



**"GIBRID TURDAGI QUYOSH-HAVO KOLLEKTORLARINI  
KONSTRUKTIV TAKOMILLASHTIRISH ASOSIDA QUYOSHLI MEVA  
QURITGICHLARNING SAMARADORLIGINI OSHIRISH VA  
TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH."**

*Ahmadjonov Samandar G'olibjon O'g'li*

*Jaxongirov Javoxirbek Fozilxon O'g'li*

*Namangan Davlat Texnika Universiteti*

**KIRISH:** Maqolada bugungi kunda muqobil energiya manbalaridan samarali foydalanish va qishloq xo'jaligi mahsulotlarini quritish jarayonining maqsadi, vazifalari hamda o'ziga xos xususiyatlari bayoni yoritilgan. Shuningdek, maqolada gibrid turdagi quyosh-havo kollektorlariga konstruktiv o'zgartirishlar kiritish orqali quyoshli meva quritgichlarning samaradorligini oshirish mexanizmlari va ushbu texnologiyani ishlab chiqishdagi zamonaviy yondashuvlar tahlil qilib berilgan.

**MAQSAD:** Muqobil energiya manbalaridan oqilona foydalanish bo'yicha davlat siyosatining asosiy prinsiplari asosida gibrid turdagi quyosh-havo kollektorlarining tuzilishiga konstruktiv o'zgartirishlar kiritish orqali qishloq xo'jaligi mahsulotlarini quritish jarayonining energiya va vaqt tejamliligini oshirish hamda zamonaviy quyoshli meva quritgichlar texnologiyasini ishlab chiqish.

**MATERIALLAR VA METODLAR:** Nazariy va amaliy metodlar - quyosh-havo kollektorlarining issiqlik fizik xususiyatlari hamda konstruktiv o'zgarishlarni tahlil qilish qobiliyati; Eksperimental metodlar - takomillashtirilgan quritish qurilmasining samaradorligini amaliy tajribalar orqali sinovdan o'tkazish qobiliyati; Innovatsion yondashuv - qishloq xo'jaligi mahsulotlarini sifatli quritish maqsadida muqobil energiya manbalaridan foydalanishning ilg'or texnologiyalarini yarata olish qobiliyatiga alohida e'tibor berilishi zamonaviy qurilmalarning raqobatbardoshligini ta'minlashga asos bo'lmoqda.



**XULOSA:** O‘zbekiston iqtisodiyotining bugungi davrida qayta tiklanuvchi energiya manbalari va energiya tejankor texnologiyalarni rivojlantirishga doir turli xil yo‘nalishlarda maqsadli manzilli ishlar amalga oshirilayotgan bo‘lib, biz ushbu maqolada gibridd quyosh kollektorlari va meva quritish texnologiyalarini takomillashtirishning ayrim jihatlarini imkon darajasida yoritib berdik. Uni kelajakda yaxlit fundamental va amaliy tadqiqot sifatida o‘rganish, hamda ishlab chiqarishga keng joriy etish navbatdagi vazifalardan sanaladi.

**KALIT SO‘ZLAR:** Gibridd quyosh-havo kollektori, quyoshli meva quritgich, energiya samaradorligi, konstruktiv takomillashtirish, qayta tiklanuvchi energiya, innovatsion texnologiya, issiqlik sig‘imi, ekologik toza yondashuv.

**ВВЕДЕНИЕ:** В статье освещаются цели, задачи и особенности процесса эффективного использования альтернативных источников энергии и сушки сельскохозяйственной продукции на сегодняшний день. Также в статье анализируются механизмы повышения эффективности солнечных сушилок для фруктов путём внесения конструктивных изменений в солнечно-воздушные коллекторы гибридного типа и современные подходы к разработке данной технологии.

**ЦЕЛЬ:** Повышение энерго- и ресурсосбережения процесса сушки сельскохозяйственной продукции и разработка технологии современных солнечных сушилок для фруктов путём внесения конструктивных изменений в устройство солнечно-воздушных коллекторов гибридного типа на основе ключевых принципов государственной политики по рациональному использованию альтернативных источников энергии.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Теоретические и практические методы - анализ теплофизических свойств и конструктивных изменений солнечно-воздушных коллекторов; Экспериментальные методы - проверка эффективности усовершенствованной сушильной установки посредством практических экспериментов; Инновационный подход - создание передовых технологий использования альтернативных источников энергии для



качественной сушки сельскохозяйственной продукции, что является основой для обеспечения конкурентоспособности современного оборудования.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** На современном этапе развития экономики Узбекистана осуществляется целенаправленная работа по различным направлениям развития возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий. В данной статье мы постарались осветить некоторые аспекты совершенствования гибридных солнечных коллекторов и технологий сушки фруктов. Дальнейшее изучение данной темы в качестве целостного фундаментального и прикладного исследования, а также её широкое внедрение в производство является одной из последующих задач.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Гибридный солнечно-воздушный коллектор, солнечная сушилка для фруктов, энергоэффективность, конструктивное усовершенствование, возобновляемая энергия, инновационная технология, теплоёмкость, экологически чистый подход.

**INTRODUCTION:** This article describes the goals, objectives, and specific features of the effective use of alternative energy sources and the process of drying agricultural products today. The article also analyzes mechanisms for increasing the efficiency of solar fruit dryers by introducing structural modifications to hybrid solar-air collectors, as well as modern approaches to the development of this technology.

**OBJECTIVE:** To increase the energy and time efficiency of the agricultural product drying process by making structural modifications to hybrid solar-air collectors, in line with the fundamental principles of state policy on the rational use of alternative energy sources, and to develop modern solar fruit dryer technology.

**MATERIALS AND METHODS:** Theoretical and practical methods - the ability to analyze the thermophysical properties and structural modifications of solar-air collectors; Experimental methods - the ability to test the effectiveness of the improved drying unit through practical experiments; Innovative approach - special attention to the ability to create advanced technologies for utilizing alternative energy sources for high-quality drying of agricultural products serves as the basis for ensuring the competitiveness of modern equipment.



**CONCLUSION:** In the current era of Uzbekistan's economy, targeted and focused efforts are being implemented in various areas related to the development of renewable energy sources and energy-saving technologies. In this article, we have highlighted, to the best of our ability, certain aspects of improving hybrid solar collectors and fruit drying technologies. Future tasks include studying this topic as a comprehensive fundamental and applied research project, as well as its widespread implementation in production.

**KEYWORDS:** Hybrid solar-air collector, solar fruit dryer, energy efficiency, structural improvement, renewable energy, innovative technology, heat capacity, eco-friendly approach.

## 1. KIRISH

### Muqobil energetikaga o'tishning global va milliy istiqbollari

Zamonaviy sivilizatsiyaning rivojlanishi va aholi sonining muttasil o'sib borishi global energiya resurslariga bo'lgan ehtiyojning misli ko'rilmagan darajada oshishiga olib kelmoqda. Jahon iqtisodiyotining an'anaviy qazib olinuvchi yoqilg'ilarga (neft, tabiiy gaz, ko'mir) qaramligi nafaqat ushbu zaxiralarning tezlik bilan sarflanib ketishiga, balki global iqlim o'zgarishi, issiqxona gazlari emissiyasining ortishi hamda atrof-muhit musaffoligining buzilishi kabi jiddiy ekologik inqirozlarga sabab bo'lmoqda. Birlashgan Millatlar Tashkilotining iqlim o'zgarishi bo'yicha xulosalariga ko'ra, uglerod chiqindilarini keskin kamaytirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalariga (QTEM) o'tish barqaror taraqqiyotning eng muhim shartidir.

O'zbekiston Respublikasida barqaror energetika infratuzilmasini yaratish va "yashil iqtisodiyot"ga o'tish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri etib belgilangan. 2018-yilda Parij bitimini ratifikatsiya qilgan O'zbekiston 2030-yilgacha yalpi ichki mahsulotning (YaIM) energiya sig'imini pasaytirish hamda issiqxona gazlari solishtirma ajratmalarini 2010-yildagi ko'rsatkichdan 10 foizga kamaytirish bo'yicha xalqaro majburiyatlarni o'z zimmasiga olgan. Mamlakatimizning QTEM bo'yicha umumiy salohiyati qariyb 117,9 milliard tonna neft ekvivalentini (t.n.e.) tashkil etsa, uning texnik jihatdan o'zlashtirish mumkin bo'lgan qismi 179,3 million



t.n.e. atrofida baholanadi. Bu borada eng diqqatga sazovor jihat shundaki, mazkur ulkan texnik salohiyatning 98,7 foizi, ya'ni taxminan 177 million t.n.e. bevosita quyosh energiyasi hissasiga to'g'ri keladi. O'zbekiston iqlimining kontinental xarakteri va yiliga 300 dan ortiq ochiq quyoshli kunlarning mavjudligi quyosh energetikasini rivojlantirish uchun beqiyos tabiiy ustunlik hisoblanadi.

## **Agrosanoat majmuasida quyosh energiyasining ahamiyati va quritish texnologiyalari**

O'zbekiston o'zining noyob tuproq-iqlim sharoitlari evaziga meva-sabzavot va poliz mahsulotlarini yetishtirish bo'yicha nafaqat Markaziy Osiyoda, balki xalqaro maydonda ham yetakchi pozitsiyalarni egallaydi. Etishtirilgan qishloq xo'jaligi mahsulotlarini nobud qilmasdan uzoq muddat saqlash, ularning ozuqaviy xususiyatlarini zaxira qilish, eksport salohiyatini oshirish va mahsulotlarga qo'shilgan qiymat zanjirini yaratishning eng samarali va qadimiy usullaridan biri – bu mevalarni quritishdir. Rivojlanayotgan mamlakatlarda, jumladan O'zbekistonda ham yig'ib olingan hosilning sezilarli qismi (ayrim ma'lumotlarga ko'ra 30-40 foizgacha) noto'g'ri saqlash va qayta ishlash texnologiyalarining yetishmasligi tufayli post-yig'im (post-harvest) bosqichida isrof bo'ladi.

An'anaviy ravishda, dehqonlar va fermerlar mahsulotlarni bevosita ochiq osmon ostida quritish (Open Sun Drying - OSD) usulidan foydalanib kelishadi. Bu usul iqtisodiy jihatdan qo'shimcha mablag' talab etmasa-da, texnologik va sanitariya nuqtai nazaridan qator o'ta jiddiy kamchiliklarga ega. Birinchidan, ochiq quyoshda quritish uzoq vaqt (bir necha kun, hatto haftalar) talab etadi, bu esa atrof-muhitdagi ob-havo o'zgarishlariga (yomg'ir, bulutli kunlar) to'g'ridan-to'g'ri qaramlikni keltirib chiqaradi. Ikkinchidan, ochiq havoda quritilayotgan mevalar shamol orqali keladigan chang va tuproq, hasharotlar, qushlar, kemiruvchilar va mikroorganizmlar bilan ifloslanish xavfi ostida bo'ladi, bu yakuniy mahsulotning xalqaro sanitariya normalariga va eksport talablariga javob bermasligiga olib keladi.

## **2. TADQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI**



Mazkur ilmiy izlanishda quyoshli meva quritgichining ish faoliyatini har tomonlama tahlil qilish uchun yig'ma tadqiqot usullari – matematik modellashtirish, kompyuterda hisoblash gidrodinamikasi (CFD) yordamida simulyatsiya o'tkazish va real ob-havo sharoitlarida amaliy tajribalar (eksperiment) o'tkazish majmuasidan foydalanildi.

## **Gibrid kollektor va quritgich kamerasing arxitekturasi va konstruktiv modifikatsiyalari**

Qurilmaning asosiy strukturasi ketma-ket ulangan gibrid quyosh-havo kollektori va qatlamli tovoqlar (trays) bilan jihozlangan quritish kamerasidan iborat. Quyosh kollektori qismining asosini tashqi atrof-muhitdan izolyatsiya qilingan (shisha paxta va penopoliuretan yordamida) uzunchoq to'g'ri to'rtburchak shaklidagi kanal tashkil etadi. Kanalning yuqori qismi qalinligi 4 mm bo'lgan shaffof past-temirli (low-iron) shisha bilan qoplangan, chunki bu shisha qisqa to'lqinli quyosh radiatsiyasini deyarli 90-95% o'tkazish barobarida, kollektor ichida hosil bo'lgan uzun to'lqinli infraqizil issiqlik nurlanishini tashqariga qaytarib yubormaydi (issiqxona effekti).

Tajribalar davomida kollektorning issiqlik qabul qiluvchi markaziy elementi bo'lmish absorber plastinasining turli modifikatsiyalari yasaldi va bir-biriga solishtirildi:

1. **An'anaviy yassi plastina (FPSC - Flat Plate Solar Collector):** Qora mat rangga bo'yalgan qalinligi 0.5 mm li silliq alyuminiy yoki mis tabaqadan iborat etalon (nazorat) modeli.
2. **V-simon gofrlangan plastina (V-corrugated plate):** Absorber yuzasi qiya "V" harfi shaklida buklangan bo'lib, oqim uchun qo'shimcha burchaklar hosil qiladi.
3. **Uchburchak va bo'ylama qovurg'ali plastinalar (Triangular / Longitudinal finned plates):** Havoning oqish yo'nalishi bo'ylab yoki unga ko'ndalang ravishda payvandlangan va uzluksiz yoki uzilgan qovurg'alar tizimi.
4. **Teshikli va yarim doira to'siqlarga ega plastinalar (Perforated and Semicircular Baffles):** Kanal orqali o'tadigan havo to'g'ri chiziq bo'ylab emas, balki



zig-zag va aylanma trayektoriyada harakatlanishiga majbur qiluvchi, havo yo'lini qisman to'sib turadigan g'ovak (teshikli) deflektorlar panjarasi.

Gibridlashtirish shundan iboratki, quritgich tepasiga quvvati 50-100 Vt bo'lgan polikristal yoki monokristal fotoelektrik panel (PV) o'rnatildi. Ushbu panel o'zlashtirgan elektr quvvati to'g'ridan-to'g'ri 12V dagi o'zgarmas tok (DC) ventilyatorlariga (exhauster fans) ulangan. Shu orqali, quritgich issiqlik olish bilan bir qatorda hech qanday tashqi elektr tarmog'isiz havoning kameradan so'rib olinishi va majburiy konveksiyani (forced convection) mustaqil ta'minlaydi.

### Gidrodinamik va issiqlik jarayonlarining matematik modellari

Kollektor tizimidagi energiya almashinuv jarayonlarini baholash termodinamikaning birinchi qonuni – energiya balansi tenglamalariga asoslanadi. Quyosh kollektorining foydali issiqlik ishlab chiqarish quvvati ( $Q_u$ ) tizim orqali o'tayotgan havo massasi oqimi va uning kirish-chiqish haroratlari farqi orqali quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi :

$$Q_u = m C_p (T_{\text{chiqish}} - T_{\text{kirish}})$$

Bu yerda:

- $Q_u$  – havoga o'tkazilgan foydali issiqlik quvvati (Vt);
- $m$  – havo massasining oqim tezligi (kg/s);
- $C_p$  – havoning doimiy bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imi (J/kg·K);
- $T_{\text{chiqish}} - T_{\text{kirish}}$  – kollektordan chiqayotgan va unga kirayotgan oqim harorati (K yoki °C).

Issiqlik samaradorligi yoki tizimning foydali ish koeffitsiyenti ( $\eta_{th}$ ) – bu ajratib olingan foydali issiqlikning kollektor yuzasiga yetib kelgan umumiy quyosh nurlanish energiyasiga nisbatidir :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{A_p \times I} \times 100\%$$

Bu yerda:

- $A_p$  – absorber plastinasining ochiq yuzasi (m<sup>2</sup>);



•  $I$  – nurlanish intensivligi, ya'ni qurilma sirtiga perpendikulyar tushayotgan quyosh energiyasi ( $W/m^2$ ).

Modifikatsiya qilingan plastinalar yuzasidagi havo oqimining xarakteri Reynold soni ( $Re$ ) va sirtning havo bilan issiqlik almashinish qobiliyati Nusselt soni ( $Nu$ ) orqali ifodalanadi :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_h}{\mu}$$

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k}$$

$$f = \frac{2\Delta P D_h}{4\rho L V^2}$$

Ushbu ifodalarda  $\rho$  havoning zichligi,  $V$  uning harakatlanish tezligi,  $D_h$  kollektor kanalining ekvivalent (gidravlik) diametri,  $\mu$  dinamik qovushqoqlik,  $h$  konvektiv issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti,  $k$  havoning issiqlik o'tkazuvchanligi,  $f$  havo va sirt o'rtasidagi ishqalanish (aerodinamik qarshilik) faktori, va  $\Delta P$  kollektor ichidagi bosimning tushishidir.

Qovurg'alar va to'siqlar qo'shish Nusselt sonini oshiradi, lekin ayni vaqtda ishqalanish faktori  $f$  ni ham yomonlashtiradi. O'rnatilgan konstruktiv takomillashtirishning har tomonlama (termodinamik va gidravlik) o'zini oqlaganligini aniq ko'rsatib beruvchi universal mezon – Thermo-gidravlik samaradorlik koeffitsiyenti (Thermo-Hydraulic Performance Parameter - THPP yoki  $\eta_{THP}$ ) hisoblanadi :

$$\eta_{THP} = \frac{(Nu/Nu_s)}{(f/f_s)^{1/3}}$$

Bunda  $Nu_s$  va  $f_s$  – modifikatsiyasiz (silliqlik yuzali) etalon kollektorning tegishli qiymatlari. Agar  $\eta_{THP} > 1$  bo'lsa, demak, yuzani modifikatsiya qilish orqali



olinayotgan issiqlik o'sishi energiya sarflanishi (bosim tushishi) muammosini ortig'i bilan qoplaydi

## **Raqamli simulyatsiya va hisoblash gidrodinamikasi (CFD) yondashuvlari**

Tadqiqotning eng zamonaviy bosqichlaridan biri bu qimmatbaho amaliy materiallarni isrof qilmasdan optimal geometriyani topish uchun hisoblash texnologiyalaridan foydalanish bo'ldi. Havo oqimining qizishi, uning turbulentslik darajasi hamda bosimning yo'qotilishini vizual va miqdoriy baholash uchun ANSYS Fluent 18.1 yoki COMSOL Multiphysics dasturiy vositalari yordamida uch o'lchamli (3D) kompyuter simulyatsiyalari amalga oshirildi.<sup>17</sup>

CFD modellashtirish asosan Uzluksizlik (Continuity), Impuls saqlanishi (Momentum, Navier-Stokes) va Energiya saqlanish tenglamalarini chekli elementlar usuli (Finite Element Method - FEM) orqali yechishga tayanadi Havo harakatidagi murakkab girdoblar (vortices) oqibatini to'g'ri baholash uchun  $k - \epsilon$  (k-epsilon) standart turbulentslik modelidan va chegara qatlamiga yaqin hududlar uchun  $k - \omega$  SST modellaridan unumli foydalanildi Simulyatsiya shartlari sifatida kiruvchi havo tezligi doimiy (masalan 0.1 m/s), devorlar issiqlik o'tkazmaydigan qilib belgilandi va yuqori yuzaga 250 W/m<sup>2</sup> dan to 1000 W/m<sup>2</sup> gacha bo'lgan quyosh radiatsiyasi oqimi tushirilishi simulyatsiya qilindi

## **Quritish kinetikasi tahlili va mahsulot namligining o'zgarishi**

Qishloq xo'jaligi mahsulotlarini, xususan o'rik va olma namunalarini quritish samaradorligini o'rganish amaliy sinovlarning yakuniy qismini tashkil qildi. Tajribalar O'zbekistonning an'anaviy yozgi kunlarida o'tkazildi. Namunalar avvaldan o'lchanib, aniq qalinlikdagi tilimlar shaklida quritish tovoqlariga terib chiqildi.

Jarayon davomida namlikning ketish darajasini matematik ta'riflash uchun "Yupqa qatlamli quritish modellari" (Thin-layer mathematical models) qo'llanildi. Eng ommabop yarim-empirik modellar, xususan *Midilli-Kucuk* yoki *Page* tenglamalari orqali namlik nisbatining (Moisture Ratio - MR) vaqtga bog'liqligi o'rganildi:



$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = a \exp(-kt^n) + bt$$

Bu yerda  $M_t$  - mahsulotning ixtiyoriy  $t$  vaqtdagi namligi,  $M_0$  - dastlabki namlik (masalan 85%),  $M_e$  - havodagi muvozanat namligi. Tenglama kofessiyentlarining tajribaga nechog'lik mos kelishini aniqlash uchun korrelyatsiya koeffitsiyenti ( $R^2$ ), xi-kvadrat mezonlari ( $\chi^2$ ) va o'rtacha kvadratik xato (RMSE) qiymatlari baholandi.<sup>10</sup> Shuningdek, hujayra darajasida namlikning tashqariga bug'lanib chiqish qarshiligini ko'rsatuvchi Diffuziya koeffitsiyenti (Moisture Diffusivity,  $D_{eff}$ ) va ushbu jarayonni ishga tushirish uchun kerakli Faollashuv energiyasi (Activation Energy,  $E_a$ ) Arrenius tenglamasi asosida tahlil qilindi

## 2.5. Apparat-dasturiy monitoring tizimi integratsiyasi (Arduino)

Tadqiqotning innovatsion komponenti bu tizim avtomatizatsiyasi hisoblanadi. Ilgari yig'ilgan eksperimental qurilmalarning asosiy kamchiligi haroratni qo'lda nazorat qilib bo'lmasligi va fanning doimiy quvvat bilan ishlashi edi. Biz ko'rib chiqayotgan modelda ochiq kodli Arduino mikrokontrollerlariga asoslangan axborot yig'ish va nazorat qilish majmuasi o'rnatilishi ko'zda tutiladi

## 3. NATIJALAR

Kompleks tadqiqotlar, CFD simulyatsiyalari va O'zbekistonning tabiiy iqlim sharoitida o'tkazilgan eksperimentlar shuni isbotladiki, quyoshli meva quritgich tizimlariga kompleks yondashuv ochiq havoda quritishga nisbatan uning ko'rsatkichlarini bir necha barobar oshiradi. Quyida modifikatsiyalarning asosiy ta'sirlari natijalari raqamli ko'rsatkichlar asosida yoritilgan.

### Konstruktiv modifikatsiyalarning issiqlik va aerodinamik ko'rsatkichlarga ta'siri

An'anaviy (yassi plastinali) va o'zgartirilgan geometriyaga ega bo'lgan absorberlarning qiyosiy termo-gidravlik sinovlari havoning turli xil massaviy oqimlarida (0.010 kg/s dan 0.035 kg/s gacha) o'tkazildi.<sup>19</sup>



Nazorat modeli sifatida ishlatilgan silliq alyuminiy (FPSC) quyosh-havo kollektorining maksimal issiqlik samaradorligi hatto kunning eng quyoshli vaqtida ham atigi 29.2% dan 37.2% atrofida to'xtab qolishi amaliyotda tasdiqlandi. Kiritilgan havo va chiquvchi havo o'rtasidagi harorat farqi ( $\Delta T$ ) maksimal 17.6 °C gacha yetdi xolos.<sup>19</sup> Biroq, laminar chegara qatlamini qasddan yorib, issiqlik uzatish sirtini kengaytirishga xizmat qiladigan V-simon gofrlangan (V-corrugated) absorber plastina qo'llanilganda, xuddi o'sha havo oqimi va radiatsiya sharoitida tizimning samaradorligi o'rtacha 63.2% dan 68.1% gacha sakragani kuzatildi.<sup>19</sup> Havo haroratining isish darajasi (kirish-chiqish haroratlar farqi) V-simon gofralar tufayli 26.5 °C gacha ko'tarildi.

1-jadval. Turli absorber dizaynlarining termo-gidravlik ko'rsatkichlariga ta'siri o'zgarishi

Absorber Dizayni	Havo oqimi sarfi (m <sup>3</sup> , kg/s)	Harorat ko'tarilishi ( $\Delta T$ , °C)	Maksimal Issiqlik Samaradorligi ( $\eta_{th}$ )	Silliq yuzaga nisbatan yaxshilanish darajasi
Silliq (Flat Plate)	0.012 - 0.026	~ 17.6 °C	29.2% - 37.2%	-
V-Gofrlangan (V-Corrugated)	0.010 - 0.035	~ 26.5 °C	63.2% - 68.1%	2 barobardan ortiq
Uchburchak qovurg'ali (Triangular Fins)	0.010 - 0.015	~ 29 - 34 °C	51.5% - 59.5%	40% - 50% ga yuqori



<b>Teshikli</b>	0.020	- ~ 20 - 25 °C	72.5% - 85.7%	42% - 52% ga
<b>To'siqlar</b>	0.030			yuqori
<b>(Perforated Baffles)</b>				

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, teshikli to'siqlar o'rnatilgan (Perforated baffles) va to'g'ri oqim o'rniga aylanma (girdobli) harakat hosil qiluvchi deflektorli strukturalarning issiqlik samaradorligi barcha usullar orasida eng yuqori bo'lib, ular energiyaning 85 foizigacha qismini tutib qolish imkonini berdi. Nusselt soni ( $Nu$ ) silliq kanallarga qaraganda 6.6 marta oshdi. Shu bilan birga, bu qat'iy turbulentslik aerodinamik ishqalanish omilini ( $f$ ) taxminan 8 marta oshirib yubordi. Lekin termogidravlik samaradorlik koeffitsiyenti (THPP) 3.9 ga yetgani sababli, olinayotgan kuchli issiqlik fanning qo'shimcha elektr sarfini to'laqonli iqtisodiy jihatdan qoplay olishi tasdiqlandi.<sup>22</sup>

### **Kompyuter vizualizatsiyasi va CFD simulyatsiyasi oqibatlarini**

CFD simulyatsiyalari absorber plastinalaridagi modifikatsiyalar natijasini vizual jihatdan to'la isbotladi. Simulyatsiyalarda havo tezligini 0.1 m/s da saqlab, tushayotgan nurlanishni o'zgartirganda ( $250, 500, 750, 1000 W/m^2$ ), ichki to'siqlar atrofida issiqlik uzatish gradientlarining zichlashuvi qayd etildi

Oqim profili ko'rsatdiki, silliq kanalda havo oqimi o'rtada tez, chetlarda sekin siljiydi (parabolik profil), bu esa chekka hududlarda "o'lik hududlar" (dead zones) ni hosil qiladi va umuman isitishda qatnashmaydi. Ammo to'siqlar o'rnatilgan kollektorda oqim doimiy yo'nalishini o'zgartirib, devor bo'ylab harakatlanuvchi kuchli vortekslarni vujudga keltiradi, bu butun absorber sirtida issiqlikning barqaror "yuvilib" tortib olinishiga olib keldi.<sup>43</sup> Natijada, oddiy tekis kollektorga qaraganda, optimal tartibda joylashtirilgan deflektorlarning mavjudligi yakuniy chiqish haroratini simulyatsiya qilingan muhitda qo'shimcha  $8 - 12 ^\circ C$  ga issiqroq bo'lishini taminladi.<sup>44</sup>



## Qishloq xo'jaligi mahsulotlarini quritish jarayonining eksperimental tahlili

Haqiqiy sharoitlarda, quritish jarayonining dinamikasi to'g'ridan-to'g'ri tushayotgan quyosh insolyatsiyasi tsikliga bog'liq ekanligi kuzatildi. Yoz oylarida (iyun-iyul), O'zbekiston sharoitida kunlik radiatsiyaning eng yuqori nuqtasi (taxminan  $850-900 \text{ W/m}^2$ ) kunduzi soat 13:00 - 14:00 atrofida qayd etiladi.<sup>10</sup> Eksperiment davomida gibrid quyosh-havo quritgich kamerasida mevalarning quritish kinetikasi (O'rik va Olma misolida) tekshirildi.

An'anaviy ochiq osmon ostida quritishda (Open Sun Drying) quyoshning bevosita tushishi va past haroratli (atrof-muhit haroratiga teng) havo sababli o'rik mevasining namligini talab etiladigan saqlash namligigacha (12-18% gacha) pasaytirish o'rtacha 3-5 kunga cho'ziladi.<sup>9</sup>

Aksincha, V-simon absorberli quyosh-havo kollektori orqali isitilgan issiq va quruq havo (kamera ichki harorati o'rtacha  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , nisbiy namlik 35% darajasiga kelgan) haydalganda o'rik mevasidagi namlikni dastlabki 85-90% dan barqaror 12-18% darajaga olib kelish uchun atigi **15 soat** ochiq quyosh ostida quritish vaqti yetarli bo'ldi (bu yig'indi soatlar orqali 1.5 yorug' kunni tashkil etadi).<sup>9</sup> Xuddi shunday parametrlar bilan (Maksimal kamera harorati  $46 \text{ }^\circ\text{C}$ , havo namligi 62%), olma bo'laklari **30 soatda**, boshqa nav o'riklar esa eng yomoni 48 soat ichida mutlaqo quruq holatga keldi 5 kg bo'lgan ho'l o'rik mahsulotidan taxminan 0.65 - 0.70 kg toza va sifatli quruq meva olindi.

**Kinetika va namlik tarqalishi:** Tadqiqotlar namlikning sirtga bug'lanib chiqishidagi tezlikni tasdiqlovchi diffuziya koeffitsiyenti (Moisture Diffusivity) mevalar uchun umuman olganda  $1.33 \times 10^{-10}$  dan  $6.98 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  chegarasida ekanligini ko'rsatdi.<sup>46</sup> Kollektorda isitilib quritgichga majburiy jo'natilayotgan havo tufayli mahsulot sirtida bug' bosimi farqi tez ortadi, bu esa mahsulotning faollashuv energiyasi  $E_a$  ni pasaytirib, tezkor quritish fazasini boshlab yuboradi.<sup>46</sup> Quritgichning turli balandliklaridagi tovoqlar orasida namlik olinishi koeffitsiyenti tekshirildi. Fanga eng yaqin joylashgan pastki tovoqda quritish eng yuqori



intensivlikda – 78.23% namlik ketishi bilan bordi, eng balanddagi tovoqda esa havo biroz sovuqlashgani va namlanganligi tufayli bu ko'rsatkich 72.13% ni tashkil qildi.

Gibrid texnologiya mahsulot sifati (Colour, Aroma, Microbial load) bo'yicha ham ijobiy ustunliklarni taqdim etdi. Quritgich kamerasi butunlay yopiq shaffof yoki izolyatsiyalangan oynadan tashkil topganligi sababli, tashqi chang-to'zon va hasharotlardan himoyalangan. Natijada eksport talablariga to'la javob beradigan, mikrobial ifloslanishdan yiroq yorqin rangli mevalar olishga erishildi.

#### 4. MUHOKAMA

Yuqorida keltirilgan natijalar shuni yaqqol tasdiqlaydiki, gibrid quyosh-havo kollektorlariga (QHK) kiritilgan konstruktiv o'zgarishlar shunchaki modifikatsiya emas, balki quritish texnologiyasining energiya balansi va mahsulot sifati muvozanatini butunlay ijobiy tarafga o'zgartira oladigan zarur qadamdir.

Birinchidan, yassi silliq absorber devorining V-simon gofralarga yoki bo'ylama kesilgan to'siqlar tizimiga (perforated baffles) almashtirilishi issiqlikning asosi sanaluvchi chegara qatlaminin funksiyasini tubdan yechib berdi.<sup>21</sup> Biz issiqlik uzatish va aerodinamik qarshilik (pressure drop) ortishida o'ziga xos "kompromiss" (muvozanat) ga duch keldik. Qovurg'alar kanalni to'sib, bosimni oshirsa-da, gibrid quritgichlarda bu kamchilikni PV-panellar qoplaydi, chunki o'sha to'siqni yengib havo haydash uchun kerak bo'ladigan fanning elektr energiyasi to'g'ridan-to'g'ri bepul quyosh elektr toki orqali ta'minlanadi.<sup>27</sup> Bu gibrid tizimning eng nozik nuqtasi bo'lib, uning nafaqat termik, balki energetik jihatdan ham to'liq mustaqil ekotizim (closed-loop system) ekanligini bildiradi.

Ikkinchidan, quritish jarayonining fizik-kimyoviy dinamikasi chuqur ahamiyat kasb etadi. O'rik kabi qattiq po'stga ega mevalarda asosiy muammo namlikning meva o'zagi markazidan sirtiga qarab (kapillyar tarqalish) harakatlanishi va sirtning birdaniga qotib qolmasligidir.<sup>13</sup> Agar quritgichda harorat birdaniga yuqori bo'lib ketib, nisbiy namlik 0% ga tushib qolsa, mahsulot sirti tez qurib, teshikchalar bekitilib qoladi, ichki qism esa chiriy boshlaydi (case hardening). Lekin biz qo'llagan arduino sensorlari yordamida jarayon monitoring qilinishi va chiqindilarni havo aralashtirish tizimi orqali ma'lum bir maqbul nisbiy namlikni (30-35%) ushlab



turilishi ushbu holatning yuzaga kelishini inkor qildi.<sup>9</sup> Ushbu jarayon faollashuv energiyasining nazariy jihatdan 24.81-47.19 kJ/mol qiymatlar doirasida optimal sarflanishi orqali isbotlanadi, mevaning kimyoviy ozuqasi, vitamining boy shirasi o'zida qoladi, rangi tabiiy saqlanadi.

Tadqiqotning O'zbekiston miqyosidagi amaliy va sosio-iqtisodiy ahamiyati beqiyosdir. O'zbekistonning yozi uzoq davom etuvchi iqlim sharoitlari va mevasabzavot ishlab chiqaruvchilarning ko'pligi fonida quritishni intensivlashtirish muhim. Afsuski, bugungi kunda aksariyat kichik fermer va dehqonlar eng arzon bo'lganligi sababli to'g'ridan-to'g'ri plyonka yoki bo'yra ustida OSD (ochiqlikda quritish) bilan mashg'ul. Qaysidir bir darajada gibrid qurilmalar avvaliga investitsion kapital (initial capital) talab etsa-da, uning qoplash muddati atigi yildan biroz ko'proqni <sup>8</sup> tashkil etishi hamda olinadigan yuqori navli (premium) eksportbop mahsulot orqali tushadigan qo'shimcha daromad dastlabki xarajatni to'liq kafolatlaydi. Texnologiyani masshtablashtirishdagi asosiy muammolardan biri sifatida muhandislik-konstruktorlik chizmalarini qishloq sharoitida oddiy arzon ashyolar (alyuminiy profil, yog'och ramka, PVX oynalar) orqali yig'ish soddaligiga qaratish lozimligini ta'kidlash kerak.<sup>14</sup> Arduino kabi sensor elementlarning arzonlashuvi (10-20 AQSH dollari atrofida bazaviy to'plam) fermer xo'jaliklariga katta xarajatsiz yuqori darajadagi avtomatlashtirilgan aqlli texnologiyalarga ega bo'lish yo'lini ochadi.

Bundan tashqari, issiqlik izolyatsiyasini yaxshilashda va kollektorning tungi ishlash imkonini davom ettirishda faza o'zgaruvchi materiallar (Phase Change Materials - PCM), masalan parafin kabi issiqlik batareyalaridan gibrid foydalanish navbatdagi bosqich sifatidagi istiqbollari uchun kuchli potensial hisoblanadi.

## 5. XULOSA

O'zbekiston Respublikasi iqtisodiyotining bugungi yuksalish davrida qayta tiklanuvchi energiya manbalari va barqaror energiya tejamkor texnologiyalarni rivojlantirishga doir turli xil ijtimoiy-iqtisodiy yo'nalishlarda maqsadli tizimli ishlar amalga oshirilmoqda. Ushbu maqolada gibrid quyosh kollektorlari va ularga ulangan qishloq xo'jaligi meva quritish texnologiyalarini konstruktiv va raqamli



takomillashtirishning bir qator salmoqli jihatlari tahliliy va empirik jihatdan to'laqonli yoritib berildi.

Tadqiqot quyidagi muhim fundamental xulosalarni ishlab chiqish imkonini berdi: an'anaviy yassi plastinali quyosh kollektorlaridan voz kechib, sirtida qovurg'ali, V-simon va g'ovak to'siqlar (perforated baffles) ga ega modifikatsiyalangan dizaynga o'tish issiqlik o'tkazish dinamikasini bir necha bor jadal tarzda o'zgartiradi va tizim foydali ish koeffitsiyentini 60-85% atrofida yuqoriga ko'tarishga (Nusselt soni o'sishi hisobiga) olib keladi. Hosil bo'lgan kuchli termik oqim PV panellari ulangan ventilyatorlar majmuasi (majburiy konveksiya) va Arduino platformasidagi aqlli sensorlar orqali barqaror avtomatik boshqariladi. Oqibatda O'zbekistonning asil nemati hisoblangan mevalar (o'rik, olma) namligini uzoq muddat ochiq havoda 3-4 kunda emas, balki to'liq himoyalangan avtonom issiqxonada atigi 15-30 soat ichida mutlaqo eksportbop 12-18% darajasiga qadar xavfsiz holatda pasaytirish kabi betakror jarayonga erishildi.

Olingan yuqori hosildorlik, PV qismni o'z-o'zidan sovutish orqali generatsiyani oshirish va apparat-dasturiy aqlli kompleks yordamida xavfsiz jarayonni uzluksiz amalga oshirish natijalari texnologiyaning mutlaq barqarorligini hamda iqtisodiy rentabelligini o'ziga xos tasdiqlab o'tadi. Taqdim etilgan gibrid quyosh texnologiyasini kelajakda yanada yaxlit fundamental va amaliy muhandislik tadqiqoti sifatida o'rganish, O'zbekistonning janubiy va markaziy hududlarida joylashgan yirik qishloq xo'jaligi agroxoldinglari, ishlab chiqarish sexlari va minglab fermer klasterlariga keng miqyosda joriy etish – mamlakatning yashil energetika strategiyasiga, qishloq joylarini avtonom resurslar bilan taminlash va yuqori rentabelli meva eksportini kuchaytirish strategiyasiga qaratilgan eng beqiyos va kechiktirib bo'lmaydigan navbatdagi vazifalardan sanaladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Sustainable development – Uzbekistan energy profile – Analysis - IEA, accessed April 6, 2026, <https://www.iea.org/reports/uzbekistan-energy-profile/sustainable-development>



2. Untitled - Neliti, accessed April 6, 2026, <https://media.neliti.com/media/publications/668617-elekt-r-energiyasini-ishlab-chiqarish-sam-4374a0a8.pdf>
3. Study of the temperature and humidity regime in solar drying of agricultural products - BIO Web of Conferences, accessed April 6, 2026, [https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/16/bioconf\\_cibta2023\\_01042.pdf](https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/16/bioconf_cibta2023_01042.pdf)
4. ЗПУ-539-сон 21.05.2019. Об использовании возобновляемых ..., accessed April 6, 2026, <https://lex.uz/docs/4346835>
5. EFFICIENCY OF THE INDIRECT TYPE SOLAR DRYING PLANT - Alternative Energy, accessed April 6, 2026, <https://aenergy.qmii.uz/index.php/ae/article/view/15>
6. Air heater efficiency of solar drying plant for agricultural products - E3S Web of Conferences, accessed April 6, 2026, [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/29/e3sconf\\_rse-ii-2023\\_01040.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/29/e3sconf_rse-ii-2023_01040.pdf)
7. The effect of traditional and improved solar drying methods on the sensory quality and nutritional composition of fruits: A case of mangoes and pineapples - PMC, accessed April 6, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7305395/>
8. Design, Fabrication, and Performance Evaluation of a Food Solar Dryer - MDPI, accessed April 6, 2026, <https://www.mdpi.com/2624-7402/6/4/257>
9. Experimental Comparison of Open Sun and Indirect Convection Solar Drying Methods for Apricots in Uzbekistan - MDPI, accessed April 6, 2026, <https://www.mdpi.com/2673-4591/67/1/26>
10. Mathematical Modeling and Characteristics of Apricots During Solar Drying in Uzbekistan, accessed April 6, 2026, <https://juniperpublishers.com/artoaj/ARTOAJ.MS.ID.556433.php>
11. Experimental Comparison of Open Sun and Indirect Convection Solar Drying Methods for Apricots in Uzbekistan - ResearchGate, accessed April 6, 2026, [https://www.researchgate.net/publication/383598953\\_Experimental\\_Comparison\\_of\\_Open\\_Sun\\_and\\_Indirect\\_Convection\\_Solar\\_Drying\\_Methods\\_for\\_Apricots\\_in\\_Uzbekistan](https://www.researchgate.net/publication/383598953_Experimental_Comparison_of_Open_Sun_and_Indirect_Convection_Solar_Drying_Methods_for_Apricots_in_Uzbekistan)



12. IMPROVING THE EFFICIENCY OF USING A HEAT ACCUMULATOR AIR HEATER IN SOLAR DRYERS SCIENTIFIC AND TECHNICAL ANALYSIS OF RESEARCH | Digital technologies in industry, accessed April 6, 2026, <https://srt-journal.uz/ojs/index.php/SRT/en/article/view/111?articlesBySimilarityPage=4>
13. Solar drying of drying agricultural product (Apricot) | Request PDF - ResearchGate, accessed April 6, 2026, [https://www.researchgate.net/publication/332178889\\_Solar\\_drying\\_of\\_drying\\_agricultural\\_product\\_Apricot](https://www.researchgate.net/publication/332178889_Solar_drying_of_drying_agricultural_product_Apricot)
14. DESIGN AND DEVELOPMENT OF HYBRID SOLAR DRYER FOR DOMESTIC APPLICATIONS | PDF - Slideshare, accessed April 6, 2026, <https://www.slideshare.net/slideshow/solar-dryer-251435468/251435468>
15. HYBRID SOLAR FRUIT DRYER - IRJET, accessed April 6, 2026, <https://www.irjet.net/archives/V6/i5/IRJET-V6I5952.pdf>
16. Full article: Design development and performance evaluation of photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid solar dryer for drying of ber (Zizyphus mauritiana) fruit - Taylor & Francis, accessed April 6, 2026, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2018.1507084>