

UO‘K: 626.823:551.435.1

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.17>

KAM BOG‘LANGAN GRUNT O‘ZANLI KANALLARDA O‘ZAN DEFORMATSIYASINI PROGNOZLASH UCHUN OQIM TASHUVCHANLIK QOBILIYATI USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Xazratov Alisher Normurodovich¹ — texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),

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

Abduahadov Sardorjon Axmadjon o‘g‘li² — magistrant, E-mail: sardorjonabduakhadov@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4638-6855

¹“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti”
milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Kam bog‘langan grunt o‘zanli irrigatsiya kanallarida o‘zan deformatsiyasini ishonchli prognozlash kanallarni gidravlik hisoblash, rekonstruksiya qilish hamda texnik jihatdan ishonchli ekspluatatsiya qilishning muhim shartlaridan biridir. Biroq oqim tarkibida muallaq oqiziqalar bilan bir qatorda kam miqdordagi bog‘langan zarrachalarning mavjudligi an‘anaviy oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarini qo‘llashni murakkablashtiradi. Mazkur tadqiqotda Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang va Laursen–Copeland oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarining kam bog‘langan grunt o‘zanli kanallarda o‘zan deformatsiyasini prognozlashdagi qo‘llanish imkoniyatlari HEC-RAS gidravlik modeli yordamida qiyosiy baholandi. Tadqiqot obyekti sifatida Amu–Buxoro mashina kanali tanlanib, 2023-yilda tabiiy-dala sharoitida o‘lchangan gidravlik va oqiziq parametrlaridan modelni qurish hamda tekshirishda foydalanildi. Modellash tirish natijalari kanalning kuzatilgan o‘zan deformatsiyasi va ekspluatatsion loyqa bosishi ma‘lumotlari bilan taqqoslandi. Tadqiqot natijalari qo‘llanilgan usullar o‘zan deformatsiyasini sezilarli darajada turlicha baholashini ko‘rsatdi. Ackers–White, Yang va Engelund–Hansen usullari deformatsiya hajmini nisbatan yuqori baholagan bo‘lsa, Laursen–Copeland usuli tabiiy kuzatuv natijalariga eng yaqin qiymatlarni berdi. Tadqiq qilingan 2,4 km uzunlikdagi kanal uchastkasi uchun ushbu usul bo‘yicha qayta modellash tirish natijasida umumiy deformatsiya hajmi 39 091 m³ yoki 16 288 m³/km ni tashkil etdi, bu esa ekspluatatsion kuzatuvlarda aniqlangan 11 277 m³/km o‘rtacha loyqa bosishi qiymatiga eng yaqin natija bo‘ldi. Tadqiqot natijalari tabiiy-dala kuzatuvlari va HEC-RAS gidravlik modellash tirishni birgalikda qo‘llash kam bog‘langan grunt o‘zanli irrigatsiya kanallarida o‘zan deformatsiyasini prognozlash uchun oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarini tanlashda ishonchli yondashuv ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: kam bog‘langan grunt o‘zanli kanallar; o‘zan deformatsiyasi; oqim tashuvchanlik qobiliyati; oqiziq transporti formulalari; HEC-RAS; gidravlik modellash tirish; irrigatsiya kanallari.

УДК: 626.823:551.435.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ РУСЛА КАНАЛОВ С МАЛОСВЯЗНЫМИ ГРУНТАМИ

Хазратов Алишер Нормуродович¹ — доктор философии по техническим наукам (PhD)

Абдураходов Сардоржон Ахмаджон угли² — магистрант

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров
ирригации и механизации сельского хозяйства», г. Ташкент, Узбекистан

²Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Надёжное прогнозирование русловых деформаций является одним из ключевых условий гидравлического расчёта, реконструкции и безопасной эксплуатации ирригационных каналов с малосвязными грунтами. Однако наличие в потоке как взвешенных наносов, так и небольшой доли связанных частиц существенно усложняет применение традиционных формул расчёта транспортирующей способности потока. В настоящей

работе выполнена сравнительная оценка применимости методов Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang и Laursen–Copeland для прогнозирования русловых деформаций в условиях каналов с малосвязными грунтами с использованием гидравлической модели HEC-RAS. В качестве объекта исследования выбран Аму-Бухарский машинный канал, для которого использованы результаты натурных гидравлических и наносных наблюдений за 2023 год. Результаты моделирования сопоставлены с фактическими данными о русловых деформациях и эксплуатационными сведениями о заилении канала. Установлено, что рассматриваемые методы дают существенно различающиеся оценки объёмов русловых деформаций. Методы Ackers–White, Yang и Engelund–Hansen, как правило, завышают прогнозируемые объёмы деформаций, тогда как метод Laursen–Copeland показал наилучшее соответствие натурным наблюдениям. Для исследуемого участка канала длиной 2,4 км расчёт по методу Laursen–Copeland дал объём деформации 39 091 м³, или около 16 288 м³/км, что оказалось наиболее близким к наблюдаемому среднему значению заиления 11 277 м³/км. Полученные результаты показывают, что совместное использование натурных наблюдений и гидравлического моделирования в HEC-RAS является надёжным подходом к выбору метода расчёта транспортирующей способности потока и повышению достоверности прогнозирования русловых деформаций в ирригационных каналах с малосвязными грунтами.

Ключевые слова: каналы с малосвязными грунтами; русловые деформации; транспортирующая способность потока; формулы транспорта наносов; HEC-RAS; гидравлическое моделирование; ирригационные каналы.

UDC: 626.823:551.435.1

COMPARATIVE ANALYSIS of SEDIMENT TRANSPORT CAPACITY METHODS for PREDICTING CHANNEL BED DEFORMATION in WEAKLY COHESIVE CANALS

Alisher Khazratov², doctor of philosophy (phd) in technical sciences

Sardorjon Abduahadov¹, master's student

¹National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Tashkent, Uzbekistan

²Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Reliable prediction of channel bed deformation is essential for the hydraulic design, rehabilitation, and operation of irrigation canals with weakly cohesive beds. However, the presence of both suspended sediment and a small proportion of cohesive material complicates the application of conventional sediment transport equations. This study evaluates the applicability of four sediment transport capacity methods—Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang, and Laursen–Copeland—for predicting bed deformation under weakly cohesive canal conditions using the HEC-RAS hydraulic model. The Amu–Bukhara Machine Canal was selected as the case study, where field measurements of hydraulic and sediment characteristics collected during 2023 were used for model implementation and validation. Model predictions were compared with observed channel deformation and operational sedimentation records. The results show that the evaluated methods produce significantly different estimates of bed deformation. Ackers–White, Yang, and Engelund–Hansen generally overestimated deformation, whereas the Laursen–Copeland method provided predictions that agreed most closely with field observations. For the modeled 2.4 km canal reach, the recalculated Laursen–Copeland results yielded a total deformation volume of 39,091 m³, corresponding to approximately 16,288 m³/km, which was closest to the measured average sediment deposition rate of 11,277 m³/km. The study demonstrates that the combined use of field observations and HEC-RAS modeling provides a reliable framework for selecting appropriate sediment transport equations and improving the prediction of bed deformation in weakly cohesive irrigation canals.

Keywords: weakly cohesive canals; channel bed deformation; sediment transport capacity; sediment transport equations; HEC-RAS; hydraulic modeling; irrigation canals.

Kirish

Respublikamizdagi irrigatsiya tizimlarining asosiy qismi grunt o'zanli kanallardan tashkil topgan bo'lib, ular uzoq muddat davomida tabiiy va texnogen omillar ta'sirida deformatsiyaga uchramoqda. Grunt o'zanli kanallarda yuzaga keladigan eroziya jarayonlari natijasida kanalning ko'ndalang kesimi o'zgaradi, qirg'oq qismlarida yemirilish kuzatiladi, ayrim uchastkalarda chuqurlashish jarayoni sodir bo'ladi hamda gidrotexnika inshootlarining barqaror ishlashi izdan chiqadi. Bu esa suv isrofining ortishiga, ekspluatatsiya xarajatlarining ko'payishiga va irrigatsiya tizimining ishonchliligini pasayishiga olib keladi [1-4].

Amudaryodan suv oladigan yirik magistral kanallarida oqim tarkibida muallaq oqizqlar konsentratsiyasi yuqoriligi tufayli o'zan deformatsiyasi jarayonlari kuzatiladi. Shu bois grunt o'zanli kanallarda o'zan yuvilishi jarayonlarini chuqur tadqiq qilish, ularning yuzaga kelish qonuniyatlarini aniqlash hamda oldini olish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi. Chunki respublikamiz janubidagi yirik grunt o'zanli kanallarning ekspluatatsiya jarayonlari iqlim o'zgarishi tufayli suv tanqisligi yildan-yilga oshib borayotgan hozirgi sharoitda murakkablashib bormoqda [5-8].

Respublikamizdagi Amudaryodan suv oluvchi yirik kanallardagi intensiv o'zan deformatsiyasi jarayonlari kuzatilayotganligi tufayli ushbu kanallarda ham o'zan deformatsiya jarayonlarini prognozlash kanallarni rekonstruksiyalash uchun gidravlik hisoblashlarda va texnik ishonchli ekspluatatsiya qilish choralari ko'rish uchun juda muhim masalalardan hisoblanadi. Ushbu kanallardagi suv oqimlaridagi muallaq oqizqlar konsentratsiyasi yuqoriligidan tashqari oqimdagi va o'zan materialidagi oqizqlar tarkibida kamida 5-10 foiz bog'langan oqizqlarning mavjudligi o'zan deformatsiyasini klassik analitik usullar orqali prognozlash ishlarini yanada murakkablashtirib yuboradi [8, 9].

Hozirgi vaqtda gidravlik jarayonlarni, ayniqsa murakkab o'zan deformatsiyasini prognozlash ishlarini tadqiq qilishda zamonaviy modellashtirish usullaridan keng foydalanilmoqda. Ushbu modellashtirish tizimlaridan biri HEC-RAS dasturida Ackers-White, Engelund-Hansen, Yang hamda Laursen-Copeland kabi oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullaridan samarali hisoblash metodlari sifatida qo'llaniladi [10-12]. Shuning uchun biz o'z tadqiqotlarimizda mazkur dasturdan turli usullarni ishlatib ilmiy-loyihaviy masalalarda foydalanish imkoniyatini aniqlash maqsadqilib oldik.

Materiallar va uslublar

Hozirgi vaqtda gidravlik jarayonlarni tadqiq qilishda ayniqsa o'zan deformatsiyasi jarayonlarini prognozlashni zamonaviy gidravlik modellashtirish usullaridan keng foydalanilmoqda. Xususan, HEC-RAS gidravlik modellashtirish dasturi jahonning suv xo'jaligi rivojlangan davlatlarida oqim harakati, oqizqlar transporti, suv sifati va o'zan deformatsiyasi jarayonlarini modellashtirish ishlari orqali ilmiy-loyihaviy masalalarni hal qilishda keng qo'llanilmoqda. Mazkur dastur orqali ayniqsa grunt o'zanli kanallarda eroziya jarayonlarini baholash, oqimning tashuvchanlik qobiliyatini aniqlash va boshqa turli gidravlik holatlarni prognoz qilish mumkin. Shuning uchun biz ushbu ishda mamlakatimizdagi Amudaryodan suv oluvchi yirik kanallardan biri Amu-Buxoro mashina kanalidagi o'zan deformatsiya jarayonlarini prognoz qilishda turli oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarini tabiiy dala sharoitida o'lgan ma'lumotlar bilan va o'zaro qiyosiy tahlilini amalga oshirish uchun HEC-RAS dasturidan foydalandik [7, 10-12].

Bunda jahonda keng qo'llaniladigan hamda mazkur dasturda mavjud Ackers-White, Engelund-Hansen, Yang hamda Laursen-Copeland oqizqlar transportini hisoblash usullaridan foydalanildi, Chunki mazkur formulalar mayda qumli va muallaq oqizqlar ustun bo'lgan oqimlar uchun yaxshi natija berishi bilan ajralib turadi. Dasturda tanlash mumkin bo'lgan Meyer-Peter Müller, MPM-Toffaletti va Wilcock-Crowe usullari esa asosan yirik donali allyuvial yotqizqlar va shag'alli o'zanlar uchun ishlab chiqilganligi sababli, ushbu kanal sharoiti uchun mos kelmaydi deb baholandi va ulardan foydalanilmadi.

Oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash bo'yicha **Engelund-Hansen usuli** ilk bor 1967-yilda taklif qilingan bo'lib, energiya balansini usuli konsepsiyasiga asoslangan. Oqimning umumiy (muallaq va tub oqizqlar) oqizqlarni transportlash qobiliyati quyidagi tartibda hisoblanadi [13].

1. O'lchamsiz transport parametri ϕ hisoblanadi;

$$\phi = \frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}}, \quad (1)$$

bu yerda d_{50} – o'rtacha oqiziq zarrasining o'lchami, m ;

$$s = \frac{\rho_s}{\rho_w} - \text{nisbiy zichlik};$$

ρ_s – oqiziq zichligi, kg / m^3 ;

ρ – suv zichligi, kg / m^3 ;

g – o'rtacha tezlik, m / s ;

2. O'lchamsiz mobillik parametri θ ;

$$\theta = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho)gd_{50}}. \quad (2)$$

3. Ushbu ikkala parametr o'rtasidagi bog'liqlik;

$$\phi = 0.05 \frac{\theta^{2,5}}{C_f}, \quad (3)$$

bu yerda $C_f = \frac{gRi}{g^2}$ ishqalanish koeffitsiyenti.

4. Kanal yoki daryo bir metr enidagi umumiy hajmiy oqimning tashuvchanlik qobiliyati q_s , m^2/s ;

$$q_s = \phi \cdot \sqrt{(s-1)gd_{50}^3}. \quad (4)$$

5. Kanal yoki daryo oqimidagi oqimning to'liq tashuvchanlik qobiliyati.

$$Q_s = q_s \cdot B, \quad m^3 / s, \quad (5)$$

bu yerda B – oqim kengligi, m .

Ackers va White usuli 1973-yilda Ackers va White tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, Frud soni $Fr < 0,8$, oqim chuqurligi $h < 0,4 \text{ m}$ bo'lgan laboratoriya sharoitida o'tkazilgan tajribalar natijalariga asoslangan. Oqiziq uzatish qobiliyatini aniqlashda usul uchta o'lchamsiz parametrlardan oqiziq zarrasi o'lchami parametri D_* , mobillik parametri F_{gr} va transport parametri G_{gr} lardan foydalanadi [12, 13]. Usulda formulalardan foydalanish tartibi quyidagicha:

1. Dinamik tezlik hisoblanadi;

$$U_* = \sqrt{gRi}. \quad (6)$$

2. O'lchamsiz oqiziq zarrasi parametri D_* ;

$$D_* = \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} d_{35}, \quad (7)$$

bu yerda $s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$ – nisbiy zichlik;

ν – kinematik qovushqoqlik, m^2 / s ;

3. Mobillik parametri F_{gr} ni aniqlash uchun eksponent f ;
 - $D_* < 1$ uchun $f = 1$;
 - $1 \leq D_* \leq 60$ uchun $f = 1 - 0.56 \log D_*$;
 - $D_* > 60$ uchun $f = 0$;
4. Boshlang'ich harakat parametri;
 - $D_* \leq 60$ uchun $A = \frac{0,23}{\sqrt{D_*}} + 0,14$;
 - $D_* > 60$ uchun $A = 0,17$.
5. Shildsning mobillik parametri;

$$\theta = \frac{U_*^2}{g(\rho_s / \rho_w - 1) \cdot d_{50}} . \quad (8)$$

6. Transport parametri G_{gr} ni aniqlash uchun eksponent m ;

$$m = \frac{9.66}{D_*} + 1.334 . \quad (9)$$

7. Transport parametri G_{gr} ni aniqlash uchun koeffitsiyent C ;

$$C = 10^{2,86 \log D_* - (\log D_*)^2 - 3,53} . \quad (10)$$

8. Mobillik parametri F_{gr} ;

$$F_{gr} = \frac{U_*^f}{\sqrt{g d_{35} (\rho_s / \rho_w - 1)}} \left[\frac{g}{\sqrt{32} \log \left(\frac{10h}{d_{35}} \right)} \right]^{1-f} . \quad (11)$$

9. Transport parametri G_{gr} ;

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m . \quad (12)$$

10. Oqimning tashuvchanlik qobiliyati q_s ;

$$q_s = G_{gr} \frac{s \cdot d_{35}}{h \cdot \left(\frac{U_*}{g} \right)^f} . \quad (13)$$

Ch.T.Yang tomonidan 1973-yilda taklif etilgan **Yang usuli** oqimning oqimning tashuvchanlik qobiliyatini energiya dissipatsiyasi intensivligiga bog'lash nazariyasiga asoslangan. Energiya dissipatsiyasi intensivligi birlik oqim kuchi sifatida tezlikning nishablikka qo'paytmasi $g^* i$ bilan ifodalanishi mumkin. Yangning birlik oqim kuchi ifodasiga turbulentlik nazariyasi nazariy asos bo'lib xizmat qiladi [13, 14]. Usulda umumiy loyqa o'tkazish qobiliyati massa bo'yicha promilleda birlik oqim kuchining funksiyasi sifatida quyidagicha ifodalanadi:

$$\log c_t = I + J \log \left(\frac{g_i - g_{kr} i}{w_s} \right). \quad (14)$$

Bundan umumiy loyqa o'tkazish qobiliyati c_t , massa bo'yicha promilleda:

$$c_t = 10^{\log c_t}. \quad (15)$$

Yang koeffitsiyentlari I va J :

$d_{50} \geq 0.002$ *memp* holat uchun

$$I = 6,681 - 0,633 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 4,816 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right), \quad (16)$$

$$J = 2,784 - 0,305 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 0,282 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right). \quad (17)$$

$d_{50} < 0.002$ *metr* holat uchun

$$I = 5,435 - 0,286 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 0,457 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right), \quad (18)$$

$$J = 1,799 - 0,409 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 0,314 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right). \quad (19)$$

qo'zg'alish boshlanishi uchun kritik tezlik g_{kr}

$$g_{kr} = 2,05 w_s. \quad (20)$$

Umumiy loyqa o'tkazish qobiliyati q_s , $kg / s \cdot m$ da quyidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$q_s = 0,001 c_t g h, \quad (21)$$

bu yerda g – o'rtacha tezlik, m / s ;

h – oqim chuqurligi, m ;

i – kanal tubi nishabligi;

w_s – gidravlik yiriklik, m / s ;

$U_* = \sqrt{g R i}$ – dinamik tezlik, m / s ;

R – gidravlik radius, m ;

ν – kinematik qovushqoqlik, m^2 / s ;

d_{50} – oqiziq zarrasi o'rtacha diametri, m .

Laursen–Copeland usuli bu oqimning umumiy oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usuli bo'lib, Laursen tomonidan laboratoriya lotogi va Arkansas daryosi ma'lumotlari asosida ishlab chiqilgan, keyinchalik Copeland tomonidan qum–shag'al aralashmali o'zanlar uchun ushbu usul tadbiri kengaytirilgan. HEC-RAS dasturini qo'llash ma'lumotlariga ko'ra, bu usul ortiqcha urinma kuchlanishga asoslangan umumiy oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash formulasi hisoblanadi va mayda changsimon qumdan shag'algacha bo'lgan diapazonda qo'llanishi mumkin [10-12]. Asosiy formula quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$q_i^* = a \rho V h \left(\frac{d_i}{h} \right)^{7/6} \left(\frac{\theta_b^i}{\theta_{cr.i}} - 1 \right) f_i^{LC} \left(\frac{u_*^i}{w_{si}^i} \right), \quad (22)$$

bu yerda q_i^* – i -fraksiya uchun oqimning tashuvchanlik qobiliyati, $kg / (m \cdot s)$;

$a = 0.01$ – empirik koeffitsiyent;

ρ – suv zichligi, kg / m^3 ;

V – oqim tezligi, m / s ;

h – oqim chuqurligi, m ;

d_i – i-faksiyaning zarracha diametri, m ;

θ_b^i – i-faksiyaning Shilds parametri, o'lchamsiz;

$\theta_{cr,i}$ – i-faksiyaning kritik Shilds parametri, o'lchamsiz;

n – empirik daraja ko'rsatkichi, odatda $n = 1.0$;

u_*^i – i-faksiyaning dinamik tezligi, m / s ;

w_{si} – i-faksiyaning gidravlik yirikligi, m / s ;

Natijalar va muhokama

HEC-RAS dasturi bilan modellastirish jarayonida Amu-Buxoro mashina kanalining PK1160-1184 uchastkasi tanlab olinib, turli hisoblash usullari yordamida o'zan deformatsiyasi prognozlandi. Bunda kanalning loyihaviy geometrik o'lchami, 2023-yil davomida o'lchangan oqim va oqiziq parametrlari birlamchi ma'lumotlar sifatida foydalanildi, hisoblash natijalari 1-jadvalda berilgan.

1-jadval. HEC-RAS dasturi bilan hisoblangan Amu-Buxoro mashina kanali PK1160-1182 uchastkasi bo'ylab 2023-yil davomida umumiy deformatsiya, tonna

T/R	Kanal uchastkasi	Loyihaviy kanal o'lchamlarga nisbatan deformatsiya, tonna				Ackers -White usuli bilan hisoblangan yil oxiridagi kanal o'lchamlariga nisbatan deformatsiya, tonna			
		Ackers -White usuli	Laursen (Copeland) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli	Ackers -White usuli	Laursen (Copeland) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli
1	0	6836	2338	15804	20962	7124,8	2123	15174,2	25075,4
2	200	15756	5110	43720	29193	17380,74	5062	40819,2	52408,1
3	400	14763	5038	37070	61664	14724,67	4070	34724,0	58952,4
4	600	15362	5168	41441	43237	15342,71	3918	39565,5	42223,0
5	800	14564	5571	39265	49233	14906,32	4089	36639,1	59241,2
6	1000	15130	5542	41545	47280	15436,54	4167	38374,5	47023,117
7	1200	15293	5840	40483	47976	16865,07	4246	37455,0	54506,3
8	1400	15427	8908	40860	48830	17996,95	4669	37586,5	52330,0
9	1600	16715	8661	40862	50618	18409,51	5306	37723,2	54470,1
10	1800	17652	9045	42164	50502	18544,59	5887	38703,4	53849,6
11	2000	19593	11218	45545	50325	19894,92	9392	40375,1	55102,2
12	2200	10514	7491	24145	27276	10607,69	5708	22370,7	28091,3
Jami		177605	79930	452904	527096	187234,51	58637	419510,4	583272,7

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, HEC-RAS dasturida oqiziq transportini modellastirish natijalari asosan massa birligida, ya'ni tonna ko'rinishida olingan. Mazkur natijalarni ABMK FB boshqarmasi tomonidan taqdim etilgan kanal uchastkalaridagi loyqa bosishi bo'yicha ekspluatatsion ma'lumotlar bilan taqqoslash maqsadida ularni hajmiy birlikka, ya'ni m^3 ga o'tkazish zarurati yuzaga keldi. Shu sababli hisoblash jarayonida cho'kkan oqiziqqlarning o'rtacha hajmiy zichligi inobatga olinib, tegishli hisob-kitoblar amalga oshirildi. Shu asosda modellastirish natijalari hajmiy birlikka keltirilib, ekspluatatsion kuzatuv ma'lumotlari bilan taqqoslash uchun hamda natijalar 2-jadvalda keltirildi.

2-jadvaldagi HEC-RAS dasturi yordamida PK1160–1182 uchastkasi uchun olingan modellashtirish natijalarini 3-jadvalda Amu–Buxoro mashina kanalidan foydalanish boshqarmasi tomonidan taqdim etilgan ekspluatatsion ma'lumotlar bilan taqqoslash natijalari shuni ko'rsatadiki, ayrim usullar bo'yicha hisoblangan qiymatlar nisbatan yuqori natijalarni bergan. Biroq ushbu holat modeldagi xatolik bilan emas, balki kanal bo'ylab loyqa cho'kish jarayonining notekis taqsimlanishi bilan izohlanadi.

2-jadval. HEC-RAS dasturi bilan hisoblangan Amu-Buxoro mashina kanali PK1160-1182 uchastkasi bo'ylab 2023-yil davomida umumiy deformatsiya, m³

T/ R	Kanal uchast- kasi	Loyihaviy kanal o'lchamlarga nisbatan deformatsiya, m ³				Ackers -White usuli bilan hisoblangan yil oxiridagi kanal o'lchamlariga nisbatan deformatsiya, m ³			
		Ackers -White usuli	Laursen (Copelan d) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli	Ackers - White usuli	Laursen (Copeland) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli
1	0	4557	1558,7	10536	13975	4750	1415	10116	16717
2	200	10504	3406,7	29147	19462	11587	3374	27213	34939
3	400	9842	3358,7	24713	41109	9816	2713	23149	39302
4	600	10241	3445,3	27627	28825	10228	2612	26377	28149
5	800	9709	3714,0	26177	32822	9938	2726	24426	39494
6	1000	10087	3694,7	27697	31520	10291	2778	25583	31349
7	1200	10195	3893,3	26989	31984	11243	2830	24970	36338
8	1400	10285	5938,7	27240	32553	11998	3112	25058	34887
9	1600	11143	5774,0	27241	33745	12273	3537	25149	36313
10	1800	11768	6030,0	28109	33668	12363	3924	25802	35900
11	2000	13062	7478,7	30363	33550	13263	6261	26917	36735
12	2200	7009	4994,0	16097	18184	7072	3805	14914	18728
Jami		118403	53286,7	301936	351397	124823	39091	279674	388848

Amu-Buxoro mashina kanalidan foydalanish boshqarmasidan olingan ma'lumotlarga ko'ra, 2023-yil davomida kanal tizimida jami 11799712 m³ oqiziq cho'kkan. Eng katta loyqa cho'kish miqdori iyun va iyul oylarida kuzatilib, mos ravishda 2467284 m³ va 2711025 m³ ni tashkil etgan. Bu holat mazkur davrda suv sarfi va oqiziq konsentratsiyasining yuqori bo'lganini ko'rsatadi.

Ekspluatatsion ma'lumotlarga ko'ra, AB-1 (PK492+00) dan PK1520+00 gacha bo'lgan 102,8 km uzunlikdagi uchastkada 2023-yil davomida jami 1159262 m³ hajmda loyqa cho'kishi kuzatilgan. Mazkur qiymat butun kanal uzunligi bo'yicha o'rtacha hisobda quyidagi miqdorga teng bo'ladi:

$$V_{1km} = \frac{V_{102.8km}}{L_k} = \frac{1159262}{102.8} \approx 11277 \text{ m}^3.$$

Bu degani, kanalning har bir kilometri hisobiga o'rtacha taxminan 11,3 ming m³ hajmda deformatsion loyqa bosishi kuzatilayotganini anglatadi. Albatta, mazkur hisoblash natijalari ham ma'lum darajada taxminiy xarakterga ega. Chunki muallaq oqiziq konsentratsiyasining o'lchangan qiymatlari oylar kesimida o'rtachalashtirilgan holda qabul qilingan. Amaliyotda esa bunday o'lchovlarni muntazam va uzluksiz ravishda olib borish imkoniyatlari cheklangan hisoblanadi.

Bundan tashqari, hisoblashlarda suv sarfi qiymatlarining ham oylik o'rtacha ko'rsatkichlari qabul qilingan. HEC-RAS dasturida esa kunlik o'rtacha qiymatlar kiritilib, modellashtirish ishlari amalga oshirilgan. Shu sababli hisoblash natijalari orasida ma'lum tafovutlarning yuzaga kelishi tabiiy holat sifatida baholanadi. Bundan tashqari, kanalda loyqa cho'kishi jarayoni butun uzunlik bo'ylab bir tekis taqsimlanmagan. Gidravlik sharoitlar, mahalliy nishablik, oqim tezligi, burilishlar hamda ko'ndalang kesim shaklining ta'siri natijasida ayrim uchastkalarda deformatsiya jarayonlari

ancha intensiv rivojlanishi mumkin. HEC-RAS modeli esa kanalning barcha 102,8 km uzunligi uchun emas, balki PK1160–1184 oralig'idagi 2,4 km uchastka uchun qurilgan. Shu sababli modellashtirish natijalarini ekspluatatsion ma'lumotlar bilan bevosita va to'liq taqqoslash metodik jihatdan to'liq to'g'ri bo'lmaydi. Shunga qaramasdan loyihaviy kanal geometriyasiga nisbatan olingan modellashtirish natijalariga ko'ra umumiy deformatsiya Ackers–White usulida 118403 m³, Laursen (Copeland) usulida 53287 m³, Yang usulida 301936 m³ hamda Engelund–Hansen usulida 351397 m³ ni tashkil etdi. Eng katta deformatsiya Engelund–Hansen usulida kuzatilib, ayrim piketlarda deformatsiya hajmi 35–41 ming m³ gacha yetgan. Jumladan, PK400 nuqtada Engelund–Hansen usuli bo'yicha 41109 m³, PK800 nuqtada 32822 m³ va PK1600 nuqtada 33745 m³ deformatsiya aniqlangan.

Ackers–White usulida deformatsiya qiymatlari nisbatan past bo'lib, ko'pchilik piketlarda 9–13 ming m³ atrofida saqlanib qolgan. Laursen (Copeland) usuli esa eng konservativ natijalarni ko'rsatib, deformatsiya asosan 1,5–7,5 ming m³ diapazonda kuzatilgan. Yang usulida esa deformatsiya hajmlari 16–30 ming m³ oralig'ida o'zgargan. Ushbu holat Yang va Engelund–Hansen formulalarining oqimning tashuvchanlik qobiliyatini nisbatan yuqori baholashi bilan izohlanadi.

Shu bilan birga, kanalning morfologik evolyutsiyasini baholash maqsadida Ackers–White usuli asosida hisoblangan yil oxiri geometriyasi yangi boshlang'ich holat sifatida qabul qilinib, 2023-yil oqim va oqiziq ma'lumotlari asosida qayta modellashtirish ishlari amalga oshirildi. Mazkur yondashuvning asosiy maqsadi kanal shakli o'zgargandan so'ng deformatsiya jarayonlari kamayadimi hamda tizim dinamik muvozanat holatiga yaqinlashadimi degan savolga ilmiy asosda javob topishdan iborat bo'ldi.

Qayta modellashtirish natijalariga ko'ra ayrim usullarda deformatsiya hajmlarining kamaygani kuzatildi. Xususan, Yang usuli bo'yicha umumiy deformatsiya 301936 m³ dan 279674 m³ gacha kamayib, taxminan 22262 m³ farqni tashkil etdi. Laursen (Copeland) usulida esa deformatsiya hajmi 53287 m³ dan 39091 m³ gacha pasayib, qariyb 14196 m³ ga kamayganligi aniqlandi. Bu holat kanal geometriyasi ma'lum darajada oqim va oqiziq rejimiga moslashib borayotganini hamda tizim dinamik barqarorlik tomon evolyutsiyalanayotganini ko'rsatadi.

Biroq barcha formulalarda ham bir xil tendensiya kuzatilmadi. Ackers–White usulida umumiy deformatsiya 118403 m³ dan 124823 m³ gacha, Engelund–Hansen usulida esa 351397 m³ dan 388848 m³ gacha ortgan. Ayniqsa, Engelund–Hansen usuli bo'yicha PK800–2000 oralig'ida deformatsiya hajmi 31–39 ming m³ diapazonda saqlanib qolgan. Bu esa mazkur uchastkada morfodinamik jarayonlar hali ham faol davom etayotganini ko'rsatadi. Shunday qilib, modellashtirish natijalari kanalning butun uzunligi uchun emas, balki deformatsiyaga moyil bo'lgan lokal uchastka uchun yuqori qiymatlarni qayd etgan.

Qayta modellashtirish natijalari esa kanal shaklining ma'lum darajada oqim sharoitlariga moslashganini, biroq tizim hali to'liq dinamik muvozanat holatiga erishmaganini ko'rsatadi. Demak, PK1160–1184 uchastkasida o'zan morfologik jihatdan hanuz faol bo'lib, deformatsiya jarayonlari davom etmoqda deb baholash mumkin.

Xulosalar

1. Tabiiy-dala sharoitidagi o'lchov ishlari va HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellashtirish natijalarining qiyosiy tahlili bizga ushbu dastur yordamida Amudaryodan suv oluvchi kam bog'langan gruntli kanallar sharoitida ham o'zan jarayonlarini prognozlashda foydalanish mumkinligini ko'rsatdi.

2. Taqqoslash natijalari shuni ko'rsatdiki, oqimning tashuvchanlik qobiliyatini aniqlashda qo'llanilgan turli formulalar kanal deformatsiyasini turlicha darajada baholagan. Ackers–White, Yang va Engelund–Hansen usullari ayrim uchastkalarda deformatsiyani yuqori qiymatlarda prognoz qilgan bo'lsa, Laursen (Copeland) usuli nisbatan real sharoitga yaqin natijalarni bergan. Xususan, qayta modellashtirish natijalariga ko'ra Laursen (Copeland) usulida 2,4 km masofa uchun umumiy deformatsiya 39091 m³ ni tashkil etdi. Bu esa har bir kilometrda o'rtacha 16288 m³ qiymatga teng bo'lib, ekspluatatsion ma'lumotlardagi 11277 m³/km ko'rsatkichiga eng yaqin natija sifatida baholandi. Shu sababli Amu–Buxoro mashina kanali sharoitida mayda va muallaq oqiziq

harakatini baholashda Laursen (Copeland) usuli nisbatan ishonchliroq natijalar beradi degan xulosaga kelish mumkin.

3. Amu-Buxoro mashina kanali sharotida o'lgangan oqiziq konsentratsiyasi ma'lumotlari va HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellash natijalari o'zaro bir-birini to'ldiruvchi sifatida nafaqat kanal uzunligi bo'yicha balki vaqt mobaynida o'zan deformatsiyasi jarayonlarini prognozlash uchun asoslangan ma'lumotlar olish imkoniyatini taqdim qiladi. Tadqiqot natijalari kanalni texnik ishonchli ekspluatatsiya qilish uchun tegishli qarorlar qabul qilish uchun asos bo'ladi.

Adabiyotlar

1. Arifjanov, A. and Fatxullaev, A., 2019, December. Natural Studies for Forming Stable Channel Sections. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1425, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
2. Eshev, S., Latipov, S., Qurbonov, A., Sagdiyev, J., Berdiev, M. and Mamatov, N., 2021, January. Non-eroding speed of water flow of channels running in cohesive soils. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1030, No. 1, p. 012131). IOP Publishing.
3. Khazratov, A., & Rakhmatov, M. (2024). PROBLEMS OF HYDRAULIC CALCULATION OF EARTHEN CHANNELS. *Innovatsion texnologiyalar*, 54(02).
4. Eshev, S. S., Xazratov, A. N., G'ayimnazarov, I. X., & Jumayev, A. R. O. G. L. (2023). QASHQADARYO VILOYATIDA SUV RESURSLARIDAN SAMARALI FOYDALANISH MASALALARI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(12), 406-414.
5. Arifjanov, A., Samiev, L., Apakhodjaeva, T. and Akmalov, S., 2019, December. Distribution of river sediment in channels. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 403, No. 1, p. 012153). IOP Publishing.
6. Arifjanov, A., Samiyev, L., Akhmedov, I. and Atakulov, D., 2021. Innovative technologies in the assessment of accumulation and erosion processes in the channels. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(4), pp.110-114.
7. Khazratov, A. N., Axmadjon o'g'li S. A., & Sobirov, F. C. (2026). Channel Deformation Processes in the Amu-Bukhara Machine Canal. *American Journal of Technology Advancement*, 3(5), 109–116. <https://doi.org/10.31149/ajta.v3i5.4198>
8. Sobirov, F. C., & Xazratov, A. N. (2024). IRRIGATSIYA KANALLARIDAGI QIRG'OQ DEFORMATSIYASINI TADQIQ QILISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 4(10), 349-359.
9. Khazratov A.N., Sobirov F.Ch; Study of Side Wall Deformation in Irrigation Channels; Miasto Przyszlosci Kielce 2024; Impact Factor: 9.9 ISSN-L: 2544-980X; 715-722-betlar
10. Brunner, G. W. (2001). HEC-RAS hydraulic reference manual. Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
11. Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS hydraulic reference manual, version 5.0. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
12. Brunner, G. W., & Gibson, S. (2005). Sediment transport modeling in HEC RAS. In *Impacts of global climate change* (pp. 1-12).
13. Depeweg, H. and Méndez, N., 2007. A New Approach to Sediment Transport in the Design and Operation of Irrigation Canals: UNESCO-IHE Lecture Note Series. CRC Press.
14. Yang, C.T., 1996. Sediment transport: theory and practice (Vol. 396). New York: McGraw-Hill.