

**IQLIM O'ZGARISHI SHAROITIDA TUPROQ UNUMDORLIGINI SAQLASH VA
MINERAL O'G'ITLARDAN SAMARALI FOYDALANISHNING AGROKIMYOVIY
YECHIMLARI****Eshdavlatov Bekzod Ismoil o'g'li****Termiz davlat muhandislik va agrotekhnologiyalar universiteti akademik litseyi kimyo fani
o'qituvchisi**eshdavlatovbekzod15@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada iqlim o'zgarishi sharoitida tuproq unumdorligini saqlash va oshirish, mineral o'g'itlardan foydalanish samaradorligini ko'tarishning agrokimyoviy yo'llari tahlil qilindi. Qurg'oqchilik, haroratning ko'tarilishi, sug'orish suvi tanqisligi, tuproq sho'rlanishi va organik modda zaxirasining kamayishi o'simliklarning oziqa elementlarini o'zlashtirishiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Tadqiqot FAO, IPCC va O'zbekiston sharoitiga oid ilmiy ishlarning qiyosiy-narrativ tahliliga asoslandi. Natijalar tuproq tahliliga tayangan differensial o'g'itlash, 4R tamoyili, organik va mineral manbalarni integratsiyalash, fertigation, nazoratli ajraluvchi o'g'itlar hamda ureaza va nitrifikatsiya inhibitorlari azotdan foydalanish samaradorligini sezilarli yaxshilashi mumkinligini ko'rsatdi. 2026-yilgi global meta-tahlilda samaradorligi oshirilgan azotli o'g'itlar hosildorlikni o'rtacha 8,32%, azotdan foydalanish samaradorligini esa 25,90% oshirgani qayd etilgan. O'zbekiston uchun esa bunday texnologiyalarni sho'rlanish, sug'orish rejimi va tuproqning agrokimyoviy holati bilan bog'lab qo'llash hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: iqlim o'zgarishi, tuproq unumdorligi, mineral o'g'itlar, azotdan foydalanish samaradorligi, 4R tamoyili, fertigation, sho'rlanish, organik modda, nazoratli ajraluvchi o'g'itlar, agrohimik monitoring.

Аннотация. В статье проанализированы агрохимические подходы к сохранению и повышению плодородия почв и эффективности минеральных удобрений в условиях изменения климата. Засуха, рост температуры, дефицит оросительной воды, засоление почв и снижение запасов органического вещества непосредственно влияют на доступность элементов питания и их поглощение растениями. Исследование основано на сравнительно-нарративном анализе материалов FAO, IPCC и научных работ по условиям Узбекистана. Результаты показывают, что дифференцированное внесение удобрений на основе анализа почвы, принцип 4R, интеграция органических и минеральных источников, фертигация, удобрения с контролируемым высвобождением, а также ингибиторы уреазы и нитрификации способны существенно повысить эффективность использования азота. Глобальный мета-анализ 2026 года показал среднее увеличение урожайности на 8,32% и эффективности использования азота на 25,90% при применении удобрений повышенной эффективности.

Ключевые слова: изменение климата, плодородие почвы, минеральные удобрения, эффективность использования азота, принцип 4R, фертигация, засоление, органическое вещество, удобрения контролируемого высвобождения, агрохимический мониторинг.

Abstract. This article analyzes agrochemical approaches to maintaining and improving soil fertility and mineral-fertilizer efficiency under climate change. Drought, rising temperature, irrigation-water scarcity, soil salinity and declining soil organic matter directly affect nutrient availability and plant uptake. The study is based on a comparative narrative review of FAO and IPCC materials together with research focused on Uzbekistan. The findings show that soil-test-based variable fertilization, the 4R nutrient stewardship framework, integrated organic-mineral nutrition, fertigation, controlled-release fertilizers, and urease and nitrification inhibitors can substantially improve nutrient-use efficiency. A 2026 global meta-analysis reported average increases of 8.32% in crop yield and 25.90% in nitrogen-use efficiency under enhanced-efficiency nitrogen fertilizers. For Uzbekistan, these technologies should be adapted to salinity, irrigation regimes and site-specific soil fertility constraints rather than applied as uniform fertilizer schedules.

Keywords: climate change, soil fertility, mineral fertilizers, nitrogen-use efficiency, 4R nutrient stewardship, fertigation, salinity, soil organic matter, controlled-release fertilizers, agrochemical monitoring.

KIRISH

Iqlim o'zgarishi qishloq xo'jaligida faqat suv taqchilligi yoki harorat oshishi bilan cheklanmaydi. U tuproq-o'simlik-atmosfera tizimidagi oziqa elementlari aylanishini ham o'zgartiradi. Yuqori harorat mineralizatsiyani tezlashtirishi mumkin, biroq namlik yetishmasa, hosil bo'lgan oziqa elementlari ildiz zonasida o'simlik uchun yetarli darajada harakatchan bo'lmaydi. Kuchli yog'in va ortiqcha sug'orishda esa nitratlarning yuvilishi, denitrifikatsiya va fosforning sirt oqimi bilan yo'qolishi ortadi. Shu sabab iqlim beqarorligi sharoitida o'g'it me'yorini shunchaki ko'paytirish hosildorlikni kafolatlamaydi; aksincha, iqtisodiy yo'qotish va ekologik bosimni kuchaytirishi mumkin (IPCC, 2022).

O'zbekistonning sug'oriladigan dehqonchiligi bu muammoni yanada keskin his qiladi. Mamlakatning ko'plab hududlarida sho'rlanish, gumusning kamayishi, suv tanqisligi va sug'orish tizimlariga yuqori bog'liqlik mavjud. FAO materiallarida mamlakat tuproqlarining katta qismi tuz ta'siriga uchragani qayd etiladi. Yaqin yillardagi mahalliy va xalqaro tadqiqotlar esa ayrim viloyatlarda sho'rlangan maydon ulushi sezilarli ortganini, irrigatsion tuproqlarda gumus miqdori uzoq davrda pasayganini ko'rsatmoqda (Umarov et al., 2025; Khasanov et al., 2023).

Mineral o'g'itlar bunday sharoitda ikki xil rol o'ynaydi. To'g'ri qo'llansa, ular tuproqdagi oziqa tanqisligini tez bartaraf etadi va hosildorlikni saqlab turadi. Noto'g'ri me'yor, vaqti yoki joylashtirish esa sho'rlanishni kuchaytirishi, azotning gazsimon yo'qotilishi va nitrat yuvilishini oshirishi mumkin. Shuning uchun masala 'ko'proq o'g'it berish' emas, balki bir kilogramm oziqa moddasidan maksimal biologik va iqtisodiy samara olishga qaratilishi kerak.

Maqolaning maqsadi iqlim o'zgarishi sharoitida tuproq unumdorligini barqarorlashtiradigan asosiy agrokimyoviy usullarni tizimlashtirish, mineral o'g'itlardan foydalanish samaradorligini oshiruvchi texnologiyalarni qiyoslash va O'zbekistonning sug'oriladigan hamda sho'rlanishga moyil tuproqlari uchun amaliy boshqaruv modelini taklif etishdan iborat.

METODOLOGIYA VA ADABIYOTLAR TAHLILI

Tadqiqot narrativ va qiyosiy adabiyotlar tahlili shaklida olib borildi. Manbalar uch guruhga ajratildi: birinchisi, tuproq unumdorligi va iqlim o'zgarishi o'rtasidagi bog'liqlikni yorituvchi FAO va IPCC hujjatlari; ikkinchisi, mineral o'g'itlardan foydalanish samaradorligi, nazoratli ajraluvchi o'g'itlar hamda ureaza va nitrifikatsiya inhibitorlari bo'yicha xalqaro meta-tahlillar; uchinchisi, O'zbekistonda sho'rlanish, yer degradatsiyasi va o'g'itlash amaliyotlariga oid tadqiqotlar.

Agrokimyoviy usullar to'rtta mezon bo'yicha baholandi: oziqa elementini o'simlikka yetkazish samaradorligi; qurg'oqchilik va sho'rlanish sharoitiga moslashuvchanlik; tuproq organik moddasi va fizik xossalari ta'sir; qo'shimcha texnologik xarajat. Ushbu mezonlar bo'yicha sifat

tahlili bajarildi, biroq mavjud adabiyotlarda bir xil tajriba dizayni bo'lmagani uchun turli tadqiqotlarning hosildorlik ko'rsatkichlari bitta universal 'reyting'ga aylantirilmadi.

4R nutrient stewardship konsepsiyasi tahlilning metodik asoslaridan biri sifatida olindi. Uning mohiyati o'g'itning to'g'ri manbasini (right source), to'g'ri me'yorini (right rate), to'g'ri vaqtini (right time) va to'g'ri joyini (right place) tanlashdan iborat. Iqlim o'zgarishi sharoitida ushbu tamoyil yanada muhimlashadi, chunki bir xil me'yor nam va salqin yil bilan issiq-quruq yil sharoitida bir xil natija bermaydi.

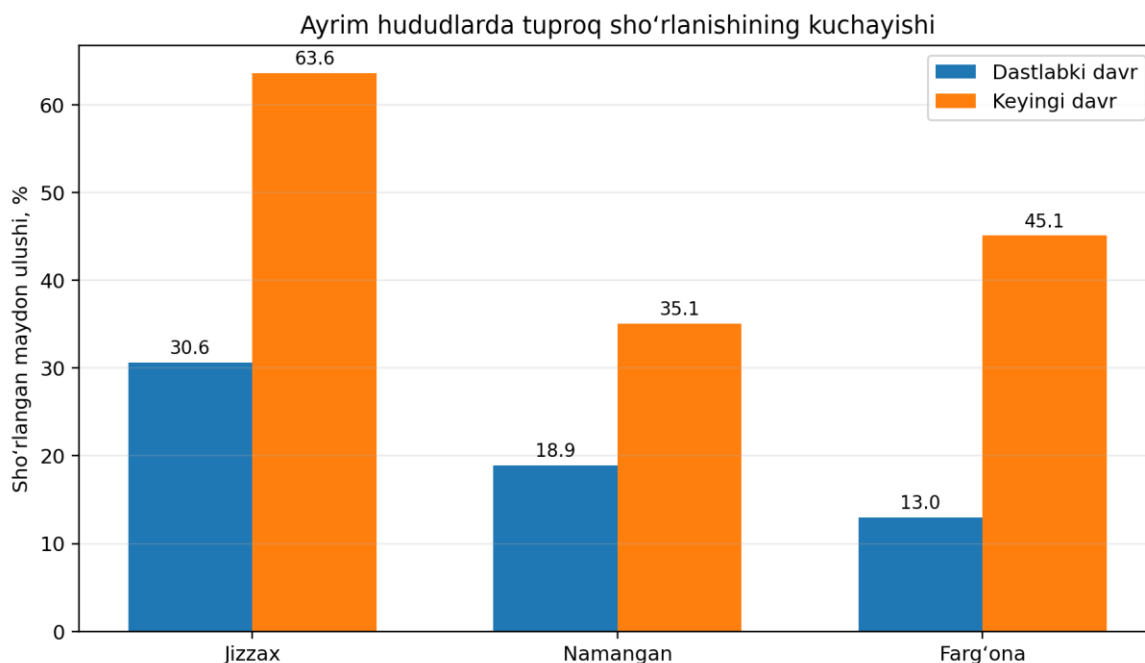
FAOning O'zbekiston bo'yicha klassik tavsiyalarida ham mineral o'g'it me'yorlari tuproq-iqlim sharoiti, ozuqa zaxirasi, hosildorlik darajasi va organik o'g'itlardan foydalanishga bog'liq ekani ta'kidlangan. Masalan, sug'oriladigan don ekinlari uchun tavsiya etilgan azot me'yorlari 150–200 kg N/ga, fosfor 100–120 kg P₂O₅/ga va kaliy 50 kg K₂O/ga diapazonida berilgan, biroq bunday me'yorlar tuproq tahlilisiz avtomatik qo'llanishi kerak degani emas (FAO, 2003).

NATIJALAR

1-jadval. Iqlim o'zgarishi sharoitida tuproq unumdorligiga ta'sir qiluvchi asosiy xavflar va agrokimyoviy javoblar

Iqlim/tuproq xavfi	Agrokimyoviy oqibat	Tavsiya etiladigan yondashuv
Qurg'oqchilik va yuqori harorat	Diffuziya va massaviy oqim susayadi; N va K o'zlashtirish pasayadi	O'g'itni bo'lib berish, fertigation, K bilan muvozanat, organik modda va mulch
Kuchli yog'in / ortiqcha sug'orish	Nitrat yuvilishi va denitrifikatsiya ortadi	N ni kichik dozada berish, NI/UI inhibitorlari, CRU, drenajni yaxshilash
Sho'rlanish	Osmotik stress va ion antagonizmi; P va mikroelementlar o'zlashtirilishi cheklanadi	EC/pH nazorati, gips zarur bo'lsa, organik modda, muvozanatli NPK, sho'r yuvish
Gumusning kamayishi	Kation almashinish sig'imi, agregat barqarorligi va suv tutish qobiliyati pasayadi	Go'ng, kompost, siderat, qoldiqni qaytarish, konservatsion dehqonchilik
pH o'zgarishi	P, Fe, Zn va boshqa elementlarning mavjudligi o'zgaradi	Tuproq tahlili, lokal P, mikroelementlar, pHni tuzatish
Ozuqa elementlari nomutanosibli	Bir element ortiqcha, boshqasi limitlovchi bo'ladi	Balanslangan N:P:K + S va mikroelement diagnostikasi

Tahlil natijalariga ko'ra, iqlimga chidamli o'g'itlashning birinchi sharti tuproq diagnostikasidir. pH, elektr o'tkazuvchanlik (EC), gumus yoki organik uglerod, mineral azot, harakatchan fosfor va almashinuvchi kaliy miqdorini bilmasdan berilgan o'g'it me'yorlari iqtisodiy jihatdan ham, ekologik jihatdan ham xavfli. Ayniqsa sho'rlangan tuproqda o'simlikning real oziqlanish muammosi ko'pincha o'g'itning mutlaq kamligidan ko'ra, suv-tuz rejimi va ionlar o'rtasidagi antagonizm bilan bog'liq bo'ladi.



1-diagramma. O‘zbekistondagi ayrim hududlarda tuproq sho‘rlanishining kuchayishi. Manba: Umarov va boshq. (2025) ma‘lumotlari asosida.

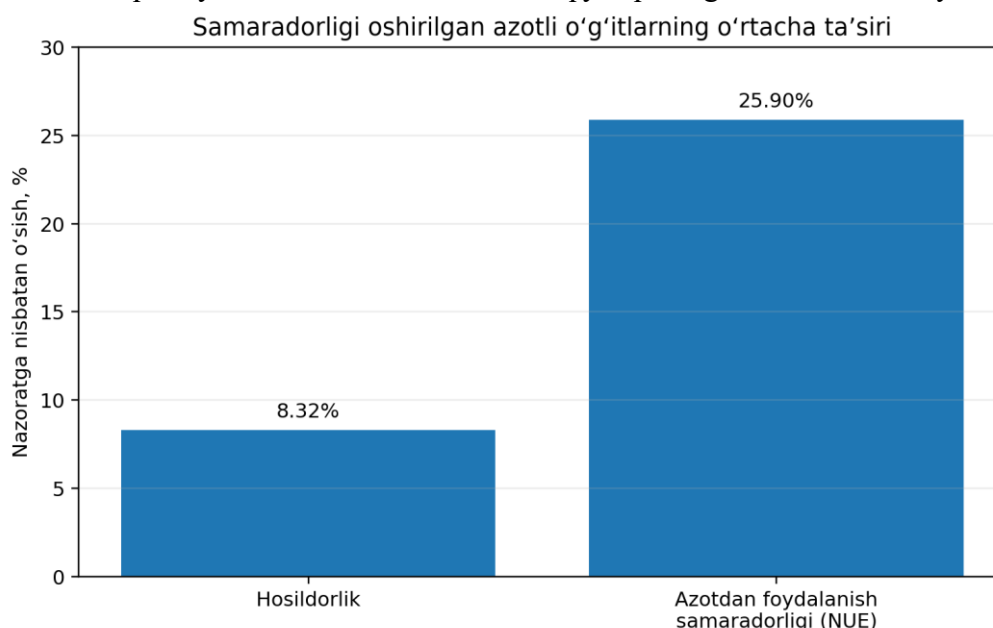
O‘zbekiston bo‘yicha yangi tahlillar tuproq unumdorligini faqat NPK balansi bilan tushuntirish yetarli emasligini ko‘rsatadi. Umarov va hamkorlar (2025) ayrim hududlarda sho‘rlangan maydon ulushi keskin oshganini, irrigatsion tuproqlarda gumus miqdori esa 1990–2020-yillar oralig‘ida 1,3–1,5 baravar kamayganini qayd etadi. Khasanov va hamkorlar (2023) esa respublika miqyosidagi 2000–2020-yillar ma‘lumotlari asosida sho‘rlanish hosildorlikka jiddiy bosim ko‘rsatishini ko‘rsatgan. Bu holat o‘g‘itlash strategiyasini drenaj, sug‘orish va sho‘r yuvish tizimidan ajratib bo‘lmasligini anglatadi.

2-jadval. Mineral o‘g‘itlardan foydalanish samaradorligini oshiruvchi texnologiyalar

Texnologiya	Asosiy mexanizm	Eng mos holat	Cheklov
4R o‘g‘itlash	Manba, me‘yor, vaqt va joyni ekin talabiga moslashtirish	Deyarli barcha tizimlar	Tuproq va hosil ma‘lumoti talab qiladi
Fertigatsiya	Oziqani sug‘orish suvi bilan kichik dozada yetkazish	Tomchilatib sug‘oriladigan maydon	Suv sifati va tizim boshqaruvi muhim
Nazoratli ajraluvchi urea (CRU)	N ajralishini o‘simlik talabi bilan yaqinlashtirish	Yuvilish yoki tez yo‘qotish xavfi yuqori joy	Narxi oddiy ureaga nisbatan yuqori
Nitrifikatsiya inhibitori (NI)	NH_4^+ ning NO_3^- ga o‘tishini sekinlashtiradi	N yuvilishi/ N_2O xavfi yuqori sharoit	Harorat va tuproq xossasiga bog‘liq
Ureaza inhibitori (UI)	Urea gidrolizini sekinlashtirib NH_3 yo‘qotishini kamaytiradi	Sirtga urea beriladigan maydon	Qo‘llash sharoitiga sezgir
Lokal/band usuli	P va mikroelementlarni ildiz zonasiga yaqinlashtiradi	P fiksatsiyasi yuqori tuproq	Urug‘ bilan bevosita kontakt xavfi

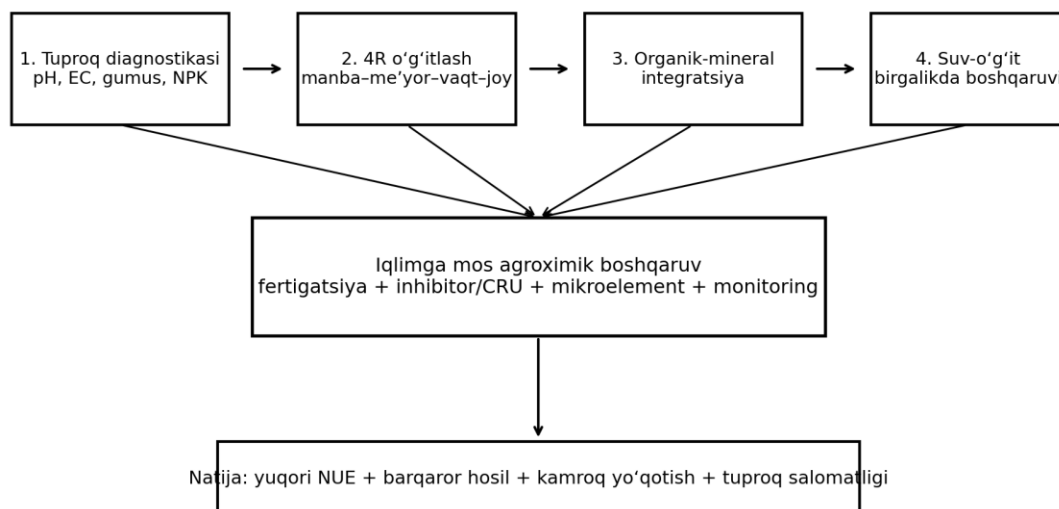
Organik + mineral integratsiya	Gumus, biologik faollik va oziqa balansini birlashtiradi	Degradatsiyalangan tuproq	Organik resurs sifati va miqdori cheklanishi mumkin
--------------------------------	--	---------------------------	---

Samaradorligi oshirilgan azotli o'g'itlar bo'yicha eng yangi global meta-tahlil ularning asosiy foydasi hosildorlikdan ko'ra azotdan foydalanish samaradorligida kuchliroq namoyon bo'lishini ko'rsatadi. Zhang va hamkorlarining 2026-yilgi meta-tahlilida CRU, nitrifikatsiya inhibitori, ureaza inhibitori va ularning kombinatsiyasi umumiy hisobda hosildorlikni 8,32%, NUEni esa 25,90% oshirgan. NI+UI kombinatsiyasida NUE o'sishi 34% ga yetgan. Bu natija azot dozasi kamaytirilgan holda ham hosilni saqlash yoki bir xil doza bilan kamroq yo'qotishga erishish imkoniyatini ko'rsatadi.



2-diagramma. Samaradorligi oshirilgan azotli o'g'itlarning global meta-tahlildagi o'rtacha ta'siri.
Manba: Zhang va boshq. (2026).

Biroq bu texnologiyalarni O'zbekiston sharoitiga bevosita ko'chirish to'g'ri emas. Meta-tahlilning o'zi samaradorlik harorat, yog'in, tuproq organik uglerodi, umumiy azot va pHga kuchli bog'liqligini ko'rsatgan. Demak, CRU yoki inhibitorlar 'har qanday tuproqda bir xil samarali' mahsulot emas. Ularni qo'llashdan oldin yo'qotish mexanizmi aniqlanishi kerak: ammiak uchishi ustun bo'lsa UI, nitrat yuvilishi va N₂O xavfi yuqori bo'lsa NI, oziqa chiqarilishini vaqt bo'yicha boshqarish zarur bo'lsa CRU maqsadga muvofiq.



1-rasm. Iqlim o'zgarishi sharoitida tuproq unumdorligini boshqarishning integratsiyalashgan agrokimyoviy modeli.

3-jadval. O'zbekiston sharoiti uchun bosqichma-bosqich agrokimyoviy boshqaruv algoritmi

Bosqich	Amal	Kutiladigan natija
1. Diagnostika	pH, EC, gumus, NO ₃ -N/NH ₄ -N, P, K, zarur mikroelementlar	O'g'it me'yori va meliorativ choralar uchun boshlang'ich baza
2. Hosil maqsadini belgilash	Real suv ta'minoti va agroiklim imkoniyatiga mos hosil	Ortiqcha NPK berishni oldini oladi
3. Bazaviy P-K va organik modda	Tuproq zahirasi qaraib kuz/kuzgi tayyorgarlik	Ildiz tizimi va tuproq buferligini yaxshilaydi
4. Azotni bo'lib berish	Vegetatsiya bosqichlari va namlikka mos 2–4 marta	N yo'qotilishini pasaytiradi
5. Suv bilan integratsiya	Tomchilatib sug'orish/fertigatsiya, suv sifati nazorati	Oziqa elementlarini ildiz zonasida ushlab turadi
6. Vegetativ monitoring	SPAD/NDVI, barg tahlili, hosil prognozi	Mavsum ichida koreksiya qilish imkonini beradi
7. Hosildan keyingi balans	Olib chiqilgan NPK va qoldiq oziqa miqdorini hisoblash	Keyingi mavsum uchun aniqroq reja

MUHOKAMA

Tuproq unumdorligini iqlim o'zgarishiga mos ravishda boshqarishda eng ko'p uchraydigan xato mineral o'g'itni tuproqning o'zi bilan almashtirib yuborishdir. O'g'it ozuqa elementini yetkazib beradi, lekin tuproqning suv tutish qobiliyati, agregat barqarorligi, biologik faolligi va sho'rlanish rejimini avtomatik ravishda tiklamaydi. Gumus miqdori kamaygan tuproqda bir xil mineral o'g'it me'yori avvalgi davrdagidek samara bermasligi mumkin, chunki suv va oziqa elementlarini ushlab turish xususiyati pasayadi.

Shuning uchun organik va mineral manbalarni qarama-qarshi qo'yish ilmiy jihatdan noto'g'ri. Mineral o'g'itlar tez va nazorat qilinadigan oziqa beradi; organik manbalar esa uglerod, mikrobiologik faoliyat va fizik xususiyatlarni yaxshilaydi. IPCC integratsiyalashgan oziqlantirish

tizimlarini, ya'ni o'g'it, go'ng, kompost, dukkakli ekinlar, qoplama ekinlari va tuproq tahlilini birgalikda boshqarishni N_2O emissiyasini kamaytirish va ozuqa o'zlashtirilishini yaxshilashning muhim yo'li sifatida ko'rsatadi (IPCC, 2022).

Azotli o'g'itlarda vaqt omili ayniqsa muhim. Issiq va quruq sharoitda sirtga berilgan urea namlik bo'lmasa ildiz zonasiga o'tmaydi, namlik kelganda esa qisqa vaqt ichida katta yo'qotish yuz berishi mumkin. Shu sabab vegetatsiya davomida bo'lib berish, sug'orish bilan muvofiqlashtirish yoki UI/NI texnologiyalaridan foydalanish ko'proq natija beradi. Fosfor esa tuproqda kam harakatchan bo'lgani uchun ildiz zonasiga lokal joylashtirish ko'pincha katta yuzaga sohib berishdan samaraliroq.

Sho'rlangan tuproqlarda o'g'itlashning o'ziga xos cheklovi mavjud. Tuz konsentratsiyasi yuqori bo'lgan ildiz zonasiga yana yuqori tuz indeksiga ega o'g'itni bir martada katta dozada berish osmotik bosimni kuchaytirishi mumkin. Bu sharoitda kichik dozalar, suv bilan birga aniq yetkazish, kaliy va kaltsiy muvozanatini saqlash, zarur hollarda gipslash va kollektor-drenaj tizimini yaxshilash o'g'it samaradorligining ajralmas qismi hisoblanadi. FAO ham sho'rlangan tuproqlarda kimyoviy meliorantlar va balanslangan mineral oziqlantirishni birgalikda olib borishni tavsiya qiladi.

Raqamli agroximik monitoring kelajakdagi eng katta imkoniyatlardan biridir. Tuproq xaritalari, EC sensori, NDVI/SPAD ko'rsatkichlari va hosil xaritalari birlashtirilsa, bir dalaning o'zida o'g'itni bir xil me'yorda emas, ehtiyojga qarab differensial berish mumkin. Bu nafaqat o'g'it xarajatini kamaytiradi, balki ortiqcha azot va fosforning suv va atmosferaga chiqishini ham cheklaydi. Biroq texnologiya sifatli ma'lumotga tayanganidagina samara beradi; noto'g'ri kalibrlangan sensor yoki kam sonli tuproq namunalari 'aniq dehqonchilik' nomi bilan yangi xatoni yaratishi mumkin.

Maqolaning asosiy cheklovi shundaki, u yangi dala tajribasi emas, turli manbalardagi natijalarni birlashtiruvchi tahliliy ishdir. Shuning uchun keltirilgan 8,32% va 25,90% kabi global qiymatlar O'zbekistonning har bir tuprog'i uchun kafolatlangan natija emas. Keyingi eksperimental bosqichda sho'rlanish darajasi, sug'orish usuli va tuproq organik moddasi bo'yicha tabaqalashtirilgan dala tajribalarida oddiy urea, CRU, NI/UI va fertigation variantlarini bir xil N me'yorida qiyoslash maqsadga muvofiq.

XULOSA

Iqlim o'zgarishi sharoitida tuproq unumdorligini oshirishning eng samarali yo'li o'g'it me'yorini ko'paytirish emas, balki tuproq, suv va oziqa elementlarini yagona tizim sifatida boshqarishdir. Qurg'oqchilik, sho'rlanish, gumusning kamayishi va harorat oshishi o'simlikning oziqa elementlariga bo'lgan talabini ham, ularning tuproqdagi harakatchanligini ham o'zgartiradi. Shu sabab statik o'g'itlash tavsiyalari o'rniga mavsum davomida yangilanadigan diagnostik yondashuv zarur.

Amaliy jihatdan besh yo'nalish ustuvor hisoblanadi: tuproq tahliliga asoslangan me'yorlash; 4R tamoyili bo'yicha o'g'it manbasi, me'yori, vaqti va joyini tanlash; organik va mineral oziqlantirishni birlashtirish; suv va o'g'itni fertigation orqali muvofiqlashtirish; azot yo'qotishi yuqori sharoitlarda CRU, ureaza yoki nitrifikatsiya inhibitorlaridan maqsadli foydalanish.

O'zbekiston sharoitida mazkur texnologiyalarni sho'rlanish va suv tanqisligidan ajratib ko'rish mumkin emas. Tuproqning EC va gumus holati, kollektor-drenaj samaradorligi hamda sug'orish sifati o'g'itning qay darajada o'zlashtirilishini belgilaydi. Shuning uchun kelajakdagi agroximik siyosat 'bir gektarga qancha o'g'it' savolidan 'bir kilogramm oziqa moddasidan qancha hosil va qancha tuproq salomatligi' savoliga o'tishi kerak.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). Fertilizer use by crop in Uzbekistan. FAO.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Soils for nutrition: State of the art. FAO.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). Sustainable nitrogen management in agrifood systems. FAO.
4. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press.
5. Khasanov, S., Kulmatov, R., Li, F., van Amstel, A., Bartholomeus, H., Aslanov, I., Sultonov, K., Kholov, N., Liu, H., & Chen, G. (2023). Impact assessment of soil salinity on crop production in Uzbekistan and its global significance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 342, 108262. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108262>
6. Khamidov, M., Ishchanov, J., Hamidov, A., Donmez, C., & Djumaboev, K. (2022). Assessment of soil salinity changes under the climate change in the Khorezm Region, Uzbekistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19.
7. Umarov, S., Nurbekov, A., Nishanov, N., Kosimov, M., Bobomurotov, S., Umarov, M., Khaitov, B., & Namozov, N. (2025). Land degradation in Uzbekistan: Key challenges and sustainable solutions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1676403. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1676403>
8. Zhang, X., Wang, Z., Song, L., Duan, X., Wang, Y., Zhao, L., Zhao, X., Niu, B., Hao, L., Yang, Z., & Wang, C. (2026). Global meta-analysis reveals soil, climate, and management drivers of crop yield and nitrogen use efficiency under enhanced-efficiency fertilizers. *Frontiers in Agronomy*, 8, 1819891. <https://doi.org/10.3389/fagro.2026.1819891>
9. McDonald, G., Bovill, W., Huang, C., & Lightfoot, D. (2013). Nutrient use efficiency. In *Plant Mineral Nutrients: Methods and Protocols*. Humana Press.
10. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). Cropland nutrient balance: Global, regional and country trends, 1961–2023. FAOSTAT.
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Management and rehabilitation of salt-affected soils. FAO Soils Portal.
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Climate-smart agriculture sourcebook: Soils and their management for climate-smart agriculture. FAO.