

TUPROQ ICHIDAN SUG'ORISH (SUBSURFACE IRRIGATION) TEXNOLOGIYASI VA UNING SAMARADORLIGI

Erkinov Ne'mat Rajabboy o'g'li

ORCID: 0009-0005-3701-8575

"Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti"

Milliy tadqiqot universiteti magistri

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20066368>

Annotatsiya: Dunyoda aholining o'sishi va iqlim o'zgarishlari oqibatida suvdan foydalanish hajmi ortib borayotganligi sababli, qishloq xo'jaligida suv resurslarini tejash dolzarbligi ortmoqda. Tuproq ichidan sug'orish (subsurface irrigation) texnologiyasi zamonaviy irrigatsiya usullari orasida eng samarali yechimlardan biri hisoblanadi. Ushbu maqolada tuproq ichidan sug'orish tizimining konstruksiyasi, ishlash prinsipi va boshqa an'anaviy sug'orish usullari bilan solishtirilgan holda samaradorligi chuqur tahlil qilingan. Tahlil natijalariga ko'ra, tuproq ichidan sug'orish usuli yuzaki sug'orishga nisbatan suv sarfinin 30-55% kamaytirish, suv samaradorligini 2-3 barobar oshirish va o'simlik ildiz tizimini rivojlanishini yaxshilash imkonini beradi. Maqolada, shuningdek, tuproq namligining chuqurlik bo'yicha taqsimoti, suvning yo'qotilish yo'nalishlari va iqlim sharoitlarining ushbu texnologiyaga ta'siri tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari asosida amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan va kelajak tadqiqot yo'nalishlari belgilangan.

Abstract. Due to population growth and climate change, the demand for water resources is increasing globally, making water conservation in agriculture a critical priority. Subsurface irrigation technology represents one of the most efficient modern irrigation solutions. This article provides a comprehensive analysis of subsurface irrigation system design, operational principles, and efficiency compared to traditional irrigation methods. Analysis results demonstrate that subsurface irrigation can reduce water consumption by 30-55% compared to surface irrigation, increase water use efficiency by 2-3 times, and improve plant root system development. The study also examines soil moisture distribution by depth, water loss pathways, and the impact of climatic conditions on this technology. Based on the research findings, practical recommendations are developed and future research directions are identified.

Аннотация. В связи с ростом населения мира и увеличением водопотребления из-за изменения климата возрастает актуальность экономии водных ресурсов в сельском хозяйстве. Технология подземного орошения является одним из наиболее эффективных решений среди современных методов орошения. В данной статье представлен углубленный анализ конструкции, принципа работы и эффективности систем подземного орошения в сравнении с другими традиционными методами орошения. По результатам анализа, подземное орошение позволяет сократить водопотребление на 30-55% по сравнению с поверхностным орошением, повысить водоэффективность в 2-3 раза и улучшить развитие корневой системы растений. В статье также анализируется распределение почвенной влаги по глубине, характер потерь воды и влияние климатических условий на данную технологию. На основе результатов исследования разработаны практические рекомендации и определены направления будущих исследований.

Kalit so'zlar: tuproq ichidan sug'orish, subsurface drip irrigation, suv samaradorligi, tuproq namligi, ildiz zonasi, irrigatsiya effekti, suv tejash, qishloq xo'jaligi

Keywords: subsurface irrigation, drip irrigation, water use efficiency, soil moisture, root zone, irrigation efficiency, water conservation, agriculture

Ключевые слова: подземное капельное орошение, эффективность использования воды, влажность почвы, корневая зона, эффект орошения, водосбережение, сельское хозяйство

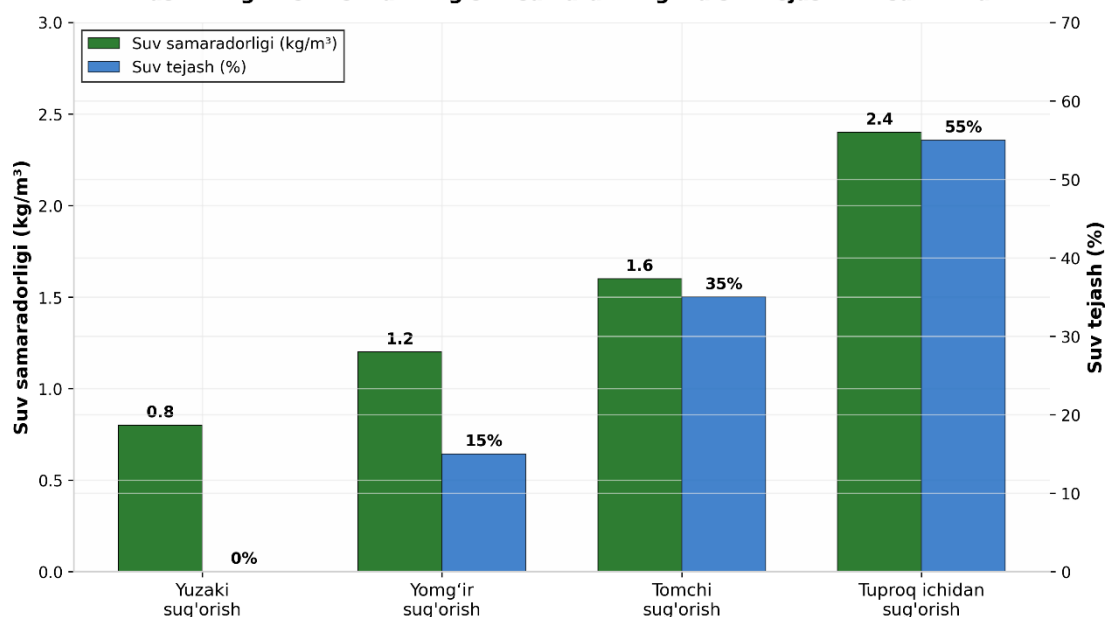
Kirish. Dunyo aholisi o'sishi va urbanizatsiya jarayonlari tez sur'atlar davom etayotgan hozirgi davrda yangi ichimlik va irrigatsiya suvlariga bo'lgan ehtiyoj har yili 1-2% ga oshib bormoqda [1]. Biroq, yer yuzidagi chuchuk suv zaxiralari cheklanganligi va ulardan foydalanishning notekis taqsimoti mintaqaviy va global miqyosda jiddiy

muammolarni tug'dirmoqda. Xususan, quruq va yarim quruq iqlimli mintaqalarda, jumladan, Markaziy Osiyo va O'rta Sharq mamlakatlarida, qishloq xo'jaligining irrigatsiya suvidan foydalanish ulushi umumiy suv sarflarining 70-85% ini tashkil etadi [2]. An'anaviy sug'orish usullari — yuzaki (jaboqli), yo'lakli va yomg'irlatib sug'orish ko'p hollarda suvning 40-60% ini befoyda yo'qotishlarga olib keladi. Bu yo'qotishlar bug'lanish, yuzaki oqib ketish va chuqurlashuv orqali amalga oshadi. Bundan tashqari, noto'g'ri sug'orish oqibatida tuproqning sho'rланishi, o'simliklar ildiz tizimining noqs rivojlanishi va hosildorlikning pasayishi kuzatiladi [3]. Yuqorida bayon etilgan muammolarni hal qilish maqsadida zamonaviy suv tejovchi irrigatsiya texnologiyalari joriy etilmoqda. Ushbu texnologiyalar orasida tuproq ichidan sug'orish (subsurface drip irrigation, SDI) alohida o'rin tutadi. Bu usulda sug'orish quvurlari va tomchilatgichlar tuproq qatlamining ma'lum chuqurligiga (odatda 20-50 sm) joylashtiriladi va suv to'g'ridan-to'g'ri o'simlik ildiz zonasiga yetkazib beriladi [4]. Tuproq ichidan sug'orish texnologiyasi 1960-yillarda AQShda ilk bor qo'llana boshlangan bo'lib, dastlab yuqori qiymatli ekinlar- sabzavot va mevali o'simliklarni sug'orish uchun ishlatilgan [5]. So'nggi o'n yilliklar davomida ushbu texnologiya donli ekinlar, paxta, beda va boshqa keng tarqalgan ekinlarni sug'orishda ham qo'llanila boshladi. Xalqaro tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, to'g'ri loyihalangan va boshqariladigan SDI tizimlari 10-20 yil davomida samarali ishlashi mumkin [6]. Maqolaning asosiy maqsadi — tuproq ichidan sug'orish texnologiyasining konstruktiv xususiyatlari, ishlash prinsipi, boshqa irrigatsiya usullari bilan solishtirilgan holda samaradorligi va qo'llash istiqbollari ilmiy jihatdan tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot natijalariga asoslanib, suv resurslarini samarali boshqarish, hosildorlikni oshirish va agrotexnologiyalarini takomillashtirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan. Tuproq ichidan sug'orish nazariyasi Tuproq ichidan sug'orish nazariyasi gidrotexnika, agrofizika va tuproqshunoslik fanlari kesishmasida shakllangan. Asosiy ilmiy konsepsiyaga ko'ra, suvning tuproq qatlamiga kirishi va o'simlik tomirlarida ko'tarilishi kapillyar va osmotik kuchlar orqali amalga oshadi [7]. Tuproq ichidan sug'orish tizimlarida emitting chuqurligi, suv bosimi va tomchilash tezligi tuproq namligining taqsimlanishiga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir qiladi. Camp (1998) o'tkazgan umumlashtiruvchi tadqiqotda turli ekinlar, tuproq turlari va ekinchilik sharoitlarida tuproq ichidan sug'orish natijalari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, SDI tizimlarida hosildorlik boshqa sug'orish usullariga nisbatan teng yoki yuqori bo'lgan [5]. Shu bilan birga, tuproq ichidan sug'orishda suv sarfi boshqa samarali irrigatsiya tizimlariga qaraganda 25-40% kam bo'lishi mumkin. Wang va hamkorlari (2022) tomonidan o'tkazilgan global meta-tahlil shuni ko'rsatadiki, tuproq ichidan tomchilatib sug'orish (subsurface drip irrigation) donli

ekinlar, sabzavot va mevali o'simliklar hosildorligini oshirishda eng samarali usul hisoblanadi [1]. Tadqiqot 25 dan ortiq mamlakatlarda o'tkazilgan 150 dan ortiq tajribalarni qamrab olgan va suv samaradorligi (WUE) ko'rsatkichlarini tizimli tahlil qilgan.

Boshqa sug'orish usullari bilan taqqoslash. Zamonaviy irrigatsiya usullari o'rtasidagi solishtirish quyidagi asosiy ko'rsatkichlar bo'yicha amalga oshiriladi: suv samaradorligi (Water Use Efficiency, WUE), qo'llash bir tekisligi (Distribution Uniformity, DU), energetik samaradorlik va iqtisodiy ko'rsatkichlar [8]. 1-rasmda turli sug'orish usullarining suv samaradorligi va suv tejash ko'rsatkichlari taqqoslangan. Ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, tuproq ichidan sug'orish usulida suv samaradorligi 2.4 kg/m³ ga yetadi, bu yuzaki sug'orishga (0.8 kg/m³) nisbatan 3 barobar yuqori. Shu bilan birga, ushbu usulda 55% suv tejash imkoniyati mavjud.

1-rasm. Sug'orish usullarining suv samaradorligi va suv tejash ko'rsatkichlari



1-rasm. Sug'orish usullarining suv samaradorligi va suv tejash ko'rsatkichlari

Sug'orish usullarini solishtiruvchi boshqa muhim ko'rsatkich — bu qo'llash effektivligi (Application Efficiency) hisoblanadi. AQSh Milliy qishloq xo'jaligi xizmati ma'lumotlariga ko'ra [9], tuproq ichidan sug'orish tizimlarida qo'llash effektivligi 95-97% gacha yetadi, bu yomg'irlatib sug'orish (78%) va yuzaki sug'orish (65%) usullariga nisbatan ancha yuqori.

Ko'rsatkich	Yuzaki sug'orish	Yomg'ir sug'orish	Tomchi sug'orish	Tuproq ichidan sug'orish
Qo'llash effektivligi (%)	60-70	75-85	85-90	95-97
Suv tejash (%)	0	15-25	30-40	40-55
Bosim talabi (atm)	0.5-2.0	2.0-4.0	1.0-2.0	0.5-1.5
Qurilish xarajatlari (nisbiy)	1.0	2.5-3.0	2.0-2.5	2.5-3.5
Xizmat ko'rsatish davri (yil)	5-10	10-15	5-10	10-20

1-jadval. Sug'orish usullarining asosiy texnik ko'rsatkichlari

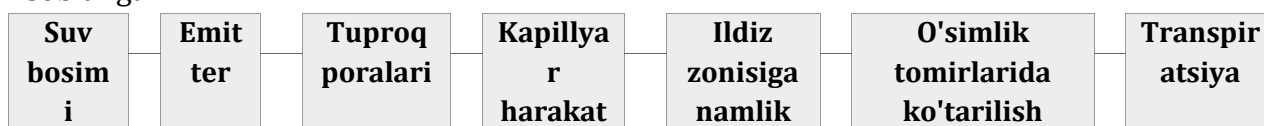
Ilmiy tadqiqotlar tahlili So'nggi o'n yil ichida tuproq ichidan sug'orish bo'yicha o'tkazilgan ilmiy tadqiqotlar quyidagi yo'nalishlarni qamrab olgan: (a) emitterlarning optimal chuqurligini aniqlash; (b) turli ekinlar uchun sug'orish rejimlarini optimallashtirish; (c) tuproq namligining fazoviy va vaqt bo'yicha o'zgarishini modellashtirish; (d) suv-o'g'it sinergiyasini o'rganish [10].

Irmak (2024) o'tkazgan tadqiqotda makkajo'xori ekinining turli tuproq ichidan sug'orish boshqaruv strategiyalariga javobi o'rganilgan. Tadqiqot natijalari ko'rsatdiki, o'simlikning transpiratsiyasi va hosildorligi emitterning chuqurligiga va suvning yetkazib berilish chastotasiga bog'liq ravishda sezilarli o'zgaradi [11].

Xitoyning Shaanxi provinsiyasidagi issiqxonada o'tkazilgan tadqiqotda [12] turli tuproq ichidan sug'orish turlarining pomidor ekinining ildiz taqsimoti, barg fotosintetik xususiyatlari va hosildorligiga ta'siri o'rganilgan. Uzluksiz sug'orish sharoitida tuproq namligining o'zgarish koeffitsienti (VC) pasaygan va 0-60 sm qatlamda ildiz tizimi rivojlanishi yaxshilangan. Afzallik va cheklovlar. Tuproq ichidan sug'orish texnologiyasining asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat [6]. Birinchi, yuzaki bug'lanish yo'qotishlari deyarli butunlay yo'qoladi, chunki tuproq yuzasi nisbatan quruq holatda saqlanadi. Bu xususiyat ayniqsa issiq va quruq iqlimli mintaqalarda ahamiyatlidir. Ikkinchi, yuzaki oqib ketish va tuproq eroziyasi cheklanadi. Uchinchi, yaproq va poyaga namlik tushishi oqibatida yuzaga keladigan kasalliklar (fitoforoza va boshqalar) xavfi kamayadi. To'rtinchi, o'simlik oziqlanishini tuproq ichidan o'tkazish (fertigatsiya) orqali aniq boshqarish mumkin. Beshinchi, maydon yuzasi ochiq qolinadi, bu mexanizatsiyani osonlashtiradi. Biroq, ushbu texnologiya ba'zi cheklovlarga ham ega. Bular qatoriga boshlang'ich investitsiya xarajatlarining yuqoriligi, tizimni loyihalash va o'rnatish murakkabligi, emitterning tiqilishi va ildizlarning emitterni kirib olishi xavfi kiradi [8]. Shuningdek, ba'zi ekinlar (masalan, yerga yaqin ekilgan urug'li ekinlar) uchun unchalik mos kelmasligi mumkin, chunki urug' chirish davrida yetarlicha namlik yetkazib berilmasligi mumkin. Bu muammoni hal qilish maqsadida yuqori zichlikda tomchilash va vaqti-vaqti bilan yuzaki namlash qo'llanilishi mumkin.

Metodologiya Ushbu tadqiqot tahliliy (review) yondashuvga asoslangan va turli manbalardan olingan ilmiy ma'lumotlarning tizimli tahlilini o'z ichiga oladi. Tadqiqotda 2005-2025 yillarda nashr etilgan, Scopus va Web of Science bazalariga kiritilgan 80 dan ortiq ilmiy maqolalar, monografiyalar va konferensiya materiallari qamrab olingan. Sug'orish usullarini solishtirish quyidagi ko'rsatkichlar tizimi asosida amalga oshirilgan Suv samaradorligi (Water Use Efficiency, WUE): birlik hajm suvga to'g'ri keluvchi hosil miqdori (kg/m³) sifatida baholangan. Bu ko'rsatkich o'simlikning suv iste'moli va hosildorlik o'rtasidagi nisbatni ifodalaydi. Tuproq namligining taqsimlanishi: turli chuqurliklarda (0-80 sm) tuproq namligi foizini o'lchash orqali aniqlangan. Ma'lumotlar fazoviy o'zgarishlarni tahlil qilish uchun interpolatsiya usullari yordamida ishlatilgan. Ildiz zonasining rivojlanishi: turli sug'orish usullarida o'simlik ildiz tizimining chuqurligi, zichligi va hajmining o'sish dinamikasi o'rganilgan. Ma'lumotlar morfometrik tahlil va biometrik usullar bilan qayta ishlangan. Iqlim omillari: harorat, nisbiy namlik, shamol tezligi va quyosh nurlanishi intensivligining turli sug'orish usullarida tuproq namligiga ta'siri korrelyatsion-regressiv tahlil yordamida o'rganilgan. Tadqiqotda statistik ma'lumotlarning ishonchligini ta'minlash maqsadida faqat repetitsiyalangan (uch yoki undan ortiq takrorlangan) tajribalarning natijalari ishlatilgan.

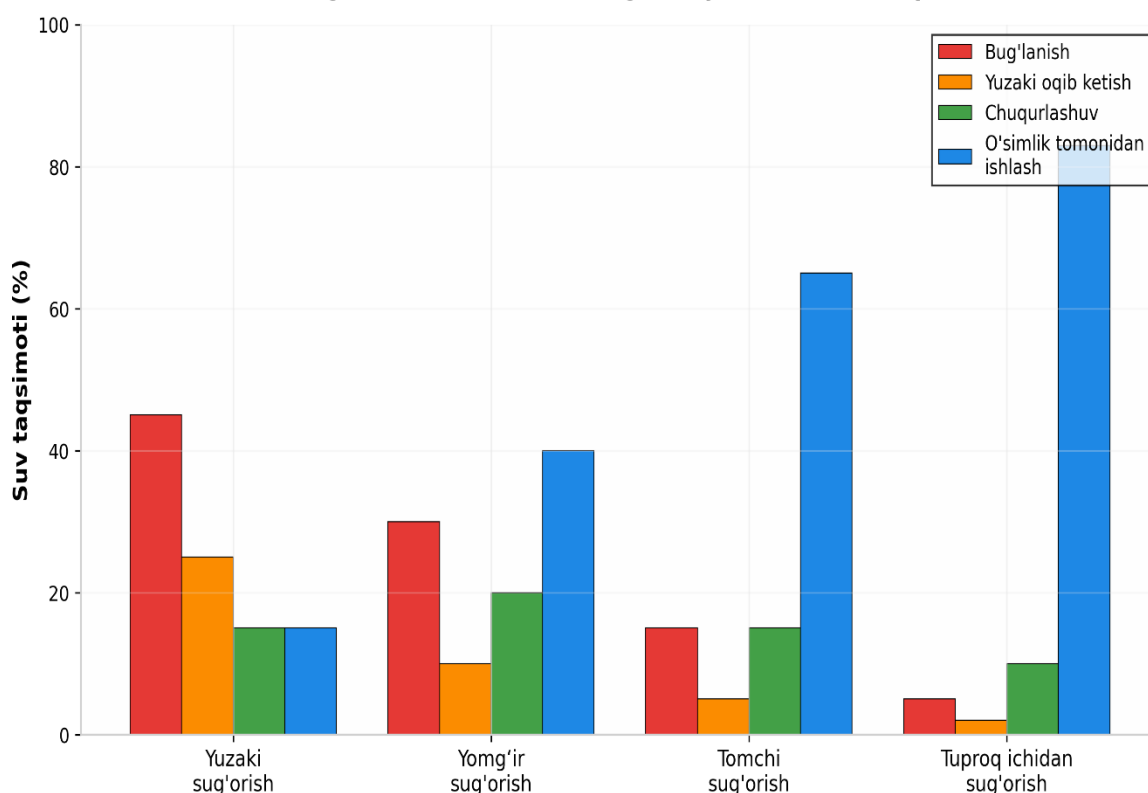
Ko'rsatkichlar o'rtacha qiymatlari, standart og'ishlar va farqning ishonchlik darajasi ($p \leq 0.05$) hisoblangan.



8-rasm. Tuproq ichidan sug'orish texnologiyasining ishlash prinsipi

Natijalar va muhokama. O'tkazilgan tahlil natijalariga ko'ra, tuproq ichidan sug'orish tizimlarida suvning samarali ishlatilishi boshqa barcha an'anaviy usullardan ustun turadi. 5-rasmda turli sug'orish usullarida suvning turli yo'nalishlarda taqsimlanishi ko'rsatilgan.

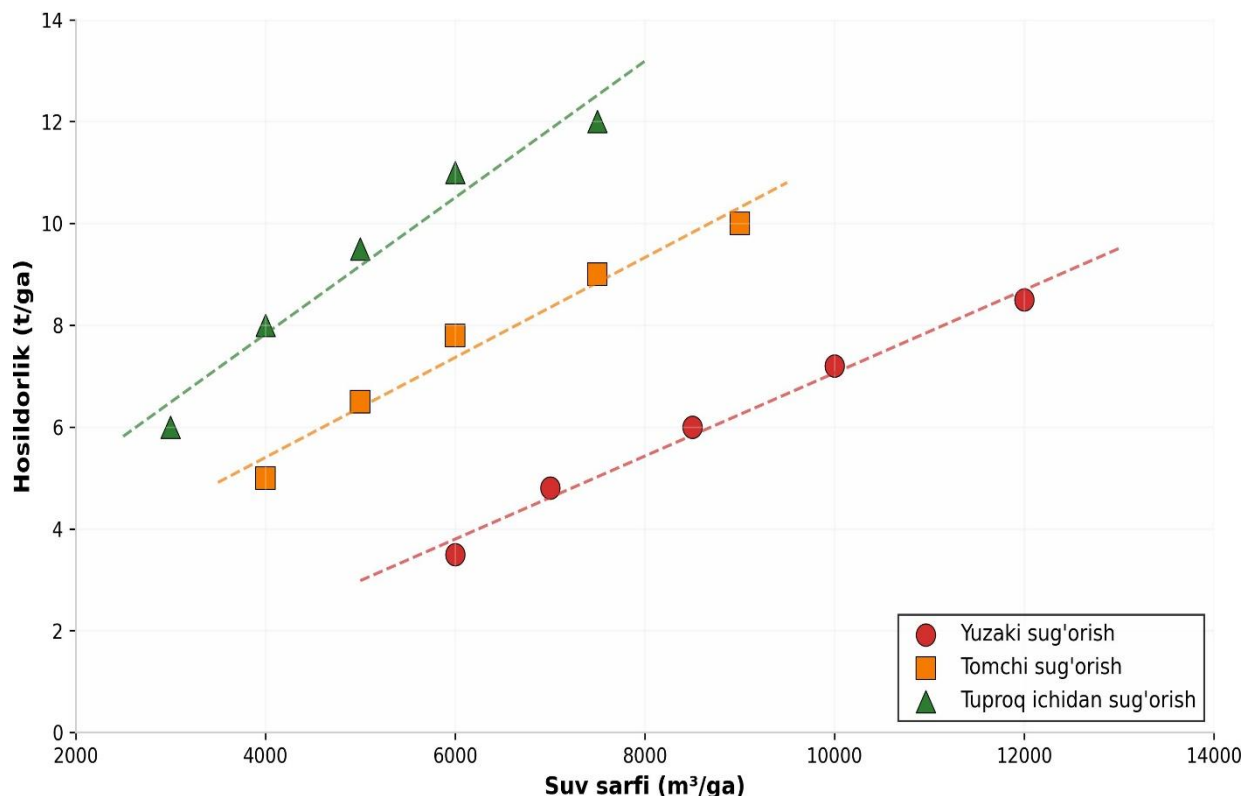
5-rasm. Sug'orish usullarida suvning turli yo'nalishlarda taqsimlanishi



5-rasm. Sug'orish usullarida suvning turli yo'nalishlarda taqsimlanishi

Tuproq ichidan sug'orishda o'simlik tomonidan suvni ishlash ulushi 83% ga yetadi, bu yuzaki sug'orishda (15%) va hatto tomchi sug'orishda (65%) ham ancha yuqori. Bunga asosiy sabab — yuzaki bug'lanish yo'qotishlarining minimal darajada bo'lishi va suvning to'g'ridan-to'g'ri ildiz zonasiga yo'naltirilishi. Dewidar va Al-Fuhaid o'tkazgan tadqiqotda Saudi Arabistondagi xurmo daraxtlarini sug'orishda SDI usuli yuzaki tomchi sug'orishga nisbatan 30% suv tejagan va suv samaradorligi 27% oshgan [13]. Sug'orish usullarining suv samaradorligi quyidagi formula orqali baholangan: bunda WUE — suv samaradorligi (kg/m^3), Y — hosildorlik (kg/ga), W — mavsumiy suv sarfi (m^3/ga). 4-rasmida turli sug'orish usullarida suv sarfi va hosildorlik o'rtasidagi bog'liqlik ko'rsatilgan. Tuproq ichidan sug'orishda birlik hajm suvga to'g'ri keluvchi hosil miqdori boshqa usullarga nisbatan ancha yuqori. Buning sababi shundaki, ushbu usulda suv o'simlik tomonidan tez va samarali o'zlashtiriladi, chunki namlik ildizlarning faol joylashgan hududida taqsimlanadi.

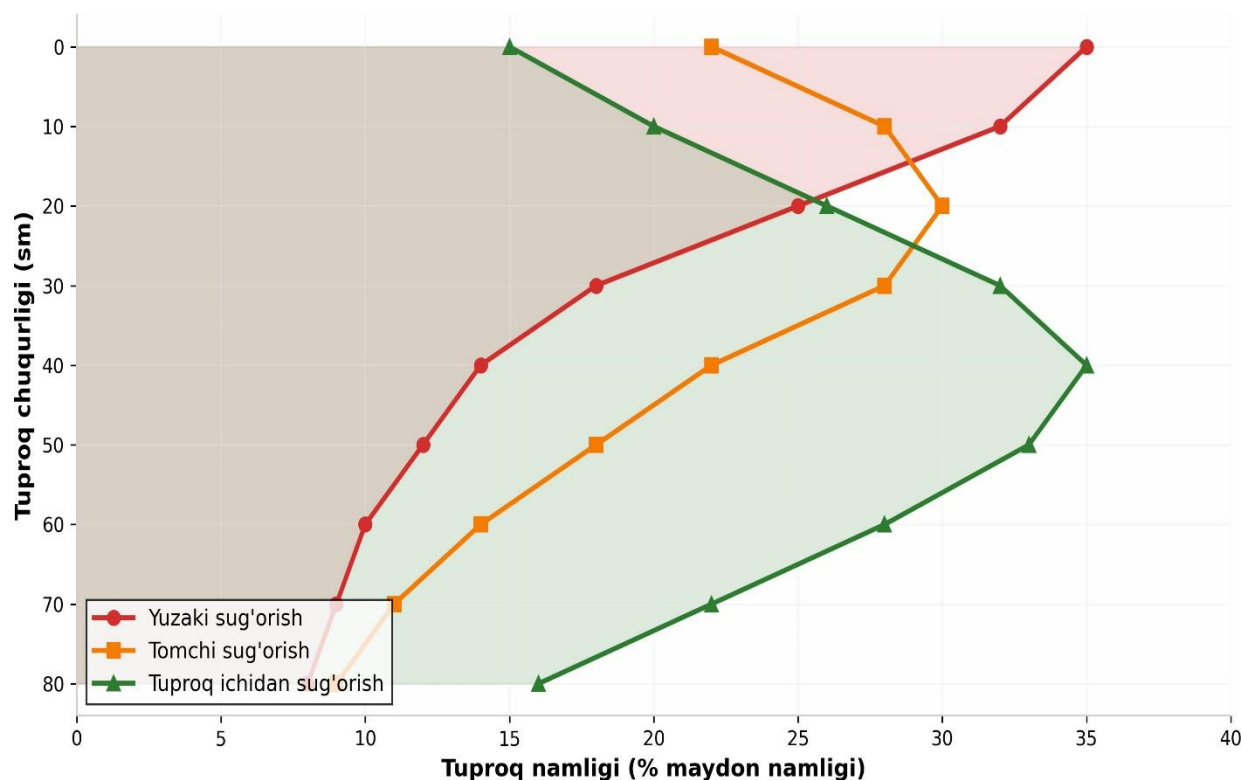
4-rasm. Sug'orish usullarida suv sarfi va hosildorlik o'rtasidagi bog'liqlik



4-rasm. Sug'orish usullarida suv sarfi va hosildorlik o'rtasidagi bog'liqlik

Tuproq namligi taqsimoti Tuproq namligining chuqurlik bo'yicha taqsimoti o'simlik o'sishi va rivojlanishiga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir qiladi. 2-rasmda turli sug'orish usullarida tuproq namligining chuqurlik bo'yicha o'zgarishi taqqoslangan.

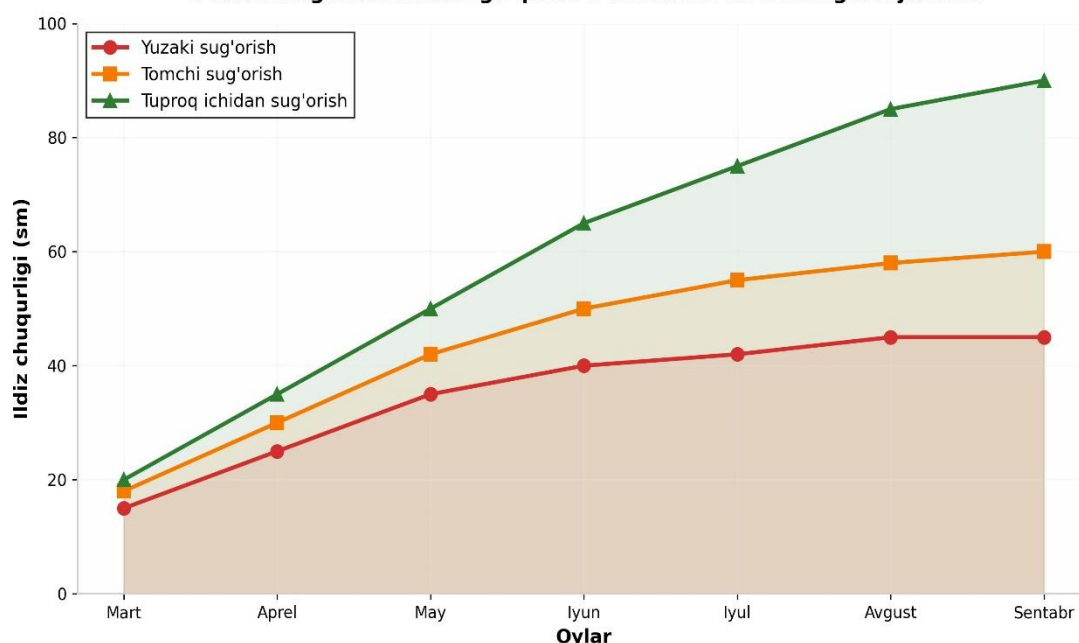
2-rasm. Sug'orish usullariga qarab tuproq namligining chuqurlik bo'yicha taqsimoti



2-rasm. Sug'orish usullariga qarab tuproq namligining chuqurlik bo'yicha taqsimoti

Tuproq ichidan sug'orishda namlik maksimal qiymatga 30-50 sm chuqurlikda erishadi, bu ko'pgina ekinlar uchun optimal ildiz zonasi hisoblanadi. Yuzaki sug'orishda esa namlik maksimal qiymatga tuproq yuzasida Tuproq ichidan sug'orishning muhim afzalligi shundaki, namlik tuproq yuzasiga yaqin qatlamlarda past darajada saqlanadi, bu yuzaki bug'lanishni kamaytirishga va begona o'tlarning o'sishini cheklashga yordam beradi. Hanson va hamkorlarining tadqiqotida [14] ko'rsatilgandek, SDI tizimlarida tuproq yuzasidagi namlik 15-20% gacha kam bo'lishi mumkin, bu begona o'tlar sonini 60-80% kamaytirishga olib keladi. Ildiz zonasi rivojlanishi O'simlik ildiz tizimining rivojlanishi uning suv va oziq moddalarini o'zlashtirish qobiliyatini belgilaydi. 3-rasmda turli sug'orish usullarida o'simlik ildiz tizimining chuqurlik bo'yicha rivojlanish dinamikasi ko'rsatilgan.

3-rasm. Sug'orish usullariga qarab o'simlik ildiz tizimining rivojlanishi

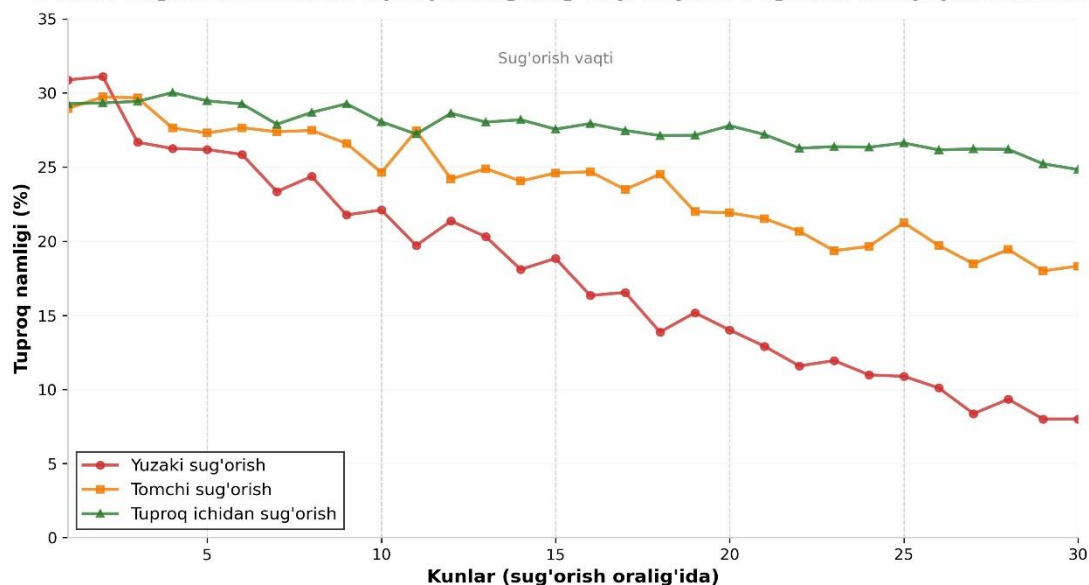


3-rasm. Sug'orish usullariga qarab o'simlik ildiz tizimining rivojlanishi

Tuproq ichidan sug'orish sharoitida ildiz tizimi ancha chuqur va zich rivojlanadi. Tajriba natijalariga ko'ra, mavsum oxirida tuproq ichidan sug'orilgan o'simliklarning ildiz chuqurligi 90 sm gacha yetadi, bu yuzaki sug'orishda (45 sm) va tomchi sug'orishda (60 sm) ancha yuqori. Bu xususiyat o'simlikka chuqur qatlamlardagi suv va oziq moddalardan foydalanish imkonini beradi va qurg'oqchilik sharoitida uning yashash qobiliyatini oshiradi [15]. Li va hamkorlari (2020) tomonidan o'tkazilgan tadqiqotda turli irrigatsiya strategiyalarining pomidor ekinining ildiz taqsimoti va rizosfera jarayonlariga ta'siri o'rganilgan [15]. Tuproq ichidan sug'orishda ildizlarning 0-40 sm qatlamdagi zichligi yuzaki sug'orishga nisbatan 35% yuqori bo'lganligi aniqlandi. Bu

narsa o'simlikning suv va mineral oziqlanishini yaxshilash bilan birga, hosilning sifat ko'rsatkichlarini ham oshiradi.

6-rasm. Sug'orish usullarida tuproq namligining vaqt bo'yicha o'zgarishi (issiq iqlim sharoitida)



6-rasm. Sug'orish usullarida tuproq namligining vaqt bo'yicha o'zgarishi (issiq iqlim sharoitida)

Tuproq ichidan sug'orishda tuproq namligi eng barqaror saqlanadi — sug'orish oralig'i davomida namlik o'zgarish amplitudasi 5-7% gacha, bu yuzaki sug'orishda (20-25%) va tomchi sug'orishda (10-15%) ancha kam. Bu xususiyat ayniqsa yuqori harorat va kuchli shamollash sharoitlarida ahamiyatli, chunki yuzaki bug'lanish tezligi oshib, tuproq tez quriydi. Al-Ghobari va Dewidar (2018) tomonidan o'tkazilgan tadqiqotda qurg'oq mintaqalarda tuproq ichidan sug'orish va yuzaki tomchi sug'orishni birlashtirish orqali defitsit irrigatsiya strategiyasining samaradorligi o'rganilgan [16]. Natijalar ko'rsatdiki, 70% ETc defitsitli rejimida ham SDI tizimi yuzaki tomchi sug'orishga nisbatan yuqori hosil berishga qodir.

Tahlil va solishtirish. O'tkazilgan kompleks tahlil natijalariga ko'ra, tuproq ichidan sug'orish texnologiyasi quyidagi ilmiy asoslangan ustunliklarga ega: Birinchi, suv resurslarini tejash bo'yicha. Tuproq ichidan sug'orish yuzaki sug'orishga nisbatan 40-55% kam suv sarflashni, tomchi sug'orishga nisbatan esa 15-25% tejashni ta'minlaydi. Bu ko'rsatkichlar turli mintaqalarda o'tkazilgan tajribalarning meta-tahlili natijasida olingan [1]. Ikkinchi, hosildorlikni oshirish bo'yicha. Tuproq ichidan sug'orishda hosildorlik yuzaki sug'orishga nisbatan 15-40% yuqori bo'lishi mumkin [17]. Buning sababi — namlikning ildiz zonasida barqaror saqlanishi, oziq moddalarning samarali yetkazilishi va o'simlik stressining minimallashtirilishi.

Uchinchi, agrotexnik samaradorlik bo'yicha. Tuproq yuzasi nisbatan quruq saqlanishi mexanizatsiyani osonlashtiradi, begona o'tlar sonini kamaytiradi va fitopatologik muammolarni oldini oladi. Bronson va hamkorlar (2019) tadqiqotida [18] SDI tizimlarida paxta ekinida azot o'g'itining foydalanish samaradorligi yuzaki tomchi sug'orishga nisbatan 20% oshganligi aniqlandi. Biroq, ushbu texnologiyani joriy etishda ba'zi iqtisodiy va texnik to'siqlarni ham hisobga olish lozim. Boshlang'ich investitsiya xarajatlari 1 ga maydon uchun 2500-4000 AQSh dollari atrofida bo'lishi mumkin [8]. Shu bilan birga, tizimning xizmat ko'rsatish muddati (10-20 yil) va unumdor o'sish ko'rsatkichlari inobatga olinganda, uzoq muddatli iqtisodiy foyda aniq ko'rinadi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda tuproq ichidan sug'orish texnologiyasining nazariy asoslari, amaliy qo'llanishi va boshqa irrigatsiya usullari bilan solishtirilgan holda samaradorligi kompleks tahlil qilindi. Quyidagi asosiy ilmiy natijalar olingan:

Suv samaradorligi. Tuproq ichidan sug'orish usulida suv samaradorligi (WUE) 2.0-2.5 kg/m³ gacha yetadi, bu yuzaki sug'orishga (0.6-0.9 kg/m³) nisbatan 2-3 barobar va hatto yuzaki tomchi sug'orishga (1.4- 1.7 kg/m³) nisbatan 30-50% yuqori. Tuproq namligining optimal taqsimoti. SDI tizimlarida namlik maksimal qiymatga 30-50 sm chuqurlikda, ya'ni ko'pgina donli va sabzavot ekinlari uchun optimal ildiz zonasida erishadi. Bu o'simliklarga suv va oziq moddalarni samarali o'zlashtirish imkonini beradi. Ildiz tizimining rivojlanishi. Tuproq ichidan sug'orilgan o'simliklarda ildiz tizimi chuqurroq (80-90 sm) va zichroq rivojlanadi, bu ularning qurg'oqchilik va stress sharoitlariga chidamliligini oshiradi.

Iqlim omillariga barqarorlik. Issiq va quruq iqlim sharoitlarida tuproq ichidan sug'orishda tuproq namligi eng barqaror saqlanadi, bug'lanish yo'qotishlari minimallashtiriladi. Ekologik va iqtisodiy samaradorlik. Ushbu texnologiya suv tejash, o'g'it samaradorligini oshirish, begona o'tlar va kasalliklarni kamaytirish orqali ekologik va iqtisodiy foyda keltiradi. Amaliy tavsiyalar: Tuproq ichidan sug'orish tizimini joriy etishda emittingning optimal chuqurligini (ekin turi va tuproq xususiyatlariga qarab 20-50 sm) aniqlash, sifatli filtratsiya tizimini o'rnatish, muntazam ravishda tizim holatini nazorat qilish va fertigatsiya rejimini optimallashtirish tavsiya etiladi. Boshlang'ich investitsiya xarajatlarini qoplash muddati odatda 3-5 yilni tashkil etadi. Kelajak tadqiqot yo'nalishlari: (a) smart SDI tizimlarini rivojlantirish (namlik sensorlari va avtomatik boshqaruv); (b) turli tuproq turlari va iqlim sharoitlariga moslashtirilgan emitter chuqurligini optimallashtirish; (c) tuproq ichidan sug'orish bilan bog'liq mikrobiologik jarayonlarni o'rganish; (d) aralash ekinlar va o'rmonchilikda SDI qo'llash imkoniyatlarini baholash; (e) ushbu texnologiyaning iqlim o'zgarishiga moslashish potensialini baholash.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Wang, H., Wang, N., Quan, H., et al. (2022). Yield and water productivity of crops, vegetables and fruits under subsurface drip irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 269, 107645.
2. Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture*. Rome: FAO.
3. Postel, S. L. (2000). Entering an era of water scarcity: The challenges ahead. *Ecological Applications*, 10(4), 941- 948.
4. Hanson, B. R., Simunek, J., Hopmans, J. W. (2006). Evaluation of urea-ammonium-nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agricultural Water Management*, 86(1-2), 102-113.
5. Camp, C. R. (1998). Subsurface drip irrigation: A review. *Transactions of the ASAE*, 41(5), 1353-1367.
6. Lamm, F. R., Trooien, T. P. (1999). Subsurface drip irrigation for corn production: A review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science*, 18(4), 195-200.
7. Philip, J. R. (1968). The theory of infiltration. *Advances in Hydrosience*, 5, 119-172.
8. University of Nebraska-Lincoln Extension. (2005). *Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation*. Publication EC776.

9. USDA Natural Resources Conservation Service. (2025). *Research of Current and Potential Subsurface Irrigation*. ALC-SubSurface-Drip-Irrigation-Report.
10. Khashaei, F., Behmanesh, J., Rezaverdinejad, V., Azad, N. (2024). Field evaluation and numerical simulation of water and nitrate transport in subsurface drip irrigation of corn using HYDRUS-2D. *Irrigation Science*, 42, 327- 352.
11. Irmak, S. (2024). Maize response to different subsurface drip irrigation management strategies: Yield, production functions, basal and crop evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 300, 108927.
12. Effects of subsurface irrigation types on root distribution, leaf photosynthetic characteristics, and yield of greenhouse tomato. (2024). *Scientia Horticulturae*, 338, 115-128.
13. Dewidar, A. Z., Al-Fuhaid, Y., Al-Hilal, S., ben Saleh, M. (2019). A comparison of surface and subsurface drip irrigation systems for date palms. *Journal of Water Resources Planning and Management*.
14. Hanson, B., Hopmans, J. W., Simunek, J. (2008). Leaching under subsurface drip irrigation in saline soils with shallow groundwater. *Vadose Zone Journal*, 7(2), 810-818.
15. Li, M., Schmidt, J. E., LaHue, D. G., et al. (2020). Impact of irrigation strategies on tomato root distribution and rhizosphere processes in an organic system. *Frontiers in Plant Science*, 11, 360.
16. Al-Ghobari, H. M., Dewidar, A. Z. (2018). Integrating deficit irrigation into surface and subsurface drip irrigation to save water in arid regions. *Agricultural Water Management*, 209, 55-61.
17. Patel, N., Rajput, T. B. S. (2009). Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. *Irrigation Science*, 27(2), 97- 108.
18. Bronson, K. F., Hunsaker, D. J., Meisinger, J. J., et al. (2019). Improving nitrogen fertilizer use efficiency in subsurface drip-irrigated cotton in the Desert Southwest. *Soil Science Society of America Journal*, 83(6), 1712- 1721.