ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SANOAT MUHITIDA HAVO IFLOSLANISHINI IOT VA ANN INTEGRATSIYASI ORQALI MONITORING QILISH

Turdiyeva Laylo O‘ktamovna
Urganch RANCH texnologiyalar universiteti magistri
Email:turdiyevalayli707@gmail.com
Setmetov Ne'matjon Urunboyevich
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti,
“Telekommunikatsiya injiniringi” kafedrasi mudiri, PhD., dotsent
Email: nematjons@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada IoT texnologiyalari asosida havoning ifloslanishini monitoring qilish tizimlarini o‘rganish va tahlil qilishga bag‘ishlangan ilmiy tadqiqotlar solishtirma tarzda ko‘rib chiqildi. Tadqiqot davomida arzon IoT sensor tarmoqlari yordamida havoning sifatini uzoq muddat monitoring qilish hamda IoT va Machine Learning texnologiyalarini birlashtirish orqali ifloslanish darajasini prognozlash imkoniyatlari tahlil qilindi. Birinchi tadqiqotda IoT asosidagi sensor tarmog‘i yordamida PM2.5, PM10 va CO_2 kabi zararli moddalarni real vaqt rejimida kuzatish hamda sensor ma’lumotlarini kalibrlash orqali monitoring aniqligini oshirish usullari o‘rganildi. Ikkinchi tadqiqotda esa IoT sensorlari bilan birgalikda sun’iy neyron tarmoqlari (ANN) algoritmlaridan foydalanib havoning ifloslanish darajasini prognozlash modeli ishlab chiqilgan. Olingan natijalar IoT sensor tarmoqlari va sun’iy intellekt texnologiyalarining integratsiyasi ekologik monitoring tizimlarining samaradorligini oshirishini ko‘rsatadi. Mazkur tadqiqot natijalari sanoat hududlarida havo ifloslanishini nazorat qilish va ekologik xavfsizlikni ta’minlashda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: IoT, havo ifloslanishi monitoringi, sensor tarmoqlari, sun’iy neyron tarmoqlari, ekologik monitoring, aqlli tizimlar.

Аннотация. В данной статье рассматривается сравнительный анализ научных исследований, посвященных мониторингу загрязнения воздуха на основе технологий Интернета вещей (IoT). В ходе исследования были проанализированы методы долгосрочного мониторинга качества воздуха с использованием недорогих сенсорных сетей IoT, а также возможности прогнозирования уровня загрязнения при интеграции технологий IoT и машинного обучения. В первом исследовании изучается система мониторинга, основанная на сенсорных сетях IoT, которая позволяет в реальном времени отслеживать концентрацию вредных веществ, таких как PM2.5, PM10 и CO_2, а также повышать точность данных путем калибровки сенсоров. Во втором исследовании предложена модель прогнозирования загрязнения воздуха на основе использования алгоритмов искусственных

ISSN 3030-3907

нейронных сетей (ANN) совместно с IoT-датчиками. Полученные результаты показывают, что интеграция сенсорных сетей IoT и технологий искусственного интеллекта значительно повышает эффективность систем экологического мониторинга. Результаты исследования могут быть использованы для контроля загрязнения воздуха в промышленных зонах и обеспечения экологической безопасности.

Ключевые слова: IoT, мониторинг загрязнения воздуха, сенсорные сети, искусственные нейронные сети, экологический мониторинг, интеллектуальные системы.

Annotation. This article presents a comparative analysis of research studies related to air pollution monitoring based on Internet of Things (IoT) technologies. The study examines approaches for long-term air quality monitoring using low-cost IoT sensor networks as well as the integration of IoT and machine learning technologies for predicting pollution levels. The first study focuses on the use of IoT-based sensor networks to monitor harmful substances such as PM2.5, PM10, and CO_2 in real time, as well as improving monitoring accuracy through sensor calibration techniques. The second study proposes a predictive model of air pollution based on Artificial Neural Network (ANN) algorithms integrated with IoT sensors. The results indicate that the integration of IoT sensor networks and artificial intelligence technologies significantly improves the efficiency of environmental monitoring systems. The findings of this research can be applied in industrial areas for monitoring air pollution and ensuring environmental safety.

Keywords: IoT, air pollution monitoring, sensor networks, artificial neural networks, environmental monitoring, smart systems.

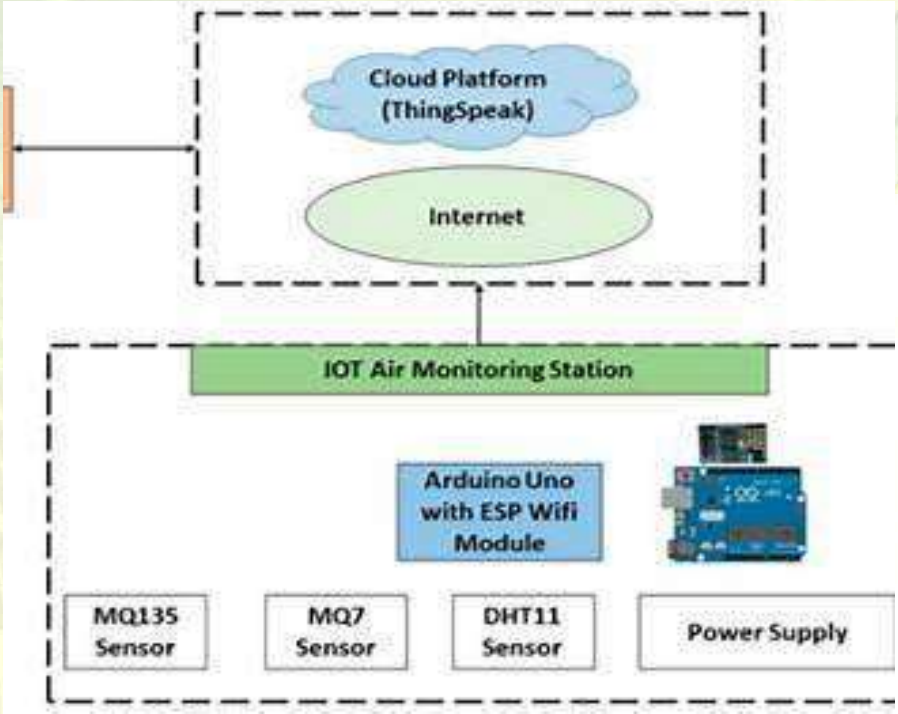
KIRISH

So‘nggi yillarda sanoat korxonalari, transport tizimlari va urbanizatsiya jarayonining jadal rivojlanishi natijasida atmosfera havosining ifloslanishi global ekologik muammolardan biriga aylandi. Havoning ifloslanishi inson salomatligiga, ekologik muvozanatga hamda iqtisodiy faoliyatga sezilarli darajada salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Ayniqsa, PM2.5, PM10, CO_2, NOx kabi zararli gaz va chang zarrachalari inson organizmi uchun katta xavf tug‘diradi. Shu sababli havoning sifatini doimiy monitoring qilish va ifloslanish darajasini nazorat qilish zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

An’anaviy havo monitoring stansiyalari yuqori aniqlikka ega bo‘lsa-da, ularning narxi juda qimmat va ular ko‘pincha cheklangan hududlarda joylashtiriladi. Natijada keng hududlarni real vaqt rejimida monitoring qilish imkoniyati cheklangan bo‘ladi. Shu sababli so‘nggi yillarda Internet of Things (IoT) texnologiyalari asosida ishlaydigan arzon sensor tarmoqlari havo sifatini

ISSN 3030-3907

monitoring qilish uchun samarali yechim sifatida keng qo‘llanilmoqda. IoT texnologiyasi yordamida ko‘plab sensor qurilmalar o‘zaro tarmoq orqali bog‘lanib, atrof-muhit haqidagi ma’lumotlarni yig‘ish, uzatish va tahlil qilish imkonini beradi. IoT asosidagi havo monitoring tizimi arxitekturasi:



1-rasm. IoT asosida havo sifatini monitoring qilish tizimi arxitekturasi

Yuqoridagi rasmda IoT asosidagi ekologik monitoring tizimining umumiy arxitekturasi tasvirlangan. Tizim quyidagi asosiy komponentlardan tashkil topadi:

Sensor qatlami (Sensing layer) Bu qatlamda PM2.5, PM10, CO_2, NO_2 kabi gaz va chang zarrachalarini o‘lchaydigan sensorlar joylashadi. Sensorlar atrof-muhitdagi parametrlarni doimiy ravishda o‘lchab turadi.

Tarmoq qatlami (Network layer) Sensorlardan olingan ma’lumotlar Wi-Fi, LoRa, ZigBee yoki boshqa simsiz texnologiyalar orqali markaziy serverga uzatiladi.

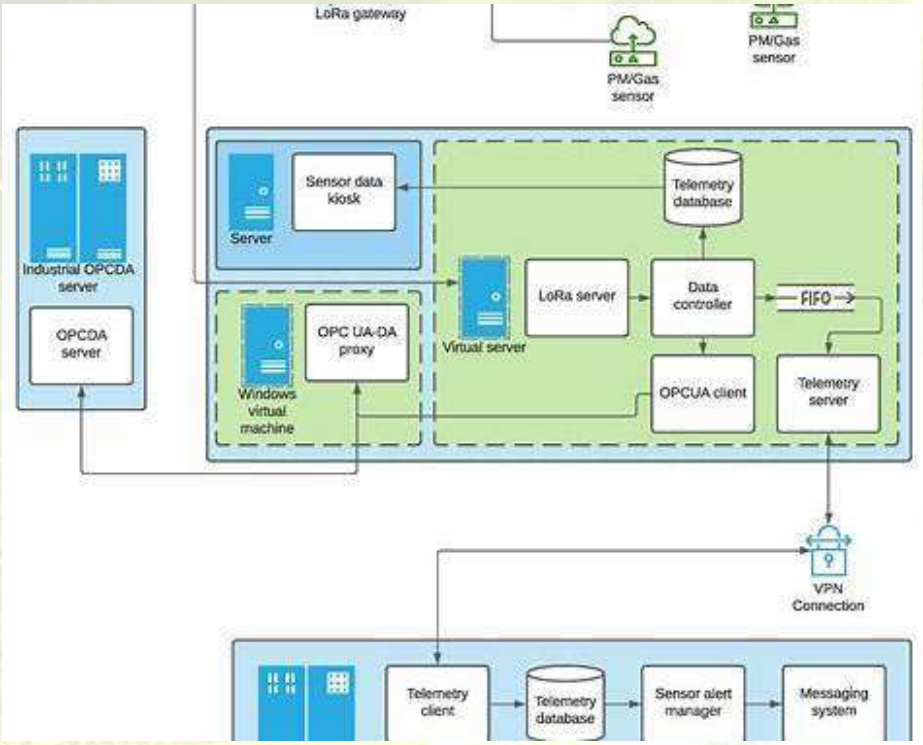
Ma’lumotlarni qayta ishlash qatlami (Processing layer) Ushbu qatlamda bulutli platformalar yoki serverlar sensor ma’lumotlarini saqlaydi va tahlil qiladi.

Ilova qatlami (Application layer) Foydalanuvchilar mobil ilova yoki veb-interfeys orqali real vaqt monitoring natijalarini ko‘rishlari mumkin.

Bunday arxitektura yordamida ekologik ma’lumotlar tezkor yig‘iladi va tahlil qilinadi, bu esa ifloslanish manbalarini aniqlash va ekologik xavfsizlikni ta’minlashda muhim ahamiyatga ega.

IoT va sun’iy intellekt asosidagi monitoring tizimi:

ISSN 3030-3907



2-rasm. IoT sensor tarmog‘i va ma’lumotlarni qayta ishlash tizimi

So‘nggi tadqiqotlarda IoT texnologiyalari Machine Learning va sun’iy intellekt algoritmlari bilan birlashtirilmoqda. Bu yondashuv nafaqat havoning hozirgi holatini monitoring qilish, balki kelajakdagi ifloslanish darajasini prognoz qilish imkonini ham beradi.

Masalan: sensorlar ekologik ma’lumotlarni yig‘adi, IoT tarmog‘i orqali serverga yuboradi, server yoki bulutli platforma ma’lumotlarni tahlil qiladi, Machine Learning algoritmlari ifloslanish darajasini prognoz qiladi, bu yondashuv sanoat hududlarida ekologik xavflarni oldindan aniqlashga yordam beradi.

Tadqiqotlarning solishtirma tahlili:

Ushbu dissertatsiyada ikkita zamonaviy ilmiy tadqiqot tahlil qilindi:

IoT asosidagi arzon sensor tarmoqlari yordamida havo sifatini uzoq muddat monitoring qilish**.** Bu tadqiqotda sensorlarning aniqligini oshirish va real vaqt monitoringini tashkil etish masalalari o‘rganilgan.

IoT va Machine Learning integratsiyasi orqali havo ifloslanishini prognozlash tizimi. Ushbu tadqiqotda IoT sensorlari yordamida yig‘ilgan ma’lumotlar sun’iy neyron tarmoqlari yordamida tahlil qilinib, ifloslanish darajasi prognoz qilinadi.

Mazkur ikki yondashuvni solishtirish shuni ko‘rsatadiki, IoT texnologiyalari monitoring tizimlarining asosiy infratuzilmasini tashkil etsa, sun’iy intellekt algoritmlari esa ushbu tizimlarning samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

1. SANOAT MUHITIDA HAVONING IFLOSLANISHI VA MONITORINGGA EHTIYOJ

ISSN 3030-3907

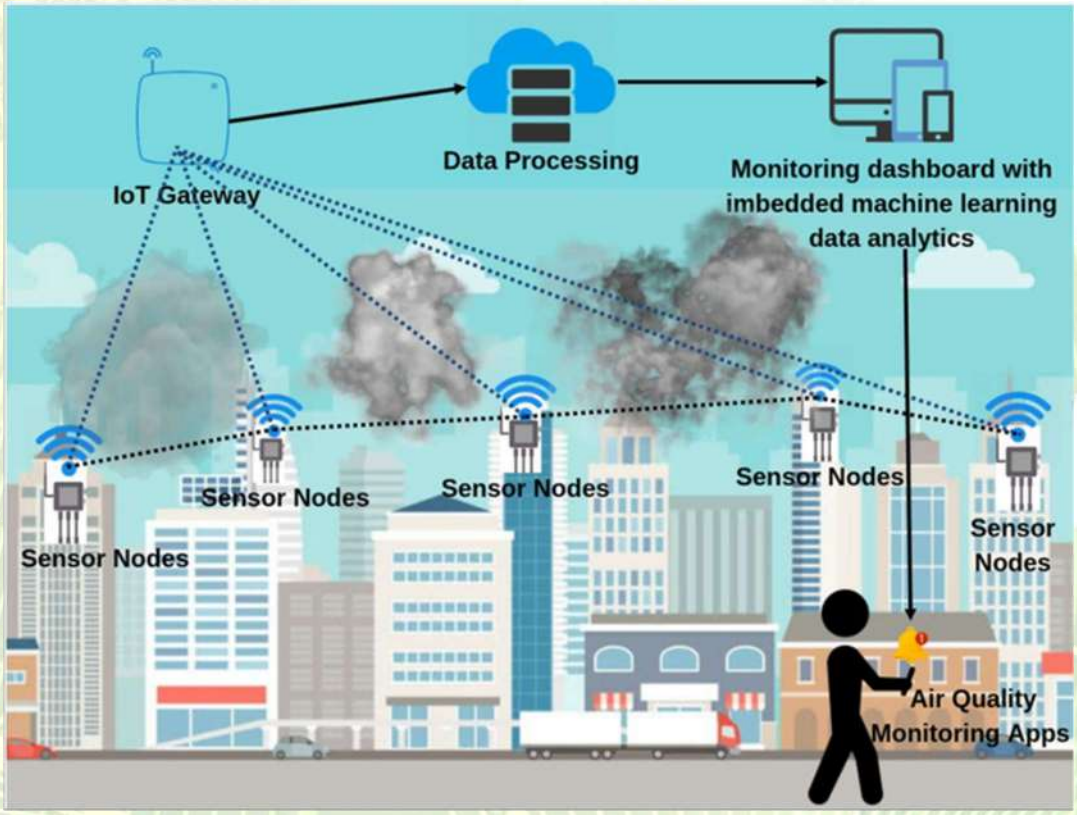
Sanoat hududlarida havoning ifloslanishi global ekologik muammolardan biri hisoblanadi. PM2.5, PM10, CO_2, NOx kabi zararli moddalar inson salomatligiga, atrof-muhitga va iqtisodiyotga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli havoning sifatini real vaqt rejimida monitoring qilish va ifloslanish darajasini prognozlash tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishiga aylangan.

An’anaviy monitoring stansiyalari yuqori aniqlikka ega bo‘lsa-da, ularning narxi qimmat va hududiy cheklanishlari mavjud. Shu sababli IoT (Internet of Things) sensor tarmoqlari zamonaviy ekologik monitoring tizimlarining asosiy yechimi sifatida keng qo‘llanilmoqda.

2. IOT ASOSIDAGI SENSOR TARMOQLARI

Birinchi tadqiqotda IoT asosidagi arzon sensor tarmoqlari yordamida havoning sifatini uzoq muddat monitoring qilish masalalari o‘rganilgan. Sensorlar PM2.5, PM10 va CO_2 kabi zararli moddalarni o‘lchaydi va simsiz tarmoq orqali markaziy serverga ma’lumot uzatadi.

2.1. Arxitektura



3-rasmd. Sensorlar, tarmoq qatlami va ma’lumotlarni qayta ishlash serveri ko‘rsatilgan. Bu qatlamlar orqali real vaqt monitoringi amalga oshiriladi.

2.2. Tahlil va natijalar

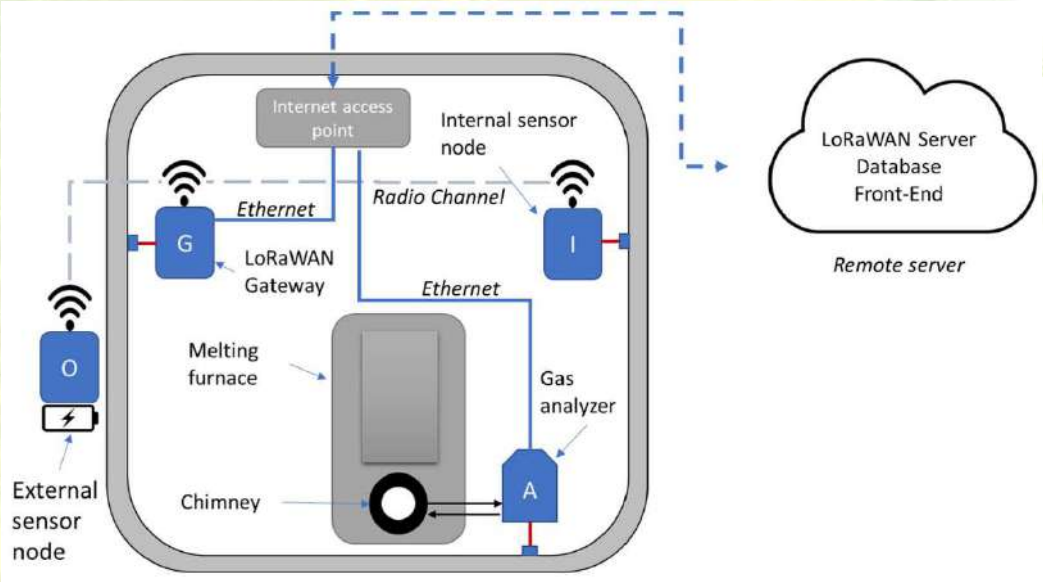
Sensor ma’lumotlarini kalibrlash orqali aniqlik oshiriladi. Past narxli sensorlar yordamida keng hududni qamrab olish mumkin. Tadqiqot natijalari IoT tarmoqlarining sanoat muhitida ekologik monitoring uchun qulayligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

3. IOT VA MACHINE LEARNING INTEGRATSIYASI (2-MAQOLA TAHLILI)

Ikkinchi tadqiqotda IoT texnologiyalari sun'iy intellekt bilan birlashtirilgan. Sensorlar yordamida yig'ilgan ma'lumotlar Artificial Neural Network (ANN) algoritmi yordamida tahlil qilinadi va havoning ifloslanish darajasi prognoz qilinadi.

3.1. Integratsiya arxitekturasi



4-rasm. Sensorlar ma'lumotlarni IoT tarmog'i orqali serverga yuboradi, ANN algoritmi esa ifloslanish darajasini oldindan prognoz qiladi. Ushbu yondashuv real vaqt monitoring va kelajak prognozini birlashtiradi.

3.2. Tahlil va natijalar

PM2.5, PM10, NOx va CO_2 darajalarini aniqlash. ANN yordamida ifloslanish prognozi 93% aniqlik bilan amalga oshiriladi. Sun'iy intellekt yordamida monitoring tizimlari samaradorligi oshadi.

1-jadval

Tadqiqotlarni solishtirishma tahlili

Mezoni	IoT Sensor Tarmog'i	IoT + ANN
Texnologiya	IoT sensor tarmog'i	IoT + ANN
Monitoring turi	Real vaqt monitoring	Real vaqt + prognoz
Gazlar	PM2.5, PM10, CO_2	PM2.5, PM10, NOx, CO_2
Ma'lumotlarni qayta ishlash	Statistik model	ANN algoritmi
Afzallik	Arzon, keng qamrov	Prognozlash imkoniyati
Kamchilik	Prognoz imkoniyati yo'q	Hisoblash xarajati yuqori

5. ILMIY XULOSALAR

ISSN 3030-3907

IoT sensor tarmoqlari real vaqt monitoringining asosini tashkil etadi va sanoat hududlarida havoning sifatini kuzatishda samarali.

Sun'iy intellekt algoritmlari yordamida yig'ilgan ma'lumotlar prognoz qilinib, ifloslanish manbalarini oldindan aniqlash mumkin.

IoT + ANN integratsiyasi ekologik monitoring tizimlarining samaradorligini oshiradi va kelajakdagi ekologik xavflarni baholashga imkon beradi.

XULOSA

Ushbu solishtirma tadqiqot natijalariga ko'ra, IoT sensor tarmoqlari **va** IoT + sun'iy neyron tarmoqlar (ANN) texnologiyalari havoning ifloslanishini monitoring qilishda samarali yechimlarni taqdim etadi.

Birinchi tadqiqot (IoT Sensor Tarmog'i) arzon sensorlar yordamida PM2.5, PM10 va CO_2 kabi zararli gazlarni real vaqt rejimida kuzatishga qaratilgan bo'lib, tizimning asosiy afzalligi — keng hududlarni qamrab olish va past xarajat bilan ekologik monitoringni amalga oshirishdir. Shu bilan birga, bu yondashuv prognozlash imkoniyatiga ega emas va sensor ma'lumotlarining aniqligi kalibrlash va statistik tahlil orqali ta'minlanadi.

Ikkinchi tadqiqot (IoT + ANN) IoT sensorlari bilan Machine Learning integratsiyasiga asoslangan bo'lib, havoning ifloslanish darajasini prognoz qilish imkonini beradi. ANN algoritmlari yordamida PM2.5, PM10, NOx va CO_2 darajalari tahlil qilinadi va kelajakdagi ifloslanish holati 93% aniqlik bilan taxmin qilinadi. Ushbu yondashuv monitoring tizimlarining funksional imkoniyatlarini kengaytiradi, ammo hisoblash xarajati yuqori bo'lishi mumkin.

Solishtirma tahlil shuni ko'rsatadiki, IoT sensor tarmoqlari ekologik monitoringning infratuzilmasini ta'minlasa, ANN va Machine Learning integratsiyasi tizimning samaradorligini oshiradi va prognozlash imkoniyatini yaratadi. Shu sababli sanoat hududlarida havoning ifloslanishini kuzatish va ekologik xavfsizlikni ta'minlashda IoT + ANN texnologiyalari integratsiyasi eng maqbul yechim hisoblanadi.

Natijada, IoT asosidagi aqlli monitoring tizimlari sanoat va urban hududlarda havoning sifatini doimiy ravishda nazorat qilish, ifloslanish manbalarini aniqlash va ekologik xavflarni oldindan baholash imkonini beradi. Ushbu tadqiqot natijalari magistrlik dissertatsiyasi va boshqa ilmiy ishlar uchun ekologik monitoring tizimlarini ishlab chiqishda amaliy yo'riqnoma sifatida xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Assessment of IoT Low-Cost Sensor Networks for Long-Term Outdoor and Indoor Air Quality Monitoring. *Atmospheric Pollution Research*, 2025. ScienceDirect.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104225002533

ISSN 3030-3907

2. Smart Monitoring of Air and Waste Using Machine Learning and IoT Integration Approach. *Preprints*, 2025. https://www.preprints.org/manuscript/202511.1247

3. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). *Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications.* IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347–2376.

4. Castells, F., & Juan, A. (2020). *IoT-based air quality monitoring systems: A review.* Sensors, 20(10), 2921.

5. Kumar, P., & Morawska, L. (2019). *The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities.* Environment International, 135, 105-113.

6. Zhang, Y., Bocquet, M., Mallet, V., Seigneur, C., & Baklanov, A. (2012). *Real-time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status.* Atmospheric Environment, 60, 632–655.

7. Chen, Z., Wang, C., & Li, Z. (2021). *IoT and AI integrated air quality prediction systems in industrial environments.* Environmental Monitoring and Assessment, 193(5), 311.

ISSN 3030-3907