QURILISH CHANGINI MONITORING QILISH METODLARINI O’ZBEKISTON IQLIM SHAROITLARIGA MOSLASHTIRISH BO‘YICHA AMALIY TAVSIYALAR

Abdazov Jahongir Adham o‘g‘li
Atrof-muhit va tabiatni muhofaza qilish texnologiyalari ilmiy tadqiqot instituti
abdazovjinfo@gmail.com
Taqrizchi: Alimov . Z.B.
Markaziy Osiyo atrof-muhit va iqlim o’zgarishini o’rganish universiteti ("Green University")

Annotatsiya: *Ushbu maqolada xalqaro amaliyotda qo’llaniladigan qurilish changi monitoring metodlarini O’zbekiston, xususan Toshkent shahrining kontinental iqlimi, quruq havo sharoiti va qurilish faoliyati intensivligiga moslashtirish masalalari ko’rib chiqildi. Gravimetrik va "upwind-downwind" usullarining mahalliy quruq iqlim sharoitidagi afzalliklari, real-vaqt optik monitoringning gravimetrik metod bilan kalibrlash zarurati, BAM texnologiyasining qo’llanish cheklovlari hamda AP-42 emissiya faktorlarini mahalliy meteorologik ma’lumotlar asosida moslashtirish zarurati tahlil qilindi. O’zbekistonda Gidrometeorologiya xizmati va PurpleAir kabi tarmoqlarning joriy holati misolida amaldagi monitoring infratuzilmasi baholanib, gravimetrik, optik va fazoviy (GIS/UUA) usullarni birlashtiruvchi integratsiyalashgan monitoring tizimini shakllantirish bo’yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.*

Kalit so’zlar: *qurilish changi, O’zbekiston, Toshkent, mahalliy moslashtirish, integratsiyalashgan monitoring tizimi, iqlim sharoiti, standartlashtirish, Gidrometeorologiya xizmati*

Abstract: *This article examines the adaptation of internationally applied construction-dust monitoring methods to the climatic conditions of Uzbekistan, particularly Tashkent, characterized by a continental climate, dry summers and intensifying construction activity. The suitability of gravimetric and upwind-downwind methods under arid conditions, the need to calibrate real-time optical sensors against gravimetric references, the practical limitations of beta-attenuation monitors, and the need to localize AP-42 emission factors using local meteorological data were analyzed. The current state of Uzbekistan’s monitoring infrastructure (Uzhydromet network, automated stations, PurpleAir sensors) was assessed, and recommendations were*

developed for forming an integrated monitoring system combining gravimetric, optical, and spatial (GIS/UAV) approaches.

Keywords: *construction dust, Uzbekistan, Tashkent, local adaptation, integrated monitoring system, climatic conditions, standardization, Uzhydromet*

Аннотация: *В статье рассматривается адаптация применяемых в международной практике методов мониторинга строительной пыли к климатическим условиям Узбекистана, в частности Ташкента, характеризующимся континентальным климатом, сухим летом и интенсификацией строительной деятельности. Проанализированы пригодность гравиметрического и upwind-downwind методов в засушливых условиях, необходимость калибровки оптических сенсоров реального времени по гравиметрическому эталону, практические ограничения бета-аттенюационных мониторов, а также необходимость локализации коэффициентов эмиссии AP-42 с учётом местных метеорологических данных. Дана оценка текущей инфраструктуры мониторинга Узбекистана (сеть Узгидромета, автоматические станции, сенсоры PurpleAir), разработаны рекомендации по формированию интегрированной системы мониторинга, сочетающей гравиметрический, оптический и пространственный (ГИС/БПЛА) подходы.*

Ключевые слова: *строительная пыль, Узбекистан, Ташкент, локальная адаптация, интегрированная система мониторинга, климатические условия, стандартизация, Узгидромет*

1. Kirish: Qurilish changlari bino va inshootlarni qurish, rekonstruksiya qilish, ta’mirlash va buzish jarayonlari, shuningdek, qurilish materiallarini qurilish maydonida saqlash va tashish, yer ishlari, maxsus texnika hamda transport vositalari harakati natijasida atmosfera havosiga ko’tariladigan qattiq zarrachalar (aerozollar)dan iborat ifloslantiruvchi moddalardir [1]. Shaharsozlik va qurilish hajmining jadal o’sishi natijasida qurilish changlari atmosfera havosini ifloslantiruvchi muhim manbalardan biriga aylanib, qurilish jarayonida hosil bo’ladigan PM_{10} va $PM_{2.5}$ zarrachalari ishchilar hamda qurilish maydoni atrofida yashovchi aholi salomatligiga salbiy ta’sir ko’rsatmoqda [2].

Xalqaro tadqiqotlarda qurilish changini monitoring qilish uchun gravimetrik monitoring, real-vaqt optik sensor monitoringi, beta-attenuation monitorlari (BAM), emissiya faktoriga asoslangan AP-42 hisoblash metodikasi hamda GIS va uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) texnologiyalariga asoslangan yondashuvlar ishlab chiqilgan bo’lib, ularning har biri o’lchov aniqligi, operativligi va iqtisodiy samaradorligi

bo’yicha o’ziga xos afzallik va cheklovlarga ega. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarda qurilish changini baholash uchun yagona standartlarning yo’qligi ekologik va iqtisodiy xavfsizlikni ta’minlashda jiddiy muammo hisoblanadi, bu esa mazkur metodlarni har bir mintaqaning iqlimiy, meteorologik va qurilish sharoitiga moslashtirishni taqozo etadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi qurilish changlarini monitoring qilishda qo’llaniladigan asosiy metodlarni mamlakatimiz, xususan, Toshkent shahrining quruq iqlimi va ekologik sharoitlariga moslashtirish imkoniyatlarini tahlil qilishdan iborat.

Belgilangan maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

• O’zbekistonning iqlimiy va meteorologik sharoitlarini hisobga olgan holda eng maqbul monitoring yondashuvlari va metodlarni kompleks qo’llash bo’yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

• Dunyoda va O’zbekistonda tahlil qilinayotgan metodlar uchun monitoring stansiyalarining mavjudligi va imkoniyatlarini tahlil qilish.

2. Tadqiqot metodologiyasi: Ushbu tadqiqot qurilish va shahar changini o’rganishga bag’ishlangan 20 dan ortiq xalqaro ilmiy maqolaning tizimli adabiyotlar tahliliga asoslanadi. Tanlangan manbalarda qo’llanilgan gravimetrik, real-vaqt optik monitoring, emissiya faktoriga asoslangan hisoblash va statistik modellashtirish metodlarining O’zbekiston sharoitida qo’llanish imkoniyatlari qiyosiy tarzda baholandi. Tahlil uchun asos sifatida muallifning ushbu metodlarning xalqaro tajribadagi ilmiy aniqligi, operativligi va qo’llanish sohasini yorituvchi qiyosiy tadqiqotidan foydalanildi, unda mazkur metodlar bo’yicha shakllantirilgan baholash matritsasi (1-jadval) mahalliy sharoitga moslashtirish tahlilining boshlang’ich nuqtasi sifatida qo’llanildi.

3. Metodlarni mahalliy sharoitga moslashtirish: tahlil va natijalar: Xalqaro tadqiqotlar asosida shakllantirilgan baholash matritsasi (1-jadval) qurilish changini monitoring qilish metodlarining o’lchov aniqligi, operativligi va mahalliy sharoitda qo’llash imkoniyati bo’yicha sezilarli farqlanishini ko’rsatadi. Mazkur matritsa O’zbekiston, xususan Toshkent sharoitida metodlarni tanlash va ularni birgalikda qo’llash bo’yicha tavsiyalar ishlab chiqishning asosini tashkil etadi.

1-jadval: Qurilish Changi Monitoring Metodlarini Baholash Matritsasi.

№	Metod	O’lchov aniqligi	Operativligi	Mahalliy qo’llash imkoniyati
1	Gravimetrik monitoring [1]	Juda yuqori	Past	Yuqori

2	Upwind–Downwind monitoring [2]	Yuqori	O’rta	O’rta
3	Real-time optik monitoring [3]	O’rta-yuqori	Juda yuqori	Juda yuqori
4	Beta-attenuation monitorlari (BAM) [4]	Yuqori	Yuqori	Past
5	EPA AP-42 Emission Factor [5]	O’rta	Yuqori	O’rta
6	GIS / masofadan zondlash [6]	O’rta	O’rta	O’rta
7	Uchuvchisiz qurilmalar + sun’iy intellekt [5]	O’rta	Yuqori	Past–O’rta

3.1. O’zbekiston iqlimiga moslashtirish: O’zbekiston sharoitida qurilish changlarini monitoring qilish uchun metod tanlashda o’lchov aniqligi bilan bir qatorda iqlimiy sharoit, qurilish jarayonlarining xususiyatlari, texnik xizmat ko’rsatish va ekspluatatsiya xarajatlarini hisobga olish talab etiladi. Shu nuqtai nazardan, alohida metodlarning imkoniyatlari bir-birini to’ldirishi mumkin.

Gravimetrik monitoring va "Upwind–Downwind" yondashuvi qurilish maydonlarida chang emissiyasini miqdoriy baholash uchun yuqori aniqlikka ega. Filtrda to’plangan zarrachalar massasini bevosita aniqlash ushbu usulni ishonchli o’lchov vositasiga aylantiradi va boshqa monitoring usullarini kalibrlashda etalon sifatida foydalanish imkonini beradi. O’zbekiston hududida yilning katta qismida quruq va yog’ingarchilik kam bo’lishi ushbu usullarni dala sharoitida qo’llash uchun qulaylik yaratadi. Ayniqsa, shamol yo’nalishi barqaror bo’lgan sharoitlarda upwind va downwind nuqtalaridagi PM konsentratsiyalarini taqqoslash orqali qurilish faoliyati bilan bog’liq qo’shimcha chang emissiyasini baholash mumkin.

Real-time optik monitoring esa yuqori vaqt rezolyutsiyasidagi ma’lumotlarni tezkor olish va uzluksiz kuzatuv olib borish imkoniyati bilan ajralib turadi. Ekspluatatsiya xarajatlarining gravimetrik monitoringga nisbatan pastligi uni qurilish maydonlarida qo’llash uchun qulaylashtiradi. Biroq optik sensorlarning o’lchov natijalari zarrachalarning fizik-kimyoviy xususiyatlari, namlik va boshqa meteorologik omillarga bog’liq bo’lgani sababli mahalliy sharoitlarda muntazam kalibrlash zarur. Shu sababli gravimetrik va optik monitoringni birgalikda qo’llash maqsadga muvofiq: gravimetrik usul etalon o’lchovni ta’minlasa, optik stansiyalar PM konsentratsiyasining real vaqt rejimidagi o’zgarishlarini kuzatadi.

Beta Attenuation Monitor (BAM) $PM_{2.5}$ va PM_{10} konsentratsiyalarini uzluksiz va avtomatlashtirilgan tarzda yuqori aniqlikda o’lchash imkonini beradi. Biroq

qurilmalarning yuqori xarid va ekspluatatsiya qiymati, radioaktiv beta manbasi bilan ishlash, muntazam texnik xizmat hamda malakali mutaxassislarni talab qilishi ularning amaliy qo’llanishini cheklaydi. Bundan tashqari, BAM stansiyalarining asosan statsionar monitoringga mo’ljallangani qurilish maydonlarida ularni turli ish uchastkalari o’rtasida ko’chirishni murakkablashtiradi. Shu bois ushbu metod qurilish maydonlaridagi bevosita monitoringdan ko’ra, doimiy atmosfera monitoring stansiyalarida fon konsentratsiyalarini kuzatish va boshqa monitoring usullari natijalarini tekshirish (validatsiya qilish) uchun ko’proq mos keladi.

EPA AP-42 metodikasi qurilish faoliyati turi, ish hajmi va emissiya faktorlaridan foydalanib chang emissiyasini hisoblash hamda dastlabki prognozlash imkonini beradi. Biroq umumlashtirilgan emissiya faktorlariga tayanish mahalliy meteorologik sharoitlar (shamol tezligi va yo’nalishi, harorat, namlik, atmosfera bosimi), qurilish materiallarining xususiyatlari, transport harakati va qurilish bosqichlari hisobga olinmagan holatlarda natijalar aniqligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli O’zbekiston sharoitida AP-42 metodikasidan foydalanishda mahalliy meteorologik ma’lumotlar va muayyan qurilish maydonining xususiyatlarini hisobga olish zarur.

GIS, masofadan zondlash va uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) asosidagi yondashuvlar esa chang emissiyasi manbalarini aniqlash va ularning fazoviy taqsimotini baholash imkonini beradi. Ular chang konsentratsiyasini bevosita o’lchamasa-da, qurilish faoliyati intensivligi hamda chang hosil bo’lish xavfi yuqori bo’lgan hududlarni tezkor aniqlash orqali gravimetrik, optik va BAM monitoringini to’ldirishi mumkin. Natijada o’lchovlarning fazoviy qamrovini kengaytirish va mavjud monitoring ma’lumotlarini hududiy jihatdan izohlash imkoniyati oshadi.

Shunday qilib, O’zbekiston sharoitida qurilish changlarini monitoring qilish uchun alohida metodning imkoniyatlaridan ko’ra, ularning funksional jihatdan uyg’unlashtirilishi muhimroqdir. Gravimetrik va real-time optik monitoringni integratsiyalash yuqori o’lchov aniqligi bilan birga tezkor va uzluksiz nazoratni ta’minlaydi [1,7]. UUA va GIS kabi fazoviy yondashuvlarning qo’shilishi esa monitoringni hududiy jihatdan kengaytiradi, AP-42 esa emissiyani hisoblash va dastlabki prognozlash uchun qo’shimcha vosita sifatida xizmat qiladi.

4. Muhokama: O’tkazilgan adabiyotlar tahlili qurilish changini monitoring qilish uchun barcha sharoitlarda birdek maqbul bo’lgan universal metod mavjud emasligini ko’rsatadi [8]; Metod tanlovi, avvalo, tadqiqot maqsadi, fazoviy qamrov, mavjud texnik imkoniyatlar va iqtisodiy cheklovlar bilan belgilanadi. Shu nuqtai nazardan, turli monitoring yondashuvlarining samaradorligini baholashda ularning

o’lchash imkoniyatlari bilan bir qatorda mahalliy sharoitda qo’llash imkoniyati ham hisobga olinishi lozim.

Xalqaro amaliyotda gravimetrik metodga asoslangan monitoring keng qo’llaniladi: AQSh, Yevropa, Yaponiya va boshqa mamlakatlarning milliy monitoring tarmoqlarida ushbu prinsip asosida ishlovchi minglab stansiyalar mavjud [9]. O’zbekistonda esa atmosfera havosidan namunalar asosan O’zbekiston Respublikasi Ekologiya va iqlim o’zgarishi milliy qo’mitasi huzuridagi Gidrometeorologiya xizmati agentligi laboratoriyalarida filtr usuli orqali olinib, tahlil qilinadi. Hozirgi vaqtda Gidrometeorologiya agentligi tarkibida 17 ta atmosfera laboratoriyasi, 71 ta statsionar va 1 ta mobil kuzatuv posti faoliyat yuritadi [10]. Shu bilan birga, real vaqt rejimida ishlovchi optik sensorlar asosidagi monitoring tarmoqlari ham jadal kengaymoqda. Jumladan, "PurpleAir" global tarmog’ida 100 dan ortiq mamlakatlarda 35 mingdan ziyod sensor faoliyat yuritadi. Ushbu sensorlar davlat monitoring stansiyalarini to’ldirish, ilmiy tadqiqotlar olib borish va jamoatchilik monitoringini tashkil etishda keng qo’llanilmoqda [11]. O’zbekistonda ham 2023 yildan boshlab Gidrometrning avtomatlashtirilgan stansiyalarida PM monitoringi real vaqt rejimida amalga oshirila boshlandi. 2023 yilda 8 ta avtomatik stansiya ishga tushirilgan bo’lsa, 2026 yilga kelib real vaqt ma’lumotlarini uzatuvchi stansiyalar soni 20 dan oshgan [12].

Beta Attenuation Monitor (BAM) texnologiyasi esa $PM_{2.5}$ va PM_{10} konsentratsiyalarini uzluksiz o’lchash uchun, asosan, AQSh, Yevropa, Avstraliya, Yaponiya va boshqa rivojlangan mamlakatlarning davlat monitoring tarmoqlarida qo’llaniladi. AQShda BAM qurilmalari EPA (Federal Equivalent Method) sifatida yuzlab monitoring stansiyalarida ishlatiladi, biroq ular alohida qurilish changini monitoring qilish uchun qo’llanilmaydi [9]. O’zbekistonda esa Gidrometrning Zamin jamg’armasi ko’magida tashkil etilgan avtomatik stansiyalarida xalqaro standartlarga mos referens uskunalar o’rnatilgan [12].

Mazkur monitoring yondashuvlarini O’zbekiston, xususan Toshkent sharoitiga tatbiq etishda ularni bevosita ko’chirish yetarli emas. Hududning kontinental iqlimi, yozgi qurg’oqchilik, yuqori tabiiy chang foni va qurilish faoliyatining intensivligi mavjud metodlarni mahalliy sharoitlarga moslashtirishni talab etadi. Bunda AP-42 metodikasidagi emissiya faktorlarini mahalliy sharoitga moslashtirish, optik sensorlarni gravimetrik metod asosida kalibrlash va BAM usulidan, avvalo, doimiy monitoring stansiyalarida foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi. GIS, masofadan zondlash va UUA texnologiyalari esa chang konsentratsiyasini bevosita o’lchashdan ko’ra, emissiya manbalarini aniqlash hamda mavjud monitoring natijalarini to’ldirish

uchun samarali vosita sifatida qaraladi. Shunday qilib, O’zbekiston sharoitida ushbu metodlarning kompleks qo’llanilishi eng maqbul yondashuv sifatida namoyon bo’ladi.

Umuman, xalqaro tadqiqotlar tahlili kelgusidagi ishlarning asosiy ilmiy vazifasi mavjud monitoring metodlarini shunchaki qo’llash bilan cheklanmasligini, balki ularni mahalliy urbanizatsiya, meteorologik va texnologik sharoitlarga mos ravishda kalibrovka qilish va standartlashtirish zarurligini ko’rsatadi. O’zbekiston sharoitida qurilish changlarini ishonchli monitoring qilish tizimini shakllantirish aynan shunday mahalliy moslashtirish va standartlashtirish yondashuviga tayanishi zarur.

5. Xulosa: Umuman olganda, xalqaro tajriba qurilish changini ishonchli baholash va samarali boshqarishda integratsiyalashgan monitoring yondashuvining yuqori metodologik samaradorligini ko’rsatadi. Biroq ushbu metodlarni mamlakatimiz, xususan, Toshkent sharoitida qo’llash ularni bevosita ko’chirishni emas, balki hududning meteorologik xususiyatlari, qurilish intensivligi va mavjud chang fon darajasini hisobga olgan holda lokal kalibrovka va adaptatsiyani talab etadi. Shu nuqtai nazardan, Toshkent shahri uchun qurilish changini monitoring qilishning istiqbolli ilmiy yo’nalishi xalqaro metodologiyalarni mahalliy sharoitga moslashtirish, ularni standartlashtirish va kompleks integratsiyalashgan monitoring tizimini shakllantirishdan iborat.

Adabiyotlar

[1] Araújo IPS, Costa DB. Measurement and Monitoring of Particulate Matter in Construction Sites: Guidelines for Gravimetric Approach. Sustainability 2022;14:558. https://doi.org/10.3390/su14010558.

[2] Yan H, Li Q, Feng K, Zhang L. The characteristics of PM emissions from construction sites during the earthwork and foundation stages: an empirical study evidence. Environ Sci Pollut Res 2023;30:62716–32. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26494-4.

[3] Cheriyan D, Choi J. Estimation of particulate matter exposure to construction workers using low-cost dust sensors. Sustainable Cities and Society 2020;59:102197. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102197.

[4] Molaie S, Lino P. Review of the Newly Developed, Mobile Optical Sensors for Real-Time Measurement of the Atmospheric Particulate Matter Concentration. Micromachines 2021;12:416. https://doi.org/10.3390/mi12040416.

[5] He Y, Jang J, Zhu Y, Chiang P-C, Xing J, Wang S, Zhao B, Long S, Yuan Y. Improving Fugitive Dust Emission Inventory from Construction Sector Using UAV

Images Recognition. Aerosol Air Qual Res 2024;24:240112. https://doi.org/10.4209/aaqr.240112.

[6] Yang H, Song X, Du L, Zhang Q, Cui J, Yin S. Estimating Particulate Matter Emission from Dust Sources Using ZY-3 Data and GIS Technology—A Case Study in Zhengzhou City, China. Atmosphere 2021;12:660. https://doi.org/10.3390/atmos12060660.

[7] Khan M, Khan N, Skibniewski MJ, Park C. Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercubic Technique. Sustainability 2021;13:7797. https://doi.org/10.3390/su13147797.

[8] Institute of Air Quality Management (IAQM). Guidance on Monitoring in the Vicinity of Demolition and Construction Sites 2018.

[9] U.S. Environmental Protection Agency. AMTIC – PM2.5 Monitoring Network. Ambient Monitoring Technology Information Center (AMTIC). https://www.epa.gov/amtic/amtic-pm25-monitoring-network (accessed August 4, 2026).

[10] Aziz Ganiev. Air Quality Monitoring Automation in Uzbekistan. Geneva, Switzerland: Uzhydromet; 2023.

[11] PurpleAir. Real-time Air Quality Monitoring by PurpleAir. PurpleAir 2026. https://www2.purpleair.com/.

[12] World Air Quality Index Project. Uzhydromet – Center for Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan: Real-time Air Quality Sensor Network. World Air Quality Index (AQICN) n.d. https://aqicn.org/network/uzhymet/ (accessed August 4, 2026).