



# Trapez Yutucu Plakalı Bir Havalı Güneş Kolektörünün Deneysel Tasarımı ve Sayısal Analizi

Erdem Alıç<sup>1\*</sup>, Mehmet Daş<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Andırın Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2852-0353)

<sup>2</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye (0000-0002-4143-9226)

E-mail: ealic@ksu.edu.tr, mehmet.das@gop.edu.tr

(International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) 2020 – 22-24 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.819006)

**ATIF/REFERENCE:** Alıç, E. & Daş, M. (2020). Trapez Yutucu Plakalı Bir Havalı Güneş Kolektörünün Deneysel Tasarımı ve Sayısal Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 78-88.

## Öz

Yenilenebilir enerji, özellikle güneş enerjisi eski çağlardan bu yana gıda ve ürün kurutmada önemli rol oynamaktadır. Güneş enerjisi ile kurutmada da her geçen gün verim artırıcı yeni çözümler üretilmektedir. Bunlardan biri de havalı güneş kolektörleri (HGK) için en iyi çalışma şartların geliştirilmesidir. Bu makalede, özellikle gıda ürünü kurutması için geliştirilen hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) analizi sunulmaktadır. HAD analizi ANSYS FLUENT R18.1 ile yapılmıştır. Bu analizde ANSYS FLUENT R18.1'in radyasyon hesaplama arayüzü iletişim kutusu kullanılmıştır. Bu arayüzün özelliği, bir güneş ışını izleme algoritması kullanmasıdır. Bu algoritma ile HGK üzerine düşen ve topladığı ışınımı değeri hesaplanmıştır. HAD analizi Elâzığ iklim koşullarında gerçekleştirilen bir HGK için yapılmıştır. HGK'nın modeli 800 \* 1400 \* 150 mm düz bir plaka olmasına rağmen, güneş emici plaka kısmı trapezdir. Trapez sac güneş emiciliği yüksek (0,95) malzemelerden seçilmiştir ve trapez sacın alt kısmı iyice yalıtılmıştır. HGK'da 800\*1400\*4 mm ölçülerinde şeffaf düz cam kullanılmıştır. Kolektör tek geçişli, zorlanmış taşınım ve azimut açısına (42° Güney-Doğu) göre sabitlenmiştir. Analizlerde iş akışkanı olarak hava kullanılmıştır. HGK değişen hava debilerinde günün belirli saatlerinde (9.00-10.00-11.00 ...-16.00) test edilmiş ve modellenmiştir. Sayısal modelin çözüm ağ yapısı istatistikleri verilmiştir. Analiz zamandan bağımsızdır. Sadece belirli bir saat için analiz gerçekleştirilmiştir. Her saat dilimi için ayrı analiz yapılmıştır. Deney sonuçları sayısal analizlerle karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda sabit HGK için günün bazı saatlerinde Elâzığ iklim şartlarının güneşlenme faktörleri belirlenmiştir. HGK içerisinde gerçekleşen hava akış hareketleri ve kolektör üzerindeki sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Sonuç olarak sayısal analiz ile güneş kolektörünün 3 boyutlu (3B) modellenmesi gerçekleştirilmiş ve HGK çıkış sıcaklığı için % 1'den az hata ile çözümlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Havalı güneş kolektörü, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Çıkış sıcaklığı, Yenilenebilir enerji

## Experimental Design and Numerical Analysis of a Trapezoidal Absorber Plate Air Solar Collector

### Abstract

Renewable energy, especially solar energy is an important role in drying any product ever since ancient times. With each passing day, new efficiency-increasing solutions are produced in solar drying. One of them is the development of the most suitable operating conditions for air solar collectors (SAC). This paper attempts to present a computational fluid dynamics (CFD) simulation of solar collectors developed especially, for food product drying. The CFD analysis study was conducted for a solar air collector (SAC) performed under ELAZIG weather conditions. The radiation dialog box interface of ANSYS FLUENT R18.1 was used for this study. The feature of this interface is that it uses a solar ray-tracing algorithm. With this algorithm, the value of radiation falling on HGK and collected by HGK was calculated. Although the solar collector model is a flat plate, its solar absorbing part is trapezoidal. Its plate dimension 800 \* 1400 \* 4 mm. Its transparent glass plate dimension 800\*1400\*150 mm. The trapezoidal sheet was chosen from materials with high solar absorption (0.95) and its bottom surface was insulated. The collector used air as its working fluid. The collector is single pass, forced convection and fixed according to the azimuth angle (42 ° South-East). The mesh statistics of the numerical model was given. The analysis was steady state. The analysis was performed for a specific time only. A separate analysis was made for each time

\* Sorumlu Yazar: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Andırın Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2852-0353, [ealic@ksu.edu.tr](mailto:ealic@ksu.edu.tr)

zone. Collector was experimental tested and modeled at varying mass flows and at different hours (9:00-10:00-11:00...-16:00) on the day. The airflow movements in the collector and the temperature distribution on the collector were shown. In numerical analysis, the 3D model of the solar collector was drawn and modeled with less than 1% error for outlet temperature.

**Keywords:** Air solar collector, Computational Fluid Dynamics, Outlet temperature, Renewable energy

## 1. Giriş

Sosyo-ekonomik gelişmelerle birlikte enerji ihtiyacı her geçen gün artış göstermektedir(Kaya & Koç, 2015). Fosil enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin birçok dezavantaj içermesinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu konuda yapılmış çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı artışı dikkat çekmektedir(Kaya et al., 2018). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinde diğer tüm yenilenebilir enerji kaynağının temelini oluşturması bakımından önemlidir. Güneşten direkt veya indirekt olarak yararlanılabilir. Güneş enerjisinin bazı uygulamaları olarak sera ısıtması, sıcak su ısıtması, kapalı hacimlerin ısıtılması, buhar üretilmesi ve elektrik üretilmesi sayılabilir(Altuntop, N., Erdemir, 2013). Son 20 yıldan beri, yenilenebilir enerji kaynakları, dünyanın toplam birincil enerji arzına daha yüksek büyüme oranı ile katkıda bulunmuştur. Gelecek on yıl içerisinde güneş, dünyanın en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji biçimi olacak ve net güneş enerjisi üretimi yılda ortalama % 8,3 artacaktır (Singer & Peterson, 2011).

Güneş enerjisi ile çalışan makinelerde yapılacak geliştirmeler enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli rol alabilir. Sayısal analiz yaparak güneş enerjisi ile çalışan sistemler modellenilebilir ve geliştirilebilir. Sayısal analiz bu geliştirmeler için gerekli süreyi ve deneme sayısını en aza indirebilir. Bu durumda teknolojik gelişmeleri hızlandırabilir.

Gıda kurutmada birçok yöntem (konvektif kurutmaya, kızıl ötesi kurutma, mikrodalga kurutma ve vakum kurutma) kullanılmaktadır(Motevali et al., 2011). Bunlardan biride güneş enerjisi ile konvektif kurutmadır. Güneş enerjisi ile kurutmada verimi artırmak ve hesapsal zekâ yöntemlerinde ilerleme sağlamak için birçok konuda çalışma yapılmıştır.(ALİÇ & DAŞ, 2019; Das & Akpınar, 2018; Daş & Akpınar, 2020; Khaled et al., 2020) Güneş enerjisi ile kurutmada direkt olarak yapılabileceği gibi indirekt olarak yapılabilir. İndirekt uygulama kurutma havasının, harici bir odada (kolektör) güneş enerjisi ile sıcaklığının artırılması ve kurutulacak ürünün üzerine gönderilmesi ile çalışır(Daş, 2019). Bu metot ile çalışan üniteye havalı güneş kolektörü (HGK) denmektedir. HGK içeren kurutma sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Abuşka ve Akgül çalışmalarında trapez yutucu plakalı havalı güneş kolektörünün ısı veriminin deneysel olarak incelemişlerdir. Trapez yutucu plakalı kolektörün ortalama ısı veriminin düz yutucu plakalı kolektörün ısı veriminden % 23'den daha fazla olabileceğini ifade etmişlerdir(Abuşka, Mesut; Akgül, 2014).

Karantlı ve ark. çalışmalarında FLUENT-6.3 ile HGK modeli çözmüşlerdir. HGK modellerinde emici plakada çeşitli kanal modeli çalışmışlardır. Farklı hava debilerinde çalışmışlardır. HGK yüzeyine sabit ısı akısı (910 W/m<sup>2</sup>) tanımlamışlardır. Çalışmalarında HGK'da ısı transferini incelemişlerdir. Sonuç olarak kanal modellerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajlarından bahsetmişlerdir. (Vasudeva Karantlı et al., 2013).

Gupta ve Varshney çalışmalarında ANSYS FLUENT-14 ile HGK modeli çözmüşlerdir. HGK modellerinde düz plaka ve plaka içerisine açılmış kanal açılmış iki model yer almaktadır. Analizlerinde Reynold (Re) 3800-18000 arasında çalışmışlardır. HGK yüzeyine sabit ısı akısı tanımlamışlardır. Çalışmalarında sürtünme katsayısı ve ısı transferini incelemişlerdir. Maksimum ısı transferi iyileştirmeyi Re 12000 için kanallı HGK'da elde etmişlerdir(Gupta & Varshney, 2017).

Singh ve Singh çalışmalarında eğri geometriye sahip bir HGK'nın HAD analizini gerçekleştirmişlerdir. Güneş enerjisi yutucu plakası düz, dairesel kesitli ve üçgensel kesitli modeller çalışmışlardır. Analizlerinde üç farklı kütleli debi 0.0172, 0.029 and 0.0472 kg/sm<sup>2</sup>, kullanmışlardır. Sınır şartı olarak HGK yüzeyine uniform sabit ısı akısı (800-1100 kW/m<sup>2</sup> arası) tanımlamışlardır. Çalışmalarında sürtünme katsayısı ve ısı transferini incelemişlerdir. Kavisli plakalı V-oluklu tek geçişli HGK maksimum ısı verim % 91,93 ve kavisli plakalı düz tek geçişli HGK'ya göre hava çıkış sıcaklığında % 32,05 artış hesaplamışlardır(Singh & Singh, 2018).

Raj ve vd. çalışmalarında güneş enerjisi ile ısıtma uygulamaları için kullanılan makro kapsüllü gizli ısı depolama sisteminin HAD modellemesini yapmışlardır. Analizlerinden ANSYS FLUENT kullanmışlardır. Modellerinde HGK içerisine malzemesi farklı silindirik bir ısı deposu yerleştirmişlerdir. Radyasyon modellerini analizin bir parçası olarak incelememişlerdir. Sınır şartı olarak sabit ısı akısı uygulamışlardır. Isı deposunun ve kolektörün sıcaklık dağılımını göstermişlerdir(Raj et al., 2019).

Sancar ve vd. sayısal çalışmalarında hibrit bir güneş kolektörü modeli oluşturmuşlardır. Bu kolektör bir çeşit jet çarpma plakalı HGK ve PV/T paneller yer almaktadır. Sayısal analizlerinde sadece tasarladıkları HGK'nın hava akış ve sıcaklık kontürlerini vermişlerdir. Yaptıkları sayısal analizlerde modellerinin geleneksel modellere göre daha verimli olacağını ifade etmişlerdir. İleriki çalışmalarında sistemi bütünlük olarak hesap edeceklerinden bahsetmişlerdir(Sancar, İbrahim; Bulut, Hüsamettin; Karadağ & Hilali, 2019).

Mutabilwa ve Nwaigwe deneysel ve sayısal çalışmalarında muzun kurutulması için tasarlanan çift geçişli bir HGK ve kurutma kabini tasarlayıp modellemişlerdir. Çalışmalarında ANSYS FLUENT-18.2 kullanmışlardır. Analizlerinde Re 3500-27000 arasında çalışmışlardır ve radyasyon hesaplama arayüzünde yer alan ayrık transfer radyasyon modelini kullanmışlardır (DTRM). Türbülans modeli olarak RNG k-ε' yi kullanmışlardır. Analizlerinde kolektöre hava giriş sıcaklığı sabittir. Sonuç olarak farklı şartlarda elde ettikleri çıkış sıcaklıklarını % 2-10 arasında değişen hata ile modellemişlerdir(Mutabilwa & Nwaigwe, 2020).

Yukarıda yer alan çalışmaların tamamı HGK'yı 3B olarak incelemiştir. Literatürde HGK modellemek için yapılmış 2B çalışmalarda yer almaktadır(Yadav & Bhagoria, 2013, 2014).

Bu çalışmada güneş emici plakası trapez olan HGK 3B olarak incelenmiştir. Deneysel veriler için her analiz zamandan bağımsız olarak çözülmüştür. Literatürde HGK'nın güneş enerjisi kazancı genellikle sabit ısı akısı ile tanımlanmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak ANSYS FLUENT-18.1'in güneş radyasyon hesaplama arayüzü kullanılmıştır. Bu algoritma içerisinde yer alan Rosseland çözücüsü seçilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu yönü ile literatürden ayrılmaktadır. Bununla birlikte çalışmanın Elazığ-Türkiye iklim koşullarında gerçekleştirilmesi değerini artırmaktadır. Sonraki çalışmalar için referans özelliği taşıyabilecek Elazığ iklim koşullarında sabit kolektör için güneşlenme faktörleri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu deneysel ve sayısal çalışmada, tabanı trapez güneş emici sac olan bir HGK için Elazığ ili iklim şartlarında deneysel ve sayısal araştırma gerçekleştirilmiştir. HAD modeli için SOLID WORKS 2018'de 3B model oluşturulmuştur. HAD analizi için ANSYS FLUENT 18.1 kullanılmıştır. Elazığ iklim şartlarında ağustos ayı verileri için bu programda yer alan güneş radyasyon hesabı algoritması arayüzü kullanılmıştır. Deneysel kurulum, sayısal çözüm geometrisi, çözüm ağ modeli, analiz denklemleri, sınır koşulları ve türbülans modeli aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

### 2.1 Deneysel Kurulum

Çalışmanın bu kısmında içerisine trapez güneş emici sac yerleştirilen HGK'nın deneysel kurulumu ve teknik özelliklerine yer verilmiştir. HGK'nın ölçüleri 800 \* 1400 \* 150 mm olan bir dikdörtgenler prizması gibi olmasına rağmen güneş emici plaka kısmı trapezdir. Trapez sac güneş emiciliği yüksek (0,95) malzemelerden seçilmiştir ve trapez sacın alt kısmı ve yan duvarları iyice taş yünü ile iyice yalıtılmıştır. HGK'da 800\*1400\*4 mm ölçülerinde şeffaf düz cam kullanılmıştır. Kolektör emici kısmı alüminyum trapez sac'tan yapılmıştır ve koyu mat renge boyanmıştır.



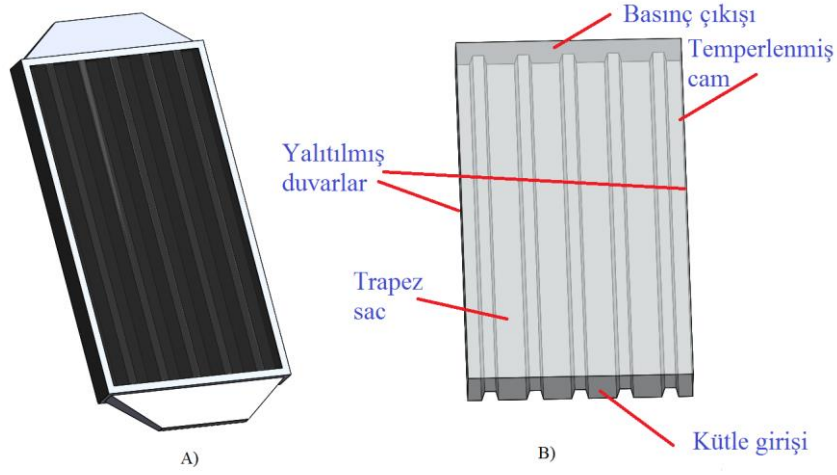
Şekil 1. Deneysel kurulum

Havanın kütle akış oranını ölçmek için boruya bir orifis ölçer takılmıştır. HGK'ya ortam havasını üfleme için için 3 HP – 220 Volt Blower tipi fan kullanılmıştır. Güneş radyasyonunun yoğunluğu dijital piranometre ile ölçülmüştür. Plakanın çeşitli bölümlerindeki sıcaklığı ölçmek için termokupllar ve hava sıcaklığı için dijital termometreler kullanılmıştır. Deneyler Ağustos 2020'de enlem ve boylam sırasıyla 38:41° K ve 39:14° D olan Elazığ ilinde açık havada gerçekleştirilmiştir. Veriler 9.00-16.0 saatleri arasında toplandı.  $X_n$  ile gösterilen deney ölçümünü etkileyen her bir faktördeki belirsizlikler yardımıyla, belirsizlik hesaplaması aşağıdaki denklem kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Holman, 2001).

$$B = [(x_1)^2 + (x_2)^2 \dots (x_n)^2]^{0.5} \quad (1)$$

Hava hızı ölçümlerinden kaynaklı kütle akış hızında oluşan belirsizlik değeri ve sıcaklık ölçümlerinden kaynaklı faydalı ısı kazancı hesaplamalarında oluşan belirsizlik değeri sırasıyla  $\pm 0,14$  ve  $\pm 0,583$  dir.

## 2.2. Sayısal Çözüm Geometrisi ve Çözüm Ağ Modeli



Şekil 2. A) HGK 3B modeli B) HGK sınır şartları

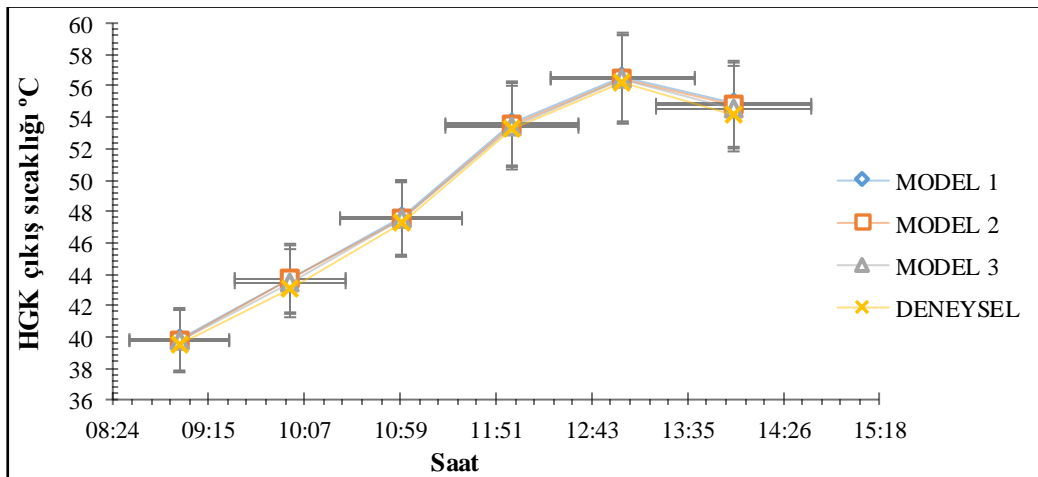
Bu çalışmada kullanılan havalı kolektörün 3B modeli Şekil 2'de yer almaktadır. Sayısal analiz çözüm alanı (domain) iki yan duvar, temperlenmiş cam, giriş ve çıkış olarak etiketlenmiştir. Sayısal çözüm için ağ modeli çoklu-bölge (multizone) ile oluşturulmuştur. Ağ hassasiyeti çalışmada kullanılan üç hücre boyutu 14 mm, 10 mm ve 6 mm'dir. Hücrelerin boyutu, çözüm alanı (domain) boyunca tekdüze değildir. Çözüm ağı (Mesh), duvara yakın modellemeyi geliştirmek için duvarın yakınında daha da geliştirilmiştir. Çözüm ağı yapısı ile ilgili boyutlar hakkında detaylı bilgi Tablo 1'de sunulmaktadır.

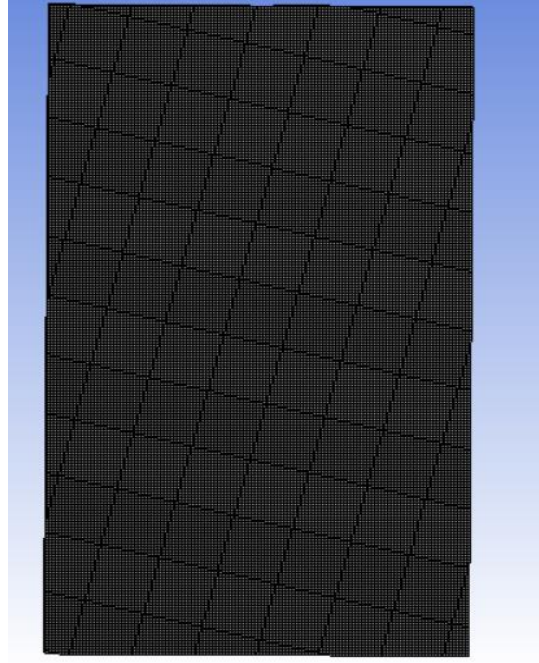
Tablo 1. Çözüm ağı yapısı istatistiği

Modeli	Eleman sayısı	Maks. Ağ boyutu [mm]	Min. Ağ boyutu [mm]	Büyütme oranı	Maks. Çarpıklık	Sınır katman sayısı
1	188900	14	0.1	1.2	0.46	8
2	374080	10	0.1	1.2	0.46	8
3	1340820	6	0.1	1.2	0.46	8

Tablo 1' de yer alan üç farklı ağ konfigürasyonu HAD analizi ile dört farklı saat dilimi için analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'ye göre elde edilen her üç ağ modeli sonuçlar benzer eğim göstermektedir. Deneysel sonuçlar ile en iyi örtüşen ağ modeli, Model 3 olarak belirlenmiştir. Bu modele ait ağ yapısı Şekil 4'te verilmektedir. Şekil 4'te ağ yapısının temperlenmiş cam bölgesine düşen kesiti yer almaktadır.





Şekil 4. HGK çözüm ağ modeli

### 2.3. Matematik Model ve Türbülans Çözücü

HGK ısı transferi ve hava akışı, sıvı akışı ve enerji denklemleriyle ifade edilir. Bu denklemler aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Bu analiz, zorlanmış konveksiyon içerir. Akış hacmi, sonlu hacimler metodu kullanarak hava akışı hareketini ve ısı transfer özelliklerini incelemek için çok küçük elemanlara ayrılmıştır. Türbülans çözücü olarak realize k-ε modeli seçilmiştir. Hız ve basınç ifadelerini çözmek için SIMPLE (basınca bağlı denklemler için yarı kapalı yöntem) metod seçilmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan süreklilik, Navier Stokes ve enerji denklemleri aşağıda sırası ile verilmiştir(Guide, 2011)

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2)$$

Navier Stokes denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + (\vec{v} \cdot \nabla) \rho \vec{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \frac{\mu}{3} \nabla(\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \vec{g} + S \quad (3)$$

Enerji denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\rho E + p) \vec{v} = \nabla \cdot k_{eff} \nabla T + S_h \quad (4)$$

S momentum kaynağı terimidir. Enerji denklemi için önemli bir parametre olan Sh, radyasyon kaynağı terimleri olarak tanımlanmaktadır.

Radyasyon hesaplama arayüzünde hesaplama aracı olarak seçilen Rosseland'ın ifadeleri aşağıda yer almaktadır(Guide, 2011) .

$$q_r = -\Gamma \nabla G \quad (5)$$

Γ Hesaplama için Eş. 6 kullanılmaktadır.

$$\Gamma = \frac{1}{(3(a+\sigma_s) - c\sigma_s)} \quad (6)$$

G hesaplamak için Eş. 7 kullanılmaktadır.

$$G = 4\sigma n^2 T^4 \quad (7)$$

$$q_r = -16\sigma\Gamma n^2 T^3 \nabla T \quad (8)$$

Işınım ısı akısı, Fourier iletim yasası ile aynı forma sahip olduğundan, aşağıdaki gibi yazmak mümkündür (Guide, 2011).

$$q = q_r + q_c \quad (9)$$

$$q = -(k + k_r) \nabla T \quad (10)$$

$$k_r = 16\sigma\Gamma n^2 T^3 \quad (11)$$

Burada “ $k_r$ ” ışınım ve “ $k$ ” ise ısı iletkenliği ifade etmektedir. Burada Eş. 9 toplam ısı akısını ifade etmektedir.

Türbülans çözücü Realize k- $\epsilon$  denklemleri aşağıda verilmiştir (Guide, 2011)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \quad (13)$$

$$C_1 = \max \left[ 0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \rightarrow \eta = S \frac{k}{\epsilon}, \rightarrow S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (14)$$

$$(C_{1\epsilon} = 1.44), (C_2 = 1.9), (S_k = 1.0), (S_\epsilon = 1.2)$$

Patankar ve Spalding (1972) tarafından geliştirilen basınca bağlı denklemler SIMPLE sayısal algoritması kullanılmıştır. Kütle, momentum ve enerji denklemleri, ilgili değişkenler (hız, sıcaklık, basınç ve duvar ısı akışı) için yakınsamaya ulaşılan kadar sayısal yöntemler kullanılarak karşılık gelen sınır koşulları için yinelemeli olarak çözüldü (Patankar & Spalding, 1972).

## 2.4. Başlangıç ve Sınır Şartları

Sayısal analiz gerçekleştirirken, çözülen modelin hangi sayısal aralıklarda çözüleceğini ifade eden terime kabaca sınır şartı denmektedir. Bu aralıklar başlangıç ve sınır şartı olarak ifade edilmektedir. Deneysel şartları çözüme kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan başlangıç ve sınır şartları aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bu analizde bir kütle girişi ve çıkışı tanımlanmıştır. Modeller yan duvarlar ile tamamen kapalıdır.

- Hava akışı 3B dir.
- Giriş sıcaklığı  $T_g$ =sabit
- HGK’ girişinde hava dağılımı her yerde aynıdır.
- Temperlenmiş cama ışınım sınır şartı (radiation calculation => Rosseland modülü) tanımlanmıştır.
- Yan duvarlar tamamen izole edilmiştir.
- Türbülans viskozite oranı 10 olarak alınmıştır.
- Türbülans yok oluşu %5 olarak alınmıştır.
- Çıkışta gösterge basıncı sıfır ( $P=0$  Pa) olarak alınmıştır.
- Kanal içindeki akışım sıkıştırılmaz ve ses altı olduğu varsayılır. Bu nedenle, havanın yoğunluğu ideal bir gaz olarak değerlendirilmiştir.
- Analiz belirli saat dilimleri için kararlı (steady-state) olarak gerçekleştirilmiştir.

Yakınsama kriterleri enerji denklemi için  $10^{-6}$  ve hız, süreklilik, türbülans yayılımı ve türbülans kinetik enerji denklemlerinin her biri için  $10^{-3}$  olarak seçilmiştir. Literatürde birçok çalışmada da yakınsama kriteri aynı alınmıştır (Menasria et al., 2017; Potgieter et al., 2020).

## 2.5. Sürtünme Faktörü Hesabı

Sayısal analiz gerçekleştirildikten sonra, HGK’nın giriş çıkış basınç farklarından sürtünme faktörü hesabı gerçekleştirilebilir. Basınç düşüşü ( $\Delta P$ ) bilinen bir kolektörün Darcy sürtünme faktörü hesabı literatürde aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Asaadi & Abdi, 2020; Sawhney et al., 2017). Eş. 15’te bu ifade yer almaktadır.

$$f = \frac{2\Delta PD}{4\rho LV^2} \quad (15)$$

Eş.16' da modifiye Blasius 'un Reynold'a bağlı sürtünme faktörü ifadesi yer almaktadır(Promvonge & Thianpong, 2008).

$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad (16)$$

Eş.17' de Gupta vd' nin Reynold'a bağlı sürtünme faktörü ifadesi yer almaktadır(Yadav & Bhagoria, 2013).

$$f = 0.0791 Re^{-0.25} \quad (17)$$

Eş. 18'de Petukhov'un Reynold'a bağlı sürtünme faktörü ifadesi yer almaktadır(Kumar et al., 2018).

$$f = (0.79 \ln(Re) - 1,64)^{-2} \quad (18)$$

## 2.6. Termal Verim Hesabı

HGK'da faydalı enerji iş akışkanının giriş ( $T_o$ )ve çıkış ( $T_c$ )sıcaklığına bağlı olarak Eş. 19'daki gibi ifade edilmektedir.

$$Q_f = \dot{m}c_p(T_o - T_c) \quad (19)$$

Burada  $\dot{m}$  HGK'da geçen iş akışkanının kütleli debisi (kg/s),  $C_p$  havanın özgül ısıdır (J/kgK),  $T_o$  ve  $T_c$  sırasıyla HGK'ya giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır ( $^{\circ}C$ ). HGK' dan geçen iş akışkanının kütleli debisi ise Eş. 20'deki gibi hesaplanır.

$$\dot{m} = \rho VA_c \quad (20)$$

Burada  $\rho$  havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ ),  $V$  hava akış hızı (m/s),  $A_c$  ise HGK'nın çıkış kesit alanı ( $m^2$ )'dir. Termodinamiğin I. kanunundan yola çıkarak HGK'nın termal verimi Eş. 20' deki gibi hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_c)}{IA_y} \quad (21)$$

Eş.21'de  $\eta$  ısı verimi,  $I$  kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı ( $W/m^2$ ),  $A_y$  ise HGK'nın geçiren kısmının yüzey alanıdır ( $m^2$ ).

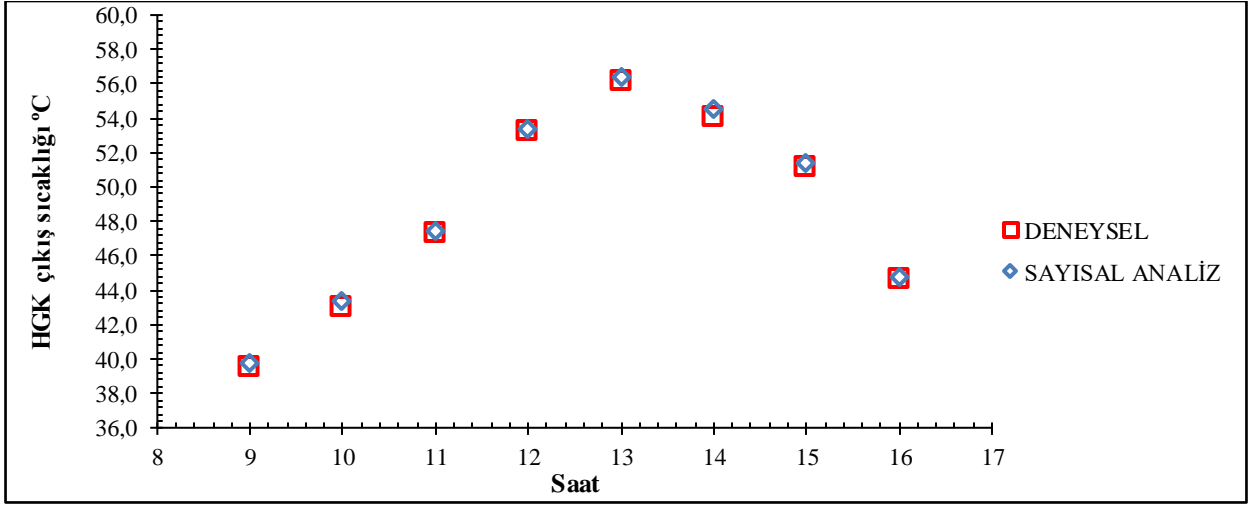
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Sayısal Analiz

Bu bölümde trapez sac emici plakaya sahip bir HGK'nın HAD analizinin sonuçları verilmiştir. Burada günün farklı zamanları için, sabah 9 ile akşam 4 arasında, her saat başı için gerçekleştiren analiz sonuçları yer almaktadır. Bu sayısal çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Analiz %1'den daha az hata ile modellenmiştir. Şekil 5'te bu analiz sonucu elde edilen veriler, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Grafikte yer alan eğriler zamana karşı deneysel ve analiz sonucu elde edilmiş HGK çıkış sıcaklıklarını göstermek için çizilmiştir. Şekil 5'te farklı zamanlar için deneysel ve analiz sonucu elde edilmiş çıkış sıcaklığı arasındaki farkın neredeyse  $0,5^{\circ}C$ 'den az olduğu görülmektedir. Tablo 2'de bu çalışmanın bazı sayısal sonuçları yer almaktadır. Güneşlenme faktörü HAD analizi programının güneş radyasyon hesabını direkt olarak etkileyen temel ifadedir. Burada yer alan güneşlenme faktörü birçok sayısal analiz sonucu belirlendiğinin ifade edilmesinde yarar görülmektedir.

Tablo 2. Bazı sayısal sonuçlar

Saat	Güneşlenme Faktörü	Deneysel dış hava sıcaklığı $^{\circ}C$	Deneysel HGK çıkış hava sıcaklığı $^{\circ}C$	HAD analizi HGK çıkış hava sıcaklığı $^{\circ}C$
9.00	0,11	30,9	39,5	39,7
10.00	0,22	30,9	43,1	43,4
11.00	0,32	31,7	47,3	47,5
12.00	0,49	32,8	53,2	53,3
13.00	0,55	34,2	56,2	56,4
14.00	0,46	35,2	54,1	54,5
15.00	0,37	35,1	51,2	51,5
16.00	0,31	35,0	44,7	44,9

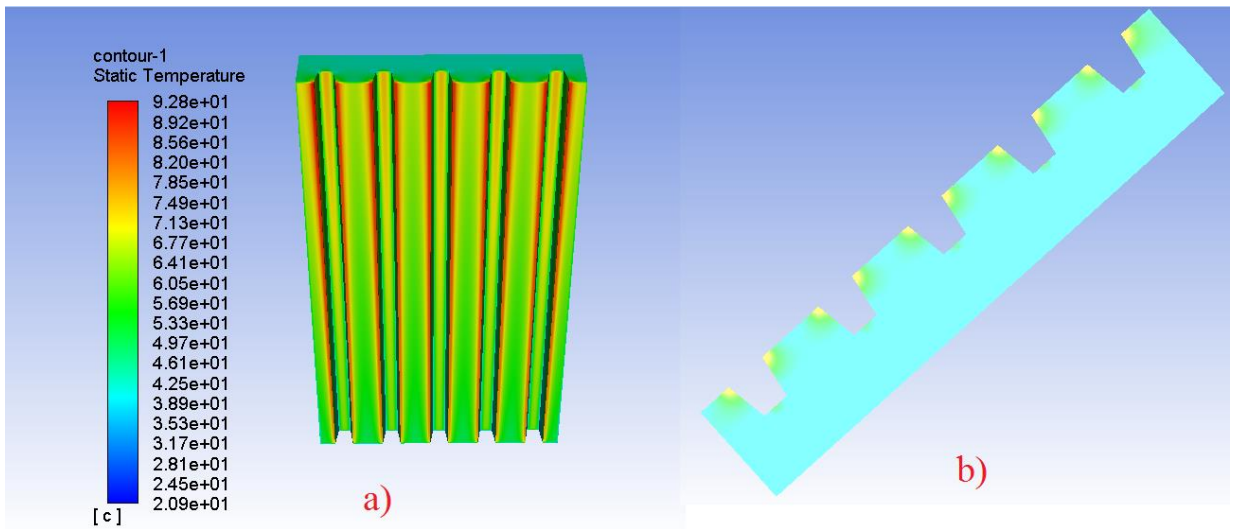


Şekil 5. HGK çıkış sıcaklığı ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırma

Analizi gerçekleştirilen modelin basınç farkına ( $\Delta P$ ) bağlı sürtünme faktörü, DARCY eşitliği (Eş.15) ile edilmiştir. Literatürde yer alan Eş. 16, Eş. 17 ve Eş. 18 ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sabit fan devrinde gerçekleştiği için kolektör girişinde hava hızı sabit  $V=0,3$  m/s dir. HGK'nın bu hız için  $Re=3446$  değeri hesaplanmıştır. Diğer eşitlikler  $Re$  bağlı sürtünme faktörü hesaplamaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda analiz sonuçlarının literatürden elde edilen sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir. Tablo 3'te bu sonuçları almaktadır.

Tablo 3. 3B Sürtünme faktörü değerleri

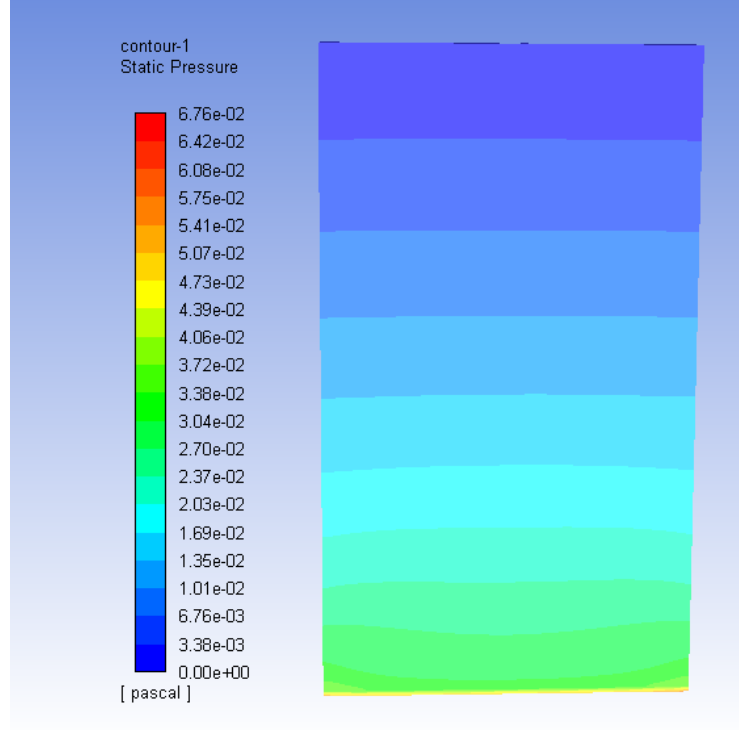
Hesap Metodu	$f$
Gupta vd.	0,010323872
ANSYS (Bu analiz)	0,020912
Petukov	0,043501279
Modifiye Blasius	0,041295489



Şekil 6. Saat 11.00 sıcaklık dağılım kontürü a) Yutucu Plaka sıcaklık dağılımı b) Çıkış bölgesi sıcaklık dağılımı

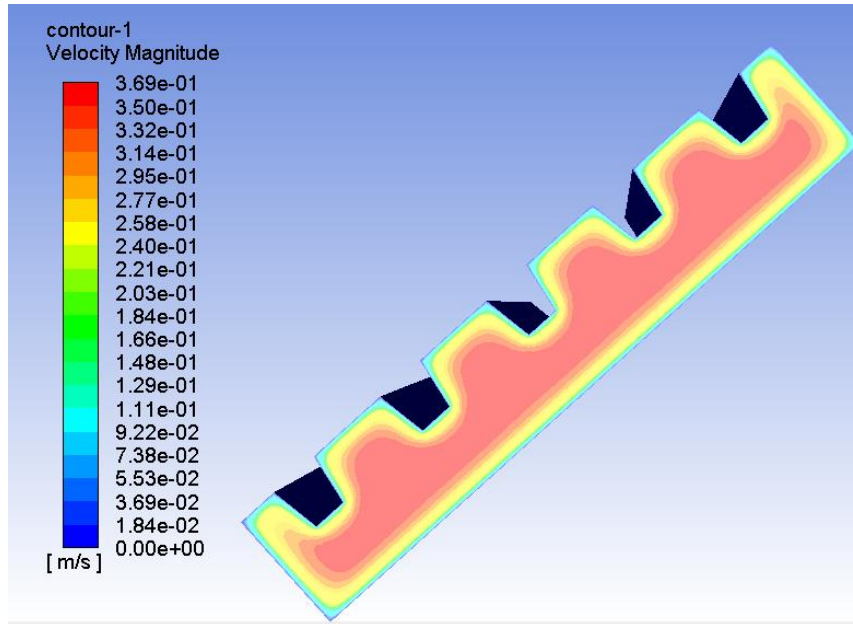


Şekil 6-a' da HGK'nın emici plaka yüzeyinin sıcaklık dağılımı görülmektedir. HGK'ya hava girişi olduğu y ekseninden gerçekleşmektedir. HGK'ya hava girişinin olduğu alt kısımda yüzey sıcaklıklarının daha düşük olduğu görülmektedir. Emici plakanın şekli trapez olduğu için büküm noktalarında daha yüksek sıcaklıklara ulaştığı görülmektedir. Özellikle Şekil 6-b' de HGK hava çıkış yüzeyinde bu durum daha net görülmektedir. Akış büküm yerlerinde hem alt duvar hemde yan duvar ile temas halinde olduğu için akışkan sıcaklığı diğer bölgelere göre daha çok artmış olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Saat 11.00 basınç dağılım kontürü

Şekil 7'de analizden bir basınç dağılımı kontürü (geçirgen cam yüzey görünüşü) görülmektedir. Havanın giriş bölgesinde basınç yüksek, çıkışa doğru basınç düştüğü görülmektedir. Burada çıkış sınır şartı 0 Pa kabul edilmiştir.



Şekil 8. Saat 11.00 Çıkış bölgesi hız dağılım kontürü  $V=0,3$  m/s

Şekil 9'de analizden bir hız dağılımı kontörü (Giriş yüzeyi) görülmektedir. Hava hızının duvara yakın bölgelerde sıfıra eşit iç bölgelerde daha yüksek olduğunu görmekteyiz. Burada ortalama hızın  $V \approx 0,3$  m/s ile HGK'ya girmekte olduğu görülmektedir.

### 3.2. Termal Verim

Eşitlik 20 yardımı ile hesaplanan HGK'nın termal verimi %26 - %82 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Gün içerisinde ortalama termal verimin %60 civarı olduğu hesaplanmıştır. HGK'nın termal verimi ortalama 0.3 m/s hava hızında güneş radyasyon değerlerine göre değişim göstermiştir. Tablo 2 ye göre Saat 09:00 daki güneşlenme faktörü değerinde (0.11) termal verim %58.8 iken saat 12:00 daki güneşlenme faktöründe (0.49) termal verim %82 değerine ulaşmıştır. Genel olarak radyasyon değerindeki artış, kolektör termal verim değerlerinde de artışa sebep olmuştur.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada hava ısıtmalı güneş kolektörünün deneysel ve sayısal analizleri yapılmıştır. Ortalama 50 °C çıkış sıcaklığına sahip kolektörün sıcaklık, basınç ve hava hızı dağılımları incelenmiştir. Elâzığ iklim şartlarında HAD analizi programının güneş radyasyon hesaplama arayüzü kullanılarak 3B HGK analizi gerçekleştirilmiştir. HGK hava çıkış sıcaklığı için deneysel ve sayısal sonuçlar arasında %1'den az hata ile çözüm gerçekleştirilmiştir. HAD analizlerinde güneş radyasyon hesaplama arayüzü kullanılarak HGK çıkış sıcaklığının modellenmesi ile alakalı başarılı sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Elâzığ ili için  $Re=3446$  civarında sayısal analizlerde alınabilecek güneşlenme faktörü belirlenmiştir. Aynı zamanda HGK'nın basınç düşüşü sayısal olarak hesaplanmıştır. Buna bağlı sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Deneysel veriler kullanılarak sayısal analiz yöntemi ile hesaplanan sürtünme faktörünün literatürde kullanılan BLASIUS eşitliği (Eşitlik 15) ile elde edilen sürtünme faktörü değerleri ile benzer olduğu gösterilmiştir. Sayısal analizi gerçekleştirilen 3B HGK sıcaklık dağılım kontürü, hız ve basınç dağılım kontürleri gösterilmiştir. Bu çalışma sonucu sayısal yöntemler kullanılarak elde edilen güneşlenme faktörü değerleri kullanılarak, farklı yutucu plakaya sahip, farklı ölçülerdeki HGK'lerinin ısı performansını hesaplanabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Proje Koordinatörlüğü FUBAP MF: 16.54 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. MF 16.54 numaralı proje yürütücüsü Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR'a bu çalışmaya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Abuşka, Mesut; Akgül, M. B. (2014). Trapez Yutucu Plakalı Güneş Enerjili Hava Kolektörünün Isıl Veriminin Deneysel Olarak İncelenmesi Dergisi, Politeknik. *Politeknik Dergisi*, 17(4), 177–181.
- ALİÇ, E., & DAŞ, M. (2019). Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sisteminde Ürün Nem Oranının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 78–87. <https://doi.org/10.17780/ksujes.597839>
- Altıntop, N., Erdemir, D. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi İle İlgili Gelişmeler. *Mühendis ve Makina*, cilt 54(sayı 639), 69–77.
- Asaadi, S., & Abdi, H. (2020). Numerical investigation of laminar flow and heat transfer in a channel using combined nanofluids and novel longitudinal vortex generators. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09795-5>
- Daş, M. (2019). Güneş Takip Mekanizmalı Bir Kurutma Sisteminin Performans Ve Optimum Çalışma Şartlarının Belirlenmesi. *Doctoral Thesis, February*, 1–112.
- Das, M., & Akpınar, E. K. (2018). Investigation of pear drying performance by different methods and regression of convective heat transfer coefficient with support vector machine. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/app8020215>
- Daş, M., & Akpınar, E. K. (2020). Determination of thermal and drying performances of the solar air dryer with solar tracking system: Apple drying test. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21(August), 100731. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100731>
- Guide, A. F. U. (2011). Release 14.0, ANSYS. Inc., USA, November.
- Gupta, A. D., & Varshney, L. (2017). Performance prediction for solar air heater having rectangular sectioned tapered rib roughness using CFD. *Thermal Science and Engineering Progress*, 4, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.09.005>
- Holman, J. P. (2001). *Experimental methods for engineers*.
- Kaya, K., & Koç, E. (2015). Energy Resources – State of Renewable Energy. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36–47.
- Kaya, K., Şenel, M. C., & Koç, E. (2018). Dünyada Ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 13(3), 219–234. <https://doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0152>
- Khaled, A. Y., Kabutey, A., Selvi, K. Ç., Mizera, Ç., Hrabe, P., & Herák, D. (2020). Application of Computational Intelligence in
- e-ISSN: 2148-2683

- Describing the Drying Kinetics of Persimmon Fruit (*Diospyros kaki*) During Vacuum and Hot Air Drying Process. *Processes*, 8(5), 544. <https://doi.org/10.3390/pr8050544>
- Kumar, N., Sonawane, S. S., & Sonawane, S. H. (2018). Experimental study of thermal conductivity, heat transfer and friction factor of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 90(November 2017), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.10.001>
- Menasria, F., Zedairia, M., & Moummi, A. (2017). Numerical study of thermohydraulic performance of solar air heater duct equipped with novel continuous rectangular baffles with high aspect ratio. *Energy*, 133, 593–608. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.002>
- Motevali, A., Minaei, S., & Khoshtagaza, M. H. (2011). Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1192–1199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.014>
- Mutabilwa, P. X., & Nwaigwe, K. N. (2020). Experimental evaluation of drying of banana using a double-pass solar collector (DPSC) and theoretical analysis using a CFD model. *Cogent Engineering*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1789363>
- Patankar, S. V., & Spalding, D. B. (1972). *A calculation procedure for the transient and steady-state behaviour of shell-and-tube heat exchangers*. Imperial College of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering.
- Potgieter, M. S. W., Bester, C. R., & Bhamjee, M. (2020). Experimental and CFD investigation of a hybrid solar air heater. *Solar Energy*, 195(August 2019), 413–428. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.058>
- Promvong, P., & Thianpong, C. (2008). Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(10), 1327–1334. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2008.07.016>
- Raj, A. K., Srinivas, M., & Jayaraj, S. (2019). CFD modeling of macro-encapsulated latent heat storage system used for solar heating applications. *International Journal of Thermal Sciences*, 139(April 2018), 88–104. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.02.010>
- Sancar, İbrahim; Bulut, Hüsamettin; Karadağ, R., & Hilali, İ. (2019). Hibrit Tip Havalı Güneş Kollektörünün CFD Analizi. 2. *Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen Ve Sağlık Bilimleri Kongresi 21-23 Haziran 2019, Tam Metin*(1), 1–14.
- Sawhney, J. S., Maithani, R., & Chamoli, S. (2017). Experimental investigation of heat transfer and friction factor characteristics of solar air heater using wavy delta winglets. *Applied Thermal Engineering*, 117, 740–751. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.01.113>
- Singer, L. E., & Peterson, D. (2011). International energy outlook 2010. In *International Energy Outlook and Projections* (Vol. 0484, Issue May).
- Singh, A. P., & Singh, O. P. (2018). Performance enhancement of a curved solar air heater using CFD. *Solar Energy*, 174(February), 556–569. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.053>
- Vasudeva Karanth, K., Manjunath, M. S., & Yagnesh Sharma, N. (2013). Three dimensional CFD analysis of solar air heater for enhancement of thermal performance using surface corrugation. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 6(4), 851–855.
- Yadav, A. S., & Bhagoria, J. L. (2013). A CFD (computational fluid dynamics) based heat transfer and fluid flow analysis of a solar air heater provided with circular transverse wire rib roughness on the absorber plate. *Energy*, 55, 1127–1142. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.066>
- Yadav, A. S., & Bhagoria, J. L. (2014). Heat transfer and fluid flow analysis of an artificially roughened solar air heater: A CFD based investigation. *Frontiers in Energy*, 8(2), 201–211. <https://doi.org/10.1007/s11708-014-0297-7>