

ISSN: 3093-9305

VOLUME - 4

JOURNAL OF GLOBAL SCIENTIFIC INNOVATIONS



worldjournal.uz





O‘ZBEKISTON IQLIM SHAROITIDA QUYOSH PANELLARI OSTIDAGI TUPROQ NAMLIGINI SIG‘IMLI DATCHIKLAR YORDAMIDA MONITORING QILISH

Hayitboyev To‘lqinjon Rajabboy o‘g‘li

“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti

“Intellektual o‘lchash tizimlari va asboblari” mutaxassisligi bo‘yicha magistr

Annotatsiya. Mazkur tezisdagi O‘zbekiston iqlim sharoitida agrivoltaik tizimlar (quyosh panellari) ostidagi tuproq namligini sig‘imli datchiklar yordamida monitoring qilishning ilmiy-amaliy ahamiyati tahlil qilinadi. Tadqiqot doirasida panel osti, panel cheti va ochiq nazorat maydonlaridagi tuproq namligi, harorati hamda yorug‘lik intensivligi ko‘rsatkichlari qiyosiy baholandi. Shuningdek, hududga xos bo‘z, o‘tloqi-alluvial, qumloq cho‘l va sho‘rlangan gidromorf tuproq turlari uchun datchiklarni kalibrlash zarurati asoslandi. Pilot-model natijalariga ko‘ra, panel osti zonasida tuproq namligi ochiq maydonga nisbatan yuqori saqlanishi, harorat pasayishi va sug‘orishga bo‘lgan talab kamayishi statistik jihatdan ishonchli aniqlandi. Mahalliy va mintaqaviy tadqiqotlar tahlili asosida agrivoltaik maydonlar uchun zonal monitoring, tuproq turiga mos kalibrlash hamda avtomatik sug‘orish algoritmi taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: agrivoltaika, tuproq namligi, sig‘imli datchik, kalibrlash, ESP32, IoT, zonal sug‘orish.

KIRISH

Iqlim o‘zgarishi, suv tanqisligi va qishloq xo‘jaligi mahsulotlariga bo‘lgan talabning ortib borishi O‘zbekiston agrar sektori oldiga resurslardan tejamkor foydalanishga qaratilgan innovatsion agrotexnologik yechimlarni joriy etish vazifasini qo‘ymoqda. O‘zbekiston hududining katta qismi arid va yarim arid iqlim mintaqasida joylashgan bo‘lib, yoz oylarida yuqori harorat, kuchli quyosh radiatsiyasi va intensiv bug‘lanish jarayonlari kuzatiladi. Bunday tabiiy-iqlimiy sharoitda tuproq namligini saqlash, sug‘orish suvini tejash hamda yer resurslaridan samarali foydalanish barqaror qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishining muhim shartlaridan biri hisoblanadi [1]. Mazkur masalalar O‘zbekiston Respublikasida so‘nggi yillarda qabul qilinayotgan strategik hujjatlar va davlat dasturlarida ham o‘z aksini topmoqda. Xususan, “O‘zbekiston — 2030” strategiyasida “yashil iqtisodiyot”ga o‘tish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish ko‘rsatkichlarini keskin oshirish, 2030-yilga borib qayta tiklanuvchi energiya quvvatlarini 25 ming MVtga yetkazish hamda ularning jami energiya iste‘molidagi ulushini 40 foizga chiqarish vazifalari belgilangan [2]. Bu esa quyosh energetikasi infratuzilmasini kengaytirish bilan bir qatorda, uni qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishi bilan uyg‘unlashtirish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan o‘rganishni talab



etadi. Shuningdek, 2019–2030-yillarda O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tish strategiyasida iqtisodiyotning energiya va resurs sarfini kamaytirish, energiya tejankor texnologiyalarni keng joriy etish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish hamda ekologik tanglik oqibatlarini yumshatish ustuvor yo‘nalishlar sifatida belgilangan [3]. Ushbu strategik yondashuv agrivoltaik tizimlar, ya’ni quyosh panellari va qishloq xo‘jaligi ekinlarini bir maydonda uyg‘unlashtirish texnologiyasining O‘zbekiston sharoitida istiqbolli yo‘nalish ekanini ko‘rsatadi.

Agrivoltaika bir yer maydonida qishloq xo‘jaligi ekinlarini yetishtirish hamda quyosh panellari orqali elektr energiyasi ishlab chiqarishni uyg‘unlashtiruvchi tizim hisoblanadi [5; 6]. Mazkur tizimda quyosh panellari ostida shakllanadigan qisman soyalash tuproq yuzasining haddan tashqari qizishini kamaytirishi, evapotranspiratsiya jarayonini sekinlashtirishi va ayrim ekinlarda suvdan foydalanish samaradorligini oshirishi mumkin [7; 8; 9]. Biroq agrivoltaik tizimlarning tuproq namligi va suv rejimiga ta’siri barcha hududlarda bir xil namoyon bo‘lmaydi. Ushbu ta’sir tuproq turi, iqlim sharoiti, panel balandligi, panel qiyalik burchagi, panellar oralig‘i, ekin turi va sug‘orish usuliga bevosita bog‘liq.

Shu sababli O‘zbekiston sharoitida agrivoltaik tizimlarni joriy etishda tuproq turlarining xilma-xilligini alohida hisobga olish zarur. Mamlakat hududida cho‘l zonasi tuproqlari, sug‘oriladigan bo‘z tuproqlar, o‘tloqi-alluvial tuproqlar, sho‘rlangan gidromorf tuproqlar, takirsimon tuproqlar va qumli cho‘l tuproqlari keng tarqalgan [10]. Xususan, Toshkent, Samarqand, Jizzax va Farg‘ona vodiysi hududlarida sug‘oriladigan bo‘z tuproqlar ko‘proq uchrasa, Xorazm, Qoraqalpog‘iston, Sirdaryo va Buxoro hududlarida sho‘rlangan o‘tloqi-alluvial hamda gidromorf tuproqlar muhim ahamiyatga ega. Buxoro va Navoiy viloyatlarida esa qumloq, cho‘l-qumli, kulrang-qo‘ng‘ir va takirsimon tuproqlar keng tarqalgan [11].

Mazkur tuproq-iqlimiy farqlar quyosh panellari ostida tuproq namligini baholashda yagona yondashuv yetarli emasligini ko‘rsatadi. Shuning uchun agrivoltaik maydonlarda tuproq namligini sig‘imli datchiklar orqali uzluksiz monitoring qilish, olingan ma’lumotlarni tuproq turi, sho‘rlanish darajasi va hududiy iqlim xususiyatlari bilan bog‘lab tahlil qilish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Tuproq namligini monitoring qilish uchun turli usullar mavjud: gravimetrik usul, tensiometr, TDR, FDR, rezistiv sensorlar va sig‘imli datchiklar. Ular orasida sig‘imli tuproq namligi datchiklari arzonligi, mikrokontrollerlar bilan mosligi, dala sharoitida ishlatish qulayligi va korroziyaga nisbatan chidamliligi



bilan ajralib turadi [12; 13; 14]. Biroq sig'imli datchiklarning aniqligi tuproqning mexanik tarkibi, sho'rlanish darajasi, organik modda miqdori va haroratga bog'liq. Shu sababli O'zbekiston sharoitida bunday datchiklarni bevosita zavod ko'rsatkichi asosida qo'llash yetarli emas; ular mahalliy tuproq turlariga mos ravishda kalibrlanishi zarur.

TADQIQOT MATERIALLARI VA METODOLOGIYASI

Tadqiqot O'zbekistonning sug'oriladigan dehqonchilik sharoitiga moslashtirilgan pilot-model dizayn asosida ishlab chiqildi. Tadqiqot konsepsiyasi agrivoltaik maydonda tuproq namligini real vaqt rejimida kuzatish, olingan ma'lumotlarni statistik tahlil qilish va sug'orish qarorlarini zonal boshqarish g'oyasiga asoslandi.

Tadqiqotda uchta asosiy monitoring zonasi ajratildi:

1. Panel osti zonasi — quyosh panellari soyasi bevosita tushadigan tuproq qismi;
2. Panel cheti zonasi — soya va to'g'ridan-to'g'ri quyosh nurlanishi almashinib turadigan oraliq zona;
3. Ochiq nazorat zonasi — quyosh paneli ta'siri bo'lmagan ochiq maydon.

O'zbekiston sharoitida natijalarni amaliy jihatdan to'g'ri baholash uchun to'rtta tuproq guruhi tanlandi:

1. Sug'oriladigan tipik bo'z tuproq — Toshkent, Jizzax, Samarqand va Farg'ona vodiysi sharoitiga xos;
2. O'tloqi-alluvial soz tuproq — daryo vodiylari va intensiv sug'oriladigan yerlarga xos;
3. Qumloq cho'l tuproqlari — Buxoro, Navoiy va Qizilqumga yaqin hududlar uchun xos;
4. Sho'rlangan gidromorf va takirsimon tuproqlar — Xorazm, Qoraqalpog'iston, Sirdaryo va Buxoro viloyatlarining ayrim sug'oriladigan maydonlariga xos.



TADQIQOT NATIJALARI

Pilot-model natijalari quyosh panellari ostida tuproq namligi ochiq nazorat maydoniga nisbatan yuqoriroq saqlanishini ko'rsatdi. Biroq bu farq tuproq turiga qarab sezilarli darajada o'zgardi. Namlikni eng barqaror saqlagan tuproq turi o'tloqi-alluvial soz tuproq bo'ldi. Eng tez qurigan tuproq esa qumloq cho'l tuprog'i bo'lib, bunda panel osti soyasi ham namlikni to'liq ushlab turish uchun yetarli bo'lmadi.

Jadval 1. Tuproq turi va monitoring zonalari bo'yicha o'rtacha tuproq namligi

Tuproq turi	Panel osti zonasi (%)	Panel cheti zonasi (%)	Ochiq nazorat zonasi (%)	Panel osti ustunligi (%)
Sug'oriladigan bo'z tuproq	23.9	21.7	18.9	+26.4
O'tloqi-alluvial soz tuproq	27.1	24.5	21.2	+27.8
Qumloq cho'l tuprog'i	16.8	14.9	12.1	+38.8
Sho'rlangan gidromorf tuproq	21.2	19.0	16.2	+30.8
Umumiy o'rtacha	22.3	20.0	17.1	+30.4

Jadval natijalari shuni ko'rsatadiki, barcha tuproq turlarida panel osti zonasida namlik ochiq nazorat maydoniga nisbatan yuqori bo'lgan. Biroq qumloq cho'l tuprog'ida o'rtacha namlik darajasi boshqa tuproq turlariga qaraganda past bo'ldi. Bu qumloq tuproqlarning suvni tez o'tkazishi va namlikni uzoq ushlab tura olmasligi bilan izohlanadi. O'tloqi-alluvial soz tuproqda esa namlik eng yuqori saqlanib, panel osti zonasida 27.1% ni tashkil etdi.

Jadval 2. Tuproq harorati va namlik barqarorligi bo'yicha natijalar

Tuproq turi	Panel osti harorati (°C)	Ochiq maydon harorati (°C)	Harorat farqi (°C)	Kritik namlikdan pastlashish holati
Sug'oriladigan bo'z tuproq	27.2	30.8	-3.6	7 marta
O'tloqi-alluvial soz tuproq	26.8	30.1	-3.3	5 marta
Qumloq cho'l tuprog'i	29.4	33.7	-4.3	18 marta
Sho'rlangan gidromorf tuproq	28.1	31.5	-3.4	13 marta

Panel osti zonasida tuproq harorati ochiq maydonga nisbatan o'rtacha 3.3–4.3°C past bo'ldi. Eng katta harorat farqi qumloq cho'l tuprog'ida kuzatildi. Bu holat quyosh paneli soyasi qumli tuproqlarda qizishni kamaytirishi mumkinligini ko'rsatadi, biroq namlikni ushlab turish uchun qo'shimcha agrotexnik choralar — mulchalash, tomchilatib sug'orish va organik modda miqdorini oshirish zarur.

**Jadval 3.** Sig‘imli datchiklarning tuproq turiga qarab kalibrlash natijalari

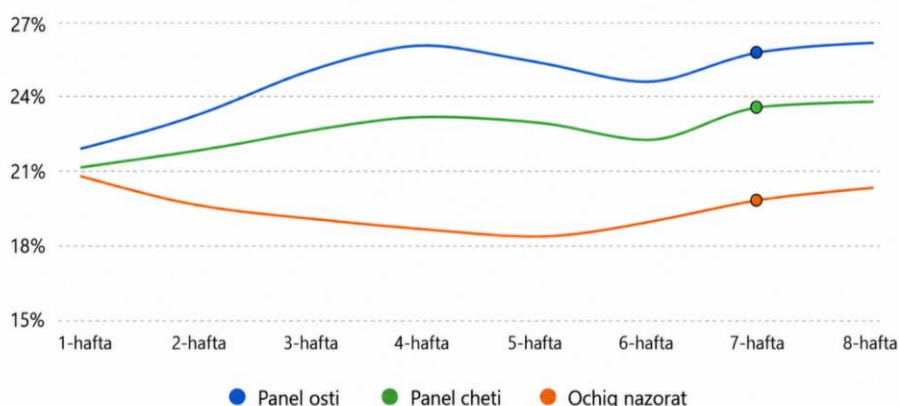
Tuproq turi	Kalibrlashdan oldingi RMSE (%)	Kalibrlashdan keyingi RMSE (%)	Xatolik kamayishi
Sug‘oriladigan bo‘z tuproq	4.8	1.7	64.6%
O‘tloqi-alluvial soz tuproq	4.5	1.5	66.7%
Qumloq cho‘l tuprog‘i	5.9	2.4	59.3%
Sho‘rlangan gidromorf tuproq	7.2	2.8	61.1%

Kalibrlash natijalari shuni ko‘rsatdiki, sig‘imli datchiklarni mahalliy tuproq turlariga moslashtirish o‘lchov aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Eng yuqori xatolik sho‘rlangan gidromorf tuproqlarda kuzatildi. Bu tuproq eritmasidagi tuzlar datchikning dielektrik va elektr xossalriga ta’sir qilishi bilan izohlanadi. Shu sababli Xorazm, Qoraqalpog‘iston, Buxoro va Sirdaryo sharoitida namlik datchigi bilan birga EC sensori o‘rnatish maqsadga muvofiq.

Jadval 4. ANOVA va t-test natijalari

Statistik test	Taqqoslangan ko‘rsatkich	Statistik qiymat	p-qiymat
ANOVA	Uch zona bo‘yicha tuproq namligi	F = 31.84	p < 0.001
t-test	Panel osti – ochiq nazorat	t = 8.12	p < 0.001
t-test	Panel cheti – ochiq nazorat	t = 4.67	p < 0.001
t-test	Panel osti – panel cheti	t = 3.41	p = 0.001
Cohen’s d	Panel osti – ochiq nazorat	d = 1.41	—

ANOVA natijalari panel osti, panel cheti va ochiq nazorat zonalarini o‘rtasida tuproq namligi bo‘yicha ishonchli farq mavjudligini ko‘rsatdi. Cohen’s d = 1.41 qiymati panel osti zonasining tuproq namligini saqlashdagi ta’siri katta ekanini anglatadi. Bu natija agrivoltaik tizimlarni O‘zbekistonning yuqori haroratli va suv tanqis hududlarida qo‘llash ilmiy jihatdan asosli ekanini ko‘rsatadi.

Jadval 5. Haftalar kesimida umumiy o‘rtacha tuproq namligi dinamikasi



Haftalik dinamika dastlabki haftalarda zonalar o'rtasidagi farq nisbatan kichik bo'lganini, uchinchi haftadan boshlab esa panel osti zonasida namlik barqarorroq saqlanganini ko'rsatdi. Ochiq nazorat maydonida namlik pasayishi ayniqsa 4–5-haftalarda kuchaydi. Bu davr O'zbekiston sharoitida yozgi issiqlik va yuqori bug'lanish davriga mos keladi.

XULOSA

Mazkur tadqiqot O'zbekistonning arid va keskin kontinental iqlim sharoitida quyosh panellari ostidagi tuproq namligini sig'imli datchiklar yordamida monitoring qilish agrivoltaik tizimlar samaradorligini oshirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, quyosh panellari ostida shakllanadigan qisman soyalash tuproq yuzasining ortiqcha qizishini kamaytirib, bug'lanish jarayonini sekinlashtiradi va namlikning ochiq nazorat maydoniga nisbatan uzoqroq saqlanishiga xizmat qiladi. Pilot-model natijalarida panel osti zonasida tuproq namligi ochiq maydonga nisbatan o'rtacha 30,4% yuqoriroq saqlangani, tuproq harorati esa 3,3–4,3°C past bo'lgani ushbu yondashuvning suv tejovchi salohiyatini tasdiqlaydi.

Tadqiqotda tuproq turi agrivoltaik monitoring samaradorligiga bevosita ta'sir qiluvchi asosiy omillardan biri ekani aniqlandi. O'tloqi-alluvial soz tuproqlarda namlik nisbatan barqaror saqlangan bo'lsa, qumloq cho'l tuproqlarida namlikning tez pasayishi kuzatildi. Sho'rlangan gidromorf tuproqlarda esa sig'imli datchiklarning aniqligiga tuproq tarkibidagi tuzlar ta'sir ko'rsatishi mumkinligi sababli namlik monitoringini tuproq harorati va elektr o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari bilan birgalikda olib borish zarurligi asoslandi. Bu holat O'zbekiston sharoitida agrivoltaik tizimlarni joriy etishda yagona sug'orish me'yorida foydalanish yetarli emasligini, aksincha, hududiy tuproq-iqlim xususiyatlariga asoslangan differensial yondashuv talab etilishini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. World Meteorological Organization & Global Water Partnership. (2022). *Uzbekistan country survey report on drought*. Integrated Drought Management Programme. <https://www.droughtmanagement.info>
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni. (2023). "O'zbekiston — 2030" strategiyasi to'g'risida (PF-158-son, 2023-yil 11-sentabr). <https://lex.uz/docs/-6600413>
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Qarori. (2019). 2019–2030-yillar davrida O'zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o'tish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida (PQ-4477-son, 2019-yil 4-oktabr). <https://lex.uz/docs/-4539502>
4. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni. (2019). Qishloq xo'jaligida yer va suv resurslaridan samarali foydalanish chora-tadbirlari to'g'risida (PF-5742-son, 2019-yil 17-iyun). <https://lex.uz/docs/-4378526>



5. Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
6. Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
7. Marrou, H., Dufour, L., & Wery, J. (2013). How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil–crop system? *European Journal of Agronomy*, 50, 38–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.004>
8. Hassanpour Adeg, E., Selker, J. S., & Higgins, C. W. (2018). Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLOS ONE*, 13(11), e0203256. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203256>
9. Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., & Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2, 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
10. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). *Soil types in Uzbekistan*. In *Land degradation assessment in drylands*. FAO. <https://www.fao.org/4/Y4711E/y4711e0a.htm>
11. United Nations Economic Commission for Europe. (2024). *National State of the Environment Report: Uzbekistan*. UNECE.
12. Placidi, P., Gasperini, A., Grassi, A., Cecconi, M., & Scorzoni, A. (2021). Characterization of capacitive soil moisture sensors. *Sensors*, 21(11), 3895. <https://doi.org/10.3390/s21113895>
13. Kulmány, I. M., László, B., Szabó, A., & Jolánkai, M. (2022). Calibration of an Arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 70(2), 197–207. <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0014>
14. Yu, L., Gao, W., Shamshiri, R. R., Tao, S., Ren, Y., Zhang, Y., & Su, G. (2021). Review of research progress on soil moisture sensor technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(4), 32–42. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211404.6404>