

Towards retrieving aerosol chemical composition from temporal variations of total PM mass concentrations: Theoretical approach, insights, and the promise of machine learning techniques

Danish Ansari¹, Prateek Verma², Tabish Ansari^{3*}

¹ Independent Researcher, Bangalore, India, danishansari.wr@gmail.com

² Department of Chemical Engineering, University of Arkansas, Fayetteville, United States, prateek@uark.edu

³ Corresponding author: Campus Fryslan, University of Groningen, Leeuwarden, the Netherlands

*Now at: Research Institute for Sustainability (RIFS) - Helmholtz Centre Potsdam, Potsdam, Germany, tabish.ansari@rifs-potsdam.de

Abstract

Fine and ultrafine ambient particulate matter (PM) has major health and climate impacts. Chemical composition of PM is required for better estimation of these impacts but is considerably expensive to measure as compared to the measurement of only the total PM mass concentrations. We discuss the theoretical possibility of indirect estimation of PM chemical composition by analysing the temporal variation of, relatively inexpensively measured, total PM mass concentrations. We highlight the peculiarities of the temporal characteristics of primary versus secondary aerosols which can become the basis for a machine learning-assisted estimation of chemical fractions at a given time if PM mass concentration time-series of preceding few hours is supplied as input. We also analyse a publicly available chemical composition dataset to show the inter-relationships between different chemical components which can further assist machine learning algorithms to optimise the chemical fraction estimates.

Keywords: Air pollution, Aerosols, PM_{2.5}, PM₁, Machine learning.

1. Introduction and Motivation

Ambient particulate matter (PM) or aerosols with diameter smaller than 2.5 microns (PM_{2.5}) and smaller than 1 micron (PM₁) have deleterious effects on human health including mortality and morbidity (Anenberg et al., 2010; Cohen et al., 2017; Health Effects Institute, 2018; Lelieveld et al., 2015; Maji et al., 2018; Pope & Dockery, 2006). Ambient PM levels consistently exceed daily and yearly safe standards set by the World Health Organization (WHO) in various parts of the world (Kanawade et al., 2020; Morawska et al., 2021). Health impacts are generally estimated using response curves that relate reduced mortality to total PM mass (Lim et al., 2012). However, better estimates of health effects require the chemical makeup of PM in addition to its total mass (Leni et al., 2020; Molina et al., 2020). Additionally, knowledge of PM chemical composition aids in understanding of cloud formation and other climate effects (Almeida et al., 2014; Charlson et al., 1992). PM typically includes chemical components such as organic carbon (ORG), black carbon (BC), ammonium (NH₄), nitrate (NO₃), sulphate (SO₄), chloride (CHL), mineral dust and other heavy metals (Seinfeld & Pandis, 2016).

While it is relatively inexpensive to measure total PM mass concentrations, it is much more expensive and challenging to observe PM chemical composition. *Offline* sampling techniques of estimating aerosol chemical composition involve retrospective lab-based chemical analysis of filter papers from PM measuring instruments (Holzinger et al., 2010; Malaguti et al., 2015; Timkovsky et al., 2015). Besides requiring regular intervention of skilled personnel and expensive laboratory analysis (Deng et al., 2021; Rai et al., 2021), they yield longer time-averaged (typically daily- or weekly-averaged) chemical composition

information and are thus better suited for limited time-span field campaigns than for real-time data streaming service to citizens and stakeholders, for instance. *Online* techniques involve direct measurement of aerosol chemical components using mass spectrometers (Nash et al., 2006) such as the Aerosol Mass Spectrometer (AMS) or Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) (Fröhlich et al., 2013; Ng et al., 2011) which can be prohibitively expensive (approximately, AMS: \$500,000, ACSM: \$150,000-\$200,000; personal communication), incur expensive maintenance, and require trained personnel to operate. Due to these limitations, chemical composition of aerosols remains unobserved over large parts of the globe including major population centres such as the Indo Gangetic Plain (Brooks et al., 2019; Pai et al., 2022). On the contrary, total PM mass concentrations can be measured using reference monitors that cost around (based on personal communication) \$20,000-\$30,000 or low-cost sensors that cost between \$200-\$2000 (e.g., Purple Air; <https://www2.purpleair.com/>). Unsurprisingly, observations of total PM mass concentrations are far more abundant than the observations of PM chemical composition. PM chemical composition observations over time are available for multiple sites in United States (Jeon et al., 2023), Europe (EMEP, 2019) and China (Dao et al., 2019; Li et al., 2017), but with several temporal gaps (EMEP, 2019), thereby hindering scientists from developing a consistent global picture of aerosol chemical composition at a high temporal resolution.

Physics-based chemical transport models (e.g., GEOS-Chem, WRF-Chem, CMAQ etc.) can be used to generate PM chemical composition by using emission inventory datasets along with first principles knowledge of gas-phase and aerosol chemistry. However, they remain computationally expensive to run and exhibit large biases in simulated PM chemical composition when evaluated against PM chemical

composition observations (Miao et al., 2020; Pai et al., 2022) due to uncertainties in the input emission datasets and incomplete representation of aerosol chemistry in the model.

The emergence of Machine Learning (ML) techniques such as recurrent neural networks (RNNs) and Transformers which can handle temporal data offers an excellent use case to solve the problem of deriving PM chemical composition from the time-series of PM mass concentrations if sufficient chemical composition measurements are available for model training. In the next sections we will discuss the peculiarities of the observed temporal behaviour of various PM chemical components that can enable us to derive or estimate PM chemical composition by utilizing PM mass concentration time-series data as input using these ML techniques.

2. Theoretical Insight and Opportunity

Total PM concentrations show distinct temporal variations at the diurnal as well as seasonal scales (Seinfeld & Pandis, 2016; Sun et al., 2019). This temporal signature depends on a number of local and regional factors such as meteorology (wind speed and direction, relative humidity, boundary layer mixing), atmospheric chemistry (chemical rates of formation and transformation of aerosols) and emissions (their strength and temporal variations and the relative location of sources to the receptor). Moreover, the temporal signature of total PM mass concentration can be viewed as the sum of the temporal signatures of each of its chemical components. Hourly data from various AMS/ACSM measurements, particularly for urban locations, indicate that all chemical components do not exhibit identical temporal variations (Ansari et al., 2019; Seinfeld & Pandis, 2016; Sun et al., 2019; Sun et al., 2012). We notice that, generally, primary aerosols (BC and primary ORG) show a spikier signal, indicating that they are freshly emitted and preserve some characteristics of the temporal profiles of their emission sources. On the other hand, secondary aerosols (NH_4 , NO_3 , SO_4) show a smoother temporal signal which is evidence of the timescales of chemical conversion of precursor gases to aerosols. Concentrations of precursor gases (e.g., NO_2 and SO_2) might retain the temporal signal of emission sources but since they are lost during chemical transformation, are not preserved in NO_3 and SO_4 aerosol observations.

Superimposed upon the emissions/chemistry signal is the meteorological signal but regional meteorology affects all chemical components simultaneously, rather than individually. So, all chemical components will show a simultaneous decline if the wind direction changes to one which brings clean air or if wind speed increases. Turbulent mixing in the atmospheric boundary layer, however, has a somewhat dissimilar effect on primary and secondary aerosols (Brooks et al., 2019). Primary aerosols have a stronger vertical gradient than secondary aerosols because all primary emission sources are situated at the surface while secondary aerosols have a weaker vertical gradient within the boundary layer due to the spatial scales of chemical production. Therefore, a reduction in boundary layer height leads to much steeper increases in primary aerosol concentrations as compared to relatively modest increases in secondary aerosol concentrations, see, for example, Ansari et al. (2019).

Therefore, we posit that, under similar meteorological conditions, a highly spiky and fluctuating temporal profile of the total PM indicates a dominant fraction of primary aerosols while a smoother temporal signal of total PM suggests a larger

proportion of secondary aerosols. These distinct temporal responses of different chemical components hold the key for their indirect estimation. This approach is valid, especially for urban locations where aerosols are *externally-mixed*; freshly emitted and contain strong temporal signals of their sources (e.g., traffic, industry, households). However, observations made at remote locations with far-away emission sources have weaker source-signals and the aerosols are often in an *internally-mixed* state; different chemical components stick to each other into a single particle, such that, the chemical composition of each particle is the same as the overall composition of the aerosol mixture (Sun et al., 2019), which, in turn, will likely hinder the ability to make good estimations of compositions based on the temporal profile of total PM alone.

ML techniques such as RNNs and Transformers offer an attractive application case to this scientific problem as they allow for mapping multiple input values (say, 24h history of PM time-series preceding the time-point of prediction) to multiple output values (e.g., six chemical fractions at the given hour). Transformers can also provide time-sensitive weightings to different input parameters thereby harnessing maximum value out of the peculiarities of time-series to estimate the chemical fractions.

3. Analysis of Publicly Available Data

Apart from temporal variations, it is important to study the relationship between chemical component fractions and total PM mass. It is crucial to understand if the fractions persist over a given range of total PM mass concentrations or if they change more randomly across the total PM range. Some chemical components are formed at the expense of others. For example, SO_4 is preferentially formed before NO_3 in presence of excess NH_3 (Seinfeld & Pandis, 2016). Such co-dependence must be analysed vis-a-vis total PM concentration and aids in estimating chemical fractions in the absence of their actual measurements. To illustrate this approach, we used the publicly available PM_{10} chemical components data over Delhi from Gani et al. (2019).

Figure 1 shows the variation of six chemical fractions against $25 \mu\text{g m}^{-3}$ bins of total PM_{10} . The median fractions, across all bins, range from 0.42 to 0.65 for ORG, 0.05 to 0.13 for NH_4 , 0.03 to 0.22 for SO_4 , 0.04 to 0.11 for NO_3 , 0.01 to 0.28 for CHL and 0.05 to 0.13 for BC. The ORG fraction shows a general increase from bottom to top suggesting that the higher PM_{10} episodes are caused by additional organic aerosol contributions. However, this increase is not monotonic. ORG fraction remains somewhat constant between $25\text{-}175 \mu\text{g m}^{-3}$ PM_{10} range, showing a slight reduction in the $225\text{-}250 \mu\text{g m}^{-3}$ bin, followed by an increasing trend until $400 \mu\text{g m}^{-3}$. However, the median ORG fraction shows an abrupt decrease between the $400\text{-}500 \mu\text{g m}^{-3}$ bins. Interestingly, the decline in ORG fraction across these bins is compensated by a corresponding increase in the CHL fraction and, to a lesser extent, NH_4 fraction. Other fractions remain nearly unchanged across these bins.

NH_4 and SO_4 fractions show a decreasing trend from bottom (cleaner) to top (more polluted conditions). NO_3 shows an increasing trend until $225 \mu\text{g m}^{-3}$ after which it declines. CHL shows an overall increasing trend beginning at 0.01 at the lowest bin to 0.09 at the highest bin with an abrupt increase in the $425\text{-}500 \mu\text{g m}^{-3}$ range as noted earlier. BC fraction shows a modest decreasing trend from 0.13 in the lowest bin

to 0.05 at $450 \mu\text{g m}^{-3}$ after which it steadily increases to 0.13 in the highest bin.

The interquartile range (IQR) for NH_4 , SO_4 , NO_3 and BC were generally low (within 0.1), while those for ORG and CHL were the largest, up to 0.3, and generally increased as we moved up the bins. For SO_4 , the IQR was largest for cleaner periods ($0-75 \mu\text{g m}^{-3}$) after which it diminished consistently. The consistent decreasing trend in SO_4 fraction shows the physical limit of SO_4 formation in Delhi given the regional precursor emissions.

We further investigated the competition effect between CHL and ORG fractions as noted from Figure 1 and found a significant anticorrelation ($r=-0.74$) between the two, for cases where $\text{CHL}>0.1$ (Figure 2). An even tighter anticorrelation was found between NH_4 and CHL fractions ($r=-0.87$) while CHL and NH_4 fractions showed a positive correlation ($r=0.61$). Such relationships between different chemical fractions, especially if true across multiple sites, can potentially be exploited by machine learning algorithms to establish more generalizable relationships among chemical fractions and/or relate them to the total PM mass.

4. Discussion and Future Outlook

In this study we have laid out the theoretical foundation for potentially retrieving hourly aerosol chemical composition information without directly measuring them by utilising merely the temporal variations of total PM mass concentrations. We have discussed the peculiarities of temporal signals of different aerosol components based on their physico-chemical properties and their differing response to meteorology. We have also analysed a publicly available dataset of aerosol chemical composition in a novel way to establish the relationships between total PM_{10} and individual chemical fractions. We believe these distinct properties of aerosol chemical components provide for an excellent use-case for machine learning techniques to uncover valuable climate- and health-relevant information in a cost-effective way. At the very least, this methodology could work for individual sites where there is availability of continuous long-term total PM mass concentration data and some availability of chemical composition observations for shorter periods such as during specialized field campaigns. Once the relationships are established, the machine learning model can furnish aerosol chemical composition for periods when direct chemical component observations do not exist, but the total PM mass concentration observations are available, thereby allowing us for location-specific gap filling of chemical component data. In a more optimistic case, the ML model may be able to learn more universal characteristics of aerosol components and may become transferable to new locations if trained over several locations with diverse meteorology and emission sources.

There are several challenges and limitations that should be carefully considered when designing the ML prediction model for chemical fractions prediction:

- a) Optimal length of input time-series data: Based on our theoretical proposal, we believe that it should be possible to estimate the chemical fractions of PM at any given point in time with sufficient accuracy if we input a sufficiently long historical time-series data of PM mass concentrations. Various tests should be performed by inputting historical data of

5h, 10h and up to 24h before the time point when we are estimating the chemical fractions. Inputting a very short historical time-series might be insufficient for the ML algorithm to detect the distinct temporal signals related to different chemical fractions, whereas inputting very long historical data might have diminishing returns because the chemical fractions also change with time and temporal variations of several hours ago might not be useful in estimating the chemical fractions. Therefore, the optimal length of time-series data must be ascertained by performing different ML experiments.

- b) Missing data in time-series: Our approach requires continuous time-series as input to the ML model and these should have continuous data available. Instances where there are data gaps should be discarded during model training.
- c) Temporal resolution of PM time-series: Since our approach is based on exploiting the distinct temporal characteristics of primary vs secondary aerosols such as their spikiness vs smoothness, it will benefit from a high temporal resolution input dataset of PM mass concentration. If the input data is highly averaged in time (say, daily average) these unique temporal patterns of different chemical components will be seriously compromised making it harder to estimate the likely chemical components. Also, the temporal resolution of input data should match the temporal resolution of the input data used in model training.
- d) Quality control of input data: While the PM component data measured using AMS/ACSM during specialized campaigns are generally of good quality, the publicly available routine observation data of PM mass concentrations often suffer from instrumentation or software errors. Therefore, all input data should be subjected to thorough quality check before training the ML model.

Our approach is only the first humble step of recognising the distinct aerosol temporal properties which can be exploited to estimate chemical fractions given the plethora of ML algorithms available to us in the era of artificial intelligence. Future work should utilize the wealth of publicly available PM mass and chemical composition data to train and test ML-based models for different regions and time periods, and hopefully, to build a corpus of a larger, multi-site dataset that is ultimately utilized to train and build a more comprehensive chemical fraction prediction model which is more broadly applicable across regions. Various experiments can be performed to ascertain the most valuable parameters (e.g., length of historical PM time-series, temporal variation etc.) and model efficacy should be tested in contrasting environments (e.g., megacity vs cleaner remote regions). Doing so will allow us to build a comprehensive picture of global aerosol chemical composition in conjunction with other tools at our disposal such as ground based instrumentation (AMS/ACSM), satellite remote sensing, and physics-based

models. We aim to conduct these experiments and present our results from the ML model in our future work.

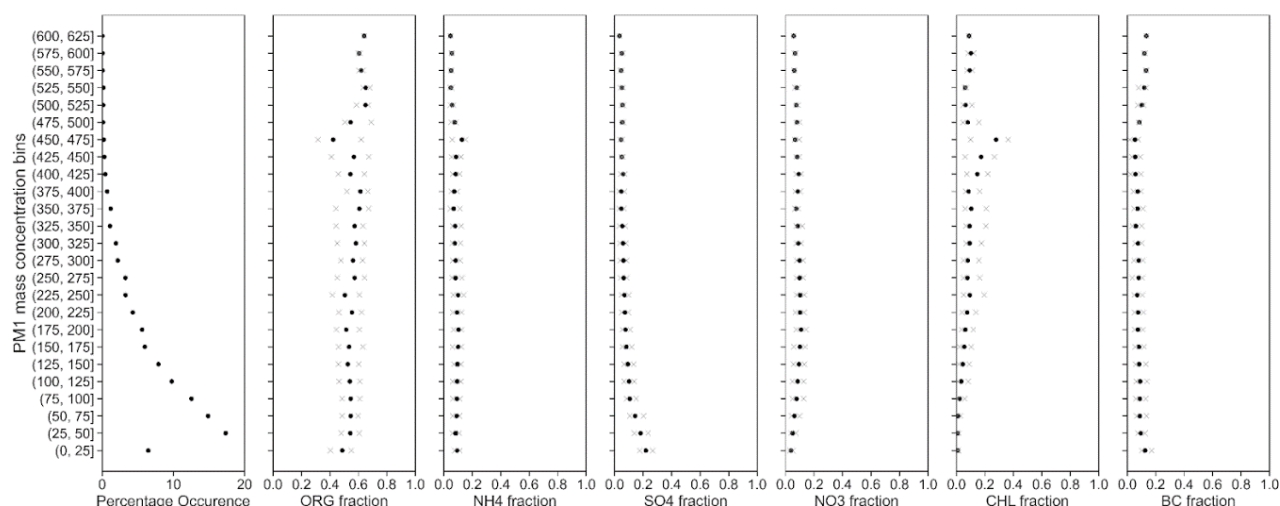


Figure 1. Panelplot showing median values and interquartile ranges of each chemical fraction against total PM_{10} bins of range $25 \mu g m^{-3}$. The first column shows the frequency distribution of total PM_{10} for the entire period. Other columns show the corresponding chemical fractions. Median values are shown as black dots while lower and upper quartiles are shown in grey crossmarks.

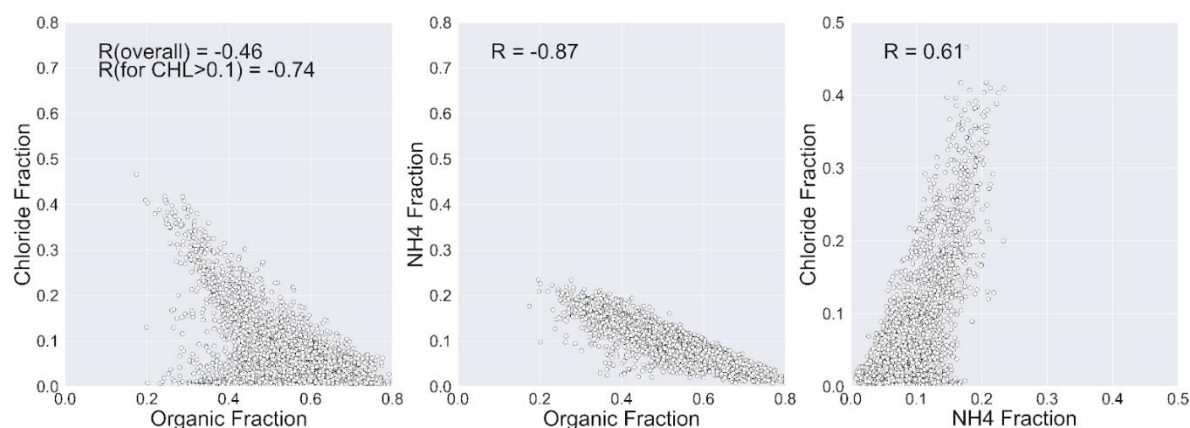


Figure 2: Selected scatterplots between chemical component fractions with high correlations

Acknowledgements

This work was not supported by any research grant. An earlier version of this manuscript is available as a preprint on ESS Open Archive:

<https://essopenarchive.org/doi/full/10.1002/essoar.10512385.1>

References

- Almeida, G. P., Brito, J., Morales, C. A., Andrade, M. F., & Artaxo, P. (2014). Measured and modelled cloud condensation nuclei (CCN) concentration in São Paulo, Brazil: the importance of aerosol size-resolved chemical composition on CCN concentration prediction. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *14*(14), 7559–7572.
- Anenberg, S. C., Horowitz, L. W., Tong, D. Q., & West, J. J. (2010). An Estimate of the Global Burden of Anthropogenic Ozone and Fine Particulate Matter on Premature Human Mortality Using Atmospheric Modeling. *Environmental Health Perspectives*, *118*(9), 1189–1195.
- Ansari, T. U., Wild, O., Li, J., Yang, T., Xu, W., Sun, Y., & Wang, Z. (2019). Effectiveness of short-term air quality emission controls: a high-resolution model study of Beijing during the Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) summit period. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*(13), 8651–8668.
- Brooks, J., Allan, J. D., Williams, P. I., Liu, D., Fox, C., Haywood, J. Langridge, J. M., Highwood, E. J., Kompalli, S. K., O’Sullivan, D., Babu, S. S., Satheesh, S. K., Turner, A. G., Coe, H. (2019). Vertical and horizontal distribution of submicron aerosol chemical composition and physical characteristics across northern India during pre-monsoon and monsoon seasons. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*(8), 5615–5634.
- Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. M., Cess, R. D., Coakley Jr, J. A., Hansen, J. E., & Hofmann, D. J. (1992). Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols. *Science*, *255*(5043), 423–430.

- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, C. A. III, Shin, H., ... Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, *389*(10082), 1907–1918.
- Dao, X., Lin, Y.-C., Cao, F., Di, S.-Y., Hong, Y., Xing, G., Li, J., Fu P., & Zhang, Y.-L. (2019). Introduction to the National Aerosol Chemical Composition Monitoring Network of China: Objectives, Current Status, and Outlook. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *100*(12), ES337–ES351.
- Deng, Y., Fujinari, H., Yai, H., Shimada, K., Miyazaki, Y., Tachibana, E., Deshmukh, D. K., Kawamura, K., Nakayama, T., Tatsuta, S., Cai, M., Xu, H., Li, F., Tan, H., Ohata, S., Kondo, Y., Takami, A., Hatakeyama, S., & Mochida, M. (2022). Offline analysis of the chemical composition and hygroscopicity of submicrometer aerosol at an Asian outflow receptor site and comparison with online measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, *22*, 5515–5533.
- EMEP ACSM Station Data Coverage. 2019., <https://www.psi.ch/en/acsm-stations/overview-full-period>
- Fröhlich, R., Cubison, M. J., Slowik, J. G., Bukowiecki, N., Prévôt, A. S. H., Baltensperger, U., Schneider, J., Kimmel, J. R., Gonin, M., Rohner, U., Worsnop, D. R., & Jayne, J. T. (2013). The ToF-ACSM: a portable aerosol chemical speciation monitor with TOFMS detection. *Atmospheric Measurement Techniques*, *6*(11), 3225–3241.
- Gani, S., Bhandari, S., Seraj, S., Wang, D. S., Patel, K., Soni, P., Arub, Z., Habib, G., Hildebrandt Ruiz, L., & Apte, J. S. (2019). Submicron aerosol composition in the world's most polluted megacity: the Delhi Aerosol Supersite study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*, 6843–6859.
- Health Effects Institute (2018). State of global air 2018. Special report. Boston, MA: Health Effects Institute. <https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga-2018-report.pdf>
- Holzinger, R., Kasper-Giebl, A., Staudinger, M., Schauer, G., & Röckmann, T. (2010). Analysis of the chemical composition of organic aerosol at the Mt. Sonnblick observatory using a novel high mass resolution thermal-desorption proton-transfer-reaction mass-spectrometer (hr-TD-PTR-MS). *Atmospheric Chemistry and Physics*, *10*(20), 10111–10128.
- Jeon, S., Walker, M. J., Sueper, D. T., Day, D. A., Handschy, A. V., Jimenez, J. L., & Williams, B. J. (2023). A searchable database and mass spectral comparison tool for aerosol mass spectrometry (AMS) and aerosol chemical speciation monitor (ACSM), *EGUsphere* [preprint].
- Kanawade, V. P., Srivastava, A. K., Ram, K., Asmi, E., Vakkari, V., Soni, V. K., Varaprasad, V., & Sarangi, C. (2020). What caused severe air pollution episode of November 2016 in New Delhi? *Atmospheric Environment*, *222*, 117125.
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, *525*, 367–71.
- Leni, Z., Cassagnes, L. E., Daellenbach, K. R., El Haddad, I., Vlachou, A., Uzu, G., Prévôt, A. S. H., Jaffrezo, J.-L., Baumlin, N., Salathe, M., Baltensperger, U., Dommen, J., & Geiser, M. (2020). Oxidative stress-induced inflammation in susceptible airways by anthropogenic aerosol. *PLoS One*, *15*(11), e0233425.
- Li, Y. J., Sun, Y., Zhang, Q., Li, X., Li, M., Zhou, Z., & Chan, C. K. (2017). Real-time chemical characterization of atmospheric particulate matter in China: A review. *Atmospheric Environment*, *158*, 270–304.
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., AlMazroa, M. A., Amann, M., Anderson, H. R., Andrews, K. G., Aryee, M., Atkinson, C., Bacchus, L. J., Bahalim, A. N., Balakrishnan, K., Balmes, J., Barker-Collo, S., Baxter, A., Bell, M. L., Blore, J. D., Blyth, F., Bonner, C., ... & Pelizzari, P. M. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, *380*(9859), 2224–2260.
- Maji, S., Ghosh, S., & Ahmed, S. (2018). Association of air quality with respiratory and cardiovascular morbidity rate in Delhi, India. *International Journal of Environmental Health Research*, *28*(5), 471–490.
- Malaguti, A., Mircea, M., La Torretta, T. M., Telloli, C., Petralia, E., Stracquandano, M., & Berico, M. (2015). Comparison of Online and Offline Methods for Measuring Fine Secondary Inorganic Ions and Carbonaceous Aerosols in the Central Mediterranean Area. *Aerosol and Air Quality Research*, *15*(7), 2641–2653.
- Miao, R., Chen, Q., Zheng, Y., Cheng, X., Sun, Y., Palmer, P. I., Shrivastava, M., Guo, J., Zhang, Q., Liu, Y., Tan, Z., Ma, X., Chen, S., Zeng, L., Lu, K., & Zhang, Y. (2020) Model bias in simulating major chemical components of PM_{2.5} in China, *Atmospheric Chemistry and Physics*, *20*, 12265–12284.
- Molina, C., Toro A., R., Manzano, C. A., Canepari, S., Massimi, L., & Leiva-Guzmán, M. A. (2020). Airborne Aerosols and Human Health: Leapfrogging from Mass Concentration to Oxidative Potential. *Atmosphere*, *11*(9), 9170.
- Morawska, L., Zhu, T., Liu, N., Torkmahalleh, M. A., de Fatima Andrade, M., Barratt, B., Broomandi, P., Buonanno, G., Belalcazar Ceron, L. C., Chen, J., Cheng, Y., Evans, G., Gavidia, M., Guo, H., Hanigan, I., Hu, M., Jeong, C. H., Kelly, F., Gallardo, L., ... & Ye, C. (2021). The state of science on severe air pollution episodes: Quantitative and qualitative analysis. *Environment international*, *156*, 106732.
- Nash, D. G., Baer, T., & Johnston, M. V. (2006). Aerosol mass spectrometry: An introductory review. *International Journal of Mass Spectrometry*, *258*(1–3), 2–12.
- Ng, N. L., Herndon, S. C., Trimborn, A., Canagaratna, M. R., Croteau, P. L., Onasch, T. B., Sueper, D., Worsnop, D. R., Zhang, Q., Sun, Y., L., & Jayne, J. T. (2011). An Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) for routine monitoring of the composition and mass concentrations of ambient aerosol. *Aerosol Science and Technology*, *45*(7), 780–794.
- Sidhant J. Pai, Colette L. Heald, Hugh Coe, James Brooks, Mark W. Shephard, Enrico Dammers, Joshua S. Apte, Gan Luo, Fangqun Yu, Christopher D. Holmes, Chandra Venkataraman, Pankaj Sadavarte, & Kushal Tibrewal. (2022). Compositional Constraints are Vital for Atmospheric PM_{2.5} Source Attribution over India. *ACS Earth and Space Chemistry* 2022 *6* (10), 2432–2445

- Pope, C. A. III, & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709–742.
- Rai, P., Slowik, J. G., Furger, M., El Haddad, I., Visser, S., Tong, Y., Singh, A., Wehrle, W., Kumar, V., Tobler, A. K., Bhattu, B., Wang, L., Ganguly, D., Rastogi, N., Huang, R.-J., Necki, J., Cao, J., Tripathi, S., N., Baltensperger, U., ... & Prévôt, A. S. (2021). Highly time-resolved measurements of element concentrations in PM₁₀ and PM_{2.5}: comparison of Delhi, Beijing, London, and Krakow. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(2), 717–730.
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Sun, X., Luo, X. S., Xu, J., Zhao, Z., Chen, Y., Wu, L., Chen, Q., & Zhang, D. (2019). Spatio-temporal variations and factors of a provincial PM_{2.5} pollution in eastern China during 2013–2017 by geostatistics. *Scientific Reports*, 9(1), 3613.
- Sun, Y., Wang, Z., Dong, H., Yang, T., Li, J., Pan, X., Chen, P., & Jayne, J. T. (2012). Characterization of summer organic and inorganic aerosols in Beijing, China with an Aerosol Chemical Speciation Monitor. *Atmospheric Environment*, 51, 250–259.
- Timkovsky, J., Chan, A. W. H., Dorst, T., Goldstein, A. H., Oyama, B., & Holzinger, R. (2015). Comparison of advanced offline and in situ techniques of organic aerosol composition measurement during the CalNex campaign. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8(12), 5177–5187.

Gaziantep Hava Kalitesinin Meteorolojik Değişkenlerle Birlikte İncelenmesi

Rahan Öztürk, Hüseyin Toros

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, 34467 Sarıyer/İstanbul, Türkiye,

Özet

Bu çalışmada Gaziantep ilinin hava kirliliği yoğunluğunun ölçüldüğü merkez istasyonundan 2018-2022 yılları arasındaki 5 yıllık SO₂ ve PM₁₀ değerleri incelenmiştir. SO₂ değerleri yıl genelinde Hava Kalite İndeksi'ne göre 'iyi' kategorisinde yer almaktadır. PM₁₀ özellikle kış aylarında ve soğuk mevsimlerde 'hassas' ve bazen 'sağlıksız' seviyelerine çıkmaktadır. Gaziantep'e Arap yarımadasındaki geniş çöl bölgelerinden toz taşınımı sebebiyle hava kalitesi zaman zaman çok düşmektedir. Yıl içerisinde en yüksek PM₁₀ ortalama değerlerine ise Kasım ayında erişilmiştir. Yaz aylarında ısıtma amaçlı kirlilik kaynağı bulunmayışı ve havanın ısınarak karışma yüksekliğinin artması PM₁₀ değerlerinin düşmesinde etkili olabilir. Şehrin farklı istasyonlarından alınan kısıtlı zamandaki veriler, şehrin kuzeyinde güneyine göre PM₁₀ yoğunluğu bakımından daha düşük değerlere sahiptir. Durgun hava şartlarında ölçülen değerlerin ortalaması, Türkiye'de PM₁₀ için belirlenen sınır değere çok yakındır. Çalışmada ERA5 ve otomatik ölçüm istasyonundan alınan gözlem verileriyle birlikte çoklu lineer regresyon modeli kurulmuştur. Regresyon modeli yaz ve kış ayrımını gösterirken azami değerlerin tespitini verememektedir. Modelin sonuçlarına göre gözlenen PM₁₀ yoğunluğu 0.3 Pearson korelasyon uyumuna sahiptir.

Anahtar kelimeler: Hava kirliliği, PM₁₀, SO₂, Gaziantep

Examining Gaziantep Quality with Meteorological Variables

Abstract

In this study, the 5-year SO₂ and PM₁₀ values between the years 2018-2022 were examined from the central station where the air pollution intensity of Gaziantep is measured. SO₂ levels are in the 'good' category throughout the year according to the Air Quality Index. PM₁₀ rises to 'sensitive' and sometimes 'unhealthy' levels, especially during winter and cold seasons. Air quality deteriorates from time to time due to the transport of dust from large desert areas in the Arabian Peninsula to Gaziantep. During the year, the highest average PM₁₀ levels were recorded in November. The absence of a source of pollution for heating purposes in the summer months and the increase in mixing height due to the warming of the air may be effective in reducing PM₁₀ levels. Temporal data from different stations in the city show lower PM₁₀ densities in the north of the city than in the south. The average of the values measured under stagnant weather conditions is very close to the limit value set for PM₁₀ in Türkiye. In the study, a multiple linear regression model was established with the observed data from ERA5 and the automatic monitoring station. While the regression model shows the difference between summer and winter, it cannot determine the maximum values. According to the results of the model, the observed PM₁₀ density has a Pearson correlation agreement of 0.3.

Keywords: Air pollution, PM₁₀, SO₂, Gaziantep

1. Giriş

Şehrin hava kalitesini anlamak için öncelikle şehir içindeki, yakınındaki ve daha uzaklardaki potansiyel kirlenici kaynaklarını belirlenmesi önemlidir. Kirlenicileri doğal ve insan eliyle oluşan kaynaklar olarak iki kategoride inceleyebiliriz. Gaziantep'in güney ve güneydoğusunda geniş çöller yer almaktadır, buradan taşınan tozlar doğal kirlenicileri, trafik ve fabrika benzeri üreticilerden oluşan kirlilik ise insan eliyle oluşan kaynakları oluşturur. Meteorolojik şartlarda hava kirliliğinin artma ve azalmasında önemli etkiye sahiptir (Özkayalar vd., 2021; Zeynep ve ark., 2021). Güneydoğu Anadolu Bölgesi dünyanın önemli toz kuşaklarına oldukça yakındır. Afrika ve Orta Doğu çöllerinden de bölgeye toz

taşınımı gerçekleşmektedir. Mart ayının başlangıcıyla artan sıcaklıkla atmosferdeki çalkantı artmaya başlar. Çalkantının artmasıyla birlikte troposferde daha yüksek seviyelere ulaşan toz ve güneyli rüzgârlar ile bölgeye taşınır. Toz taşınımaları yılın her vakti olsa da sıcak aylarda daha fazla gerçekleşmektedir (Aslanoğlu vd., 2022).

Gaziantep, güneydoğu bölgesinin en gelişmiş kentidir ve pek çok sanayi tesisleri bu bölgede yer almaktadır. GAP projesi ile bölgedeki tarımın ve buna bağlı sanayinin gelişmesinin artmasının yanı sıra, petrol ürünlerinin de işlendiği sanayiler bulunmaktadır (Gaziantep ÇED, 2021). Ayrıca şehirde trafik kaynaklı kirlilik de önemli seviyededir.

Atmosfere salınan kirleniciler atmosferik koşullardan etkilenir. Mevsimlerle birlikte değişen sinoptik desenler

kirleticilerin dağılımında çok önemlidir. Alçak basınç sistemlerinde daha fazla karışım olur ve kirleticilerin yukarı doğru hareketiyle bu karışımın etkisiyle seyrelmesi beklenir. Bu sayede yer seviyesindeki kirletici miktarında azalma gözlenir. Yüksek basınç sistemlerinde ise hava inici yöndedir. Dolayısıyla yer seviyesindeki kirletici oranında artış görülmektedir. Kirleticilerin birikmesi özellikle düşük rüzgâr hızlarına sahip durgun yüksek basınç merkezlerinde yaygındır (Unal ve ark., 2011). Kararlılık ve türbülans kirliliğinin dağılıma hızını ayarlayan ana etkenlerdir. Kararlılık, düşey hareketi sınırlar (Aydınöz, 2015). Sıcaklık profili özellikle atmosferin kararsızlık durumunu belirlediğinden önemlidir. Havanın yükseklikle sıcaklığındaki artış/azalış kararlılığı oluşturur. Sıcaklığın düşeyde arttığı durumlarda, sıcaklığın yükseklikle artması şartları oluşur ve kirleticilerin sıcaklığın yükseklikle artması tabakasının üzerine çıkmasını engellenir. Kirleticiler sıcaklığın yükseklikle artması tabakasının alt kısmına hapsolurlar. Sabahın erken saatlerinde yer yüzeyinin ısınmasıyla alt tabakalardaki sıcaklık artmaya başlar, gecenin soğuşunu taşıyan bir üst tabakaya geçemeyen kirleticiler yer yüzeyinde kalır. Bu birbirine benzeyen iki koşulda da yer seviyesindeki kirlilik seviyelerinde artma beklenir. Şehir merkezlerindeki şehir ısı adaları sebebiyle yukarı seviyelere göre oluşan aşırı ısınma, sıcaklığın yükseklikle artması tabakası örneğine benzeyen bir kararlılık durumu sergiler ve kirleticilerin yer seviyesinde hapsolmesine sebep olabilir. Öte yandan rüzgâr hızı, kirleticilerin atmosferde yer değişimi ve dağıtımında etkilidir. Düşey hareket kirliliği daha geniş alanlara dağıtarak daha fazla dağılma sağlar. Yataydaki hareket ise rüzgâr hızı tarafından sağlanır ve türbülans ile ilişkilendirilir. Türbülans ise yataydaki ve düşeydeki rüzgâr hızlarının büyüklükleriyle ölçülür. Rüzgâr hızları ne kadar fazlaysa, türbülans ve buna bağlı olarak kirliliğinin dağılımı o kadar fazla olur (Eagleman, 1991; Tunç vd., 2022).

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerine doğrudan veya dolaylı birçok olumsuz etkisi vardır. PM₁₀ ve SO₂ hava kirliliğinin önemli bileşenleridir. PM₁₀, doğal veya insan faaliyetleri sonucu havada bulunan çeşitli boyuttaki 10 mikrometreden daha küçük olan parçacıklardır. Solunduğu zaman özellikle çocuklar, yaşlılar ve solunum yolları rahatsızlığı olan kişilerde solunum problemlerine neden olabilir. Astım, bronşit ve diğer solunum yolu hastalıklarının şiddetlenmesine neden olabilir. Kalp ve damar sistemi üzerinde de olumsuz etkilere sahip olabilir. Kalp hastalığı riskini artırabilir, kalp atış hızını ve kan basıncını etkileyebilir (Özdemir ve ark., 2012). İnce parçacıklar derin akciğer bölgelerine ulaşabilir ve akciğer dokusuna zarar verebilir. Uzun süre maruz kalma, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) gibi ciddi akciğer rahatsızlıklarına yol açabilir. SO₂, fosil yakıtların yanması sırasında açığa çıkan bir gazdır. Özellikle sanayi faaliyetleri ve araç trafiği nedeniyle atmosfere salınır. Solunum yoluyla vücuda girdiğinde sağlık üzerinde olumsuz etkileri olabilir. SO₂ solunduğunda, boğazda tahrişe, öksürüğe ve nefes darlığına neden olabilir. Astım, bronşit ve diğer solunum yolu rahatsızlıkları olan bireylerde semptomları şiddetlendirebilir, kardiyovasküler sistemi olumsuz etkileyebilir ve kalp krizi riskini artırabilir (Eagleman, 1991; Kara ve ark., 2022; WHO, 2023; Toros ve ark., 2018; Toros ve Bağış, 2017; Yılmaz ve ark., 2023).

Bu makalenin amacı, Gaziantep ilinin hava kalitesini meteorolojik etmenlerle birlikte incelemektir. 6 Şubat tarihinde yaşanan deprem afetinin ardından bölgenin coğrafi hassasiyetinin artması ve olası risklere karşı alınacak tedbirlerin artırılmasına hava kirliliği durumunu sunarak hava kalitesini artırıcı yapılanmaya yardımcı olmaktadır.

2. Veri ve Yöntem

Gaziantep, 2022 yılı nüfusu 2.154.051 olup Türkiye'nin 9. Büyük şehridir. Gaziantep il sınırları, doğuda Fırat Vadisi, kuzeyde Pazarcık Ovaları, batıda Amanos Dağları'ndan oluşmaktadır. İlin kuzeyinde Kahramanmaraş ile Pazarcık İlçesi, kuzeydoğusunda Adıyaman'a bağlı Besni İlçesi, güneyde Suriye Devleti ile Kilis İli, güneybatıda Hatay İli'nin Hassa İlçesi, doğuda Şanlıurfa'ya bağlı Birecik ve Halfeti ilçeleri ve Fırat Nehri bulunmaktadır (Gaziantep, 2018). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde hem tarihi zenginliği hem de ekonomik potansiyeli bulunan bir şehirdir. Antik dönemden itibaren farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Şehir, özellikle tarihi dokusu ve geleneksel el sanatlarıyla tanınır. Yöresel yemekleri de Türk mutfağının önemli bir parçasıdır. Gaziantep, başta tekstil, gıda, mobilya ve inşaat olmak üzere Türkiye'nin en gelişmiş sanayi bölgelerindedir.

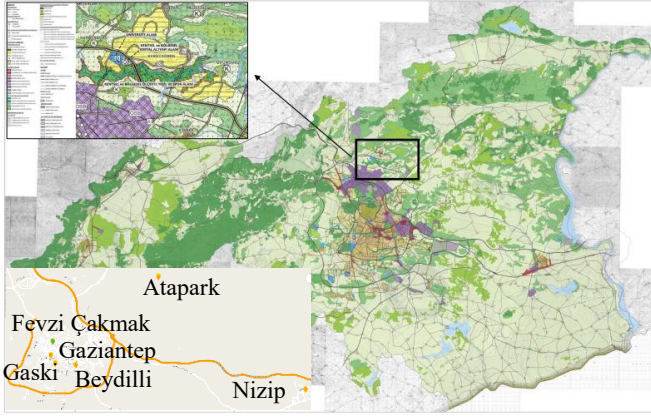
Bölge, Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında geçiş özellikleri taşır. Yazlar sıcak ve kurak geçer. Gaziantep 1940–2022 yılları arası meteorolojik ölçüm verilerine göre istatistik sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Günlük ortalama sıcaklıklar en düşük ocak ayında 3,1 °C, en yüksek temmuz ve ağustos aylarında olup 28°C'dir. Günlük ortalama sıcaklıkların yıllık ortalaması ise 15,3 °C'dir. Türkiye 1991-2020 yılları arası sıcaklık ortalaması 13,9 °C'dir. Gaziantep yıllık ortalama sıcaklığı Türkiye genelinden sadece 1,4 °C daha azdır. Günlük azami sıcaklıklar ortalaması ise haziran, temmuz (35,2 °C), ağustos ve eylül aylarında 30°C üzerinde seyretmektedir. Günlük asgari sıcaklıklar ortalaması en düşük ocak ayında olup -0,6 °C'dir. En düşük sıcaklıkla sırasıyla şubat, aralık, mart, kasım ve nisan ayı şeklinde devam etmektedir ve bu aylarda en düşük aylık sıcaklık ortalamaları 10 °C'nin altındadır. Gözlenen en uç sıcaklıklar ise en yüksek sıcaklık 44 °C ile temmuz ve en düşük -17,5 °C ocak aylarında gözlenmiştir. En fazla güneşlenme 10,6 saat ile temmuz ayında, en az güneşlenme 3,5 saat ile aralık ve ocak ayında meydana gelmektedir. Bölgenin yıllık toplam yağış miktarı 565 mm olup, en fazla yağış 103 mm ile ocak ayında, en az ise 5,4 mm ile ağustos ayında meydana gelmektedir. Bölgenin yıllık toplam yağış miktarı 565 mm olup, en fazla yağış 103 mm ile ocak ayında, en az ise 5,4 mm ile ağustos ayında meydana gelmektedir. 1991-2020 yılları arası Türkiye geneli yıllık ortalama alansal yağış miktarı 573.4 mm'dir. Gaziantep yıllık toplam yağış değerinin Türkiye geneli ortalamasına yakındır.

Tablo 1. Gaziantep uzun yıllar meteorolojik ölçüm verilerine göre istatistik sonuçlar (1940 - 2022).

GAZİANTEP	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	3,1	4,5	8,2	13	19	24	28	28	24	17	9,9	5	15,3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7,5	9,5	13,9	20	26	31	35,2	35	31	24	16	9,8	21,6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0,6	0,2	3	7,3	12	17	21,2	21	16	10	4,6	1,1	9,4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,5	4,3	5,4	6,8	8,4	10	10,6	9,9	8,7	6,9	5,3	3,5	7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13,2	11,9	12	9,9	7,1	2,1	0,53	0,5	1,5	6,1	8,4	12,1	85,2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	103	81,8	73,5	52	31	8,3	6,9	5,4	7	37	62	97,3	565
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19	24,3	28,1	34	38	40	44	43	41	36	27	25,2	44
En Düşük Sıcaklık (°C)	-17,5	-15,6	-11	-4,3	0,4	4,5	9	11	3,4	-3,9	-9,7	-15	-17,5

Çalışmada T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın sağladığı veri arşivinden 2018-2023 yılları arasında Gaziantep iline ait kirlilik verileri kullanılmıştır.

Gaziantep il sınırları içerisinde 6 hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmaktadır (Şekil 1). Gaziantep ilinde bulunan otomatik ölçüm istasyonlarından alınan PM₁₀ ve SO₂ verileri incelenmiştir. Bununla birlikte sadece merkezdeki Gaziantep ölçüm istasyonu verileri %93 oranında bulunmaktadır. Bu sebeple diğer istasyonların sadece 2022 yılı verileri değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Gaziantep şehir merkezinde 6 adet hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmaktadır (Gaziantep, 2018).

Çalışmada ERA5 (Beşinci jenerasyon Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi – ECMWF re-analiz veri seti) kullanılarak, model çıktılarındaki karışım yüksekliği, orta atmosferdeki rüzgâr hızları vb. değerler ile hava kirliliği yoğunluk değerleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır (Hersbach vd., 2020). Model çıktısının çözünürlüğü Gaziantep ilini tam temsil edemediğinden, en yakın ızgara noktası kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

3. Sonuçlar

Gaziantep merkez istasyonun 2018-2022 verileri %93 tamdır. Diğer istasyonlar daha sonraki yıllarda kurulduğu için sadece 2022 yılı temel istatistik verileri Tablo 2’de verilmiştir. Fevzi Çakmak istasyonunda 2022 yılı PM₁₀ verileri sadece %55 ölçülmüştür. SO₂ değerleri ise ölçülmemiştir. 2022 yılı istasyonların PM₁₀ ve SO₂ alt çeyrek ortalama değerleri sırasıyla Gaziantep 29 µg/m³, 8 µg/m³, Beydilli 37 µg/m³, 9 µg/m³, Fevzi Çakmak 33 µg/m³, Gaski D6 41 µg/m³, 9 µg/m³, Nizip 30 µg/m³, 8 µg/m³ ve Atapark 32 µg/m³, 8 µg/m³’dir. SO₂ tüm istasyonlarda yıllık sınır değer olan 20 µg/m³ altındadır. PM₁₀ ise Gaski D6 hariç diğer tüm istasyonlarda

yıllık sınır değer olan 40 µg/m³ altındadır. 2022 yılı istasyonların PM₁₀ ve SO₂ üst çeyrek ortalama değerleri sırasıyla Gaziantep 69 µg/m³, 11 µg/m³, Beydilli 98 µg/m³, 61 µg/m³, Fevzi Çakmak 78 µg/m³, Gaski D6 101 µg/m³, 26 µg/m³, Nizip 64 µg/m³, 22 µg/m³ ve Atapark 66 µg/m³, 26 µg/m³’dir. SO₂ Gaziantep merkez hariç diğer istasyonlarda yıllık sınır değer olan 20 µg/m³ üzerindedir. PM₁₀ ise tüm istasyonlarda yıllık sınır değer olan 40 µg/m³ üzerindedir (Tablo 2).

T.C. Çevre, Şehir ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından tüm illerde hava kalitesi ölçümleri yapılmaktadır. Hava kirliliği yoğunlukları genellikle µg/m³ olarak verilmektedir. Bu sayısal değerlerin sağlık açısından değerlendirilmesinin daha kolay olması ve halkın rahatlıkla anlayabilmesi için Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) kullanılmaktadır. HKİ genellikle belirli kirleticiler için standart değerler belirler ve bu değerler aştığında hava kalitesinin ne kadar iyi veya kötü olduğunu gösterir. HKİ, farklı renkler ile ifade edilir,

Hava kirletici yoğunluğunun insan sağlığı açısından hangi seviyelerde, hava kalitesi indeksi, olduğu ilgili bakanlığın web sitesinde yayınlanmaktadır. 0-500 arasında değişen HKİ değerleri yükseldikçe insan sağlığına zararlı hava kirliliği yoğunluğunun var olduğunu anlatmaktadır. 150’den sonra özellikle hava kirliliğine karşı hassas olan insanların hissedebileceği seviyeye ulaşır ve 24 saatlik ortalaması 150-200 olduğunda ‘sağlıksız’ olarak gösterilir. 200’den sonra ‘kötü’ ve 300’den sonra ‘tehlikeli’ olarak iki seviye daha vardır. Tehlikeli durumlarda herkes için ciddi sağlık etkileri oluşabilmektedir (Yılmaz ve ark., 2020; Kara, 2022; ÇŞB, 2023).

2022 yılı PM₁₀ verilerine göre Gaziantep merkez istasyonunda ölçümlerine göre hava kalitesi indeksi 125 gün iyi, 52 gün orta ve 18 gün hassas olmuştur. Beydilli ölçümlerine göre 77 gün iyi, 53 gün orta ve 63 gün hassas olmuştur. Fevzi Çakmak ölçümlerine göre 67 gün iyi, 57 gün orta ve 20 gün hassas olmuştur. Gaski D6 hava kalitesi istasyon verilerine göre 67 gün iyi, 76 gün orta ve 45 gün hassas olmuştur. Nizip hava kalitesi ölçüm verilerine göre 117 gün iyi, 58 gün orta, 14 gün hassas ve 1 gün sağlıksız olmuştur. Atapark hava kalitesi ölçüm verilerine göre 99 gün iyi, 31 gün orta ve 17 gün hassas olmuştur (Tablo 3).

Tablo 2. Gaziantep ilindeki hava kalitesi ölçüm istasyonları 2022 yılı saatlik verilerin temel istatistik bilgileri.

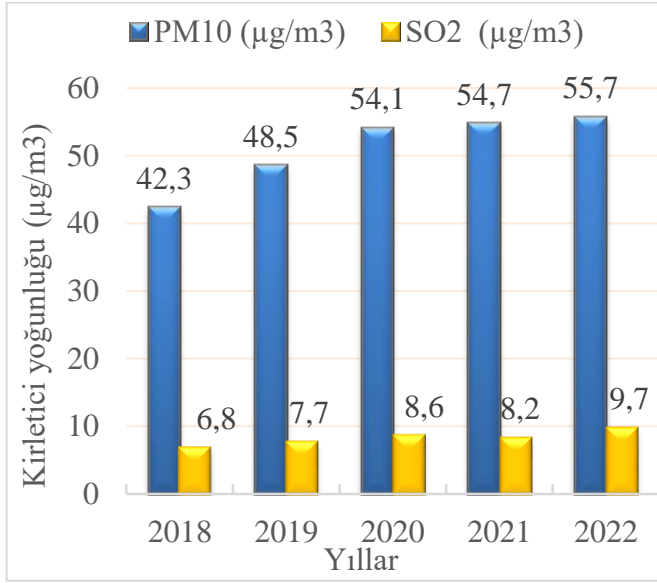
	Gaziantep		Beydilli		F. Çakmak		Gaski D6		Nizip		Atapark	
	PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	SO2	PM10	SO2
Ölçüm sayısı (saat)	8653	8728	8626	8643	4832		7526	7700	8229	8234	7543	7549
Veri yüzdesi	0,99	1,00	0,98	0,99	0,55		0,86	0,88	0,94	0,94	0,86	0,86
Alt yüzde 10 (µg/m3)	20	6	25	4	21		28	6	20	6	23	5
Alt çeyrek (µg/m3)	29	8	37	9	33		41	9	30	8	32	8
Ortanca (µg/m3)	46	10	58	27	52		62	13	45	13	46	15
Ortalama (µg/m3)	56	10	82	47	61		84	21	54	17	58	24
Üst çeyrek (µg/m3)	69	11	98	61	78		101	26	64	22	66	26
Üst yüzde 90 (µg/m3)	104	13	169	118	111		170	45	95	31	111	51

Tablo 3. Hava Kalitesi İndeksine göre hava kalitesi değerleri

İndeks	HKİ PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Gaziantep	Beydilli	Fevzi Çakmak	Gaski D6	Nizip	Atapark
İyi	0-50	125	77	67	67	117	99
Orta	51-100	52	53	57	76	58	31
Hassas	101-260	18	63	20	45	14	17
Sağlıksız	261-400	0	0	0	0	1	0

Çalışmada iki farklı kirlilik verisi incelenmiştir. Bunlardan ilki PM₁₀, bölgede 'sağlıksız' olarak adlandırılan seviyelere kadar çıkabilirken, SO₂ değerleri incelenen yıllar boyunca çok az kalmıştır. Şehir SO₂ açısından az riskli kategorisinde, PM₁₀ açısından ise hassas kişiler tarafından zaman zaman rahatsız edici olabilmektedir. Verilerin zaman serisi analizleri yapılmış, veriler yıllık, aylık, haftanın günleri ve saatlik olarak incelenmiştir. Ayrıca gözlem ve ERA5 model çıktılarıyla birlikte çoklu lineer regresyon modeli kurularak tahmin modeli çalışılmıştır (Banerjee vd., 2011).

Gaziantep merkez istasyonu kirlilik değerlerinin yıllık ortalama değerleri yıllara göre artış göstermektedir. Yıllık PM₁₀ değişimleri merkez istasyonda giderek artmıştır; 2018 yılında 42,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olan ortalaması 2022 yılında 55,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kadar değişmiştir. SO₂ değerleri ise 2018 yılında 6,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iken 2022 yılında 9,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yükselmiştir.



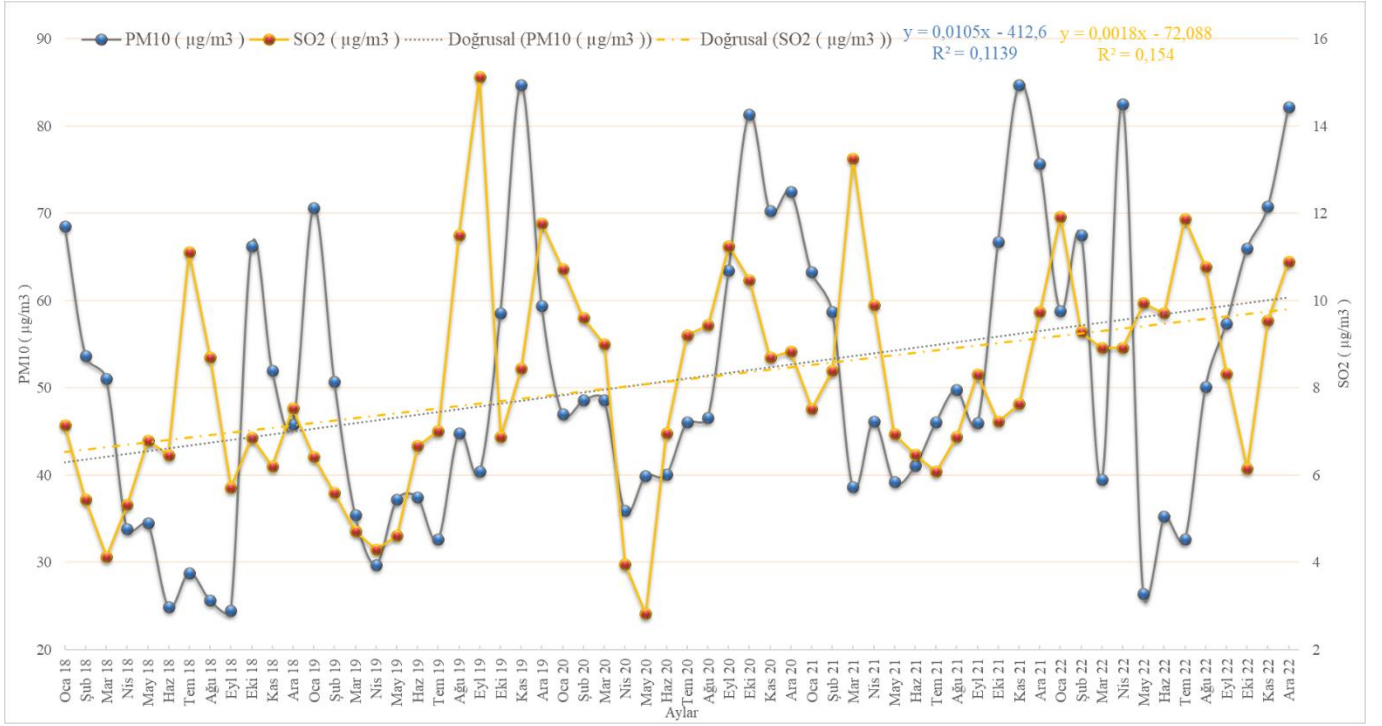
Şekil 2. Gaziantep merkez istasyonunun yıllık ortalama kirlenici yoğunluklarının değişimi

Gaziantep merkez istasyonda ölçülen PM₁₀ ve SO₂ aylık ortalama değerlerinin 2018-2022 yılları boyunca değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Kirlenici yoğunlukları aydan aya çok değişkenlik göstermektedir. Hem PM₁₀ hem de SO₂ aylık ortalama değerleri artış eğilimi göstermiştir.

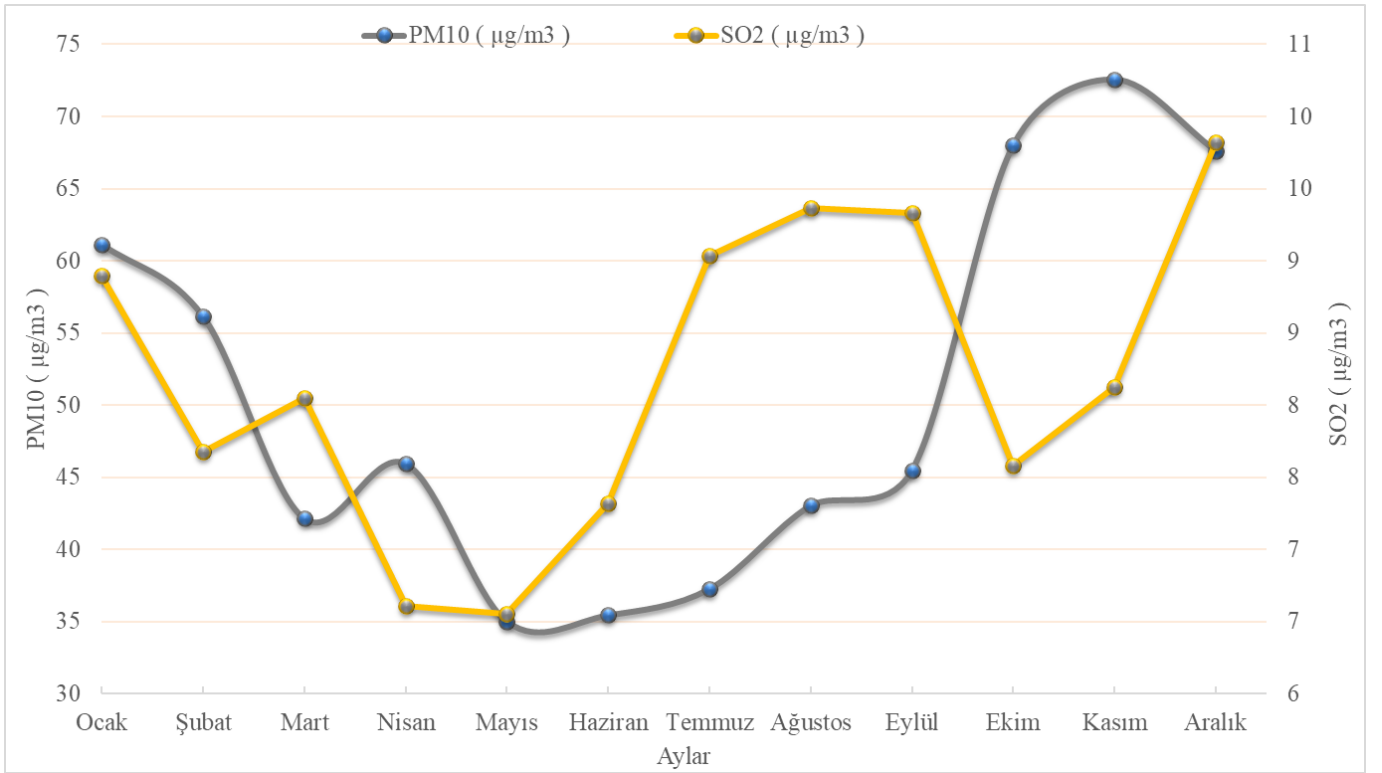
Gaziantep merkez istasyonu 2018-2022 yılları arası verilerin aylara göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir. SO₂ ekim, kasım verileri dikkate alınmadığında 5 yıllık veriye göre kirlenici yoğunluğu en fazla kasım ayında meydana gelmektedir. Kirlenici yoğunluğu mayıs ayına kadar azalmakta ve sonrasında artışa geçmektedir.

Gaziantep merkez istasyonunda hava kirliliği yoğunluğunun günlere göre değişimi Şekil 5'te verilmiştir. SO₂ yoğunlukları günler arasında 8,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 8,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında yani önemli bir değişiklik göstermemektedir. PM₁₀ değerleri en yüksek yoğunluğa Pazartesi günleri ulaşmakta, sonrasında cumartesi gününe kadar yoğunluklar azalmakta ve Pazar günü tekrar artmaktadır.

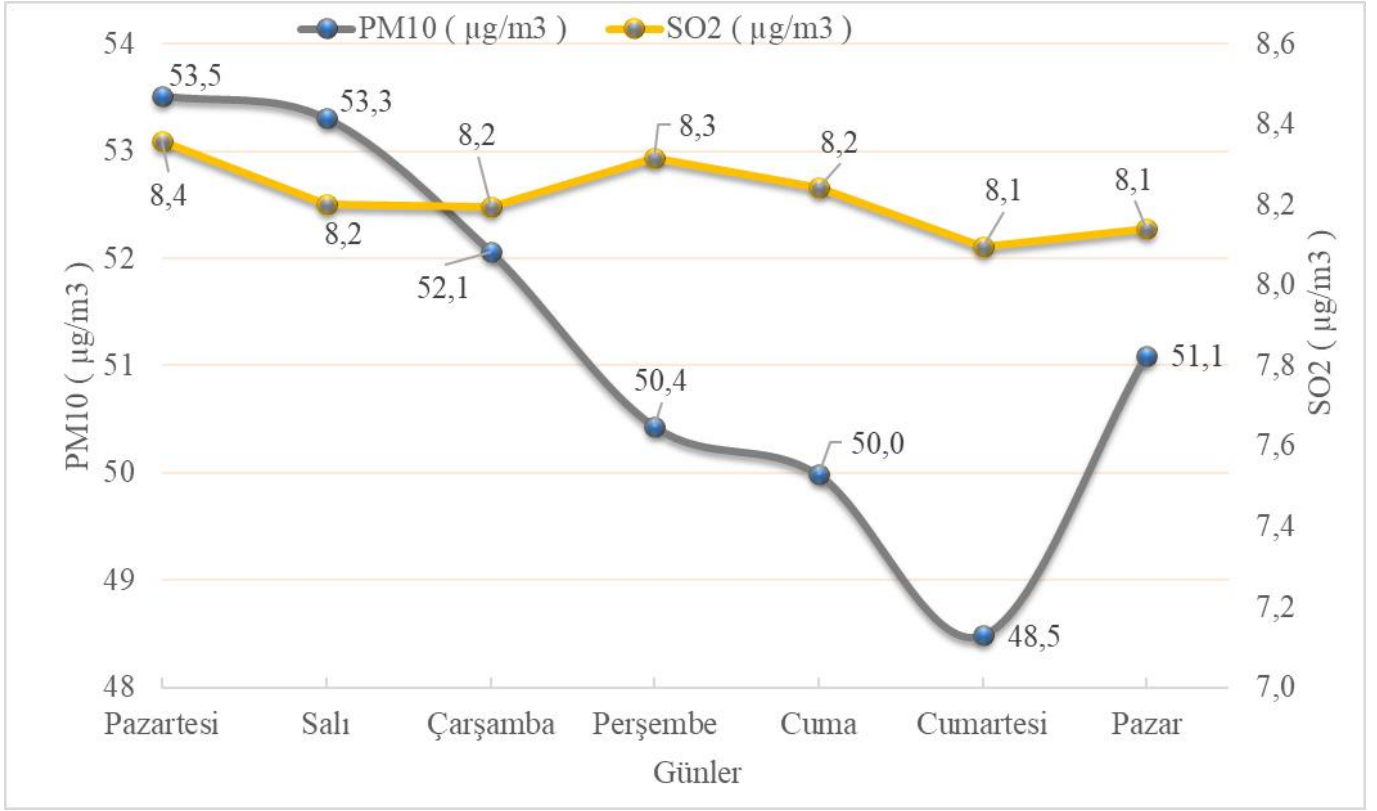
Gaziantep merkez istasyonu hava kalitesi ölçüm istasyonu 2018-2022 yılı arasındaki saatlik ölçüm verilerine göre gün içindeki kirlenici yoğunluğunun değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Gün içerisinde kirlenici yoğunlukları sabah 06 sularında en düşük değerine ulaşmaktadır. İnsan faaliyetleri ile birlikte hızla yoğunlukları artarak sabah 10 civarında sabah saatleri en yüksek değerine ulaşmaktadır. Sabah 10'dan itibaren kirlenici yoğunlukları düşmekte ve 17 civarında öğleden sonraki en düşük değerlerine ulaşmaktadır. Saat 17'den sonra hızla yükselen kirlenici değerleri akşam 21 civarında en yüksek yoğunluğuna ulaşmakta ve sonrasında tekrar düşüş eğilimi başlamaktadır.



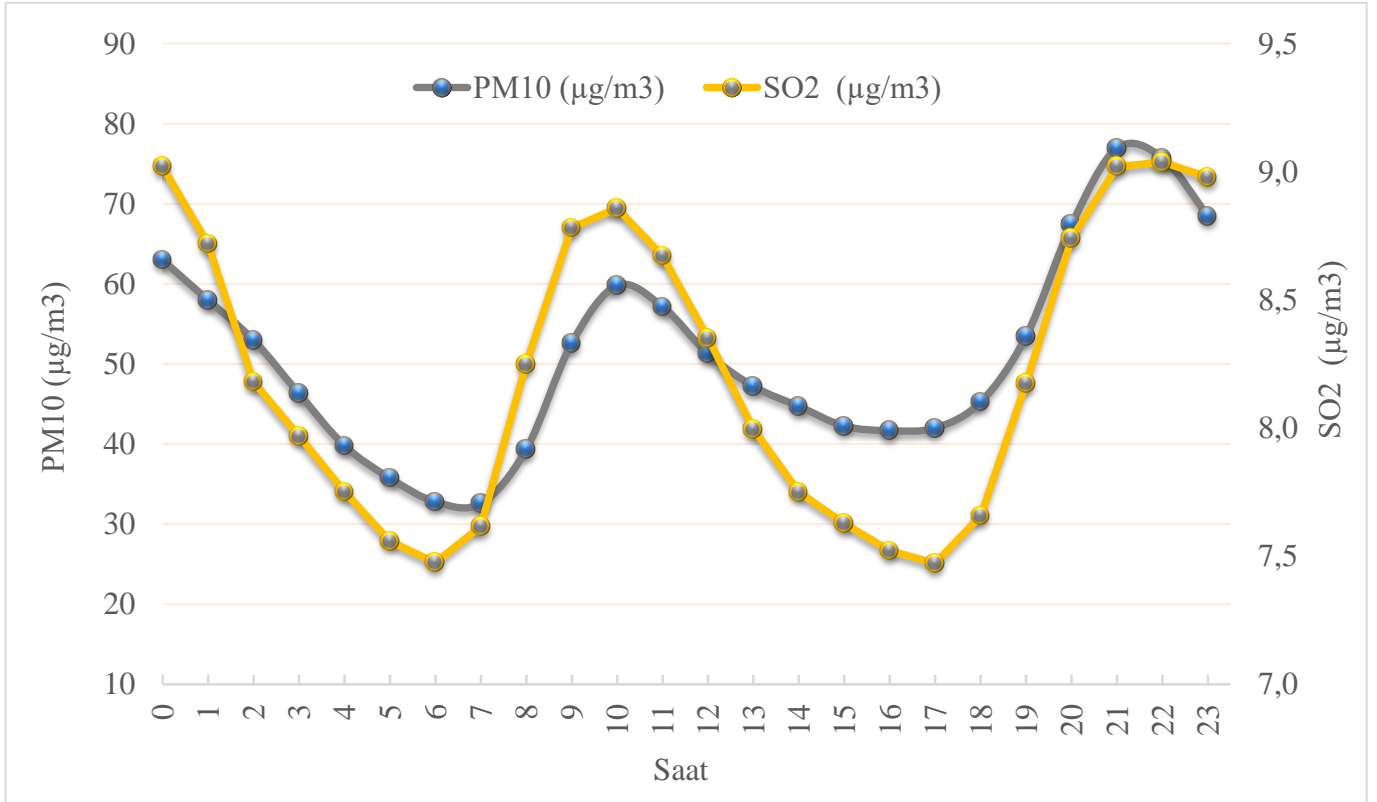
Şekil 3. Gaziantep merkez istasyon aylık ortalama değerlerinin 5 yıl boyunca değişimi



Şekil 4. Gaziantep merkez istasyonu 2018-2022 yılları arası verilerin aylara göre değişimi



Şekil 5. Gaziantep merkez istasyonunda hava kirliliği yoğunluğunun günlere göre değişimi.



Şekil 6. Gaziantep merkez istasyonu hava kalitesi ölçüm istasyonu 2018-2022 yılı arasındaki saatlik ölçüm verilerine göre gün içindeki kirlenici yoğunluğunun değişimi

4. Değerlendirme ve Öneriler

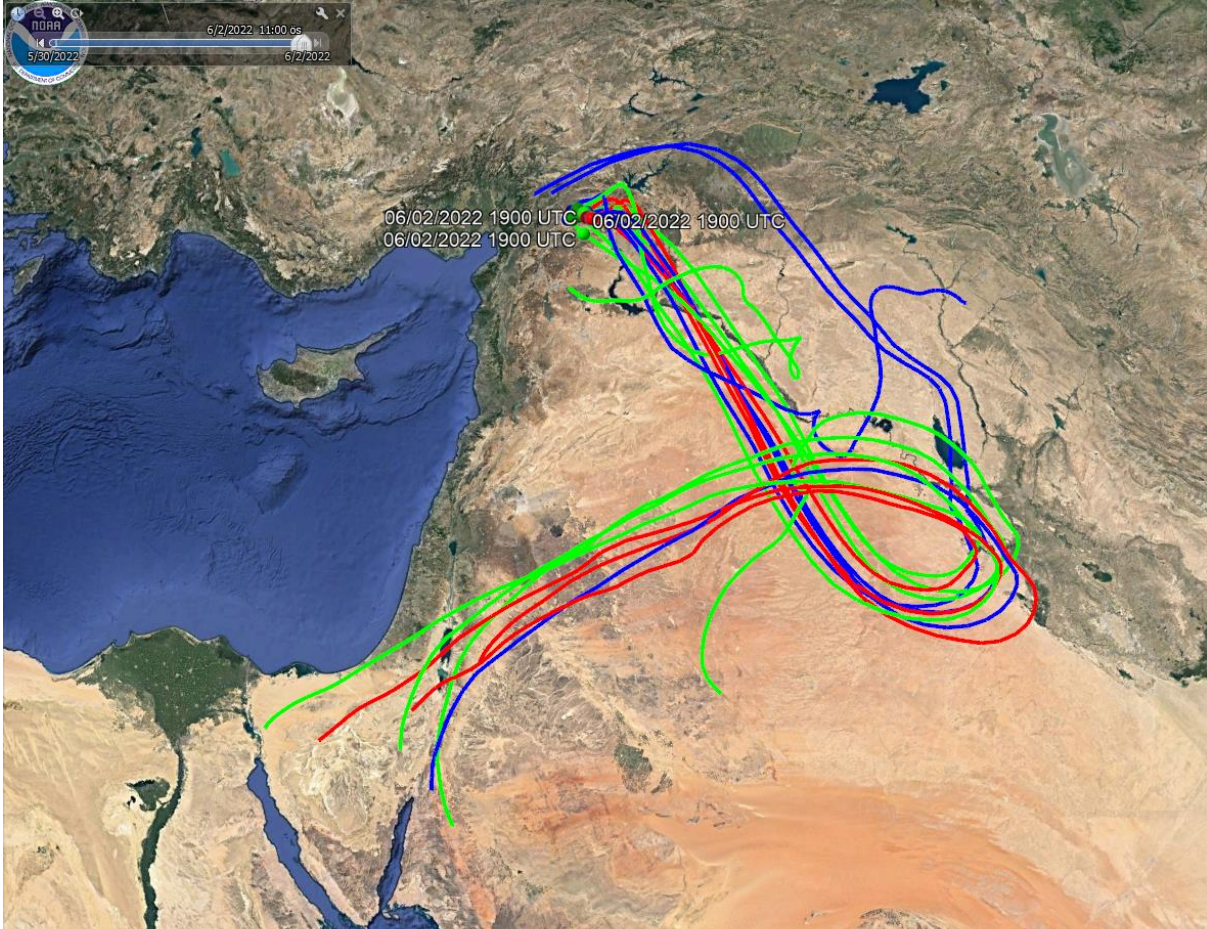
Orta enlem kuşağında bulunan Gaziantep’de yaz ve kış aylarındaki ortalama yüzey basınçlarındaki değişim 10 mb

fark etmektedir. Bölge güneyinde bulunan geniş çöl sahasından gelen toz taşınımına açıktır. Hava sıcaklığın artmasına bağlı olarak ısınma kaynaklı kirlenici salınımı azalmaktadır. Yaz aylarında havaların ısınması sonucu oluşan

rüzgârla birlikte yerdeki havanın yükselici hareketleri sonucunda kış aylarına göre daha az kirlilik değerleri ölçülmüştür. PM₁₀ verileri altıncı ayda en düşük ve on birinci ayda en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. SO₂ verileri genellikle düşük yoğunlukta seyrettiğinden düzenli bir salınım göstermemektedir. PM₁₀ verileriyle en yüksek korelasyonu, ters olacak şekilde, rüzgâr hızı göstermektedir. Altıncı ayda en yüksek rüzgâr hızları ölçülürken, on birinci ayda en düşük rüzgâr hızları ölçülmektedir. SO₂ ekim, kasım verileri dikkate alınmadığında kirletici yoğunluğu en fazla kasım ayında meydana gelmektedir.

Günlük salınımlar saatlik ortalamalar olarak ele alınmıştır. Her iki kirlilik değeri de gün içerisinde benzer salınımlar gerçekleştirmektedir. Kirliliğin en yüksek olduğu vakitler 10:00 ve 21:00 saatleridir. 22:00'den sonra da sabaha kadar kirlilik değerleri azalarak 06:00'da gün içerisindeki en düşük değerlerine ulaşmaktadır. Gün içerisindeki salınımla uyumlu meteorolojik değer basınçtır. Gün içerisinde basınç değerleri ilde öğlen en yüksek seviyelerinde çıkmaktadır. Sabah ve akşam vakitlerinde ise en düşük basınç ortalamasına sahiptir. Yıllık dağılımdaysa yaz aylarındaki alçak basınç değerleri düşük kirlilik değerleriyle ters orantılı olmaktadır. Tam tersi şeklinde, kış aylarında soğuk havanın daha güneye inmesiyle birlikte daha yüksek basınç ortalamasına sahip olan ilde kirlilik artmaktadır. Yıl boyunca sabah erken saatlerdeki minimum değerleri birbirine yakınken, soğuk mevsimlerde gün içerisindeki kirlilik değerlerinin üst sınırı artmaktadır.

Hâkim rüzgâr iki ana yönden esmektedir. Bunlardan ilki, kirletici kaynaklarının da bulunduğu kuzeyli rüzgârlardır. Diğeri ise Akdeniz üzerinden gelen akışların oluşturduğu güney batılı rüzgârlardır. Sadece kuzeyli (0°±45°) rüzgârların estiği vakitlerdeki PM₁₀ verilerinin ortalaması 55 µg/m³ iken, güney batılı (235°±45°) rüzgârlarda bu değer 42.9 µg/m³'e düşmüştür. Yağışın olmadığı ve rüzgâr hızlarının 0,2 m/s'nin altına olduğu durumlardaki PM₁₀ ortalaması 74.5 µg/m³ ve bu şartların olmadığı durumlarda 47.7 µg/m³'tür. Korshover ve Angell (1982)'nin çalışmasında havanın durgunluğu için kullanılan 4 m/s değeri hafif rüzgârı temsil etmektedir. Bu çalışmada hava durgunluğu hesaplanırken esinti (1,5 m/s) ve altı dikkate alınmıştır. Havanın durgun ve yağışın hiç olmadığı 3 gün üst üste ve daha üzeri 28 hadise belirlenmiştir. Bu hadiselerin PM₁₀ ortalamaları 66 µg/m³ olup ülkenin limit seviyesi olan 70 µg/m³'ün altındadır. En uzun süreli hadise 316 saat sürmüştür ve tüm hadiselerin ortalaması 100 saattir. Havanın durgun olduğu vakitler genellikle kış aylarında oluşmaktadır. Üçüncü tehlikeli hadise için NOAA'nın HYSPLIT model uygulaması kullanılarak 3 gün geriye doğru toz taşınımı gösterilmiştir (Şekil 7). Çoklu model çıktılarında göre tozların bölgenin güneydeki bir alçak basınç merkeziyle bağlantılı olarak, Orta Doğu'daki çöllerden gelmiş olduğu tahmin edilmektedir. Bahar aylarında çöldeki tozların yükselici hareketler yaparak bölgeye taşınması olağan bir durum olarak görülebilir (Stein vd., 2015; Rolph vd., 2017).



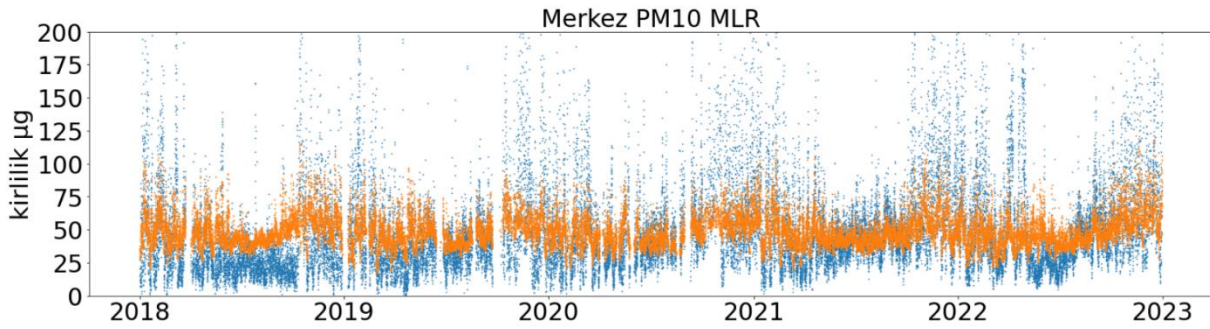
Şekil 7. NOAA Hysplit çoklu model zamanda 3 gün geriye doğru yörünge analiz çıktıları.

ERA5 model çıktıları ve Gaziantep otomatik hava istasyonundan alınan veriler birleştirilerek kullanılarak çoklu lineer regresyon modeli kurulmuştur. Model içerisinde ERA5 modelinden sınır tabakası dağılımı, kanal yüksekliği (duct height) ve 500 hPa rüzgâr hızı ve gözlem verilerinden sıcaklık, basınç, nem, rüzgâr hızı ve yönü kullanılmıştır. Veriler öncelikle normal dağılıma uygun hale getirilerek regresyon modeli için hazırlanmıştır. Modeli eğitmek için 30.000 veri alınmış ve veri setinin son 300 verisi test için saklanmıştır. Model çıktıları yaz ve kış aylarındaki ayrımı, yaz aylarının ortalamasını düşük kış aylarının ortalamasını yüksek ve kış aylarındaki verinin dalga yüksekliğini fazla tutarak doğru bir şekilde yansıtabilmiştir. Model çıktısının ve gözlem verisinin

ortalaması aynıdır. Buna karşılık model, gözlem verisindeki kadar kış aylarında yüksek tahmin yapamadığı için genel olarak gözlem verisinden daha yüksek çıktılar üretmiştir. Özellikle dalga yüksekliğinin yaz aylarında bu fark belli olmaktadır. Model verileri gözlem verileri kadar ekstrem değerler üretmemektedir. Buna rağmen modelin kendi ekstrem değerleri, kirliliğin yüksek olacağına dair bir uyarı mekanizması oluşturabilir. Modelin tüm saatlerinin Pearson korelasyonu 0.33 iken, son 300 saatin korelasyonu 0.32 çıkmıştır.

Tablo 4. Çoklu Lineer Regresyon Modeli'nde kullanılan parametrelerin PM10 verileriyle olan Pearson korelasyon değerleri.

	Sıcaklık	Basınç	Nem	Rüzgâr hızı	6 saatlik basınç değişimi	Sınır tabakası dağılımı (J/m ²)	Sınır tabakası yüksekliği (m)	Kanal yüksekliği (duct height - m)	500 hPa rüzgâr hızı
Pearson korelasyon	-0.1	0.3	0.1	-0.24	0.05	-0.07	-0.18	-0.07	-0.12



Şekil 8. Çoklu Lineer Regresyon (MLR) turuncu ile ve merkez istasyon PM10 gözlem verileri mavi renk ile gösterilmiştir.

Gaziantep ili özelinde merkez istasyondan alınan 2018-2022 yılları arasındaki 5 yıllık SO₂ ve PM₁₀ verileri incelenmiştir. En önemli bulgular;

- Kasım ayı en yüksek olacak şekilde, soğuk mevsimlerde kirlilik seviyelerinin yüksek olduğu bulunmuştur. Yıllara göre kirlilik seviyelerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Şehirdeki farklı istasyonlardan alınan kısıtlı süreli verilerde, kuzeydeki istasyonların güneydekilere göre ortalama PM₁₀ kirlilik değeri daha az çıkmaktadır.
- Orta enlem kuşağında yer alan Gaziantep ili için basınç sistemlerinin değişmesinden kaynaklı olarak, soğuk mevsimlerdeki yüksek basınç ile kirlilik arasında doğru orantı bulunmaktadır. Yaz

aylarında güneyden daha sıcak havanın bölgeye gelmesiyle konveksiyon hareketlerine bağlı olarak kirliliğin azaldığı görülmüştür.

- Durgun hava şartlarında ölçülen PM₁₀ kirlilik değerlerinin ortalaması Türkiye için belirlenen 70 µg/m³ değerine çok yakındır.
- PM₁₀ ve SO₂ değerleri, ülkenin koyduğu sınır değerler açısından incelenmiştir. SO₂ değerleri çoğu zaman sağlıklı bölgede kalmıştır. PM₁₀ değerleri 5 yıllık sürede 3 kez 'sağlıksız' olarak değerlendirilen seviyeye çıkmıştır. Bu artışlar, kış aylarında artan kirlilik ile bağlantılı değildir.

- Çoklu lineer regresyon modeli kurularak kirlilik değerleri farklı parametrelerce açıklanmaya çalışılmıştır (Şekil 8). Modeli yaz ve kış aylarında gözlem verilerine benzer salınım yapmış fakat azami değerleri açıklamaya yetmemiştir. Modelin kendi ekstrem değerleri gözlem verileriyle uyuşmasa da 0,3 Pearson korelasyon değeriyle bazı ekstrem gözlem olayları için yardımcı bir kaynak olarak kullanılabilir (Tablo 4).

İldeki kirliliğin anlaşılması için giriş niteliğinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışmadan çıkan sonuçlarda SO₂ için herhangi bir tehlikenin olmadığı söylenebilir. PM₁₀ değerleri soğuk mevsimlerde ‘hassas’ olarak belirlenen seviyelere çıkmaktadır. Bu da alerji gibi sağlık konusunda hassas insanların sağlıklarını olumsuz yönde etkilemektedir. Değerler özellikle kasım ayında ortalama olarak en yüksek değere sahip olsa da yılın herhangi bir vaktinde yüksek kirlenici değerleri görülebilmektedir.

Kaynaklar

- Aslanoğlu, S. Y., Proestakis, E., Gkikas, A., Güllü, G., & Amiridis, V. (2022). Dust climatology of Turkey as a part of the Eastern Mediterranean Basin via 9-year CALIPSO-derived product. *Atmosphere*, 13(5), 733.
- Aydınöz, E. (2015). Şanlıurfa Hava Kirliliğinin Çumere Modeli İle İncelenmesi (YL tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Banerjee, T., Singh, S. B., & Srivastava, R. K. (2011). Development and performance evaluation of statistical models correlating air pollutants and meteorological variables at Pantnagar, India. *Atmospheric Research*, 99(3-4), 505-517.
- Busra, O., Ipek, C., Rahan, O., Umur, D., Yigitalp, K., Zeynep, F. U., ... & Aydın, U. (2021). Evaluation of Istanbul Air Pollution in Combating COVID-19. *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*, (1-3), 91-101.
- ÇŞB, (2023). T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. sim.csm.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20 (erişim tarihi 20 Mayıs 2023).
- Eagleman, J. R. (1991). Air pollution meteorology.
- Gaziantep ÇED. (2021). Gaziantep İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu. T.C. Gaziantep Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü.
- Gaziantep, (2018). Uygulama İmar Planı Raporu <https://www.gaziantep.bel.tr/uploads/2020/07/5058.pdf>, (erişim tarihi 11 Mayıs 2023)
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.
- Kara, Y., Çivici, M., Kartum, U., & Flores, R. M. (2021). General Assessment of PM₁₀ and SO₂ in Ağrı City Centre. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci*, 34(1), 38-49.
- Kara, Y., Toros, H., Dursun, Ş., & Karan, H. (2022). Changes in Air Pollution During the COVID-19 in Türkiye.
- Korshover, J., & Angell, J. K. (1982). A review of air-stagnation cases in the eastern United States during 1981—Annual summary. *Monthly Weather Review*, 110(10), 1515-1518.
- MGM (2023). İklim Sınıflandırması Gaziantep. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=GAZIANTEP'den alınmıştır. (erişim tarihi 13 Mayıs 2023)
- Ozdemir, H., Mertoglu, B., Demir, G., Deniz, A., & Toros, H. (2012). Case study of PM pollution in playgrounds in Istanbul. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 553-562.
- Özkayalar, E., Dursun, S., & Toros, H. (2020). Investigation of Air Pollution in Bursa City Centre.
- Rolph, G., Stein, A., and Stunder, B., (2017). Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. *Environmental Modelling & Software*, 95, 210-228, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025>.
- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.
- Toros, H., & Bağış, S. (2017). Hava kirlilik modellerinde kullanılacak emisyon envanteri oluşturulması için yaklaşımlar ve İstanbul hava kirliliği dağılımı örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 1-12.
- Toros, H., Bağış, S., & Gemici, Z. (2018). Ankara'da hava kirliliği mekânsal dağılımının modellenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1), 20-53.
- Tunç, D. Ç., Dündar, E., İpek, E. A., Toros, H., & Ulubey, A. (2022). Evaluation of Air Quality in Eskisehir.
- Unal, Y. S., Toros, H., Deniz, A., & Incecik, S. (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM₁₀ concentrations in Istanbul metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5504-5513.
- WHO, (2023). Air Pollution, Health Topics. who.int/health-topics/air.
- Yılmaz, M., Kara, Y., Çulpan, H. C., Can, G., & Toros, H., (2023). Detection and regional analysis of heatwave characteristics in İstanbul. *Sustainable Cities and Society*, vol.97.
- Yılmaz, M., Beba, H. E., Umur, D. İ. N. Ç., Ünal, Z. F., Toros, H., & Öztürk, Z. (2020). Dilovası Hava Kalitesinin Ulusal Mevzuata Göre Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 703-714.
- Zeynep, F. U., Yigitalp, K., Umur, D., Rahan, O., Ipek, C., Busra, O., ... & Aydın, U. (2021). Lockdown effects on air pollution with meteorological conditions in Istanbul. *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*, (1-3), 77-90.

How much do we know about climate change?

Rahan Öztürk¹, Hüseyin Toros¹, Aytekin Cokelmez²

¹Aeronautics and Astronautics, Meteorological Engineering, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye, ozturkra@itu.edu.tr, toros@itu.edu.tr

²Science and Letters, Humanities and Social Sciences, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye, cokelmez@itu.edu.tr

Abstract

Climate change is a large-scale event that threatens the entire world. There are many misconceptions regarding climate change globally, and Türkiye is no exception. Understanding the causes and expanding our knowledge is necessary to minimize the damage. Intergovernmental Panel on Climate Change releases new reports on climate change every five years. Some scientific findings could change the current understanding; therefore, people must be informed of discoveries. To understand what is well understood or missing, it is necessary to survey people occasionally. Thus, a survey titled "How well do we know climate change?" was conducted at Istanbul Technical University Vocational and Technical Anatolian High School, which accepts students from all over Türkiye. Results reveal that some misconceptions still need to be addressed among students. Environmental problems such as air pollution and the hole in the ozone layer are still confused with climate change. Students need to gain knowledge of Earth Sciences. While the general issues are well understood, more extensive information on several subjects can be introduced. Also, a lack of knowledge of the governmental process could lead to losing students' faith in the subject.

Keywords: Education, Climate Change, Survey.

1. Introduction

The intricate concepts involved in climate change can make it challenging for the public to comprehend (Pruneau et al., 2001). While the primary concern is the rising levels of carbon dioxide, the impact of this gas is only sometimes visible and requires a deeper understanding. This often leaves individuals needing more scientific knowledge to figure out how to respond. An improved understanding of Earth sciences is crucial in correcting common misconceptions about climate change. This study examines the impact of these misconceptions on high school students (Deniz et al., 2011).

Water availability and quality are among the main growing concerns that are expected to raise serious questions about the sustainability of the Mediterranean region, especially under the current impacts of climate change (Toros, 2012). Climate change is a complex issue in Türkiye due to its varying effects on different regions. Sen et al. (2012) have predicted that rainfall patterns will change differently in two parts of the country, highlighting this variability. While the impact may differ depending on location and other factors, some believe it will be similar across all regions (Evrin et al., 2017; Toros et al., 2017; Abbasnia and Toros, (2019).

The growing interest in urbanization's impact on local climate change has led to a significant increase in detailed studies and research in this field, particularly in developed countries. Urbanization refers to the process of population migration from rural to urban areas, leading to the growth and expansion of cities and towns. The impact of climate change extends to various aspects of our environment, including the surface, oceans, and inhabitants. One particular example is the anchovy, a highly sought-after fish in Türkiye with an estimated catch of around 160,000 tons in 2019. Due to warming temperatures, these fish are predicted to migrate towards colder waters from the southern region of the Black Sea. This shift in their habitat may result in a decline in yield

during fishing and breeding activities (Tayanç and Toros, 1997; Sağlam et al., 2008; TOB, 2019; Abbasnia and Toros, 2020).

Climate change is a crucial topic that continuously produces new discoveries and concepts. However, openly discussed studies can sometimes lead to unknowns that are unprecedented. Climate change is a subject that needs to be understood by the public to reduce its consequences. It requires frequent surveys to discover weaknesses and faults in the current information. In a study by Celiker and Aksan (2011), several misconceptions were found in teacher candidates interviewed about climate change's causes and consequences. Another similar study on teacher candidates revealed a significant need for more knowledge on establishing and explaining the link between carbon and energy. Teacher candidates in this experiment needed to learn the importance of carbon and the carbon cycle in relation to climate change. Additionally, some teacher candidates did not know that fossil fuels were releasing carbon. Some of the answers given during the survey held false information and glaring misconceptions. For instance, one answer proposed that the sun's rays penetrate the hole in the ozone layer, which warms the Earth and causes global warming.

According to Dove's research (1996), only 50% of teacher candidates gave correct responses about the causes of extreme rain and flood events. Additionally, there seems to be a misconception regarding transportation emissions and their impact on the ozone layer. Many people believe that the hole in the ozone layer is responsible for global warming, which in turn causes skin cancer. This belief is based on the assumption that the sun's rays pass through the hole more easily. Papadimitriou notes that many teachers consider climate change a real threat, citing their personal experiences as evidence. Approximately half of the teachers surveyed identified floods, droughts, and extreme temperatures as consequences of climate change. However, their responses

were likely influenced by the survey being conducted on a hot day, and information about rising temperatures was displayed on television. Teachers also tend to view the ozone hole as the primary cause of global warming, and there appears to be a misconception about greenhouse gases other than carbon dioxide.

Teachers correctly identified reducing energy consumption and planting trees as effective ways to combat climate change. However, this is not necessarily due to their scientific understanding of climate change, but rather their awareness of the importance of protecting the environment. Fortner's (2001) highlights how increased environmental consciousness can have a positive impact on climate change education. The focus on emotions and myths, as well as event-oriented narratives rather than general knowledge, and political distractions can sometimes overshadow the scientific explanations and cause-and-effect relationships.

From the studies discussed, it is evident that both educators and students require a deeper understanding of the science behind climate change. Boyes and Stanisstreet's (1998) research revealed that many respondents mistakenly believed that the greenhouse effect and the ozone layer were the same. This misinformation can lead to incomplete or inaccurate information being conveyed from teachers to students, ultimately resulting in a lack of understanding about the science of climate change.

Studies conducted in communities have also yielded similar findings. It can be challenging to provide a sufficient explanation for the reasons behind climate change, and it is frequently mistaken for air pollution. Additionally, only a small percentage of people can accurately explain the relationship between long and short-wavelength radiation and global warming, and the effects of greenhouse gases. According to Whitmarsh (2009) the public has a lesser understanding of climate change as compared to global warming. Furthermore, global warming is often associated with the depletion of the ozone layer and is believed to be caused by human activities.

On the other hand, climate change is more recognized as a natural process. That is why topics like planting trees in society have been seen as an attitude toward addressing global warming, not climate change. Another ambiguity is that people have established a close link between air pollution and global warming. Papadimitriou (2004) claimed that the link between air pollution and climate change is associated with environmental destruction. Radioactive waste, sprays, and acid rains, considered causes of environmental destruction, are also seen as a cause of climate change rather than a symptom. Any severe event that pollutes the environment and leads to its destruction could be linked to climate change. Consequently, the link generates various new confusions.

2. Materials and Methods

The survey was conducted on 87 students between the ages of 13 and 17 studying at the vocational and technical high school that accepts students from all over the country. When the survey was conducted, the total school population was 150, and answers given by 11 people were not considered as they were non-usable. The survey was completed online via Google surveys, and the questions were selected to understand whether the ambiguities discussed in the introduction part still existed. The main ambiguities are listed below.

- An inability to fully understand the science of climate change and the confusion of incorrect predictions or lack of knowledge.
- Misunderstanding of the cause of global warming and confusion with different environmental problems.
- Thinking that only protecting the environment would prevent climate change.

3. Results and Discussion

Initially, several misconceptions that were mentioned in the introduction are still prevalent. While students have a basic understanding of climate change, they struggle to answer more intricate questions on the topic. The concepts of energy conservation and renewable energy are relatively more familiar, but there remains confusion regarding the ozone hole and the correlation between air pollution and climate change. A student, for instance, suggested that a "very large solar panel" could be employed to tackle climate change.

When asked about personal actions to address global environmental issues, students mentioned participating in training and projects such as supplementary education, waste awareness (Figure 1), planting trees, and actions related to recycling and savings. Surprisingly, transportation was the least mentioned issue. However, students showed awareness of waste reduction, highlighting actions such as turning off the water when brushing their teeth and consciously choosing to consume less. Renewable and sustainable natural resources were the most frequently mentioned adaptation (44.8%), followed by environmental measures like installing filters to factory chimneys and planting trees (31%) (Figure 2). Students named TUBITAK and TEMA as environmental institutions they participated in, with TEMA (30%), Greenpeace (25.6%), and WWF (17.8%) being the most well-known environmental organizations (Figure 3). Students also supported education and projects of environmental organizations (17.2%). However, only a small number of students (6.9%) mentioned international conventions related to climate change. When asked about Türkiye's decisions against climate change, only a few students were able to answer the question, with some referring to the Kyoto Protocol and the ministries' strategies. Overall, the results suggest that environmental issues are not sufficiently discussed in schools or media (Figure 5, Figure 5).

What measures you took to prevent global environmental problems?

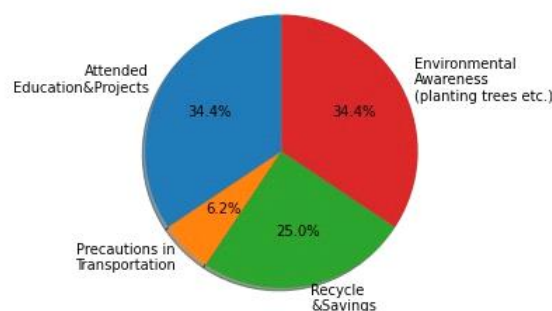


Figure 1. What measures you took to prevent global environmental problems?

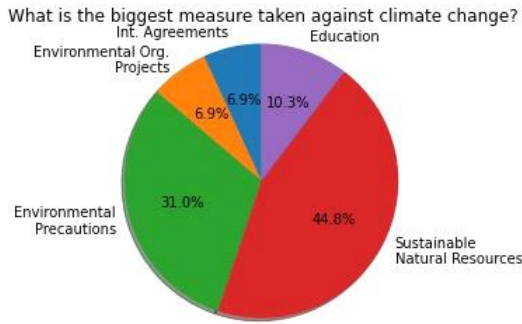


Figure 2. What is the biggest taken against climate change?

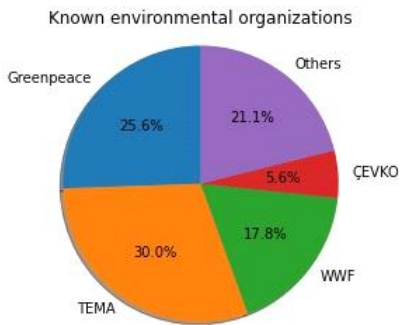


Figure 3. Known environmental organizations.

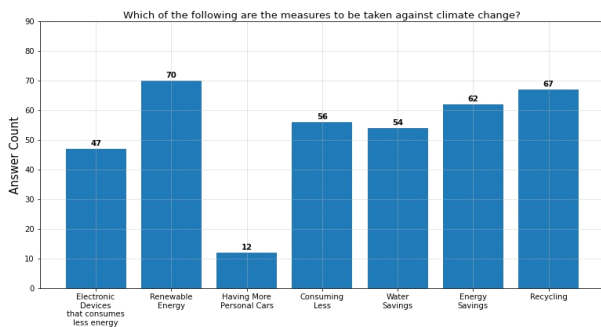


Figure 4. Which of the followings are the measures to be taken against climate change?

Do you know the decisions Turkey has taken against climate change?

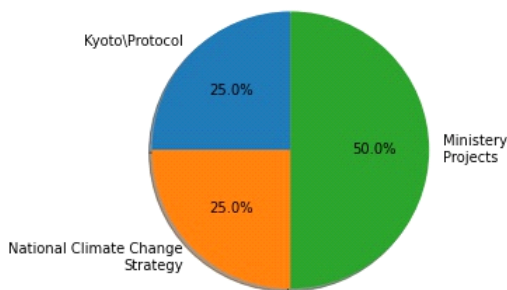


Figure 5. Do you know the decisions Türkiye has taken against climate change?

When asked about greenhouse gases, students most commonly identified carbon dioxide (35.4%), methane (26.3%), ozone (8.1%), and water vapor (5.1%). This suggests

that they have a good understanding of the topic. However, some students admitted to not memorizing the names, and a small percentage (7.1%) may have listed components from their recent chemistry lesson.

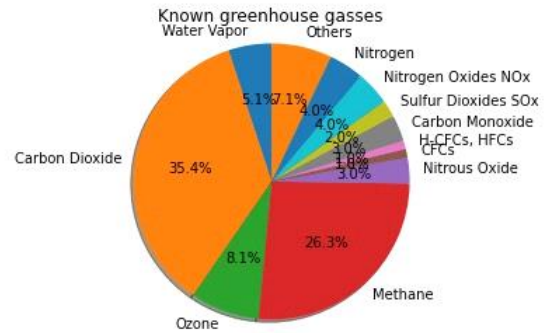


Figure 6. Known greenhouse gasses.

It appears that more students are familiar with the term "global warming" than "global climate change". Two separate questions were asked to determine if the terms were interchangeable: "Are global warming and climate change the same term?" and "Do global warming and climate change mean the same thing?". The results showed that most students did not view these terms as identical, but interestingly, using "global warming" instead of "climate change" did not make a significant difference. As "global warming" is more commonly used, students did not see any issue with using it instead of "global climate change". However, it is essential to note that these terms have distinct meanings.

Many students are aware of climate change's impact on humans and animals and are willing to take responsibility. Some students have even demanded action from state and factory authorities; some are ready to fight climate change without institutional support while acknowledging the importance of involving them.

Carbon dioxide is often cited as a contributing factor to climate change. However, there is a lack of understanding about its origins and effects and the differences between long-wave and short-wave radiations. Additionally, many students are unaware of the projected increase in temperature at the end of the century. Some were uncertain, while others estimated a 10°C temperature rise.

Most people have a good understanding of the fundamental reasons behind climate change. For instance, when it comes to population growth, consumption patterns, and energy waste, the vast majority of students acknowledge that these factors are contributing to the acceleration of climate change. However, climate change's scientific causes and effects have yet to be widely understood. Due to their prior exposure, students tend to focus on concepts like endangered species, water scarcity, and severe weather conditions, or they believe that no effective measures have been taken to combat global warming.

Türkiye has signed many international agreements, but students seem unaware of these issues. Some believe that Türkiye is not doing enough to combat climate change, possibly due to a lack of media coverage of the actions taken by the Turkish government. Many people think that environmental organizations are helpful, but there is still some skepticism about their effectiveness.

It is common to think of environmental problems as a single issue, leading to confusion and misunderstandings. For instance, ozone layer depletion and air pollution are often incorrectly identified as the primary causes of global warming. The data support this consistent error in perception. In reality, ozone layer depletion and air pollution are significant components of climate change, but carbon dioxide emissions are also major factors. Other environmental issues, such as acid rain, are often wrongly attributed to climate change due to the tendency to view it as a catch-all environmental problem.

Based on the survey results, students have a good understanding of some basic information regarding climate change. They acknowledge that this situation would significantly impact animals and recognize that climate change is already occurring. Additionally, it is apparent that Türkiye would be negatively affected by climate change and that there would be an increase in floods and droughts. However, students may need a firmer grasp of the global mean surface air temperature, as numerical expressions in scientific content can be more challenging to remember than qualitative environmental problems.

Many students have an incomplete understanding of scientific concepts related to climate change. Most students indicated that they were familiar with greenhouse gases and their impact. This was evident from their responses of "strongly disagree" or "disagree" to the statement that "greenhouse gases cool the world." While climate change is often viewed as an environmental issue, several misconceptions surround it. For instance, a significant number of students identified "plastic waste" and "nuclear waste" as causes of climate change (Figure 7).

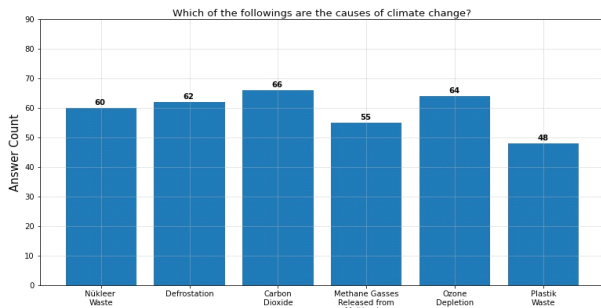


Figure 7. Which of the followings are the causes of climate change?

There needs to be more in understanding the causes and consequences of climate change, specifically in the link between energy consumption and climate change. While energy consumption appears to be a well-known subject among students, only half consider buying products based on their electricity efficiency, such as light bulbs and white goods. Terms like "carbon dioxide footprint" are not fully understood. However, most students chose energy saving as an action against climate change. Switching to renewable energy is the most preferred measure, and students showed less interest in consuming and saving water than recycling. The effects of climate change on sea animals are not well-known by students, likely due to them not being given as much importance as surface animals (Figure 8).

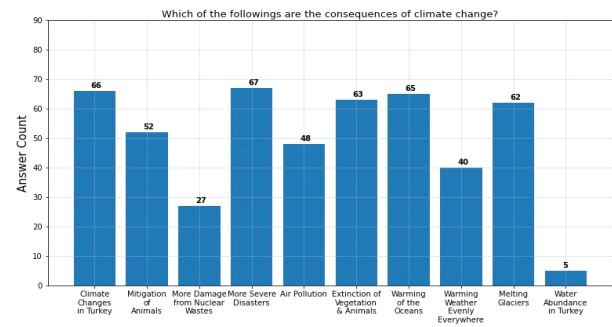


Figure 8. Which of the followings are the consequences of climate change?

When asked about credibility, scientists were found to be the most trustworthy group, while social media was considered the least credible. Other options presented were ministers, environmental organizations, and school education. Despite being viewed as highly credible, some students were still determining if scientists could conduct a study that would effectively combat climate change.

Table 1. These are the percentages of responses to the question "How much do we know about climate change?"

How well do we know climate change?	Strongly Disagree	Disagree	Not Sure	Agree	Strongly Agree
As population grows, global warming getting worse	4,6	0	9,2	54	32,2
I do not know much about climate change	10,3	41,4	36,8	8,1	3,5
Global warming and climate change are the exact same things	25,3	33,3	25,3	13,8	2,3
I can contribute to the solution of climate change with the measures I have taken personally	9,2	4,6	23	41,4	21,8
Türkiye has participated the agreements like Kyoto Protocol or Paris Agreement	3,5	1,2	55,2	28,7	11,5
The most important cause of climate change is declining ozone layer	4,6	5,5	17,2	50,6	24,1
Acid rains are happening because of global warming	4,6	10,4	25,3	40,2	19,5
I know some of the greenhouse gasses and their effects	4,6	1,1	16,1	63,2	14,9
Floods and extreme weather events are going to increase as climate change worsen	4,6	2,3	12,6	39,1	41,4
Trees and petrol are both made of carbon	4,6	11,5	50,6	23	10,3
Climate change is happening and climates are changing	4,6	5,5	12,6	42,5	36,8

Scientists can stop the climate change, so we don't have to worry about	66,6	20,7	6,9	3,5	2,3
We can beat climate change	5,8	12,6	19,5	32,2	29,9
Global average surface temperature will increase more than 10°C until the end of the century	5,7	9,2	37,9	37,9	9,2
We can say global warming instead of climate change since the terms are the exact	17,2	35,6	29,9	14,9	2,3
World is getting colder because of the greenhouse effect	41,4	31	19,5	6,9	1,2
Long-wavelength radiation is the radiation comes from the Sun	4,6	4,6	62,1	23	5,8
Air pollution in the cities is the main reason of climate change	6,9	11,5	17,2	48,3	16,1
The more energy use, the more global warming	6,9	8,1	23	36,8	25,3
Environmental organizations are instructive and educative	8,1	14,9	20,7	44,8	11,5
Climate change badly affects Türkiye	5,8	0	4,6	32,2	57,5
I cannot do anything against climate change, factories and government should take precautions	35,6	29,9	18,4	10,3	5,8

4. Conclusion

In general, students struggle with differentiating between global climate change and global warming. According to a survey, students were more confident in providing accurate answers to general topics but needed more confidence regarding specific scientific details. Nearly half of the students admitted to having little knowledge about climate change. Although some students possessed basic knowledge, they still needed to make the connection between energy consumption, population growth, saving issues, and climate change. Moreover, there needed to be more information about international agreements, presumably because they needed more attention in schools. The link between energy consumption and climate change was well-established. It would be beneficial to focus on concepts like carbon and water footprints to make progress in energy savings. However, students who believe that humans cause climate change and will inevitably be affected by it are optimistic about finding solutions. Based on the research findings, there is a considerable deficiency in awareness and information regarding climate change. Further studies and greater exposure are necessary to address this issue adequately.

Here are some key findings from our research:

- Information about transportation needs to be improved.
- Students are particularly interested in education and tree-planting projects.
- Environmental organizations beyond TEMA and ÇEVKO have low awareness in Türkiye.
- Students favor renewable energy technologies.
- Educating people about decisions made in international conventions would boost confidence.
- There must be clarity between plastic waste, nuclear waste, and climate change. It is recommended to explain these issues clearly and separately.
- Many people also mistake air pollution and the ozone layer for climate change. It is crucial to emphasize that these are different aspects of the broader environmental picture.
- The scientific causes of climate change have yet to be widely understood. It may be helpful to teach basic Earth Science concepts in high schools.

- We recommend discussing the link between population growth, consumption, and climate change in greater detail.

Acknowledgments

This research was presented as a thesis by Rahan Öztürk.

5. References

- Abbasnia, M., & Toros, H. (2019). Analysis of long-term changes in extreme climatic indices: a case study of the Mediterranean climate, Marmara Region, Turkey. *Meteorology and climatology of the Mediterranean and Black Seas*, 141-153.
- Abbasnia, M., & Toros, H. (2020). Trend analysis of weather extremes across the coastal and non-coastal areas (case study: Turkey). *Journal of Earth System Science*, 129, 1-13.
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1998). High school students' perceptions of how major global environmental effects might cause skin cancer. *The Journal of Environmental Education*, 29(2), 31-36.
- Çelikler, D., & Aksan, Z. (2011). Determination of pre-service elementary science teachers' knowledge level about ozone layer. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 1438-1444.
- Deniz, A., Toros, H., & Incecik, S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of climatology*, 31(3), 394-403.
- Dove, J. (1996). Student teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. *Environmental education research*, 2(1), 89-100.
- Evrin, U., Ercan, O., & Bilen, K. (2017). Pre-Service Science Teachers' Misconceptions of Carbon Cycle and Global Warming. *Scientific Educational Studies*, 1(1), 1-17.
- Fortner, R. W. (2001). Climate change in school: Where does it fit and how ready are we?. *Canadian Journal of Environmental Education (CJEE)*, 18-31.
- Papadimitriou, V. (2004). Prospective primary teachers' understanding of climate change, greenhouse effect, and ozone layer depletion. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 299-307.
- Pruneau, D., Liboiron, L., Vrain, É., Gravel, H., Bourque, W., & Langis, J. (2001). People's Ideas about Climate Change: A Source of Inspiration for the Creation of Educational Programs. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6, 121-138.

- Sağlam, N. E., Düzgüneş, E., & Balık, İ. (2008). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(1), 89-94.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B., & Warner, J. F. (2012). Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52, 175-191.
- Tayanç, M., & Toros, H. (1997). Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey. *Climatic change*, 35(4), 501-524.
- TOB - T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğü. (March, 2019). Su Ürünleri İstatistikler. Online available from - <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BSGM.pdf>
- Toros, H. (2012). Spatio-temporal precipitation change assessments over Turkey. *International Journal of Climatology*, 32(9), 1310-1325.
- Toros, H., Abbasnia, M., Sagdic, M., & Tayanç, M. (2017). Long-term variations of temperature and precipitation in the megacity of Istanbul for the development of adaptation strategies to climate change. *Advances in Meteorology*, 2017, 1-14.
- Voss, R. F., & Clarke, J. (1986). *Algorithmic Musical Composition*.
- Whitmarsh, L. (2009). What's in a name? Commonalities and differences in public understanding of "climate change" and "global warming". *Public understanding of science*, 18(4), 401-420.

Malatya 2018-2022 Yılları Hava Kirliliği Verilerinin Değerlendirilmesi

Bahadır Karabekiroğlu, Halil Aykut Zere, Hüseyin Toros

İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, zere16@itu.edu.tr, karabekiroglu@itu.edu.tr, toros@itu.edu.tr

Özet

Malatya, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Kayısı üretimindeki payı büyüktür. Tarihi ve kültürel açıdan zengin bir geçmişe sahiptir. Kışlar soğuk ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır. Şehir kirliliğinin azaltılmasında yapılaşmanın etkisi büyüktür. Kaynağından çıkan kirleticiler meteorolojik şartlara bağlı olarak dağılır. 6 Şubat 2023 tarihinden meydana gelen deprem ile birlikte şehirlerin hem sağlık hem de çevre şartlarının iyileştirilmesi dikkate alınarak tekrar yapılandırılması önemlidir. Bu çalışmada 2018-2022 yılları arası şehir merkezinde ölçülen PM₁₀ ve SO₂ verileri incelenmiştir. 5 yıllık verilere göre en yüksek aylık ortalama değer PM₁₀ için 95,5 µg/m³ ile Aralık ayında ve yıllık ortalama 67 µg/m³, SO₂ için en yüksek aylık değer 16,6 µg/m³ ile Ağustos ayında ve yıllık ortalama değer 12 µg/m³ bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Malatya, şehirleşme, hava kirliliği, sağlık, yapılaşma

Evaluation of Malatya Air Pollution Data for the Years 2018-2022

Abstract

Malatya is located in the Eastern Anatolia Region of Turkey. It has a large share in apricot production. It has a rich historical and cultural background. Winters are cold and rainy and summers are hot and dry. Construction has a great effect on reducing urban pollution. Pollutants coming out of the source are distributed depending on meteorological conditions. With the earthquake on 6 February 2023, it is important to restructure the cities by taking into account both the robustness and the improvement of environmental conditions. In this study, PM₁₀ and SO₂ data measured in the city centre between 2018-2022 were examined. According to the 5-year data, the highest monthly average value for PM₁₀ was found in December with 95.5 µg/m³ and the annual average was 67 µg/m³, the highest monthly value for SO₂ was found in August with 16.6 µg/m³ and the annual average value was 12 µg/m³.

Keywords: Malatya, urbanization, air pollution, health, construction.

1. Giriş

Hava kirliliği uzun zamandır insanlık için önemli bir sosyal ve çevresel sorundur. Sanayileşme, şehirleşme, israflar ve yanlış arazi kullanımı gibi insan faaliyetlerinin hızlanmasıyla birlikte hava kirliliği sorunu da artmıştır (Bacak ve Toros, 2021). Özellikle endüstriyel faaliyetler ve motorlu taşıtlar hava kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır. Hava kalitesi kaynakları, arazi yapısı ve atmosferik şartlar sebebiyle karmaşıktır. Hava kirliliği meteorolojik şartlar, rüzgar yönü, sıcaklık ve diğer faktörlerle etkileşime girebilir ve farklı bölgelerde farklı şekillerde kendini gösterebilir (Toros ve ark., 2013). Bu sebeple, hava kirliliğiyle mücadele etmek ve hava kalitesini iyileştirmek için uzun vadeli ve kapsamlı çözümlere ihtiyaç vardır.

Hava kirliliği yoğunluğu ve süresine bağlı olarak insan sağlığı için ciddi risk oluşturmaktadır. Kirletici seviyelerinin belirli kriterlere göre değerlendirilerek kısa ve uzun vadeli hava kalitesinin sağlık üzerine olumsuz etkileri azaltılabilir (Tunç ve ark., 2022). Sağlık çalışmaları ve koruyucu hekimlik adına bir şehirdeki havanın kirlilik düzeyini belirlemek ve izlemek önemli çalışmalardır. Hava kalitesi çalışmaları hava kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlamak için kritik bir rol oynar. Hava kirliliği, solunum yolu hastalıkları, kalp-damar hastalıkları, akciğer kanseri gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (Çapraz, 2013). Hava kalitesi

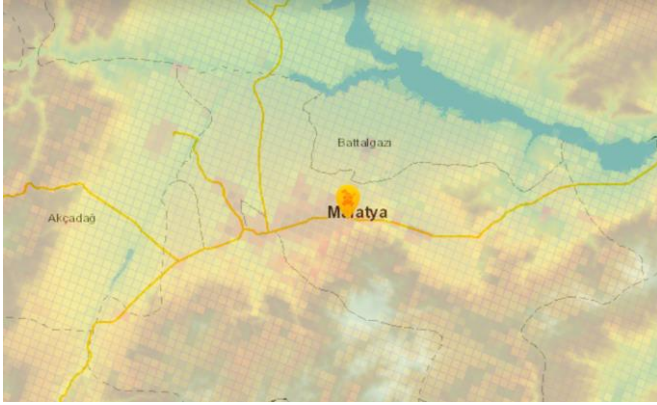
çalışmaları, olası tehlikeleri belirleyerek, halk sağlığını korumak için önleyici ve düzeltici tedbirlerin alınmasına yardımcı olur. Hava kirliliği, bitki örtüsü, su kaynakları ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yapabilir. Kirletici maddeler, toprak ve su kaynaklarını kirletebilir, bitki ve hayvan yaşamını olumsuz etkileyebilir. Hava kalitesi çalışmaları, çevresel etkileri izlemek ve doğal ekosistemleri korumak için önemlidir (Toros ve Bağış, 2017). Hava kalitesi çalışmaları, şehir planlama ve altyapı geliştirme süreçlerine önemli bilgiler sağlar. Kirlilik seviyeleri ve hava hareketi analizleri, trafik yoğunluğu, endüstriyel faaliyetler ve inşaatın etkilerini değerlendirerek daha sürdürülebilir ve çevre dostu şehir planlamasına katkıda bulunur (Güçük ve ark., 2019). Hava kalitesi çalışmaları, hangi kaynakların hava kirliliğine daha fazla katkıda bulunduğunu belirlemeye ve kirliliğin azaltılması stratejilerini belirlemeye yardımcı olur. Bu çalışmalar sayesinde çevre dostu teknolojilerin ve düzenlemelerin uygulanmasıyla hava kalitesi geliştirilebilir. Hava kalitesi çalışmalarının ve kamu iletişiminin sonuçlarının paylaşılması, insanların hava kirliliğinin etkilerinin ve önemini farkında olmalarını sağlar. Bu farkındalık, hava kirliliği probleminin çözümüne katkıda bulunarak hava kalitesi için olumlu tutumlara ve davranışsal değişikliklere yol açar. Şehir hava kalitesi çalışmaları, insan sağlığını korumak, çevreyi ve ekosistemleri korumak, kentsel planlamayı iyileştirmek ve hava kirliliğini azaltmak için önemli ve

gereklidir. Düzenli olarak şehirlerde hava kalitesi çalışmalarının yürütülmesi ve sonuçların etkili değerlendirilmesi daha sağlıklı ve daha yaşanabilir bir ortam için önemli bir adımdır (Al-Bayati ve ark., 2021). Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), her yıl yaklaşık yedi milyondan fazla insanın hava kirliliği sebebiyle öldüğünü bildirmiştir (Campbell-Lendrum ve Prüss-Ustün, 2019).

Malatya hızla gelişmekte olan şehirlerden birisidir. Tüm hızlı gelişen şehirlerde çeşitli çevre sorunları meydana gelmektedir. Hava kirliliği etkileri ve boyutları açısından çevre sorunlarının başında yer almaktadır. Malatya'da endüstriyel faaliyetler, trafik ve ısınma kaynaklı oluşan kirleticiler topoğrafya ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişebilir. Malatya'da parçacık madde kirliliğinin sınır değerleri üzerinde çıkmıştır. 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli ve 10 ili etkileyen büyük ölçekteki 2 depremden Malatya da etkilenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların arazi, meteoroloji ile birlikte deprem sonrası şehrin yeniden yapılandırılması çalışmalarında katkı sağlaması beklenilmektedir.

2. Veri ve Yöntem

Malatya, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Tarihi ve kültürel açıdan birçok antik kent, eski yapılar ve kültürel miras sahiptir. Bölge iklimi kışları soğuk ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kuraktır. Türkiye'de önemli bir kayısı üretim merkezidir. Şehirde başta tekstil olmak üzere farklı sanayi kuruluşları yer almaktadır. Malatya, dağlık ve vadilerle çevrili bir bölgede yer alır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından işletilen şehir merkezinde bir adet hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Malatya hava kalitesi istasyonu konumu

Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) 2018-2022 yılları aralığı için saatlik çözünürlükte rüzgâr hızı ve yönü, basınç, sıcaklık, bağıl nem meteorolojik parametreleri Malatya'da 38.3367 enlemi ve 38.2173 boylamında bulunan 17199 nolu ölçüm istasyonu verileri kullanılmıştır. Hava kirliliği verileri ise T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ölçüm istasyonundan elde edilmiştir. 2018-2022 yılları arası SO₂ ve PM₁₀ saatlik verileri kullanılmıştır.

Veri incelemesi için hava kalitesi ile doğrudan ilgili kütüphanelerin olması sebebiyle R/Rstudio uygulaması kullanılmıştır. Bu uygulamada yer alan openair isimli bir kütüphane hem hava kirliliği hem de meteorolojik veriyi birlikte inceleye bilmektedir (Toros ve ark., 2020); Yılmaz ve ark., 2020). Veriler standart kalite kontrolden geçirildikten sonra her kirleticinin zamansal değişimi, kirleticiler arası,

meteorolojik veriler ile kirleticiler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Hava kirliliğine neden olabilecek potansiyel kaynakların belirlenmesi için meteorolojik değişkenler dikkate alınmıştır.

Ölçümü yapılan PM₁₀, çapı 10 mikrometreden daha küçük olan parçacıklardır. Havadaki parçacıklar temel hava kirleticilerindedir. İnsan sağlığına zararlıdır. PM₁₀'un kaynakları orman yangınları, volkanlar ve yerden rüzgârla kalkan tozlar yanında çeşitli insan faaliyetleridir. Motorlu araçlar, dizel ve benzinli motorların yanma işlemi sırasında ince parçacıkların havaya salınmasına sebep olur. Sanayi tesisleri, fabrikalar ve enerji üretim tesisleri, üretim süreçleri, madencilik ve kömür yakma gibi faaliyetler sırasında havaya parçacıklar salabilir. İnşaat alanlarındaki toz ve parçacık maddeler, inşaat malzemelerinin taşınması, kesilmesi ve kazılma işlemleri sırasında havaya karışabilir. Isınma amaçlı yakıt yakma işlemleri sırasında parçacık maddeler havaya salınabilir. Sigara dumanı ile parçacıklar havaya salınmaktadır. Atmosferdeki kimyasal tepkimeler sonucunda da havaya parçacıklar salınabilir. Kükürt dioksit (SO₂), atmosferde bulunan bir kirleticidir ve hava kirliliğine neden olabilir. SO₂ doğal kaynaklar yanında sanayi tesisleri, enerji üretimi, taşıtlar gibi çeşitli faaliyetler sırasında hava karışır. Enerji üretimi, kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtların yakılması sırasında önemli bir SO₂ kaynağıdır. Sanayi faaliyetleri, kömür ve petrol gibi kükürt içeren hammaddelerin kullanılmasıyla atmosfere salınır. Motorlu taşıtların yanma süreçlerinden kaynaklanan egzoz gazları, SO₂ gibi kirleticileri atmosfere salabilir. Maden ocaklarında kömür, metal veya kükürt içeren minerallerin çıkarılması sırasında SO₂ salınımı meydana gelebilir. Atık yakma tesisleri ve atık yönetimi, organik ve inorganik maddelerin yakılması sırasında SO₂ salınımına yol açabilir (Toros, 2000).

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetmeli belirlenmiş olan sınır kirletici yoğunlukları verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, inceleme veri setinde bulunan SO₂ ve PM₁₀ parametreleri için 2018-2022 yılları aralığındaki limit değerler ile karşılaştırma yapılmıştır. SO₂ için saatlik 350 µg/m³, 24 saatlik 125 µg/m³ ve yıllık 20 µg/m³ yoğunluk sınırları alınırken PM₁₀ için 24 saatlik 50 µg/m³ ve yıllık 40 µg/m³ değerleri alınmıştır (ÇŞB, 2023).

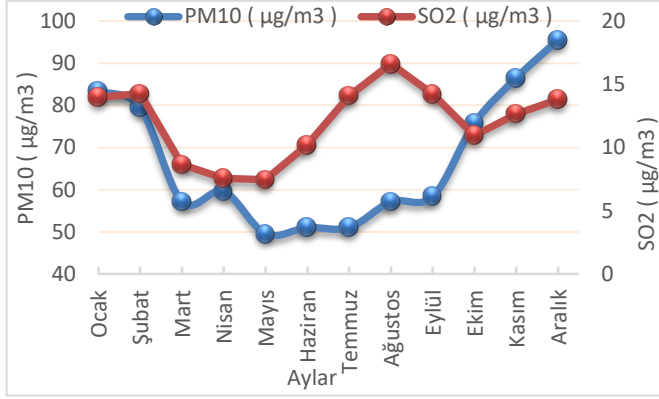
3. Sonuçlar

Malatya'da PM₁₀ yıllık ortalama yoğunluk değeri en az 2018 yılında 59,8 µg/m³ gözlenmiştir. En yüksek değer ise 2022 yılında 75,0 µg/m³ olarak gözlenmiştir. PM₁₀ değerlerinin her yıl arttığı görülmektedir. SO₂ yıllık ortalama yoğunluk değeri en az 2018 yılında 9,2 µg/m³ gözlenmiştir. SO₂ değerlerinde de genel olarak yıllar içinde artış gözlenmiştir. En yüksek yıllık ortalama değer ise 2021 yılında 14,8 µg/m³ olarak gözlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Malatya hava kalitesi verilerine göre 2018-2022 yılları arası yıllık ortalama değerler:

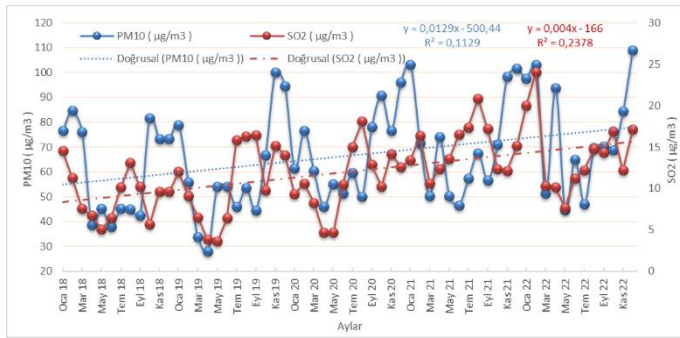
Yıllar	PM10 (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
2018	59,8	9,2
2019	62,2	11,1
2020	66,9	11,0
2021	70,4	14,8
2022	75,0	14,2

Malatya’da PM₁₀ ve SO₂ 5 yıllık verilerinin 12 ay boyunca aylık ortalama yoğunluk değerleri Şekil 2’de verilmiştir. PM₁₀ değerleri kış aylarında artmakta ve yaz aylarında ise düşmektedir. SO₂ en yüksek değeri Ağustos ayında görülmektedir. PM₁₀ kış mevsimi ortalaması 86,1 µg/m³ iken yaz mevsimi ortalaması 53,1 µg/m³’dir. Aynı durum SO₂ için yazın 14,0 µg/m³ ve kışın 13,6 µg/m³ olarak gözlenmiştir. (Şekil 1).



Şekil 2. Malatya hava kirliliği yoğunluğunun 5 yıl boyunca aylık ortalama değerleri.

2018-2022 yılları arasında hava kirliliği yoğunluğunun aylara göre değişimi Şekil 3’te verilmiştir. Malatya’da hava kirliliği değerleri aylara göre çok değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Yıllar içinde her iki kirlenici yoğunluğu zamanla artmaktadır. PM₁₀ aylık ortalama yoğunluklarının SO₂ ortalama yoğunluklarına oranla genelde çok daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. PM₁₀ ölçümlerinin genellikle kış ve sonbahar mevsimlerinde artışları görülürken SO₂ ölçümlerinde daha düşük bir değişim görülmektedir. PM₁₀ değerleri 24 saatlik ve yıllık sınır yoğunluk değerlerini aylık ortalama geçmiştir. SO₂ değerleri yıllık sınır yoğunluk değerlerini aylık ortalama geçmemiştir.

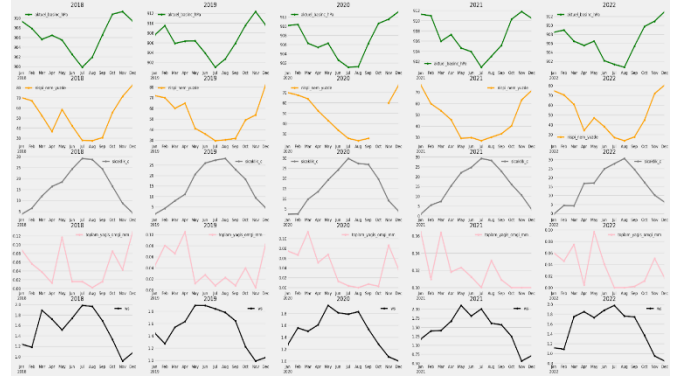


Şekil 3. Malatya 2018-2022 yılları arası kirliliği yoğunluğunun aylara göre ortalama değişimi.

3.1 Kirlenici ve Meteorolojik Parametrelerin İncelenmesi

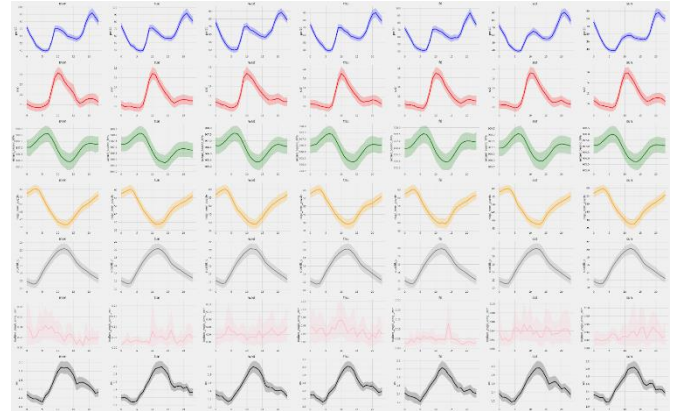
Malatya ilinin 2018-2022 yılları arasında ölçülen hava kirliliği ve meteorolojik verileri arasındaki ilişkiyi anlamak ve bu ilişki ile Malatya ilinin iklimine dikkat ederek önümüzdeki dönemlerde özellikle şehir yeniden kurulurken dikkat edilmesi gereken önemli korelasyonların incelenmesi amaçlanmıştır. SO₂ ve PM₁₀ kirlenicilerinin, meteorolojik veriler (sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç ve bağıl nem) ile saatlik, günlük, aylık ve mevsimsel olarak ilişkileri incelenmiştir.

Şekil 4 incelendiği zaman PM₁₀ dağılımlarının aktüel basınç ve nispi nem ile benzer aylık bir dağılım sergilediği görülmektedir. PM₁₀ benzeri bir ilişki SO₂ için bulunamamıştır.



Şekil 4. 2018-2022 aylık ortalama meteorolojik parametre değerleri, yukarıdan aşağıya sırasıyla aktüel basınç (hPa), nispi nem (%), sıcaklık (C), toplam yağış miktarı (mm), rüzgâr hızı (m/s)

Şekil 5’te oluşturulmuş olan saatlik dağılımlar incelendiği zaman ise SO₂ dağılımları günlük olarak değişim göstermemiştir fakat saatlik ölçüm değerleri sıcaklık ve rüzgâr hızı ölçüm değerleri ile benzerlik göstermektedir. PM₁₀ ölçümleri hafta sonu 8-18 saatleri arasında azalmaktadır.

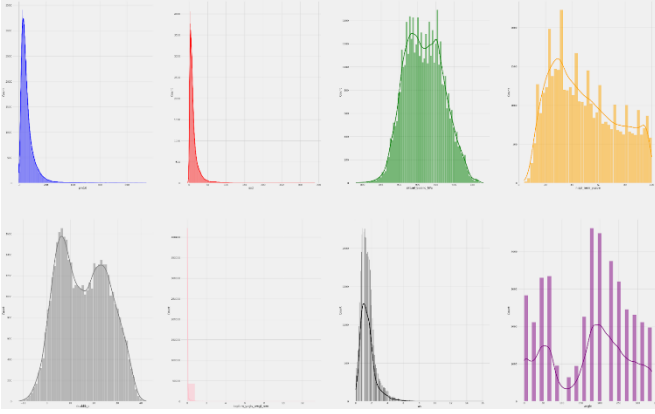


Şekil 5. Kirlenici ve meteorolojik parametrelerin günlük dağılımları, yukarıdan aşağıya sırasıyla PM₁₀ (µg/m³), SO₂ (µg/m³), aktüel basınç (hPa), nispi nem (%), sıcaklık (C), toplam yağış (mm) ve rüzgâr hızı (m/s)

2.2 Parametrelerin Dağılımları

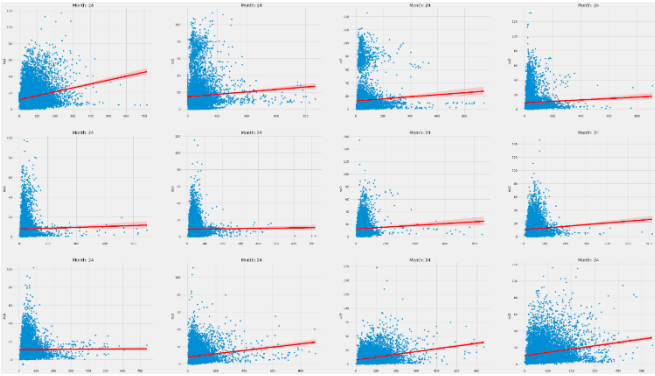
Atmosferde meteorolojik parametrelerin zamansal ve mekânsal olmak üzere farklı dağılımlar sergilediği bilinmektedir. Bu kısımda meteorolojik parametrelerin ve kirlenicilerin ölçümlerinin dağılımları incelenmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde SO₂ ve PM₁₀ kirlenicilerinin aynı şekilde dağılım gösterdiği görülmektedir. Meteorolojik parametrelerin dağılımları da Malatya ilinin tipik olarak Karasal iklim etkisi altında olduğunu belirtmektedir. Kirlenicilerin ve rüzgâr hızının sağa çarpık bir yapısı olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Veri seti parametrelerinin dağılımları (üst sıra PM_{10} , SO_2 , aktüel basınç, nispi nem ve alt sıra sıcaklık, toplam yağış miktarı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü)

Şekil 7 incelendiğinde, yıllara göre PM_{10} ve SO_2 artışları ve azalışları az da olsa benzerlik göstermektedir. Kovid-19 döneminde kirletici miktarının ve yoğunluğunun azaldığını belirtilebilir.

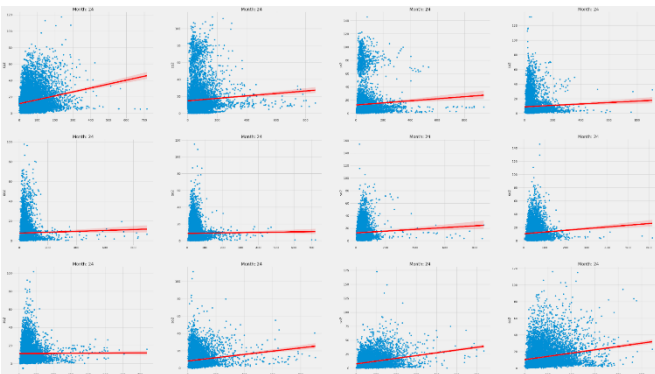


Şekil 7. Yıllık PM_{10} ve SO_2 Linear Korelasyonu

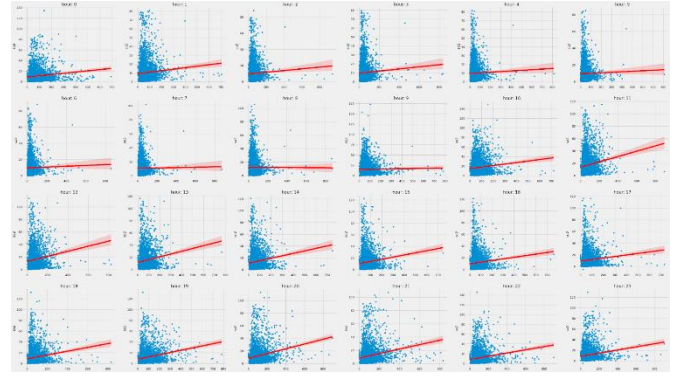
Tablo 1. Yıllık R2 değerleri

Yıl	2018	2019	2020	2021	2022
R2	0.011	0.035	0.027	0.0	0.039

Şekil 8 ve 9 incelendiğinde PM_{10} ölçüm değerlerinin SO_2 ölçüm değerlerine baskın geldiği görülmektedir. Dağılımlar 2 değişkenin yıllık, aylık ve saatlik bazda uyum sağlamadığını göstermektedir. Hesaplanan R2 sonuçlarının da çok düşük olduğu görülmektedir.

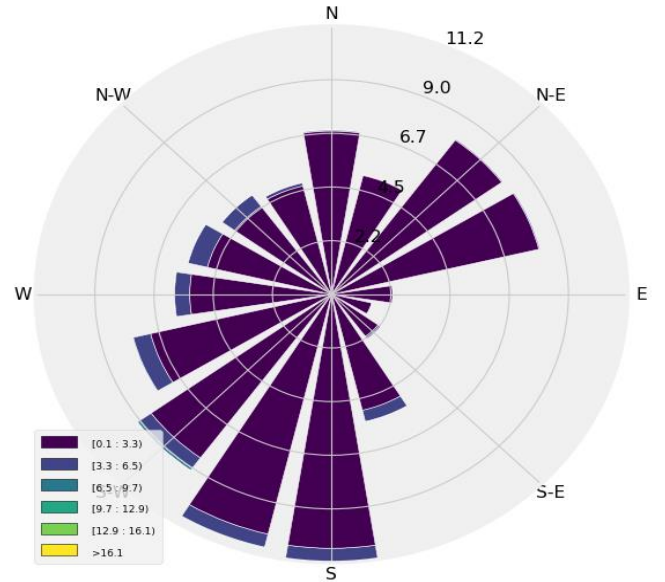


Şekil 8. Aylık PM_{10} ve SO_2 Linear Korelasyonu



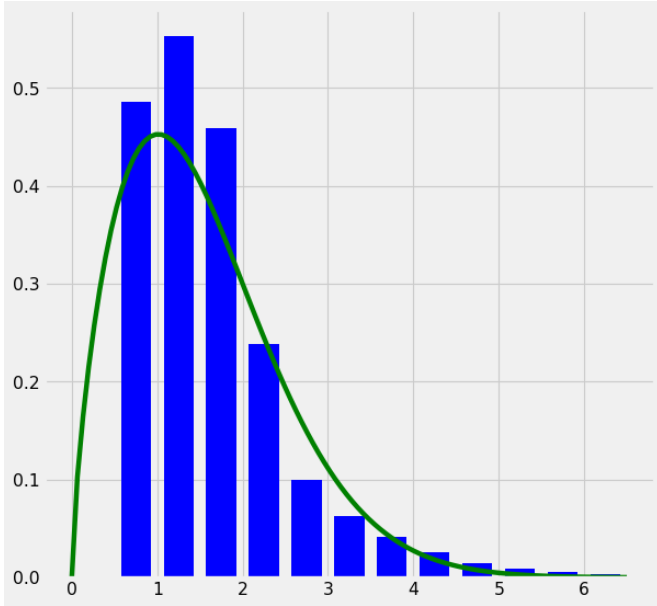
Şekil 9. Saatlik PM_{10} ve SO_2 Linear Korelasyonu

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilerde verilen santral için hakim rüzgâr yönünün Güneybatı olduğu görülmektedir (Şekil 10).



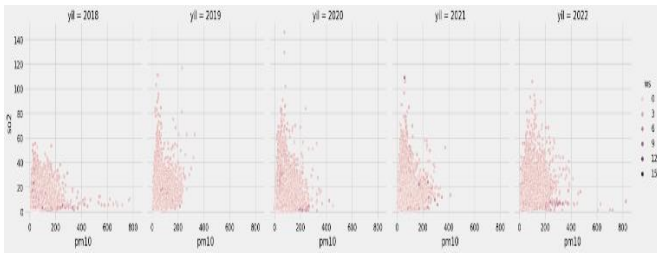
Şekil 10. 2018-2022 yılları arası saatlik verilerden elde edilmiş rüzgâr gülü

Weibull dağılımı, rastgele değişkenlerin dağılımını tanımlamak için kullanılan istatistiksel bir dağılım modelidir. Weibull dağılımı, iki parametrelilik bir olasılık dağılımıdır: ölçek parametresi (λ) ve şekil parametresi (k). Ölçek parametresi pozitif bir değerdir ve dağılımın yayılma oranını kontrol eder. Şekil parametresi ise birbirinden farklı şekil özellikleri sergileyen dağılımları tanımlar. Veriye Weibull Dağılımı uydurulduğunda şekil parametresi 2.16 ve ölçek parametresi 2.33'tür.

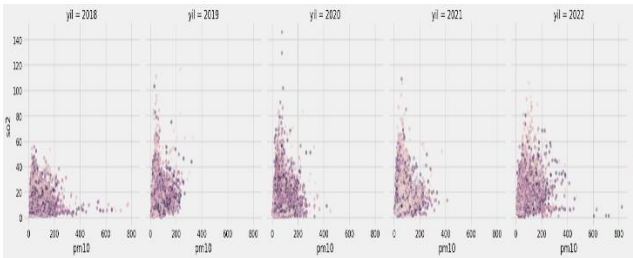


Şekil 1. 2018-2022 Weibull Dağılımı

Şekil 11 ve 12 dikkate alındığında, PM₁₀ kirleticisinin toz taşınımıyla daha fazlaştığı belirtilebilir. Bu durumun temel sebebi de hakim rüzgar yönü güneybatı olan Malatya ilinde Afrika tozları kirletici etkeni olarak görülmektedir.



Şekil 1. Rüzgâr hızı, PM10 ve SO2 Dağılımları

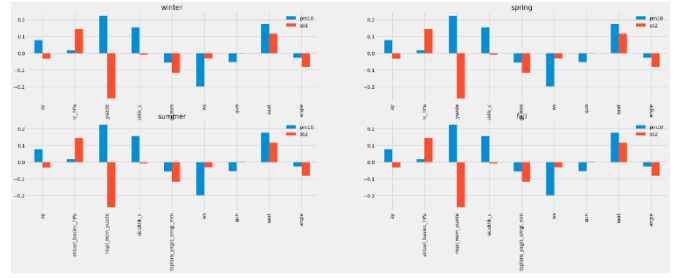


Şekil 2. Rüzgâr yönü, PM10 ve SO2 dağılımları

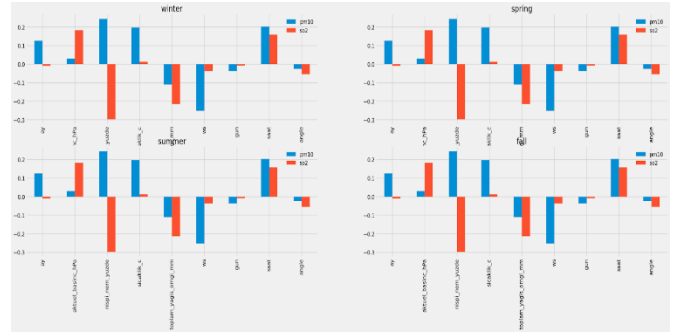
2.3 Parametrelerin Korelasyonları

Pearson, Spearman ve Kendall, istatistiksel korelasyon analizinde kullanılan ölçümlerdir. Bu ölçümler, ilişkili iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve doğasını değerlendirmek için kullanılırlar (Özdemir, 2019). Pearson korelasyonu, ilişkili iki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçen bir parametrik korelasyon ölçüsüdür. Pearson korelasyon katsayısı, değişkenlerin dağılımı ve ilişkisi hakkında bilgi verir. Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise korelasyonu yaklaşık olarak +1 veya -1 olur. Korelasyon katsayısı 0 ise, değişkenler arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değer alır (Kara ve ark., 2023).

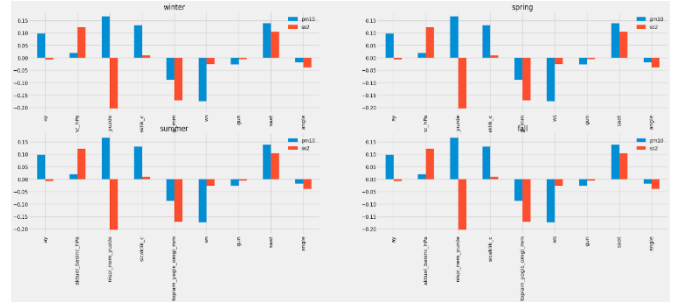
Malatya hava kalitesi için doğrusal ilişkiler için Pearson, monoton ilişkileri hakkında bilgi edinmek için Spearman ve Kendall değerleri Şekil 13, 14 ve 15'te verilmiştir.



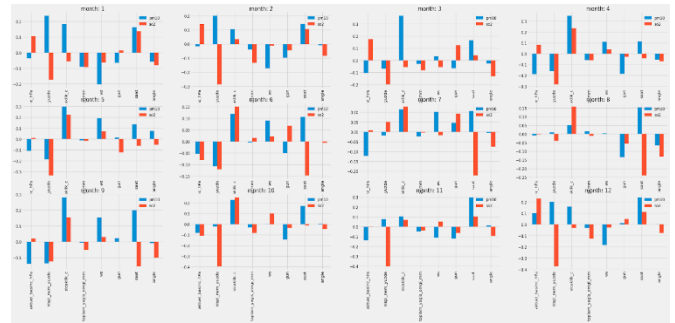
Şekil 3. Mevsimsel Pearson Korelasyonu



Şekil 4. Mevsimsel Spearman Korelasyonu



Şekil 5. Mevsimsel Kendall Korelasyonu



Şekil 6. Aylık Pearson Korelasyonu

Oluşturulan korelasyon grafiklerinde PM10 incelendiği zaman mevsimsel grafiklerde rüzgar hızı ile negatif ve düşük seviyede (≤ 0.2) korelasyon değerleri görülmektedir. Bu değerler aylık grafiklerde sadece 1. ayda görülürken saatlik grafiklerde ise 0, 1, 2, 20, 21, 22 ve 23 saatlerinde görülmektedir (Şekil 17).

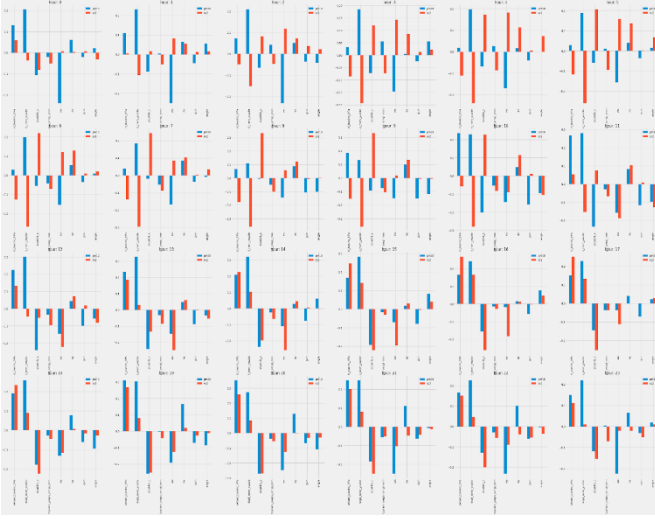
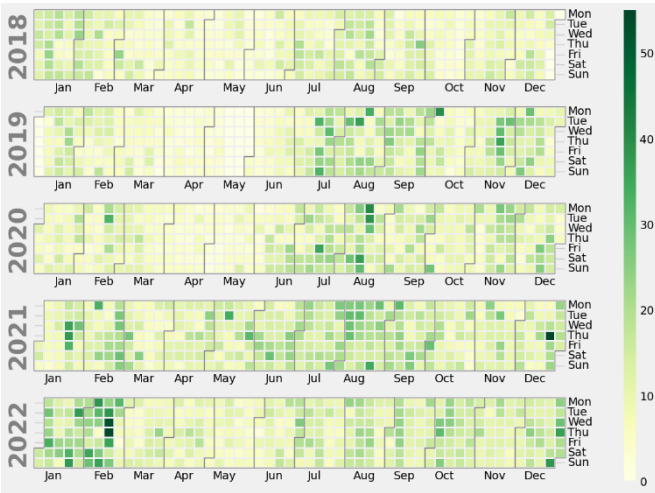


Figure 7. Saatlik Pearson Korelasyonu

Rüzgâr hızı korelasyon sonuçları SO₂'de bir ilişki ifade edebilmek için mevsimsel ve aylık grafiklerde çok düşük kalmıştır. Saatlik grafiklerde 12, 13 ve 14 saatlerinde rüzgâr ile düşük seviyede negatif korelasyona sahiptir.

SO₂ takvim grafiğinde 24 saatlik sınır olarak verilen 20 ug/m³ değerinin çoğunlukla yaz mevsiminde aşıldığı görülmektedir (Şekil 18).



Şekil 8. SO₂ Günlük Yoğunluk Takvim Grafiği

PM₁₀ takvim grafiğinde 24 saatlik sınır olarak verilen 50 ug/m³ değerinin çoğunlukla sonbahar ve kış mevsimlerinde aşıldığı görülmektedir (Şekil 19).



Şekil 9. PM₁₀ Günlük Yoğunluk Takvim Grafiği

4. Değerlendirme ve Öneriler

Malatya şehri hava kirliliği sorunlarıyla karşı karşıyadır, ancak şu anda tehlikeli bir seviyede değildir. Fakat son iki yılda SO₂ ve PM₁₀ seviyelerinde önemli bir artış gözlemlenmiştir. Şehirdeki hava kirliliğinin riskli seviyelere ulaşmasını önlemek ve mevcut durumu iyileştirmek için bazı önlemler alınması gerekmektedir. Aşağıdaki öneriler ve belirlenen sorunlar, daha yaşanabilir bir Malatya için temel ön şartlar olarak görülmektedir:

1. Şehrin jeomorfolojik yapısı nedeniyle değiştirilemeyen bir çöküntü havzasının kenarında bulunduğu dikkate alınarak şehir planlaması yapılmalıdır.
2. Malatya'da yıl boyunca güneybatı yönünde esen rüzgâr dikkate alınarak, şehir etrafındaki binalar kirlilik havasını şehirden uzaklaştırmak için maksimum özenle bir rüzgâr koridoru oluşturacak şekilde inşa edilmelidir. Örneğin, şehrin güneyinde inşa edilen TOKİ konutları, Cemal Gürsel, Kuyuönü ve Hacıabdî gibi bazı mahallelerin arkasında insan yapımı bir engel oluşturduğundan, bu mahallelerin üzerindeki kirliliğin dağılması zor olabilir.
3. Geçmiş yıllarda, evleri ısıtmak için kullanılan kalitesiz kömür, Malatya'daki hava kirliliğinin en önemli nedeniydi. Linyit kömürü hala şehirde kullanılmaktadır, ancak Malatya Valiliği, Malatya Belediyesi ve Malatya İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü'nün koordinasyonuyla ucuz ve düşük kaliteli kömür satışı büyük ölçüde engellenmiştir. "Torba" veya "kok" adı verilen işlenmiş linyit kömürünün kullanımı artmış ve insanlar düşük kaliteli kömür kullanmanın karlı olmadığını fark etmiştir. Şehirde meyve ağaçlarının yoğun bir şekilde yetiştirilmesi nedeniyle odun tüketimi de oldukça yüksektir.
4. Binaları ısıtmada yakıtın nasıl yakıldığı da önemlidir. Uygun yakma tekniklerini bilmeyen eğitimsiz stokçular ve ısıtma sistemi operatörleri ile bacaların temizliğine dikkat etmeyen kişiler hava kirliliğinin önemli nedenlerindedir.

5. 6 Şubat 2023 tarihinde 11 ili etkileyen Kahramanmaraş merkezli depremde etkilenen illerden olan Malatya'nın depremden sonra yeniden planlanacak olan şehir imarında, bu çalışmadaki bölgenin meteorolojik şartlarının ve hava kirliliği parametrelerinin göz önünde bulundurulması önemlidir.
6. Şehir planlamasında sanayi alanlarının yakınlarına yerleşim yerlerinin kurulmaması önem arz etmektedir.
7. Konut projelerinin ve siteleşmelerin yüksek katlı olmamasına ve çarpık kentleşmeye sebebiyet vermeden tasarlanmasına dikkat edilmelidir.
8. Nüfus yoğunluğunun oransal olarak kentin geneline yayılması önümüzdeki dönemlerde hava kirliliğini azaltıcı ve hava kalitesinden kaynaklı oluşması muhtemel hastalıklarının önüne geçilmesini sağlayacaktır.

Söz konusu tüm bu değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda, depremden etkilenen illerimizden biri olan Malatya'da şehrin nizami ve düzgün olarak yeniden inşası, çarpık kentleşmenin ortadan kaldırılması ve sanayileşmenin şehrin hakir rüzgâr altı tarafında teşvik edilmesi ihtiyacı bulunmaktadır.

Teşekkürler

Yazarlar, hava kalitesi verileri için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ve geçmiş dönem meteorolojik veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne minnettardır.

Referanslar

- Al-Bayati, R. M., Bulut, B., Adeeb, H. Q., & Toros, H. (2021). Air Pollution Data Analysis Over Van City, Turkey. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 3(1), 8-12.
- Bacak, T. N., & Toros, H. (2021). Impact of the COVID-19 event on PM10 air pollution in Istanbul and Ankara. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 3(1), 1-7.
- Campbell-Lendrum, D., & Prüss-Ustün, A. (2019). Climate change, air pollution and noncommunicable diseases. *Bulletin of the World Health Organization*, 97(2), 160.
- Çapraz, Ö. (2013). İstanbul Da 2007-2012 Yılları Arasında Hava Kirliliğinin Ölümler Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- ÇŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), (2023). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIliski=0&sourceXml>, (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2023).
- Güçük, C., Şahin, E., Bektaş, M., Aras, E., Çinicioğlu, R., Domaç, Z., ... & Toros, H. (2019). Evaluation of PM10 behaviour in Iğdır. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 1(1).
- Kara, Y., Akalin, I. A., Deniz, N. G., Dinç, U., Ünal, Z. F., & Toros, H. (2023). Utilizing ANN for improving the WRF wind forecasts in Türkiye. *Earth Science Informatics*, 1-20.

- Ozdemir, H. (2019). Mitigation impact of roadside trees on fine particle pollution. *Science of the Total Environment*, 659, 1176-1185.
- Toros H., (2000). İstanbul'da Asit Yağışları Kaynakları ve Etkileri, Doktora tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Toros, H., & Bağış, S. (2017). Hava kirlilik modellerinde kullanılacak emisyon envanteri oluşturulması için yaklaşımlar ve İstanbul hava kirliliği dağılımı örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 1-12.
- Toros, H., Gültekin, H., & Bağış, S. (2020). Automatic Interpretation and Reporting for Air Quality Data. *Journal of Research in Atmospheric Science*, 1(1).
- Toros, H., Hakan, E., Özkan, Ç., Özer, B., Esra, D., & Öztürk, A. İ., (2013). Air Pollution and Quality Level in Metropolitan Turkey for Sustainable life. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1, 1, 12-18.
- Tunç D. Ç., Esra Dündar, İpek E. A., Toros H., Ulubey A.,” Evaluation of Air Quality in Eskisehir”, *Journal of Research in Atmospheric Science Vol. 4, No. 2, pp. 36-40, December 2022*
- Yılmaz, M., Toros, H., İncecik, S., Öztürk, Z., Kirkil, G., Öztaş, D., ... & Arslantaş, O. A. (2020). Dilovası Hava Kirliliğinin Trafik Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 43-51.