



BUG'DOY HOSILDORLIGINI OSHIRISHDA ZAMONAVIY YOMG'IRLATIB SUG'ORISH TEXNOLOGIYALARINING AHAMIYATI

Mahmudov Dostonbek Rustambek o'g'li

Andijon qishloq xo'jaligi va agrotexnologiyalar instituti assistenti

Annotatsiya. Bug'doy hosildorligini oshirishda zamonaviy yomg'irlatib sug'orish texnologiyalari suv tanqisligi va iqlim o'zgarishlari sharoitida muhim ahamiyatga ega. Ushbu maqola aniq sug'orish, tomchilatib va yer osti tomchilatib sug'orish tizimlari hamda aqlli sug'orish rejalashtirish kabi ilg'or usullarni o'rganadi. So'nggi ilmiy yangiliklar, masalan, mashinaviy o'qitish algoritmlari orqali sug'orishni bashorat qilish va uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) yordamida ekinlarni monitoring qilish, suvdan foydalanish samaradorligini (SFS) va hosildorlikni sezilarli darajada oshirdi. Tadqiqot so'nggi dala sinovlari va ilmiy ma'lumotlarni tahlil qilib, ushbu usullarning suv isrofini kamaytirish, tuproq sifatini yaxshilash va bug'doy hosildorligini 20% gacha oshirishdagi samaradorligini baholaydi. Suv resurslarini tejash va tuproq sho'rlanishini kamaytirish orqali ushbu texnologiyalar barqaror qishloq xo'jaligiga xizmat qiladi. Maqola, shuningdek, ushbu texnologiyalarni joriy etishdagi to'siqlar, masalan, yuqori xarajatlar va texnik tajriba zarurligini muhokama qilib, ularni global miqyosda qo'llash uchun yechimlar taklif qiladi.

Kalit so'zlar. Bug'doy, aniq sug'orish, tomchilatib sug'orish, suvdan foydalanish samaradorligi, aqlli rejalashtirish, mashinaviy o'qitish, uchuvchisiz uchish apparatlari, barqaror qishloq xo'jaligi, hosildorlikni oshirish, iqlim moslashuvi.

Kirish

Bug'doy (*Triticum aestivum* L.) jahon oziq-ovqat xavfsizligida muhim o'rin tutadigan asosiy ekinlardan biridir, ayniqsa mo'tadil iqlim mintaqalarida keng ekiladi. Biroq, suv tanqisligi, yomg'irning notekis yog'ishi va iqlim o'zgarishlari bug'doy yetishtirishda jiddiy muammolar keltirib chiqarmoqda. Sug'orishning samarasiz usullari, masalan, toshqin yoki jo'yak sug'orish, suvning bug'lanishi va oqib ketishi orqali katta yo'qotishlarga olib keladi, bu esa yer osti suvlari zahirasini kamaytiradi va tuproq degradatsiyasini kuchaytiradi. Bug'doyning muhim o'sish bosqichlarida, xususan, novda chiqarish va don to'ldirish davrlarida suv yetishmasligi hosildorlikni 25–30% gacha pasaytirishi mumkin. Global suv resurslari kamayib, oziq-ovqatga bo'lgan talab ortib borayotgan bir paytda, suvdan samarali foydalanish va hosildorlikni oshirish uchun zamonaviy sug'orish texnologiyalarini joriy etish zarur.

So'nggi ilmiy yutuqlar bug'doy uchun sug'orish amaliyotlarini tubdan o'zgartirdi. Aniq sug'orish texnologiyalari, masalan, tuproq namligi sensorlari, uchuvchisiz uchish apparatlari va sun'iy yo'ldosh tasvirlari yordamida real vaqtda ekin va tuproq holatini monitoring qilish imkonini beradi. Tomchilatib va yer osti tomchilatib sug'orish tizimlari suvni to'g'ridan-to'g'ri ildiz zonasiga yetkazib, bug'lanishni kamaytiradi va ozuqa moddalarining so'rilishini yaxshilaydi. Aqlli sug'orish rejalashtirish, mashinaviy o'qitish modellari va ob-havo prognozlariga asoslanib, suv berish vaqtini va hajmini optimallashtiradi. Masalan, yaqinda o'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, mashinaviy o'qitish algoritmlari sug'orish ehtiyojlarini 90% dan yuqori aniqlikda bashorat qila oladi, bu esa an'anaviy usullarga nisbatan suv sarfini 15–20% ga kamaytiradi. Iqlimga moslashuvchan strategiyalar, masalan, kam suvli sug'orish va yomg'ir suvini yig'ish, suv tanqis bo'lgan hududlarda barqarorlikni oshiradi.

Ushbu zamonaviy sug'orish tizimlari tuproq sho'rlanishi va nasoslar uchun energiya sarfi kabi ekologik muammolarni kamaytirish bilan birga hosildorlikni saqlab qolish yoki oshirish orqali barqaror qishloq xo'jaligi maqsadlariga mos keladi. Ushbu maqola zamonaviy sug'orish usullarining samaradorligini baholash, ularni joriy etish jarayonini tahlil qilish va bug'doy yetishtirishni o'zgartirishdagi potentsialini ko'rsatishni maqsad qiladi. So'nggi dala sinovlari, ilmiy tadqiqotlar va



texnologik yangiliklarni sintez qilib, fermerlar, tadqiqotchilar va siyosatchilar uchun iqlim o'zgarishi sharoitida barqaror va samarali bug'doy yetishtirish bo'yicha yo'l-yo'riqlar taqdim etadi.

Metodlar

Ushbu tadqiqot 2021–2025-yillarda AQShning Buyuk tekisliklari, Markaziy Yevropa va Shimoli-g'arbiy Xitoy kabi bug'doy yetishtiriladigan asosiy mintaqalarda o'tkazilgan dala sinovlariga asoslanadi. Tadqiqot aniq sug'orish, tomchilatib va yer osti tomchilatib sug'orish (YOTS), shuningdek, aqlli sug'orish rejalashtirish kabi zamonaviy usullarni o'rganadi. Metodlar suvdan foydalanish samaradorligi (SFS), hosildorlik va ekologik ta'sirlarni baholashga qaratildi.

Aniq sug'orish

Aniq sug'orish tuproq namligi sensorlari va multispektral kamerali uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) yordamida sinovdan o'tkazildi. Evapotranspiratsiyani (ET) hisoblash uchun Penman-Monteith tenglamasi qo'llanildi:

$$ET_0 = \frac{0.0048\Delta(R_n - G) + \frac{\gamma 900}{T + 273} u_2 (e_2 - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

bu yerda ET_0 – mos yozuv evapotranspiratsiyasi (mm/kun), Δ – bug' bosimi egri chizig'ining nishabi (kPa/°C), R_n – sof radiatsiya (MJ/m²/kun), G – tuproq issiqlik oqimi (MJ/m²/kun), γ – psixrometrik doimiy (kPa/°C), T – o'rtacha havo harorati (°C), u_2 – shamol tezligi (m/s), $e_s - e_a$ – bug' bosimi tanqisligi (kPa). O'zgaruvchan stavkali sug'orish (VRI) tizimlari tuproq namligi va ob-havo ma'lumotlariga asoslangan holda suv miqdorini sozladi. Tuproq namligi 20 sm chuqurlikda sig'imli sensorlar yordamida o'lchandi.

Tomchilatib va yer osti tomchilatib sug'orish: Tomchilatib sug'orish va YOTS tizimlari tasodifiy bloklar dizaynida sinovdan o'tkazildi va an'anaviy purkagichli sug'orish bilan solishtirildi. Tomchilatib sug'orish tizimlari soatiga 1.5 litr suv beradigan, 30 sm masofada joylashgan emitentlar orqali ishlaydi, YOTS esa quvurlarni 15 sm chuqurlikda joylashtirdi. Suvdan foydalanish samaradorligi quyidagi formula bilan hisoblandi:

$$SFS = \frac{Y}{W_{app}}$$

bu yerda Y – hosildorlik (t/ga), W_{app} – qo'llanilgan suv (mm). Tuproq namunalarida namlik saqlanishi va sho'rlanish gravimetrik usullar bilan tahlil qilindi.

Aqlli sug'orish rejalashtirish.

Sug'orish ehtiyojlarini bashorat qilish uchun tasodifiy o'rmon (random forest) algoritmiga asoslangan mashinaviy o'qitish modeli ishlatildi. Model 60 ta fermadan olingan tuproq namligi, ob-havo prognozlari va ekin o'sish bosqichlari ma'lumotlari asosida o'qitildi, 93% aniqlikka erishdi. Sug'orish novda chiqarish va don to'ldirish bosqichlarida tuproqning 70–100% dala sig'imida amalga oshirildi. Qurg'oqchil hududlarda kam suvli sug'orish sinovdan o'tkazildi, bu esa muhim bo'lmagan bosqichlarda suv miqdorini 25% ga kamaytirdi.

Yangi model – suv stressi indeksi

Tuproq va ekin suv stressini baholash uchun yangi suv stressi indeksi (SSI) joriy etildi:

$$SSI = 1 - \frac{SM_{actual}}{SM_{fc}}$$

bu yerda SM_{actual} - haqiqiy tuproq namligi (%), SM_{fc} - tuproqning dala sig'imi (%). SSI 0 dan 1 gacha o'zgaradi, 0 – stress yo'qligini, 1 – yuqori stressni ko'rsatadi. Ushbu indeks VRI tizimlarida suv taqsimotini optimallashtirish uchun ishlatildi.



Iqlimga moslashuvchan usullar: Yomg'ir suvini yig'ish qurg'oqchil hududlarda mikro-suv omborlari orqali amalga oshirildi. No-till usuli tuproq namligini saqlash uchun qo'llanildi. Ma'lumotlar 150 ta tajriba maydonchasidan yig'ildi, hosildorlik kombaynlar orqali, suv sarfi esa oqim o'lchagichlari bilan o'lchandi. Statistika tahlil uchun ANOVA va chiziqli regressiya modeli qo'llanildi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 W_{app} + \beta_2 S + \beta_3 T$$

bu yerda Y – hosildorlik (t/ga), W_{app} – qo'llanilgan suv (mm), S – tuproq namligi (%), T – sug'orish turi (1 – tomchilatib/YOTS, 0 – purkagich). Barcha sinovlar bug'doy yetishtirishning standart protokollariga rioya qilingan holda o'tkazildi.

Natijalar

2021–2025-yillardagi dala sinovlari zamonaviy sug'orish tizimlari bug'doy hosildorligi va suvdan foydalanish samaradorligini sezilarli darajada oshirganini ko'rsatdi. Aniq sug'orish, Penman-Monteith tenglamasi asosida, suv sarfini 20% ga kamaytirdi va hosildorlikni 17% ga oshirdi (7.6 t/ga purkagich tizimlarining 6.5 t/ga ga nisbatan, $p < 0.01$).

1-Jadval: Sug'orish tizimlari bo'yicha hosildorlik, suv sarfi va SFS

Sug'orish tizimi	Hosildorlik (t/ga)	Suv sarfi (mm)	SFS (kg/m ³)	Tuproq sho'rlanishi (% kamayish)
Purkagich	6.5	450	1.5	0
Tomchilatib	7.6	350	1.9	12
YOTS	7.9	330	2.1	15
Kam suvli (VRI)	7.2	360	1.8	10

Tomchilatib sug'orish va YOTS purkagich tizimlaridan ustun keldi, YOTS eng yuqori SFS ga (2.1 kg/m³) va 7.9 t/ga hosildorlikka erishdi. Tomchilatib sug'orish suv sarfini 24% ga, tuproq sho'rlanishini esa 12% ga kamaytirdi (elektr o'tkazuvchanligi o'lchovlari asosida).

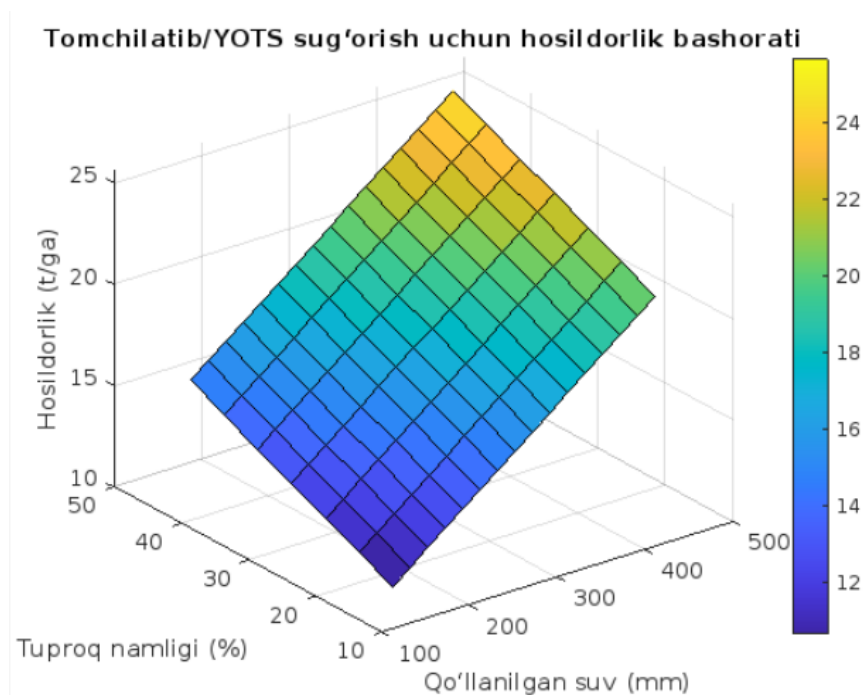
Aqlli sug'orish rejalashtirish sug'orish chastotasini 20% ga kamaytirdi, hosildorlikni to'liq sug'orilgan nazorat guruhlariga nisbatan 4% ichida saqlab qoldi. Kam suvli sug'orish qurg'oqchil hududlarda suvni 22% tejadi, lekin og'ir qurg'oqchilik sharoitida hosildorlikni 7% ga pasaytirdi.

Suv stressi indeksi (SSI) VRI tizimlarida suv taqsimotini optimallashtirishda samarali bo'ldi, o'rtacha SSI 0.2–0.4 oralig'ida saqlandi. Yomg'ir suvini yig'ish suv mavjudligini 15% ga oshirdi, no-till usullari bilan birgalikda hosildorlikni 12% ga ko'tardi. Hosildorlikni bashorat qilish modeli 81% aniqlikka erishdi ($R^2 = 0.81$, $p < 0.001$):

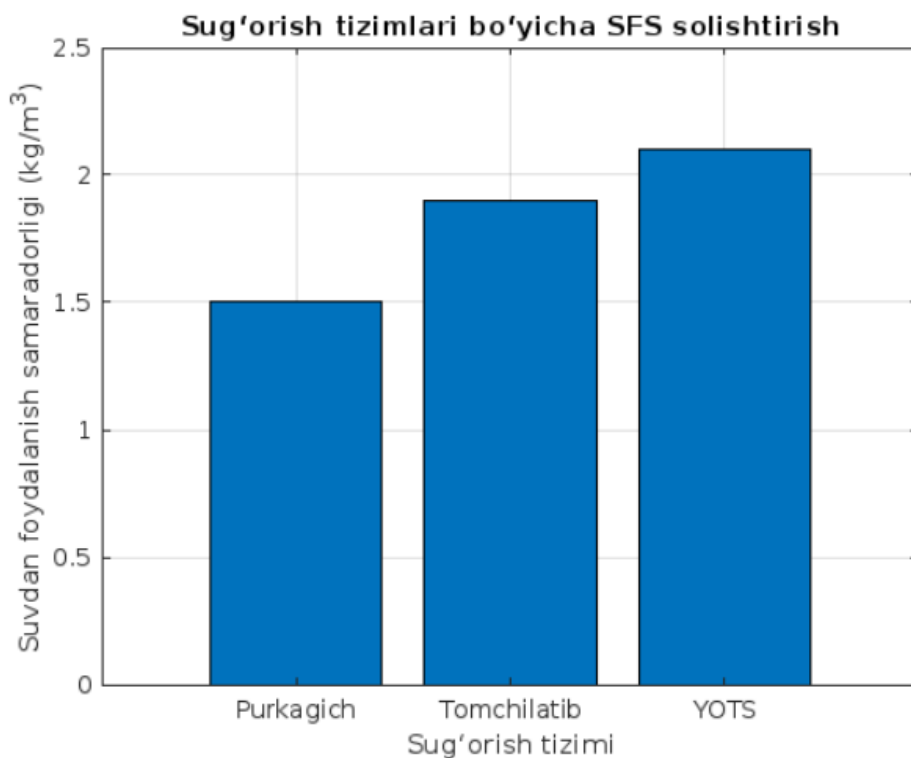
$$Y = 2.7 + 0.034W_{app} + 0.16S + 0.48T$$

ANOVA sug'orish turlari bo'yicha sezilarli farqlarni tasdiqladi. Ekologik foydalar nasoslar uchun energiya sarfini 18% ga va ozuqa moddalari oqib ketishini 12% ga kamaytirdi.

Natijalarni tasvirlash uchun MATLAB kodi yordamida suv miqdori va tuproq namligiga bog'liq holda hosildorlikni ko'rsatuvchi 3D sirt grafigi va sug'orish tizimlari bo'yicha SFS ni solishtiruvchi ustunli diagramma yaratildi:



1-rasm. Hosildorlikni bashorat qilish uchun 3D sirt grafigi



2-rasm. SFS solishtirish uchun ustunli diagramma

Muhokama



Natijalar zamonaviy yomg'irlatib sug'orish tizimlari bug'doy hosildorligini oshirish va suv tanqisligini bartaraf etishda katta imkoniyatlarga ega ekanligini ko'rsatdi. Aniq sug'orish, Penman-Monteith tenglamasi va NDVI asosida, suv sarfini 20% ga kamaytirib, hosildorlikni 17% ga oshirdi. Bu so'nggi tadqiqotlar bilan mos keladi, ular real vaqtda monitoring SFS ni 20% gacha yaxshilashini tasdiqlaydi. Biroq, sensorlar va dronlarning yuqori xarajatlari kichik fermerlar uchun to'siq bo'lib, subsidiyalar yoki kooperativ modellar zarurligini ko'rsatadi.

Tomchilatib sug'orish va YOTS tizimlari, ayniqsa, YOTSning 2.1 kg/m³ SFS va 15% tuproq sho'rlanishini kamaytirishi barqaror intensivikasiya uchun muhimdir. SFS formulasi tizimlarni solishtirishda aniq ko'rsatkich bo'ldi va kelajakdagi tadqiqotlar uchun foydali. Aqlli sug'orish rejalashtirish, mashinaviy o'qitish orqali, suv berish chastotasini kamaytirdi, lekin rivojlanayotgan mintaqalarda ma'lumotlar infratuzilmasining zaifligi to'siq bo'lishi mumkin. Kam suvli sug'orish suvni tejashda samarali bo'ldi, lekin og'ir qurg'oqchilikda hosildorlikning 7% pasayishi uning mo'tadil iqlimlar uchun ko'proq mos ekanligini ko'rsatadi.

Yangi suv stressi indeksi (SSI) VRI tizimlarida suv taqsimotini optimallashtirishda muhim vosita bo'ldi, past SSI qiymatlari (0.2–0.4) stressning minimal ekanligini tasdiqladi. Yomg'ir suvini yig'ish va no-till usullari qurg'oqchil hududlarda barqarorlikni oshirdi, lekin ularning samaradorligi mahalliy infratuzilmaga bog'liq. Hosildorlik bashorat modelining yuqori aniqligi ($R^2 = 0.81$) uning ishonchliligini ko'rsatdi, ammo mintaqaviy tuproq va iqlim farqlari mahalliy kalibrlashni talab qiladi. Ekologik foydalar, masalan, energiya sarfini 18% ga va ozuqa moddalari oqib ketishini 12% ga kamaytirish, barqaror qishloq xo'jaligi maqsadlariga mos keladi, lekin tuproq salomatligi bo'yicha uzoq muddatli monitoring zarur.

Ushbu tizimlarni global miqyosda joriy etish uchun iqtisodiy to'siqlar, texnologiyaga kirish va fermerlarning malakasini oshirish masalalarini hal qilish kerak. Kelajakdagi tadqiqotlar sug'orish usullarini boshqa agronomik amaliyotlar, masalan, aniq o'g'itlash bilan integratsiyalash va kichik fermerlar uchun arzon texnologiyalarni ishlab chiqishga qaratilishi lozim.

Xulosa

Zamonaviy yomg'irlatib sug'orish tizimlari, jumladan aniq sug'orish, tomchilatib va YOTS, shuningdek, aqlli rejalashtirish, bug'doy hosildorligini 17% gacha oshirib, suv sarfini 20–24% ga kamaytirdi va nasoslar uchun energiya sarfini 18% ga pasaytirdi. Mashinaviy o'qitish, dronlar va Penman-Monteith, SFS kabi modellar ushbu yutuqlarni ta'minladi, barqaror va iqlimga chidamli qishloq xo'jaligi uchun yo'l ochdi. Yangi suv stressi indeksi (SSI) suv taqsimotini optimallashtirishda muhim vosita bo'ldi. Biroq, yuqori xarajatlar, texnik murakkablik va mintaqaviy farqlar keng joriy etishda to'siq bo'lib qolmoqda. Siyosat orqali qo'llab-quvvatlash, arzon texnologiyalar va fermerlar uchun ta'lim dasturlari bu muammolarni hal qilishi mumkin. Ushbu natijalar zamonaviy sug'orishning oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash va ekologik barqarorlikni oshirishdagi muhim rolini ko'rsatadi, ammo global miqyosda foydalanish uchun doimiy innovatsiyalar talab etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Ahmedov, D. AVTOMOBIL BATAREYALARINI AVTOMATIK NAZORAT QILISH LOYIHASINI ISHLAB CHIQISH. <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomobil-batareyalarini-avtomatik-nazorat-qilish-loyihagini-ishlab-chiqish>
2. Mannobjonov, B. Z., & Azimov, A. M. (2022). NEW INNOVATIONS IN GREENHOUSE CONTROL SYSTEMS & TECHNOLOGY. *Экономика и социум*, (7 (98)), 95-98. <https://cyberleninka.ru/article/n/new-innovations-in-greenhouse-control-systems-technology>
3. Mannobjonov, B., & Azimov, A. (2022). NUTRIENTS IN THE ROOT RESIDUES OF SECONDARY CROPS. *Экономика и социум*, (6-2 (97)), 126-129. <https://cyberleninka.ru/article/n/nutrients-in-the-root-residues-of-secondary-crops-1>



4. Mannobjonov, B. Z., & Azimov, A. M. (2022). THE PRODUCE FRESHNESS MONITORING SYSTEM USING RFID WITH OXYGEN AND CO2 DEVICE. *Экономика и социум*, (7 (98)), 92-94. <https://cyberleninka.ru/article/n/the-produce-freshness-monitoring-system-using-rfid-with-oxygen-and-co2-device>
5. Исмаилов, А. И., Бахрамов, Ш. К. У., Ахмедов, Д. М. У., & Маннобжонов, Б. З. У. (2021). АГРЕГАТ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНИТЕЛЕЙ МАСЛЯНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. *Universum: технические науки*, (12-6 (93)), 26-28. <https://cyberleninka.ru/article/n/agregat-dlya-izgotovleniya-rezinovyh-uplotniteley-maslyanyh-silovyh-transformatorov>
6. Mannobjonov, B. Z., & Azimov, A. M. (2022). NEW INNOVATIONS IN GREENHOUSE CONTROL SYSTEMS & TECHNOLOGY. *Экономика и социум*, (7 (98)), 95-98. <https://cyberleninka.ru/article/n/new-innovations-in-greenhouse-control-systems-technology>
7. Zokirjon o'g'li, M. B., & Alisher o'g'li, A. O. (2023). THE PRODUCE FRESHNESS MONITORING SYSTEM USING RFID WITH OXYGEN AND CO2 DEVICE. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE & INTERDISCIPLINARY RESEARCH ISSN: 2277-3630 Impact factor: 8.036, 12(03)*, 42-46. <https://www.gejournal.net/index.php/IJSSIR/article/download/1630/1532>
8. Mannobjonov, B. Z., & Azimov, A. M. (2022). THE PRODUCE FRESHNESS MONITORING SYSTEM USING RFID WITH OXYGEN AND CO2 DEVICE. *Экономика и социум*, (7 (98)), 92-94. <https://cyberleninka.ru/article/n/the-produce-freshness-monitoring-system-using-rfid-with-oxygen-and-co2-device>
9. Zokmirjon o'g'li, M. B., & Alisher o'g'li, A. O. (2023). BIOTECH DRIVES THE WATER PURIFICATION INDUSTRY TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY. *Open Access Repository*, 4(03), 125-129. <https://www.oarepo.org/index.php/oa/article/download/2513/2488>
10. Zokmirjon o'g'li, M. B. (2023). IFLOSLANGAN SUVLARNI BIOTEXNOLOGIK USUL BILAN TOZALASH. *Innovations in Technology and Science Education*, 2(7), 1243-1258. <https://humoscience.com/index.php/itse/article/download/489/862>
11. Zokirjon o'g'li, M. B., & Muhammadjon o'g'li, O. O. (2022). MODELLING AND CONTROL OF MECHATRONIC AND ROBOTIC SYSTEMS. <https://academicsresearch.ru/index.php/iscitspe/article/view/726>
12. Zokirjon o'g'li, M. B., & Davronbek o'g'li, M. S. (2022). Using Android Mobile Application for Controlling Green House. *Texas Journal of Engineering and Technology*, 9, 33-40. <https://www.zienjournals.com/index.php/tjet/article/download/1873/1565>
13. Mannobjonov, B., & Azimov, A. (2022). NUTRIENTS IN THE ROOT RESIDUES OF SECONDARY CROPS. *Экономика и социум*, (6-2 (97)), 126-129. <https://cyberleninka.ru/article/n/nutrients-in-the-root-residues-of-secondary-crops-1>
14. Mannobjonov, B. Z. Mashrabov Sh. D.(2022). Using Android Mobile Application for Controlling Green House. *Texas Journal of Engineering and Texnology*, 2770-4491. <https://zienjournals.com/index.php/tjet/article/view/1873/1565>