



Quyosh konsentratori asosida ko'p funktsiyali quritish tizimini ishlab chiqish

Mardonov Nodirbek Aziz o'g'li

Buxoro viloyati «Kelajak» markazi direktor o'rinbosari

E-mail: mardonovn70@gmail.com

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada konsentratsiyalangan quyosh energiyasidan foydalanadigan ko'p funktsiyali quritgichni loyihalash masalasi adabiyotlar tahlili orqali o'rganiladi. O'zbekiston sharoitida o'rik va dorivor o'simliklarni quritish bo'yicha olingan natijalar xorijiy konsentratorli hamda gibrid qurilmalar tajribasi bilan mavzular kesimida taqqoslanadi. Tahlil haroratning me'yoridan oshishi, nurlanish uzilishlari, kameradagi oqim notekisligi va samaradorlikni turlicha hisoblash kabi muammolarga qaratilgan. Natijada issiqlikni yig'ish, uzatish va saqlash zanjiri mahsulotga mos mikroiklimni ta'minlaydigan boshqaruv bilan bog'langan konseptual yechim shakllantiriladi. Taklif etilgan yechimning o'zi eksperimental natija emas; uni tekshirish uchun energiya balansi, mahsulot sifati va rejimlar bo'yicha qiyosiy sinov mezonlari ishlab chiqiladi.

Kalit so'zlar:

konsentratsiyalangan quyosh energiyasi, bilvosita quritish, issiqlik zaxiralash, parabolik kollektor, mahsulot sifati, quritish kinetikasi, energiya balansi, boshqaruv.

Разработка многофункциональной сушильной системы на основе солнечного концентратора

АННОТАЦИЯ

В статье на основе анализа научных публикаций обоснован подход к проектированию многофункциональной сушильной установки с концентратором солнечного излучения. Результаты исследований, выполненных в Узбекистане на плодах и лекарственном растительном сырье, сопоставлены с данными о зарубежных концентраторных и гибридных системах. Особое внимание уделено нестабильности инсоляции, риску перегрева, неравномерности воздушного потока и различиям в расчёте энергетических показателей. Предложена концепция, связывающая сбор, передачу и накопление теплоты с регулированием условий в сушильной камере. Сформулированы критерии сравнительных испытаний по энергетическому балансу и качеству продукта. Экспериментальное подтверждение предложенной конструкции в рамках данной работы не заявляется.

Ключевые слова:

солнечная концентрация, косвенная сушка, накопление теплоты, параболический коллектор, качество продукции, кинетика сушки, энергетический баланс, управление.

Development of a multifunctional drying system based on a solar concentrator

ABSTRACT

This paper develops a literature-based design rationale for a multifunctional drying system powered by concentrated solar radiation. Findings from Uzbek studies of fruit and medicinal-plant drying are examined alongside international work on concentrating and hybrid dryers. Particular attention is paid to intermittent solar input, excessive process temperatures, nonuniform airflow, and incompatible definitions of energy

Key words:

concentrated solar energy, indirect drying, thermal storage, parabolic collector, product quality, drying



performance. The synthesis leads to a conceptual configuration that connects solar heat collection, transfer, and storage with control of the drying-chamber environment. A comparative evaluation framework is outlined for energy accounting, product quality, and operating modes. The proposed configuration has not yet been experimentally validated in this study.

kinetics, energy
balance, process
control.

KIRISH

Quritishning vazifasi faqat mahsulot massasini kamaytirish emas: namlikni saqlashga mos darajagacha tushirish jarayonida rang, tuzilma va biologik ahamiyatga ega komponentlarning imkon qadar saqlanishi ham muhim. Ochiq quyosh ostida bunday sharoitlarni bir xil takrorlash qiyin, chunki mahsulot tashqi muhitga bevosita bogʻlanib qoladi. Bilvosita quritgich kamerani tashqi chang va bevosita nurlanishdan ajratadi, lekin uning issiqlik taʼminoti quyoshning sutkalik va qisqa muddatli oʻzgarishlariga hamon sezgir. Quritgich turlarini qiyoslovchi hamda gibrid isitish boʻyicha sharhlar bu qarama-qarshilikni qurilma arxitekturasida darajasida koʻrib chiqishga asos beradi [8, 12, 13].

Optik konsentrator nurlarni kichikroq qabul yuzasiga jamlash evaziga issiqlik tashuvchining yuqoriroq haroratiga erishishga xizmat qiladi. Ammo fokusdagi harorat quritish kamerasining ishchi harorati bilan bir xil kattalik emas. Masalan, parabolik konsentrator sinovida manbada qabul qilgich uchun 115 °C, kamera uchun esa 70 °C gacha qiymatlar keltirilgan [11]. Bu farq ikki mustaqil vazifani yuzaga chiqaradi: avvalo quyoshdan issiqlikni samarali olish, soʻng uni mahsulot xususiyatiga qarab xavfsiz miqdorda uzatish. Mazkur vazifalarni bitta qurilmada muvofiqlashtirish ushbu ishning asosiy muhandislik nuqtayi nazaridir.

Ishning maqsadi mavjud ilmiy maʼlumotlarni umumlashtirish bilan cheklanmay, ular orasidagi texnologik bogʻlanishlardan kelib chiqib, sinab koʻrish mumkin boʻlgan quritish tizimi tuzilmasini asoslashdir. Oʻrganish obyekti - quyoshdan issiqlik oluvchi quritgichlar; tadqiqot predmeti - issiqlik manbai, zaxira sigʻimi, havo oqimi va mahsulot holatini birgalikda boshqarish usullari. Natija adabiyotlarga tayangan konstruktiv-metodik taklifdan iborat. Ushbu maqolada tayyor prototip, muallif tomonidan oʻtkazilgan tajriba yoki oʻlchangan samaradorlik mavjudligi daʼvo qilinmaydi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Materiallar muayyan muhandislik savollariga yoʻnaltirilgan narrativ sharh usulida saralandi. Koʻrib chiqilgan bibliografiya tarkibida mahalliy gelioquritish ishlari, parabolik konsentratorlar, gibrid issiqlik taʼminoti, issiqlik akkumulyatorlari va jarayonni nazorat qilishga bagʻishlangan 17 ta nashr mavjud. Tanlashda “solar concentrator dryer”, “parabolic trough solar drying”, “thermal energy storage solar dryer”, “hybrid solar dryer control” va oʻzbekcha gelioquritish atamaları asosiy mavzuvii yoʻnalish sifatida olindi. Materiallar eksperimental ish, matematik model yoki umumlashtiruvchi sharh ekaniga koʻra ajratib tahlil qilindi. Bunday yondashuv qamrovi chegaralangan narrativ sharh boʻlib, tizimli PRISMA protokoli yoki barcha bazalarni qamragan bibliometrik tadqiqot sifatida taqdim etilmaydi.

Har bir manba besh savol boʻyicha koʻrib chiqildi: qaysi mahsulot va qurilma tekshirilgan; qaysi parametrlar oʻlchangan; qanday natija bildirilgan; natijani boshqa konstruktiviyaga oʻtkazishga nima toʻsqinlik qiladi; loyihalanayotgan tizim uchun bundan qanday amaliy talab kelib chiqadi? Ayniqsa, bir mahsulotning boshlangʻich namligi, yakuniy namligi, qatlam qalinligi va energiya hisobining chegarasi farq qilgan tadqiqotlar orasida quritish vaqti yoki FIKni bevosita tartiblashdan voz kechildi [13, 14]. Shu tarzda manba natijasi bilan ushbu maqola muallifining loyihaviy talqini ajratildi.



MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI VA MUALLIF MUNOSABATI

O'zbekiston tadqiqotlari: mahsulot xossalaridan raqamli boshqaruv gacha

Mahalliy sharoitda o'rikni quritishga doir Rejabov, Usmonov, Usmanov va Artikov tadqiqotida ochiq usul bilvosita tabiiy konveksiyali quritgich bilan solishtiriladi [1]. Mualliflar taqdim etgan tajriba ma'lumotlarida 55 °C hamda tashqi havoning 35 % nisbiy namligi sharoitida boshlang'ich 85–90 % namlik 15 soat davomida 12–18 % gacha kamaygani ko'rsatilgan. Ushbu natijadan olinadigan loyihaviy xulosa - mevaning turini, dastlabki holatini va quritish yakunini oldindan belgilash zarur. Konsentrator kiritilgach xuddi shu vaqt yoki harorat takrorlanadi, deb hisoblash ilmiy asosga ega emas; bo'lak o'lchami va nurlanish rejimi ham qayd etilishi kerak.

To'xliyev va Ovlayev takomillashtirilgan past potentsialli quritgich misolida kollektorning ishlash harorati va mahsulotni tashqi ifloslanishdan ajratadigan kameraga e'tibor qaratgan [2]. Bu yechimdan olinadigan amaliy prinsip - issiqlik ishlab chiqarish bloki bilan sanitariya talablariga javob beradigan mahsulot zonasini funksional ajratish. Shu bilan birga, past haroratli kollektor xavfsizlik sxemasini konsentratorning fokus qismiga ko'chirib bo'lmaydi: yuqori issiqlik oqimida mustaqil harorat cheklagichi va ortiqcha energiyani chiqarish yo'li kerak.

Rejabov va hammualliflar o'rikning namlik yo'qotish jarayonini matematik ifodalab, modellarni tajriba natijalariga moslashtirgan [3]. Dorivor xomashyo bo'yicha Sultanova va Usmanov havo harorati, namligi, tezligi, nurlanish va massa o'zgarishini kuzatib, 11 ta empirik tenglamani tekshirgan; ular Midilli–Küçük va Page modellarining mosligini qayd etadi [4]. Bu ikki yo'nalish quritish grafigini oldindan baholash imkonini ko'rsatadi. Biroq namlik egri chizig'ini aniq takrorlash mahsulot sifatining saqlanganini yoki energiya sarfining kamayganini o'z-o'zidan bildirmaydi. Modellash tirishdan avval nam va quruq asoslarda berilgan namlik ko'rsatkichlari izchil birlashtirilishi lozim.

Haroratni boshqarish uchun ma'lumotga asoslangan usullar ham taklif etilgan. Usmanov va hammualliflarning Mamdani noqat'iy mantiq modeli bo'yicha chop etilgan natijalarida RMSE 0,38 °C, foiz ko'rinishidagi xatolik 0,82 % sifatida beriladi [5]. Boshqa ishda Usmanov, Islamova va Tadjibayeva ESP32 yordamida temperatura, nisbiy namlik va massa dinamikasini kuzatib, ventilyatorni belgilangan chegaralar orqali ishga tushirishni ko'rsatgan [6]. Mazkur ishlardan olinadigan konstruktiv talab - datchiklar faqat nazorat uchun emas, ijro qurilmalarini tanlash uchun ham xizmat qilishi kerak. Biroq butun kamera bo'yicha bir jinslilikni yagona temperatura datchigi yoki faqat nisbiy namlik signali bilan tasdiqlab bo'lmaydi; lotoklarning bir nechta nuqtasi, tashqi muhit hamda fokus qabul qilgichi alohida nazorat qilinishi zarur.

Usmanov, Yakubova va hammualliflar Plantago major barglari uchun shkaflil quritgich ma'lumotlaridan foydalanib, 120 ta kuzatuv asosidagi neyron tarmoqni taqdim etgan; nashrda $R = 0,9556$ qiymati keltiriladi [7]. Tadqiqot jildi 2025-yil deb ko'rsatilgan bo'lsa-da, manbada rasmiy e'lon sanasi 2026-yil 2-fevral sifatida berilgan. Natija rejimlarni oldindan baholashda ma'lumotga asoslangan yondashuvning imkoniyatini namoyon qiladi. Lekin boshqa mahsulot, geometriya yoki konsentratsiya koeffitsiyentida xuddi shu aniqlik saqlanishi noma'lum. Shu sababli ishlab chiqiladigan tizimda alohida kalibrlash ma'lumotlari va mustaqil tekshiruv tanlanmasi talab etiladi.

Xorijiy tajriba: konsentratsiya, uzluksizlik va sifat cheklovlari

Quyosh mahsulot quritgichlariga oid El-Seba'i va Shalaby sharhi isitish bloki bilan quritish kamerasining joylashuvi hamda bilvosita va aralash usullarni tushunish uchun asos bo'lib xizmat qiladi [8]. Ssemwanga, Makule va Kayondo metall reflektorlar bilan jihozlangan passiv tizimni ananas va mango misolida faol elektr yordamli quritgich va ochiq quritish bilan solishtirgan; ularning ishida davomiylik tegishli 18, 10 va 30 soat deb qayd etilgan [9]. Mazkur uch qiymat quritish tezligini tavsiflaydi, lekin energiya tejamliligini yolg'iz o'zi isbotlamaydi. Bunday taqqoslashda elektr yordamchi manba, ventilyator sarfi va materiallarga ketgan xarajat umumiy hisobga kiritilishi kerak.



Ebadi, Zare, Ahmadi va Chen murakkab parabolik konsentratorni elektr yordamchi isitish bilan birlashtirib, pomidor bo'laklarining qalinligi, havo sarfi va haroratni o'zgartirgan holda natijalarni o'rgangan [10]. Tadqiqotda rang, hajmning qisqarishi va C vitamini miqdori bilan birga quritish davomiyligi ham tahlil qilingan; manbada eng qisqa vaqt 83 daqiqa, o'rtacha vaqt taxminan 231 daqiqa deb keltiriladi. Bu misol jarayonni tezlashtirish bilan bir vaqtda sifat nazoratini o'tkazish zarurligini ko'rsatadi. Pomidorda topilgan harorat rejimini o'rik, qovun yoki dorivor barglarga alohida tekshiruvsiz tatbiq etish mumkin emas.

Bousbia Salah va hammualliflar quyoshni ikki o'qda kuzatadigan silindrik-parabolik konsentrator yordamida 10 kg o'rikni quritish tajribasini bayon etgan [11]. Nashr ma'lumotlariga ko'ra, fokusli qabul qilgich 115 °C gacha, quritish kamerasi 70 °C gacha qizigan, o'rikning nam asosidagi namligi esa 69 % dan 8 % gacha tushgan. Bir tizimda ikki harorat nuqtasining alohida berilishi issiqlik almashinuvi zanjirini mustaqil loyihalash zarurligini tasdiqlaydi. Ishda iqtisodiy ko'rsatkichlar keltirilgan bo'lsa ham, mahalliy energiya narxi, mavsum davomiyligi va hosil qiymati hisoblanmaguncha ularni O'zbekiston sharoiti uchun tayyor prognoz sifatida olish o'rinli emas.

Kong va hammualliflar gibrid quritgichlarda qo'shimcha issiqlik manbalari va saqlash bloklarining turli kombinatsiyalarini umumlashtirgan [12]. Venkateswarlu va Reddy esa qurilmalarni issiqlik hamda eksbergiya nuqtayi nazaridan baholashni, namlikni chiqarish tezligi bilan bog'lashni muhokama qiladi [13]. Bu ishlardagi umumiy g'oya - quyoshning uzilishlarini boshqa manba yoki zaxira hisobiga qoplash. Ushbu maqola nuqtayi nazaridan bundan bitta nazorat talabi kelib chiqadi: energiya balansining chegarasi barcha variantlarda bir xil tanlanishi va yordamchi isitish hamda elektr uskunalarning hissasi yashirilmaligi kerak.

Shimpy, Kumar va Kumar sharhida maishiy quritgich samaradorligini baholash jarayoniga sifat, ekologik ta'sir va iqtisodiy omillar kiritilgan [14]. Ranasingha, Chatterjee va Bandara faza o'zgaruvchi materiallar asosidagi issiqlik zaxirasining imkoniyatlari bilan bir qatorda uning qiymatga doir cheklovlarini yoritgan [15]. Nnamchi va hammualliflar quritish jarayonini tavsiflashda issiqlik, modda almashinuvi va havo harakati bog'liqligini ajratib ko'rsatadi [16]. Demak, qurilma alohida tugunlar yig'indisi sifatida emas, kameradagi oqim taqsimoti, mahsulotning so'nggi holati va butun tizim xarajatlarini qamragan holda sinovdan o'tkazilishi maqsadga muvofiq.

Rashid va hammualliflarning 2026-yildagi sharhi issiqlikni sezilarli yoki yashirin shaklda saqlash texnologiyalarini bir tizim doirasida tahlil etadi [17]. Zaxira energiya quyosh nurlanishi kamayganda jarayonning davom etishiga yordam berishi mumkin, ammo turli nashrlarda keltirilgan foizli yutuqlarni loyihalanayotgan qurilmaga bevosita qo'llab bo'lmaydi. Material tanlashda ishchi temperatura, issiqlik o'tkazuvchanligi, boshlang'ich xarajat, takroriy qizish-sovishdagi barqarorlik va sanitariya xavfsizligi birgalikda ko'riladi.

QIYOSIY SINTEZ VA TEKSHIRILISHI LOZIM BO'LGAN MASALA

Ko'rib chiqilgan nashrlar konsentrator, yordamchi isitish, akkumulyator va raqamli nazoratning alohida yoki ayrim kombinatsiyalardagi qo'llanilishini allaqachon namoyon qiladi [6, 10–13, 15, 17]. Shuning uchun mazkur maqolaning ilmiy da'vosi ushbu qismlarni birinchi bo'lib taklif qilish emas. Ishda yechilishi ko'zda tutilgan masala quyidagicha aniqlashtiriladi: bir xil mahsulot va bir xil yakuniy namlik sharoitida oddiy bilvosita, konsentratorli hamda konsentrator–akkumulyatorli quritgichlar uchun yagona energiya hisobi va sifat protokolini ishlab chiqish. Tekshiriladigan taxmin shuki, zaxiralash va moslashuvchan boshqaruv nurlanish o'zgarganda kamera rejimining barqarorligiga ta'sir qilishi mumkin; bu ta'sirning yo'nalishi va kattaligi tajriba orqali aniqlanishi kerak.



1-jadval.

Adabiyotlarda yoritilgan yechimlar va ushbu loyiha uchun qolayotgan savollar

Tadqiqot yo'nalishi	Manbada berilgan material	Loyihadagi ochiq savol
Mahalliy o'rik tajribalari [1, 3]	Namlilik kamayishi va kinetika tavsifi	Konsentrator va zaxira birga qo'shilsa sifat qanday o'zgaradi?
Past haroratli quritish [2]	Kollektor hamda himoyalangan shkaf	Yuqori fokus haroratida xavfsizlik qanday ta'minlanadi?
Boshqaruv modellari [5–7]	Bashorat, ESP32 kuzatuv, neyron tarmoq	Yangi mahsulot va geometriyada qayta kalibrlash qay darajada kerak?
Reflektorli quritish [9]	Quritish davomiyligi bo'yicha qiyos	Yordamchi energiya ham qo'shilganda natija qanday bo'ladi?
CPC va mahsulot sifati [10]	Pomidor bo'yicha tezlik va sifat o'lchovlari	Boshqa mahsulotga qaysi rejim xavfsiz ko'chadi?
Parabolik konsentrator [11]	Qabul qilgich va kamera haroratlari farqi	Mahalliy iqlimda issiqlik uzatish qanday sozlanadi?
Gibrid va zaxira tizimlari [12, 15, 17]	Uzluksizlikka qaratilgan texnologik yechimlar	Sig'im, xarajat va mahsulot sifati qanday birga baholanadi?

TIZIMNING KONSTRUKTIV TUZILMASI VA BOSHQARUV MANTIG'I

Tahlil natijasida besh o'zaro bog'langan blokdan tuzilgan texnik konsepsiya ishlab chiqildi. Optik blok bevosita quyosh nurlanishini fokus qabul qilgichiga yo'naltiradi. Issiqlik almashgich to'plangan energiyani quritish havosiga yoki oraliq issiqlik tashuvchiga o'tkazadi; akkumulyator esa ishlab chiqarish va iste'molning vaqt bo'yicha mos kelmagan qismini qoplaydi. Izolyatsiyalangan kamera filtrlangan havo oqimini mahsulot lotoklari bo'ylab taqsimlaydi. Datchiklar va ijro mexanizmlari ushbu zanjirni boshqaradi. Qabul qilgichni kameradan termik jihatdan ajratish mahsulot haroratini fokusdagi yuqori haroratdan mustaqil cheklash imkonini beradigan loyihaviy prinsipdir [10, 11, 15].

2-jadval.

Issiqlik ishlab chiqarish, saqlash va quritish bloklarining funksional bog'lanishi (adabiyotlar asosida muallif talqini).

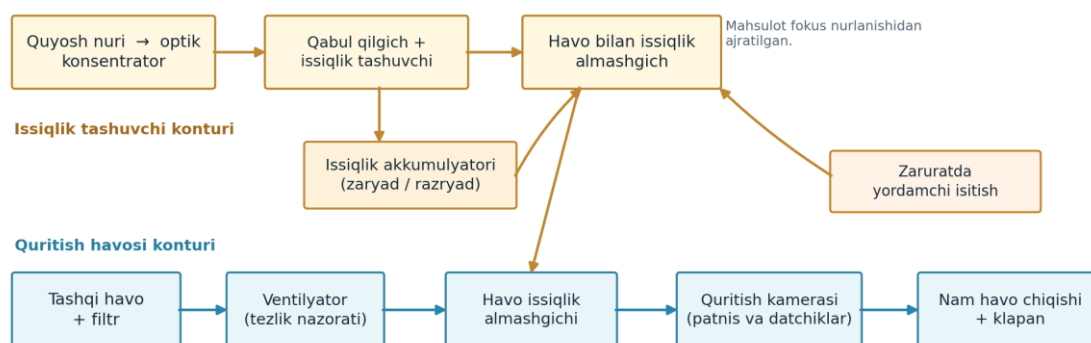
Nurlanishni qabul qilish	Issiqlik oqimini boshqarish	Mahsulot bilan ishlash
DNI → optik konsentrator → fokus qabul qilgich	Oraliq kontur → almashgich ↔ issiqlik zaxirasi	Tozalangan havo → lotoklar → nam havo chiqishi
Quyoshni kuzatish va fokusdan chiqarish	Klapan, izolyatsiya, ixtiyoriy yordamchi isitish	T, RH, massa va sarf datchiklari → boshqaruv

Qurilmaning ko'p funksiyaliligi tarkibdagi qismlar soni bilan emas, ishlashning boshqariladigan variantlari bilan belgilanadi. A rejimda yetarli quyosh nurlanishi mavjud bo'lib, asosiy issiqlik konsentratoridan olinadi. B rejimda nurlanish sustlashganda avval yig'ilgan issiqlikdan foydalaniladi. C rejim faqat zarurat paydo bo'lsa, xavfsiz yordamchi isitishni ishga tushiradi; iqtisodiy soddalashtirilgan konstruksiyada esa bu holat boshqariladigan to'xtatish bilan almashtirilishi mumkin. Har bir o'tish kamera haroratining mahsulotga mos chegarasi,

akkumulyator zaxirasi va fokusli qabul qilgichning xavfsiz ish sharti bilan tekshiriladi. Rejimlar amalda sinovdan o'tkazilgani emas, dastlabki loyiha algoritmi sifatida taklif etilgani ta'kidlanadi.

ISSIQLIK MANBAI VA HAVA KONTURLARI

Konseptual texnik sxema — geometrik va quvvat qiymatlari keyingi loyihalashda aniqlanadi



1-rasm. Issiqlik tashuvchi va kamera havosi uchun alohida konturlar (konseptual tasvir).

Ventilyatorni faqat kameradagi nisbiy namlikning chegaraviy qiymati bo'yicha boshqarish ayrim vaziyatlarda samarasiz bo'lishi mumkin: tashqaridan kiritilgan havo ko'proq suv bug'ini olib kirishi ehtimoli ham mavjud. Shuning uchun tashqi va ichki harorat hamda nisbiy namlikdan namlik nisbatini hisoblab, faqat namlikni chiqarish maqsadga muvofiq bo'lganida havo almashinuvini kuchaytirish taklif qilinadi. Fokus zonasida harorat xavfli chegaraga yaqinlashsa, kuzatish tizimini defokuslash yoki ortiqcha issiqlikni ajratish ko'zda tutiladi. Bu xavfsizlik yondashuvi manbalardagi boshqaruv va konsentrator tajribalaridan kelib chiqqan loyihaviy taklif bo'lib, amaliy tatbiqdan oldin muhandislik tekshiruvi talab etadi [6, 10, 11].



2-rasm. Nurlanish va issiqlik zaxirasiga qarab rejim tanlashning prinsipial ketma-ketligi (konseptual tasvir).

Massaning saqlanishi va energiya sarfini bir xil usulda hisoblash

Boshlang'ich mahsulot massasi m_0 , nam asosidagi boshlang'ich namlik W_0 va maqsadli yakuniy namlik W_f bilan ifodalansin ($0 \leq W_0, W_f < 1$). Quritish mobaynida quruq modda massasi o'zgarmaydi degan idealizatsiya qabul qilinsa, chiqariladigan suv miqdori quruq modda balansidan topiladi:

$$m_{\text{suv}} = m_0 - m_0(1 - W_0)/(1 - W_f). \quad (1)$$

Energiyani qiyoslashda ikki xil ko'rsatkichni farqlash zarur. Bir kilogramm suvni chiqarishga to'g'ri kelgan jami kiruvchi energiya $SEC = (E_{\text{quyosh}} + E_{\text{yordamchi}} + E_{\text{elektr}})/m_{\text{suv}}$, xarid qilinadigan energiya bo'yicha ko'rsatkich esa $SEC_{\text{xarid}} = (E_{\text{yordamchi}} + E_{\text{elektr}})/m_{\text{suv}}$ orqali aniqlanadi. Bunda E_{quyosh} konsentrator aperturasiga tushgan bevosita nurlanish energiyasidan, qolgan hadlar mos hisoblagich ko'rsatkichlaridan olinadi; barcha hadlarning o'lchov birligi yagona bo'lishi shart. Akkumulyatordan qayta uzatilgan issiqlik birlamchi kiruvchi quyosh energiyasiga yana qo'shilmaydi, aks holda energiya ikki marta hisoblanadi. Formulalar eksperimental FIKni bildirmaydi, balki kelgusi sinovlarning hisoblash chegarasini oldindan belgilaydi [13, 14].

Yakuniy namlik kerakli, lekin mahsulotning yetarli sifat mezoni emas. Mazkur mezonga mahsulotga qarab suv faolligi, rang, shaklning o'zgarishi, muhim kimyoviy tarkibiy qismlar va



mikrobiologik xavfsizlik qo'shilishi kerak. Shuningdek, har bir lotokda harorat va massa dinamikasini alohida qayd etish kamera hajmida quritish jarayoni bir xil kechayotganini tekshirishga imkon beradi [1, 4, 10, 14].

2-jadval.

Tavsiya etilayotgan uch prototip uchun qiyosiy sinov matriksasi

Sinov sharoiti	Majburiy kuzatuvlar	Tekshiriladigan ta'sir
A. Bilvosita bazaviy quritgich	m(t), kamera T/RH, E _{quyosh} , E _{elektr}	Konsentratorsiz boshlang'ich mezon
B. Konsentratorli variant	A dagi o'lchovlar, DNI, fokus harorati	Optik konsentratsiyaning alohida hissasi
C. Konsentrator va zaxira	B dagi o'lchovlar, zaxiraga kirish/chiqish issiqligi	Nurlanish uzilganida rejim barqarorligi
Barcha variantlarning sifat bahosi	Namlik, suv faolligi, rang, xarid xarajatlari	Tezlik-sifat-energiya muvozanati

Sinov variantlari uchun bitta nav, bo'lakning bir xil qalinligi, partiya massasi, dastlabki namlik va belgilangan yakuniy namlik tanlanishi lozim. Eng maqbul holat - qurilmalarni bir vaqtda ishlatish; buning imkoni bo'lmasa, radiatsiya va tashqi meteorologik kattaliklar o'lganib, tajribalar takrorlanadi. Har bir variantda kamida uchta mustaqil takror rejalashtirish, asboblarning noaniqligini hujjatlashtirish va natijalarni ishonch oraliq bilan berish tavsiya etiladi. Ushbu bayon tajribalar allaqachon bajarilganini anglatmaydi.

MUHOKAMA

Konsentratsiyalash yuqori temperaturali issiqlik manbaini, zaxiralash esa quyosh uzilgan davrda qo'shimcha issiqlik imkoniyatini beradi [10, 11, 15, 17]. Ammo bular mahsulotning yuqori sifatda chiqishini yoki jami sarfning kamayishini kafolatlamaydi. Masalan, noto'g'ri klapan sozlamasi lotoklarning ayrim qismini ortiqcha qizdirishi, kuchli ventilyatsiya esa elektr talabini oshirishi mumkin. Shu sababli tizimning haqiqiy foydasini quritish vaqti, sifat, jami va xarid energiyasi, kamera bir jinsliliigi hamda avariya himoya ko'rsatkichlarini birga o'lgandagina aniqlash mumkin. Qurilma arxitekturasini haqidagi konseptual natija bilan tajribada tasdiqlanadigan ustunlik o'rtasida aniq farq saqlanadi.

Tahlilning cheklovlari nashrlar tanlanmasi va loyiha bosqichi bilan bog'liq. Bibliografiya barcha ma'lumotlar bazalarini to'liq qamramaydi; ayrim manbalar haqida xulosa nashr tavsifi va annotatsiya darajasidagi ma'lumotlarga tayanadi. Bundan tashqari, hali konsentrator o'lgamlari, optik parametrlari, issiqlik zaxirasi materiali, mahsulotga mos aniq retsept va tajriba protokoli mavjud emas. Shu bois yangi qurilma uchun quritish vaqti, energiya samaradorligi yoki iqtisodiy qoplanish muddatining foiz va son ko'rinishidagi natijalarini keltirish ilmiy jihatdan asoslanmagan bo'lar edi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Mahalliy adabiyotlar o'rik va dorivor o'simliklar misolida mahsulot namligining vaqt bo'yicha o'zgarishi hamda datchiklar yordamida kuzatish usullarini yoritadi [1-7]. Xorijiy ishlar yuqori issiqlik oqimini olish, qo'shimcha isitish va zaxiralash imkoniyatlarini ko'rsatadi [9-17]. Ushbu natijalarni bir qurilmaga tatbiq etishda mahsulot turi va sinov sharoitlari farqini hisobga olish zarur; turli tadqiqotlardagi vaqt yoki iqtisodiy qiymatlar o'zaro avtomatik qiyoslanmaydi.

Ish doirasida konsentrator, almashgich, akkumulyator, quritish kamerasi va boshqaruvni yagona issiqlik zanjiri sifatida ko'radigan konsepsiya asoslandi. Taklifning asosiy mazmuni mavjud komponentlarni yangilik sifatida takrorlash emas, balki ularni bir xil energiya balansini, mahsulotning



chegaraviy harorati, lotoklar bo'yicha bir jinslilik va sifat tekshiruvi bilan bog'lashdir. Uch rejimli boshqaruv algoritmi mazkur mezonlarni amaliy sinash uchun dastlabki tuzilma bo'lib xizmat qiladi.

Navbatdagi ishlar konsentrator geometriyasi va optik yo'qotishlarni hisoblash, fokus qismidagi termik xavfsizlikni asoslash hamda turli mahsulotlar uchun harorat–havo sarfi rejimlarini belgilashdan iborat. Shundan keyin A, B va C qurilmalar parallel ravishda yoki meteorologik sharoit bo'yicha me'yorlashtirilgan usulda sinovdan o'tkazilishi kerak. Energiya tejamkorligi va iqtisodiy afzallik to'g'risidagi miqdoriy xulosalar faqat o'lchash natijalari olingach chiqarilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rejabov S., Usmonov B., Usmanov K., Artikov A. Experimental Comparison of Open Sun and Indirect Convection Solar Drying Methods for Apricots in Uzbekistan // Engineering Proceedings. 2024. 67(1). 26. DOI: 10.3390/engproc2024067026.
2. To'xliyev M., Ovlayev J. Operation Test Results of an Improved Solar Drying Device with Low Potential // ACTA NUUZ. 2024. 3(3.1). P. 516–520. DOI: 10.69617/nuuz.v3i3.1.1945.
3. Rejabov S., Usmonov B., Artikov A., Usmanov K. Mathematical Modelling of the Solar Drying of Apricot // Chemical Technology, Control and Management. 2024. No. 4. P. 56–63. DOI: 10.59048/2181-1105.1604.
4. Sultanova Sh. A., Usmanov K. I. Dorivor o'simliklarni gelioquritish qurilmasida quritish jarayonini matematik modellashirish // Ilm-fan va innovatsion rivojlanish. 2024. 7(4). B. 8–14. <https://slib.uz/article/30475>.
5. Usmanov K. I., Rejabov S. A., Usmonov B. Sh., Artikov A. A. Noqat'iy mantiq asosida bilvosita quyosh quritgichlarining harorat dinamikasini bashorat qilish // Ilm-fan va innovatsion rivojlanish. 2024. 7(5). B. 8–18. <https://slib.uz/article/30582>.
6. Usmanov K. I., Islamova F. K., Tadjibayeva D. A. Razrabotka i eksperimentalnoe issledovanie solnechnoi shkafnoi sushilki s IoT-sistemoi monitoringa i upravleniya dlya sushki lekarstvennykh rastenii // Universum: tekhnicheskie nauki. 2026. 2(143). DOI: 10.32743/UniTech.2026.143.2.21917.
7. Usmanov K., Yakubova N., Rejabov S., Eshbobaev J., Yusupov M. Prediction of Drying Efficiency in Cabinet Solar Dryers for Medicinal Plants Using Artificial Neural Networks // Engineering Proceedings. 2025. 117(1). 42. Published 02.02.2026. DOI: 10.3390/engproc2025117042.
8. El-Sebaï A. A., Shalaby S. M. Solar drying of agricultural products: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. 16(1). P. 37–43. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.134.
9. Ssemwanga M., Makule E., Kayondo S. I. Performance analysis of an improved solar dryer integrated with multiple metallic solar concentrators for drying fruits // Solar Energy. 2020. 204. P. 419–428. DOI: 10.1016/j.solener.2020.04.065.
10. Ebadi H., Zare D., Ahmadi M., Chen G. Performance of a hybrid compound parabolic concentrator solar dryer for tomato slices drying // Solar Energy. 2021. 215. P. 44–63. DOI: 10.1016/j.solener.2020.12.026.
11. Bousbia Salah S. E., Benseddik A., Meneceur N., Zine A., Deghoum K. Design and realization of a new solar dryer assisted by a parabolic trough concentrator (PTC) with a dual-axis solar tracker // Solar Energy. 2024. 283. 113001. DOI: 10.1016/j.solener.2024.113001.
12. Kong D., Wang Y., Li M., Liang J. A comprehensive review of hybrid solar dryers integrated with auxiliary energy and units for agricultural products // Energy. 2024. 293. 130640. DOI: 10.1016/j.energy.2024.130640.
13. Venkateswarlu K., Reddy S. V. K. Recent trends on energy-efficient solar dryers for food and agricultural products drying: a review // Waste Disposal & Sustainable Energy. 2024. 6. P. 335–353. DOI: 10.1007/s42768-024-00193-3.
14. Shimpy, Kumar M., Kumar A. Performance Assessment and Modeling Techniques for Domestic Solar Dryers // Food Engineering Reviews. 2023. 15. P. 525–547. DOI: 10.1007/s12393-023-09335-5.



15. Ranasingha D., Chatterjee S., Bandara P. Applications of phase-change materials in solar drying technology: A review // Solar Compass. 2026. 17. 100155. DOI: 10.1016/j.solcom.2025.100155.
16. Nnamchi O., Tom C., Akpan G., et al. Solar dryers: A review of mechanism, methods and critical analysis of transport models applicable in solar drying of product // Green Energy and Resources. 2025. 3(2). 100118. DOI: 10.1016/j.gerr.2025.100118.
17. Rashid F. L., Hammoodi K. A., Al Maimuri N. M. L., et al. Solar Dryers With Thermal Energy Storage: System Integration, Mathematical Modeling, and Review of Sensible and Latent Heat Technologies // Heat Transfer. Published online 09.07.2026. DOI: 10.1002/htj.70308.