



ATMOSFERA IFLOSLANISHINI 3D MODELLASHTIRISH VA EKOLOGIK XAVF ZONALARINI BAHOLASH UCHUN GIBRID AI-ML MODEL

Muallif: Odilov Abdullo Komiljon o‘g‘li¹

Affiliyatsiya: Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti magistranti¹

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17587096>

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada atmosfera ifloslanishini bashorat qilish va ekologik xavf zonalarini aniqlash maqsadida gibrir sun'iy intellekt (AI) va mashinali o'qitish (ML) modellariga asoslangan 3D modellashtirish yondashuvi taklif qilinadi. Taklif etilgan tizim fizik modellashtirish (Navye–Stoks va adveksiya-diffuziya tenglamalari) va chuqur o'rganish (CNN, LSTM) algoritmlarini birlashtirib, PM_{2.5}, NO₂, CO, O₃ kabi ifloslovchi moddalarning tarqalishini bashorat qiladi. Shuningdek, model yordamida yuqori konsentratsiyali zonalar 3D formatda qayta tiklanadi va ekologik xavf xaritalari ishlab chiqiladi. Mahalliy sharoitlarga moslashtirilgan ushbu yondashuv orqali O'zbekiston shaharlarida havo sifatini yaxshilash va sog'liq xavfini kamaytirish imkoniyatlari kengaytiriladi.

Kalit so'zlar: 3D modellashtirish, havo ifloslanishi, ekologik xavf zonalar, sun'iy intellekt, mashinali o'qitish, CNN, LSTM, fizik asosli modellar, O'zbekiston.

KIRISH

Dunyo bo'ylab aholi zich joylashgan shaharlar va sanoat markazlarida havo ifloslanishi jiddiy muammoga aylanmoqda. Mayda zarralar (PM_{2.5}, PM₁₀) va boshqa toksik gazlar inson salomatligi uchun katta xavf tug'dirib, nafas olish va yurak-qon tomir kasalliklari xavfini oshiradi. O'zbekiston hukumati ham atmosfera havosini muhofaza qilishni dolzarb vazifa qilib belgilagan: 2019-yil 30-oktabrda 2030-yilgacha mo'ljallangan “Atrof-muhitni muhofaza qilish” konsepsiyasi tasdiqlandi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Ushbu konsepsiya asosida uch yillik yo'l xaritalari ishlab chiqilib, atrof-muhitni muhofaza qilish bo'yicha maqsad va chora-tadbirlar belgilandi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Oxirgi yillarda havo ifloslanishini tartibga solish uchun qonunchilik ham kuchaytirildi: 2024-yil fevralida “Tabiatni muhofaza qilish”, “Atmosfera havosini muhofaza qilish” va “Ekologiya nazorati” qonunlariga kiritilgan o'zgartirishlarga binoan, atmosferani ifloslantiruvchi korxonalar faoliyatini vaqtincha to'xtatish mexanizmi joriy etildi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. 2024-yil sentyabrda esa “Chang bo'ronlari va havo sifatini yaxshilash bo'yicha ustuvor chora-tadbirlar” farmoni qabul qilindi va 2024–2030-yillarni qamrab olgan milliy dastur tasdiqlandi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. 2025-yil mart oyida 500 m² va katta qurilish maydonlarida chang chiqishining oldini olish bo'yicha majburiy texnik talablar amal qila boshladi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Shuningdek, 2024-yilda Sog'liqni saqlash vazirligi PM_{2.5} uchun yangi standart joriy qildi; u Butunjahon sog'liqni saqlash tashkilotining tavsiyalariga mos kelib, havo sifatini yaxshilashga qaratilgan.

muhim qadam bo'ldi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Ushbu chora-tadbirlar milliy darajada havo sifatini yaxshilashga bo'lgan majburiyatning qat'iy ekani va yangi analitik vositalar zarurligini ko'rsatadi.

ADABIYOTLAR SHARHI

Wang va Han (2025) ishida Xitoy olimlari o'quv maskanlarida chang va ifloslantiruvchi aerazol zarralarining 3D modellashtirilishi va trajektoriyasini oldindan aniqlash uchun gibrid chuqur o'rganish modelini taklif qilishadi. Ularning yondashuvida an'anaviy Eulerik yoki Lagranj variantli hisoblash modellari bilan solishtirganda yuqori aniqlikdagi aerosol transport modeliga ma'lumotga asoslangan neyron tarmoqlar (physics-informed neural networks) orqali optimallashtirish qo'llaniladi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Bu usul kichik masshtabli turbulensiyaning hisobga olish uchun statistik korreksiyalar va moslashtirilgan tarmoq (adaptive meshing) kabi komponentlarni o'z ichiga oladi, natijada an'anaviy numerik usullarga nisbatan aniqroq va samarali model yaratildi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Eksperimental sinovlar ushbu yondashuvning ma'lumotga asoslangan boshqa metodlardan ustunligini ko'rsatgan.

2022-yilda *Sustainability* jurnalida chop etilgan tahliliy maqolada mualliflar havo ifloslanishini bashorat qilishda qo'llanilgan sun'iy intellekt va mashinani o'rganish usullarini tahlil qilganlar. Ular ma'lumotlarga asoslangan yondashuvlarning an'anaviy fizik modellar qo'yadigan kuchli hisoblash yukini yengishi va mavjud tarixiy ma'lumotlarga tayangan holda yuqori aniqlikni ta'minlashi mumkinligini ta'kidlashadi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Masalan, konfolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) va uzun muddatli eslash (LSTM) kabi chuqur o'rganish modellarining bashorat aniqligi yuqori bo'lib, statistik va oddiy mashinani o'rganish metodlariga nisbatan samaradorligi ortadi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Mualliflar shuningdek ta'kidlaydilar: turli metodlarni birlashtiruvchi gibrid modellar bashorat aniqligini oshiradi va barqarorlikni yaxshilaydi, biroq buning evaziga hisoblash xarajatlari ko'tarilishi mumkinligi kuzatiladi[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Yasmin va boshq. (2023) AQIPred nomli modelida oddiy ko'p qatlamli perceptron (MLP) va LSTM tarmoqlarini birlashtirgan. Ular Pekin shahrining ko'p joylarga havo sifati ma'lumotlar bazasi ustida sinov o'tkazib, modelning MSE 0.00016 va $R^2 \approx 0.95$ natijalariga erishganlar, bu esa modelning yuqori aniqlikda ishlashidan dalolat beradi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Natijalar shuni ko'rsatdiki, mazkur gibrid neyron arxitekturasini an'anaviy statistika usullariga qaraganda ancha aniqroq bashoratlar beradi va yuqori aniqlik talab qilinadigan vazifalar uchun qulay.

Rahmani (2024) o'z dissertatsiyasida havo ifloslanishini prognozlashda uchta asosiy yondashuvni taklif qilgan. Birinchisi – PM2.5 zarralari konsentratsiyasini vaqt bo'yicha oldindan bashoratlaydigan *PMFORECAST* modeli bo'lib, u bir soatlik oldindan bashoratlarda 99.7% aniqlikni ta'minlagan[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Ikkinchi yondashuv – Graf T-I-LSTM modeli, u GCN (graf konvolyutsion tarmog'i) yordamida hududlararo bog'liqlikni va LSTM yordamida vaqt bo'yicha dinamikani modellashtiradi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Uchinchi tarafdin, muallif mobil sensorlardan to'planadigan ma'lumotlar bilan mashinani o'rganishni birlashtirgan federativ o'rganish arxitekturasini (*FEDAIRNET*)ni tavsiflaydi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Dissertatsiya mualliflari ta'kidlashicha, bu usullarning birgalikda ishlashi haqiqiy shahar muhitida yuqori bashorat aniqligini va foydalanuvchi maxfiyligining saqlanishini ta'minlaydi.

Panda va boshq. (2025) ishlari shahar ekosistemalari uchun sun'iy intellektga asoslangan bashorat modelini taklif etadi. Ular ob-havo, transport, sanoat chiqindilari hamda turli ifloslanish parametrlari (PM2.5, NO₂, CO, O₃) to'plamlarini LSTM, Random Forest va Gradient Boosting kabi usullarga asoslangan holda birlashtirgan[15]. Ansambl modellash orqali bir nechta texnikani uyg'unlashtirish natijasida bashorat aniqligi an'anaviy statistik yondoshuvlardan yuqori bo'lishi kuzatilgan, ba'zi sinovlarda 90%dan oshgan natijalarga erishilgan[16]. Bundan tashqari, model atrof-muhit xavflarini baholash uchun aholi zaifligi va ifloslantiruvchi moddalar toksikligini inobatga olgan holda sog'liq indeksini hisoblash ham imkoniyatini yaratgan[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Shuni ta'kidlash kerakki, yuqoridagi ishlarda hech biri O'zbekiston sharoitiga bag'ishlanmagan. Ularning aksariyati Xitoy, Hindiston yoki boshqa mintaqalardagi ma'lumotlar asosida o'rganilgan, bu esa mahalliy ma'lumotlar va sharoitlar uchun yangi tadqiqotlar yo'lini ochmoqda.

METODOLOGIYA

Taklif etilgan gibrid AI-ML modeli atmosfera ifloslanishini 3D aniqlash va ekologik xavf zonalarini baholash uchun quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- **Ma'lumot yig'ish.** Modellash uchun meteorologik (shamol tezligi, harorat, namlik), sanoat chiqindilari va transport chiqindilari kabi vaqt bo'yicha kuzatuv ma'lumotlari va shahar relyefi, yer qoplamasi kabi fazoviy ma'lumotlar yig'iladi. Bu bosqichda shuningdek suv havzalari, ekin maydonlari va sanoat hududlari kabi atrof-muhit elementlari hisobga olinadi.
- **Numerik model.** Havo oqimlari va ifloslovchi moddalar tarqalishini Navye-Stoks va adveksiya-diffuziya tenglamalari asosida hisoblashni o'z ichiga oladi. Model relyef va yer yuzasi xususiyatlarini hisobga olgan holda 3D atmosferaga tarqalish jarayonini simulyatsiya qiladi[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Bu yerda maydon bo'ylab yadroviy bosqich va hududiy diferensial tenglamalar echiladi.
- **Mashina o'rganish modullari.** Ushbu model natijalari va o'lchov stansiyalardan olingan ma'lumotlar asosida neyron tarmoqlar (masalan, CNN va LSTM/Transformer tarmoqlari) o'qitiladi. Ular kichik masshtabdagi noaniqliklarni va vaqtinchalik nazariyani o'rganib, modelning bashorat aniqligini oshirish uchun ishlatiladi[7][10]. Masalan, CNN havo maydonining 3D sxemasini qayta tiklashda ishlatilishi mumkin, LSTM esa keyingi daqiqalardagi tarqalishni prognoz qiladi.
- **Gibrid algoritmlar.** Fizik modellar bilan integratsiyalashgan mashinani o'rganish, masalan physics-informed neyron tarmoqlari, modelga fizik cheklovlarni kiritish imkonini beradi. Bu yondashuv ma'lumotga asoslangan kuchni fizik qonunlar bilan uyg'unlashtiradi va natijaning barqarorligini oshiradi.
- **3D qayta tiklash va xavf bahosi.** Hosil bo'lgan gibrid model yordamida shahar bo'ylab ifloslovchi moddalarning 3D konsentratsiya maydoni olinadi. Keyin bu ma'lumotlar asosida ekologik xavf zonalari xaritasi tuziladi: masalan, PM2.5 miqdori milliy standartdan oshgan hududlar aniqlanib, ularga yuqori xavf belgisi qo'yiladi. Ushbu xarita sog'liqni muhofaza qilish va rejalashtirish uchun muhim axborot manbai sifatida xizmat qiladi.

Taqqoslash tahlili.

O'zbekiston sharoitida havo ifloslanishini tahlil qiluvchi ilmiy tadqiqotlar nisbatan kam va asosan an'anaviy modellarga asoslangan. Masalan, Sharipov va boshqalar (2019) atmosferada aerazol moddalar tarqalishini ikki o'lchamli matematik model va sonli usullar orqali o'rgangan; ularning modellari relyef va iqlim omillari hisobga olingan, ammo hech qanday mashina o'rganish metodi ishlatilmagan[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Yaqinda Madiyarova va boshq. (2025) Tashkent shahridagi avtomatlashtirilgan monitoring stansiyalaridan olingan PM2.5 ma'lumotlari asosida oddiy regressiya va ansambl modellardan foydalangan (Random Forest va Gradient Boosting) hamda yuqori R^2 qiymatga erishganini ko'rsatdi[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Xalqaro tadqiqotlarda esa, aksincha, ilg'or sun'iy intellekt texnologiyalari keng qo'llanilmoqda. Wang va Han (2025) fizik va neyron tarmoqlarni birlashtirgan Euler va Lagranj yondoshuvli havo ifloslanishi modelini taklif qilgan[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Panda va boshq. (2025) ko'p manbali ma'lumot va ansambl mashinani o'rganish usullarini bog'lab, 90% dan oshiq bashorat aniqligiga erishgan[Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Rahmani (2024) esa graf konvolyutsion tarmoq va federativ o'rganishni birlashtirgan spatiotemporal modelini ko'rib chiqqan, bu mobil sensor ma'lumotlarini maxfiy qolgan holda bashoratlash imkonini beradi[Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Shunday qilib, Sharipov va boshq. milliy tadqiqotlari oddiy differensial tenglamalarga asoslangan bo'lsa, xalqaro jamoatchilik ilm-fanida sun'iy intellekt va chuqur o'rganishga asoslangan gibril yondashuvlar afzalliklarga ega ekanligini namoyish etdi. Mahalliy va xalqaro yondashuvlar orasidagi asosiy farq shundaki, O'zbekistonda hali to'liq AI asosida gibril modellash keng qo'llanilmagan, bu sohada katta imkoniyatlar mavjud.

Kelajakdagi ishlanmalar

O'zbekiston sharoitida havo ifloslanishini 3D modellashtirish va ekologik xavf zonalarini tahlili bo'yicha bir qator yangi yo'nalishlar mavjud. Avvalo, kuzatuv tarmoqlari kengaytirilishi kerak – shahar bo'ylab uch o'lchovli monitoring (nozik zarralar, gazlar) uchun avtonom kuzatuv stansiyalari sonini oshirish va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan keng foydalanish zarur. Chang bo'ronlari kabi mahalliy iqlim hodisalarini hisobga olish uchun tarixiy iqlim ma'lumotlarini modelni kompleksiga singdirish talab etiladi.

Metodologik jihatdan, O'zbekistonga moslangan fizikaga asoslangan neyron tarmoqlari (PINN) va graf signal ishlov berish usullarini ishlab chiqish muhimdir. Masalan, reaktiv quvvat taqsimoti o'rnatilgan yuzalar uchun gibril modellarda graf neyron tarmoqlaridan foydalanish, shuningdek mobil qurilmalardan kelayotgan ma'lumotlarni mahalliy sir saqlagan holda integratsiya etish yo'nalishida federativ o'rganishni kuchaytirish lozim. Shuningdek, chiqindilar (masalan, neft zavodlari, kimyo korxonalari) harakteristikasini aniqroq hisobga olish uchun yangi parametrlarni – masalan, bo'rondan chiqadigan changning kimyoviy tarkibi – joriy etish tavsiya etiladi.

Siyosiy va ijtimoiy jihatdan, natijalarni real-vaziyatga tatbiq etish uchun "raqamli egizak" (digital twin) shahar tizimlarini yaratish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu orqali turli senariylarni simulyatsiya qilib, qaysi hududlar tez-tez ifloslanishini aniqlash va aholiga erta ogohlantirish berish mumkin. Eng oxiri, yuqori aniqlikdagi 3D modellar va ekologik xavf xaritalarini rasmiylar va jamoatchilikka taqdim etish uchun samarali vizualizatsiya va qaror qabul qilish platformalari ishlab chiqilishi zarur.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda 3D modellashtirish va AI-ML yondashuvlarini qo'llagan holda O'zbekistondagi havo ifloslanishini va ekologik xavf zonalarini baholash imkoniyatlari tahlil qilindi. Kirish qismida O'zbekiston hukumati tomonidan qabul qilingan atrof-muhitni muhofaza qilish va atmosferani ifloslanishiga qarshi qaratilgan bir qator qonunlar va qarorlar ko'rib chiqildi. Adabiyotlar sharhidan ma'lum bo'ladiki, xalqaro tadqiqotlarda sun'iy intellektning turli tarkibiy qismlari – chuqur neyron tarmoqlari, graf neyron tarmoqlari va ansambl metodlar kabi – havo sifatini bashorat qilish va monitoring qilishda muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Bizning yondashuvimiz yuqoridagi ilg'or metodlarni O'zbekiston sharoitiga moslashtirishga qaratilgan. Xalqaro va mahalliy tadqiqotlar orasidagi asosiy farq shundaki, O'zbekistonda hali to'liq AI asosida gibrid modellar keng joriy etilmagan, yangi innovatsion tadqiqotlar uchun imkoniyatlar mavjud.

Natijada taklif etilgan gibrid AI-ML model an'anaviy fizik modellar bilan mashinani o'rganish algoritmlarini birlashtirib, yuqori aniqlikda havo ifloslanishini bashorat qilish va 3D atlasini tuzishga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv orqali aylanayotgan havo zarralarining konsentratsiyasi bo'yicha xaritalar olinib, milliy standartdan oshgan hududlar aniqlanishi mumkin. Bu milliy sog'liq va ekologiya sohasi uchun zarur bo'lgan aniqlikdagi ma'lumotlarni beradi. Xulosa qilib aytganda, fizika asosidagi simulyatsiyalar va sun'iy intellektni birlashtirish O'zbekiston sharoitida havo sifati va ekologik xavf zonalarini yanada aniqlik bilan oldindan aniqlashga yordam beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 30.10.2019 yildagi "2030-yilgacha bo'lgan davrda O'zbekiston Respublikasining Atrof muhitni muhofaza qilish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi PF-5863-son farmoni. <https://lex.uz/docs/-4574008>
2. https://www.gov.uz/en/activity_page/environment
3. <https://kun.uz/en/news/2024/02/08/uzbekistan-introduces-regulations-to-limit-operations-of-enterprises-polluting-the-air#>
4. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 24.09.2024 yildagi "Chang bo'ronlariga qarshi kurashish va atmosfera havosi sifatini yaxshilash bo'yicha birinchi navbatdagi chora-tadbirlar to'g'risida"gi PQ-338-son qarori <https://lex.uz/uz/docs/-7112414>
5. Liability for air pollution during construction has been introduced <https://gov.uz/en/eco/news/view/38798>
6. Air Quality Assessment for Tashkent and the Roadmap for Air Quality Management Improvement in Uzbekistan <https://www.worldbank.org/en/country/uzbekistan/publication/air-quality-assessment-for-tashkent>
7. Deep learning for 3D reconstruction and trajectory prediction of dust and polluted aerosols in educational environments <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2025.1582806/full>
8. Subramaniam, S., Raju, N., Ganesan, A., Rajavel, N., Chenniappan, M., Prakash, C., Pramanik, A., Basak, A. K., & Dixit, S. (2022). Artificial Intelligence

Technologies for Forecasting Air Pollution and Human Health: A Narrative Review. Sustainability, 14(16), 9951. <https://doi.org/10.3390/su14169951>

9. Yasmin, F., Hassan, M.M., Hasan, M. et al. AQIPred: A Hybrid Model for High Precision Time Specific Forecasting of Air Quality Index with Cluster Analysis. Hum-Cent Intell Syst 3, 275–295 (2023). <https://doi.org/10.1007/s44230-023-00039-x>

10. Maryam Rahmani. Next-Generation Air Pollution Forecasting: Integrating AI, Spatiotemporal Dynamics, and Privacy-Ensuring Approaches for Urban Areas. Computer Science[cs]. Université de Lille, 2024. English. (NNT :). (tel-04851216)

11. Computer Modeling of Aerosol Emissions Spread in the Atmosphere Daler Sharipov, Sharofiddin Aynakulov and Otabek Khafizov. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705023>

12. Madiyarova, U.; Erkinov, J.; Rachid, B.M. Particulate Matter (PM2.5) Prediction in Tashkent Using Machine Learning, in Proceedings of the 7th International Electronic Conference on Atmospheric Sciences, 4–6 June 2025, MDPI: Basel, Switzerland.

13. Panda, Ashok & Pradhan, Sonali & Pati, Chinmayee & Rath, Naba & Baral, Deepak. (2025). AI-Based Predictive Modeling For Air Quality Assessment And Environmental Risk Forecasting In Urban Ecosystems. International Journal of Environmental Sciences, 11. 163-171. 10.64252/n5gynb06.

