UDK 504.064:338.2

TOSHKENT SHAHRIDA ATMOSFERA HAVOSI IFLOSLANISHINING EKOLOGIK-IQTISODIY ZARARINI BAHOLASH METODOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH

Marsova Zulayho
Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaliginimexanizatsiyalash muhandislari instituti (TIIAME), Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. *Mazkur tezis Toshkent shahrida atmosfera havosining mayda dispers zarrachalar (PM2.5, PM10) va qora uglerod (BC) bilan ifloslanishidan yuzaga keladigan ekologik-iqtisodiy zararlarni kompleks baholash metodologiyasini takomillashtirishga bag'ishlangan. Tadqiqot yondashuvida yer usti instrumental monitoringi, OT-21 optik transmissometri yordamida qora uglerodni baholash, masofadan zondlash ma'lumotlari, meteorologik ko'rsatkichlar, geografik axborot tizimlari (GIS) hamda aholi zichligi ma'lumotlarini integratsiyalash taklif etiladi. Metodologiyaning asosiy zanjiri «emissiya → atmosfera konsentratsiyasi → populyatsion ekspozitsiya → sog'liq oqibatlari → iqtisodiy zarar» tamoyiliga asoslanadi. Yondashuv ifloslanishning hududiy va mavsumiy o'zgaruvchanligini baholash, aholining ekspozitsiyasini aniqlash hamda iqtisodiy yo'qotishlarni tizimli hisoblash imkonini beradi.*

Kalit so'zlar: *atmosfera havosi, PM2.5, PM10, qora uglerod, OT-21, masofadan zondlash, GIS, populyatsion ekspozitsiya, sog'liq oqibatlari, ekologik-iqtisodiy zarar.*

KIRISH

Atmosfera havosining ifloslanishi yirik shaharlarda ekologik, ijtimoiy va iqtisodiy xavflarni shakllantiruvchi muhim omillardan biridir. Ayniqsa, PM2.5 va PM10 kabi mayda dispers zarrachalar hamda yonish jarayonlari bilan bog'liq qora uglerod (BC) aholi salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Toshkent shahrida transport, isitish tizimlari, sanoat faoliyati hamda tabiiy va transchegaraviy chang jarayonlari atmosfera havosi sifatining shakllanishida muhim omillar hisoblanadi [1].

Jahon sog'liqni saqlash tashkilotining 2021-yilgi global havo sifati yo'riqnomalarida PM2.5 uchun yillik tavsiya etilgan daraja 5 µg/m³, PM10 uchun 15 µg/m³ etib belgilangan [2]. Ushbu qiymatlar sog'liqni saqlashga asoslangan tavsiyalar bo'lib, ularni milliy qonunchilikdagi me'yoriy ko'rsatkichlar bilan aynan tenglashtirmaslik lozim.

Jahon bankining 2024-yilgi Toshkent havo sifati baholashida 2019-yil ma'lumotlari asosidagi modellashtirish natijalariga ko'ra, Toshkent shahrida aholi bo'yicha o'rtacha yillik PM2.5 konsentratsiyasi 38,8 µg/m³ deb baholangan. Bu WHO yillik yo'riqnomasining taxminan 7,8 baravariga teng [1]. Mazkur baholashda PM2.5 bilan bog'liq atmosfera ifloslanishi yiliga taxminan 3 042 ta muddatidan oldingi o'lim bilan va 488,4 mln AQSh dollari miqdoridagi iqtisodiy xarajat bilan bog'langan. Ushbu raqamlar bevosita 2024-yilda qayd etilgan o'limlar emas, balki model asosida hisoblangan sog'liq va iqtisodiy zarar baholaridir [1].

ADABIYOTLAR TAHLILI

PM2.5 va PM10 konsentratsiyalarini baholashda yer usti instrumental monitoringi asosiy ma'lumot manbalaridan biridir. Biroq monitoring stansiyalarining hududiy qamrovi cheklanganligi sababli masofadan zondlash ma'lumotlari fazoviy baholash imkoniyatlarini kengaytiradi. MODIS AOD qiymati yer usti PM2.5 konsentratsiyasining bevosita o'lchovi emas; AOD meteorologik va yer usti monitoring ma'lumotlari bilan birgalikda PM2.5 ni fazoviy baholashda predictor sifatida qo'llanishi mumkin [3].

Qora uglerod atmosferadagi yorug'likni kuchli yutuvchi uglerodli aerozol komponentidir. Uning konsentratsiyasi yonish manbalarini, jumladan transport va isitish jarayonlarini tavsiflashda qo'shimcha indikator sifatida foydali bo'lishi mumkin [4]. OT-21 filtrda to'plangan aerozolning optik zaiflashuvini o'lchash asosida qora uglerod miqdorini baholash uchun qo'llaniladigan optik transmissometrdir. Qurilmaning optik o'lchovlari filtr xususiyatlari, yuklanish effekti va kalibrlash shartlariga bog'liq bo'lishi mumkin [5].

OT-21 bo'yicha tadqiqotlarda optik va termik-optik usullar o'rtasidagi taqqoslashlar amalga oshirilgan. Shu bilan birga, optik usullar uchun mahalliy sharoitga mos kalibrlash va o'lchov noaniqliklarini hisobga olish zarur [6].

Atmosfera ifloslanishining sog'liq va iqtisodiy oqibatlarini baholashda konsentratsiya–javob funksiyalari keng qo'llanadi. Qora uglerod bo'yicha mavjud epidemiologik dalillar uni yonish bilan bog'liq zarrachalar uchun qo'shimcha indikator sifatida ko'rsatadi, biroq sog'liq yuklamasini umumiy baholashda PM2.5 asosiy ko'rsatkichlardan biri bo'lib qoladi [4].

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Taklif etilayotgan metodologiya yer usti monitoringi, OT-21 o'lchovlari, masofadan zondlash, meteorologik ma'lumotlar va GIS qatlamlarini yagona fazoviy-analitik tizimga birlashtirishga asoslanadi. Toshkent shahri 1×1 km kataklarga ajratilib, har bir katak uchun PM2.5, PM10 va BC konsentratsiyasi, meteorologik sharoitlar, aholi zichligi, transport infratuzilmasi, yer qoplami va yashil hududlar bo'yicha ma'lumotlar shakllantiriladi.

Atmosfera ifloslanishining fazoviy-taqsimot modeli umumiy holda quyidagicha ifodalanadi:

$$C = f(S, M, G, T)$$

bu yerda C — ifloslantiruvchi modda konsentratsiyasi; S — emissiya manbalari; M — meteorologik sharoitlar; G — geografik va yer qoplami omillari; T — transport va boshqa antropogen omillar.

Aholining ifloslantiruvchi moddalarga o'rtacha ta'sirini baholash uchun populyatsion og'irlikdagi ekspozitsiya quyidagicha aniqlanadi:

$$PWE = \Sigma(C_iP_i) / \Sigma P_i$$

bu yerda C_i — i-hududdagi ifloslantiruvchi modda konsentratsiyasi, P_i — ushbu hududdagi aholi soni.

Sog'liq oqibatlarini baholashda konsentratsiya–javob funksiyasining log-chiziqli ko'rinishidan foydalanish mumkin [7]:

$$\Delta Y = Y_0P[\exp(\beta(C - Ccf)) - 1]$$

bu yerda ΔY — qo‘shimcha sog‘liq oqibati; Y_0 — bazaviy hodisalar darajasi; P — ta’sir ostidagi aholi soni; β — konsentratsiya–javob koeffitsiyenti; C — baholanayotgan konsentratsiya; Ccf — qarshi-faktual konsentratsiya.

Umumiy ekologik-iqtisodiy zarar quyidagi tarkibiy qismlar yig‘indisi sifatida ifodalanadi:

EED = Dmort + Dmorb + Dprod + Denv

bu yerda Dmort — muddatidan oldingi o‘limlar bilan bog‘liq zarar; Dmorb — kasallanish bilan bog‘liq zarar; Dprod — mehnat unumdorligi va iqtisodiy faoliyatdagi yo‘qotishlar; Denv — ekologik zararlar. Hisoblashda bir xil zararlarni ikki marta hisoblashga yo‘l qo‘ymaslik zarur.

TAHLIL VA NATIJALAR

Jahon bankining Toshkent bo‘yicha baholashida aholi bo‘yicha o‘rtacha yillik PM2.5 konsentratsiyasi 38,8 μg/m³ deb baholangan [1]. Mazkur qiymat WHOning 5 μg/m³ yillik yo‘riqnomasidan sezilarli yuqori ekanligi shaharda PM2.5 ta’sirini kamaytirish choralarining dolzarbligini ko‘rsatadi [2].

World Bank tahliliga ko‘ra, Toshkentdagi PM2.5 ifloslanishining inson faoliyati bilan bog‘liq asosiy manbalari orasida isitish 28%, transport 16% va sanoat 13% ulush bilan qayd etilgan. Yoz oylarida shamol ko‘taradigan va transchegaraviy chang jarayonlari ham sezilarli hissa qo‘shadi [1]. Ushbu foizlarni umumiy yillik antropogen manbalar yig‘indisi sifatida emas, manbalarni ajratish modelining tegishli sharoitdagi baholari sifatida talqin qilish kerak.

Taklif etilayotgan yondashuvda qora uglerod bo‘yicha OT-21 ma’lumotlari PM2.5 bilan birgalikda tahlil qilinadi. Bunda BC ning hududiy va mavsumiy o‘zgaruvchanligi transport va yonish manbalarini tavsiflash uchun qo‘shimcha ma’lumot beradi. Shu bilan birga, OT-21 natijalarini referens yoki mustaqil kalibrlash ma’lumotlari bilan tekshirish metodik ishonchlilikni oshiradi [5; 6].

Masofadan zondlash ma’lumotlari monitoring stansiyalari orasidagi hududlar uchun fazoviy ma’lumotlarni to‘ldirishga xizmat qiladi. MODIS AOD ma’lumotlari PM2.5 ni baholashda yer usti o‘lchovlari va meteorologik omillar bilan birgalikda ishlatilishi lozim [3]. Sentinel-5P ma’lumotlari NO_2 kabi gazsimon ifloslantiruvchilarni, Landsat va Sentinel-2 ma’lumotlari esa yer qoplami, urbanizatsiya va yashil hududlarni tavsiflashda qo‘llanishi mumkin.

Aholining real ekspozitsiyasini aniqlash uchun konsentratsiya xaritalarini aholi zichligi bilan birlashtirish muhim. Bu yondashuv yuqori konsentratsiyali, ammo kam aholili hudud bilan nisbatan past konsentratsiyali, ammo aholi zich hududning sog‘liq yuklamasini farqlash imkonini beradi.

Iqtisodiy zararlarni baholashda muddatidan oldingi o‘lim, kasallanish, mehnat unumdorligi yo‘qotishlari va boshqa ekologik zarar komponentlarini alohida hisoblash tavsiya etiladi. O‘lim bilan bog‘liq iqtisodiy qiymatni aniqlashda xalqaro ko‘rsatkichlarni O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish, daromad darajasi va xarid qobiliyatini hisobga olish hamda sezgirlik tahlilini o‘tkazish maqsadga muvofiq. Turli zarar komponentlari o‘rtasida ikki marta hisoblashning oldini olish metodologiyaning muhim shartidir.

Mazkur metodologiyaning asosiy natijasi Toshkent shahri uchun «emissiya → konsentratsiya → ekspozitsiya → sog‘liq oqibatlari → iqtisodiy zarar» zanjiri bo‘yicha integrallashgan baholash tizimini shakllantirishdan iborat. Ushbu tizim transport emissiyalarini kamaytirish, isitish tizimlarini modernizatsiya qilish, changni boshqarish, yashil hududlarni rivojlantirish va monitoring tarmog‘ini takomillashtirish kabi choralarni ustuvorlashtirish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

XULOSA VA TAVSIYALAR

Toshkent shahrida atmosfera havosi ifloslanishining ekologik-iqtisodiy zararini baholashda PM2.5, PM10 va qora uglerod ko‘rsatkichlarini yagona monitoring va modellashtirish tizimida birlashtirish maqsadga muvofiq. Yer usti monitoringi, OT-21, masofadan zondlash, meteorologik ma’lumotlar, GIS va aholi zichligini integratsiyalash ifloslanishning hududiy hamda mavsumiy o‘zgaruvchanligini aniqroq tavsiflash imkonini beradi.

World Bank tomonidan Toshkent uchun baholangan 38,8 μg/m³ yillik aholi bo‘yicha o‘rtacha PM2.5 konsentratsiyasi va unga bog‘liq sog‘liq-iqtisodiy yuklama shaharda havo sifati masalasining dolzarbligini ko‘rsatadi [1]. Shu bilan birga, mazkur qiymatlar model asosidagi baholar ekanligi hisobga olinishi kerak.

Kelgusida mahalliy konsentratsiya–javob koeffitsiyentlarini takomillashtirish, OT-21 o‘lchovlarini referens usullar bilan kalibrlash, yuqori aniqlikdagi fazoviy ma’lumotlar bazasini yaratish va iqtisodiy baholash parametrlarini milliy sharoitga moslashtirish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] World Bank. Air Quality Assessment for Tashkent and the Roadmap for Air Quality Management Improvement in Uzbekistan. Washington, DC: World Bank, 2024.
[2] World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva: WHO, 2021.
[3] Zhu X., et al. Research progress, challenges, and prospects of PM2.5 concentration estimation using satellite data. Environmental Reviews. 2023. DOI: 10.1139/er-2022-0125.
[4] World Health Organization; United Nations Economic Commission for Europe. Health effects of black carbon. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2012.
[5] Sreekanth V., et al. Influence of reference filter characteristics on attenuation and black carbon estimates using filter-based optical methods. Journal of Aerosol Science. 2019. Vol. 131. P. 41–47. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2019.03.001.
[6] Ahmed T., et al. Comparison of optical and thermal-optical methods for the determination of carbonaceous aerosol. Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43(40). P. 6305–6311. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.09.031.
[7] U.S. Environmental Protection Agency. BenMAP-CE: Environmental Benefits Mapping and Analysis Program. Health impact assessment methodology.