

# Değişken Sayıda Delikler İçeren Emici Plakalara Sahip Güneş Enerjili Hava Isıtıcısının Sayısal Analizi

Murat ÖZTÜRK<sup>1,2</sup> , Erdem ÇİFTÇİ<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Milli Savunma Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

## Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 25/11/2023  
Düzeltilme: 06/12/2023  
Kabul: 07/12/2023

## Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi  
Hesaplamalı Akışkanlar  
Dinamiği  
Emici Plaka  
Hava Isıtıcı  
Isıl Sistemler

## Article Info

Research article  
Received: 25/11/2023  
Revision: 06/12/2023  
Accepted: 07/12/2023

## Keywords

Solar Energy  
Computational Fluid  
Dynamics  
Absorber Plate  
Air Heater  
Thermal Systems

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada güneş enerjisinden ısı enerji elde etmek amacıyla kullanılan güneş enerjili hava ısıtıcıların performansının artırılması amaçlanmış ve farklı emici yüzeylere sahip güneş enerjili hava ısıtıcısı modelleri geliştirilerek Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımı ile sayısal analizler yapılmıştır. / In this study, it is aimed to increase the performance of solar air heaters used to obtain thermal energy from solar energy, and solar air heater models with different absorber surfaces were developed and numerical analyzes were carried out with the Computational Fluid Dynamics (CFD) approach.

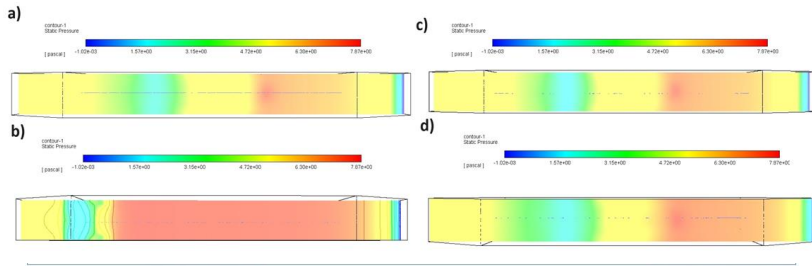


Figure A: Temperature distributions of the absorber plate with (a) flat, (b) four, (c) six and (d) eight holes / Şekil A: (a) Düz, (b) dört, (c) altı ve (d) sekiz delikli emici plakaya ait sıcaklık dağılımları

## Önemli noktalar (Highlights)

- Geleneksel düz emici plakalı güneş enerjili hava ısıtıcısı ve farklı sayıda delikler içeren güneş enerjili hava ısıtıcıları modellenmiştir. / A conventional plain absorber plate solar air heater and solar air heaters with different numbers of holes are modeled.
- Sıcaklık, basınç ve hız dağılımları incelenmiştir. / Temperature, pressure and velocity distributions were examined.
- Kolektör giriş ve çıkış noktası arasındaki sıcaklık farkları düz plakalı, dört delikli, altı delikli ve sekiz delikli model için sırasıyla 12,6°C, 10°C, 13,5°C ve 16,2°C olarak elde edilmiştir. / The temperature differences between the collector inlet and exit point were obtained as 12.6°C, 10°C, 13.5°C and 16.2°C for the plain, four-hole, six-hole and eight-hole models, respectively.

**Amaç (Aim):** Güneş enerjili hava ısıtıcı emici plaka geometrisinin performansa etkisi araştırılmıştır. / The effect of solar air heater absorber plate geometry on performance was investigated.

**Özgünlük (Originality):** Sıralı düzende farklı sayılarda delikler içeren emici plakalar oluşturulmuştur. / Absorber plates containing different numbers of holes in a sequential order were generated.

**Bulgular (Results):** Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki en büyük farkın 16,2°C olduğu belirlenmiştir. / It was determined that the maximum difference between collector inlet and exit temperatures was 16.2°C.

**Sonuç (Conclusion):** Artan delik sayısı ile sistem performansının arttığı, deliklerin türbülans etkisi yaratarak ısı transferini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir. / It was observed that the system performance increased with increasing number of holes, and the holes significantly improved heat transfer by creating a turbulence effect.



## Değişken Sayıda Delikler İçeren Emici Plakalara Sahip Güneş Enerjili Hava Isıtıcısının Sayısal Analizi

Murat ÖZTÜRK<sup>1,2</sup> , Erdem ÇİFTÇİ<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Milli Savunma Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 25/11/2023  
Düzeltilme: 06/12/2023  
Kabul: 07/12/2023

### Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi  
Hesaplamalı Akışkanlar  
Dinamiği  
Emici Plaka  
Hava Isıtıcı  
Isıl Sistemler

### Öz

Dünya nüfusundaki meydana gelen artışlar, enerjiye olan talepleri de doğrudan etkilemektedir. Nüfus artışı ile doğrudan etkilenen enerji taleplerine karşı tepki verebilmek ve sürdürülebilir bir gelecek sağlamak amacıyla farklı enerji kaynakları arayışları ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda popüler bir hale gelen yenilenebilir enerji kaynaklarının en temeli olan güneş enerjisinden elektrik üretimi ve ısı uygulamaları ilerlemeye devam etmektedir. Bu çalışmada güneş enerjisinden ısı enerji elde etmek amacıyla kullanılan güneş enerjili hava ısıtıcıların performansının artırılması amaçlanmış ve farklı emici yüzeylere sahip güneş enerjili hava ısıtıcısı modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu modellerin analizleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımı ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Başlangıçta geleneksel düz emici plakalı güneş enerjili hava ısıtıcısı modellenmiştir. Daha sonra düz plakaya sırasıyla dört, altı ve sekiz adet delikler eklenmiş ve aynı şartlar altında sistem analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu analizler sonucu benzer oranlarda basınç düşüşleri görülmüş ve hava akış hızları oldukça yakın oranda azalmıştır. Bunun yanı sıra giriş ve çıkış noktası arasındaki sıcaklık farkları düz plakalı, dört delikli, altı delikli ve sekiz delikli model için sırasıyla 12,6°C, 10°C, 13,5°C ve 16,2°C olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak delik sayısı ile sistem performansında artışı ve oluşturulan deliklerin türbülans etkisi yaratarak ısı transferini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

## Numerical Analysis of a Solar Air Heater with Absorber Plates Containing a Variable Number of Holes

### Article Info

Research article  
Received: 25/11/2023  
Revision: 06/12/2023  
Accepted: 07/12/2023

### Keywords

Solar Energy  
Computational Fluid  
Dynamics  
Absorber Plate  
Air Heater  
Thermal Systems

### Abstract

Increases in the world population directly affect the demands for energy. There is a search for different energy sources in order to respond to energy demands that are directly affected by population growth and to ensure a sustainable future. Electricity production and thermal applications from solar energy, the most basic of renewable energy sources that have become popular recently, continue to progress. In this study, it was aimed to increase the performance of solar air heaters used to obtain thermal energy from solar energy, and solar air heater models with different absorbent surfaces were developed. The analyzes of these developed models were carried out with the Computational Fluid Dynamics (CFD) approach and the results were evaluated. Initially, a conventional flat absorber plate solar air heater was modeled. Then, four, six and eight holes were added to the flat plate, respectively, and system analyzes were carried out under the same conditions. As a result of these analyses, pressure drops at similar rates were observed and air flow rates decreased at a very similar rate. In addition, the temperature differences between the inlet and outlet points were obtained as 12.6°C, 10°C, 13.5°C and 16.2°C for the flat plate, four-hole, six-hole and eight-hole model, respectively. Based on the results obtained, it has been observed that the system performance increases with the number of holes and that the holes created significantly improve heat transfer by creating a turbulence effect.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel gelişmelerin hızla artması sonucu enerjiye olan talepler de hızla artış göstermektedir. Güncel olarak kullanılmakta olan fosil yakıtların

hem zararlı gazlar ortaya çıkarması hem de tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalması farklı enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmakta ve çeşitli arayışları ortaya çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji

sektörünün hızla artışı, aktif enerji kaynaklarına destek olabilmekte ve temiz enerji kaynakları olması gibi pek çok olumlu sonuçlar sunmaktadır. Bu anlamda yenilenebilir enerji kaynaklarının en temeli olan Güneş enerjisinden pek çok alanda faydalanılmaktadır ve gerek elektrik üretimi gerekse de ısıl işlemlerde oldukça yaygınlaşmaktadır. Isıl uygulama sistemlerinin en temeli olan güneş hava ısıtıcılarının da performansı temel nokta olmakta ve bu alanda pek çok çalışma yapılmaktadır. Alıç ve ark. (2021), güneş hava ısıtıcılarının performansını geliştirmek için 4 farklı emici plaka modeli içeren (düz plaka, das modeli, geliştirilmiş das modeli ve Z tipi) bir çalışma yapmışlardır. Hem deneysel hem de sayısal olarak yaptıkları bu çalışmada maksimum performansı Z tipi emici plakaya sahip sistemden elde etmişler ve ortalama %78 verim elde ettiklerini belirtmişlerdir [1]. Ammar ve ark. (2022), düz plakalı güneş hava ısıtıcısının performansında iyileşme elde edebilmek amacıyla plaka yüzeyine dikdörtgen kanatçıklar entegre etmişler ve sayısal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler doğrultusunda kanatçıkların ısı transferini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve verimin %47'den %80'e arttırıldığını belirtmişlerdir [2]. Embiale ve Gunjo (2023), parafin bazlı ısı depolama malzemesine sahip çift akışlı bir güneş enerjili hava ısıtıcı geliştirmişler ve hem deneysel hem de sayısal analizlerini yapmışlardır. Yaptıkları sayısal analizlerin sonucunda hava akış hızı arttıkça hava çıkış sıcaklığının azaldığını elde etmişlerdir [3]. Maurya ve ark. (2023), borulu üç geçişli bir güneş enerjili hava ısıtıcısının performansını deneysel ve sayısal olarak analiz etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada yeni bir tip emici plaka önermişler, bu emici plaka akış boyunca 5 tüp içerdiğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda maksimum verimi 0,006 kg/s akış hızında %60,04 olarak belirtmişlerdir [4]. Iqbal ve ark. (2023), Güneş enerjili hava ısıtıcılarının performansında artış sağlamak için yeni bir emici plaka geometrisi sunmuşlar ve sayısal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Geliştirmiş oldukları bu model V-nervür tipindeki kanatçıkları içermekte ve V modellerinin açılarını 30° ile 75° arasında değiştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda Re sayısının 18000 olduğu sistemde 1,92 olarak en yüksek termal hidrolik performans elde ettiklerini ve Nu sayısında 3,36 kadar artış sağladıklarını belirtmişlerdir [5]. Raturi ve ark. (2024), çift akışlı V-tipi kanatçıklara sahip güneş enerjili hava ısıtıcısı modeli geliştirmişler ve sayısal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizlerin doğrultusunda maksimum performans, 0,2 kg/s akış hızında, emici plakanın her iki tarafında da yönlendirici yer alan sistemden elde edildiğini

bildirmişlerdir [6]. Choi ve Choi (2023), ısı pompasının performansını arttırmak için emici yüzeyine üçgen bloklar entegre edilmiş bir güneş enerjili hava ısıtıcı geliştirilmiş ve ısı pompasına asiste edilmiştir. Sayısal olarak yapılan bu analizlerin sonucunda güneş enerjili hava ısıtıcının ısı pompası verimini %13,28 arttırdığı elde edilmiştir [7]. Bunun yanı sıra pek çok emici plaka geliştirilmiş hem deneysel hem de sayısal analizler ile performansları incelenmiştir [8-13].

Bu durumlara ek olarak sistem performansında artış sağlamak için emici plaka yüzeyine çeşitli katkı malzemeleri eklenmiş ve ısı transferi üzerinde artış elde etmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Tuncer ve ark. (2023), delikli bölmelere sahip ZnO nano ile geliştirilmiş güneş hava ısıtıcısının performansını deneysel ve sayısal olarak analiz etmişlerdir. Yapılan analizler sonucu nano geliştirilmiş delikli bölmeli güneş enerjili hava ısıtıcısının hava çıkış sıcaklığı diğer sistemlere kıyasla 2 °C daha yüksektir [14]. Khanlari ve ark. (2022), delikli perdelerle sahip nano geliştirilmiş bir dikey güneş enerjili hava ısıtıcı geliştirmişler, deneysel ve sayısal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda nano parçacıklar sistem performansını %9,25-10,58 arasında arttırdığını belirtmişlerdir [15]. Selimefendigil ve Şirin (2022), bakır oksit ile geliştirilmiş, termal enerji depolama ünitesi entegre edilmiş ve konvansiyonel depolamalı olarak geliştirilmiş 3 farklı modelde güneş enerjili hava ısıtıcı geliştirilmiş ve analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada maksimum performans bakır oksitle geliştirilmiş termal enerji depolamalı sistemden %12,52-15,44 arasında elde etmişlerdir [16]. Nazarri ve ark. (2022), CuO nano parçacıklarını kullanarak serpantin borulu ve düz plakalı güneş enerjili hava ısıtıcısının performansını arttırmayı amaçlamışlardır. 3 farklı modelin incelendiği bu çalışmada maksimum performans nano geliştirilmiş sistemden elde edildiği ve nano geliştirme ile sistem performansının %35,8 arttığı vurgulanmıştır [17]. Bunun yanı sıra nano parçacıklar güneş enerjili hava ısıtıcılarının performans iyileştirmesi için kullanılan en önemli malzemelerdendir. Nano parçacıkların kullanımı ile büyük ölçüde performans artışı elde edilebilmektedir [18-21].

Ek olarak farklı emici geometrileri de kolektör performansını önemli derecede etkilemektedir. Öztürk ve Çiftçi (2023), güneş enerjili hava ısıtıcılarının performansını arttırmak için esnek alüminyum hava kanalları geliştirmiş ve bu emici plakaları geleneksel düz plakalı modeller ile kıyaslamışlardır. Bunun dışında nano malzemede uyguladıkları bu çalışmada alüminyum hava

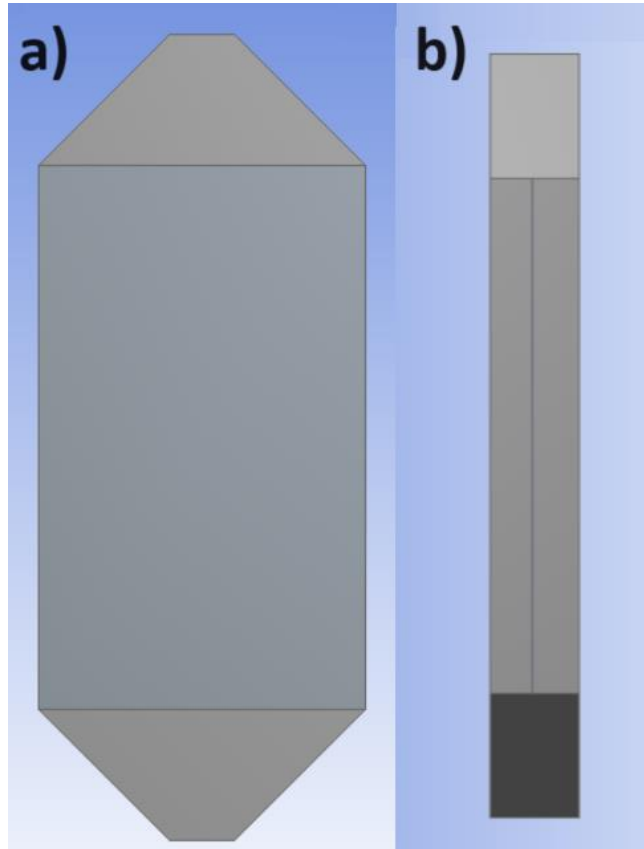
kanallarının güneş enerjili hava ısıtıcılarda kullanılabileceği belirtilmiş ve nano geliştirme ile sistem performansının artırılacağı vurgulanmıştır [22]. Benli (2013), oluklu, trapez, ters oluklu, ters trapez ve taban düz plaka modellerindeki emici yüzeyler içeren güneş enerjili hava ısıtıcılar geliştirmiş ve analiz etmiştir. Elde ettiği sonuçlarda oluklu ve ters oluklu emici plakaya sahip güneş enerjili hava ısıtıcının maksimum performans verdiğini belirtmiştir [23]. Abuşka (2018), konik yüzeyli bir güneş enerjili hava ısıtıcı geliştirmiş ve farklı hava akış hızlarında deneysel olarak analiz etmiştir. Geliştirilmiş olan konik emici plakalı sistemin 0,10 kg/s hava akış hızında düz plakalı sisteme kıyasla %10,6 daha yüksek performansa sahip olduğu belirtilmiştir [24].

Bu çalışmada güneş enerjili hava ısıtıcıların performansını geliştirmek amacıyla yeni bir emici plaka modeli geliştirilmiş ve sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta geleneksel düz plakalı model geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Daha sonra delikli emici plaka modelleri geliştirilmiştir. Her bir emici plakaya sırasıyla dört,

altı ve sekiz adet delik uygulanmıştır. Yapılan sayısal analizler Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yaklaşımı ile gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Geliştirilen kolektör geometrisi ve incelenen parametreler çalışmanın özgün yönünü ortaya koymaktadır. Artan sayıda delik geometrisinin kullanımı ile yapılan analizler ise çalışmanın bir diğer yenilikçi yönü olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada düz plakalı emici yüzeye sahip güneş enerjili hava ısıtıcıların performansını arttırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla emici plakaya farklı işlemler uygulanmış ve yeni oluşturulmuş olan sistemlerin performans analizi ANSYS Fluent yazılımı aracılığı ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımı aracılığıyla analiz edilmiştir. Şekil 1 geliştirilen güneş enerjili hava ısıtıcısını göstermektedir.



Şekil 1. Güneş enerjili hava ısıtıcı (a) üst, (b) sol yan görünüşü (Solar air heater (a) top, (b) left side view)

Her bir modelin aynı ölçülerde kolektöre sahip olduğu bu sistemde kolektör uzunluğu 740 mm, genişliği 300 mm ve boyu da 75 mm ölçülerine sahiptir. Kolektör içerisine yerleştirilmiş olan emici plakalar ise 500 mm uzunluğunda ve 300 mm

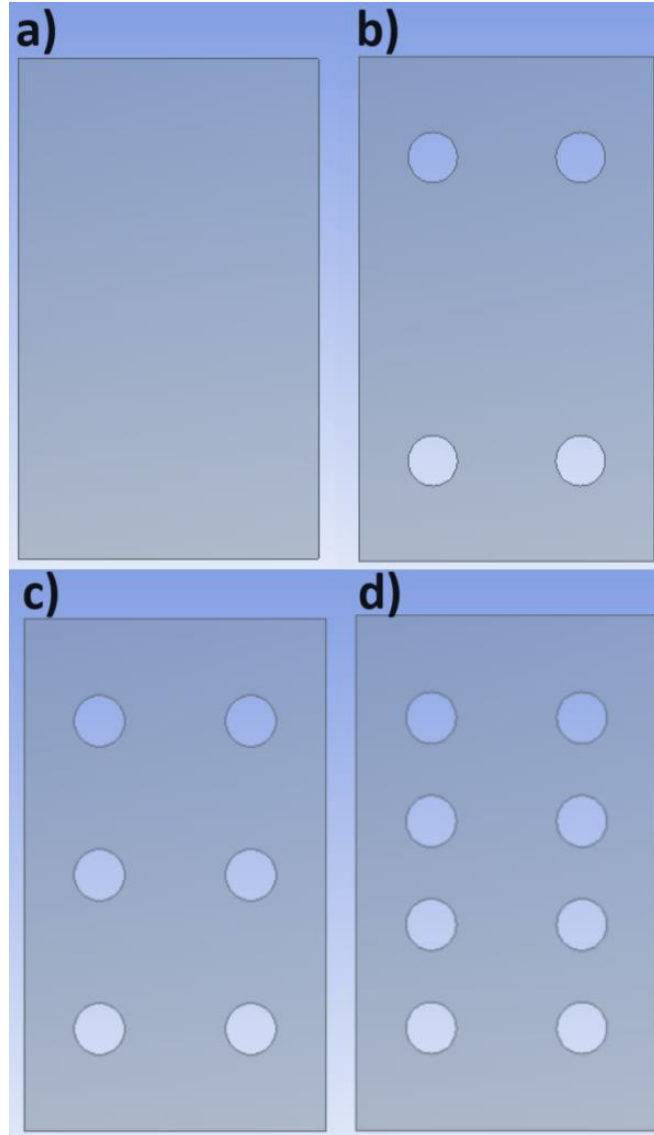
genişliğindedir. Bunun yanı sıra cam örtü de benzer şekilde 500 mm x 300 mm olup 4 mm kalınlığındadır. Hava giriş ve çıkışları 70 mm x 70 mm boyutlarındaki kare hava kanallarından sağlanmaktadır. Başlangıçta standart düz modelde

bir emici plaka içeren sistemin ısıl analizi yapılmıştır. Daha sonra emici plakaya sırasıyla dört, altı ve sekiz adet delikler eklenmiş ve sistem performansı aynı koşullarda incelenmiştir. Eklenmiş olan her bir delik 50 mm çapındadır. Ek olarak dört delikli modelde delikler arasında boyuna mesafe 300 mm enine mesafe de 150 mm olacak şekilde eklenmiştir. Daha sonra dört delikli modelde mesafeler 150 mm x 150 mm iken sekiz delikli modelde bu değer 100 mm x 150 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 2 geliştirilmiş olan farklı modellerdeki emici plakaları göstermektedir.

Geliştirilmiş olan modellerin sayısal analizleri için gerekli olan ağ yapısı uygulamasında standart tetrahedron ağ yapısı kullanılmıştır. Hava giriş-çıkış noktalarının yanı sıra delik bölgelerinde de ekstra küçültme içeren bu modelin toplam eleman sayıları düz plakalı, 4 delikli, 6 delikli ve 8 delikli model

için sırasıyla 9553140, 9699312, 9758416 ve 9758912 olarak elde edilmiştir. Şekil 3 kolektör kasesinin ve emici plakanın ağ yapılarını göstermektedir.

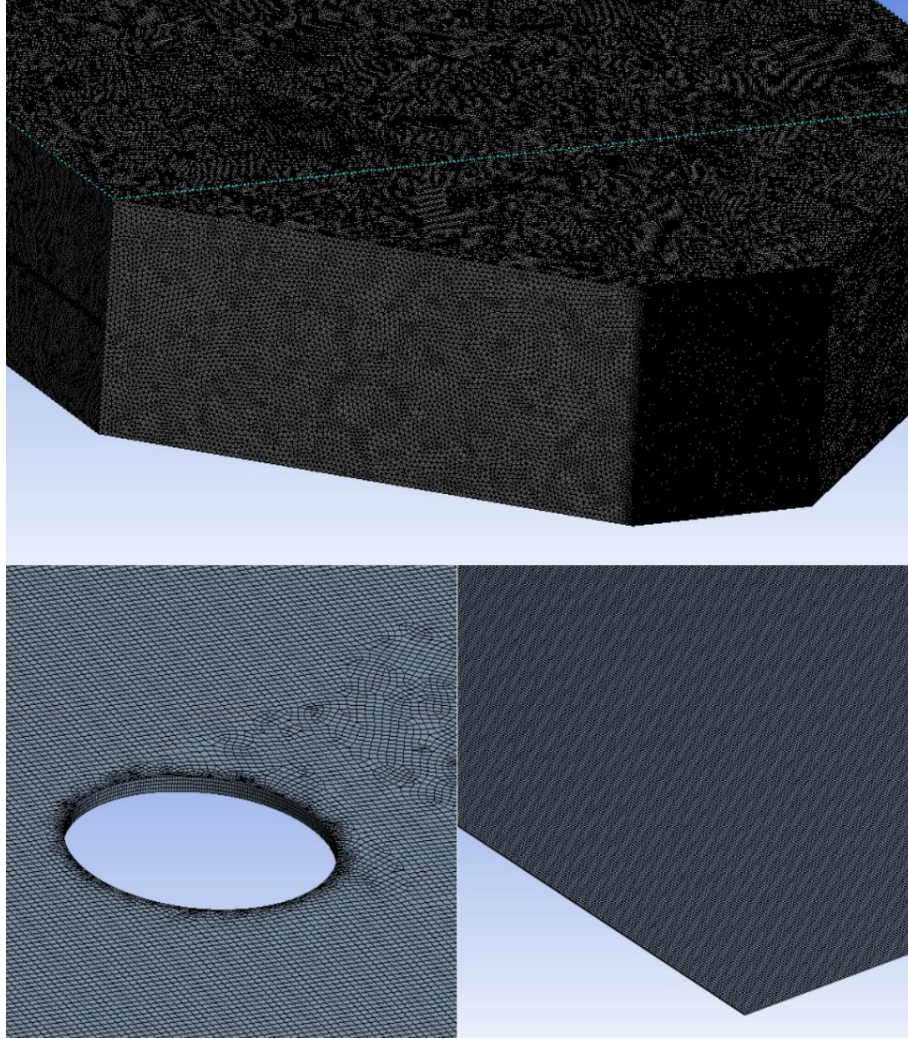
Geliştirilmiş olan her bir güneş enerjili hava ısıtıcı modelinin sayısal analizi için k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. P-1 solar radiations modeli ile kullanılan bu sistemin 1200 W/m<sup>2</sup> güneş ışınımı tercih edilmiş ve 32,8-39,9 enlem-boylam şartları altında sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra kolektör malzemesi için siyah boya ile kaplanmış bakır plaka tercih edilmiş olup kolektör kasesi malzemesi için çelik tercih edilmiştir. Hava giriş şartları ise 3,2 kg/s ve 17°C olarak tercih edilmiştir (Çizelge 1). Her bir sistem aynı şartlar altında analiz edilmiş olup hava sıcaklığı değişimi, hava akış hızı değişimi ve basınç farkları incelenmiştir.



Şekil 2. (a) Düz plakalı, (b) dört delikli (c) altı delikli, (d) sekiz delikli emici yüzey ((a) Flat plate, (b) four-hole, (c) six-hole, (d) eight-hole absorber surface)

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan başlangıç ve sınır şartları (Initial and boundary conditions used in the study)

Başlangıç / Sınır Şartı	Değer
Türbülans modeli	Standard $k$ - $\epsilon$
Işınım modeli	P-1 solar radiations
Enlem-boylam (°)	32,8-39,9
Emici plaka / kolektör malzemesi	Bakır / çelik
Hava debisi (kg/s)	3,2
Hava giriş sıcaklığı (°C)	17

**Şekil 3.** Kolektör kasası ve emici plakanın ağ yapıları (Mesh of the collector case and absorber plate)

### 3.SAYISAL ANALİZ (NUMERICAL ANALYSIS)

Bu çalışmada geliştirilmiş olan modellerin sayısal analizleri ANSYS Fluent yazılımından faydalanılmıştır. Gerçekleştirilmiş olan bu analizlerde  $k$ - $\epsilon$  türbülans modeli kullanılmış ve kolektör içerisindeki akışkanda hava seçilmiştir.

Geliştirilmiş olan modelin  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönündeki hız ve basınç değerlerinin hesaplanması için momentum ve süreklilik denklemlerinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sıkıştırılmaz akış altında, yoğunluğun sabit olduğu

göz önüne alınır ve süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilebilir [14]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Süreklilik denklemine bağlı olarak momentum denklemi elde edilir ve  $x$  doğrultusundaki momentum denklemi şu şekilde elde edilebilir [14]:

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \vec{\nabla} \cdot \vec{V} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (2)$$

Ek olarak türbülans enerjisini belirtmek için  $k$  (taşıma denklemi) kullanılır [14]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_i k)}{\partial x_i} = C_{1\varepsilon} P_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

Daha sonra türbülans ölçeğinin tanımı için [14]:

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{L_t} \quad (4)$$

Girdap viskozitesi ise  $\mu_t$  ile tanımlanır ve şu şekilde ifade edilir [14]:

$$\mu_t = \rho C_\mu L_t \sqrt{k} = \rho C_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (5)$$

Enerji denkleminin çözülmesi ile de akışkan alanındaki sıcaklık hesaplanabilir ( $\varphi$ , enerji kaynağı,  $C_p$  malzemenin özgül ısı kapasitesi şeklinde belirtilebilir) [14]:

$$\rho C_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \nabla \cdot k \nabla T + \varphi \quad (6)$$

Buna ek olarak P-1 radyasyon modeli için radyasyon akısı şu şekilde ifade edilebilir [25]:

$$q_r = - \frac{1}{3(\alpha + \sigma_s) - C\sigma_s} \nabla G \quad (7)$$

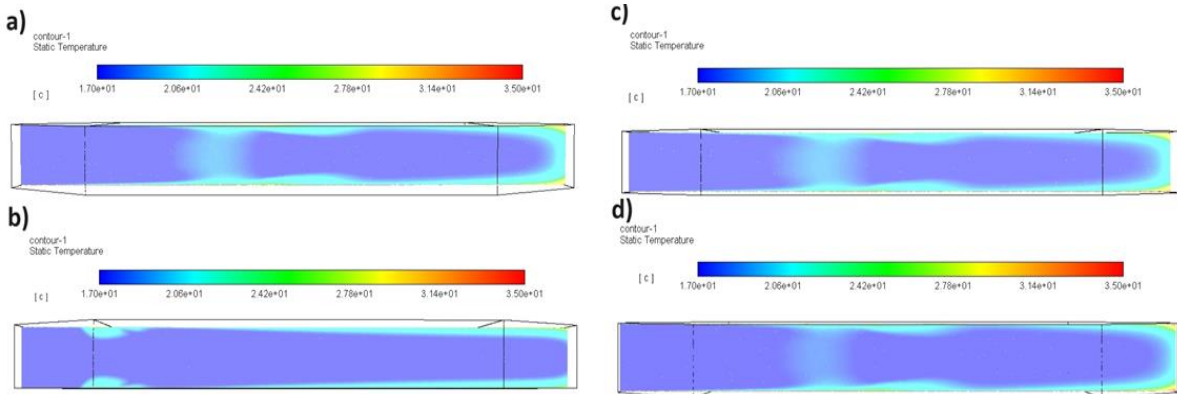
#### 4.SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULT & DISCUSSION)

Bu bölümde modellenmiş olan dört farklı şekilde emici plakaya sahip güneş hava ısıtıcıların sayısal analizleri sonucu elde edilen sıcaklık basınç ve hava akış hızı değişimleri paylaşılmıştır.

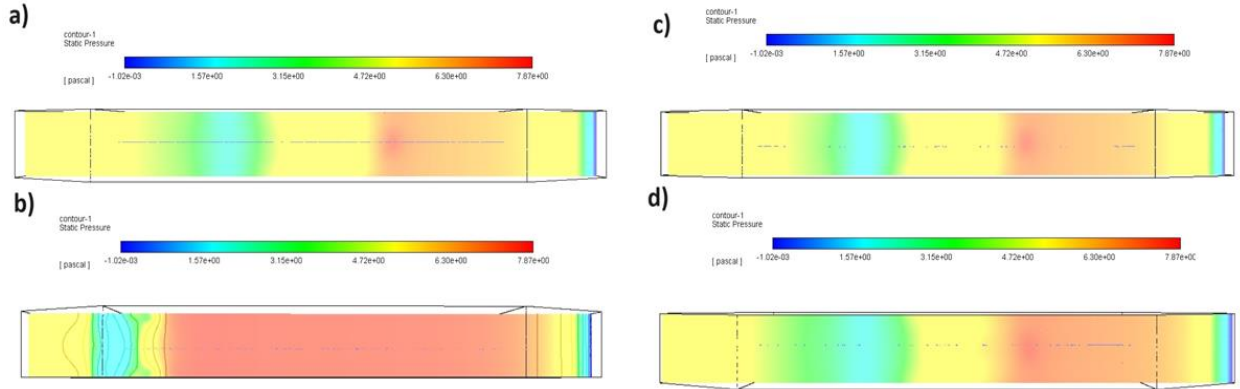
Bir güneş enerjili hava ısıtıcısının performansının en temel parametresi hava giriş ve çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkıdır. Başlıca amacı ortam havasını ısıtmak olan bu sistemlerin giriş ve çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkı ne kadar yüksek

ise sistem performansı da o kadar artış göstermektedir. Bu anlamda geliştirilmiş olan düz plakalı güneş enerjili hava ısıtıcı, 2 delikli güneş enerjili hava ısıtıcı, 4 delikli güneş enerjili hava ısıtıcı ve 8 delikli güneş enerjili hava ısıtıcısının hava çıkış sıcaklıkları yaklaşık olarak sırasıyla 29,60°C, 27°C, 30,5°C ve 33,20°C olarak elde edilmiştir (Şekil 4). Elde edilen sonuçlardan da görülebileceği gibi 2 delikli sistem dışında delik sayısı ile hava çıkış sıcaklığı doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Oluşturulmuş olan deliklerin akış halindeki havaya türbülans etkisi yarattığı görülmekte ve sistem performansı da aynı ölçüde artış göstermektedir. Sıcaklık dağılım grafikleri incelendiğinde artan delik sayısına paralel olarak sıcaklıkların kolektör uç bölgelerinde arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle 2 delikli plakada sıcaklık dağılımının diğerlerine kıyasla daha uniform olduğu göze çarpmaktadır. Artan delik sayısı türbülansı arttıracığı için optimum delik sayısında bir plaka ile en iyi sonuçların alınabileceği söylenebilir.

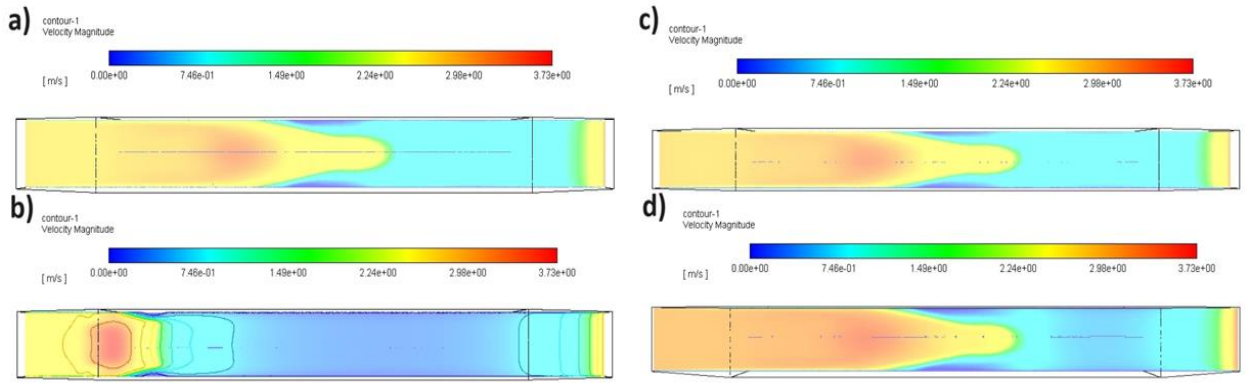
Şekil 5 güneş enerjili hava ısıtıcılara ait yapılan analizler sonucunda elde edilen basınç değişimi, Şekil 6 ise hava akış hızında meydana gelen değişimleri göstermektedir. Basınç grafikleri incelendiğinde delik sayısına bakılmaksızın uniform bir basınç dağılımı olduğu görülmektedir. Buna karşın, diğer delik sayılarına kıyasla 2 delikli emici plaka kullanıldığında kolektör içindeki hava basıncının daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Benzer şekilde akış hızları grafikleri incelendiğinde akışkan akışının türbülanslı olduğu doğrudan anlaşılmaktadır. 2 delikli emici plaka ile yapılan analiz sonucunda giriş bölgesinden belli bir mesafe sonrasında akış hızında bir düşüş olduğu, diğer bir ifadeyle deliklerin engel gibi davranış sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4. (a) Düz, (b) dört delikli, (c) altı delikli ve (d) sekiz delikli emici plakalı güneş enerjili hava ısıtıcı sıcaklık değişimi (Solar air heater temperature variation with (a) plain, (b) four-hole, (c) six-hole, and (d) eight-hole absorber plate)



**Şekil 5.** (a) Düz, (b) dört delikli, (c) altı delikli ve (d) sekiz delikli emici plakalı güneş enerjili hava ısıtıcı basınç değişimi (Solar air heater pressure variation with (a) plain, (b) four-hole, (c) six-hole, and (d) eight-hole absorber plate)



**Şekil 6.** (a) Düz, (b) dört delikli, (c) altı delikli ve (d) sekiz delikli emici plakalı güneş enerjili hava ısıtıcı hava akış hızı değişimi (Solar air heater air mass flow rate variation with (a) plain, (b) four-hole, (c) six-hole, and (d) eight-hole absorber plate)

Elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Khanlari ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada delikler içeren engellere sahip güneş hava ısıtıcının kolektör çıkışındaki sıcaklıkların düz plakalı hava ısıtıcılara kıyasla arttığını belirtmişlerdir [15]. Benzer şekilde, Tuncer ve ark. (2023) dikey güneş hava ısıtıcı ile yaptıkları deneysel ve sayısal analizlerle delikli engellerin kolektör çıkışındaki hava sıcaklığını önemli ölçüde arttırdığını raporlamışlardır. Kolektör performansı açısından genel bir değerlendirme yapıldığında, delik geometrisinin yaratacağı basınç düşüşünün eser miktarda olduğunu belirtmişlerdir [14].

### 5.SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada güneş enerjili hava ısıtıcıların performansının artırılması amaçlanmış ve farklı delik sayılarına sahip emici plaka modelleri geliştirilmiştir. Başlangıçta geleneksel düz modeldeki emici plakalı güneş enerjili hava ısıtıcı geliştirilmiş ve sistem performansı analiz edilmiştir. Daha sonra mevcut emici plakaya dört, altı ve sekiz adet delikler eklenmiş ve aynı koşullarda analizler

tamamlanmıştır. Yapılan bu analizler sayısal olarak gerçekleştirilmiş ve ANSYS Fluent yazılımı aracılığı ile tamamlanmıştır. Ayrıca sistem analizlerinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımından faydalanılmıştır. Yapılan bu analizler sonucu elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Maksimum hava çıkış sıcaklığı sekiz delikli modelde elde edilmiş ve en yüksek performansa sergilediği sonucuna varılmıştır.
- Delik sayısı ile hava çıkış sıcaklığı artış göstermiş, oluşturulmuş olan delikler türbülans etkisi yaratmış ve ısı transferini önemli ölçüde iyileştirmiştir.
- Delik sayısındaki artış ile basınç düşümü meydana gelmiştir. Ayrıca oluşturulmuş olan delikler hava akış hızı üzerinde de önemli etkilere sahiptir. Sekiz delikli modelde hava çıkış noktasında daha yüksek hava akış hızı gözlemlenmiş, böylece sistem performansına artış etkisi sağlamıştır.



- Kolektör giriş ve çıkış noktası arasındaki sıcaklık farkları düz plakalı, dört delikli, altı delikli ve sekiz delikli model için sırasıyla 12,6°C, 10°C, 13,5°C ve 16,2°C olarak elde edilmiştir.
- Meydana gelen basınç düşümleri farklı modeller arasında çok yüksek olmamakta ve önemli ölçüde değişimler ortaya çıkarmamaktadır.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Murat ÖZTÜRK:** Sayısal analizleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the numerical analysis, analyzed the results and performed the writing process.

**Erdem ÇİFTÇİ:** Sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He analyzed the results and performed the writing process.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Alic, E., Das, M., & Akpınar, E. K., Design, manufacturing, numerical analysis and environmental effects of single-pass forced convection solar air collector, *Journal of Cleaner Production*, 311 (2021) 127518.
- [2] Ammar, M., Mokni, A., Mhiri, H., & Bournot, P., Numerical analysis of solar air collector provided with rows of rectangular fins., *Energy Reports*, 6 (2020) 3412-3424.
- [3] Embiale, D. T., & Gunjo, D. G., Investigation on solar drying system with double pass solar air heater coupled with paraffin wax based latent heat storage: Experimental and

numerical study., *Results in Engineering*, (2023) 101561.

- [4] Maurya, O. K., Ekka, J. P., Kumar, D., Dewangan, D., & Singh, A., Experimental and numerical methods for the performance analysis of a tubular three-pass solar air heater., *Energy*, 283 (2023) 128640.
- [5] Iqbal, M. H., Ahmed, N., Ali, M., Qaisrani, M. A., Mahmood, M., Waqas, A., ... & Sajid, M. B., Numerical analysis of a novel solar air heater design with V-ribs and jet cooling., *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57 (2023) 103252.
- [6] Raturi, P., Deolal, H., & Kimothi, S., Numerical analysis of the return flow solar air heater (RF-SAH) with assimilation of V-type artificial roughness., *Energy and Built Environment*, 5(2) (2024) 185-193.
- [7] Choi, H. U., & Choi, K. H., Numerical study on the performance of a solar-assisted heat pump coupled with a photovoltaic-thermal air heater., *Energy*, 285 (2023) 129480.
- [8] Alta, D., Bilgili, E., Ertekin, C., & Yaldiz, O., Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and exergy analyses., *Applied Energy*, 87(10) (2010) 2953-2973.
- [9] Khanlari, A., Sözen, A., Şirin, C., Tuncer, A. D., & Gungor, A., Performance enhancement of a greenhouse dryer: Analysis of a cost-effective alternative solar air heater., *Journal of Cleaner Production*, 251 (2020) 119672.
- [10] Widyolar, B., Jiang, L., Brinkley, J., Hota, S. K., Ferry, J., Diaz, G., & Winston, R., Experimental performance of an ultra-low-cost solar photovoltaic-thermal (PVT) collector using aluminum minichannels and nonimaging optics., *Applied energy*, 268 (2020) 114894.
- [11] Mgbemene, C., Jacobs, I., Okoani, A., & Ononiwu, N., Experimental investigation on the performance of aluminium soda can solar air heater., *Renewable Energy*, 195 (2022) 182-193.
- [12] Acır, A., & Çinici, O. K., Experimental investigation of a thermal energy storage unit integrated with thermoelectric generators

- under solar radiation. *Solar Energy*, 265 (2023) 112028.
- [13] Bayyigit, A., Çinici, O. K., & Acır, A., Tek yüzeyli ve çift yüzeyli fotovoltaik panellerin performans analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(2), (2023), 407-420.
- [14] Tuncer, A. D., Amini, A., & Khanlari, A., Developing an infrared-assisted solar drying system using a vertical solar air heater with perforated baffles and nano-enhanced black paint., *Solar Energy*, 263 (2023) 111958.
- [15] Khanlari, A., Tuncer, A. D., Sözen, A., Aytaç, İ., Çiftçi, E., & Variyenli, H. İ., Energy and exergy analysis of a vertical solar air heater with nano-enhanced absorber coating and perforated baffles., *Renewable Energy*, 187 (2022) 586-602.
- [16] Selimefendigil, F., & Şirin, C., Energy and exergy analysis of a hybrid photovoltaic/thermal-air collector modified with nano-enhanced latent heat thermal energy storage unit., *Journal of Energy Storage*, 45 (2022) 103467.
- [17] Nazari, M., Jafarmadar, S., & Khalilarya, S., Exergy and thermoeconomic analyses of serpentine tube flat-plate solar water heaters coated with CuO nanostructures., *Case Studies in Thermal Engineering*, 35 (2022) 102072.
- [18] Selimefendigil, F., Şirin, C., Ghachem, K., Kolsi, L., Alqahtani, T., & Algarni, S., Enhancing the performance of a greenhouse drying system by using triple-flow solar air collector with nano-enhanced absorber coating., *Case Studies in Thermal Engineering*, 34 (2022) 102011.
- [19] Kumar, R., Verma, S. K., & Sharma, V. K., Performance enhancement analysis of triangular solar air heater coated with nanomaterial embedded in black paint., *Materials Today: Proceedings*, 26 (2020) 2528-2532.
- [20] Jeong, D., Lee, J., Hong, H., Choi, D., Cho, J. W., Kim, S. K., & Nam, Y., Absorption mechanism and performance characterization of CuO nanostructured absorbers., *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 169 (2017) 270-279.
- [21] Selimefendigil, F., Şirin, C., & Öztop, H. F., Improving the performance of an active greenhouse dryer by integrating a solar absorber north wall coated with graphene nanoplatelet-embedded black paint., *Solar Energy*, 231 (2022) 140-148.
- [22] Öztürk, M., & Çiftçi, E., Upgrading the performance of a solar air collector with flexible aluminum air ducts and graphene nanoplatelet-enhanced absorber coating., *Thermal Science and Engineering Progress*, 40 (2023) 101760.
- [23] Benli, H., Experimentally derived efficiency and exergy analysis of a new solar air heater having different surface shapes., *Renewable Energy*, 50 (2013) 58-67.
- [24] Abuşka, M., Energy and exergy analysis of solar air heater having new design absorber plate with conical surface., *Applied Thermal Engineering*, 131 (2018) 115-124.
- [25] AFS, P-1 Solar Radiations Modeli Theory, <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node112.htm>