



Monitoring the Spatio-Temporal Dynamics of Air Pollution in Tabriz by Using of Remote Sensing and GIS

Document Type
Research Paper

Abolfazl Ghanbari*¹, Maryam Sadeghi Lelelu², Vahid Kakapour², Hossein Fakart²

Received
2023/12/26

1. Full Prof, Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran
2. Ph.D. of Remote Sensing and Geographical Information System, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Accepted
2024/05/26

DOI: 10.22034/eiap.2024.410037.2519



Abstract

pollutants and determining the effective factors in the concentration of elements of suspended particles, sulfur dioxide, nitrogen dioxide and ozone, in the city of Tabriz in the long-term average time period (4 years) for changes in concentration and from the average of two dry and wet periods. In 2022, geographic weighted regression and clustering of the study area were used for spatial modeling. In this study, out of 8 variables (normalized vegetation cover, population density, construction density, density density, size of industrial areas, NTL (night light) and surface temperature, average prevailing wind speed, digital model of height) the digital model variable of height and average speed were selected Wind was dominant due to multicollinearity or (VIF) were removed from the model in correlation studies, and the effective factors in pollution elements were processed and standardized. The results of this study showed that the accuracy of the GWR model is better compared to the OLS model. By generating coefficients for each of the selected factors in the model, GWR determines the location of polluting elements and the most influential factor. According to the results of industrial size density, among the modeled parameters, it had the highest coefficient in the spatial model of the concentration of pollution elements. K-means clustering method using the map of coefficients obtained with GWR for zoning the city of Tabriz according to the spatial-temporal relationship of polluting elements with factors into 6 clustering zones, where zone 1-3 has the largest area and has high influence coefficients in all four pollutants. In fact, zones 1-3 can be considered in the management of urban policies in pollution control.

Keywords: Air pollution, Centenil 5 images, Time-spatial changes, K-means clustering, Tabriz city

Introduction

The increase in urban population along with the increase in the level of motorization and industrialization has inevitably led to air pollution and related problems in cities (Matejicek et al., 2006). The city of Tabriz, as one of the metropolises of the country, has witnessed increasing growth around it in the last few decades, which type of growth and development is not by the criteria of urban sustainability, and it is currently facing instability. Issues that can be attributed to air pollution as one of the most important of these, called instability (Shokri Firouzjah, 2018; Abdini et al., 2014; Ismailnejad et al., 2014). They investigated the air pollution in Tabriz city. Zhang et al. (2023). According to the studies, most studies have focused on the spatio-temporal evolution of an air pollutant or the difference in the spatial pattern of several air pollutants in a year (Qi et al., 2022b). Relatively few studies aim to investigate the time-spatial changes of atmospheric pollutants in two dry and wet periods in a period of 4 years (2019-2022) and specifically model the time-spatial changes of pollutants with GWR and determine the most important influencing factor in pollution concentration with local coefficients. generated for each factor with the WGR model, which integrates several air pollutants (Qi et al., 2022a).

Methodology and Study Area

The city of Tabriz, the capital of East Azerbaijan province and the largest city in northwestern Iran, is located at the geographical coordinates of 45°50' to 46°36' east longitude and 37°42' to 38°29' north latitude from the south, it is bounded by the ever-snowy Sahand mountain range, and from the northeast by the Red Pham mountain.

Research data

Air pollutants and explanatory factor data in this study, air pollutants were investigated by examining the concentration of air pollutants measured by satellites. In this research, from the maximum 1-hour statistics of element concentrations during the monitoring days as a monthly average, the unit of the CO parameter is in ppm, the parameter of suspended particles is in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the rest of the parameters are calculated based on ppb to evaluate the output results of the concentration of pollution elements obtained from the Sentinel image and The TROPOMI gauge from the Google Earth engine is raster data, extracted and with the data of five ground stations (Railway, Raste Kuche, Abrasan, Azerbaijan and Marmar Hotel) from November 2019 to 2022. Research data.

Air pollutants and data processing agents of remote sensing agents

including air pollutants, NTL, population density, DEM, NDVI, and wind speed were collected from GEE. The layers are divided into two categories: spatial factors and remote sensing. The spatial factors, including industrial size, were calculated using OSM data with GIS. It was calculated for the region, also the population layer, DEM, the spatial sum of all pixels within the region, and remote sensing factors using air pollutant concentration, NTL, NDVI, and wind speed were shown with spatial and temporal averages for each industrial area.

Analysis of communication using GWR and K-means clustering

This study used the GWR model to examine the spatial and temporal heterogeneity of the effects of environmental and social factors from multiple perspectives on the concentration of suspended particles, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and ozone. The model is done by considering local parameters (Chen et al., 2018; Li et al., 2021). K-means clustering is essential to analyze regional management and policy implications by describing local influencing mechanisms of pollutant concentrations in different regions.

Results

The temporal and spatial changes of CO and NO₂ elements were estimated in two hot and cold periods using Sentinel 5 images (Fig. 1), and the results show that in the dry period (May to early October (s)), the trend of changes in CO and NO₂ is almost decreasing and in the wet period, the trend is almost increasing, which pm_{2.5} is the opposite of the trend that increases in the dry period and decreases in the wet period; that the amount of changes from the winter of 2021 to 2023 has a strong increasing trend compared to the previous periods. According to Table (1), it has the highest accuracy or in other words, the highest ability in determining

the behavior of pollution concentration changes. In analyzing the results of the geographic weighted regression method, the concept of local determination or the R2 Local coefficient is very important. The local weighted R2 value is between the observed values, which shows how much the model was able to accurately estimate and how far the observed values are from the estimates.

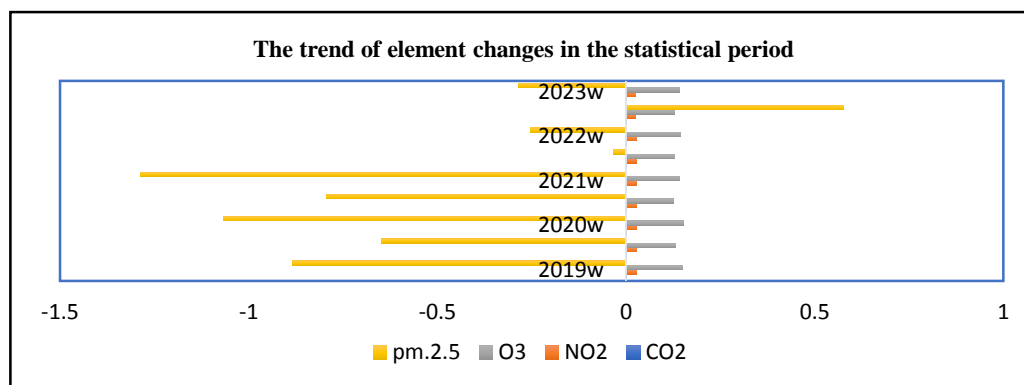


Fig (1): Changes in elements extracted from Sentinel 5 during dry (S) and wet (W) periods

Table (1): Accuracy comparison between OLS and GWR global model

		(S) O3	(S) O3	CO_S	CO_W	NO2_S	NO2_W	PM.2.5_S	PM.2.5_W
OLS	AICc	-33904.72	-34701/67	-33567/97	-42276/36	-51057/25	-57732/58	-51057/25	-9283.12
	R2Adjusted	0/503202	0/307039	5/26	0/921443	0/769824	0/921443	7019/074	0/55851
	Sig	0/0003321	0/03199	0/00036	0/00034	3/84880567	0/503202	0/001020	0/03199
GWR	AICc	34243.71	-10508.31	-34311.7	34586.18	57459.12630	0.1912888	28432/071	-10508/31
	R2	0/5761	0/72812	0/6563	0/6939	0/7511512	-1208/36	0/89974	0/72812
	R2Adjusted	0/5721	0/72559	0/65312	0/69107	0/7488013	0/41874	0/8987	0/7255

Conclusion

According to the examination of long-term average changes (average of 4 years for both periods) in both periods, the high concentration of polluting elements corresponds to the dense urban areas, except for ozone, which tends to the central and northern areas. In the other three elements, the polluting elements are concentrated in the form of a flow from the west to the east of the city, which is due to the low altitude of these areas, which itself is the cause of the persistence of pollution in these areas. According to the standardized residual in OLS modeling with NTL, denser urban areas had higher accuracy, which was variable in urban areas during the cold period. The difference between the predicted and observed values was lower in the entire urban border areas compared to the urban center. In this study, a positive relationship with changes in air pollutants was also observed in industrial areas. Altitude and wind digital model factors were used in studies (Qi et al., 2023). K-means clustering method using the map of coefficients obtained with GWR for zoning the city of Tabriz according to the spatial-temporal relationship of polluting elements with factors into 6 clustering zones, where zone 1-3 has the largest area and has high influence coefficients in all four pollutants. Recommendations for future studies Despite the benefits of this study, it should be done to investigate the relationship between factors and elements in different periods and compare its results for a study area. In the response variable, there are predictor variables and methods that should be addressed in the future.

References

- Basiri, M.; Zainali Azim, A. 2018. The effect of urban furniture on the quality of the urban environment (a case study of Imam Street in Tabriz from Saat Square to Abersan), *Geography (Regional Planning)*, 2018, Volume 9, Number 3, 229-248. (in Persian)
- Chen, L.; Gao, S.; Zhang, H.; Sun, Y.; Ma, Z.; Vedal, S.; Mao, J. & Bai, Z. 2018. Spatiotemporal modeling of PM 2.5 concentrations at the national scale combining land use regression and Bayesian maximum entropy in China. *Environ. Int.* 116, 300–307. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.047>.

- Ismailnejad, R.; Eskandari, M. and Barzaman, S. 2014. Assessment and zoning of air pollution in Tabriz metropolis, Regional Planning Quarterly, Year 5, Number 19. (in Persian)
- Qi, G., Wang, Z., Wang, Z., Wei, L., 2022a. Has industrial upgrading improved air pollution? —Evidence from China's digital economy. Sustainability 14, 8967. <https://doi.org/10.3390/su14148967>.
- Li, C.; Zou, Y.; Dai, Z.; Yin, J.; Wu, Z.; Ma, Z.; 2021. The impacts of POI data on PM2.5: a case study of Weifang city in China. Appl. Spatial Analysis. <https://doi.org/10.1007/s12061-021-09408-0>.
- Matějček, L., Angst, P. & Jaňour, Z. 2006. A GIS-based approach to spatio-temporal analysis of environmental pollution in urban areas: A case study of Prague's environment extended by LIDAR data. Ecological Modelling, 199(3), 261-277.
- Shukri Firouzjah, P. 2018. Investigating the emissions of car exhaust gases in Kermanshah and its effect on human health, urban. Ecological Research, Volume (2), Number 3, pp. 75-82.
- Brunsdon, C.; Fotheringham, A.S.; Charlton, M.E.; 2010. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. Geogr. Anal. 28, 281–298. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>. (in Persian)
- Zhang, Z.; Song, Y.; Luo, P.; Wu, P.; Liu, X. & Wang, M. 2023. Elucidation of spatial disparities of factors that affect air pollutant concentrations in industrial regions at a continental level. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 117, 103221.

پایش دینامیک مکانی - زمانی آلودگی هوا در شهر تبریز با استفاده از سنجش از دور و GIS

ابوالفضل قنبری*^۱، مریم صادقی^۲، وحید کاکاپور^۲، حسین فکرت^۲

۱. استاد تمام گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

چکیده

این مطالعه با هدف توزیع مکانی و زمانی آلاینده‌های هوا و تعیین عوامل موثر در غلظت عناصر ذرات معلق، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و ازن، در شهر تبریز در بازه زمانی میانگین بلندمدت (۴ سال) برای تغییرات غلظت و از میانگین دو دوره خشک و مرطوب در سال ۲۰۲۲ برای مدل‌سازی مکانی رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و خوشه‌بندی منطقه مطالعاتی استفاده شد. در این مطالعه از ۸ متغیر (پوشش گیاهی نرمال شده، تراکم چگالی جمعیت، تراکم ساخت، تراکم چگالی اندازه مناطق صنعتی، نورشبان (NTL) و دمای سطح، میانگین سرعت غالب باد، مدل رقومی ارتفاع) انتخاب شده متغیر مدل رقومی ارتفاع و میانگین سرعت غالب باد به علت چندخطی بوده یا (VIF) در بررسی‌های همبستگی از مدل حذف شدند و عوامل موثر در عناصر آلودگی پردازش و استانداردسازی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که دقت مدل GWR در مقایسه با OLS بهتر عمل می‌کند. مدل GWR با تولید ضریب برای هر یک از عوامل انتخاب شده در مدل، به تعیین مکانی عناصر آلاینده و تاثیرگذارترین عامل می‌پردازد. با توجه به نتایج تراکم اندازه صنعتی در بین پارامترها مدل شده بالاترین ضریب را در مدل مکانی غلظت عناصر آلودگی دارا بود. از روش خوشه‌بندی K-means با استفاده نقشه ضرایب به‌دست آمده با GWR برای زون‌بندی شهر تبریز با توجه به رابطه مکانی زمانی عناصر آلاینده با عوامل به ۶ زون خوشه‌بندی که زون ۱-۳ دارای بیشترین مساحت و هم دارای ضرایب تاثیرگذاری بالا در هر چهار آلاینده مورد مطالعه بود. در واقع پهنه‌های ۱-۳ می‌تواند در مدیریت سیاست‌های شهری در کنترل آلودگی مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: آلاینده هوا، GWR، تغییرات زمانی - مکانی، خوشه‌بندی K-means، شهر تبریز

سرآغاز

گسترش شهرها و مشکلات مرتبط با آن، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، بر کیفیت هوا در مناطق شهری تاثیر زیادی گذاشته است. امروزه تخمین زده می‌شود که بیش از ۵۰ درصد از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود که این تعداد در سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد برسد (United Nations World Urbanization Prospects, 2018). مردم اغلب به دلایل مختلفی جذب مناطق شهری می‌شوند. در حالی که افزایش فعالیت‌های اقتصادی در نواحی شهری برای برخی یک عامل کششی بوده است، برخی دیگر زندگی در شهرها را به دلیل زیرساخت‌های حیاتی فراوان و زندگی اجتماعی شلوغ در شهرها ترجیح داده‌اند. افزایش جمعیت شهری همراه با افزایش سطح موتورهای شدن و صنعتی شدن ناگزیر به آلودگی هوا و مشکلات مربوط به آن در شهرها منجر شده است (Matejicek et al., 2006). امروزه آلودگی هوا یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین مشکلات کره زمین به شمار می‌رود و نقش عمده‌ای در تغییرات جهانی اقلیم و مرگ‌های زودهنگام در سراسر جهان دارد (Lelieveld et al., 2015). کشورهای دنیا با مشکلات محیط‌زیستی مواجه هستند که در رأس آن‌ها وضعیت نامطلوب کیفیت هوا قرار دارد (Piraino et al., 2006). آلاینده‌های اولیه هوا به‌طور مستقیم از یک فرآیند طبیعی یا انسانی ناشی می‌شوند، مانند خاکستر ناشی از فوران آتشفشان، گاز مونواکسیدکربن خارج شده از آگروز وسایل نقلیه موتوری و یا دی‌اکسید گوگرد آزاد شده از صنایع است. به آلاینده‌های هوا مانند ازن که در اثر واکنش‌های شیمیایی مختلف در هوا تشکیل می‌شوند، آلاینده‌های ثانویه هوا گفته می‌شود (Saxena and Naik., 2018). مهم‌تر از همه برای سلامت انسان، سوزاندن زغال‌سنگ باعث انتشار ذرات معلق (PM2.5 و PM10)، ازن (O3)، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسیدکربن (CO2)، دی‌اکسید گوگرد (SO)، متان (CH4) می‌شود (Shahzad Baig and Yousaf., 2017). استنشاق هوای با غلظت بالای این آلاینده‌ها می‌تواند سیستم تنفسی را تحریک کند (Eguiluz-Gracia et al., 2020). غلظت جهانی مونوکسیدکربن به‌طور عادی بین ۰/۰۵ mg/m³ یا ۰/۰۵ ppm تا ۰/۱۴ mg/m³ یا ۰/۱۲ ppm است. شرایط باد تا حد زیادی بر انتشار آلاینده‌ها در هوا و حمل‌ونقل افقی تاثیر می‌گذارد (Suradi et al., 2021). یکی از اثراتی که به دلیل تراکم بالای جمعیت

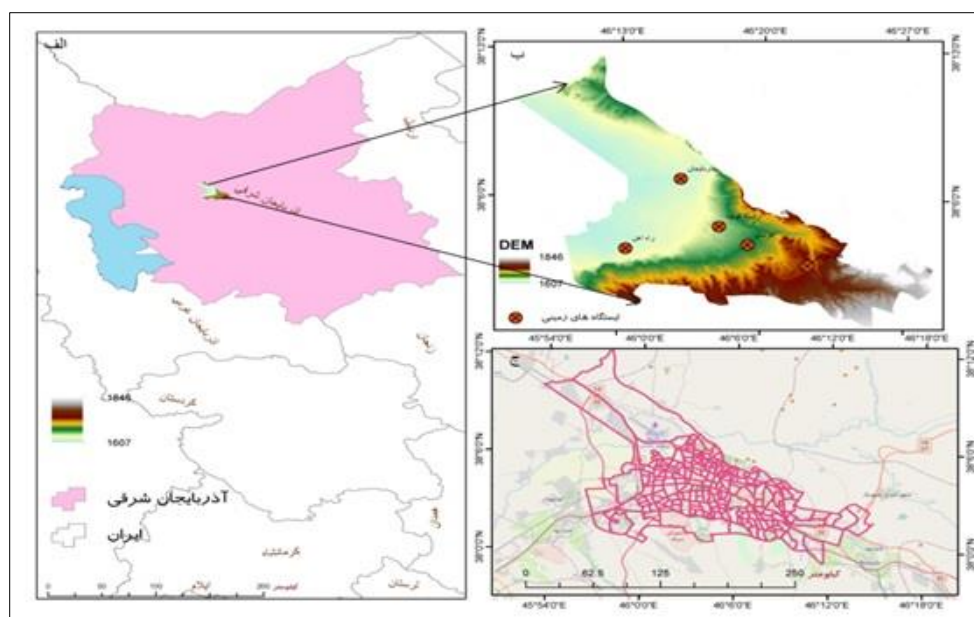
ایجاد می‌شود، میزان بالای آلاینده است. شهر تبریز به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای کشور، چند دهه اخیر شاهد رشد افزایش‌دهنده‌ای به اطراف خود بوده است که این نوع رشد و توسعه متناسب با سنجه‌های پایداری شهری نبوده و در حال حاضر با مسایل ناپایداری‌هایی مواجه است که می‌توان از آلودگی هوا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین این ناپایداری نام برد (Shokri Firouzjah, 2018; Abdini et al, 2014; Ismailnejad et al, 2014). به بررسی آلودگی هوای شهر تبریز پرداختند. Zhang و همکاران (2023) مطالعه‌ای در استرالیا با هدف شناسایی عوامل موثر بر غلظت آلاینده‌های هوا با روش شناسایی فضایی مبتنی بر نقطه علاقه و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای شناسایی مناطق صنعتی با تاکید بر نابرابری فضایی غلظت آلاینده‌های هوا متأثر از مناطق صنعتی صورت گرفت. Ejikem و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود به پایش دینامیک مکانی- زمانی آلودگی هوا در شهر انوگو^(۱) با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی با نمونه‌برداری منظم با استفاده از GPS و تصاویر ماهواره به تجزیه تحلیل رابطه بین عناصر آلودگی CO، CO₂، NO₂، PM_{2.5} با کاربری شهری و تراکم راه‌ها پرداختند که نتایج بیانگر همبستگی بالای بین غلظت آلاینده و راه‌ها در فاصله ۱۰۰ تا ۴۰۰ متری بود. Shaojie Kong و همکاران (2023) کشف الگوهای فضایی و زمانی و عوامل محرک چندگانه ازن سطحی در سراسر چین و استراتژی‌های مدیریت توده‌های شهری با بررسی جمعیت آن در ۳۳۷ شهر در سراسر چین، با استفاده از تجزیه‌وتحلیل همبستگی خودکار برای شناسایی توده‌های گرم شهری و مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR)^(۲) برای مطالعه عوامل هواشناسی مرتبط و عوامل محرک اجتماعی- اقتصادی استفاده شد. Sarwar و همکاران (2017) پژوهشی را با هدف بررسی عوامل موثر بر تغییرات غلظت دی‌اکسید نیتروژن با استفاده از درون‌یابی و رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)^(۳) انجام دادند که نتایج نشانگر بیشترین میزان غلظت دی‌اکسید نیتروژن بر اثر افزایش تراکم در مواردی چون تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی، ایستگاه‌های اتوبوس و تقاطع‌ها می‌باشد. Kanadi et al و همکاران (2021) برای پایش آلاینده هوا، از تصاویر سنتینل ۵ در ۲۰ شهر بزرگ و صنعتی ایران برای دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ استفاده کردند؛ که نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۹، تهران آلوده‌ترین هوا را به لحاظ مجموع عناصر آلاینده و زنجان کمترین

محیطی دارد و توسعه آن تهدیدی اجتناب‌ناپذیر برای کیفیت هوا ایجاد کرده است (Wu et al., 2021). با شفاف‌سازی مکانیسم محرک بین شهرنشینی و آلاینده‌های متعدد هوا، می‌توانیم به دستیابی به یک رابطه هماهنگ انسان و زمین کمک کنیم (Li et al., 2022). در برنامه‌ریزی پایدار توسعه‌ای نسبت به رفع آلودگی به‌ویژه آلودگی هوا از چهره کلان‌شهرهای کشور به‌عنوان یک اصل بنیادی تاکید می‌شود؛ لذا آلودگی هوا خطری بزرگ برای بسیاری از شهرهای ایران به‌ویژه کلان‌شهر تبریز شمار می‌آید. رشد شتاب آلود جمعیت، مهاجرت‌های روستایی، گسترش کارخانه‌ها، تراکم وسایل نقلیه، شرایط توپوگرافی و عوامل طبیعی، تبریز را به‌صورت یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور ایران درآورده است. گذشته از عامل انسانی، عوامل جغرافیایی نظیر موقعیت مکانی، توپوگرافی و وارونگی دمایی هم در تشدید آلودگی شهر تبریز موثرند (Khurshed Dost et al., 2015). این مطالعه با هدف بررسی تغییرات زمانی- مکانی آلاینده‌های جوی در دو دوره خشک و مرطوب را در بازه ۴ سال (۲۰۱۹-۲۰۲۲) و به طور خاص مدل‌سازی تغییرات مکانی زمانی آلاینده‌ها با GWR و تعیین مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در غلظت آلودگی با ضرایب محلی تولید شده برای هر عامل با مدل WGR است.

میزان آلاینده داشته است. Deng و همکاران (2023) به کشف ارتباط بین محیط ساخته شده و آلودگی هوا از دیدگاه جغرافیایی با تاکید بر این که تشکیل و پراکندگی PM2.5 اغلب تحت تاثیر محیط ساخته شده شهری است که محیط ساخته شده با داده‌ها و روش‌های چندمنبعی و ادغام رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) و خوشه‌بندی k-means برای کشف تاثیرات فضایی متفاوت استفاده شد.

با توجه به مطالعات صورت گرفته، بیشتر مطالعات بر روی تکامل مکانی- زمانی یک آلاینده هوا یا تفاوت الگوی فضایی چند آلاینده هوا در یک سال متمرکز شده‌اند (Qi et al., Xu et al., 2022a; 2022b). مطالعات نسبتاً کمی وجود دارد که چندین آلاینده هوا را ادغام کند (Qi et al., 2022a). متغیرهای توضیحی در مطالعات عوامل نیز بیشتر متغیرهای منفرد مانند PM2.5 هستند (Wang et al., 2021a; Xu et al., 2022b). متغیرهای اصلی توضیحی اغلب عوامل اجتماعی- اقتصادی یا عوامل طبیعی که اغلب به طور جداگانه برای تجزیه و تحلیل انتخاب می‌شوند و مطالعات نسبتاً کمی هر دو را با هم در نظر می‌گیرند و تفاوت زمانی را کمتر در نظر می‌گیرند. شهرنشینی به‌عنوان یک فرایند یکپارچه شامل جمعیت، اقتصاد و صنعت (Wang et al., 2021; Wang et al 2021b) مکانیسم پیچیده‌ای در ارتباط با سیستم

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه (الف) موقعیت قرارگیری استان آذربایجان شرقی (ب) مدل رقومی ارتفاع و موقعیت ایستگاه‌ها (ج) موقعیت قرارگیری شهر تبریز

داده‌های رستری، استخراج و با داده‌های پنج ایستگاه زمینی (راه‌آهن، راسته کوچه، آب‌رسان، آذربایجان و هتل مرمر) از نوامبر ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ است. عوامل توضیحی برای تراکم آلاینده هوا را می‌توان به عوامل انسانی و محیطی طبقه‌بندی کرد (Cedeno et al., 2023). داده‌های جمعیتی در سطح بلوک از سازمان شهرداری‌ها تهیه شد، داده‌های نور شبانه (NTL)^(۵)، رادیومتر تصویربرداری مادون قرمز مرئی (VIIRS)^(۴) اطلاعات باند روز/ شب از سایت (<https://earthexplorer.usgs.gov>) به صورت ماهانه که از آن میانگین فصلی گرفته شد بود؛ و تراکم جاده از OSM به دست آمد، همچنین مناطق صنعتی با استفاده از لایه کاربری اراضی شهری و OSM (در سطح بلوک و نقطه) به دست آمد که بلوک‌های کمتر از ۵۰ مترمربع به نقطه تبدیل شدند و به صورت لایه تراکم کرنل برحسب مساحت مورد استفاده قرار گرفت. لایه باد از سازمان هواشناسی به صورت میانگین باد غالب ۱۰ ساله اخیر استفاده شد. همچنین تغییرات را در دوره‌های مختلف سازمان‌دهی و تجزیه و تحلیل می‌کند. در این پژوهش، از تعداد بالایی تصویر سطح سه که از طریق موتور گوگل ارث فراخوانی شده‌اند (Ghasempour et al., 2021)، به صورت میانگین دوره خشک (از اوایل می تا آخر اکتبر) و دوره مرطوب (از اول نوامبر تا اوایل ماه می) که از نوامبر ۲۰۱۸ تا نوامبر ۲۰۲۲ که ۸ تصویر میانگین برای هر عنصر (PM2.5, O3, NO2, CO) استفاده شد. لازم به گفتن است که این بررسی روند تغییرات فصلی برای ۴ سال بود و بررسی و مدل‌سازی تغییرات مکانی زمانی برای سال برای سال ۲۰۲۲ صورت گرفت.

• روش اجرای تحقیق

در این مطالعه از شاخص‌هایی از جمله NTL, LST, NDVI, DEM, چگالی تراکم جمعیت، تراکم ساخت، سرعت باد غالب، تراکم چگالی نواحی صنعتی به عنوان متغیرهای پیش‌بینی و غلظت PM2.5, CO, NO2 و O3 به عنوان متغیر پاسخ در مدل بودند.

– آلاینده‌های هوا و عوامل پردازش داده عوامل سنجش‌ازدور

از جمله آلاینده‌های هوا، NTL، تراکم جمعیت، DEM، NDVI و سرعت باد، از GEE جمع‌آوری شد. این مطالعه، هدف ما بررسی چگونگی تاثیر سنجش‌ازدور و عوامل مکانی بر تغییرات زمانی و

شهر تبریز به عنوان مرکز استان آذربایجان شرقی و بزرگ‌ترین شهر شمال غرب ایران در مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱) تبریز از سمت جنوب به رشته کوه منفرد همیشه پربرف سپند و از شمال شرقی به کوه سرخ‌فام (عون بن علی عینالی) محدود می‌شود. رودخانه آجی چای (تلخه رود) از قسمت شمال و شمال غرب تبریز می‌گذرد و بعد از طی مسافتی قابل توجه در دشت تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد و مهران رود از میانه تبریز می‌گذرد که بیشتر در فصول مختلف سال بی آب است. تبریز زمانی دارای باغات و مزارع فرح‌انگیز و پرآوازه‌ای بود به همراه قنات‌ها و چشمه‌های متعدد که امروز تمامی آن‌ها باغات و مزارع از میان رفته یا در حکم از میان رفتن است و گستره شهر پیرامون خود را به مناطق مسکونی، تجاری، اداری و صنعتی و خدماتی مبدل ساخته است (Basiri et al., 2018). آب‌وهوای تبریز نیز خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستانه‌ای سرد است (Ismailnejad et al., 2017; Sarvar et al., 2019). توپوگرافی خاص تبریز و نحوه قرارگیری کوه‌ها از عواملی هستند که سبب افزایش آلودگی هوا در این شهر می‌شوند. به طوری که در فصول سرد سال از عوامل اصلی در ایجاد وارونگی دمایی به شمار می‌آیند (Qurbani et al., 2017).

• داده‌های تحقیق

آلاینده‌های هوا و داده‌های عاملی توضیحی در این مطالعه، آلاینده‌های هوا با بررسی غلظت آلاینده‌های هوا اندازه‌گیری شده توسط ماهواره‌ها مورد بررسی قرار گرفت. غلظت آلاینده‌های هوا، از جمله تراکم ستون ذرات معلق (PM2.5)، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و ازن به عنوان متغیرهای پاسخ در این مطالعه در نظر گرفته شد (Qiu et al., 2023). در این مطالعه، هدف تحقیق تعیین پویایی زمانی - مکانی تغییرات غلظت آلاینده‌های مذکور و مدل‌سازی مکانی برای شناسایی انتشار مکانی در کلان‌شهر تبریز است. در این پژوهش از آمار حداکثر ۱ ساعته غلظت عناصر در طول روزهای پایش به صورت میانگین ماهانه که واحد پارامتر CO برحسب ppm، پارامتر ذرات معلق برحسب $\mu\text{g}/\text{m}^3$ و مابقی پارامترها بر اساس ppb محاسبه می‌شوند برای ارزیابی نتایج خروجی غلظت عناصر آلودگی به دست آمده از تصویر سنتینل و سنجنده TROPOMI از موتور Google Earth

– آزمون چندخطی

آزمون چندخطی در این مطالعه از ضریب گسترش واریانس (VIF) برای آزمون چندخطی در مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه است. زمانی که فرض شود متغیرهای مستقل به صورت خطی همبستگی ندارند، نسبت واریانس برآوردگر ضریب رگرسیون (در این مطالعه Enter) را به واریانس نشان می‌دهد. مقدار VIF بزرگ‌تر از ۱ است. هر چه مقدار VIF به ۱ نزدیک‌تر باشد، چندخطی سبک‌تر است و بالعکس. بر اساس ضرایب مدل و برای تنظیم یک خط پایه مقایسه برای نتایج GWR. نتایج OLS جدول (۲) نشان می‌دهد که شش متغیر انتخاب شده به طور معنی‌داری با توزیع غلظت PM2.5 مرتبط هستند ($p\text{-value} < 0.05$). نتایج VIF نشان می‌دهد که چندخطی در بین متغیرها وجود ندارد ($VIF < 1.2$) (Xingdong Deng, 2023).

– خوشه‌بندی K-means

خوشه‌بندی K-means که مدیریت منطقه‌ای و پیامدهای سیاست را با توصیف مکانیسم‌های تاثیرگذار محلی غلظت‌های عناصر آلاینده در مناطق مختلف تجزیه و تحلیل کنیم، ضروری است. برای دستیابی به آن، روش خوشه‌بندی K-means بر اساس ضرایب به دست آمده برای هر متغیر در مدل GWR در این مطالعه استفاده شد. خوشه‌بندی K-means یک الگوریتم موثر برای دسته‌بندی یک مجموعه نمونه از اشیاء به k خوشه‌های مختلف بر اساس شباهت‌های آن‌ها در ویژگی‌ها است. عملکرد اصلی خوشه‌بندی به حداقل رساندن تنوع نمونه‌ها در همان خوشه و به حداکثر رساندن تفاوت بین خوشه‌ها به طور هم‌زمان است (Hartigan & Wang, 1979; Deng et al., 2023).

نتایج و یافته‌ها

تغییرات زمانی فضایی حاصل از عناصر CO و NO2 به صورت دو دوره گرم و سرد با استفاده از تصاویر سنتینل ۵ (شکل ۲) برآورد شد که نتایج نشان می‌دهد که در دوره خشک (اردیبهشت تا اوایل مهر (s)) روند تغییرات در CO و NO2 تقریباً کاهشی و در دوره مرطوب روند تقریباً افزایشی است که pm2.5 برعکس روند که در دوره خشک افزایش و در دوره مرطوب کاهش می‌یابد؛ که میزان تغییرات از زمستان ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ روند افزایشی شدیدی نسبت به دوره‌های قبل دارد. با توجه به نمودار شکل (۲-ب) روند تغییرات زمانی NO2 و O3 در تابستان نزولی و در زمستان

غلظت آلاینده‌های هوا در کلان‌شهر تبریز در سال ۲۰۲۲ بود. لایه‌ها در دو دسته عوامل مکانی و سنجش از دوری که عوامل مکانی، از جمله اندازه صنعتی، با استفاده از داده‌های OSM با GIS محاسبه شد که کاربری صنعتی بر اساس اندازه (بالای ۵۰ مترمربع) به صورت پلی‌گون و کوچک‌تر از آن به صورت نقطه، تراکم چگالی آن برای منطقه محاسبه شد همچنین لایه جمعیت، DEM، مجموع فضایی تمام پیکسل‌های داخل منطقه، و عوامل سنجش‌از دور با استفاده غلظت آلاینده هوا، NTL، NDVI و سرعت باد، با میانگین مکانی و زمانی برای هر منطقه صنعتی نشان داده شد. پس از دسترسی به مجموعه داده‌های سنجش‌از دور، میانگین زمانی پیکسل‌ها را در یک مکان برای دوره خشک و مرطوب در سال ۲۰۲۲ محاسبه شد؛ همه لایه‌ها استانداردسازی شدند. فرآیند استانداردسازی متغیرها را قادر می‌سازد تا بدون واحد و قابل مقایسه باشند (Wu et al., 2021).

– تجزیه و تحلیل ارتباط با استفاده از GWR

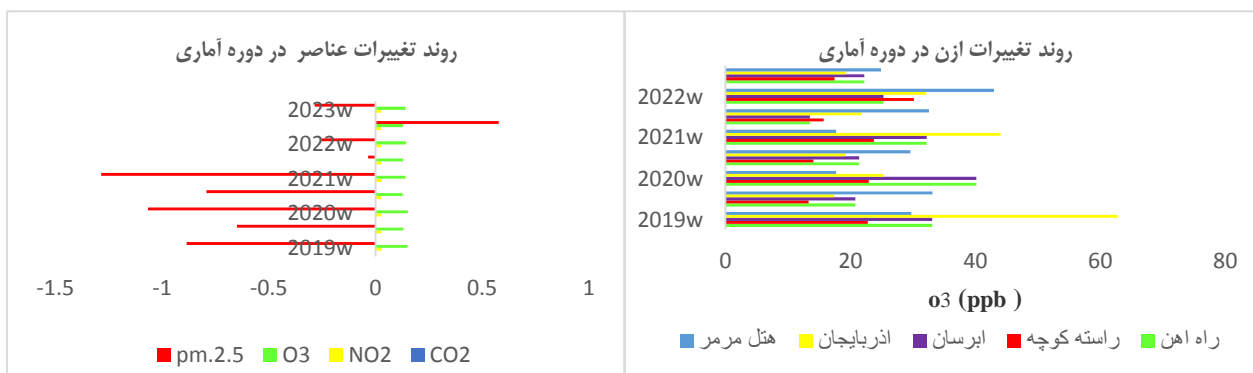
این مطالعه از مدل GWR برای بررسی ناهمگن فضایی و زمانی اثرات عوامل محیطی و اجتماعی ساخته شده از منظرهای متعدد در غلظت ذرات معلق، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و ازن استفاده کرد. مدل با در نظر گرفتن پارامترهای محلی انجام می‌شود (Chen et al., 2018; Li et al., 2021). GWR نسبت به روش‌های رگرسیون خطی سنتی در مدل‌سازی پارامترهای محلی در میان متغیرهای متعدد برتری دارد (Brunsdon et al., 2010). همه عوامل محرک پردازش و با پیکسل سایز ۳۰۰ متر استاندارد شدند (Wu et al., 2021). ارزیابی مدل‌ها، از رابطه بین غلظت عناصر آلاینده و عوامل انسانی و محیطی با استفاده از GWR مورد بررسی قرار گرفت که ضرایب محلی و سطوح اطمینان را برای هر واحد ایجاد می‌کند. مدل GWR در معادله نشان داده شده است (۲).

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^n \beta_j(u_i, v_i) X_{ij} + \varepsilon_i \quad (2)$$

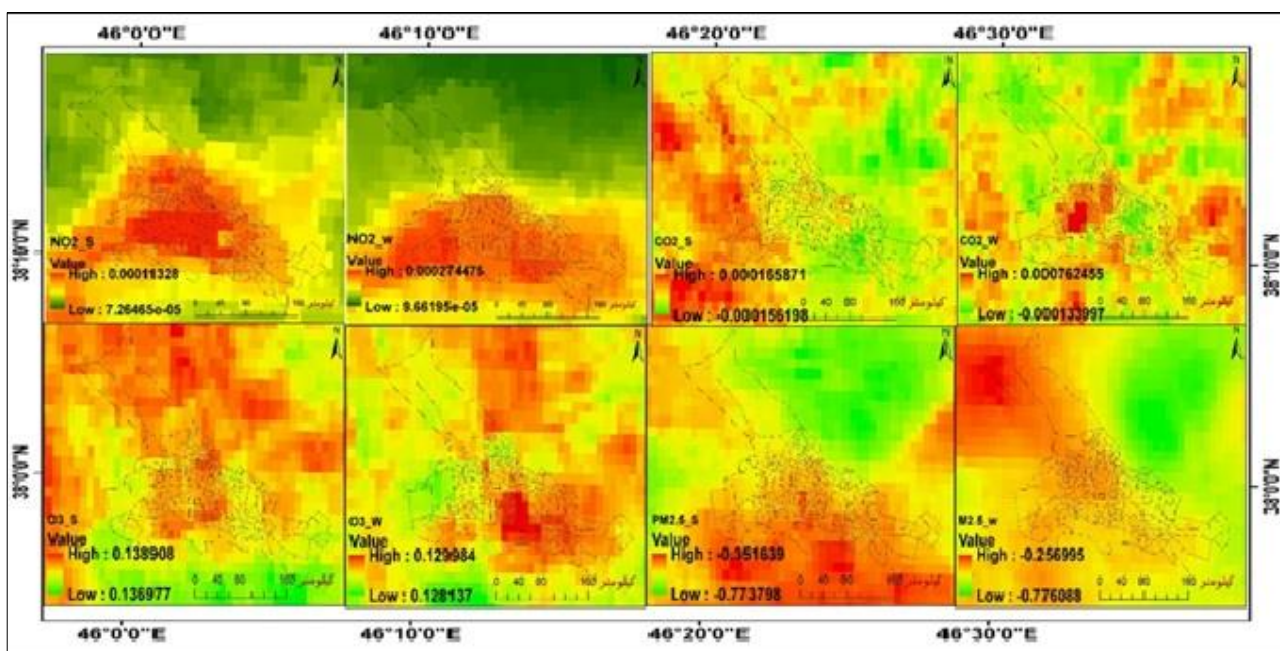
که در آن Y_i به چهار نوع آلاینده هوا، X_{ij} عامل تاثیرگذار انسانی یا محیطی انتخاب شده و $\hat{I}_{ij}(u_i, v_i)$ عبارت خطا است. نشان‌دهنده ضرایب استاندارد شده محلی برای عوامل تاثیرگذار است. یک مقدار ضریب مطلق بالاتر نشان‌دهنده تاثیر قوی‌تر عوامل بالقوه بر غلظت آلاینده هوا است. مقادیر $\beta_j(u_i, v_i)$ با استفاده از معادلات محاسبه شد.

مرمر روند معکوسی نسبت به ایستگاه‌های دیگر تا سال ۲۰۲۲ داشته است. برعکس آن‌ها تغییرات CO در تابستان سعودی و در زمستان نزولی است.

به‌صورت صعودی که ایستگاه آذربایجان و آبرسان در ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ تغییرات شدیدی نسبت به ایستگاه‌های دیگر داشتند که این زمان مصادف با دوران کرونا می‌باشد و همچنین ایستگاه هتل



شکل (۲): الف- روند تغییرات عناصر استخراج شده از سنتینل ۵ دوره خشک (S) و مرطوب (W) (سمت راست) ب- روند تغییرات عنصر ازن در داده‌های زمینی



شکل (۴): میانگین ۴ سال (۲۰۱۹-۲۰۲۲) نقشه‌های غلظت عناصر آلودگی به‌صورت دوره خشک و مرطوب

درصدی دارند که به‌جز ایستگاه هتل مرمر (برای O3 و PM2.5) و ایستگاه راه‌آهن که به‌ناقص بودن داده برای سال موردنظر دقت پایین در آن‌ها دیده می‌شود. در ادامه شکل (۴) میانگین نقشه خروجی به‌دست آمده برای سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۲۲ به‌صورت میانگین ۴ ساله آلاینده در دو دوره خشک و مرطوب ارائه شده است. که در هر دو دوره خشک غلظت بالای عناصر آلاینده

نتایج حاصل از همبستگی بین داده‌های زمینی برای ایستگاه‌های آلودگی سنجی (راه‌آهن، راسته کوچه، آبرسان، آذربایجان، هتل مرمر) به‌صورت میانگین سالانه بررسی شد که نتایج برای ایستگاه‌های مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۲) نتایج همبستگی بین داده‌های زمینی و ایستگاه‌های مورد بررسی برای سال ۲۰۲۲ همبستگی بالای ۰/۷

آلاینده در این مناطق و همچنین به علت جانمایی نامناسب هم‌جواری با شهر و فعالیت‌های صنعتی بزرگی همچون پتروشیمی تراکتورسازی و صنایع وابسته به آن‌ها دارای غلظت بیشتری از آلاینده‌ها مشاهده می‌شود (Sarvar et al., 2019).

منطبق بر نواحی متراکم شهری است به جز ازن و دی اکسید گوگرد که بر مناطق مرکزی و پراکندگی غلظت در دوره مرطوب وجود دارد در عناصر دیگر آلاینده به صورت جریانی از غرب و شرق و شمال و شمال غربی شهر تراکم دارد که این مناطق به علت ارتفاع پایین که خود عامل ماندگاری آلودگی است. این جریان غلظت

جدول (۲): همبستگی بین ایستگاه‌های زمینی و داده‌های آلاینده استخراج شده با تصویر سنتینل ۵ برای عناصر آلودگی

عناصر آلاینده	هتل مرمر	آذربایجان	آبرسان	راسته کوچه	راه آهن
CO (ppb)	-۰,۷۰۸۱۲۴۳۳	۰,۵۶۱۴۹۰۷۲۹	۰,۸۳۸۷۵۲۱۲۷	۰,۸۰۶۱۳۹۳۴۱	۰,۶۳۴۳۶۲۵۳۹
NO2 (ppb)	-	-۰,۲۹۵۶۶	-۰,۷۷۹۹۹۲۹۷۳	-۰,۷۷۹۹۹۲۹۷۳	۰,۱۶۳۸۵۰۴۵۲
O3(ppb)	-۰,۲۰۴۶۴۷۶۸۲	۰,۷۴۱۲۸۴۸۹	۰,۸۶۳۵۰۱۵۵	۰,۷۸۷۹۷۲۱۷۸	۰,۸۶۳۵۰۱۵۵
PM2.5 (µg/m3)	-۰,۲۱۳۰۸	-۰,۷۴۰۹۴۳۴۳۳	-۰,۸۰۸۶۰۷۷۹۴	-۰,۸۴۹۱۴۳۱۵	۰,۷۲۰۳۶۷۷۵۴

جدول (۳): ضریب تعیین بین عناصر آلودگی و ایستگاه‌های داده زمینی

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	parametr
۰/۸۵۸۸	۰/۷۳۶	۰/۵۳۸	۰/۰۰۰۱۸۵۸۹۲	NO2
۰/۹۴۸۸	۰/۸۹۷	۰/۸۱۹	۰/۰۰۴۰۰۵۴۴	O3
۰/۹۴۶۸	۰/۸۹۵	۰/۷۵۵	۰/۰۰۰۱۳۵۳۶۹	CO
۰/۸۵۸۸	۰/۷۳۷	۰/۳۸۵	۰/۰۰۷۳۷۸۱۸۳	P2.5

زمان و مکان در مقیاس شهر تبریز است.

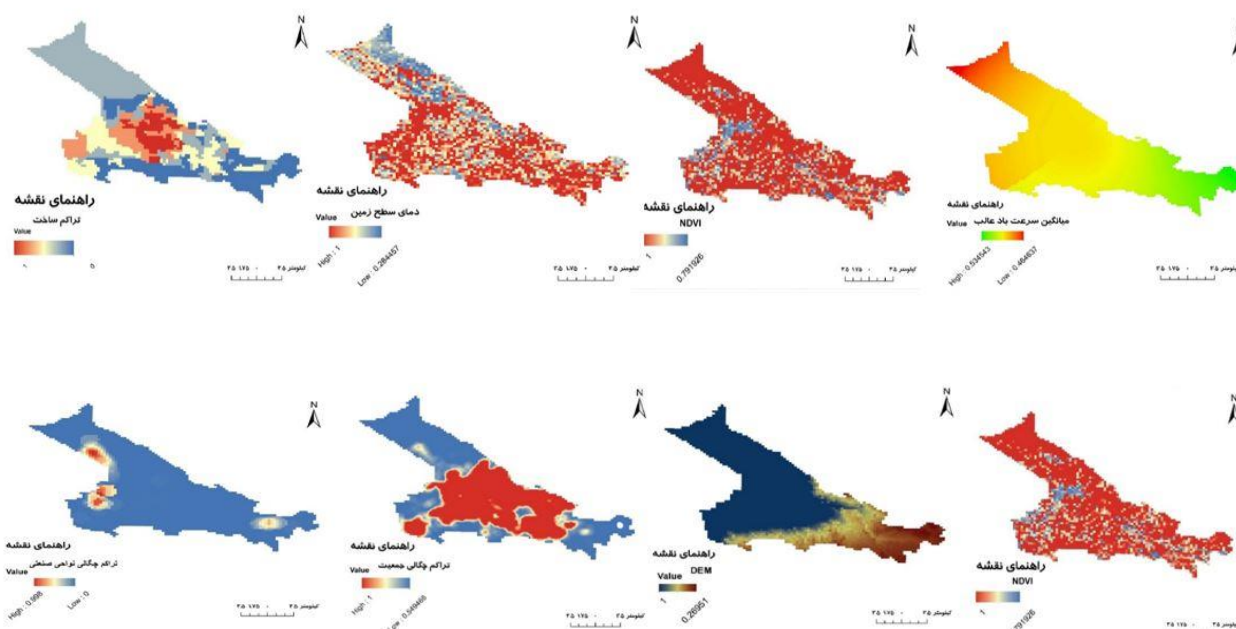
• بررسی همبستگی و ارزیابی مدل‌ها

در این مطالعه رابطه بین غلظت عناصر (O3, NO2, CO, PM2.5) و عوامل محیطی و انسانی ساخته شده با استفاده از GWR مورد بررسی قرار گرفت که تولید ضرایب محلی و سطوح اطمینان برای هر عامل تولید شد. آمار توصیفی از هر دو متغیر پاسخ و متغیرهای پیش‌بینی در جدول (۲) فهرست شده‌اند. با توجه به ماتریس همبستگی بین عوامل محرک بالقوه در شکل (۶) آرایه شده است. این امر نشان می‌دهد که بین متغیرهای انتخاب شده همبستگی قوی وجود دارد و تقریباً اکثر عوامل همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ دارند. مدل OLS جهانی برای بررسی متغیرهای مهم استفاده شد که بر الگوی فضایی غلظت عناصر آلودگی برای اهداف زیر برای تعیین چندخطی بودن بین وجود نداشت متغیرهای انتخاب شده، برای بررسی رابطه احتمالی بین متغیر پاسخ و متغیرهای پیش‌بینی بر اساس ضرایب مدل و برای تنظیم یک خط پایه مقایسه برای نتایج GWR و OLS جدول (۲) نشان می‌دهد که هشت متغیر انتخاب شده به طور معنی‌داری مرتبط با توزیع غلظت ($p\text{-value} > 0.05$) یافت شدند. نتایج VIF نشان می‌دهد

• نتایج بین عوامل آلاینده و غلظت آلاینده‌های هوا با روابط جهانی و محلی

رابطه بین عوامل طبیعی و اجتماعی و آلودگی هوا در این مطالعه با روابط جهانی و محلی هوا را با استفاده از مدل GWR کمی‌سازی کرد. اولاً، ناهمگونی فضایی مهم‌ترین ویژگی نتایج مدل‌سازی است (Xingdong Deng, 2023). به عنوان مثال، R2 محلی مدل GWR در منطقه مورد مطالعه بسیار متفاوت است. R2 محلی در دوره مرطوب بیشتر تطابق با نواحی مرکزی و نواحی جنوب غربی شهر تبریز منطبق بود در حالی که در دوره خشک به صورت لکه‌هایی در نواحی مرزی و حاشیه‌های شهر منطبق بود. موثر در تغییرات فضایی زمانی آلودگی شهر تبریز در دوره گرم و سرد با استفاده از دودسته عوامل انسانی (تراکم جمعیت، NTL) عوامل محیطی (سرعت باد غالب، مدل رقومی ارتفاع، NDVI، دمای سطح) و عوامل صنعتی (کارخانه‌ها، پالایشگاه‌های حرارتی) مورد پردازش قرار گرفتند. شکل (۵) و تاثیر آن‌ها بر تغییرات فضایی و زمانی (به صورت فصلی) با رگرسیون وزنی جغرافیایی محلی و جهانی مدل شد مطالعه مکانی- زمانی تاثیرات عوامل بر آلودگی شهری بررسی نشده است. یافته‌های کلی شامل روابط واحد بین تراکم آلاینده هوا و عوامل تاثیرگذار در آن با توجه به

که چندخطی در بین وجود ندارد متغیرها ($VIF < 2/5$) به‌جز متغیر ارتفاع (DEM) و تراکم ساخت که برای مدل‌سازی در GWR پارامتر موردنظر حذف شد.



شکل (۵): توزیع فضایی عوامل محرک عناصر آلودگی در شهر تبریز

	NO ₂ _W	CO_W	CO_S	PM _{2.5} _W	PM _{2.5} _S	O ₃ _W	O ₃ _S	N ₂ O_S	POP_N	NTL_W	NTL_S	SACH_T	LST_N	INDES_TRA	NDVI	DEM	WIND_W
NO ₂ _W	1	.115	.115	-.637**	.689**	.049	.340	.645	.487*	-.233**	-.193**	-.192**	.361	-.057**	.155	.379	.524**
CO_W	.115	1	.888	.129**	.0036	.084	.188	.065	.051*	-.003	.051**	-.137**	.070	0.028	0.004	.297	.228**
CO_S	.115	.888	1	.114**	.053**	.0023	.118	0.001	0.007	.070**	.064**	-.047*	.044	.045*	0.001	.074	0.02
PM _{2.5} _W	.637	.129	.114	1	.265**	.150	.268	.498	.447*	.183**	.160**	0.006	.233	.176**	.082	.481	.672**
PM _{2.5} _S	.689	.0036	.053	-.265**	1	.359	.002	.630	.447*	.135**	.106**	-.381**	.228	-0	.080	.130	0.029
O ₃ _W	.049	.084	.0023	.150**	.359**	1	.276	.128	.202*	.141**	.139**	-.156**	.060	-.279**	.131	.156	.273**
O ₃ _S	.340	.188	.118	.268**	-.002	.276	1	.188	.059*	0.031	0.032	-.337**	.241	-.128**	.127	.582	.363**
N ₂ O_S	.645	.065	0.01	-.498**	.630**	.128	.188	1	.694*	.169**	.149**	-.490**	.227	-.084**	.138	.145	.199**
POP_N	.487	.051	0.007	-.447**	.447**	.202	.059	.694	1	.186**	.142**	-.496**	.114	-.213**	.040	.098	.091**
NTL_W	-.233	-.003	.070	.183**	-.135**	.141	0.031	.169	.186*	1	.834**	-.052**	.039	-.002	.084	.237	.220**
NTL_S	.193	.051	.064	.160**	-.106**	.139	0.032	.149	.142*	.834**	1	-.004	-.002	-0	.092	.214	.187**
SACH_T	.192	.137	.047	0.006	.381**	.156	.337	.490	.496*	-.004	-.004	1	.098	-.001	.049	.546	.333**
LST_N	.361	.070	.044	-.233**	.228**	.060	.241	.227	.114*	-.039*	-.002	.098**	1	.084**	.632	.212	.262**
INDES_TRA	.057	.0028	.045	.176**	-0	.279	.128	.084	.213*	-.002	-0	-.001	.084	1	.084	.081	0.037
NDVI	.155	0.004	0.01	.082**	.080**	.131	.127	.138	.040*	.084**	.092**	-.049*	.632	-.084**	1	.0029	.100**
DEM	.379	.297	.074	.481**	.130**	.156	.582	.145	.098*	.237**	.214**	-.546**	.212	.081**	0.029	1	.828**
WIND_W	.524	.228	0.02	.672**	0.029	.273	.363	.199	.091*	.220**	.187**	-.333**	.262	0.037	.100	.828	1

*** همبستگی در سطح ۰/۰۰۱ (۲ ستاره) معنی‌دار است، ** همبستگی در سطح ۰/۰۰۵ (۱ ستاره) معنی‌دار است.

شکل (۶): ماتریس همبستگی بین عوامل محرک بالقوه و عناصر آلودگی

رگرسیون وزنی جغرافیایی حکایت می‌کند (Nikpour et al., 2017). همچنین دقت مدل‌سازی تغییرات غلظت $pm_{2.5}$ در زمستان بهتر از تابستان است که در عنصر نیتروژن این برعکس است. مدل‌سازی تغییر از هر دو دوره گرم و سرد تقریباً یکسان بوده است و مدل‌سازی مقدار دی‌اکسید گوگرد در تابستان بهتر از دوره سرد بوده است. اکثر نقشه‌ها با R^2 بالای ۰/۷ مدل‌سازی شد در بین پارامترهای تاثیرگذار متغیر مناطق صنعتی و NTL تاثیرگذارترین در مدل‌سازی غلظت آلودگی عناصر است لازم به ذکر که مدل رگرسیون جهانی تمام پارامترها در مدل‌سازی استفاده شد که تنها دقت خروجی آنها در جدول (۴) ارایه شد.

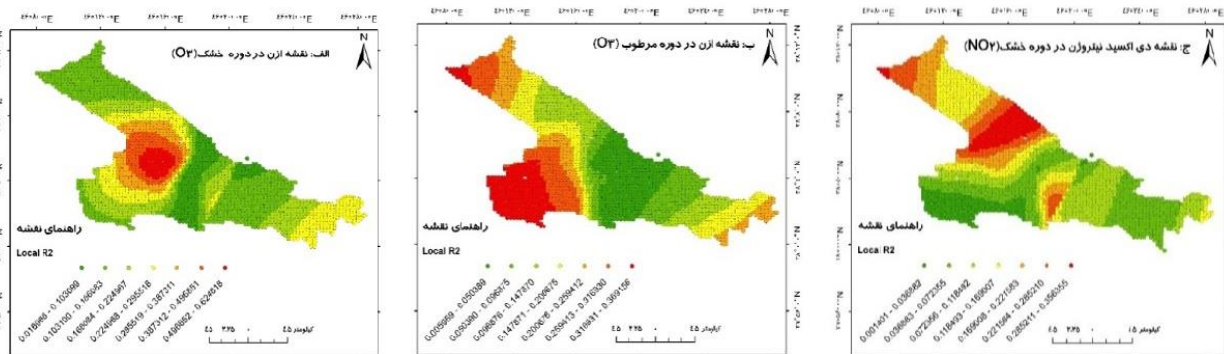
برای مدل‌سازی تغییرات زمانی فضایی از روش رگرسیون وزنی جهانی و محلی برای برآورد تغییرات آلاینده جوی CO , O_3 , NO_2 و $PM_{2.5}$ با استفاده از متغیرهای مستقل که با توجه به جدول (۴) بالاترین دقت یا به عبارت دیگر بالاترین توانایی در تعیین رفتار تغییرات غلظت آلودگی را داشته است. در تحلیل نتایج روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی جغرافیایی، مفهوم تعیین محلی یا همان ضریب R^2 Local اهمیت بسیاری دارد. مقدار R^2 وزن دهی شده محلی، بین مقادیر مشاهده شده است که این آماره نشان می‌دهد تا چه اندازه مدل قادر به برآورد دقیق بوده است و تا چه اندازه مقادیر مشاهده شده از برآوردها فاصله دارند. این مقادیر بین یک و صفر متغیر است و مقادیر کم از عدم پیش‌بینی قوی

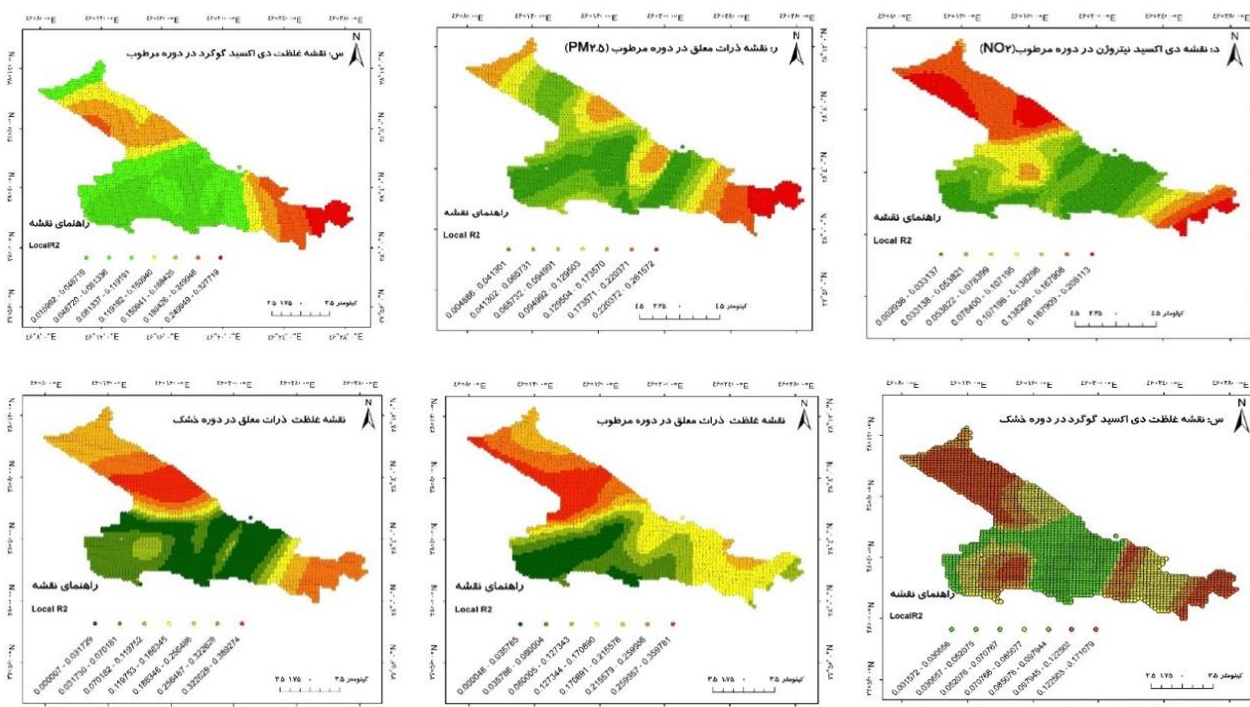
جدول (۴): مقایسه دقت بین مدل جهانی OLS و GWR

PM.2.5_W	PM.2.5_S	NO2_W	NO2_S	CO_W	CO_S	(S) O3	(S) O3		
-۱۲/۳۸۲۹	-۷۱۰۵/۲۵	-۵۸/۲۳۷۷۵	-۲۵/۷۵۰۱	-۳۶/۶۷۲۲۴	-۹۷/۷۶۵۳۳	-۶۷/۱۰۷۳۴	-۷۲/۳۳۹۰۴	AICc	OLS
۰/۵۵۸۵۱	۷۴۰,۹۱۰۷	۰/۹۲۱۴۴	۰/۷۶۹۸۲۴	-۰/۹۲۱۴۴	۵/۲۶	۰/۳۰۷۰۳	۰/۵۰۳۲۰	R2Adjusted	
۰/۰۳۱۹۹	۰/۰۱۰۰	۰/۵۰۳۲۰	۳/۸۴۸۰	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۳۱۹	۰/۰۰۰۳۳	Sig	
-۳۱/۸۰۵۰۱	۱۷۰/۲۳۴۸۲	۰/۱۹۱۲۸۸	۱۲/۹۵۴۷۹	-۱۸/۶۸۵۳۴	-۷/۱۱۳۴۳	-۳۱/۸۰۵۰۱	۷۱/۳۴۲۳۴	AICc	GWR
۰/۷۲۸۱۲	۰/۸۹۹۷۴	-۳۶/۰۱۲	۰/۷۵۱۱۵۱۲	۰/۶۹۳۹	۰/۶۵۶۳	۰/۷۲۸۱۲	۰/۵۷۶۱	R2	
۰/۷۲۵۵	۰/۸۹۸۷	۰/۴۱۸۷۴	۰/۷۴۸۱۱۳	۰/۶۹۱۰۷	۰/۶۵۳۱۲	۰/۷۲۵۹۹	۰/۵۷۲۱	R2Adjusted	

گذاشته شدند و مدل‌سازی با ۴ متغیر (NDVI، LST، NTL یا تراکم انسانی، تراکم کرنل مناطق صنعتی) گرفت که در شکل (۶) آورده شده است که ضرایب محلی و عملکرد مدل را برای هر متغیر تولید می‌کند.

• مدل‌سازی تغییرات زمانی فضایی با روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی
تغییرات فضایی ضرایب GWR با توجه به نتایج بررسی همبستگی بین متغیرها همه پارامترها به جز مدل رقومی ارتفاع و تراکم نواحی ساخته شده که چندخطی بالا ۲ داشتند در مدل‌سازی GWR کنار

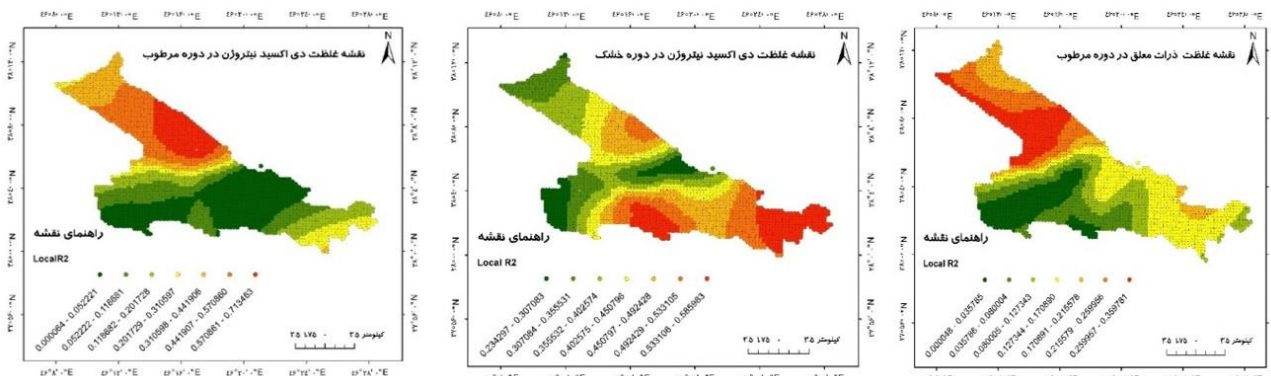


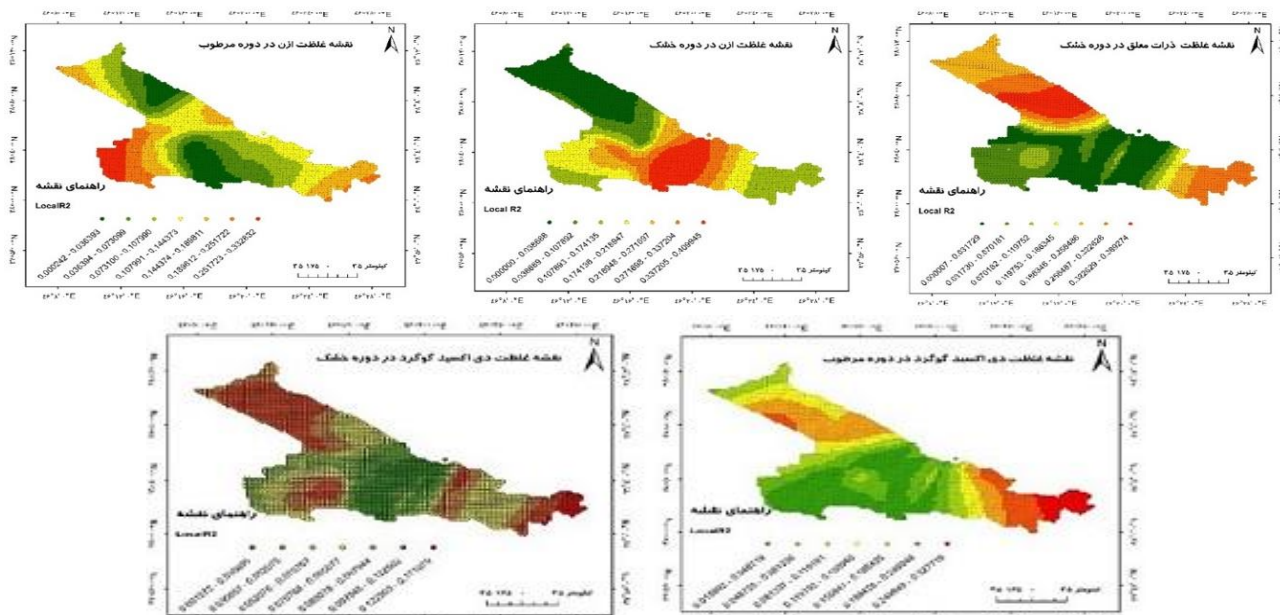


شکل (۶): تغییرات فضایی زمانی رابطه مکانی بین هر عامل موثر و آلاینده‌های جوی

ادامه عوامل جمعیت و تراکم ساخت که همبستگی بالایی با آن عناصر آلودگی نشان دادند به صورت جداگانه (محدودیت مدل در تعداد نقاط ورودی) با مدل WGR برای تولید ضرایب محلی مدل‌سازی شد که در شکل (۷) نتایج همبستگی مکانی بین مقادیر مشاهده و مدل شده ارائه شد.

در واقع رابطه کلی بین هر یک از عوامل تاثیرگذار و آلودگی هوا را نشان می‌دهد. می‌توان گفت بیشینه همبستگی مکانی بین عوامل و عناصر آلاینده در ازن بیشتر در مناطق صنعتی منطبق است. همچنین در عنصر دی‌اکسید نیتروژن بیشتر بر مناطق شمال غربی مناطق حمل‌ونقل و صنعتی منطبق است. در حالی در نواحی متراکم شهری این عنصر رفتار غیرقابل پیش‌بینی دارد. در





شکل (۷): نقشه توزیع مکانی ضرایب محلی مدل GWR برای متغیرهای جمعیت مناطق صنعتی و نور شبانه و نواحی صنعتی

بیانگر آن است که مناطق متراکم و پرجمعیت شهر همبستگی کمتری دارد به‌جز عنصر ازن که در دوره خشک بر نواحی مرکزی شهر منطبق است که ارتباط آلاینده شهری با ازن را بیان می‌کند.

همبستگی بالاتر بین مقادیر مشاهده شده و مدل شده منطبق بر نواحی که با رنگ قرمز مشخص شده است این همبستگی بیشتر در مناطق مرزی شهر در جهت‌های مختلف پراکنده شده و این

جدول (۵): دقت مدل GWR در برآورد ضرایب عوامل جمعیت و تراکم ساخت

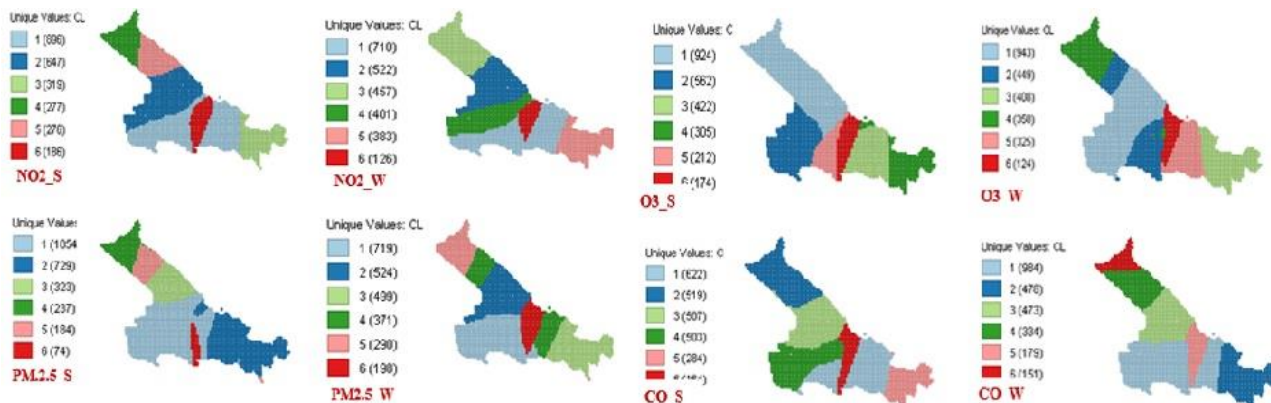
		(S) O3	(S) O3	CO_S	CO_W	NO2_S	NO2_W	PM2.5_S	PM2.5_W
دقت مکانی جمعیت، تراکم ساخت در مدل GWR	Sigma	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۱
	AICc	۳۴۹۶۳/۳۴۱	-۳۴۸۷۳/۵۲۳	۳۵۰۹۵/-۶۵۴	-۳۴۰۵۶/۰۲۳	۵۷۷۸۴/۰۰۵	-۵۲۶۸۴/۲۳۱	۷۲۲۵/۷۶۳	۱۰۵۱۱/۳۲۵
	R2	۰/۳۸۸	۰/۵۳۲	۰/۴۰۸۱	۰/۵۲۱۰	۰/۷۸۲۴	۰/۹۱۰	۰/۶۸۶	۰/۷۳۱
	R2Adjusted	۰/۳۸۵	-۰/۵۳۰	۰/۴۰۴۵	۰/۵۱۲۴	۰/۷۸۱۴	۰/۹۱۰	۰/۶۸۴	۰/۷۳۰

GWR در آن‌ها را نشان می‌دهد. میانگین ضرایب همه متغیرها به طور قابل توجهی در خوشه‌های مختلف متفاوت است (Xingdong Deng et al., 2023). غلظت عناصر آلودگی با کنترل سطح شهرنشینی از طریق زمین تخصیص پارکینگ‌ها و تاسیسات صنعتی و کنترل موثر نسبت مساحت کاربری زمین شهری این پیامدهای سیاستی یا منطقه‌بندی کمک می‌کند (Li et al., 2021). با توجه به (شکل ۸) منطقه ۱ و ۲ نسبت به مناطق دیگر دارای ضرایب بالا و گستره بیشتری هستند به عنوان مثال به این معنا که تاثیرپذیری غلظت

• خوشه‌بندی منطقه مطالعاتی بر اساس ضرایب تولید شده برای عوامل محیطی و انسانی در این بخش بر اساس رابطه بین عوامل محیطی و انسانی و عناصر آلاینده، لازم است منطقه مورد مطالعه را در زون‌های مختلف طبقه‌بندی کرد تا مدیریت منطقه‌ای و پیامدهای سیاست را مشخص کرد؛ بنابراین، منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم k-mean (در نرم‌افزار GeoDa) بر اساس GWR محلی طبقه‌بندی شد. در این تحقیق تعداد بهینه خوشه‌ها بر اساس ضریب خوشه بود. شکل (۸) توزیع مکانی شش خوشه و ضرایب

دی‌اکسیدنیترژن و ذرات معلق مناطق متراکم و نواحی مرکزی شهر تطابق دارد؛ بنابراین زون‌های ۱ تا ۳ می‌توانند در کنترل غلظت آلاینده‌ها مفید واقع شوند.

ازن در این منطقه از عوامل کنترل‌کننده آلودگی در مناطق غرب و شمال‌غربی بیشتر است. در غلظت دی‌اکسید گوگرد مناطق ۱ و ۲ به مناطق جنوب و انتهای شرقی شهر قرار گرفته و در



شکل (۸): خوشه بندی شهر تبریز براساس میانگین ضرایب عوامل به‌دست آمده از WGR

تغییرات غلظت عناصر از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲، غلظت عناصر CO و NO₂ تقریباً ثابت و در O₃ در ۲۰۲۲ PM_{2.5} نیز روند افزایشی شدید نسبت به سال‌های قبل دارد. همچنین تفاوت‌های فضایی مشهودی در دو دوره گرم و سرد در عوامل تعیین‌کننده بیان کرد. در دوره خشک روند تغییرات در CO₂ و NO₂ تقریباً کاهش و در دوره مرطوب افزایشی است. همچنین غلظت ازن دارای تغییرات فصلی است که با مطالعه (Youru Yao et al., 2023) مطابقت دارد. با توجه به بررسی تغییرات میانگین بلند مدت (میانگین ۴ سال برای هر دو دوره) در هر دو دوره، غلظت بالای عناصر آلاینده منطبق بر نواحی متراکم شهری است به جز ازن که بر مناطق مرکزی و شمالی تمایل دارد. در سه عنصر دیگر عناصر آلاینده به صورت جریانی از غرب به شرق شهر تراکم دارد که این مناطق به علت ارتفاع پایین که خود عامل پایداری آلودگی در این مناطق است. نواحی صنعتی و کوره‌های حرارتی عامل دیگر این موضوع می‌باشند. این مطالعه اولین مطالعه برای تعیین عوامل غلظت آلاینده هوا در مناطق تبریز که تغییرات زمانی در آن در نظر گرفته شده که می‌تواند در آشکارسازی مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار و تغییرات مکانی زمانی آن نیز بررسی شود. برای صحت‌سنجی و تطابق دقت تصویر در استخراج غلظت آلاینده‌ها با پنج ایستگاه زمینی شهر تبریز به صورت میانگین دو دوره گرم و سرد با روش همبستگی پیرسون رگرسیون خطی (مدل Enter) بررسی شد که اکثر ایستگاه‌ها همبستگی بالای داشتند به جز ایستگاه‌هایی که داده ناقص داشتند. در ادامه برای مدل‌سازی این که تغییرات

بحث و نتیجه‌گیری

عوامل محرک موثر طبیعی و موقعیتی بر تغییرات فضایی زمانی تراکم آلاینده هوا و تدوین سیاست‌های هدفمندتر برای پیشگیری و کنترل محلی و مدیریت مشارکتی آلاینده‌های هوای با استفاده از تحقیقات صورت‌گرفته امکان‌پذیر است. تاثیر شهرنشینی را بر غلظت ۴ آلاینده (CO, O₃, CO, pm_{2.5,10}) هوا با تصاویر TROPOMI Sentinel-5P، با هدف بررسی تغییرات مکانی-زمانی عناصر آلودگی و نقش تعیین‌کنندگی این عوامل در غلظت آلودگی شهر تبریز صورت گرفت. برای این منظور از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی محلی و جهانی استفاده شد و در نهایت با ضرایب تولید شده برای هر متغیر خوشه‌بندی با روش kmeans صورت گرفت. ویژگی استخراج ضرایب محلی برای پیش‌بینی‌کننده‌ها برای تاثیرگذاری بر عناصر آلاینده جوی (متغیر پاسخ یا وابسته) از جمله امتیاز مدل رگرسیون جغرافیایی وزنی نسبت به مدل رگرسیون جهانی است. در راستای هدف محاسبات آماری از جمله همبستگی پیرسون و تحلیل رگرسیون برای ارزیابی چند خطی بودن متغیرها انجام گرفت که با وجود همبستگی و معنی‌داری مدل رگرسیونی ارتقا و سرعت باد VIF بالای ۲ داشتند که در مدل‌سازی با GWR کنار گذاشته شدند. همچنین تراکم ساخت و تراکم چگالی جمعیت به علت خطا در مدل به صورت جداگانه مدل‌سازی مکانی شدند؛ که عامل تراکم اندازه نواحی صنعتی بالاترین ضریب محلی را در تعیین غلظت یا رفتار آلاینده دارد. با یافته‌های اصلی به شرح زیر است. بررسی روند

داد که مطالعات دیگر کمتر توجه شده بود از جمله از لحاظ زمانی که مطالعه آلاینده با میانگین سالانه کافی نیست چون تغییر شرایط محیط در زمان‌های مختلف متفاوت است (Chen et al., 2018); عوامل مهم دیگری از جمله کاربری زمین (Lin et al., 2020; Mo et al., 2021a), پارامترهای هواشناسی (Al-Hemoud et al., 2021; Sulamon et al., 2021) باید در نظر گرفته شوند و پیکربندی ساختمان مورد بررسی قرار گیرد (Niu et al., 2018), با این وجود، توصیه‌های برنامه‌ریزی مبتنی بر کمی‌سازی عوامل تاثیرگذار محلی در مدیریت عناصر آلاینده در زمان و مکان موثر است و به سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و تیم‌های مطالعاتی توصیه می‌شود هنگام پایش آلاینده‌های هوا، به عنوان اثرات صنعتی در مناطق دوردست، توجه بیشتری به تاثیر نیروهای انسانی بر کاربری اراضی مناطق صنعتی به اندازه کافی بزرگ هستند توجه شود (Qi et al., 2023). توصیه‌هایی برای مطالعات آتی علی‌رغم مزایای این مطالعه برای بررسی رابطه بین عوامل و عناصر در بازه زمانی مختلف صورت گیرد و نتایج آن برای یک منطقه مطالعاتی مقایسه شود. در متغیر پاسخ، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و روش‌هایی وجود دارد که باید در آینده به آنها پرداخته شود.

یادداشت‌ها

1. Enugu
2. Geographically Weighted Regression
3. Ordinary Least Squares
4. 4-Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
5. Night Light

فضایی زمانی آلودگی در فصول گرم و سرد برای سال ۲۰۲۲ برای بررسی ۰/۷ شد که در مطالعات آینده بهتر است از میانگین بلند مدت برای اینگونه مطالعات استفاده گردد. همچنین نتایج مدل جهانی بیانگر تغییرات آشکاری در تغییرات غلظت آلاینده‌های جوی در کلان شهر تبریز بود. با توجه به باقیمانده استاندارد شده در مدل‌سازی OLS با NTL مناطق متراکم‌تر شهری دقت بالاتری داشت که در دوره سرد این در نواحی شهری متغیر بود. در کل مناطق مرزی شهری نسبت به مرکز شهری تفاوت بین مقدار پیش‌بینی شده و مشاهده شده کمتر بود. در این مطالعه هم مناطق صنعتی رابطه مثبتی با تغییرات آلاینده‌های هوا مشاهده شد. عوامل مدل رقومی ارتفاع و باد در مطالعات (Qi et al., 2023) استفاده شده بود اما سطح مقیاس مطالعه و این که در حوزه داخل شهر یا بیرون شهر بودن می‌تواند در کارایی پایین این عوامل مدل‌سازی تاثیرگذار باشد و عوامل جمعیتی هم به علت تغییرات حرکتی آن‌ها در طول روز ممکن است دقت بین تراکم جمعیت در سطح بلوک و مدل‌سازی تغییر غلظت آلاینده تاثیرگذار باشد در حالی که تصاویر نور شبانه تاثیر مثبت داشت و تراکم آن بیشتر تطابق با مناطق صنعتی شهری داشت. سرعت باد کم نسبت به افزایش O3 مثبت بوده و آلودگی O3 به طور قابل توجهی همراه با فصل تغییر می‌کند که با مطالعه (Shaojie Kong et al., 2022) در تابستان مطابقت دارد. اثرات مختلف توپوگرافی و ویژگی‌های پوشش گیاهی بر توزیع O3 در مناطق مختلف شهر تبریز با مطالعه Youru Yao و همکاران ۲۰۲۳ مطابقت دارد همچنین با افزایش در این مطالعه بیشتر عواملی مورد بررسی قرار

منابع

- Basiri, M.; Zainali Azim, A. 2018. The effect of urban furniture on the quality of the urban environment (a case study of Imam Street in Tabriz from Saat Square to Abersan), *Geography (Regional Planning)*, 2018, Volume 9, Number 3, 229-248. (in Persian)
- Chen, L.; Gao, S.; Zhang, H.; Sun, Y.; Ma, Z.; Vedal, S.; Mao, J. & Bai, Z. 2018. Spatiotemporal modeling of PM 2.5 concentrations at the national scale combining land use regression and Bayesian maximum entropy in China. *Environ. Int.* 116, 300–307. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.047>.
- Cedeno Jimenez, J. R.; Pugliese Vilorio, A. D. J. & Brovelli, M. A. 2023. Estimating Daily NO2 Ground Level Concentrations Using Sentinel-5P and Ground Sensor Meteorological Measurements. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(3), 107.
- Deng, X., Gao, F., Liao, S., & Li, S. (2023). Unraveling the association between the built environment and air pollution from a geospatial perspective. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135768.

- Eguiluz-Gracia, I.; Mathioudakis, A. G.; Bartel, S.; Vijverberg, S. J.; Fuertes, E., Comberati, P. & Hoffmann, B. 2020. The need for clean air: the way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma. *Allergy*, 75(9), 2170-2184
- Ejikeme, J.; Adogu, K. & Onwuzuligbo, C. 2023. Monitoring of Spatio-Temporal Dynamics of Air Pollution in Enugu Urban using Remote Sensing and GIS. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 4(2), 22-31
- Fotheringham, A.S. 2002. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. John Wiley & Sons. Fotheringham, A.S., Brunson, C., Charlton, M., 2003. *Geographically Weighted Regression*. Wiley.
- Hammer, M.S.; van Donkelaar, A.; Li, C.; Lyapustin, A.; Sayer, A.M.; Hsu, N.C.; Levy, R. C.; Garay, M.J.; Kalashnikova, O.V.; Kahn, R.A.; Brauer, M.; Apte, J.S.; Henze, D.K.; Zhang, L.; Zhang, Q.; Ford, B.; Pierce, J.R.; Martin, R.V. 2020. Global estimates and long-term trends of fine particulate matter concentrations (1998–2018). *Environ. Sci. Technol.* 54, 7879–7890. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01764>.
- Hartigan, J.A.; Wang, M.A. 1979. A K-means clustering algorithm. *Applied S* Matejcek L, Engst P, Janour Z. A GIS-based approach to spatiotemporal analysis of environmental pollution in urban areas: A case study of Prague's environment extended by LIDAR data. *Ecological Modelling*, 2006; 199: 261-277.
- He, J.J.; Gong, S.L.; Yu, Y.; Yu, L.J.; Wu, L.; Mao, H.J.; Song, C.B.; Zhao, S.P.; Liu, H.L.; Li, X.Y.; et al. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities. *Environ. Pollut.* 2017, 223, 484–496.
- Ismailpour, M.; Khairizadeh, M.; Amrai, M. 2017. Investigating factors affecting air pollution in the city of Tabriz, the sixth national conference of modern studies and research in the field of geography, architecture and urban planning of Iran. (in Persian)
- Ismailnejad, R.; Eskandari, M. and Barzaman, S. 2014. Assessment and zoning of air pollution in Tabriz metropolis, *Regional Planning Quarterly*, Year 5, Number 19. (in Persian)
- Guangzhi, Qi.; Jiahang, Che. & Zhibao, W. 2023. Differential effects of urbanization on air pollution: Evidences from six air pollutants in mainland China, *Ecological Indicators* Volume 146, February 2023, 109924.
- Kanadi, M. A.; Shahri, M. and Moradi A. 1400. Air pollution monitoring using Sentinel-5 satellite images (case study: large industrial cities of Iran), *Mohi Tai Science Quarterly*, Volume 20, Number 2. (in Persian)
- 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(7569), 367-371.
- Li, C.; Zou, Y.; Dai, Z.; Yin, J.; Wu, Z.; Ma, Z.; 2021. The impacts of POI data on PM2.5: a case study of Weifang city in China. *Appl. Spatial Analysis*. <https://doi.org/10.1007/s12061-021-09408-0>.
- Ma, T.; Duan, F.K.; He, K.B.; Qin, Y.; Tong, D.; Geng, G.N.; Liu, X.Y.; Li, H.; Yang, S.; Ye, S.Q.; et al. Air pollution characteristics and their relationship with emissions and meteorology in the Yangtze River Delta region during 2014–2016. *J. Environ. Sci.* 2019, 83, 8–20. [CrossRef]
- Matějčiček, L., Engst, P., & Jaňour, Z. (2006). A GIS-based approach to spatio-temporal analysis of environmental pollution in urban areas: A case study of Prague's environment extended by LIDAR data. *Ecological Modelling*, 199(3), 261-277.
- Niu, H.; Wang, B.; Liu, B.; Liu, Y.; Liu, J. & Wang, Z. 2018. Numerical simulations of the effect of building configurations and wind direction on fine particulate matters dispersion in a street canyon. *Environ. Fluid Mech.* 18, 829–847. <https://doi.org/10.1007/s10652-017-9563-7>. Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Doyle,

- UN. World Urbanization Prospects. 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs, United Nation. 2019
- Nikpour, A.; Rezazadeh, M.; Al-Haghli of Neshli descent, f. 2017. Analysis of the role of factors affecting land prices using geographic weighted regression (GWR) model, case study: Babolsar city, *Geography and Regional Studies*, Volume 9, Number 31. July 2018, Pages 112-93. (in Persian)
- Piraino, F.; Aina, R.; Palin, L.; Prato, N.; Sgorbati, S.; Santagostino, A. & Citterio, S. 2006. Air quality biomonitoring: Assessment of air pollution genotoxicity in the Province of Novara (North Italy) by using *Trifolium repens* L. and molecular markers. *Science of the Total Environment*, 372(1), 350-359.
- Qi, G., Wang, Z., Wang, Z. & Wei, L. 2022a. Has industrial upgrading improved air pollution? Evidence from China's digital economy. *Sustainability* 14, 8967. <https://doi.org/10.3390/su1414896>
- Qi, G.; Wang, Z.; Wei, L. & Wang, Z. 2022b. Multidimensional effects of urbanization on PM2.5 concentration in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 29, 77081–77096. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21298-4>.
- Qi, G., Wang, Z., Wang, Z., Wei, L., 2022a. Has industrial upgrading improved air pollution?—Evidence from China's digital economy. *Sustainability* 14, 8967. <https://doi.org/10.3390/su14148967>.
- Sarvar, H.; Ismailpour, M.; Khairizadeh, M. and Amrai, M. 2019. Spatial analysis of components affecting air pollution in Tabriz city, period 9, number 24 - serial number 2, page 151-172. 10.22111/ JNEH. 2020.31469.1558
- Shaojie Kong, Teng Wang, Fei Li, Jingjing Yan, Zhiguang Qu, 2023, Unraveling spatiotemporal patterns and multiple driving factors of surface ozone across China and its urban agglomerations management strategies , Publication: *Frontiers in Ecology and Evolution*. DOI: 10.3389/fevo.2023.1103503
- Shukri Firouzjah, P. 2018. Investigating the emissions of car exhaust gases in Kermanshah and its effect on human health, urban. *Ecological Research*, Volume (2), Number 3, pp. 75-82. Brunsdon, C.; Fotheringham, A.S.; Charlton, M.E.; 2010. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geogr. Anal.* 28, 281–298. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>. (in Persian)
- Saxena, P., & Naik, V. (Eds.). (2018). *Air pollution: sources, impacts and controls*. Cabi.
- Suradi, H.; Khan, M. F.; Alias, N. F.; Mustapa Kama Shah, S.; Yusoff, S.; Fujii, Y., ... & Latif, M. T. 2021. Influence of tropical weather and northeasterly air mass on carbonaceous aerosol in the southern Malay Peninsula. *ACS Earth and Space Chemistry*, 5(3), 553-565.
- Shahzad Baig, K. & Yousaf, M. (2017). Coal fired power plants: emission problems and controlling techniques. *J Earth Sci Clim Change*, 8(404), 2.
- Valizadeh Kamran, Kh.; Khurshid Dost, A.M. and Ghasemi Bektash, A. 2015. Investigating the air pollution of Tabriz with emphasis on the temporal changes of PM10 concentration, conference on dealing with fine dust and air pollution, Tehran, Shahrivar 2015. (in Persian)
- van Vliet, P.; Knape, M.; de Hartog, J.; Janssen, N.; Harssema, H. & Brunekreef, B. 1997. Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. *Environ. Res.* 74, 122–132. <https://doi.org/10.1006/enrs.1997.3757>.
- Wang, Y.; Yao, L.; Xu, Y.; Sun, S. & Li, T., 2021b. Potential heterogeneity in the relationship between urbanization and air pollution, from the perspective of urban agglomeration. *Journal of Cleaner Production*. 298, 126822 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126822>.
- Wang, S.; Sun, P.; Sun, F.; Jiang, S.; Zhang, Z. & Wei, G. 2021a. The direct and spillover effect of multi-dimensional urbanization on PM2.5 concentrations: A case study from the Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18 (20), 10609. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010609>.

- Wang, R.; Feng, Z.; Pearce, J.; Liu, Y. & Dong, G. 2021a. Are greenspace quantity and quality associated with mental health through different mechanisms in Guangzhou, China: a comparison study using street view data. *Environ. Pollut.* 290, 117976 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117976>.
- Wu, J.; Luo, K.; Wang, Y. & Wang, Z. 2021. Urban road greenbelt configuration: the perspective of PM2.5 removal and air quality regulation. *Environ. Int.* 157, 106786 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106786>.
- Wang, S.; Sun, P.; Sun, F.; Jiang, S.; Zhang, Z. & Wei, G. 2021a. The direct and spillover effect of multi-dimensional urbanization on PM2.5 concentrations: A case study from the Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18 (20), 10609. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010609>
- Xu, W.; Yao, L.; Fu, X.; Wang, Y. & Sun, S. 2022b. Response of PM2.5 variations to changing urbanization process in different climatic backgrounds of China. *Urban Climate* 45, 101273. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101273>.
- Yao, Y.; Ma, K.; He, C.; Zhang, Y.; Lin, Y.; Fang, F.; Li, S.; He, H. Urban Surface Ozone Concentration in Mainland China during 2015–2020: Spatial Clustering and Temporal Dynamics. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 3810. <https://doi.org/10.3390/ijerph20053810>
- Zhang, Z.; Song, Y.; Luo, P.; Wu, P.; Liu, X. & Wang, M. 2023. Elucidation of spatial disparities of factors that affect air pollutant concentrations in industrial regions at a continental level. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117, 103221.
- Zhang, za.; Song, Ya.; Luo, Pb.; Wu, P a.; Liu, X c,d. & Wang, M e. 2023. Elucidation of spatial disparities of factors that affect air pollutant concentrations in industrial regions at a continental level, *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 117 (2023) 103221. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103221>.