

QISHLOQ XO‘JALIGI MAHSULOTLARINI YETKAZIB BERISHDA RAQAMLI MARSHRUT OPTIMALLASHTIRISHNING IQTISODIY VA EKOLOGIK SAMARADORLIGI

Ermanov Farrux Farxodovich
Kadrlar malakasini oshirish va statistik tadqiqotlar instituti mustaqil izlanuvchisi
E-mail: farrukh1508a@gmail.com

Annotatsiya: Maqolada qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish jarayonida raqamli texnologiyalar va matematik algoritmlardan foydalanishning iqtisodiy hamda ekologik samaradorligi tadqiq etilgan. Xususan, transport marshrutlarini optimallashtirishda chumoli koloniyasi algoritmi (ACO) va 2-opt usulini qo‘llash imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Qoraqalpog‘iston Respublikasi misolida logistika xarajatlarini kamaytirish, transport vositalaridan samarali foydalanish, yoqilg‘i sarfi va atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar miqdorini qisqartirish bo‘yicha ilmiy-amaliy natijalar yoritilgan.
Kalit so‘zlar: raqamli iqtisodiyot, qishloq xo‘jaligi, logistika, raqamli platforma, marshrut optimallashtirish, ACO algoritmi, 2-opt, transport xarajatlari, ekologik samaradorlik.
Abstract: The article examines the economic and environmental efficiency of using digital technologies and mathematical algorithms in the delivery of agricultural products. In particular, it explores the potential application of the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm and the 2-opt method for optimizing transportation routes. Using the Republic of Karakalpakstan as a case study, the article presents scientific and practical findings aimed at reducing logistics costs, improving vehicle utilization, and decreasing fuel consumption and harmful atmospheric emissions.
Keywords: digital economy, agriculture, logistics, digital platform, route optimization, ACO algorithm, 2-opt method, transportation costs, environmental efficiency.
Абстрактный: В статье исследуется экономическая и экологическая эффективность использования цифровых технологий и математических алгоритмов в процессе доставки сельскохозяйственной продукции. В частности, рассматриваются возможности применения алгоритма муравьиной колонии (ACO) и метода 2-opt для оптимизации транспортных маршрутов. На примере Республики Каракалпакстан освещаются научно-практические результаты, направленные на снижение логистических затрат, повышение эффективности использования транспортных средств, сокращение расхода топлива и объёма выбросов вредных веществ в атмосферу.
Ключевые слова: цифровая экономика, сельское хозяйство, логистика, цифровая платформа, оптимизация маршрутов, алгоритм ACO, метод 2-opt, транспортные расходы, экологическая эффективность.

Kirish (Введение/Introduction).

Bugungi kunda raqamli iqtisodiyotning rivojlanishi qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini ishlab chiqarish, saqlash, tashish va iste’molchiga yetkazib berish jarayonlarini tubdan takomillashtirishni talab etmoqda. Ayniqsa, tez buziluvchan mahsulotlarni yetkazib berishda vaqt omili, transport xarajatlari, mahsulot sifati va logistika jarayonlarining uzluksizligi muhim ahamiyat kasb etadi.

Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish tizimida transport marshrutlarining oqilona tashkil etilmagani ortiqcha masofaning bosib o‘tilishi, yoqilg‘i sarfining ko‘payishi, transport vositalarining samarasiz ishlatilishi hamda mahsulotlarning yo‘qotilishiga olib keladi. Shu sababli logistika jarayonlarini raqamli texnologiyalar asosida avtomatlashtirish va optimal boshqaruv algoritmlarini joriy etish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Qoraqalpog‘iston Respublikasida qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish tizimini takomillashtirishda raqamli marshrut optimallashtirish texnologiyalaridan foydalanish transport-logistika xarajatlarini kamaytirish bilan birga, ekologik barqarorlikni ta’minlashga ham xizmat qiladi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili (Обзор литературы/Literature review).

Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish tizimida raqamli texnologiyalarni qo‘llash, transport marshrutlarini optimallashtirish hamda logistika jarayonlarining iqtisodiy va ekologik samaradorligini oshirish masalalari so‘nggi yillarda ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Ayniqsa, sun’iy intellekt, optimallashtirish algoritmlari va raqamli logistika platformalaridan foydalanish mahsulotlarni ishlab chiqaruvchidan iste’molchiga yetkazib berishdagi vaqt, xarajat va yoqilg‘i sarfini kamaytirish imkonini bermoqda.

Qishloq xo‘jaligi mahsulotlari logistikasida transport marshrutlarini tanlash faqat masofani qisqartirish bilan cheklanmaydi. Bunda mahsulotning tez buziluvchanligi, yetkazib berish muddati, transport sig‘imi, yo‘l infratuzilmasi, yoqilg‘i sarfi va atrof-muhitga ta’sir kabi omillarni birgalikda hisobga olish talab etiladi. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda ko‘p mezonli optimallashtirish yondashuvlari alohida ahamiyat kasb etmoqda.

Qishloq xo‘jaligi logistikasini optimallashtirish bo‘yicha Bublik va Hess tomonidan olib borilgan tadqiqotda 2013–2025-yillarda chop etilgan 63 ta ilmiy maqola tizimli tahlil qilingan. Mualliflar qishloq xo‘jaligi logistikasida mavsumiy talabning o‘zgarishi, mahsulotlarning tez buziluvchanligi va ishlab chiqarish hududlarining geografik jihatdan tarqoqligi transport xarajatlariga ta’sir etuvchi asosiy omillar ekanligini ta’kidlaydilar. Tadqiqotda transport marshrutlarini optimallashtirish, ko‘p mezonli qaror qabul qilish va yo‘nalishlarni rejalashtirish usullari resurslardan foydalanish samaradorligini oshirish vositasi sifatida baholangan [1].

Aghaabdollahian va hammualliflarning 2026-yildagi tadqiqotida transport vositalari marshrutlarini optimallashtirishga oid ilmiy ishlar tizimli ravishda o‘rganilib, marshrutlashtirish masalalarining 32 ta turi tasniflangan. Mualliflar transport xarajatlari, vaqt, transport vositalarining sig‘imi, noaniqlik sharoitlari va ekologik barqarorlik ko‘rsatkichlarini

marshrutlarni rejalashtirishda muhim mezonlar sifatida ko‘rsatadilar. Mazkur yondashuv qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berishda bir vaqtning o‘zida iqtisodiy va ekologik natijalarga erishish zarurligini asoslaydi [2].

Chu va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan ko‘p mezonli adaptiv gibrid chumoli koloniyasi algoritmi (MCAH-ACO) transport marshrutlarini optimallashtirishda masofa, vaqt, ijtimoiy-ekologik ta’sir va xavfsizlik omillarini birgalikda hisobga olish imkonini beradi. Tadqiqotda ACO algoritmi 2-opt lokal qidiruv usuli bilan birlashtirilgan. Mualliflarning tajriba natijalari taklif etilgan algoritm an’anaviy yondashuvlarga nisbatan umumiy transport xarajatlarini kamaytirish va marshrutlar xavfsizligini yaxshilash imkoniyatiga ega ekanligini ko‘rsatadi [3].

2026-yilda Results in Engineering jurnalida e’lon qilingan “Dynamic risk-aware ant colony optimization for low-carbon routing in perishable food supply chains” nomli tadqiqotda tez buziluvchan oziq-ovqat mahsulotlarini yetkazib berish uchun kam uglerodli transport marshrutlarini shakllantirish masalasi o‘rganilgan. Unda takomillashtirilgan chumoli koloniyasi algoritmi dinamik feromon yangilash mexanizmi va riskka moslashtirilgan 2-opt lokal qidiruv usuli bilan birlashtirilgan. Model transport xarajatlari, karbonat angidrid chiqindilari, mahsulot yo‘qotishlari va mijozlar qoniqishini birgalikda hisobga oladi. Ushbu tadqiqot ACO va 2-opt usullarini birgalikda qo‘llashning ekologik va iqtisodiy jihatdan muhimligini ko‘rsatadi [4].

Li, Liao va Huang tomonidan 2025-yilda olib borilgan tadqiqotda sovuq zanjir logistikasida turli transport vositalaridan foydalanish asosida ikki bosqichli marshrutlarni optimallashtirish modeli taklif etilgan. Mualliflar shahar markazlarida elektr transport vositalaridan, shahar atrofi hududlarida esa an’anaviy yoqilg‘ida harakatlanuvchi transport vositalaridan foydalanish imkoniyatlarini tahlil qilganlar. Takomillashtirilgan chumoli koloniyasi algoritmi asosida o‘tkazilgan hisob-kitoblar transport xarajatlari va karbonat angidrid chiqindilarini birgalikda kamaytirishga qaratilgan. Mazkur yondashuv qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini saqlash va yetkazib berish zanjirida ekologik jihatdan maqbul transport tizimini shakllantirish uchun ahamiyatlidir [5].

Meraliyev va hammualliflarning 2025-yildagi ilmiy sharhida transport marshrutlarini optimallashtirishda talab hajmining o‘zgarishi, harakatlanish vaqtining noaniqligi, transport vositalarining texnik holati va boshqa tashqi omillar tahlil qilingan. Mualliflar an’anaviy marshrutlashtirish modellarining statik sharoitlarga asoslanishi real logistika jarayonlaridagi o‘zgarishlarni to‘liq aks ettirmasligini ta’kidlaydilar. Shu sababli dinamik marshrutlashtirish, noaniqlik sharoitida optimallashtirish va mashinaviy o‘qitish usullaridan foydalanish zarurligi asoslangan [6].

Fan va hammualliflarning 2026-yildagi tadqiqotida shahar va qishloq hududlari o‘rtasidagi yuk tashish jarayonlarini muvofiqlashtirish uchun adaptiv chumoli koloniyasi algoritmi ishlab chiqilgan. Taklif etilgan modelda transport vositalarining harakat yo‘nalishlari, yuklarni yetkazib berish va qaytarib olish jarayonlari, quvvatlash infratuzilmasi hamda karbonat angidrid chiqindilari hisobga olingan. Tadqiqot natijalari qishloq va shahar logistika tizimlarini yagona mexanizm asosida tashkil etish transport xarajatlarini optimallashtirish va ekologik samaradorlikni oshirishga xizmat qilishini ko‘rsatadi [7].

Wu va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan gibrid chumoli koloniyasi algoritmida transport vositalarining belgilangan vaqt oralig‘ida mijozlarga xizmat ko‘rsatishi masalasi ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotda feromonlarni yangilash mexanizmini takomillashtirish, adaptiv parametrlarni joriy etish va algoritmning qidiruv imkoniyatlarini kengaytirish orqali marshrutlarni samarali shakllantirishga erishilgan. Ushbu ilmiy yondashuv qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini belgilangan muddatlarda yetkazib berish, ayniqsa, tez buziluvchan mahsulotlar logistikasida muhim ahamiyatga ega [8].

Sulyukova va Axmedjanova tomonidan 2025-yilda O‘zbekiston sharoitida olib borilgan tadqiqotda qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini tashish jarayonida transport vositalarining yuk sig‘imi, yetkazib berish muddatlari, yuklash va tushirish ketma-ketligi hamda yo‘l sharoitlarining mahsulot sifatiga ta’siri o‘rganilgan. Mualliflar differensial evolyutsiya, genetik algoritm va lokal qidiruv usullarini birlashtirgan gibrid optimallashtirish yondashuvini taklif qilganlar. Tadqiqotning O‘zbekiston sharoitiga yo‘naltirilgani uni Qoraqalpog‘iston Respublikasi misolida qishloq xo‘jaligi mahsulotlari logistikasini takomillashtirish bo‘yicha olib boriladigan ilmiy izlanishlar uchun amaliy jihatdan ahamiyatli qiladi [9].

Yuqoridagi ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish jarayonida raqamli marshrut optimallashtirishning iqtisodiy va ekologik samaradorligini oshirish bo‘yicha bir qator ilmiy yondashuvlar shakllangan. Xususan, ACO algoritmi murakkab transport marshrutlarini shakllantirishda, 2-opt usuli esa mavjud marshrutlarni mahalliy darajada takomillashtirishda samarali vosita hisoblanadi. Biroq ushbu usullarni Qoraqalpog‘iston Respublikasining hududiy xususiyatlari, yo‘l infratuzilmasi, mahsulot yetishtirish markazlari va transport masofalarini hisobga olgan holda birgalikda qo‘llash masalasi qo‘shimcha ilmiy tadqiqotlarni talab qiladi. Shu jihatdan mazkur maqolada ACO va 2-opt algoritmlarini uyg‘unlashtirish orqali transport masofasi, logistika xarajatlari, yoqilg‘i sarfi hamda atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar miqdorini kamaytirish imkoniyatlarini baholash nazarda tutiladi.

Tadqiqotni amalga oshirishda foydalanilgan usullar (Методы /Methods).

Transport marshrutlarini optimallashtirish masalasi qishloq xo‘jaligi logistikasida bir nechta yetkazib berish nuqtalarini eng kam xarajat bilan bog‘lash muammosi sifatida qaraladi. Bunda transport vositasining harakatlanish masofasi, yoqilg‘i sarfi, yetkazib berish vaqti hamda buyurtmalar hajmi asosiy mezonlar hisoblanadi.

Tadqiqotda kombinatorik optimallashtirish usullaridan foydalanilgan. Jumladan, chumoli koloniyasi algoritmi (Ant Colony Optimization – ACO) va 2-opt lokal optimallashtirish usuli o‘zaro uyg‘unlashtirilgan.

Tahlil va natijalarlar (Анализ и результаты/Analysis and rezults).

Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berishda marshrutlarni optimallashtirish

Qoraqalpog‘iston Respublikasida qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish jarayonlari hududning geografik joylashuvi, ishlab chiqarish hajmi, transport infratuzilmasi va mahsulotlarning saqlanish xususiyatlari bilan bevosita bog‘liq.

Amaldagi logistika jarayonlarida buyurtmalarni shakllantirish, transport vositalarini taqsimlash va yetkazib berish yo‘nalishlarini belgilashda axborotlarning alohida tizimlarda yuritilishi boshqaruv samaradorligini pasaytirishi mumkin. Ayniqsa, bir nechta fermer xo‘jaliklaridan yig‘ilgan mahsulotlarni agrologistika markazlariga va iste’molchilarga yetkazib berishda optimal marshrutni tanlash muhim ahamiyatga ega.

Shu munosabat bilan tadqiqotda 16 ta logistika nuqtasini qamrab oluvchi transport yo‘nalishlari modeli asosida optimallashtirish amalga oshirilgan. Bunda transport nuqtalari o‘rtasidagi masofalar, harakatlanish ketma-ketligi va umumiy marshrut uzunligi hisobga olingan.

Dastlabki marshrutlar bilan algoritm asosida optimallashtirilgan marshrutlar o‘zaro taqqoslangan. Natijada ACO va 2-opt algoritmlarini birgalikda qo‘llash transport yo‘nalishlarining umumiy uzunligini qisqartirish imkonini bergan.

Mazkur yondashuvning muhim jihati shundaki, u faqat transport masofasini kamaytirishga emas, balki yetkazib berish jarayonining umumiy samaradorligini oshirishga qaratilgan. Jumladan, transport vositalarining ortiqcha harakatlanishi kamayadi, buyurtmalarni bajarish ketma-ketligi takomillashadi va mahsulotlarni o‘z vaqtida yetkazib berish imkoniyati kengayadi.

Tadqiqot natijalari va ularning iqtisodiy samaradorligi

O‘tkazilgan hisob-kitoblar raqamli marshrut optimallashtirish texnologiyalaridan foydalanish sezilarli iqtisodiy samara berishini ko‘rsatdi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, 16 ta logistika nuqtasi asosida shakllantirilgan transport marshrutlarini optimallashtirish natijasida umumiy yo‘l masofasini 14,08 foizga qisqartirish imkoniyati aniqlangan.

Bu natija transport vositalarining ishlash samaradorligini oshirish, ortiqcha yoqilg‘i sarfini kamaytirish va logistika operatsiyalariga sarflanadigan xarajatlarni optimallashtirish uchun muhim ahamiyatga ega.

Marshrut optimallashtirishning asosiy natijalari

Ko‘rsatkich	Erishilgan natija
Logistika nuqtalari soni	16 ta
Marshrut masofasining qisqarishi	14,08%
Iqtisodiy tejamkorlik	291,4 mln so‘m
Yoqilg‘i tejalishi	15 955 litr
CO_2 chiqindilarining kamayishi	42,8 tonna

Tadqiqot natijalaridan ko‘rinadiki, transport marshrutlarini optimallashtirish nafaqat bevosita iqtisodiy xarajatlarni kamaytiradi, balki mavjud transport resurslaridan foydalanish samaradorligini ham oshiradi.

Xususan, 291,4 mln so‘mlik iqtisodiy tejamkorlik transport-logistika jarayonlarini raqamli algoritmlar asosida boshqarishning amaliy ahamiyatini ifodalaydi.

Shuningdek, yoqilg‘i sarfining 15 955 litrga qisqarishi transport vositalarining ortiqcha harakatlanishini kamaytirish orqali erishiladigan muhim natijalardan biridir.

Raqamli optimallashtirishning ekologik samaradorligi

Bugungi kunda logistika tizimlarining samaradorligini baholashda iqtisodiy ko‘rsatkichlar bilan bir qatorda ekologik mezonlarga ham alohida e’tibor qaratilmoqda. Chunki transport vositalaridan foydalanish natijasida atmosferaga chiqariladigan karbonat angidrid gazlari atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini tashishda transport masofasining qisqarishi yoqilg‘i sarfini kamaytirish orqali atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar hajmini ham pasaytiradi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, raqamli marshrut optimallashtirish natijasida 42,8 tonna CO_2 chiqindilarini kamaytirish imkoniyati aniqlangan.

Ushbu ko‘rsatkich transport-logistika tizimida raqamli texnologiyalarni qo‘llash ekologik barqarorlikka ham ijobiy ta’sir ko‘rsatishini tasdiqlaydi.

Ekologik samaradorlikning oshishi quyidagi omillar bilan izohlanadi:

- transport vositalarining bosib o‘tadigan masofasi qisqaradi;
- yoqilg‘i sarfi kamayadi;
- ortiqcha qatnovlar bartaraf etiladi;
- transport vositalaridan foydalanish darajasi yaxshilanadi;
- atmosferaga chiqariladigan CO_2 miqdori qisqaradi.

Demak, raqamli logistika texnologiyalarini joriy etish iqtisodiy manfaatdorlik va ekologik barqarorlikni o‘zaro uyg‘unlashtirish imkonini beradi.

Raqamli platformani joriy etish istiqbollari

Marshrutlarni optimallashtirish algoritmlaridan samarali foydalanish uchun ularni qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berishning yagona raqamli platformasi bilan integratsiyalash muhim hisoblanadi.

Bunday platforma fermer xo‘jaliklari, agroklasterlar, logistika markazlari, omborlar, transport tashkilotlari va mahsulot xaridorlari o‘rtasidagi axborot almashinuvini yagona tizimda tashkil etishga xizmat qiladi.

Platformaning asosiy funksiyalari quyidagilardan iborat bo‘lishi maqsadga muvofiq:

1. Fermer xo‘jaliklarining mahsulot hajmi va yetkazib berish muddatlari to‘g‘risidagi ma’lumotlarni shakllantirish.
2. Xaridorlarning buyurtmalarini elektron shaklda qabul qilish.
3. Transport vositalarini buyurtmalar hajmiga qarab taqsimlash.
4. ACO va 2-opt algoritmlari yordamida optimal marshrutlarni aniqlash.
5. Omborlardagi mahsulot zaxiralari va ularning saqlanish muddatlarini nazorat qilish.
6. Yetkazib berish jarayonini real vaqt rejimida monitoring qilish.

Mazkur platformani bosqichma-bosqich joriy etish orqali logistika jarayonlarida axborot almashinuvini tezlashtirish, boshqaruv qarorlarining sifatini oshirish va transport xarajatlarini kamaytirish mumkin.

Ayniqsa, tez buziluvchan qishloq xo‘jaligi mahsulotlari uchun yetkazib berish vaqtini qisqartirish mahsulot sifatini saqlash va iqtisodiy yo‘qotishlarning oldini olishda muhim omil hisoblanadi.

Xulosa va takliflar (Выводы и предложения/Conclusion).

Tadqiqot natijalari qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish tizimida raqamli marshrut optimallashtirish texnologiyalaridan foydalanish yuqori iqtisodiy va ekologik samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi.

Birinchidan, chumoli koloniyasi algoritmi va 2-opt usulini birgalikda qo‘llash transport marshrutlarini optimallashtirish, ortiqcha harakatlanish masofasini qisqartirish va logistika operatsiyalarini takomillashtirish imkonini beradi.

Ikkinchidan, 16 ta logistika nuqtasi asosida amalga oshirilgan hisob-kitoblar marshrut masofasini 14,08 foizga qisqartirish hamda 291,4 mln so‘m iqtisodiy tejamkorlikka erishish imkoniyatini ko‘rsatdi.

Uchinchidan, optimallashtirish natijasida 15 955 litr yoqilg‘ini tejash va 42,8 tonna CO_2 chiqindilarini kamaytirish imkoniyati aniqlandi. Bu esa raqamli logistika texnologiyalarining ekologik barqarorlikni ta’minlashdagi ahamiyatini tasdiqlaydi.

To‘rtinchidan, transport marshrutlarini optimallashtirish algoritmlarini yagona raqamli platformaga integratsiyalash qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish zanjirining barcha ishtirokchilari faoliyatini muvofiqlashtirish imkonini beradi.

Umuman olganda, Qoraqalpog‘iston Respublikasida qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetkazib berish tizimiga raqamli optimallashtirish texnologiyalarini joriy etish hududning logistika salohiyatini oshirish, mahsulot yo‘qotishlarini kamaytirish va qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining raqobatbardoshligini mustahkamlashning muhim yo‘nalishi hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati: (Список использованной литературы / References)

1. Bublik, N., Hess, S. (2026). Optimisation of agricultural logistics: A systematic review of modelling techniques and economic potentials. Agricultural Economics – Czech, 72(4), 253–271.
2. Aghaabdollahian, B., Javadi, B., Aazami, A. (2026). An overview of vehicle routing problems: A comprehensive classification and description of types. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 36, 101808.
3. Chu, D.-T., Cheng, X.-Y., Bai, L.-Y., Ling, H.-F. (2026). MCAH-ACO: A Multi-Criteria Adaptive Hybrid Ant Colony Optimization for Last-Mile Delivery Vehicle Routing. Sensors, 26(2), 401.
4. Dynamic risk-aware ant colony optimization for low-carbon routing in perishable food supply chains. (2026). Results in Engineering, 30, 109776.
5. Li, Y., Liao, W., Huang, Y. (2025). Mixed fleet-based two-echelon vehicle routing optimization for cold chain logistics with diverse recharging strategies. PLOS ONE, 20(2), e0318765.
6. Meraliyev, M., Turan, C., Kadyrov, S., Sadyk, U. (2025). A Comprehensive Survey of Methods and Challenges of Vehicle Routing Problem with Uncertainties. Mathematics, 13(23), 3782.
7. Fan, L., Liu, C., Dai, B., Li, J., Zhang, Y., Zhang, R. (2026). An adaptive ant colony algorithm for urban-rural collaborative electric vehicle routing problem. Applied Soft Computing, 186, 114219.
8. Wu, H., Gao, Y., Wang, W., et al. (2023). A hybrid ant colony algorithm based on multiple strategies for the vehicle routing problem with time windows. Complex & Intelligent Systems, 9, 2491–2508.
9. Sulyukova, L., Axmedjanova, Z. (2025). Evolutionary hybrid search for optimization in transport logistics information systems. Vibroengineering Procedia.