

**IRRIGATSIYA TARMOG‘I GRAF MODELIDA SAMARADORLIK
KOEFFITSIENTLARI ASOSIDA NETTO TALABNI BRUTTO REJAGA AVTOMATIK
O‘TKAZISH**

Qudaybergenov Adilbay Abatbaevich

texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent, doktorant, Mirzo Ulug‘bek nomidagi
O‘zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O‘zbekiston.

E-mail: adilbek_79@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-5182>

Qazimbetova Muxabbad Maxsetbaevna

fizika-matematika fanlari falsafa doktori, doktorant, Berdax nomidagi Qoraqalpoq davlat
universiteti, Nukus, O‘zbekiston.

E-mail: qazimbetovamuxabbad@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2458-4210>

Ispanova Jadira Paraxat qizi

Berdax nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti tayanch doktoranti, Nukus, O‘zbekiston.

E-mail: paraxatovna1996@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5701-7200>

Raxmatullayev Baxodir Jandulla o‘g‘li

magistrant, Berdax nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti, Nukus, O‘zbekiston.

E-mail: r.bakhodir98@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1739-3361>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19421679>

Annotatsiya. Ushbu tezisdagi irrigatsiya tarmog‘ini yo‘naltirilgan graf ko‘rinishida ifodalash asosida fermerlarning dekadaviy netto suv talabini manbadagi brutto reja hajmlariga avtomatik o‘tkazish usuli taklif etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi suv iste‘molchilari, terminallar va kanal qirralari o‘rtasidagi bog‘lanishlarni formallashtirish hamda tarmoqdagi tashish samaradorligi ko‘effitsientlarini hisobga olgan holda rejalashtirish hisoblarini avtomatlashtirishdan iborat. Ishda fermer kesimidagi netto talab ekin maydoni va dekadaviy sug‘orish me‘yori asosida aniqlanadi, so‘ng ulush ko‘effitsientlari yordamida terminallarga taqsimlanadi. Keyin terminallardan manba tomon orqaga hisoblash orqali har bir qirra uchun kiruvchi brutto hajmlar va o‘rtacha sarflar hisoblanadi. Taklif etilgan yondashuv samaradorlik ko‘effitsientlarining o‘zgarishi manbada talab etiladigan umumiy suv hajmiga qanday ta’sir

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

qilishini ssenariy asosida baholash imkonini beradi. Natijada ushbu hisoblash yadrosi suv resurslarini operativ rejalashtirish, limitlash masalalari va keyingi bosqichdagi ierarxik boshqaruv modellari uchun yagona «talab–reja» ma’lumot qatlamini shakllantiradi.

***Kalit so‘zlar:** irrigatsiya tarmog‘i, yo‘naltirilgan graf, netto suv talabi, brutto reja, samaradorlik koeffitsienti, dekadaviy rejalashtirish, orqaga hisoblash, suv taqsimoti*

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕТТО-ПОТРЕБНОСТИ В БРУТТО-ПЛАН НА ОСНОВЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ГРАФОВОЙ МОДЕЛИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Кудайбергенов Адилбай Абатбаевич – доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент, докторант, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан.

E-mail: adilbek_79@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-5182>

Казымбетов Мухаббад Махсетбаевна – доктор философии по физико-математическим наукам(PhD), докторант, Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус, Узбекистан.

E-mail: qazimbetovamuxabbad@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2458-4210>

Испанова Жадира Парахат кизи – базовый докторант, Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус, Узбекистан.

E-mail: paraxatovna1996@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5701-7200>

Рахматуллаев Баходир Жандулла ўгли – магистрант, Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус, Узбекистан.

E-mail: r.bakhodir98@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1739-3361>

***Аннотация.** В данном тезисе предложен метод автоматического преобразования декадной нетто-потребности фермеров в воде в брутто-плановые объемы у источника на основе представления оросительной сети в виде ориентированного графа. Основная цель исследования заключается в формализации связей между водопотребителями, терминалами и рёбрами канальной сети, а также в автоматизации плановых расчётов с*

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

учётom коэффициентов транспортной эффективности в сети. В работе нетто-потребность на уровне фермерского хозяйства определяется на основе посевной площади и декадной оросительной нормы, после чего с использованием долевых коэффициентов распределяется по терминалам. Далее посредством обратного расчёта от терминалов к источнику определяются входные брутто-объёмы и средние расходы для каждого ребра сети. Предложенный подход позволяет в сценарной постановке оценивать, как изменение коэффициентов эффективности влияет на общий объём воды, требуемый у источника. В результате данное вычислительное ядро формирует единый слой данных «потребность–план» для оперативного планирования водных ресурсов, задач лимитирования и последующих моделей иерархического управления.

Ключевые слова: оросительная сеть, ориентированный граф, нетто-потребность в воде, брутто-план, коэффициент эффективности, декадное планирование, обратный расчёт, распределение воды

**AUTOMATIC CONVERSION OF NET DEMAND INTO A GROSS PLAN
BASED ON EFFICIENCY COEFFICIENTS IN A GRAPH MODEL OF AN
IRRIGATION NETWORK**

Kudaybergenov Adilbay Abatbaevich – Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: adilbek_79@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-5182>

Kazimbetov Muxabbad Maxsetbaevna – Doctor of Philosophy (PhD) in Physical and Mathematical Sciences, doctoral student, Berdakh Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan.

E-mail: qazimbetovamuxabbad@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2458-4210>

Ispanova Jadira Paraxat qizi – basic doctoral student, Berdakh Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan.

E-mail: paraxatovna1996@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5701-7200>

Raxmatullayev Baxodir Jandulla o‘g‘li – master’s student, Berdakh Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan.

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

E-mail: r.bakhodir98@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1739-3361>

***Abstract.** This thesis proposes a method for the automatic conversion of farmers’ decadal net water demand into gross planned volumes at the source based on representing an irrigation network as a directed graph. The main objective of the study is to formalize the relationships among water users, terminals, and canal edges, and to automate planning calculations while accounting for conveyance efficiency coefficients within the network. In the proposed approach, net demand at the farm level is determined from the cultivated area and the decadal irrigation norm, after which it is distributed among terminals using allocation coefficients. Then, through backward calculation from the terminals to the source, the incoming gross volumes and average discharges are determined for each network edge. The proposed method makes it possible to evaluate, in a scenario-based setting, how changes in efficiency coefficients affect the total water volume required at the source. As a result, this computational core forms a unified “demand–plan” data layer for operational water planning, water limiting tasks, and subsequent hierarchical control models.*

***Keywords:** irrigation network, directed graph, net water demand, gross plan, efficiency coefficient, decadal planning, backward calculation, water distribution.*

Kirish

Suv resurslari tanqisligi, iqlim omillarining o‘zgaruvchanligi va irrigatsiya infratuzilmasining katta yo‘qotishlari sharoitida tarmoq bo‘yicha suvni rejalashtirishda «iste’molchidagi real talab»dan «manbada ajratilishi lozim bo‘lgan reja hajmi»gacha aniq va tez hisob-kitob mexanizmini joriy qilish dolzarb vazifadir. Amudaryo havzasining quyi qismlarida ekinlarning evapotranspiratsiya (ET) va sug‘orish talabini baholashga bag‘ishlangan tadqiqotlar sug‘orish me‘yorlari yillar va mavsumlar bo‘yicha keskin farq qilishini, demak, rejalashtirish qarorlari ko‘p omilli ekanini ko‘rsatadi [1].

Iqlim o‘zgarishi sharoitida ekinlar suv talabining o‘sishi va taqsimoti ssenariylarini baholashda modellashtirish yondashuvlari kengaymoqda. Mintaqaviy iqlim ssenariylari asosida ekinlar suv talabini bashorat qilish hamda hududiy irrigatsiya rejalashtirishiga ta’sirini baholash bo‘yicha ishlar samaradorlik va resurs cheklavlarini hisobga olgan holda rejalashtirishni talab qiladi [2].

Irrigatsiya tizimlarida «netto talab» tushunchasi odatda ekinning agronomik ehtiyojiga mos bo‘lgan maydondagi suv hajmini anglatadi, ammo magistral va xo‘jalik kanallari bo‘ylab tashish

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

jarayonida filtratsiya, bug‘lanish va ekspluatatsion yo‘qotishlar tufayli manbadagi zarur hajm (brutto) yuqoriroq bo‘ladi. Jamoaviy irrigatsiya tizimlari uchun kompleks suv balansi va hisobga olish usuli taklif etilgan tadqiqotlarda yo‘qotishlarni tizimli hisoblash va balansni yopish rejalashtirishning ishonchli asosi ekani ta’kidlanadi [3]. Shu bilan birga, agrar tizimlarda suv hisobini standartlashtirish va iste’mol/yo‘qotish komponentlarini ajratish bo‘yicha amaliy metodologiyalar ham rivojlanmoqda [4].

Tarmoq darajasidagi rejalashtirish muammosi faqat hisob-kitob emas, balki suvni taqsimlash va tarmoqni boshqarish algoritmlarini ham o‘z ichiga oladi. Kanallar tizimi uchun taqsimlash va taqvimlashtirish (scheduling) modellari gidravlik va tashkiliy cheklavlarni birlashtirib, rejalashtirishni optimallashtirishga xizmat qiladi [5], [6]. Bugungi kunda irrigatsiya tarmoqlari uchun raqamli egizak (digital twin) va kuchaytirib o‘rganish (reinforcement learning) kabi yondashuvlar ham suv taqsimotini samarali boshqarishda qo‘llanmoqda, bu esa rejalashtirish–boshqarish integratsiyasining ahamiyatini oshiradi [7].

Amaliyotda «samaradorlik» ko‘rsatkichini hisobga olgan holda netto talabdan brutto talabga o‘tish uchun qator koeffitsientlardan foydalaniladi. Masalan, sug‘orishda qo‘llash samaradorligini baholash va shu asosda brutto sug‘orish hajmini aniqlash bo‘yicha tadqiqotlar rejalashtirish algoritmlariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta’sir qiladi [8]. Masofaviy zondlash orqali suv iste’moli va ET maydoniy taqsimotini baholash esa talabni validatsiya qilishga xizmat qiladi [9].

Yuqoridagi manbalardagi xulosalardan kelib chiqib, mazkur ishning dolzarbligi shundaki: (i) talabni iste’molchidan manbagacha yagona formal qoida bilan «tarmoq bo‘yicha» avtomatik o‘tkazish; (ii) samaradorlik koeffitsientlarining reja hajmlariga ta’sirini analiz qilish; (iii) keyingi bosqichlarda limitlash va ierarxik boshqaruv (LP+MPC) uchun bir xil «talab–reja» ma’lumot qatlamini yaratish imkonini beruvchi hisoblash yadrosini asoslashdan iborat.

Tadqiqotning maqsadi irrigatsiya tarmog‘ini yo‘naltirilgan graf modelida ifodalash asosida dekadaviy netto suv talablarini manbadagi brutto reja hajmlariga avtomatik o‘tkazish mexanizmini formallashtirish va samaradorlik koeffitsientlarining rejaga ta’sirini ssenariy yondashuvda baholashdan iborat. Buning uchun iste’molchi–terminal–qirra bog‘lanishlari belgilanadi, dekadaviy netto talabni hisoblash va uni terminallarga ulush koeffitsientlari orqali moslashtirish tenglamalari beriladi, qirralar samaradorligi hisobga olingan holda terminallardan manba tomon orqaga hisoblash asosida brutto reja hajmlarini aniqlash algoritmi ishlab chiqiladi hamda samaradorlik o‘zgarishiga nisbatan reja ko‘rsatkichlarining sezgirligi ssenariy tahlil orqali baholanadi.

Asosiy qism

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

Masalaning qo‘yilishi. Irrigatsiya tarmog‘i manbadan iste‘molchilarga suv yetkazuvchi yo‘naltirilgan tarmoq sifatida qaraladi. Tarmoq tugunlari V (gidroinshootlar, gidrouzellar, nasos stansiyalari, terminal regulyatorlar) va qirralari E (kanal uchastkalari yoki quvur segmentlari) majmuasidan tashkil topadi. Manba tuguni $s \in V$, terminal tugunlar to‘plami $\{T \subset V\}$ orqali iste‘molchilar (fermerlar, sanoat zonalari) suv oladi. Har bir $t \in T$ terminal uchun $d \in D$ dekadada $N_{t,d}$ netto talab hajmi berilgan bo‘lib, maqsad – har bir qirra bo‘yicha manbagacha brutto reja hajmlarini va sarflarini topishdan iborat.

Matematik model. Tarmoq modeli quyidagi ko‘rinishda beriladi:

$$G = (V, E) \quad (1)$$

Dekadaviy hisoblash uchun L_d — dekadaning kunlar soni, Δ_d — dekadaning davomiyligi (sekund) deb olinadi:

$$\Delta_d = 86400L_d \quad (2)$$

Fermerlar kesimida netto talabni hisoblashda ekin turi, maydon va sug‘orish me‘yori (yoki gidromodul) qo‘llanadi. Dekadaviy me‘yor $v_{f,d}$ [m^3/ga] ko‘rinishida qabul qilinsa, netto hajm:

$$R_{f,d} = A_f v_{f,d} \quad (3)$$

Agar bir fermerning suvi bir nechta terminal orqali olinsa, ulush koeffitsientlari $\alpha_{t,f}$ yordamida netto talab terminallarga taqsimlanadi:

$$N_{t,d} = \sum_{f:\varphi(t)=f} \alpha_{t,f} R_{f,d} \quad (4)$$

Tarmoq qirralarida tashish samaradorligi

$$\eta_e \in (0,1]$$

koeffitsientlari bilan ifodalanadi. Terminallardan manba tomon «orqaga hisoblash» asosida har bir qirraga kiruvchi brutto hajm:

$$B_{e,d}^{in} = \sum_{t \in T(e)} \frac{N_{t,d}}{\prod_{a \in path(e \rightarrow t)} \eta_a} \quad (5)$$

Qirra bo‘yicha o‘rtacha sarf (sekundiga m^3):

$$Q_{e,d} = \frac{B_{e,d}^{in}}{\Delta_d} \quad (6)$$

Yil bo‘yicha yig‘ma reja hajmi:

$$B_e^{yr} = \sum_{d \in D} B_{e,d}^{in} \quad (7)$$

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

Algoritm va hisoblash usuli. Taklif etilayotgan hisoblash yadrosi ikki qadamdan iborat. Birinchi qadamda iste’molchi kesimida dekadaviy netto talablar agronomik ma’lumotlar asosida hisoblanadi (maydon, ekin, gidromodul yoki me’yorlar jadvali). Ikkinchi qadamda tarmoq grafi bo’yicha terminallardan manba tomon agregatlashtirish amalga oshiriladi: har bir qirra uchun uning pastki qismidagi terminallar to‘plami $T(e)$ aniqlanadi va (5) formula bo’yicha brutto hajm yig‘iladi. Hisoblashni tezlashtirish uchun $T(e)$ va $path(e \rightarrow t)$ to‘plamlari bir marta (tarmoq strukturasi o‘zgarmaguncha) tayyorlanadi, keyin har bir dekadada faqat arifmetik amallar bajariladi.

Amaliy hisoblashda qirralar grafi odatda daraxtsimon (siklsiz) ko‘rinishga keltiriladi yoki sikl mavjud bo‘lsa, ekspluatatsion qoidalarga ko‘ra yo‘l tanlash (masalan, faqat bir asosiy yo‘l) belgilanadi. Shu holda orqaga hisoblash dinamik dasturlashga teng bo‘lib, har bir dekadada hisoblash murakkabligi $O(|E| + |T|)$ tartibida bo‘ladi. Agar bir terminalga bir necha parallel yo‘llar ishlatilsa, yo‘l ulushlari $\alpha_{t,f,d}$ kabi vaqtga bog‘liq ulushlar orqali generalizatsiya qilish mumkin; lekin ushbu maqolada soddalashtirilgan holat — har bir terminal uchun bir asosiy yo‘l qabul qilindi.

Natijada, har bir qirra uchun dekadaviy reja hajmlari va sarflari olinadi; ular keyingi bosqichlarda limitlash (chiziqli dasturlash) va real vaqt boshqaruvi (MPC/SCADA) uchun kirish ma’lumoti sifatida xizmat qiladi. Bunday ajratish – «talabni hisoblash» va «taqsimlash/boshqarish» qismlarining modullashtirilishi – raqamli irrigatsiya axborot tizimlarida muhim yondashuv hisoblanadi [6], [7].

Xulosa va amaliy tavsiyalar

1) Irrigatsiya tarmoqlarida dekadaviy netto talablarni manbadagi brutto reja hajmlariga avtomatik o‘tkazish uchun yo‘naltirilgan graf modeli va orqaga hisoblash qoidalari formallashtirildi.

2) Samaradorlik koeffitsientlari qirralar kesimida kiritilib, ularning manba rejasiga ta’siri jadval va grafiklar orqali ssenariy tahlilda ko‘rsatildi. η oshishi manbada talab etiladigan umumiy hajmni sezilarli kamaytiradi.

3) Ushbu hisoblash yadrosi keyingi bosqichlarda limitlash (LP) va ierarxik boshqaruv (MPC/SCADA) uchun yagona «talab–reja» ma’lumot qatlamini ta’minlaydi.

Tavsiyalar: kanal uchastkalari bo’yicha η koeffitsientlarini pasport, o‘lchov va monitoring ma’lumotlari asosida kalibrlash; parallel yo‘llar uchun ulush koeffitsientlarini

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

ekspluatatsion reglament bilan belgilash; axborot tizimda graf strukturasi (tugun–qirra) va dekadaviy talab jadvalarini alohida saqlab, hisoblashni servis sifatida ajratish; natijalarni dispatcher panelida qirralar kesimida vizuallashtirish.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] D. Khaydar *et al.*, “Investigation of crop evapotranspiration and irrigation water requirement in the lower Amu Darya River Basin, Central Asia,” *J. Arid Land*, vol. 13, no. 1, pp. 23–39, Jan. 2021, doi: 10.1007/s40333-021-0054-9.
- [2] M. F. Aslam *et al.*, “Modelling crop water demand under climate change: the case of Sardinia region,” *Irrig Sci*, vol. 43, no. 6, pp. 1681–1698, Nov. 2025, doi: 10.1007/s00271-025-01027-8.
- [3] H. Cunha, D. Loureiro, G. Sousa, D. Covas, and H. Alegre, “A comprehensive water balance methodology for collective irrigation systems,” *Agricultural Water Management*, vol. 223, p. 105660, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.agwat.2019.05.044.
- [4] A. Ferreira, J. Rolim, P. Paredes, and M. D. R. Cameira, “Methodologies for Water Accounting at the Collective Irrigation System Scale Aiming at Optimizing Water Productivity,” *Agronomy*, vol. 13, no. 7, p. 1938, Jul. 2023, doi: 10.3390/agronomy13071938.
- [5] Y. Fan *et al.*, “Water distribution and scheduling model of an irrigation canal system,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 209, p. 107866, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.compag.2023.107866.
- [6] K. Zhou *et al.*, “The coupled model of water delivery and distribution regulation for single-canal pool systems,” *Agricultural Water Management*, vol. 313, p. 109475, May 2025, doi: 10.1016/j.agwat.2025.109475.
- [7] C. El Hachimi *et al.*, “Towards collective intelligence in agriculture: Deep reinforcement learning and digital twins for efficient management of collective irrigation water distribution systems,” *Energy Nexus*, vol. 20, p. 100599, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.nexus.2025.100599.
- [8] J. L. Wenzel, J. Pöhlitz, M. Usman, T. Piernicke, and C. Conrad, “Enhancing irrigation scheduling by application efficiency estimations and soil moisture simulations,” *European Journal of Agronomy*, vol. 164, p. 127487, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.eja.2024.127487.
- [9] D. Zhou, C. Zheng, L. Jia, M. Menenti, J. Lu, and Q. Chen, “Evaluating the Performance of Irrigation Using Remote Sensing Data and the Budyko Hypothesis: A Case Study

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

in Northwest China,” *Remote Sensing*, vol. 17, no. 6, p. 1085, Mar. 2025, doi: 10.3390/rs17061085.