

## Trapez Kesit Yapay Pürüzlü Güneş Destekli Hava Isıtıcının Modellenmesi

Abdülkadir KOÇER<sup>1</sup> \* 

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 07070, ANTALYA

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 11/07/2024  
Düzeltilme: 05/08/2024  
Kabul: 17/08/2024

### Anahtar Kelimeler

Hava Isıtıcı  
Trapez kesit  
Güneş Enerjisi  
Enerji

### Article Info

Research article  
Received: 11/07/2024  
Revision: 05/08/2024  
Accepted: 17/08/2024

### Keywords

Air Heater  
Trapezoidal Section  
Solar Energy  
Energy

### Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Güneş destekli hava ısıtıcıları tasarım ve üretim kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Temas yüzeylerinin az olması ısı verim açısından dezavantajdır. Bu çalışmada, ısı transferini arttırmak için trapez kesitli yapay pürüzlülüğe sahip bir güneş enerjili hava ısıtıcısının sayısal modellenmesi yapılmıştır. / Solar air heaters are widely used due to their ease of design and production. Low contact surfaces are a disadvantage in terms of thermal efficiency. In this study, numerical modelling of a solar air heater with a trapezoidal section artificial roughness has been applied to increase heat transfer.



Şekil A. Sayısal modellemenin aşamaları /The main steps of this computational modeling

### Önemli noktalar (Highlights)

- Trapez kesitli yapay pürüzlü güneş destekli hava ısıtıcılarının sayısal modellenmesi. / Numerical modeling of trapezoidal artificially rough solar assisted air heaters.
- Pürüzlülük oranının ısı transferine etkisi / Effect of roughness ratio on heat transfer
- Sürtünme faktörünün etkisi ve Maksimum termohidrolik performans parametresinin hesaplanması. / Effect of friction factor and calculation of Maximum thermohydraulic performance parameter.

**Amaç (Aim):** Çeşitli tasarım parametrelerinin trapez kesitli yapay pürüzlü güneş destekli hava ısıtıcılarının ve farklı boyutlara sahip düz yüzey güneş destekli hava ısıtıcılarının performansı üzerindeki etkisini araştırmak için sayısal bir analiz yapılmıştır. / A numerical analysis was conducted to investigate the impact of various design parameters on the performance of trapezoidal section artificial rough solar air heaters and flat air heaters with different dimensions. The aim of this study is to increase the heat transfer for a trapezoidal artificially rough solar assisted air heater.

**Originality (Özgünlük):** Isı transfer verimliliğini arttırmak için trapez kesit yapay pürüzlülüğüne sahip bir güneş destekli hava ısıtıcısının tasarımının sayısal modellenmesi yapılmıştır. / Numerical modeling of the design of a solar air heater with trapezoidal section artificial roughness was performed to increase the heat transfer efficiency.

**Bulgular (Results):**  $P/e = 8$  pürüzlülük oranı ve  $13000$  Reynolds sayısında Nusselt sayısında en fazla artış  $2,3$  katı olarak belirlenmiştir. En düşük artış ise  $P/e = 8$  ve  $4000$  Reynolds sayısında  $1,3$  olarak görülmüştür. / The maximum increase in the Nusselt number was observed to be  $2.3$  times the base value at a roughness ratio of  $P/e = 8$  and a Reynolds number of  $13000$ . The lowest increase was observed at  $P/e = 8$  and a Reynolds number of  $4000$ , with a value of  $1.3$ .

**Sonuç (Conclusion):**  $Re=4000$  ve  $P/e=6$  pürüzlülük oranı için gerçekleştirilen sayısal modellemelerde, maksimum termohidrolik performans parametresi değerini  $1,55$  olarak bulunmuştur. Ayrıca, ısı transferinde bir artışın olduğu her durumda pompalama maliyetleri dikkate alınmalıdır. / The numerical modelling performed at  $Re=4000$  and  $P/e=6$  yielded a maximum thermohydraulic performance parameter value of  $1.55$  for the roughness ratio. Furthermore, the financial implications of pumping should be considered in any context where there is an increase in heat transfer.



## Trapez Kesit Yapay Pürüzlü Güneş Destekli Hava Isıtıcının Modellenmesi

Abdülkadir KOÇER<sup>1</sup> \*

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 07070, ANTALYA

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 11/07/2024  
Düzeltilme: 05/08/2024  
Kabul: 17/08/2024

### Anahtar Kelimeler

Hava Isıtıcı  
Trapez kesit  
Güneş Enerjisi  
Enerji

### Öz

Güneş destekli ısıtıcılar evsel ısıtma ve gıda kurutma işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Temas yüzeylerinin kısıtlı olması nedeniyle verimleri düşüktür. Temas yüzeyleri arttırmak için yapay pürüzlülükler uygulanır. Bu çalışmada ısı transferini arttırmak için trapez kesit yapay pürüzlülük uygulanan güneş destekli hava ısıtıcısının sayısal modellenmesi yapılmıştır. Modelleme işlemi iki farklı pürüzlülük oranında ( $P/e=6$  ve  $P/e=8$ ); iki boyutlu olarak tasarlanmış ve yaygın bir hesaplamalı akışkan dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent ile gerçekleştirilmiştir. Yutucu plaka üzerine  $1000 \text{ W/m}^2$  sabit ısı akısı uygulanarak 4000 ile 13000 Reynolds sayısı aralığında 10 farklı değer ile türbülanslı akış modellenmiştir. Çalışma sonucunda düz yüzeye göre Nusselt sayısında 1,3 ile 2,3 kat arasında artış gözlemlenmiştir. 1,55 değeri ile maksimum termohidrolik performans parametresi  $Re=4000$  ve  $P/e=6$  pürüzlülük oranında yapılan sayısal modellemelerde elde edilmiştir.

## Modeling of Trapezoidal Section Artificial Rough Solar Air Heater

### Article Info

Research article  
Received: 11/07/2024  
Revision: 05/08/2024  
Accepted: 17/08/2024

### Keywords

Air Heater  
Trapezoidal Section  
Solar Energy  
Energy

### Abstract

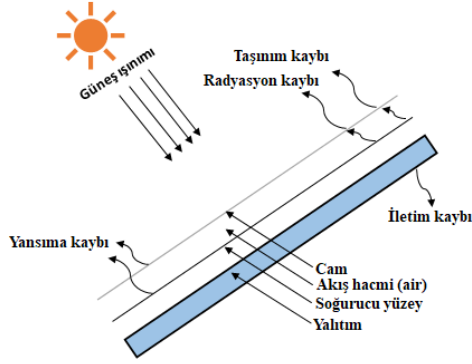
Solar air heaters are widely used for domestic heating and food drying. Their efficiency is low due to limited contact surfaces. Artificial roughness is applied to increase the contact area. In this study, numerical modelling of a solar air heater with a trapezoidal section artificial roughness has been applied to increase heat transfer. The modelling process is carried out at two different roughness rates ( $P/e=6$  and  $P/e=8$ ); it was designed in two dimensions and implemented using ANSYS Fluent, a popular computational fluid dynamics software. By applying a constant heat flux of  $1000 \text{ W/m}^2$  to the absorber plate, the turbulent flow was modelled with 10 different values between 4000 and 13000 Reynolds number. As a result of the study, an increase of 1.3 to 2.3 times in the Nusselt number was observed compared to the flat surface. The maximum thermohydraulic performance parameter with a value of 1.55 was obtained in the numerical modelling at  $Re = 4000$  and  $P/e = 6$  roughness ratios.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte tüketilen enerji miktarı da artmaktadır. 2040 yılına kadar, enerji talebinin %28 oranında artacağı tahmin edilmektedir [1]. Enerji talebinin artmasıyla birlikte kömür, petrol ve doğalgaz gibi birincil enerji kaynakları azalmakta ve alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, kirletici madde içermemesi, kolay ve bölgesel olarak uygulanabilmesi gibi özellikleri nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının başında gelmektedir [2].

Güneş destekli hava ısıtıcılar tasarımının basit ve maliyetinin düşük olması nedeniyle birçok alanda

yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 1). Özellikle evsel ısıtma ve tarımsal gıdaların kurutulmasında tercih edilmektedir [3]. Temas yüzeyinin düşük olması nedeniyle düşük verim ile çalışması dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Temas yüzeyinin artırılması ve akışın zorlaştırılması için literatürde kanatlı, oluklu ve gözenekli olarak pürüzlendirilen birçok çalışma mevcuttur. Uygulanan kanatçık kalınlığının artması termal verimi düşürürken kanat sayısının artması termal verimi arttırmaktadır [4]. Taşınım ısı transfer oranını arttırmanın en uygun ve düşük maliyetli yolunun yapay pürüzlülük olduğu literatürde vurgulanmıştır [5].



**Şekil 1.** Güneş destekli hava ısıtıcısının şematik gösterimi (Schematic view of solar air heater)

Kocer [6] tarafından yapılan bir çalışmada; kare, yarım daire ve üçgen kesit yapay pürüzlü bir güneş destekli hava ısıtıcı tasarımı sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 18000 Reynolds sayısında ve yarım daire kesit yutucu plaka ile yapılan tasarımda 1,77 ile maksimum termohidrolik performans parametresi değerine ulaşmıştır. Kumar ve ark., çokgen ve trapez kesit yapay pürüzlü hava ısıtıcının sayısal analizini yapmışlardır. Çalışma sonucunda 1,89 ile maksimum termohidrolik performans değerini elde etmişlerdir. Ayrıca Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için korelasyon geliştirmişlerdir [7]. Singh ve Singh, düzgün olmayan kare pürüzlü güneş enerjili hava ısıtıcılarının termal ve hidrolik etkisini incelediği çalışmada, 1,43'lük termohidrolik performans parametresinin en verimli olduğu ifade edilmiştir [8].

Srivastava ve ark., tarafından deneysel ve sayısal olarak iki farklı güneş destekli hava ısıtıcının analizini yapılmıştır. 3000 ile 15000 Reynolds sayısı aralığında yürütülen çalışma sonunda  $Re=15000$  değeri için düz bir plaka ile karşılaştırıldığında V şekilli nervürlerde 3,5 kata kadar ve yay şekilli nervürlerde 2,5 kata kadar Nusselt Sayısında kazanç gözlemlendiği belirtilmiştir. Ayrıca, deneysel sonuçların sayısal olarak tahmin edilen sonuçlarla uyumlu olduğu ifade edilmiştir [9]. Saini ve Saini yaptıkları deneylerde enine nervürlere sahip kanallarda Nusselt sayısında 3,8 kat, sürtünme faktöründe ise 1,75 kat artış olduğunu rapor etmişlerdir [10].

Haldar ve ark., tarafından bağıl pürüzlülük aralığının ve Reynolds sayısının termal performans üzerindeki etkilerini incelemek için dalgalı bir yüzeye sahip yapay olarak pürüzlü bir güneş enerjili hava ısıtıcısı üzerinde hesaplamalı akışkan dinamiği simülasyonları yapılmıştır. Pürüzlü güneş enerjili hava ısıtıcıları üzerindeki simülasyonların,

pürüzsüz yüzeylere kıyasla daha yüksek sıcaklık dağılımı ve çıkış sıcaklıklarının elde edildiği ifade edilmiştir [11].

Yadav ve Bhagoria, tarafından yarım daire kesitli pürüzlendirilmiş bir güneş destekli hava ısıtıcıda türbülanslı akışların sayısal incelemesi yapılmıştır. Çalışma sonunda 15000 Reynolds sayısında ve 0,06 bağıl pürüzlülük yüksekliğinde Nusselt sayısında 2,34 kat artış olduğu ifade edilmiştir [12].

Hans ve ark., tarafından 11 farklı pürüzlülük koşulu için ısı artış oranlarını karşılaştıran bir literatür çalışması yürütülmüştür. Çalışmada, ısı artış oranlarının hem Reynolds sayısına hem de pürüzlülük parametrelerine bağlı olarak 0,4 ile 2,4 arasında değiştiğini bildirilmektedir. Ayrıca, ısıtıcı verimliliğini artırmak için uygulanan pürüzlülüğün önemi vurgulanmıştır [13]. Sharma ve ark., tarafından kare kesitli kaba bir soğurucu plaka ile donatılmış bir güneş enerjili hava ısıtıcısının termal verimliliği üzerine sayısal bir araştırma yürütülmüştür. Çalışmada RNG  $k-\epsilon$  türbülans modeli kullanılmış ve 4000 ve 20.000 Reynolds sayıları ve 16 farklı pürüzlülük modeli için hesaplanmış veriler elde edilmiştir. Pürüzsüz bir kanalla yapılan karşılaştırma, pürüzlülük parametrelerindeki değişikliklerin hem Nusselt sayısı hem de sürtünme faktörü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarılmıştır [14].

Yıldırım tarafından yapılan çalışmada V-kanatçıklar ile pürüzlendirilmiş bir güneş destekli hava ısıtıcısının termal ve termohidrolik verimi sayısal olarak araştırılmıştır. Uygulanan yapay pürüzlülüğün, termal verimi %65 ile %165 oranında arttırdığı, termohidrolik verimi ise %67 ile %165 arasında arttırdığı ifade edilmiştir [15]. Mahanand ve Senapati tarafından yapılan sayısal bir çalışmada; yutucu plaka üzerinde çeyrek dairesel kanatlara sahip bir güneş enerjili hava ısıtıcısının termohidrolik özelliklerini incelenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek 1,88'lik termohidrolik performans değerine  $P/e=7,14$  ve 15000 Reynolds sayısında  $e/D=0,042$  bağıl pürüzlülük yüksekliğinde ulaşılmıştır [16].

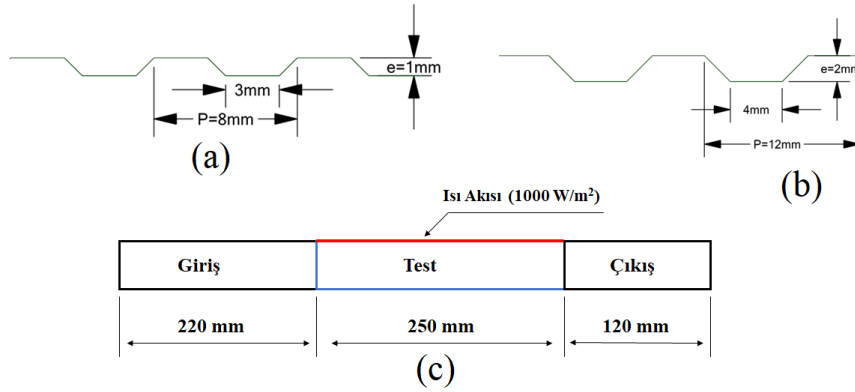
Deneysel çalışmalar zaman ve maliyet açısından sınırlı parametreler ile yapılmaktadır. Sayısal çalışmalar ise bu maliyetleri düşürmektedir. Literatürde farklı geometriler ile farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca çoklu parametre kullanımı ile güneş destekli hava ısıtıcıların performansını arttırmada önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmanın amacı, trapez kesitli yapay pürüzlü güneş destekli hava ısıtıcı için ısı transferini arttırmaktır. Çalışmalar ANSYS Fluent ile 2 boyutlu olarak

modellenmiştir. Model geometrisi karmaşık olmadığı için 3-boyutlu model yerine 2-boyutlu model seçilmiştir. İki farklı adım aralığında modellenen geometri sonuçları düz yüzey ısıtıcı sonuçlarıyla karşılaştırılarak termohidrolik performans değerleri ele alınmıştır.

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

Güneş destekli hava ısıtıcının sayısal modellemesi için 4000 ile 13000 Reynolds sayı aralığında 10 farklı hızda akış analizi yapılmıştır. Akışkan hızları, eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır. 3800 ile 18000 aralığındaki Reynolds sayısında çalışan güneş enerjili hava ısıtıcıların daha iyi termohidrolik performans gösterdiği yapılan bir çalışmada vurgulanmıştır [8]. Türbülanslı akış göz önüne

alınmış olup 300 K giriş sıcaklığındaki havanın kanala sabit hızda girdiği varsayılmıştır. Kanal çıkışında ise sabit atmosferik basınçta ( $1,013 \times 10^5$  Pa) çıkış koşulu (pressure outlet) uygulanmıştır [17]. Şekil 2'de  $P/e=8$  ve  $P/e=6$  için yutucu plaka yüzeyi ile hidrolik çapı  $D_h=33.33$  mm olan güneş destekli hava ısıtıcısının geometrik modeli verilmiştir. Güneş destekli ısıtıcı geometrik modeli üç bölüme ayrılmış olup tasarım parametreleri eşitlik 2 ve 3 yardımıyla ASHRAE Standardına göre belirlenmiştir [18]. Giriş bölümü ( $L_1$ ) akışın tam gelişmesi için ayrılan bölümdür. Çıkış bölümü ( $L_3$ ) ise test bölümü üzerindeki etkiyi azaltmak için eklenmiştir. Test bölümü üst duvarına sabit ısı akısı ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) uygulanmıştır. Diğer duvarlar adyabatik olarak modellenmiştir. Ayrıca radyasyon ısı transferi ve çevre etkileşiminden kaynaklanan ısı kayıpları ihmal edilmiştir.



**Şekil 2.**  $P/e=8$  (a),  $P/e=6$  (b) için yutucu plaka yüzeyi ve güneş destekli hava ısıtıcısının geometrik modeli (c) (Absorber plate surface for  $P/e=8$  (a),  $P/e=6$  (b) and geometric model of solar air heater (c))

$$v = \frac{Re\mu}{\rho D_h} \quad (1)$$

$$Nu_r = h \frac{D_h}{k} \quad (4)$$

$$L_1 = 5\sqrt{HW} \quad (2)$$

$$f_r = \frac{(\Delta P/L)D_h}{2\rho v^2} \quad (5)$$

$$L_3 = 2.5\sqrt{HW} \quad (3)$$

Güneş destekli hava ısıtıcılarla ilgili yapılan çalışmalar; ısı transferi artışının, Reynolds sayısı ile birlikte pürüzlülük elemanlarının pürüzlülük oranına ( $P/e$ ) ve bağlı pürüzlülük yüksekliğine ( $e/D_h$ ) güçlü bir şekilde bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır [19]. Bu çalışmada  $P/e$  oranı 6 ve 8 mm olmak üzere iki farklı tasarım yapılmıştır. Modelleme sonuçlarının değerlendirilmesinde Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü dikkate alınmıştır. Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü eşitlik 4 ve 5 yardımıyla hesaplanır.

Güneş enerjili hava ısıtıcıda ısı transferini arttırmak için kullanılan yapay pürüzlülüklerin sürtünme kayıplarına neden olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Aşırı sürtünme kaybı pompalama maliyetlerini arttırmaktadır [20]. Isı transferini arttırırken sürtünme faktörünü de dikkate alarak geliştirilen termohidrolik performans parametresi eşitlik 6 yardımıyla hesaplanır [21].

$$THPP = \frac{(Nu_r/Nu_s)}{(f_r/f_s)^{\frac{1}{3}}} \quad (6)$$

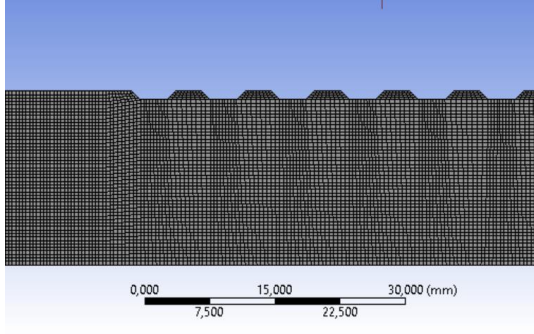


Sayısal modelin doğrulanmasında literatürde yaygın olarak kullanılan Dittus-Boelter (eşitlik 7) ve Blasius (eşitlik 8) eşitliklerden yararlanılmıştır [22].

$$Nu = 0,024 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (7)$$

$$f = 0,085 Re^{-0.25} \quad (8)$$

Sayısal modellemenin ağ yapısı model doğruluğu açısından önemli bir parametredir. Farklı ağ yapılarında analizler yapılmıştır. Artan düğümlerle yapılan analizlerde Nusselt sayısı ve sürtünme faktöründeki değişim %2'nin altına indiğinde optimum değer elde edilmiştir. Optimum değerden fazla ağ sayısı, çözüm doğruluğunu artırmayıp hesaplama yükünü artıracaktır. Ağ yapısı analizi,  $P/e=8$  ve  $Re=8000$  için yapılmış olup, analiz sonucunda belirlenen optimum hücre boyutu 0,4 mm'dir (Şekil 3). Ayrıca ağ yapısı kalitesini belirleyen çarpıklık (skewness) değeri maksimum 0,50 ve diklik kalitesi (orthogonal quality) minimum 0,71 olarak belirlenmiştir. Maksimum çarpıklık değerinin 0,25 – 0,50 arası, minimum diklik kalitesinin ise 0,70-0,95 arası değerleri “Çok iyi” olarak ifade edilmektedir [23].



**Şekil 3.** Trapez kesit güneş desteli ısıtıcının ağ yapısı (Mesh structure of trapezoidal section solar air heater)

Sayısal modeller türbülanslı akış için eşitlik 9-12’de verilen kütle, momentum ve enerji eşitlikleri ile ANSYS Fluent ortamında SIMPLE algoritması ile çözümlenmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (10) \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{u_i u_j}) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left( (\tau + \tau_t) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (11)$$

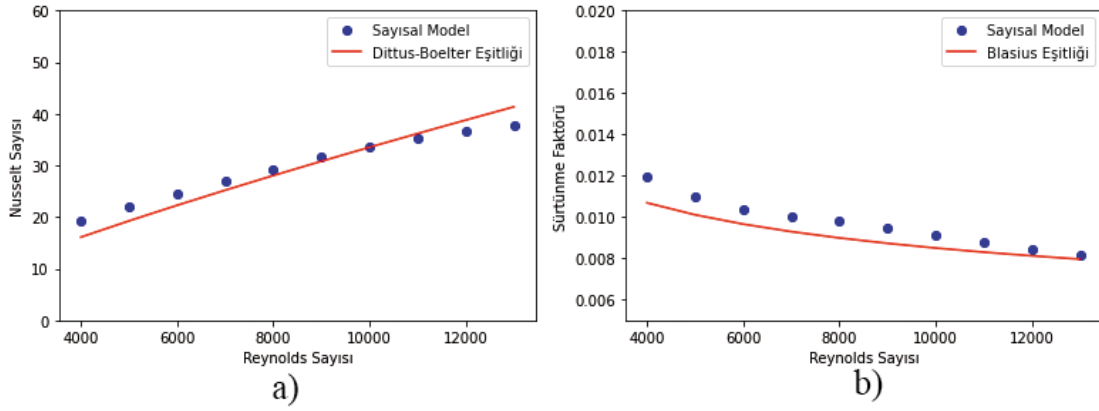
burada  $\tau$  ve  $\tau_t$  sırasıyla moleküler termal yayılım ve türbülanslı termal yayılım olup aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\mu}{Pr} \\ \tau_t &= \frac{\mu_t}{Pr_t} \end{aligned} \quad (12)$$

Kanal içerisindeki türbülanslı akışın modellenmesinde yaygın olarak tercih edilen k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Yapılan bir çalışmada RNG k-ε modelinin güneş hava ısıtıcısı modellenmesi için en uygun model olduğu vurgulanmıştır [11]. Ayrıca bu modelin doğru sonuç verdiği birçok çalışmada ifade edilmiştir [5, 7, 12]. Enerji eşitliğinde hassasiyet artırılarak  $10^{-6}$  yakınsama kriteri tercih edilmiştir. Diğer tüm bağımlı değişkenlerin yakınsama kriterleri  $10^{-3}$  olarak belirlenmiştir.

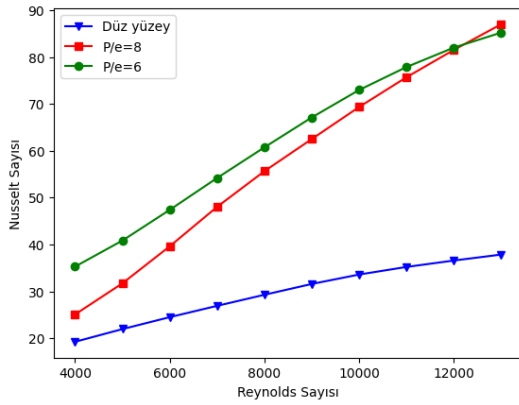
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada güneş destekli hava ısıtıcının verimini arttırmak amacıyla yutucu plaka üzerine iki farklı tasarım parametresine sahip trapez kesit yapıyı oluşturularak sayısal modellemesi yapılmıştır. Sayısal modelleme sonuçları, düz kanallardan deneysel yolla elde edilen literatürde ısı transferindeki ve sürtünme faktöründeki artışı değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan ampirik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sayısal model sonuçlarının Dittus-Boelter eşitliği ve Blasius eşitliği ile karşılaştırılması Şekil 4’de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi sürtünme faktörü değerlerinin Blasius eşitliği (MAPE = 0,075) ve Nusselt sayılarının Dittus-Boelter eşitliği (MAPE = 0,074) sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.** Sayısal model sonuçlarının Dittus-Boelter eşitliği (a) ve Blasius eşitliği (b) ile karşılaştırılması (Comparison of numerical model results with Dittus-Boelter equation (a) and Blasius equation (b))

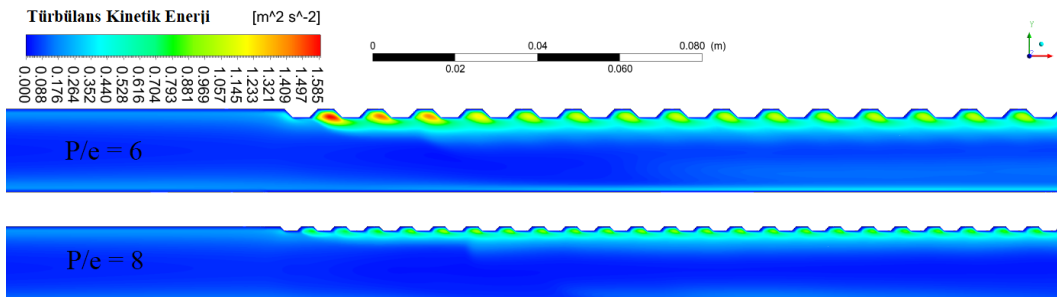
Sayısal modelleme sonucunda düz yüzey ile trapez kesit yüzeyler için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi Şekil 5’de verilmiştir. Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısı artmaktadır.



**Şekil 5.** Reynolds sayısına göre Nusselt sayısı değişimi (Variation of Nusselt Number with Reynolds Number)

Bunun nedeni, Reynolds sayısındaki artışın akışta daha fazla türbülans ve karışıma yol açması ve bunun da ısı iletimini arttırmasıdır. Tüm Reynolds sayıları için  $P/e=6$  pürüzlülük oranına sahip trapez kesit ısıtıcıda;  $P/e=8$ ’ e göre daha yüksek Nusselt sayısı kaydedilmiştir. Ancak en yüksek Nusselt sayısı 86,97 değeri ile  $Re=13000$  ve  $P/e=8$  olan modelden elde edilmiştir. Reynolds sayısının yükselmesiyle iki tasarım arasındaki fark azalmakla birlikte düz yüzey hava ısıtıcısına göre 1,3 ile 2,3 kat Nusselt sayısında artış görülmüştür.

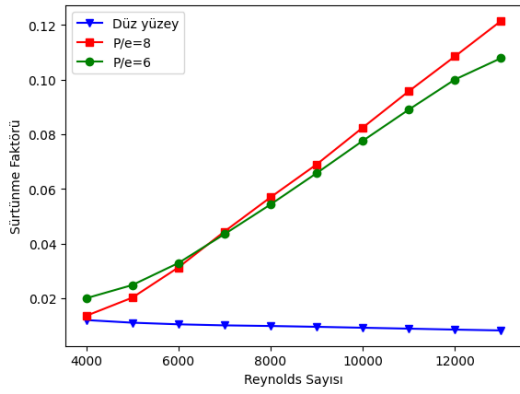
Her iki sayısal model için türbülans kinetik enerjisinin kontur grafiği Şekil 6’da verilmiştir. Kontur grafikleri 4000-13000 aralığı için orta değer olan  $Re=8000$  için verilmiştir. Kontur grafiğinde türbülans kinetik enerjisinin birinci ve ikinci trapez pürüzlülük arasındaki bölgede maksimum değere sahip olduğu görülmektedir. Trapez pürüzlülüklerin kullanımı sınır tabakasının gelişimini bozarak türbülanslı akışın hem kinetik enerjisini hem de yoğunluğunu arttırmaktadır.



**Şekil 6.**  $Re=8000$  değeri için türbülans kinetik enerji dağılımı (Turbulent kinetic energy distribution for  $Re=8000$ )

Reynolds sayısına bağlı olarak sürtünme faktöründeki değişimler Şekil 7’de gösterilmektedir. Her iki yapay pürüzlü yüzeylerde de beklendiği gibi sürtünme faktörü düz yüzeye göre yüksek

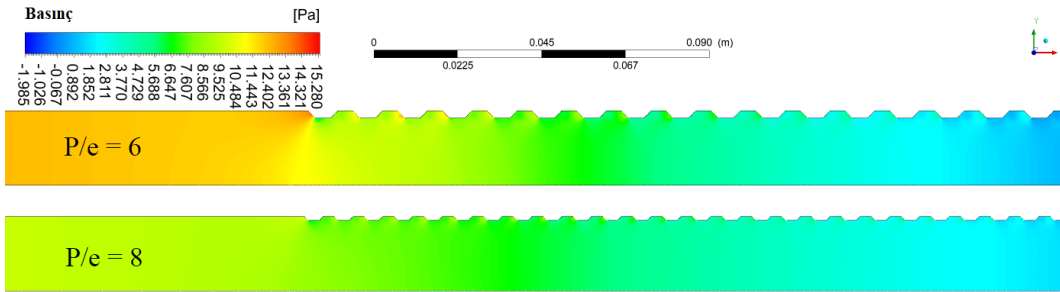
çıkmaktadır. Bu sürtünme olgusu Şekil 8’da verilen basınç kontur dağılımında da görülmektedir. Sürtünmenin artması ek pompalama maliyetine yol açmaktadır.



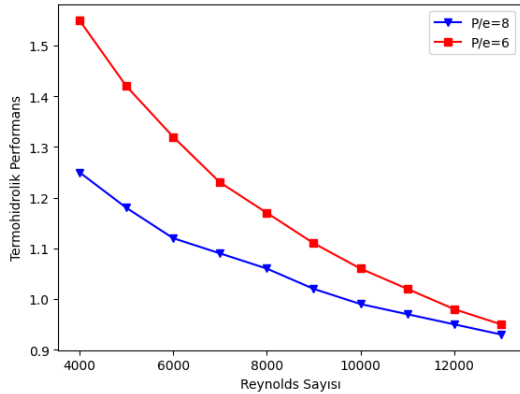
**Şekil 7.** Reynolds sayısına göre sürtünme faktörü değişimi (Variation of Friction factor with Reynolds Number)

Güneş destekli hava ısıtıcılarda ısı transferini artırmak için uygulanan yapay pürüzlülükler Nusselt sayısı artmakla birlikte sürtünme kayıplarına neden olmaktadır. Her iki durumun göz önüne alınarak hesaplanan termohidrolik performans parametrelerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir.

Termohidrolik performans parametresinin birden büyük olması, yapay pürüzlülük kullanımının etkinliğini göstermektedir. Ayrıca, çeşitli pürüzlülük parametrelerinin performanslarının karşılaştırılarak en uygun olanın seçilmesine katkı sağlamaktadır [24]. Termohidrolik performans parametresinin Reynolds sayısına göre değişimi Şekil 9’da verilmiştir.



**Şekil 8.** Re=8000 değeri için basınç dağılımı (Pressure distribution for Re=8000)



**Şekil 9.** Reynolds sayısına göre termohidrolik performans parametresi değişimi (Variation of thermohydraulic performance parameter with Reynolds Number)

Maksimum termohidrolik performans parametresi 1,55 değeri ile Re=4000 ve P/e=6 olan sayısal modellemelerde elde edilmiştir. Ayrıca güneş destekli hava ısıtıcılar üzerine yapılan bazı çalışmalarla elde edilen değerler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Güneş destekli hava ısıtıcılar üzerine yapılan bazı çalışmalar (Some studies on solar air heaters)

Geometri	P/e	THPP	Referans
Yarım daire	14,29	1,71	[12]
Kare	10,71	1,88	[25]
Kare	10	1,43	[8]
Yarım daire	14,29	1,77	[6]
Kare	16	1,20	[20]
<b>Trapez</b>	<b>6</b>	<b>1,55</b>	<b>Bu çalışma</b>

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, trapez kesit yapay pürüzlü güneş enerjili hava ısıtıcının iki farklı pürüzlülük oranında (P/e=6 ve P/e=8) sayısal modellemesi yapılmıştır. Sayısal analizler 4000-13000 Reynolds sayısı aralığında 10 farklı değer ile gerçekleştirilmiştir.

Yutucu plaka üzerine trapez kesit uygulanmasıyla ısı transferinde artış gözlemlenmiştir. Nusselt sayısında maksimum artış,  $P/e=8$  pürüzlülük oranında ve 13000 Reynolds sayısında 2,3 kat olarak elde edilmiştir. En düşük artış ise 1,3 değeri ile  $P/e=8$  ve 4000 Reynolds sayısında görülmüştür. Isı transferini artırmak için kullanılan yapay pürüzlülükler, sürtünme kaybına neden olmaktadır. Bunun da bir sonucu olarak pompalama için daha fazla maliyet gerektirmektedir.

Sürtünme faktörünü de dikkate alınarak belirlenen termohidrolik performans parametresi yapay pürüzlü güneş destekli ısıtıcının etkinliğini ifade etmektedir.  $Re=4000$  ve  $P/e=6$  pürüzlülük oranında yapılan sayısal modellemede maksimum termohidrolik performans parametresi 1,55 değeri elde edilmiştir. Isı transferini artıran bu tür uygulamalarda pompalama maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Bu çalışmanın gelecekte yapılması planlanan çalışmalara referans olması; güneş enerjili hava ısıtıcılarının verimliliğini ve uygulanabilirliğini daha da arttırarak, yenilenebilir enerji teknolojilerinin daha geniş çapta benimsenmesine katkı sağlayacaktır.

#### 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)

**Abdülkadir KOÇER** : Sayısal tasarım modelleme ve makalenin yazımı.

Computing design modeling and writing of the article.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

A Kanal kesit Nu Nusselt

$\Delta P$	Basınç farkı	MAPE	Ortalama
$\mu$	Vizkozite	$P_w$	Kanal
$D_h$	Hidrolik çap	Re	Reynolds
f	Sürtünme	v	Akışkan hızı
H	Kanal	W	Kanal
h	Konveksiyon	r	Pürüzlü
k	Isıl iletkenlik	s	Düz yüzey

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Shetty SP, Madhwesh N, Vasudeva Karanth K. Numerical analysis of a solar air heater with circular perforated absorber plate. *Sol Energy* 2021;215:416–33. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.053>.
- [2] Acir A, Emin Canlı M, Ata İ, Erdi Tanürün H. Effects of a circular-shaped turbulator having varying hole numbers on energy and exergy efficiencies of a solar air heater. *Int J Ambient Energy* 2019;40:739–48. <https://doi.org/10.1080/01430750.2017.1423385>.
- [3] Prajapati S, Naik N, V.P. C. Numerical solution of solar air heater with triangular corrugations for indirect solar dryer: Influence of pitch and an optimized pitch of corrugation for enhanced performance. *Sol Energy* 2022;243:1–12. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2022.07.044>.
- [4] Acir A, Canlı ME, Ata I, Uzun S, Tanürün HE. Experimental Investigation of Thermal Energy Storage Efficiency Using Fin Application With Phase Change Material (PcM) Under Solar Radiation. *Heat Transf Res* 2021;52:21–39. <https://doi.org/10.1615/HEATTRANSRES.2021036643>.
- [5] Singh Gill R, Singh Hans V, Pal Singh R. Optimization of artificial roughness parameters in a solar air heater duct roughened with hybrid ribs. *Appl Therm Eng* 2021;116871. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116871>.
- [6] Kocer A. Numerical investigation of heat transfer and thermo-hydraulic performance of solar air heater with different ribs and their machine learning-



- based prediction. *J Brazilian Soc Mech Sci Eng* 2024;46:1–16. <https://doi.org/10.1007/S40430-023-04663-3>.
- [7] Varun Kumar B, Manikandan G, Rajesh Kanna P. Enhancement of heat transfer in SAH with polygonal and trapezoidal shape of the rib using CFD. *Energy* 2021;234:121154. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121154>.
- [8] Singh I, Singh S. CFD analysis of solar air heater duct having square wave profiled transverse ribs as roughness elements. *Sol Energy* 2018;162:442–53. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.019>.
- [9] Srivastava A, Kumar Chhapparwal G, Kumar Sharma R. Numerical and Experimental Investigation of Different Rib Roughness in a Solar Air Heater. *Therm Sci Eng Prog* 2020:100576. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100576>.
- [10] Saini SK, Saini RP. Development of correlations for Nusselt number and friction factor for solar air heater with roughened duct having arc-shaped wire as artificial roughness. *Sol Energy* 2008;82:1118–30. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2008.05.010>.
- [11] Haldar A, Varshney L, Verma P. Effect of roughness parameters on performance of solar air heater having artificial wavy roughness using CFD. *Renew Energy* 2022;184:266–79. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2021.11.088>.
- [12] Yadav AS, Bhagoria JL. A Numerical Investigation of Turbulent Flows through an Artificially Roughened Solar Air Heater. *Numer Heat Transf Part A Appl* 2014;65:679–98. <https://doi.org/10.1080/10407782.2013.846187>.
- [13] Hans VS, Saini RP, Saini JS. Performance of artificially roughened solar air heaters- A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:1854–69. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.030>.
- [14] Sharma S, Singh R, Bhushan B. CFD based thermal efficiency of square shape protruded roughened absorber plate for solar air heater. *Energy Sources, Part A Recover Util Environ Eff* 2021:1–22. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1908460>.
- [15] Yildirim C. V-Kanatçık Kullanımının Havalı Güneş Kollektörlerinde Termal ve Termohidrolik Verime Etkisinin Parametrik Analizi. *Çukurova Univ J Fac Eng Archit* 2019;34:23–32.
- [16] Mahanand Y, Senapati JR. Thermo-hydraulic performance analysis of a solar air heater (SAH) with quarter-circular ribs on the absorber plate: A comparative study. *Int J Therm Sci* 2021;161:106747. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106747>.
- [17] Kumar A, Khan S. CFD Simulation of a Curved Solar Air Heater with Various Shaped Down Turbulators. *Int J Res Publ Rev J Homepage WwwljrprCom* 2022;3:3033–43.
- [18] Standard A. ASHRAE 93 (2003) Method of testing to determine the thermal performance of solar collectors. American Society of Heating, Refriger Air Cond Eng Atlanta, GA n.d.;30329.
- [19] Yadav AS, Bhagoria JL. 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* 2014;70:1016–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.11.074>.
- [20] Koçer A. Kare Kesit Yapay Pürüzlü Güneş Destekli Hava Isıtıcı Tasarımının Sayısal Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilim Derg Part C Tasarım ve Teknol* 2022;10:504–18. <https://doi.org/10.29109/GUJSC.1089224>.
- [21] Webb R, Eckert E. Application of rough surfaces to heat exchanger design. *Int J Heat Mass Transf* 1972;15:1647–58.
- [22] Bekele A, Mishra M, Dutta S. Heat transfer augmentation in solar air heater using delta-shaped obstacles mounted on the absorber plate. *Int J Sustain Energy* 2013;32:53–69. <https://doi.org/10.1080/14786451.2011.598637>.
- [23] Korkmaz C, Kacar İ. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonları İçin Optimum Ağ Elemanı Yapısının Belirlenmesi. *Tarımsal Mek. ve Enerj. Üzerine Güncel Araştırmalar, Akademisyen Kitabevi A.Ş;* 2021, p. 109–25.
- [24] Patel YM, Jain S V., Lakhera VJ. Thermo-

- hydraulic performance analysis of a solar air heater roughened with reverse NACA profile ribs. *Appl Therm Eng* 2020;170:114940.  
<https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2020.114940>.
- [25] Yadav AS, Bhagoria JL. A numerical investigation of square sectioned transverse rib roughened solar air heater. *Int J Therm Sci* 2014;79:111–31.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.01.008>.