

**TOSHKENT SHAHRI ATMOSFERA HAVOSI IFLOSLANISHINING ANTROPOGEN OMILLARI
VA IFLOSLANTIRUVCHI MODDALAR TAHLILI (AZOT DIOKSIDI MISOLIDA)**

Zaripov Shaxboz Bozorboy o'g'li – *tayanch doktorant*
Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universiteti
shaxbozzaripov6@gmail.com

Ismatova Nilufar Ravshan qizi – *Geografiya fanlari bo'yicha falsafa doktori*
Mirzo Ulug'bek nomidagi ixtisoslashtirilgan maktab
nilufarravshanovna.18@gmail.com

**АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА ТАШКЕНТА
И АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ (НА ПРИМЕРЕ ДИОКСИДА АЗОТА)**

Зарипов Шахбоз Базарбаевич – *базовый докторант*
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека
Исмадова Нилуфар Равшановна – *доктор философии по географическим наукам*
Специализированная школа имени Мирзо Улугбека

**ANTHROPOGENIC FACTORS OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN TASHKENT CITY
AND ANALYSIS OF POLLUTANTS (A CASE STUDY OF NITROGEN DIOXIDE)**

Zaripov Shakhboz Bozorboyevich – *doctoral student*
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek
Ismatova Nilufar Ravshanovna – *Doctor of Philosophy in Geographical Sciences*
Specialized school named after Mirzo Ulugbek

Tayanch so'zlar: urbanizatsiya, havo ifloslanishi, GIS, IDW, azot dioksidi (NO₂), havo sifati monitoringi.

Rezyume. Maqolada 2013-2023-yillar oralig'idagi davr davomida yoz faslida Toshkent shahri atmosfera havosining antropogen manbalardan chiquvchi azot dioksidi (NO₂) bilan ifloslanishi va konsentratsiyasining vaqt va hududlar bo'yicha yoz faslida o'zgarishlari tahlil qilindi. Tadqiqotning asosiy maqsadi ifloslantiruvchi modda miqdoridagi uzoq muddatli tendensiyalarni aniqlash, uning hududiy taqsimlanish xaritalarini yaratish hamda atmosfera havosining azot dioksidi bilan ifloslanishiga ta'sir etuvchi asosiy manbalarni baholashdan iborat. Tadqiqot uchun ma'lumotlar O'zbekiston Respublikasi Gidrometeorologiya xizmati tomonidan boshqariladigan atmosfera havosini kuzatish stansiyalaridan olindi. Ifloslantiruvchi moddalarning hududiy taqsimlanishini aniqlash maqsadida geografik axborot tizimlari (GIS) texnologiyalaridan foydalanildi va ArcGIS Pro dasturida Teskari Masofa Og'irligi (Inverse Distance Weighting – IDW) interpolatsiya usuli qo'llanildi. Har bir kuzatilgan davr uchun besh yillik kesimlarda yoz faslida mavsumiy taqsimlanish xaritalari tuzildi. Shuningdek, ifloslantiruvchi modda konsentratsiyalarining vaqt bo'yicha o'zgarishlarini baholash uchun tavsifiy statistik usullar hamda grafik tahlil metodlari qo'llanildi. Natijalar azot dioksidi (NO₂) konsentratsiyasi yoz faslida 2023-yilda eng yuqori darajada kuzatilganligini ko'rsatdi.

Ключевые слова: урбанизация, загрязнение атмосферного воздуха, географические информационные системы (ГИС), Inverse Distance Weighting (IDW), диоксид азота (NO₂), мониторинг качества воздуха.

Резюме. В статье проанализированы пространственные и временные изменения концентрации диоксида азота (NO₂), поступающего в атмосферный воздух города Ташкента из антропогенных источников, в летний период 2013-2023 годов. Основной целью исследования являлось выявление долгосрочных тенденций изменения концентрации загрязняющего вещества, построение карт его пространственного распределения, а также оценка основных антропогенных источников загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота. В качестве исходных данных использованы материалы наблюдений сети станций мониторинга атмосферного воздуха Гидрометеорологической службы Республики Узбекистан. Для анализа пространственного распределения концентраций NO₂ применены технологии географических информационных систем (ГИС), а в программном обеспечении ArcGIS Pro использован метод интерполяции Inverse Distance Weighting (IDW). Для каждого исследуемого периода с пятилетним интервалом были составлены карты сезонного распределения концентрации NO₂ в летний период. Кроме того, для оценки временной динамики концентраций загрязняющего вещества использованы методы описательной статистики и графического анализа. Полученные результаты показали, что максимальная концентрация диоксида азота (NO₂) в летний период была зарегистрирована в 2023 году.

Key words: urbanization, air pollution, Geographic Information System (GIS), Inverse Distance Weighting (IDW), nitrogen dioxide (NO₂), air quality monitoring.

Summary. The study investigates the spatial and temporal variations in atmospheric nitrogen dioxide (NO₂) concentrations originating from anthropogenic sources in Tashkent during the summer seasons of 2013-2023. The primary objective of the research was to identify long-term trends in NO₂ concentrations, produce spatial distribution maps, and assess the principal anthropogenic sources contributing to atmospheric pollution. The research was based on data obtained from air quality monitoring stations operated by the Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan. Geographic Information System (GIS) technologies were employed to analyze the spatial distribution of nitrogen dioxide, while the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method implemented in ArcGIS Pro was used to generate spatial distribution maps. Seasonal distribution maps for the summer period were produced at five-year intervals throughout the study period. In addition, descriptive statistical methods and graphical analyses were applied to evaluate temporal changes in pollutant concentrations. The results indicate that the highest nitrogen dioxide (NO₂) concentrations during the summer season were recorded in 2023.

Kirish. Shahar muhitida atmosfera havosining ifloslanishi bugungi kunda global miqyosdagi eng dolzarb ekologik muammolardan biri hisoblanadi. Urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi, avtotransport vositalari sonining keskin ortishi, sanoatning kengayishi hamda energiya iste'molining oshishi natijasida karbonat angidrid (CO_2), uglerod oksidi (CO), oltingugurt dioksidi (SO_2), azot oksidlari (NO_x), ozon (O_3), PM zarrachalari kabi atmosferani ifloslantiruvchi moddalarning emissiyasi sezilarli darajada ortib bormoqda [5, 6, 16].

Mazkur ifloslantiruvchi moddalar atmosferada to'planishi nafaqat global iqlim o'zgarishlari va kislotali yog'ingarchiliklarning shakllanishiga [8], balki birlamchi va ikkilamchi ifloslantiruvchi moddalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir natijasida yuz beradigan fotokimyoviy jarayonlarning jadallashuviga ham sabab bo'ladi [11, 19, 22]. Bundan tashqari, ushbu moddalar inson salomatligiga jiddiy salbiy ta'sir ko'rsatib, nafas olish, yurak-qon tomir hamda boshqa turli kasalliklarning rivojlanish xavfini oshiradi [3, 4, 14, 15].

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. So'nggi yillarda xalqaro miqyosda SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ va PM kabi asosiy atmosfera ifloslantiruvchi moddalarining konsentratsiyasini baholash hamda ularning hududiy taqsimlanishini geografik axborot tizimlari (GIS) texnologiyalari yordamida kartalashtirishga bag'ishlangan ko'plab ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilmoqda. Shahar atmosfera havosi sifatini monitoring qilish va uni yaxshilash bugungi kunda global ekologik muammolarning eng muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi [7].

Ushbu tadqiqotlar umumiy holda GIS texnologiyalarini statistik tahlil usullari bilan uyg'unlashtirish atmosfera ifloslantiruvchi moddalarining hududiy va vaqt bo'yicha o'zgarishlarini aniq aks ettirish hamda ekologik jarayonlarni chuqurroq tushunishda muhim ahamiyat kasb etishini ko'rsatadi [1,16,]. O'zbekistonda, xususan Toshkent shahrida atmosfera havosining ifloslanishini o'rganishga oid tadqiqotlar o'tgan asrning 1970-yillaridan boshlangan. 1989-yilda X. Tursunov o'z monografiyasida Toshkent shahrining ekologik holatini yaxshilash masalalariga alohida e'tibor qaratgan. Azizov va Beketov (2024) esa shaharning asosiy avtomobil yo'llaridagi transport oqimlarini tahlil qilib, ularning $\text{PM}_{2.5}$ va NO_2 emissiyalariga qo'shayotgan hissasini baholaganlar [2]. Shunga qaramasdan, Toshkent shahrida asosiy atmosfera ifloslantiruvchi moddalarining uzoq yillik o'zgarish dinamikasi va hududiy taqsimlanishini kompleks ravishda o'rganuvchi tadqiqotlar hanuzgacha yetarli darajada emas.

Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur tadqiqotda 2013-2023-yillar oralig'ida Toshkent shahri atmosfera havosidagi azot dioksidi (NO_2) konsentratsiyasining yoz faslida vaqt va makon bo'yicha o'zgarishlari tahlil qilindi. Tadqiqot metodologiyasi bir necha asosiy bosqichlarni o'z ichiga oladi: dastlab zarur ma'lumotlarni yig'ish va ularni dastlabki qayta ishlash, geografik axborot tizimlari (GIS) yordamida fazoviy tahlilni amalga oshirish, Inverse Distance Weighting (IDW) interpolatsiya usuli asosida mavzuli xaritalarni yaratish hamda statistik tahlillarni bajarish.

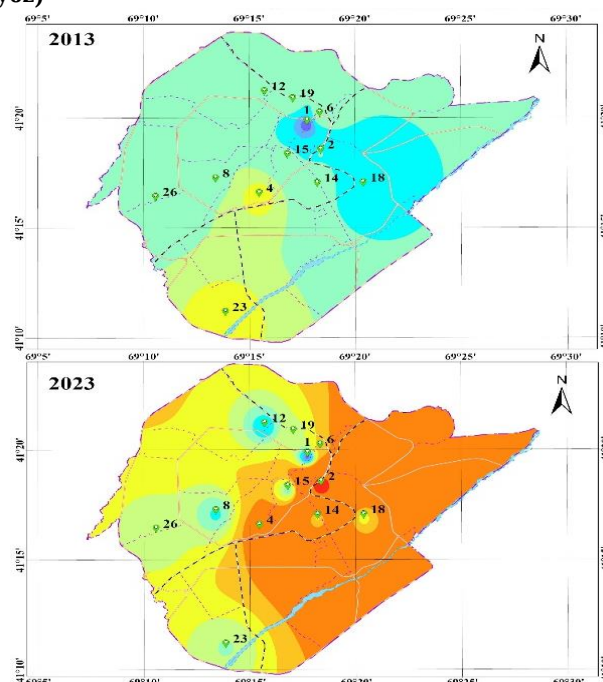
Geografik axborot tizimlari (GIS) fazoviy ma'lumotlarni yig'ish, integratsiyalash, tahlil qilish va vizuallashtirish uchun qulay hamda samarali platforma hisoblanadi [10,18,20]. Mazkur tadqiqotda dastlab barcha ma'lumotlar Microsoft Excel dasturida kuzatuv stansiyasi nomi, kuzatuv sanasi, NO_2 konsentratsiyasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) hamda

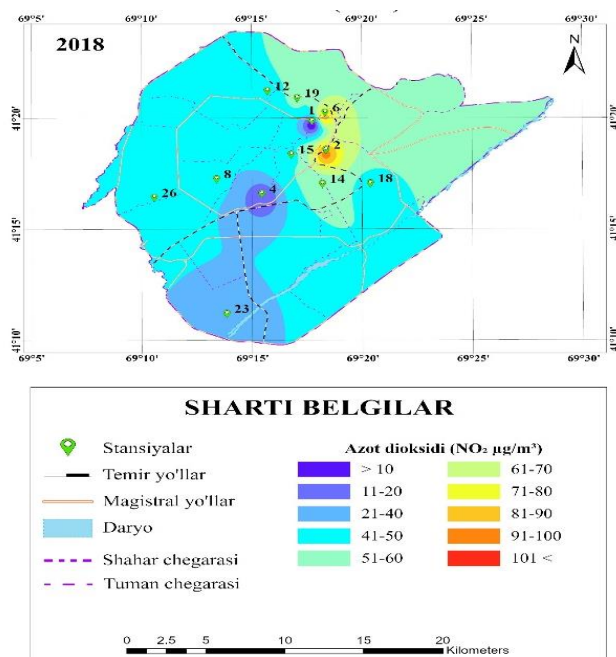
X va Y koordinatalari bo'yicha tartiblashtirildi. Excel jadvali ArcGIS Pro dasturiga import qilinib, geofazoviy tahlil uchun tayyorlandi. Buning uchun Conversion Tools → Excel to Table vositasi yordamida ma'lumotlar geoma'lumotlar bazasiga (Geodatabase) yuklandi. Keyingi bosqichda XY Table to Point funksiyasi orqali nuqtaviy (Point) shapefile yaratildi.

Toshkent shahri hududida NO_2 konsentratsiyasining fazoviy taqsimlanishini aniqlash maqsadida IDW interpolatsiya usuli qo'llanildi. IDW-ekologik tadqiqotlarda keng qo'llaniladigan deterministik interpolatsiya usullaridan biri bo'lib, kuzatuv ma'lumotlari mavjud bo'lmagan nuqtalardagi qiymatlarni ularga yaqin joylashgan kuzatuv nuqtalari asosida baholash imkonini beradi [19]. Xaritalarni yaratishda WGS 84 UTM Zone 42N koordinatalar tizimidan foydalanildi. Tayyor xaritalar 300 dpi aniqlikda PNG formatida eksport qilindi. Tadqiqot natijasida 2013–2023-yillar oralig'idagi davrni besh yillik intervallar asosida aks ettiruvchi mavzuli xaritalar yaratildi.

Tahlil va natijalar. Tadqiqot davri davomida Toshkent shahri atmosfera havosida azot dioksidi (NO_2) konsentratsiyasining yoz faslidagi eng yuqori qiymatlari 2003-yilda qayd etildi. Yoz faslida Toshkent shahri atmosfera havosidagi azot dioksidi (NO_2) konsentratsiyasi 2013-yildan 2003-yilgacha izchil ortib borgan, 2013–2018-yillar oralig'ida esa pasayish tendensiyasi kuzatilgan. Yoz mavsumida NO_2 ning eng yuqori konsentratsiyalari 2023-yillarda qayd etilgan bo'lib, ayrim atmosfera monitoring stansiyalarida ushbu ko'rsatkich $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan oshgan. 2023-yilda NO_2 konsentratsiyasi oshgan va shaharning sharqiy hududlarida o'rtacha konsentratsiya $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan yuqori qiymatlarga yetgan (1-rasm). Xaritalar va diagrammalar tahlili natijalariga ko'ra, 2013-2003-yillar oralig'ida Toshkent shahri atmosfera havosida azot dioksidi (NO_2) konsentratsiyasi keskin ortganligi aniqlandi. Umuman olganda, tadqiqot davri davomida NO_2 konsentratsiyasi so'nggi yillarda ortishi kuzatildi. Atmosfera havosini ifloslantiruvchi moddalar tabiiy va antropogen manbalardan hosil bo'ladi [22,23].

Toshkent shahrida azot dioksidi bilan ifloslanish (yoz)





1-rasm. Toshkent shahri atmosfera havosiga chiqarilgan azot dioksidi miqdorining 2013-2023-yillarda yoz faslida o'zgarishi

Toshkent shahrida urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi, aholi sonining ortishi hamda sanoat va unga bog'liq iqtisodiy tarmoqlarning rivojlanishi natijasida avtotransport vositalari soni sezilarli darajada ko'paydi. Atmosferaga chiqarilayotgan azot dioksidi (NO_2) konsentratsiyasining asosiy manbalari transport vositalari, sanoat korxonalari va elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonlari hisoblanadi. NO_2 emissiyasining asosiy qismi dizel yoqilg'isida ishlovchi transport vositalari faoliyati natijasida hosil bo'ladi. Bunday transport vositalariga yuk avtomobillari (KamAZ, MAZ, MAN, Volvo, Scania, Isuzu, Hyundai HD, JAC hamda sovutkichli yuk mashinalari), shahar va shaharlararo avtobuslar hamda mikroavtobuslar (Yutong, Isuzu, MAN, Neoplan, Mercedes-Benz, Volvo, GAZelle, Sprinter va Iveco Daily), shuningdek ekskavatorlar, buldozerlar, avtokranlar va boshqa og'ir qurilish hamda yuk ko'tarish texnikalari kiradi. Ushbu transport vositalarida dizel yoqilg'isining yuqori haroratda yonishi natijasida atmosfera havosiga katta miqdorda azot oksidlari, xususan NO_2 ajralib chiqadi. Turli yoqilg'i turlari

orasida dizel yoqilg'isining yonishi NO_2 emissiyasining eng katta ulushini hosil qiladi. 2023-yil 1-yanvar holatiga ko'ra, Toshkent shahrida 638,8 mingga yaqin yengil avtomobil ro'yxatdan o'tgan. Shu bilan birga, har kuni shaharda o'rtacha 1,1 millionga yaqin transport vositasi harakatlanadi. Ularning 850 mingga yaqini Toshkent shahrida ro'yxatdan o'tgan bo'lsa, yana qariyb 250 mingta transport vositasi qo'shni viloyatlardan kirib keladi. Shaxsiy avtomobillar sonining jadal ortishi ekologik vaziyatning yomonlashishiga, yo'l-transport hodisalari sonining ko'payishiga hamda tirbandlik vaqtida transport vositalarining o'rtacha harakat tezligi 9-11 km/soatgacha pasayishiga olib kelmoqda. Azot dioksidi (NO_2) konsentratsiyasining mavsumiy o'zgarishlarini aks ettiruvchi mavzuli xaritalarning fazoviy tahlili shuni ko'rsatdiki, 2013-2023-yillar oralig'ida yoz faslida, atmosfera havosidagi NO_2 konsentratsiyasi so'nggi yillarda oshgan. Mazkur holat ushbu davrda dizel yoqilg'isida ishlovchi transport vositalari sonining ortishi, sanoat va qurilish faoliyatining jadallashuvi hamda yoz mavsumiga xos meteorologik sharoitlar bilan izohlanishi mumkin.

Xulosa. Mazkur tadqiqotda 2013-2023-yillar oralig'ida Toshkent shahri atmosfera havosidagi azot dioksidi (NO_2) konsentratsiyasining mavsumiy va uzoq muddatli o'zgarish dinamikasi tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, tadqiqot davri davomida NO_2 ning eng yuqori konsentratsiyasi 2023-yilda qayd etildi. Tahlil natijalari Toshkent shahrida atmosfera havosining ifloslanishida sanoat korxonalari, qurilish ishlari va transport sektori asosiy antropogen manbalar ekanligini ko'rsatdi. So'nggi yillarda shaharning markaziy qismida joylashgan va atmosfera havosini ko'proq ifloslantiruvchi ayrim yirik sanoat korxonalari shahar chekka hududlariga ko'chirilgan. Shu bilan birga, koks va neftni qayta ishlash, rezina va plastmassa buyumlari ishlab chiqarish, kimyo sanoati hamda metall buyumlari ishlab chiqarish korxonalarining ulushi kamaygan bo'lsa, metallurgiya sanoati faoliyati kengaygan.

Bundan tashqari, qurilish ishlari hajmining keskin ortishi shahar yashil hududlari maydonining qisqarishi bilan birga kuzatilmoqda. Avtotransport vositalari sonining ko'payishi hamda foydalanilayotgan yoqilg'i turlarining xilma-xilligi ham Toshkent shahri atmosfera havosiga chiqarilayotgan ifloslantiruvchi moddalar miqdorining shakllanishida muhim omillardan biri ekanligi aniqlandi.

Adabiyotlar

1. Alkabbani H., Ramadan A., Zhu Q., & Elkamel A. An improved air quality index machine learning-based forecasting with multivariate data imputation approach. *Atmosphere*, 13(7), 2022. 1144. <https://doi.org/10.3390/atmos13071144>
2. Azizov Q., & Beketov, A. Traffic flow characteristics and their impact on air pollution in urban streets: A case study of Tashkent. *Engineer International Scientific Journal*, 2(4). 2024. ISSN 3030-3893
3. Bell L. The use of ambient air quality modeling to estimate individual and population exposure for human health research: A case study of ozone in the Northern Georgia Region of the United States. *Environment International*, 32, 586–593. 2006.
4. Bhat T., Jiawen G., & Farzaneh H. (2021). Air Pollution Health Risk Assessment (AP-HRA), principles. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1935. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041935>
5. Bollen J., & Brink C. Air pollution policy in Europe: Quantifying the interaction with greenhouse gases and climate change policies. *Energy Economics*, 46, 202–215. 2014.
6. Cheng F., Zheng J., Wei C., Mu Q., Zheng B., Wang B., Gao M., Zhang Q., & He B. Reactive nitrogen chemistry in aerosol water as a source of sulfate during haze events in China. *Science Advances*, 2. 2016.
7. Chen D., Xu T., Li, Y., Zhou Y., Lang J., Liu X., & Shi H. A hybrid approach to forecast air quality during high-PM concentration pollution period. *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 1325–1337. 2015.

8. Christoph S., David M., Keywan R., Jan M., Elmar, K., Detlef, V., Jessica, J., Carmenza, R., Edgar, H., Massimo, T., Sevastianos, M., Oliver, L., Joyashree, R., Yacob M., Navroz D., Johannes B., Diana V., & Ottmar E. Integrating global climate change mitigation goals with other sustainability objectives: A synthesis. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 363–394. 2015.
9. Diao Y., Zuo Q., & Ma J. Urbanization, water use level and their coupled coordination in the Yellow River Basin. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*. 2020.
10. Dobesch H., Dumolard P., & Dyras I. Spatial interpolation for climate data: The use of GIS in climatology and meteorology (2nd ed.). 2013. Wiley. <https://books.google.iq/books?isbn=1118614992>
11. Derwent R., Jenkin M., Saunders S., Pilling M., Simmonds P., Passant, N., Dollard, G., Dumitrean, P., & Kent, A. (2003). Photochemical ozone formation in northwest Europe and its control. *Atmospheric Environment*, 37, 1983–1991.
12. Duggan S. Carbon monoxide exposure inside UK road vehicles: A pilot study. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109070>
13. Eslami A., & Ghasemi S.M. (2018). Determination of the best interpolation method in estimating the concentration of environmental air pollutants in Tehran city in 2015. *Journal of Air Pollution and Health*, 3(4), 187–198. <https://doi.org/10.18502/japh.v3i4.402>
14. Fajar W., Nusrat E., Rabiya N., Waqas A., Muhammad, K., Laila S., Aqil T., Hira A., & Qamar Z. Geo-spatial distribution of air pollutants in urban area and its potential health risk analysis solutions. *Urban Climate*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102380>
15. Gao H., Sun L., Wu H., Chen J., Cheng Y., & Zhang Y. The predictive value of neutrophil-lymphocyte ratio at presentation for delayed neurological sequelae in carbon monoxide poisoning. *Inhalation Toxicology*, 33(4), 121–127. 2021. <https://doi.org/10.1080/08958378.2021.1887410>
16. Han S., Bian H., Feng Y., Liu A., Li X., Zeng F., & Zhang X. Analysis of the relationship between O₃, NO and NO₂ in Tianjin, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 11, 128–139. 2011.
17. Jumaah H., Mohammed H., Bahareh K., Mojaddadi, R., & Sarah J. (2019). Air quality index prediction using IDW geostatistical technique and OLS-based GIS technique in Kuala Lumpur, Malaysia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 2185–2199. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1683084>
18. Jung M., Yuexiong D., Vincent G., Changqing L., & Zhiwei W. Spatiotemporal prediction of PM_{2.5} concentrations at different time granularities using IDW-BLSTM. *IEEE Access Journal*, 7. 2019.
19. Kuttler W., & Strassburger A. Air quality measurements in urban green areas: A case study. *Atmospheric Environment*, 33, 4101–4108. 1999.
20. Khan J., Kakosimos K., Raaschou-Nielsen, O., Brandt J., Jensen S. S., Ellermann T., et al. Development and performance evaluation of new AirGIS—a GIS-based air pollution and human exposure modelling system. *Atmospheric Environment*, 198, 102–121. 2019.
21. Li R., Cui L., Li J., Zhao A., Fu H., Wu Y., Zhang L., Kong L., & Chen J. Spatial and temporal variation of particulate matter and gaseous pollutants in China during 2014–2016. *Atmospheric Environment*, 161, 235–246. 2017.
22. Li R., Wang Z., Cui L., Fu H., Zhang Z., Kong L., Chen W., & Ch. J. Air pollution characteristics in China during 2015–2016: Spatiotemporal variations and key meteorological factors. *Science of the Total Environment*. 2018.
23. Li X., & Xu H. The energy-conservation and emission-reduction paths of industrial sectors: Evidence from China's 35 industrial sectors. *Energy Economics*, 86, 104628. 2020.