Vol. 1, Issue 1

UDK 504.064:614.71:629.3.018

DIZEL AVTOMOBILLARI EMISSIYASINING AHOLI SALOMATLIGIGA XAVFINI MIQDORIY BAHOLASH ($PM_{2.5}$ VA NO_X MISOLIDA)

Kodirov Islomjon Yunusjon o‘g‘li[1]
[1]Shinhan universiteti magistranti, Janubiy Korea
E-mail: Islomkodir877@gmail.com

Annotatsiya. Tezisda dizel avtomobillari chiqaradigan mayda dispers zarrachalar (PM2.5) va azot oksidlari (NOx/NO_2) ta’sirida aholi salomatligiga yetadigan xavfni miqdoriy baholash metodikasi taklif etilgan. JSST konsentratsiya–javob funksiyalari, manbalar ulushi va Monte-Karlo usuliga asoslangan hisoblash Toshkent shahri ssenariysida qo‘llanildi. Bazaviy holatda dizel transportiga tegishli PM2.5 bilan bog‘liq qo‘shimcha o‘limlar yiliga 342 (95 % oraliq 228–483), NO_2 bilan bog‘liqlari esa 406 (102–752) holatni tashkil etishi ko‘rsatildi. Avtoparkni yangilash va sun’iy intellekt asosida yuqori emissiyali avtomobillarni aniqlash birgalikda PM2.5 bilan bog‘liq xavfni 86 % gacha kamaytirishi mumkin.

Kalit so‘zlar: dizel emissiyasi, PM2.5, NO2, salomatlikka ta’sir, nisbiy xavf, qo‘shimcha o‘lim, Monte-Karlo, sun’iy intellekt.

Аннотация. В статье предложена методика количественной оценки риска для здоровья населения от мелкодисперсных частиц (PM2.5) и оксидов азота (NOx/NO_2), выбрасываемых дизельными автомобилями. Расчёт на основе функций «концентрация–ответ» ВОЗ, долей источников и метода Монте-Карло применён к сценарию города Ташкента. В базовом сценарии дополнительная смертность, связанная с дизельной долей PM2.5, составляет 342 (95 % интервал 228–483), а с NO_2 — 406 (102–752) случаев в год. Обновление автопарка совместно с выявлением высокоэмиссионных автомобилей средствами искусственного интеллекта может снизить риск, связанный с PM2.5, до 86 %.

Ключевые слова: дизельные выбросы, PM2.5, NO2, воздействие на здоровье, относительный риск, дополнительная смертность, Монте-Карло, искусственный интеллект.

Abstract. The paper proposes a method for quantifying the population health risk from fine particulate matter (PM2.5) and nitrogen oxides (NOx/NO_2) emitted by diesel vehicles. A calculation based on WHO concentration–response functions, source shares and Monte Carlo simulation was applied to a Tashkent city scenario. In the baseline scenario, excess mortality attributable to the diesel share of PM2.5 is 342 (95 % interval 228–483) and to NO_2 406 (102–752) cases per year. Fleet renewal combined with AI-based detection of high-emitting vehicles could reduce the PM2.5-related risk by up to 86 %.

Keywords: diesel emissions, PM2.5, NO2, health impact, relative risk, attributable mortality, Monte Carlo, artificial intelligence.

1. Kirish

Atmosfera havosining ifloslanishi bugungi kunda jamoat salomatligi uchun eng muhim ekologik xavf omili hisoblanadi. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (JSST) 2021 yilda PM2.5 uchun yillik o‘rtacha me’yorni 5 µg/m³ gacha, NO_2 uchun esa 10 µg/m³ gacha pasaytirdi [1]. Ushbu me’yorlar ortidagi meta-tahlillar PM2.5 konsentratsiyasi har 10 µg/m³ ga oshganda umumiy o‘lim xavfi 8 % ga [2], NO_2 uchun esa 2 % ga [3] ortishini ko‘rsatadi.

Dizel avtomobillari bu ikki ifloslantiruvchining muhim manbai hisoblanadi. Anenberg va hammualliflar 11 ta yirik avtomobil bozorida me’yordan ortiq dizel NOx emissiyasi 2015 yilda qariyb 38 ming erta o‘limga sabab bo‘lganini baholagan [4]; Yevropa uchun ham shunga o‘xshash natijalar olingan [5, 6]. Hatto WLTC sikli bo‘yicha sinovlarda ham Euro 6 dizel avtomobillarining NO_x emissiyasi me’yordan 2,3–6 barobar yuqori bo‘lgani qayd etilgan [7], real harakat sharoitida esa bu farq yanada ortadi.

Toshkent shahrida 2024 yilda PM2.5 ning yillik o‘rtacha konsentratsiyasi 31,5 µg/m³ ni tashkil etib, JSST me’yoridan 6,3 barobar yuqori bo‘lgan [8]. Jahon banki baholashiga ko‘ra, shahar PM2.5 ifloslanishining taxminan 16 % i transportga to‘g‘ri keladi [9]. Biroq dizel transporti hissasining salomatlikka ta’siri mahalliy sharoitda miqdoriy baholanmagan. Tadqiqot maqsadi – dizel emissiyasining aholi salomatligiga xavfini $PM_{2.5}$ va NO_2 misolida miqdoriy baholash hamda emissiyani kamaytirish ssenariylarining samarasini aniqlash.

2. Metodlar

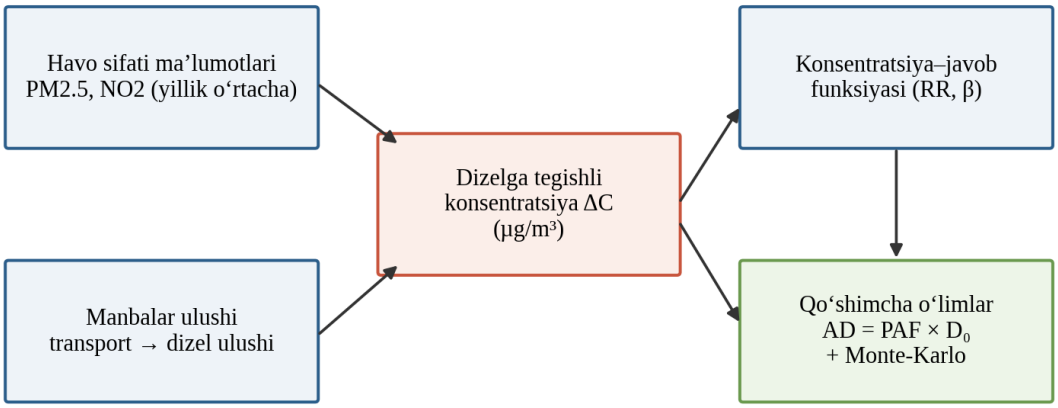
Tadqiqotda JSST tomonidan tavsiya etilgan salomatlikka ta’sirni baholash (HIA) yondashuvi qo‘llanildi (1-rasm). Dastlab ifloslantiruvchining umumiy konsentratsiyasidan dizel transportiga tegishli qismi ajratildi:

$$\Delta C = C \cdot s_{tr} \cdot s_{dz} \quad (1)$$

bu yerda C – yillik o‘rtacha konsentratsiya, µg/m³; s_{tr} – transportning manbalar tarkibidagi ulushi; s_{dz} – transport ichida dizel avtomobillari ulushi. Keyin log-chiziqli konsentratsiya–javob funksiyasi asosida populyatsion atributiv ulush (PAF) va qo‘shimcha o‘limlar soni (AD) hisoblandi:

$$PAF = 1 - exp(-\beta \cdot \Delta C),\ \beta = ln(RR)/10,\ AD = PAF \cdot D0, \quad (2)$$

bu yerda RR – 10 $\mu g/m^3$ ga nisbiy xavf; D_0 – bazaviy yillik o‘limlar soni. Kirish parametrlari 1-jadvalda keltirilgan. Noaniqlikni hisobga olish uchun barcha parametrlar taqsimot sifatida berilib, 20 000 iteratsiyali Monte-Karlo modellashtirish bajarildi; RR uchun log-normal, qolganlari uchun uchburchak taqsimot qabul qilindi.



1-rasm. Dizel emissiyasining salomatlikka ta'sirini baholash sxemasi

Emissiyani kamaytirish bo'yicha to'rtta ssenariy ko'rib chiqildi: S1 – dizel zarracha filtrlarini (DPF) o'rnatish (PM ulushi 80 % ga kamayadi); S2 – avtoparkni Euro 5/6 darajasiga yangilash (PM 80 %, NOx 45 % ga kamayadi, chunki Euro 6 dizel avtomobillarida ham NOx yuqoriligicha qolmoqda [7]); S3 – remote-OBD ma'lumotlari asosida sun'iy intellekt (SI) yordamida yuqori emissiyali avtomobillarni aniqlash va ta'mirlash (30 % ga kamayish).

1-jadval

Modelning kirish parametrlari

Parametr	Qiymat (diapazon)	Manba / asos
PM2.5, yillik o'rtacha, μg/m³	31,5 (26–37)	[8]
NO_2, yillik o'rtacha, μg/m³	40 (30–50)	ssenariy qiymati*
Transport ulushi: PM2.5 / NO_2	0,16 (0,12–0,20) / 0,50 (0,40–0,60)	[9] / ssenariy*
Dizel ulushi: PM2.5 / NOx	0,60 (0,45–0,75) / 0,70 (0,60–0,80)	ssenariy*
RR (PM2.5), 10 μg/m³ ga	1,08 (1,06–1,09)	[2]
RR (NO_2), 10 μg/m³ ga	1,02 (1,01–1,04)	[3]
Aholi soni / o'lim koeffitsienti	3,1 mln / 4,8 ‰ (4,3–5,3)	ssenariy*

* Ushbu qiymatlar monitoring ma'lumotlari va rasmiy statistika bilan aniqlashtirilishi lozim.

Bu taxmin emissiyaning kichik guruh avtomobillarda to'planishi [10] va SI modellari nosoz SCR tizimlarini aniqlay olishiga [11] asoslanadi; S4 – S2 va S3 ning birgalikdagi ta'siri.

3. Natijalar

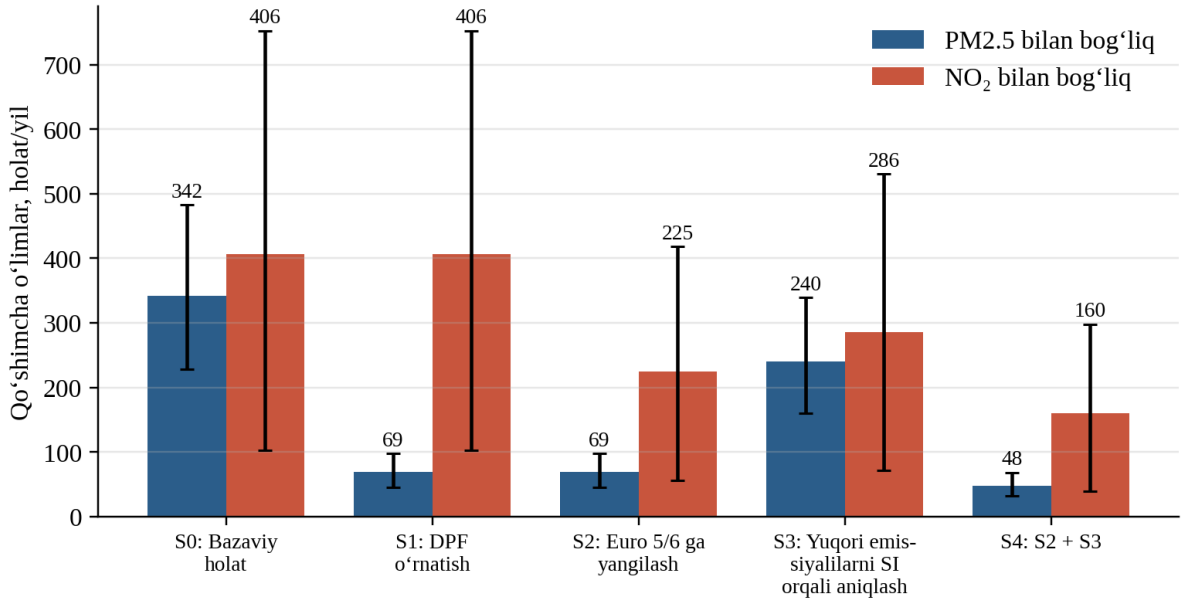
Bazaviy holatda dizel transportiga tegishli PM2.5 konsentratsiyasi 3,02 μg/m³, NO_2 esa 14,0 μg/m³ ni tashkil etdi. Tegishli PAF qiymatlari 2,30 % va 2,73 % ga teng bo'lib, yillik 14 880 bazaviy o'limdan PM2.5 bilan bog'liq 342 ta va NO_2 bilan bog'liq 406 ta qo'shimcha o'lim dizel emissiyasiga to'g'ri keladi.

2-jadval

Ssenariylar bo‘yicha qo‘shimcha o‘limlar (Monte-Karlo, o‘rtacha va 95 % oraliq)

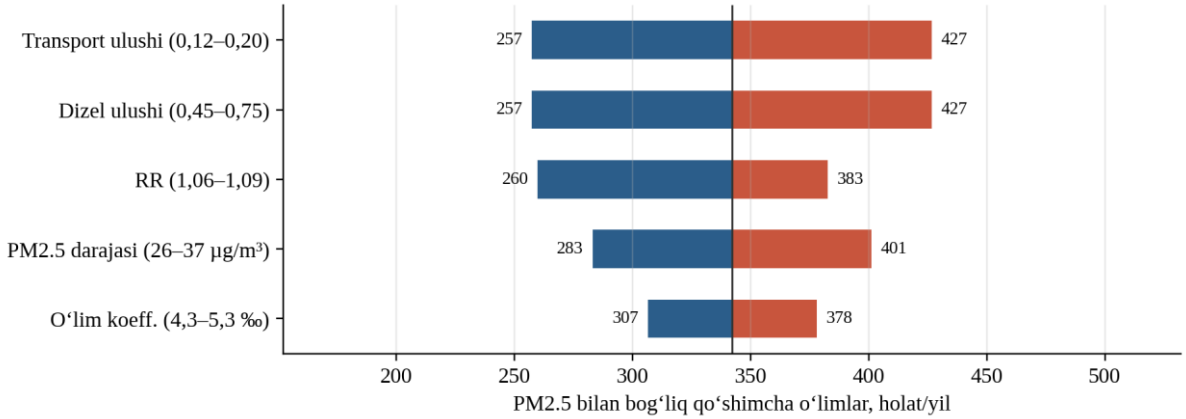
Ssenariy	ΔC PM2.5, μg/m³	AD (PM2.5)	ΔC NO_2, μg/m³	AD (NO_2)
S0 – bazaviy holat	3,02	342 (228–483)	14,0	406 (102–752)
S1 – DPF o‘rnatish	0,60	69 (46–98)	14,0	406 (102–752)
S2 – Euro 5/6 ga yangilash	0,60	69 (46–98)	7,7	225 (56–418)
S3 – SI orqali skrining	2,12	240 (160–339)	9,8	286 (72–531)
S4 – S2 + S3	0,42	48 (32–69)	5,5	160 (40–298)

Bu 100 ming aholiga mos ravishda 11,0 va 13,1 holatni anglatadi. Ssenariylar natijalari 2-jadval va 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Emissiyani kamaytirish ssenariylari bo‘yicha qo‘shimcha o‘limlar (xato chiziqlari – 95 % oraliq)

Sezgirlik tahlili (3-rasm) natijalarga eng ko‘p ta’sir etuvchi omillar dizel va transport ulushlari ekanini ko‘rsatdi: ularning diapazon chegaralarida PM2.5 bilan bog‘liq o‘limlar 257 dan 427 gacha o‘zgaradi. Nisbiy xavf koeffitsienti va PM2.5 darajasining ta’siri nisbatan kichikroq.



3-rasm. PM2.5 bilan bog‘liq qo‘shimcha o‘limlarning parametrlarga sezgirligi

4. Muhokama

Olingan natijalar dizel emissiyasi Toshkent sharoitida sezilarli salomatlik yuki yaratishini ko‘rsatadi. NO_2 bilan bog‘liq baho kengroq noaniqlik oralig‘iga ega, bu RR qiymatining keng ishonch oralig‘i va NO_2 monitoringi bo‘yicha ma’lumotlar yetishmasligi bilan izohlanadi. PM2.5 va NO_2 ta’sirlari qisman ustma-ust tushadi, shuning uchun ularning yig‘indisi (748 holat) yuqori chegara sifatida talqin qilinishi kerak [1, 6].

Ssenariylar tahlili shuni ko‘rsatadiki, faqat DPF o‘rnatish PM2.5 bilan bog‘liq xavfni 80 % ga kamaytirsa-da, NO_2 xavfiga ta’sir qilmaydi. S3 ssenariysi kapital xarajat talab qilmasdan ikkala ifloslantiruvchi bo‘yicha xavfni 30 % ga pasaytiradi, bu SI asosidagi monitoringning iqtisodiy jihatdan samarali vosita ekanini tasdiqlaydi [10, 11]. Eng yuqori samaraga texnik yangilash va intellektual nazorat birgalikda qo‘llanganda (S4) erishiladi. Sezgirlik tahlili esa mahalliy manbalar ulushini aniqlashtirish, xususan, real harakat sharoitida dizel emissiyasini o‘lchash ustuvor ilmiy vazifa ekanini ko‘rsatadi.

Tadqiqot cheklovlari: manbalar ulushi va NO_2 darajasi ssenariy qiymatlari sifatida olingan; yosh tarkibi va sabablar bo‘yicha o‘lim hisobga olinmagan; kasallanish (astma, yurak-qon tomir kasalliklari) baholanmagan [12].

5. Xulosa

Taklif etilgan metodika dizel transporti chiqindilarining aholi salomatligiga ta’sirini PM2.5 va NO_2 bo‘yicha mavjud noaniqliklarni hisobga olgan holda miqdoriy baholash imkonini beradi. Toshkent shahri uchun ishlab chiqilgan ssenariyga ko‘ra, dizel transporti bilan bog‘liq qo‘shimcha o‘limlar yiliga PM2.5 ta’siri bo‘yicha 342 ta, NO_2 ta’siri bo‘yicha esa 406 ta holat deb baholandi.

Avtoparkni yangilash hamda sun’iy intellekt yordamida yuqori emissiyali avtomobillarni aniqlash choralarini birgalikda qo‘llash PM2.5 bilan bog‘liq xavfni 86 foizga, NO_2 bilan bog‘liq xavfni esa 61 foizga kamaytirishi mumkin. Natijalarning aniqligini oshirish uchun kelgusida transport vositalari emissiyasini real harakat

sharoitida PEMS va OBD texnologiyalari orqali o‘lchash, shuningdek, ifloslantiruvchi moddalar manbalarini ajratib baholashga qaratilgan tadqiqotlarni o‘tkazish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. – Geneva: World Health Organization, 2021. – 273 p.
2. Chen J., Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis // Environment International. – 2020. – Vol. 143. – Art. 105974. – DOI: 10.1016/j.envint.2020.105974.
3. Huangfu P., Atkinson R. Long-term exposure to NO2 and O3 and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and meta-analysis // Environment International. – 2020. – Vol. 144. – Art. 105998. – DOI: 10.1016/j.envint.2020.105998.
4. Anenberg S.C., Miller J., Minjares R. et al. Impacts and mitigation of excess diesel-related NOx emissions in 11 major vehicle markets // Nature. – 2017. – Vol. 545. – P. 467–471. – DOI: 10.1038/nature22086.
5. Jonson J.E., Borken-Kleefeld J., Simpson D. et al. Impact of excess NOx emissions from diesel cars on air quality, public health and eutrophication in Europe // Environmental Research Letters. – 2017. – Vol. 12. – Art. 094017.
6. Khomenko S., Cirach M., Pereira-Barboza E. et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment // The Lancet Planetary Health. – 2021. – Vol. 5, No. 3. – P. e121–e134.
7. Suarez-Bertoa R., Astorga C. Impact of cold temperature on Euro 6 passenger car emissions // Environmental Pollution. – 2018. – Vol. 234. – P. 318–329. – DOI: 10.1016/j.envpol.2017.10.096.
8. IQAir. Tashkent among the most polluted cities in the world [Elektron resurs]. – 2025. – URL: https://www.iqair.com/newsroom (murojaat sanasi: 29.09.2026).
9. World Bank. Air Quality Assessment for Tashkent and the Roadmap for Air Quality Management Improvement in Uzbekistan. – Washington, DC: World Bank, 2024.
10. Böhm M., Nanni M., Pappalardo L. Gross polluters and vehicle emissions reduction // Nature Sustainability. – 2022. – Vol. 5. – P. 699–707. – DOI: 10.1038/s41893-022-00903-x.
11. Ge Y., Hou P., Lyu T. et al. Machine learning-aided remote monitoring of NOx emissions from heavy-duty diesel vehicles based on OBD data streams // Atmosphere. – 2023. – Vol. 14, No. 4. – Art. 651. – DOI: 10.3390/atmos14040651.
12. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019 // The Lancet. – 2020. – Vol. 396, No. 10258. – P. 1223–1249.