در ساعت‌های بامدادی و صبحگاهی تمایل به فرونشینی در جو وجود دارد و در ساعت‌های ظهر و عصر میل به صعود جو وجود دارد. در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان در ساعات شبانه و



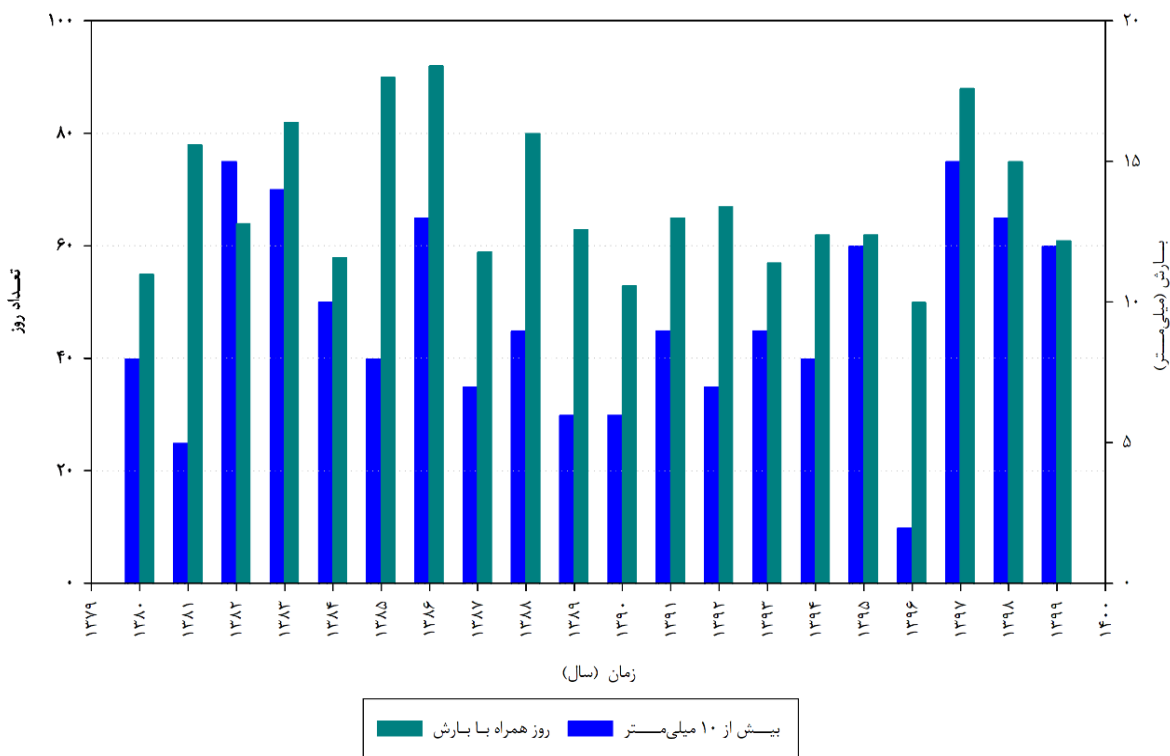
شکل ۹- تغییرات فصلی متوسط سرعت قائم جو (فرونشینی جو) در تراز الف) ۸۲۵ میلی‌بار، ب) ۷۰۰ میلی‌بار و ج) ۵۰۰ میلی‌بار طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹). محور قائم سرعت قائم جو برحسب پاسکال بر ثانیه و محور افقی ساعت برحسب UTC است

Fig. 9- Average seasonal changes of atmospheric vertical velocity (atmospheric subsidence) at levels a) 825 mb, b) 700 mb and c) 500 mb during years (2001-2020). The vertical axis is the vertical velocity of the atmosphere in pascals per second and the horizontal axis is the hour in UTC





شکل ۱۰- میزان بارش سالانه طی سال‌های (۱۳۸۰-۱۳۹۹)  
 Fig. 10- The amount of annual precipitation during the years (2001-2020)



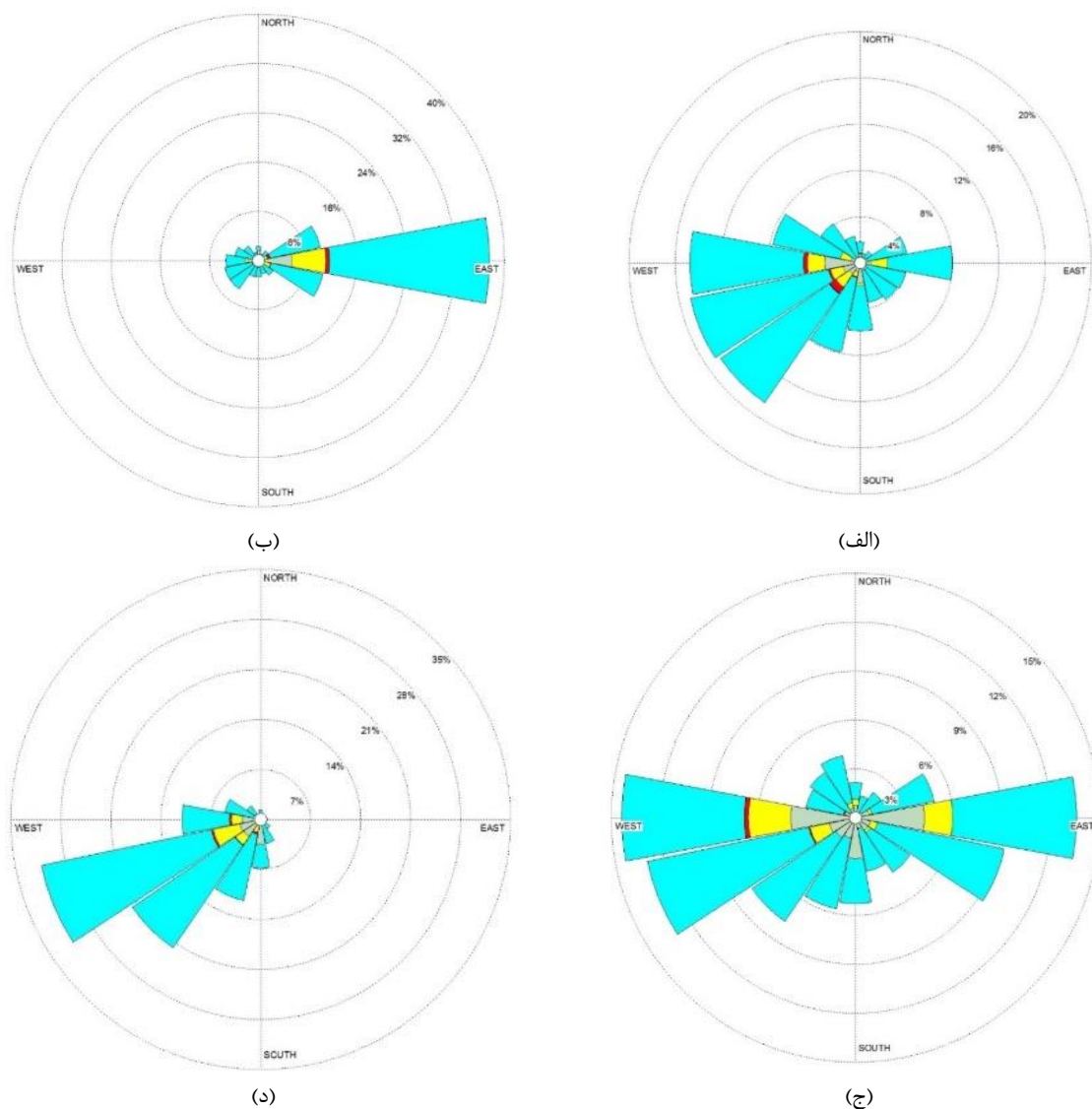
شکل ۱۱- تعداد روزهای همراه با بارش و روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر  
 Fig. 11- The number of days with rain and days with more than 10 mm

## جابجایی آلودگی از نقاط دیگر به منطقه

## مورد مطالعه

بررسی دقیق انتقال آلودگی از نقطه‌ای به نقطه دیگر نیازمند مطالعه دقیق است؛ اما با توجه به اهمیت انتقال آلودگی شهر شازند و بخصوص آلودگی حاصل از نیروگاه برق شازند، در این مقاله اشاره مختصری به این مسئله شده است. ارتفاع شهر شازند از سطح دریا ۱۹۱۳ متر و ارتفاع دودکش نیروگاه شازند از سطح زمین ۲۰۰ متر است؛ بنابراین با استفاده از مؤلفه‌های افقی باد از داده‌های باز تحلیل شده Era5 باد برای سال ۲۰۱۹ در تراز فشاری

۸۰۰ میلی‌بار، گلباد شهر شازند رسم شد (شکل ۱۲). فصل‌های بهار و زمستان ۲۰۱۹ شازند حاکی از باد غالب جنوب غربی است که می‌تواند منجر به انتقال آلودگی به سمت اراک گردد و گلباد فصل پاییز نیز حاکی از باد غالب جنوب غربی و باد نائب غالب شرقی است؛ اما در گلباد تابستان باد غالب شرقی است؛ بنابراین با توجه به جهت باد غالب جنوب در فصول بهار، پاییز و زمستان احتمال انتقال آلاینده‌های جوی از سمت شهر شازند به شهر اراک وجود دارد که می‌تواند در افزایش آلودگی شهر اراک نقش قابل توجهی ایفا کند.



شکل ۱۲- گلباد فصل الف) بهار، ب) تابستان، ج) پاییز و د) زمستان سال ۲۰۱۹ شازند در ارتفاع ۸۰۰ میلی‌بار  
Fig. 12- Wind rose in a) spring, b) summer, c) autumn and d) winter 2019 in Shazand at an altitude of 800 mb

## نتیجه گیری

در این مقاله شهر اراک یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور بعنوان منطقه مورد بررسی انتخاب شد. به منظور بررسی کمیت‌های جوی تأثیرگذار بر آلودگی جو از داده‌های ایستگاه همدیدی اصلی ایستگاه اراک و از داده‌های باز تحلیل شده Era5 با تفکیک ۰/۲۵ درجه به صورت روزانه استفاده شد. نتایج، پاسخگوی اهداف این مقاله بود که شامل شناسایی کمیت‌های هواشناسی تأثیرگذار بر پتانسیل آلودگی، بررسی کمیت‌های جوی و پتانسیل آلودگی از نظر پراکنش زمانی و تحلیل صحیح وضعیت آلودگی و عوامل آن با هدف یاری به مدیریت منابع آلاینده بودند.

نتایج حاکی از آن است که دماهای پایین در دوره سرد سال و همچنین دماهای کم شبانه و صبحگاهی در ماه‌های سرد سال می‌تواند سبب وارونگی دما و همچنین بالا رفتن پتانسیل نگهداشت آلاینده‌های جوی گردد. در این بازه متوسط فشار هوا نیز بالا است که می‌تواند سبب تشدید وارونگی شود. متوسط باد سطحی سالانه گویای تأثیر کم و ناچیز وزش باد به‌ویژه در ایام سرد سال و ساعت‌های صبحگاهی و شبانه است. نتایج بررسی مقادیر بارش نشان داد که سرانه بارشی تأثیر قابل توجهی در کاهش آلاینده‌ها ندارد. همچنین مشاهده شد ارتفاع لایه‌مرزی در فصول سرد سال و نیز در ساعات شبانه به کمترین مقدار خود می‌رسد. به تبع آن مقادیر ضریب تهویه نیز کاهش می‌یابد و بنابراین پتانسیل نگهداشت آلاینده‌های جوی افزایش پیدا می‌کند و تجمع آلاینده‌ها در نزدیکی سطح زمین سبب کاهش کیفیت هوا می‌شود. در بررسی سرعت قائم جو نیز حرکات نزولی در فصول سرد سال و ساعات شبانه حاکم بودند. بررسی گل‌باد شهر شازند و اراک نیز مبین آن است که در

## منابع

the impact of existing and under construction industries on the air quality of Arak City using ADMS model. *Environmental Sciences*. 20(1), 21-40. doi: 10.52547/ENVS.2021.1022

Bodor, Z., Bodor, K., Keresztesi, Á. and Szép, R., 2020. Major air pollutants seasonal variation

فصول بهار، پاییز و زمستان شرایط برای انتقال آلاینده‌های جوی از شازند به اراک فراهم می‌شود که می‌تواند منجر به افزایش آلودگی شهر اراک شود. نتایج مطالعه Vari and Hamami (2022)، Panahi (2015)، Javan Bakht Amiri and Khatami (2018) نیز ارتباط معنی‌دار و مستقیم کمیت‌های هواشناسی بر افزایش آلاینده‌های هوا را تأیید می‌کند و با نتایج این پژوهش همسو است.

به‌طور کلی بررسی کمیت‌های هواشناسی سطح زمین و سطوح فوقانی جو حاکی از پتانسیل بالای نگهداشت آلودگی و کم بودن ضریب تهویه شهر اراک است که بویژه در ماه‌های سرد سال و در ساعات‌های شبانه و صبحگاهی قابل توجه‌تر است. بنابراین سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌ها می‌بایست با تأکید بر استقرار صنایع با آلاینده‌گی کم باشد و مدیریت منابع آلاینده مخصوصاً در ایام سرد سال و ساعات شبانه و صبحگاهی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

باتوجه به محدودیت دسترسی به داده‌های پایش غلظت آلاینده‌ها در استان مرکزی پیشنهاد می‌شود علاوه بر گسترش شبکه زمینی پایش، در ادامه مطالعه حاضر از داده‌های سنجش‌ازدور برای بررسی دوره‌های آلوده جوی و مناطق تحت تأثیر آن استفاده شود. نتایج می‌تواند در بهبود پایش‌بینی غلظت آلاینده‌ها بویژه در فصول سرد سال اثرگذار باشد.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو و اداره کل هواشناسی استان مرکزی برای حمایت معنوی این پژوهش قدردانی می‌شود.

## References

Allahabadi, A. and Ahmadi Asoor, A., 2011. Measuring the air pollutants in Sabzevar, Iran. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 18(2), 140-147. (In Persian with English abstract)

Badamfirooz, J., Rahmati, A., Daneshpajoo, N., Mousazadeh, R. and Mirzaei, R., 2022. Investigating

- analysis and long-range transport of PM10 in an urban environment with specific climate condition in Transylvania (Romania). *Environmental Science and Pollution Research*. 27, 38181-38199. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09838-2>
- Borhani, F., Ehsani, A.H., McGuirk, S.L., Shafepour Motlagh, M., Mousavi, S.M., Rashidi, Y. and Mirmazloumi, S.M., 2023. Examining and predicting the influence of climatic and terrestrial factors on the seasonal distribution of ozone column depth over Tehran Province using satellite observations. *Acta Geophys*. 72, 1191-1226. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01179-1>.
- Borhani, F., Shafepour Motlagh, M., Ehsani, A.H., Rashidi, Y., Maddah, S. and Mousavi, S.M., 2023. On the predictability of short lived particulate matter around cement plant in Kerman, Iran: machine learning analysis. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 20, 1513-1526. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04645-3>
- Chan, L., Qi-hong, D., Wei-wei, L., Bo-liang, H., Ling-zhi, S., 2012. Characteristics of ventilation coefficient and its impact on urban air pollution. *Journal of Central South University Technology*. 19, 615-622. <https://doi.org/10.1007/s11771-012-1047-9>
- Choudhary, M. P., Vaibhav, G., 2013. Causes, Consequences and Control of Air Pollution. Conference: All India Seminar on Methodologies for Air Pollution Control at: Malviya National Institute of Technology, Jaipur, Rajasthan, India.
- Copernicus Climate Change Service (C3S), 2017. ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), date of access. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>.
- Gassmann, M., Mazzeo, N.A., 2000. Air pollution potential: Regional study in Argentina. *Environmental Management*. 25, 375-382. <https://doi.org/10.1007/s002679910029>
- Ghahroudi Tali, M., 2016. Physical development of Arak city applying natural indicators. *European Journal of Geography*. 7(3), 99-110. <https://eurogeojournal.eu/index.php/egj/article/view/392>.
- Holton, J.R., 2004. An Introduction to Dynamic Meteorology, Elsevier Academic Press, Fourth Edition.
- Hosseinibalam, F. and Hejazi, A., 2012. Influence of meteorological parameters on air pollution in Isfahan. *Environment and Chemistry, IPCBEE*. 46.
- Javan Bakht Amiri, S., Khatami, S.H., 2018. Investigating the relationship between air quality index pollutants and meteorological parameters in Tehran with regression analysis approach. *Human and Environment Quarterly*. 10 (1), 15-28. (In Persian with English abstract).
- Karam, A., Ranjbar Barouq, Z., Mohammadian, E., 2013. Study of the effect of topography on the air pollution of Arak city. the first conference of geographical sciences of Iran. ICGS01\_194(In Persian with English abstract).
- Kayes, I., Shahriar, S., Hasan, K., Akhter, M., Kabir, M. and Salam, M., 2019, The relationships between meteorological parameters and air pollutants in an urban environment. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 5(3), 265-278. doi: 10.22034/GJESM.2019.03.01
- Kermani, M., Davalit, M., Fallah Jokandan, S., Aghaei, M., Bahrami Asl, F. and Karimzadeh, S., 2016. Investigation of health index of air quality and its applications in seven cities of Iran in 2011. *J Arak Uni. Med. Sci*. 19 (12), 78-88. . (In Persian with English abstract).
- Liu, Y., Zhou Y. & Lu, J., 2020. Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Scientific reports*. 3, 14518. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71338-7>
- Liu, Z., Shen, L., Yan, C., Du, J., Li, Y. and Zhao, H., 2020. Analysis of the Influence of Precipitation and Wind on PM2.5 and PM10 in the Atmosphere. *Advances in Meteorology*. 2020, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/5039613>
- Nowrozi, F. and Shamsipour, A.A., 2014. The effect of climatic factors in controlling or intensifying air pollution in Arak. *International Conference on Environmental Sciences, Engineering and Technologies, Tehran*. (In Persian with English abstract).
- Oji, S. and Adamu, H., 2020. Correlation between air pollutants concentration and meteorological factors on seasonal air quality variation. *Journal of Air Pollution and Health*; 5(1), 11-32. <https://doi.org/10.18502/japh.v5i1.2856>
- Panahi, Ali, 2015. Investigation of the relationship between air quality index pollutants and meteorological parameters in severe storms of Tabriz city. *Geographical Space Quarterly*. 62, 63-76. (In Persian with English abstract).
- Salehi, M., Mirhoseini, H., Karimi, B. and Hashiani, A.A., 2021. Association between airborne particles and meteorological parameters in Arak industrial city. *Journal of Air Pollution and Health*. 6(1). 42-53. <https://japh.tums.ac.ir/index.php/japh/article/view/276>
- Skoro, G., 2001. Transportation, Weather Disasters and Air Pollution. translated by Dr. Shahriar Khalidi, Shahid Beheshti University Press. Tehran, pp. 181.
- Vari, H. and Hamami, M., 2022. The effect of meteorological parameters on the air pollution in Tehran and determining its status using geostatistics

and geographic information system, the 8th international conference on interdisciplinary research in civil engineering, architecture and urban management of the 21st century Tehran, <https://civilica.com/doc/1533262>

Voiculescu, M., Constantin, D.E., Condurache-Bota, S., Călmuc, V., Ros, A. and Mariana, C., 2020. Role of Meteorological Parameters in the Diurnal and Seasonal Variation of NO<sub>2</sub> in a Romanian Urban Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17 (17), 6228. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176228>

Xu, H.H., Pu, J.J., He, J., Liu, J., Qi, B. and Du, R.G., 2016. Characteristics of Atmospheric Compositions in the Background Area of Yangtze River Delta during Heavy Air Pollution Episode. *Advances in Meteorology*. 2016, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2016/7240486>



*This page is intentionally  
left blank.*