



Article

Quyosh havo kollektorining don quritish jarayonidagi issiqlik yuklamasini qoplash darajasini soatbay energetik balans asosida baholash.

B.Z. Baltabayev * , N.A. Sapayev , O.Q. Matchonov 

¹ Energetika fakulteti, Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari" Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, 100000, O'zbekiston

b_baltabayev@tiame.uz (B.B.), n_sapayev@tiame.uz (N.S.), o.matchonov@tiame.uz (O.M.)

* Correspondence: b_baltabayev@tiame.uz; Tel.: +998 97 3585999 (B.B.)

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotning maqsadi Beruniy tumani sharoitida quyosh havo kollektorining qishloq xo'jaligi don mahsulotlarini, jumladan kungaboqar va sholi donini quritish tizimlaridagi issiqlik yuklamasini qoplash imkoniyatini soatbay energetik balans asosida baholashdan iborat. Hisoblashlarda PVGIS-ERA5 ma'lumotlar bazasidan olingan quyosh radiatsiyasi ko'rsatkichlari, kollektorning optik-issiqlik balansi, foydali issiqlik quvvati, yordamchi energiya ehtiyoji va zarur havo sarfini aniqlash usullaridan foydalanildi. Baholash sentyabr va oktyabr oylari uchun 09:00–17:00 oralig'ida amalga oshirildi. Amaliy hisoblash shartlari kungaboqar donini quritish rejimi asosida qabul qilindi. Kollektor sentyabr oyida 7.326 kW·h/kun, oktyabr oyida esa 5.839 kW·h/kun foydali issiqlik energiyasi ishlab berdi. Quritgichning kunlik issiqlik yuklamasini qoplash ulushi mos ravishda 77.9 % va 62.7 % ni tashkil etdi. Sentyabr oyida 12:00–14:00 oralig'ida kollektor yuklamani to'liq qoplad, oktyabr oyida esa barcha soatlarda yordamchi issiqlik manbai zarur bo'ldi. Quyosh havo kollektori kungaboqar, sholi va boshqa qishloq xo'jaligi don mahsulotlarini quritish tizimlarida quritish agentini oldindan isituvchi hamda yordamchi energiya sarfini kamaytiruvchi gibrid issiqlik moduli sifatida qo'llanishi mumkin. Bunda har bir mahsulot uchun quritish harorati, havo sarfi va issiqlik yuklamasi alohida aniqlanishi zarur.

Kalit so'zlar: quyosh havo kollektori, don quritish, soatbay energetik balans, issiqlik yuklamasi, kungaboqar doni.

Iqtibos: B.Z. Baltabayev, N.A. Sapayev, O.Q. Matchonov. Irrigatsiya va melioratsiya. 2026, 12,3, 5. <https://doi.org/10.35938/IM-2026-12-00012>

Olingan: 10.06.2026

Tuzatilgan: 28.07.2026

Qabul qilingan: 3.09.2026

Nashr qilingan: 14.09.2026

Copyright:



Assessment of the heat load coverage level of a solar air collector in the grain drying process based on an hourly energy balance.

B.Z. Baltabayev * , N.A. Sapaev , O.Q. Matchonov 

¹ Faculty of Energy, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers National Research University, Tashkent 100000, Uzbekistan

b_baltabayev@tiame.uz (B.B.), n_sapayev@tiame.uz (N.S.), o.matchonov@tiame.uz (O.M.)

Abstract:

The aim of this study was to assess, based on an hourly energy balance, the potential of a solar air collector to cover the heat load in agricultural grain drying systems, including sunflower and rice grain, under the climatic conditions of Beruniy district. The calculations were performed using solar radiation data obtained from the PVGIS-ERA5 database, together with the optical-thermal balance of the collector, useful heat output, auxiliary energy demand and required drying air flow rate. The assessment was carried out for September and October during the period from 09:00 to 17:00. The practical calculation conditions were adopted for the sunflower grain drying regime. The solar air collector produced 7.326 kW·h/day of useful heat energy in September and 5.839 kW·h/day in October. The daily heat load coverage of the drying system was 77.9% and 62.7%, respectively. In September, the collector fully covered the drying heat load between 12:00 and 14:00, whereas in

October an auxiliary heat source was required during all operating hours. The solar air collector can be used as a hybrid heat module for preheating the drying air and reducing auxiliary energy consumption in drying systems for sunflower, rice and other agricultural grain products. However, the drying temperature, air flow rate and heat load should be determined separately for each product.

Keywords: solar air collector, grain drying, hourly energy balance, heat load, useful thermal power, sunflower seed.

Kirish

Don va urug'larni quritish hosildan keyingi ishlov berishning muhim bosqichi bo'lib, mahsulot namligini xavfsiz saqlash darajasigacha kamaytirish, mikrobiologik buzilishlarning oldini olish va saqlash muddatini uzaytirishga xizmat qiladi [1,3]. Bu jarayon qishloq xo'jaligi don mahsulotlari, jumladan sholi, bug'doy, makkajo'xori, kungaboqar va boshqa urug'lik hamda oziq-ovqat mahsulotlarini saqlashga tayyorlashda muhim ahamiyatga ega. Quyosh energiyasidan foydalanishga asoslangan quritish tizimlari qishloq xo'jaligi mahsulotlarini quritishda an'anaviy energiya manbalariga bo'lgan talabni kamaytirish va jarayonning energetik samaradorligini oshirish imkonini beruvchi istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi [4,5]. Kungaboqar doni moyli mahsulot bo'lgani sababli quritish jarayonida namlik bilan bir qatorda moy sifati, urug'ning fiziologik holati va saqlash barqarorligini ham hisobga olish zarur. Ilmiy adabiyotlarda kungaboqar urug'ini saqlashga tayyorlashda namlikni odatda 9 % atrofida kamaytirish zarurligi va quritish haroratining ortishi urug'ning hayotchanligi hamda sifat ko'rsatkichlariga ta'sir qilishi ko'rsatilgan [6,7].

An'anaviy konvektiv quritishda issiq havo mahsulotga issiqlik beradi va bug'langan namlikni quritish zonasidan olib chiqadi. Biroq bunday usulda energiya sarfi yuqori bo'lishi va mahsulotning ortiqcha issiqlik ta'sirida sifati pasayishi mumkin. Shu bois konvektiv quritishni mikroto'liqlik, infraqizil, issiqlik nasosi, quyosh va boshqa usullar bilan kombinatsiyalash bo'yicha tadqiqotlar kengaymoqda [8,9].

Kombinatsiyalangan quritish tizimlarida konvektiv havo oqimi namlikni olib chiqish vositasi sifatida saqlanib qoladi, qo'shimcha energiya ta'sirlari esa issiqlik va massa almashinuvini jadallashtiradi. Issiq havo manbai sifatida elektr qizdirgich, gaz yoki biomassa asosidagi issiqlik generatori, issiqlik nasosi, quyosh havo kollektori yoki ularning gibrid kombinatsiyalari qo'llanishi mumkin [10,11]. Quyosh havo kollektorining quritishdagi haqiqiy ahamiyati faqat maksimal foydali ish ko'effitsienti bilan emas, balki uning quritgich issiqlik yuklamasini kun davomida qaysi soatlarda va qanday ulushda qoplay olishi bilan belgilanadi. Bunday yondashuv kungaboqar, sholi va boshqa qishloq xo'jaligi don mahsulotlarini quritishda quritish agentini oldindan isitish tizimlarini baholash uchun qo'llanishi mumkin. Shuning uchun mazkur tadqiqotda Beruniy tumani sharoitida quyosh havo kollektorining don quritish jarayonidagi, amaliy hisoblash misolida esa kungaboqar donini quritishdagi issiqlik yuklamasini qoplash darajasi soatbay energetik balans asosida baholandi.

Materiallar va usullar

Tadqiqot obyekti va boshlang'ich shartlar

Tadqiqot obyekti sifatida don quritish jarayonida quritish agentini oldindan isitish uchun mo'ljallangan oynali quyosh havo kollektori qabul qilindi. Hisoblashlar Qoraqalpog'iston Respublikasi Beruniy tumani uchun bajarildi: geografik koordinatalar 41.691° N va 60.752° E. Kollektor janubga yo'naltirilgan, gorizontal tekislikka nisbatan qiyalik burchagi 45°, foydali yuzasi 2 m² deb olindi. Energetik baholash sentyabr va oktyabr oylari uchun 09:00–17:00 oralig'ida, 1 soatlik vaqt qadami bilan amalga oshirildi.

Kollektor chiqishidagi havo harorati kungaboqar donini quritishda mahsulot sifatini saqlashni hisobga olib 55 °C deb qabul qilindi. Kollektorga kiruvchi havo harorati tashqi muhit haroratiga yaqin deb qaraldi:

$$T_{kir} \approx T_{muh} \quad (1)$$

bu yerda T_{kir} – kollektor kirishidagi havo harorati, °C; T_{muh} – tashqi muhit harorati, °C. Sentyabr uchun $T_{muh} = 26.7$ °C, oktyabr uchun $T_{muh} = 18.3$ °C qabul qilindi.

Quyosh radiatsiyasi va optik yo'qotishlar

Quyosh radiatsiyasi ma'lumotlari Yevropa Komissiyasi Joint Research Centre tomonidan ishlab chiqilgan PVGIS ma'lumotlar bazasi asosida olindi. PVGIS soatbay quyosh radiatsiyasi va meteorologik ma'lumotlar yordamida quyosh energiyasi tizimlarini vaqt bo'yicha baholash imkonini beradi [12,13]. Qiya kollektor tekisligiga tushuvchi umumiy radiatsiya to'g'ridan-to'g'ri, diffuz va yer sirtidan qaytgan komponentlar yig'indisi sifatida qaraldi [13,14]:

$$G_{qiya}(i) = G_{to'gr}(i) + G_{dif}(i) + G_{qayt}(i) \quad (2)$$

bu yerda $G_{qiya}(i)$ – qiya kollektor tekisligiga tushuvchi umumiy quyosh radiatsiyasi, W/m^2 ; $G_{to'gr}(i)$ – to'g'ridan-to'g'ri radiatsiya; $G_{dif}(i)$ – diffuz radiatsiya; $G_{qayt}(i)$ – qaytgan radiatsiya.

Quyosh nurlarining kollektor oynasiga normal yo'nalishdan chetlashib tushishi optik yo'qotishlarni oshiradi. Shu sababli incident angle modifier, ya'ni tushish burchagi tuzatma ko'effitsienti hisobga olindi [15]:

$$K_{to'gr}(\theta) = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (3)$$

bu yerda $K_{to'gr}(\theta)$ – to'g'ridan-to'g'ri radiatsiya uchun optik tuzatma; $b_0 = 0.10$ – oynali yassi kollektor uchun qabul qilingan empirik ko'effitsient; θ – quyosh nuri bilan kollektor yuzasi normali orasidagi burchak. Agar $\cos \theta \leq 0$ bo'lsa, $K_{to'gr}(\theta) = 0$ deb qabul qilindi.

Umumiy optik tuzatma ko'effitsienti radiatsiya komponentlari bo'yicha og'irliklangan holda hisoblandi:

$$K_{umum}(t) = \frac{G_{to'gr}(i)K_{to'gr} + G_{dif}(i)K_{osmon} + G_{qayt}(i)K_{yer}}{G_{qiya}(i)} \quad (4)$$

bu yerda $K_{umum}(t)$ – umumiy optik tuzatma ko'effitsienti; K_{osmon} va K_{yer} mos ravishda osmon diffuz hamda yer sirtidan qaytgan radiatsiya uchun ekvivalent tuzatma ko'effitsientlaridir.

Kollektorning foydali quvvati va yuklamani qoplash ko'rsatkichlari

Kollektor foydali ish ko'effitsienti Hottel–Whillier–Bliss turidagi yassi kollektor energiya balansini asosida baholandi. Bu modelda foydali issiqlik quvvati quyosh radiatsiyasi, optik samaradorlik, issiqlik yo'qotishlari va tashqi muhit harorati bilan bog'lanadi [16,17]. Samarali optik ko'effitsient quyidagicha hisoblandi:

$$(\tau\alpha)_{sam}(t) = (\tau\alpha)_n K_{umum}(t) \quad (5)$$

bu yerda $(\tau\alpha)_{sam}(t)$ – incident burchak ta'siri hisobga olingan samarali optik ko'effitsient; $(\tau\alpha)_n = 0.805$ – normal tushish holatidagi optik samaradorlik.

$$T_{o'rt} = \frac{T_{kir} + T_{chiq}}{2} \quad (6)$$

bu yerda $T_{o'rt}$ – kollektor ichidagi havoning o'rtacha harorati, °C; $T_{chiq} = 55$ °C – kollektor chiqishidagi havo harorati.

$$\eta(t) = F_R \left[(\tau\alpha)_n K_{umum}(t) - \frac{U_L(T_{o'rt} - T_{muh})}{G_{qiya}(i)} \right] \quad (7)$$

bu yerda $\eta(t)$ – kollektorning soatbay foydali ish ko'effitsienti; $F_R = 0.90$ – issiqlikni olib chiqish ko'effitsienti; $U_L = 5.0$ $W/(m^2 \cdot K)$ – umumiy issiqlik yo'qotish ko'effitsienti.

$$Q_{foy}(t) = A G_{qiya}(i) \eta(t) \quad (8)$$

bu yerda $Q_{foy}(t)$ – kollektorning soatbay foydali issiqlik quvvati, W; $A = 2$ m^2 – kollektor yuzasi.

$$Q_{foy,kvt}(t) = \frac{Q_{foy}(t)}{1000} \quad (9)$$

Quritish qurilmasining hisobiy issiqlik yuklamasi $P_{yuk} = 1.164 \text{ kW}$ deb qabul qilindi. 8 soatlik ish rejimida kunlik issiqlik energiyasi talabi:

$$Q_{yuk,kun} = P_{yuk} t \quad (10)$$

$$Q_{yuk,kun} = 1.164 \times 8 = 9.312 \quad (11)$$

Kollektorning quritgich issiqlik yuklamasini qoplash darajasi quyidagicha hisoblandi:

$$f_{qop}(t) = \frac{Q_{foy}(t)}{P_{yuk}} \times 100 \quad (12)$$

$$f_{qop}(t) = 100\%, \quad Q_{foy}(t) \geq P_{yuk} \quad (13)$$

Kunlik foydali quyosh issiqlik energiyasi va kunlik qoplash ulushi quyidagicha aniqlandi:

$$Q_{quyosh,kun} = \sum_{i=1}^n Q_{foy}(t_i) \Delta t \quad (14)$$

$$f_{kun} = \frac{Q_{quyosh,kun}}{Q_{yuk,kun}} \times 100 \quad (15)$$

Yordamchi quvvat va havo sarfi

Kollektor foydali quvvati quritgich yuklamasidan kam bo'lgan soatlarda yetishmaydigan qism yordamchi issiqlik manbai hisobidan qoplanadi:

$$P_{yord}(t) = P_{yuk} - Q_{foy}(t) \quad (16)$$

$$P_{yord}(t) = 0, \quad Q_{foy}(t) \geq P_{yuk} \quad (17)$$

$$Q_{yord,kun} = \sum_{i=1}^n P_{yord}(t_i) \Delta t \quad (18)$$

Kollektor orqali o'tishi zarur bo'lgan havo sarfi foydali issiqlik balansi asosida aniqlandi:

$$Q_{foy}(t) = \dot{m}(t) c_p (T_{chiq} - T_{kir}) \quad (19)$$

$$\dot{m}(t) = \frac{Q_{foy}(t)}{c_p (T_{chiq} - T_{kir})} \quad (20)$$

$$\dot{V}(t) = \frac{\dot{m}(t)}{\rho} \quad (21)$$

$$\dot{V}_{hajm,h}(t) = \dot{V}(t) \times 3600 \quad (22)$$

bu yerda $\dot{m}(t)$ – havoning massaviy sarfi, kg/s; $c_p = 1.005 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ – havoning solishtirma issiqlik sig'imi; ρ – havo zichligi, kg/m³; $\dot{V}_{hajm,h}(t)$ – hajmiy havo sarfi, m³/h.

Natijalar

Metodika bo'limida keltirilgan hisoblash shartlari asosida quyosh havo kollektorining sentyabr va oktyabr oylari uchun soatbay energetik ko'rsatkichlari aniqlandi. Tahlilda kollektor qiya tekisligiga tushuvchi quyosh radiatsiyasi, foydali issiqlik quvvati, quritgich issiqlik yuklamasini qoplash ulushi, yordamchi issiqlik quvvati va quritish agentini 55 °C darajada ta'minlash uchun zarur bo'lgan havo sarfi baholandi.

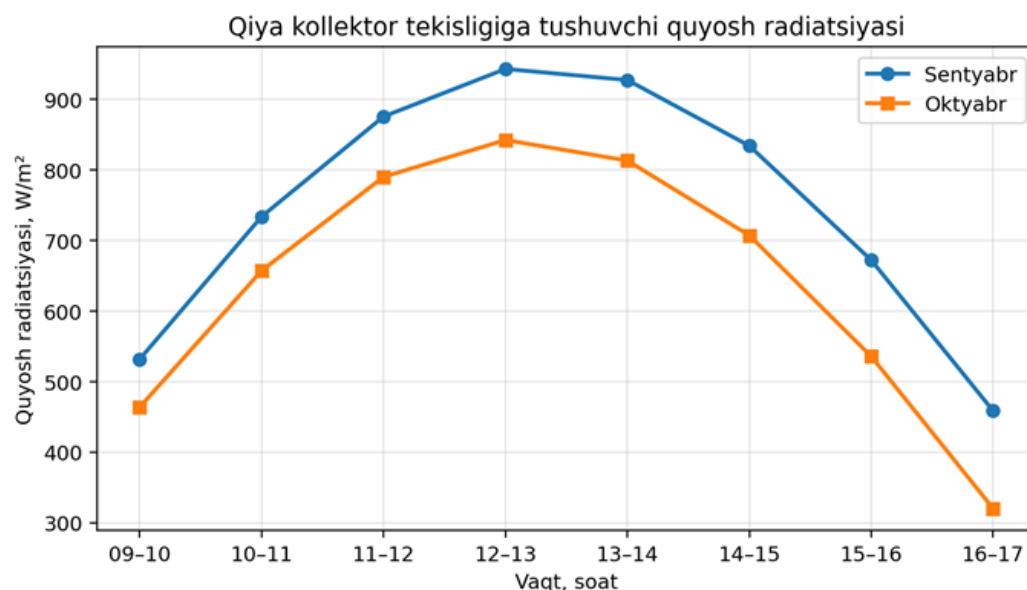


Figure 1. Hourly variation of solar radiation incident on the inclined collector surface in September and October.

Rasm 1. Sentyabr va oktyabr oylarida qiya kollektor tekisligiga tushuvchi quyosh radiatsiyasining soatbay o'zgarishi.

1-rasmda sentyabr va oktyabr oylarida kollektor qiya tekisligiga tushuvchi umumiy quyosh radiatsiyasining soatbay o'zgarishi ko'rsatilgan. Har ikki oyda ham radiatsiya qiymati ertalabki soatlardan boshlab ortib boradi, tushlik vaqtida maksimal qiymatga yetadi va kunning ikkinchi yarmida pasayadi. Bu quyosh balandligi va nurlarning kollektor tekisligiga tushish burchagi bilan bog'liq tabiiy qonuniyatni ifodalaydi(rasm 1).

Maksimal Gqiya(i) qiymati sentyabr oyida 12:00–13:00 oralig'ida 943.34 W/m² ni, oktyabr oyida esa shu vaqt oralig'ida 842.63 W/m² ni tashkil etdi. 09:00–17:00 oralig'ida kollektor tekisligiga tushgan jami energiya sentyabrda 11.956 kW·h/kun, oktyabrda 10.262 kW·h/kun bo'ldi. Demak, oktyabr oyida kiruvchi quyosh energiyasi sentyabr oyiga nisbatan taxminan 14.2 % ga kamaygan. Bu farq keyingi bosqichlarda kollektor foydali quvvati, qoplash ulushi va yordamchi energiya ehtiyojiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Quyosh havo kollektorining foydali issiqlik quvvati quritgichning hisobiy issiqlik yuklamasi bilan solishtirilgan. Quritgich yuklamasi $Pyuk=1.164$ kW deb qabul qilingan. Sentyabr oyida kollektor foydali quvvati 09:00–10:00 oralig'ida 0.591 kW bo'lgan bo'lsa, tushlik vaqtiga kelib 1.211 kW gacha oshgan. 12:00–13:00 va 13:00–14:00 oralig'ida kollektor quvvati quritgich yuklamasiga teng yoki undan yuqori bo'ldi(rasm 2).

Bu holat sentyabr oyida kunning eng qulay quyoshli davrida quritish jarayonini deyarli to'liq quyosh energiyasi hisobiga olib borish mumkinligini ko'rsatadi. 11:00–12:00 va 14:00–15:00 oralig'ida ham kollektor quvvati yuklamaga yaqin bo'lib, yordamchi issiqlik manbaiga ehtiyoj juda kam bo'ladi.

Oktyabr oyida esa kollektor foydali quvvati nisbatan past bo'ldi. Maksimal qiymat 12:00–13:00 oralig'ida 1.028 kW ni tashkil etdi. Bu qiymat quritgichning hisobiy yuklamasidan kichik bo'lgani sababli, oktyabr oyida barcha soatlarda qo'shimcha issiqlik manbaiga ehtiyoj saqlanib qoladi. Shunday bo'lsa ham, 11:00–14:00 oralig'ida kollektor foydali quvvati yuklamaga ancha yaqinlashadi va yordamchi energiya sarfini sezilarli kamaytiradi.

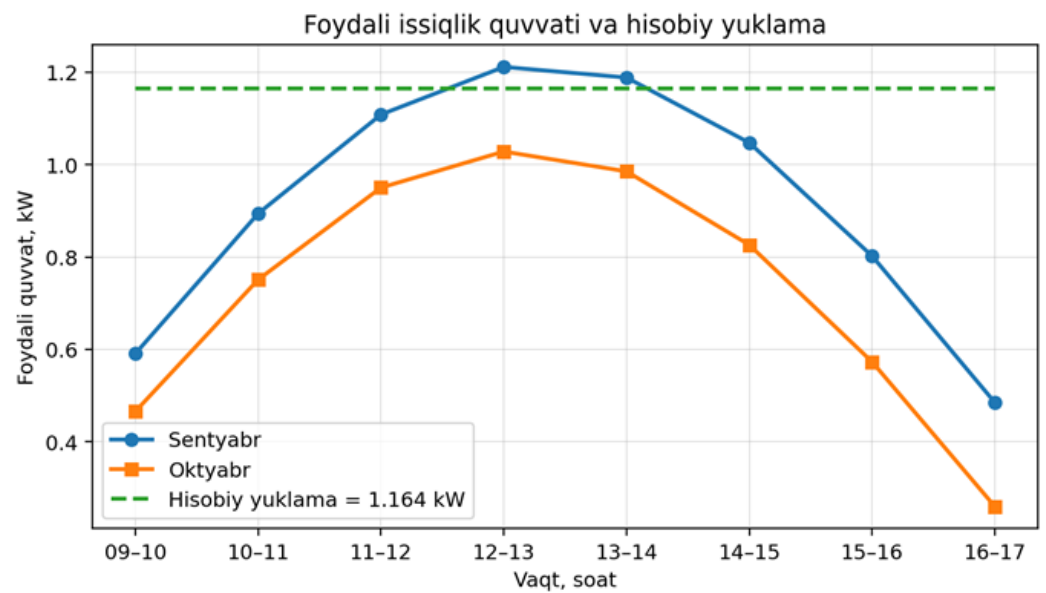


Figure 2. Comparison of the useful thermal power of the collector and the calculated thermal load of the dryer.

Rasm 2. Kollektor foydali issiqlik quvvati va quritgichning hisobiy issiqlik yuklamasi taqqoslanishi.

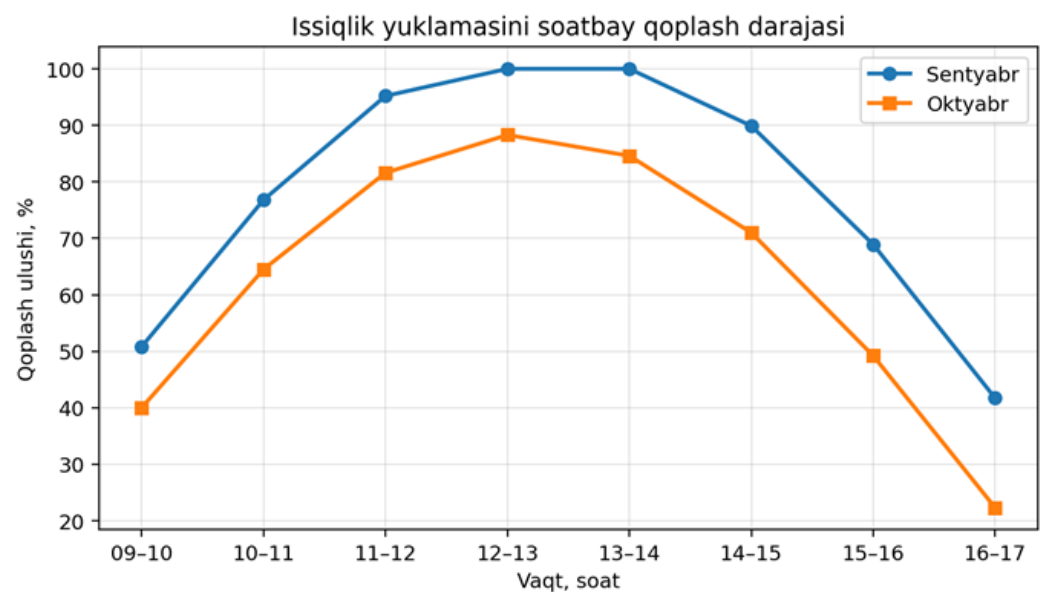


Figure 3. Hourly thermal load coverage provided by the solar air collector.

Rasm 3. Quyosh havo kollektorining issiqlik yuklamasini soatbay qoplash darajasi.

Kollektorning quritgich issiqlik yuklamasini qoplash darajasi soatbay kesimda berilgan. Sentyabr oyida qoplash darajasi 41.7–100.0 % oralig'ida o'zgardi. Eng past qoplash ulushi 16:00–17:00 oralig'ida, eng yuqori qiymatlar esa 12:00–14:00 oralig'ida kuzatildi. Aynan shu vaqt oralig'ida kollektor quritgichning hisobiy issiqlik yuklamasini to'liq qoplad(rasm 3).

Oktyabr oyida qoplash darajasi 22.3–88.3 % oralig'ida bo'ldi. Eng yuqori qoplash darajasi 12:00–13:00 oralig'ida qayd etildi. Biroq oktyabr oyida qoplash darajasi hech bir soatda 100 % ga yetmadi. Bu holat mavsum oxiriga borib quyosh radiatsiyasi kamayishi va tashqi havo haroratining pasayishi kollektorning quritgich yuklamasini to'liq ta'minlash imkoniyatini cheklashini ko'rsatadi.

Kunlik energiya balansi bo'yicha kollektor sentyabr oyida 7.326 kW·h/kun, oktyabr oyida esa 5.839 kW·h/kun foydali quyosh issiqlik energiyasi berdi. Quritgichning kunlik issiqlik talabi 9.312 kW·h/kun bo'lganda, qoplash ulushi mos ravishda 77.9 % va 62.7 % ni tashkil etdi. Bu natija quyosh havo kollektori quritish tizimida asosiy quyosh-issiqlik moduli sifatida yordamchi issiqlik manbaiga bo'lgan ehtiyojni kamaytirishini ko'rsatadi.

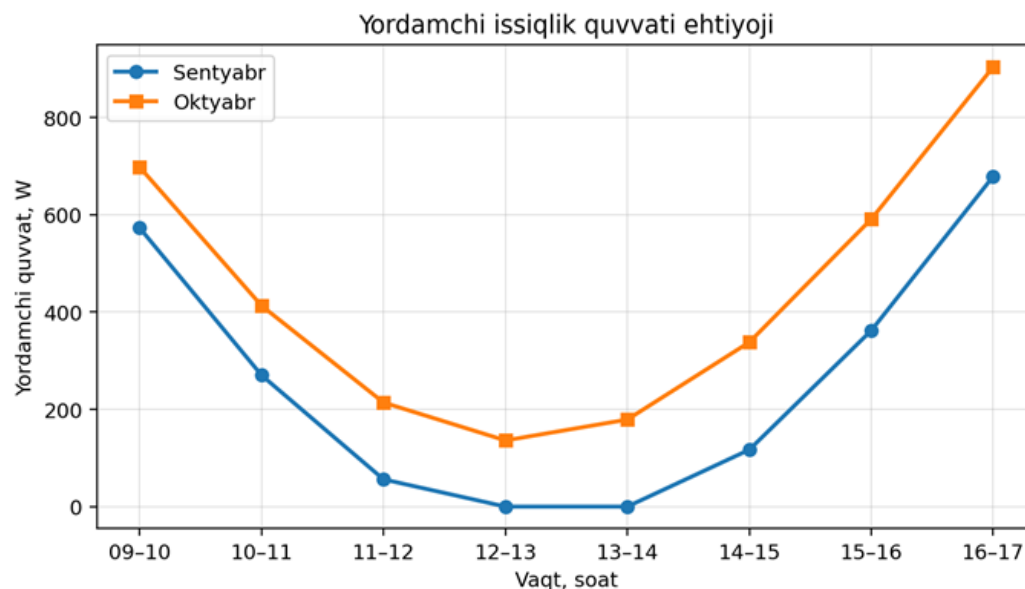


Figure 4. Hourly demand for auxiliary thermal power during the drying process.

Rasm 4. Quritish jarayonida yordamchi issiqlik quvvatiga bo'lgan soatbay ehtiyoj.

Kollektor foydali quvvati quritgich yuklamasidan kam bo'lgan soatlarda zarur bo'ladigan yordamchi issiqlik quvvati ko'rsatilgan. Sentyabr oyida yordamchi quvvat ehtiyoji asosan ertalabki va kechki soatlarda yuqori bo'ldi. 09:00–10:00 oralig'ida 573 W, 16:00–17:00 oralig'ida esa 679 W yordamchi quvvat talab qilindi. 12:00–14:00 oralig'ida esa kollektor yuklamani to'liq qoplagani sababli yordamchi quvvat talab qilinmadi (rasm 4).

Oktyabr oyida yordamchi issiqlik quvvati barcha soatlarda talab qilindi. Eng yuqori qiymat 16:00–17:00 oralig'ida 904 W bo'ldi. Bu oktyabr oyida quyosh energiyasi ulushi kamaygani va quritgich ish rejimini saqlash uchun qo'shimcha issiqlik manbai zarurligini ko'rsatadi.

Kunlik hisobda yordamchi energiya ehtiyoji sentyabrda 2.057 kW·h/kun, oktyabrda esa 3.473 kW·h/kun ni tashkil etdi. Oktyabr oyida yordamchi energiya ehtiyojining ortishi kollektorni yakka issiqlik manbai emas, balki boshqariladigan gibril quritish tizimining asosiy quyosh-issiqlik moduli sifatida qo'llash zarurligini asoslaydi.

Kollektor foydali quvvatiga mos ravishda quritish agentini 55 °C darajada ta'minlash uchun zarur bo'lgan hajmiy havo sarfi ko'rsatilgan. Sentyabr oyida havo sarfi 54.6–136.4 m³/h oralig'ida o'zgardi. Maksimal qiymat 12:00–13:00 oralig'ida kuzatildi. Oktyabr oyida esa havo sarfi 22.3–88.1 m³/h oralig'ida bo'ldi (rasm 5).

Bu natija shuni ko'rsatadiki, kollektor foydali quvvati oshgan sari undan samarali foydalanish uchun havo sarfini ham oshirish talab etiladi. Aksincha, radiatsiya past bo'lgan ertalabki va kechki soatlarda havo sarfini kamaytirish chiqish haroratini barqaror ushlab turishga yordam beradi. Shu sababli quritish agenti haroratini 50–55 °C oralig'ida boshqarish uchun tezligi rostlanadigan ventilator qo'llash maqsadga muvofiq.

Hisoblangan maksimal havo sarfi sentyabrda 136.4 m³/h, oktyabrda 88.1 m³/h bo'ldi. Amaliy qurilmada havo yo'llari, burilishlar va quritish kamerasidagi aerodinamik qarshiliklarni hisobga olib, 160–200 m³/h diapazonda tezligi rostlanadigan ventilator tanlash tavsiya etiladi.

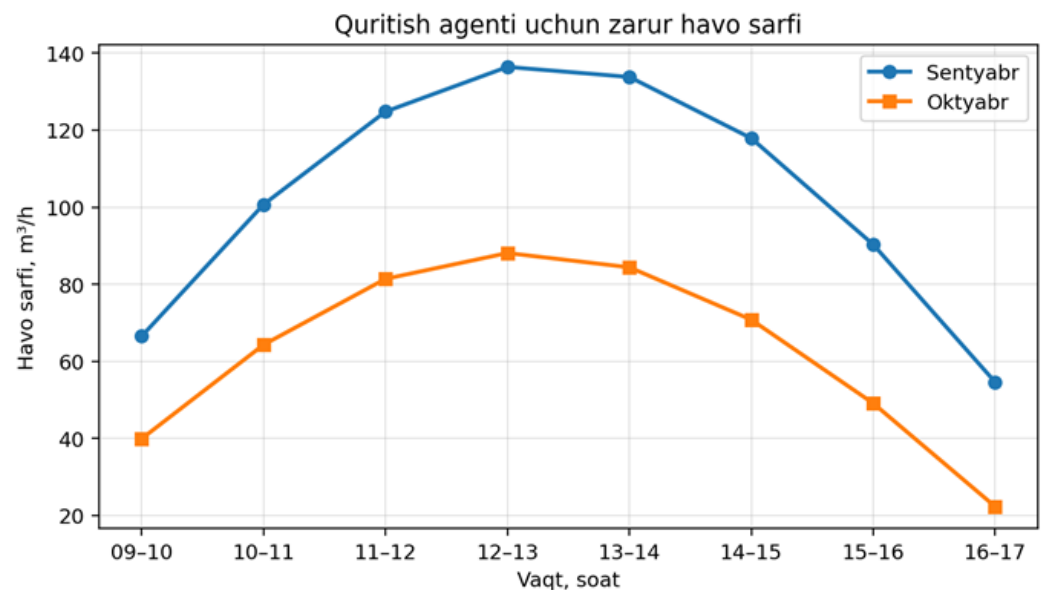


Figure 5. Required volumetric airflow rate to maintain the drying agent temperature at 55 °C.

Rasm 5. Quritish agenti haroratini 55 °C darajada ta'minlash uchun zarur hajmiy havo sarfi.

Table 1. Summary energy performance indicators of the collector in September and October.

Jadval 1. Sentyabr va oktyabr oylarida kollektorning umumlashtirilgan energetik ko'rsatkichlari.

Ko'rsatkich	Sentyabr	Oktyabr
Kollektor tekisligiga tushgan energiya, kW · h/kun	11.956	10.262
Foydali quyosh issiqlik energiyasi, kW · h/kun	7.326	5.839
Quritish yuklamasi, kW · h/kun	9.312	9.312
Yordamchi energiya, kW · h/kun	2.057	3.473
Kunlik qoplash ulushi, %	77.9	62.7
Maksimal foydali quvvat, kW	1.211	1.028
Maksimal havo sarfi, m ³ /h	136.4	88.1

1-jadvaldan ko'rinadiki, sentyabr oyida kollektor tekisligiga tushgan quyosh energiyasi ham, foydali issiqlik energiyasi ham oktyabr oyiga nisbatan yuqori bo'lgan. Natijada sentyabrda quritgich issiqlik yuklamasining 77.9 % qismi quyosh energiyasi hisobidan qoplandi. Oktyabrda bu ko'rsatkich 62.7 % gacha kamaydi (Jadval 1).

Umuman olganda, natijalar quyosh havo kollektorining samaradorligini faqat maksimal foydali quvvat bilan baholash yetarli emasligini ko'rsatdi. Kollektorning quritish tizimidagi haqiqiy texnologik qiymati uning quritgich yuklamasini kun davomida qaysi soatlarda va qanday ulushda qoplay olishi bilan belgilanadi. Sentyabr oyida kollektor asosiy quyosh-issiqlik manbai sifatida quritish jarayonini yuqori darajada ta'minladi, oktyabr oyida esa yordamchi issiqlik manbai bilan birgalikda ishlashi zarurligi aniqlandi.

Munozara

Olingan natijalar quyosh havo kollektorini faqat maksimal foydali ish koeffitsienti yoki chiqish havo harorati bo'yicha baholash yetarli emasligini ko'rsatdi. Quritish tizimi uchun asosiy mezon kollektor foydali issiqlik quvvatining quritgichning real issiqlik yuklamasi bilan soatbay mos kelishidir. Shu jihatdan sentyabr oyida aniqlangan 77.9 % kunlik qoplash ulushi quyosh havo kollektorining quritish jarayonida yordamchi issiqlik manbaiga bo'lgan ehtiyojni sezilarli kamaytirishini ko'rsatadi.

Sentyabr oyida kollektorning hisoblangan foydali ish koeffitsienti 0.529–0.642, oktyabr oyida esa 0.406–0.610 oralig'ida bo'ldi. Bu qiymatlar adabiyotlarda don va qishloq xo'jaligi mahsulot-

larini quritishda qo'llanadigan yassi plastinali quyosh havo kollektorlarida keltirilgan samaradorlik diapazonlari bilan mos keladi [15, 16]. Biroq bunday solishtirishni bevosita ustunlik sifatida talqin qilish to'g'ri emas, chunki kollektor geometriyasi, absorber materiali, havo kanali tuzilishi, havo sarfi, qiyalik burchagi, geografik joylashuv va meteorologik sharoitlar har bir tadqiqotda turlicha bo'ladi.

Oktyabr oyida kunlik qoplash ulushi 62.7 % gacha kamaydi. Bu holat kollektor tekisligiga tushuvchi quyosh radiatsiyasining pasayishi va tashqi havo haroratining kamayishi natijasida issiqlik yo'qotishlarining nisbatan ortishi bilan izohlanadi. Shunga qaramay, oktyabr oyida ham quritgich kunlik issiqlik talabining yarmidan ko'prog'i quyosh energiyasi hisobidan ta'minlandi. Bu esa quyosh havo kollektorining mavsum oxirida ham energiya tejovchi asosiy quyosh-issiqlik moduli sifatida qo'llanish imkoniyatini ko'rsatadi. Hisoblashlarda sentyabr oyida yordamchi energiya ehtiyoji 2.057 kW·h/kun, oktyabr oyida esa 3.473 kW·h/kun bo'ldi. Ushbu farq kollektorning energetik samaradorligi mavsumiy sharoitga kuchli bog'liqligini tasdiqlaydi. Shu sababli amaliy qurilmada quyosh havo kollektorini yordamchi issiqlik manbai bilan birgalikda, ya'ni boshqariladigan gibril quritish tizimi tarkibida qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari loyiha-oldi hisoblash bahosi xarakteriga ega. Real sharoitda absorber yuzasining haqiqiy optik xususiyatlari, oynaning ifloslanishi, shamol tezligi, havo kanalidagi bosim yo'qotishlari, ventilator ish rejimi, quritish kamerasining konstruksiyasi va don qatlamining aerodinamik qarshiligi kollektor samaradorligiga ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli keyingi bosqichda kollektor chiqish harorati, havo sarfi, nisbiy namlik, don namligi va energiya sarfi tajriba orqali o'lchanib, hisoblash modeli tajriba natijalari asosida kalibrlanishi zarur.

Xulosa

Beruniy tumani sharoitida quyosh havo kollektorining kungaboqar donini quritish jarayonidagi issiqlik yuklamasini qoplash darajasi soatbay energetik balans asosida baholandi. Kollektor sentyabr oyida quritgichning kunlik issiqlik talabining 77.9 % qismini, oktyabr oyida esa 62.7 % qismini qopladi.

Sentyabr oyida 12:00–14:00 oralig'ida kollektor yuklamani to'liq qopladi, oktyabr oyida esa barcha soatlarda yordamchi issiqlik manbai zarur bo'ldi. Yordamchi energiya ehtiyoji sentyabrda 2.057 kW·h/kun, oktyabrda 3.473 kW·h/kun ni tashkil etdi.

Kollektorning foydali quvvatidan samarali foydalanish va quritish agenti haroratini 50–55 °C oralig'ida boshqarish uchun tezligi rostlanadigan ventilator qo'llash maqsadga muvofiq. Umuman, quyosh havo kollektori kungaboqar, sholi va boshqa qishloq xo'jaligi don mahsulotlarini quritish tizimlarida quritish agentini oldindan isituvchi hamda yordamchi energiya sarfini kamaytiruvchi gibril issiqlik moduli sifatida qo'llanishi mumkin. Bunda har bir mahsulot uchun quritish harorati, havo sarfi va issiqlik yuklamasi alohida aniqlanishi zarur.

Mualliflarning hissalari

Konseptualizatsiya - N.S va B. B.; metodologiya - O. M.; tajribaviy tadqiqotlarni o'tkazish - N.S va B. B.; ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash - B. Baltabayev; natijalarni tahlil qilish - N.S, vizualizatsiya - B. B.; dastlabki qo'lyozmani tayyorlash - N. S.; qo'lyozmani ko'rib chiqish va tahrirlash - B.B va O.M.; ilmiy rahbarlik - O.M. Barcha mualliflar qo'lyozmaning yakuniy versiyasini o'qib chiqdilar va nashrga taqdim etilishiga rozilik bildirdilar.

Authors' contribution

Conceptualization – N.S. and B.B.; methodology – O.M.; conducting experimental research – N.S. and B.B.; data collection and processing – B. Baltabayev; analysis of results – N.S.; visualization – B.B.; preparation of the initial manuscript – N.S.; review and editing of the manuscript – B.B. and O.M.; scientific supervision – O.M. All authors have read the final version of the manuscript and agreed to its submission for publication.

Moliyalashtirish

Ushbu tadqiqot tashqi moliyalashtirish manbalarisiz amalga oshirildi.

Funding source

This research received no external funding.

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Ushbu tadqiqotda insonlar yoki hayvonlar ishtirok etmaganligi sababli maxsus etik ruxsat talab etilmadi. Tadqiqot umumiy ilmiy-etika tamoyillariga muvofiq amalga oshirildi.

Ethics approval

This study did not involve human participants or animals; therefore, specific ethical approval was not required. The research was conducted in accordance with generally accepted principles of scientific ethics.

Nashrga xabardor qilingan rozilik

"Barcha tadqiqot ishtirokchilaridan xabardor qilingan rozilik olindi."

Consent for publication

"Informed consent was obtained from all study participants."

Ma'lumotlar mavjudligi to'g'risidagi bayonot

Ushbu tadqiqot natijalarini tasdiqlovchi ma'lumotlar asosli so'rov asosida tegishli muallifdan olinishi mumkin.

Data Availability Statement

The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Rahmatnomalar

Mualliflar ushbu tadqiqot doirasidagi tajriba-sinov ishlarini o'tkazish uchun zarur laboratoriya sharoitlari va moddiy-texnik imkoniyatlarni yaratib bergan "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti rahbariyatiga samimiy minnatdorchilik bildiradilar.

Acknowledgments

The authors sincerely acknowledge the National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" for providing the laboratory facilities, technical resources, and favorable conditions required to conduct the experimental studies.

Manfaatlar to'qnashuvi

"Mualliflar manfaatlar to'qnashuvi yo'qligini e'lon qiladilar."

Conflict of interest

"The authors declare no conflicts of interest".

Qisqartmalar

PVGIS Photovoltaic Geographical Information System (Fotovoltaik geografik axborot tizimi)
ERA5 Fifth-generation atmospheric reanalysis dataset (Beshinchi avlod atmosfera reanalizi ma'lumotlar)

Adabiyot

- [1] Sagar, V.R.; Kumar, P.S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *J. Food Sci. Technol.* 2010, 47, 15–26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>.
- [2] Mujumdar, A.S., Ed. *Handbook of Industrial Drying*, 4th ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014.
- [3] Ekechukwu, O.V. Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy Convers. Manage.* 1999, 40, 593–613. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00092-2](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00092-2).
- [4] Ekechukwu, O.V.; Norton, B. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Convers. Manage.* 1999, 40, 615–655. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00093-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00093-4).
- [5] El-Sebaei, A.A.; Shalaby, S.M. Solar drying of agricultural products: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.134>.
- [6] Huang, Y.; Cai, S.; Ruan, X.; et al. High drying temperature accelerates sunflower seed deterioration by regulating the fatty acid metabolism, glycometabolism and abscisic acid/gibberellin balance. *Front. Plant Sci.* 2021, 12, 628251. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.628251>.

- [7] Coradi, P.C.; Fernandes, C.H.P.; Peralta, C.C.; Pereira, T.L.; Alves, C.Z.; Guimarães, R.F. Quality of sunflower seeds after drying with different temperatures. *Span. J. Rural Dev.* 2014, 5, 23–32. <https://doi.org/10.5261/2014.GEN4.03>.
- [8] Hii, C.L.; Ong, S.P.; Yap, J.Y.; Putranto, A.; Mangindaan, D. Hybrid drying of food and bioproducts: A review. *Dry. Technol.* 2021, 39, 1554–1576. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914078>.
- [9] Geng, Z.; Li, M.; Zhu, L.; Zhang, X.; Zhu, H.; Yang, X.; Yu, X.; Zhang, Q.; Hu, B. Design and experiment of combined infrared and hot-air dryer based on temperature and humidity control with sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *Foods* 2023, 12, 2299. <https://doi.org/10.3390/foods12122299>.
- [10] Madhlopa, A.; Ngwalo, G. Solar dryer with thermal storage and biomass-backup heater. *Sol. Energy* 2007, 81, 449–462. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.08.008>.
- [11] Daghigh, R.; Ruslan, M.H.; Sulaiman, M.Y.; Sopian, K. Review of solar assisted heat pump drying systems for agricultural and marine products. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, 14, 2564–2579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.004>.
- [12] Huld, T.; Müller, R.; Gambardella, A. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Sol. Energy* 2012, 86, 1803–1815. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>.
- [13] European Commission Joint Research Centre. PVGIS data sources and calculation methods. Available online: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en (accessed on 27 June 2026).
- [14] Duffie, J.A.; Beckman, W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2013.
- [15] Kalogirou, S.A. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*, 2nd ed.; Academic Press: Oxford, UK, 2014.
- [16] Gebremicheal, G.H.; Gebremedhin, B.G.; Belay, A.; Gebremedhin, B. Performance evaluation of solar air collector by chimney effect for drying applications. *Acta Technol. Agric.* 2021, 24, 181–186. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0027>.
- [17] Chouikhi, H.; Amer, B.M.A.; Bouadila, S.; Albalawi, F.; Aich, W.; et al. Performance evaluation of an indirect-mode forced convection solar dryer equipped with a PV/T air collector for drying tomato slices. *Sustainability* 2023, 15, 5070. <https://doi.org/10.3390/su15065070>.

Nashriyot javobgar emas/ eslatmasi: Barcha nashrlarda keltirilgan bayonotlar, fikrlar va ma'lumotlar faqat mualliflar va ishtirokchilarga tegishlidir, na Jurnal va na muharrirlar. Jurnal va muharrirlar, mazkur kontentda keltirilgan har qanday g'oyalar, usullar, ko'rsatmalar yoki mahsulotlar natijasida insonlar yoki mulkka yetkazilgan har qanday zarar uchun javobgar emas.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.