MAISHIY CHIQINDILARNI BOSHQARISHDA SUN'IY INTELLEKT VA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR EKOLOGIK SAMARADORLIGINI BAHOLASH YONDASHUVI: QARSHI SHAHRI MISOLIDA

Nematullayeva Mehriniso
Qarshi davlat texnika universiteti, atrof-muhit muhofazasi yo'nalishi magistranti
E-mail: mehrinisonematullayeva3@gmail.com
Ilmiy rahbar: Uzoqov Z.Z "Ekologiya va iqlim barqarorligi" kafedra mudiri

Annotatsiya. *Maqolada maishiy chiqindilarni yig'ish, tashish, saralash va ekologik monitoring qilish jarayonlarida sun'iy intellekt (AI), buyumlar interneti (IoT) va geografik axborot tizimlaridan (GIS) foydalanish imkoniyatlari xalqaro sharh maqolalari va mahalliy rasmiy ma'lumotlar asosida tahlil qilingan. Maqsad — Qarshi shahri sharoitiga moslashtirilgan integratsiyalashgan AI–IoT–GIS yondashuvini taklif etish va uning ekologik samaradorligini baholash mezonlarini aniqlashdir. Shahar aholisi (306,3 ming kishi) va mamlakat o'rtacha ko'rsatkichlari asosida chiqindi hosil bo'lishining dastlabki bahosi berildi (yiliga taxminan 123 ming tonna). Besh bosqichli konseptual model, yetti ko'rsatkichdan iborat baholash tizimi va transport emissiyalarini hisoblash tartibi ishlab chiqildi. Modelning amaliy samaradorligi mahalliy o'lchovlar asosida tajriba tarzida tekshirilishi zarur.*

Kalit so'zlar: *maishiy chiqindilar, sun'iy intellekt, IoT, GIS, aqlli konteynerlar, ekologik samaradorlik, Qarshi shahri.*

Аннотация. *В статье на основе международных обзоров и официальных данных рассмотрены возможности применения искусственного интеллекта (ИИ), интернета вещей (IoT) и геоинформационных систем (ГИС) при сборе, транспортировке, сортировке бытовых отходов и экологическом мониторинге. Для города Карши предложены интегрированный подход ИИ–IoT–ГИС, пятиэтапная концептуальная модель и система из семи показателей оценки экологической эффективности. Предварительная оценка образования отходов в городе — около 123 тыс. т в год. Практическая эффективность модели должна быть проверена по результатам местных измерений.*

Ключевые слова: *бытовые отходы, искусственный интеллект, IoT, ГИС, экологическая эффективность, Карши.*

Abstract. *The article examines the potential of artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT) and geographic information systems (GIS) in the collection, transport and sorting of municipal solid waste and in environmental monitoring, based on international reviews and official data. An integrated AI–IoT–GIS approach for Qarshi city is proposed, including a five-stage conceptual model and a set of seven indicators for assessing environmental efficiency. A preliminary estimate of waste generation in the city is about 123 thousand tonnes per year. The practical effect of the model must be verified through local measurements.*

Keywords: *municipal solid waste, artificial intelligence, IoT, GIS, environmental efficiency, Karshi.*

Kirish

Urbanizatsiya, iste’mol hajmining ortishi va turmush tarzidagi o‘zgarishlar shahar chiqindilarini boshqarish tizimiga bo‘lgan talabni kuchaytirmoqda. Jahon banki ma’lumotlariga ko‘ra, 2016-yilda dunyoda 2,01 mlrd tonna shahar qattiq chiqindilari hosil bo‘lgan va bu ko‘rsatkich 2050-yilga borib 3,40 mlrd tonnaga yetishi prognoz qilinmoqda [1]. O‘zbekistonda 2025-yil yakunlari bo‘yicha 15,1 mln tonna maishiy chiqindi hosil bo‘lgan; 37,5 mln aholining 23,9 mln nafari sanitar tozalash xizmati bilan qamrab olingan [2].

Soha “Chiqindilar to‘g‘risida”gi Qonun [3], 2019–2028-yillarga mo‘ljallangan qattiq maishiy chiqindilar strategiyasi [4] va Vazirlar Mahkamasining 95-son qarori [5] asosida tartibga solinadi. Amaliyotda raqamlashtirish ham boshlangan: 3 230 ta maxsus transport vositasiga GPS qurilmalari o‘rnatilgan, me’yorlarga javob bermagan 23 ta poligon yopilgan, Qashqadaryo viloyatida ham maishiy chiqindini termik qayta ishlab elektr energiyasi olish obyekti qurilmoqda [2].

Xalqaro adabiyotda Fang sun’iy intellektning saralash, logistika, resurslarni tiklash va monitoring yo‘nalishlaridagi qo‘llanilishini sharhlagan [6]; Sosunova va Porras IoT asosidagi aqlli chiqindi tizimlarini tizimli tahlil qilgan [7]; Olawade va boshqalar AI imkoniyatlari bilan birga ma’lumotlar sifati va joriy etish xarajatlari kabi muammolarni ham ko‘rsatgan [8]. Biroq ko‘rib chiqilgan manbalarda ekologik samaradorlikni issiq va quruq iqlimli, o‘rta kattalikdagi O‘zbekiston shaharlari sharoitida baholash tartibi ochib berilmagan: texnologiyaning mavjudligi muayyan hududda ekologik natijaga avtomatik erishilishini anglatmaydi.

Tadqiqotning maqsadi — Qarshi shahri uchun integratsiyalashgan AI–IoT–GIS yondashuvini va uning ekologik samaradorligini baholash tartibini taklif etish. **Vazifalar:** (1) shahar chiqindi hosil bo‘lishining dastlabki bahosini berish; (2) besh bosqichli konseptual modelni ishlab chiqish; (3) baholash ko‘rsatkichlari va

hisoblash formulalarini belgilash. **Yangiligi** xalqaro tajribani Qarshi shahrining mahalliy sharoitlari (iqlim, infratuzilma, ma'lumotlar mavjudligi) bilan bog'lab, o'lchanadigan ko'rsatkichlar va hisoblash tartibini yagona yondashuvda birlashtirishdadir.

2. Material va metodlar

Tadqiqot ikki guruh manbaga tayandi: (1) xalqaro sharh maqolalari [6–8] va Jahon banki hisoboti [1] — texnologiyalarning imkoniyatlari va cheklovlarini aniqlash uchun; (2) rasmiy mahalliy manbalar — aholi statistikasi [9], me'yoriy hujjatlar [3–5] va Chiqindilarni boshqarish agentligi ma'lumotlari [2]. Qo'llanilgan usullar: tizimli yondashuv (chiqindi bilan ishlashni yig'ish, tashish, saralash va monitoring majmuasi sifatida ko'rish), qiyosiy baholash sxemasi (amaldagi va takomillashtirilgan ssenariyni bir xil ko'rsatkichlar bo'yicha solishtirish) hamda hisob-kitob usuli (chiqindi hosil bo'lishi va transport emissiyalarini baholash).

Maqola konseptual xarakterga ega: Qarshi shahri bo'yicha dala o'lchovlari hali o'tkazilmagan, shuning uchun natijalar dastlabki baho, model va baholash tartibidan iborat.

3. Natijalar va muhokama

3.1. Qarshi shahrida chiqindi hosil bo'lishining dastlabki bahosi

Qashqadaryo viloyati statistika boshqarmasiga ko'ra, 2026-yil 1-yanvar holatiga Qarshi shahri doimiy aholisi 306,3 ming kishini tashkil etgan [9]. 2025-yilda mamlakat bo'yicha o'rtacha chiqindi hosil bo'lishi aholi jon boshiga yiliga taxminan 0,403 tonna (15,1 mln t / 37,5 mln kishi) [2]. Shu o'rtacha ko'rsatkich asosida shahar uchun quyidagi dastlabki baho olinadi:

$$M = N \times q = 306\,300 \times 0{,}403 \approx 123\,000 \text{ t/yil } (\approx 340 \text{ t/kun}), \quad (1)$$

bu yerda M — yillik chiqindi miqdori, N — aholi soni, q — aholi jon boshiga chiqindi hosil bo'lishi (t/kishi·yil). Bu faqat taxminiy hisob: haqiqiy qiymat daromad darajasi, savdo faoliyati va uy-joy turiga qarab farq qiladi. Shu sababli birinchi amaliy vazifa — poligonga kiruvchi chiqindini tarozida tortish ma'lumotlari va namunaviy tarkib tahlili asosida haqiqiy qiymatni aniqlashdir.

3.2. Chiqindilarni yig'ishda aqlli konteynerlar

To'lish darajasi sensori, ma'lumot uzatish moduli va boshqaruv dasturidan iborat aqlli konteynerlar yig'ish jadvalini qat'iy grafikdan konteynerning haqiqiy holatiga moslashtirish imkonini beradi; AI esa to'lish dinamikasini prognoz qilishi mumkin [7]. Natijada keraksiz qatnovlar va konteynerlarning ortiqcha to'lib ketishi kamayishi mumkin, ammo bu samara har bir shaharda alohida isbotlanishi lozim [7, 8]. Qarshi sharoitida yozgi yuqori harorat va chang sensor, batareya va aloqa uskunalarining chidamliligiga qo'shimcha talab qo'yadi. Shu sababli sinovni avval

chiqindi tez to‘planadigan joylar (bozorlar, savdo markazlari, ko‘p qavatli turar joylar) da cheklangan sondagi konteynerda o‘tkazish va to‘lish darajasi, bo‘shatish vaqti hamda xizmat xarajatini kuzatish maqsadga muvofiq.

3.3. Transport marshrutlarini optimallashtirish

Transport vositalaridagi GPS qurilmalari [2] marshrut ma’lumotlarini to‘plash uchun tayyor baza beradi. Bu ma’lumotlarni konteynerlar joylashuvi, yo‘l tarmog‘i, avtomobil sig‘imi va xizmat vaqti bilan birlashtirib, optimallashtirish algoritmlari yordamida marshrutlar qayta hisoblanadi. Marshrutning qisqarishi emissiyaning shunga mutanosib kamayishini kafolatlamaydi, shuning uchun emissiya yoqilg‘i sarfi asosida baholanadi:

$$E = V \times EF, \tag{2}$$

bu yerda E — CO_2 emissiyasi (kg), V — sarflangan yoqilg‘i (litr), EF — yoqilg‘i turiga mos emissiya koeffitsiyenti (kg CO_2/litr), u IPCC yo‘riqnomasidagi emissiya omillari asosida aniqlanadi [10]. Dastlab mavjud marshrutlar bo‘yicha masofa, qatnovlar soni, yoqilg‘i sarfi va tashilgan massa qayd etiladi; so‘ng optimallashtirilgan marshrutlar hisoblanib, amaldagi tizim bilan solishtiriladi.

3.4. Saralash va qayta ishlash

Kompyuter ko‘rishi va mashinaviy o‘rganishga asoslangan tizimlar kamera tasvirlari orqali plastik, qog‘oz, metall va shisha kabi materiallarni tasniflaydi va sanoat sharoitida mexanik ajratgichlar yoki robot manipulyatorlar bilan ishlaydi [6, 8]. Biroq uskuna samarasi manbada alohida yig‘ish va chiqindi tarkibining aniqligiga bog‘liq, shuning uchun joriy etishdan avval mahalliy tarkibni o‘rganish, qayta ishlash korxonalarining quvvatini aniqlash, saralash aniqligi, energiya sarfi va texnik xizmat xarajatini baholash kerak. Qayta ishlash ulushi quyidagicha hisoblanadi:

$$R = (M_{\text{qayta}} / M_{\text{umumiy}}) \times 100\%, \tag{3}$$

M_{qayta} — qayta ishlashga yuborilgan chiqindi massasi, M_{umumiy} — hosil bo‘lgan jami chiqindi massasi.

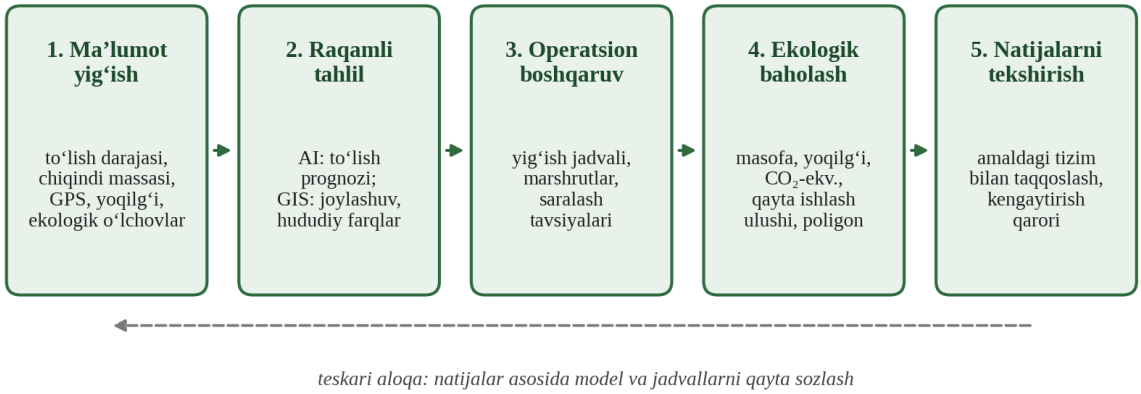
3.5. Ekologik monitoring va raqamli xaritalash

GIS konteynerlar, vaqtinchalik yig‘ish joylari, poligonlar, yo‘llar, turar joylar va kuzatuv nuqtalarini yagona raqamli xaritada birlashtiradi. Monitoring to‘rt yo‘nalishda tashkil etiladi: (1) havo sifati (PM2.5, PM10; meteorologik sharoit va boshqa ifloslanish manbalari hisobga olingan holda); (2) poligon gazlari (metan va boshqalar); (3) poligon atrofidagi tuproq va suv (laboratoriya tahlili, natijalar ruxsat etilgan me’yorlar bilan solishtiriladi); (4) hududiy xavf (monitoring natijalari va ekologik sezgir hududlarni GIS’da tahlil qilish). Yetarli hajmdagi vaqt qatori mavjud

bo‘lsa, AI ko‘rsatkichlar o‘zgarishini prognoz qilishi mumkin, lekin model aniqligi mustaqil o‘lchovlar bilan tekshirilishi shart.

3.6. Integratsiyalashgan AI–IoT–GIS modeli

Yuqoridagi yo‘nalishlar 1-rasmda ko‘rsatilgan besh bosqichli modelga birlashtirildi. Modelning asosiy afzalligi — turli bosqichlarni yagona ma’lumotlar tizimiga ulashdir; samaradorligi esa ma’lumotlar sifati, texnik infratuzilma, xodimlar malakasi va mahalliy boshqaruv tizimiga bog‘liq. Beshinchi bosqich teskari aloqa vazifasini bajaradi: texnologiyani kengaytirish haqidagi qaror ekologik va iqtisodiy natijalar asosida qabul qilinadi.



1-rasm. **Qarshi shahri uchun besh bosqichli AI–IoT–GIS konseptual modeli**

3.7. Ekologik samaradorlikni baholash mezonlari

1-jadval. **Ekologik samaradorlikni baholash ko‘rsatkichlari**

Ko‘rsatkich	O‘lchov birligi	Baholash vazifasi
Chiqindi tashish masofasi	km/kun; km/t	Logistika samaradorligi
Yoqilg‘i sarfi	litr/kun; litr/t	Transport resurslari sarfi
Transport emissiyalari	kg CO_2-ekv./t	Iqlimga ta’sir
Qayta ishlash ulushi	%	Ikkilamchi xomashyo tiklanishi
Poligonga yuboriladigan chiqindi	t/kun; t/yil	Ko‘mishga ehtiyoj
Konteynerlarning o‘z vaqtida bo‘shatilishi	%	Xizmat ko‘rsatish sifati
Saralash aniqligi	%	Avtomatik saralash natijasi

Ko‘rsatkichlarni solishtirishda davrlar, tashilgan chiqindi miqdori va transport vositalari imkon qadar bir xil bo‘lishi kerak. Mavsumiy farqlarni hisobga olish uchun boshlang‘ich (baseline) davr kamida bir mavsum, ideal holda bir yil bo‘lishi maqsadga muvofiq. Kamayishi kutiladigan ko‘rsatkichlar (masofa, yoqilg‘i,

emissiya, poligonga yuboriladigan chiqindi) o‘zgarishi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta = (X_0 - X_1) / X_0 \times 100\%, \quad (4)$$

bu yerda X_0 — amaldagi tizimdagi, X_1 — takomillashtirilgan tizimdagi ko‘rsatkich. Qayta ishlash ulushi, saralash aniqligi va o‘z vaqtida bo‘shatish kabi oshishi kutiladigan ko‘rsatkichlar uchun farq $(X_1 - X_0) / X_0$ ko‘rinishida alohida baholanadi.

4. Xulosa va takliflar

Maishiy chiqindilarni boshqarishda AI, IoT va GIS ni birlashtirish ekologik boshqaruvni takomillashtirishning istiqbolli yo‘nalishi hisoblanadi, ammo uning ekologik foydasi mahalliy sharoitda isbotlanishi kerak. Qarshi shahri uchun yiliga taxminan 123 ming tonna chiqindi hosil bo‘lishi dastlabki baholandi, besh bosqichli model, yetti ko‘rsatkichli baholash tizimi va emissiyalarni hisoblash tartibi taklif etildi. Maqolaning asosiy cheklovi — Qarshi shahri bo‘yicha haqiqiy o‘lchovlar yo‘qligi; keyingi bosqichda aynan shu ma’lumotlar to‘planishi kerak. Amaliy takliflar:

1) Qarshi shahridagi konteynerlar, yig‘ish punktlari, marshrutlar va qayta ishlash obyektlarini yagona GIS bazasida jamlash;

2) poligonga kiruvchi chiqindini tortish va tarkibini namunaviy tahlil qilish orqali boshlang‘ich ko‘rsatkichlarni aniqlash;

3) tanlangan hududlarda cheklangan sondagi aqlli konteynerlarni tajriba tariqasida sinash va GPS ma’lumotlari asosida marshrutlarni solishtirish;

4) manbada saralashni rivojlantirish va avtomatik saralashni faqat tarkib hamda qayta ishlash quvvati o‘rganilgandan keyin joriy etish;

5) poligon atrofida havo, tuproq va suv monitoringini GIS xaritasida birlashtirish va modelni muntazam baholash.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. – Washington, DC: World Bank, 2018. – https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0

2. Ekologiya qo‘mitasi huzuridagi Chiqindilarni boshqarish va aylanma iqtisodiyotni rivojlantirish agentligi. 2025-yil yakunlari bo‘yicha brifing // Kun.uz, 2026-yil 16-yanvar. – https://kun.uz/en/news/2026/01/16/uzbekistan-records-151-million-tons-of-municipal-waste-in-2025

3. O‘zbekiston Respublikasining “Chiqindilar to‘g‘risida”gi Qonuni, 2002-yil 5-aprel, 362-II-son. – https://lex.uz/docs/-42423

4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 17-apreldagi PQ-4291-son qarori bilan tasdiqlangan “2019–2028-yillar davrida O‘zbekiston Respublikasida qattiq maishiy chiqindilar bilan bog‘liq ishlarni amalga oshirish strategiyasi”. – https://lex.uz/docs/4291733

5. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019-yil 6-fevraldagi 95-son qarori “Chiqindilar bilan bog‘liq ishlarni amalga oshirish sohasidagi normativ-huquqiy hujjatlarni tasdiqlash to‘g‘risida”. – https://lex.uz/docs/4191469

6. Fang B., Yu J., Chen Z. et al. Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review // Environmental Chemistry Letters. – 2023. – Vol. 21. – P. 1959–1989. – https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3

7. Sosunova I., Porras J. IoT-enabled smart waste management systems for smart cities: a systematic review // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 73326–73363. – https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3188308

8. Olawade D.B., Fapohunda O., Wada O.Z. et al. Smart waste management: a paradigm shift enabled by artificial intelligence // Waste Management Bulletin. – 2024. – Vol. 2, No. 2. – P. 244–263. – https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.05.001

9. Qashqadaryo viloyati statistika boshqarmasi. Qashqadaryo viloyatida doimiy aholi soni (2026-yil 1-yanvar holatiga): axborot-press-reliz, 2025-yil yanvar–dekabr. – https://qashstat.uz/uploads/press25/DM-PR-UZ-12-2025.pdf

10. IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2: Energy / Eggleston H.S. et al. (eds.). – Hayama: IGES, 2006.