

UO‘K: 662.997

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-m.09>

## BILVOSITA QUYOSH QURITGICH QURILMASINING MATEMATIK MODELINI ISHLAB CHIQISH VA COMSOL DASTURIDA MODELLASHTIRISH

**Turapova Dilobar Usmanovna** - kichik ilmiy xodim, E-mail: [turapova.dilobar@gmail.com](mailto:turapova.dilobar@gmail.com),

ORCID: 0000-0002-2856-6909, Science ID: MQD-0626-0122;

**G‘opparov Umid Ramazonovich** - kichik ilmiy xodim, E-mail: [ramazanumid@mail.ru](mailto:ramazanumid@mail.ru),

ORCID: 0000-0003-3189-2518, Science ID: MSD-0626-0092.

O‘zbekiston Fanlar akademiyasi Fizika-texnika instituti, Toshkent sh., O‘zbekiston

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada bilvosita ishlovchi quyosh havo quritgichining matematik modeli ishlab chiqilib, COMSOL Multiphysics dasturi yordamida sonli modellash tirish amalga oshirildi. Tadqiqotda qurilma ichidagi issiqlik va massa almashinuvi, havo oqimining harakati hamda harorat taqsimoti Computational Fluid Dynamics (CFD) usullari asosida tahlil qilindi. Modelda quyosh radiatsiyasi va tashqi muhit haroratining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi interpolatsion funksiyalar orqali hisobga olindi. Modellash tirish natijalari quritgich ichida tabiiy konveksiya tufayli barqaror havo aylanishi hosil bo‘lishini, eng yuqori haroratlarning esa kunning 11:00-14:00 oralig‘ida kuzatilishini ko‘rsatdi. Shuningdek, Reynolds, Prandtl va Nusselt sonlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi issiqlik uzatish jarayonlarining quyosh nurlanishiga bevosita bog‘liqligini tasdiqladi. Olingan natijalar quyosh quritgichlarining konstruktiv parametrlarini takomillashtirish va energiya tejankor quritish texnologiyalarini rivojlantirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so‘zlar:** quyosh quritgichi, COMSOL Multiphysics, issiqlik uzatish, matematik modellash tirish, konveksiya, Reynolds soni, Nusselt soni, quyosh energiyasi.

UDK: 662.997

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОСВЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛКИ И ЕЁ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ COMSOL

**Турапова Дилобар Усмановна**<sup>1</sup> - младший научный сотрудник;

**Гоппаров Умид Рамазанович**<sup>2</sup> - младший научный сотрудник

Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан

**Аннотация.** В данной статье разработана математическая модель косвенной солнечной воздушной сушилки и выполнено её численное моделирование с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics. В ходе исследования на основе методов вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD) были проанализированы процессы тепло- и массообмена, движение воздушного потока и распределение температуры внутри установки. Временные изменения солнечной радиации и температуры окружающей среды учитывались с помощью интерполяционных функций. Результаты моделирования показали, что благодаря естественной конвекции внутри сушилки формируется устойчивый воздушный поток, а максимальные температуры наблюдаются в период с 11:00 до 14:00. Кроме того, установлено, что изменение чисел Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта во времени непосредственно связано с интенсивностью солнечного излучения и процессами теплопередачи. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для совершенствования конструктивных параметров солнечных сушилок и развития энергосберегающих технологий сушки.

**Ключевые слова:** солнечная сушилка, COMSOL Multiphysics, теплопередача, математическое моделирование, конвекция, число Рейнольдса, число Нуссельта, солнечная энергия.

UDC: 662.997

## DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF AN INDIRECT OF AN INDIRECT SOLAR DRYER AND ITS SIMULATION IN COMSOL

**Turapova, Dilobar<sup>1</sup>** - junior research

**Gopparov, Umid<sup>2</sup>** - junior research

Physical-Technical Institute of the Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent city, Uzbekistan

**Abstract.** *This paper presents the development of a mathematical model of an indirect solar air dryer and its numerical simulation using the COMSOL Multiphysics software package. The study employs Computational Fluid Dynamics (CFD) methods to analyze the heat and mass transfer processes, airflow behavior, and temperature distribution within the dryer. Temporal variations in solar radiation and ambient temperature were incorporated into the model using interpolation functions. The simulation results showed that natural convection inside the dryer creates a stable airflow pattern, while the highest temperatures are observed between 11:00 and 14:00. Furthermore, the analysis revealed that the temporal variations of the Reynolds, Prandtl, and Nusselt numbers are directly related to the intensity of solar radiation and heat transfer processes. The obtained results have significant scientific and practical value for improving the design parameters of solar dryers and advancing energy-efficient drying technologies.*

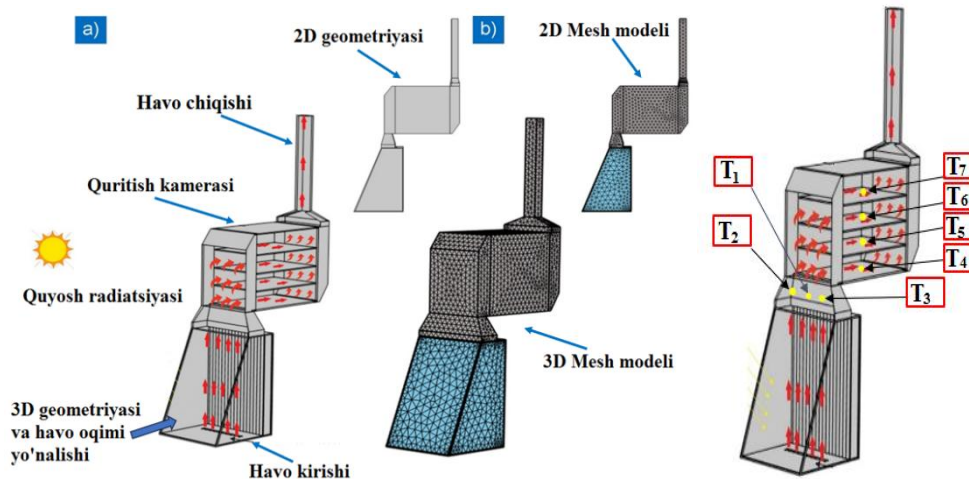
**Keywords:** solar dryer, COMSOL Multiphysics, heat transfer, mathematical modeling, convection, Reynolds number, Nusselt number, solar energy.

### Kirish

Qishloq xo'jaligi mahsulotlarini energiya tejankor usulda quritish bugungi kunda dolzarb masalalardan biridir. Mahsulotlarini sifatli saqlash va qayta ishlashda quritish jarayoni muhim ahamiyatga ega. An'anaviy quritish usullarida katta miqdorda elektr yoki yoqilg'i sarfi talab qilinadi. Shu sababli qayta tiklanuvchi energiya manbalari, ayniqsa quyosh energiyasidan foydalanishga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda. Quyosh energiyasiga asoslangan quritgichlar ekologik toza va iqtisodiy jihatdan samarali bo'lib, ayniqsa issiq iqlimli hududlarda keng qo'llanilmoqda [1-2]. O'zbekiston iqlimi quyosh nurlariga boy bo'lib, yil davomida kunlik o'rtacha 8 soat atrofida quyoshli ob-havo kuzatiladi. Quyosh quritgich qurilmalar samaradorligi ichki havo oqimi va issiqlik almashinuvi jarayonlariga bevosita bog'liq [3]. Shu sababli, quritgich ichida sodir bo'ladigan jarayonlarni chuqur tahlil qilish uchun Computational Fluid Dynamics (CFD) usuli qo'llanildi. Mazkur yo'nalishda quritgichlarning ishlash xususiyatlari tajriba asosida o'rganilgan va ilmiy adabiyotlarda yoritilgan tadqiqotlar ham mavjud [4-5-6].

### Uslublar va materiallar

Ushbu tadqiqot meva va sabzavotlar uchun mo'ljallangan quyosh quritgichining COMSOL Multiphysics 6.1 dasturida modellashtirilishi va sonli tahliliga qaratilgan. Tadqiqot ishida ko'rib chiqilayotgan quyosh quritgich qurilmasi tabiiy konveksiya asosidagi bilvosita ishlaydigan quyosh quritgich bo'lib, quyidagi asosiy komponentlardan tashkil topgan: quyosh kollektori, quritish kamerasi, havo aylanish tizimi. Quyosh kollektori qurilmaning asosiy qismi hisoblanib, quyosh nurlarini yutib, ularni issiqlikka aylantiradi. Kollektor maksimal quyosh nurlanishini olish maqsadida  $41^{\circ}$  burchak ostida mos holda joylashtirilgan. Qurilmaning kollektori qora rangli laton gafrirovka plastinadan iborat bo'lib, issiqlik yutish samaradorligini oshiradi va havoni isitadi. Isitilgan havo kanal orqali quritish kamerasiga uzatiladi. Havo oqimi pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. 1-rasmda quyosh quritgich qurilmasining umumiy ko'rinishi keltirilgan.



1-rasm. a) Quyosh quritgich qurilmasining umumiy ko‘rinishi, b) comsol dasturida modellash uchun yaratilgan setka.

**a) Fizik ishlash sxemasi.** Ushbu sxemada quyosh quritish qurilmasining fizik ishlash jarayoni ko‘rsatilgan. Quyosh radiatsiyasi qurilmaning pastki qismida joylashgan kollektor yuzasiga tushib, havo muhitining qizishiga sabab bo‘ladi. Tashqi muhitdan kiruvchi sovuq havo quyi qismdagi havo kirish kanali orqali qurilmaga uzatiladi. Quyosh energiyasi ta‘sirida havo harorati oshib, konvektiv harakat yuzaga keladi va havo oqimi yuqoriga yo‘naladi.

Qizigan havo oqimi quritish kamerasidan o‘tish jarayonida mahsulot tarkibidagi namlikni bug‘lanish orqali olib chiqadi. Namlik bilan to‘yingan issiq havo esa qurilmaning yuqori qismida joylashgan havo chiqarish yo‘li (mo‘ri) orqali tashqi muhitga chiqariladi.

**b) Sonli modellash modeli.** Quyosh quritgich qurilmasining suyuqliklarning hisoblash dinamikasi (CFD) asosida o‘rganish uchun ishlab chiqilgan geometrik shakli hamda hisoblash modeli keltirilgan. Model butun hajm bo‘ylab mayda uchburchak elementlardan tashkil topgan diskret to‘rga ajratilgan bo‘lib, bu havo oqimi va issiqlik almashinuvi jarayonlarini aniqlik bilan hisoblash imkonini beradi. Modelning quyi qismida joylashgan ko‘k rang bilan belgilangan qismi havo kirish sohasi sifatida qabul qilingan, yuqori qism esa havo chiqarish kanali vazifasini bajaradi. Mazkur sonli model asosida qurilma ichida kechadigan havo oqimi va issiqlik jarayonlari tahlil qilinadi. Xususan, havo oqimining tezlik jarayoni qurilma ichidagi haroratning taqsimoti hamda bosimning o‘zgarishi sonli hisoblash usullari orqali aniqlanadi.

**Qattiq jismlarda issiqlik uzatilishini modellash.** Quyidagi tenglama “Qattiq jismlarda issiqlik uzatish” interfeysini yechishda qo‘llaniladi

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u_{trans} \cdot \nabla T \right) + \nabla \cdot (q + q_r) = -\alpha T: \frac{ds}{dt} Q. \quad (1)$$

Doimiy holatli (steady-state) masalada harorat vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydi va vaqt hosilalari bilan bog‘liq hadlar yo‘qoladi. 1-sonli tenglamaning o‘ng tomonidagi birinchi had – bu termoelastik so‘nish bo‘lib, qattiq jismlardagi termoelastik ta’sirlarni hisobga oladi.

$$Q_{ted} = -\alpha T: \frac{ds}{dt}. \quad (2)$$

Shuni ta’kidlash kerakki,  $d/dt$  operatori-bu moddiy hosila hisoblanadi.

#### Suyuqliklarda issiqlik uzatilishi

Suyuqliklarda issiqlik uzatish interfeysi quyidagi tenglamani yechadi:

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} u \cdot \nabla T \right) + \nabla \cdot (q + q_r) = \alpha_p T \left( \frac{dp}{dt} + u \cdot \nabla_p \right) + \tau: \nabla u + Q. \quad (3)$$

Koshi kuchlanish tenzori,  $\sigma$ , quyidagicha statik va deviatik qismlarga ajratiladi:

$$\sigma = -pI + \tau. \quad (4)$$

Ideal gazlar uchun issiqlik kengayish koeffitsiyenti quyidagi soddalashtirilgan ko‘rinishga ega:  $\alpha_p = 1/T$ ,

$$\alpha_p = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T}. \quad (5)$$

Doimiy holatli masalada harorat vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi va vaqt hosilalari bilan bog'liq hadlar yo'qoladi

$$Q_P = \alpha_P T \left( \frac{dp}{dt} + u \cdot \nabla_p \right). \quad (6)$$

Ikkinchi had suyuqlikdagi yopishqoq yo'qotishlarni (dissipatsiyani) ifodalaydi:

$$Q_{vd} = \tau : \nabla u. \quad (7)$$

Asosiy issiqlik fizikaviy kattaliklar foydali enegiya miqdori, issiqlik uzatish koeffitsiyenti, kollektor samaradorligini aniqlash uchun COMSOL Multiphysics dasturining o'zgaruvchan paramterlar bo'limiga kiritildi.

Prandtl soni quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$Pr = k \cdot C_p \cdot \mu, \quad (8)$$

bu yerda  $C_p$ – havo uchun issiqlik sig'imi (J/kg·K),  $k$  –issiqlik o'tkazuvchanlik (W/m·K),  $\mu$ -dinamik quvushqoqlik.

Reynolds soni (Re):

$$Re = \frac{\rho \cdot \vartheta_{in} \cdot D_h}{\mu}, \quad (9)$$

bu yerda  $D_h$  – gidravlik diametr,  $\mu$ -dinamik qovushqoqlik,  $\vartheta_{in}$ -kirish tezligi,  $\rho$ -suyuqlik zichligi.

Nusselt soni (Nu) aniqlashda quyidagi formuladan foydalanildi (Dittus-Boelter tenglamasi):

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}. \quad (10)$$

Konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti:

$$h_{con} = \frac{Nu \cdot k}{D_h}. \quad (11)$$

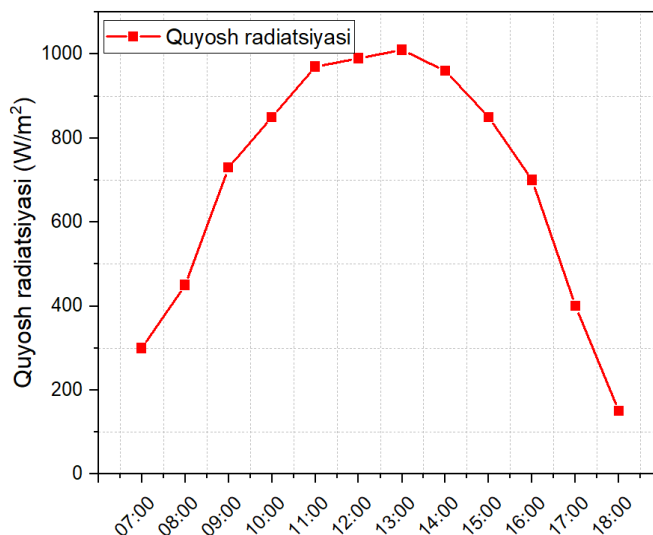
Aytib o'tish joizki, barcha yuqoridagi ifodalar COMSOL Multiphysics dasturiga dinamik ravishda parametrik funksiyalar va o'zgaruvchilar ko'rinishida kiritildi. Bu yondashuv yordamida vaqt bo'yicha harorat, oqim tezligi va issiqlik o'zgarishini aniq kuzatish imkoniyati yaratildi.

### Natijalar va muhokama

Ushbu tadqiqotda quyosh quritgichning ishlashini yanada aniqroq modellashtirish maqsadida, quyosh radiatsiyasi va havoning kirish harorati o'zgaruvchan kattalik sifatida hisobga olindi. Quyoshli kun davomida turlicha bo'lgan quyosh nurlanish intensivligi (W/m<sup>2</sup>) va tashqi muhit haroratining vaqtga bog'liq ravishda o'zgarib borishi, tajriba ma'lumotlari asosida grafik ko'rinishda aniqlangan va mos qiymatlar Excel fayliga kiritildi.

#### Quyosh nurlanishi va issiqlik oqimi

| Soat  | Quyosh oqimi (W/m <sup>2</sup> ) |
|-------|----------------------------------|
| 07:00 | 350                              |
| 08:00 | 530                              |
| 09:00 | 620                              |
| 10:00 | 930                              |
| 11:00 | 1000                             |
| 12:00 | 940                              |
| 13:00 | 829                              |
| 14:00 | 620                              |
| 15:00 | 410                              |
| 16:00 | 250                              |
| 17:00 | 180                              |
| 18:00 | 150                              |

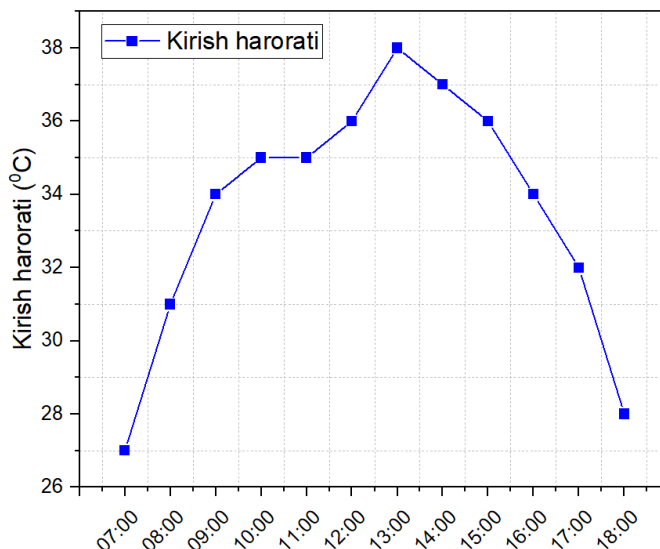


2-rasm. Kun davomida quyosh radiatsiyasining o'zgarishi.

Quyosh radiatsiyasining kun davomida vaqt bo'yicha o'zgarishini ko'rsatadi va quyosh quritgichining ishlash samaradorligini baholashda muhim ahamiyatga ega (2-rasm). Grafikdan ko'rinadiki, quyosh radiatsiyasi kunning o'rtalarida maksimal qiymatga erishib, so'ngra kamayib boradi. Ushbu o'zgarish quritgich ichidagi harorat va havo oqimiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Aynan

12:00-14:00 oralig'ida kuzatilgan yuqori quyosh radiatsiyasi quritish kamerasida haroratning oshishiga, tabiiy konveksiyaning kuchayishiga va issiqlik almashinuvi samaradorligining ortishiga olib keladi. 3-rasmda quyosh quritgich qurilmasida kirish haroratining o'zgarishi keltirilgan.

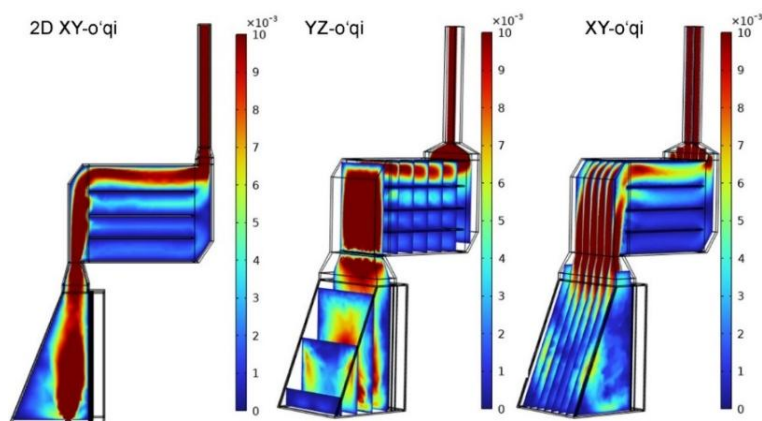
| Soat  | Kirish harorati (°C) |
|-------|----------------------|
| 07:00 | 27                   |
| 08:00 | 31                   |
| 09:00 | 34                   |
| 10:00 | 35                   |
| 11:00 | 35                   |
| 12:00 | 36                   |
| 13:00 | 38                   |
| 14:00 | 37                   |
| 15:00 | 36                   |
| 16:00 | 34                   |
| 17:00 | 32                   |
| 18:00 | 28                   |



**3-rasm. Kirish haroratining o'zgarishi.**

3-rasm kirish harorati quritgichning issiqlik rejimini belgilovchi asosiy parametrlardan biri bo'lib, quritish samaradorligiga bevosita ta'sir qiladi. rasmdan ko'rinadiki, kirish havosi harorati quyosh radiatsiyasining kun davomida o'zgarishiga mos ravishda ortib va kamayib boradi. Haroratning soat 12:00–13:00 vaqt oralig'ida maksimal qiymatga erishishi quyosh nurlanishining eng yuqori intensivligi bilan bog'liq. Aynan shu davrda quritish kamerasiga kirayotgan havo ko'proq qiziydi va tabiiy konveksiya kuchayadi.

Ushbu vaqtga bog'liq o'zgaruvchan kattaliklar COMSOL Multiphysics dasturiga interpolatsion funksiya shaklida import qilindi [8]. Interpolatsiya turi sifatida "Piecewise Linear" usuli tanlandi, bu esa berilgan vaqt oraliqlarida qiymatlarning chiziqli o'zgarishini ta'minladi. Bunday yondashuv yordamida quyosh radiatsiyasi  $Q_{inlet\_func}(t)$  funksiyalari vaqtga bog'liq qilib COMSOL modeliga integratsiya qilindi. Natijada, modellashtrish real sharoitlarga yaqinlashdi va kun davomida issiqlik almashinuvinin aniqroq baholanishiga erishildi.

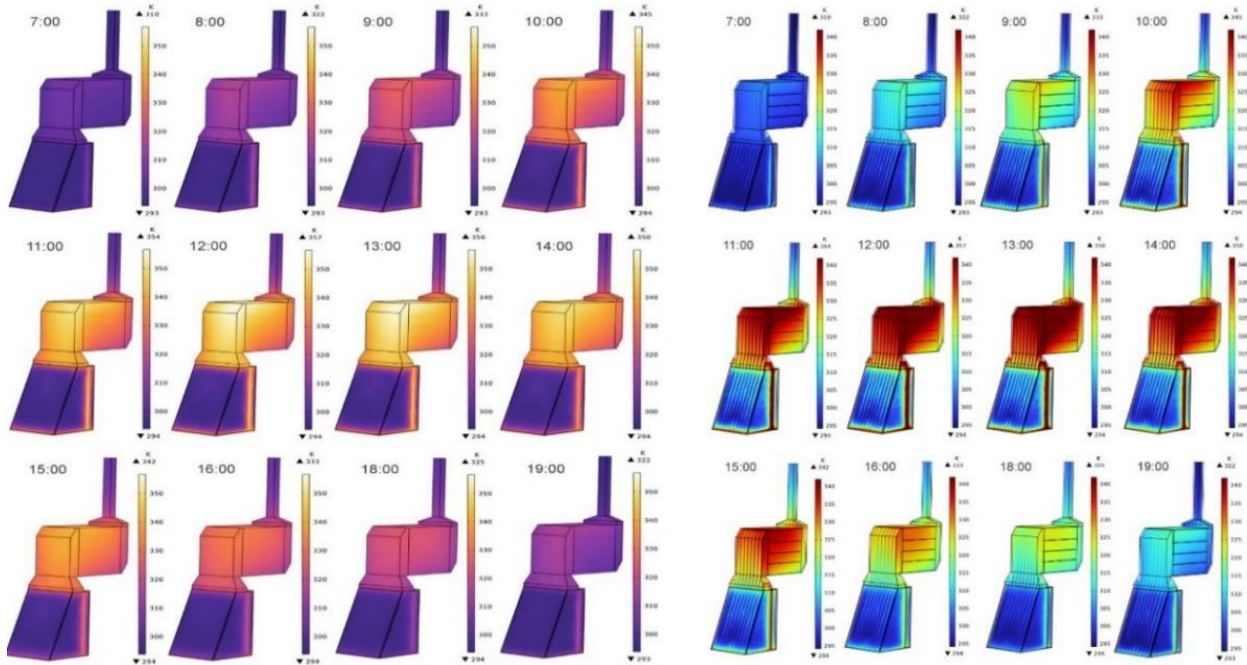


**4-rasm. Quritgich qurilmasida havo tezligining o'zgarishi.**

4-rasmda quyosh quritgich qurilmasida havo oqimining tezlik taqsimoti uch xil kesimda ko'rsatilgan. Kirish havosining harorati atrof-muhit harorati bilan bir xil hisoblanadi, ya'ni  $T_0=298$  K. 2D XY- o'qi qurilmaning yon tomondan ko'rinishi berilgan. Eng yuqori tezliklar qurilmaning pastki qismida, kollektor kamera tutash qismida va chiqish quvurida kuzatildi. Quritish kamerasining ichki qismida havo tezligi nisbatan past va bir tekis, bu mahsulotning barqaror qurishini ta'minlaydi.

YZ-o'qi qurilmaning old tomonidan kesishini ifodalaydi. Havo oqimi quritish kamerasida qatlamlar bo'ylab taqsimlangan holda harakatlanadi. Kamera yuqori qismida tezlik oshgani ko'rinadi. Bu issiq havoning tabiiy konveksiya natijasida yuqoriga ko'tarilishi.

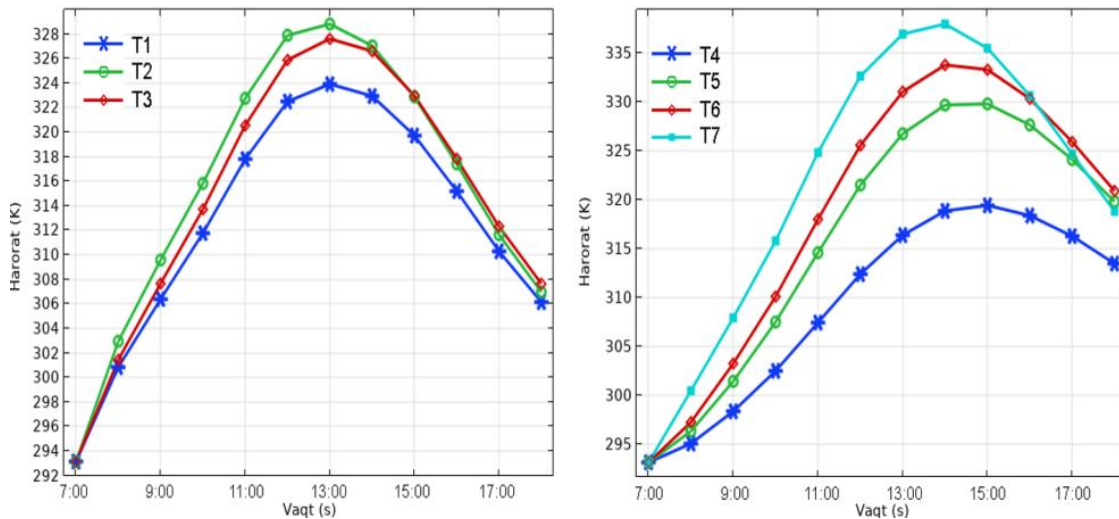
XY-o'qi havo oqimining yo'nalishi va chiziqliligi yaqqol ko'rinadi. Issiq havo kollektor bo'ylab yuqoriga qarab harakatlanib, kameraga kiradi va chiqish quvuriga yo'naltiriladi. Oqim chiziqlari havo harakati barqaror va uzluksiz ekanini ko'rsatdi.



**5-rasm. (a) Quyosh quritgich qurilmasining tashqi sirt haroratining o'zgarishi, (b) Quyosh quritgich qurilmasining ichki sirt haroratining o'zgarishi.**

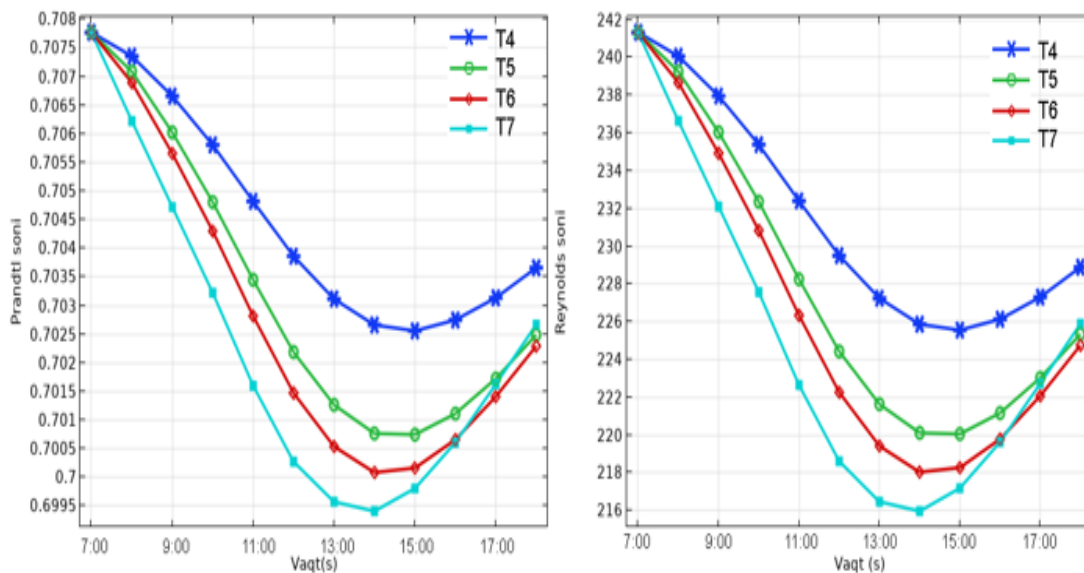
5-rasmning (a) holatdagi ko'rinishida qurilmaning tashqi sirt harorati kun davomida vaqt bo'yicha 7:00-19:00 o'zgarishi CFD natijalari asosida tasvirlangan. Ranglar shkalasi 293-360 K oralig'ini ko'rsatadi. ko'k binafsha ranglar past harorat, sariq to'q, sariq ranglar yuqori harorat hududlarini bildiradi. Qurilmaning yuqori qismi pastki qismga nisbatan doimo issiqroq bo'ldi. Vaqt bo'yicha o'zgarishlar shuni ko'rsatdiki Soat 7:00-8:00 vaqt oralig'ida qurilma deyarli sovuq holatda, harorat asosan 293-310 K atrofida bo'ladi. Issiqlik asosan kollektor yuzalarida to'planishni boshlaydi. 9:00-10:00 da quyosh nurlanishi kuchayishi bilan yuqori kamerada harorat tez oshib, 330-345 K gacha yetadi. 11:00-13:00 da eng yuqori haroratlar kuzatiladi. Quritish kamerasida va kollektor zonasida 350-357 K gacha ko'tarilib, issiqlik butun hajm bo'ylab tarqaladi. 14:00-15:00 da harorat hali ham yuqori bo'lib qoladi 340-350 K, ammo asta-sekin pasayish boshlanadi. 16:00-18:00 da quyosh intensivligi kamayishi bilan qurilma ichidagi harorat sezilarli ravishda tushib, 320-335 K oralig'iga qaytadi. 19:00 Kechki paytda deyarli butun qurilma past haroratli holatga o'tadi ( $\approx 293-322$  K).

5-rasmning (b) holatdagi ko'rinishida quyosh quritgich qurilmasida haroratning kun davomida vaqt bo'yicha o'zgarishini CFD natijalari asosida ko'rsatadi. Quyosh radiatsiyasi kuchaygani sariq quritgich ichidagi harorat oshib boradi. Quritish jarayoni kunning o'rtasi boshlanadi. 10:00-14:00 da harorat keskin oshadi. Eng yuqori harorat 340-350 K. 6-rasmda Quyosh quritgich qurilmasining turli (T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7) nuqtalarida harorat o'zgarishi keltirilgan.



6-rasm. Quyosh quritgich qurilmasining turli (T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7) nuqtalarida harorat o'zgarishi.

7:00 da barcha nuqtalar harorati 293 K atrofida. 7:00-13:00 oralig'ida harorat ko'tarildi. Maksimal harorat 12:00-13:00 da kuzatildi.



7-rasm. Quyosh quritgich qurilmasining turli (T4,T5,T6,T7) Prandtl va Reynolds sonlarining o'zgarishi.

7-rasmda quyosh quritgich qurilmasining turli nuqtalarida (T4,T5,T6,T7) Prandtl va Reynolds sonlarining o'zgarishi keltirilgan. Reynolds soni suyuqlik yoki gaz oqimining laminar yoki turbulent ekanligini aniqlovchi o'lchamsiz kattalikdir. U inertsia kuchlarining yopishqoqlik kuchlariga nisbatini ifodalaydi [9].

$$Re = \frac{\rho u L}{\mu} = \frac{u L}{\sigma}; \quad (12)$$

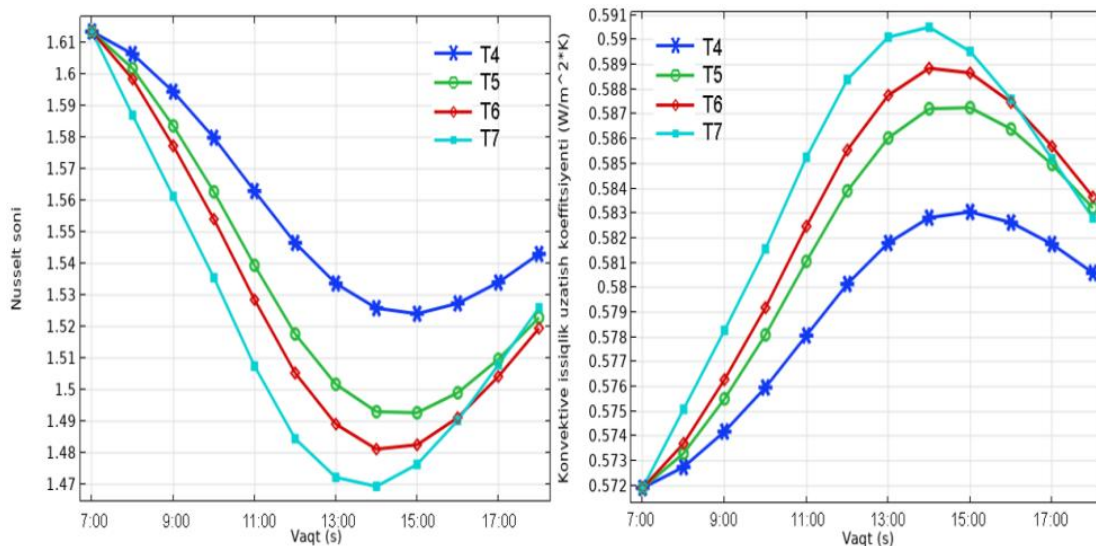
Prandtl soni impuls diffuziyasi (yopishqoqlik) bilan issiqlik diffuziyasi o'rtasidagi nisbatni tavsiflovchi o'lchamsiz kattalikdir.

$$Pr = \frac{\sigma}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k}; \quad (13)$$

7-rasmda soat 7:00 dan 13:00-15:00 gacha barcha egri chiziqlarda Prandtl soni asta-sekin kamayib boradi. Eng katta qiymatlar T4 nuqtada, eng kichik qiymatlar esa T7 nuqtada kuzatiladi. 14:00-15:00 vaqt oralig'ida minimum qiymatlarga erishiladi. Shundan so'ng, kechki paytga tomon 15:00-18:00 da Prandtl soni yana ortishni boshlaydi. Bu holat kun davomida havo harorati va issiqlik xossalari o'zgarishi bilan bog'liq. O'ng grafik Reynolds soni vaqt Reynolds soni ham xuddi shunga o'xshash tendensiyani ko'rsatadi. Ertalab yuqori bo'lib, tushga yaqin pasayadi, keyin yana

ko'tariladi. T4 nuqta butun vaqt davomida eng yuqori Reynolds soniga ega, T7 esa eng past qiymatlarni ko'rsatadi. Minimum qiymatlar 13:00-15:00 da kuzatiladi, bu vaqtda havo oqimi tezligi yoki zichligi nisbatan kamayganini bildiradi. Har ikkala grafikdan ko'rinadiki, vaqt o'tishi bilan issiqlik va oqim xususiyatlari o'zgarib, Prandtl va Reynolds sonlari avval kamayadi, so'ngra kechki paytga borib yana ortadi. Bu quyosh quritgich ichidagi issiqlik almashinuvi va havo konveksiyasi jarayonlarining vaqtga kuchli bog'liqligini ko'rsatadi.

8-rasmda quyosh quritgich qurilmasining turli nuqtalarida (T4,T5,T6,T7) Nusselt soni va konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyentining o'zgarishi ko'rsatilgan.



**8-rasm. Quyosh quritgich qurilmasining turli (T4,T5,T6,T7) Nusselt soni va konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyentining o'zgarishi.**

8-rasmda Nusselt soni va konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyentining vaqt bo'yicha dinamikasi berilgan. Nusselt sonining kamayishi issiqlik uzatishning konduktsiyaga nisbatan ustunligi kamayganini, ya'ni konvektiv ta'sirning zaiflashganini bildiradi. Bu holat kunduzi havo xossalari (zichlik, yopishqoqlik) o'zgarishi bilan bog'liq, 7:00 da barcha nuqtalarda Nu 1.61 atrofida. 7:00–13:00 vaqt oralig'ida Nusselt soni pasayadi. Minimal qiymatlar 13:00-14:00 da kuzatiladi. Nusselt sonining kamayishi issiqlik uzatishning konduktsiyaga nisbatan ustunligi kamayganini, ya'ni konvektiv ta'sirning zaiflashganini bildiradi. Bu holat kunduzi havo haroratini o'zgarishi bilan bog'liq. Konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti (o'ng grafik) 7:00 da h qiymati eng kichik 0,572 W/m²·K. 7:00-14:00 oralig'ida h barqaror oshib boradi. Eng yuqori qiymatlar 14:00-15:00 da.

### Xulosa

Xulosa qilib aytganda, ushbu tadqiqotda bilvosita ishlovchi quyosh quritgich qurilmasining matematik modeli ishlab chiqildi va COMSOL Multiphysics dasturi yordamida sonli modellashirish amalga oshirildi. CFD tahlillari asosida quritgich ichida tabiiy konveksiya tufayli barqaror havo aylanishi hosil bo'lishi, eng yuqori haroratlar esa kunning 11:00-14:00 vaqt oralig'ida kuzatilishi aniqlandi. Tadqiqot davomida haroratning 340-357 K gacha oshishi quritish jarayonining samarali kechishini ta'minlashi ko'rsatildi. Shuningdek, Reynolds, Prandtl va Nusselt sonlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi qurilmadagi issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining quyosh nurlanishiga bevosita bog'liqligini tasdiqladi.

### Adabiyotlar

- [1] Umayal Sundari, A., Neelamegam, P. and Subramanian, C., "An Experimental Study and Analysis on Solar Drying of Bitter Gourd Using an Evacuated Tube Air Collector in Thanjavur, Tamil Nadu, India", in Conference Papers in Energy, Hindawi Publishing Corporation, (2013).

- [2] Д.У. Турапова. Қуёш энергияси ёрдамида мева-сабзавотларни қуритиш усуллари ва технологиялари. XXI век интеллектуальной молодёжи. Труды республиканской научной и научно-теоретической конференции. 24-апрель 2021 й.
- [3] Д.У.Турапова. Қишлоқ хўжалик маҳсулотларини қуритиш методикаси ва алгоритми. Халқаро илмий-техник анжуман: “Муқобил ва қайта тикланувчи энергетиканинг ривожланиш тенденциялари: муаммолар ва ечимлар” 17-18 май 2021 й.
- [4] Akinola A. Adeniyi, Abubakar Mohammed, Kehinde Aladeniyi, Analysis of a Solar Dryer Box with Ray Tracing CFD Technique, International Journal of Scientific And Engineering Research Volume 3, Issue 10, October-2012.
- [5] Afdhal Kurniawan Mainil, Azridjal Aziz, Joko Harianto, Rahmat Iman Mainil, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Volume 66, Issue 2 (2020) 136-144.
- [6] Akwasi Ayensu., Dehydration OF Food Crops Using a Solar Dryer With Convective Heat Flow., Solar Energy Allrights Vol. reserved. 59, Nos. 4-6, pp. in 121-126, 1997.
- [7] Д.У.Турапова, К.Ю. Рашидов, А.У. Турапова. Meva-sabzavotlar uchun quyosh quritgichida havo konveksiyasini hisoblash. Международная конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики» 19-21 октября 2023 г.
- [8] Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. 997 p.
- [9] Bal, L.M., Satya, S., & Naik, S.N. *Solar Dryer with Thermal Energy Storage Systems for Drying Agricultural Food Products: A Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, Vol. 14, No. 8, pp.
- [10] D.U.Turapova S.A.Boltayev. “Quyosh quritgich qurilmalarida quritish jarayonida issiqlik va massa almashinuvi parametrlarining o‘rni”. Toshkent davlat texnika universiteti “Jahon miqyosida yashil iqtisodiyot va to‘rtinchi sanoat inqilobi doirasida Qayta tiklanuvchi energiya ning roli: Innovatsiyalar, texnologiyalar, va barqaror rivojlanishni ta’minlash” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya (3-4 – oktabr 2025-yil).