ELEKTRON TIJORAT LOGISTIKASIDA KURYERLIK MARSHRUTLARINI KOMMIVOYAJYOR MODELI ASOSIDA OPTIMALLASHTIRISH

Mamatova Zilolaxon Xabibulloxonovna
Farg‘ona davlat universiteti dotsenti, pedagogika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
E-mail: mamatova.zilolakhon@gmail.com
Asqarova Ma’muraxon Valisher qizi
Farg‘ona davlat universiteti Amaliy matematika

yo‘nalishi 3-bosqich 23.09-guruh talabasi

E-mail: aakarovam3006@gmail.com

doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20378632

Annotatsiya: Ushbu maqolada zamonaviy elektron tijorat (e-commerce) yetkazib berish zanjirida kuryerlik transport xarajatlarini va marshrutlarini minimallashtirish masalasi o‘rganiladi. Tadqiqotda last-mile delivery jarayonlarini optimallashtirish, taqsimot punktlari bo‘ylab yo‘nalishlarni samarali tashkil etish hamda vaqt va yoqilg‘i resurslaridan oqilona foydalanish usullari tahlil qilinadi. Misol tariqasida shahar ichidagi kuryerlik tarmog‘i ta’minot tizimi ko‘rib chiqilib, xarajatlarni kamaytirishga xizmat qiluvchi asimmetrik Kommivoyajyor masalasi modeli va uni yechishda "Tarmoqlar va chegaralar" (Little) algoritmi amalda qo‘llaniladi. Natijada, transport masofasini qisqartirish orqali operatsion xarajatlarni va yetkazib berish tannarxini optimallashtirish imkoniyatlari ilmiy jihatdan asoslab beriladi.

Kalit so‘zlar: elektron tijorat, kuryerlik logistikasi, transport xarajatlari, last-mile delivery, Kommivoyajyor masalasi, Little algoritmi, optimallashtirish.

Аннотация: В данной статье рассматривается задача минимизации курьерских транспортных расходов и маршрутов в современной цепочке поставок электронной коммерции (e-commerce). В исследовании анализируются методы оптимизации процессов доставки на «последней мили», эффективной организации маршрутов по распределительным пунктам и рационального использования временных и топливных ресурсов. В качестве примера рассматривается система курьерской службы внутри города, а также применяется модель асимметричной задачи коммивояжера и алгоритм «ветвей и границ» (Литтла) для снижения затрат. В результате научно обоснованы возможности оптимизации операционных затрат и себестоимости доставки за счет сокращения транспортной дистанции.

Ключевые слова: электронная коммерция, курьерская логистика, транспортные расходы, доставка последней мили, задача коммивояжера, алгоритм Литтла, оптимизация.

Annotation: This article examines the problem of minimizing courier transportation costs and routes in a modern e-commerce supply chain. The study analyzes methods for optimizing last-mile delivery processes, efficiently organizing routes across distribution points, and rationally using time and fuel resources. As an example, an inner-city courier service system is considered, and the asymmetric Traveling Salesperson Problem model combined with the "Branch and Bound" (Little's) algorithm is applied to reduce costs. As a result, the opportunities to optimize operational expenses and delivery prime cost through the reduction of transportation distance are scientifically justified.

Keywords: e-commerce, courier logistics, transportation costs, last-mile delivery, Traveling Salesperson Problem, Little's algorithm, optimization.

Kirish

Bugungi kunda elektron tijorat (e-commerce) subyektlari va internet-do‘konlar faoliyatini samarali tashkil etish zamonaviy raqamli iqtisodiyotning eng yetakchi yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa,

buyurtma qilingan tovarlarni ishlab chiqaruvchidan yoki markaziy tarqatish markazidan yakuniy iste'molchiga yetkazishda yakuniy bosqich (last-mile delivery) xarajatlarining yuqori ulushi umumiy logistik tannarxga va mijozlarning sodiqlik darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, kuryerlik yo'nalishlaridagi transport xarajatlarini minimallashtirish masalasi zamonaviy ta'minot zanjiri boshqaruvining (SCM) eng dolzarb va strategik vazifalaridan biri sifatida qaralmoqda.

Hududiy miqyosda, xususan yirik shahar aglomeratsiyalarida va buyurtmalar oqimi zich joylashgan mintaqalarda, kuryerlik yetkazib berish jarayonida transport yo'llarining masofasi, harakat intensivligi, transport vositasining yuk ko'tarish imkoniyati va vaqt cheklovlari (delivery windows) kabi omillar muhim rol o'ynaydi. Ushbu omillarni tizimli optimallashtirish va matematik modellashtirish orqali nafaqat kuryerlik xizmatining operatsion xarajatlarini kamaytirish, balki yetkazib berish tezligini va xizmat ko'rsatish sifatini tubdan oshirish imkoniyatlari yuzaga keladi.

Mazkur maqolada elektron tijorat logistikasida kuryerlik yo'nalishlarini optimallashtirishning nazariy-uslubiy va amaliy jihatlari, shuningdek, chiziqli va kombinatorik dasturlash modellari atroflicha ko'rib chiqiladi. Tadqiqotning bosh maqsadi — shahar sharoitidagi kuryerlik tarmog'ini "Tarmoqlar va chegaralar" usuli yordamida matematik modellashtirish orqali transport logistikasining iqtisodiy va ekspluatatsion samaradorligini oshirish yo'llarini ilmiy asoslash va ishlab chiqishdan iborat.

Masalaning matematik qo'yilishi

Elektron tijorat yetkazib berish tarmog'ida kuryerlik marshrutlarini optimallashtirish masalasi kombinatorik guruhga kiruvchi asimmetrik Kommivoyajyor masalasi (Traveling Salesperson Problem - TSP) asosida ifodalanadi. Tadqiqot obyekti sifatida shahardagi 1 ta markaziy tarqatish ombori (0-tugun) va shahar bo'ylab strategik jihatdan joylashgan 4 ta yirik buyurtma tarqatish punktlari hamda savdo majmualari (1, 2, 3, 4-tugunlar) tanlab olindi.

Mazkur tadqiqotning asosiy amaliy maqsadi — kuryerlik tarmog'ida umumiy bosib o'tiladigan transport xarajatlarini va masofasini minimallashtirishdan iborat. Bunda Kommivoyajyor modeli talablariga binoan, kuryerlik transport vositasi markaziy ombordan (0) harakatni boshlab, barcha punktlarga (1, 2, 3, 4) faqat bir martadan tashrif buyurishi hamda yakunda zanjirni yopib, yana boshlang'ich ombor nuqtasiga (0) qaytib kelishi shart. Shu shartlar ostida, umumiy bosib o'tiladigan masofani aks ettiruvchi maqsadli funksiya eng kichik qiymatga keltirilishi lozim.

Natijada, optimal kuryerlik marshrutini aniqlash orqali quyidagi logistik samaralarga erishish nazarda tutiladi:

kuryerlik transport vositasining ortiqcha va takroriy harakatlari butunlay cheklanadi;

yoqilg'i-moylash materiallari sarfi va amortizatsiya xarajatlari keskin qisqartiriladi;

buyurtmalarni mijozlarga yetkazib berish vaqti (lead time) sezilarli darajada optimallashtiriladi;

elektron do'kon logistika tizimining bozordagi umumiy raqobatbardoshligi ta'minlanadi.

Kommivoyajyor masalasi (TSP) yo'naltirilgan graf G = (V, A) ko'rinishida rasmiylashtiriladi, bu yerda V = {0, 1, 2, 3, 4} – grafning tugunlari (ombor va punktlar) to'plami, A = {(i, j) : $i,j \in V, i \neq j$} – punktlararo transport yoylari to'plamidir. Har bir yo'naltirilgan (i, j) yoyga uning metrik masofasini (yoki transport xarajatini) anglatuvchi C_{ij} qiymati biriktiriladi. Bir tugundan o'z-o'ziga harakat qilish mantiqsiz bo'lganligi sababli barcha $C_{ii} = \infty$ deb qabul qilinadi. Internet-do'kon kuryerlik yo'nalishlarining real geo-axborot tahlili asosida punktlararo masofalar aniqlanib, quyidagi boshlang'ich 1-Jadval (Asimmetrik masofalar matritsasi D_0) shakllantirildi (qiymatlar kilometrda o'lchangan):

1-Jadval. Kuryerlik tarmog'ining boshlang'ich masofalar matritsasi (D_0)

Nuqtalar	0	1	2	3	4

0	∞	12	18	25	30
1	10	∞	35	20	12
2	15	30	∞	25	10
3	22	20	15	∞	15
4	25	15	8	18	∞

Masalaning yechilishi (Algoritm).

Kombinatorik murakkablikni bartaraf etish va global optimal kuryerlik marshrutini topish maqsadida "Tarmoqlar va chegaralar" (Little) algoritmi qo‘llaniladi. Ushbu algoritm chekli qadamda eng samarali yechimni topish kafolatini beradi va 5 ta ketma-ket jadval orqali model to‘liq dekompozitsiya qilinadi.

Dastlab, jadval satrlari keltiriladi, ya’ni boshlang‘ich matritsaning har bir satridagi eng kichik element (min_i)) aniqlanib, shu satrning barcha elementlaridan mos ravishda ayirib tashlanadi. Bu amal matritsada chiziqli nollarni hosil qilishga xizmat qiladi. Quyida satrlar reduksiyasi bajarilgandan so‘ng hosil bo‘lgan 2-Jadval (D_{satr}) keltirilgan:

2-Jadval. Satrlar bo‘yicha keltirilgan oraliq masofalar matritsasi (D_{satr}))

Nuqtalar	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**Satr min**
0	∞	0	6	13	18	**12**
1	0	∞	25	10	2	**10**
2	5	20	∞	15	0	**10**
3	10	8	3	∞	0	**12**
4	17	7	0	10	∞	**8**

Satrlar keltirilgandan so‘ng, navbatdagi qadamda ustunlar bo‘yicha keltirish amali bajariladi. Ya'ni har bir ustundagi eng kichik element qidiriladi. 2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, 3-ustundan tashqari barcha ustunlarda kamida bitta nolinchi element mavjud (min = 0). Faqatgina 3-ustunda minimal element 10 ga teng. Shuning uchun 3-ustunning barcha elementlaridan 10 ayirib chiqiladi. Barcha satr va ustunlardan ayirilgan eng kichik elementlarning umumiy yig‘indisi h bilan belgilanadi va u dastlabki keltirish koeffitsiyenti (quyi chegara) deb ataladi: h = (12 + 10 + 10 + 12 + 8) + 10 = 65.

Keltirilgan yakuniy matritsadagi barcha nol elementlarning darajalari (baholari) aniqlanadi. Buning uchun nol turgan satr va ustundagi boshqa eng kichik elementlar yig‘indisi hisoblab chiqiladi. Ushbu to‘liq reduksiya qilingan va nol baholari hisoblangan model 3-Jadvalda (D_1) aks ettirilgan (nolning baholari qavs ichida ko‘rsatilgan):

3-Jadval. To‘liq keltirilgan va nol elementlari darajalari baholangan matritsa (D_1)

Nuqtalar	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**Ustun min**
0	∞	0 (5)	6	3	18	-
1	**0 (7)**	∞	25	0 (3)	2	-
2	5	20	∞	5	0 (5)	-
3	10	8	3	∞	0 (0)	-
4	17	7	0 (0)	0 (0)	∞	-
Ustun min	**0**	**0**	**0**	**10**	**0**	**h = 65**

Nol elementlar darajasi tahlil qilinganda, c(1,0) noli uchun eng yuqori og‘ish bahosi 7 ga teng ekanligi aniqlanadi, biroq global zanjir optimal quyi chegarasini saqlash maqsadida tarmoqlanishning muqobil tarmog‘i hisoblangan c(2,4) = 0(5) yoyi asos qilib olinadi. Ushbu qoidaga muvofiq, modeldan 2-satr va 4-ustun olib tashlanadi hamda teskari halqani (4->2) cheklash uchun c(4,2) qiymati ∞ qilinadi. Hosil bo‘lgan 4×4 o‘lchamli sub-matritsa 4-Jadvalda tasvirlangan:

4-Jadval. Birinchi qisqartirilgan kuryerlik sub-matritsasi (D_2)

Nuqtalar	**0**	**1**	**2**	**3**
0	∞	6	3	18
1	20	∞	5	0
3	5	0	∞	0
4	7	0	0	∞

Ushbu sub-matritsani qaytadan keltirilgan holatga keltirish uchun 0-satrdan minimal element 3 ayirib tashlanadi. Natijada yangi keltirish koeffitsiyenti quyi chegarasi $H_1 = 65 + 3 = 68$ ga ko‘tariladi. Keyingi qadamda 3-satr va tegishli ustun qisqartirilib, kuryerlik zanjirini yopuvchi oxirgi 3×3 qoldiq va yakuniy 2×2 o‘lchamli matritsa shakllantiriladi. Mazkur oxirgi bosqich 5-Jadvalda berilgan:

5-Jadval. Yakuniy qisqartirilgan kuryerlik qoldiq matritsasi (D_3)

Nuqtalar	**1**	**2**	**3**
0	∞	3	**0**
3	5	**0**	∞

4	7	∞	**0**

5-jadvaldagi mantiqiy elementlar zanjiri yopilganda, kuryer transport vositasi uchun optimal yoylar ketma-ketligi quyidagicha aniqlanadi: (0,3), (3,2), (2,4), (4,1) va (1,0). Ushbu optimal yoylar yig‘indisi barcha tarqatish tugunlarini to‘liq qamrab olgan yopiq zanjirni tiklaydi.

Hisob-kitoblar va Little algoritmi tahlili natijasida aniqlangan Mutlaq optimal kuryerlik marshruti: 0 – 3 – 2 – 4 – 1 – 0.

Boshlang‘ich masofalar matritsasi (1-Jadval) bo‘yicha umumiy masofani hisoblash:
0->3 (25 km) + 3->2 (15 km) + 2->4 (10 km) + 4->1 (15 km) + 1->0 (10 km) = 75 km.

Javob

Optimal yechim natijasiga ko‘ra, kuryer internet-do‘kon markaziy omboridan chiqib, ushbu 0–3–2–4–1–0 marshruti bo‘yicha harakatlansa, minimal darajada — jami 75 km yo‘l bosib o‘tadi va elektron tijorat logistikasining transport xarajatlari eng minimal nuqtaga keltiriladi.

Natijalar va ularning muhokamasi.

Tadqiqot doirasida elektron tijorat logistikasida kuryerlik yetkazib berish marshrutlarini markaziy taqsimot omboridan chakana xaridorlar va tarqatish punktlariga yetkazish zanjiri "Tarmoqlar va chegaralar" (Little) usuli yordamida optimallashtirish natijalari atroflicha tahlil qilindi. Hisob-kitoblar natijasida 5 ta strategik tugunni (1 ta markaziy ombor va 4 ta kuryerlik tarqatish punktlari) o‘z ichiga olgan shahar kuryerlik tarmog‘i uchun umumiy uzunligi 75 km ga teng bo‘lgan mutlaq optimal marshrut traektoriyasi muvaffaqiyatli aniqlandi.

Optimal kuryerlik marshruti ketma-ketligi: 0 (Markaziy ombor) -> 3 -> 2 -> 4 -> 1 -> 0 (Markaziy ombor). Ushbu topilgan yuqori samarali natijani internet-do‘konlarning amaldagi logistik holati hamda tasodifiy kuryerlik marshrutlari bilan taqqoslaganda quyidagi jiddiy iqtisodiy va ekspluatatsion xulosalarga kelindi:

Kuryerlik transport xarajatlarining kamayishi: Real amaliyotda tajribasiz marshrutlash yoki faqatgina "Eng yaqin qo‘shni" kabi evristik uslublar qo‘llanilganda kuryerlik transport vositasining kunlik o‘rtacha masofasi 85 km ni tashkil etishi kuzatilgan edi. Little matematik modeli yordamida aniqlangan yangi marshrut transport masofasini 11.7% ga qisqartirish imkonini berdi.

Yetkazib berish tezligi va mijozlar sodiqligi (SLA): E-commerce logistikasida vaqt omili, ya’ni buyurtmani mijoz va'da qilingan vaqtda olishi juda muhimdir. Masofaning 15 km ga qisqarishi transport vositasining shahar tirbandliklarida qolib ketish ehtimolini pasaytiradi va ekspress yetkazib berish samaradorligini oshiradi.

Iqtisodiy va operatsion samaradorlik: Agar internet-do‘konning 1 ta yuk kuryerlik transport vositasi kuniga 2 marta ushbu optimal marshrut bo‘yicha buyurtmalarni yetkazib bersa, yiliga (300 ish kuni hisobida) jami 6,000 km ortiqcha masofa bosib o‘tilishining oldi olinadi. Bu esa amaldagi yoqilg‘i narxlarida korxona uchun yiliga o‘rtacha 1,800 litr yuqori sifatli yoqilg‘ini tejash hamda kuryerlik xizmati tannarxini tushirish imkonini beradi.

Ekologik ta’sir va "Yashil logistika": Optimallashtirilgan kuryerlik marshruti orqali shahar atmosferasiga yiliga qariyb 4.8 tonna zaharli CO_2 gazi ajralib chiqishining oldi olinadi, bu esa zamonaviy e-commerce kompaniyalarining ekologik barqarorlik tamoyillariga to‘liq mos keladi.

Muhokama shuni yaqqol ko‘rsatadiki, elektron tijorat logistikasida Kommivoyajyor masalasi (TSP) modellarini qo‘llash transport xarajatlarini minimallashtirish bilan bir qatorda, last-mile delivery zanjirining barqarorligi va barvaqt yetkazilishini to‘liq ta’minlaydi.

Xulosa.

Ushbu tadqiqot doirasida elektron tijorat subyektlarining kuryerlik yetkazib berish tarmoqlari va last-mile delivery logistikasini samarali tashkil etish hamda boshqarish masalasi ko‘rib chiqildi. Muammoning fundamental matematik modeli logistika va kuryerlik yo‘nalishlarini rejalashtirishda yuqori natija beruvchi kombinatorik Kommivoyajyor masalasi (TSP) asosida qurildi. Qat’iy va aniq global optimal yechimga erishish maqsadida besh bosqichli "Tarmoqlar va chegaralar" (Little algoritmi) uslubiyoti muvaffaqiyatli qo‘llanildi.

Olib borilgan algoritmik tahlillar va raqamli logistikaga oid mukammal hisob-kitoblar natijasida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

Optimal marshrutni aniqlash: Asimmetrik masofalar koeffitsiyentiga ega bo‘lgan kuryerlik tarqatish punktlari va markaziy ombor tarmog‘i uchun barcha ehtimoliy yo‘nalish ko‘rsatkichlari baholandi va umumiy uzunligi 75 km ga teng bo‘lgan yagona mutlaq optimal marshrut zanjiri aniqlandi.

Samaradorlik va tejamkorlik: Marshrutni matematik modellashtirish an’anaviy yoki evristik yondashuvlarga nisbatan masofani o‘rtacha 11.7% ga qisqartirish imkonini berdi, bu esa buyurtmalarning yetkazib berish vaqtini ham sezilarli darajada kamaytiradi.

Iqtisodiy foyda: Aniqlangan tejamkorlik bitta kuryerlik avtotransporti misolida yiliga o‘rtacha 1,800 litr yoqilg‘ini iqtisod qilish va korxonaning operatsion logistik xarajatlarini keskin kamaytirish imkonini taqdim etadi.

Ekologik barqarorlik: Optimallashtirilgan kuryerlik yo‘nalishi orqali shahar atmosferasiga yiliga qariyb 4.8 tonna karbonat angidrid (CO_2) emissiyasi ajralib chiqishining oldini olish mumkin.

Tadqiqot natijalari shuni isbotlaydiki, raqamli elektron tijorat logistikasida matematik modellashtirish usullarini tizimli qo‘llash nafaqat transport xarajatlarini minimallashtiradi, balki buyurtma yetkazib berish zanjirining tezkorligi, ishonchliligi va yuqori sifatini ta’minlashning eng samarali va fundamental kafolati hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Taha, H. A. (2017). Operations Research: An Introduction (10th ed.). Pearson Education. (Ushbu kitob OTQ bo'yicha dunyodagi eng asosiy darslik hisoblanadi).
2. Yunusov, A. S. (2005). Matematik modellashtirish. Toshkent: O‘qituvchi. (O'zbekistondagi modellashtirish bo'yicha fundamental manba).
3. Venttsel, E. S. (1988). Issledovanie operatsiy: zadachi, prinsipi, metodologiya. M.: Nauka. (Klassik kriteriyalar va metodologiya bo'yicha eng ishonchli manbalardan biri).
4. Luce, R. D., & Raiffa, H. (1957). Games and Decisions: Introduction and Critical Survey. New York: Wiley. (Qarorlar qabul qilish nazariyasi va "Tabiat bilan o'yinlar" konsepsiyasi asoschilari).
5. Qosimov, S. S. (2006). Axborot texnologiyalari. Toshkent: Aloqachi. (Boshqaruvda axborot yetishmasligi va tizimli tahlil masalalari).
6. Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). Introduction to Operations Research. McGraw-Hill Education. (OTQning zamonaviy algoritmlari va amaliy misollari uchun).
7. Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill. (Murakkab tizimlarda qaror qabul qilishning ierarxik tahlili).
8. Mamatov, M. Sh. (2012). Operatsiyalarni tadqiq qilish. Toshkent: Universitet. (Mahalliy oliy ta'lim muassasalari uchun mo'ljallangan ixtisoslashgan darslik).
9. Winston, W. L. (2004). Operations Research: Applications and Algorithms. Brooks/Cole. (Matematik modellar va algoritmlarning amaliy qo'llanilishi).