


UO‘K: 626.86:519.876(575.1)

 10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.32

GRUNT O‘ZANLI KANALLARNI REKONSTRUKSIYALASHNING NSGA-II ALGORITMI YORDAMIDA KO‘P MAQSADLI OPTIMALLASHTIRISH MODELI



Hazratov Alisher Normurodovich

“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

E-mail: khazratov@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-1300-0547
Science ID: FQD-0225-0024



Sobirov Feruz Choriyevich

Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston

E-mail: sobirovferuzbek874@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9135-3403
Science ID: MBX-0226-0045

Annotatsiya. Ushbu maqolada grunt o‘zanli irrigatsiya kanallarini rekonstruksiyalash parametrlarini aniqlash uchun ishlab chiqilgan ko‘p maqsadli optimallashtirish modeli ta’riflanadi. Model oqim gidravlik parametrlarini Shezi-Manning tenglamasi, oqiziq transporti hisoblarini Engelund–Hansenning oqimning tashuvchanlik qobiliyatini aniqlash formulasi va filtratsiya hisoblarini Pavlovskiy filtratsiya formulasi bilan hisoblashlarni o‘z ichiga oladi. Shuningdek model NSGA-II algoritmi yordamida shakllantirilgan kombinatsiyalar uchun hozirgi paytdagi narx-navolar asosida rekonstruksiya va ekspluatatsiya xarajatlarini hisoblaydi. Optimallashtirish modelida Python muhitidagi NSGA-II algoritmini qo‘llash orqali kombinatsiyalarni shakllantirish va eng kam umumiy xarajatlar beradigan natijalar asosida eng maqbul parametrlarni saralash bajariladi. Modelning keys-stadi sinovi Amu-Buxoro mashina kanali misolida o‘tkazildi. Natijalar rekonstruksiya va ekspluatatsiya xarajatlari o‘rtasidagi optimal muvozanatni aniqlash imkonini berdi.

Kalit so‘zlar: gruntli kanallarni rekonstruksiya qilish, ko‘p mezonli optimallashtirish, NSGA-II algoritmi, oqimning tashish qobiliyati, oqimning o‘zgaruvchanligi, rekonstruksiya va ekspluatatsiya xarajatlari.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ГРУНТОВЫХ КАНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА NSGA-II

Хазратов Алишер Нормуродович

Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт ирригации и сельскохозяйственной
механизации», Ташкент, Узбекистан.

Собиров Феруз Хориевич

Бухарский государственный технический университет,
Бухара, Узбекистан

Аннотация. В данной статье описывается модель многокритериальной оптимизации, разработанная для определения параметров реконструкции грунтовых ирригационных каналов. Модель включает расчёт гидравлических параметров потока на основе уравнения Шези–Маннинга, расчёт транспорта наносов с использованием формулы транспортирующей способности потока Энгелунда–Хансена, а также расчёт фильтрационных потерь с применением формулы фильтрации Павловского. Кроме того, модель рассчитывает затраты на реконструкцию и эксплуатацию для комбинаций параметров, сформированных с помощью ал-

горитма NSGA-II, на основе текущих ценовых показателей. В рамках оптимизационной модели применение алгоритма NSGA-II в среде Python позволяет формировать различные комбинации параметров и выбирать наиболее оптимальные решения, обеспечивающие минимальные суммарные затраты. Апробация модели выполнена на примере Аму-Бухарского машинного канала. Полученные результаты позволили определить оптимальный баланс между затратами на реконструкцию и эксплуатацию канала.

Ключевые слова: реконструкция грунтовых каналов, многокритериальная оптимизация, алгоритм NSGA-II, транспортирующая способность потока, изменчивость потока, затраты на реконструкцию и эксплуатацию.

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODEL FOR RECONSTRUCTION OF EARTHEN CANALS USING THE NSGA-II ALGORITHM

Khazratov Alisher Normurodovich

National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization", Tashkent, Uzbekistan.

Sobirov Feruz Khorievich

Bukhara State Technical University, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. This article describes a multi-objective optimization model developed to determine the reconstruction parameters of earthen irrigation canals. The model incorporates hydraulic flow calculations using the Chezy–Manning equation, sediment transport calculations using the Engelund–Hansen sediment transport capacity formula, and filtration calculations using Pavlovskiy’s filtration formula. The model also calculates reconstruction and operation costs for combinations generated using the NSGA-II algorithm, based on current price levels. By applying the NSGA-II algorithm in the Python environment, the model generates parameter combinations and selects the most optimal parameters based on results that provide the minimum total cost. The model was tested in a case study of the Amu-Bukhara Machine Canal. The results made it possible to determine the optimal balance between reconstruction and operation costs.

Keywords: reconstruction of earthen canals, multi-objective optimization, NSGA-II algorithm, sediment transport capacity of flow, flow variability, reconstruction and operational costs.

Кирish. Kanal kesimining mustahkamligi kanaldan ishonchli foydalanishning asosiy omili bo‘lganligi uchun, kanallarni loyihalashda quyidagi talablarga amal qilish zarur: kanal yuvilmasligi va loyqa bosmasligi, kanal o‘zanidan minimum filtratsiya yo‘qotilishiga, ko‘ndalang kesimining umumiy mustahkamligi ta‘minlanganligi, maksimal suv o‘tkazish qobiliyatiga ega bo‘lishi zarur. Shuningdek, shaharsozlik normalari va qoidalari bo‘yicha kanallarning konstruksiyasi qurilish ishlarining maksimal ehtimoldagi mexanizatsiyasini va minimal ekspluatatsiya xarajatlarini ta‘minlashi zarur [1-4].

Hozirda global iqlim o‘zgarishi natijasida yog‘ingarchilik tarkibi o‘zgarib oxirgi yillarda qor o‘rniga yomg‘ir shaklidagi yog‘ingarchilik yog‘ishi sel-toshqinlarning ko‘proq yuz berishiga, daryo havzasida tuproq eroziyasi jarayonlarining jadallashuviga olib kelmoqda. Natijada daryodan olinadigan suv tarkibida muallaq oqiziq

konsentratsiyasi oshib borishi kuzatilmoqda [5, 6].

Bundan tashqari kanallarni loyihalashda oqim va oqiziq sarfining vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchanligi inobatga olinmaganligi kanalni va statik mustahkamlikka hisoblanganligi sababli Qarshi magistral kanali va Mirishkor kanali kabi yirik grunt o‘zanli kanallarni loyqa bosishi sababli suv o‘tkazish qobiliyati deyarli uchdan bir qismga kamaygan bo‘lsa Amu-Buxoro mashina kanalida o‘zan yuvilishi jarayonlari kuzatiladi, (1-2-rasmlar), [7-9].

Respublikamizdagi grunt o‘zanli kanallarning foydali ish koeffitsiyenti Suv xo‘jaligi vazirligi ma‘lumotlariga ko‘ra o‘rtacha 0,63 ni tashkil qiladi. Amu-Qashqadaryo irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasining ma‘lumotlariga ko‘ra Amudaryodan Qashqadaryo viloyatiga 2024 yilda 2968,7 mln. m³ suv olingan bo‘lib, olingan suvning tannarxi 792,0 so‘mni tashkil qilgan. Ushbu olingan suvning 37 foizi irrigatsiya kanallarida yo‘qotiladi

deb hisoblanganda, 2024 yilda 1098,4 mln. m³ suv yo‘qotilgan. Ushbu yo‘qotilishning asosiy qismi filtratsiyaga yo‘qotilishini hisobga olsak bir yilda taxminan 1,0 mlrd. m³ suv yoki 792,0 mlrd. so‘m mablag‘ kanallardan filtratsiyaga yo‘qotilmoqda deb hisoblash mumkin [9].



1-rasm. Amu-Buxoro mashina kanali PK1202 dagi holat.



2-rasm. Qarshi magistral kanali PK700 dagi holat.

Respublikamizda “O‘zbekiston Respublikasi

suv xo‘jaligini rivojlantirishning 2020 - 2030 yillarga mo‘ljallangan konsepsiyasi” qabul qilingan bo‘lib, hukumat Suv xo‘jaligi vazirligiga Konsepsiyada belgilangan ustuvor yo‘nalishlarni amalga oshirish orqali 2030-yilga qadar sug‘orish tizimlarining foydali ish koeffitsiyentini 0,63 dan 0,73 gacha oshirish vazifasi yuklatilgan [10-12].

Mamlakatimizdagi yer o‘zanli kanallarini qurish va qayta qurish uchun kanallarni loyihalash jarayonida an‘anaviy usulda o‘zgarmas gidravlik sharoitlar uchun kanalni statik mustahkamlikka hisoblanadi, oqim sarfi ekspluatatsiya davrida o‘zgaruvchanligini to‘liq hisobga olinmaydi. Kanalning gidravlik hisoblash va loyihalashda hisobga olinishi lozim bo‘lgan parametrlar juda ko‘p bo‘lgani uchun eng maqbul kanal parametrlarini qabul qilish loyihachi tomonidan optimallashtirish dasturlarisiz mexanik qabul qilinadi.

Metodi. Mualliflar tomonidan taklif etilayotgan ushbu model qurilish meyorlari va qoidalari talablaridan chiqmagan holda minimal yuvilishga va loyqa bosishga, minimum filtratsiya yo‘qotilishiga, ko‘ndalang kesimining umumiy mustahkamligi ta‘minlanganligi, maksimal suv o‘tkazish qobiliyatiga ega kanal o‘lchamlarini hisoblashga yo‘naltirilgan. Dastur Python dasturi yordamida NSGA-II optimallashtirish algoritmini qo‘llab ishlab chiqilgan.

NSGA-II, ya'ni Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II, bu ko‘p maqsadli optimallashtirish muammolarini hal qilish uchun ishlatiladigan tobora keng qo‘llanilayotgan algoritm hisoblanadi. Ko‘p maqsadli optimallashtirish (Multi-objective Optimization - MOO), bu bir vaqtning o‘zida optimallashtirish kerak bo‘lgan bir nechta maqsad funksiyalarini o‘z ichiga olgan matematik optimallashtirish sohasi hisoblanadi. Ushbu algoritmi tabiiy evolyutsiyadan ilhomlangan aqlli qidiruv strategiyasi bo‘lib, odatda barcha maqsadlar uchun eng yaxshi bo‘lgan yagona "mukammal" yechim yo‘qligini inobatga olib, buning o‘rniga, eng yaxshi mumkin bo‘lgan parametrlar birikmasini ifodalovchi kompromis yechimlar to‘plamini qidiradi. NSGA-II ushbu kompromis yechimlar diagrammasini, ya'ni Pareto frontini qurishda juda yaxshi natija beradi [13-15].

Taklif etilayotgan grunt o‘zanli kanallarni rekonstruksiyalashning optimal parametrlarini

hisoblash modeli Python dasturida yozilgan bo‘lib quyidagi hisoblarni o‘z ichiga oladi.

1. Oqimning gidravlik parametrlari hisoblari;
2. Oqiziq transporti va filtratsiya hisoblari;
3. Iqtisodiy hisoblar;
4. NSGA-II optimallashtirish algoritmi yordamida kombinatsiyalarni shakllantirish va maqsad funksiyalar asosida eng yaxshi kombinatsiyalarni tanlab olish.

Natijalar va muhokama. Taklif etilayotgan modelda hisoblarni bajarish tartibi quyidagicha amalga oshiriladi:

1. Quyidagi boshlang‘ich parametrlar foydalanuvchi tomonidan kiritiladi.

L_k – kanal uzunligi, metr;

m – kanal yon devorining qiyalik koeffitsiyenti;

N – hisobiy ekspluatatsiya davri, yil;

S_l – tuproq ishlari narxi, so‘m/m³;

b – kanal tubi kengligi metr;

d_{50} – muallaq oqiziq zarrasining o‘rtacha diametri, metr;

S_f – suv tannarxi, so‘m/m³;

h_q – kanal chuqurligi, metr.

i_0 – rekonstruksiya oldingi nishablik; hisobiy oqim gidrografi; oqimning tashuvchanlik qobiliyatini aniqlash usuli.

1-jadval

Qoplama turiga bog‘liq parametrlar

T/r	Qoplama turi	Maningning g‘adir budurlik koeffitsiyenti, n	Xizmat muddati, yil	Hisobiy davrdagi rekonstruksiya soni, dona.	Tanlangan qoplamaning narxi, so‘m/m ² .	Filtratsiya koeffitsiyenti, metr/santka
1.	gilli ekran (grunt aralash bentonit)	0,021	10 yil	2,5	27000	0,005
2.	beton-plyonkali monolit	0,015	25 yil	1	75000	8×10^{-7}
3.	geomembrana HDPE (Geoflax 2 mm)	0,011	25 yil	1	46500	8×10^{-10}

2. Joyning topografik va geologik sharoitlaridan kelib chiqib, kombinatsiyalar tuzish uchun ixtiyoriy xarakterga ega quyidagi parametrlar diapazoni kiritiladi:

- i – kanal tubi nishabligi i_{min} dan i_{max} gacha;

- qoplama turi va qoplama turidan kelib chiqib unga bog‘liq ravishda o‘zgaruvchi parametrlar quyiligi 1-jadvaldan qabul qilinadi.

3. NSGA-II algoritmi berilgan diapazondagi qoplama turi va kanal tubi nishabliklarining 300 ta nishab–qoplama kombinatsiyalarini shakllantiradi

va har bir avlod uchun yangi individlar (farzandlar) soni 300 ta bo‘lib jami $300+300 \cdot 300=90300$ ta kombinatsiyalar ishlatiladi. Kombinatsiyalar sonini generatsiyalar va avlodlar sonini o‘zgartirib o‘zgartirish mumkin.

4. Dastur har bir kombinatsiya uchun qoplama turi va unga mos filtratsiya koeffitsiyenti, g‘adirbudurlik koeffitsiyenti (misol uchun glina, beton, geomembrana), qoplamaning har bir metr kvadratini yotqizish harajatlari kabilarni tayinlaydi.

5. Dastur har bir kombinatsiya uchun oqim gidrografini inobatga olib tanlov usulida gidravlik parametrlarni hisoblaydi.

6. Har bir kombinatsiya oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hamda oqiziqning uzluksizlik tenglamasini inobatga olib o‘zan deformatsiyasi hajmi hisoblanadi.

Yillik tuproq ishlari hajmi hisoblanadi, m³

$$V_l = 365 \cdot 86400 \cdot (Q_{s.in} - Q_{s.out}) \quad (1)$$

$Q_{s.in} = C_v Q$ – kanal uchastkasiga har oyda kirib kelayotgan oqiziq sarfi hisoblanadi, m³/s;

C_v – hajmiy konsentratsiya, o‘lchamsiz;

$Q_{s.out}$ – tanlangan usul bo‘yicha hisoblangan oqimning tashuvchanlik qobiliyati, m³/s.

7. Ho‘llangan perimetr va oqim chuqurligidan kelib chiqib butun espluatatsiya davri uchun filtratsiyaga yo‘qotilgan suv hajmini aniqlanadi.

$V_{f.oy}$ – bir oydagi filtratsiyaga yo‘qotiladigan

suv hajmi, m³

$$V_{f.oy} = Q_f \cdot \frac{L_k}{1000} \cdot 86400 \cdot T_{kunsoni} \quad (2)$$

Q_f – filtratsiyaga yo‘qotiladigan suv sarfi SHNQ 2.06.03-12 bo‘yicha N.N.Pavlovskiy formulasi bilan hisoblanadi, bir kilometr uchun m³/s, [1].

$$Q_f = 0,0116 \cdot (B + 2h)K_f \quad (3)$$

8. Rekonstruksiya keyingi kutilayotgan ekspluatatsiya davri N yil uchun ekspluatatsiya xarajatlarni hisoblanadi, so‘m

$$X_0 = N \cdot X_y \quad (4)$$

X_y – yillik ekspluatatsiya xarajatlari, so‘m;

$$X_y = V_l \cdot S_l + V_f \cdot S_f \quad (5)$$

9. Grunt o‘zanli kanalni rekonstruksiya qilish va uning hisobiy davrda ekspluatatsiya xarajatlari uchun ketgan umumiy xarajatlar quyidagicha aniqlanadi.

$$X_T = X_r + X_o \quad (6)$$

$X_r = M \cdot X_{r.b.m.}$ – rekonstruksiya xarajatlari,

so‘m.

10. $X_{r.b.m.}$ – bir martalik rekonstruksiya xarajatlari, so‘m.

$$X_{r.b.m.} = V_r S_l + X_q \quad (7)$$

Dastur bergan ushbu grafiklar kanalni rekonstruksiya qilish bo‘yicha optimallashtirishda ikki maqsadning o‘zaro muvozanatini ko‘rsatadi:

- hozirgi narx-navoda rekonstruksiya xarajatlari (x-o‘qi);
- hozirgi narx-navoda ekspluatatsiya xarajatlari (y-o‘qi), 1-3 rasmlar.

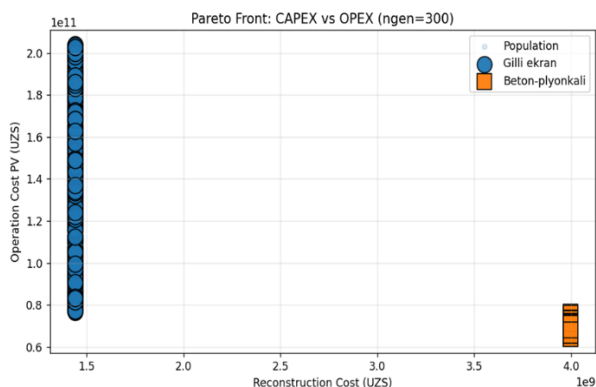
Amu-Buxoro mashina kanalining PK1185÷PK1195 qismi uchun loyihaviy kanal o‘lchamlari asosida dasturning amalda qo‘llanilishini ko‘rib chiqamiz:

- kanal uzunligi $L_k = 1000$ metr;
- kanal yon devorining qiyalik koeffitsiyenti $m = 3$;
- hisobiy davr $N = 25$ yil;
- S_l – tuproq ishlari narxi, so‘m/m³. $S_l = 23000$ so‘m/m³;
- b – kanal tubi kengligi $b = 20$ metr;
- o‘zan materiali zarracha o‘rtacha diametri tajriba ma‘lumotlariga asoslanib $d_{50} = 0,016 \cdot 10^{-3}$ metr;
- S_f – suv tannarxi, so‘m/m³, $S_f = 800.0$ so‘m/m³.
- kanal chuqurligi 4,95 metr.

2-jadval

Yil davomida oylar kesimida hisobiy suv sarfi va kunlar soni ko‘rsatkichlari

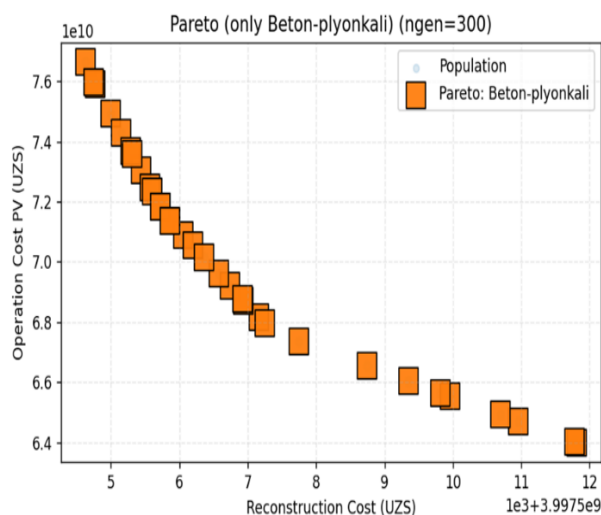
Oylar	Yanvar	Fevral	Mart	April	May	Iyun	Iyul	Avqust	Sentabr	Oktabr	Novabr	Dekabr
Hisobiy suv sarfi Q_{T-1}^m	59,75	52,75	122,4	115,49	164,73	186,93	201,92	195,67	146,9	122,82	101,88	97,42
Bir oydagii kunlar soni T_{kuzumi}	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31



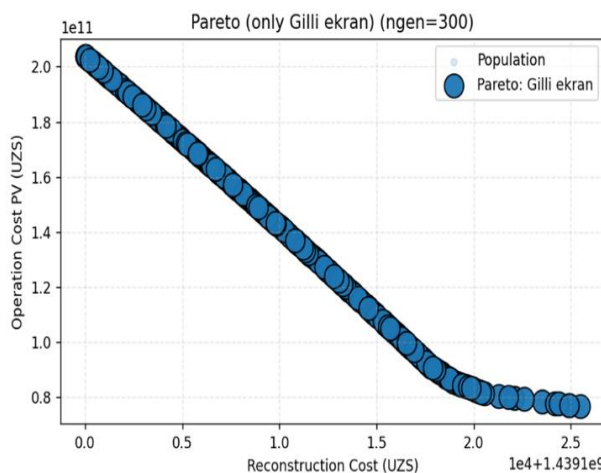
3-rasm. Kanalni rekonstruksiya qilish bo‘yicha eng maqbul kombinatsiyalar Pareto fronti (ABMK kanali misolida).

Hisobiy suv sarfi oylar bo‘yicha Amu-Buxoro kanalining PK1185÷PK1195 qismi uchun 2021-yildagi sarflar asosida quyidagi qiymatda qabul qilinadi.

3-rasmdan ko‘rinib turibdiki, eng maqbul kombinatsiyalar Pareto frontida faqatgina beton qoplamali va gilli qoplamali kombinatsiyalar eng yaxshi natijalar sifatida saqlanib qoldi. Ko‘rishimiz mumkinki, gilli qoplamali kanal variantlarida rekonstruksiya xarajatlari beton qoplamali kanal variantlariga nisbatan kam. Shuningdek beton qoplamali kanal variantlarida filtratsiya yo‘qotishlari juda kamligi hisobiga ekspluatatsiya xarajatlari gilli qoplamali kanal variantlariga nisbatan kam ekanligi yaqqol ko‘rinib turibdi.



4-rasm. Beton-plyonka qoplama uchun Pareto fronti.



5-rasm. Gilli ekran qoplama uchun Pareto fronti.

Model shuningdek har bir qoplama turi uchun

ham eng maqbul kombinatsiyalarning Pareto frontini 4-5-rasmlardagi kabi chiqarib beradi. Loyihachi ushbu model o'z ichiga olmagan boshqa parameterlar misol uchun suv tannarxining, tuproq ishlarining kelajakdagi kutilayotgan o'zgarishi va joyning topografik sharoitlaridan kelib chiqqan holda ushbu kanalga bog'langan boshqa inshootlar va tarmoqlar ishining o'zgarishi kabi boshqa o'zgaruvchilarni hisobga olib ushbu eng maqbul kombinatsiyalarni qiyosiy tahlil qilib qaror qabul qilishi mumkin bo'ladi.

Shuningdek dastur bizga umumiy xarajatlar minimal bo'lgan 30 ta eng optimal kombinatsiyalarni jadval shaklida taqdim etdi. Unga ko'ra beton qoplamali kombinatsiyalar 1-26-o'rinlarni (nishablik 0.000062 dan 0.000066 gacha), gilli ekran esa 27-30-o'rinlarni (nishablik 0.000072-0.000073 atrofida) egalladi.

Xulosa. 1. Rekonstruksiya qilinadigan yer o'zanli kanallarning kam xarajat talab qiladigan optimal o'lchamlarini va qoplama turini qabul qilish bo'yicha hisoblash dasturi zamonaviy NSGA 2 optimallashtirish algoritmini qo'llab ishlab chiqildi.

2. Taklif qilingan dastur berilgan boshlang'ich parametrlar doirasidagi 90300 ta kombinatsiyalar uchun kanalni qurish va ekspluatatsiya qilish xarajatlarini hisoblab chiqib, eng kam umumiy xarajat talab qiladigan 30 ta eng yaxshi natijalarni taqdim qildi va enn maqbul kombinatsiyalar Pareto fronti diagrammasini qurib berdi. Model loyihalovchi muhandis uchun eng maqbul kombinatsiyalar parametrlari asosida natijalarni qiyosiy tahlil qilib eng yaxshi loyiha qarorlarini berish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] O'zbekiston Respublikasi. (2012). Shaharsozlik normalari va qoidalari: sug'orish tizimlari loyihalash normalari (Sh.N.Q 2.06.03-12). Toshkent.
- [2] Абальянц, С. Х. (1981). Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. Гидрометеоиздат.
- [3] Ибадзаде, Ю. А. (1983). Транспортирование воды в открытых каналах. Москва: Стройиздат.
- [4] Железняков, Г. В. (1981). Пропускная способность русел каналов и рек. Гидрометеоиздат.
- [5] Eshev, S. S., Akramov, K. N., & Sobirova, E. A. (2025). Water management issues in the south of Uzbekistan: Challenges and strategic responses. *Lucrări Științifice Management Agricol*, 27(1), 169.
- [6] Эшев, С. С., Хазратов, А. Н., & Гайимназаров, И. Х. (2024). Проблемы эффективного использования водных ресурсов в южных регионах Узбекистана. *Universum: технические науки*, 5(4), 44–49.
- [7] Khazratov, A. N., & Sobirov, F. Ch. (2024). Study of side wall deformation in irrigation channels. *Miasto Przyszłości*, 715–722.
- [8] Hazratov, A. N. (2024). Grunt o'zanli kanallarning tabiat bilan hamohang parametrlarini qabul qilish zaruriyati. *Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences*, 4(4), 488–497.
- [9] Sobirov, F. C., & Hazratov, A. N. (2024). Irrigatsiya kanallaridagi qirg'oq deformatsiyasini tadqiq qilish. *Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences*, 4(10), 349–359.
- [10] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2020). PF-6024-son Farmon: O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020–2030-yillarga mo'ljallangan konsepsiyasi. <https://lex.uz/docs/-4892953>
- [11] Hazratov, A. N., & Sobirov, F. C. (2025). Ochiq o'zanli kanallarda yuvilish jarayonini baholash. In *Development of Specialized Higher Education and Science in the Conditions of Globalization: Problems and Opportunities* (International scientific conference, Tashkent).
- [12] Jorayeva, Z. X. (2025). Qashqadaryo havzasining gidrologik potentsiali va resurslardan samarali foydalanish yo'llari. *Экономика и социум*, 6-2(133), 361–371.

- [13] Sai, J. P., & Rao, B. N. (2022). Non-dominated sorting genetic algorithm II and particle swarm optimization for design optimization of shell and tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 132, 105896.
- [14] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182–197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
- [15] Acerce, & Denizhan, B. (2025). Application of the non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA-II) in a two-echelon cold supply chain. *Systems*, 13(3), 206. <https://doi.org/10.3390/systems13030206>