

# **Dairesel Konik Nozullu Jet Çarpmalı Havalı Güneş Kollektöründe Sinüsel Yüzeyle ve Yarım Küresel Yüzeyle Yutucu Plakanın Isıl Verime Etkisinin Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (CFD) Simülasyonu**

**Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation of the Effect of Sinusoidal Surface and Hemispherical Surface Absorber Plate on Thermal Efficiency in Jet Impinging Solar Air Collector with Circular Tapered Nozzle**

**İbrahim Sancar<sup>1</sup> & Hüsamettin Bulut<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu,  
Makine Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye.

<sup>2</sup>Prof. Dr., Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
Şanlıurfa, 63290, Türkiye.

\* Corresponding author: [isancar@adiyaman.edu.tr](mailto:isancar@adiyaman.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 19.06.2024  
Kabul Tarihi / Accepted: 20.07.2024

Araştırma Makalesi/Research Article  
10.5281/zenodo.13231799

## **ÖZET**

Alternatif enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden faydalanılarak sıcak hava üretiminde kullanılan havalı güneş kolektörlerinin (SAC) termal verimliliğini arttırmak için jet çarpmalı hava kolektörleri (JIPSAC) ve yutucu plaka yüzey geometrisi üzerinde akademik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada dairesel konik nozul (CTN) kullanılan jet çarpmalı havalı güneş kolektöründe ısıl verimliliğine etkisini araştırmak için yarı küresel yüzeyle emici plaka (HAP) ve sinüsel yüzeyle emici plakalı (SAP) kolektörün numerik karşılaştırması yapıldı. Ansys Fluent 19.2 versiyonu kullanılarak hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) simülasyonu RNG k-ε türbülans modeliyle gerçekleştirilmiştir ve yönetici denklemler Reynolds sayısı 3500 ile 17.500 arasında hesaplanmıştır. Her iki modele ait sıcaklık, basınç ve kinetik enerji konturları sunulmuş ve tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı akışkan dinamiği, dairesel konik jet, jet çarpma plakası, yarım küre yutucu plaka, sinüsel yutucu plaka.

## **ABSTRACT**

Academic studies have been carried out on jet impact air collectors (JIPSAC) and absorber plate surface geometry in order to increase the thermal efficiency of solar air collectors (SAC) used in hot air production by utilizing solar energy, one of the alternative energy sources. In this study, a numerical comparison of the absorber plate with hemispherical surface (HAP) and absorber plate with sinusoidal surface (SAP) was performed to investigate the effect on the thermal efficiency of a jet impact air solar collector using a circular conical nozzle (CTN). Computational fluid dynamics (CFD) simulation using Ansys Fluent version 19.2 was performed with the RNG k-ε turbulence model and the governing equations were calculated between Reynolds number 3500 and 17.500. Temperature, pressure and kinetic energy contours for both models are presented and discussed.

**Keywords:** CFD, circular tapered nozzle, jet impinging plate, hemispherical absorber plate (HAP), sinusoidal absorber plate (SAP).

## 1. GİRİŞ

Enerjide dışa bağımlılık ve enerji kullanımının çevre üzerindeki olumsuz etkileri, enerji verimliliği ve tasarrufu konularını öne çıkarmıştır. Güneş kolektörleri, sera ve mahallerin ısıtılması, endüstriyel bitkilerin kurutulması, elektrik üretimi ve sıcak su üretimi gibi uygulamalarda kullanılan temel elemanlardan biridir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile sıcak hava üretilmesinde kullanılan havalı güneş kolektörleri, havanın düşük ısı özelliğinden dolayı etkin kullanılamamaktadır. Ancak son yıllarda havalı güneş kolektörlerinin ısı verimini arttırmak için yapılan geometrik tasarımların yanı sıra yutucu plaka geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde akademik çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjili hava kolektörlerinde kanatçıklar, saptırma plakaları, oluklu soğurucu plakalar, oluklu plakalar, pürüzlü, pürüzsüz plakalar ve jet impinging kullanılarak performans analizi yapan birçok değerli çalışma bulunmaktadır [1-7].

Yutucu plaka yüzeyine yapay pürüz eklenerek, akış türbülanslı hale getirilmekte ve daha yüksek ısı transferi sağlanmaktadır [8]. Abuşka ve Akgül [9] yaptıkları deneysel çalışmada trapez yutucu plakalı havalı güneş kolektörünün ısı verimini %23 bulmuşlardır. Prasad ve Mullick [10] soğurucu plakaların altına yerleştirdikleri çıkıntı şeklindeki teller yardımıyla ısı iletiminde ve plaka verimlilik faktöründe bir artışa neden olmuştur. Saini ve Saini [11] genişletilmiş metal örgü pürüzlülük geometrisi için korelasyonlar oluşturmuştur. Sahu and Bhagoria [12] tarafından yapılan deneysel çalışmada enine kaburgalar ile pürüzlendirilmiş absorber plaka kullanarak havalı güneş kolektöründe en yüksek iyileştirmeyi 20 mm genişliğindeki yapay pürüzlülükte elde etmişlerdir.

Deneysel çalışmalar, çapraz yivli kanalların düz SAC'lerden büyük bir farkla daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Oluk açısının ısı taşınımını nasıl etkilediğini incelemek için yapılan çalışmada, oluklu emici plakalar kullanıldığında sıcaklık artışı daha büyüktür [13-14].

Dong ve arkadaşları [15] yivli yutucu plaka kullanımının konvektif ısı transfer katsayısını 1,8 ila 2,3 kat artırdığını simülasyonlarla belirtmişlerdir. Tuncer ve diğerleri [16] tarafından delikli bölmelere sahip plaka şahların kullanıldığı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sayısal bulgulara göre, dikey SAC'de delikli perdelerin kullanılması termal verimliliği artırmıştır. Deneysel araştırmalara göre, modifiye edilmiş bir v-oluklu SAC, düz bir SAC'den daha yüksek bir verime sahiptir ve v-oluklu delikli jet emici SAC, normal bir v-oluklu emici yüzeye sahip SAC'lerden daha yüksek bir verime sahiptir [17]. Farzan ve diğerleri [18] tarafından bina ısıtma uygulamaları için delikli metal plaka ve asfalttan oluşan yeni bir SAC türü tasarlanmış ve deneysel olarak analiz edilmiştir.

Bir grup araştırmacı, dikdörtgen bir kanalda  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $60^\circ$  açılara sahip V şekilli nervürlerin sonuçları nasıl etkilediği üzerine deneysel bir çalışma yürütmüştür.  $45^\circ$  nervürlü kanal için verimlilik indeksinin geniş aralıklı nervürler için maksimum olduğu bulunmuştur [19-21]. Kanal yüksekliği ve eğim açısı gibi değişkenlerin termal verimlilik üzerindeki etkisi çeşitli deneysel araştırmalara konu olmuştur. V-oluklu kanalın eğim açısı ve kanal yüksekliğinin sürtünme katsayısı ve ısı transferi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu öne sürmüşlerdir [22-28]. Deo ve diğerleri [29] "kademeli kaburgalarla entegre edilmiş çok aralıklı V-kaburganın" SAC performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Nu ve THPP'deki en yüksek artışın sırasıyla 3,34 ve 2,45 kat olduğunu bulmuşlardır. Chauhan ve Thakur [30] Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün jet çarpmalı güneş enerjili hava ısıtıcı performansı üzerindeki etkisini ve Nusselt sayısı ile sürtünme faktörü arasındaki ilişkiyi deneysel olarak incelemiştir. Türbülanslı akışta değişen yüzey eğrilğine sahip içbükey plakalara jet çarpmasının etkisini incelemek için birçok numerik ve deneysel çalışma yapılmıştır [31-39].

Tan ve arkadaşları [40] deneysel ve bilgisayar ortamında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kumar ve diğerleri [41] tarafından yürütülen çalışmada, normal çift geçişli SAC çeşitli CFD simülasyon araçları kullanılarak modellenmiştir. CFD ve nervürlü ve çukurlu bir yüzeye sahip bir SAC'nin ampirik bir analizini gerçekleştirmiştir. CFD araştırması sayesinde, üç derinlikli v-oluklu SAC ile paralel akışlı v-oluklu SAC'yi birleştiren yeni bir hibrit SAC tasarımı geliştirmişlerdir. Sayısal sonuçları, paralel akışlı v-oluklu SAC (PFVSAC) ve üç akışlı v-oluklu SAC'nin (TFVSAC) deneysel sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır [42-43].

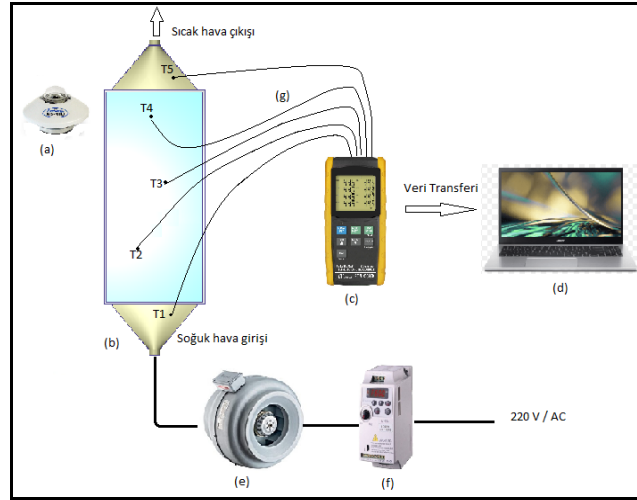
Jet çarpma plakalı güneş enerjili hava kolektörleri (JIPSAC) son zamanlarda sıcak hava tedarikinde giderek daha çok araştırılmaktadır. Kumar ve diğerleri [44], V şeklinde absorber plakalı kollektörde  $1000 \text{ W/m}^2$  sabit ısı akısında 6000 ile 18.000 arasındaki farklı Re değerleri için bir hesaplama analizi gerçekleştirmiştir. Simülasyonda RNG k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. Enine dikdörtgen nervürlü emici plaka ile SAC' nin sayısal analizini gerçekleştirmiştir. CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) araştırması, testere dişi şeklindeki üniform olmayan kaburga pürüzlülüğünü dairesel, kare ve trapez şeklindeki üniform kesitli enine kaburgalarla karşılaştırmak için gerçekleştirilmiştir [45-48]. Gawande ve arkadaşları [49] yutucu plaka üzerinde dik açılı üçgen nervürler ve sentetik pürüzlülük kullanarak, havalı güneş kollektörünün iki boyutlu programlanmış akışkanlar dinamiği (CFD) analizi gerçekleştirmiştir. Singh ve diğerleri [50] düzgün olmayan kesitli testere dişi nervürlerle pürüzlendirilmiş bir havalı güneş kollektörünün sürtünme faktörünü ve Nusselt sayısını numerik olarak incelemiştir.

Deneysel çalışmalarda, jet çarpmasının bir dizi Reynolds sayısı ve jet-hedef plaka mesafesi boyunca farklı oluklu plaka profilleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Temel durumla karşılaştırıldığında 11,4'lük bir termal performans elde edilmiştir [51]. Fadhil ve ark. [70] bir çalışmada, düz plaka ve faz değişim malzemesi üzerinde farklı geometrik durumlar için hesaplamalı modelleme gerçekleştirilmiştir. Yadav ve arkadaşları [52] tarafından yapılan çalışmada, jet çarpma plakalı bir güneş enerjili hava ısıtıcısının ısı transferi davranışını, ANSYS-18.1 kullanılarak 3D-Hesaplamalı akışkanlar dinamiğini (CFD) RNG k- $\epsilon$  türbülans modeli ile incelemiştir. Çalışmada düz silindirik bir jet nozul kullanılmıştır. HAD simülasyonları kullanılarak dairesel konik nozullar aracılığıyla plaka çarpan jetli özel bir SAC tasarımının ısı transferi özellikleri üzerinde sayısal bir analiz gerçekleştirilmiştir [53]. Sabit güneş radyasyonu  $1000 \text{ W/m}^2$ 'de Reynolds sayısı (Re) ve kütle akış hızı sırayla 3500-17500 ve 0.0104-0.0524 kg/s aralığında değiştirilerek silindirik jet çarpma plakalı bir SAC' in 3D modelinde numerik analiz yapılmıştır [54-55].

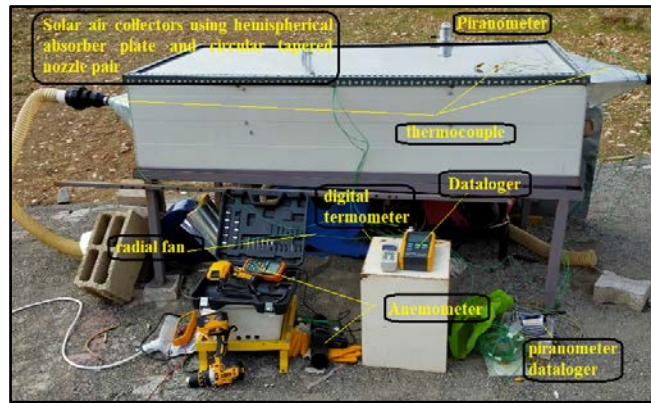
Bu çalışmada, jet çarpma plakasında dairesel konik nozul (CTN-JIPSAC) kullanılan havalı güneş kollektöründe, Yarım Küre yüzeyli Yutucu Plaka ile ve Sinüsoidal yüzeyli Yutucu Plaka numerik olarak karşılaştırılmıştır.

## 2. DENEY DÜZENEĞİ

Bu çalışmada kullanılan deneysel düzeneğin şematik gösterimi şekil 1'de ve fotoğraflık görünümü şekil 2' de gösterilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan ve CFD analizi yapılan havalı güneş kollektörünün özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Giriş havasının eşit olarak dağıtılmasını sağlamak ve ısınan havayı toplayıp tüketim alanına taşımak için iki adet davlumbaz monte edilmiştir.



**Şekil 1.** deney seti şematik görünümü (a) piranometre (b) Havalı güneş kolektörü (c) datalogger (d) bilgisayar (e) radyal fan (f) hız control cihazı (g) termocouple



**Şekil 2.** deney seti fotoğrafik görünümü

**Tablo 1.** Havalı güneş kolektörünün özellikleri

Parça	Malzeme	Boyut (mm)	Termal Özellikleri
Kolektör kasası	elastomerik kauçuk köpük ile yalıtılmış çift cidar galvaniz sac	1860x890x400	$\epsilon: 0.7, \lambda: 2.11 \times 10^{-5} \text{ W/cm-K}$
cam örtü	cam	1860x890x2	$\epsilon: 0.92, \lambda: 0.0078 \text{ W/cm-K}, C_p: 0.84 \text{ J/g K}$
yutucu plaka	mat siyah boyalı sac	1860x890x0.6	$\epsilon: 0.9, \lambda: 2.042 \text{ W/cm-K}, C_p: 0.896 \text{ J/g K}$
jet çarpma plakası	galvaniz sac	1860x890x1	$\epsilon: 0.54, \lambda: 0.52 \text{ W/cm-K}, C_p: 0.47 \text{ J/g K}$
ara sac	tek yüzeyi elastomerik kauçuk köpük ile yalıtılmış galvaniz sac	1860x890x0.6	$\epsilon: 0.7, \lambda: 2.11 \times 10^{-5} \text{ W/cm-K}, C_p: 0.84 \text{ J/g K}$
alt yalıtım	cam yünü	1860x890x186	$\lambda: 38 \times 10^{-5} \text{ W/cm-K}, \rho: 0.024 \text{ g/cm}^3, C_p: 0.7 \text{ J/g K}$
hava	atmosferik hava		$\epsilon: 0.3, \lambda: 25.63 \times 10^{-5} \text{ W/cm-K}, \rho: 0.00120 \text{ g/cm}^3, C_p: 1.004 \text{ J/g K}$

## 2.1. Kolektör performans parametreleri

Kolektörün termal verimliliği eşitlik (1) ile hesaplanmıştır. Havanın faydalı ısı kazancı şu şekilde hesaplanır:

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \quad (1)$$

Burada,  $\dot{m}$  havanın kütleli akış hızı (kg/s),  $C_p$  sabit basınçta havanın özgül ısı özelliği (kJ/kg. K),  $T_i$  ve  $T_o$  sırasıyla havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır. Güneş enerjili hava kollektörünün ısı transfer katsayısı eşitlik (2) ile hesaplanmıştır.

$$h = \frac{Q_u}{A_a (T_p - T_a)} \quad (2)$$

Burada;  $T_p$  ve  $T_a$  sırasıyla ortalama plaka ve çalışma havası sıcaklıkları,  $A_a$  ise yutucu yüzey alanıdır. Yutucu plakadan çalışma havasına ısı transferini etkileyen parametreler  $Re$ ,  $Nu$  ve  $f$  eşitlik (3-5) ile hesaplanmıştır.

Reynold sayısı ( $Re$ );

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (3)$$

Burada  $\mu$ , akışkanın dinamik viskozitesi  $\nu$ , akışkanın kinematik viskozitesi,  $D$ , akışkanın geçtiği borunun hidrolik çapı ve  $V$ , akışkanın hızıdır.

Nusselt sayısı ( $Nu$ );

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (4)$$

$k$ , havanın ısı iletim katsayısı (W/m K ) dir

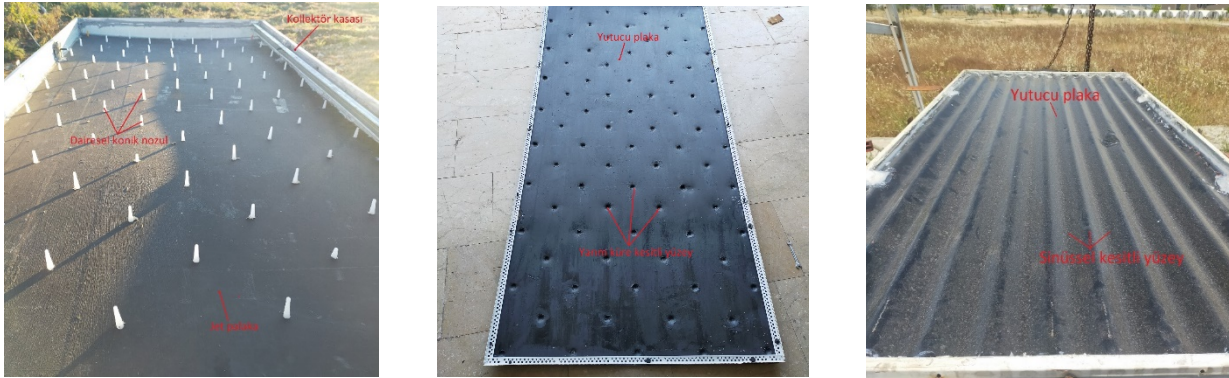
Sürtünme faktörü (Friction factor) ( $f$ )

$$f = \frac{2 \cdot \Delta P_d \cdot D}{4 \cdot \rho \cdot L \cdot V^2} \quad (5)$$

Burada;  $\Delta P_d$ , hava kanalı boyunca basınç düşüştür,  $L$  ise kollektör hava kanalı uzunluğudur.

Şekil 3' de a) dairesel konik nozul, b) yarım küre yüzeyli yutucu plaka ve c) sinüsel yüzeyli yutucu plakanın resimleri gösterilmiştir. Akış hacmi aralarına jet çarpma plakası yerleştirilen iki paralel akış bölgesinden oluşmaktadır. Alt kanaldan geçen hava, dik açılarla yerleştirilmiş nozullardan geçerek absorber yutucu plakaya çarpar. Burada ısınan hava alt kanala paralel ve aynı yönde kollektörü terk

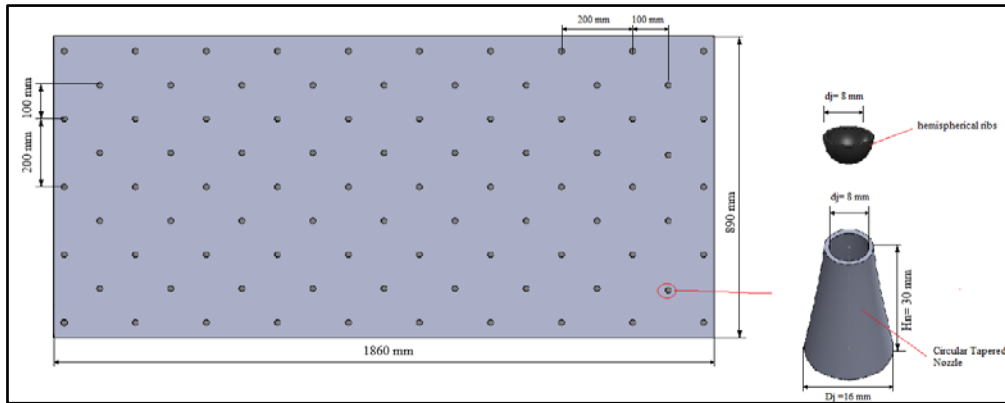
eder. Yutucu plaka olarak yarım küre yüzeyli ve sinüsel yüzeyli plakalar numerik olarak simüle edilmiştir. Konik nozullar 1860x980x1 mm ölçülerindeki dikdörtgen kesitli sac plaka üzerine verilen ölçülerde delinen noktalara eş merkezli olarak yapıştırılmıştır. Yarım küre şeklindeki nervürler, jet nozullarına tam olarak karşılık gelecek şekilde emici plaka üzerinde bir pres yardımıyla şekillendirilmiştir. Şekil 4’ de yarım küresel yüzey ve dairesel konik nozulun izometrik görünümü verilmiştir.



Şekil 3. a) daireysel konik nozul yutucu plaka

b) yarım küre yüzeyli yutucu plaka

c) sinüsel yüzeyli yutucu plaka

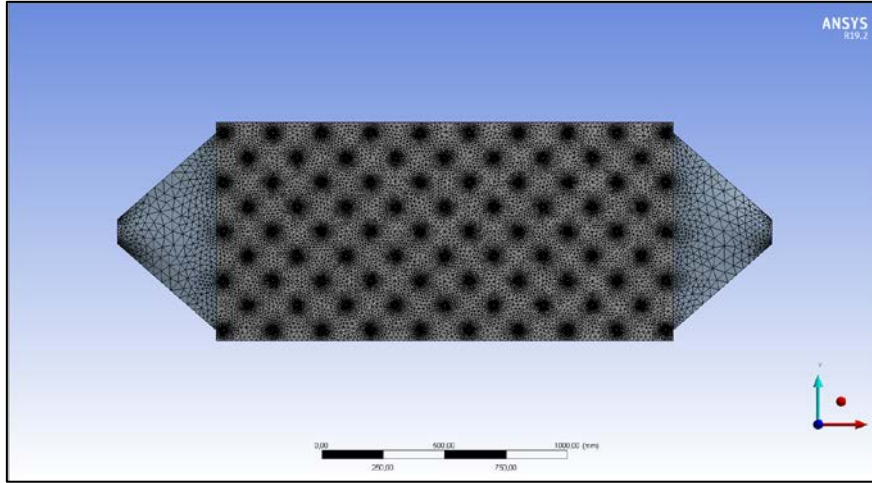


Şekil 4. yarım küresel yüzey ve dairesel konik nozulun izometrik görünümü

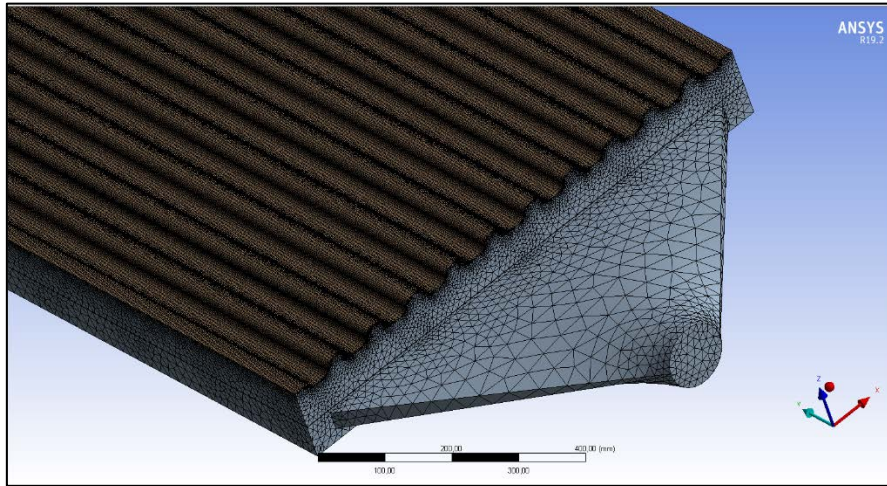
### 3. CFD MODELLEME

#### 3.1. Akış hacminin mesh yapısı

CFD analizlerinde doğru sonuçlar elde etmek için simülasyonlar, ağdaki sonlu elemanların doğru boyutta ve düzenli dağılımına bağlıdır. Yarım küre yüzeyli yutucu plakalı JIPSAC' ın mesh yapısı şekil 5'te, sinüsel yüzeyli yutucu plakalı JIPSAC' ın meshlenmesi şekil 6' da gösterilmiştir. Ağ iyileştirme çalışmalarında ardışık iki sonuç arasındaki fark % 1' den azdır.



Şekil 5. yarım küre yüzeyli yutucu plakalı JIPSAC' ın mesh yapısı



Şekil 6. sinüsel yüzeyli yutucu plakalı JIPSAC' ın mesh yapısı

### 3.2. Varsayımlar

Modelin CFD analizinin çerçevesini oluşturmak için çeşitli varsayımlar oluşturulmuştur. Bu varsayımlar şunlardır:

1. Kollektör cam yüzeyinde sabit bir ısıtma etkinliğine sahiptir.
2. Gökyüzünün mat, siyah, donuk bir nesne olduğu kabul edilmiştir.
3. Kollektör kasasının tamamen yalıtılmış olduğu varsayılmıştır.
4. Hava kanallarındaki tüm çalışma havası sıcaklıklarının eşit olduğu varsayılmıştır.
5. Havanın sıcaklığının sadece hareket yönüne göre değiştiği düşünülmüştür.
6. Jet plakasının delikleri konik nozulludur.
7. Alt plaka, emici plaka ve cam kapakta çok az sıcaklık kaybı vardır.
8. Hava akışı 3B dir.
9. Giriş sıcaklığı  $T_g$  sabit

10. Kollektör girişinde hava dağılımı her yerde aynıdır.
11. Temperlenmiş cama ışınım sınır şartı (solar radiation) tanımlanmıştır.
12. Çıkışta gösterge basıncı sıfır ( $P= 0$  Pa) olarak alınmıştır.
13. Kanal içindeki akışın sıkıştırılmaz ve ses altı olduğu varsayılır. Bu nedenle, havanın yoğunluğu ideal bir gaz olarak değerlendirilmiştir.
14. Analiz belirli saat dilimleri için kararlı (steady-state) olarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. Yönetici denklemler ve uygulanan sınır koşulları ve çözüm yöntemi

Bu çalışmada hız aralığı  $<0,3$  Mach ve hıza bağlı yoğunluk değişimi %5' ten az olduğu için akış formu sıkıştırılmaz türbülanslı akış olarak kabul edilmiştir [56]. Ansys Fluent'te çözülen 3D süreklilik denklemi, Navier-Stokes ve enerji denklemi eşitlik (6-8)'te verilmiştir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (6)$$

Navier-stokes denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u_i u_j}) \quad (7)$$

Enerji korunumu denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu}{Pr_r} \right) \right] \left( \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (8)$$

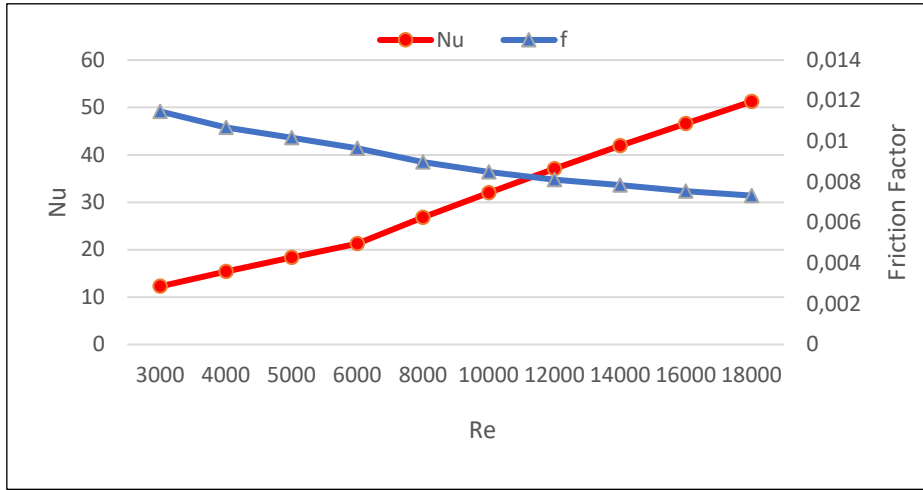
### 3.4. CFD sonuçlarının doğrulanması

Kollektörün CFD sonuçları literatürde mevcut korelasyonlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır [57]. Kollektör için Nusselt sayısı Dittus– Boelter eşitliği (9) ve modifiye Blasius 'un Reynold'a bağlı sürtünme faktörü Blassius eşitliği (10) ile hesaplanmıştır. CFD ve deneysel sonuçlardan elde edilen verilere göre Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü Şekil 7'de gösterilmiştir. Numerik analizlerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan değerler arasında homojen olduğu görülmüştür.

$$\text{Dittus– Boelter Eşitliği} \quad Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (9)$$

$$\text{Blassius Eşitliği} \quad f = 0.085 Re^{-0.25} \quad (10)$$



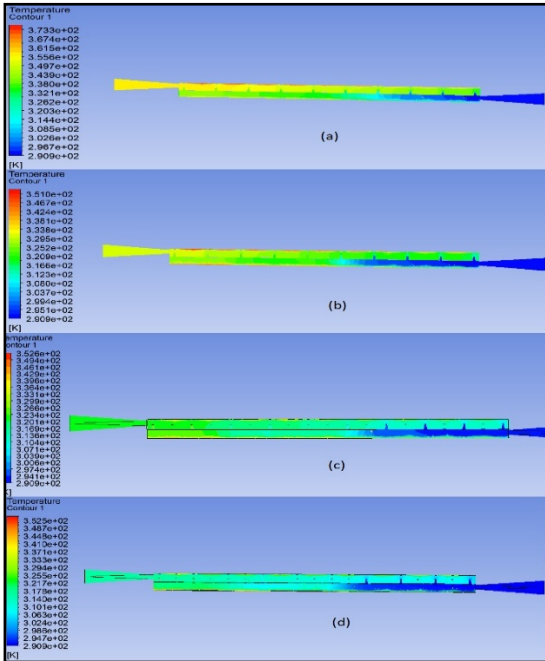


Şekil 7. Reynold sayısına bağlı Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün değişimi

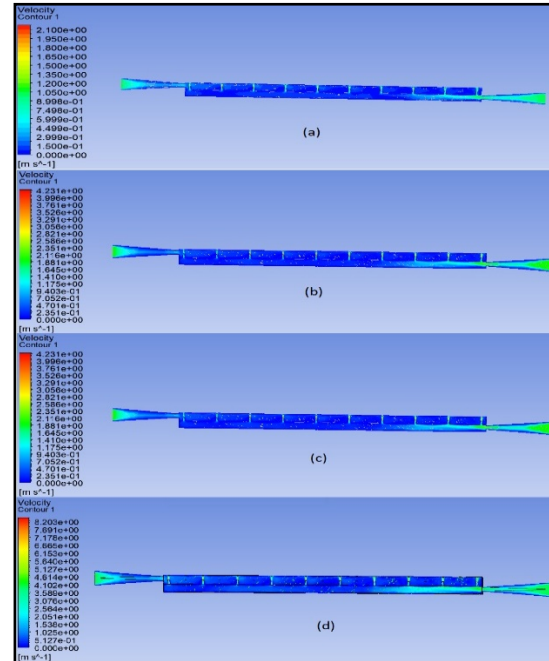
#### 4. JET ÇARPMA PLAKALI SAC' IN CFD ANALİZİ

Bu bölümde mevcut CTN-JIPSAC tasarımının CFD analizinden elde edilen bulguların ayrıntılı bir tartışması sunulmaktadır. Jet çarpan bölgesinin sıcaklık, basınç ve hız konturları verilmiştir.

Adıyaman/Türkiye iklim koşullarında güneş ışınımının kolektör çıkış sıcaklığı ve ısı verimi üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan deneysel çalışmaları karşılaştırmak amacıyla 17.7 °C hava giriş sıcaklığında ve 0.0046, 0.0092, 0.0139 ve 0.0185 kg/s debilerde (1, 2, 3 ve 4 m/s hava giriş hızlarında) CFD analizleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyondan elde edilen veriler, deneysel çalışmadan elde edilen ölçümleri büyük ölçüde doğrulamaktadır. Diğer sayısal analizlerde giriş sıcaklığı günlük güneş radyasyonuna ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak değiştiği için giriş havası sıcaklığı sabit tutularak sadece debi değiştirilmiştir. Hesaplama sonuçları, kolektör çıkış sıcaklıklarının deneysel değerleri ile  $\pm$  % 3 hata payı ile uyumludur.



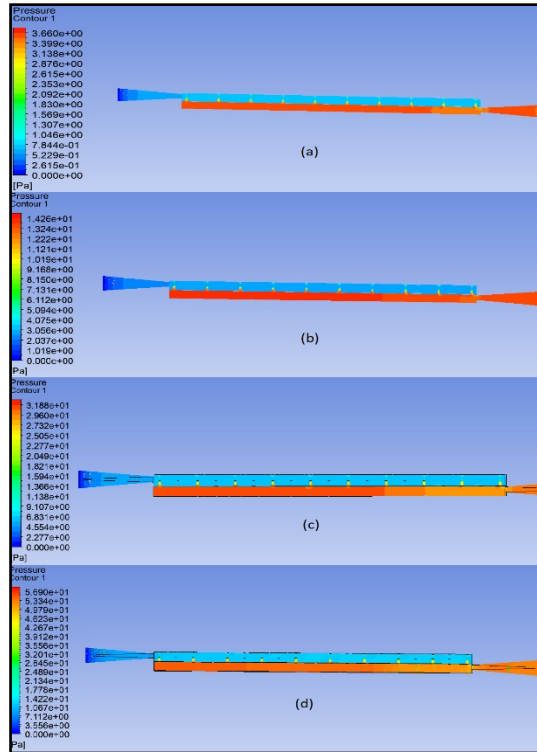
Şekil 8. Sıcaklık konturları (a) 0.0046 (b) 0.0092, (c) 0.0139 ve (d) 0.0185 kg/s akış için



Şekil 9. Hız konturları (a) 0.0046 (b) 0.0092, (c) 0.0139 ve (d) 0.0185 kg/s akış için

Yarım küre yüzeyli yutucu plakalı CTN-JIPSAC' ın sıcaklık dağılımları ve hız konturları Şekil 8-9'da verilmiştir. Simülasyon sonuçlarından, kütle akış hızının 0,0139 kg/s olduğu ve doğrusal bir hızda gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. CFD analizleri, tasarım geometrisi nedeniyle kanal içindeki hava dağılımının dengelenmediği hacimleri göstermiştir. Debinin daha düşük olduğu durumlarda kolektör iç hacminin girişine yakın alt kanalda etkisiz hacimlerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Hız yetersiz olduğu için çıkışa yakın jet nozullarında akış oluşmamıştır. Debi 0,0139 kg/s'den büyük olduğunda basınç kayıplarının arttığı ve havanın enerji kazanma süresinin azaldığı, dolayısıyla çıkış sıcaklığının düşük olduğu ve kolektör veriminin düştüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 10 farklı akış hızlarında HAP- CTN-JIPSAC' deki basınç konturlarını göstermektedir. Hacim oluşumu kolektör girişindeki akış hızına bağlı olarak değişmektedir. Çıkışa yaklaşırken hava hızı kademeli olarak azaldıkça, basınç düşüşünün uzunlamasına yönde önemli ölçüde büyüdüğü açıktır. Ayrıca, hava debisi arttığında basınç kaybı da artmaktadır. Bunun nedeni, çapraz akış durumlarının ve jet akışı girişimlerinin daha yüksek pompalama ihtiyacına yol açan sürtünme kayıpları oluşmasıdır.

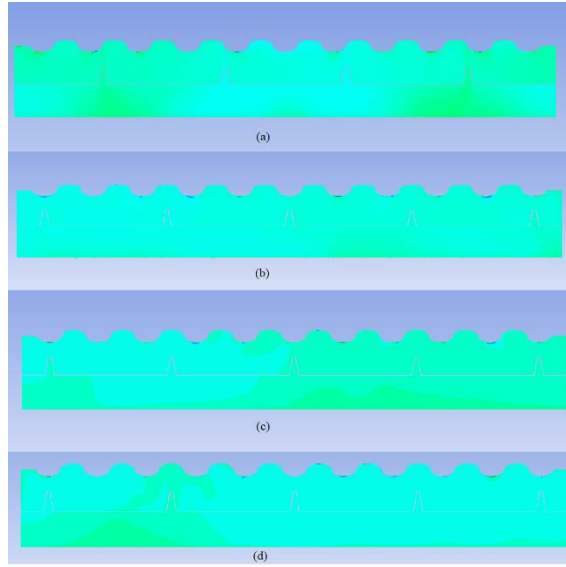


Şekil 10. Basınç konturları (a) 0.0046 (b) 0.0092, (c) 0.0139 ve (d) 0.0185 kg/s akış için

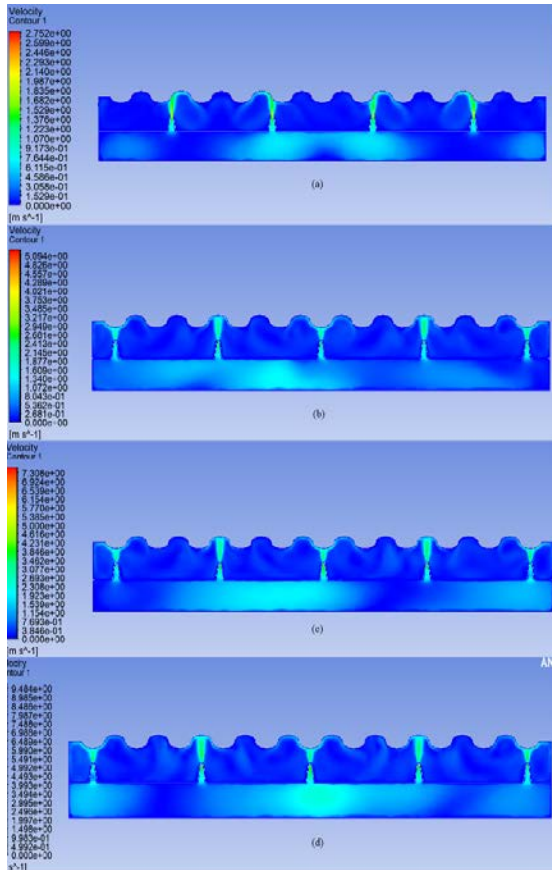
Sinüsel yüzeyli yutucu plakalı CTN-JIPSAC' ın sıcaklık dağılımları, hız konturları ve basınç konturları Şekil 11-13'de verilmiştir. Şekillerden jet akışın sinüsel eğrinin tepe noktasına denk geldiği bölgelerde

Hava sürtünmenin daha fazla olduğu ve dolayısıyla ısı iletiminin yüksek olduğu, eğrinin yan yüzeylerine gelen jet nozul çıkışlarında havanın akış kanalında düzensiz dağıldığı görülmüştür. Sinüsel Yüzeyli yutucu plakalı kollektör analizlerinde yüksek debide çıkış sıcaklığının yarım küre yutucu plakalı kollektörden daha yüksek olduğu görülmüştür. Debi azaldıkça yarım küre yutucu plakalı kollektör çıkış sıcaklığının daha da arttığı söylenebilir. Çizelge 1' de kollektör ortalama çıkış sıcaklıkları görülmektedir.

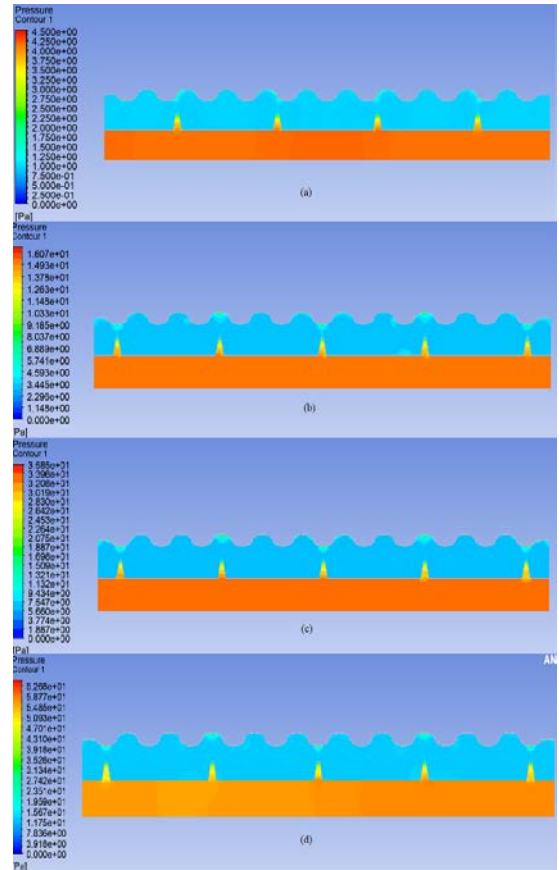
SAP- CTN-JIPSAC' deki basınç konturları akış kanalı içerisinde basınç dağılımının yarım küre yutucu plakalı kollektörden daha dengeli olduğunu göstermektedir.



Şekil 11. Sıcaklık konturları (a) 0.0046 (b) 0.0092, (c) 0.0139 ve (d) 0.0185 kg/s akış için



Şekil 12. Hız konturları (a) 0.0046 (b) 0.0092, (c) 0.0139 ve (d) 0.0185 kg/s akış için



Şekil 13. Basınç konturları (a) 0.0046 (b) (c) 0.0139 ve (d) 0.0185 kg/s akış için

**Çizelge 1.** Kolektör ortalama çıkış sıcaklıkları

Kütleli Debi	Yarım Küresel Yüzeyle Yutucu Plakalı kolektör Ortalama Çıkış Sıcaklığı (°C)	Sinüsel Yüzeyle Yutucu Plakalı Kolektör Ortalama Çıkış Sıcaklığı (°C)
(a) 0.0046 kg/s	72.41	68.61
(b) 0.0092 kg/s	56.38	56.23
(c) 0.0139 kg/s	45.61	45.1
(d) 0.0185 kg/s	39.25	42.24

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

HAP- CTN- JIPSAC ve SAP- CTN- JIPSAC üzerinde yapılan sayısal analizlerde, daha az hava akışı olduğunda, kolektör çıkış sıcaklığının daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Aksine akış hızı arttıkça, çıkış sıcaklığında bir azalma kaydedilmiştir. En iyi ortalama kolektör çıkış sıcaklığı, sabit sınır koşullarında kütle akış hızı 0,0046 kg/s olduğunda 72,41 °C olarak HAP- CTN- JIPSAC ‘ da görülmüştür. Kolektördeki en iyi ortalama termal verim, kütle akış hızı 0,0185 kg/s debide olduğunda SAP- CTN- JIPSAC’ da hesaplanmıştır.

Akış hızı düşük olduğunda, akışkan havanın yeterince ısınması için yeterli zaman geçtiğinden çıkış sıcaklığı daha yüksektir. Bununla birlikte, akış hızı arttığında, daha fazla yararlı enerji kazanımı olduğu için kolektör verimliliği artar. Havanın yeterli enerjiyi alması için daha az zaman olduğundan çok yüksek akış hızlarında, çıkış sıcaklığı düşer.

CFD analizinin sonuçları, kolektör boyutu arttıkça çıkış yönündeki jet etkisinin azaldığını ve daha yüksek termal verimlilik için emici plaka üzerindeki konik nozuldaki jet akışının kaburga yüzey alanı üzerinde yavaş ve düzenli olması gerektiğini göstermiştir.

Jet nozul çıkışlarında jetin yutucu plaka yüzeyindeki pürüzlere veya kaburgalara odaklanması gerekmektedir. Geometrik tasarımlarda jet odak noktasının önemli bir parametre olduğu söylenebilir.

## KAYNAKÇA

1. Sureandhar, G., Srinivasan, G., Muthukumar, P., Senthilmurugan, S., 2021. Performance analysis of arc rib fin embedded in a solar air heater. Therm. Sci. Eng. Prog. 23 <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100891>.
2. Rahmani, E., Moradi, T., Fattahi, A., Delpisheh, M., Karimi, N., Ommi, F., et al., 2021. Numerical simulation of a solar air heater equipped with wavy and raccoon-shaped fins: The effect of fins' height. Sustain Energy Technol. Assess. 45, 101227 <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101227>.
3. Amara, W.B., Bouabidi, A., 2023. Experimental studies and 3D simulations for the investigation of thermal performances of a solar air heater with different spiral- shaped baffles heights. J. Build. Eng. 65, 105662.
4. Khanlari, A., Tuncer, A.D., Sözen, A., Aytaç, I., Çiftçi, E., Variyenli, H. I., 2022. Energy and exergy analysis of a vertical solar air heater with nano-enhanced absorber coating and perforated baffles. Renew. Energy 187, 586–602.
5. Oztürk, M., Yüksel, C., Çiftçi, E., 2024. Investigation of a Photovoltaic–Thermal Solar Dryer System with Double-Pass Solar Air Collectors and Absorber Surfaces Enhanced with Graphene Nanoparticles. Arab. J. Sci. Eng.

6. Jasyal, N.K., Sharma, S.L., Debbarma, A., 2023. Performance analysis of solar air heater using triangular corrugated absorber under jet impingement. *Energy Sources, Part A: Recovery, Util., Environ. Eff.* 45 (3), 9063
7. Ho, C.D., Lin, C.S., Chuang, Y.C., Chao, C.C., 2013. Performance improvement of wire mesh packed double-pass solar air heaters with external recycle. *Renew. Energy* 57, 479–489.
8. S. Kumar and R. P. Saini, “CFD based performance analysis of a solar air heater duct provided with artificial roughness,” *Renewable Energy*, vol. 34, no. 5, pp. 1285–1291, May 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.09.015.
9. Abuşka, Mesut; Akgül, M. B. (2014). Trapez Yutucu Plakalı Güneş Enerjili Hava Kollektörünün Isıl Veriminin Deneysel Olarak İncelenmesi *Dergisi, Politeknik. Politeknik Dergisi*, 17(4), 177–181.
10. B.N. Prasad, J.S. Saini, Effect of artificial roughness on heat transfer and friction factor in a solar air heater, *Sol. Energy* 41 (6) (1988) 555–560.
11. R.P. Saini, J.S. Saini, Heat transfer and friction factor correlations for artificially roughened ducts with expanded metal mesh as roughness element, *Int. J. Heat Mass Transf.* 40 (4) (1997) 973–986
12. M.M. Sahu, J.L. Bhagoria. Augmentation of heat transfer coefficient by using 90° broken transverse ribs on absorber plate of solar air heater. *Renew. Energy*, 30 (13) (2005), pp. 2057-2073
13. W. Gao, W. Lin, T. Liu, and C. Xia, “Analytical and experimental studies on the thermal performance of cross-corrugated and flat-plate solar air heaters,” *Appl. Energy*, vol. 84, no. 4, pp. 425–441, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applenergy.2007.04.015>
14. T. A. Yassen, N. D. Mokhlif, and M. Asmail, “Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for domestic use,” *Renew. Energy*, vol. 138, pp. 852–860, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.04.015
15. Dong, Z., Du, Q., Liu, P., Liu, Z., Liu, W., 2023. A numerical investigation and irreversibility optimization of constantly grooved solar air heaters. *Renew. Energy* 207, 629–646.
16. Tuncer, A.D., Amini, A., Khanlari, A., 2023. Developing an infrared-assisted solar drying system using a vertical solar air heater with perforated baffles and nano-enhanced black paint. *Sol. Energy* 263, 111958.
17. Alomar, O.R., Abd, H.M., Salih, M.M.M., 2022. Efficiency enhancement of solar air heater collector by modifying jet impingement with v-corrugated absorber plate. *J. Energy Storage* 55, 105535.
18. Farzan, H., Hasan Zaim, E., 2023. Study on thermal performance of a new combined perforated Metallic/Asphalt solar air heater for heating Applications: An experimental study. *Sol. Energy* 249, 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.04.015>
19. S.A. Abdel-Moneim Atwan, E.F. Atwan, and A.R. El-Shamy, “Heat Transfer and Flow Friction in a Rectangular Duct with Repeated Multiple v-ribs Mounted on the Bottom Wall,” in *12th International Mechanical Power Engine*
20. C.-O. Olsson and B. Sunden, “Thermal and Hydraulic Performance of a Rectangular Duct With Multiple V-Shaped Ribs,” *J. Heat Transfer*, vol. 120, no. 4, pp. 1072–1077, Nov. 1998, doi: 10.1115/1.2825892.
21. J. C. Han, Y. M. Zhang, and C. P. Lee, “Augmented Heat Transfer in Square Channels With Parallel, Crossed, and V-Shaped Angled Ribs,” *J. Heat Transfer*, vol. 113, no. 3, pp. 590–596, Aug. 1991, doi: 10.1115/1.2910606.

22. M. A. Mehrabian and R. Poulter, "Hydrodynamics and thermal characteristics of corrugated channels: computational approach," *Appl. Math. Model.*, vol. 24, no. 5, pp. 343–364, 2000, doi: <https://doi.org/10.1016/S0307-90>
23. K. Sarraf, S. Launay, and L. Tadrist, "Complex 3D-flow analysis and corrugation angle effect in plate heat exchangers," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 94, pp. 126–138, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.201>
24. Y. Qin, X. Guan, Z. Dun, and H. Liu, "Numerical simulation on fluid flow and heat transfer in a corrugated plate air preheater," *Dongli Gongcheng Xuebao/Journal Chinese Soc. Power Eng.*, vol. 35, pp. 213–218, Mar. 201
25. C. Zimmerer, P. Gschwind, G. Gaiser, and V. Kottke, "Comparison of heat and mass transfer in different heat exchanger geometries with corrugated walls," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 26, no. 2, pp. 269–273, 2002, doi:
26. J. E. O'Brien and E. M. Sparrow, "Corrugated-Duct Heat Transfer, Pressure Drop, and Flow Visualization," *J. Heat Transfer*, vol. 104, no. 3, p. 410, Aug. 1982, doi: 10.1115/1.3245108.
27. Y. Islamoglu and C. Parmaksizoglu, "The effect of channel height on the enhanced heat transfer characteristics in a corrugated heat exchanger channel," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 23, no. 8, pp. 979–987, Jun. 2003, doi:
28. A. Hamza, H. Ali, and Y. Hanaoka, "Experimental study on laminar flow forced-convection in a channel with upper V-corrugated plate heated by radiation," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 45, no. 10, pp. 2107–2117, 2002
29. N.S. Deo, S. Chander, J.S. Saini, Performance analysis of solar air heater duct roughened with multigap V-down ribs combined with staggered ribs, *Renew. Energy* 91 (2016) 484–500.
30. R. Chauhan and N. S. Thakur, "Heat transfer and friction factor correlations for impinging jet solar air heater," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 44, pp. 760–767, 2013, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2012.09.019.
31. M. A. R. Sharif and A. Banerjee, "Numerical analysis of heat transfer due to confined slot-jet impingement on a moving plate," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, no. 2–3, pp. 532–540, Feb. 2009, doi: 10.1016/J.APPL Thermal
32. M. Imbriale, A. Ianiro, C. Meola, and G. Cardone, "Convective heat transfer by a row of jets impinging on a concave surface," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 75, pp. 153–163, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2013.07.
33. E. Öztekin, O. Aydin, and M. Avcı, "Heat transfer in a turbulent slot jet flow impinging on concave surfaces," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 44, pp. 77–82, May 2013, doi: 10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2013.03.0
34. M. Kilic, T. Calisir, and S. Baskaya, "Experimental and numerical study of heat transfer from a heated flat plate in a rectangular channel with an impinging air jet," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 1
35. A.S. Yadav, J.L. Bhagoria, A CFD analysis of a solar air heater having triangular rib roughness on the absorber plate, *Int. J. ChemTech Res.* 5 (2) (2013) 964–971.
36. Yadav, A.S., Bhagoria, J.L. A CFD Based Thermo-Hydraulic Performance Analysis of an Artificially Roughened Solar Air Heater Having Equilateral Triangular Sectioned Rib Roughness on the Absorber Plate. *Int. J. Heat Mass Transf.* 70, 2014. 1016–1039. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.11.074>.

37. R. Prasad, A.S. Yadav, N.K. Singh, D. Johari, Heat transfer and friction characteristics of an artificially roughened solar air heater. in: P. Saha, P.M.V. Subbarao, B.S. Sikarwar (Eds.), *Advances in Fluid and Therma*
38. A.S. Yadav, V. Shrivastava, A. Sharma, M.K. Dwivedi, Numerical simulation and CFD-based correlations for artificially roughened solar air heater, *Mater. Today: Proc.* 47 (2021) 2685–2693.
39. V. Shrivastava, A.S. Yadav, N. Shrivastava, Thermal performance assessment of greenhouse solar dryer, in: R. Kumar, A.K. Pandey, R.K. Sharma, G. Norkey (Eds.), *Recent Trends in Thermal Engineering*, Springer, Lecture
40. Tan, A.S.T., Janaun, J., Tham, H.J., Siambun, N.J., Abdullah, A., 2022. Performance analysis of a solar heat collector through experimental and CFD investigation. *Mater. Today: Proc.* 57, 1338–1344.
41. S. Kumar et al., “CFD analysis of the influence of distinct thermal enhancement techniques on the efficiency of double pass solar air heater (DP-SAH),” *Materials Today: Proceedings*, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.20
42. Arya, N., Goel, V., Sunden, B., 2023. Solar air heater performance enhancement with differently shaped miniature combined with dimple shaped roughness: CFD and experimental analysis. *Sol. Energy* 250, 33–50.
43. Potgieter, M.S.W., Bester, C.R., Bhamjee, M., 2020. Experimental and CFD investigation of a hybrid solar air heater. *Sol. Energy* 195, 413–428.
44. Tuncer, A.D., Khanlari, A., Sözen, A., Gürbüz, E.Y., Şirin, C., Gungor, A., 2020. Energy-exergy and enviro-economic survey of solar air heaters with various air channel modifications. *Renew. Energy* 160, 67–85.
45. Kumar, S., & Saini, R. P., 2009. CFD based performance analysis of a solar air heater duct provided with artificial roughness. *Renewable energy*, 34(5), 1285-1291.
46. Karmare, S. V., & Tikekar, A. N., 2010. Analysis of fluid flow and heat transfer in a rib grit roughened surface solar air heater using CFD. *Solar Energy*, 84(3), 409-417.
47. Boulemtafes-Boukadoum, A., & Benzaoui, A. J. E. P., 2014. CFD based analysis of heat transfer enhancement in solar air heater provided with transverse rectangular ribs. *Energy Procedia*, 50, 761-772.
48. Singh, S., Singh, B., Hans, V. S., & Gill, R. S., 2015. CFD (computational fluid dynamics) investigation on Nusselt number and friction factor of solar air heater duct roughened with non-uniform cross-section transve
49. Gawande, V.B., Dhoble, A.S., Zodpe, D.B., Chamoli, S., 2015b. Experimental and CFD based thermal performance prediction of solar air heater provided with right-angle triangular rib as artificial roughness. *J. Braz. Soc.*
50. Singh, A., & Singh, S., 2017. CFD investigation on roughness pitch variation in non-uniform cross-section transverse rib roughness on Nusselt number and friction factor characteristics of solar air heater duct. *Energ*
51. N. K. Chougule, G. V Parishwad, and C. M. Sewatkar, “Numerical Analysis of Pin Fin Heat Sink with a Single and Multi Air Jet Impingement Condition,” vol. 1, no. 3, pp. 44–50, 2012
52. A.M. Fadhil, J.M. Jalil, G.A. Bilal, Experimental and numerical investigation of solar air collector with phase change material in column obstruction, *J. Energy Storage* 79 (2024) 110066, <https://doi.org/10.1016/j.est>

53. S. Yadav and R. P. Saini, “Numerical investigation on the performance of a solar air heater using jet impingement with absorber plate,” *Solar Energy*, vol. 208, pp. 236–248, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.07.0
54. Das, S., Biswas, A., & Das, B., 2023. Parametric investigation on the thermo-hydraulic performance of a novel solar air heater design with conical protruded nozzle jet impingement. *Applied Thermal Engineering*, 219, 1
55. J. Pal and S. K. Singal, “Numerical Analysis of Influence of Angle of Attack on the Performance of Solar Air Heater Having Cylindrical Jet Impingement Plate,” in 2023 10th International Conference on Power and Energy
56. Tobergte D.R. and Curtis, S. (2013) Detection, Estimation, and Modulation Theory. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 1689-1699.
57. Chauhan, R., Thakur, N.S., 2013. Heat transfer and friction factor correlations for impinging jet solar air heater. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 44, 760–767. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.09.019>