



Synoptic Analysis of Effective Ridge Positioning on Air Pollution Over Five Selected Metropolises of Iran

Gholamreza Barati¹ | Hanieh Shakiba²

1. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: g-barati@sbu.ac.ir
2. Department of Geography, Faculty of Earth sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 25 Dec 2023
Received in revised form:
13 Mar 2024
Accepted: 13 Mar 2024
Available online: 06 Apr
2024

Keywords:
Air pollution,
Selected Metropolises,
Ridge,
Iran.

ABSTRACT

Today, air pollution has tightened the air for the residents of metropolises. Air pollution is one of the most harmful pollutants for the environment especially for humans. In this study, based on daily data, concurrent and widespread air pollution in five selected metropolises in the northern half of Iran, including Tehran, Mashhad, Tabriz, Isfahan, and Rasht, was investigated to design and analyze synoptic patterns related to the atmospheric ridges affecting them. For this purpose, the beginning, peak, and end days of concurrent and multi-day pollutants (pollution wave) were identified and for each of them, the effective atmospheric ridge position was determined. The first results showed that 107 air pollution waves with simultaneous characteristics occurred during the period 2017 to 1400. Of these, 14 waves have been widespread. Synoptic patterns showed that when the same height curve of 5825 geopotential meters, along with other curves in the northwest of the African continent, formed a subtropical atmospheric ridge, the widespread air pollution in the westernmost metropolis of Iran, Tabriz began. When this ridge reaches Iran, air pollution covers four of the five selected metropolises of Iran, and then, as the ridge reaches Pakistan, the air conditions face a clean state and a wave of pollution is coming to an end. In total, the East-ward movement of the ridge axis during the three days of the beginning, peak, and end of air pollution was evident on three territories including Iraq, Iran, and Pakistan, respectively. These three situations confirmed the coordinated behavior of the atmospheric pattern of the ridge with concurrent and widespread air pollution for residents of five metropolises of Tabriz, Rasht, Tehran, Isfahan, and Mashhad.

Cite this article: Barati, Gh., Shakiba, H. (2024). Synoptic Analysis of Effective Ridge Positioning on Air Pollution Over Five Selected Metropolises of Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 14 (1), 69-83. DOI: 10.22126/GES.2024.10013.2719



© The Author(s).
DOI: 10.22126/GES.2024.10013.2719

Publisher: Razi University



تحلیل هم‌دید موقعیت‌یابی فراز مؤثر بر آلودگی هوا در پنج کلان‌شهر برگزیده ایران

غلامرضا براتی^۱ | هانیه شکیبیا^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: g-barati@sbu.ac.ir
 ۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳</p> <p>دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>آلودگی هوا، کلان‌شهرهای برگزیده، فراز، ایران.</p>	<p>امروزه آلودگی هوا زندگی را برای ساکنان کلان‌شهرها سخت کرده است. آلودگی هوا از جمله مهم‌ترین آلودگی‌های زیان‌بار برای محیط و به‌ویژه انسان است. در این پژوهش بر پایه داده‌های روزانه، هم‌زمانی و فراگیری آلودگی‌های هوا در پنج کلان‌شهر برگزیده در نیمه شمالی ایران شامل تهران، مشهد، تبریز، اصفهان و رشت بررسی شد تا الگوهای هم‌دید مربوط به فرازهای جوی مؤثر بر آنها طراحی و تحلیل شود. با این هدف، روزهای آغاز، اوج و پایان آلودگی‌های چندروزه و هم‌زمان (موج آلودگی) شناسایی شد و برای هر یک از آنها، موقعیت فراز جوی مؤثر، موقعیت‌یابی شد. نخستین نتایج نشان داد طی بازه آماری ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰، تعداد ۱۰۷ موج آلودگی هوا با ویژگی هم‌زمانی رخ داده است. از این تعداد، ۱۴ موج فراگیر بوده‌اند. الگوهای هم‌دید نشان داد وقتی منحنی هم‌ارتفاع ۵۸۲۵ ژئوپتانسیل متر به همراه دیگر منحنی‌ها در شمال غرب قاره افریقا فراز جوی جنب حاره‌ای تشکیل دادند آلودگی فراگیر هوا در غربی‌ترین کلان‌شهر ایران یعنی تبریز آغاز می‌شود. با رسیدن این فراز روی ایران، آلودگی هوا، چهار کلان‌شهر از پنج کلان‌شهر برگزیده ایران را فرا می‌گیرد و سپس با رسیدن فراز روی کشور پاکستان، شرایط هوا رو به وضعیت پاک و موج آلودگی رو به پایان می‌رود. در مجموع، جایابی شرق‌سوی محور فراز طی سه روز آغاز، اوج و پایان آلودگی هوا به ترتیب روی سه سرزمین شامل عراق، ایران و پاکستان، تایید کننده نهایی و رفتار همبسته الگوی فراز جوی با فراگیری آلودگی‌های هوا برای ساکنان پنج شهر تبریز، رشت، تهران، اصفهان و مشهد است.</p>

استناد: براتی، غلامرضا؛ شکیبیا، هانیه (۱۴۰۳). تحلیل هم‌دید موقعیت‌یابی فراز مؤثر بر آلودگی هوا در پنج کلان‌شهر برگزیده ایران. *جغرافیا و پایداری*

محیط، ۱۴ (۱)، ۶۹-۸۳. DOI: 10.22126/GES.2024.10013.2719



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

در حالی که دو سوم بلایای طبیعی دهه اخیر جهان به آب‌وهوا نسبت داده می‌شود (Boodhoo, 2003)، با گسترش شتابان شهرها، آلودگی هوا با پیامدهای منفی بی‌شمار آن، یکی از بنیادی‌ترین تنگناهای زیست‌محیطی شهرهای بزرگ جهان شده است. طوری که افزایش آلاینده‌ها در کلان‌شهرها ۲ تا ۳ برابر شهرهای حاشیه‌ای و کم‌جمعیت گزارش شده است (زینالی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین نتایج پژوهش‌هایی که در این زمینه صورت گرفته است، بیانگر آن است که در سال‌های اخیر انتشار آلاینده‌ها در کشورهای پیشرفته در حال کاهش است ولی در کشورهایی که راهبردهای سختگیرانه برای کاهش آلودگی هوا ندارند مانند چین، هند، ایران و دیگر کشورها، رو به افزایش است (پیشداد و همکاران، ۱۳۹۹). این افزایش برای کاهش آلودگی هوا ندارند مانند چین، هند، ایران و دیگر کشورها، رو به افزایش است (پیشداد و همکاران، ۱۴۰۲) است که به نوعی می‌توان افزایش وسایط نقلیه و دور بودن آنها از استانداردهای لازم را مرتبط با آن دانست. در این زمینه شمس‌الدینی و احمدی (۱۳۹۹)، عقیده دارند که حجم آلودگی خودروها در تهران، منبعی متغیر برای افزودن آلاینده منواکسید کربن به هوای این کلان‌شهر است. آلودگی‌هایی که به نظر قربانی و همکاران (۱۳۹۸) دارای توزیعی ناعادلانه در سطح کلانشهر تهران است.

الگوهای گردشی جو و به تعبیر علیجانی (الف-۱۳۸۱)، الگوهای فشار، به ویژه گونه منطقه‌ای آنها، کنترل پدیده‌های آب‌وهوایی و محیطی مانند خشکسالی، امواج گرما، آلودگی هوا، یخبندان و غیره را در دست دارند و شناخت رفتار این الگوها، به نوبه خود، نقش مهمی در کنترل مسایل زیست‌محیطی دارد (قصابی و فتاحی، ۱۴۰۰). مرتبط با آلودگی هوا، اگرچه بستر افزایش آلاینده‌ها، فعالیت‌های انسانی است ولی شرایط جوی در انتشار و یا تمرکز آنها نقش به‌سزایی دارد (ZhuJun et al., 2020). پریز و همکاران (Perez et al., 2020)، پویایی جو را مرتبط با آلودگی هوا در سه مقیاس بزرگ، میانی و کوچک مطرح می‌کنند و به ترتیب برای آنها جبهه‌های هوا، نسیم دریا-خشکی و حرکات در لایه مرزی را مثال می‌آورند. تاثیر الگوی نسیم دریا-خشکی بر آلودگی هوا در سواحل تایوان در پژوهش (Chia-Hua & Fang-Yi, 2019) و در پایتخت چین یعنی کلان‌شهر بیجینگ و بر کرانه خلیج بوهای (Miao et al., 2017) اشاره شده است. مرتبط با نخستین مقیاس، در بسیاری از پژوهش‌ها، بررسی و شناسایی سامانه‌های فشار و الگوهای همدید؛ روشی موثر و کارآمد در پیش‌بینی (Chen., 2008) و یا دست کم شناخت تغییرات غلظت آلاینده‌های هوا شناخته شده است.

در ایران، کلان‌شهرها، مناطقی هستند که به‌طور جدی درگیر آلودگی هوا هستند و شرایط آب‌وهوایی تأثیر زیادی بر روند تکامل غلظت آلاینده‌ها در آنها دارد. طبق گفته عساکره و احدی (۱۳۹۹)، به نقل از سازمان بهداشت جهانی، در ایران، شهرهای تهران، اهواز، اراک، تبریز، مشهد، شیراز، کرج و اصفهان، شهرهای آلوده شناخته‌اند. از جمله بسترهای آلودگی هوا در این شهرها جمعیت زیاد، تجمع صنایع و تردد خودروها است ولی غلظت، شدت و تداوم آلودگی هوا در مناطق مختلف، علاوه بر فعالیت‌های انسانی به شرایط جوی حاکم بر آن منطقه نیز وابسته است. البته در این زمینه بسترها و به قول شیخی و همکاران (۱۳۹۹)، عوامل موثر دیگری هم مطرح هستند که از جمله آنها می‌توان به اثر سطح فضای سبز در کیفیت هوای شهرهای مانند تهران اشاره کرد.

یکی از جنبه‌های آلودگی هوا، امکان پایش سامانه‌های فشاری است که بر ویژگی‌های زمانی و مکانی آلودگی هوای شهرها اثرگذار است. در پژوهش‌های همدید آب‌وهوا، روابط گردش‌های جوی با رخدادهای محیطی سطح زمین از جمله آلودگی هوا بررسی می‌شود (پناهی، ۱۳۹۱). برای نمونه همان‌گونه که (Salvador et al., 2020) در پژوهش خود بیان کرده‌اند، سامانه‌های فشار، عاملی مهم در پخش و یا تمرکز نیتروژن دی‌اکسید (NO₂) در مناطق شهری و صنعتی هستند. از جمله عوامل بیرونی که در بروز آلودگی هوا برجسته‌اند، تشکیل الگوهایی در ترازهای جوی گوناگون به‌ویژه تراز میانی جو هستند که پیدایش یا تقویت وارونگی دما را سبب می‌شوند. ویژگی‌های پویایی و گرمایی-پویایی سامانه‌های جوی و آرایش آنها در هر سرزمین به گونه‌ای است که گاهی شرایط پایدار و گاهی ناپایدار را در جو پدید

می‌آورند. در صورت وجود شرایط پایدار و عدم وجود جریان‌های جوی و یا ضعیف بودن آنها، می‌توان شاهد افزایش آلودگی هوا بود (لشکری و هدایت، ۱۳۸۵). مرتبط با پیوند رخداد الگوهای فراگیر گردشی و رخداد آلودگی‌های فراگیر هوا می‌توان تحقیقات گوناگونی را در جهان سراغ گرفت.

کنترل کیفیت هوا در شمال چین توسط الگوهای جوی از طریق پیوند میان تضعیف کم‌فشار شرق آسیا بر کاهش شدت و فراوانی موسمی و به دنبال آن افزایش دوره‌های آلودگی هوا و غلظت آلاینده‌ها (Zhang et al., 2016)، تضعیف جریان‌های شرقی و کاهش سرعت باد و جابه‌جایی و اچرخند به سمت خاور چین و رخداد بیشترین آلودگی‌های هوا در تایوان (Chia-Hua & Fang-Yi, 2019)، هم‌زمانی استقرار شرایط و اچرخندی، سامانه‌های پرفشار و یورش جبهه سرد با افزایش غلظت آلاینده‌ها در شهر مسکو (Shahgedanova et al., 1998)، کنترل سامانه‌های پرفشار و جبهه سرد روی آلودگی و پراکندگی آلاینده‌ها در ۱۰ شهر شمال چین (Chen, 2008) و تحقیق کاهش آلودگی هوا در زمان استقرار انواع چرخندها در بیرمنگام انگلستان (McGregor & Bamzels, 1995) از آن جمله هستند.

به سخن دیگر می‌توان گفت در برخی از سرزمین‌های کره زمین با تکرار الگوهای فشار منطقه‌ای به‌صورت هم‌زمان، مقادیر شاخص آلودگی افزایش یا کاهش می‌یابد. برای نمونه هنگامی که یک الگوی گردشی منطقه‌ای مانند بندال امگا روی غرب دریای خزر شکل بگیرد، می‌تواند رخداد و دوام پدیده‌های هواشناسی مانند موجی از یخبندان را برای بخش اعظم ایران طی ۲۰ روز (Jafari et al., 2021) را پدید آورد و یا ماندگاری پرفشار جنب‌حاره‌ای می‌تواند رخداد و دوام موجی از گرما را برای بیشتر جاهای ایران طی خرداد و مرداد سال ۱۴۰۰ (بهاروندی و همکاران، ۱۳۹۹) در پی داشته باشد؛ قاعدتاً این الگوها نیز می‌توانند رخداد شرایط واژگونی هوا و آلودگی هوای کلان‌شهرها را بویژه در نیمه شمالی ایران رقم بزنند.

تاکنون در ایران از سامانه‌های فشار و تأثیرات آنها بر آلودگی شهرها تحقیقات بسیاری شده است. این تحقیقات گاه در بازه‌های دوساله روی یک شهر مانند تهران (شمس‌الدینی و احمدی، ۱۳۹۹) و گاه روی یک استان مانند مازندران (قربانی و همکاران، ۱۳۹۹) بوده است. در برخی تحقیقات نیز که چند شهر مانند تبریز، تهران و مشهد با هم مطالعه شده‌اند (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۸)، فراگیری آلودگی مدنظر نبوده و نقش سامانه فشار محوریت نداشته است. آنچه جایز در این عرصه خالی به نظر می‌رسد، بررسی تأثیرات سامانه‌های فشار و در پژوهش کنونی فرازهای جنوبی روی آلودگی فراگیر هوا یعنی آلودگی‌هایی است که نیمه شمالی ایران را از مرزهای غربی تا شرقی و در پنج کلان‌شهر به شکل هم‌زمان دربرگیرد. این انتخاب از آن جهت بوده است که بیشتر کلان‌شهرهای ایران در نیمه شمالی ایران دیده می‌شوند و نیز نیمه شمالی ایران بیشتر از نیمه جنوبی، دستخوش تناوب ورود سامانه‌های فشار و در نتیجه تناوب شرایط پایدار و ناپایدار جوی است، انتخاب تبریز، رشت، اصفهان، تهران و مشهد می‌تواند فرصتی باشد برای بازیابی موج‌های آلودگی هوا و سپس واکاوی هم‌دید این امواج بر حسب دو ویژگی فراگیری و هم‌زمانی آلودگی‌ها.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش، گمان علمی بر این بوده است که فراگیر و هم‌زمان شدن آلودگی هوا در کلان‌شهرهای برگزیده ایران متأثر از شکل‌گیری فرازهای جوی با جریان‌های گسترده، بادوام و نزولی هوا است؛ از این رو با استخراج سری روزهای متوالی دارای هوای آلوده در هر کلان‌شهر و تبدیل آن به نمودارهای هم‌راستا (به‌حسب زمانی) یعنی تاریخ روزهای آلوده و هم‌ارز (به‌حسب مکانی) یعنی فراوانی شهرهای آلوده؛ آلودگی‌های هم‌زمان و فراگیر هوا در ۵ کلان‌شهر برگزیده بازیابی شد. بازه زمانی در این تحقیق با توجه به اهمیت اشتراک داده‌های روزانه آلودگی هوا از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ انتخاب شد.

رویکرد موردنظر در این پژوهش محیطی به گردشی است؛ برای آزمون فرضیه پژوهش کنونی، داده‌های محیطی و گردشی این تحقیق به ترتیب شامل مقادیر آلودگی هوا از ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ترازوی فشار بر حسب هکتوپاسکال، ارتفاع جو بر حسب ژئوپتانسیل و نیز نقشه‌های روزانه هوا در ترازهای تعریف شده جو تهیه شد. در این

تحقیق روز هوای آلوده برای هر کلان‌شهر روزی است که هوا در تراز ناسالم و یا بدتر از آن باشد. داده‌های روزانه آلودگی هوا در این تحقیق شامل شش نوع آلاینده منواکسیدکربن، ازن، دی‌اکسیدنیترژن، دی‌اکسیدگوگرد تا هواویزهای PM10 و PM2.5 بوده است. این داده‌ها از ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا مستقر در ۵ کلان‌شهر برگزیده از نیمه شمالی ایران تهیه شد. سنجه آلودگی هوا (AQI)، برای هر یک از آلاینده‌های شش‌گانه و در هر یک از ایستگاه‌های یاد شده با بهره‌گیری از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$Ip = \frac{[(HI-ILO) / (BPHi-BPLo)] (Cp-BPLo)}{BPHi} + ILO \quad \text{رابطه (۱)}$$

اجزای رابطه (۱) عبارتند از: Ip = سنجه آلودگی کیفیت هوا AQI برای هر آلاینده؛ Cp = غلظت اندازه‌گیری شده برای هر آلاینده؛ $BPHi$ = نقطه شکستگی که بزرگ‌تر یا برابر Cp است؛ $BPLo$ = نقطه شکستگی که کوچک‌تر یا برابر Cp است؛ $BPHi$ = مقدار AQI منطبق با BHi ؛ $BPLo$ = مقدار AQI منطبق با BLo . خروجی‌های رابطه یادشده، بر حسب رنگ در طبقات گوناگون شاخص کیفیت هوا وارد شد. جدول (۱)، رنگ‌های نمادین شاخص کیفیت هوا را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ترازهای کیفیت هوا بر پایه سنجه کیفیت هوا (AQI) و رنگ‌های نمادین آن

رنگ‌ها	سطح اهمیت بهداشتی	شاخص کیفیت هوا
سبز	خوب	۵۰-۰
زرد	متوسط	۱۰۰-۵۱
نارنجی	ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۵۰-۱۰۱
قرمز	ناسالم	۲۰۰-۱۵۱
بنفش	خیلی ناسالم	۳۰۰-۲۰۱
خرمایی	خطرناک	بالتر از ۳۰۰

وقتی که شاخص کیفیت هوا در گستره زیر است: کیفیت هوا را این‌گونه توصیف می‌کنیم و با رنگ‌های زیر نمایش می‌دهیم

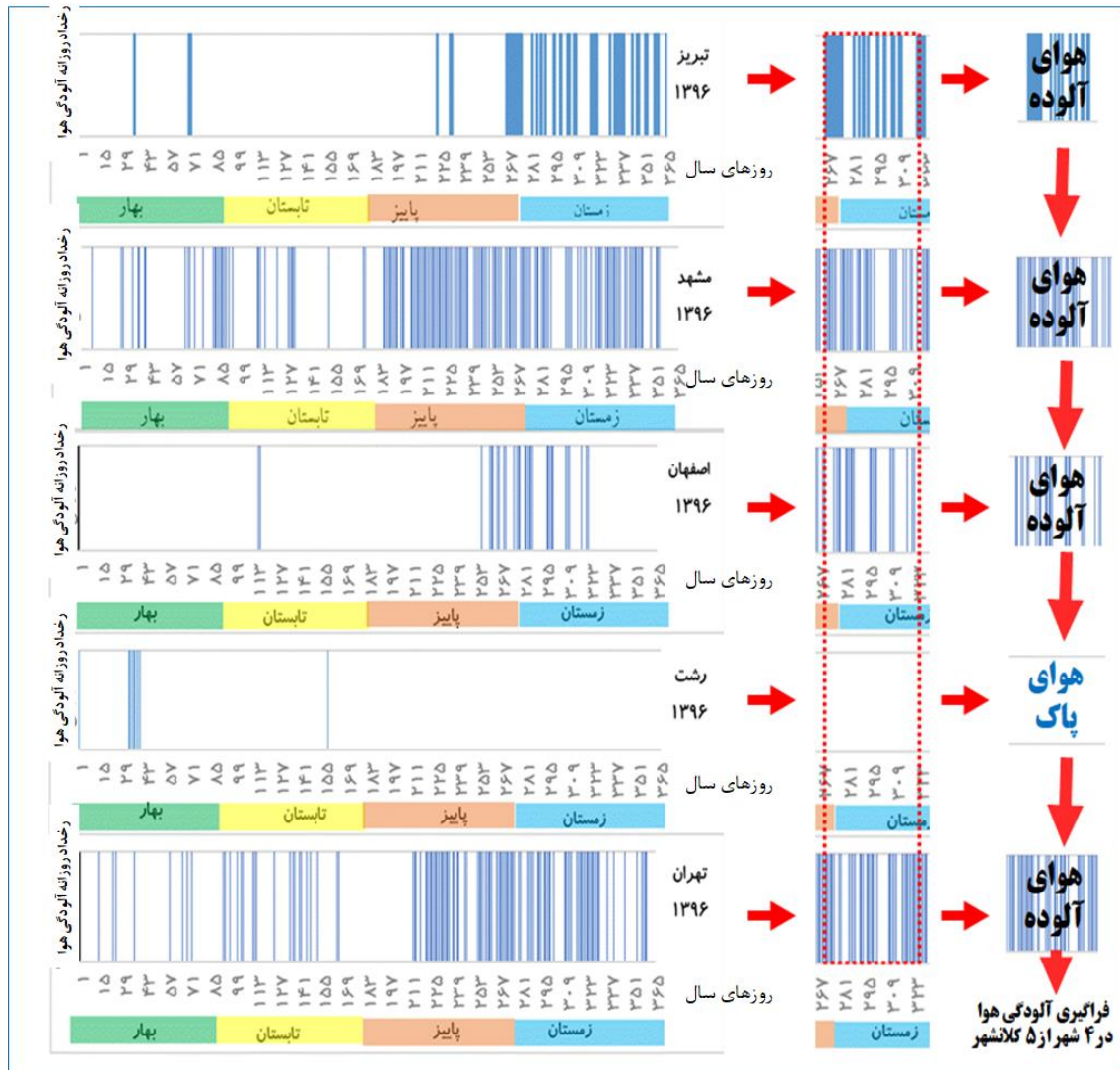
با مقایسه مقادیر روزانه (هر یک از اجزای بالا) و مربوط به هر یک از آلاینده‌های شش‌گانه از هر ایستگاه، بالاترین مقادیر AQI طی هر روز آلوده و در نتیجه سری روزانه داده‌های آلودگی هوای هر شهر تشکیل شد. در حقیقت برای تعیین وضعیت کیفیت هوای هر یک از شهرها از خوب تا خطرناک، بالاترین مقدار AQI، سنجه کیفیت هوای آن کلان‌شهر محسوب شد تا چنانچه وضعیت، برابر ناسالم و یا بدتر باشد، هوای آن روز، آلوده تلقی شود. برای نمونه برای ایستگاه دانشگاه تربیت‌مدرس در شهر تهران تاریخ ۱۴۰۰/۰۹/۲۷ وضعیت هر آلاینده در جدول (۲) نشان داده شده است. مطابق جدول (۲)، شرایط کیفیت هوای آن روز خیلی ناسالم ثبت شد زیرا در بین آلاینده‌ها، منواکسیدکربن و PM2.5 بالاترین مقدار AQI را داشته است.

جدول ۲. شاخص AQI آلاینده‌های ایستگاه تربیت مدرس شهر تهران تاریخ ۱۴۰۰/۰۹/۲۷

PM2.5	PM10	SO2	NO2	O3	CO	آلاینده
هوایزهای ۲.۵ میکرون	هوایزهای ۱۰ میکرون	دی‌اکسید گوگرد	دی‌اکسید نیترژن	ازن	منواکسیدکربن	
۱۵۲	۷۴	۶۵	۹۲	۱۳	۲۵	مقدار ثبت شده هر آلاینده
۲۰۲.۴۲	۶۰.۴۰	۸۷.۴۴	۹۰.۴۱	۱۲.۴	۲۰۱	مقدار شاخص AQI
خیلی ناسالم	متوسط	متوسط	متوسط	خوب	خیلی ناسالم	وضعیت کیفیت هوا بر اساس شاخص AQI

با دستیابی به فراوانی روزانه شهرهای آلوده، امکان ترسیم نمودارهای هم‌راستا و هم‌ارز باهدف شناسایی میزان فراگیری و هم‌زمانی آلودگی‌های هوا میسر شد. دو ویژگی هم‌راستایی و هم‌ارزی به ترتیب توانست ویژگی هم‌زمانی و میزان فراگیری موج‌های آلودگی هوا را مشخص کند. الگوی شناسایی موج‌های آلودگی هوا در این مرحله مانند الگوهای بکار گرفته شده در شناسایی موج‌های یخبندان بهاره (Jafari et al, 2021) و موج‌های هوای گرم طی دوره

سرد سال در ایران (براتی و موسوی؛ ۱۳۸۴) بوده است. این موج‌ها با مشخصات یال فزاینده فراوانی شهرهای دارای هوای آلوده طی چند روز، سپس اوج فراوانی و در آخر یال کاهنده فراوانی مشخص می‌شوند. پس از بررسی وضعیت امواج آلودگی مشخص گردید که بیشترین شمار شهرهای درگیر آلودگی طی دوره آماری، ۴ شهر بوده است. بنابراین امواجی که از ۵ شهر دارای ۴ کلان شهر آلوده بودند، امواج فراگیر و امواجی که دارای کمترین شهرهای آلوده یعنی ۲ شهر بودند، امواج نافراگیر شناخته شدند (شکل ۱).



شکل ۱. شیوه گزینش آلودگی‌های فراگیر - آلودگی هوای دست کم ۴ شهر از ۵ کلان شهر برگزیده

برداشتن گام‌های تحقیقی یاد شده به شناسایی ۱۰۲ موج آلودگی هوا طی بازه ۵ ساله آماری انجامید. این موج‌ها دارای ۱۰۲ روز در جایگاه روزهای اوج بودند. با هدف طراحی الگوهای همدید مربوط به فراگیرترین موج‌های آلودگی در هر سال، داده‌های تراز و نقشه‌های روزانه هوا تهیه شد. داده‌های تراز برای طراحی الگوهای همدید طی روزهای ناپیایی (دارای تاریخ‌های متفاوت) استفاده شد. رسیدن به هدف یاد شده با بهره‌گیری مشترک از امکانات برنامه‌نویسی و محاسباتی محیط نرم افزار متلب و امکانات ترسیم نقشه در محیط نرم افزار سورفر بود. برای طراحی الگوهای همدید طی روزهای پیاپی (دارای تاریخ‌های پشت سر هم) نیز نقشه‌های روزانه هوا تهیه شده از تارنمای NCEP/ENCARTA مبنای قرار گرفت. فن استفاده از روزهای پیاپی برای دستیابی به الگوهای خاستگاه و مسیر سامانه‌های فشار پدیدآور آلودگی فراگیر هوا بوده است. تهیه نقشه‌های روزانه هوا، امکان طراحی الگوهای همدید را با هدف موقعیت‌یابی فراز

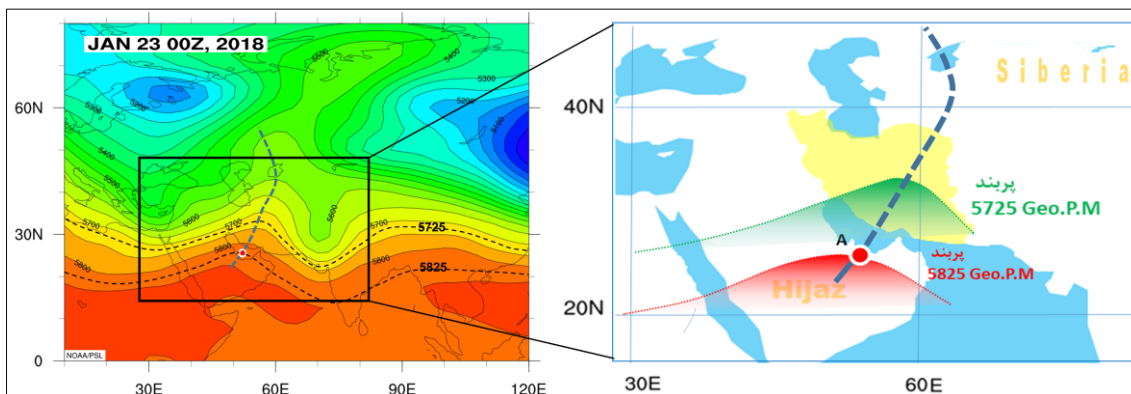
موثر بر تشدید آلودگی هوا طی روزهای آغازین، اوج و پایانی هر موج و مقایسه و تحلیل تفاوت‌های آنها فراهم کرد. شایان ذکر است که فراز یا پشته جوی، اغلب شامل مجموعه‌ای از پربندها (منحنی‌های هم‌ارتفاع) است که در نقشه‌های ترازهای بالای جو، به سوی قطب برآمدگی داشته، حسب سمت چرخش هوا در آنها، پدیدآور یا تشدیدکننده شرایط پایداری جوی در سطح زمین هستند. برای موقعیت‌یابی فراز موثر از روی نقشه هوای مربوط به روز اوج، نزدیک‌ترین فراز به ایران شناسایی شد و برای تعیین راستای هر فراز از مجموعه پربندهای شکل دهنده آن، لازم بود دو پربند یکی در جنوب و دیگری در مرکز ایران با نام پربندهای شاخص مد نظر قرار گیرد.

برای این کار، نخست در روزهای اوج یکایک موج‌های آلودگی، کمیت پربند یا هم‌ارتفاعی که (در قاعده فراز) از جنوب محدوده جغرافیایی ایران گذشته بود، بازیابی شد و سپس این کار برای روزهای آغازین و پایانی موج‌های آلودگی هوا تعمیم یافت. محاسبات نشان داد میانگین مقادیر بازیابی شده برای پربندهای گذر کرده از جنوب ایران، ۵۸۱۷ ژئوپتانسیل متر بوده است. این عدد بر حسب فاصله پربندها در نقشه‌های روزانه هوا با مقدار ± 25 ژئوپتانسیل متر گرد شد و پربند شاخص ۵۸۲۵ ژئوپتانسیل متر به دست آمد. در گام بعدی همین عملیات برای پربندی از هر فراز مؤثر که از مرکز ایران گذر کرده بود، اجرا شد و میانگین مقادیر به دست آمده، ۵۷۲۴ ژئوپتانسیل متر محاسبه شد. اینجا نیز بر حسب مقدار گردش‌دگی یاد شده، پربند شاخص ۵۷۲۵ ژئوپتانسیل متر بازیابی شد. براین اساس موقعیت‌یابی یکایک فرازهای جوی و یا به تعبیر دیگر زبانه‌های پر ارتفاع پدیدآورنده یا تقویت‌کننده آلودگی‌های فراگیر هوا با انتقال دوزبانه پر ارتفاع ۵۸۲۵ و ۵۷۲۵ ژئوپتانسیل متر روی نقشه‌های پایه انجام شد. جدول (۳)، مقادیر بازیابی شده ارتفاع این دو پربند شاخص را در مجموعه نقشه‌های روز اوج به ترتیب برای جنوب و مرکز ایران و میانگین مقادیر آنها نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر ارتفاع پربندهای شاخص بر حسب ژئوپتانسیل متر

ردیف	شماره پیوسته موج	کمیت ارتفاع پربند جنوب ایران	کمیت ارتفاع پربند مرکز ایران
۱	۱۰	۵۸۰۰	۵۷۰۰
۲	۱۱	۵۸۵۰	۵۸۰۰
۳	۱۲	۵۸۵۰	۵۷۵۰
۴	۱۳	۵۸۵۰	۵۷۵۰
۵	۱۴	۵۸۰۰	۵۷۰۰
۶	۵۱	۵۸۰۰	۵۷۵۰
۷	۵۶	۵۸۰۰	۵۷۰۰
۸	۸۰	۵۷۵۰	۵۷۰۰
۹	۸۱	۵۷۵۰	۵۷۰۰
۱۰	۸۲	۵۸۵۰	۵۷۰۰
۱۱	۸۳	۵۸۰۰	۵۷۵۰
۱۲	۸۶	۵۸۵۰	۵۷۵۰
۱۳	۹۹	۵۸۵۰	۵۷۰۰
۱۴	۱۰۳	۵۸۰۰	۵۷۰۰
	ارتفاع میانگین	۵۸۱۷	۵۷۲۴
	گردشده ± 25	۵۸۲۵	۵۷۲۵

سومین داده، رسم محور فراز بود. شکل (۲) نشان می‌دهد که استخراج و انتقال دو پربند شاخص یاد شده، به ترتیب یکی مربوط به قاعده فراز (نقطه A) و دیگری میانه آن در ایران چگونه روی نقشه پایه انتقال یافته است. علیجانی (۱۳۸۱ الف) در بحث موج‌های بادهای غربی، این نقاط عطف را در ناوهای تراز میانی جو، گشتگاه نامیده است.



شکل ۲. شیوه استخراج کمیت‌های مربوط به فرازهای مؤثر در آلودگی‌های فراگیر هوا طی روز اوج - نمونه نقشه هوای ۲۳ ژانویه

۲۰۱۸

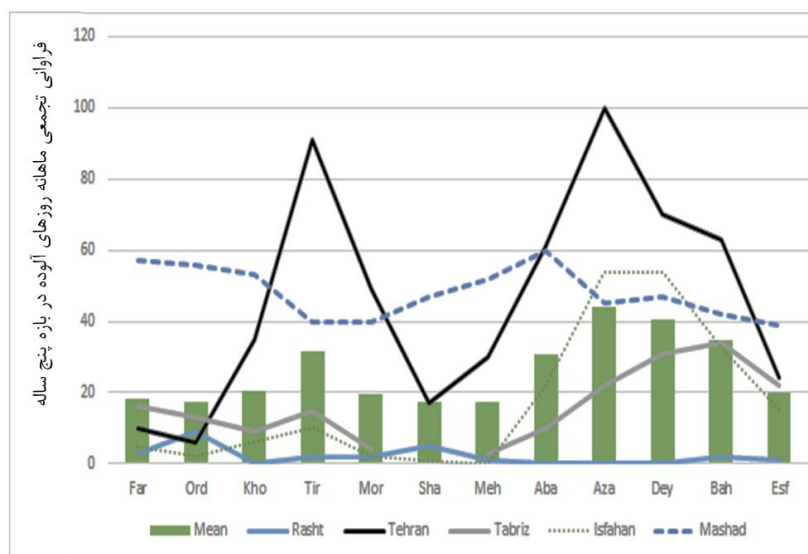
هدف از طراحی الگوها بر پایه داده‌های یاد شده، به‌تصویرکشیدن تغییر شرق‌سوی موقعیت فراز مؤثر بر آلودگی‌های فراگیر و هم‌زمان هوا در ۵ کلان‌شهر برگزیده ایران در جو میانی بوده است. البته این الگوها تأثیر دیگر سامانه‌های جوی مؤثر اعم از کم‌فشارهای حرارتی و پویایی و پرفشارهای برجا مانند سیبری و مهاجر از اروپا و حتی عوامل محلی مانند نسیم‌ها را نفی نمی‌کند. ضمن اینکه اغلب سامانه‌های نامبرده دارای روابطی قابل تحقیق با فرازهای بررسی شده در این تحقیق هستند و نتایج پژوهش کنونی می‌تواند به شناخت روابط آنها در تحقیقات آینده کمک کند.

نتایج

کلان‌شهرهای برگزیده و مورد بررسی در این تحقیق شامل تهران، مشهد، تبریز، اصفهان و رشت بوده است. گزینش این شهرها یکی به این دلیل بوده است که فاصله زیاد آنها از هم احتمال تصادفی شدن هماهنگی زمانی موج‌های آلودگی هوا را به‌ویژه هنگامی که شمار موج‌ها زیاد باشد، کاهش دهد. دومین دلیل مربوط به رفتار سامانه‌های غربی است. این بادهای عموماً از پاییز از نیمه شمالی ایران به سمت جنوب گسترش می‌یابند و در اواخر بهار نیز از نیمه جنوبی به سمت نیمه شمالی برمی‌گردند. از این رو پهنه زیرپوشش ۵ کلان‌شهر برگزیده، طی دوره طولانی‌تری از سال، عرصه تاخت‌وتاز این بادهای و در نتیجه پایش روزهای پیاپی آلودگی‌های هواست و این ناپایداری روی نقشه‌های روزانه هوا قابلیت رهگیری بهتری دارد.

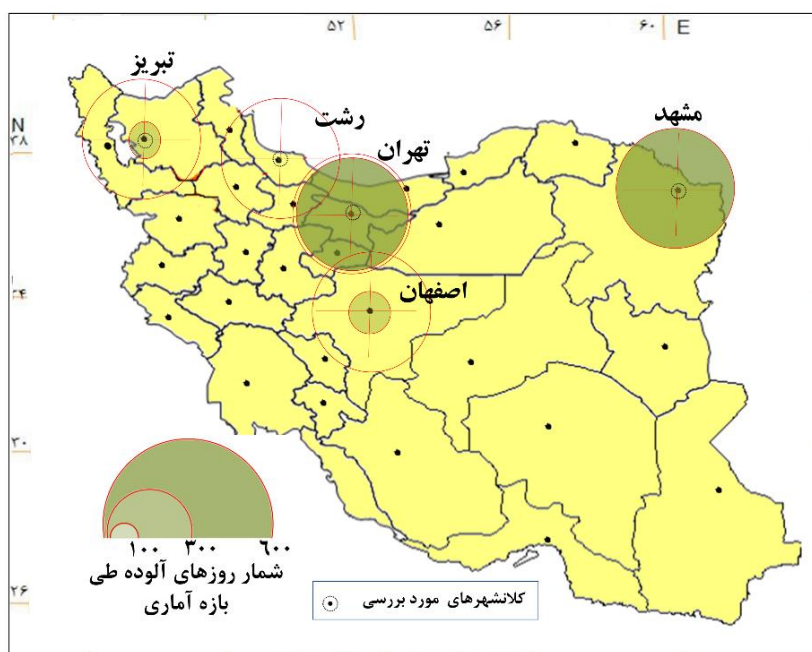
نخستین نتایج تحقیق گویای بیشینه آلودگی هوا در ماه آذر و سپس ماه‌های دی و بهمن است. از میان پنج کلان‌شهر مورد بررسی، رفتار ماهانه آلودگی هوا در کلان‌شهرهای تهران و اصفهان به هم نزدیک‌تر و به ترتیب دارای دو اوج زمستانه و تابستانه است (شکل ۳). در مورد تهران از یک سو صداقت‌کردار و وکیلی (۱۳۷۲)، بیشینه زمستانه آلودگی هوا در تهران را ناشی از حاکمیت سامانه‌های پرفشار در این فصل دانسته‌اند و خانسالاری و همکاران (۲۰۱۹) نیز ورود زبانه‌های پرفشار سیبری را نخستین عامل افزایش آلودگی هوای تهران طی زمستان می‌دانند و از سوی دیگر نینگ و همکاران (Ning et al, 2019) در مورد یکی از عوامل آلودگی هوا در حوزه سیچوان چین در پای فلات تبت به سرازیر شدن هوا از بالای بام جهان، به شکل گرمباد و شکل‌گیری الگوی هوای پایدار روی پکن اشاره کرده‌اند. مرتبط با آنچه برای پکن ذکر شد، نقش گرمبادها در دامنه‌های جنوبی البرز نیز در بیشینه آلودگی‌های پاییزه تهران شایسته تحقیق است. بیشینه دوم برای کلان‌شهر تهران در تابستان و طی تیرماه رخ می‌دهد. از این رو رفتار آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران پرتنش به نظر می‌رسد. البته بیشینه زمستانه در آستانه‌ای کمتر برای کلان‌شهرهای تبریز و اصفهان نیز مطرح است. گفتنی است پناهی (۱۳۹۵) نیز آلودگی‌های هوای شهر تبریز را با ورود زبانه پرفشار سیبری و شکل‌گیری هم‌زمان پرفشار روی محور زاگرس مربوط دانسته است. با توجه به وجوه مشترک و افتراق تغییرات فراوانی ماهانه آلودگی، چنین به نظر می‌رسد که به ترتیب کلان‌شهرهای رشت، مشهد و تبریز، آهنگ ماهانه باثبات‌تری از نظر بروز

روزهای آلوده داشته اند.



شکل ۳. تغییرات فراوانی تجمعی ماهانه روزهای آلوده در ۵ کلان‌شهر برگزیده ایران

فراوانی تجمعی ماهانه روزهای آلوده برای شهرهای مورد بررسی طی سال‌های آماری در شکل (۴)، به نوعی گویای شرایط بحرانی به ترتیب با فاصله‌ای اندک برای مشهد و تهران است. شعاع دایره‌های خاکستری در این شکل، گویای بزرگای فراوانی روزهای آلوده است.



شکل ۴. موقعیت کلان‌شهرهای برگزیده و شمار روزهای آلوده ناسالم در آنها طی بازه ۵ ساله آماری

ترتیب زمانی مرحله‌ای چون پیاپی بودن برخی از روزهای آلوده از یک سو، افزایش فراوانی آنها از یک شهر تا حداکثر چهار شهر طی روز اوج و سپس کاهش فراوانی آنها طی روزهای بعد، در این تحقیق پیامی تلقی شد که عاملی همدید پشت این رفتار هماهنگ و موج‌گونه بوده است. این ترتیب زمانی برای برخی موج‌ها بلندمدت بود. بادوام‌ترین موج آلودگی هوا طی ۱۷ روز و در آذرماه سال ۱۳۹۶ رخ داده است و برای برخی دیگر از موج‌ها کوتاه‌مدت بود. کم‌دوام‌ترین آنها نیز طی ۵ روز در سه سال متفاوت شامل بهمن ۱۳۹۸، اسفند ۱۳۹۹ و بهمن ۱۴۰۰ رخ داده است. این دوام با

مقیاسی که علیجانی (ب-۱۳۸۱: ۱۲) برای واحد زمانی مطالعات همدید، با تعبیر دوره‌های ۵ تا ۱۲ روزه ارایه کرده است، انطباق خوبی نشان می‌دهد. جدول (۴)، مشخصات هر یک از موج‌های آلودگی هوا را شامل روزهای آغازین، اوج و پایانی و نیز دوام و شهرهای درگیر طی روز اوج نشان می‌دهد. از میان ۱۰۷ موج آلودگی هوا، چنانکه از ردیف‌های جدول (۳) مشخص است، ۱۴ موج فراگیر بوده است. یعنی طی روز اوج، از ۵ کلان‌شهر برگزیده، ۴ کلان‌شهر درگیر هوای آلوده بوده‌اند.

جدول ۴. مشخصات امواج فراگیر آلودگی هوا در کلان‌شهرهای برگزیده ایران

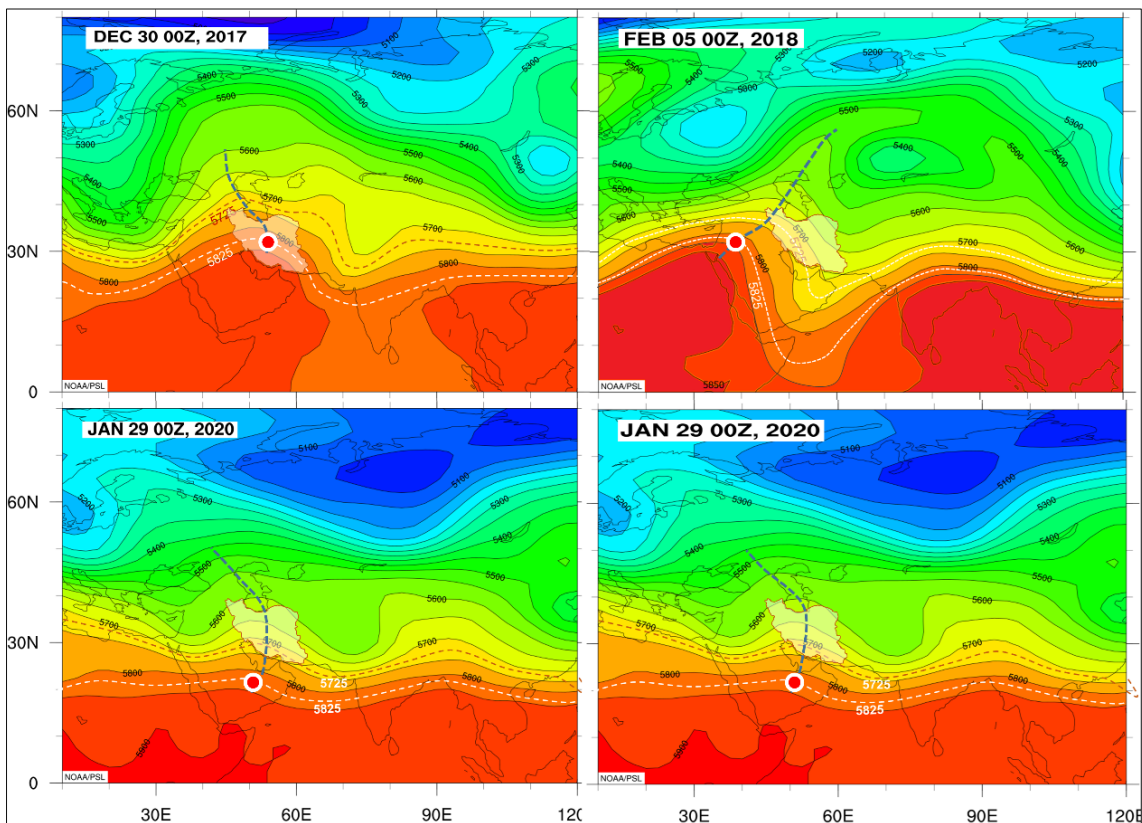
شماره موج	تاریخ روز آغاز		تاریخ روز اوج		تاریخ روز پایان		دوام روزانه	شهرهای درگیر
	خورشیدی	میلادی	خورشیدی	میلادی	خورشیدی	میلادی		
۱۰	۹۶/۹/۱۸	۲۰۱۷/۱۲/۰۹	۹۶/۹/۲۴	۲۰۱۷/۱۱/۱۵	۹۶/۱۰/۰۴	۲۰۱۸/۱۲/۲۵	۱۷	۴
۱۱	۹۶/۱۰/۰۶	۲۰۱۷/۱۲/۲۷	۹۶/۱۰/۰۹	۲۰۱۷/۱۱/۳۰	۹۶/۱۰/۱۵	۲۰۱۸/۰۱/۰۵	۱۰	۴
۱۲	۹۶/۱۰/۱۶	۲۰۱۸/۰۱/۰۶	۹۶/۱۰/۲۳	۲۰۱۸/۰۱/۱۳	۹۶/۱۰/۲۵	۲۰۱۸/۰۱/۱۵	۱۰	۴
۱۳	۹۶/۱۰/۲۸	۲۰۱۸/۰۱/۱۸	۹۶/۱۱/۰۳	۲۰۱۸/۰۱/۲۳	۹۶/۱۱/۰۶	۲۰۱۸/۰۱/۲۶	۹	۴
۱۴	۹۶/۱۱/۰۹	۲۰۱۸/۰۱/۲۹	۹۶/۱۱/۱۶	۲۰۱۸/۰۲/۰۵	۹۶/۱۱/۲۴	۲۰۱۸/۰۲/۱۳	۱۶	۴
۵۱	۹۸/۹/۲۲	۲۰۱۹/۱۲/۱۲	۹۸/۹/۳۰	۲۰۱۹/۱۲/۲۱	۹۸/۱۰/۰۷	۲۰۱۹/۱۲/۲۸	۱۶	۴
۵۶	۹۸/۱۱/۰۷	۲۰۲۰/۰۱/۲۷	۹۸/۱۱/۰۹	۲۰۲۰/۰۱/۲۹	۹۸/۱۱/۱۰	۲۰۲۰/۰۱/۳۰	۵	۴
۸۰	۹۹/۱۰/۰۷	۲۰۲۰/۱۲/۲۷	۹۹/۱۰/۱۴	۲۰۲۱/۰۱/۰۳	۹۹/۱۰/۱۵	۲۰۲۱/۰۱/۰۴	۹	۴
۸۱	۹۹/۱۰/۱۷	۲۰۲۱/۰۱/۰۶	۹۹/۱۰/۲۱	۲۰۲۱/۰۱/۱۰	۹۹/۱۰/۲۷	۲۰۲۱/۰۱/۱۶	۱۱	۴
۸۲	۹۹/۱۱/۰۵	۲۰۲۱/۰۱/۲۴	۹۹/۱۱/۰۷	۲۰۲۱/۰۱/۲۶	۹۹/۱۱/۱۰	۲۰۲۱/۰۱/۲۹	۶	۴
۸۳	۹۹/۱۱/۱۲	۲۰۲۱/۰۱/۳۱	۹۹/۱۱/۱۶	۲۰۲۱/۰۲/۰۴	۹۹/۱۱/۱۷	۲۰۲۱/۰۲/۰۵	۶	۴
۸۶	۹۹/۱۲/۲۴	۲۰۲۱/۰۳/۱۴	۹۹/۱۲/۲۷	۲۰۲۱/۰۳/۱۷	۹۹/۱۲/۲۸	۲۰۲۱/۰۳/۱۸	۵	۴
۹۹	۱۴۰۰/۸/۲۳	۲۰۲۱/۱۱/۱۴	۱۴۰۰/۸/۲۵	۲۰۲۱/۱۱/۱۶	۱۴۰۰/۹/۰۴	۲۰۲۱/۱۱/۲۵	۱۲	۴
۱۰۳	۱۴۰۰/۱۱/۱۳	۲۰۲۲/۰۱/۲۳	۱۴۰۰/۱۱/۱۳	۲۰۲۲/۰۲/۱۹	۱۴۰۰/۱۱/۱۷	۲۰۲۲/۰۱/۲۷	۵	۴

شکل (۵) نشان می‌دهد که پربند ۵۸۲۵ ژئوپتانسیل متر از فراز مؤثر به طور غالب در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی از مرکز ایران تا شرق حجاز موقعیت یابی داشته است. این موقعیت یابی طی روزهای آغاز امواج آلودگی فراگیر، آشکارا در غرب یعنی روی مصر و لیبی و طی روزهای پایان امواج آلودگی در شرق یعنی روی پاکستان به سمت هند دیده می‌شود. این شکل نشان می‌دهد که فرازها در عرض‌های پایین‌تر، در امتداد طول جغرافیایی کشیده‌تر هستند ولی آنهایی که در عرض‌های بالاتر موقعیت یابی یافته‌اند؛ شکل نصف‌النهاری تری به خود گرفته‌اند.



شکل ۵. جابجایی شرق‌سوی موقعیت فراز مؤثر طی روزهای آغازین، اوج و پایانی امواج فراگیر آلودگی هوا در پنج کلان‌شهر ایران چنانچه شکل (۵) نشان می‌دهد طی روز اوج، وزن بیشتر موقعیت فرازها به سمت غرب ایران است و این سبب می‌شود، پهنه سرزمینی ایران، اغلب زیر یال نزولی فراز و جریان‌های هوای پایین‌سو واقع شده، شرایط آلودگی فراگیر

هوای فراهم شود. شکل (۶) چهار نمونه از موقعیت فراز را طی روزهای اوج آلودگی فراگیر هوا نشان می‌دهد. در هر چهار نقشه، محور فراز از سمت پربند ۵۸۲۵ ژئوپتانسیل متر، ایران را نشانه رفته است.



شکل ۶. نقشه موقعیت فراز طی روزهای اوج آلودگی فراگیر ۳۰ دسامبر ۲۰۱۷، ۵ فوریه ۲۰۱۸، ۲۹ ژانویه ۲۰۲۰ و...

همچنین ترتیب محورهای فراز طی روزهای آغازین، میانی (اوج) و پایانی در شکل (۷)، ورود سامانه فشار در تراز میانی جو را از غرب و عبور از ایران نشان می‌دهد. جانمایی‌ها آشکارا و به ترتیب مسیر شرق‌سوی محورهای فراز را از میانرود (بین النهرین) به ایران مرکزی و سپس افغانستان گواهی می‌دهند.



شکل ۷. جابجایی شرق‌سوی موقعیت محورهای فراز طی روزهای آغاز، اوج و پایان امواج فراگیر آلودگی هوا در پنج کلان‌شهر ایران

بحث

بیشینه آلودگی تابستانه در آهنگ ماهانه دمای هوای کلان‌شهرها از این جهت اهمیت می‌یابد که بنا بر نظر برایانت (۱۹۹۷)، اغلب شهرهایی که جمعیت بالای یک میلیون تن دارند، آب‌وهوای آنها ۵ درجه سلسیوس از مناطق پیرامون گرم‌تر است. این قضیه برای شهرهایی چون پاریس و مونترال به ۱۰ تا ۱۴ درجه می‌رسد ولی رفتار ماهانه آلودگی هوای رشت و مشهد یکنواختی بیشتری نشان می‌دهد. در مشهد دوره طولانی چیرگی زبانه‌های پرفشار سیبری

(حسین‌زاده و همکاران؛ ۱۳۹۲) و نیز زیارتی بودن این کلان‌شهر بویژه طی ماه‌های بهار و پاییز، می‌تواند کاهش آشکار آلودگی هوا طی سال را دشوار کند (شکل ۲). تحقیق (سقای و جوانبخت قهفرجی؛ ۱۳۹۲) درباره فراوانی زایر و گردشگر در شهر مشهد؛ گویای پیروی نسبی تغییرات ماهانه و فصلی روزهای آلوده با حدود دو ماه تاخیر از تغییرات ماهانه و فضای فراوانی گردشگران و زایران مشهد البته طی سال ۱۳۹۵ است.

برخلاف کلان‌شهر رشت و تا حدودی مشهد، رفتار پرتنش کلان‌شهر تهران و بروز دو اوج یکی در تیرماه و دیگری در اواخر پاییز و اوایل زمستان حایز اهمیت است. اوج نخست را می‌توان متأثر از شرایط پایداری جوی ناشی از غلبه پرفشار جنب حاره دانست و اوج دوم را که شدیدتر و دامنه‌دارتر است و هم‌زمان در دیگر شهرها به‌جز رشت مشاهده می‌شود، می‌توان مرتبط با سکون و سردی هوا و شرایط پرفشاری دوره سرد سال دانست. البته این اوج در مشهد با شرایط اوج زایران پاییزی دچار تعدیل و تأخیر شده است.

در بخش همدید، موقعیت‌یابی فراز گویای چیرگی سامانه‌های فراز روی ایران به دو شکل نامتناوب و متناوب است. الگوی نامتناوب آن در بستر پیچ‌وتاب بادهای غربی و طی دوره سرد سال و به تعبیر علیجانی (۱۳۸۱ ب: ۴۴) طی سال‌های سرد و الگوی متناوب آن زیر چتر سامانه‌های پرفشاری (صداقت‌کردار و وکیلی؛ ۱۳۷۲) مانند پرفشارهای جنب‌حاره و طی دوره گرم سال است. به سخن دیگر، زمانی که ما در ایران با آغاز موجی از آلودگی فراگیر هوا با دوامی از ۵ روز تا ۱۷ روز و بطور میانگین ۱۰ روز روبرو هستیم، هوای ۴ کلان‌شهر از ۵ کلان‌شهر برگزیده ناسالم است. در این زمان، زبانه پراارتفاع ۵۸۲۵ ژئوپتانسیل متر از شمال آفریقا در حال نزدیک شدن به ایران است. با به اوج رسیدن و فراگیر شدن آلودگی هوا، این زبانه روی ایران رسیده است. آنگاه پس از روز اوج که فراوانی شهرهای آلوده رو به کاهش می‌گذارند، این فراز از مرزهای شرقی گذر کرده، خود را به پهنه سرزمینی پاکستان تا هندوستان رسانده است. شرایط یاد شده برای زبانه پراارتفاع ۵۷۲۵ ژئوپتانسیل متر نیز با اندکی تفاوت، هم‌اینگونه است. آنچه پیش از این با داده‌های یک بازه شش‌ساله و برای شهر تبریز تایید شد، یعنی نقش پشته ارتفاعی تراز میانی جو در افزایش آلودگی شهر تبریز (پناهی، ۱۳۹۵)، در تحقیق کنونی برای مجموعه ۵ کلان‌شهر و این بار مرتبط با هم تایید شد.

موضوع کشیدگی بیشتر زبانه‌ها در عرض‌های پایین‌تر می‌تواند گویای سرشت پایدارتر هوای عرض‌های جنوبی ایران نسبت به عرض‌های شمال باشد و این گمان علمی را تقویت کند که شهرهای جنوبی ایران به جهت فرازهای باز و سطحی، استعداد بیشتری برای آلودگی هوا دارند؛ ولی به مدد جمعیت و وسایل نقلیه کمتر و صنایع سبک‌تر آلودگی آنها دست‌کم از جهت صنعتی چندان به چشم نمی‌آید.

قانون‌گرایی نقاط عطف (گشتگاه‌ها) طی روزهای اوج آلودگی‌های فراگیر هوا، گویای حاد بودن شرایط بالقوه در جنوب ایران و به‌ویژه روی هرمزگان است و از همین‌جا می‌توان هماهنگ با تحقیقات پیشین مانند شناسایی یکی از کانون‌های بزرگ غبار در غرب هرمزگان (نامداری و همکاران؛ ۱۴۰۰) و در شرق بندرعباس و از آبخیز جاماش (نوحه‌گر و همکاران؛ ۱۳۹۱)، روزهای غباری پرشماره و با افق دید کم در شهرها و جزایر هرمزگان مانند قشم (دمی‌زاده و همکاران؛ ۱۴۰۰) و بندرعباس را گواهی داد.

نتیجه‌گیری

آلودگی هوا تاکنون در پژوهش‌های گوناگون به جهات سرزمینی (چه شهر یا شهرهایی را در برمی‌گیرد؟) و زمانی (چه بازه‌ای را شامل است؟) موردتوجه بوده است. در این پژوهش‌ها، آلودگی هوای هر شهر به شکل روزهای تک و یا دوره‌های چندین‌روزه و با روش‌های آماری و همدید کار شده است؛ ولی آنچه در این تحقیق انجام شد، پیش آلودگی‌های فراگیر هوا به طور هم‌زمان در مجموعه‌ای از شهرها در وسعت نیمه شمالی ایران بود تا الگوهای همدید از رفتار فرازهای جو میانی طی روزهای رخداد آلودگی طراحی شود. پیوند فضایی آلودگی هوای شهرها آن هم از شمال غرب ایران (کلان‌شهر تبریز) تا شمال شرق ایران (کلان‌شهر مشهد)، برای یافتن عوامل همدید این رخداد از بیرون از مرزها، کاری بود که برای نخستین‌بار در این تحقیق انجام شد. دوام آلودگی‌های فراگیر ایران از ۵ تا ۱۷ روز در چهار

کلان‌شهر از پنج کلانشهر برگزیده شامل تبریز، رشت، تهران، اصفهان و مشهد و همراهی این دوام از روز آغاز آلودگی به سمت روز اوج و سپس پایان با موقعیت‌یابی سامانه‌های پدیدآور آنها به ترتیب از موقعیت شمال آفریقا، مرکز ایران و سپس افغانستان نشان می‌دهد که عوامل بزرگ مقیاس در گردش عمومی جو، مؤثر در کار آلودگی‌های فراگیر هوا در این کلان‌شهرها هستند. این عوامل از جمله تقویت و جابجایی شرق‌سوی فرازاها از عرض‌های جنوبی روی ایران و بنا به تعبیر علیجانی (۱۳۸۱ ب: ۴۴)، گویای تمرکز پربندهای ۵۸۲۵ هکتوپاسکال و نیز پتانسیل رخداد شرایط حاد آلودگی در شهرهای جنوبی ایران، بویژه بندرعباس است.

در این میان گرچه کلان‌شهرهای مورد بررسی در این پژوهش به مدد پیچ‌وتاب‌های غربی، میان اغلب موج‌های آلودگی هوا از موج‌های هوای پاک نیز برخوردار می‌شوند؛ ولی به نظر می‌رسد شهرهای جنوبی ایران به‌حسب گستردگی و دامنه‌داری فرازاها، بخت کمتری برای ناپایداری جو و برون‌رفت آلاینده‌ها دارند. از این‌رو هر گونه راه‌اندازی و گسترش صنایع آلاینده در کرانه‌های جنوبی ایران به‌ویژه در بخش‌های نفت و گاز نیازمند سنجیدگی و مآل‌اندیشی بیشتری است.

منابع

- براتی، غلامرضا؛ موسوی، سیدشفیع (۱۳۸۴). جابجایی مکانی موج‌های زمستانی گرما در ایران. جغرافیا و توسعه، ۱ (۵)، ۴۱-۵۲. <https://sid.ir/paper/431615/fa>
- بهاروندی، نسیم؛ مجرد، فیروز؛ معصوم‌پور، جعفر (۱۳۹۹). شناسایی امواج گرمایی و تحلیل تغییرات زمانی - مکانی آنها در ایران. تحقیقات کاربردی جغرافیایی، ۵۹، ۳۹-۵۸. doi: 10.2925/jgs.20.59.39
- پناهی، علی (۱۳۹۱). بررسی ارتباط بین آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در اینورژن‌های شدید شهر تبریز. فضای جغرافیایی، ۳۱، ۶۳-۷۶. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2187-fa.html>
- پناهی، علی (۱۳۹۵). بررسی الگوهای همدیدی بر اساس دوره‌های بحرانی آلودگی هوا در وارونگی دمایی شدید شهر تبریز. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸ (۴)، ۷۶-۶۳. doi: 10.22059/JPHGR.2016.60831
- پیشداد، الهام؛ علیجانی، بهلول؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی؛ اکبری، مه‌ری (۱۳۹۹). تحلیل وضعیت بلندمدت آلاینده‌های اصلی و تعیین دوره‌های آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران. فیزیک زمین و فضا، ۳۵۷، ۳۵۵-۳۷۶. doi: 10.22059/JESPHYS.2020.292565.1007177
- حسین‌آبادی، نسیم؛ طاووسی، تقی؛ مفیدی، عباس؛ خسروی، محمود (۱۳۹۸). بررسی روند وارونگی‌های دمایی کلانشهرهای ایران - تهران، مشهد، و تبریز. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱ (۴): ۶۹۳-۷۱۳. doi: 10.22059/JPHGR.2019.277884.1007353
- حسین‌زاده، سیدرضا؛ دوستان، رضا؛ حقیقت‌ضیابری، سیده مرضیه؛ حقیقت‌ضیابری، سیده مریم (۱۳۹۲). بررسی الگوهای همدید مؤثر بر آلودگی هوا در کلان‌شهر مشهد. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۲۱، ۱۰۱-۸۱. doi: 10.22067/geography.v11i21.36332
- دمی‌زاده، محمود؛ مهدوی، رسول؛ نوروزی، علی‌اکبر؛ حلی‌ساز، ارشک؛ غلامی، حمید (۱۴۰۰). آشکارسازی و واکاوی گرد و غبار در استان هرمزگان. مهندسی و مدیریت آب‌خیز، ۱۳ (۱)، ۱۲۴-۱۱۱. doi: 10.22092/ijwmse.2020.128059.1730
- زینالی، بتول؛ شکرزاده فرد، الهام؛ پیروزی، الناز (۱۳۹۷). بررسی و پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از مدل VIKOR - مطالعه موردی: شهر تبریز. مخاطرات محیطی، ۶۸، ۶۷-۶۶. doi: 10.22111/JNEH.2017.3316
- سقای، مهدی؛ جوانبخت قهفرجی، زهره (۱۳۹۲). تحلیلی بر آمار گردشگران و زائران داخلی ورودی به کلان‌شهر مشهد با استفاده از مدل‌های سری زمانی. علوم جغرافیایی، ۲۸، ۹۴-۷۱. <https://sid.ir/paper/102159/fa>
- شمس‌الدینی، علی؛ احمدی، وانکو (۱۳۹۹). تخمین مکانی-زمانی آلاینده‌های منواکسیدکربن و دی‌اکسید نیتروژن شهر تهران مبتنی بر داده‌های حاصل از سنسورهای دور و داده‌های کمکی. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۶، ۱۲۴-۱۰۷. doi: JR_GERAZ-10-3_007
- شیخی، ولی‌الله؛ ملکوتی، حسین؛ قادر، سرمد (۱۳۹۹). شبیه‌سازی عددی اثرات ثانوی اقدامات طراحی شده کنترلی جزیره حرارتی شهری در تابستان بر کیفیت هوا در کلان‌شهر تهران. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۴، ۹۲-۶۹. <https://civilica.com/doc/>

- صداقت کردار، عبدالله؛ وکیلی، غلامعلی (۱۳۷۲). بررسی اثر کوهستان روی کیفیت هوای تهران بزرگ. *تحقیقات جغرافیایی*، ۷۳، ۱۱۸-۱۰۶. <https://ensani.ir/fa/article/82359>
- عساکره، حسین؛ احدی، لیلیا (۱۳۹۹). بررسی رابطه تیپ‌های هوایی تبریز و آلودگی هوا. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۲ (۳)، ۳۹۴-۳۷۵. doi: 10.22059/jphgr.2020.272960.1007326
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱ الف). شناسایی تیپ‌های هوایی باران آور تهران بر اساس چرخندگی. *تحقیقات جغرافیایی*، ۶۴ (۴)، ۱۳۲-۱۱۴. <https://www.sid.ir/paper/419655/fa>
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱ ب). اقلیم‌شناسی سینوپتیک. تهران: نشر سمت.
- قصابی، زهرا؛ فتاحی، ابراهیم؛ (۱۴۰۰). طبقه‌بندی الگوهای گردش جو روزانه در خاورمیانه و ایران. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۴۵، ۱۲۷-۱۴۲. <https://www.magiran.com/paper/2288217>
- قربانی، ساره؛ صالحی، اسماعیل؛ فریادی، شهرزاد؛ جعفری، حمیدرضا (۱۳۹۸). ارزیابی عدالت محیط زیست در شهر تهران مبتنی بر توزیع فضایی آلودگی هوا و صدا. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۳۲، ۳۱-۱۹. doi: 10.22126/GES.2019.3819.1982
- قربانی، مجید؛ محمودی، ابوالفضل؛ شوکت فدایی، محسن؛ خالدی، محمد (۱۳۹۹). بررسی ارتباط بین آلاینده‌های هوا و پارامترهای هواشناسی در بخش کشاورزی استان مازندران با استفاده از رگرسیون لجستیک. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۳۷ (۱۰)، ۱۷-۳۷. doi: 10.22126/GES.2021.5677.2285
- لشکری، حسن؛ هدایت، پریسا (۱۳۸۵). تحلیل الگوی سینوپتیک اینورژن‌های شدید شهر تهران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۵۶، ۸۲-۶۵. <https://www.sid.ir/paper/955275/fa>
- نامداری، سودابه؛ حاجی بیگلر، علی؛ ابادری، غلامرضا (۱۴۰۰). تحلیل تغییرات کانون‌های گردوغبار داخلی ایران در بیست سال اخیر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری*، ۷۸ (۲۵)، ۳۶۱-۳۴۵. doi: 10.22034/gp.2021.42751.2739
- نوحه‌گر، احمد؛ ارشادی، سیروس؛ احمدی‌دوست، بهروز؛ بهرامی، فهیمه؛ سلیمانی، زهرا (۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل آماری وقوع طوفان‌های گردوغبار - مطالعه موردی حوضه آبخیز جاماش استان هرمزگان. *مجموعه مقالات همایش ملی جریان و آلودگی هوا، تهران، ۲۴ و ۲۵ آبان، دانشگاه تهران*. <https://civilica.com/doc/183388>

References

- Alijani, B. (2002 a). Determination of the rain-producing weather types in Tehran using vorticity computation method. *Geographical Researches*, 64 (4), 114-132. <https://www.sid.ir/paper/419655/fa> (In Persian).
- Alijani, B. (2002 b). *Synoptic Climatology*. Tehran: Samt Press (In Persian).
- Asakareh, H. & Ahadi, L. (2020). Study the relationship between air types and air pollution in Tabriz city, *Physical Geography Researches*, 52 (3), 375-394. doi: 10.22059/jphgr.2020.272960.1007326 (In Persian).
- Baharvandi, N., Mojarrad, F. & Masoumpoor, J. (2019). Identifying heat waves and analyzing of their temporal-spatial variations in Iran. *Applied Geographical Researches*, 59, 58-39. doi: 10.29252/jgs.20.59.39 (In Persian).
- Barati, Gh. & Mousavi, Sh. (2005). Spatial displacement of winter heat waves in Iran. *Geography and Development*, 1 (5), 41-52. <https://sid.ir/paper/431615/fa> (In Persian).
- Boodhoo, Y. (2003). In Preparation for Climate Change, *Proceeding of the International Symposium on Climate Change (ISCC)*. China, 1172, 46-56.
- Bryant, E. (1997). *Climate Process and Change*. Cambridge University Press.
- Chen, Z. H., Cheng, S. Y., Li J. B., Guo, X.R., Wang, W.H. & Chen, D. S. (2008). Relationship between atmospheric pollution processes and synoptic pressure patterns in northern China, *Atmospheric Environment*, 42, 6078-6087. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.03.043.
- Chia-Hua, H. & Fang-Yi, Ch. (2019). Synoptic Weather Patterns and Associated Air Pollution in Taiwan, *Aerosol and Air Quality Research*, 19, 1139-1151. doi: 10.4209/aaqr.2018.09.0348
- Damizadeh, M., Mahdavi, R., Noroozi, A. A., Hollisaz, A. & Gholami, H. (2021). Dust Storm Analysis and Detection in Hormozgan Province, *Watershed Engineering and Management*, 13 (1), 111-124. doi: 10.22092/ijwmse.2020.128059.1730 (In Persian).

- Ghassabi, Z. & Fattahi, E. (2021). Classification of daily atmospheric circulation patterns in the Middle East and Iran. *Climatology Researches*, 45, 127-142. <https://www.magiran.com/paper/2288217> (In Persian)
- Ghorbani, M., Mahmoudi, A., Shaukat Fadaei, M. & Khaledi, M. (2020). Investigating the relationship between air pollutants and meteorological parameters in the agricultural sector of Mazandaran province using logistic regression. *Geography and Environmental Sustainability*, 37 (10), 17-37. doi: 10.22126/GES.2021.5677.2285 (In Persian).
- Ghorbani, S., Salehi, E., Faryadi, Sh. & Jafari, H. R. (2019). The Assessment of Environmental Justice in Tehran Based on Spatial Distribution of Air and Noise Pollution, *Geography and Environmental Sustainability*, 32, 19-31. doi: 10.22126/GES.2019.3819.1982 (In Persian).
- Hosseinabadi, N., Tavousi, T., Mofidi, A. & Khosravi, M. (2019). A Comparative Study on the Trend of Temperature Inversions in Iranian Metropolises; Tehran, Mashhad and Tabriz. *Physical Geography Researches*, 51 (4), 693-713. doi: 10.22059/JPHGR.2019.277884.1007353 (In Persian).
- Hosseinzadeh, S. R., Doustan, R., Haghghat Ziabari, S. M. & Haghghat Ziabari, S. M. (2013). The synoptic patterns of air pollution in Mashhad metropolis. *Geography and Regional Development*, 81-101. doi: 10.22067/geography.v11i21.36332 (In Persian).
<https://www.ecc.news/fa/news/221993/wzart-smt-mntrsh-krd-gzarsh-shakhshay-bkhsh-snt-mdn-w-tjarat>.
<https://www.mimt.gov.ir/>
- Jafari Hombari, F., Barati, Gh. & Moradi, M., (2021). Relations Between Durability of Spring Frosts and North Advection on Omega Blocking Over Iran, *Pure and Applied Geophysics*, 173, 671-687. doi: 10.1007/s00024-020-02652-421.
- Khansalari1, S., Ranjbar Saadatabadi, A., Mohammadian, L. & Gozalkhoo, M. (2019). Seasonal variability of atmospheric patterns leading to air pollution in the metropolis of Tehran, *Journal of Air Pollution and Health*, 4 (2), 109-120.
- Lashkari, H. & Hedayat, P. (2006). Synoptic analysis of intensive inversions' pattern of Tehran, *Geographical researches*, 56, 82-65. <https://www.sid.ir/paper/955275/fa> (In Persian).
- McGregor, G. R. & Bamzelis, D. (1995). Synoptic Typing and its Application to the Investigation of Weather Air Pollution Relationships, Birmingham, United Kingdom, *Theoretical and Applied Climatology*, 51, 223-236. doi:10.1007/BF00867281.
- Miao, Y., Guo, J., Liu, Ch., Liu, H., Li, Zh., Zhang, W. & Zhai, P. (2017). Classification of summertime synoptic patterns in Beijing and their associations with boundary layer structure affecting aerosol pollution, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 3097-3110. doi: 10.5194/acp-17-3097-2017
- Namdari, S., Haji Beygloo, A. & Abazari, Gh. (2021). Analysis of changes in Iran's internal dust centers in the last twenty years. *Geography and Urban Planning*, 78 (25), 345-361. doi: 10.22034/gp.2021.42751.2739 (In Persian).
- Ning, G., Lam Yim, S. H., Wang, Sh., Duan, B., Nie, N., Yang, X., Wang, J. & Shang, K. (2019). Synergistic effects of synoptic weather patterns and topography on air quality: a case of the Sichuan Basin of China, *Climate Dynamics*, 53 (11), 6729-6744. N2275. doi: 10.1007/s00382-019-04954-3.
- Nohegar, A., Ershadi, S., Ahmadidoost, B., Bahrami, F. & Soleimani, Z. (2012). Statistical analysis of dust storms - a case study of Jamash watershed in Hormozgan province. Proceedings of the *National Conference on Air Flow and Pollution*, Tehran, November 24 and 25, University of Tehran. <https://civilica.com/doc/183388> (In Persian).
- Panahi, A. (2011). Investigating the relationship between air quality index pollutants and meteorological parameters in extreme inversions of Tabriz city. *Geo-Space*, 31, 76-63. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2187-fa.html> (In Persian).
- Panahi, A. (2016). A survey on the synoptic patterns based on critical periods of air pollution in severe inversions of Tabriz, Iran, *Natural Geography Research*, 48 (4), 63-76. doi: 10.22059/JPHGR.2016.60831 (In Persian).

- Perez, I. A., Garica, M. A., Sanchez, M. L., Pardo, N. & Duque, B. F. (2020). Key Points in Air Pollution Meteorology, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17 (22), 1-14. N2273 doi: 10.3390/ijerph17228349.
- Pishdad, E., Alijani, B., Ali Akbari Beydokhti, A. & Akbari, M. (2020). Long Term Status Analysis of Major Air Pollutants and Determination of Air Pollution Periods in Tehran Metropolis, *Earth and Space Physics*, 357, 376-355. doi: 10.22059/JESPHYS.2020.292565.1007177 (In Persian).
- Salvador P., Marcos B., Francisco J., Gómez-Moreno, E., Alonso B. & Begoña, A. (2020), Synoptic classification of meteorological patterns and their impact on air pollution episodes and new particle formation processes in a south European air basin, *Atmospheric Environment*, 245 (118016) 1-40. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.118016.
- Saqaei, M. & Javanbakht Gahfarji, Z. (2013). A statistical analysis of the number of domestic tourists entering the metering the metropolitan of mashhad on the basis of time series model, 28, 71-94. <https://sid.ir/paper/102159/fa> (In Persian).
- Sedaqat Kerdar, A. & Vaikili, Gh. (2003). Investigating the effect of mountains on the air quality over Tehran. *Geographical Researches*, 73, 106-118. <https://ensani.ir/fa/article/82359> (In Persian).
- Shahgedanova, M., Bur, P. & Davies, T. D. (2019). Synoptic Climatology of Air Pollution in Moscow, *Theor Appl Climatol.*, 61, 85-102.
- Shamsaddini, A. & Ahmadi, V. (2020). Spatio – Temporal Estimation of Carbon Monoxide and Nitrogen Dioxide based on Remote Sensing Data and Ancillary Data in Tehran, *Geography and Environmental Sustainability*, 36, 107-124. doi: JR_GERAZ-10-3_007 (In Persian).
- Sheikhi, V., Malakouti, H. & Ghader, S. (2020). Numerical Simulation of Secondary Impacts of Designed Urban Thermal Island Control on Summer Air Quality in Tehran Metropolitan Area. *Geography and Environmental Sustainability*, 34, 69-92. doi: 10.22126/GES.2020.4895.2178. <https://civilica.com/doc/1165458> (In Persian).
- Zeynali, B., Shokrzadeh Fard, E. & Pirouzi, E. (2018). Evaluation and Zonation of Air Pollution by using Vikor (Case Study: Tabriz). *Environmental Hazards*, 68, 66-67. doi: 10.22111/JNEH.2017.3316 (In Persian).
- Zhang, Y., Ding, A., Mao, H., Nie, W., Zhou, D., Liu, L., Huang, X. & Fu, C. (2016). Impact of synoptic weather patterns and inter-decadal climate variability on air quality in the North China Plain during 1980–2013, *Atmospheric Environment*, 124, 119–128. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.05.063.
- Zhujun D., Duanyang L., Kun, Y., Lu, C. & Youshan, J. (2020). Meteorological Variables and Synoptic Patterns Associated with Air Pollutions in Eastern China during 2013–2018, *Environmental Research and public health*, 17, 2528, 1-19. doi: 10.3390/ijerph17072528

