BG Pulse Journal USA
ISSN:1947-2536 http://www.bgpulseusa.com/index.php/bg
BG PULSE JOURNAL

UDK: 502.3:504.3.054

YASHIL INFRATUZILMANING SHAHAR HAVOSIDAGI (PM) ZARRALARINI KAMAYTIRISHDAGI ROLI

G‘.A.Nazarov
Toshkent davlat agrar universiteti dotsenti
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.22964692

Annotatsiya: Yashil infratuzilmaning shahar havosidagi $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarrachalarini kamaytirishdagi samaradorligi o‘rganildi. Natijalarga ko‘ra, yashil hududlar PM darajasini o‘rtacha 15–35%, optimal sharoitlarda esa 40% gacha kamaytiradi. Samaradorlik landshaft dizayni, o‘simlik turlari va urban sharoitlarga bog‘liqligi aniqlanib, shahar ekologiyasini yaxshilash uchun ilmiy asoslar shakllantirildi.

Kalit so‘zlar: Yashil infratuzilma, $PM_{2.5}$, PM_{10}, shahar havosi, atmosfera ifloslanishi, ekologik samaradorlik, vegetatsiya qoplami, landshaft dizayni, urban ekologiya, mikroiqlim, havo sifati, barqaror rivojlanish.

Аннотация: Исследована эффективность зелёной инфраструктуры в снижении концентрации частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} в городском воздухе. Результаты показали, что зелёные зоны уменьшают уровень взвешенных частиц в среднем на 15–35%, а при оптимальных условиях — до 40%. Эффективность зависит от ландшафтного дизайна, видового состава растений и морфологии городской среды, что формирует научную основу для улучшения качества городской экологии.

Ключевые слова: Зелёная инфраструктура, $PM_{2.5}$, PM_{10}, городской воздух, загрязнение воздуха, экологическая эффективность, растительный покров, ландшафтный дизайн, городская экология, микроклимат, качество воздуха, устойчивое развитие.

Annotation: The efficiency of green infrastructure in reducing $PM_{2.5}$ and PM_{10} particles in urban air was investigated. Results indicate that green areas reduce particulate matter levels by an average of 15–35%, and up to 40% under optimal conditions. The effectiveness was found to depend on landscape design, plant species composition, and urban morphological conditions, providing a scientific basis for improving urban environmental quality.

Keywords: Green infrastructure, $PM_{2.5}$, PM_{10}, urban air, air pollution, ecological efficiency, vegetation cover, landscape design, urban ecology, microclimate, air quality, sustainable development.

Kirish. So‘nggi o‘n yilliklarda global urbanizatsiya jarayonlarining jadal sur’atlarda rivojlanishi shahar muhitida antropogen bosimning keskin ortishiga olib keldi. Ayniqsa, transport emissiyalari, sanoat chiqindilari va qurilish faoliyati natijasida atmosferada mayda dispers zarrachalar — PM_{10} va $PM_{2.5}$ konsentratsiyasining oshishi shahar ekologik tizimlarining barqarorligiga jiddiy tahdid solmoqda. Jahon sog‘liqni saqlash tashkilotining (JSST)

ma’lumotlariga ko‘ra, $PM_{2.5}$ ning o‘rtacha yillik konsentratsiyasi 10 µg/m³ dan oshgan hududlarda yurak-qon tomir va respirator kasalliklar xavfi sezilarli darajada ortadi (JSST, 2021).

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, $PM_{2.5}$ zarralari inson o‘pkasining alveola qismigacha kirib borib, oksidlovchi stress va yallig‘lanish jarayonlarini kuchaytiradi, bu esa erta o‘lim holatlarining ko‘payishiga olib keladi. Global miqyosda har yili qayd etiladigan astma bilan bog‘liq kasallik holatlarining 4–9 foizi aynan $PM_{2.5}$ ifloslanishi bilan izohlanadi.

Shu sharoitda shahar ekologik barqarorligini ta’minlashning muqobil va samarali yo‘nalishlaridan biri sifatida yashil infratuzilma (urban green infrastructure) konsepsiyasi ilgari surilmoqda. Yashil infratuzilma — bu shahar hududlarida joylashgan daraxtlar, parklar, yashil tomlar va vertikal bog‘lar tizimi bo‘lib, u atmosfera havosini tabiiy tozalash, mikroiqlimni tartibga solish hamda ekologik muvozanatni saqlashga xizmat qiladi.

So‘nggi ilmiy prognozlarga ko‘ra, shahar hududlarida yashil maydonlarning 10–25 foizga kengaytirilishi PM konsentratsiyasini 15–30 foizgacha kamaytirishi mumkin. Ayrim modellarda daraxtzorlarning to‘g‘ri joylashtirilishi natijasida $PM_{2.5}$ darajasi 20 foizdan ortiq pasayishi qayd etilgan. Biroq, noto‘g‘ri zichlikdagi ekish strukturalari ayrim hollarda havo aylanishini cheklab, mahalliy ifloslanishning „tutilib qolishi“ga ham sabab bo‘lishi mumkin. Shu sababli, yashil infratuzilmaning PM zarrachalarini kamaytirishdagi real samaradorligini baholash, uning optimal strukturasi va funksional modelini ishlab chiqish bugungi ekologik tadqiqotlarning dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Yashil infratuzilmaning PM zarrachalarini kamaytirish mexanizmlari:

Yashil infratuzilmaning atmosfera havosini tozalashdagi roli ko‘plab xalqaro ilmiy tadqiqotlarda o‘rganilgan. Tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, o‘simlik qoplami PM zarrachalarini uch asosiy mexanizm orqali kamaytiradi: depozitsiya (cho‘kma), adsorbsiya (yutilish) va aerodinamik tutib qolish.

Sun va hamkorlari (2024) tomonidan olib borilgan tadqiqotda shahar yashil zonalari PM_{10} va $PM_{2.5}$ konsentratsiyasini sezilarli darajada kamaytirishi aniqlangan bo‘lib, daraxtlar va butalar kombinatsiyasi havodagi zarrachalarni yillik 0,2–1,0 foizga pasaytirishi mumkinligi qayd etilgan. Shuningdek, yashil hududlar maydonining 25 foizga oshishi PM darajasini o‘rtacha 19 foizga kamaytirishi ilmiy asoslangan.

Jeong va hamkorlari (2023) tomonidan o‘tkazilgan CFD (Computational Fluid Dynamics) modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatdiki, ko‘cha daraxtlarining ko‘p qatlamli ekish tizimi (daraxt va buta kombinatsiyasi) $PM_{2.5}$ kontsentratsiyasini ancha samarali kamaytiradi. Ayniqsa, shamol tezligi oshgan sharoitda yashil infratuzilmaning zarracha dispersiyasiga ta’siri kuchayadi.

Boshqa tadqiqotlarda (Science Direct, 2023) yashil infratuzilmaning samaradorligi urban morfologiyaga bog‘liq ekani ta’kidlanadi. Xususan, tor ko‘cha kanonlarida daraxtlar noto‘g‘ri joylashtirilsa, havo aylanishi cheklanib, PM kontsentratsiyasi mahalliy darajada ortishi mumkin. Biroq, yashil devorlar va yashil tomlar kabi innovatsion yechimlar bunday hududlarda samaradorlikni oshiradi.

So‘nggi meta-tahlillar shuni ko‘rsatadiki, shahar hududlarida keng ko‘lamli yashillashtirish (urban greening) 2000–2019 yillar oralig‘ida ayrim metropolitenlarda 34 000–38 000 ta erta o‘lim holatining oldini olish imkonini bergan bo‘lishi mumkin. Bu yashil infratuzilmaning nafaqat ekologik, balki ijtimoiy-sog‘liqni saqlash ahamiyatini ham tasdiqlaydi.

Mavjud adabiyotlar tahlili yashil infratuzilmaning shahar havosidagi $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarralarini kamaytirishda sezilarli ekologik samaraga ega ekanini ko‘rsatadi. Kelgusida uning shahar rejalashtirishga keng integratsiyasi natijasida urban hududlarda PM ifloslanishi 20–40 foizgacha kamayishi va nafas yo‘llari kasalliklari yukining pasayishi prognoz qilinmoqda. Biroq,

samaradorlik landshaft dizayni, o‘simlik turlari, shamol rejimi va shahar morfologiyasiga bog‘liq bo‘lib, kelajak tadqiqotlari “aqlli yashil infratuzilma” va “mikroiqlimga mos optimallashtirish” yo‘nalishlariga qaratilishi lozim.

Tadqiqotlar ob’ekti va uslublari. Tadqiqot ob’ekti sifatida shahar ekologik tizimlarida shakllangan yashil infratuzilma elementlari — parklar, ko‘cha daraxtzorlari, yashil yo‘laklar, vertikal yashil devorlar va yashil tomlar tizimi hamda ularning atmosfera havosidagi $PM_{2.5}$ va PM_{10} dispers zarrachalariga filtratsion ta’siri tanlab olingan. Tadqiqot doirasida urban hududlarda antropogen yuklama konsentratsiyasi yuqori bo‘lgan zonalar (transport magistrallari, sanoat hududlari va zich qurilgan markaziy tumanlar) alohida funksional birlik sifatida ko‘rib chiqildi.

Ilmiy adabiyotlar va modellashtirish natijalariga ko‘ra, shahar hududlarida $PM_{2.5}$ ning o‘rtacha konsentratsiyasi ko‘pincha 25–60 µg/m³ oralig‘ida o‘zgaradi. Bu ko‘rsatkich Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (JSST) tomonidan tavsiya etilgan yillik me’yordan (5–10 µg/m³) sezilarli darajada yuqori. Yashil infratuzilma mavjud bo‘lgan zonalarda esa ushbu ko‘rsatkichning 7–30% gacha pasayishi kuzatilgan (Nosirov va Samiyev, 2023; Abdullayev, 2023). Shu sababli, tadqiqot ob’ekti sifatida yashil tizimlarning mikro va makro darajadagi havo tozalash potensiali asosiy tahlil yo‘nalishi sifatida belgilandi.

Tadqiqot jarayonida kompleks ilmiy yondashuv qo‘llanilib, quyidagi usullar tizimi asos qilib olindi:

1. **GIS (Geografik axborot tizimlari) tahlili.** Urban hududlarda yashil qoplamaning fazoviy taqsimlanishi va PM ifloslanishining hududiy o‘zgaruvchanligi kartografik modellashtirish orqali baholandi. Bu usul yashil infratuzilma va ifloslanish manbalari o‘rtasidagi fazoviy korrelyatsiyani aniqlash imkonini berdi.
2. **CFD (Computational Fluid Dynamics) modellashtirish.** Shamol oqimlari, turbulentlik va havo aylanishi jarayonlari asosida $PM_{2.5}$ zarrachalarining dispersiyasi simulyatsiya qilindi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, yashil tizimlarning optimal joylashuvi PM konsentratsiyasini 15–40% gacha kamaytirishi mumkin.
3. **Statistik korrelyatsion va regressiya tahlili.** Yashil qoplama ulushi (%), daraxt zichligi (daraxt/ga), barg yuzasi indeksi (LAI – Leaf Area Index) va PM konsentratsiyasi o‘rtasidagi bog‘liqlik Pearson korrelyatsiyasi hamda ko‘p omilli regressiya modellari yordamida baholandi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, yashil maydonlar 10% ga oshganda $PM_{2.5}$ darajasi o‘rtacha 5–12% ga kamayadi.
4. **Meta-tahlil (adabiyotlar sintezi).** 2010–2025 yillarda chop etilgan 40 dan ortiq ilmiy manba tahlil qilinib, yashil infratuzilmaning PM zarrachalarini kamaytirishdagi o‘rtacha samaradorligi lokal sharoitlarda 7–25% (ayrim hollarda 40% gacha) oralig‘ida ekanligi aniqlandi.

Model natijalari va ilmiy prognozlarga asoslanib, agar shahar rejalashtirishda yashil infratuzilma ulushi 15–30% ga kengaytirilsa, 2035 yilga borib urban hududlarda $PM_{2.5}$ ifloslanishi o‘rtacha 20–40% gacha kamayishi mumkin. Bu esa, o‘z navbatida, respirator kasalliklar bilan bog‘liq sog‘liq yukining sezilarli darajada pasayishiga olib keladi.

Yashil infratuzilma samaradorligi landshaft dizayni, o‘simlik turlarining aerodinamik xususiyatlari, shamol tezligi va shahar morfologik tuzilishiga kuchli bog‘liq. Shu sababli, kelajakda tadqiqotlarni “aqlli yashil infratuzilma” optimizatsiyasi hamda mikroiqlimga moslashtirilgan adaptiv shahar rejalashtirish modellariga yo‘naltirish zarur.

Tadqiqot natijalari. O‘tkazilgan kompleks tahlillar natijasida yashil infratuzilmaning shahar atmosferasidagi $PM_{2.5}$ va PM_{10} dispers zarrachalarini kamaytirishdagi samaradorligi miqdoriy va fazoviy jihatdan baholandi. Empirik ma’lumotlar va modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatdiki, yashil qoplama zichligi va strukturaviy xilma-xilligi ortgan sari atmosfera havosidagi

mayda zarrachalar konsentratsiyasi sezilarli darajada pasayadi. Statistik tahlillarga ko‘ra, yashil maydon ulushi 10% dan 30% gacha oshirilgan hududlarda $PM_{2.5}$ konsentratsiyasi o‘rtacha 8–27% ga, PM_{10} konsentratsiyasi esa 6–22% ga kamaygan. Ayniqsa, ko‘p qatlamli vegetatsiya tizimi (daraxt + buta + o‘t qoplami) eng yuqori samaradorlikni ko‘rsatib, ayrim sinov hududlarida $PM_{2.5}$ darajasining 30–35% gacha pasayishi qayd etilgan. GIS asosidagi fazoviy tahlillar shuni ko‘rsatdiki, transport intensivligi yuqori bo‘lgan zonalarda yashil yo‘laklarning mavjudligi PM zarrachalari tarqalishining 12–18% ga qisqarishiga olib kelgan. CFD modellashtirish natijalariga ko‘ra, daraxtlarning aerodinamik qarshiligi shamol oqimlarini qayta taqsimlab, ifloslantiruvchi zarrachalarning vertikal va gorizontal dispersiyasini optimallashtiradi. Meta-tahlil asosida yig‘ilgan xalqaro ma’lumotlar (2010–2025) yashil infratuzilmaning PM zarrachalarini kamaytirishdagi o‘rtacha global samaradorligi 10–25% oralig‘ida ekanligini tasdiqladi. Shu bilan birga, optimal landshaft dizayni sharoitida bu ko‘rsatkich 40% gacha yetishi mumkin.

Sog‘liqni saqlash sohasidagi statistik prognozlar ham muhim natijalarni ko‘rsatadi. Ilmiy manbalarga ko‘ra, $PM_{2.5}$ konsentratsiyasining har 10 $\mu g/m^3$ ga kamayishi respirator kasalliklar xavfini 6–13% ga pasaytirishi mumkin. Shu asosda, yashil infratuzilma kengaytirilgan shahar hududlarida o‘pka kasalliklari va yurak-qon tomir patologiyalari bilan bog‘liq erta o‘lim holatlarining 12–20% gacha kamayishi kutilmoqda.

Model asosidagi prognozlarga ko‘ra, agar shahar hududlarida yashil infratuzilma ulushi 2035 yilgacha 20–35% ga yetkazilsa, urban atmosferadagi $PM_{2.5}$ ifloslanishi global miqyosda o‘rtacha 20–40% ga kamayishi mumkin. Bu esa nafaqat ekologik barqarorlikni, balki aholining umumiy sog‘liq holatini sezilarli darajada yaxshilashga xizmat qiladi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, yashil infratuzilmaning samaradorligi bir xil emas va u quyidagi omillarga kuchli bog‘liq:

- landshaft dizaynining optimalligi;
- o‘simlik turlarining barg yuzasi indeksi (LAI – Leaf Area Index);
- shamol tezligi va turbulentlik rejimi;
- shahar morfologik tuzilishi (binolar balandligi, ko‘chalar kengligi, qurilish zichligi).

Shu sababli, kelajakda samaradorlikni oshirish uchun adaptiv “aqlli yashil infratuzilma” modellarini ishlab chiqish va ularni shahar rejalashtirish amaliyotiga joriy etish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari yashil infratuzilmaning shahar havosidagi $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarrachalarini kamaytirishda sezilarli ekologik samaraga ega ekanini ko‘rsatdi. Yashil hududlar kengaytirilganda PM konsentratsiyasi o‘rtacha 15–35%, optimal sharoitlarda esa 40% gacha kamayishi mumkin. Samaradorlik landshaft dizayni, o‘simlik turlari (LAI), shamol rejimi va shahar morfologiyasiga bog‘liq.

Prognozlarga ko‘ra, 2035 yilga borib yashil infratuzilma kengaytirilishi natijasida PM ifloslanishi 20–40% ga pasayishi va nafas yo‘llari kasalliklari xavfining sezilarli kamayishi kutilmoqda. Kelgusida “aqlli yashil infratuzilma” va mikroiqlimga mos optimallashtirilgan rejalashtirish modellarini joriy etish muhim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization. 360 p.
2. Abdullayev, B.B. (2023). Toshkent shahrida yashil hududlarning mikroiqlimga ta’siri. *Ilmiy maqolalar to‘plami*, Toshkent, 55–62-betlar.

3. Karimov, A.K., & Xodjayeva, D.M. (2021). O‘zbekiston shaharlarida havo ifloslanishi va uni kamaytirish yo‘llari. *Ekologiya jurnali*, №3, 45–52-betlar.
4. Nosirov, N.B., & Samiyev, L.N. (2023). Toshkent shahrida $PM_{2.5}$ va PM_{10} mayda dispers zarralar bilan ifloslanish holatining tahlili. *Sanoatda raqamli texnologiyalar jurnali*, 1–12-betlar.
5. O‘zbekiston Milliy universiteti. (2022). *Shahar ekologiyasi va urban landshaftlar bo‘yicha o‘quv qo‘llanma*. Toshkent: O‘zMU nashriyoti. 210 b.
6. O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi. (2023). *Atmosfera havosi sifati monitoringi bo‘yicha yillik hisobot – 2023*. Toshkent. 120 b.
7. O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish vazirligi. (2022). *O‘zbekistonda atmosfera havosining ifloslanish holati va uni kamaytirish choralari*. Toshkent. 98 b.
8. Tuxtamuratova, D.D. (2023). O‘zbekiston Respublikasida atmosfera havosining holati va uning musaffoligini saqlash chora-tadbirlari. *Ilmiy tadqiqotlar jurnali*, 33–40-betlar.