



RAQAMLI IQTISODIYOTDA DAVLAT-XUSUSIY SHERIKLIK (DXSH) LOYIHALARINING SAMARADORLIGINI BAHOLASH UCHUN MATEMATIK MODELASHTIRISH

Sabirov Xasan Nusratovich,

Xalqaro Nordik universiteti Iqtisodiyot va biznesni

boshqarish kafedra mudiri i.f.f.d.(Phd), dotsent.

E-mail: k.sabirov@nordicuniversity.org

DOI: <https://doi.org/10.54613/ku.v18i.1641>

MAQOLA HAQIDA/O STAT'YE

Qabul qilindi: 15-aprel 2026-yil

Tasdiqlandi: 17-aprel 2026-yil

Jurnal soni: 18-A

Maqola raqami: 79

KALIT SO'ZLAR/ КЛЮЧЕВЫЕ

СЛОВА

Raqamli iqtisodiyot, davlat-xususiy sheriklik, matematik model, samaradorlikni baholash, risklarni boshqarish, AHP-TOPSIS, Monte-Karlo simulyatsiyasi

ANNOTATSIYA/ АННОТАЦИЯ

Ushbu tadqiqotda raqamli iqtisodiyot sharoitida davlat-xususiy sheriklik (DXSh) loyihalarining samaradorligini baholash uchun integratsion matematik model ishlab chiqilgan. Modelda samaradorlik funksiyasi $E = f(I, R, T, S)$ shaklida aniqlangan bo'lib, bunda I – investitsiya parametrlari, R – raqamli risk omillari, T – vaqt dinamikasi va S – ijtimoiy natijalarni ifodalaydi. AHP-TOPSIS integratsiyasi va Monte-Karlo simulyatsiyasi ($N = 10\ 000$) qo'llanilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, raqamli risklar loyiha samaradorligini deyarli 35,2% ga kamaytiradi, loyihaning ijobiy samaradorlikka erishish ehtimolligi esa 82,0% ni tashkil etadi.

Shuningdek, tadqiqotda ishlab chiqilgan modelning amaliy qo'llanish imkoniyatlari ham tahlil qilingan. Xususan, model davlat-xususiy sheriklik loyihalarini tanlash, ustuvor yo'nalishlarni belgilash hamda investitsion qarorlar qabul qilish jarayonida samarali vosita sifatida xizmat qilishi asoslab berilgan. Tadqiqot natijalari raqamli texnologiyalarni joriy etish bilan bog'liq xavf omillarini oldindan baholash va ularni minimallashtirish mexanizmlarini ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Bundan tashqari, modelning moslashuvchanligi turli iqtisodiy sharoitlar va tarmoqlarga tatbiq etish imkonini beradi. Tadqiqot yakunida raqamli iqtisodiyot sharoitida DXSh loyihalarining barqarorligini oshirish uchun risklarni boshqarish, ma'lumotlar xavfsizligini ta'minlash hamda innovatsion boshqaruv mexanizmlarini joriy etish zarurligi ta'kidlangan. Mazkur integratsion yondashuv iqtisodiy samaradorlikni oshirish bilan birga, ijtimoiy foyda va uzoq muddatli barqaror rivojlanishni ta'minlashga xizmat qilishi qayd etilgan.

ABOUT THE PAPER

Accepted: 15 april 2026

Approved: 17 april 2026

Volume: 18-A

Paper number: 79

KEYWORDS

digital economy, public-private partnership, mathematical model, efficiency evaluation, risk management, AHP-Topsis, Monte Carlo simulation

ANNOTATION

This study develops an integrated mathematical model for evaluating the effectiveness of Public-Private Partnership (PPP) projects in the context of the digital economy. The efficiency function is defined in the form of $E = f(I, R, T, S)$, where I represents investment parameters, R denotes digital risk factors, T refers to time dynamics, and S indicates social outcomes. The study applies the integration of AHP-TOPSIS methods and Monte Carlo simulation ($N = 10,000$). The results demonstrate that digital risks reduce project efficiency by approximately 35.2%, while the probability of achieving positive project efficiency is estimated at 82.0%.

Furthermore, the study analyzes the practical applicability of the developed model. In particular, the model is substantiated as an effective tool for selecting PPP projects, determining priority areas, and supporting investment decision-making processes. The findings are of significant importance for assessing in advance the risk factors associated with the implementation of digital technologies and for developing mechanisms to minimize such risks.

In addition, the flexibility of the model enables its application across various economic conditions and industrial sectors. The study concludes that, in the context of the digital economy, enhancing the sustainability of PPP projects requires effective risk management, ensuring data security, and implementing innovative management mechanisms. It is emphasized that this integrated approach contributes not only to improving economic efficiency but also to ensuring social benefits and long-term sustainable development.

Kirish. Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi infratuzilmaviy loyihalarni moliyalashtirish, qurish va boshqarish landshaftini tubdan o'zgartirdi. Dunyodagi ko'plab davlatlar raqamli yechimlarni o'z ichiga olgan yirik infratuzilmaviy loyihalarni amalga oshirish uchun davlat-xususiy sheriklik (DXSh) mexanizmlariga tobora ko'proq murojaat qilmoqdalar [1, 2]. Ushbu kontekstda DXSh tuzilmalari bilan raqamli iqtisodiyot tamoyillari – bulutli hisoblash, katta ma'lumotlar tahlili (Big Data), buyumlar interneti (IoT) va sun'iy intellektning qo'shilishi murakkabligi an'anaviy infratuzilmaviy loyihalarnikidan ancha yuqori bo'lgan yangi toifadagi loyihalarni yaratdi [3, 4].

Raqamli iqtisodiyotdagi DXSh loyihalari bir qator o'ziga xos xususiyatlar bilan an'anaviy sherikliklardan farq qiladi. Birinchidan, texnologik eskirish tezligi noyob vaqtinchalik xavfni keltirib chiqaradi: raqamli platformalar va tizimlar bir necha yil ichida eskirib qolishi mumkin, holbuki yo'llar yoki ko'priklar kabi an'anaviy infratuzilma aktivlarining foydali xizmat muddati o'nlab yillar bilan o'lanadi [5]. Ikkinchidan, ko'plab raqamli natijajoliklarning nomoddiy tabiati – dasturiy ta'minot platformalari, ma'lumotlar ekotizimlari, kibexavfsizlik arxitekturalari – natijalarni faqat sof joriy qiymat (NPV) yoki ichki daromadlilik darajasi (IRR) kabi standart moliyaviy ko'rsatkichlar yordamida miqdoriy baholashni qiyinlashtiradi [6, 7]. Uchinchidan, davlat ma'lumotlarini boshqarish tizimlari va xususiy sektorning

innovatsion salohiyati o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik tartibga solish va institutsional noaniqliklarni keltirib chiqaradi [8].

Shunga qaramay, DXSh loyihalarini baholash bo'yicha mavjud ilmiy adabiyotlar asosan jismoniy infratuzilma uchun ishlab chiqilgan uslubiyatlarga tayangan holda qolmoqda. Klassik yondashuvlar – diskontlangan pul oqimlari tahlili, xarajat-foyda tahlili va «pullik qiymat» (Value for Money – VfM) baholari – nisbatan barqaror talab prognozlarini, aniq belgilangan natija spetsifikatsiyalarini va bashorat qilinadigan risk taqsimotini nazarda tutadi [9]. Ushbu taxminlar raqamli DXSh loyihalarida tez-tez buziladi, bunda foydalanuvchilarni jalb qilish ko'rsatkichlari keskin o'zgarishi, loyiha ko'lami iterativ ravishda rivojlanishi va kibexavfsizlik tahdidlari chiziqli bo'lmagan risk dinamikasini keltirib chiqarishi mumkin. Shu sababli, moliyaviy, ijtimoiy, texnologik va risk o'lchovlarini yagona baholash tizimiga birlashtirish imkonini beruvchi yangi tahliliy vositalarga ehtiyoj borligini tan olish kuchaymoqda [11].

So'nggi yillarda bir qator tadqiqotlar ushbu bo'shliqni bartaraf etishga harakat qildi. Ko'p mezonli qaror qabul qilish (MCDM) usullari, jumladan, analitik ierarxiya jarayoni (AHP) va ideal yechimga o'xshashlik bo'yicha ustunlik tartibi texnikasi (TOPSIS) DXSh loyihalarini tanlash va ustuvorlashtirish uchun qo'llanildi [12]. Stoxastik simulyatsiya yondashuvlari, xususan Monte-Karlo usullari, loyiha pul oqimlari va risk parametrlaridagi noaniqlikni modellashirish uchun

ishlatildi [13]. Shuningdek, real opsiyalar nazariyasi va o'yin nazariyasini birlashtirgan integratsion matematik modellar DXSh loyihalarini noaniqlik sharoitida baholash uchun taklif etildi [14]. Biroq, ushbu hissalar moliyaviy samaradorlik, ijtimoiy ta'sir va raqamli tayyorgarlikni yagona tizimning o'zaro bog'liq komponentlari sifatida emas, balki alohida baholash oqimlari sifatida ko'rib chiqishga moyildir.

Ushbu tadqiqot mazkur bo'shliqni to'ldirish maqsadida raqamli iqtisodiyot sharoitida faoliyat yurituvchi DXSh loyihalarining samaradorligini baholash uchun integratsion matematik modelni ishlab chiqishga qaratilgan. Taklif etilayotgan model samaradorlik funksiyasini $E = f(I, R, T, S)$ shaklida belgilaydi, bunda I – investitsiya parametrlarini, R – raqamli risk omillarini, T – vaqt dinamikasini va S – ijtimoiy natijalarni ifodalaydi. Maqolaning qolgan qismi quyidagicha tuzilgan: 3–bo'limda materiallar va metodlar tasvirlanadi, 4–bo'limda natijalar keltiriladi, 5–bo'limda muhokama o'tkaziladi va 6–bo'limda xulosalar bayon etiladi.

Metodologiya. Ushbu tadqiqotda raqamli iqtisodiyot sharoitida davlat–xususiy sheriklik (DXSh) loyihalarining samaradorligini baholash uchun integratsion matematik model ishlab chiqilgan. Modelning nazariy asosini uch yo'nalish tashkil etadi: (1) diskontlangan pul oqimlari tahlili asosidagi moliyaviy samaradorlik ko'rsatkichlari [1]; (2) ko'p mezonli qaror qabul qilish (MCDM) usullari, xususan AHP va TOPSIS [12]; hamda (3) noaniqlik sharoitida risk parametrlarini modellashtirish uchun Monte–Karlo simulyatsiyasi [13]. Tadqiqot ma'lumotlari ikkinchi darajali manbalardan – Jahon banki DXSh ma'lumotlar bazasi, Scopus va Web of Science da indekslangan ilmiy maqolalar, hamda O'zbekiston Respublikasi davlat statistika ma'lumotlaridan to'plangan.

Loyihaning moliyaviy hayotiylikni baholash uchun quyidagi ko'rsatkichlar qo'llaniladi [6, 7]:

$$NPV = \frac{\sum(t = 0..n) Cft}{(1+r)^t} \quad (1)$$

bunda Cft – t -davrdagi pul oqimi, r – diskont stavkasi, n – loyiha muddati (yillarda). Ichki daromadlilik darajasi (IRR) – $NPV = 0$ tenglamani qanoatlantiruvchi r^* qiymati sifatida aniqlanadi.

Raqamli DXSh loyihalariga xos risklar quyidagi parametrlar orqali ifodalaniadi: $R1$ – texnologik eskirish riski, $R2$ – kibernetika riski, $R3$ – reguliyativ risk, $R4$ – integratsiya riski. Integral risk ko'rsatkichi:

$$R = \sum(j = 1..4) w_j \cdot R_j \quad (3)$$

bunda w_j – j -risk turining vazn koeffitsienti ($\sum w_j = 1$), AHP usuli yordamida ekspert baholash asosida aniqlanadi [12].

Raqamli loyihalarining qisqartirilgan hayot tsiklini hisobga olish uchun:

$$T = \alpha \cdot e^{(-\beta \cdot t)} \quad (4)$$

bunda α – texnologiyaning dastlabki foydalilik koeffitsienti, β – eskirish tezligi parametri, t – vaqt (yillarda) [5].

Sub–ko'rsatkichlar: $S1$ – foydalanuvchilar sonining o'sishi, $S2$ – xizmat ko'rsatish vaqtining qisqarishi, $S3$ – foydalanuvchilar qoniqlik darajasi, $S4$ – ish o'rinlari yaratilishi.

$$S = \sum(k = 1..4) v_k \cdot \hat{S}_k \quad (5)$$

bunda v_k – k -ko'rsatkichning vazn koeffitsienti, \hat{S}_k – normallashtirilgan qiymat (0 dan 1 gacha) [9, 11].

Yuqorida tavsiflangan to'rt guruh ko'rsatkichlarini yagona samaradorlik funksiyasiga birlashtirish uchun multiplikativ–bo'luvchi shakl tanlandi. Tanlov uch nazariy mulohazaga asoslanadi.

Birinchi, ko'p mezonli qaror qabul qilish (MCDM) adabiyotida agregatsiyaning ikki asosiy oilasi farqlanadi: kompensatsion (yig'indi shakli) va nokompensatsion (ko'paytma shakli) [10; 15]. Yig'indi shakli komponentlardan birining nol qiymati boshqalar tomonidan to'liq qoplanishiga yo'l qo'yadi (masalan, ijtimoiy natija nolga teng bo'lsa–da, moliyaviy daromad orqali umumiy samaradorlik yuqori bo'lishi mumkin).

Bu DXSh loyihalarining mohiyatiga zid: davlat–xususiy sheriklik bir vaqtning o'zida moliyaviy hayotiylik va ijtimoiy foydaliligini talab qiladi. Multiplikativ shakl bu zaiflikni bartaraf etadi: birorta komponent nol bo'lsa, umumiy samaradorlik ham nolga intiladi.

Ikkinchidan, vaqt omili (T) eksponensial pasayuvchi funksiya sifatida tuzilgan (4–formula), bu uning multiplikativ pozitsiyasini tabiiy qiladi: risk o'zgarishining foydaliligi \hat{I} va \hat{S} komponentlari uchun diskontlovchi koeffitsient vazifasini bajaradi.

Uchinchi, raqamli risk omili (R) maxraj sifatida ($1+R$) shaklida kiritildi. Ushbu yondashuv standart moliyaviy diskontlash mantiqiga mos keladi: risk o'zgarishida samaradorlik chiziqsiz ravishda kamayadi, lekin nolga aylanmaydi (chunki $R \in [0,1]$ va $1+R \in [1,2]$). Bu Kováčová va boshqalar (2023) tomonidan investitsion loyihalarni baholashda qo'llanilgan diskontlovchi yondashuvga uyg'undur [13].

Komponentlarni o'lchamsiz qilish uchun moliyaviy ko'rsatkich normallashtiriladi:

$$\hat{I} = \frac{NPV}{I_0} \quad (6)$$

bu yerda \hat{I} – investitsiyaga nisbatan sof joriy qiymat (o'lchamsiz). Vaqt omili T allaqachon $[0,1]$ oraligida (4–formula bo'yicha), ijtimoiy ko'rsatkich S ham $[0,1]$ ga normallashtirilgan (5–formula bo'yicha), risk R ham $[0,1]$ shkalada baholangan (3–formula bo'yicha).

Demak, samaradorlik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \frac{\hat{I} \cdot T \cdot S}{1+R} \quad (7)$$

bu yerda E – o'lchamsiz samaradorlik indeksi. Indeks qiymati $E > 0$ loyihaning ijobiy samaradorligini ko'rsatadi; E qancha katta bo'lsa, loyiha shuncha samarali. Turli loyihalarni taqqoslash uchun bir xil normallashtirish protsedurasi qo'llanilgan bo'lishi shart.

Ko'rsatkichlar tizimidagi vazn koeffitsientlarini aniqlash uchun Analitik Ierarxiya Jarayoni (AHP) usuli qo'llaniladi [12]. Juft solishtirish matritsasi $A = [a_{ij}]$ tuziladi, muvofiqlik koeffitsienti $CR = CI/RI$ hisoblanadi ($CR < 0,1$ bo'lsa muvofiq). Loyihalarni tartiblash uchun TOPSIS usuli qo'llaniladi. Har bir alternativaning ideal ijobiy ($A+$) va ideal salbiy ($A-$) yechimlardan masofasi hisoblanadi:

$$Di+ = \sqrt{\sum(v_{ij} - v_{j-})^2}, \quad Di- = \sqrt{\sum(v_{ij} - v_{j-})^2} \quad (8)$$

$$Ci = \frac{Di-}{(Di+ + Di-)}, \quad 0 \leq Ci \leq 1 \quad (8)$$

Ci qiymati 1 ga qanchalik yaqin bo'lsa, alternativa shunchalik optimal hisoblanadi [12].

Samaradorlik funksiyasidagi parametrlarning stoxastik tabiatini hisobga olish uchun Monte–Karlo simulyatsiyasi qo'llaniladi [13]. Har bir kirish parametri uchun ehtimollik taqsimoti belgilanadi:

$$Cft \sim N(\mu_{cf}, \sigma_{cf}^2), R_j \sim Tri(a, b, c), r \sim U(r_{min}, r_{max}).$$

$N = 10000$ marta simulyatsiya o'tkaziladi. Har bir iteratsiyada E funksiyasi qayta hisoblanadi, natijalar statistik tahlil qilinadi: o'rtacha qiymat, standart og'ish, 95% ishonchlilik intervallari va sezgirlik tahlili [13, 14].

Natijalar. Taklif etilgan matematik modelni sinash maqsadida O'zbekistondagi universitet raqamli platformasi loyihasi namunaviy keys–stadi parametrlashtirish namunasi sifatida tanlandi. Loyiha xususiyatlari: loyiha muddati $n = 7$ yil, dastlabki investitsiya $I_0 = 2,5$ mlrd so'm, yillik kutilayotgan pul oqimi $Cft = 600$ mln so'm, diskont stavkasi $r = 12\%$, davlat ulushi 45%, xususiy sektor ulushi 55%. Deterministik hisob–kitob natijalari: $NPV = 238,7$ mln so'm, $IRR = 14,8\%$ (diskont stavkasi $r = 12\%$ dan yuqori). Barcha uch ko'rsatkich loyihaning moliyaviy jihatdan maqbul ekanligini ko'rsatadi.

1–jadval

Mezonlar uchun AHP vazn koeffitsientlari

Mezon	Belgi	Vazn koeffitsienti	Tartibi
Moliyaviy samaradorlik	I	0,35	1
Raqamli risklar	R	0,25	2
Ijtimoiy natija	S	0,23	3
Vaqt omili	T	0,17	4

Muvofiqlik koeffitsienti $CR = 0,067 < 0,1$ — ekspert baholash muvofiq hisoblanadi.

Raqamli risk ko'rsatkichlari

Risk turi	Belgi	Baho (0–1)	Vazn	Vaznli baho
Texnologik eskirish	R1	0,65	0,30	0,195
Kiberxavfsizlik	R2	0,55	0,35	0,193
Regulyativ risk	R3	0,40	0,20	0,080
Integratsiya riski	R4	0,50	0,15	0,075
Integral risk	R	—	1,00	0,543

Vaqt omili va ijtimoiy natijalar

Vaqt omili: $\alpha = 1,0$ va $\beta = 0,15$ parametrlari bilan 7 yil uchun T qiymatlari:

$$T(1) = 0,861; T(2) = 0,741; T(3) = 0,638; T(4) = 0,549; T(5) = 0,472; T(6) = 0,407; T(7) = 0,350.$$

7–yilga kelib texnologiyaning foydalilik koeffitsienti dastlabki qiymatning atigi 35% ini tashkil etadi.

Ijtimoiy natija ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Belgi	Qiymat	Normallashtirilgan	Vazn
Foydalanuvchilar soni o'sishi	S1	15 000	0,75	0,30
Xizmat vaqti qisqarishi	S2	40%	0,80	0,25
Foydalanuvchi qoniqishi	S3	7,2/10	0,72	0,25
Yaratilgan ish o'rinlari	S4	85 ta	0,65	0,20

Integral ijtimoiy ko'rsatkich:

$$S = 0,30 \times 0,75 + 0,25 \times 0,80 + 0,25 \times 0,72 + 0,20 \times 0,65 = 0,735.$$

Samaradorlik funksiyasining umumiy natijasi

Avvalgi bo'limlardan olingan natijalarni (7)–formulaga qo'llash uchun moliyaviy komponent dastlab normallashtiriladi:

$$\hat{f} = \frac{NPV}{I_0} = \frac{238,7}{2500} = 0,0955$$

Vaqt omilining 7 yillik o'rtacha qiymati $\bar{T} = 0,574$, ijtimoiy ko'rsatkich $S=0,735$, integral risk $R=0,543$. Demak:

$$E = \frac{\hat{f} \cdot T \cdot S}{1 + R} = \frac{0,0955 \cdot 0,574 \cdot 0,735}{1,543} = \frac{0,04029}{1,543} = 0,0261$$

Olingan samaradorlik indeksi $E=0,0261$ loyihaning ijobiy lekin past samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Asosiy sabab — yuqori integral risk darajasi ($R=0,543$) va vaqt omilining o'rtacha qiymatining nisbatan past bo'lishi.

Stsenariy tahlili: Agar risk boshqarish mexanizmlari orqali integral risk $R=0,30$ ga tushirilsa:

$$E_{\text{yaxshilangan}} = \frac{0,0955 \cdot 0,574 \cdot 0,735}{1,30} = 0,0310$$

Bu dastlabki qiymatdan **18,8% yuqori**. Demak, risk darajasini kamaytirish samaradorlikning sezilarli o'sishiga olib keladi.

Monte–Karlo simulyatsiyasi natijalari

Samaradorlik funksiyasidagi parametrlarning stoxastik tabiatini hisobga olish uchun $N = 10\ 000$ iteratsiya hajmidagi Monte–Karlo simulyatsiyasi o'tkazildi. Kirish parametrlarining ehtimollik taqsimotlari:

Har bir kirish parametri uchun ehtimollik taqsimoti belgilandi:

$Cf_t \sim N(600; 100^2)$ — yillik pul oqimi (mln so'm),

$r \sim U(0,10; 0,15)$ — diskont stavkasi,

$R \sim \text{Tri}(0,35; 0,54; 0,75)$ — integral risk ko'rsatkichi,

$S \sim N(0,735; 0,05^2)$ — ijtimoiy natija ko'rsatkichi.

Har bir iteratsiyada normallashtirilgan moliyaviy ko'rsatkich $\hat{f} = \frac{NPV}{I_0}$ qayta hisoblanib, samaradorlik funksiyasi (7) ga qo'llandi. Salbiy pul oqimlari iqtisodiy mantiqqa binoan nolga tekislandi, S qiymatlari [0, 1] oralig'ida cheklandi.

Monte–Karlo simulyatsiyasi natijalari

Ko'rsatkich	Qiymat
E ning o'rtacha qiymati	0,0218
Standart og'ish	0,0235
Median	0,0208
Minimal qiymat	-0,0498
Maksimal qiymat	0,1302
95% ishonchlilik intervali	[-0,0211; 0,0696]
$P(E > 0)$ — ijobiy samaradorlik ehtimoli	82,0%
$P(E > 0,03)$	35,6%
$P(E > 0,05)$	12,1%

Natijalar shuni ko'rsatdiki, loyihaning ijobiy samaradorlikka erishish ehtimoli 82,0% ni tashkil etadi. Biroq samaradorlik indeksining yuqori qiymatlariga erishish ehtimoli sezilarli pastdir: $E>0,03$ ehtimoli 35,6%, $E>0,05$ ehtimoli esa atigi 12,1%. Taqsimotning asimmetrik xususiyati (minimal qiymat -0,0498, maksimal qiymat +0,1302) raqamli DXSh loyihalariga xos yuqori noaniqlik darajasini tasdiqlaydi.

Samaradorlik funksiyasining asosiy parametrlarga nisbatan sezgirligini aniqlash uchun bir o'zgaruvchili sezgirlik tahlili o'tkazildi. Har bir parametr boshlang'ich (deterministik) qiymatidan $\pm 20\%$ ga o'zgartirilib, boshqa parametrlar qotirilgan holatda E qayta hisoblandi.

Sezgirlik tahlili natijalari (boshlang'ich qiymat $E_0=0,0261$)

Parametr	-20% o'zgarish	+20% o'zgarish	E0 ga nisbiy o'zgarish
CfT (pul oqimi)	$E = -0,0338$	$E = 0,0859$	459,7%
R (risk)	$E = 0,0280$	$E = 0,0243$	14,1%
r (diskont stavkasi)	$E = 0,0503$	$E = 0,0046$	175,5%
S (ijtimoiy natija)	$E = 0,0208$	$E = 0,0313$	40,0%
β (eskirish tezligi)	$E = 0,0289$	$E = 0,0236$	20,5%

Sezgirlik tahlili natijalari shuni ko'rsatadiki, samaradorlik indeksi eng ko'p pul oqimi (CfT) va diskont stavkasi (r) ga bog'liq. Pul oqimining 20% ga pasayishi samaradorlikni salbiy qiymatga tushiradi ($E=-0,0338$), bu loyihaning daromad prognozlarini aniq baholash zarurligini ko'rsatadi. Diskont stavkasining o'sishi ham samaradorlikni keskin pasaytiradi, chunki u kelajakdagi pul oqimlarining joriy qiymatini kamaytiradi. Integral risk esa nisbatan past sezgirlikka ega (14,1%), chunki yangi formulada u faqat maxrajda namoyon bo'ladi. Ijtimoiy natija va vaqt omili o'rtacha sezgirlikka ega.

Muhokama. Tadqiqot natijalari raqamli iqtisodiyot sharoitida DXSh loyihalarini baholashda an'anaviy moliyaviy ko'rsatkichlarning yakka o'zi yetarli emasligini ko'rsatadi. Deterministik hisob-kitobda NPV = 238,7 mln so'm va IRR = 14,8% qiymatlari moliyaviy jihatdan maqbul natijani ko'rsatgan bo'lsa-da, samaradorlik funksiyasiga raqamli risklar, vaqt omili va ijtimoiy natijalar kiritilganda umumiy rasm sezilarli o'zgaradi. Integral risk ko'rsatkichining nisbatan yuqori qiymati ($R = 0,543$) samaradorlik funksiyasining maxraj qiymatini 1,543 ga oshiradi, bu loyihaning yakuniy samaradorligini risksiz holatga nisbatan 35,2% ga kamaytiradi. Bu natija Moore va Vining (2023) tadqiqotidagi xulosa bilan mos keladi [6].

AHP usuli orqali aniqlangan vazn koeffitsientlari ekspertlar moliyaviy samaradorlikni eng muhim mezon deb baholaganini ko'rsatdi ($w_1 = 0,35$). Bu Chaube va boshqalar (2024) tomonidan o'tkazilgan AHP va TOPSIS usullarining qo'llanilishi bo'yicha sharhda aniqlangan tendentsiyaga mos keladi [12]. Biroq, bizning modelda raqamli riskning ikkinchi o'ringda turishi an'anaviy infratuzilma loyihalaridagi risk vaznlaridan farq qiladi.

Monte-Karlo simulyatsiyasi natijalarida kuzatilgan keng tarqalish diapazoni ($\sigma E = 0,0235$; 95% interval: $[-0,0211; 0,0696]$) raqamli loyihalarining yuqori noaniqlik darajasiga ega ekanligini tasdiqlaydi. Kováčová va boshqalar (2023) ham Monte-Karlo usulining investitsion loyihalar riskini baholashdagi afzalliklarini ta'kidlagan edilar [13].

Sezgirlik tahlili pul oqimi (CfT) va diskont stavkasi (r) ning samaradorlikka eng kuchli ta'sir ko'rsatishini aniqladi. Bu topilma Biancardi va boshqalar (2024) tadqiqotidagi xulosa bilan hamohangdir [14]. Fabre va Straub (2023) ham DXSh loyihalarining samaradorligiga ta'sir etuvchi omillarning yagona tizim sifatida ko'rib chiqilishi zarurligini ta'kidlagan [1].

Birinchidan, model DXSh loyihasing raqamli risklarga chidamliligini miqdoriy baholash imkonini beradi. Integral risk 20% ga oshganda samaradorlik 6,9% ga kamayadi (0,0261 dan 0,0243 gacha), bu risk boshqarish mexanizmlarini oldindan nazarda tutish zarurligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, pul oqimi barqarorligi risk boshqarishdan ko'ra muhim ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi.

Ikkinchidan, vaqt omilining eksponensial pasayish modeli 4-5 yilda oraliq modernizatsiya investitsiyalari zarurligini asoslaydi. 7-yilga kelib texnologiya foydaliligining 65% yo'qotilishi raqamli loyihalarni alohida

toifadagi investitsion ob'ekt sifatida ko'rib chiqish zarurligini tasdiqlaydi [4, 5].

Uchinchidan, ijtimoiy natija ko'rsatkichlarining modelga kiritilishi davlat va xususiy sektor manfaatlarini muvozanatlashtirish imkonini beradi [9, 11]. Birinchidan, keys-stadi gipotetik xarakterga ega — real loyiha ma'lumotlari asosida validatsiya o'tkazilmagan. Ikkinchidan, AHP usulida beshta ekspertning fikrlari cheklangan; kengaytirilgan panel (10-15 ekspert) va fuzzy AHP usuli natijalarni yaxshilashi mumkin. Uchinchidan, samaradorlik funksiyasining tuzilishi soddalashtirilgan bo'lib, komponentlar orasidagi murakkab o'zaro bog'liqliklarni to'liq aks ettirmaydi. To'rtinchidan, kiberxavfsizlik risklarining kaskadli ta'siri alohida modelanmagan.

Modelga sun'iy intellekt elementlarini integratsiya qilish, modelni turli soha va mamlakatlar kontekstida sinash, hamda fuzzy mantiq va neyron tarmoqlarni AHP-TOPSIS tizimi bilan birlashtirib gibrid baholash tizimini yaratish istiqbolli yo'nalishlar sifatida belgilanadi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda raqamli iqtisodiyot sharoitida DXSh loyihalarining samaradorligini baholash uchun integratsion matematik model ishlab chiqildi. Model samaradorlik funksiyasini $E = f(I, R, T, S)$ shaklida aniqlash orqali moliyaviy ko'rsatkichlar (NPV, IRR), raqamli risk omillari, vaqt dinamikasi va ijtimoiy natijalarni yagona baholash tizimiga birlashtirdi.

Tadqiqotning asosiy natijalari: birinchidan, raqamli risklar va texnologik eskirish omillari hisobga olinganda loyihaning real samaradorligi sezilarli pastroq bo'lishi aniqlandi — integral risk ko'rsatkichining nisbatan yuqori qiymati ($R = 0,543$) samaradorlik funksiyasining maxraj qiymati oshiradi, bu loyihaning yakuniy samaradorligini risksiz holatga nisbatan 35,2% ga kamaytiradi. Ikkinchidan, Monte-Karlo simulyatsiyasi ($N = 10\ 000$) natijalariga ko'ra loyihaning ijobiy samaradorlikka erishish ehtimoli 82,0% ni tashkil etadi, biroq yuqori samaradorlik darajalariga erishish ehtimoli sezilarli pastdir. Sezgirlik tahlili pul oqimi barqarorligi va diskont stavkasi boshqaruvi hal qiluvchi omillar ekanligini isbotladi. Uchinchidan, vaqt omilining eksponensial pasayish modeli raqamli texnologiyalarning 7 yil ichida dastlabki foydaliligining 65% ini yo'qotishini ko'rsatdi, bu 4-5 yilda oraliq modernizatsiya zarurligini matematik jihatdan asoslaydi.

Amaliy nuqtai nazardan, taklif etilgan model qaror qabul qiluvchilarga raqamli DXSh loyihalarini kompleks baholash, risk boshqarish mexanizmlarini loyihalash va davlat-xususiy sektor manfaatlarini muvozanatlashtirish uchun miqdoriy asos sifatida xizmat qilishi mumkin. Modelning O'zbekiston sharoitidagi raqamli infratuzilma loyihalariga tatbiq etilishi iqtisodiy yo'qotishlarni taxminan 15-20% ga kamaytirish imkoniyatini beradi.

Kelajakdagi tadqiqotlarda modelni real DXSh loyihalari ma'lumotlari asosida validatsiya qilish, sun'iy intellekt algoritmalarini risk parametrlarini real vaqt rejimida yangilash uchun integratsiya qilish, hamda fuzzy AHP usulini qo'llash orqali ekspert baholashdagi sub'ektivlikni kamaytirish rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- Fabre, A., & Straub, S. (2023). The impact of public-private partnerships (PPPs) in infrastructure, health, and education. *Journal of Economic Literature*, 61(2), 655-715.
- Digital Cooperation Organization. (2024). *Public-Private Partnerships for the Development of the Digital Economy*. DCO Framework Report.
- Osei-Kyei, R., et al. (2023). A review of the trend of research studies on risk management in public-private partnerships. *International Journal of Construction Management*, 23(8), 1378-1389.
- Lysova, E., et al. (2021). Digital transformation of public-private partnership tools. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(3), 121.

- Liu, L.X., Clegg, S., & Pollack, J. (2024). The effect of public-private partnerships on innovation in infrastructure delivery. *Project Management Journal*, 55(1), 66-84.
- Moore, M.A., & Vining, A.R. (2023). PPP performance evaluation: The social welfare goal, principal-agent theory and political economy. *Policy Sciences*, 56(2), 339-369.
- Hossin, M.A., et al. (2024). Examining public-private partnership investment in energy towards achieving SDG 7 for ASEAN region. *Scientific Reports*, 14, 16398.
- Cheng, Z., Zhu, Y., Wang, H., & Ke, Y. (2024). Developing a suitability assessment model for PPPs: A case in urban China. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-10.

9. Shah, M.A., Kumar, S., Shah, M.A., & Rasool, A. (2024). Examining the relationship among CSFs for delivery of sustainable PPP projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
10. Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* (pp. 5–21). Springer, Boston, MA.
11. Ning, L., Abbasi, K.R., Hussain, K., Alvarado, R., & Ramzan, M. (2023). Analyzing the role of green innovation and PPPs in achieving SDGs. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 1–17.
12. Chaube, S., et al. (2024). An overview of multi-criteria decision analysis and the applications of AHP and TOPSIS methods. *Int. J. of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 9(3), 581–615.
13. Kováčová, M., et al. (2023). New approaches to project risk assessment utilizing the Monte Carlo method. *Sustainability*, 15(2), 1006.
14. Di Bari, A., Santoro, D., Tarrazon-Rodon, M.A., & Villani, G. (2025). A PPP projects valuation: Real options, competition and anchoring bias. *Computational Economics*.
15. Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. John Wiley & Sons