



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>  
Geography and Environmental Planning  
E-ISSN: 2252- 0910  
Document Type: Research Paper  
Vol. 33, Issue 1, No.85, Spring 2022, pp.  
Received:23/6/2020 Accepted:19/01/2022

## **Analysis of the Arrangement of Geographical Conditions with the Aim of Reducing Air Pollution: A Case Study of Tehran**

**Faezeh Afarideh<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Ramesht<sup>2\*</sup>, Graham Mortyn<sup>3</sup>**

1- PhD student in Geomorphological disasters, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

faezehafarideh@yahoo.com

2- Professor, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

m.h.ramesht@geo.ui.ac.ir

3- Professor, ICTA and Department of Geography, University of Autonomia, Barcelona, Spain

graham.mortyn@uab.cat

### **Abstract:**

According to the statistics of the Organization of the Environment, a total of 48 days of air pollution exceeds the admissible threshold (AQI more than 150) for the three months of the year. These days coincide with the time when Tehran's inversion reaches its maximum stability. The purpose of the present study was first to determine the height of air pollution in Tehran on the days when pollution exceeds the permissible limit. It also aims to study the pressure and temperature masses of such days, considering the geographical and topographic conditions, and finally to identify the best of these cells for theoretically possible air turbulence. The results of this study, based on Tehran temperature and pressure data over a 15-year period (2003-2017), show that the highest elevation of Tehran inversion does not exceed 1800 meters on polluted days. Only within 6 days of whole days beyond the admissible threshold, temperature and pressure cells with the highest Newtonian mass are formed. The center of such cells shows a pressure difference of 32 milligrams in November, 7 milligrams in January, 100 milligrams in December, as well as a temperature difference of 1.1 degrees in November, 4.4 degrees in January, and 1.9 degrees in December. Based on the results and topographic conditions as well as the cell adaptation to such conditions, it seems that theoretically, it is possible to artificially create air turbulence in Tehran to mitigate the contamination amount.

**Keywords:** Inversion, Air Pollution, Thermal Cells, Pressure Cells, Tehran.

\*Corresponding Author

Afarideh, F., Ramesht, M., Mortyn, P. (2022). Analysis of the arrangement of geographical conditions with the aim of reducing air pollution (Case study: Tehran). *Geography and Environmental Planning*, 33 (1), 1 -4.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://dx.doi.org/10.22108/gep.2022.124054.1328>



[20.1001.1.20085362.1401.33.1.3.1](https://doi.org/10.22108/gep.2022.124054.1328)

## Introduction

Tehran is one of the largest and the most crowded cities that suffers from air pollution. On some days of the year, the amount of contaminating and pollution elements increases so much that breathing is very difficult for inhabitants. The Air Quality Index (AQI) varies over the course of a year in Tehran. During autumn and winter, Tehran becomes more polluted. Atmospheric temperature inversion worsens air pollution during that period. The two factors of climate and topography are affecting air pollution in Tehran. These two factors are emphasized in this research to look for a way to eliminate or at least decrease the pollution of Tehran's air. This research focuses on vertical and horizontal exchanges via atmospheric mixing by defining the good conditions for instability during the inversion periods in Tehran. If there are suitable mixing conditions (identified with cells of pressure and/or temperature), we could define the best status for instability. There is a need to know the differences between temperature and pressure that give rise to air turbulence.

## Methodology

Firstly, the pressure and temperature maps were drawn at different levels of the atmosphere. Further, based on these maps, the levels that had the most number cells of pressure and temperature with the most gradient were selected. This revealed the degree of differences in temperature and pressure that cells should have to create instability. We used the synoptic stations and the air pollution testing stations as well as Google Earth, Arc GIS, Surfer, and Voxler software

## Discussion

In the first step, we find the days when the AQI (Air Quality Index) was greater than 150 as dangerous days of pollution from 2003 until 2017. In order to calculate the average inversion level, Radiosonde data were used. The height of the inversion phenomenon in Tehran is not the same in the target months (January, November, and December). The highest inversion height in the target months is 1800 m and the lowest is 1300 m. Exceedance of the AQI index or the pollution crisis threshold does not cover all areas of Tehran in the target months. That is, while some districts of Tehran experience higher pollution than the thresholds, others do not. During December, the expanse of pollution in Tehran is wider than other target months.

Next, based on the determined inversion levels, the zoning maps of pressure and temperature on critical days of pollution were drawn in the target months. From among them, maps containing temperature and pressure cells were selected, then a matrix was prepared for all cells in the selected maps and their Newtonian mass was calculated. This matrix represents the cells that have the gradient because the two factors of cell difference and distances play a major role in their triggering. Finally, for each month, two temperature and pressure cells with the highest Newtonian mass were selected.

In order to investigate the effect of topographic terrains on temperature and pressure cells, and to further understand the location of these cells, the temperature and pressure cells were overlain on the topography of the area. For this purpose, a 3D map of the area's heights was plotted, and the synoptic stations, pressure, and temperature cells overlapped for analysis and investigation.

## Conclusion

The following results were obtained by drawing and examining the pressure and temperature maps:

1) There are two cells in the November temperature map at Imam Khomeini Airport Station and Mehrabad Station. Imam Khomeini's cell is located at an altitude of 990.2 meters near the low elevation range of southern Shahriar. Mehrabad cell is located at an elevation of 1190 meters and in the easterly part of the southern Alborz Mountains.

2) The temperature maps of January with two cells of geophysics and Shemiran are 1423.8 m and 1548.2 meters, respectively. The two formed cells are located in the recesses of the southern slope of

the Alborz Mountains, and it may be noted that the confinement of cell formation zones may influence the formation of these temperature cells.

3) The December temperature map contains two cells of geophysics and Shemiran, which are located at altitudes of 1423.8 and 1548.2, respectively. These two cells are also located in the indentation of the southern slope of the Alborz Mountains.

4) On the map of November pressure difference, two cells of Chitgar at 1305.2 height and Imam Khomeini airport cell at 990.2 height are located. The Chitgar Cell lies on the southern slope of Alborz, where the heights have advanced, and the Imam Khomeini Airport cell is near the low-lying slopes south of Shahriar. The formation of these pressure cells at the sites mentioned may be affected by the air currents in the area. These currents, due to the advance of the southern slopes of the eastern highlands, divert the surface winds of these currents to the southern plains and increase the relative wind velocity at these points.

5) The January pressure difference map shows two cells of Mehrabad with a height of 1190.2 and Chitgar with a height of 1305.2 meters. The two cells are located on the eaves of the southern Alborz Mountains.

6) December pressure maps showed two cells of geophysics and Mehrabad. These two cells were located at 1423.8 and 1190.2, respectively. These two cells are located on the northern elevation of Tehran. In fact, this part of the southern slope of Alborz is indented, and this retreat can be effective in winds and existing cells.

According to the obtained results, among all days that the AQI passes the threshold, only in 6 days, temperature and pressure closed cells with the highest Newtonian mass are formed. The center of these cells shows a pressure difference of 32 milligrams in November, 7 milligrams in January, 100 milligrams in December, and the temperature difference of 1.1 degrees in November, 4.4 degrees in January, and 1.9 degrees in December.

Generally, considering the formed cells by the temperature and pressure difference and the gradient between them as well as the difference in height between the cells and their location and pointing out that the local winds cause the difference of temperature and pressure, it seems that, theoretically, it is possible to create artificial air turbulence in Tehran within the study area to control the contamination amount. Knowledge of the conditions in the study area is natural in this study and there is no uniformity pattern for all areas in the subject area. This study was conducted only for a limited period of 15 years (from 2003 to 2017) in the study area of Tehran province and also all analyses were performed on the basis of statistics measured in synoptic stations in this area. It should be emphasized that all reviews and results are based on this range and the data and cannot be generalized.

## References

- Ccoyllo, S. O. R., & Andrade, M. F. (2002). *The influence of meteorological conditions on the behavior of Sapaolo Brazil*. (n.p).
- Dutta, J., Chowdhury, C., Roy, S., Middy, A. I., & Gazi, F. (2017). Towards smart city: Sensing air quality in city based on opportunistic crown-sensing. In *Proceedings of the 18th International Conference on Distributed Computing and Networking*, Hyderabad, India, 5–7.
- Fargkou, M. C. (2009). *Evaluation of urban sustainability through a metabolic perspective*. PhD Thesis, Environmental Sciences, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Fortelli, A., Scafetta, N., & Mazzarella A. (2016). Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM10 air pollution levels: A model application to Naples (Italy). *Journal of Atmospheric Environment*, 143, 218-228.

- Ma, J., Chen, L. L., Guo, Y., Wu, Q., Yang, M., Wu, M. H., & Kannan, K. (2014). Phthalate diester in Airborne PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in a suburban area of Shanghai: Seasonal distribution and risk assessment. *Journal of Science of the Total Environment*, 497, 467-474.
- Mohan, M., & Kandya, A. (2007). An analysis of the annual and seasonal trends of air quality index of Delhi. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 131(1-3), 267-277.
- Molina, M. J., & Molina, L. T. (2004). Megacities and atmospheric pollution. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 54(6), 644-680.
- Nieuwenhuijsen, M. J., Basagan, X., Dadvand, P., Martinez, D., Cirach, M., Beelen, R., & Jacquemin, B. (2014). Air pollution and human fertility rates. *Environmental International*, 70, 9-14.
- Song, X. D., Wang, S., Hao, C., & Qiu, J. S. (2014). Investigation of SO<sub>2</sub> gas adsorption in metal-organic frameworks by molecular simulation. *Journal of Inorganic Chemistry Communications*, 46, 277-281.
- Tian, G., Qiao, Z., & Xu, X. (2014). Characteristics of Particulate matter (PM<sub>10</sub>) and its relationship with meteorological factors during 2001-2012 in Beijing. *Journal of Environmental Pollution*, 192, 266-274.
- Xing, Y., Horner, R. M. W., El-Haram, M. A., & Bebbington, J. (2009). A framework model for assessing sustainability impacts of urban development. *Journal of Accounting Forum*, 33, 209-224.

## تحلیل چیدمان شرایط جغرافیایی با هدف کاهش آلودگی هوا نمونه پژوهش: شهر تهران

فائزه آفریده، دانشجوی دکتری مدیریت محیطی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
faezehafarideh@yahoo.com  
محمدحسین رامشت<sup>\*</sup>، استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
m.h.ramesht@geo.ui.ac.ir  
گراهام مورتین، استاد، دپارتمان جغرافیا و مؤسسه ایکتا، دانشگاه اتوناما بارسلونا  
graham.mortyn@uab.cat

### چکیده

شهر تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای دنیا محسوب می‌شود. براساس آمارهای سازمان محیط‌زیست طی سه ماه از ۱۵ سال مطالعه‌شده، در مجموع ۴۸ روز آلودگی هوا از آستانه مجاز (AQI ۱۵۰) می‌گذرد. این روزها مقارن با زمانی است که وارونگی هوای تهران به بیشترین ماندگاری خود می‌رسد. آنچه باعث می‌شود آلودگی هوا در تهران از آستانه مجاز بگذرد، زمان ماندگاری وارونگی هوا در تهران است. بر این اساس هدف پژوهش حاضر، شناخت چیدمان نگاره‌های اقلیمی در حالت وارونگی و امکان‌سنجی تحریک سلول‌های بسته فشاری یا دمایی به منظور کاهش آلودگی هوای شهر تهران است. برای رسیدن به این هدف، ترازهای دارای سلول‌های بسته دمایی و فشاری بررسی شدند و تراز انتخاب شد که این سلول‌ها در آن بیشترین تفاوت تعدادی را دارند؛ در نهایت با مطالعه شرایط جغرافیایی، توپوگرافی و سلول‌های انتخاب‌شده، شرایط مناسب برای پیدایش آشفستگی هوایی به‌منظور کاهش آلودگی هوا بررسی شد. بدین‌منظور از نرم‌افزارهای Surfer، Arc GIS و Voxler استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش بر مبنای داده‌های فشار و دمای تهران در طول ۱۵ سال آماری (۲۰۰۳-۲۰۱۷) نشان می‌دهد بالاترین حد ارتفاعی اینورژن تهران در روزهای آلوده از ۱۸۰۰ متر نمی‌گذرد. فقط در شش روز از روزهایی که آلودگی از آستانه مجاز تهران می‌گذرد، سلول‌های بسته دمایی و فشاری با بیشترین جاذبه نیوتونی تشکیل می‌شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده و بررسی شرایط توپوگرافی و همچنین تطبیق سلول‌ها با این شرایط به نظر می‌رسد در محدوده مطالعه‌شده از جنبه نظری امکان ایجاد مصنوعی آشفستگی هوا در تهران برای کنترل میزان آلودگی وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** اینورژن، آستانه آلودگی هوا، سلول‌های دمایی، سلول‌های فشاری، تهران

\*نویسنده مسئول

آفریده، فائزه، رامشت، محمدحسین، مورتین، گراهام. (۱۴۰۰). تحلیل چیدمان شرایط جغرافیایی با هدف کاهش آلودگی هوا (مطالعه موردی: شهر تهران). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۳ (۱)، ۱۴۶-۱۳۳.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://dx.doi.org/10.22108/gep.2022.124054.1328>



[20.1001.1.20085362.1401.33.1.3.1](https://doi.org/10.22108/gep.2022.124054.1328)

## مقدمه

شهر سیستمی است در نهایت پیچیدگی که به واسطه شرایط اجتماعی، اقتصادی، محیطی، ارتباطات و فرایندها شکل یافته است (Fargkou, 2009). شهرها به دلیل تراکم جمعیت و فشردگی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، مهم‌ترین مراکز مصرف منابع انرژی و تولیدکننده مواد آلاینده جوی به شمار می‌روند (Xing et al., 2009). با شهرنشینی و صنعتی شدن جهانی، مشکلات مربوط به آلودگی هوا اثر منفی فزاینده‌ای بر سلامت انسان‌ها و محیط‌زیست داشته است (Coylo et al., 2002)؛ به طوری که آلودگی هوا به مسئله‌ای مهم در بهداشت عمومی جهان تبدیل شده است (jing et al., 2014). در این میان آلودگی هوای تهران به یکی از معضلات جدی شهری تبدیل شده است و به‌ویژه در فصل سرد سال باعث بروز بیماری‌های مختلف قلبی عروقی، تنفسی و آلرژیک در شهروندان تهرانی می‌شود.

درباره آلودگی هوا تاکنون مطالعات بسیاری صورت گرفته است. بسیاری از این پژوهش‌ها علل این آلودگی را بررسی کرده و بسیاری نیز به دنبال یافتن راه‌حلی برای برطرف کردن یا کاهش این مشکل بوده‌اند.

لشکری و هدایت (۱۳۸۵) در مقاله‌ای الگوی سینوپتیکی اینورژن‌های شدید شهر تهران را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که در مجموع چهار الگوی سینوپتیکی باعث ایجاد اینورژن‌های شدید در تهران می‌شود.

صفوی و علیجانی (۱۳۸۵) در پژوهشی عوامل جغرافیایی مؤثر در آلودگی هوای تهران را بررسی کرده و به این نتایج دست یافته‌اند که ویژگی‌های طبیعی شهر اثر بسیار زیادی بر آلودگی آن دارد. وارونگی‌های دمایی از ویژگی‌های دوره سرد سال است که به همراه استقرار آنتی سیکلون با هوای پایدار ایجاد می‌شود. در نهایت به منظور سازگاری با این شرایط جغرافیایی، مدیران و برنامه‌ریزان شهر باید از سنگینی صنایع و فعالیت‌های آلاینده بکاهند و با برنامه‌های تشویقی در مردم و متولیان شهر احساس مسئولیت ایجاد کنند.

نجیب‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای با هدف سنجش الگوی پراکنش آلاینده‌ها در شرایط مختلف مطرح می‌کنند که الگوی پراکنش آلاینده‌های جو در محدوده شهر تهران متأثر از عوامل متعددی در بردارنده ویژگی‌های آب‌وهوایی و محیط طبیعی و انسانی آن است.

بازگیر و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای ۶۰ روز آلوده تهران از ۱۵ آبان تا ۱۵ دی‌ماه سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد شاخص ناپایداری جو بیشترین تأثیر را بر تغییرات آلودگی هوا داشته است. دستاورد شایان توجه در این پژوهش، همبستگی غیرمستقیم بین تعداد خودرو و شاخص کیفیت هواست که برخلاف انتظار است.

صدایی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای پایداری زیست‌محیطی شهر اصفهان را با تأکید بر آلودگی هوا ارزیابی کردند. آنها ۵ شاخص آلودگی هوا را طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۰ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که شرایط زیست‌محیطی شهر اصفهان به سمت ناپایداری سوق پیدا می‌کند؛ به گونه‌ای که سال ۱۳۹۰ بیشترین میزان آلودگی را دارد و میزان گاز دی اکسید گوگرد و مونوکسیدکربن بیشترین نقش را در این آلودگی‌ها داشته است.

Coylo and Andrad (2002) در مقاله‌ای ارتباط سامانه‌های هواشناسی را با غلظت آلاینده‌ها ارزیابی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد مقادیر زیاد غلظت آلاینده‌ها در این منطقه متأثر از سامانه‌های پرفشار جنب حاره اطلس شمالی است.

Devasthale et al. (2010) در مقاله‌ای فراوانی و شدت وارونگی‌های دمای سواحل اقیانوس شمالی را با استفاده از نیم‌رخ (AIRS) مطالعه کردند. نتایج مشاهدات، روندی کاهشی را در فراوانی و وارونگی‌ها نشان می‌دهد. همچنین شدت وارونگی‌های فصل تابستان در سال ۲۰۰۷ نسبت به سال‌های ماقبل افزایش چشمگیری داشته که ناشی از افزایش دمای لایه تروپوسفر از ۱/۵ درجه کلوین به ۳ درجه کلوین بوده است.

Buchholz et al. (2010) در مقاله‌ای طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۷ و پایش ۱۵ ایستگاه کیفیت هوا در بلژیک، فرانسه، آلمان و لوکزامبورگ به این نتایج دست یافتند که رژیم‌های گردش سیکلونی نسبت به رژیم‌های آنتی سیکلونی و نصف‌النهاری در افزایش کیفیت هوا مؤثرتر بوده است و روزهای با پدیده بارش نسبت به روزهای با حاکمیت توده هوای خشک در کاهش PM10 و افزایش کیفیت هوا اثرگذارترند.

Fortelli et al. (2016) در مقاله‌ای رابطه بین الگوهای هواشناسی سینوپتیک محلی و سطح آلودگی هوا (PM10) را در کلان‌شهر ناپل ایتالیا بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بحران‌های آلودگی زمانی رخ داده که تنش باد بین ۱ تا ۲ متر بر ثانیه بوده و وارونگی حرارتی بین دو مکان استراتژیک حداقل ۳ درجه سانتی‌گراد/۲۰۰ متر بوده و هفت روز حداقل بارندگی زیادی رخ نداده است.

شهر تهران از لحاظ جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده و از نظر ژئومورفولوژی و توپوگرافی با مساحتی حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع در دامنه جنوبی کوه‌های البرز قرار گرفته است. ارتفاع شهر در جنوب در فرودگاه مهرآباد به ۱۲۰۰ متر و در شمال به ۲۰۰۰ متر می‌رسد. اگرچه شیب عمومی شهر به طرف جنوب است، در داخل شهر هم ناهمواری‌ها بسیار است. ارتفاعات البرز دیواره شمالی و کوه‌های محدوده بی‌بی شهربانو دیواره شرقی شهر را تشکیل می‌دهند، اما نواحی جنوبی و غربی تهران چندان مرتفع نیستند.

تمام مطالعاتی که درباره آلودگی جوئی در تهران به این شکل صورت گرفته، بیشتر جنبه بازشناسی علمی و تمام پژوهش‌هایی که برای رفع این مشکل انجام شده است، بیشتر جنبه مدیریت شهری داشته‌اند؛ مانند تعطیلی روزهای بحرانی، جلوگیری از ورود اتومبیل‌های دودزا، جابه‌جایی کارخانه‌های صنعتی و... . اهمیت و ارزش این پژوهش بیشتر به این دلیل است که به جای اتکا بر مدیریت رفتارهای انسانی و اجتماعی برای کاهش آلودگی هوا، بر مدیریت و تغییر الگوهای جوئی تمرکز دارد؛ به بیان دیگر هدف این پژوهش، استفاده از خصوصیات اقلیمی و توپوگرافی برای ایجاد نوعی آشفته‌گی در هواست؛ به گونه‌ای که بتوان از رسیدن AQI به مرز و آستانه بحران جلوگیری کرد.

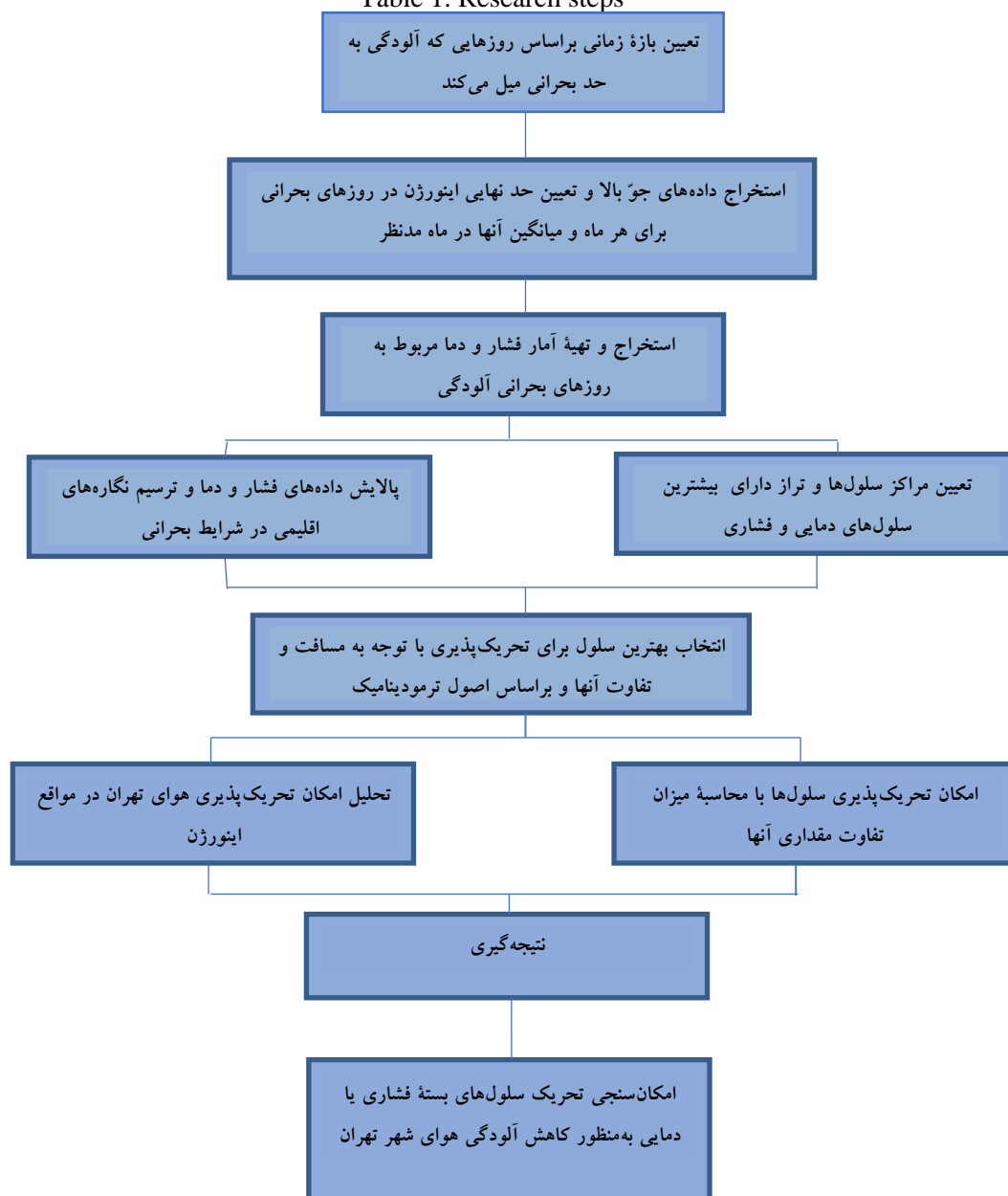
### روش‌شناسی پژوهش

برای دستیابی به هدف پژوهش با استفاده از داده‌های مربوط به آلودگی هوای تهران، روزهایی که میزان میانگین AQI از ۱۵۰ بیشتر است، روزهای بحرانی آلودگی در نظر گرفته و سپس داده‌های مربوط به جو بالا در روزهای مدنظر استخراج شده‌اند. این داده‌ها در استان تهران در فرودگاه مهرآباد برداشت و از وبگاه دانشگاه وایومینگ<sup>۱</sup> اخذ شده و با استفاده از آنها حد نهایی اینورژن در سه ماه مدنظر تعیین شده است؛ سپس با توجه به داده‌های دما و فشار

ایستگاههای سینوپتیک در سطح استان تهران و براساس سطوح اینورژن تعیین شده، نقشه‌های فشاری و دمایی در ترازهای مختلف جو ترسیم شدند (نقشه‌نگار اقلیمی). در ادامه براساس این نقشه‌ها، ترازهای که بیشترین سلول‌های دمایی یا فشاری را از نظر رقمی داشت، مشخص و مراکز هر سلول تعیین شده است. سپس با توجه به میزان مسافت بین سلول‌ها و مقدار تفاوت آنها براساس اصول ترمودینامیک، بهترین سلول‌ها (فشاری یا دمایی) که امکان تحریک آنها وجود دارد، انتخاب شده‌اند و با محاسبه مقداری به میزان تغییر تفاوت‌ها برای تحریک‌پذیری به دو روش نیوتونی  $(f=(M_i \times M_j)/D^2 \times 1000)$  و شاخص تحریک‌پذیری  $(\frac{f}{k} \cdot C.E=)$  اقدام شده است. این ماتریس بیانگر سلول‌هایی است که بیشترین اختلاف (دمایی یا فشاری) و کمترین فاصله را از خود نشان می‌دهند.

#### جدول ۱. مراحل انجام پژوهش

Table 1. Research steps





در نهایت با توجه به بررسی‌های انجام‌شده و شرایط طبیعی موجود، امکان‌سنجی تحریک سلول‌های بسته فشاری یا دمایی به‌منظور کاهش آلودگی هوای شهر تهران انجام شده است.

### یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل آنها

مهم‌ترین عامل اقلیمی مؤثر در آلودگی هوای تهران، وارونگی‌های دمایی است که به دو صورت تابشی و سینوپتیکی ایجاد می‌شوند. وارونگی‌های تابشی بر اثر سرد شدن شدید زمین تشکیل می‌شوند و وارونگی‌های سینوپتیکی عمدتاً بر اثر استقرار سیستم‌های پایدار جوئی پرفشارها و زبانه‌های آنها ایجاد می‌شوند. هر دو پدیده ویژگی اصلی دوره سرد سال هستند؛ از این رو آلودگی هوای تهران در دوره سرد سال شدیدتر است (دلجو، ۱۳۷۸).

به‌منظور ترسیم نقشه‌های فشار و دما در ترازهای مختلف جو و در روزهای بحرانی آلودگی، میانگین سطوح ارتفاعی اینورژن محاسبه‌شده در سه ماه مدنظر نسبت به ایستگاه‌های سینوپتیکی استان تهران محاسبه و ترسیم شدند (شکل ۱).



شکل ۱. نیمرخ میانگین ارتفاع اینورژن در سه ماه مطالعه‌شده

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 1. inversion height diagram for 3 months in the study area

براساس شکل ۱، نتایج حاصل از این بخش از بررسی را می‌توان در گزاره‌های زیر خلاصه کرد:

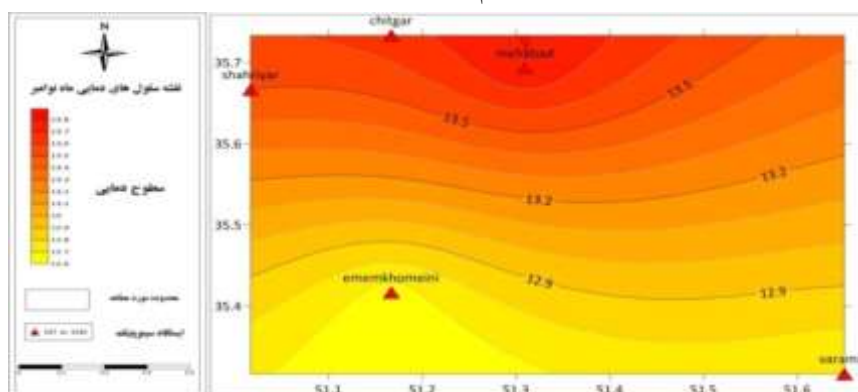
- ارتفاع اینورژن در تهران در ماه‌های هدف (ژانویه، نوامبر و دسامبر) یکسان نیست.
- بالاترین ارتفاع اینورژن در ماه‌های هدف به ماه ژانویه (۱۸۰۰ متر) و پایین‌ترین ارتفاع به ماه نوامبر (۱۳۰۰ متر) مربوط است.

- عبور مقدار AQI از آستانه بحران آلودگی در ماه‌های هدف، همه مناطق تهران را دربرنمی‌گیرد؛ بدین ترتیب در حالی که بخشی از منطقه تهران آلودگی بیش از حد آستانه را تجربه می‌کند، بخش‌های دیگر از این قاعده مستثنی هستند.

- در ماه دسامبر پهنه عبور آستانه وقوع آلودگی در تهران گسترده‌تر از ماه‌های دیگر هدف است.

در ادامه و پس از ترسیم نقشه‌های دمایی و فشاری براساس سطوح اینورژن، ترازهای که بیشترین سلول‌های دمایی یا فشاری را از نظر رقومی دارد، مشخص و مراکز هر سلول تعیین شده است؛ سپس برای تمامی سلول‌ها در نقشه‌های انتخاب‌شده، ماتریسی تهیه و میزان جاذبه نیوتونی آنها محاسبه شد. محاسبه جاذبه نیوتونی به‌منظور شناخت بهترین

سلول‌هایی است که بهترین شرایط را برای حرکت و جابه‌جایی به سمت یکدیگر دارند. در نهایت برای هر ماه دو سلول دمایی و فشاری که بیشترین جاذبه نیوتونی را داشتند، انتخاب شدند و نقشه‌های سلول‌های دمایی و فشاری دارای بیشترین جاذبه نیوتونی در هر سه ماه مدنظر ترسیم شد.

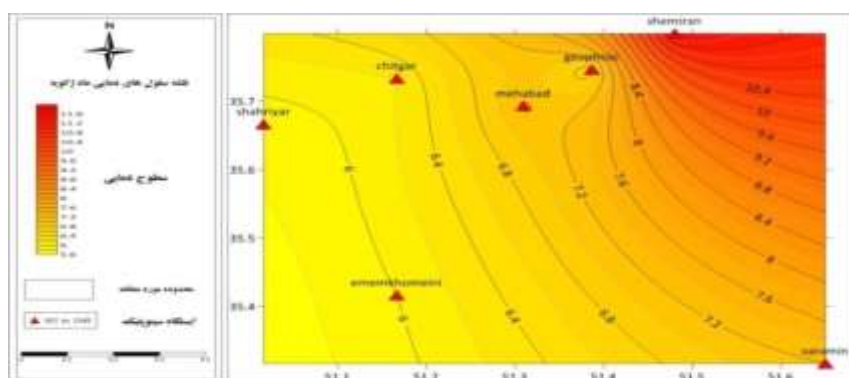


شکل ۲. نقشه دو سلول دمایی دارای بیشترین جاذبه نیوتونی در تاریخ 28/11/2013 در ماه نوامبر

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 2. Map of two temperature cells with the highest Newtonian mass in 28/11/2013 in November

در شکل ۲، نقشه دمایی ماه نوامبر در حالت اینورژن شدید و تا ارتفاع ۱۳۰۰ متر پدیدار می‌شود که حاکی از وجود دو سلول با بیشترین جاذبه نیوتونی در ایستگاه فرودگاه امام خمینی و ایستگاه مهرآباد است. فاصله بین دو سلول موجود تقریباً برابر با ۳۳٫۶۵ کیلومتر است. ایستگاه امام خمینی در ارتفاع ۹۹۰/۲ متر و ایستگاه مهرآباد در ارتفاع ۱۱۹۰/۲ متر قرار دارد. دمای نقاط مرکزی این سلول‌ها برای نقطه مهرآباد ۱۳/۷۵ درجه و برای نقطه فرودگاه امام خمینی ۱۲/۶۵ درجه است.



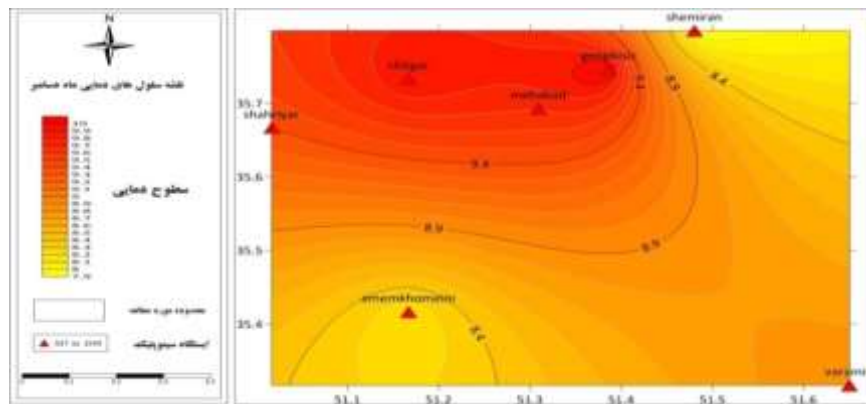
شکل ۳. نقشه دو سلول دمایی دارای بیشترین جاذبه نیوتونی در تاریخ 8/1/2013 در ماه ژانویه

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 3. Map of two temperature cells with the highest Newtonian mass in 8/1/2013 in January

در شکل ۳، نقشه دمایی ماه ژانویه در حالت اینورژن شدید و تا ارتفاع ۱۸۰۰ متر پدیدار می‌شود. این نقشه حکایت از وجود سه سلول دمایی دارد که بیشترین مقدار جاذبه نیوتونی به دو سلول ژئوفیزیک و شمیران مربوط است. این دو سلول در مسافت تقریبی ۱۰/۲۱ کیلومتر نسبت به یکدیگر قرار دارند. ایستگاه شمیران در ارتفاع

۱۵۴۸/۲ متر و ایستگاه ژئوفیزیک در ارتفاع ۱۴۲۳/۸ متر قرار گرفته است. دمای هسته این سلول‌ها برای نقطه ژئوفیزیک ۷/۲ درجه و برای نقطه شمیران ۱۱/۶ درجه است.

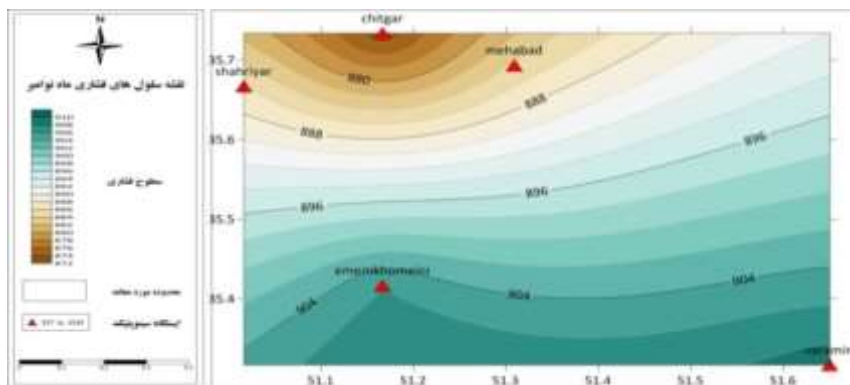


شکل ۴. نقشه دو سلول دمایی دارای بیشترین جاذبه نیوتونی در تاریخ 8/12/2010 در ماه دسامبر

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 4. Map of two temperature cells with the highest Newtonian mass in 8/12/2010 in December

در شکل ۴، نقشه دمایی ماه دسامبر در حالت اینورژن تا ارتفاع ۱۷۰۰ متر دیده می‌شود. این نقشه حاکی از وجود ۱۰ سلول دمایی است که در میان آنها دو سلول ژئوفیزیک و شمیران بیشترین جاذبه نیوتونی را دارند. این دو سلول به ترتیب با ارتفاع ۱۴۲۳/۸ و ۱۵۴۸/۲ متر در فاصله تقریبی ۱۰/۲ کیلومتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند؛ همچنین دمای مرکز آنها برای سلول ژئوفیزیک ۹/۹ درجه و برای سلول شمیران ۸ درجه است.

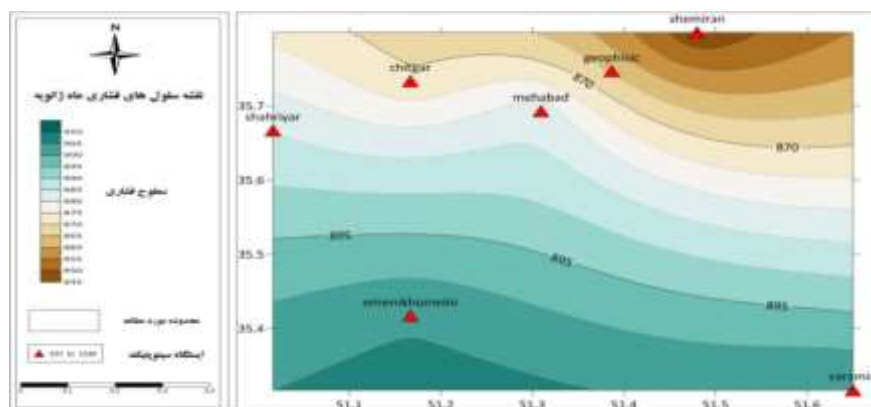


شکل ۵. نقشه دو سلول فشاری دارای بیشترین جاذبه نیوتونی در تاریخ 27/11/2013 در ماه نوامبر

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 5. Map of two Pressure cells with the highest Newtonian mass in 27/11/2013 in November

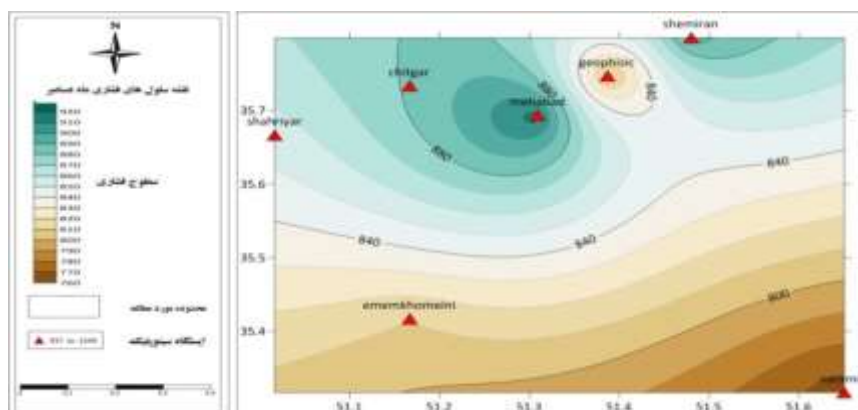
شکل ۵ نشان‌دهنده نقشه اختلاف فشار در حالت اینورژن در ارتفاع ۱۳۰۰ متر در ماه نوامبر است. این نقشه حاکی از وجود دو سلول فشاری است که این دو سلول بیشترین جاذبه نیوتونی را نسبت به سلول‌های فشاری دیگر در سایر روزهای آلوده دارند. این دو سلول در فاصله تقریبی ۳۶/۸۸ کیلومتر از یکدیگر واقع شده‌اند. ایستگاه چیتگر در ارتفاع ۱۳۰۵/۲ متر و ایستگاه فرودگاه امام خمینی در ارتفاع ۹۹۰/۲ متر قرار گرفته است. هسته‌های فشاری این سلول‌ها به ترتیب برابر با ۸۷۴ و ۹۰۶ هکتوپاسکال است.



شکل ۶. نقشه دو سلول فشاری دارای بیشترین جاذبه نیوتونی در تاریخ 1/1/2017 در ماه ژانویه (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 6. Map of two Pressure cells with the highest Newtonian mass in 1/1/2017 in January

شکل ۶ نشان‌دهنده نقشه اختلاف فشار در حالت اینورژن در ارتفاع ۱۸۰۰ متر در ماه ژانویه است. این نقشه حاکی از وجود چهار سلول فشاری است که در این میان دو سلول مهرآباد و چیتگر بیشترین جاذبه نیوتونی را دارند. این دو سلول در فاصله تقریبی ۱۴ کیلومتر از یکدیگر واقع شده‌اند. سلول چیتگر در ارتفاع ۱۳۰۵/۲ و سلول مهرآباد در ارتفاع ۱۱۹۰/۲ متری قرار گرفته است. هسته‌های فشاری این دو سلول به ترتیب برابر با ۸۷۳ و ۸۸۰ هکتوپاسکال است.

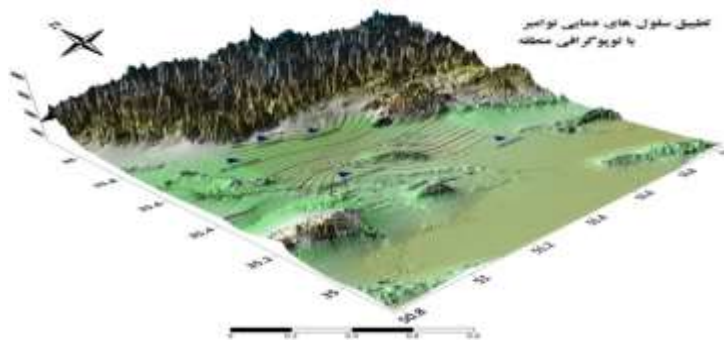


شکل ۷. نقشه دو سلول فشاری دارای بیشترین جاذبه نیوتونی در تاریخ 25/12/2013 در ماه دسامبر (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 7. Map of two Pressure cells with the highest Newtonian mass in 25/12/2013 in December

در شکل ۷ سه سلول تشکیل شده فشاری در ماه دسامبر در ارتفاع ۱۷۰۰ متری دیده می‌شود. براساس محاسبات انجام شده بیشترین جاذبه نیوتونی به دو سلول ژئوفیزیک و مهرآباد مربوط است. این دو سلول به ترتیب با ارتفاع ۱۴۲۳/۸ و ۱۱۹۰/۲ متر، در فاصله تقریبی ۲/۹ کیلومتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند. هسته‌های فشاری سلول‌های ژئوفیزیک و مهرآباد به ترتیب برابر با ۹۰۴ و ۹۱۵ هکتوپاسکال است.

در نهایت و به منظور بررسی تأثیر عوارض توپوگرافیک روی سلول‌های دمایی و فشاری تشکیل شده و همچنین درک بیشتر محل قرارگیری این سلول‌ها برای تطبیق سلول‌های دمایی و فشاری روی توپوگرافی منطقه اقدام شد.

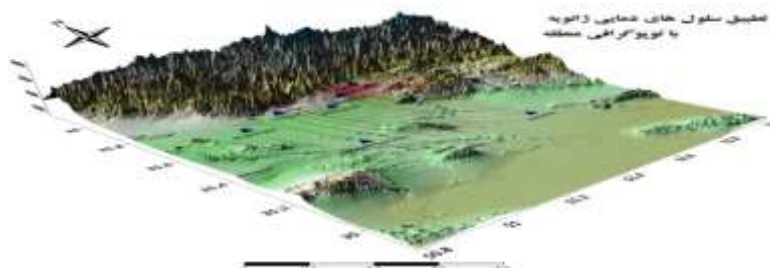


شکل ۸. نقشه تطبیق سلول های دمایی نوامبر با توپوگرافی منطقه

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 8. Overlay of November temperature cells to the topography

براساس شکل ۸، دو سلول دمایی مهرآباد و امام خمینی قابل مشاهده است. سلول فرودگاه مهرآباد در قسمت پیش آمدگی ارتفاعات جنوبی البرز قرار گرفته است و سلول فرودگاه امام خمینی در نزدیکی دامنه برجستگی های کم ارتفاع جنوب شهریار واقع شده است. سلول مهرآباد با ارتفاع ۱۱۹۰,۲ متر و مقدار فشار ۸۸۴,۱۳۷۵ هکتوپاسکال و سلول فرودگاه امام خمینی با ارتفاع ۹۹۰,۲ متر و فشار ۹۰۵,۵۸۷۵ هکتوپاسکال اختلاف ارتفاع ۲۰۰ متری و اختلاف فشار ۲۱,۴۵ هکتوپاسکالی دارند. این دو سلول دمایی با بیشترین میزان جاذبه نیوتونی در روزهای بحرانی آلودگی طی ۱۵ سال شناسایی شده اند.

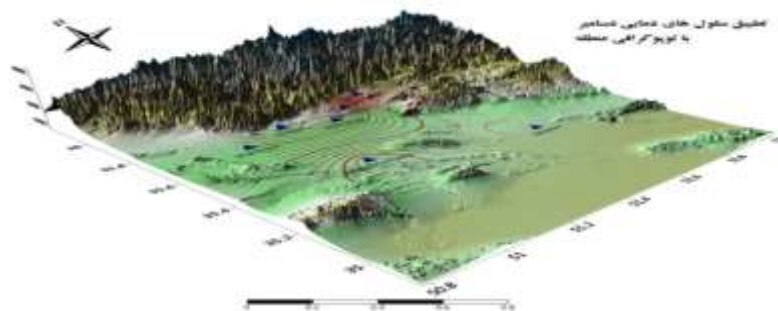


شکل ۹. نقشه تطبیق سلول های دمایی ژانویه با توپوگرافی منطقه

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 9. Overlay of January temperature cells to the topography

در شکل ۹ سه سلول شمیران، ژئوفیزیک و مهرآباد قابل مشاهده است. دو سلول تشکیل شده در قسمت تورفتگی دامنه جنوبی ارتفاعات البرز قرار گرفته اند و شاید بتوان به این مطلب اشاره کرد که محصوربودن مناطق تشکیل سلول ها می تواند روی شکل گیری این سلول های دمایی تأثیرگذار باشد. در این میان دو سلول ژئوفیزیک و شمیران از نظر دمایی جاذبه نیوتونی بیشتری نسبت به سایر سلول ها دارند. سلول ژئوفیزیک ارتفاع ۱۴۲۳,۸ متر و فشار ۸۵۴,۱ هکتوپاسکال و سلول شمیران ارتفاع ۱۵۴۸,۲ متر و فشار ۸۴۴,۷ هکتوپاسکال دارند. این دو سلول با اختلاف ارتفاع ۱۲۴,۴ متری و اختلاف فشار ۹,۸ هکتوپاسکالی، روی سطح شیب انتهایی دامنه کوه های البرز واقع شده اند.

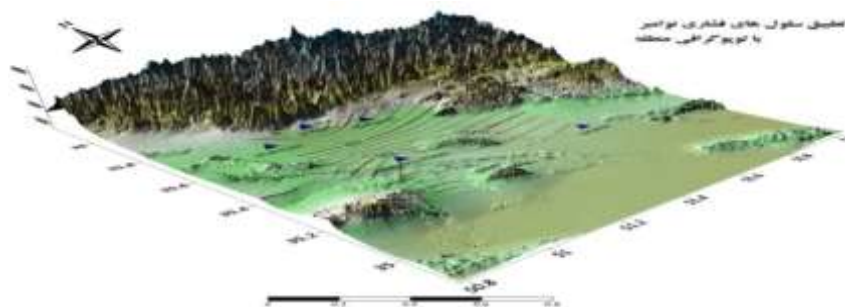


شکل ۱۰. نقشهٔ تطبیق سلول‌های دمایی دسامبر با توپوگرافی منطقه

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 10. Overlay of December temperature cells to the topography

براساس شکل ۱۰ پنج سلول دمایی موجود شامل ورامین، امام خمینی، چیتگر، ژئوفیزیک و شمیران روی توپوگرافی تهران قرار گرفته‌اند. در این میان دو سلول ژئوفیزیک و شمیران از نظر دمایی بیشترین جاذبه نیوتونی را دارند. این دو سلول در قسمت تورفتگی دامنهٔ جنوبی ارتفاعات البرز واقع شده‌اند و محصور بودن مناطقی که سلول‌ها در آن وجود دارند، می‌تواند بر تشکیل این سلول‌های دمایی مؤثر باشد. سلول ژئوفیزیک با ارتفاع ۱۴۲۳٫۸ متر و فشار ۸۶۲٫۹ هکتوپاسکال و ایستگاه شمیران با ارتفاع ۱۵۴۸٫۲ متر و فشار ۸۵۰٫۲ هکتوپاسکال، ۱۲۴٫۴ متر اختلاف ارتفاع و ۱۲٫۷ هکتوپاسکال اختلاف فشار دارند.



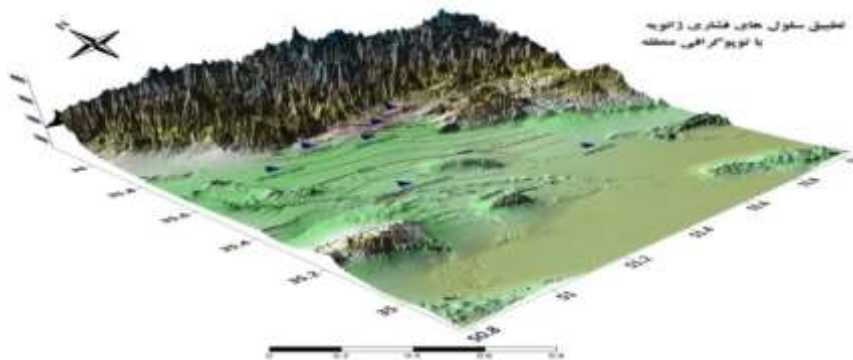
شکل ۱۱. نقشهٔ تطبیق سلول‌های فشاری نوامبر با توپوگرافی منطقه

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 11. Overlay of November pressure cells to the topography

در شکل ۱۱ شاهد تشکیل دو سلول فشاری در محل ایستگاه چیتگر و ایستگاه فرودگاه امام خمینی هستیم. سلول چیتگر در دامنهٔ جنوبی البرز در قسمتی قرار گرفته است که ارتفاعات پیشروی کرده‌اند. سلول فرودگاه امام خمینی در نزدیکی دامنهٔ کوه‌های کم‌ارتفاع جنوب شهریار واقع شده است. تشکیل این سلول‌های فشاری در محل‌های نام‌برده می‌تواند متأثر از جریان‌های هوایی باشد که در این منطقه وجود دارد. این جریان‌ها متأثر از پیشروی دامنه‌های جنوبی ارتفاعات شرقی، به سوی قسمت‌های دشت‌های جنوبی می‌وزند و افزایش سرعت نسبی باد را در این نقاط پدید می‌آورند. ایستگاه چیتگر با ارتفاع ۱۳۰۵٫۲ متر و دمای ۱۱٫۵۵ درجه و ایستگاه فرودگاه امام خمینی با ارتفاع ۹۹۰٫۲ متر و دمای ۱۲٫۱۵ درجه، اختلاف ارتفاع ۳۱۵ متری و اختلاف دمای ۰٫۶ درجه‌ای دارند.

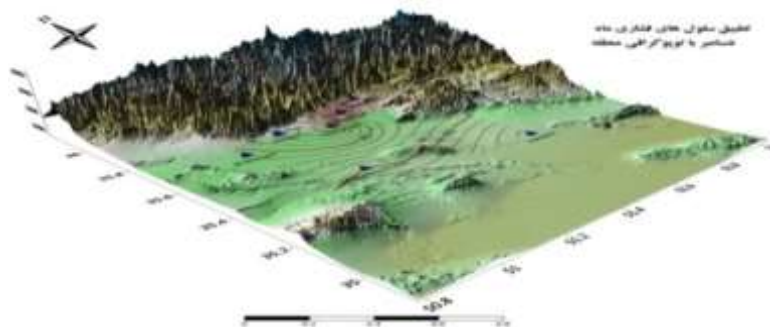




شکل ۱۲. نقشه تطبیق سلول‌های فشاری ژانویه با توپوگرافی منطقه  
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 12. Overlay of January pressure cells to the topography

در شکل ۱۲ شاهد تشکیل چهار سلول شمیران، مهرآباد، امام خمینی و چیتگر هستیم. در این میان دو سلول مهرآباد و چیتگر از نظر فشاری بیشترین مقدار جاذبه نیوتونی را دارند. این دو سلول در قسمت پیش‌آمدگی ارتفاعات جنوبی البرز قرار گرفته‌اند. سلول چیتگر با ارتفاع ۱۳۰۵٫۲ متر و دمای ۱۱٫۰۵ درجه، سلول مهرآباد با ارتفاع ۱۱۹۰٫۲ متر و دمای ۱۱ درجه، اختلاف ارتفاع ۱۱۵ متری و اختلاف دمای ۰٫۰۵ درجه‌ای نسبت به یکدیگر دارند.



شکل ۱۳. نقشه تطبیق سلول‌های فشاری دسامبر با توپوگرافی منطقه  
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 13. Overlay of December pressure cells to the topography

براساس شکل ۱۳، سه سلول فشاری موجود شامل مهرآباد، ژئوفیزیک و شمیران روی توپوگرافی تهران قرار گرفته‌اند که در میان این سلول‌ها، دو سلول ژئوفیزیک و مهرآباد از نظر فشاری بیشترین جاذبه نیوتونی را دارند. این دو سلول روی دامنه ارتفاعات شمالی تهران قرار گرفته‌اند. در واقع این قسمت از دامنه جنوبی البرز تورفتگی دارد و این عقب‌نشینی می‌تواند در جهت وزش بادهای موجود و همین‌طور بر سلول‌های تشکیل‌شده مؤثر باشد. سلول ژئوفیزیک با ارتفاع ۱۴۲۳٫۸ متر و دمای ۳٫۸ درجه و سلول مهرآباد با ارتفاع ۱۱۹۰٫۲ متر و دمای ۳٫۷ درجه، ۲۳۳٫۶ متر اختلاف ارتفاع و ۰٫۱ درجه اختلاف دما دارند.

## نتیجه‌گیری

با توجه به علل طبیعی ایجاد آلودگی هوا در شهر تهران، یکی از راههای کنترل و کاهش آلودگی هوا در این شهر، استفاده از پتانسیل طبیعی آن است؛ در این میان، تأکید این پژوهش بر کنترل اینورژن در شهر تهران در روزهایی است که آلودگی هوا از آستانه مجاز می‌گذرد. اینورژن به معنای پایداری است و می‌توان در صورت ایجاد آشفته‌گی در هوای تهران، این پایداری را کاهش داد و کنترل کرد.

پیش از هر چیز این موضوع نیاز به امکان‌سنجی و مطالعه نظری دارد تا شرایط امکان ایجاد ناپایداری بررسی شود. بدین‌منظور سایر شرایط لازم برای ایجاد آشفته‌گی در محدوده مطالعه شده بررسی شد. از جمله این شرایط می‌توان به اختلاف دمایی و فشاری و گرادیان بین سلول‌های شناسایی شده و همچنین اختلاف ارتفاع بین سلول‌ها و محل قرارگیری آنها اشاره کرد.

با توجه به این نکته که عامل ایجاد بادهای موضعی اختلاف دما و فشار است، به نظر می‌رسد در محدوده مطالعه شده از جنبه نظری امکان ایجاد مصنوعی آشفته‌گی هوا در آسمان تهران برای کنترل میزان آلودگی وجود دارد. با محاسبه و ترسیم میانگین سطوح ارتفاعی اینورژن در سه ماه مدنظر، مشخص شد که ارتفاع اینورژن در هر ماه متفاوت است؛ همچنین در حالی که بخشی از منطقه تهران آلودگی بیش از حد آستانه را تجربه می‌کند، بخش‌های دیگر از این قاعده مستثنی هستند.

با محاسبه مقدار بیشترین جاذبه نیوتونی در بین نقشه‌های پهنه‌بندی سلول‌های فشاری و دمایی ترسیم شده در هر سه ماه، سلول‌های دارای بیشترین اختلاف (دمایی یا فشاری) و کمترین فاصله از هم شناسایی شدند و با قرارگیری نقشه این سلول‌ها روی توپوگرافی منطقه به علل تشکیل بعضی از آنها پی برده شد؛ برای نمونه در ماه نوامبر دو سلول فشاری در محل ایستگاه چیتگر و ایستگاه فرودگاه امام خمینی وجود دارد. سلول چیتگر در دامنه جنوبی البرز، در قسمتی قرار گرفته است که ارتفاعات پیشروی کرده‌اند. سلول فرودگاه امام خمینی در نزدیکی دامنه برجستگی‌های کم‌ارتفاع جنوب شهریار واقع شده است. تشکیل این سلول‌های فشاری در محل‌های نام‌برده ممکن است متأثر از جریان‌های هوایی باشد که در این منطقه وجود دارد. این جریان‌ها متأثر از پیشروی دامنه‌های جنوبی ارتفاعات شرق، به سوی قسمت‌های دشت‌های جنوبی هدایت می‌شوند و افزایش سرعت نسبی باد را در این نقاط پدید می‌آورند.

بدیهی است که برای کاربردی و عملیاتی کردن این موضوع، باید مطالعات بیشتری در زمینه فیزیکی، هواشناسی، ژئوفیزیکی یا سایر زمینه‌های دیگر انجام شود. همچنین در این پژوهش آگاهی از شرایط محدوده مطالعه شده امری طبیعی است و هیچ‌الگوی یکنواختی برای تمامی مناطق در زمینه موضوع مورد پژوهش وجود ندارد. با توجه به اینکه این پژوهش فقط در دوره آماری محدود ۱۵ ساله (از سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷) و در محدوده مطالعه شده استان تهران صورت گرفته و همچنین تمامی تحلیل‌ها براساس آمارهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک این محدوده انجام شده است، می‌توان بر این نکته تأکید کرد که تمامی بررسی‌ها و نتایج حاصل شده مبتنی بر این محدوده و داده‌ها هستند و نمی‌توان آنها را به‌طور کلی تعمیم داد.



## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است.

## منابع

- احمدی مقدم، مهدی، محمودی، پرویز، (۱۳۹۲). تحلیل داده‌های آلودگی هوای تهران در دهه اخیر، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ۶، شماره ۱، ۳۳-۴۴.
- بازگیر، سعید، قدیری معصوم، مجتبی، شمسی پور، علی اکبر، سیدی سرنجیبانه، شیوا، (۱۳۹۴). تحلیل رابطه آلودگی هوای تهران با ترافیک و شرایط جو برای کاهش مخاطرات، دانش مخاطرات، دوره ۲، شماره ۱، ۳۵-۴۲.
- پورتال خبری پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، (۱۳۹۲). شاخص کیفیت هوا AQI، [www.ier.tums.ac.ir](http://www.ier.tums.ac.ir).
- پورتال خبری سازمان حفاظت محیط زیست کشور، (۱۳۹۲). آلودگی هوا و تأثیر آن بر سلامت انسان، <http://www.doe.ir>
- پورتال خبری مرکز تحقیقات آلودگی هوای دانشگاه علوم پزشکی تهران، (۱۳۹۲). ارتباط شاخص کیفیت هوا با سطح اهمیت بهداشتی، [www.ier.tums.ac.ir](http://www.ier.tums.ac.ir).
- تفوی، سید یحیی، علیجانی، بهلول، (۱۳۸۵). تحلیل و بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۸، ۹۹-۱۱۲.
- دلجو، امیر هوشنگ، (۱۳۷۸). مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوای شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران، دانشکده جغرافیا.
- سلیقه، محمد، (۱۳۹۴). تغییر آب و هوا و مخاطرات آب و هوایی شهر تهران، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۲، شماره ۳، ۱۵-۳۲.
- صفوی، سید یحیی، علیجانی، بهلول، (۱۳۸۵). بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۱، شماره ۵۸، ۹۹-۱۱۲.
- صیدایی، سید اسکندر، حسینی، سیده سمیه، یزدان بخش، بنت‌الهدی، (۱۳۹۷). ارزیابی پایداری زیست محیطی شهر اصفهان با تأکید بر آلودگی هوا، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۹، شماره ۱، ۱۱۳-۱۲۶.
- لشکری، حسن، هدایت، پریرسا، (۱۳۸۵). تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن‌های شدید شهر تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۶، ۶۵-۸۲.
- نجیب‌زاده، فهیمه، حسین پور، زینب، شمسی پور، علی اکبر، (۱۳۹۱). واکاوی آلودگی هوای تهران با شاخص‌های ترمودینامیکی جو (در شرایط دارای باد)، مقاله ارائه شده در همایش ملی جریان و آلودگی هوا، تهران، دانشگاه تهران.

- Buchholz, S., Junk, j., Krein, A., Heinemann, G., Hoffmann, L., (2010). **Air pollution characteristics associated with meso scale atmospheric patterns in northwest continental Europe**, Atmospheric Environment, 44: 5183-5190.
- Coylo, S.O.R., Andrade, M.F., (2002). **The influence of meteorological conditions on the behavior of Siapaolo Brazil**, Environmental pollution, 116 (2): 257-63.
- Devasthale, A., Willen, U., Karlsson, K.G., Jones, C.G., (2010), **Quantifying the clear-sky temperature inversion frequency and strength over the Arctic Ocean during summer and winter seasons from AIRS profiles**, the Journal Atmospheric Chemistry and Physics (ACP), 10: 2835-2858.
- Dutta, J., Chowdhury, C., Roy, S., Middy, A., Gazi, F., (2017). **Towards Smart City: Sensing Air Quality in City based on Opportunistic Crown-Sensing**, In Proceedings of the 18th International Conference on Distributed Computing and Networking, Hyderabad, India, 5-7.
- Fargkou, Maria Christina, (2009). **Evaluation of Urban sustainability through a metabolic perspective**, PH.D. Thesis, Environmental Sciences, Universitat Autonomic de Barcelona.
- Fortelli, Alberto, Scafetta, Nicola, Mazzarella, Adriano, (2016). **Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM10 air pollution levels: a model application to Naples (Italy)**, Atmospheric Environment, 143: Pp 218-228.
- Guangjin, Tian, Zhi, Qiao, Xinliang, Xu, (2014). **Characteristics of Particulate matter (PM10) and its relationship with meteorological factors during 2001-2012 in Beijing**, Environmental Pollution, 192: Pp 266-274.
- Jing, Ma, Liu-lu, Chen, Ying, Guo, QianWu, Ming, Yang, Ming-hong, Wu, Kurun thachalam, Kannan, (2014). **Phthalate diester in Airborne PM2.5 and PM10 in a suburban area of Shanghai: Seasonal distribution and risk assessment**, Science of the Total Environmental, Pp 467-474.
- Mark, J., Nieuwenhuijsen, Xavier Basagan, Payam Dadvand, David Martin Cirach, Rob Beelen, Benedicte Jacquemin, (2014). **Air Pollution and human fertility rates**, Environmental International, 70: Pp 9-14.
- Mohan, M., Kandya, A., (2007). **An analysis of the annual and seasonal trends of Air Quality Index of Delhi**, Environmental Monitoring and Assessment, 131 (1-3): Pp 267-277.
- Molina, MJ., Molina, LT., (2004). **Megacities and atmospheric pollution**, Journal of the Air and Waste Management Association, 54 (6): Pp 644-80.
- Xing, Y., et al., (2009). **A Framework Model for Assessing Sustainability Impacts of Urban Development**, Accounting Forum, 33: Pp 209-224.
- Xue-Dan, Song, seWang, Ce Hao, Jie-Shan, Qiu, (2014). **Investigation of SO2 gas adsorption in metal-organic frameworks by molecular**, Inorganic Chemistry Communications, 46: Pp 277-281.