O‘ZBEKISTONDA AGROFOTOVOLTAIKA: MIKROIQLIM VA SUV-ENERGIYA SAMARADORLIGI.

Muxtorjonov Shohruh Muzaffar o‘g‘li
Namangan davlat texnika universite magistratranti.

Annotatsiya. O‘zbekistonning qurg‘oqchil iqlimi va sug‘oriladigan dehqonchiligi sharoitida yer va quyosh resurslari uchun raqobat kuchaymoqda. Agrofotovoltaik (APV) tizimlar — ekinlar ustiga optimallashtirilgan quyosh panellarini o‘rnatish — bu ikki resursdan bir vaqtda foydalanish imkonini beradi. Ushbu maqola APVning O‘zbekistondagi imkoniyatlarini tizimli tahlil qiladi.Tadqiqot asosida olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, APV tizimlari issiq va quruq davrlarda ekinlar ostidagi haroratni pasaytirib, sug‘orishga bo‘lgan talabni kamaytiradi, shu bilan birga hosildorlikni saqlab qoladi. To‘g‘ri GCR (yer qoplama nisbati) tanlanganda, APV elektr energiyasi ishlab chiqarish xarajatlari bo‘yicha raqobatbardosh bo‘ladi, tarmoqdagi pik yuklamalarni yumshatadi va irrigatsiya nasoslarining ishlash vaqti bilan moslashadi.Maqolada 1 MWp pilot loyihalarini amalga oshirish, yer toifalash qoidalarini ishlab chiqish va "yashil" kreditlar kabi siyosiy va amaliy qadamlar taklif etiladi.

Kalit so‘zlar. agrofotovoltaika, qishloq xo‘jaligi, quyosh energiyasi, mikroiqlim, suv tejamkorligi, O‘zbekiston.

Аннотация. В условиях засушливого климата и орошаемого земледелия Узбекистана усиливается конкуренция за земельные и солнечные ресурсы. Агрофотоэлектрические (APV) системы — установка оптимизированных солнечных панелей поверх сельскохозяйственных культур — позволяют использовать два ресурса одновременно. В данной статье проведен системный анализ возможностей АПВ в Узбекистане.Аннотация. В условиях засушливого климата и орошаемого земледелия Узбекистана усиливается конкуренция за земельные и солнечные ресурсы. Агрофотоэлектрические (APV) системы — установка оптимизированных солнечных панелей поверх сельскохозяйственных культур — позволяют использовать два ресурса одновременно. В данной статье проведен системный анализ возможностей АПВ в Узбекистане.Результаты исследования показывают, что системы APV снижают потребность в поливе, снижая температуру под культурами в жаркие и засушливые периоды, сохраняя при этом урожайность. При правильном выборе ГКЛ (коэффициента покрытия Земли) APV становится конкурентоспособным с точки зрения затрат на производство электроэнергии, снижает пиковые нагрузки в сети и адаптируется к времени работы ирригационных насосов.В статье предлагаются политические и практические шаги, такие как реализация пилотных проектов 1 MWP, разработка правил классификации земель и "зеленые" ссуды.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова. агрофотоэлектроника, сельское хозяйство, солнечная энергия, микроклимат, водосбережение, Узбекистан.

Annotation. In the conditions of the arid climate and irrigated agriculture of Uzbekistan, competition for land and solar resources is growing. Agrofotovoltaic (APV) systems — the installation of optimized solar panels over crops — allow the simultaneous use of the two resources. This article provides a systematic analysis of APV's capabilities in Uzbekistan.Annotation. In the conditions of the arid climate and irrigated agriculture of Uzbekistan, competition for land and solar resources is growing. Agrofotovoltaic (APV) systems — the installation of optimized solar panels over crops — allow the simultaneous use of the two resources. This article provides a systematic analysis of APV's capabilities in Uzbekistan.The results obtained on the basis of the study show that APV systems reduce the temperature under crops during hot and dry periods, reducing the demand for irrigation, while maintaining productivity. When the correct GCR (ground cover ratio) is chosen, the APV becomes competitive in terms of electricity generation costs, softens the peak loads on the grid, and adapts to the running time of the irrigation pumps.The article proposes political and practical steps such as implementing 1 MWp pilot projects, developing land categorization rules, and "green" loans.

Keywords. agrofotovoltaics, agriculture, solar energy, microclimate, water economy, Uzbekistan.

1. Kirish

Global energiya va oziq-ovqat xavfsizligi bir vaqtning o‘zida bosim ostida: aholi o‘sishi va elektrlashtirish energiya talabini keskin oshirar ekan, iqlim o‘zgarishi, qurg‘oqchilik va suv tanqisligi qishloq xo‘jaligi hosildorligini cheklamoqda. Yer resursi ko‘pincha ikki maqsad — ko‘proq oziq-ovqat va past-uglerodli energiya — o‘rtasida raqobat maydoniga aylanadi. Shunday sharoitda yerning “ikki tomonlama” foydalanishini ta‘minlaydigan yechimlar dolzarbdir. Agrofotovoltaik (APV) tizimlari bitta maydonda quyosh elektrini ishlab chiqarish va ekin yetishtirishni uyg‘unlashtiradi. Ilk konsepsiya 1980-yillar boshida taklif etilgan bo‘lib, PV narxlarining pasayishi, treker va bifatsial modullar, shuningdek IoT-monitoring texnologiyalari tufayli amaliy ahamiyati ortdi. Tadqiqotlar APV soyasi ostida kanopi harorati va bug‘bosimi defitsiti (VPD) pasayishini, tuproq namligining uzoqroq saqlanishini va soya-bardosh/issiqqa sezgir ekinlarda hosildorlikning barqarorligini ko‘rsatadi. Biroq, balandlik, qator oralig‘i va qoplama zichligi (GCR) noto‘g‘ri tanlansa, ortiqcha soyalash fotosintezni cheklashi mumkin demak, dizayn nozik injiniringni talab etadi.

ISSN 3030-3907

Energetik nuqtayi nazardan, APV qishloq hududlarida taqsimlangan generatsiyani kuchaytiradi, irrigatsiya nasoslari va sovitish yuklari bilan vaqt mosligi orqali piklarni yumshatadi; to‘g‘ri konfiguratsiyada LCOE va IRR bo‘yicha raqobatbardosh bo‘lishi mumkin. O‘zbekiston uchun bu ayniqsa muhim: yuqori quyosh nurlanishi, biroq suv tanqisligi va yozgi issiqlik stressi mavjud. Keng joriy etish uchun yer toifalash va interkonnekt qoidalari, “yashil” moliyalashtirish hamda IoT-asosli monitoring talab etiladi. Ushbu maqola (i) APV ostidagi mikroiqlim mexanizmlarini tushuntiradi, (ii) dizayn parametrlari bo‘yicha agro-energetik almashuvlarni miqdorlaydi va (iii) O‘zbekiston sharoitiga mos dizayn hamda siyosiy tavsiyalarni taklif etadi.

2. Adabiyotlar tahlili

Konsept va metrikalar. Agrofotovoltaika (APV) — bir maydonda ikki mahsulot (energiya + qishloq xo‘jaligi) olish orqali yer resursi raqobatini yumshatish konsepsiyasi. Amaliy samaradorlik odatda yer ekvivalentligi koeffitsienti, LER va kengaytirilgan EFW-LER (Food–Energy–Water) bilan baholanadi. GCR (ground-coverage ratio), PPFD taqsimoti va soyalanish dinamikasi asosiy dizayn determinantlari.

Mikroiqlim mexanizmlari. Panel soyasi kanopi haroratini va VPDni pasaytiradi; bu ETning kamayishi, tuproq namligining uzoqroq saqlanishi va issiq stressining yengillashuviga olib keladi. Effektning darajasi iqlim (arid vs mo‘tadil), mavsum, GCR va balandlikka sezgir.

Hosildorlik javobi. Soya-bardosh yoki issiq-sezgir ekinlarda (sabzavot-poliz, bog‘dorchilik, yem-xashak) hosil odatda barqaror, ba‘zi holatlarda ijobiy. Soyaga sezgir donlarda GCR va qator geometriyasini ehtiyotkor tanlash zarur; dinamik soyalash (treker) ekstremal issiqda foydali bo‘lishi mumkin.

Suv va irrigatsiya. ET pasayishi hisobiga sug‘orish talabi qisqaradi; bu arid iqlimlarda APVning eng muhim foydalaridan. Sug‘orish jadvali va PV ishlab chiqarishning vaqt bo‘yicha mosligi (nasos yuklari) operatsion samaradorlikni oshiradi.

Energetika va iqtisodiyot. APV taqsimlangan generatsiya sifatida tarmoqdagi piklarni yumshatadi, uzatish yo‘qotishlarini kamaytiradi. LCOE/IRR ko‘rsatkichlari GCR, balandlik, treker, bifatsial modullar va soiling sharoitiga sezgir; to‘g‘ri konfiguratsiyada raqobatbardosh bo‘lishi mumkin.

Standartlar va siyosat. Xalqaro qo‘llanmalar APVni sinflashtirish, GCR/yorug‘lik me‘yorlari, agrotexnika bilan muvofiqlashuv, balandlik va mexanizatsiya talablari, tarmoqqa ulanish hamda yer toifalash qoidalarini belgilash zarurligini ta‘kidlaydi.

ISSN 3030-3907

O‘zbekiston uchun xulosalar. Yuqori GHI, yozgi issiqlik stressi va suv tanqisligi fonida APV mikroiqlimni yumshatish va irrigatsiya energiyasini “o‘zida yopish” orqali FEW-nexusni mustahkamlaydi. Amaliy start uchun 3–4 m balandlik, 10–12 m qator oralig‘i, GCR 0.15–0.25 diapazonlari va soya-bardosh ekinlar tavsiya etiladi; mahalliy dala sinovlari va standartlashtirilgan metrikalar shart.

3. Natijalar va muhokama

Energiya hosildorligi (model natijalari). Global Solar Atlas va Scaling Solar hujjatlariga tayangan holda, O‘zbekistonda kichik o‘zgacha mintaqaviy farqlar bilan PVOUT ~1 600–2 000 kWh/kWp·yil atrofida. Masalan, istiqbolli saytlarda ko‘rsatilgan “indicative specific yield” 1 769–1 989 kWh/kWp·yil; demak 1 MWp APV maydoni yiliga taxminan 1.77–1.99 GWh elektr beradi.

Suv-energiya bog‘liqligi. O‘zbekistonda jami chuchuk suv olishning ~90% i irrigatsiya uchun sarflanadi; demak APV ostida ET (bug‘lanish-bug‘latish) pasayishi suv tejamini darhol beradi.Tarmoq va tarif signallari. 2019-yildan beri o‘tkazilgan tenderlarda quyosh elektri uchun g‘olib tariflar 2.7 ¢/kWh (Navoi, 2019) dan 1.791 ¢/kWh (Samarqand, 2021) gacha tushdi—bu banklanuvchi PPA-lar uchun juda past LCOE diapazonini anglatadi. Yevropa va qurg‘oqchil hududlardagi agrivoltaik tajribalar APV ostida: (i) to‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlanish pasayishi, (ii) kunduzgi harorat va VPD pastroq, (iii) ET kamayishi va suvdan foydalanish samaradorligi oshishi ni ko‘rsatgan; ayrim hollarda hosil barqarorlashadi yoki ortadi.

Iqtisodiy qiymat (model). APV‘ni o‘zi iste‘mol qiluvchi xo‘jalik bilan birga qurilganda, 1.8 GWh/yil ishlab chiqarish va xo‘jalikning kunduzi irrigatsiya nasoslari/saqlash sovutish yuklarini qoplash orqali yuqori ichki qiymat beradi; PPA ssenariysida esa barqaror kesh-flou va past risk asosiy ustunlik bo‘ladi.

Nega APV O‘zbekistonda ma‘qul? Yuqori quyosh resursi kuchli (PVOUT ~1.6–2.0 MWh/kWp·yil), 2) suv bosimi yuqori (suvning ~90% i qishloq xo‘jaligiga), 3) yozgi pik yuk — konditsioner va irrigatsiya nasoslari — kunduzi to‘g‘ri keladi; shuning uchun APV kunduzi ishlab energiyani bevosita dalada ishlatish yoki tarmoqqa sotish uchun qulay.

Ekinlarning APVga mosligi: Agrofotovoltaik tizimlardan har bir ekin bir xil foyda ko‘rmaydi. Uzum, sabzavotlar va bog‘dorchilik ekinlari soya va yozgi issiqdan himoyalanish tufayli yengillashgan mikroiqlimdan foydalanishadi. Ayniqsa, dinamik soyalash tizimlari uzumning sifatini va hosilini oshirishi tajribalarda isbotlangan. Ammo, paxta va bug‘doy kabi to‘liq quyoshni talab qiladigan ekinlar uchun APV loyihasi puxta o‘ylangan bo‘lishi kerak. Fotosintezga yetarli yorug‘lik yetib borishi va o‘simlikning o‘sish davrida ortiqcha issiqlik

ISSN 3030-3907

stressini kamaytirish uchun past GCR (yer qoplama nisbati), baland konstruksiya va keng qator oralig‘i talab etiladi. Bu tavsiyalar O‘zbekistonda dala sharoitida qo‘shimcha sinovlardan o‘tkazilishi shart.



1-rasm. Agrofotovaltaik tizimning ko‘rinishi.

Suv tejamkorligi: APV panellarining soyasi mikroiqlimni yumshatib, tuproqdan suv bug‘lanishini (ET) kamaytiradi. Bu esa o‘simlikning suvdan foydalanish samaradorligini (WUE) oshiradi. Xalqaro tadqiqotlar arid iqlimli hududlarda WUE ning 65% dan 157% gacha ortganini ko‘rsatadi. Bu esa O‘zbekistonning quruq va issiq sharoitida sug‘orish suvini tejash uchun ajoyib imkoniyatdir.

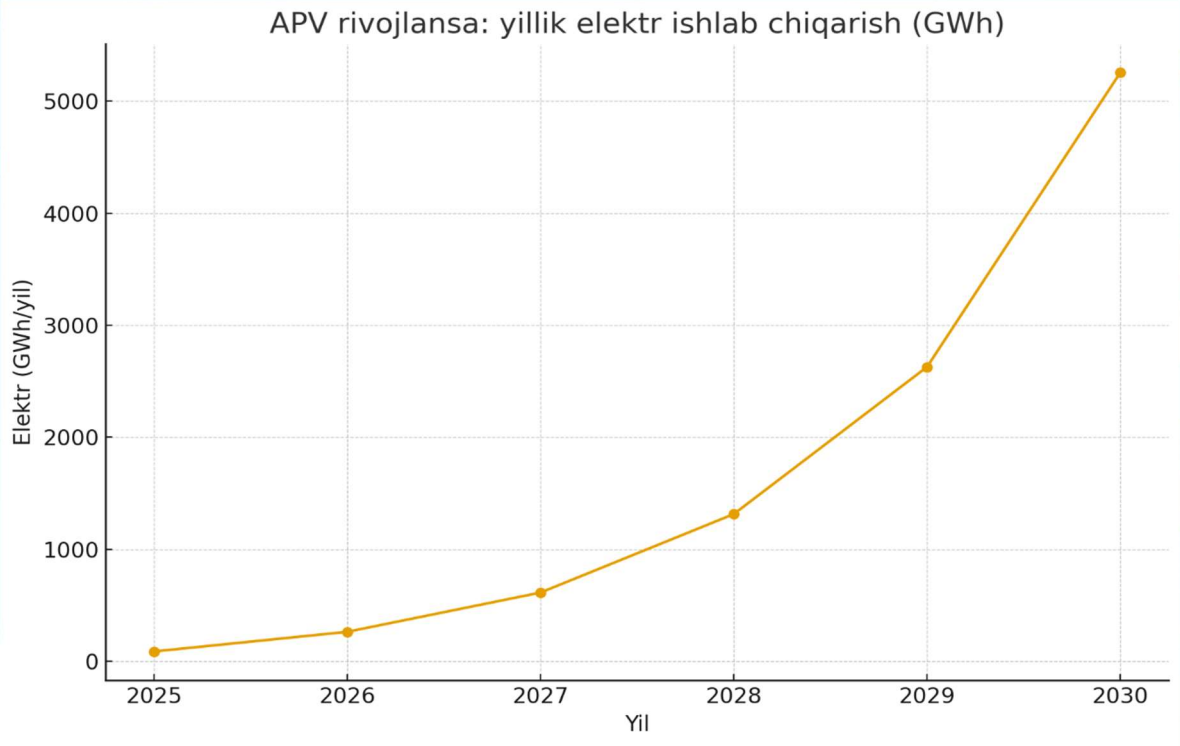
1-jadval.

O‘zbekistonda APV kengayishi natijasida 2025–2030 yillarda suv tejalishi va elektr ishlab chiqarish bo‘yicha yillik prognoz.

№	Yil	APVmaydoni (GA)	O‘rnatigan quvvat (MW/s)	Yillik elektr (GW/s)	Yillik suv tejalishi (mln. metr kub)
1	2025	100	50	87,6	0.16
2	2026	300	150	262.8	0.48
3	2027	700	350	613.2	1.12
4	2028	1500	750	1314.0	2.4
5	2029	3000	1500	2628.0	4.8
6	2030	6000	3000	5256.0	9.6

Energetika va iqtisodiy foydalar. Tarmoq bilan moslik: O‘zbekistonda yozgi pik elektr iste‘moli irrigatsiya nasoslari va konditsionerlar hisobiga kuchayadi. APV tizimlari aynan shu pik paytida energiya ishlab chiqarib, tarmoqdagi yuklamani kamaytiradi va uzatishdagi yo‘qotishlarni oldini oladi

ISSN 3030-3907



2-rasm APV rivojlanishining elekktr energiya ishlab chiqarishga tasiri

Iqtisodiy joziba: Mamlakatda elektr uchun tender tariflari ancha pasayganiga qaramay, APV tizimining o‘ziga xos afzalliklari bor. Xo‘jaliklar APVdan ishlab chiqarilgan elektr energiyasini o‘z ehtiyojlari (nasoslar, sovutish omborlari) uchun ishlatish orqali yuqori qiymatga ega bo‘lishadi. Shu sababli “o‘z iste‘moli” (self-consumption) modeli APVni yanada jozibador qiladi.

Tavsiyalar va xulosalar

Amaliy tavsiyalar: Loyihani rejalashtirishda chang, shamol va qor kabi risklar inobatga olinishi kerak. Paxta uchun GCR 0.10-0.18, balandlik ≥3-4 m, qatorlar esa shimol-janub yo‘nalishida bo‘lishi tavsiya etiladi. Sug‘orishni yanada samarali qilish uchun tomchilatib sug‘orish texnologiyasini qo‘llash muhimdir.

Kelajak istiqbollari: APVni joriy etish uchun "qishloq xo‘jaligi yeri usti" toifasi uchun aniq ruxsatnoma rejimini, net-billing qoidalarini va suv tejamkorligini rag‘batlantiruvchi subsidiyalarni joriy etish kerak. O‘zbekistonning yuqori quyosh resurslari va suv tanqisligi APV tizimi uchun ideal imkoniyat yaratadi. Keyingi qadam sifatida Toshkent, Samarqand va Farg‘ona vodiylarida pilot loyihalarni amalga oshirish muhim ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M., Minor, R. L., va boshq. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. Nature Sustainability, 2(9), 848–855.
2. National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2019). Benefits of Agrivoltaics Across the Food–Energy–Water Nexus. Press/materials.

ISSN 3030-3907

3. Fraunhofer ISE. (2017). Harvesting the Sun for Power and Produce: Agrophotovoltaics increases the land use efficiency by over 60 percent. Press relizi.
4. Fraunhofer ISE. (2020). Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition (APV Guideline).
5. Deboutte, G. (2024, 29-noyabr). Agrivoltaics can increase grape yield by up to 60%. pv magazine.
6. Sun‘Agri. (2024). Key findings – vine growing. Texnik ma‘lumotnoma.
7. Asa‘a, S., va boshq. (2024). A multidisciplinary view on agrivoltaics. Renewable & Sustainable Energy Reviews.
8. Campana, P. E., va boshq. (2021). Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. Journal of Cleaner Production.
9. IEA PVPS Task 13. (2025). Dual Land Use for Agriculture and Solar Power Production. Hisobot.
10. IEA PVPS. (2024). Best Practices for the Optimization of Bifacial Photovoltaic Systems with Tracking. Hisobot.
11. IEA PVPS. (2024). Technical Key Performance Indicators for Photovoltaic Systems. Yo‘riqnoma.

ISSN 3030-3907