



Synoptical Analysis of Air Pollution in 2, 5, 9 and 18 Municipal Zones of Tehran

Ali Afshariazad ¹, Bahman Ramezani ^{2,*}, Atosa Bigdeli ³ and Mohammadreza Afshariazad ³

¹ PhD student in Climatology, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

² Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

* Corresponding author, Email: bahmanr2000@gmail.com

Receive Date: 13 March 2021

Accept Date: 14 October 2021

ABSTRACT

Introduction: Air pollution, especially in the two pollutants of suspended particles less than 2.5 microns and sulfur dioxide, is one of the important problems of large and industrial cities of Iran, including in Tehran, especially in the cold half of the year, which affects the health and comfort of citizens.

Objectives: The severity and weakness of air pollution in Tehran is related to climatic patterns and the dominance of air masses over the city of Tehran.

Methodology: By following the air pollution during the year 2019, this research investigated the pollutant variables on a monthly, daily and hourly basis for 4 districts 2, 5, 9 and 18 of Tehran city in five pollution measurement stations and based on three climate scenarios: effect of stability, instability and inversion, separate clean and polluted days and investigate the role of air masses dominating the city for both conditions. To better understand the relationship between the weather patterns governing the study area, atmospheric conditions at 1000 and 500 millibar levels, as well as the earth's surface map, have been analyzed. Air pressure, temperature, rain and wind are the elements that have been investigated. Pollutant measurement data were obtained from stations located in the four districts of Tehran municipality and from the air quality control company affiliated to Tehran municipality, and meteorological data were obtained from the country's meteorological organization, and finally, radiosonde data from Mehrabad station were used for the inversion study.

Geographical Context: the area of study in this research is Tehran and its 4 municipal zones 2, 5, 9 and 18.

Result and Discussion: The research results show that the air quality of the study area has a strong dependence on the development of the geopotential ridge in the middle troposphere, the absence of wind blowing at a significant speed on the surface of the earth, the extreme stability of the air and the creation of a dynamic inversion layer or subsidence at high altitude. In other words, periods of air pollution intensity are related to weak pressure gradient, calm wind, air subsidence and temperature inversion.

Conclusion: Finally, during severe and critical pollution, high-pressure air dominates the city surface and the air is stable, and the wind either does not exist or is less than 3 meters per second, which does not have the power to purify the air. In the defined scenarios, the presence of strong wind (over 6 meters per second) is the best solution for having clean air, and rainfall is effective in removing pollution only when it rains heavily and for a long time.

KEYWORDS: Atmospheric synoptic, intensity of instability, temperature inversion, geopotential, climatic parameters

تحلیل سینوپتیکی آلودگی هوای مناطق ۲، ۵، ۹ و ۱۸ شهرداری تهران

علی افشاری آزاد^۱، بهمن رضانی^{۲*}، آنوسا بیگدلی^۳ و محمدرضا افشاری آزاد^۴

۱. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۲. استاد گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

* نویسنده مسئول، Email: bahmanr2000@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۳ اسفند ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: ۲۲ مهر ۱۴۰۰

چکیده

مقدمه: آلودگی هوا به‌ویژه در دو آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و دی‌اکسید گوگرد از معضلات مهم شهرهای بزرگ و صنعتی ایران از جمله در تهران به‌ویژه در نیمه سرد سال است که بر سلامت و آسایش شهروندان مؤثر است. شدت و ضعف آلودگی هوا در تهران با الگوهای اقلیمی و تسلط توده‌های هوا بر روی شهر تهران در ارتباط است.

هدف: این پژوهش با دنبال کردن آلودگی هوا در طول سال ۱۳۹۹ متغیرهای آلاینده را به صورت ماهانه، روزانه و ساعتی برای ۴ منطقه ۲، ۵، ۹ و ۱۸ شهر تهران در پنج ایستگاه آلودگی سنجی بررسی کرده و بر اساس سه سناریوی اقلیمی: اثر پایداری، ناپایداری و وارونگی، روزهای پاک و آلوده را جدا کرده و نقش توده‌های هوای مسلط بر شهر را برای هر دو شرط بررسی نماید.

روش‌شناسی: برای درک بهتر رابطه بین الگوهای هوای حاکم بر محدوده مطالعه، شرایط جو در ترازهای ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی بار و همینطور نقشه سطح زمین مورد تحلیل قرار گرفته است. فشار هوا، دما، باران و باد عناصری هستند که مورد بررسی قرار گرفته‌اند. داده‌های آلاینده‌سنجی از ایستگاههای مستقر در مناطق چهارگانه شهرداری تهران و از شرکت کنترل کیفیت هوا وابسته به شهرداری تهران بدست آمده است و داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی کشور گرفته شده و در نهایت از داده‌های رادیوسوند ایستگاه مهرآباد برای مطالعه وارونگی استفاده شده است.

قلمرو جغرافیایی: این پژوهش برای شهر تهران و چهار منطقه شهرداری ۲، ۵، ۹ و ۱۸ برای بازه زمانی سال ۱۳۹۹ انجام شده است.

یافته‌ها: کیفیت هوای محدوده مطالعه وابستگی شدیدی به توسعه پشته ژئوپتانسیل در تروپوسفر میانی، فقدان وزش باد با سرعت قابل توجه در سطح زمین، پایداری شدید هوا و ایجاد لایه وارونگی از نوع دینامیک یا فرونشینی با ارتفاع زیاد دارد. به عبارت دیگر دوره‌های شدت آلودگی هوا با گرادیان فشار ضعیف، باد آرام، فرونشینی هوا و وارونگی دما در رابطه است.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در زمان آلودگی شدید و بحرانی هوا پرفشار بر سطح شهر حاکم است و هوا پایدار است و باد یا وجود ندارد و یا کمتر از ۳ متر بر ثانیه است که قدرت پالایندگی هوا ندارد. در سناریوهای تعریف شده وجود باد پرقدرت (بالای ۶ متر بر ثانیه) بهترین راه حل برای داشتن هوای پاک است و بارندگی تنها زمانی که با شدت و مدت طولانی ندام داشته باشد در زدودن آلودگی مؤثر است.

کلیدواژه‌ها: سینوپتیک جو، شدت ناپایداری، وارونگی دما، ژئوپتانسیل، پارامترهای اقلیمی

مقدمه

رشد فعالیت صنعتی، رشد جمعیت و استفاده از سوخت فسیلی بیشتر عامل مهمی در افزایش آلودگی هوای شهرهای بزرگ است. از سوی دیگر آلودگی هوای جو می‌تواند از طریق گردش محلی یا سیاره‌ای جو نیز جابجا شود و بر شدت و ضعف آلودگی تأثیر بگذارد. شرایط آب و هوایی به روش‌های گوناگون روی آلودگی هوا مؤثر است مثلاً دید افقی یکی از معضلات ناشی از انباشت آلودگی ست و یا سرعت باد کمتر از ۲ متر بر ثانیه نیز به انباشت آلاینده‌ها در شهر منجر می‌شود. در نهایت انتشارات تبخیری نیز با انباشت در هوای شهرها شاخص آلودگی را بالا می‌برند. از سوی دیگر بالا رفتن میزان آلودگی در یک شهر صرفاً به معنی افزایش ناشی از منابع انتشار آن آلاینده نیست بلکه مسلط شدن توده‌ای خاص از هوا می‌تواند در زدودن و انباشت آلودگی نقش داشته باشد. به عبارت دیگر آب و هوای محلی تأثیر به‌سزایی روی کیفیت هوای آن محیط دارد. بنابراین درک این‌که کدام نوع آلاینده از طریق گردش اتمسفری جابجا شده و کاهش یا افزایش می‌یابد از اهمیت بالایی برخوردار است.

آلودگی هوا یک معضل زیست‌محیطی در شهر تهران و دیگر کلان‌شهرهای ایران است. آلودگی هوا در تهران از لحاظ انتشار آلاینده محلی است و از جای دیگر بر روی شهر منتقل نمی‌شود. منابع عمده آلاینده در تهران عبارتند از نیروگاه‌های برق با سوخت فسیلی، پالایشگاه‌ها، کارخانه‌های صنعتی و در نهایت سیستم حمل و نقل به‌ویژه از نوع دیزل می‌باشد. علاوه بر انتشار آلاینده‌ها به‌وسیله منابع آلاینده، باید شرایط اقلیمی را نیز در آلودگی هوا بیفزاییم زیرا که نقش مهمی در دور کردن یا انباشت آلودگی بر روی شهر بازی می‌کند.

تعیین رابطه الگوهای سینوپتیکی هوای مسلط بر شهر به‌ویژه از نوع الگوهای بزرگ‌مقیاس می‌تواند روشی بسیار مؤثر در مطالعه آلودگی هوای شهر باشد. پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است. برای نمونه در این زمینه (Rainham et al., 2005; Cheng et al., 2013; Vanos et al., 2015; Hsu and Cheng, 2016) به این پدیده توجه

کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند

آجی و آدامو (۲۰۲۰) رابطه میان انتشار آلاینده‌ها و شاخص‌های هواشناختی مؤثر در کیفیت هوای شهر بوجی نیجریه را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های هواشناختی نقش بسیار مؤثری در انباشت یا پراکندگی آلودگی هوای سطح شهر دارند.

چیا هوا سو و فانگ یی (۲۰۱۸) الگوهای همدیدی هوا در رابطه با آلودگی هوا در تایوان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها توده‌های هوای ورودی به تایوان و غلظت آلاینده‌ها را بررسی کردند. نتیجه کار آنها نشان می‌دهد در غرب تایوان استقرار توده هوای قاره‌ای منجر به نسیم‌های ملایم شده و در نتیجه آلاینده‌ها از سطح شهرها زدوده نمی‌شوند. هنگامی که باد شمال شرقی بوسیله رشته کوه مرکزی بلوکه می‌شود بدترین شرایط آلودگی بوجود می‌آید.

زنگو ژانگ (۲۰۱۷) با مطالعه تأثیر عناصر هواشناسی بر تداوم آلودگی‌های سنگین هوا در منطقه چنگدو چین نشان داد که نه تنها فاکتورهای سطحی هواشناسی، بلکه ساختار لایه‌مرزی و وجود وارونگی‌های دمایی نقش مهمی در انتشار عمودی آلاینده ایفا می‌کند.

وایو و همکاران، ۲۰۱۴ به بررسی ارتباط اینورژن و آلودگی هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لیدار برای منطقه جیانلین از شهر نانجینگ پرداخته‌اند و برای آلودگی ۲۴ و ۲۳ دسامبر (۲۰۱۲) و ارتباط آن را با عناصر اقلیمی دما، رطوبت، جهت باد و سرعت، و فشار هوا با اینورژن مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که وارونگی فرارفت موجب این آلودگی شدید شده است.

فیدز و همکاران (۲۰۱۵) تحولات همدیدی هوا در رابطه با آلودگی زمستانه هوا در نیوزیلند را مورد بررسی قرار دادند. ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون به عنوان آلاینده اصلی مورد مطالعه قرار گرفت. هدف اصلی آنان بررسی میزان آلاینده ذرات معلق در رابطه با الگوهای محلی و بزرگ مقیاس هوا بصورت روزانه و فصلی بوده است. نتیجه کار آنها نشان می‌دهد میزان بالای غلظت ذرات معلق با غلبه واچرخند در دریای تاسمان همخوانی دارد.

وانوس و همکاران (۲۰۱۳) الگوی سینوپتیک و مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در ۱۰ شهر کانادا را با تاکید بر افراد بالای ۶۴ سال را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه کار آنها نشان می‌دهد که افزایش مرگ و میر با شرایط آدیاباتیکی خشک و غلظت بالای ازن سطحی در رابطه بوده است.

ماکرا و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی رابطه میان الگوهای جوی بزرگ مقیاس و آلودگی هوا نشان دادند که افزایش غلظت آلاینده‌های هوا در پیکزلی در جنوب مجارستان، هم در تابستان و هم در زمستان در شرایط استقرار سامانه واپرخندی و پراارتفاع سطوح میانی جو رخ می‌دهد و کاهش آلاینده‌ها نه فقط هنگام استقرار چرخندهای دینامیکی، بلکه به هنگام استقرار پراارتفاع هم می‌تواند رخ دهد.

مظفری و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل رابطه الگوهای همدید با میزان آلاینده ذرات معلق و منواکسید کربن در شهر شیراز پرداخته‌اند. آنها استقرار پرفشار جنب حاره را عامل اصلی بالارفتن غلظت آلاینده‌ها می‌دانند.

صادقی و همکاران (۱۳۹۳) نقش الگوهای گردش مقیاس جومنطقه‌ای بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتیجه کار آنها با کار مظفری و همکاران در مشهد مطابقت دارد.

برخی پژوهشگران تنها یک متغیر را انتخاب کردند و برای نمونه اینورژن یا وارونگی دمای شهر و رابطه آن با شرایط همدیدی هوا را بررسی کرده‌اند. از این دسته پژوهش‌ها، برای شهر تبریز پناهی (۱۳۹۵)، جهانبخت (۱۳۹۳) برای شهر مشهد سلطانی و همکاران (۱۳۹۴) و ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۳) برای کرمانشاه، کیخسروی و لشگری (۱۳۹۲) برای شهر تهران را نام برد.

رنجبر سعادت آبادی و محمدیان محمدی (۱۳۸۹) میانگین الگوهای همدیدی براساس رخداد غلظت‌های گاز منواکسیدکربن در فصول تابستان و پاییز در تهران را مطالعه کردند. نتیجه کار آنها حاکی از افزایش غلظت در فصل پاییز و کاهش آن در تابستان است.

صفوی و علیجانی (۱۳۸۵) عوامل مؤثر در آلودگی هوای تهران را بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که عوامل جغرافیایی و همچنین استقرار سامانه‌های پرفشار در فصل زمستان نقش مهمی در آلودگی هوای تهران دارند.

روش‌شناسی

متغیرهای هواشناختی گوناگونی همچون باد، دما و رطوبت وجود دارند که بر روی پدیده آلودگی هوا تأثیر می‌گذارند. برای مطالعه رابطه میان آلودگی هوا و متغیرهای اقلیمی لازم است تا متغیرها دوه‌دو با هم بررسی شوند. از این‌رو باید متغیرهای اقلیمی را در یک یا چند گروه دسته‌بندی کنیم تا تصویر بهتری از ویژگی‌های اقلیمی محیط ارائه شود. در این پژوهش پارامترهای اقلیمی هر کدام به تنهایی با آلاینده‌ها مورد بررسی و سنجش قرار گرفتند برای نمونه شرایط سرعت و وزش باد با پارامتر آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل اثر شرایط اقلیمی روی آلودگی هوا مشتمل بر دو فاز یا مرحله است نخست شناخت الگوهای همدیدی بزرگ‌مقیاس و تحلیل عناصر اصلی آن و دوم تحلیل آلودگی هوا در امتداد هر یک از این عناصر اقلیمی است. در این پژوهش شرایط اقلیمی و آلودگی برای همه روزهای سال ۱۳۹۹ برای چهار منطقه شهرداری تهران (۲، ۵، ۹ و ۱۸) در پنج ایستگاه آلودگی سنجی در محدوده مناطق فوق مورد مطالعه قرار گرفتند. سه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک با نام مهرآباد، چیتگر و ژئوفیزیک که دو مورد مهرآباد در داخل منطقه ۹ و چیتگر در داخل منطقه ۵ قرار دارند و ژئوفیزیک در کنار منطقه ۲ واقع شده است. برای مطالعه و تحلیل سینوپتیکی نیاز به داده‌های جو بالا شامل اطلاعات رادیوسوند و نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل است. داده‌های رادیوسوند از دانشگاه ایومینگ برای دو زمان صفر و ۱۲ به وقت گرینویچ برای ایستگاه مهرآباد استفاده شد. برای داده‌های ژئوپتانسیل نیز از نقشه‌های ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال دانشگاه ایومینگ استفاده شد. داده‌های مربوط به پارامترها و عناصر اقلیمی مانند سرعت و جهت باد، میزان و شدت بارش ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته، دمای حداکثر و حداقل و رطوبت نسبی از

ایستگاه‌های سینوپتیک مهرآباد، چیتگر و ژئوفیزیک استفاده شده است. داده‌های آلاینده به صورت ساعتی و روزانه از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران دریافت شد.

از لحاظ روش پژوهش، برای مطالعه شرایط سینوپتیکی، ابتدا نمودار اسکویوتی برای تمام روزهای سال صرف نظر از ویژگی و شرایط آلودگی برای ایستگاه مهرآباد تهیه شد. برای مطالعه وارونگی دما نیز از اطلاعات رادیوسوند مهرآباد بهره گرفته شده است. همین کار برای داده‌های ژئوپتانسیل، نقشه‌های ترازهای مختلف جو برای طول سال تهیه شد. بر اساس سه شاخص ناپایداری که در ادامه معرفی خواهند شد شرایط پایداری و ناپایداری جو تحلیل خواهند شد. درباره آلاینده‌ها، شرایط آلودگی و میزان انتشار آلاینده‌ها استخراج و روزهای پاک، قابل قبول، ناسالم و بسیار ناسالم تفکیک شدند.

شاخص‌های ناپایداری

برای تحلیل نقش شرایط اقلیمی بر روی انباشت و زدودن آلودگی هوا نیاز است تا شرایط پایداری یا ناپایداری محیط مورد ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش سه شاخص ناپایداری برای محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. اولین شاخص، شاخص انرژی پتانسیل فرارفتی قابل دسترس^۱ که نشان‌دهنده ناپایداری جو است. این پارامتر معرف بیشینه انرژی در دسترس برای صعود بسته هوا و رطوبت می باشد. به طور کلی مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده وجود ناپایداری است و هر چه مقدار آن زیادتر باشد اختلاف دمای بسته هوا با دمایی محیط بیشتر شده و در نتیجه نیروی شناور آن قوی‌تر و شتاب بالا رو نیز بیشتر خواهد بود. معمولاً میزان این شاخص در توفان‌های حارهای بالاتر از ۲۵۰۰ است اما در محدوده جغرافیایی تهران به ندرت به میزان ۲۰۰ رسیده است.

شاخص شوالتر^۲ برای بررسی شرایط ناپایداری جو در تراز ۸۵۰ میلی بار به کار می‌رود. در این شاخص ابتدا دمای محیط و دمای نقطه شبنم را در تراز ۸۵۰ بدست آورده و صعود بسته هوا را از محل تلاقی این دو نقطه که به LCL^۳ معروف است و برای بدست آوردن ارتفاع پایه ابر مفید است را تا تراز ۵۰۰ میلی بار دنبال می‌کنیم. اعداد منفی نشان‌دهنده ناپایداری شدیدتر است.

شاخص K^۴ از مجموع صعود عمودی بسته هوا و رطوبت موجود در تروپوسفر پایینی استفاده می‌کند. مجموع صعود در واقع دمای بسته هوا در ترازهای ۸۵۰ تا ۵۰۰ میلی بار است و برای رطوبت نیز تفاوت دمای نقطه شبنم در ترازهای ۸۵۰ تا ۷۰۰ میلی بار مورد توجه قرار می‌گیرد. اعداد مثبت بالاتر از ۲۵ نشان‌دهنده ناپایداری هواست. رابطه ریاضی بدست آوردن این شاخص به قرار زیر است.

$$KI = (T850 - T500) + (Td850 - Tdd700)$$

قلمرو جغرافیایی پژوهش

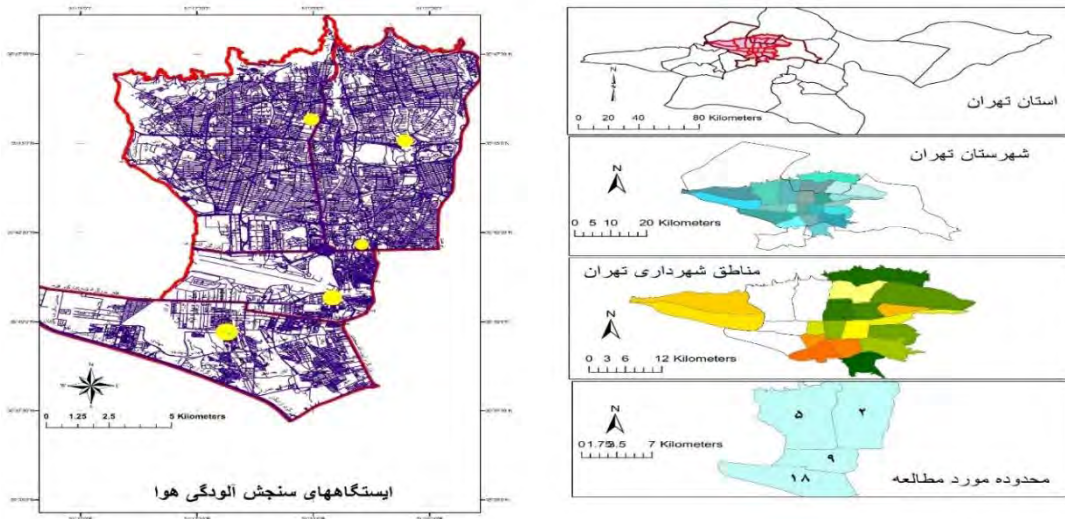
چهار منطقه شهرداری ۲، ۵، ۹، ۱۸ که محدوده غرب یا نیمه غربی تهران را در بر می‌گیرند در این پژوهش مورد مطالعه قرار می‌گیرند. جدول ۱ ویژگی‌های جغرافیایی این چهار منطقه را معرفی کرده است. در شکل ۱ نیز نقشه محدوده مورد مطالعه و موقعیت آن در تهران را به نمایش گذاشته است. بر اساس داده‌های جدول ۱، دو منطقه ۲ و ۵ هم از نظر مساحت و هم از نظر جمعیت از دو منطقه دیگر بزرگ‌تر هستند.

^۱ cape

^۲ Showalter index

^۳ Level of convection layer

^۴ K-index



شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه (سمت راست) و موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری آلودگی هوا (سمت چپ)

جدول ۱

ویژگی‌های طبیعی و انسانی مناطق مورد مطالعه

منطقه	مساحت (هکتار)	جمعیت	نرخ رشد	تراکم در هکتار	تعداد ناحیه	مساحت فضای سبز (هکتار)	تعداد محله
۲	۴۷۰۱	۷۵۰۲۵۰	۲/۱	۱۵۹	۹	۱۴۷۰	۲۱
۵	۵۳۰۱	۹۳۵۷۵۰	۱/۶	۱۷۶	۷	۱۲۴۵	۲۹
۹	۱۹۷۵	۲۰۹۵۰۰	۱/۹	۱۰۶	۲	۲۷۸۰	۹
۱۸	۳۷۸۷	۴۵۵۶۰۰	۱/۴	۱۲۰	۷	۶۶۵۱	۱۸

یافته‌ها و بحث

یافته‌های استنباطی

ابتدا در قالب سه جدول ۲ تا ۴ ایستگاه‌های اندازه‌گیری آلودگی شهر تهران که در محدوده منطقه مورد مطالعه قرار دارند به نمایش گذاشته شدند. از میان این ایستگاه‌ها ۵ مورد دقیقاً در داخل محدوده قرار گرفته‌اند و سه مورد آخر در حاشیه محدوده قرار دارند. جدول سه میانگین انتشار آلاینده‌ها در طول سال مورد مطالعه ارائه شده است و در جدول ۴ فراوانی شاخص آلاینده‌ها به نمایش گذاشته شده است.

جدول ۲

ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و موقعیت آنها در شهر بر اساس دوری و نزدیکی به مناطق مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	آزادی	۱۲۰۰	۳۵-۴۲	۵۱-۲۰
۲	پونک	۱۵۲۰	۳۵-۴۹	۵۱-۲۹
۳	دانشگاه شریف	۱۱۵۰	۳۵-۳۹	۵۱-۲۴
۴	شادآباد	۱۲۰۰	۳۵-۴۳	۵۱-۲۵

۵۱-۲۶	۳۵-۴۷	۱۵۰۰	صنعت	۵
۵۱-۲۳	۳۵-۴۴	۱۳۶۰	ژئوفیزیک	۶
۵۱-۲۴	۳۵-۴۵	۱۳۲۰	فاطمی	۷
۵۱-۲۲	۳۵-۳۸	۱۰۵۲	بازار	۸

جدول ۳

میانگین سالانه آلاینده‌ها مناطق چهارگانه تهران سال ۱۳۹۹

ایستگاه	O ₃ ppb	CO ppm	NO ₂ ppb	PM _{2.5} Ug/m ³	PM _{10.5} Ug/m ³
منطقه ۲	۲۱	۳	۵۴	۳۳	۷۱
منطقه ۵	۲۰	۲	۳۸	۲۵	۶۳
منطقه ۹	۲۱	۲	۵۸	۴۴	۹۶
منطقه ۱۸	۲۴	۳	۵۲	۴۳	۱۰۳

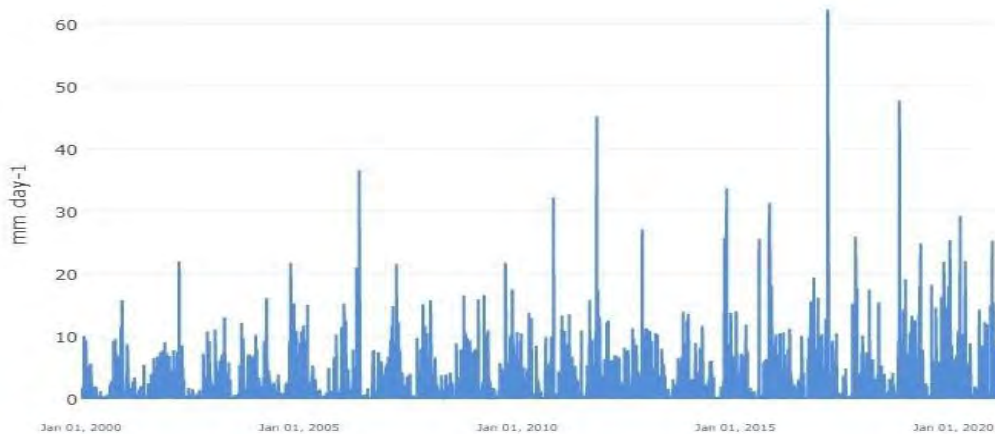
جدول ۴

فراوانی شاخص‌های کیفیت هوا در طول زمان مطالعه (تمام سال ۱۳۹۹) در ۴ منطقه مورد مطالعه

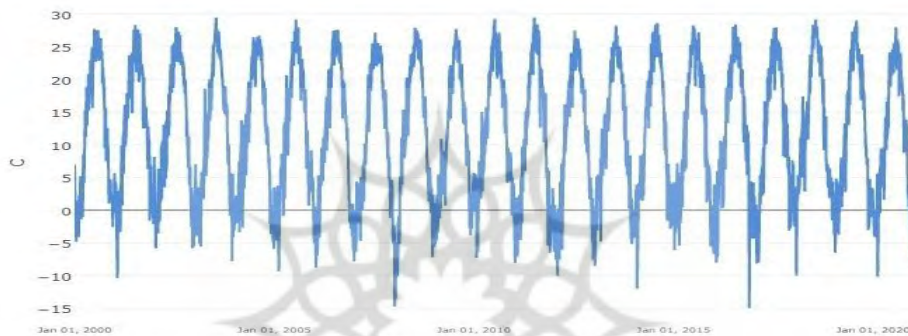
ایستگاه	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم
پونک ۵	۲۵	۲۲۳	۸۳	۱۰	
شادآباد ۱۸	۵	۱۶۷	۱۰۰	۴۱	
شریف ۲	۴	۱۸۸	۱۰۱	۴۷	۲
شهرداری منطقه ۲	۱۳	۲۱۶	۷۰	۴۰	
میدان فتح ۹	۲۰	۲۱۰	۱۰۵	۶	۳



شکل ۲. فراوانی وقوع سرعت باد دوره ۲۰ ساله ۲۰۰۰-۲۰۲۰



شکل ۳. فراوانی وقوع حداکثر بارش ۲۴ ساعته دوره ۲۰ ساله ۲۰۰۰-۲۰۲۰



شکل ۴. فراوانی وقوع میانگین دمای روزانه دوره ۲۰ ساله ۲۰۰۰-۲۰۲۰

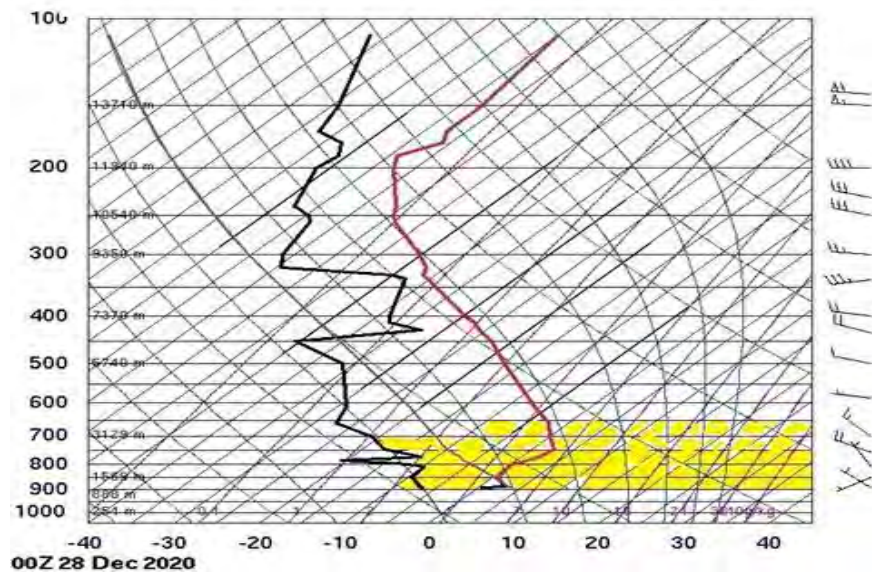
بر اساس شکل ۲ بیشترین فراوانی سرعت باد در محدوده ۲ تا ۵ متر بر ثانیه رخ داده است. بادهای شدید یا توفان به ندرت در طول دوره آماری رخ داده است. به عبارت دیگر بیشترین سرعت رخ داده در تهران ۱۴ متر بر ثانیه بوده است. از لحاظ فراوانی وقوع بارش ۲۴ ساعته، بیشترین فراوانی در محدوده ۲ تا ۳ میلیمتر در روز رخ داده است. شدیدترین بارش رخ داده، ۶۲ میلیمتر بوده است. در مورد دما نیز نوسان روزانه از ۵- تا ۲۸ را در بر می گیرد.

یافته‌های تحلیلی

سناریوی اول: روز آلوده، ناسالم

بر اساس شاخص آلاینده‌گی^۵ میزان بالای ۱۰۰ در طول شبانه‌روز به عنوان روز آلوده و ناسالم در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش همه روزهای آلوده سال ۱۳۹۹ از اول فروردین تا ۱۵ اسفند استخراج شد. در این پژوهش نمونه یک روز از کل سال آورده شده است اما در جدول ۵ بصورت کامل ارائه شده است. نمودار اسکیتوی برای روز ۲۸ دسامبر و نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین برای همان روز ارائه شده است. در نمودار اسکیتوی لایه وارونگی دما، نوع آن، ارتفاع وارونگی و سرعت باد و همینطور جهت آن و شدت پایداری هوا مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

^۵ AQI



شکل ۵. نمودار اسکویته برای روز ۲۸ دسامبر ۲۰۲۰، روز ناسالم از لحاظ شدت آلودگی

تحلیل وارونگی

وارونگی تشکیل شده در تهران از نوع دینامیک و فرونشینی می‌باشد. محدوده لایه تشکیل شده از تراز ۹۰۰ شروع شده و تا ارتفاع ۶۵۰ هکتوپاسکال ادامه می‌یابد. اندازه ارتفاع آن ۲۳۶۰ متر است. بررسی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد که در روزهایی با آلودگی زیاد با وارونگی دینامیک یا فرونشینی ارتباط معنی‌داری دارد. رنگ زرد در نمودار اسکویته بالا ارتفاع لایه وارونگی را به نمایش گذاشته است.

تحلیل شرایط پایداری

برای تحلیل شرایط پایداری شاخص‌هایی چون Cape ، Showalter، K index و CIN استخراج شدند. برای نمونه ارائه شده در این پژوهش شاخص‌های بدست آمده عبارتند از:

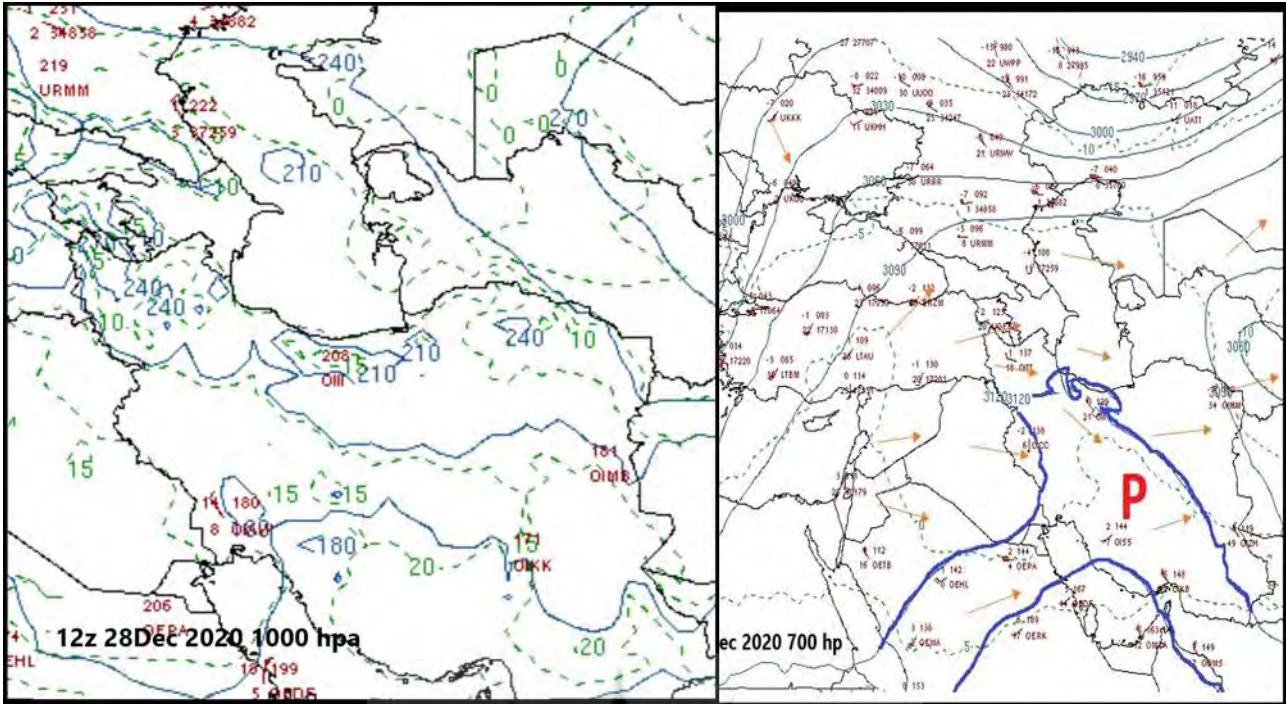
$\text{Cape}: 0$ ، $\text{Showalter}: 16.38$ ، $\text{K index}: -12.5$ ، $\text{CIN}: 0$

مقدار به‌دست آمده در هر یک از شاخص‌ها نشان می‌دهد که شرایط پایداری مطلق هوا برقرار است. فاصله دمای سطح زمین و نقطه شبنم بسیار بالاست که حاکی از فقر رطوبت در هواست. سرعت باد بسیار پایین است و یا در ساعاتی طولانی از روز هوا آرام و بادی وجود ندارد. در جدول زیر میزان هر یک از پارامترهای اقلیمی برای سناریوی اول ارائه شده است.

جدول ۵

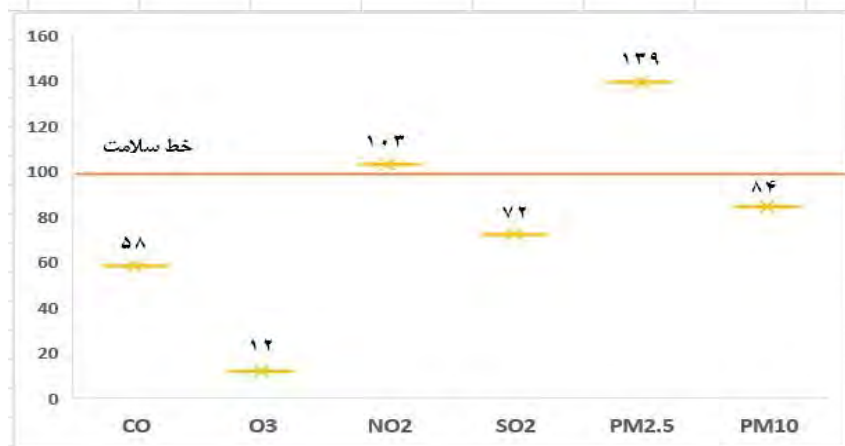
اطلاعات عناصر اقلیمی مربوط به روز ناسالم سناریو اول

ایستگاه	دمای سطح زمین	نقطه شبنم	رطوبت نسبی درصد	سرعت باد گره	جهت باد درجه	بارندگی میلی‌متر
مهرآباد	۱۴/۸ - ۳/۲	-۲ تا -۱۴	۲۵	۰ تا ۳	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر
ژئوفیزیک	۱۵/۲ - ۳/۶	-۳ تا -۱۶	۲۶	۰ تا ۳	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر
چیتگر	۱۳/۸ - ۳/۲	-۳ تا -۱۴	۲۴	۰ تا ۴	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر



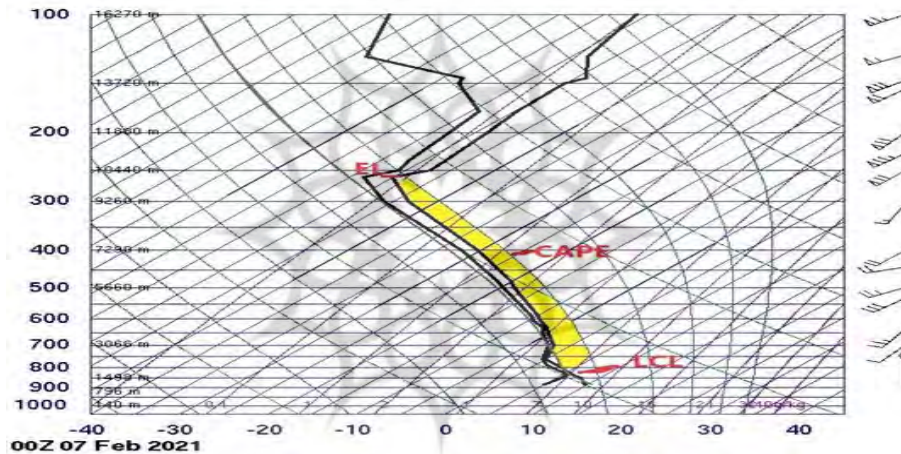
شکل ۶. نقشه تراز سطح زمین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای ۲۸ دسامبر ۲۰۲۰ بر اساس سناریو اول

براساس جدول ۵ شرایط سکون و آرامش جوی در مناطق مطالعه برقرار است. در بیشتر ساعات باد آرام است و رطوبت نسبی نیز بسیار پایین است. به دلیل عدم وقوع ناپایداری هیچگونه ابری تشکیل نشده و در نتیجه بارانی رخ نمی‌دهد. نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که همه کشور زیر سیطره سامانه پرفشار قرار دارد. مرکزیت این پرفشار با ۱۰۱۴/۸ هکتوپاسکال روی ایران قرار دارد. به دلیل دینامیک و نزول هوا روی کشور، هرگونه جابجایی هوا غیرممکن شده و در نتیجه پراکندگی دما در کشور مشاهده نمی‌شود به طوری که خط همدمای صفر درجه همه کشور را دربر گرفته است. از سوی دیگر به دلیل سرمای هوا در سطح زمین، نقشه سطح زمین سمت چپ، انقباض بسته هوا صورت گرفته و به عبارت دیگر بسته هوا روی سطح زمین خیمه می‌زند و آرام می‌ماند. خط همدمای ۱۰ درجه بخش بزرگی از کشور را دربر گرفته است. به دلیل فقدان رطوبت فاصله دمای محیط و نقطه شبنم بسیار بالاست. در نقشه سمت راست (تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) میدان باد نیز ترسیم شده است. به دلیل سرد بودن دما در سطح زمین و فقدان وزش باد شدید در تراز بالای جو امکان جابجایی هوا در سطح از بین می‌رود و در نتیجه نوسان دمایی نیز به شدت کاهش می‌یابد. این مسئله در انباشت آلاینده‌ها به شدت مؤثر است. شکل میزان و شدت انباشت آلاینده‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه در ۵ ایستگاه را به نمایش گذاشته است. میزان ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و دی اکسید گوگرد و نیتروژن بسیار بالاست. نکته قابل توجه در این پژوهش این است که دلیل وقوع بیماری کرونا بسیاری از مشاغل تعطیل و از رفت و آمد شبانه نیز جلوگیری بعمل آمد.



شکل ۷. میزان انتشار آلاینده‌ها برای سناریو اول

سناریو دوم: روز ناپایدار جوی اما ناسالم آلودگی (تحلیل نقش بارش)

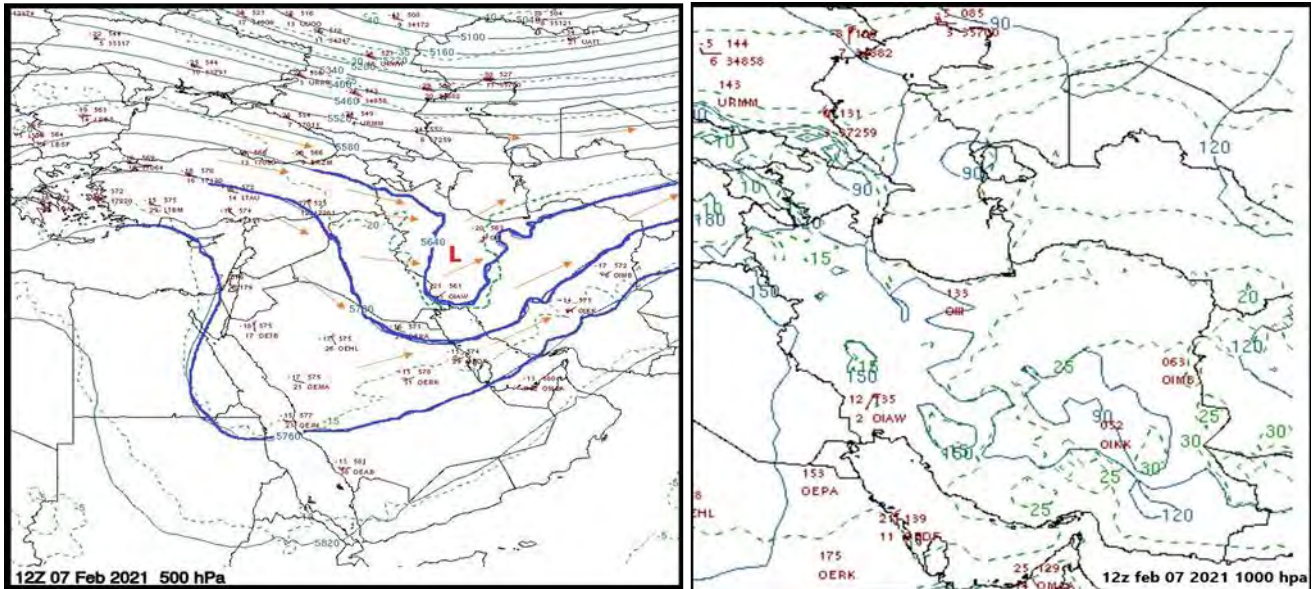


شکل ۸. نمودار اسکیتوتی برای سناریو دوم، جو ناپایدار شاخص آلودگی ناسالم

در سناریوی دوم شرایط جوی ناپایدار و روز توأم با بارندگی در نظر گرفته شده است. بر مبنای نمودار اسکیتوتی ارتفاع پایه ابر ۸۵۰ متر است. فاصله بسیار اندک دمای محیط با نقطه شبنم حاکی از وجود رطوبت کافی در جو است. سرعت باد در سطح زمین حداکثر به ۵ گره یا ۲ متر بر ثانیه می‌رسد. میزان هر یک از شاخص‌ها بر اساس نمودار اسکیتوتی عبارتند از:

Cape: 35.97 Showalter: 0.49 K index: 32:30 CIN: -4.51

در نمودار اسکیتوتی بالا cape به رنگ زرد نشان داده شده است. با توجه به درجه بدست آمده این شاخص در حد مثبت و نه چندان قوی از نظر ناپایداری درجه‌بندی می‌شود. شاخص شوالتر نیز نشان‌دهنده ناپایدار بودن هواست اما ناپایداری شدید نیست. همین مسئله برای شاخص K نیز صادق است. شاخص CIN که هرچه به سمت منفی میل کند به معنی ناپایداری است و در واقع سمت منفی cape است ارائه شده است. برای مطابقت نمودار اسکیتوتی با نقشه هواشناسی، نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ارائه شده است. بر اساس نقشه این تراز هوای سرد از عرض‌های بالا در حال ریزش است و روی ایران جریان کم‌فشار برقرار است. از سوی دیگر با مطابقت دادن نقشه سیاره‌ای برای همین روز ایران در قسمت پیشانی جریان مرطوب مدیترانه‌ای قرار گرفته است.



شکل ۹. نقشه تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر اساس الگوی سناریوی دوم

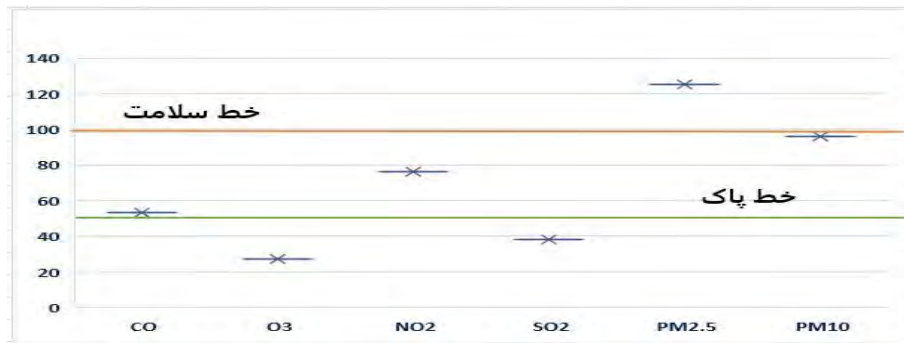
با دنبال کردن خط همدم (رنگ سبزرنگ) نقشه سطح زمین) این خط از خوزستان خارج می‌شود که نشان‌دهنده ورود همزمان سیستم سودانی از جنوب غرب ایران می‌شود. با ترکیب شدن این سه سامانه باعث افت دمای ۱۵ درجه‌ای نسبت به روزهای گذشته در ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه شده و بارندگی قابل توجهی در نیمه غربی کشور داشته است. در جدول زیر مقادیر هریک از عناصر در روز مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۶

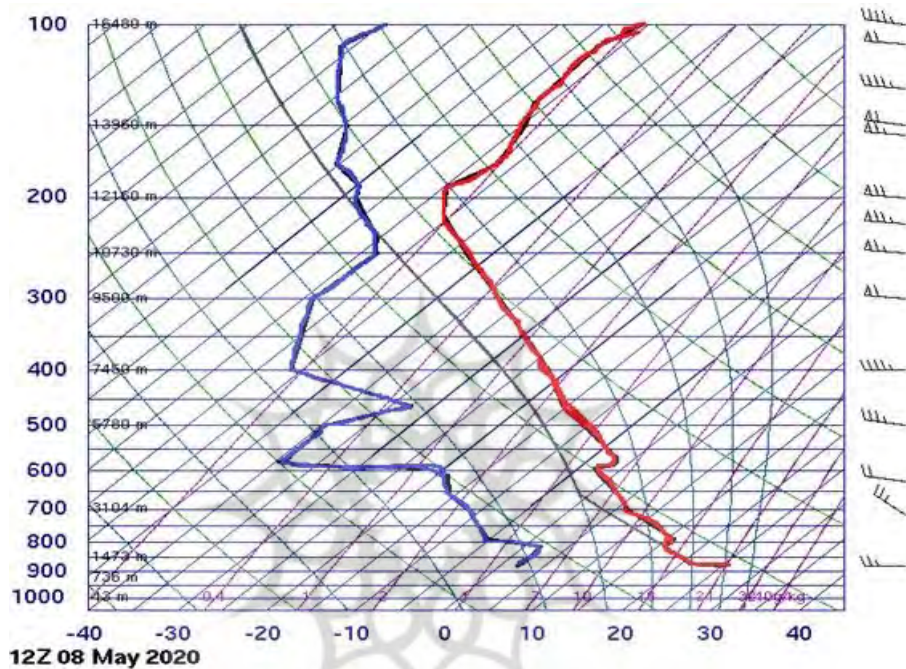
اطلاعات عناصر اقلیمی مربوط به روز ناسالم سناریو اول

ایستگاه	دمای سطح زمین	نقطه شبنم	رطوبت نسبی درصد	سرعت باد گره	جهت باد درجه	بارندگی میلیمتر
مهرآباد	۸/۸ - ۳/۲	۶/۹ - ۱/۷	۸۲	۰ تا ۴	۲۴۰ تا ۳۱۰	۲/۳
ژئوفیزیک	۹/۲ - ۴/۶	۸/۱ - ۳/۲	۸۵	۰ تا ۳	۲۴۰ تا ۳۱۰	۳/۲
چینگر	۷/۸ - ۲/۲	۶/۹ - ۱/۸	۸۷	۰ تا ۴	۲۴۰ تا ۳۱۰	۱/۹

در شکل ۱۰ میزان انتشارات روزانه بر اساس سناریو انتخابی برای ایستگاههای منتخب ارائه شده است. با وجود شرایط ناپایداری در جو و وقوع بارش، هر چند میزان انتشارات آلاینده‌ها خیلی بالا نیستند اما شرایط پاک برقرار نیست. این بدین معنی است که باران نقش چندانی در زدودن آلاینده‌ها از سطح شهر ندارد و برای مؤثر واقع شدن باران باید با شدت بیشتر و زمان طولانی‌تری رخ دهد (Calvo et al. (2010



شکل ۱۰. میزان انتشار آلاینده‌ها برای سناریو دوم



شکل ۱۱. نمودار اسکیتوی بر اساس سناریو سوم روز پاک

سناریو سوم: تحلیل روز پاک

برای سناریو سوم روز پاک در نظر گرفته شده است. و شاخص آلاینده‌گی این روز ۲۳ بوده است. بر اساس نمودار اسکیتوی، فاصله دمای محیط، خط قرمز و دمای نقطه شبنم، خط آبی زیاد است و هیچیک از شاخص‌های ناپایداری، شرایط جو را در حالت نزدیک به ناپایدار نشان نمی‌دهند. میزان هر یک از شاخص‌ها عبارتند از:

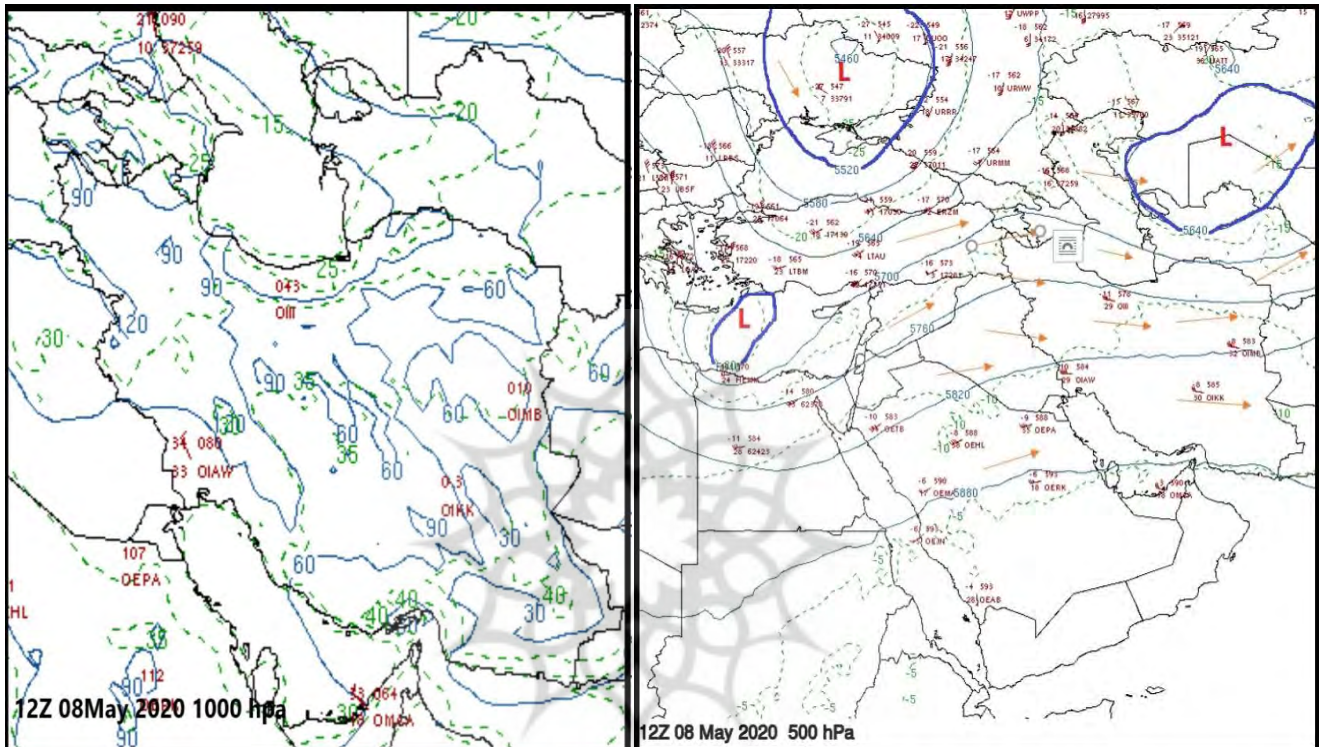
Cape: 0 Showalter index: 5.47 K index: 15.90 Convective
Inhibition: 0.00

مقدار آب قابل بارش در طول زمان اندازه‌گیری تنها ۴/۳۳ میلیمتر بوده است. همه ویژگی‌های یاد شده نشان می‌دهد که نباید شاخص آلاینده‌گی این اندازه پایین باشد. علت این رخداد اما در ویژگی اقلیمی و پارامترهای آن باید باشد. در ادامه نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین ارائه شده است. در ابتدا ویژگی باد مورد بررسی قرار می‌گیرد. سرعت باد در سطح زمین ۲۵ گره (۱۲/۸ متر بر ثانیه یا ۴۶ کیلومتر بر ساعت) است. این سرعت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۳۵ گره افزایش می‌یابد و در سطوح بالاتر از ۵۰ گره نیز بیشتر می‌شود. جهت وزش باد نیز از ۲۶۰ درجه تا ۳۱۰ درجه غربی را دربر می‌گیرد. سرعت زیاد باد در سطح زمین باعث زدودن آلاینده‌ها شده و شرایط منطقه را در حالت پاک قرار می‌دهد. سرعت باد بیشتر از ۶ متر بر ثانیه کاملاً آلاینده‌ها را از محیط می‌زداید. (Kyung Hwan Kim, et al, 2015, Yansui Liu, et al, 2020, Ayansina Ayanlade, et al, 2015)

جدول ۶

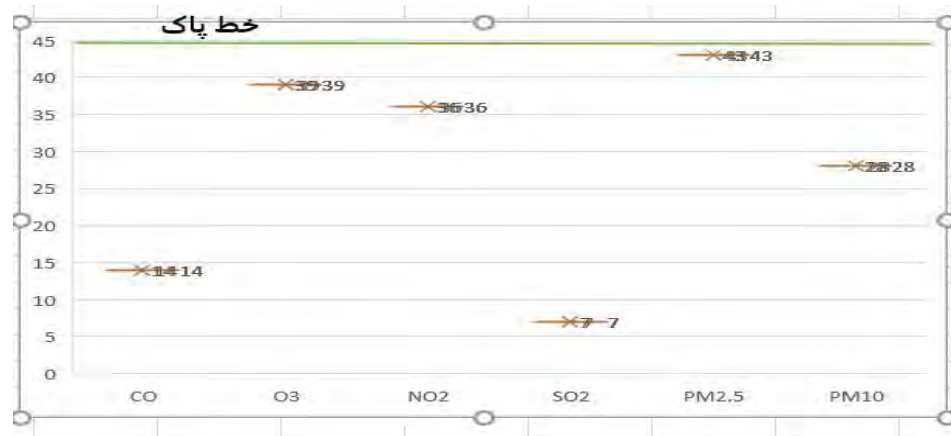
اطلاعات مربوط به سناریو سوم روز پاک

ایستگاه	دمای سطح زمین سلسیوس	نقطه شبنم سلسیوس	رطوبت نسبی درصد	سرعت باد گره	جهت باد درجه	بارندگی میلیمتر
مهرآباد	۱۳/۵	۱۱/۲	۷۸	۰ تا ۲۶	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر
ژئوفیزیک	۱۴/۲	۱۱/۳	۷۵	۰ تا ۲۴	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر
چیتگر	۱۳/۸	۱۰/۸	۷۵	۰ تا ۲۷	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر



شکل ۱۲. نقشه‌های تراز ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال بر اساس الگوی سناریوی سوم

بر اساس نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل سمت راست) سه سامانه کم‌فشار کشور را احاطه کرده‌اند. یک کم‌فشار عمیق روی سودان تشکیل شده که به سامانه سودانی معروف است و از طریق زبانه جنوب غربی وارد کشور می‌شود. یک کم‌فشار روی شزق دریای خزر بسته شده است. یک کم‌فشار دیگر روی دریای سیاه تشکیل شده است که پیشانی این سامانه روی شمال غرب ایران مستقر شده است. خط همدمای ۱۰- درجه ایران را در بر گرفته است. بر روی نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال میدان باد نیز ترسیم شده است که با جهت حرکت سامانه‌ها همخوانی و مطابقت دارد. اما روی نقشه سطح زمین در شکل سمت چپ خط همدمای ۲۵ درجه از تهران عبور می‌کند. دمای نقطه شبنم برای ایستگاه مهرآباد ۲۹- درجه است که حاکی از فقدان رطوبت در هواست. خطوط همفشار ۱۰۰۴ و ۱۰۰۶ هکتوپاسکال در محدوده منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. گرمای هوا در سطح زمین موجب انبساط و صعود هوای محیط شده و سرعت بالای باد در ترازهای میانی و بالایی جو باعث اختلاف دما و فشار در محیط شده و در نتیجه سرعت باد در سطح زمین را افزایش می‌دهد. این مسئله باعث قرار گرفتن محیط در شرایط پاک از لحاظ شاخص آلاینده‌گی می‌شود. شکل ۱۲ میزان انتشار آلاینده‌ها برای سناریو سوم را به نمایش گذاشته است. میزان انتشارات برای همه عناصر در محدوده پاک قرار دارد.



شکل ۱۳. میانگین انتشار روزانه آلاینده‌ها در ۵ ایستگاه محدوده مطالعه در سناریو سوم

نتیجه‌گیری

در این پژوهش آلودگی هوای چهار منطقه ۲،۵،۹،۱۸ شهرداری تهران از لحاظ انتشار آلاینده‌ها و رابطه آنها با شرایط اقلیمی مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که شدت آلودگی در دو منطقه ۹ و ۱۸ به دلیل تمرکز و فشردگی کاربری‌ها و همینطور تراکم بالای جمعیت از دو منطقه دیگر بیشتر است. تعداد روزهای پاک این دو منطقه کمتر و برعکس دارای روزهای بسیار ناسالم نیز هستند این در حالی است که دو منطقه ۲ و ۵ تعداد روز پاک بیشتر و روز بسیار ناسالم ندارند. منطقه ۵ به دلیل گستردگی و دسترسی به فضای سبز وسیع و باز بودن اطراف دارای تعداد روزهای پاک و قابل قبول بیشتری می‌باشد. از سوی دیگر هر چه به مناطق مرکزی و فشرده شهر (منطقه ۱۸) نزدیک می‌شویم به دلیل اصطکاک هوا سرعت باد کاهش یافته و این عامل خود منجر به بالا رفتن تمرکز آلاینده‌ها می‌شود.

از لحاظ اقلیمی باید سه فصل برای تهران تعریف کرد. فصل بهار به دلیل فراوانی توفان‌های رعد و برق و وزش بادهای شدید، بیشترین روزهای پاک سال را به خود اختصاص داده است اگرچه که بارندگی در آن فراوانی کمتری نسبت به پاییز و زمستان داشته باشد. فصل تابستان به دلیل گرمای سطح زمین و انبساط هوا و در نتیجه صعود هوا باعث می‌شود ارتفاع بسته هوا افزایش یابد و در نتیجه وارونگی دمایی از نوع دینامیک رخ نمی‌دهد و اگرچه شرایط هوایی پایدار با بادهای آرام است اما شهر در معرض انباشت آلودگی قرار نمی‌گیرد. به همین دلیل آلودگی هوا در تابستان برای تهران چندان مطرح نیست. اما فصل سوم برای تهران، شش ماهه دوم و سرد سال است که در این پژوهش یک فصل در نظر گرفته شده است. این فصل به دلیل سرمای هوای سطح زمین، هوا امکان صعود پیدا نمی‌کند و در نتیجه انباشت آلاینده‌ها رخ می‌دهد. بیشترین تعداد روزهای ناسالم و بسیار ناسالم و کمترین تعداد روزهای پاک در این دوره زمانی رخ می‌دهد. بررسی نقشه‌های ترازهای بالای جو نشان می‌دهد که استقرار پرفشار در فصل سرد برفراز منطقه مهمترین عامل در انباشت آلودگی بر فراز شهر است. بارندگی به دلیل شدت کم و زمان کوتاه تقریباً تأثیری بر زدودن آلودگی ندارد. بررسی نمودارهای اسکیتوی روزهای پاک نشان می‌دهد وزش باد با سرعت بیشتر از ۱۵ گره در میان متغیرهای اقلیمی بیشترین تأثیر را در زدودن آلودگی دارد. از لحاظ جهت نیز وزش باد در جهت غرب به شرق بسیار مؤثر است. با توجه به ثابت بودن متغیرهای اقلیمی و عدم توانایی در هرگونه تغییر در آن، پیشنهاد نگارنده در تجدید نظر و تغییر در متغیرهای زمینی است.

- پارامتر ازون O3 در شرایط ناپایداری هوا بالا و در شرایط پایداری جو میزان آن کاهش نشان می‌دهد. این پدیده نیازمند بررسی دقیق‌تر با روش‌ها و مدلسازی پیشرفته می‌باشد و پیشنهاد تحقیقات بیشتر در این زمینه مطرح می‌شود.

- استفاده از سوخت‌های دیزل باید در درجه اول محدود شده و در درجه دوم میزان گوگرد موجود در آن به اندازه استاندارد جهانی یعنی کمتر از ۵۰ قسمت در میلیون کاهش یابد.
- بالا بردن سرانه فضای سبز و کاشت درختانی که بیشترین جذب را از ذرات معلق هوا دارند (درختان پهن برگ مثلاً چنار که مناسب اقلیم تهران است) بسیار مفید خواهد بود.
- بروزرسانی فن‌آوری (نسل چهارم) که مصرف انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی را به پایین‌ترین میزان می‌رساند.
- رایزنی و همفکری با شهرهایی که در مهار آلودگی هوا موفق عمل کرده‌اند (لندن، لس‌انجلس و ..)

منابع

- پناهی، علی (۱۳۹۵) بررسی الگوهای همدیدی بر اساس دوره‌های بحرانی آلودگی هوا در وارونگی دمایی شدید شهر تبریز، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، ۴، ۱۳، ۶۲۵-۶۰۷
- جهانبخش اصل، سعید، روشنی، رقیه (۱۳۹۲) بررسی شرایط گوی سینوپتیکی حاکم بر وضعیت وارونگی دمای شهر تبریز، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۸، ۴۸، ۹۶-۸۱
- ذوالفقاری، صحرائی، جلیل، شاقبادی، فریاد، جلیلیان، آذر (۱۳۹۳) تحلیلی بر جنبه‌های سینوپتیکی - دینامیکی آلودگی هوا در کرمانشاه، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۹، ۶۶-۷۵
- رنجبرسعادت آبادی عباس، قصابی زهرا (۱۳۹۰) مطالعه همدیدی الگوهای جوی حاکم بر روی تهران در روزهای با آلودگی بسیار شدید هوا، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران، آرشیو داده‌ها، انتشارات آلاینده‌ها
- سلطانی گردفرامرزی طاهره، مفیدی عباس، گندمکار امیر (۱۳۹۴) بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، ۴، ۹۵-۱۱۲
- شمسی پور علی اکبر، عزیزی قاسم (۱۳۹۶) تحلیل تغییرات قائم آلودگی هوا در مسیر آزادی- تهرانپارس با شبیه‌سازی خردمقیاس اقلیمی، معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۹.
- صادقی، سلیمان، مفیدی، عباس، جهانشیری مهین، دوستان رضا (۱۳۹۳) نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه‌ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰، ۳۵-۱
- طاووسی تقی، حسین‌آبادی نسرین (۱۳۹۶) ارزیابی شاخص‌های وارونگی دمای لایه‌مرزی هوای شهر تهران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۲۵
- کیخسروی قاسم، لشگری حسن (۱۳۹۱) تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوای تهران، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، ۴۹، صص ۲۳۱-۲۵۷
- مظفری غلامعلی، نارنگی فرد مهدی، حقیقت سیده مرضیه (۱۳۹۴) تحلیل رابطه الگوهای همدید با میزان آلاینده ذرات معلق و منواکسید کربن در شهر شیراز، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۴، ۹۵-۱۱۵
- Ana Russo, Ricardo Trigo, Helena Martins, Manuel. Mendes (2014) NO₂, PM₁₀ and O₃ urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal, Atmospheric Environment, pp 768-785
- Ayansina Ayanlade and Ebunoluwa Folasade Oyegbade (2016) Influences of wind speed and direction on atmospheric particle concentrations, Springerplus. 2016; 5(1): 1898.
- Chia-Hua Hsu, Fang-Yi Cheng (2019), Synoptic Weather Patterns and Associated Air Pollution in Taiwan, Aerosol and Air Quality Research, 19: 1139-1151
- Gallero FJ, Vallejo MG, Umbría A, Baena JG. Multivariate statistical analysis of meteorological and air pollution data in the 'Campo de Gibraltar' region, Spain. Environmental monitoring and assessment. 2006 Aug 1;119(1-3):405-23.

- Hsu, C.H. and Cheng, F.Y. (2016). Classification of weather patterns to study the influence of meteorological characteristics on PM_{2.5} concentrations in Yunlin County, Taiwan. *Atmos. Environ.* 144: 397-408.
- Jennifer K. Vanos, Sabit Cakmak, Corben Bristow, Vladislav Brion, Neil Tremblay (2013) Synoptic weather typing applied to air pollution mortality among the elderly in 10 Canadian cities *Environmental Research*, N126, pp 66 -75
- Kyung Hwan Kim, Seung-BokLee, Daekwang, Woo Gwi-Nam (2015) Influence of wind direction and speed on the transport of particle-bound PAHs in a roadway environment, *Atmospheric - Pollution Research* Volume 6, Issue 6, November 2015, Pages 1024-1034
- Rainham, D.G.C., Smoyer-Tomic, K.E., Sheridan, S.C. and Burnett, R.T. (2005). Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality. *Int. J. Environ. Health Res.* 15:347-360.
- S.L. Fiddes , A.B. Pezza, T.A. Mitchell, K. Kozyniak, D. Mills f (2016), *Atmospheric Pollution Research* 1082-1089
- Sunday Oji, Haruna Adamu (2020) Correlation between air pollutants concentration and meteorological factors on seasonal air quality variation, *Journal of Air Pollution and Health* (Winter 2020); 5(1): 11-32
- Zeng, S., Zhang, Y. (2017), The Effect of Meteorological Elements on Continuing Heavy Air Pollution, A Case Study in the Chengdu Area during the 2014 Spring Festival, *Atmosphere*, No. 8, 4, pp. 85-94.

References

- Ana Russo, Ricardo Trigo, Helena Martins, Manuel. Mendes (2014) NO₂, PM₁₀ and O₃ urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal, *Atmospheric Environment*, pp 768-785
- Ayansina Ayanlade and Ebunoluwa Folasade Oyegbade (2016) Influences of wind speed and direction on atmospheric particle concentrations, *Springerplus*. 2016; 5(1): 1898.
- Chia-Hua Hsu, Fang-Yi Cheng (2019), Synoptic Weather Patterns and Associated Air Pollution in Taiwan, *Aerosol and Air Quality Research*, 19: 1139-1151
- Gallero FJ, Vallejo MG, Umbría A, Baena JG. Multivariate statistical analysis of meteorological and air pollution data in the 'Campo de Gibraltar' region, Spain. *Environmental monitoring and assessment*. 2006 Aug 1;119(1-3):405-23.
- Hsu, C.H. and Cheng, F.Y. (2016). Classification of weather patterns to study the influence of meteorological characteristics on PM_{2.5} concentrations in Yunlin County, Taiwan. *Atmos. Environ.* 144: 397-408.
- Jahanbakhsh Asl, Saeed, Roshni, Roghieh (2019) Investigating the conditions of the synoptic pattern governing the temperature inversion of Tabriz city, *Geography and Planning Journal*, year 18, number 48, pp. 81-96 (in Persian)
- Jennifer K. Vanos, Sabit Cakmak, Corben Bristow, Vladislav Brion, Neil Tremblay (2013) Synoptic weather typing applied to air pollution mortality among the elderly in 10 Canadian cities *Environmental Research*, N126, pp 66 -75
- Keikhosravi Qasim, Lashgari Hassan (2019) Analysis of the relationship between the thickness and height of inversion and the intensity of air pollution in Tehran, *Journal of Geography and Planning*, year 18, number 49, pp. 257-231 (in Persian)
- Kyung Hwan Kim, Seung-BokLee, Daekwang, Woo Gwi-Nam (2015) Influence of wind direction and speed on the transport of particle-bound PAHs in a roadway environment, *Atmospheric - Pollution Research* Volume 6, Issue 6, November 2015, Pages 1024-1034
- Mozafari Gholamali, Narangi Fard Mehdi, Haqit Seyedah Marzieh (2014) Analysis of the relationship between sighting patterns and the amount of suspended particulate matter and carbon monoxide pollutants in Shiraz city, *Geography and Environmental Hazards*, No. 14, Summer 2014, pp. 95-115 (in Persian)
- Panahi, Ali (2015) Investigation of synoptic patterns based on critical periods of air pollution in extreme temperature inversion of Tabriz city, *Natural Geography Research*, Volume 48, Number 4, Winter 13, pp. 625-607 (in Persian)
- Rainham, D.G.C., Smoyer-Tomic, K.E., Sheridan, S.C. and Burnett, R.T. (2005). Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality. *Int. J. Environ. Health Res.* 15:347-360.

- Ranjbarsaadabadi Abbas, Qasabi Zahra (2019) Synopsis study of prevailing atmospheric patterns over Tehran on days with very severe air pollution, *Journal of Climatology Research* | Second year Number five and six spring and summer 2013) two quarterly magazines) (in Persian)
- S.L. Fiddes , A.B. Pezza, T.A. Mitchell, K. Kozyniak, D. Mills f (2016), *Atmospheric Pollution Research* 1082-1089
- Sadeghi, Suleiman, Mofidi, Abbas, Jahanshiri Mohin, Dostan Reza (2013) The role of regional scale atmospheric circulation patterns on the occurrence of highly polluted days in Mashhad city, *Geography and Environmental Hazards*, No. 10, Summer 2013, pp. 1-35 (in Persian)
- Shamsipour Ali Akbar, Azizi Qasim (2016) Analysis of vertical changes of air pollution along Azadi-Tehranpars road with micro-scale climate simulation, *Armanshahr Architecture and Urbanization*, No. 19, Summer 2016 (in Persian)
- Soltani Gardframarzi Tahereh, Mofidi Abbas, Gandhamkar Amir (2014) Collaborative survey of highly polluted days in Mashhad, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, second year, number 4, winter 2014, pp. 112-95 (in Persian)
- Sunday Oji, Haruna Adamu (2020) Correlation between air pollutants concentration and meteorological factors on seasonal air quality variation, *Journal of Air Pollution and Health* (Winter 2020); 5(1): 11-32
- Tavossi Taghi, Hossein Abadi Nasrin (2016) Evaluation of temperature inversion indices of the air boundary layer of Tehran city, *Geographical Research Quarterly*, 32nd year, 2nd issue, summer 2016, serial number 125 (in Persian)
- Zeng, S., Zhang, Y. (2017), The Effect of Meteorological Elements on Continuing Heavy Air Pollution, A Case Study in the Chengdu Area during the 2014 Spring Festival, *Atmosphere*, No. 8, 4, pp. 85-94.
- Zulfiqari, Sahrai, Jalil, Shaqbadi, Faryad, Jalilian, Azar (2013) Analysis of synoptic forecasters - air pollution dynamics in Kermanshah, *Geography and Environmental Hazards*, 9th issue, spring 2013, pp. 75-96 (in Persian)

How to Cite:

Afshariazad, A., Ramezani, B., Bigdeli, A., & Afshariazad, M. (2022). Synoptical analysis of air pollution in 2, 5, 9 and 18 municipal zones of Tehran. *Geographical Engineering of Territory*, 6(2), 345-361.

ارجاع به این مقاله:

افشاری آزاد، علی، رضائی، بهمن، بیگدلی، اتوسا و افشاری آزاد، محمدرضا. (۱۴۰۱). تحلیل سینوپتیکی آلودگی هوای مناطق ۲، ۵، ۹ و ۱۸ شهرداری تهران. *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۶(۲)، ۳۴۵-۳۶۱.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی