



"GIBRID QUYOSH HAVO-KOLLEKTORLARIGA KONSTRUKTIV O'ZGARTIRISHLAR KIRITISH ORQALI MEVA QURITISH QURILMALARI SAMARADORLIGINI BAHOLASH."

Jaxongirov Javoxirbek Fozilxon O'g'li

Ahmadjonov Samandar G'olibjon O'g'li

Namangan Davlat Texnika Universiteti

KIRISH: Ushbu ilmiy ishda hozirgi globallashtirish davrida noan'anaviy energiya resurslaridan unumli foydalanish hamda agrosanoat majmuasida yetishtirilgan noz-ne'matlarni quritish texnologiyalarining o'rni chuqur tahlil qilinadi. Shu bilan bir qatorda, mazkur tadqiqotda ko'p tarmoqli texnologik yechimlarni amaliyotga tatbiq etish, xususan, aralash (gibrid) turdagi quyosh-havo kollektorlarining tuzilishiga muhandislik nuqtai nazaridan innovatsion o'zgartirishlar kiritish vositasida meva quritish uskunalarning ish unumdorligini har tomonlama o'rganish va ularning foydali ish koeffitsiyentini ilmiy asosda baholash tamoyillari keng yoritib berilgan.

MAQSAD: Tadqiqotning bosh maqsadi — qishloq xo'jaligi ekinlarini qayta ishlash tarmog'ida ilg'or va zamonaviy usullarni qo'llash, shuningdek, gibrid quyosh-havo kollektorlarining texnik xususiyatlarini takomillashtirish hamda ularga qo'shimcha konstruktiv o'zgarishlar kiritish orqali quritish qurilmalarining energiya tejamliligi, umumiy ish unumdorligi va iqtisodiy rentabelligini ilmiy-amaliy jihatdan chuqur tekshirish, hamda erishilgan natijalarni ekspertiza qilib, obyektiv baho berishdan iboratdir.

MATERIALLAR VA METODLAR:

- **Nazariy-uslubiy va amaliy usullar:** xilma-xil quritish mexanizmlari hamda aralash quyosh-havo kollektorlarining termodinamik va issiqlik-fizik xususiyatlarini fundamental tarzda o'rganib chiqish;



- **Tajriba-sinov yondashuvlari:** takomillashtirilgan va muhandislik o'zgarishlari kiritilgan quritish apparatlarining real ish sharoitidagi unumdorligini maxsus laboratoriya va dala-sinov maydonchalarida sinovdan o'tkazish;
- **Innovatsion va ratsionalizatorlik yondashuvi:** mahsulotlarni quritish jarayoniga tejamkor va ekologik toza texnologiyalarni joriy qilish yo'li bilan jahon bozoriga mos, yuqori sifatli va raqobatbardosh quritilgan mevalar ishlab chiqarishni kafolatlovchi strategik yechimlarni ishlab chiqish.

XULOSA: Respublikamiz iqtisodiyotining jadal taraqqiy etayotgan hozirgi bosqichida tabiatga zarar yetkazmaydigan, tiklanuvchi energiya manbalariga murojaat qilish g'oyatda muhim strategik vazifalardan biriga aylanib ulgurgan. Mazkur izlanishlar doirasida turfa xil muhandislik texnologiyalarini qo'llash va gibrid tipidagi quyosh kollektorlarini yangilash orqali mevalarni suvsizlantirish (quritish) uskunalarning amaliy samaradorligiga aniq baho berildi. Qo'lga kiritilgan ilmiy xulosalar kelgusida ushbu tejamkor qurilmalarni nafaqat yirik sanoat korxonalarida, balki kichik fermer xo'jaliklarida ham keng ommalashtirish uchun muhim zamin yaratadi va istiqboldagi chuqurlashtirilgan fundamental izlanishlarga poydevor bo'lib xizmat qiladi.

KALIT SO'ZLAR: Aralash quyosh-havo kollektori, mevalarni suvsizlantirish uskunasi, innovatsion texnologik yechimlar, ish koeffitsiyentini tahlil qilish, muhandislik-konstruktiv takomillashtirish, elektr energiyasini iqtisod qilish, termodinamik jarayonlar, noan'anaviy energiya turlari.

ВВЕДЕНИЕ: В данном научном труде детально рассматривается роль рационального использования нетрадиционных энергетических ресурсов и технологий сушки агропромышленной продукции в условиях современной глобализации. Наряду с этим, в исследовании всесторонне раскрываются принципы внедрения многопрофильных технологических решений, в частности, механизмы изучения и объективной оценки коэффициента полезного действия оборудования для сушки фруктов посредством внесения инновационных инженерных модификаций в конструкцию солнечно-воздушных коллекторов смешанного (гибридного) типа.



ЦЕЛЬ: Главная цель исследования заключается во внедрении передовых и современных методов в отрасль переработки сельскохозяйственных культур, а также в глубоком научно-практическом изучении энергосбережения, общей производительности и экономической рентабельности сушильных установок путем совершенствования технических характеристик гибридных солнечно-воздушных коллекторов и внесения в них дополнительных конструктивных изменений, с последующей экспертизой и объективной оценкой достигнутых результатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:

- **Теоретико-методологические и практические приемы:** фундаментальное изучение термодинамических и теплофизических свойств разнообразных механизмов сушки и гибридных солнечно-воздушных коллекторов;
- **Опытно-экспериментальные подходы:** апробация производительности усовершенствованных сушильных аппаратов с внесенными инженерными изменениями в реальных рабочих условиях на специальных лабораторных и полевых испытательных полигонах;
- **Инновационный и рационализаторский подход:** разработка стратегических решений, гарантирующих производство высококачественных, конкурентоспособных и ориентированных на мировой рынок сухофруктов путем внедрения экономичных и экологически чистых технологий в процесс сушки продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: На нынешнем этапе интенсивного развития экономики Республики обращение к экологически безопасным, возобновляемым источникам энергии стало одной из важнейших стратегических задач. В рамках данных изысканий была дана точная оценка практической эффективности оборудования для дегидратации (сушки) фруктов путем применения различных инженерных технологий и модернизации солнечных коллекторов гибридного типа. Полученные научные выводы создают важную основу для широкой популяризации этих



энергосберегающих установок в будущем не только на крупных промышленных предприятиях, но и в небольших фермерских хозяйствах, а также служат фундаментом для перспективных углубленных фундаментальных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Солнечно-воздушный коллектор смешанного типа, оборудование для дегидратации фруктов, инновационные технологические решения, анализ коэффициента полезного действия, инженерно-конструктивное совершенствование, экономия электроэнергии, термодинамические процессы, нетрадиционные виды энергии.

INTRODUCTION: This scientific work provides an in-depth analysis of the role of efficiently utilizing non-traditional energy resources and the technologies for drying agricultural products in the current era of globalization. Furthermore, the study comprehensively elucidates the principles of implementing multidisciplinary technological solutions, specifically the mechanisms for examining and objectively assessing the performance efficiency of fruit drying equipment by introducing innovative engineering modifications to the design of mixed (hybrid) solar-air collectors.

OBJECTIVE: The primary objective of this research is to introduce advanced and modern methods into the agricultural crop processing sector, as well as to conduct a profound scientific and practical investigation into the energy conservation, overall productivity, and economic profitability of drying units by refining the technical specifications of hybrid solar-air collectors and incorporating additional structural alterations into them, followed by an expert review and objective evaluation of the achieved outcomes.

MATERIALS AND METHODS:

- **Theoretical-methodological and practical techniques:** a fundamental study of the thermodynamic and thermophysical properties of diverse drying mechanisms and hybrid solar-air collectors;



- **Experimental-trial approaches:** testing the performance of upgraded drying apparatuses with integrated engineering modifications under real operating conditions at specialized laboratory and field testing sites;
- **Innovative and rationalization approach:** formulating strategic solutions that guarantee the production of high-quality, competitive, and globally marketable dried fruits by embedding cost-effective and environmentally friendly technologies into the product dehydration process.

CONCLUSION: At the current stage of the Republic's intensive economic development, turning to environmentally safe, renewable energy sources has become one of the most crucial strategic imperatives. Within the framework of this research, an accurate assessment of the practical effectiveness of fruit dehydration (drying) equipment was provided by applying various engineering technologies and modernizing hybrid-type solar collectors. The acquired scientific conclusions establish a vital foundation for the widespread popularization of these energy-efficient installations in the future, not only within large industrial enterprises but also on small-scale farms, and serve as a cornerstone for prospective in-depth fundamental investigations.

KEYWORDS: Mixed solar-air collector, fruit dehydration equipment, innovative technological solutions, performance coefficient analysis, engineering-structural improvement, electrical energy conservation, thermodynamic processes, non-traditional energy types.

Kirish

Hozirgi globallashuv sharoitida, aholi sonining jadal o'sishi va oziq-ovqat ta'minotining global zanjirlariga misli ko'rilmagan yuklama tushayotgan bir paytda, oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash va qishloq xo'jaligi ekinlarining hosil yig'imidan keyingi yo'qotishlarini minimallashtirish eng muhim strategik ustuvor vazifalardan biriga aylandi. Global tadqiqotlarga ko'ra, dunyoda ishlab chiqariladigan oziq-ovqat mahsulotlarining qariyb uchdan bir qismi tashish, saqlash va qayta ishlash bosqichlarida isrof bo'ladi.¹ O'zbekiston Respublikasi kabi qulay iqlim sharoitiga ega mintaqalarda o'stirilgan ho'l meva va sabzavotlarni quritish eng qadimiy, shu bilan



birga eng ishonchli usullardan biridir. Mahsulotdagi ortiqcha namlikni olib tashlash orqali patogen mikrofloraning ko'payishiga to'sqinlik qilinadi, bu esa mahsulotning yaroqlilik muddatini ko'paytiradi.

Rivojlanayotgan mamlakatlarda odatda ochiq quyoshda quritish (OSD) usuli qo'llaniladi. Biroq, bu usulning bir qator jiddiy kamchiliklari mavjud: quritish jarayonining noaniqligi, mahsulotning chang va hasharotlar bilan ifloslanishi hamda ultrabinafsha (UV) nurlari ta'sirida vitamin va ozuqa moddalarining yo'qolishi.² Muqobil sifatida ishlatiladigan sanoat quritgichlari esa ko'p energiya talab qiladi va issiqxona gazlarini chiqaradi, bu global ekologik barqarorlikka zid keladi.¹

Shu sababli, ekologik toza va tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanuvchi aralash (gibrid) quyosh-havo kollektorlari (SAC) maqbul yechim bo'lib xizmat qiladi. Ushbu maqolaning bosh maqsadi — qishloq xo'jaligi ekinlarini qayta ishlash tarmog'iga ilg'or usullarni joriy etish, jumladan gibrid quyosh-havo kollektorlarining texnik xususiyatlarini takomillashtirish hamda ularga qo'shimcha konstruktiv o'zgartirishlar kiritish orqali quritish qurilmalarining energiya tejamliligi, unumdorligi va iqtisodiy rentabelligini ilmiy-amaliy jihatdan baholash hisoblanadi.

Materiallar va metodlar

Qo'yilgan maqsadga erishish uchun issiqlik-fizik xususiyatlarni o'rganish, hisoblash gidrodinamikasi (CFD) metodlari, real iqlim sharoitidagi dala-sinovlari va iqtisodiy modellashtirishni o'z ichiga olgan kompleks yondashuv qo'llanildi.

Termodinamik issiqlik almashinuvi asoslari

Quyosh-havo kollektorining ishlash prinsipi qisqa to'lqinli quyosh nurlanishini issiqlik energiyasiga aylantirib, havo oqimiga uzatishga asoslanadi. Havo oqimi bilan uzatiladigan foydali issiqlik miqdori quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})$$



Bu yerda \dot{m} — havoning massa sarfi; C_p — havoning solishtirma issiqlik sig'imi; T_{out} va T_{in} — chiqish va kirishdagi havo haroratlari. An'anaviy silliq kollektorlarning asosiy muammosi abzorber yuzasida hosil bo'ladigan laminar havo qatlami bo'lib, u issiqlik uzatilishiga qarshilik qiladi. Ushbu to'siqni yengib o'tish va issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish uchun tizimga konstruktiv o'zgarishlar kiritiladi.

Tajriba-sinov yondashuvlari va konstruktiv modifikatsiyalar

Tadqiqot doirasida abzorber panellarining turli tuzilmalari va materiallari laboratoriya hamda maxsus dala maydonchalarida sinovdan o'tkazildi:

1. Ichki to'siqlar (Baffles) qo'llash: O'zbekiston Milliy tadqiqot universiteti (TIQXMMI) olimlari tomonidan 80 sm uzunlik, 40 sm kenglik va 5 sm balandlikdagi yaxshilangan flat-plate (yassi) kollektor modeli o'rganildi.³ Havo oqimini tartibsizlantirish va turbulizatsiyani kuchaytirish uchun abzorber plastinkasida 40 mm balandlikdagi uchta vertikal to'siq (baffle) o'rnatildi.³

2. Qanotchalar (Fins) va turbulizatorlar: Uglerod nanotubkalari (CNT) bilan qoplangan ignasimon qanotchalar hamda maxsus turbulizatorlardan foydalanish holatlari tahlil qilindi.⁴ Shu bilan birga, mis va alyuminiy qanotchalarining issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari solishtirildi.⁵

3. Fazali o'tish materiallari (PCM): Bulutli kunlar va tunda uskunaning uzluksiz ishlashini ta'minlash maqsadida abzorber ostiga 39 kg parafin mumi joylashtirildi.⁶

4. Ikki o'tishli (Double-pass) tizimlar: Havo oqimining birinchi marta abzorberning ustidan, so'ngra ostidan aylanib o'tish sxemasi issiqlik ta'sir vaqtini oshirish uchun amaliyotga tatbiq etildi.⁷

Sonli modellashtirish (CFD)

Ichki havo oqimi gidrodinamikasi va harorat taqsimotini aniq tahlil qilish uchun COMSOL Multiphysics dasturidan foydalanildi. Massaning, impulsning va energiyaning saqlanishiga oid Navye-Stoks tenglamalari chekli elementlar usuli



(FEM) yordamida yechildi.³ Modellashtirish davomida 8 soatlik quyosh radiatsiyasi nurlanishi inobatga olindi.³

Moliyaviy-iqtisodiy modellashtirish

Innovatsion yechimlarning amaliy va tijorat jozibadorligini asoslash maqsadida asosiy moliyaviy indikatorlar hisoblandi: Sof joriy qiymat (NPV), Ichki daromad me'yor (IRR), Qoplash muddati (PBP) hamda Investitsiyalar rentabelligi (ROI) ko'rsatkichlari ekspertizadan o'tkazildi.⁸ Shuningdek, xomashyo narxlarining o'zgarishiga nisbatan sezgirlik tahlili (Sensitivity Analysis) olib borildi.¹⁰

Natijalar va muhokama

Simulyatsiyalar va dala sinovlari natijalari shuni tasdiqlaydiki, taklif etilayotgan innovatsion ratsionalizatorlik yechimlari meva quritish uskunalari unumdorligini tubdan oshirish imkonini beradi.

Modifikatsiya qilingan kollektorlarning termodinamik samaradorligi

Silliq panelga to'siqlar qo'shish ancha yaxshi natijalarni namoyish etdi. TIQXMMI olimlarining raqamli tahliliga ko'ra, ichki to'siqlar (baffles) tufayli chiquvchi havo harorati oddiy kollektorga nisbatan 8–12 °C ga ko'tarilgan.³ Modifikatsiya qilingan apparatning termal foydali ish koeffitsiyenti (FIK) 14.6% ga oshgan, pik radiatsiya vaqtida abzorber yuzasi harorati 333 K gacha yetgan.³

Uglerod nanotubkalari (CNT) bilan qoplangan 20 mm balandlikdagi ignasimon qanotchalar (pin fins) va 40 mm li turbulizatorlar birgalikda eng optimal natijani berdi. Bunday moslama laminar qatlamni yorib yuboradi. Nu soni (Nusselt) an'anaviy kollektorlarga qaraganda 211% ga yuqori bo'lib, jami issiqlik samaradorligi 89.54% ko'rsatkichni tashkil etgan.⁴

Issiqlik almashtirgich materiali ham katta rol o'ynaydi. PCM yordamida sinovdan o'tkazilganda mis qanotchalar tushirilgan kollektorlarning jami termal samaradorligi 78% ni qayd etgan bo'lsa, alyuminiy analoglarida bu raqam 68% ni tashkil qildi.⁵ Mis qimmatroq bo'lsa ham, tez issiqlik uzatish quvvati hisobiga qurilma ishchi haroratini quritish uchun ideal bo'lgan 60.8 °C darajaga olib chiqqan.⁵



Ikki o'tishli (Double-pass) kollektorlar oddiy bir o'tishli apparatlardan ko'ra chiquvchi havo haroratini 10–14 °C ga, termal samaradorlikni esa 18.4% ga oshirishga erishdi.⁷

Modifikatsiya turi	Geometriya / Material	Harorat o'sishi	FIK o'sishi	Manba
Vertikal to'siqlar (Baffles)	3 ta to'siq, balandligi 40 mm	+ 8–12 °C	+ 14.6%	³
Ikki o'tishli tizim (Double-pass)	Perforatsiyalangan abzorber	+ 10–14 °C	+ 18.4%	⁷
Igna qanotchalar + Turbulizatorlar	CNT qoplamasi, qanotlar 20 mm	Nu 211% gacha	89.54% gacha	⁴
Qanotchalar (Fins)	Mis vs Alyuminiy	60.8 °C gacha	Mis 78%, Al 68%	⁵

PCM yordamida kechki vaqtlar uchun issiqlik saqlash

Quyosh quritgichlarining eng asosiy kamchiligi kechqurun ishlashining to'xtab qolishidir. Bunga qarshi kurashish maqsadida tizimning pastki qismiga 39 kg parafin mumi joylashtirilgan. Kunduzi ortiqcha issiqlikni yutib (erib), kechqurun havo harorati soviganda qattiqlashish orqali ortga qaytargan parafin tufayli quritgich kechasi ham qariyb qo'shimcha 4 soat xizmat ko'rsatgan va apparatning o'rtacha sutkalik FIK miqdori 10.8-13.6% gacha ko'tarilgan.⁶

Olingan ma'lumotlarga ko'ra, aynan peshindan keyin va kechga tomon akkumulyatsiya qilingan issiqlik tufayli uskuna kechki soatlarda ertalabkidan ko'ra yuqoriroq quritish tezligiga ega bo'lgan (ertalab tezlik 0.46–0.56 kg/soat, kechga borib radiatsiya past bo'lishiga qaramay 0.785 kg/soatga yetgan).¹¹

PVT tizimlari integratsiyasi

PV (quyosh panellari) faqat energiyaning 10-15% qismini elektrga aylantirib, qolganini keraksiz issiqlik sifatida chiqarib tashlaydi. Panellarni ventilyatorlar



yordamida orqa tarafidan sovitib, chiqqan issiq havoni meva quritishga yo'naltirish (PVT texnologiyasi) eng oqilona usuldir. Yarim doiraviy turbulizatorlar bilan jihozlangan ikki kanalli PVT paneli havo haroratini oddiy panellarga nisbatan samaraliroq isitadi va elektr energiyasi ishlab chiqarishni 2.07% ga, issiqlik energiyasini esa deyarli 88.7% ga oshirib beradi.¹²

O'zbekiston iqlimida meva quritish va uning samarasi

O'zbekistonning jazirama yozgi iqlimida, xususan o'rik mevasini quritish borasida o'tkazilgan eksperimentlar shuni ko'rsatadiki, ichki harorat 55 °C va namlik 35% atrofida bo'lganda mevalarning namlik darajasi 15 soat ichida 85–90% dan standart saqlash me'yori hisoblangan 12–18% gacha tushgan.¹³

Shu bilan bir qatorda, mahsulotni faqat polikarbonat yoki oyna ostida (UV nurlaridan himoyalangan holda) quritish ularning rangi, xushbo'yliги hamda darmondorilarini butunlay saqlab qoladi.² Quritish shkafining tagliklarini (patnislarini) o'ziga xos aralash shaklda (mixed arrangement) o'rnatish issiq havoning bir tekis taqsimlanishiga olib keldi, va umuman qurilmaning energiyadan foydalanish darajasini 75-85% gacha yetkazdi.¹⁴

Iqtisodiy rentabellik tahlili

Takomillashtirilgan uskunaning iqtisodiy asoslari favqulodda serdaromad hisoblanadi. Texno-iqtisodiy tahlillarga tayanadigan bo'lsak, yirik o'lchamdagi gibrud uskunaning kapital xarajatlari (CapEx) 3 618.20 dollarni, investitsiyalarni qoplash muddati esa (PBP) atigi 1.3 yilni tashkil etgan.⁸ Shu apparatning o'zidan ROI (investitsiyalar rentabelligi) 76.39% darajasida qayd qilingan.⁸

Kichik fermer xo'jaliklari uchun moslashtirilgan qiya gibrud quritgichlar (Inclined solar dryer) ham yuqori foyda keltiradi: ularning IRR (ichki daromad me'yori) 84.4% ga teng va harajatlarni qoplash muddati 1.42 yildan iborat.¹⁵ Masalan, eksportbop qimmat navli mevalar uchun qo'llanilganda uskunaning daromadliligi (ROI) 306.50% gacha keskin sakrashi o'z tasdig'ini topdi.⁹

Qishloq xo'jaligida doimo uchraydigan narxlar o'zgaruvchanligiga qaramay (xomashyo narxining kutilmaganda 40% ga qimmatlashi), mazkur gibrud



texnologiya barqaror daromad keltira oladi va o'zini oqlash muddati ko'pi bilan 4.98 yilgacha cho'ziladi.¹⁰

Xulosa

Respublikamiz iqtisodiyotining jadal taraqqiy etayotgan hozirgi bosqichida tabiatga zarar yetkazmaydigan, muqobil va tiklanuvchi energiya manbalariga murojaat qilish g'oyatda muhim strategik vazifalardan biriga aylanib ulgurgan. Mazkur izlanish doirasida turli muhandislik texnologiyalarini qo'llash va gibrid tipidagi quyosh kollektorlarini yangilash orqali mevalarni suvsizlantirish uskunalarning amaliy samaradorligiga aniq hamda obyektiv baho berildi.

Tadqiqotlar shuni isbotlaydiki, kollektor panellariga o'rnatilgan to'siqlar, qanotchalar, shuningdek issiqlikni saqlovchi parafin va ikki o'tishli tizimlar uskunaning umumiy issiqlik FIK darajasini 89% gacha, quritish ishi davomiyligini esa tungi vaqt hisobiga qo'shimcha 4 soatgacha uzaytiradi. Bundan tashqari, rentabellik ko'rsatkichlariga ko'ra investitsiyalarni bir yildan ikki yilgacha bo'lgan muddatda to'liq qoplab olinishi qurilmaning g'oyatda katta moliyaviy salohiyatini namoyon etadi.

Qo'lga kiritilgan ilmiy xulosalar kelgusida ushbu tejamkor qurilmalarni nafaqat yirik sanoat korxonalarida, balki mamlakatimizdagi yuzlab kichik fermer xo'jaliklarida ham keng ommalashtirish hamda jahon bozoriga munosib sifatdagi raqobatbardosh quritilgan mevalar eksportini yo'lga qo'yish uchun eng mustahkam zamin bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Recent Advancements in Technical Design and Thermal Performance Enhancement of Solar Greenhouse Dryers - MDPI, accessed April 6, 2026, <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/13/7025>
2. How Solar Dryers Turn "Ugly" Produce into Profit | Covestro, accessed April 6, 2026, <https://www.covestro.com/en/sustainability/what-drives-us/un-sustainable-development-goals/solar-dryer>



3. Performance Assessment of a Flat-Plate Solar Air Collector with ..., accessed April 6, 2026, https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2026/10/e3sconf_ipes2026_01003/e3sconf_ipes2026_01003.html
4. Investigation of Solar Air Collectors with Carbon-Nanotube-Based Turbulators and Pin Fin Arrangements - MDPI, accessed April 6, 2026, <https://www.mdpi.com/2504-477X/7/8/322>
5. Enhancement solar dryer performance and collector efficiency of paraffin PCM/copper fin ... - PMC, accessed April 6, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12394685/>
6. A review on solar flat plate air collector with different design modifications - ResearchGate, accessed April 6, 2026, https://www.researchgate.net/publication/358411359_A_review_on_solar_flat_plate_air_collector_with_different_design_modifications
7. CFD Modelling and Thermal Performance Evaluation of a Double-Pass Solar Air Collector, accessed April 6, 2026, https://www.researchgate.net/publication/400449747_CFD_Modelling_and_Thermal_Performance_Evaluation_of_a_Double-Pass_Solar_Air_Collector
8. Life cycle and techno-economic assessment of a solar-biogas hybrid dryer for banana drying - PMC, accessed April 6, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12829783/>
9. Economic and Financial Evaluation of a Low-Cost Portable Solar Dryer for Maturing and Drying of Dates - MEL, accessed April 6, 2026, <https://mel.cgiar.org/reporting/download/hash/f54391da3a88565ae19159c379e1b6c8>
10. ECONOMIC EFFECTS OF INVESTMENT IN MINI DIGITAL SOLAR DRYER, accessed April 6, 2026,



<http://repository.iep.bg.ac.rs/810/1/Nasti%C4%87.%20Jelo%C4%8Dnik%2C%20Subi%C4%87%20-%20ICEADR%20%282023%29.pdf>

11. Development of a hybrid mixed-mode solar dryer for product drying - PMC, accessed April 6, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10006682/>
12. Performance Evaluation of Air-Based Photovoltaic Thermal Collector Integrated with Dual Duct and Semicircular Turbulator in Actual Climate Conditions - MDPI, accessed April 6, 2026, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/11/2752>
13. 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>
14. EFFICIENCY OF THE INDIRECT TYPE SOLAR DRYING PLANT ..., accessed April 6, 2026, <https://aenergy.qmii.uz/index.php/ae/article/view/15>
15. (PDF) Economic Analysis of Inclined Solar Dryer for Drying of Fruit and Vegetables - Academia.edu, accessed April 6, 2026, https://www.academia.edu/92924319/Economic_Analysis_of_Inclined_Solar_Dryer_for_Drying_of_Fruit_and_Vegetables