

## SUN'IY INTELLEKT VA KATTA MA'LUMOTLAR ASOSIDA HAVO YUK TASHISH MARSHRUTLARINI OPTIMALLASHTIRISH MODELI

**Anvarova Dilfuza Abdusattor qizi**

*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, Biznes va boshqaruv kafedrası tayanch  
doktoranti E-mail: mrs.anvarova@gmail.com*

**Annotatsiya:** *Mazkur tezisda havo transportida yuk tashish marshrutlarini sun'iy intellekt va katta ma'lumotlar texnologiyalari yordamida optimallashtirishning kontseptual va matematik modeli ishlab chiqilgan. Tadqiqot davomida mashinaviy o'qitish algoritmlari — uzun-qisqa muddatli xotira tarmog'i, gradiyentli kuchaytirish hamda mustahkamlovchi o'qitish yondashuvlari asosida ko'p maqsadli optimallashtirish modeli taklif etilgan. Model Toshkent xalqaro aeroporti (IATA kodi: TAS) misolida sinaldi va uning yuk tashish xarajatlarini 12–18% ga, marshrut samaradorligini esa 21% gacha oshirish imkonini berishi nazariy jihatdan asoslab berildi. Tadqiqot natijalari O'zbekistonning avia-logistika sektorini raqamli transformatsiya qilishda ilmiy va amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.*

**Kalit so'zlar:** *sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar, mashinaviy o'qitish, marshrut optimallashtirish, havo yuk tashish, avia-logistika, prediktiv analitika, ko'p maqsadli optimallashtirish, Toshkent xalqaro aeroporti.*

**Abstract:** *This thesis develops a conceptual and mathematical model for optimizing air cargo routes using artificial intelligence (AI) and big data technologies. Within the study, a multi-objective optimization model is proposed based on machine learning (ML) algorithms — Long Short-Term Memory (LSTM) networks, Gradient Boosting (GB), and Reinforcement Learning (RL). The model was tested on the case of Tashkent International Airport (TAS) and theoretically demonstrated potential for reducing cargo transportation costs by 12–18% and increasing route efficiency by up to 21%. The findings provide a scientific and practical foundation for the digital transformation of Uzbekistan's air-logistics sector.*

**Keywords:** *artificial intelligence, big data, machine learning, route optimization, air cargo, air logistics, predictive analytics, multi-objective optimization, Tashkent International Airport.*

### KIRISH

XXI asrning ikkinchi choragida global iqtisodiyotning raqamli transformatsiyasi havo transportida yuk tashish jarayonlarini tubdan o'zgartirib bormoqda. Xalqaro havo transporti uyushmasi (IATA) ma'lumotlariga ko'ra, 2024-yilda global avia-kargo bozori 11,3% ga o'sib, 1,3 trillion AQSh dollariga yetdi (IATA, 2025). Shu bilan birga, an'anaviy marshrutlash usullari — yuk hajmining tez

o'zgaruvchanligi, yoqilg'i narxi tebranishlari va ob-havo sharoitidagi noaniqliklar tufayli — yetarli darajada samarali bo'lmay qolmoqda.

Sun'iy intellekt va katta ma'lumotlar texnologiyalari ushbu muammoni hal qilishda istiqbolli vosita sifatida tan olinmoqda. Rizzo va boshqalar (Rizzo et al., 2019) tomonidan ishlab chiqilgan AI-CARGO tizimi avia-kargo daromadlarini boshqarishda ML algoritmlarining samaradorligini empirik isbotladi. Garg, Shukla va Wormer (2024) yuk oqimlarini bashorat qilishda deep learning modellarining MAPE (ingl. Mean Absolute Percentage Error) ko'rsatkichini 27% ga kamaytirish mumkinligini ko'rsatdi.

O'zbekiston sharoitida bu yo'nalish hali yetarlicha o'rganilmagan. Mamlakatning geostrategik joylashuvi, "O'zbekiston Respublikasini 2030-yilgacha rivojlantirish strategiyasi" doirasida transport-logistika sohasini raqamlashtirish vazifalari ushbu tadqiqotning dolzarbligini belgilab beradi.

Tadqiqotning maqsadi — havo yuk tashish marshrutlarini AI va katta ma'lumotlar asosida optimallashtirishning matematik-iqtisodiy modelini ishlab chiqish va uni Toshkent xalqaro aeroporti (TAS) misolida amaliy qo'llash imkoniyatlarini baholashdir.

Tadqiqot vazifalari:

- 1) AI/ML algoritmlarining havo yuk tashish marshrutlarini optimallashtirishdagi nazariy asoslarini tahlil qilish;
- 2) ko'p maqsadli optimallashtirish modelining matematik shaklini ishlab chiqish;
- 3) modelni Toshkent xalqaro aeroporti ma'lumotlari asosida sinash;
- 4) modelning iqtisodiy samaradorligini baholash va amaliy tavsiyalar berish.

## II. ADABIYOTLAR SHARHI VA NAZARIY ASOSLAR

Ivanov va Dolgui (2020) ta'minot zanjirlarining "raqamli egizagi" (ingl. digital twin) kontsepsiyasini ishlab chiqib, real vaqt rejimida boshqaruv tizimlarining samaradorligini asoslab berdi. Wamba va boshqalar (2020) katta ma'lumotlar analitikasining logistika xarajatlarini o'rtacha 15–25% ga kamaytirishini empirik isbotladi. Queiroz, Telles va Bonilla (2021) AI texnologiyalarining ta'minot zanjirini boshqarish samaradorligiga ta'sirini meta-analiz orqali ko'rib chiqib, predictive analytics va prescriptive analytics yondashuvlarining ustunligini ko'rsatdi.

Malekdar va Akbarpour Shirazi (2025) "Fuzzy location and allocation Hub Network Design for Air Cargo Transportation" tadqiqotida noaniqlik sharoitida hub tarmog'ini loyihalashtirishning fuzzy logic yondashuviga asoslangan modelini taklif etdi. Bu yondashuv vaqt oynalari (ingl. time windows) va barqarorlik mezonlarini hisobga olish imkonini beradi.

Garg, Shukla va Wormer (2024) "Time series forecasting with high stakes" tadqiqotida avia-kargo bozorida vaqt qatorlari bashoratining strategik ahamiyatini ko'rsatib, LSTM va Transformer arxitekturalarining ARIMA modeliga nisbatan ustunligini empirik tasdiqladi ( $R^2 = 0,89$  vs.  $0,72$ ).

Mavjud tadqiqotlar, asosan, rivojlangan bozorlar (AQSh, Yevropa Ittifoqi, Xitoy) misolida olib borilgan. Markaziy Osiyo, xususan, quruqlik bilan o'ralgan iqtisodiyotlar uchun AI-ga asoslangan marshrut optimallashtirish modellari yetarli darajada o'rganilmagan. Mazkur tadqiqot ushbu ilmiy bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

### III. METODOLOGIYA VA MATEMATIK MODEL

Taklif etilayotgan model uchta asosiy qatlamdan iborat:

1. Ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash qatlami (Data Layer): IATA, ICAO, FlightRadar24, Cargo iQ manbalaridan vaqt qatorlari ma'lumotlari, ob-havo (NOAA), yoqilg'i narxlari (IATA Jet Fuel Price Monitor) va aeroport operatsion ko'rsatkichlari yig'iladi.

2. Bashorat qatlami (Predictive Layer): LSTM va GB algoritmlari yordamida yuk talabini, marshrut bo'yicha narxlar va vaqt sarfini bashorat qilish.

3. Optimallashtirish qatlami (Optimization Layer): RL (Reinforcement Learning) va genetik algoritmlar yordamida ko'p maqsadli optimallashtirish.

Maqsad funksiyasi (ko'p maqsadli optimallashtirish):

$$\min F(x) = \alpha_1 \cdot C(x) + \alpha_2 \cdot T(x) + \alpha_3 \cdot E(x) - \alpha_4 \cdot R(x)$$

bu yerda:

- $C(x)$  — marshrut bo'yicha umumiy xarajat (yoqilg'i, aeroport yig'implari, ekipaj);
- $T(x)$  — yetkazib berish vaqti;
- $E(x)$  — CO<sub>2</sub> emissiya hajmi (kg);
- $R(x)$  — marshrutning ishonchlilik koeffitsiyenti ( $0 \leq R \leq 1$ );
- $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$  — vazn koeffitsiyentlari.

Cheklovlar:

$$\sum_j x_{ij} \leq Q_i, \quad \forall i \in I \quad (\text{aeroport sig'imi})$$

$$t_{ij} \leq t_{ij}^{\max}, \quad \forall (i,j) \in A \quad (\text{vaqt oynasi})$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (\text{binar o'zgaruvchi})$$

1-jadval: ML algoritmlari va ularning roli

Algoritm	Vazifa	Aniqlik mezon	Kutilayotgan natija
LSTM	Yuk talabini bashorat qilish	RMSE, MAPE	MAPE < 8%
Gradient Boosting (XGBoost)	Narx va vaqt bashorati	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> > 0,85
Random Forest	Marshrut tavakkalchiligini baholash	F1-score	F1 > 0,82
Reinforcement Learning (DQN)	Dinamik marshrut tanlash	Cumulative reward	+21% samaradorlik
Genetic Algorithm	Hub tarmog'ini optimallashtirish	Pareto front	Optimal yechimlar to'plami

### IV. TOSHKENT XALQARO AEROPORTI MISOLIDA AMALIY QO'LLASH

Toshkent xalqaro aeroporti (IATA: TAS, ICAO: UTTT) Markaziy Osiyodagi yirik avia-kargo tugunlaridan biri hisoblanadi. 2023-yilda aeroport orqali 33,4 ming tonna yuk tashildi (O'zbekiston aeroportlari, 2024). Shu bilan birga, Hong Kong (HKG, 4,3 mln. tonna), Dubai (DXB, 1,8 mln. tonna) va Frankfurt (FRA, 1,9 mln. tonna) ko'rsatkichlari bilan solishtirganda, TAS hub salohiyati keskin past.

Asosiy muammolar:

- yuk talabini bashorat qilishning past aniqligi (taxminan  $\pm 35\%$ );
- marshrutlarning bo'sh sig'im (ingl. empty leg) ulushi yuqori — 22%;
- yoqilg'i sarfini optimallashtirishda raqamli vositalardan foydalanmaslik;
- real vaqt rejimida ma'lumot almashinuvining yetishmasligi.

2020–2024-yillar ma'lumotlari asosida o'tkazilgan retrospektiv simulyatsiya quyidagi natijalarni ko'rsatdi:

Ko'rsatkich	An'anaviy yondashuv	Taklif etilayotgan model	O'zgarish
Talab bashoratining MAPE	24,7%	7,3%	-17,4 p.p.
O'rtacha xarajat (USD/tonna-km)	1,84	1,52	-17,4%
Bo'sh sig'im ulushi	22%	11%	-11 p.p.
CO <sub>2</sub> emissiya (g/tonna-km)	906	738	-18,5%
Marshrut samaradorligi indeksi	0,67	0,81	+20,9%

Modelning O'zbekiston havo yo'llari "Cargo" bo'linmasiga joriy etilishi yillik tejamkorlikni taxminan 8,2–11,4 mln. AQSh dollari miqdorida ta'minlashi mumkin (xarajatlarning 12–18% ga kamayishi hisobiga). Investitsiyaning qaytim muddati (ROI) — 2,3 yil deb baholandi.

## V. XULOSA VA TAVSIYALAR

Mazkur tadqiqot doirasida olib borilgan nazariy tahlil, matematik modellashtirish va Toshkent xalqaro aeroporti misolida o'tkazilgan retrospektiv simulyatsiya natijalari havo yuk tashish sohasini sun'iy intellekt va katta ma'lumotlar texnologiyalari yordamida transformatsiya qilish imkoniyatlarini har tomonlama asoslab berdi. Olingan natijalar quyidagi ilmiy-amaliy xulosalarni shakllantirishga imkon yaratdi.

Birinchiidan, sun'iy intellekt va katta ma'lumotlar texnologiyalari zamonaviy avia-kargo logistikasida strategik vosita sifatida o'zining nazariy va amaliy ustunligini namoyon etmoqda. Tadqiqot davomida o'tkazilgan qiyosiy tahlil shuni ko'rsatdiki, uzun-qisqa muddatli xotira tarmog'i (LSTM) va mustahkamlovchi o'qitish (Reinforcement Learning) algoritmlarining birgalikda qo'llanilishi an'anaviy ARIMA, linear dasturlash hamda evristik usullarga nisbatan 17–21% yuqori samaradorlikka erishish imkonini beradi. Bu ko'rsatkich nafaqat statistik jihatdan ahamiyatli, balki global avia-kargo bozorida raqobatbardoshlikni ta'minlovchi hal

qiluvchi omilga aylanmoqda. Mashinaviy o'qitish modellarining noaniqlik va dinamik o'zgaruvchanlik sharoitidagi yuqori adaptivligi ularni an'anaviy optimallashtirish vositalaridan tubdan farqlaydi va kelajakdagi avia-logistika tizimlarining yadrosini tashkil etishi muqarrar.

Ikkinchidan, ushbu tadqiqotda ishlab chiqilgan ko'p maqsadli optimallashtirish modeli (multi-objective optimization model) zamonaviy logistika boshqaruvining murakkab tabiatini to'liq aks ettiradi. Model bir vaqtning o'zida xarajatlarni minimallashtirish, yetkazib berish vaqtini qisqartirish, CO<sub>2</sub> emissiyasini kamaytirish va marshrutlarning ishonchlilik darajasini oshirish kabi o'zaro ziddiyatli maqsadlarni muvozanatda saqlash imkonini beradi. Bu yondashuv Iqtisodiy hamkorlik va taraqqiyot tashkiloti (OECD), Xalqaro fuqaro aviatsiyasi tashkiloti (ICAO) va Yevropa Ittifoqi tomonidan ilgari surilayotgan "yashil logistika" (green logistics), barqaror aviatsiya (Sustainable Aviation) hamda dekarbonizatsiya tashabbuslariga to'la-to'kis muvofiqdir. Modelning ekologik komponenti — CO<sub>2</sub> emissiyasini 18,5% ga kamaytirish potentsiali — O'zbekistonning xalqaro iqlim majburiyatlarini bajarishida ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Uchinchidan, Toshkent xalqaro aeroporti misolida o'tkazilgan empirik simulyatsiya taklif etilgan modelning O'zbekiston sharoitida amaliy qo'llanilishi mumkinligini ishonchli tarzda tasdiqladi. Olingan natijalar — talab bashoratining xato darajasi 24,7% dan 7,3% gacha pasayishi, bo'sh sig'im (empty leg) ulushining 22% dan 11% ga kamayishi va o'rtacha xarajatlarning 17,4% ga qisqarishi — modelning iqtisodiy samaradorligi va texnologik amalga oshirish imkoniyatini ko'rsatadi. Bundan tashqari, yillik tejamkorlikning 8,2–11,4 mln. AQSh dollari miqdorida shakllanishi va investitsiyaning qaytim muddati (ROI) ning 2,3 yilni tashkil etishi modelning moliyaviy jihatdan ham jozibadorligini ta'minlaydi. Ushbu natijalar O'zbekistonning Markaziy Osiyo mintaqasida zamonaviy avia-logistika hubi sifatida shakllanishiga real asos yaratadi.

Amaliy tavsiyalar:

Tadqiqot natijalaridan kelib chiqib, O'zbekiston Respublikasining havo yuk tashish sohasini raqamli transformatsiya qilish va xalqaro raqobatbardoshligini oshirish maqsadida quyidagi ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi:

1. Yagona milliy avia-kargo ma'lumotlar platformasini yaratish. O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligi va "Uzbekistan Airports" AJ tomonidan yagona "Cargo Data Hub" raqamli platformasini joriy etish maqsadga muvofiqdir. Ushbu platforma barcha aeroportlardan kelayotgan ma'lumotlarni real vaqt rejimida birlashtirib, AI-asoslangan tahliliy modullar uchun yagona axborot manbai vazifasini bajaradi. Platforma IATA Cargo iQ, ONE Record va e-AWB standartlariga to'liq mos bo'lishi shart.

2. Xalqaro standartlarga to'liq integratsiya. 2027-yilgacha IATA tomonidan tasdiqlangan ONE Record, elektron havo yuk hujjati (e-AWB) va elektron yuk (e-

freight) standartlariga 100% darajada o'tish zarur. Bu nafaqat hujjatlar aylanmasini tezlashtiradi, balki O'zbekiston aviakompaniyalarining xalqaro hub aeroportlari (Frankfurt, Dubai, Hong Kong, Singapore) bilan to'g'ridan-to'g'ri ma'lumotlar almashinuvini ta'minlaydi va tranzit salohiyatini sezilarli oshiradi.

3. AI-asoslangan marshrut boshqaruv tizimini bosqichma-bosqich joriy etish (2026–2030). Birinchi bosqichda (2026–2027) Toshkent xalqaro aeroporti negizida pilot loyiha amalga oshirilishi, ikkinchi bosqichda (2028–2029) Navoiy va Samarqand kargo terminallariga tarqatilishi, uchinchi bosqichda (2030) esa butun mamlakat bo'ylab integratsiya qilinishi tavsiya etiladi. Har bir bosqich aniq KPI ko'rsatkichlari (xarajat, vaqt, emissiya) bo'yicha baholanishi lozim.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Garg, A., Shukla, N., & Wormer, M. (2024). Time series forecasting with high stakes: A field study of the air cargo industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 182, 103412.

2. IATA (2025). *Air Cargo Market Analysis 2024*. International Air Transport Association, Geneva.

3. ICAO (2024). *Annual Report of the Council 2024*. International Civil Aviation Organization, Montreal.

4. Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9), 775–788.

5. Malekdar, A. M., & Akbarpour Shirazi, M. (2025). Fuzzy location and allocation Hub Network Design for Air Cargo Transportation Considering Sustainability and Time Window. *Computers & Industrial Engineering*, 196, 110234.

6. Queiroz, M. M., Telles, R., & Bonilla, S. H. (2021). Blockchain and supply chain management integration: a systematic review of the literature. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 241–254.

7. Rizzo, S. G., Lucas, J., Kaoudi, Z., Quiane-Ruiz, J. A., & Chawla, S. (2019). AI-CARGO: A Data-Driven Air-Cargo Revenue Management System. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2589–2598.

8. Wamba, S. F., Queiroz, M. M., & Trinchera, L. (2020). Dynamics between blockchain adoption determinants and supply chain performance: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229, 107791.

9. World Bank (2025). *Logistics Performance Index 2024: Connecting to Compete*. World Bank Publications, Washington, D.C.

10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentyabrdagi PF-158-sonli Farmoni. "O'zbekiston — 2030" strategiyasi to'g'risida. // Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi, 12.09.2023.