

ТОШКЕНТ ШАҲРИ АТМОСФЕРА ҲАВОСИ СИФАТИНИ ТАҲЛИЛИ ВА БАШОРАТ ТИЗИМИ

Рахимов Баходир Бахтиёр ўғли¹, Рахимова Меҳрбону Акром кизи²

¹Тошкент Давлат тиббиёт университети

²Тошкент Кимё ҳалқаро университети

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА ТАШКЕНТА НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЧЕРЕЗ ИНТЕРАКТИВНЫЙ ДАШБОРД

Рахимов Баходир Бахтиёр угли¹, Рахимова Меҳрбону Акром кизи²

¹Ташкентский государственный медицинский университет

²Ташкентский международный университет Кимё

ANALYSIS AND PROGNOSIS OF TASHKENT CITY ATMOSPHERIC AIR QUALITY BASED ON OPEN DATA AND VISUALIZATION THROUGH AN INTERACTIVE DASHBOARD

Rakhimov Bakhodir Bakhtiyor ugli¹, Rakhimova Mehrbonu Akrom kizi²

¹Tashkent State Medical University

²Tashkent Kimyo International University

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19984220>

Аннотация. Мазкур мақолада 2022–2025 йиллар давомида Тошкент шаҳри атмосфера ҳавоси сифатининг динамикаси очик маълумотлар портали (opendata.tashkent.uz) кўрсаткичлари асосида таҳлил қилинган. Таҳлил учун шаҳар ҳудудида жойлашган 10 та OXUS-WS автоматик ҳаво сифати мониторинг станцияларидан 257 000 дан зиёд кузатув маълумоти ишлатилган. Маълумотлар R дастурлаш тили ёрдамида статистик жиҳатдан таҳлил қилиниб, Shiny Dashbord форматида интерактив визуализация ишлаб чиқилган. Натижалар шуни кўрсатадики, шаҳарнинг ўртача Ҳаво Сифати Индекси (AQI) 84,1 ни ташкил этади, ўлчовларнинг «Ўрта» (52,6%), «Яхши» (20,3%) ва «Зарарли» (14,7%) категорияга тўғри келади. Олинган натижалар шаҳар муҳитида ҳаво ифлосланишининг вақт ва макон бўйича ўзгариш қонуниятларини очиб беради ҳамда экологик мониторингни рақамли технологиялар асосида ташкил этишнинг самарадорлигини намоиш этади. Тадқиқот натижалари аҳоли саломатлигини муҳофаза қилиш, экологик сиёсатни шакллантириш ва ахборот-таҳлил тизимларини ривожлантиришда амалий аҳамиятга эга.

Калит сўзлар: ҳаво сифати индекси (AQI), PM2.5, атмосфера мониторинги, очик маълумотлар, R дастурлаш тили, Shiny, дашборд, гигиена, экология, Тошкент.

Аннотация. В данной статье представлен анализ качества атмосферного воздуха города Ташкента за 2022–2025 годы на основе данных портала открытых данных (opendata.tashkent.uz). Для анализа использованы более 257 000 наблюдений с 10 автоматических станций мониторинга воздуха OXUS-WS, расположенных на территории города. Данные были статистически обработаны с использованием языка программирования R, и разработана интерактивная визуализация в формате

Shiny Dashboard. Результаты показывают, что средний Индекс Качества Воздуха (AQI) города составляет 84,1; 52,6% наблюдений классифицируются как «Умеренный», 20,3% — «Хороший» и 14,7% — «Вредный». Сезонный анализ подтвердил наибольший уровень загрязнения зимой (январь, AQI 124), со значительным снижением летом (июль, AQI 58). Анализ суточного цикла выявил повышенный AQI в утренние и вечерние часы с минимумом в полдень. Данный подход демонстрирует потенциал информационных технологий для мониторинга загрязнения воздуха и информирования населения в Узбекистане.

Ключевые слова: индекс качества воздуха (AQI), PM2.5, мониторинг атмосферы, открытые данные, язык R, Shiny, дашборд, гигиена, экология, Ташкент.

Abstract. This article presents an analysis of atmospheric air quality in Tashkent city over 2022–2025 based on data from the open data portal (opendata.tashkent.uz). More than 257,000 observations collected from 10 OXUS-WS automatic air quality monitoring stations across the city were used for the analysis. The data were statistically processed using the R programming language, and an interactive visualization was developed in the Shiny Dashboard format. The results show that the city's mean Air Quality Index (AQI) is 84.1, with 52.6% of observations classified as "Moderate", 20.3% as "Good", and 14.7% as "Unhealthy". Seasonal analysis confirmed the highest pollution levels in winter (January, AQI 124), with a marked decline in summer (July, AQI 58). Daily cycle analysis revealed elevated AQI in the morning hours and evening, with a minimum around midday. This approach demonstrates the potential of information technologies for monitoring air pollution and informing the public in Uzbekistan.

Keywords: air quality index (AQI), PM2.5, atmospheric monitoring, open data, R programming, Shiny, dashboard, hygiene, ecology, Tashkent.

Кириш. Атмосфера ҳавосини Ҳаво сифатини миқдорий ифлосланишидан ҳимоя қилиш глобал баҳолашнинг стандарт усули сифатида жамоат саломатлиги муаммоларидан Ҳаво Сифати Индекси (AQI) кенг бири бўлиб, Жаҳон Соғлиқни Саклаш қўлланилади. Бу индекс PM2.5, PM10, Ташкилоти (ЖССТ) маълумотларига CO2 ва бошқа асосий кўра, ҳар йили жаҳон бўйлаб 7 ифлослантирувчилар концентрациясини миллиондан зиёд аҳолининг вафотига ягона рақамли кўрсаткичга интеграция сабаб бўлмоқда [1]. Марказий Осиёда қилади, бу эса аҳоли ва давлат жойлашган куруқ иқлимли, тез органларига ҳавонинг аҳволи тўғрисида урбанизациялашаётган шаҳарлар учун тушунарли маълумот олиш имконини ҳаво сифати масаласи айниқса долзарб беради [3]. Тошкент шаҳри ҳокимлиги аҳамият касб этади. Тошкент — хузуридаги Рақамли ривожланиш Ўзбекистоннинг пойтахти ва Марказий департаменти томонидан 2022 йилда Осиёнинг энг йирик шаҳарларидан бири ўрнатилган 10 та OXUS-WS автоматик — транспорт юки, саноат чиқиндилари, мониторинг станциялари орқали иссиқлик энергетикаси ва қаттиқ ёқилғи тўпланган маълумотлар ёқиш сабабли атмосфера opendata.tashkent.uz очик маълумотлар ифлосланишининг юқори даражаси порталида жамоатчиликка очик билан характерланади [2]. қилинган [4].

Бирок, ушбу катта ҳажмдаги маълумотларни замонавий статистик усуллар ва интерактив визуализация воситалари орқали системали таҳлил қилиш заруриятини кўрсатадиган илмий ишлар ҳали етарли даражада кам. Мазкур тадқиқот ана шу бўшлиқни тўлдиришга қаратилган бўлиб, R дастурлаш тили ва Shiny Dashboard технологиясидан фойдаланиб, учта йил (2022–2025) давомидаги ҳаво сифатининг ҳудуд-вақт тарқалишини, мавсумий ва суткалик цикллар, станциялар ўртасидаги фарқлар ҳамда аҳолининг сезгир гуруҳлари учун хавф оғирлигини баҳолашни мақсад қилган.

Тадқиқот мақсади: 2022–2025 йиллар маълумотлари асосида Тошкент шаҳри ҳаво сифатини статистик таҳлил қилиш ва натижаларни Shiny Dashboard форматидаги интерактив дашборд орқали визуализация қилиш.

Тадқиқот вазифалари:

1. Маълумотларни қайта таҳлил қилиш ва тизимлаштириш: Очик маълумотлар порталидан (opendata.tashkent.uz) олинган AQI кўрсаткичларини R дастурлаш муҳитида филтрлаш, типик бўлмаган қийматларни (outliers) тозалаш ва статистик таҳлил учун тайёрлаш;

2. Вақт қаторлари динамикасини аниқлаш: Атмосфера ҳавоси ифлосланиш даражасининг мавсумий, ойлик ва суткалик ўзгариш

трендларини аниқлаш ва уларнинг қонуниятларини таҳлил қилиш;

3. Худудлараро қиёсий таҳлил ва рейтинг: Мониторинг станциялари маълумотлари асосида ҳудудларнинг ҳаво сифати бўйича фарқ қилишини ўрганиш ва ўртача AQI кўрсаткичлари асосида ҳудудий рейтингни шакллантириш;

4. Экологик хавфлилик даражасини баҳолаш: Жаҳон соғлиқни сақлаш ташкилоти ва ЕРА стандартлари асосида AQI категорияларининг умумий тақсимотини ва аҳоли саломатлиги учун потенциал хавф даражаларини баҳолаш;

5. Интерактив визуаллаштириш тизимини ишлаб чиқиш: Тадқиқот натижаларининг шаффофлиги ва фойдаланувчилар учун қулайлигини таъминлаш мақсадида Shiny Dashboard платформасида маълумотларни реал вақт режимида акс эттирувчи дашборд моделини яратиш.

МАТЕРИАЛ ВА УСУЛЛАР

Тадқиқотда Тошкент шаҳри очик маълумотлар порталидан (opendata.tashkent.uz, категория ID: 84) олинган маълумотлар асос қилинган. Маълумотлар базасида шаҳар ҳудудидаги 10 та OXUS-WS автоматик ҳаво сифати мониторинг станциясининг 2022–2025 йиллар давомидаги соатлик кузатув натижалари мужассам бўлиб, жами 257 108 та кузатув ёзуви мавжуд. Ҳар бир ёзув станция коди, вақт белгиси ва AQI қийматини ўз ичига олади.



1-расм. AirWatch дашборди — Тошкент шаҳри ҳаво сифати мониторинг тизими (opendata.tashkent.uz), умумий кўрсаткичлар: 2022–2025.

Станциялар шаҳарнинг турли маҳаллалар яқинида жойлаштирилган жойларида — боғлар, мактаблар, бўлиб, Ўзгидромет ва Тошкент Экология тиббиёт муассасалари ва йирик департаменти мутахассислари

иштирокида танланган. Хар бир станция иккита қувват манбаидан — шаҳар электр тармоғи ва қуёш батареяси — ишлайди ва кўрсаткичлар соатлик тарзда портал маълумотлар базасида янгиланади.

Маълумотларни тайёрлаш ва таҳлил қилиш R дастурлаш тилида амалга оширилди. Маълумотларни тайёрлаш босқичида хато ёки бўш қийматлар аниқланиб, улар медиана импутация усули билан тўлдирилди. Физикавий жиҳатдан мумкин бўлмаган AQI қийматлари (0 дан кам ва 500 дан катта) тозалаш жараёнида олиб ташланди. AQI категорияларини ажратишда АҚШ Атроф муҳитни ҳимоя қилиш агентлиги (US EPA) стандарти ишлатилди: 0–50 «Яхши», 51–100 «Ўрта», 101–150 «Сезгир», 151–200 «Зарарли», 201–300 «Жуда зарарли», 300+ «Хавфли» [5].

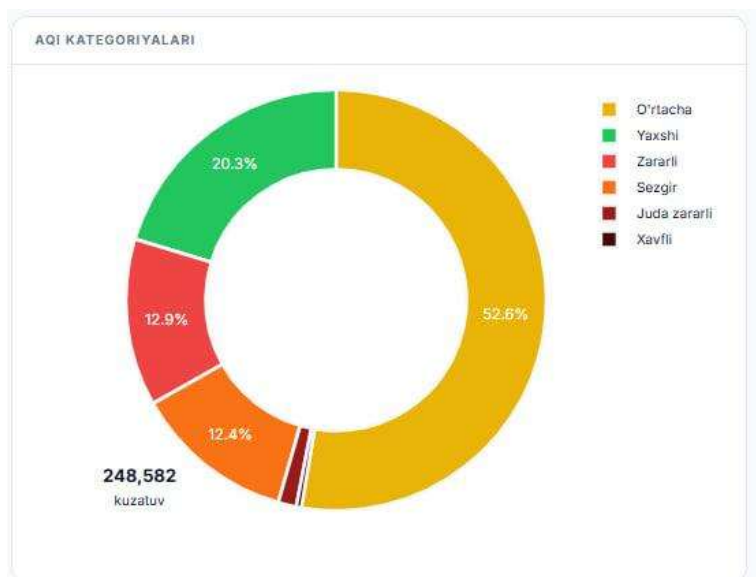
Статистик таҳлил қуйидаги йўналишларни ўз ичига олди: (1) AQI

нинг мавсумий ва ойлик ўртача қийматлари; (2) суткалик цикл ва ўртача стандарт оғиш; (3) станциялар рейтинги; (4) мавсумий тарқалиш (box plot); (5) 7 кунлик силлиқлаштирилган ҳаракатланувчи ўртача (7-day moving average) асосида тренд таҳлили. Натижалар Shiny Dashboard платформасида интерактив веб-иловага интеграция қилинди.

НАТИЖАЛАР ВА МУҲОКАМА

Умумий кўрсаткичлар ва AQI категорияларининг тарқалиши

Учта йил (2022–2025) давомида тўпланган 257 108 та кузатув натижаларига кўра, Тошкент шаҳрининг ўртача AQI қиймати 84,1 ни ташкил этди, ўртача PM_{2.5} концентрацияси эса 32,7 мкг/м³ га тенг бўлди. Бу қийматлар ЖССТ нинг PM_{2.5} учун тавсия этган йиллик чегарасидан (5 мкг/м³) сезиларли даражада юқори эканлигини кўрсатмоқда.



2-расм. AQI категорияларининг улуши (2022–2024). Маълумот манбаи: opendata.tashkent.uz асосида муаллиф ҳисоблаши.

2-расмда кўрсатилганидек, кузатувларнинг 52,6% «Ўрта» (AQI 51–100), 20,3% «Яхши» (AQI 0–50), 12,9% «Зарарли» (AQI 151–200) ва 12,4%

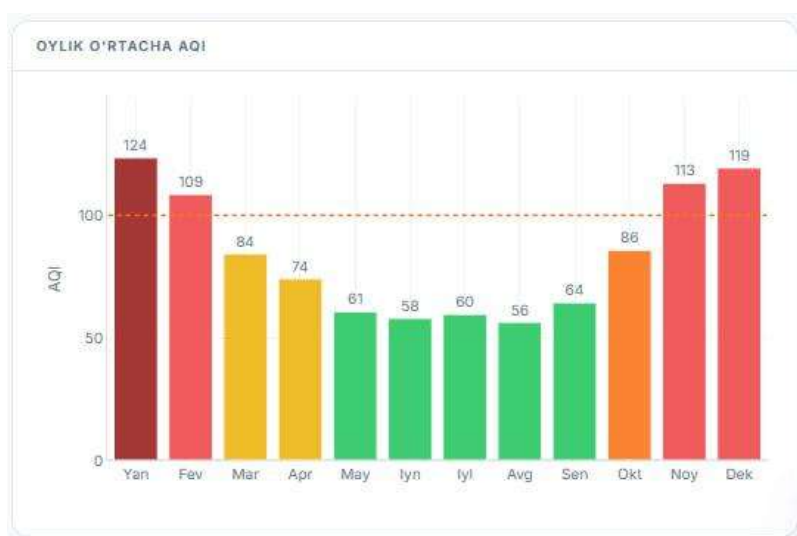
«Сезгир» (AQI 101–150) категорияларига тўғри келди. Кузатувларнинг 14,7% «Зарарли» ва ундан юқори категорияга кириши аҳолининг саломатлиги учун

хавф мавжудлигини тасдиқлайди, айниқса нафас олиш органлари, юрак-қон томир касалликлари мавжуд шахслар ва болалар учун бу кўрсаткич муҳим саналади [6].

Мавсумий ва ойлик тарқалиш

Ойлик ўртача AQI таҳлили Тошкентдаги ҳаво ифлосланишининг яққол ифодаланган мавсумий характерга эга эканлигини намоёйиш этди (3-расм). Энг юқори ўртача AQI январь ойида (124) қайд этилган бўлиб, у декабрь (119) ва ноябрь (113) ойларида ҳам

кузатилади. Мазкур давр иссиқлик учун қаттиқ ёқилғи ишлатилиши, тескари термик қатламланиш ҳодисаси ва шамол фаоллигининг пасайиши билан изоҳланади. Ёз ойларида эса AQI сезиларли тарзда камаяди: июль ойида 58 га, август ойида 56 га тушади. Бу мавсумий намуна Дунё банкининг Тошкент учун амалга оширган ҳаво сифати тадқиқоти натижаларига мос келади, унда қиш ойларидаги PM_{2.5} концентрацияси ёзга нисбатан 2–3 баробар юқорилиги қайд этилган [7].



3-расм. Ойлик ўртача AQI (2022–2024). Қизил чизиқ — AQI 100 чегараси. Маълумот манбаи: opendata.tashkent.uz асосида муаллиф ҳисоблаши.

Мавсумий box plot таҳлили (4-расм) қиш мавсумида AQI нинг ўртача ва дисперсияси энг юқори эканлигини тасдиқлайди. Қишки медиана AQI тахминан 110, баҳор ва кузда эса 60–90 атрофида бўлган. Ёз мавсуми нафақат энг паст ўртача (тахминан 60), балки энг

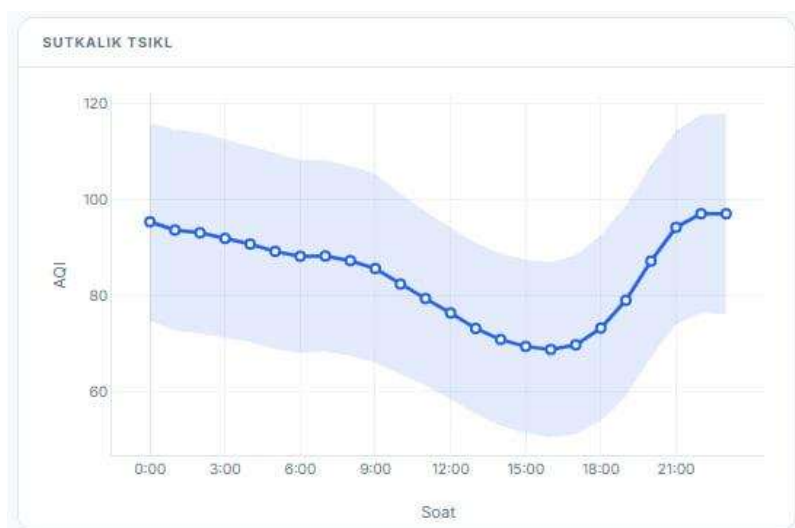
кам тафовут билан ҳам ажралиб туради. Шунга қарамай, барча мавсумларда юқори экстремумлар кузатилди — 300–500 гача, бу одатда маҳаллий манбалар (автомобил тирбандликлари, қурилиш чанги, ёнғинлар) билан боғлиқ бўлган.



4-расм. AQI нинг мавсумий тарқалиши (box plot). Маълумот манбаи: opendata.tashkent.uz асосида муаллиф ҳисоблаши.

Суткалик цикл таҳлили
Суткалик ўртача AQI кўрсаткичининг соат бўйича тарқалиши (5-расм) Тошкентда ҳаво сифатида икки марта ёмонлашиш кузатилишини аниқлади. Биринчи чўққи тонг соатларида (00:00–03:00 атрофида, AQI ~95) кузатилади, бу тун давомида ҳаво массаларининг тургунлашиши ва иссиқлик ажратадиган манбаларнинг давом этиши (уй-жойларни иситиш, трафик) билан изоҳланади. Куннинг

биринчи ярмида AQI аста-секин пасайиб, 14:00–15:00 атрофида минимумга (AQI ~68) етади — бу вақтда куёшнинг иссилиги атмосферада конвекцияни кучайтиради ва ифлослантирувчиларни сийраклаштиради. 18:00 дан кейин шаҳарда кечки транспорт юки ошиши ва атмосфера тургунлигининг қайтиши натижасида AQI яна тез кўтарила бошлайди.



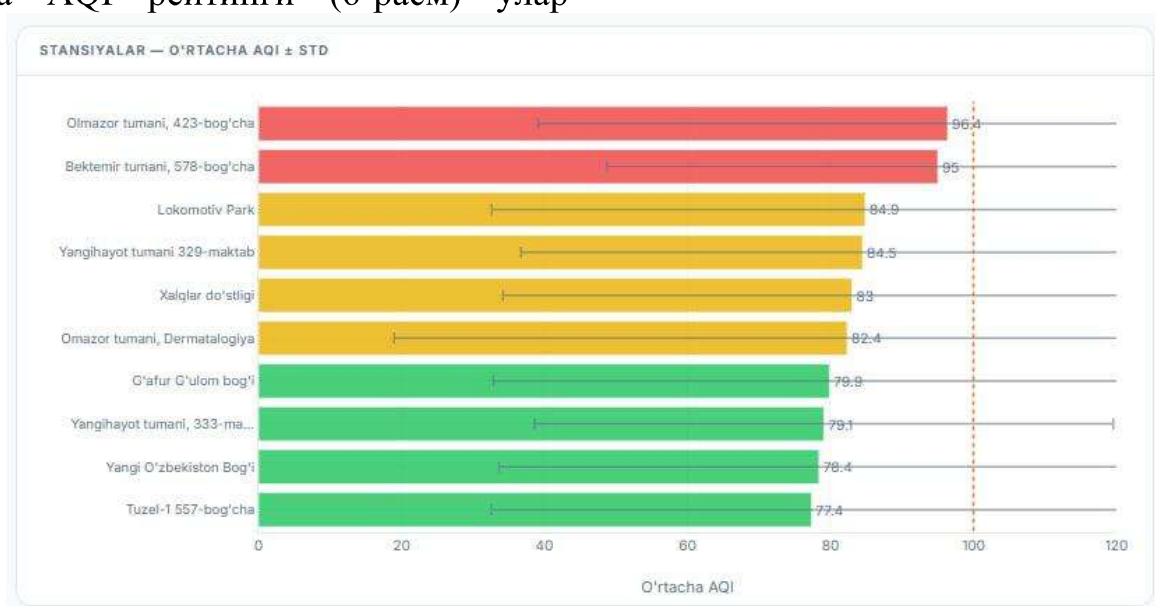
5-расм. Суткалик AQI цикли (ўртача $\pm$ стандарт огиш). Маълумот манбаи: opendata.tashkent.uz асосида муаллиф ҳисоблаши.

Ушбу суткалик намуна атмосфера ҳавосининг тозалигини меҳнат, таълим ва спорт фаолиятини режалаштиришда ҳисобга олиш учун муҳим маълумот берди. Айниқса болалар, ёши катта аҳоли ва нафас олиш органлари касалликлари мавжуд шахслар учун очик ҳавода фаоллик кунда соат 10:00–16:00 оралиғи мақбул эканлигини тавсия этиш мумкин.

Станциялар рейтинги

10 та мониторинг станциясининг ўртача AQI рейтинги (6-расм) улар

ўртасидаги сезиларли фарқни намойиш этди. Энг юқори ўртача AQI Олмазор тумани, 423-боғча яқинидаги станцияда (96,4) ва Бектемир тумани, 578-боғча (95) яқинида қайд этилди. Бу ҳудудлар транспорт юки ва саноат корхоналари яқинлиги билан характерланади. Шаҳарнинг «яшил» зоналарида жойлашган Тузел-1, 557-боғча (77,4) ва Янги Ўзбекистон боғи (78,4) яқинидаги станциялар энг паст ўртача AQI кўрсаткичини намойиш этди.



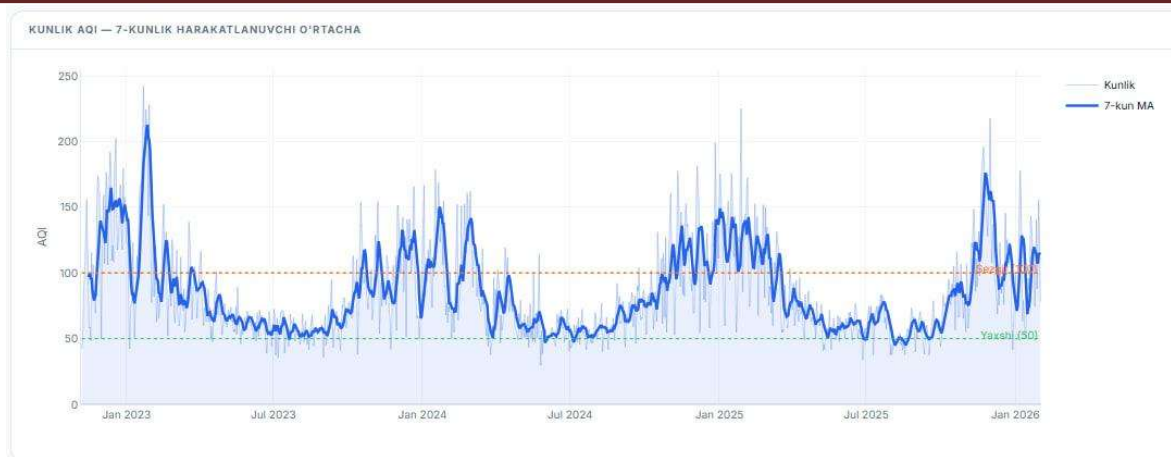
6-расм. Станциялар бўйича ўртача AQI ($\pm$ стандарт огиш). Маълумот манбаи: opendata.tashkent.uz асосида муаллиф ҳисоблаши.

Бу натижалар шаҳар режалаштириши ва ҳудудий экологик аудит учун муҳим ахборотни ўз ичига олади. Юқори AQI қайд этилган ҳудудларда ифлосланиш манбаларини аниқлаш ва камайтириш учун мақсадли чоралар кўриш тавсия этилади.

Узоқ муддатли тренд таҳлили

2023 йил январ ойидан 2026 йил январ ойигача бўлган кунлик AQI маълумотлари ва 7 кунлик ҳаракатланувчи ўртача тренд графиги (7-

расм) Тошкентда ҳаво ифлосланишининг умумий тенденциясини янада ойдинроқ кўрсатади. Эксплоратив таҳлил ҳар йили мунтазам қайталанадиган мавсумий цикллار мавжудлигини тасдиқлайди. 2022–2023 йиллар кишида энг юқори пиклар (AQI 150–240) кузатилган. 2023–2024 йиллар давомида ўртача AQI нинг нисбий барқарорлашиши сезилган. 2025–2026 йиллар киш бошида яна кескин кўтарилиш кузатилмоқда.



7-расм. Кунлик AQI ва 7 кунлик ҳаракатланувчи ўртача тренд (2023–2026).

Маълумот манбаи: opendata.tashkent.uz асосида муаллиф ҳисоблаш.

Ушбу тренд таҳлили Тошкентда ҳаво ифлосланишини камайтиришга қаратилган дастурларнинг самарадорлигини баҳолаш ва мониторинг қилиш учун муҳим восита бўлиб хизмат қилади. Кўп йиллик маълумотлар базаси мунтазам ортиб борса, истиқболда башоратчи моделлар (machine learning) ёрдамида ҳаво сифатини олдиндан прогноزلаш имкони туғилади.

Shiny Dashboard — интерактив визуализация воситаси

Мазкур тадқиқотнинг муҳим методологик янгилиги сифатида R тилида Shiny Dashboard форматида ишлаб чиқилган интерактив аналитик платформани кўрсатиш мумкин. Платформа фойдаланувчига йил, ой, станция ва AQI категорияси бўйича маълумотларни филтрлаш ва таҳлил қилиш имконини бериб, барча графиклар реал вақтда янгиланади. Бундай ёндашув статик тадқиқот ҳисоботларидан фарқли ўлароқ, санитария-эпидемиология хизмати мутахассислари, экологлар ва давлат органлари вакиллари учун интерфаол аналитика платформаси сифатида фойдаланилиши мумкин.

Дашборднинг асосий бўлимлари қуйидагилардан иборат: (1) Бош саҳифа

— умумий статистик кўрсаткичлар; (2) Вақт таҳлили — мавсумий, ойлик, суткалик циклларнинг интерактив графиклари; (3) Станциялар — ҳар бир станциянинг рейтинги ва қиёсий таҳлили; (4) Статистика — тарқалиш диаграммалари ва категория улушлари; (5) Харита — AQI нинг географик визуализацияси; (6) Маълумот — метамаълумот ва юклаш имкони.

ХУЛОСА

Ушбу тадқиқот Тошкент шаҳри атмосфера ҳавосининг 2022–2025 йиллар давомидаги аҳволи тўғрисида қуйидаги хулосаларни олишга имкон берди:

1. Тошкент шаҳрининг ўртача AQI қиймати (84,1) «Ўрта» категорияда бўлиб, кузатувларнинг 14,7% аҳолига зарарли даражадан юқоридир. Бу санитария-эпидемиологик назоратни кучайтириш зарурлигини кўрсатади.

2. Мавсумий таҳлил қишдаги AQI нинг ёздагига нисбатан 2–2,5 баробар юқорилигини тасдиқлади. Иситиш мавсумида уй-жой иситиши ва транспорт эмиссиялари асосий ифлослантирувчи манбалар ҳисобланади.

3. Суткалик цикл таҳлили тонг (00:00–03:00) ва кечки (18:00–23:00) соатларда AQI нинг юқори бўлишини аниқлади. Бу аҳолига, айниқса сезгир

гуруҳларга, кундузги 10:00–16:00
оралиғида фаол бўлиш тавсия этилади.

4. Шаҳарнинг «ичкари» ва
транспорт юки юқори ҳудудларида
(Олмазор, Бектемир) «яшил» зоналарга
(Тузел, Янги Ўзбекистон) нисбатан AQI
15–20 бирликка юқорилиги аниқланди.

5. R тили ва Shiny Dashboard
воситасида ишлаб чиқилган интерактив
платформа очиқ маълумотларни аҳолига
ва мутахассисларга самарали тарзда
тақдим этишнинг замонавий ёндашуви
сифатида намоёиш этилди.

Ушбу натижалар асосида шаҳар
ҳудудида ифлосланиш манбаларига
қарши самарали чоралар, яъни иситиш
тизимларини модернизация қилиш,
транспорт эмиссиясини камайитириш ва
«яшил» зоналарни кенгайтириш
сиёсатини илмий асосда режалаштириш
тавсия этилади. Мониторинг тармоғини
30 та қўшимча станцияга кенгайтириш
режасини амалга ошириш аниқроқ
ҳудудий таҳлил имконини беради.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution. Geneva: WHO; 2023. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

2. World Bank. Air Quality Assessment for Tashkent and the Roadmap for Air Quality Management Improvement in Uzbekistan. Washington D.C.: World Bank; 2024. URL: <https://www.worldbank.org/en/country/uzbekistan/publication/air-quality-assessment-for-tashkent>

3. US EPA. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality — the Air Quality Index (AQI). Research Triangle Park, NC: US EPA; 2018.

4. Toshkent shahar hokimligi Raqamli rivojlanish departamenti. Toshkent ochiq ma'lumotlar portali — havo sifati. 2022–2024. URL: https://opendata.tashkent.uz/ozs/?category__id=84

5. Gazeta.uz. Toshkentda havo sifatini monitoring qiluvchi Air Tashkent portali ishga tushdi. 2024 yil 20 mart. URL: <https://www.gazeta.uz/en/2024/03/20/air-quality/>

6. IQAir. Uzbekistan Air Quality Index and Air Pollution. 2024. URL: <https://www.iqair.com/uzbekistan>

7. Yangilik.uz. Toshkent havosi: 2025-yilda AQI ko'rsatkichlari tahlili. 2025.

8. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2023. URL: <https://www.R-project.org/>

9. Chang W, Cheng J, Allaire J, et al. shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.7.5; 2023. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=shiny>

10. Wickham H, et al. Welcome to the tidyverse. Journal of Open Source Software. 2019; 4(43):1686.