



Agrofotovoltaik tizimlarni Arduino dasturi yordamida monitoring qilish: istiqbollari va yechimlari.

Shohruhbek Muxtorjonov Muzaffar og'li
Qayumov Javohir Abduqahhor o'g'li

Annotatsiya: Ushbu maqolada agrofotovoltaik (APV) tizimlarning qishloq xo'jaligidagi ahamiyati, ularning samaradorligini oshirishda monitoringning roli va bu jarayonni Arduino platformasi yordamida amalga oshirish imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. O'rnatma tarkibidagi sensorlar, ularni ulash sxemalari va ma'lumotlarni yig'ish-saqlash-vizuallashtirish mexanizmlari bayon etiladi. Namoyish natijalari Arduino asosidagi monitoring tizimining arzonligi, moslashuvchanligi va APV optimallashtirishdagi foydasini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: agrofotovoltaika, Arduino, sensorlar, monitoring, SD loglash, I2C, mikroiklim.

Kirish

Agrofotovoltaik (APV) tizimlar bir maydonda ekin yetishtirish va quyosh energiyasi generatsiyasini uyg'unlashtiradi. Samarali ishlash uchun atrof-muhit (harorat, namlik, yorug'lik) va elektr (kuchlanish, tok, quvvat) ko'rsatkichlarini doimiy kuzatish zarur. An'anaviy monitoring yechimlari narxi va murakkabligi kichik fermer xo'jaliklari uchun to'siq bo'lishi mumkin. Shuning uchun ochiq kodli, arzon va oson kengayadigan Arduino/ESP32 platformalari amaliy alternativ hisoblanadi.

Materiallar va Usullar

1) Sensorlar va uskuna ro'yxati (Jadval 1).

Uskuna nomi	Turi	Maqsadi	Tipik diapazon	Interfeys
Arduino Uno / Mega	Mikrokompyuter	Sensorlardan ma'lumot yig'ish va qayta ishlash	—	GPIO/I2C/SPI/UART
DHT22 (yoki DHT11)	Harorat/namlik sensori	Havo harorati va nisbiy namlik	- 40...80°C; 0–100%RH	1-simli (digital)
SHT30	Yuqori aniqlikdagi T/RH	Aniq mikroiklim o'lchovi	- 40...125°C; 0–100%RH	I2C
BH1750	Yorug'lik (Lux)	Atrof-muhit yoritilganligi	1–65 535 lux	I2C

Capacitive Soil Moisture	Tuproq namligi	VWC/nisbiy namlik ko'rsatkichi	0–100% (nisbiy)	Analog (A0)
INA219	Quvvat/tok/kuchlanish	PV panel V/I/P	0–26V; ≤3.2A (konfig.)	I2C
Mini PV panel	Fotovoltaik modul	Tajriba uchun PV manbasi	5–10 Wp (namoyish)	—
LCD 16x2 / 20x4 (I2C)	Display	Real vaqt rejimida ko'rsatish	—	I2C
SD Card modul	Xotira	Ma'lumotlarni loglash	microSD	SPI
ESP32/ESP8266 (ixtiyoriy)	Wi-Fi modul	Bulutga yuborish/masofaviy monitoring	—	UART / GPIO / Wi-Fi

2) Ulash va pinlash (Jadval 2).

Qurilma	Interfeys	Pinlar/Adres
DHT22	Digital (1-wire)	D2 (signal), 5V, GND
SHT30	I2C	SDA (A4), SCL (A5), 0x44/0x45
BH1750	I2C	SDA (A4), SCL (A5), 0x23
Soil Moisture	Analog	A0 (signal), 5V, GND
INA219	I2C	SDA (A4), SCL (A5), 0x40 (default)
LCD 16x2 (I2C)	I2C	SDA (A4), SCL (A5), 0x27/0x3F
SD modul	SPI	CS(D10), MOSI(D11), MISO(D12), SCK(D13)

3) Loglash rejasi (Jadval 3).

Ko'rsatkich	Qiymat
Log intervali	10 daqiqa (24 soat davomida)
Davomiylik	1 hafta (kunlik/haftalik trend tahlili)
Saqlash	SD karta (CSV), ixtiyoriy: Wi-Fi orqali bulut
Vaqt tamg'asi	RTC (DS3231) tavsiya etiladi

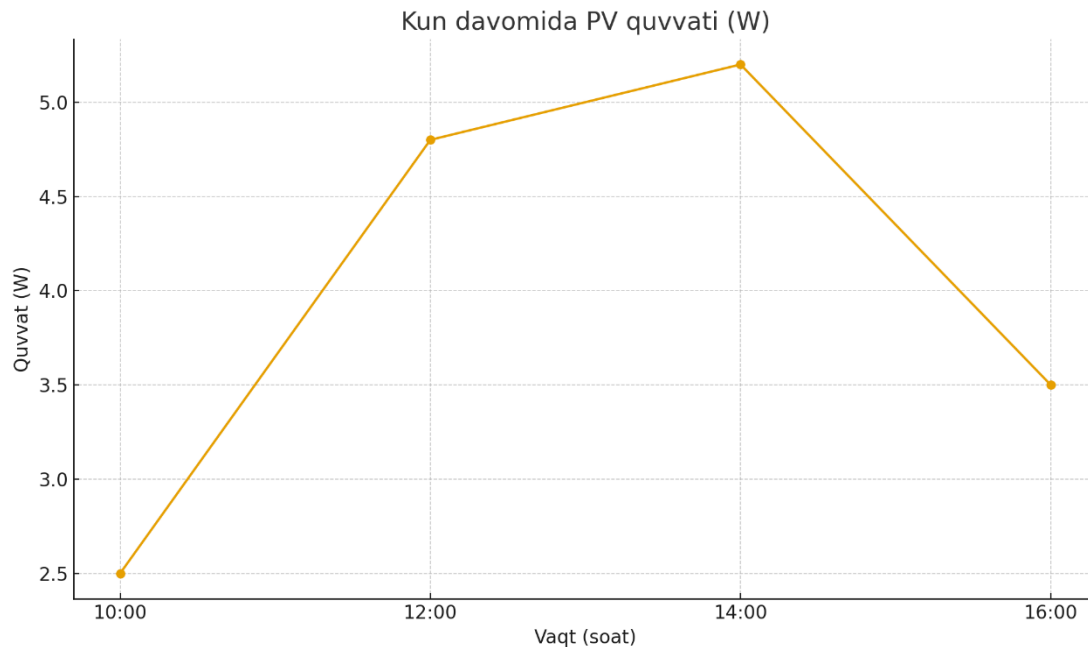
4) Namoyish uchun kunlik o'lchovlar (Jadval 4).

Vaqt (soat)	Harorat (°C)	Yorug'lik (lux)	Quvvat (W)
10:00	25	15000	2.5
12:00	30	25000	4.8
14:00	32	30000	5.2

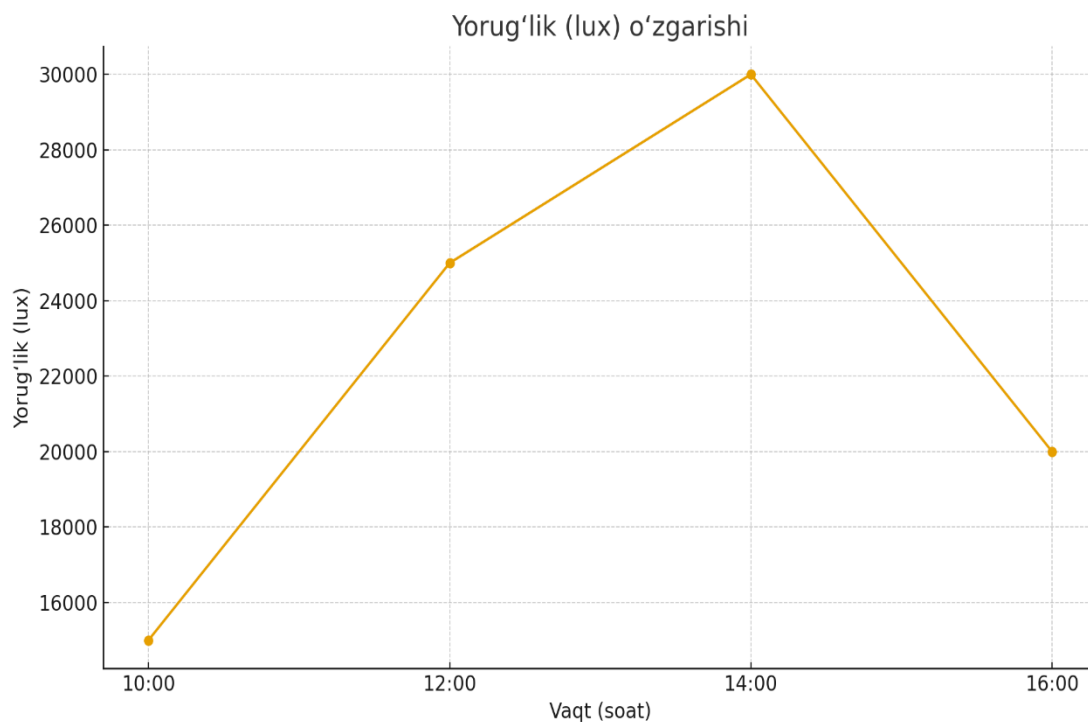
16:00	28	20000	3.5
-------	----	-------	-----

Natijalar

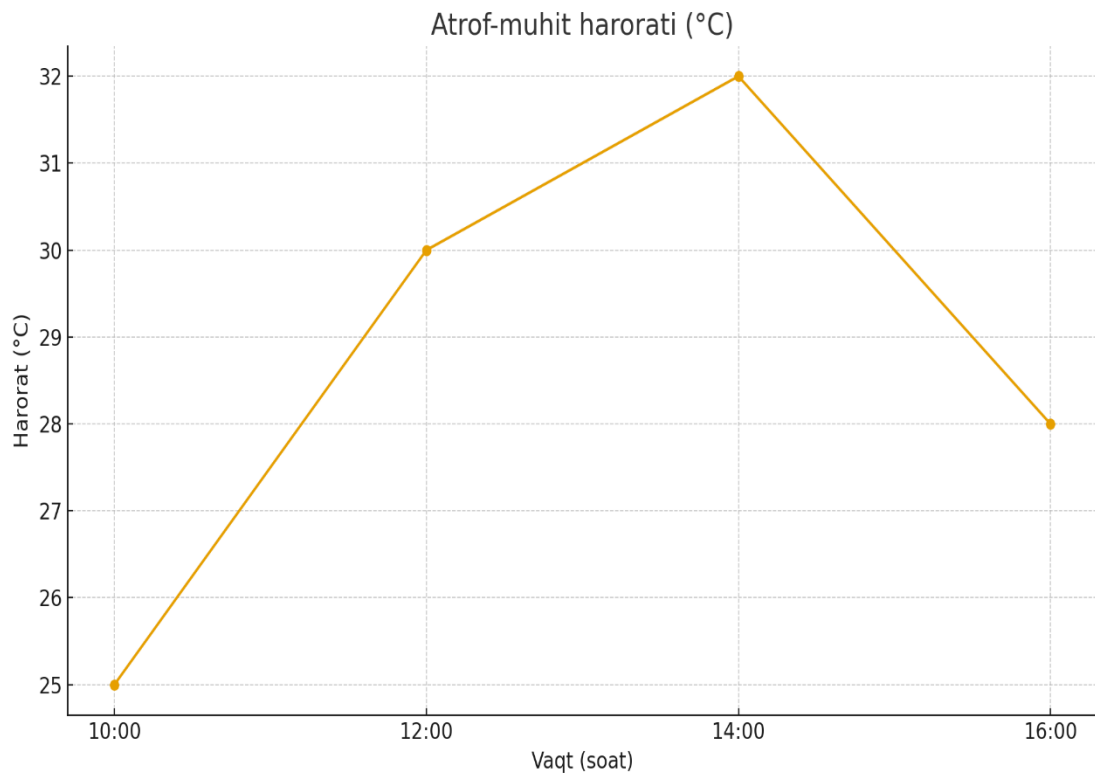
Kun davomida PV quvvati o'zgarishi (Rasm 1) yorug'lik darajasi bilan uyg'un ekanligi ko'rinadi (Rasm 2). Harorat profili kunduzi ko'tarilib, kechga pasayadi (Rasm 3). Sug'orishdan so'ng tuproq namligi keskin oshib, keyin eksponensial tarzda pasayadi (Rasm 4). Yorug'lik va quvvat orasidagi bog'liqlik esa tarqalish diagrammasida aks etadi (Rasm 5).



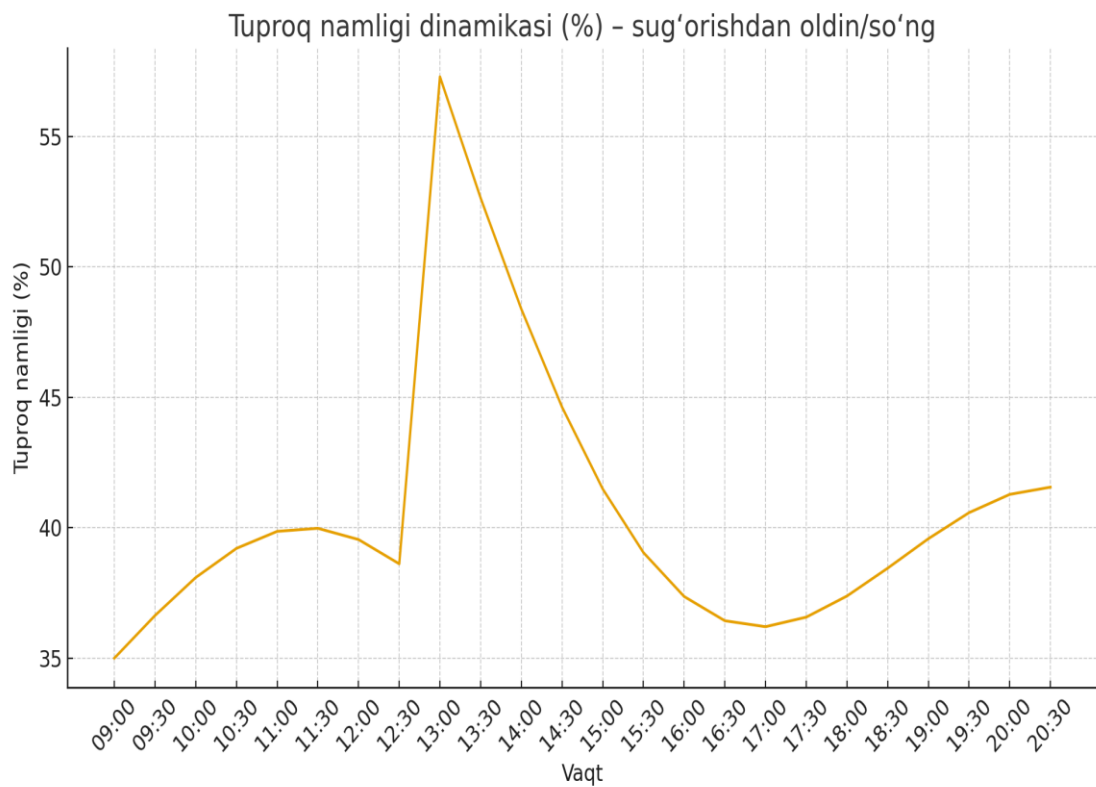
Rasm 1. Kun davomida PV quvvati (W).



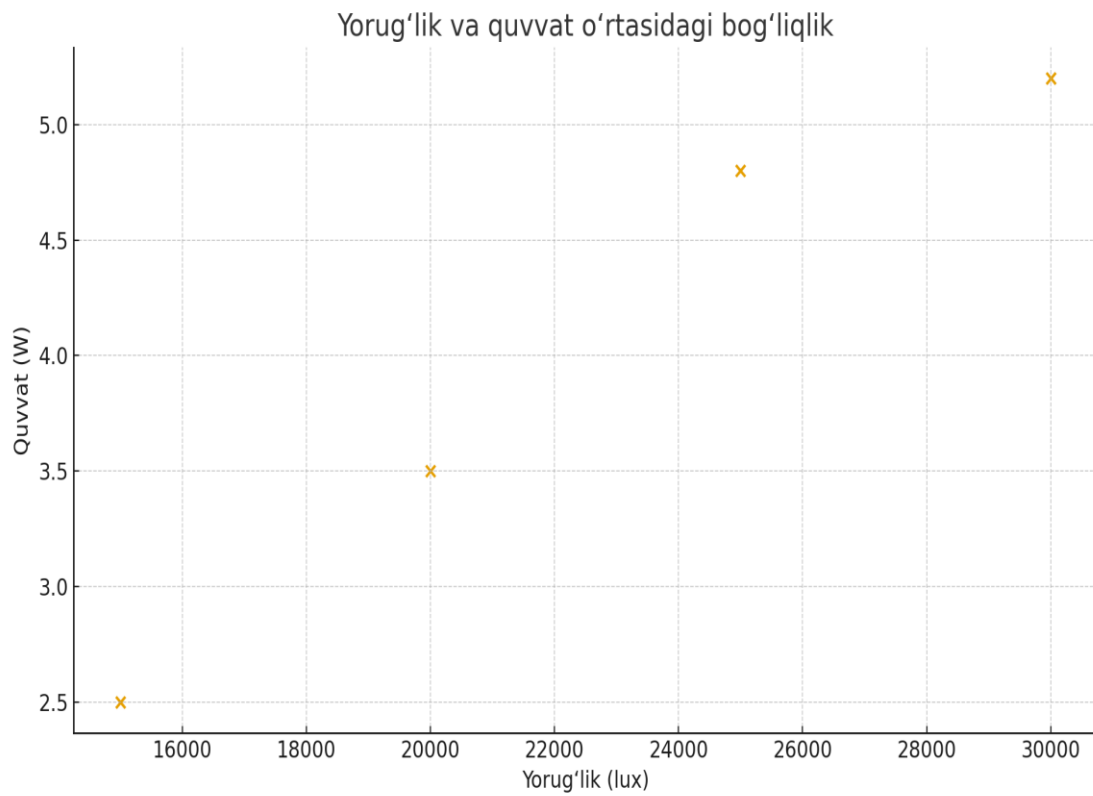
Rasm 2. Yorug'lik (lux) o'zgarishi.



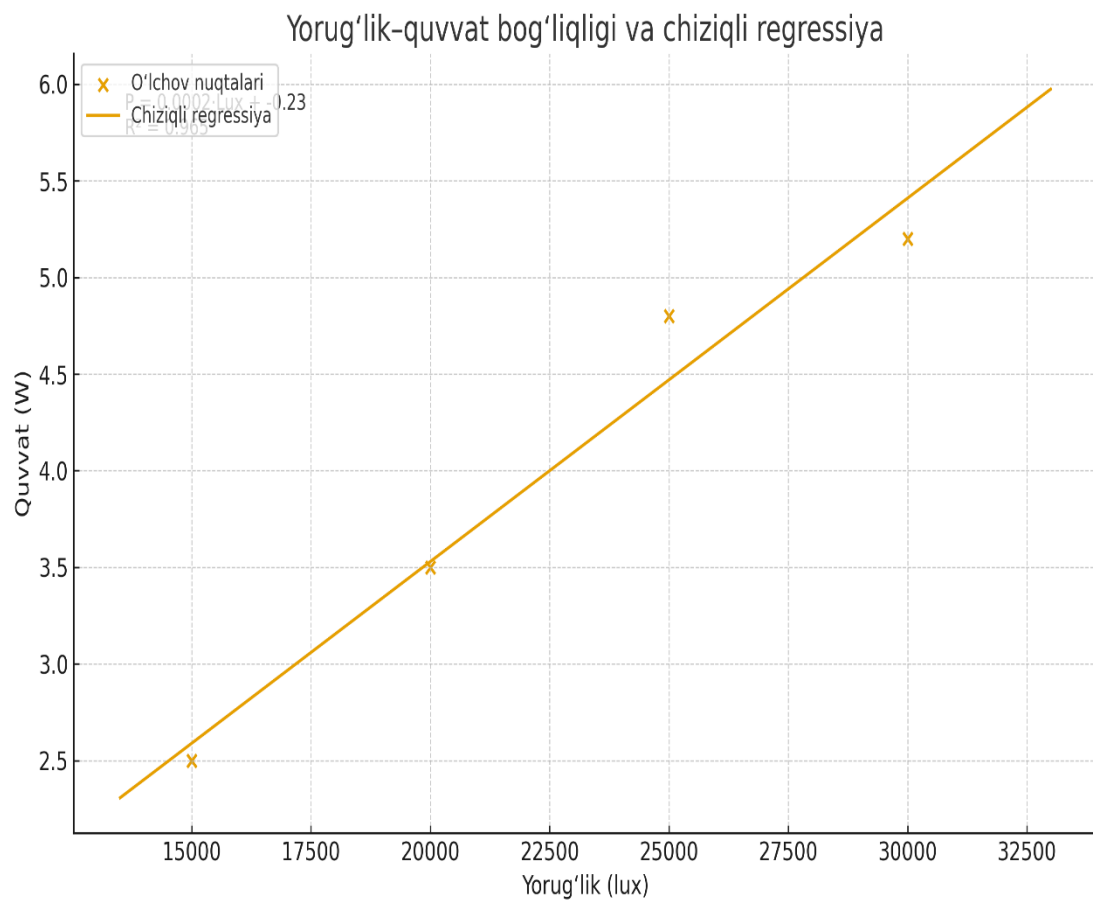
Rasm 3. Atrof-muhit harorati (°C).



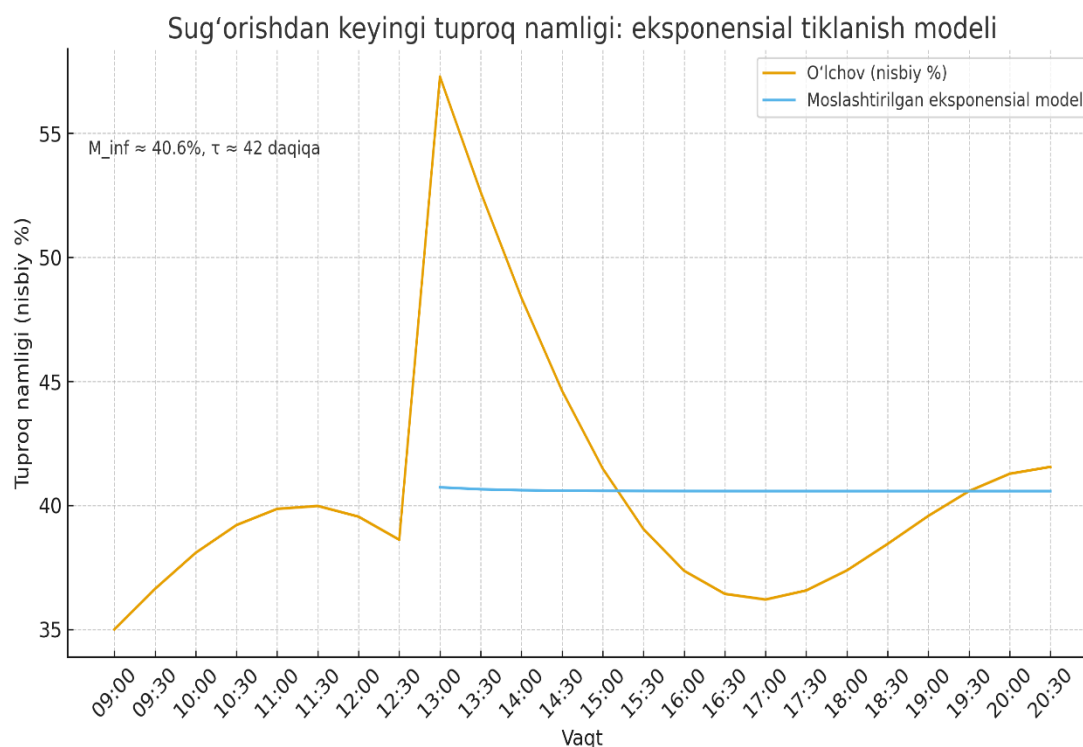
Rasm 4. Tuproq namligi dinamikasi; sug'orishdan keyin tiklanish va pasayish.



Rasm 5. Yorug'lik va quvvat bog'liqligi (tarqalish).



Rasm 6. Yorug'lik-quvvat bog'liqligi: chiziqli regressiya (tenglama va R^2).



Rasm 7. Sug'orishdan keyin tuproq namligi: eksponensial pasayish modeli (τ va M_{inf} baholandi).

Muhokama

Natijalar Arduino asosidagi yechim APVning energetik qismi (PV V/I/P) va agronomik mikroiklimi (T/RH, yorug'lik, tuproq namligi)ni birgalikda kuzatish uchun yetarli aniqlik va vaqt rezolyutsiyasini berishini ko'rsatadi. INA219 orqali PV samaradorligi, BH1750 yordamida soya-yorug'lik profili, DHT/SHT orqali mikroiklim barqarorligi baholanadi. Kengaytirish uchun ESP32 bilan Wi-Fi telemetriya, DS3231 bilan barqaror vaqt tamg'asi, hamda SD/CSV dan tashqari real vaqtli panelga (Grafana/ThingsBoard) yuborish tavsiya etiladi. Avtomatlashtirish uchun namlikga bog'liq sug'orish algoritmi va yorug'likka moslashuvchan soylash (servo/louver) bilan yopiq konturli boshqaruv joriy etilishi mumkin.

Xulosa

Arduino yordamida APV monitoringi amaliy, arzon va modulli yo'l bo'lib, O'zbekiston kabi quyoshli-arid mintaqalarda energiya samaradorligini oshirish hamda suvni tejashga xizmat qiladi. Kelgusida tizimni bulutli telemetriya, sun'iy intellekt asosidagi anomaliya aniqlash va bashoratlash, shuningdek, daladagi qarorlarni qo'llab-quvvatlash interfeyslari bilan boyitish rejalashtirilishi mumkin.

Adabiyotlar

K.G. Hölzen et al., "Agrivoltaics: A review of the emerging field of integrated solar and agriculture systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021.

M.S. Al-Ali, A.A. Al-Nahi, "Arduino-Based Solar Tracking System," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2017.

M.A. Rahman et al., "A low cost Arduino-based weather station," Proc. ICECCE, 2017.