



ATMOSFERA IFLOSLANISHINI MONITORING QILISHDA IoT TEKNOLOGIYALARI VA MASHINAVIY O'RGANISH USULLARIDAN FOYDALANISH

Abbos Shomurodov ¹[0009-0007-9796-295X], **Behzod Yorkulov** ²[0009-0005-3208-9016]

¹Navoiy innovatsiyalar universiteti o'qituvchisi

²Navoiy innovatsiyalar universiteti, "Iqtisodiyot va axborot texnologiyalari" kafedrasini mudiri, PhD.

Annotatsiya. Atmosfera ifloslanishi zamonaviy sanoatlashgan jamiyatlarda eng dolzarb ekologik muammolardan biri hisoblanadi. Havo sifati monitoringi va uni prognozlash tizimlarini takomillashtirish inson salomatligini himoya qilish, ekologik xavflarni kamaytirish hamda barqaror rivojlanishni ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Mazkur maqolada atmosfera ifloslanishini monitoring qilish jarayonida meteorologik ma'lumotlar, IoT sensorlari hamda mashinaviy o'rganish algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. Shuningdek, meteorologik parametrlar va turli ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik ilmiy jihatdan ko'rib chiqilgan. Ma'lumotlarni yig'ish, saqlash, qayta ishlash va prognozlash jarayonlari zamonaviy axborot texnologiyalari asosida tahlil qilinib borilgan. Tadqiqot natijalari IoT sensorlari, meteorologik stansiyalar va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini integratsiyalashtirgan holda qo'llash havo sifati monitoringining aniqligi va ishonchliligini sezilarli darajada oshganligi ko'rib o'tilgan.

Kalit so'zlar: atmosfera ifloslanishi, havo sifati monitoringi, meteorologik ma'lumotlar, IoT sensorlar, mashinaviy o'rganish, GIS, PM2.5, AQI.

Аннотация. Загрязнение атмосферы является одной из наиболее актуальных экологических проблем в современных индустриальных обществах. Совершенствование систем мониторинга и прогнозирования качества воздуха играет важную роль в защите здоровья населения, снижении экологических рисков и обеспечении устойчивого развития. В данной статье анализировано возможности использования метеорологических данных, IoT-сенсоров и алгоритмов машинного обучения в процессе мониторинга атмосферного загрязнения. Также с научной точки зрения рассмотрено взаимосвязь между метеорологическими параметрами и концентрацией различных загрязняющих веществ. Процессы сбора, хранения, обработки и прогнозирования данных анализированы на основе современных информационных технологий. Результаты исследования показывают, что интегрированное использование IoT-сенсоров, метеорологических станций и спутниковых данных значительно повышает точность и надежность мониторинга качества воздуха.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, мониторинг качества воздуха, метеорологические данные, IoT-сенсоры, машинное обучение, GIS, PM2.5, AQI.

Abstract. Atmospheric pollution is one of the most pressing environmental problems in modern industrialized societies. Improving air quality monitoring and forecasting systems plays a significant role in protecting human health, reducing environmental risks, and ensuring sustainable development. This article analyzes the possibilities of using meteorological data, IoT sensors, and machine learning algorithms in the process of monitoring atmospheric pollution. In addition, the relationship between meteorological parameters and the concentration of various pollutants is scientifically examined. The processes of data collection, storage, processing, and forecasting are analyzed based on modern information technologies. The research results demonstrate that the integrated use of IoT sensors, meteorological stations, and satellite data significantly improves the accuracy and reliability of air quality monitoring.

Keywords: atmospheric pollution, air quality monitoring, meteorological data, IoT sensors, machine learning, GIS, PM2.5, AQI.

Kirish

Atmosfera ifloslanishi global ekologik muammolardan biri bo'lib, sanoat korxonalari, transport vositalari, energetika tizimlari hamda urbanizatsiya jarayonlari natijasida yuzaga keladi. Atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar va qattiq zarrachalar inson salomatligi, ekotizimlar hamda iqlim muvozanatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Xususan, azot oksidlari,



oltingugurt dioksidi, karbonat angidrid va PM2.5 kabi mayda zarrachalar nafas olish tizimi kasalliklari, yurak-qon tomir muammolari hamda boshqa sog'liq bilan bog'liq muammolarni keltirib chiqarishi mumkin. Shu sababli atmosfera holatini doimiy ravishda kuzatib borish, havo sifati monitoringi tizimlarini takomillashtirish va ifloslanish darajasini oldindan prognozlash zamonaviy ekologik boshqaruvning muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi [1].

Havo sifati monitoringi tizimlarida turli manbalardan olingan ma'lumotlardan foydalaniladi. Meteorologik stansiyalar, IoT sensorlar, sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari hamda radar tizimlari atmosfera holatini kompleks baholash imkonini beradi. Bunday tizimlar orqali atmosfera tarkibidagi gazlar va zarrachalar miqdorini aniqlash, ularning vaqt bo'yicha o'zgarishini kuzatish hamda geografik hududlar bo'yicha taqsimlanishini o'rganish mumkin. Zamonaviy monitoring tizimlari turli manbalardan olingan ma'lumotlarni birlashtirish orqali aniq va ishonchli natijalarni taqdim etadi [2].

Atmosferadagi ifloslantiruvchi moddalar tarqalishiga meteorologik omillar muhim ta'sir ko'rsatadi. Harorat, shamol tezligi va yo'nalishi, namlik darajasi hamda atmosfera bosimi kabi meteorologik parametrlar ifloslanishning tarqalish dinamikasini belgilaydi. Masalan, shamol tezligi yuqori bo'lgan sharoitda ifloslantiruvchi moddalar keng hududlarga tarqalishi mumkin, shamol bo'lmagan yoki sekin bo'lgan holatlarda esa zararli moddalar ma'lum hududda to'planib qoladi. Shu sababli meteorologik ma'lumotlarni hisobga olish havo sifati monitoringi va prognozlash jarayonlarida muhim ahamiyatga ega [3].

So'nggi yillarda havo sifati monitoringi sohasida zamonaviy axborot texnologiyalarining qo'llanilishi sezilarli darajada kengayib bormoqda. IoT sensorlar real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish va uzatish imkonini berib, monitoring jarayonini yanada samarali qiladi. Bunday sensorlar yordamida havo sifati haqidagi ma'lumotlarni tezkor ravishda olish va tahlil qilish mumkin. Shu bilan birga, mashinaviy o'rganish algoritmlari katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish orqali ifloslanish darajasini prognoz qilish, xavfli holatlarni oldindan aniqlash va ekologik qarorlar qabul qilish jarayonini qo'llab-quvvatlash imkonini yaratadi [4].

Bundan tashqari, geografik axborot tizimlari (GIS) yordamida ifloslanishning fazoviy tarqalishini vizual tarzda ko'rsatish, ekologik monitoring natijalarini xaritalash hamda turli hududlar bo'yicha tahlil qilish mumkin. GIS texnologiyalari yordamida ifloslanish manbalarini aniqlash, xavfli hududlarni belgilash va ekologik boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqish jarayoni ancha samarali amalga oshiriladi [5].

Shunga qaramay, ko'plab mavjud monitoring tizimlarida meteorologik ma'lumotlar, IoT sensorlar va mashinaviy o'rganish algoritmlarining integratsiyalashgan qo'llanilishi yetarli darajada rivojlanmagan. Turli manbalardan olingan meteorologik va ekologik ma'lumotlarni integratsiyalash, ularni real vaqt rejimida tahlil qilish hamda ishonchli prognoz modellarini yaratish masalasi hali ham dolzarb ilmiy muammolardan biri bo'lib qolmoqda. Shu sababli havo sifati monitoringida zamonaviy axborot texnologiyalarini kompleks qo'llash bo'yicha ilmiy asoslangan yondashuvlarni ishlab chiqish muhim hisoblanadi.

Usul va uslubiyatlar

Atmosfera ifloslanishini monitoring qilish va prognozlash jarayoni zamonaviy texnologiyalar asosida integratsiyalashgan yondashuvni talab qiladi. Havo sifati nafaqat ekologik xavfsizlik, balki inson salomatligi, shahar rejalashtirish va sanoat faoliyatining barqaror rivoji uchun ham muhim omil hisoblanadi. Shu sababli, tadqiqotda ko'rib chiqilgan metodologiya uch asosiy komponentga bo'linadi: meteorologik ma'lumotlar, IoT sensorlar va mashinaviy o'rganish algoritmlari. Ushbu yondashuvlar ilmiy adabiyotlar va mavjud monitoring tizimlaridagi tajribaga asoslanadi, amaliy tajriba yoki eksperimental o'lchovlar esa ushbu bosqichda bajarilmagan, chunki maqsad – havo sifati monitoringining konseptual va metodologik asoslarini aniqlashdir [6].



1-rasm. Integratsiyalashgan yondashuv.

Meteorologik ma'lumotlar monitoringning eng muhim manbai hisoblanadi. Tadqiqotda harorat (T), nisbiy namlik (RH), shamol tezligi va yo'nalishi (WS), yog'ingarchilik va atmosfera bosimi (P) kabi parametrlar tahlil qilinadi. Ushbu parametrlar ifloslanish moddalarining tarqalishi, konsentratsiyasi va uzoq muddatli ta'sirini aniqlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Masalan, shamol tezligi yuqori bo'lsa, zararli zarrachalar keng hududga tarqaladi va ularning konsentratsiyasi tez pasayadi, namlik esa gazlarning kimyoviy reaksiyalari tezligini o'zgartiradi, shu orqali havo sifatining vaqtinchalik o'zgarishiga sabab bo'ladi [7].

Meteorologik ma'lumotlar turli manbalardan olinadi. Yer stansiyalari yuqori aniqlikdagi ma'lumotlarni taqdim etadi, shahar va sanoat zonalarida IoT sensorlar real vaqt monitoringini ta'minlaydi, sun'iy yo'ldoshlar esa keng hududlarda masofaviy kuzatuv imkonini beradi [8]. Masalan, sun'iy yo'ldoshlar yordamida havoning butun shahar bo'ylab tarqalishi va ifloslanish "hot spot"lari aniqlanishi mumkin.

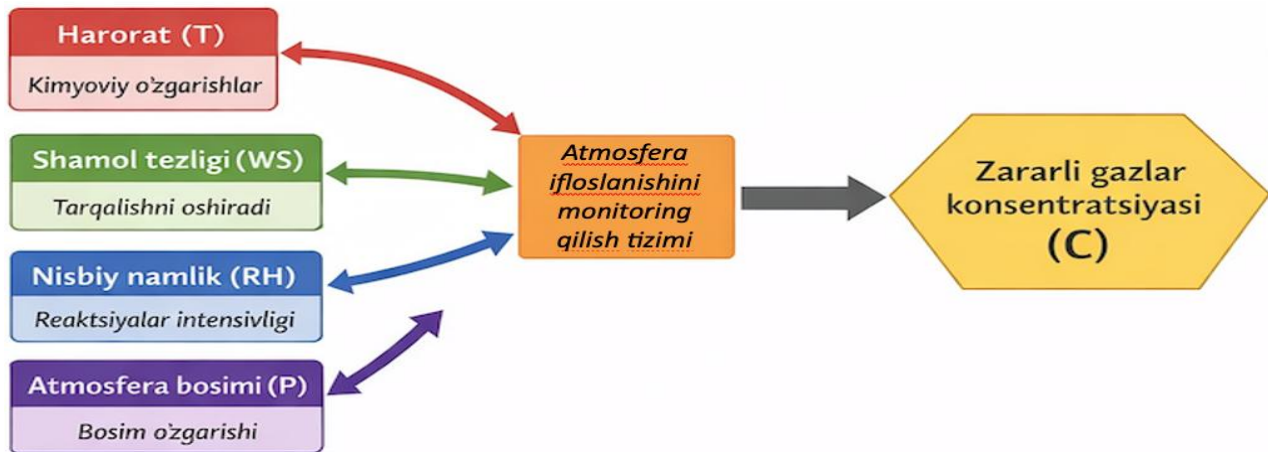
Olingan meteorologik ma'lumotlar tozalash, filtratsiya va standartlashtirish jarayonidan o'tadi. Bu jarayon shovqinli o'lchovlar va xatoliklarni kamaytiradi, shuningdek tahlil va modellashtirishning aniqligini oshiradi. Trendlar, korelyatsiya va regressiya modellar yordamida meteorologik parametrlar va ifloslanish darajasi o'rtasidagi bog'liqlik aniqlanadi. Masalan, chiziqli regressiya formulasi quyidagicha ifodalanadi:

$$C = C_0 + a \cdot T + b \cdot WS + c \cdot RH + d \cdot P \quad (1)$$

bu yerda C – zararli gaz konsentratsiyasi (masalan, $PM_{2.5}$ $\mu g/m^3$), C_0 – boshlang'ich yoki o'rtacha konsentratsiya, T – harorat ($^{\circ}C$), WS – shamol tezligi (m/s), RH – nisbiy namlik (%), P – atmosfera bosimi (hPa), a, b, c, d – mos koeffitsientlar, statistik tahlil orqali aniqlanadi [9].

Bu yondashuv parametrlarning konsentratsiyaga ta'sir darajasini miqdoriy baholash va ifloslanishni prognozlash imkonini beradi. Regressiya modellarining samaradorligi meteorologik parametrlar va emissiya manbalari bilan bog'liq murakkab o'zaro ta'sirlarni hisobga olish orqali oshiriladi [12].

Integratsiyalashgan yondashuv havo sifati monitoringi va prognozi uchun kompleks tizim yaratishga imkon beradi, bu tizimda meteorologik parametrlar, IoT sensorlar va mashina o'rganish algoritmlari birgalikda ishlaydi. Shu tarzda, ma'lumotlar yig'ilishidan boshlab prognoz va tahlilgacha bo'lgan jarayon butunlay ilmiy asosga ega bo'ladi, shuningdek, ekologik va shahar rejalashtirish sohasida amaliy tavsiyalar berish imkonini beradi.



2-rasm. Metereologik parametrlar va ifloslanish modeli.

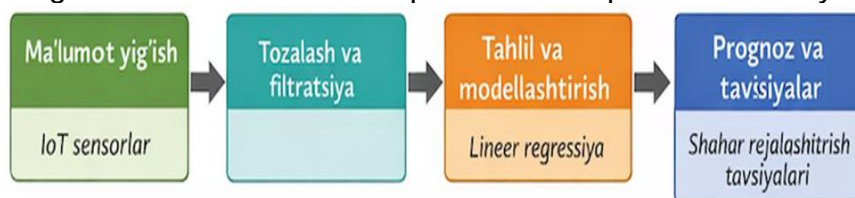
Shuningdek, ko'p omilli regressiya modellari ham qo'llaniladi, masalan:

$$C = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 T + \beta_3 H + \beta_4 Q \quad (2)$$

bu yerda V – shamol tezligi, T – harorat, H – namlik, Q – emissiya hajmi, β_i – model koeffitsientlari [10].

Ma'lumotlar IoT sensorlar yordamida real vaqt rejimida yig'iladi, markaziy server yoki bulut platformasida integratsiyalanadi va sifat nazorati orqali tozalangan holda tahlil qilinadi. Mashinaviy o'rganish algoritmlari (lineer va ko'p omilli regressiya, Random Forest, neyron tarmoqlar) meteorologik va texnologik parametrlar bilan ifloslanish konsentratsiyasining murakkab bog'lanishlarini aniqlashda qo'llaniladi [12-14].

Shu tarzda integratsiyalashgan metodologiya havo sifati monitoringini nafaqat mavjud holatni baholash, balki kelajakdagi ifloslanish tendensiyalarini prognozlash imkonini ham beradi. Regressiya formulalari, ansambl modellar va neyron tarmoqlar yordamida parametrlarning nolinear va ko'p omilli ta'siri hisobga olinadi, bu esa sanoat va shahar hududlarida ekologik xavflarni oldindan aniqlash va boshqarish imkonini yaratadi.



3-rasm. Ma'lumot oqimi.

Natijalar

Tadqiqot davomida atmosfera ifloslanishini monitoring qilish va prognozlash jarayonida meteorologik parametrlar, IoT sensor texnologiyalari va mashina o'rganish algoritmlarining integratsiyalashgan yondashuvi tahlil qilindi. Ilmiy adabiyotlar va mavjud monitoring tizimlari asosida olib borilgan tahlillar ushbu komponentlarning birgalikda qo'llanilishi havo sifati monitoringi samaradorligini oshirishini ko'rsatadi [15-18].

Meteorologik parametrlar ifloslanish jarayonlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Harorat, shamol tezligi, nisbiy namlik va atmosfera bosimi zararli gazlar konsentratsiyasining tarqalish dinamikasini belgilovchi asosiy omillar hisoblanadi. Ilmiy tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatadiki, shamol tezligi oshishi bilan zararli zarrachalarning atmosferada tarqalishi tezlashadi, bu esa ayrim hududlarda konsentratsiyaning kamayishiga olib keladi. Shu bilan birga, yuqori namlik gazlarning kimyoviy reaksiyalariga ta'sir qilib, ularning atmosfera tarkibida uzoqroq saqlanishiga sabab bo'lishi mumkin [19].



IoT sensor texnologiyalari esa havo sifatini real vaqt rejimida monitoring qilish imkoniyatini yaratadi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy monitoring stansiyalari bilan solishtirganda IoT sensorlar keng hududlarda ma'lumot yig'ish imkonini beradi. Sensor tarmoqlari yordamida olingan ma'lumotlar markaziy server yoki bulut platformalarida qayta ishlanishi mumkin, bu esa havo sifati haqidagi ma'lumotlarni tezkor tahlil qilish va vizualizatsiya qilish imkonini beradi. Natijada ekologik xavf zonalarini aniqlash va ularni monitoring qilish samaradorligi oshadi [20].

Mashina o'rganish algoritmlarining qo'llanilishi esa havo sifati prognozlashda muhim rol o'ynaydi. Regressiya modellar, ansambl metodlar va sun'iy neyron tarmoqlar meteorologik parametrlar va emissiya manbalari o'rtasidagi murakkab bog'lanishlarni aniqlash imkonini beradi. Ilmiy manbalarga ko'ra, Random Forest va neyron tarmoq modellarining qo'llanilishi ifloslanish darajasini prognozlash aniqligini oshiradi. Ayniqsa vaqt qatorlari asosida ishlaydigan LSTM modellar atmosferadagi o'zgarishlarni prognozlashda yuqori samaradorlik ko'rsatadi [14].

Xulosa

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, meteorologik ma'lumotlar, IoT sensorlar va mashina o'rganish algoritmlarining integratsiyalashgan qo'llanilishi atmosfera ifloslanishini monitoring qilishning samarali konseptual modelini yaratishga imkon beradi. Bunday yondashuv shahar va sanoat hududlarida ekologik xavflarni oldindan aniqlash, havo sifati monitoringi tizimlarini rivojlantirish hamda ekologik boshqaruv jarayonlarini takomillashtirish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati:

- [1]. Seinfeld J. H., Pandis S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.
- [2]. Jacob D. J. Introduction to Atmospheric Chemistry. – Princeton: Princeton University Press.
- [3]. Zhang Y. Air Pollution Modeling and Its Application. – Springer, 2016.
- [4]. Qiu M., Zhang Y., Li X. Machine Learning for Air Quality Prediction: Methods and Applications. – Springer, 2020.
- [5]. Li X., Zhou Y. GIS Applications in Environmental Monitoring and Management. – CRC Press, 2018.
- [6]. Kumar P., Morawska L., Martani C. et al. The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. – Environment International, 2015. – Vol. 75.
- [7]. Holben B. N., Eck T. F., Slutsker I. et al. AERONET – A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. – Remote Sensing of Environment.
- [8]. Wang J., Christopher S. A. Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM_{2.5} mass. – Geophysical Research Letters, 2003. – Vol. 30.
- [9]. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements and Future Directions. – Future Generation Computer Systems, 2013.
- [10]. Zheng Y., Liu F., Hsieh H. U-Air: When Urban Air Quality Inference Meets Big Data. – Proceedings of the 19th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2013.
- [11]. Castell N., Dauge F. R., Schneider P. et al. Can Commercial Low-Cost Sensor Platforms Contribute to Air Quality Monitoring and Exposure Estimates? – Environment International, 2017.



- [12]. Hasenfratz D., Saukh O., Thiele L. Participatory Air Pollution Monitoring Using Smartphones. – Mobile Sensing, 2012.
- [13]. Aggarwal C. C. Data Mining: The Textbook. – New York: Springer, 2015.
- [14]. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining: Concepts and Techniques. – 3rd ed. – Morgan Kaufmann, 2011.
- [15]. Breiman L. Random Forests. – Machine Learning, 2001.
- [16]. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge, MA: MIT Press, 2016.
- [17]. Bishop C. M. Neural Networks for Pattern Recognition. – Oxford: Oxford University Press.
- [18]. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory. – Neural Computation.
- [19]. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic Information Systems and Science.
- [20]. Weng Q. Remote Sensing of Urban Environment. – Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [21]. Snyder E. G., Watkins T. H., Solomon P. A. et al. The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring. – Environmental Science & Technology, 2013.
- [22]. Kumar A., Singh D., Singh B. Advances in Air Quality Monitoring Technologies. – Environmental Monitoring and Assessment, 2020.