

**IOT VA SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA SANOAT KORXONALARIDA
ATMOSFERA HAVOSINI MONITORING QILISHNING KONSEPTUAL
INTELLEKTUAL MODELINI TAKLIF ETISH**

Saydivaliyeva Shaxzoda Akram qizi
“TIQXMMI” MTU talabasi
E-mail: saydivaliyevashaxzoda@gmail.com

Annotatsiya

Dunyo miqyosida sanoatlashtirish jarayonining jadallashuvi atmosfera havosiga chiqarilayotgan ifloslantiruvchi moddalar hajmining ortishiga, ekologik muvozanatning buzilishiga hamda aholi salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatadigan xavflarning kuchayishiga olib kelmoqda. Xususan, metallurgiya, energetika va sement sanoati rivojlangan hududlarda atmosfera havosining ifloslanishi ekologik xavfsizlikni ta'minlashning dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. O'zbekistonda atmosfera havosi monitoringi davlat monitoring tizimi orqali amalga oshirilayotgan bo'lsa-da, mavjud tizimlar asosan davriy kuzatuvlarga asoslanib, real vaqt rejimida uzluksiz monitoring, ekologik xavflarni oldindan prognozlash hamda raqamli boshqaruv qarorlarini qo'llab-quvvatlash imkoniyatlari bilan to'liq ta'minlanmagan.

Tadqiqotda Toshkent viloyatining ekologik jihatdan muhim sanoat hududlari hisoblangan Olmaliq, Angren va Bekobod misolida atmosfera havosining ifloslanish omillari hamda amaldagi monitoring tizimining holati kompleks tahlil qilindi. Mazkur hududlarning tanlanishiga sabab, ularda rangli va qora metallurgiya, issiqlik energetikasi hamda sement sanoati korxonalarining yuqori darajada jamlanganligi va atmosfera havosiga antropogen yuklamaning boshqa hududlarga nisbatan yuqoriligi bilan izohlanadi. Rasmiy monitoring ma'lumotlari, normativ-huquqiy hujjatlar hamda xalqaro ilmiy tadqiqotlar asosida ushbu hududlarning ekologik holati qiyosiy baholandi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi sanoat korxonalarida atmosfera havosini monitoring qilishning mavjud yondashuvlarini tahlil qilish hamda IoT (Internet of Things) va sun'iy intellekt texnologiyalariga asoslangan GreenAudit konseptual modelini taklif etishdan iborat. Ushbu model atmosfera havosi monitoringini raqamlashtirish, ekologik ma'lumotlarni yagona platformada integratsiyalash, ekologik xavflarni erta aniqlash va boshqaruv qarorlarini ilmiy asosda qo'llab-quvvatlashga yo'naltirilgan.

Tadqiqotda tizimli tahlil, qiyosiy tahlil, statistik tahlil, ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, konseptual modellashtirish hamda ekologik monitoring ma'lumotlarini umumlashtirish usullaridan foydalanildi. Shuningdek, O'zbekistondagi atmosfera havosi monitoring tizimi

Germaniya, Xitoy va Janubiy Koreyada qo'llanilayotgan zamonaviy monitoring yondashuvlari bilan qiyosiy tahlil qilindi. Tahlillar natijasida amaldagi monitoring tizimlarining asosiy kamchiligi real vaqt rejimida ishlovchi IoT sensorlari, sun'iy intellekt asosidagi prognozlash algoritmlari, ekologik xavfni kompleks baholovchi integral indeks hamda ESG hisobotlarini avtomatik shakllantirish imkoniyatlarining yetarli darajada integratsiyalashmaganligi ekanligi aniqlandi.

Aniqlangan ilmiy va amaliy muammolarni bartaraf etish maqsadida GreenAudit konseptual modeli taklif etildi. Mazkur model atmosfera havosining asosiy ifloslantiruvchi ko'rsatkichlarini IoT sensorlari yordamida uzluksiz yig'ish, ma'lumotlarni bulutli platformada saqlash va qayta ishlash, sun'iy intellekt algoritmlari yordamida ekologik xavfni prognozlash hamda GreenAudit Index (GAI) orqali atmosfera havosining ekologik holatini kompleks baholash tamoyiliga asoslanadi. Shuningdek, model monitoring natijalarini vizual boshqaruv paneli (Dashboard) orqali aks ettirish va ESG talablariga mos hisobotlarni avtomatik shakllantirish imkoniyatini nazarda tutadi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi sanoat korxonalarida atmosfera havosi monitoringini IoT texnologiyalari, sun'iy intellekt, GreenAudit Index va ESG yondashuvlari bilan yagona konseptual platforma doirasida integratsiyalovchi modelning taklif etilganligi bilan belgilanadi. Tadqiqotning amaliy ahamiyati esa taklif etilgan modelning kelgusida dasturiy va apparat vositalari asosida ishlab chiqilishi hamda sanoat korxonalarida joriy etilishi orqali atmosfera havosi monitoringi samaradorligini oshirish, ekologik xavflarni erta aniqlash va ekologik boshqaruv tizimini takomillashtirish uchun metodologik asos bo'lib xizmat qilishi mumkinligidadir.

Kalit so'zlar: atmosfera havosi monitoringi, sanoat korxonalari, IoT, sun'iy intellekt, GreenAudit Index, ekologik monitoring, ekologik xavfsizlik, atmosfera ifloslanishi, ESG, PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO, Toshkent viloyati.

Аннотация

Стремительное развитие промышленности приводит к увеличению объёмов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Особенно актуальной задачей является разработка современных цифровых решений для непрерывного мониторинга качества атмосферного воздуха, оперативной оценки экологических рисков и совершенствования экологического управления в регионах с развитой металлургической, энергетической и цементной промышленностью.

Целью данного исследования является анализ экологического состояния атмосферного воздуха промышленных зон Алмалыка, Ангрена и Бекабада Ташкентской области, а также предложение концептуальной интеллектуальной

модели мониторинга на основе технологий Интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта и концепции GreenAudit Index (GAI).

В работе использованы методы системного анализа, сравнительного анализа, анализа научной литературы, статистического анализа и концептуального моделирования. На основе проведённого исследования предложена концептуальная модель GreenAudit, предназначенная для непрерывного мониторинга атмосферного воздуха, комплексной оценки экологического состояния и поддержки принятия управленческих решений. Предлагаемый подход может служить научно-методической основой для дальнейшей разработки интеллектуальных систем экологического мониторинга на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: Мониторинг атмосферного воздуха, промышленные предприятия, Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект, GreenAudit Index (GAI), экологический мониторинг, экологическая безопасность, загрязнение атмосферного воздуха, ESG, PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO, Ташкентская область.

Abstract

The rapid development of industrial activities has led to a significant increase in atmospheric pollutant emissions, making continuous air quality monitoring and environmental risk assessment a critical scientific and practical challenge. Existing monitoring systems provide basic environmental observations; however, they are limited in terms of real-time data integration, intelligent analysis, environmental risk prediction, and automated decision support.

The aim of this study is to analyze the environmental condition of atmospheric air in the industrial zones of Almalyk, Angren, and Bekabad in the Tashkent region and to propose a conceptual intelligent air quality monitoring model based on the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and the GreenAudit Index (GAI).

The research applies systematic analysis, comparative analysis, statistical analysis, literature review, and conceptual modeling methods. Based on the identified challenges, a conceptual GreenAudit model is proposed, integrating IoT sensors, cloud computing, AI algorithms, and environmental indexing to support continuous environmental monitoring and intelligent environmental management. The proposed model represents a methodological framework and may serve as the basis for future software implementation and pilot deployment in industrial enterprises.

Keywords: air quality monitoring, industrial enterprises, Internet of Things, Artificial Intelligence, GreenAudit Index, environmental monitoring, environmental safety, ESG, PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO.

Kirish. XXI asrda sanoatlashtirish, urbanizatsiya va iqtisodiy rivojlanish sur‘atlarining jadallashuvi atmosfera havosining ifloslanishini global ekologik muammolardan biriga aylantirdi. Aholi sonining ortishi, sanoat ishlab chiqarish hajmining kengayishi hamda energiya resurslariga bo‘lgan talabning oshishi natijasida atmosferaga chiqarilayotgan zararli moddalar miqdori yil sayin ko‘payib bormoqda. Natijada atmosfera havosining tabiiy tarkibi o‘zgarib, inson salomatligi, biologik xilma-xillik, iqlim barqarorligi va iqtisodiy rivojlanishga salbiy ta‘sir ko‘rsatuvchi ekologik xavflar yuzaga kelmoqda. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (WHO) ma‘lumotlariga ko‘ra, atmosfera havosining ifloslanishi har yili millionlab insonlarning bevaqt vafot etishiga sabab bo‘layotgan asosiy ekologik omillardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, PM_{2.5} va PM₁₀ zarrachalari, oltingugurt dioksidi (SO₂), azot oksidlari (NO_x), uglerod oksidi (CO) hamda boshqa zaharli gazlar nafas olish tizimi, yurak-qon tomir kasalliklari va onkologik kasalliklar xavfini sezilarli darajada oshiradi [1–4].

Bugungi kunda atmosfera havosi sifati nafaqat ekologik, balki iqtisodiy va ijtimoiy xavfsizlikning ham muhim ko‘rsatkichlaridan biri sifatida baholanmoqda. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Barqaror rivojlanish maqsadlari (SDGs), Parij iqlim kelishuvi hamda ESG (Environmental, Social and Governance) tamoyillari sanoat korxonalarida emissiyalarni kamaytirish, ekologik monitoringni kuchaytirish va raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etishni ustuvor vazifa sifatida belgilaydi. Shu sababli rivojlangan davlatlarda atmosfera havosi monitoringi IoT (Internet of Things), sun‘iy intellekt (Artificial Intelligence), katta hajmdagi ma‘lumotlarni tahlil qilish (Big Data), bulutli texnologiyalar (Cloud Computing) va geografik axborot tizimlari (GIS) bilan integratsiyalashgan holda amalga oshirilmoqda [2–5].

O‘zbekistonda ham so‘nggi yillarda ekologik xavfsizlikni ta‘minlash va atmosfera havosini muhofaza qilish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Atmosfera havosi sifatini nazorat qilish bo‘yicha Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi hamda O‘zgidromet tomonidan monitoring ishlari olib borilmoqda. Shu bilan birga, ekologik monitoring tizimini raqamlashtirish, monitoring ma‘lumotlarining tezkorligini oshirish va sanoat korxonalarida real vaqt rejimida ishlovchi monitoring texnologiyalarini joriy etish zarurati saqlanib qolmoqda [6–9]. Toshkent viloyati O‘zbekistonning eng yirik sanoatlashgan hududlaridan biri bo‘lib, unda rangli metallurgiya, qora metallurgiya, energetika, ko‘mir qazib olish, sement ishlab chiqarish va boshqa sanoat tarmoqlari yuqori darajada rivojlangan. Ayniqsa, **Olmaliq**, **Angren** va **Bekobod** sanoat hududlari atmosfera havosiga antropogen yuklama eng yuqori bo‘lgan hududlar qatoriga kiradi.

Mazkur tadqiqot aynan ushbu ilmiy va amaliy ehtiyojdan kelib chiqib, Toshkent viloyatining Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlari misolida atmosfera havosining ifloslanish holatini tahlil qilish hamda IoT va sun‘iy intellekt texnologiyalariga asoslangan

GreenAudit konseptual modelini taklif etishga qaratilgan. Taklif etilayotgan model sanoat korxonalarida atmosfera havosi monitoringini raqamlashtirish, ekologik xavflarni erta aniqlash, emissiyalarni prognozlash va ekologik boshqaruv samaradorligini oshirish uchun ilmiy-metodologik asos yaratishni maqsad qiladi.

Atmosfera havosi monitoringining zamonaviy holati va ilmiy tahlili

Atmosfera havosi monitoringi ekologik xavfsizlikni ta'minlash, aholi salomatligini muhofaza qilish hamda sanoat korxonalarining atrof-muhitga ta'sirini baholashning muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. So'nggi yillarda ekologik monitoring tizimlari an'anaviy laboratoriya o'lchovlaridan raqamli texnologiyalar asosidagi uzluksiz monitoring tizimlariga o'tmoqda. Bunda Internet of Things (IoT), sun'iy intellekt (Artificial Intelligence – AI), katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash (Big Data), bulutli hisoblash (Cloud Computing) va geografik axborot tizimlari (GIS) ekologik monitoringning asosiy texnologik yo'nalishlariga aylandi [11–15].

Rivojlangan davlatlar tajribasi shuni ko'rsatadiki, atmosfera havosining ekologik holatini samarali boshqarish uchun faqat davriy o'lchovlar yetarli emas. Germaniya, AQSH, Yaponiya, Janubiy Koreya va Xitoy kabi davlatlarda sanoat korxonalari atrofida o'rnatilgan IoT sensor tarmoqlari atmosfera havosining asosiy ko'rsatkichlarini real vaqt rejimida uzluksiz kuzatadi. Olingan ma'lumotlar markaziy serverlarga uzatiladi, sun'iy intellekt algoritmlari yordamida qayta ishlanadi va ekologik xavf yuzaga kelishidan oldin prognoz qilinadi. Natijalar interaktiv boshqaruv panellari orqali davlat organlari va korxonalar mutaxassislariga taqdim etiladi [12–18]. Bugungi kunda xalqaro ilmiy tadqiqotlarda atmosfera havosi monitoringi bo'yicha uchta asosiy yo'nalish shakllangan. Birinchi yo'nalish atmosfera havosining fizik-kimyoviy ko'rsatkichlarini yuqori aniqlikdagi sensorlar yordamida o'lchashga qaratilgan. Ikkinchi yo'nalish sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish algoritmlari asosida ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasini prognozlashni rivojlantirmoqda. Uchinchi yo'nalish esa ekologik monitoring natijalarini raqamli boshqaruv tizimlari, GIS platformalari hamda ESG hisobotlari bilan integratsiyalashga qaratilgan. Mazkur yo'nalishlar ekologik boshqaruvning samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etmoqda [13–18].

O'zbekistonda atmosfera havosi monitoringi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi hamda O'zgidromet tomonidan olib boriladi. Monitoring stansiyalarida atmosfera havosining asosiy ifloslantiruvchi moddalari bo'yicha kuzatuvlar amalga oshiriladi. Biroq monitoring natijalari ko'p hollarda davriy hisobotlar ko'rinishida shakllantiriladi, sanoat korxonalari darajasida esa IoT texnologiyalariga asoslangan uzluksiz monitoring, sun'iy intellekt yordamida ekologik xavfni prognozlash va ekologik boshqaruv qarorlarini avtomatlashtirish imkoniyatlari hali keng joriy etilmagan [6–10].

Toshkent viloyatida joylashgan Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlari atmosfera havosiga antropogen yuklama yuqori bo'lgan hududlar hisoblanadi. Ushbu hududlarda rangli va qora metallurgiya, ko'mir qazib olish, issiqlik energetikasi hamda sement ishlab chiqarish korxonalari faoliyat yuritadi. Atmosferaga chiqarilayotgan PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO va boshqa ifloslantiruvchi moddalar ekologik holatga hamda aholi salomatligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli mazkur hududlarda ekologik monitoringni zamonaviy raqamli texnologiyalar asosida takomillashtirish nafaqat ilmiy, balki amaliy jihatdan ham muhim vazifa hisoblanadi.

Ushbu tadqiqot obyekti sifatida Toshkent viloyatining **Olmaliq, Angren va Bekobod** sanoat hududlari tanlandi. Ushbu hududlarni tanlash ularning respublika iqtisodiyotidagi strategik o'rni, yirik sanoat korxonalarining yuqori darajada jamlanganligi hamda atmosfera havosiga antropogen ta'sir darajasining boshqa hududlarga nisbatan yuqoriligi bilan izohlanadi. Mazkur hududlar metallurgiya, energetika, ko'mir qazib olish va sement sanoati rivojlangan bo'lib, atmosfera havosiga chiqarilayotgan asosiy ifloslantiruvchi moddalar miqdori va tarkibi bo'yicha Toshkent viloyatining ekologik jihatdan eng muhim sanoat zonalari hisoblanadi [6–10].

Endi uchta hududning tanlanishi tadqiqotning ilmiy ishonchliligini oshiradi, chunki ular sanoat faoliyatining turli yo'nalishlarini qamrab oladi. Olmaliq rangli metallurgiya, Angren energetika va ko'mir sanoati, Bekobod esa qora metallurgiya hamda sement sanoatining ekologik ta'sirini ifodalaydi. Shu jihatdan ushbu hududlarda olingan natijalar nafaqat Toshkent viloyati, balki O'zbekistonning boshqa sanoat hududlarida atmosfera havosini monitoring qilish tizimini takomillashtirish uchun ham ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.[11,18]

Shunga qaramay, ilmiy adabiyotlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud tadqiqotlarning aksariyati atmosfera havosi monitoringining alohida jihatlariga qaratilgan. Ba'zi tadqiqotlarda IoT texnologiyalarining texnik imkoniyatlari yoritilgan bo'lsa, ayrim ishlarda sun'iy intellekt algoritmlarining prognozlash imkoniyatlari o'rganilgan, boshqa tadqiqotlarda esa ekologik ma'lumotlarni vizualizatsiya qilish yoki ESG hisobotlarini shakllantirish masalalari alohida ko'rib chiqilgan. Biroq ushbu komponentlarni yagona konseptual yondashuv asosida integratsiyalash masalasi yetarli darajada ishlab chiqilmagan.

Toshkent viloyatining Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlari misolida olib borilgan tahlillar ham shuni ko'rsatadiki, atmosfera havosiga antropogen yuklama yuqori bo'lishiga qaramay, sanoat korxonalari darajasida ifloslantiruvchi moddalarni uzluksiz kuzatish, ma'lumotlarni yagona platformada jamlash va ekologik holatni kompleks baholashga xizmat qiluvchi integratsiyalashgan konseptual yondashuv mavjud emas. Bu esa ekologik monitoring samaradorligini oshirish va boshqaruv qarorlarini ilmiy asoslash imkoniyatlarini cheklaydi.

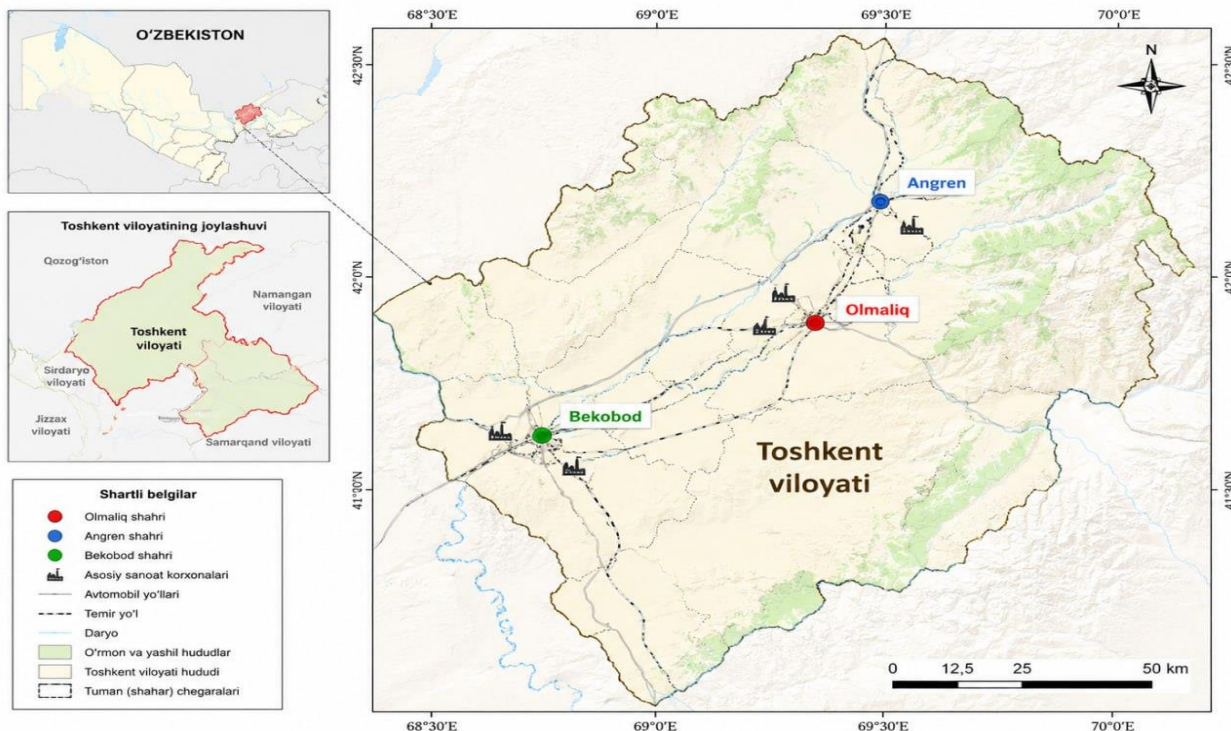
Yuqoridagi tahlillar asosida tadqiqotning ilmiy bo‘shlig‘i quyidagicha shakllantirildi: atmosfera havosi monitoringida IoT texnologiyalari, sun‘iy intellekt, ekologik indekslash va ESG hisobotlarini yagona konseptual model doirasida birlashtiruvchi yondashuv yetarli darajada ishlab chiqilmagan; Toshkent viloyatining Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlari misolida ekologik monitoringni kompleks baholashga qaratilgan konseptual ilmiy model mavjud emas;

atmosfera havosining ekologik holatini integral ko‘rsatkich asosida baholashga xizmat qiluvchi metodologik yondashuvlarni ishlab chiqishga ehtiyoj mavjud.

Tadqiqotning maqsadi, vazifalari, obyekti, predmeti va ilmiy gipotezasi

Atmosfera havosining ifloslanishi sanoatlashgan hududlarda ekologik xavfsizlikni ta'minlash bilan bog'liq eng dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Zamonaviy ekologik monitoring tizimlarini takomillashtirish uchun nafaqat atmosfera havosi holatini kuzatish, balki olingan ma'lumotlarni kompleks tahlil qilish, ekologik xavflarni oldindan baholash hamda boshqaruv qarorlarini ilmiy asosda qo'llab-quvvatlash imkoniyatlarini yaratish zarur. Shu nuqtai nazardan mazkur tadqiqot sanoat korxonalarida atmosfera havosi monitoringini yangi yondashuv asosida tashkil etishga qaratilgan.

**1-rasm. Toshkent viloyatida tadqiqot hududlarining joylashuv xaritasi
(Olmaliq, Angren va Bekobod)**



Tadqiqot obyekti- Tadqiqot obyekti sifatida Toshkent viloyatining Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlaridagi atmosfera havosi monitoringi tizimi hamda ushbu hududlarda faoliyat yuritayotgan yirik sanoat korxonalarining atmosfera havosiga ko'rsatadigan ekologik ta'siri tanlandi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati

Sanoat korxonalarida atmosfera havosi monitoringini takomillashtirish bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud ishlarda ekologik monitoringning alohida yo'nalishlari, jumladan IoT sensor tarmoqlari, sun'iy intellekt algoritmlari, ekologik ma'lumotlarni qayta ishlash va vizualizatsiya qilish masalalari keng yoritilgan GreenAudit konseptual modeli ishlab chiqildi. Mazkur model IoT texnologiyalari, sun'iy intellekt algoritmlari, ekologik monitoring, GreenAudit Index (GAI), ma'lumotlarni bulutli muhitda qayta ishlash va ESG tamoyillarini yagona konseptual arxitektura doirasida birlashtiradi.

Tadqiqot uslubi. Ushbu tadqiqot sanoat korxonalarida atmosfera havosini monitoring qilishning mavjud holatini ilmiy asosda baholash hamda IoT va sun'iy intellekt texnologiyalariga asoslangan GreenAudit konseptual modelini shakllantirishga qaratilgan. Tadqiqot metodologiyasi muammoni kompleks o'rganish tamoyiliga asoslanib, xalqaro ilmiy tajriba, rasmiy ekologik monitoring ma'lumotlari va zamonaviy raqamli texnologiyalarni o'zaro uyg'unlashtirish orqali ishlab chiqildi.

1-jadval. Tadqiqot metodologiyasining asosiy bosqichlari

Bosqich	Amalga oshirilgan ishlar	Natija
1	Ilmiy adabiyotlar tahlili	Mavjud yondashuvlar o'rganildi
2	Toshkent viloyati sanoat hududlarini tanlash	Tadqiqot obyektlari aniqlandi
3	Olmaliq, Angren va Bekobod bo'yicha qiyosiy tahlil	Asosiy ekologik muammolar aniqlandi
4	Monitoring tizimlarini baholash	Mavjud kamchiliklar belgilandi
5	GreenAudit konseptual modelini ishlab chiqish	Konseptual yechim taklif etildi

Tadqiqotda tizimli tahlil (System Analysis) usulidan foydalanildi. Ushbu usul orqali atmosfera havosi monitoringi yagona ekologik tizim sifatida ko'rib chiqildi. Monitoring jarayonining barcha elementlari — ifloslanish manbalari, atmosfera havosi ko'rsatkichlari, monitoring vositalari, ma'lumotlarni uzatish texnologiyalari, sun'iy intellekt algoritmlari va boshqaruv qarorlari — o'zaro bog'liq tizim sifatida baholandi. Tizimli tahlil sanoat

korxonalarida ekologik monitoringning mavjud holatini kompleks baholash va monitoring jarayonidagi asosiy muammolarni aniqlash imkonini berdi.

Monitoring tizimlarini xalqaro tajriba bilan taqqoslash maqsadida qiyosiy tahlil (Comparative Analysis) usuli qo'llanildi. Ushbu bosqichda O'zbekistondagi atmosfera havosi monitoringi Germaniya, Xitoy va Janubiy Koreyada qo'llanilayotgan ekologik monitoring tizimlari bilan solishtirildi. Taqqoslash jarayonida monitoringning uzluksizligi, real vaqt rejimida ma'lumot yig'ish imkoniyati, IoT texnologiyalaridan foydalanish darajasi, sun'iy intellekt asosida prognozlash, ekologik xavfni baholash va ESG hisobotlarini shakllantirish mezonlari asos qilib olindi. Mazkur tahlil O'zbekiston monitoring tizimidagi ilmiy va amaliy bo'shliqlarni aniqlash imkonini berdi.

Tadqiqot davomida statistik tahlil (Statistical Analysis) usulidan ham foydalanildi. Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlariga oid ekologik monitoring ma'lumotlari umumlashtirildi hamda atmosfera havosining asosiy ifloslantiruvchi ko'rsatkichlari — PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ va CO bo'yicha tahlillar amalga oshirildi. Statistik ma'lumotlarni umumlashtirish natijasida hududlar kesimida atmosfera havosining ekologik holati qiyosiy baholandi va ifloslanish darajasiga ta'sir etuvchi asosiy omillar aniqlandi.

Natija. Toshkent viloyatining ekologik holatini baholash natijalari shuni ko'rsatadiki, atmosfera havosiga salbiy ta'sir ko'rsatuvchi asosiy sanoat hududlari Olmaliq, Angren va Bekobod hisoblanadi. Ushbu hududlarda faoliyat yuritayotgan yirik sanoat korxonalari ishlab chiqarish hajmi, yoqilg'i sarfi va texnologik jarayonlarning murakkabligi sababli atmosfera havosiga boshqa hududlarga nisbatan ko'proq emissiyalar chiqaradi. Shu sababli mazkur hududlar tadqiqotning asosiy obyektlari sifatida tanlandi.

Bu tadqiqot doirasida Toshkent viloyatining Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlari bo'yicha ekologik holat alohida tahlil qilinib, har bir hudud uchun atmosfera havosining asosiy ifloslanish manbalari, ekologik xavf omillari va mavjud monitoring tizimining holati baholandi. Olingan natijalar sanoat korxonalarida atmosfera havosini monitoring qilishni takomillashtirish uchun GreenAudit konseptual modelini ishlab chiqishda asosiy ilmiy manba sifatida xizmat qildi.

1-jadval. Tadqiqot hududlarining umumiy tavsifi

Hudud	Asosiy sanoat tarmog'i	Asosiy ifloslantiruvchi moddalar	Ekologik xavf darajasi
Olmalik	Rangli metallurgiya	SO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , NO _x , CO	Juda yuqori
Angren	Ko'mir sanoati va energetika	PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO _x , CO ₂	Yuqori
Bekobod	Qora metallurgiya va sement	PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO, NO _x	Yuqori

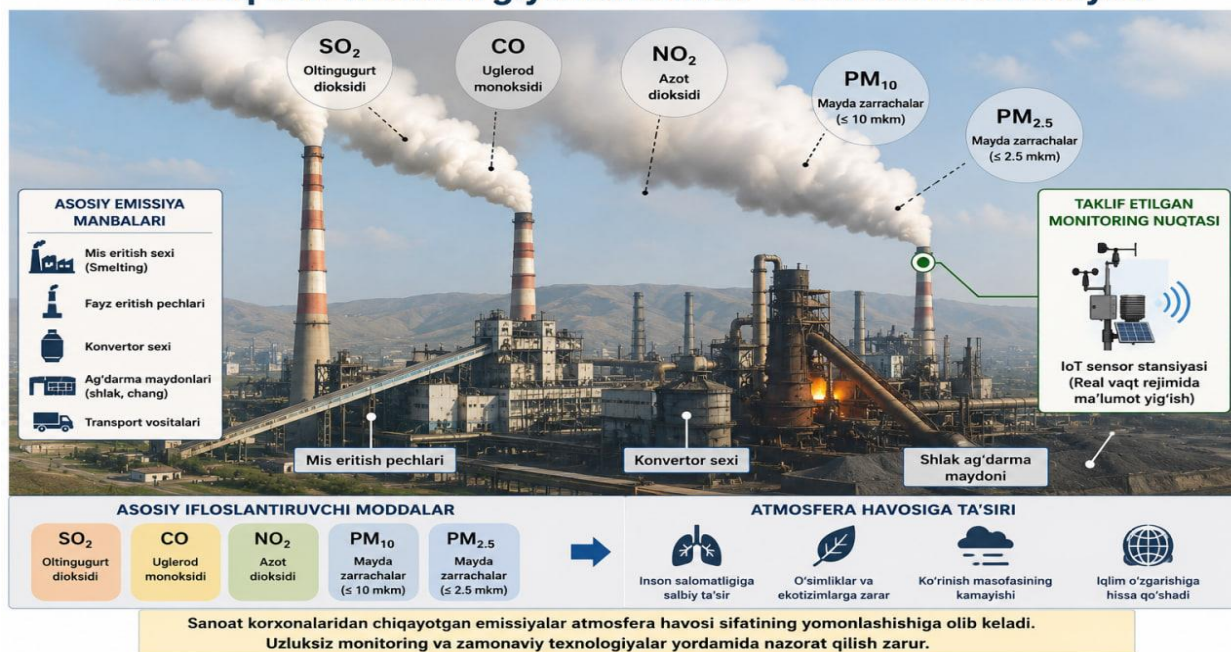
Olmalik

shahri Toshkent viloyatining yirik sanoat markazlaridan biri bo'lib, O'zbekiston rangli metallurgiya sanoatining asosiy ishlab chiqarish hududi hisoblanadi. Hududda faoliyat yuritayotgan Olmalik kon-metallurgiya kombinati (OKMK) mis, rux, qo'rg'oshin, oltin, kumush va boshqa rangli metallarni qazib olish hamda qayta ishlash bo'yicha Markaziy Osiyodagi eng yirik korxonalardan biridir.

Ruda qazib olish, boyitish, eritish va metallni qayta ishlash bosqichlari yuqori haroratli texnologik jarayonlarni o'z ichiga oladi. Ushbu jarayonlar davomida atmosfera havosiga turli gazlar va chang zarrachalari chiqariladi.

Metallurgiya sanoatida atmosfera havosining ifloslanishi asosan sulfid rudalarini qayta ishlash, yoqilg'ining yonishi hamda texnologik pechlardan chiqayotgan gazlar bilan bog'liq. Ayniqsa, oltingugurt saqllovchi rudalarni eritish jarayonida katta miqdorda oltingugurt dioksidi (SO₂) hosil bo'ladi. Bundan tashqari, ishlab chiqarish jarayonlarida azot oksidlari (NO_x), uglerod oksidi (CO), PM_{2.5} va PM₁₀ chang zarrachalari hamda og'ir metall zarrachalari atmosferaga ajralishi mumkin. Ushbu moddalar atmosfera havosining sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi va uzoq muddat davomida inson salomatligi hamda tabiiy ekotizimlarga xavf tug'diradi.

Olmalik kon-metallurgiya kombinati – atmosfera emissiyasi



Ekologik monitoring tizimi atmosfera havosining holatini baholash imkonini bersa-da, amaldagi tizim asosan kuzatuv stansiyalaridan olinadigan davriy ma'lumotlarga tayangan holda ishlaydi. Bunday yondashuv atmosfera havosidagi qisqa muddatli o'zgarishlarni, avariya emissiyalarini yoki ishlab chiqarish yuklamasi ortishi natijasida yuzaga keladigan xavfli holatlarni tezkor aniqlash imkonini cheklaydi. Shuningdek, monitoring ma'lumotlari ko'pincha alohida bazalarda saqlanadi va ular asosida avtomatik prognozlash yoki kompleks ekologik baholash amalga oshirilmaydi.

2-jadval. Olmalik sanoat hududida atmosfera havosining asosiy ifloslanish manbalari va ularning ekologik ta'siri

Emissiya manbai	Asosiy ifloslantiruvchi moddalar	Atmosfera havosiga ta'siri	Monitoringni takomillashtirish zarurati
Mis eritish sexlari	SO ₂ , NO _x	Kislotali gazlar miqdorini oshiradi	Yuqori
Boyitish fabrikalari	PM _{2.5} , PM ₁₀	Chang konsentratsiyasini oshiradi	Yuqori
Ochiq konlar	PM ₁₀	Changning keng hududga tarqalishi	Yuqori
Transport va texnika	CO, NO _x	Mahalliy havo sifatini yomonlashtiradi	O'rta
Chiqindi maydonlari	Chang, og'ir metall zarrachalari	Ikkilamchi changlanish	Yuqori

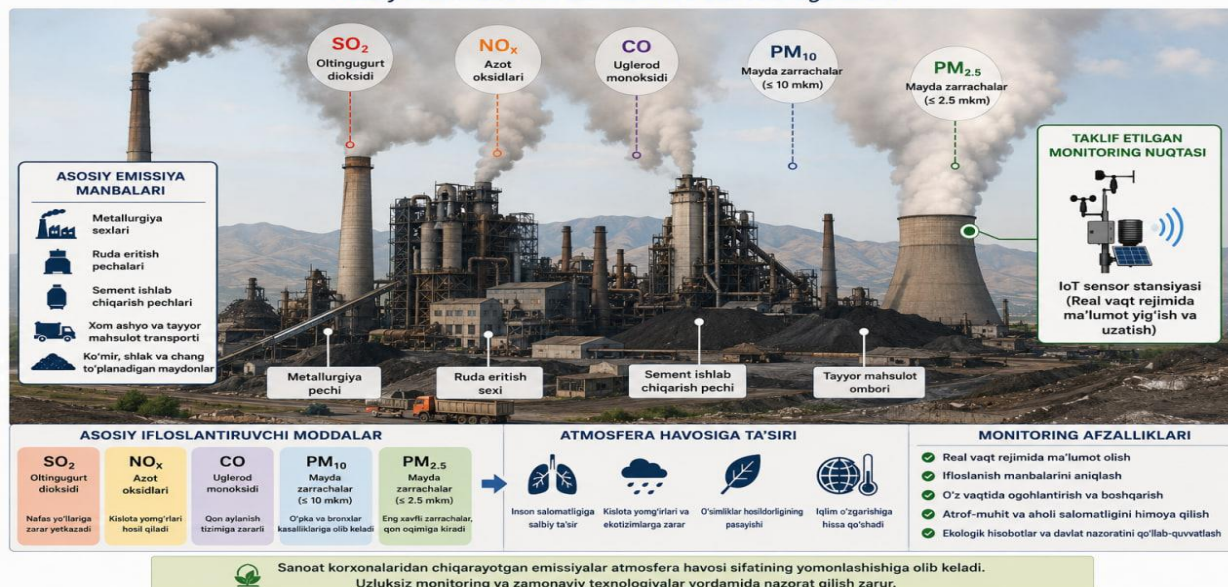
Angren sanoat hududida atmosfera havosining ifloslanishi, avvalo, ochiq usulda ko'mir qazib olish, ko'mirni qayta ishlash va issiqlik elektr stansiyalarida yoqilg'ining yonishi bilan bog'liq. Ushbu jarayonlar natijasida atmosfera havosiga katta miqdorda $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_x , CO va CO_2 chiqariladi. Ayniqsa, ko'mir qazib olish va tashish jarayonlarida hosil bo'ladigan chang zarrachalari shamol ta'sirida uzoq masofalarga tarqalib, aholi yashash hududlari atmosfera havosi sifatiga ham salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.



3-jadval. Angren sanoat hududida atmosfera havosining asosiy ifloslanish manbalari

Emissiya manbai	Asosiy ifloslantiruvchi moddalar	Atmosfera havosiga ta'siri	Monitoring zarurati
Ko'mir qazib olish maydonlari	PM _{2.5} , PM ₁₀	Chang konsentratsiyasining oshishi	Juda yuqori
Angren IES	SO ₂ , NO _x , CO ₂ , CO	Gazzimon emissiyalar	Juda yuqori
Ko'mir omborlari	PM ₁₀	Shamol ta'sirida chang tarqalishi	Yuqori
Temir yo'l va avtomobil transporti	CO, NO _x	Mahalliy havo sifatining pasayishi	O'rta
Qurilish materiallari ishlab chiqarish	PM _{2.5} , PM ₁₀	Chang ifloslanishi	Yuqori

Bekobod shahri Toshkent viloyatining yirik sanoat markazlaridan biri bo'lib, qora metallurgiya, sement ishlab chiqarish va qurilish materiallari sanoati rivojlangan hudud hisoblanadi. Hududda faoliyat yuritayotgan **O'zbekiston metallurgiya kombinati (O'zmetkombinat)** hamda **Bekobod sement zavodi** mamlakat iqtisodiyotida muhim o'rin tutadi. Ushbu korxonalar metall prokat mahsulotlari, po'lat, armatura va sement ishlab chiqarishda yetakchi hisoblanadi. Biroq ishlab chiqarish jarayonlarida yuqori haroratli pechlar, yoqilg'ining yonishi va xomashyoni maydalash texnologiyalaridan foydalanilishi atmosfera havosiga sezilarli ekologik yuklama keltirib chiqaradi.

Bekobod metallurgiya va sement sanoati – atmosfera emissiyasi*Asosiy ifloslantiruvchi manbalar va atmosferaga ta'siri*

Qora metallurgiya korxonalarida ruda eritish, po'lat ishlab chiqarish va metallni qayta ishlash jarayonlari davomida atmosfera havosiga $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO , NO_x , SO_2 va CO_2 ajraladi. Sement ishlab chiqarish korxonalarida esa ohaktoshni maydalash, klinker pishirish va sementni qadoqlash bosqichlarida katta miqdorda chang zarrachalari hosil bo'ladi. Ushbu changning tarkibida kremniy oksidi, kalsiy birikmalari va boshqa mineral zarrachalar mavjud bo'lib, ular atmosfera havosi sifatining yomonlashishiga olib keladi.

Shu bilan birga, model ekologik ma'lumotlarni avtomatik vizualizatsiya qilish va kelgusida ESG hisobotlarini shakllantirish imkoniyatlarini ham nazarda tutadi.

4-jadval. Bekobod sanoat hududida atmosfera havosining asosiy ifloslanish manbalari

Emissiya manbai	Asosiy ifloslantiruvchi moddalar	Atmosfera havosiga ta'siri	Monitoring zarurati
O'zmetkombinat	CO , SO_2 , NO_x , $PM_{2.5}$	Gaz va chang emissiyalari	Juda yuqori
Bekobod sement zavodi	$PM_{2.5}$, PM_{10}	Yuqori changlanish	Juda yuqori
Xomashyo omborlari	PM_{10}	Shamol orqali chang tarqalishi	Yuqori
Yuk tashish transporti	CO , NO_x	Mahalliy atmosfera ifloslanishi	O'rta
Texnologik pechlar	SO_2 , CO_2	Gazsimon emissiyalar	Yuqori

Uchala hudud bo'yicha olib borilgan qiyosiy tahlillar shuni ko'rsatdiki, amaldagi monitoring tizimlari atmosfera havosi holatini kuzatishga xizmat qilsa-da, real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish, sun'iy intellekt yordamida tahlil qilish va ekologik xavflarni prognozlash imkoniyatlari cheklangan. Bu esa zamonaviy raqamli monitoring yondashuvlarini ishlab chiqish zaruratini ko'rsatadi.

5-jadval. Tadqiqot hududlarining qiyosiy tavsifi

Ko'rsatkich	Olmalik	Angren	Bekobod
Asosiy sanoat	Rangli metallurgiya	Ko'mir va energetika	Metallurgiya va sement
Asosiy emissiya	SO ₂	PM _{2.5} , PM ₁₀	PM _{2.5} , PM ₁₀
Gazsimon ifloslanish	Juda yuqori	Yuqori	O'rta
Chang ifloslanishi	Yuqori	Juda yuqori	Juda yuqori
Monitoring darajasi	Davriy	Davriy	Davriy
AI asosida prognoz	Mavjud emas	Mavjud emas	Mavjud emas

GreenAudit konseptual modelini ishlab chiqish

Taklif etilgan model quyidagi asosiy modullardan iborat: IoT sensorlar tarmog'i, ma'lumotlarni uzatish moduli, bulutli ma'lumotlar bazasi, sun'iy intellekt asosida tahlil moduli, GreenAudit Index (GAI) hisoblash moduli, Dashboard va vizualizatsiya moduli, ESG hisobotlarini shakllantirish moduli.

Mazkur model konseptual xarakterga ega bo'lib, kelgusida dasturiy va apparat vositalari asosida amaliyotga joriy etilishi mumkin.

6-jadval. GreenAudit konseptual modelining afzalliklari

Amaldagi monitoring	GreenAudit konseptual modeli
Davriy monitoring	Uzluksiz monitoring
Qo'lda tahlil	AI yordamida avtomatik tahlil
Alohida ma'lumotlar bazalari	Yagona bulutli platforma
Prognozlash mavjud emas	Ekologik xavfni prognozlash
Hisobotlar qo'lda tayyorlanadi	ESG hisobotlari avtomatik shakllanadi
Cheklangan vizualizatsiya	Interaktiv Dashboard

GreenAudit konseptual modelining afzalliklari

Amaldagi monitoring, GreenAudit konseptual modeli, Uzluksiz monitoring, AI yordamida avtomatik tahlil, ESG hisobotlari avtomatik shakllanadi, Interaktiv Dashboard, Cheklangan vizualizatsiya, Ekologik xavfni prognozlash.

Formula (1). GreenAudit Composite Environmental Index (GAI).

$$GAI = \left(\frac{AQ}{100}\right)^{0.35} \times \left(\frac{WM}{100}\right)^{0.25} \times \left(\frac{SM}{100}\right)^{0.20} \times \left(1 - \frac{IE}{100}\right)^{0.20} \times 100$$

GAI – GreenAudit Index;

AQ – havo sifati ko'rsatkichi (Air Quality);

WM – chiqindilarni boshqarish samaradorligi (Waste Management);

SM – aqlli monitoring tizimi samaradorligi (Smart Monitoring);

IE – sanoat emissiyasi darajasi (Industrial Emission).

Xulosa. Shu tadqiqotda Toshkent viloyatining Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat hududlarida atmosfera havosining ifloslanish holati hamda ekologik monitoring tizimining mavjud imkoniyatlari va muammolari ilmiy manbalar, rasmiy monitoring ma'lumotlari va qiyosiy tahlillar asosida o'rganildi. Tahlillar ushbu hududlarda rangli metallurgiya, qora metallurgiya, energetika va sement sanoati atmosfera havosiga asosiy antropogen ta'sir ko'rsatayotganini hamda mavjud monitoring tizimlari real vaqt rejimida kompleks ekologik baholash imkoniyatlari bilan to'liq ta'minlanmaganligini ko'rsatdi. Taklif etilgan konseptual model atmosfera havosi parametrlarini IoT sensorlari yordamida uzluksiz kuzatish, ma'lumotlarni yagona raqamli platformada jamlash, sun'iy intellekt asosida tahlil qilish, ekologik holatni integral indeks orqali baholash va monitoring natijalarini vizual ko'rinishda taqdim etishga qaratilgan metodologik yondashuvni ifodalaydi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda GreenAudit konseptual modelining dasturiy platformasini ishlab chiqish, IoT sensorlari bilan integratsiyalash, GreenAudit Index (GAI) algoritmini matematik jihatdan takomillashtirish hamda modelni Olmaliq, Angren va Bekobod sanoat korxonalarida tajriba-sinovdan o'tkazish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Mazkur yo'nalishlar modelning amaliy qo'llanilish imkoniyatlarini baholash va uning sanoat korxonalarida ekologik monitoring samaradorligini oshirishdagi rolini aniqlashga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1 O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. 2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to'g'risida. PF–60-son Farmon, 2022.

2 O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi. Atmosfera havosi monitoringi bo‘yicha yillik hisobot. Toshkent, 2024

3 O‘zbekiston Respublikasi Statistika agentligi. O‘zbekiston Respublikasining statistik to‘plami. Toshkent, 2024.

4 O‘zbekiston Respublikasi Hidrometeorologiya xizmati agentligi (O‘zgidromet). Atmosfera havosi sifati monitoringi bo‘yicha axborot byulleteni. Toshkent, 2024

5 BMT Atrof-muhit dasturi (UNEP). Global Environment Outlook 7. Nairobi, 2024.

6 World Health Organization (WHO). WHO Global Air Quality Guidelines. Geneva: WHO, 2021.

7 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva, 2023.

8 European Environment Agency (EEA). Air Quality in Europe — 2024 Report. Copenhagen, 2024.

9 United States Environmental Protection Agency (US EPA). Air Sensor Guidebook. Washington, DC, 2024.

10 ISO 14001:2015. Environmental Management Systems — Requirements with Guidance for Use. International Organization for Standardization, Geneva.

11 ISO 14064-1:2018. Greenhouse Gases — Part 1: Specification with Guidance at the Organization Level. Geneva, 2018.

12 Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. Future Generation Computer Systems, 2013.

13 Atzori L., Iera A., Morabito G. The Internet of Things: A Survey. Computer Networks, 2010.

14 Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.

15 Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th Edition. Pearson, 2021.

16 World Bank. The Changing Wealth of Nations 2024. Washington, DC, 2024.

17 United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2024. New York, 2024.

18 Olmaliq kon-metallurgiya kombinati AJ. Barqaror rivojlanish va ekologiya bo‘yicha hisobot. Olmaliq, 2024.

19 O‘zbekiston metallurgiya kombinati AJ. Barqaror rivojlanish hisoboti. Bekobod, 2024.

20 "Issiqlik elektr stansiyalari" AJ. Atrof-muhitni muhofaza qilish bo‘yicha yillik hisobot. Toshkent, 2024.