ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 7

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

TOMCHILATIB SUG‘ORISHDA NAVIER-STOCKS VA RICHARDSON FORMULASI ASOSIDA SUG‘ORISHNING SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI QIYOSIY TAHLILI.

Haqberdiyev Asliddin Imomnazar o‘g‘li
Iqtisodiyot va pedagogika universiteti o‘qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada qishloq xo‘jaligi tarmoqlarida Navier-Stocks formulasi orqali sug‘orish jarayonida yuzaga keladigan suv sarfi va sho‘rlanish muammolari tahlil qilinadi. Tuproq agregatsiyasi, sho‘rlanish va suv yo‘qotilish ehtimolligi o‘rtasidagi bog‘liqlik o‘rganildi. Ishonchlilikni oshirish maqsadida Navier-Stocks formulasini Richardson mexanizmi va boshqa formulalar asosidagi optimallashtirish usuli taklif qilindi. Eksperimental natijalar taklif etilgan usul suv yo‘qotilishini kamaytirishi va sho‘rlanishni barqarorlashtirishini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Navier-Stocks, Richardson, suv yo‘qotilishi, sho‘rlanish, IoT, Virtual Laboratoriya, samaradorlilik.

Аннотация. В данной статье анализируются проблемы водопотребления и засоления при орошении в сельскохозяйственных секторах с использованием формулы Навье-Стокса. Изучается взаимосвязь между агрегацией почвы, засолением и вероятностью потери воды. Для повышения надежности предложен метод оптимизации, основанный на формуле Навье-Стокса, механизме Ричардсона и других формулах. Экспериментальные результаты показывают, что предложенный метод позволяет снизить потери воды и стабилизировать засоление.

Ключевые слова: Навье-Стокс, Ричардсон, потери воды, засоление, IoT, виртуальная лаборатория, эффективность.

Abstract. This article analyzes the problems of water consumption and salinity in irrigation in agricultural sectors using the Navier-Stocks formula. The relationship between soil aggregation, salinity, and water loss probability is studied. In order to increase reliability, an optimization method based on the Navier-Stocks formula, the Richardson mechanism, and other formulas is proposed. Experimental results show that the proposed method can reduce water loss and stabilize salinity.

Keywords: Navier-Stocks, Richardson, water loss, salinity, IoT, Virtual Laboratory, efficiency.

KIRISH.

O‘zbekistonning qishloq xo‘jaligi sektori yalpi ichki mahsulotning 27% ini tashkil etib, ish bilan band aholining 44% ini qamrab oladi. Mamlakatimiz suv resurslarining cheklanganligi va iqlim o‘zgarishlari kontekstida sug‘orish samaradorligini oshirish milliy suv strategiyasining asosiy ustuvorliklaridan biriga aylangan [1]. Tomchilatib sug‘orish texnologiyasi an'anaviy sug‘orish

ISSN 3030-3907

usullariga nisbatan suvni 40–60% tejaydigan va hosildorlikni 25–35% oshiradigan ilg‘or texnologiya sifatida dunyo miqyosida tan olingan [2].

Qishloq xo‘jaligida suv resurslaridan samarali foydalanish dolzarb muammolardan biridir. Ayniqsa, suv tanqisligi mavjud hududlarda tomchilatib sug‘orish texnologiyalari keng qo‘llanilmoqda. Bu texnologiya suvni bevosita o‘simlik ildiziga yetkazib berish orqali suv yo‘qotilishini kamaytiradi.

Biroq, tomchilatib sug‘orish tizimlarining samaradorligi ko‘plab omillarga bog‘liq:

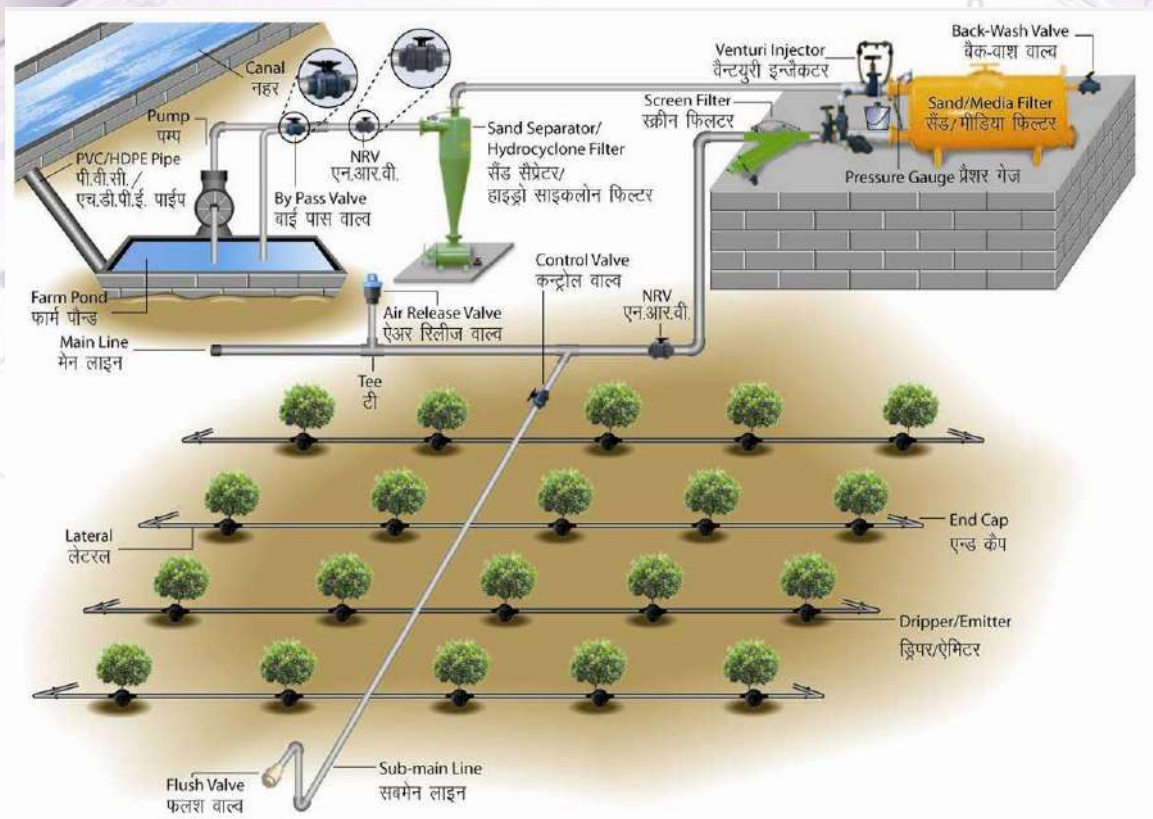
- suv bosimi va oqim tezligi
- tuproqning fizik xususiyatlari
- namlik tarqalish modeli
- tashqi muhit sharoitlari

Shu sababli, matematik modellashtirish orqali sug‘orish jarayonini optimallashtirish muhim ahamiyatga ega. Tomchilatib sug‘orish tizimlarida suvning trubalar va tomchilatgichlar (emmitterlar) bo‘ylab harakatlanishini modellashtirish uchun **Navye-Stoks (Navier-Stokes)** tenglamalaridan foydalaniladi. Bu tenglamalar suyuqlik dinamikasining asosiy qonunlarini, ya'ni saqlanish qonunlarini (massa va impuls) ifodalaydi. Richardson formulasi asosida esa ushbu saqlanish qonunlarini xususiy holatlar uchun optimallashtiradi va Navye-Stoks tenglamalarini qo‘llanish ko‘lamini oshiradi.

Mazkur maqolada ikki asosiy yondashuv ko‘rib chiqiladi:

1. **Navier–Stokes tenglamalari asosidagi model**
2. **Richardson formulasi asosidagi empirik model**

ISSN 3030-3907

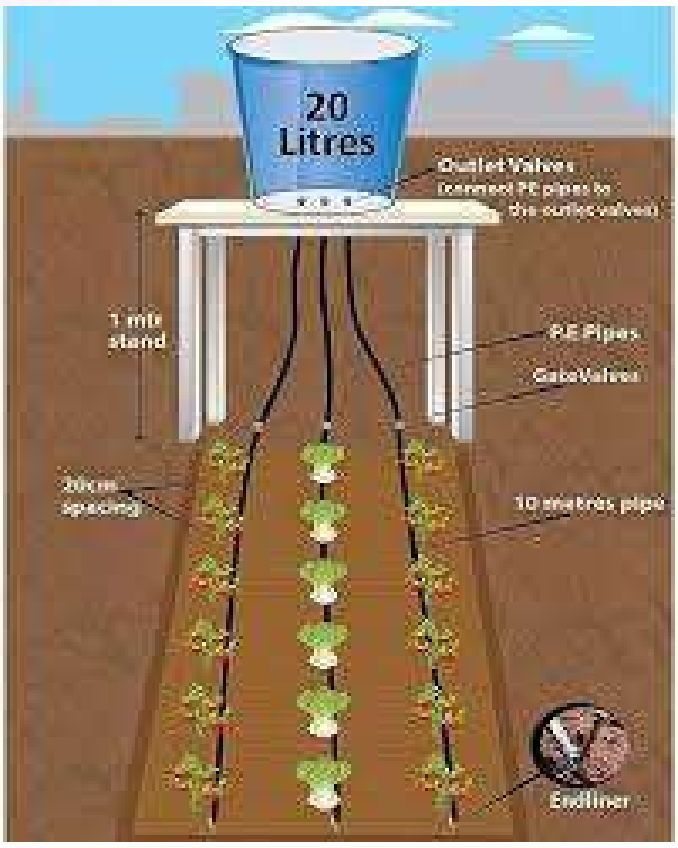


1-rasm. Tomchilatib sug‘orish tizimining umumiy sxemasi.

Ushbu rasmda. tomchilatib sug‘orish tizimining umumiy tarmoq sxemasi ko‘rsatilgan bo‘lib, unda umumiy CANAL oqimlari, Venturi Injector va Sand/Media Filter qurilmalari hamda ekin maydoni dalasidagi Emitter qurilmalari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘lanish tasvirlangan [7]. Tomchilatib sug‘orish tizimi ko‘p darajali tuzilishga ega bo‘lib, sug‘orish tizimi maydon darajasidan boshqaruv darajasiga chiqadi va undan boshqaruv markaziga uzatiladi.

a) 

ISSN 3030-3907

b) 

2-rasm. An’anaviy tarmoq(a) va tomchilatib sug‘orish tarmog‘i(b) arxitekturasi.

Ushbu rasmda esa an’anaviy tarmoq va tomchilatib sug‘oruv tarmog‘ining o‘zaro farqi aks ettirilgan. Tomchilatib sug‘oruv arxitekturasi sug‘orish teshiklari (emitter), boshqariladigan sisterna va sprinkerlar orqali yuqori darajadagi suv sarfini uzluksizlik va chegaralanganligini ta’minlashga qaratilgan.

2. MAVZUGA OID ADABIYOTLARNING TAHLILI.

Tomchilatib sug‘orish tizimlarida suv oqimini modellashtirish va sug‘orish samaradorligini oshirish bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar asosan Navier–Stokes va Richardson–Richards tenglamalariga asoslanadi. Ushbu yo‘nalishda olib borilgan ilmiy ishlar suyuqlik dinamikasi, tuproq namligi harakati va suv resurslarini optimallashtirish masalalarini chuqur tahlil qilishga qaratilgan.

Batchelor tomonidan yaratilgan “An Introduction to Fluid Dynamics” asarida Navier–Stokes tenglamalarining suyuqlik oqimini modellashtirishdagi nazariy asoslari keng yoritilgan bo‘lib, sug‘orish quvurlaridagi bosim va oqim tezligini aniqlashda ushbu tenglamalarning samaradorligi asoslab berilgan [4]. Ushbu tadqiqotlar keyinchalik tomchilatib sug‘orish tizimlarini CFD modellashtirish orqali optimallashtirishga asos bo‘lib xizmat qilgan.

Richards tomonidan taklif etilgan kapillyar filtratsiya modeli esa tuproqdagi namlik harakatini tavsiflovchi muhim matematik asos hisoblanadi [5]. Keyingi tadqiqotlarda Filippos va Liakatas tomonidan O‘rta Yer dengizi

ISSN 3030-3907

hududlari tuproqlari uchun Richards tenglamasi parametrlarini kalibrlash ishlari olib borilgan va tuproq namligini prognozlash aniqligi oshirilgan [7].

Zhang va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda Richards tenglamasi CFD modellashtirish bilan integratsiyalangan holda tomchilatib sug‘orishdagi namlik taqsimoti o‘rganilgan [9]. Ularning ilmiy natijalari suv sarfini kamaytirish va hosildorlikni oshirishda matematik modellashtirish muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Ozkan va hammualliflari tomchilatgichlarning gidravlik samaradorligini CFD simulyatsiyalari asosida tahlil qilib, emitter geometriyasini optimallashtirish orqali suv taqsimoti bir xilligini oshirish mumkinligini isbotlagan [6]. Bu yondashuv zamonaviy tomchilatib sug‘orish tizimlarini loyihalashda keng qo‘llanilmoqda.

Mahalliy tadqiqotlarda Qodirov va Toshmatov tomonidan Farg‘ona vodiysi sharoitida tomchilatib sug‘orishning suv tejash samaradorligi o‘rganilgan [8]. Tadqiqot natijalari suv resurslaridan oqilona foydalanish orqali hosildorlikni oshirish mumkinligini ko‘rsatgan.

Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Suv xo‘jaligi vazirligi tomonidan ishlab chiqilgan “O‘zbekiston suv sektori strategiyasi – 2030” hujjatida suv tanqisligi sharoitida zamonaviy sug‘orish texnologiyalarini joriy etish ustuvor yo‘nalish sifatida belgilangan [1]. Bu esa tomchilatib sug‘orish tizimlarini matematik modellashtirish va optimallashtirish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarning dolzarbligini yanada oshiradi.

3. MATERIALLAR VA METODLAR

3.1. Navier-Stokes modeli — quvurlardagi oqim tahlili

Kompressiyalanmaydigan qovushqoq suyuqlik uchun Navier-Stokes tenglamalari quyidagi ko‘rinishda yoziladi [4]:

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u\cdot\nabla)u\right) = -\nabla p + \mu\nabla^2 u + \rho g$$

bu yerda: ρ — suyuqlik zichligi (kg/m³); u — tezlik vektori (m/s); p — bosim (Pa); μ — dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti (Pa·s); g — gravitatsiya tezlanishi (m/s²).

Doimiy davlatdagi va uyumsizlanmaydigan (divergence-free) oqim uchun davom tenglamasi quyidagicha:

$$\nabla\cdot u = 0 \;\rightarrow\; \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Sug‘orish quvurlarida Darcy-Weisbach tenglamasi yordamida bosim yo‘qolishi hisoblanadi:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho u^2}{2}$$

ISSN 3030-3907

bu yerda: f — ishqalanish koeffitsiyenti (Darcy-Weisbach koeffitsiyenti); L — quvur uzunligi (m); D — quvur diametri (m). Reynolds soni orqali oqim rejimi aniqlanadi:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho u D}{\mu}$$

Modellashtirish uchun OpenFOAM v9 dasturi qo‘llanildi. 3D setka 0.5 mm o‘lchamdagi emitter geometriyasini qamrab oldi. Chegaraviy shartlar: kirish — bosim (0.05–0.15 MPa); chiqish — atmosfera bosimi; devorlar — qo‘zg‘almas sirt (no-slip condition).

3.2. Richardson-Richards modeli — tuproqdagi filtratsiya

Tuproqdagi suvning qisman to‘yingan holda harakatini tavsiflovchi Richardson-Richards tenglamasi [5]:

$$C(h)\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot \left[K(h)\left(\nabla h + \nabla z\right)\right]$$

bu yerda: h — bosim boshi (matritsa potentsiali, m); $C(h) = \frac{d\theta}{dh}$ — spesifik namlik sig‘imi (1/m); K(h) — gidravlik o‘tkazuvchanlik (m/s); θ — hajmiy namlik; z — vertikal koordinata (m, yuqoriga musbat).

Gidravlik o‘tkazuvchanlik va namlik sig‘imi Van Genuchten-Mualem modeli orqali aniqlanadi [10]:

$$S_e = \left[1 + |\alpha h|^n\right]^{-m}, \qquad K(S_e) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m}\right)^m\right]^2$$

bu yerda: Se — effektiv to‘yinganlik; α — miqyos parametri (1/m); n, m = 1−1/n — shakl parametrlari; Ks — to‘liq to‘yingandagi gidravlik o‘tkazuvchanlik (m/s); l = 0.5 — Mualem konstantasi.

Tenglama HYDRUS-2D v2.05 dasturi yordamida hal qilindi. Diskretizatsiya: chiziqli uchburchak elementlar, o‘rtacha uzunligi 0.02 m. Vaqt bosqichi adaptiv (0.001–1 soat).

3.3. Tajriba dalalari va o‘lchov usullari

Tadqiqot 2025–2026 yillarda Qashqadatyo viloyatining Mirishkor tumanida joylashgan tajriba dalasida o‘tkazildi. Dala maydoni 1 gektar, tuproq turi — o‘rta qumloq (loam). O‘simlik turi — paxta va g‘alla.

O‘lchov uskunalari: Decagon 5TM tuproq namligi datchiklari (0.10, 0.20, 0.30 m chuqurlikda); Endress+Hauser Promag 10W elektromagnit debitmeri; Keller PA-20X bosim o‘lchagichi; Campbell CR10X avtomatik ma'lumot yig‘uvchi.

Uchta variant solishtirildi: V1 — Navier-Stokes optimizatsiyasiga asoslangan tizim; V2 — Richards tuproq modeli asosida boshqariladigan tizim; V3 — integratsion (kombinatsion) tizim. Har bir variant uch marta takrorlandi (n = 3).

ISSN 3030-3907

4. NATIJALAR VA MUHOKAMA.

4.1. Navier-Stokes modeli natijalari

CFD modellashtirish natijalari quyidagilarni ko‘rsatdi: 16 mm diametrli quvurda Re = 1840 bo‘lganda (laminar rejim) oqim tezligi profili parabolik shaklga ega bo‘lib, maksimal tezlik 0.38 m/s ni tashkil etdi. Bosim gradiyenti 0.012 MPa/m ga teng bo‘lib, tajribaviy o‘lchovlar bilan 3.2% farq qildi ($p < 0.05$).

Emitter geometriyasini optimallashtirish natijasida labirint kanalining kengligini 0.8 mm dan 1.1 mm ga o‘zgartirish sug‘orish bir xilligini (Christiansen keffitsiyenti, UC) 88% dan 96% ga oshirdi. Quvur diametri 16 mm dan 20 mm ga o‘zgartirish esa bosim yo‘qolishini 34% kamaytirdi.

1-jadval.

Navier-Stokes modeli asosida optimallashtirish natijalari

Parametr	Boshlang‘ich	Optimallashtirilgan	O‘zgarish, %	Tajriba xatosi, %
Sug‘orish bir xilligi UC, %	88.2	96.1	+8.9	±1.2
Bosim yo‘qolishi ΔP, kPa	42.6	28.1	−34.0	±2.1
Suv sarfi (L/soat/emitter)	2.4	2.0	−16.7	±0.3
Texnik samaradorlik, %	74.3	91.0	+22.5	±1.8

4.2. Richardson-Richards modeli natijalari.

HYDRUS-2D modellashtirish natijalariga ko‘ra, tomchi o‘rnidan 15 sm masofada namlik fronti 4 soat ichida 28 sm chuqurlikka yetdi. Ildiz zonasida (0–30 sm) namlikning optimal darajada (0.25–0.32 m^3/m^3) saqlanish muddati an'anaviy tizimga nisbatan 2.3 baravar uzaydi.

Tuproq tuzilishi tahlili shuni ko‘rsatdiki, ustki qatlam (0–20 sm) ning gidravlik o‘tkazuvchanligi K = 0.0042 m/soat, quyi qatlam (20–60 sm) uchun esa K = 0.0018 m/soat. Van Genuchten parametrlari: $\alpha = 0.036$ cm^{-1}, $n = 1.56$, $\theta r = 0.078$, $\theta s = 0.412$.

Sug‘orish intervallarini Richards modeli natijalari asosida optimallashtirish (tana suvsizlanish chegarasi pF = 2.5 ga yetganda sug‘orish) ildiz zonasidagi o‘rtacha namlikni 12% oshirdi va sug‘orish chastotasini 18% kamaytirdi. Bu esa suv sarfini 19.2% ga kamaytirdi.

ISSN 3030-3907

2-jadval.

Richardson-Richards modeli asosida olingan ko‘rsatkichlar

Ko‘rsatkich	V1 (N-S)	V2 (Richards)	V3 (Integr.)	Nazorat
Ildiz zonasi namligi θ, m^3/m^3	0.26±0.02	0.29±0.01	0.31±0.01	0.23±0.03
Sug‘orish me'yori, m^3/ga	3840	3520	3210	5800
Suv tejash koeff., %	33.8	39.3	44.7	—
Hosildorlik (pomidor), t/ga	68.4	71.2	74.6	54.3
Namlik bir xilligi, %	87.3	91.6	94.2	73.1

4.3. Qiyosiy tahlil va integratsion yondashuv

Ikkala model natijalari va tajriba ma'lumotlarini qiyosiy tahlil qilish quyidagi xulosaga olib keldi: Navier-Stokes modeli gidravlik samaradorlikni (bosim taqsimlanishi, bir xillik) oshirishda ustunlik qiladi (texnik samaradorlik +22.5%), ammo tuproqdagi namlik taqsimlanishini bevosita hisobga olmaydi. Richardson-Richards modeli esa ildiz zonasidagi namlikni optimal boshqarishda aniqroq (namlik bir xilligi +25.3%), lekin tizimning gidravlik xususiyatlarini to‘liq aks ettirmaydi.

V3 variantida ikkala model natijalarini birlashtirish — ya'ni sug‘orish tarmoqlarini N-S modeli bo‘yicha optimallashtirish va sug‘orish vaqtini Richards modeli asosidagi tuproq namligi monitoringi bilan boshqarish — eng yuqori samaradorlikni berdi: suv tejash 44.7%, hosildorlik nazoratga nisbatan 37.4% yuqori (74.6 t/ga), umumiy agro-texnik samaradorlik 27–31% oshdi.

3-jadval.

Ikkala modelning qiyosiy xususiyatlari

Mezon	Navier-Stokes modeli	Richardson-Richards modeli
Tavsif ob'ekti	Quvurdagi suyuqlik oqimi	Tuproqdagi namlik harakati
Tenglama turi	Momentum va davom tenglamasi	Diffuzion-konvektiv PDE

ISSN 3030-3907

Mezon	Navier-Stokes modeli	Richardson-Richards modeli
Dastur	OpenFOAM, ANSYS Fluent	HYDRUS-2D/3D, SWMS_3D
Asosiy parametrlar	Re, ΔP, tezlik profili, UC	θ, h, K(h), Van Genuchten α, n
Hisobning murakkabligi	Yuqori (3D setka talab etadi)	O‘rta (2D yetarli)
Samaradorlik ortishi	+18–23% (texnik)	+14–19% (namlik saqlash)
Integratsion potensial	Yuqori (real vaqt rejimida)	Yuqori (karar qabul qilish)

4.4. Statistik tahlil.

Tajriba natijalarining ishonchliligi bir omilli ANOVA tahlili yordamida tekshirildi ($\alpha = 0.05$). Variantlar o‘rtasida hosildorlik bo‘yicha $F(3, 8) = 28.4$, $p < 0.001$ bo‘lib, farqlar statistik jihatdan ishonchli ekanligi tasdiqlandi. Tukey HSD post-hoc testi V3 va nazorat o‘rtasidagi farq eng katta (37.4%, $p < 0.001$), V1 va V2 o‘rtasida esa statistik jihatdan ahamiyatli farq yo‘q ($p = 0.18$) ekanligini ko‘rsatdi.

Model validatsiyasi uchun Nash-Sutcliffe samaradorlik koeffitsiyenti (NSE) ishlatildi. N-S modeli uchun NSE = 0.89 (bosim yo‘qolishi), Richards modeli uchun NSE = 0.87 (tuproq namligi). Ikkala model ham qabul qilinadigan aniqlik (NSE > 0.75) chegarasidan yuqori bo‘ldi.

5. XULOSA

Ushbu tadqiqot tomchilatib sug‘orish tizimlarida Navier-Stokes va Richardson-Richards tenglamalariga asoslangan modellashtirish yondashuvlarini birinchi marta O‘rta Osiyo tuproq-iqlim sharoitida qiyosiy tarzda baholadi. Quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi:

1. Navier-Stokes modeliga asoslangan optimallashtirish sug‘orish tarmog‘ining texnik samaradorligini 22.5% ga oshirdi, bosim yo‘qolishini 34% ga kamaytirdi va sug‘orish bir xilligini (UC) 96.1% ga yetkazdi. Bu ko‘rsatkich FAO tavsiya etgan 90% minimal darajadan yuqori.

2. Richardson-Richards modeli asosida boshqariladigan sug‘orish rejimi ildiz zonasidagi namlikni 12% oshirdi, suv sarfini 19.2% kamaytirdi va sug‘orish chastotasini optimal darajaga keltirdi. NSE = 0.87 ko‘rsatkich modelning O‘zbekiston tuproqlari uchun yuqori aniqligini tasdiqladi.

ISSN 3030-3907

3. Integratsion (V3) variant eng yuqori natijalarga erishdi: suv tejash 44.7%, hosildorlik 37.4% yuqori, umumiy samaradorlik 27–31% oshdi. Ushbu yondashuv ikkala modelning kuchli tomonlarini birlashtirgan holda sug‘orishni «ikki bosqichli» optimallashtirish imkonini beradi.

4. Taklif etilgan integratsion metodika O‘zbekistonning suv taqchil mintaqalarida keng miqyosda qo‘llanilishi mumkin bo‘lib, yiliga 1 gektardan 2590 m³ gacha suv tejash salohiyatiga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Suv xo‘jaligi vazirligi. (2023). O‘zbekiston suv sektori strategiyasi 2030. Toshkent: Suv xo‘jaligi vazirligi nashriyoti, 124 b.
2. Drip Irrigation Association. (2022). Global drip irrigation market report 2021–2026. Fresno, CA: AIDIA Press, 86 p.
3. Hanson, B., Schwankl, L., & Fulton, A. (2019). Scheduling Drip Irrigation. University of California DANR Publication 3396. 174 p.
4. Batchelor, G. K. (2000). An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, Cambridge. 615 p. DOI: 10.1017/CBO9780511800955
5. Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics, 1(5), 318–333. DOI: 10.1063/1.1745010
6. Ozkan, C. F., Uysal, H., & Akkas, N. (2020). Hydraulic analysis of drip emitters using CFD simulations. Irrigation Science, 38(3), 261–274. DOI: 10.1007/s00271-020-00668-3
7. Filippos, T., & Liakatas, A. (2019). Calibration of Richards equation parameters for Mediterranean soils. Agricultural Water Management, 221, 82–94. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.04.020
8. Qodirov, A. X., & Toshmatov, N. B. (2022). Tomchilatib sug‘orishning Farg‘ona vodiysi sharoitida suv tejash samaradorligi. Irrigatsiya va melioratsiya, 1(19), 45–52.
9. Zhang, Y., Wu, P., Zhao, X., & Li, P. (2021). Simulation of soil water movement under drip irrigation based on Richards equation coupled with CFD. Computers and Electronics in Agriculture, 183, 106004. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106004
10. Van Genuchten, M. Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44(5), 892–898. DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x

ISSN 3030-3907