



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Hava akışkanlı güneş kolektöründe ısı transferi iyileştirmesine etki eden parametrelerin taguchi metodu ile optimizasyonu

## *Optimization of the parameters affecting the heat transfer enhancement on the solar air collector with taguchi method*

*Yazar(lar) (Author(s)): İsmail ATA<sup>1</sup>, Adem ACIR<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-0412-8397*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-9856-3623*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Ata İ., Acır A, “Hava akışkanlı güneş kolektöründe ısı transferi iyileştirmesine etki eden parametrelerin taguchi metodu ile optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 23(2): 527-535, (2020).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.525884

# Hava Akışkanlı Güneş Kollektöründe Isı Transferi İyileştirmesine Etki Eden Parametrelerin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**İsmail ATA<sup>1\*</sup>, Adem ACIR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Müh. Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 12.02.2019 ; Kabul/Accepted : 21.06.2019)

## ÖZ

Bu çalışmada, yutucu yüzeyi üzerinde farklı geometriye sahip kanatçıklar bulunan hava akışkanlı güneş kolektörlerinde ısı transferine (Nusselt sayısı) etki eden parametrelerin optimizasyonu için Taguchi metodu kullanılmıştır. Deneysel parametre olarak dört farklı Reynolds sayısı (Re=3150, 3800, 4400 ve 5000), iki farklı kanatçık tipi (Tip-I ve Tip-II) ve iki farklı kolektör eğim açısı ( $\alpha=25^\circ$  ve  $40^\circ$ ) belirlenmiştir. Üç farklı deneysel parametresi olan Reynolds sayısı, kolektör eğim açısı ve yutucu yüzey kanatçık tipinin kolektörün ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Taguchi metodu kullanılarak elde edilen  $L_8 (4^1 \times 2^2)$  dikey deneysel dizilimi ile ısı transferinin maksimum olması için gerekli olan optimum deneysel dizilimi tespit edilmesi amaçlanmıştır. En yüksek Nu sayısı değeri için optimum deneysel dizilimi  $A_4B_2C_1$  (Re=5000, Tip-II,  $\alpha=25^\circ$ ) olarak elde edilmiştir. Her bir deneysel parametresinin ısı transfer miktarına olan etkilerinin analizi için ANOVA yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan deneysel parametrelerinden deneysel sonucuna en yüksek etki eden parametre %73,77 ile Re sayısı olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş kolektörü, ısı transferi, taguchi metodu, ANOVA.

## Optimization of the Parameters Affecting the Heat Transfer Enhancement on the Solar Air Collector with Taguchi Method

### ABSTRACT

In this study, Taguchi method was used to optimize the parameters that are related to the heat transfer (Nusselt number) of solar air collectors having different geometry fins on the absorber surface. Four different Reynolds numbers (Re=3150, 3800, 4400 and 5000), two different fin types (Tip-I and Tip-II) and two different tilt angles ( $\alpha=25^\circ$  and  $40^\circ$ ) were determined as test parameters. The effects of Reynolds number, collector tilt angle, and absorber surface flap type on heat transfer of the collector were investigated. The  $L_8 (4^1 \times 2^2)$  orthogonal test sequence obtained by using the Taguchi method was aimed to determine the optimum experimental sequence required for maximum heat transfer. The optimum experimental sequence for the highest Nu number was obtained as  $A_4B_2C_1$  (Re = 5000, Type-II,  $\alpha = 25^\circ$ ). ANOVA method was used to analyze the effects of each experimental parameter on the heat transfer amount. The most effective parameter was Re number with 73.77% of the experimental results

**Keywords:** Solar air heater, heat transfer, taguchi method, ANOVA.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji, günlük yaşantımızı sürdürmek için gerekli olan en temel ihtiyaçlarımızdan bir tanesidir. İnsanoğlunun yaşam standartları arttıkça enerji tüketimi de günden güne artış göstermektedir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan enerji kaynağı fosil yakıtlardır ve giderek azalmaktadır. Fosil tabanlı yakıtlardaki azalma ve buna ters orantılı olarak enerji ihtiyacındaki artış alternatif enerji kaynaklarının aranmasına yol açmıştır. Alternatif olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, okyanus ve gelgit enerjisi vb. gibi sayılabilir.

Güneş enerjisi bu alternatif enerji kaynakları içerisinde en büyük potansiyele sahip olan ve en umut verici olanıdır [1]. Güneş enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlardan bir tanesi de çalışma akışkanı olarak havanın kullanıldığı ve güneşten aldığı yararlı ısıyı havaya aktaran kolektör uygulamalarıdır. Hava akışkanlı güneş kolektörleri mahal ısıtma, meyve sebze kurutma ve benzeri alanlarda büyük avantajlar sağlarken ısı verimlerinin düşük olması ise en büyük dezavantajlarıdır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de havanın ısıtıldığı alandaki temas süresini uzatan yutucu yüzey üzerinde kanatçık kullanımınıdır [2]. Literatürde hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı transfer miktarlarını arttırmak için yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Lin ve Ma çalışmalarında, bina ısıtması için

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ismailata@erciyes.edu.tr

kullanılan, faz değiştirici malzeme ile desteklenmiş fotovoltaik termal kollektörün CTPE (termal performans geliştirme katsayısı) maksimize eden parametreleri Taguchi-Fibonacci araştırma metodunu kullanarak optimize etmişlerdir. Parametre olarak PVT hava kütleli debisi, faz değiştirici malzeme tipi, faz değiştirici malzeme kalınlığı ve duvar izolasyonunu belirlemişlerdir. Her bir parametrenin CTPE katsayısına etkisini varyans analizi yaparak hesaplamışlardır. Yapılan optimizasyon sonucu elde edilen değer, optimizasyon yapılmayan sonuçlara göre daha yüksek CTPE değerine sahip olduğunu göstermişlerdir [3]. Kuo ve ark., düz tip bir güneş kollektörünün performansını etkileyen parametrelerin optimizasyonu için Taguchi dikey deney dizilimini kullanmışlardır. Güneş kollektörünün tüp malzemesi, yutucu yüzey malzemesi, tüp sayısı, tüp çapı, yutucu film tipi ve alt ısı yalıtım malzemesi kalınlığını deney parametresi olarak belirlemişlerdir. Deney parametrelerinin etki miktarları ANOVA analiz yöntemini kullanarak tespit etmişlerdir. Elde ettikleri optimum deney dizilimini test etmek için üç adet doğrulama deneyi yapmışlar ve %95 güven aralığında deney sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermişlerdir [4]. Kotcioğlu ve ark., dikdörtgen kesitli akış kanalına sahip bir ısı değiştiricide ısı transferi ve basınç düşümü değerlerine etki eden tasarım parametrelerini Taguchi metodunu kullanarak optimize etmişlerdir. Akış kanalı içerisine değişik geometrilere kanatçıklar yerleştirmişler ve  $L_{25} (5^6)$  dikey deney dizilimini kullanarak altı farklı parametrenin beş farklı seviyesi için deney sonuçlarını incelemişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde kullanılan metodun uygun olduğu görülmüştür [5]. Yadav ve ark. deneysel çalışmalarında, bir yüzeyi sabit ısı akısı ile ısıtılmış diğer üç yüzeyi yalıtılmış şekilde tasarlanan dikdörtgen kesitli bir kanalda farklı tasarım parametrelerinin akış kanalından geçen türbülanslı havanın ısı transferi ve sürtünme faktörü değerlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Kanal içerisinde farklı parametrelere sahip kanatçıklar kullanılması ile elde edilen ısı transferi ve sürtünme faktörü değerlerinin içerisi boş olan düz kanala göre 2,89 ve 2,93 kat daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [6]. Acir ve Ata, yan yana yerleştirilmiş bakır borulardan oluşan yutucu yüzeye sahip hava akışkanlı güneş kollektörü içerisine dairesel şekilli türbülötörler yerleştirerek ısı transferi, sürtünme faktörü ve termal performans faktörü değerlerine olan etkilerini incelemişlerdir. İçerisinde türbülötör bulunan kollektörlerden elde ettikleri deneysel sonuçları içi boş düz tip kollektör ile karşılaştırmışlardır. Kollektör içerisinde türbülötör kullanılması ile içi boş düz kollektöre göre ısı transferi değerinde %416 iyileştirme elde etmişlerdir [7]. Chamoli ve ark. Taguchi Gri ilişkisel analiz (GRA) yöntemini kullanarak bir ısı değiştiricisinde kullanılan dairesel şekilli türbülötörlerin farklı geometrik özelliklerinin ve farklı deney parametrelerinin performansa olan etkilerini optimize etmişlerdir. Faktörel dizayn yöntemi ile elde edilen optimum dizilimi doğrulamak için deneysel bir çalışma

yapmışlardır. Çalışmaları ile bir ısı değiştiricinin performansının Taguchi-GRA tekniği ile optimize edilebileceğini göstermişlerdir [8]. Bopche ve Tandale, bir hava ısıtıcı kanal içerisinde kullanılan yutucu yüzeye, özel olarak tasarlanmış U şekilli türbülötörler yerleştirerek yapay pürüzlülüğün ısı transferine ve sürtünme faktörüne olan etkilerini incelemişlerdir. Kanalda kullanılan üç duvarı yalıtılmış pürüzlü yüzeye ise hava akışkanlı güneş kollektörlerine benzer sınır şartlarında ısı akısı uygulamışlardır. Farklı deney parametreleri için deneyleri tekrarlayarak yutucu yüzeyinde herhangi bir pürüz bulunmayan düz yüzeyli deney düzeneği sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Üzerinde pürüzler bulunan sistemden elde edilen ısı transferi değerlerinin düz yüzeyli sisteme göre 2,82 kat daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir [9]. Celik ve ark. eş merkezli bir ısı eşanjör sisteminde oluklu türbülötörler kullanmışlar ve deney parametrelerinin ısı transferi ve basınç düşümüne olan etkilerini Taguchi dikey deney tasarımı kullanarak incelemişlerdir. Kullanılan oluklu bant şeklindeki türbülötörlerin kalınlık, genişlik, adım miktarı ile Reynolds sayısı değerlerini deney parametresi olarak belirlemişlerdir. ANOVA analiz yöntemi ile her bir parametrenin deney sonuçlarına olan etki miktarlarını belirlemişlerdir. Isı transferini en çok etkileyen parametrenin Reynolds sayısı olduğunu ve basınç düşümünü en çok etkileyen parametrenin ise türbülötör kalınlığı olduğunu göstermişlerdir [10]. Ansari ve Bazargan çalışmalarında, bir hava ısıtıcısı yutucu yüzeyi üzerine tekrarlanan engeller yerleştirilmesinin ısıtıcının termal performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ampirik bağıntıları kullanarak optimum deney parametre dizilimini tespit etmişlerdir. Belirlenen dizilimin geçerliliğini değerlendirmek için deneysel sistemlerini tasarlamışlar ve sonuçların uyum içinde olduğunu göstermişlerdir. Düz plakalı sisteme göre engelli olan sistemden elde edilen termal verimleri %9 daha büyük bulmuşlardır [11]. Acir ve ark. deneysel çalışmalarında, hava akışkanlı bir güneş kollektörü içerisinde kullanılan türbülötörlerin ısı verime olan etkilerini incelemişlerdir.  $L_9$  dikey deney dizilimini kullanarak oluşturdukları deney tasarımı çıktılarını Gri ilişkisel analiz yöntemi ile optimize etmişlerdir. Her bir deney parametresinin sonuçlara etkisini incelemek için ANOVA yöntemini kullanmışlardır [12]. Chamoli deneysel çalışmasında, dikdörtgen kesitli bir akış kanalında kullanılan V şeklindeki delikli engellere ait değişkenlerin ısı transferi ve basınç düşümüne etkilerini Taguchi yöntemini kullanarak optimize etmiştir. Dört farklı değişkenin dört farklı seviyesi için  $L_{16}$  dikey deney dizilimini kullanmıştır. Isı transferi için optimum deney dizilimini  $A_2B_2C_1D_4$  olarak bulurken basınç düşümü için ise  $A_4B_1C_4D_3$  olarak elde etmiştir [13]. Sahin ve Demir, kanal içerisine yerleştirilen kanatçıkların ısı transferi ve basınç düşümüne olan etkilerini incelemişlerdir. Kanal içerisinde kanatçıklar kullanılması ısı transferine katkı sağladığını göstermişlerdir. Üç farklı parametrenin üç seviyesinin kullanıldığı  $L_9$  dikey deney dizilimini kullanarak optimum deney parametrelerini tespit

etmişlerdir [14]. Sharma ve Kalamkar bir hava ısıtıcısı içerisine yerleştirilen farklı şekillerdeki kanatçıkların ısıtıcı performansına olan etkilerini Reynolds sayısının 4000 ile 16000 arasındaki aralığında deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal değerlendirme için ANSYS Fluent™ programında k-ε türbülans modelini kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların birbiri ile uyum içinde olduğunu göstermişlerdir. Her iki çalışmada da kanatçık kullanılmasının ısıtıcının performansını arttırdığını tespit etmişlerdir [15]. Pandey ve ark. yutucu yüzeyi yay şeklindeki boşluklar ile pürüzlendirilmiş bir dikdörtgen kesitli kanaldaki ısı transferi ve sürtünme faktörü değerlerini incelemişlerdir. Yay şekilli pürüzlülük elemanının farklı boyutsuz özellikleri ve Reynolds sayısının yedi değeri için deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Düz kanala göre pürüzlendirilmiş kanaldaki ısı transferi ve sürtünme faktörü değerlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [16].

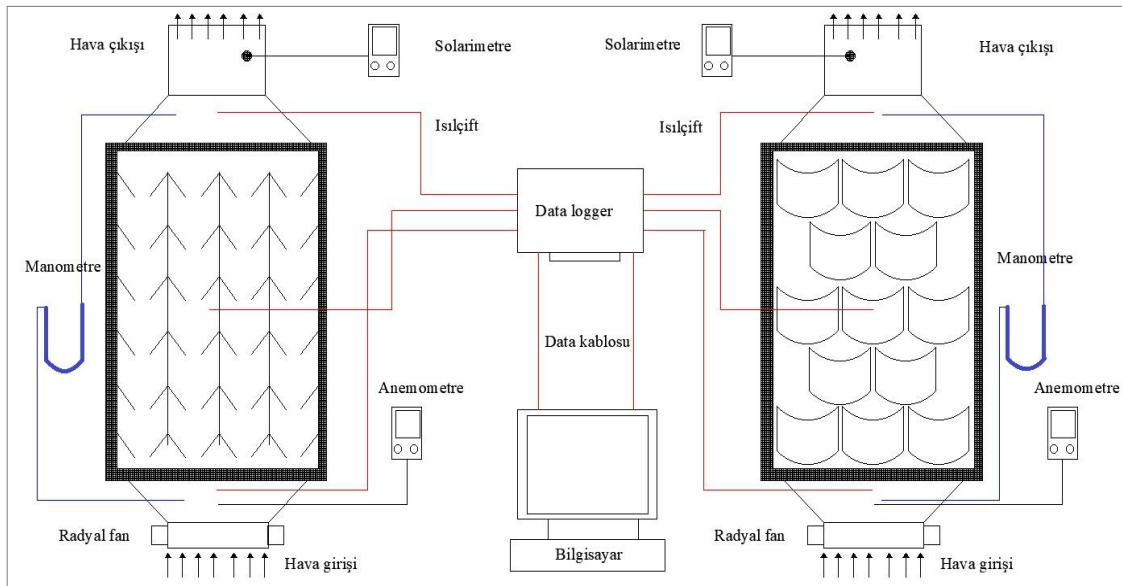
Literatürde hava akışkanlı güneş kollektörlerinde ve ısı değiştirici çeşitlerinde ısı transferinin artırılması için birçok yöntemden bahsedilmektedir. Yutucu yüzey üzerine kanatçıklar yerleştirilmesi bu yöntemlerden bir tanesidir. Çalışmalarda genellikle bütün deney koşulların için deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

transferine olan etki miktarları ANOVA yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Deneysel Sistem (Experimental Set-up)

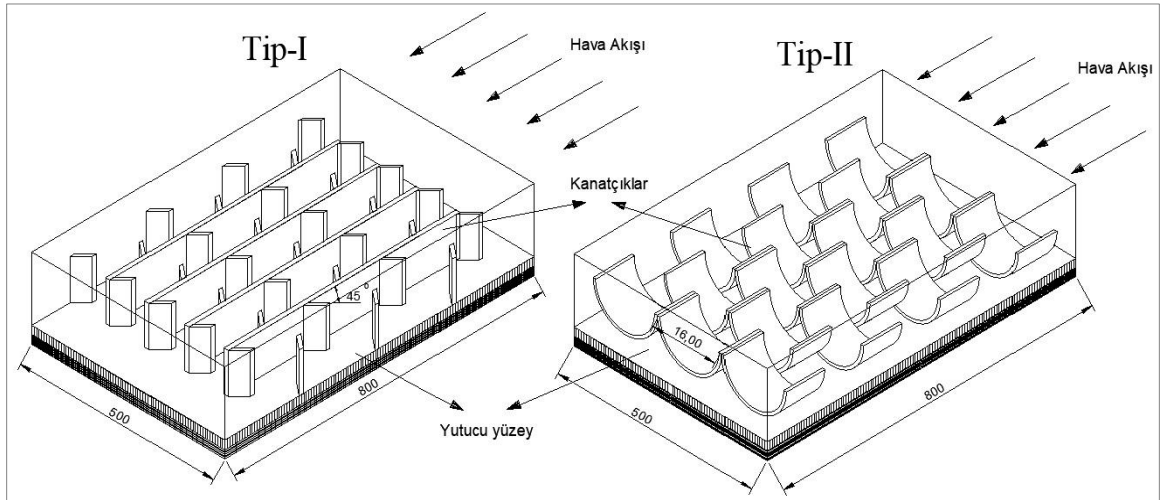
Farklı deney parametrelerinin ısı transferine etkileri araştırmak amacıyla iki farklı yutucu yüzeye sahip hava akışkanlı güneş kollektörü dizayn edilmiştir. Kollektör dış kasası hafif olması ve güneşten gelen ışığı yansıtması amaçlandığı için alüminyum malzemeden imal edilmiş ve 800 mm x 500 mm x 120 mm ebatlarındadır. Kollektörün yan yüzeylerinde ve yutucu yüzeyin altında yalıtım malzemesi olarak 20 mm kalınlığında polistiren sert köpük kullanılmıştır. Bu sayede kollektör içerisindeki havanın ısı kayıpları minimize edilmesi ve dış ortamdan oluşabilecek etkilerin azaltılması amaçlanmıştır. Güneşten gelen ışımın yutucu yüzeye geçişi ve yutucu yüzeyden geri yansımaları önlemesi için geçirgen örtü olarak 3 mm kalınlığında normal pencere camı kullanılmıştır. Kasa malzemesi ve saydam örtü arasındaki sızdırmazlığı sağlamak için silikon conta kullanılmıştır. Deneysel sisteminin şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Kollektör yutucu yüzeyi 1,5 mm



Şekil 1. Deneysel düzeneğin şematik görünümü (Schematic view of experimental set-up)

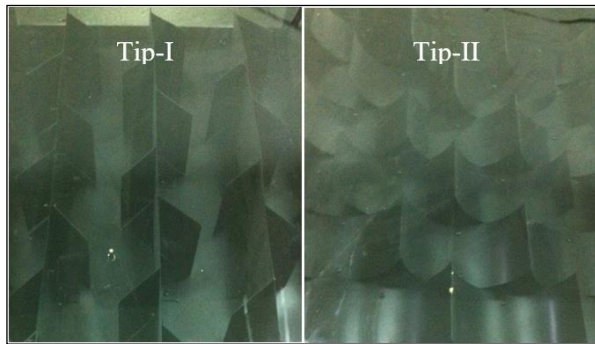
Bu çalışmada ise Taguchi metodu kullanılarak oluşturulan  $L_8$  dikey deney dizilimi sayesinde normalde gerekli olan 16 deney yerine 8 adet deney ile sonuçların optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yeni tasarlanan yutucu yüzeyi üzerinde iki farklı tip kanatçık yapısı bulunan ve iki farklı eğim açısına sahip kollektörler kullanılmıştır. Reynolds sayısının dört farklı değeri, iki farklı kanatçık tipi ve iki farklı kollektör eğim açısı deney parametreleri olarak belirlenmiş ve bu parametrelerin ısı transferine (Nu) olan etkileri araştırılmıştır. Her bir parametrenin kollektörlerdeki ısı

kalınlığında bakır malzemeden imal ettirilmiştir. Bakır yutucu yüzey üzerinde iki farklı kanatçık tipi (Tip-I ve Tip-II) kullanılmıştır. Tip-I kanatçıklar akış yönüne  $45^\circ$  açı ile engel oluşturacak şekilde yerleştirilmiş ve 1,5 mm kalınlığında bakır malzemeden imal edilmiştir. Kanatçıklar, 10 mm eninde ve 20 mm yüksekliğinde imal edilmiş ve belirli aralıklar ile yutucu yüzey üzerine yerleştirilmiştir. Tip-II kanatçıklar ise 160 mm çapında yarım silindirik şeklinde 1,5 mm kalınlığında bakır malzemeden imal edilmiştir. Yutucu yüzeyler üzerindeki kanatçıkların şematik görünümleri Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Yutucu yüzeyler üzerindeki kanatçık yapıları (Fin structures on absorber surfaces)

Güneşten gelen yararlı ısıyı daha iyi absorbe edebilmesi ve çalışma akışkanı olan havaya aktarabilmesi için yutucu yüzey siyah mat boya ile boyanmıştır. Akış kanalı üzerinde farklı geometrilere kanatçıklar kullanılarak akışkanın daha çok yüzey ile temas etmesi ve bu sayede yutucu yüzeyden akışkana olan ısı transferinin artırılması amaçlanmaktadır. Kollektör yutucu yüzeylerinin görünümü Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Yutucu yüzeylerin görünümü Tip-I ve Tip-II (Appearance of absorber surface Type-I and Type-II)

Hava akışkanlı güneş kollektörü güney yöne bakacak şekilde konumlandırılmış ve iki farklı eğim açısı için ( $\alpha=25^\circ$  ve  $\alpha=40^\circ$ ) deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sistemi, Gazi Üniversitesi Teknoloji fakültesi yerleşkesinde kurulmuş ve deneyler güneş ışınım şiddetinin yüksek olduğu Haziran-Temmuz aylarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma akışkanı olarak kullanılan havanın kollektörler içerisinde dört farklı hızda (0,4 m/s, 0,48 m/s, 0,56 m/s ve 0,64 m/s) akmasını sağlamak için kollektör girişinde bulunan davlumbaz üzerindeki radyal fanlar kullanılmıştır. Akışkanın hızı Cem DT-3893 termo-anemometre yardımı ile ölçülerek fanın dönüş hızı ayarlanmıştır. Kollektör giriş çıkışında bulunan basınç prizleri arasında meydana gelen basınç farkı U tipi fark basınç manometresi ile ölçülmüştür. Yutucu yüzeye gelen ışınım şiddetini ölçmek için Kimo-SL100

solarimetre kullanılmış ve gün boyunca birer saat aralıklarla güneş ışınımı değerleri kayıt edilmiştir. Akışkanın giriş, çıkış sıcaklıkları ile yutucu yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklıklarını ölçmek için K tipi (NiCr-Ni) ısı çiftleri kullanılmıştır. Isıl çiftlerden gelen sıcaklık ölçüm değerleri çok kanallı dijital Data-Logger yardımı ile belirli aralıklarla kayıt altına alınmış ve bilgisayara aktarılmıştır.

## 2.2. Hesaplamalar (Data Processing)

Hava akışkanlı güneş kollektörleri güneşten gelen ışınımı yararlı ısıya dönüştüren bir çeşit ısı değiştiricilerdir. Güneşten gelen ışınım sonucunda güneş kollektörü tarafından kazanılan yararlı ısı ( $\dot{Q}_u$ ) şu şekilde hesaplanmıştır [2, 7, 12];

$$\dot{Q}_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_c - T_g) \quad (1)$$

Güneş kollektörü tarafından kazanılan yararlı ısı, çalışma akışkanına taşınımıyla aktarılan ısıya eşittir.

$$\dot{Q}_u = h \cdot A_k \cdot (T_y - T_{ort}) \quad (2)$$

Test edilen kollektörler için ısı taşınım katsayısı şu şekilde hesaplanır [2, 5-7];

$$h = \frac{\dot{Q}_u}{A_k \cdot (T_y - T_{ort})} \quad (3)$$

Burada;  $T_y$ , yutucu yüzey sıcaklığı,  $T_{ort}$  ise akışkan olarak kullanılan havanın ortalama sıcaklığıdır ve kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması alınarak elde edilmiştir. Havanın bütün termodinamik özellikleri ortalama sıcaklığa göre alınmıştır [2,7,12].

$$T_{ort} = (T_g + T_c)/2 \quad (4)$$

Isı taşınım katsayısı kullanılarak elde edilen ısı transfer miktarını gösteren Nusselt sayısı şu şekilde hesaplanmıştır [2, 6, 7];

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k_{hava}} \quad (5)$$

Reynolds sayısı ise şu şekilde hesaplanır;

$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu} \quad (6)$$

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları ve hesaplamalar sonucu elde edilen boyutsuz parametrelerin ölçüm belirsizliği tayininde Kline ve McClintock [17] tarafından geliştirilen metod kullanılmıştır. Ölçüm cihazları kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda meydana gelen ölçüm belirsizlikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Ölçüm cihazları için belirsizlikler (Uncertainties for measuring devices)

Ölçüm cihazı	Belirsizlik	Birim
Isıl çiftler ile sıcaklık ölçümü	$\pm 0,18$	$^{\circ}\text{C}$
Solarimetre ile ışınım şiddeti ölçümü	$\pm 1,38$	$\text{W/m}^2$
Anemometre ile akış hızı ölçümü	$\pm 0,16$	$\text{m/s}$
Basınç ölçer ile basınç farkı ölçümü	$\pm 1,66$	$\text{Pa}$

Ayrıca hesaplamalar sonucunda elde edilen boyutsuz parametreler içinde belirsizlik analizi yapılmıştır. Bu analizler yapılırken hesaplanan sonucu etkileyecek olan (ihmalller, kabuller vb.) parametreler göz önünde bulundurulmuş ve her biri hesaplama belirsizliği içerisine dahil edilmiştir. Reynolds sayıları ve Nusselt sayıları için ortalama ölçüm belirsizlikleri sırasıyla  $\pm \%9$  ve  $\pm \%8$  olarak tespit edilmiştir.

### 2.3. Taguchi Methodu (Taguchi Method)

Taguchi motodu, tasarlanan deney parametrelerini minimum sayıda deney yaparak analiz etmek için kullanılan bir tasarım yöntemidir [4, 13, 20]. Bu yöntem ile çalışma sonucunda elde edilen ölçüm sonuçları Sinyal/Gürültü (S/N) oranına dönüştürülür [20]. S/N oranı, sistemden elde edilmek istenen gerçek değer, deney tasarımı yapılırken dikkate alınmayan fakat deney sonucuna etki eden faktöre oranıdır. Burada, S sinyal faktörünü ifade ederken, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir ve birimi dB’dir [12, 13, 18, 19]. S/N oranı ne kadar artar ise sonuçta elde edilmek istenen ürünün kalitesi de o kadar artar. Bu sebeple sinyal değerinin artırılması ile birlikte gürültü değerinin de azaltılması amaçlanır [18-19]. Birçok S/N oranı hesaplama yöntemi mevcut iken bunlardan en yaygın olarak kullanılan üç tanesi, “En Büyük En İyi”, “En Küçük En İyi” ve “Nominal En İyi” yöntemleridir [20]. Bu çalışmada ısı transferinin maksimum olması amaçlandığı için bu hesaplama yöntemlerinden “En Büyük En İyi” olanı kullanılmıştır.

“En Büyük En İyi” S/N oranı için eşitlik;

$$S/N = -10 \left( \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (7)$$

Burada,  $y_i$ : deney sonucu elde edilen verileri,  $n$ : deney sayısını ifade etmektedir.

### 2.4. Varyans Analizi (Analysis of Variance) (ANOVA)

Deney parametrelerinin optimizasyonunda çıktı değerlerini S/N oranına dönüştüren Taguchi metodu kullanılırken her bir deney parametresinin çıktı değerine ne kadar etki ettiğini tespit etmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılır. Her bir deney parametresinin

sonuca olan yüzdelik etki miktarları (PCR) şu şekilde hesaplanır [12];

$$PCR = \left( \frac{SS_A - (V_e) \cdot (df_A)}{SS_T} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Burada  $SS_A$ , A parametresine ait kareler toplamı;  $V_e$ , hata varyansı;  $SS_T$ , toplam kareler toplamı;  $df_A$  ise A parametresinin serbestlik derecesidir.

Varyans analizinde parametrelerin sonuca olan etki miktarları değerlendirilirken yüzde katkı oranı (PCR) ile birlikte her bir parametreye ait  $F_{test}$  değerleri de kullanılabilir. PCR değerine benzer şekilde  $F_{test}$  değeri büyük olan parametrenin sonuca olan etki miktarı da büyüktür [12].  $F_{test}$  şu şekilde hesaplanır;

$$F_{test} = \frac{V_A}{V_e} \quad (9)$$

Burada  $V_A$ , A parametresinin varyansını,  $V_e$  ise, hata varyansını ifade etmektedir.

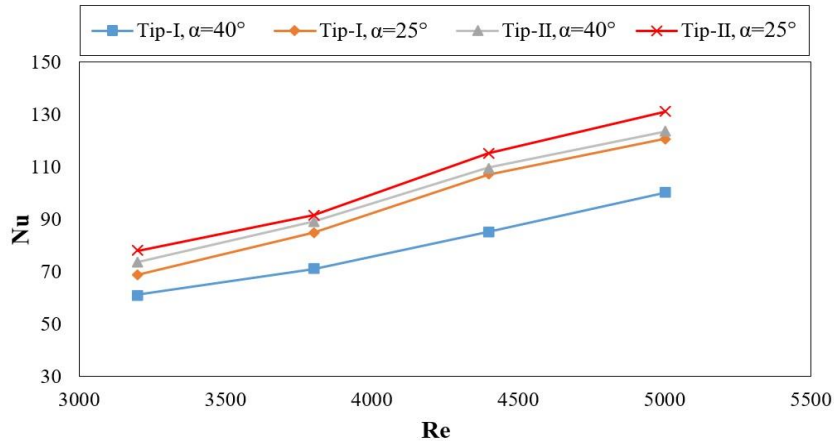
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Yutucu yüzeyi üzerinde iki farklı tip kanatçık bulunan hava akışkanlı güneş kollektörlerinde, iki farklı eğim açısı ve dört farklı akışkan debisi için deneyler yapılmıştır. Kollektörler güneş ışınımını doğrudan alabilmesi için güney yönüne bakacak şekilde konumlandırılmış ve deneyler saat 09:00 ile 17:00 arasında birer saat aralıklarla gün boyunca sürdürülmüştür. Kollektörden elde edilen veriler kayıt altına alınmış ve kollektöre ait Nusselt sayısı değerleri Eşitlik 5 kullanılarak ışınım şiddetinin maksimum olduğu öğle saati olan 13:00 için hesaplanmıştır. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, bütün deney koşulları için Re sayısının 3150 ile 5000 değeri arasındaki değişimine bağlı olarak Nu sayısı değerlerinin 61,1 ile 130,9 arasında değiştiği görülmektedir. Deneyler sonucunda en yüksek Nu değeri, Re sayısının maksimum değerinde,  $\alpha=25^{\circ}$  eğim açısına sahip Tip-II kollektörden 130,9 olarak elde edilirken en düşük Nu değeri ise,  $\alpha=40^{\circ}$  eğim açısına sahip Tip-I kollektörde en düşük Re sayısı için 61,1 olarak elde edilmiştir. Bütün deney tasarımlarında Re sayısının artışına bağlı olarak Nu sayısı değerleri artış göstermektedir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen Nusselt sayısı değerlerine etki eden deney parametreleri, Reynolds sayısı, kollektör tipi ve kollektör eğim açısı olarak belirlenmiştir. Her bir deney parametresi için kullanılan semboller ile bu parametrelere ait seviyeler Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Deney parametreleri ve seviyeleri (Experimental parameters and levels)

Sembol	Parametreler	Seviyeler			
		1	2	3	4
A	Reynolds Sayısı (Re)	3150	3800	4400	5000
B	Kollektör Tipi	Tip-I	Tip-II	-	-
C	Eğim Açısı ( $\alpha$ )	$25^{\circ}$	$40^{\circ}$	-	-





Şekil 4. Nu sayısının Re sayısı ile değişimi (Changes of Nu number with Re number)

Reynolds sayısı için dört farklı seviye belirlenirken kollektör tipi ve eğim açısı için ikişer seviye belirlenmiştir. Nusselt sayısını maksimum yapacak olan en iyi deney dizilimini elde etmek için Minitab 17 programı yardımı ile Taguchi metodu kullanılmıştır.  $L_8$  ( $4^1 \times 2^2$ ) dikey dizilimine sahip deney tasarımı Taguchi metodu ile oluşturulmuştur.  $L_8$  deney dizimi sayesinde üç farklı parametre ve bu parametrelerin dört ve ikişer adet olan seviyeleri için gerekli olan 16 deney yerine 8 deney ile sonuca gidilmesi ve böylece daha az deney yaparak hem zamandan hem de maliyetten kazanım sağlanması amaçlanmıştır. Deneylerde kullanılan parametre dizilimi ve deney dizaynı Çizelge 3’de görülmektedir.

Çizelge 3.  $L_8$  ( $4^1 \times 2^2$ ) dikey dizilimi kullanılarak oluşturulmuş deney dizaynı (Experimental design using  $L_8$  orthogonal array)

Deney No	A	B	C	Parametre Dizilimi
1	1	1	1	$A_1B_1C_1$
2	1	2	2	$A_1B_2C_2$
3	2	1	1	$A_2B_1C_1$
4	2	2	2	$A_2B_2C_2$
5	3	1	2	$A_3B_1C_2$
6	3	2	1	$A_3B_2C_1$
7	4	1	2	$A_4B_1C_2$
8	4	2	1	$A_4B_2C_1$

Taguchi metodu kullanılarak tasarlanan  $L_8$  dikey dizilime karşılık gelen Nu sayısı değerleri ile Nu sayıları için Eşitlik 7 ile hesaplanmış S/N oranı değerleri Çizelge 4’de verilmiştir. Nu sayısının yüksek olması amaçlandığı için S/N oranı hesaplama yöntemleri içerisinde “En Büyük En İyi” seçeneği kullanılmıştır. Çizelge 4 incelendiğinde sekiz deney için S/N oranları hesaplandığında en düşük

S/N oranının birinci deney dizilimi olan  $A_1B_1C_1$  için 36,75 dB olarak bulunduğu görülmektedir. En yüksek S/N oranı ise sekizinci deney dizilimi olan  $A_4B_2C_1$ ’den 42,34 dB olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.  $L_8$  dikey dizilimi ve deney sonuçları (Nu) ile S/N oranı değerleri ( $L_8$  orthogonal array for experimental results (Nu) with their S/N values)

Deney Numarası	Reynolds sayısı	Kollektör Tipi	Eğim Açısı	Nu Sayısı	S/N Oranı (dB)
1	3150	Tip-I	25°	68,8	36,75
2	3150	Tip-II	40°	73,7	37,35
3	3800	Tip-I	25°	84,7	38,56
4	3800	Tip-II	40°	89,0	38,98
5	4400	Tip-I	40°	85,1	38,60
6	4400	Tip-II	25°	115,1	41,22
7	5000	Tip-I	40°	99,9	39,99
8	5000	Tip-II	25°	130,9	42,34

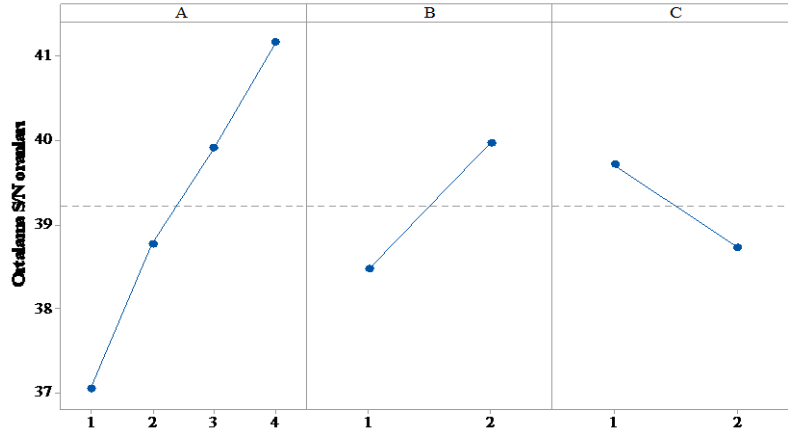
Deneyler sonucunda elde edilen Nu sayıları için en büyük en iyi hesaplama seçeneğine göre hesaplanmış S/N oranı değerlerinin her bir deney parametresi ve seviyesi için değerleri Çizelge 5’de sunulmuştur. Çizelge 5 incelendiğinde Re sayısının dört farklı seviyesi için S/N oranlarının 37,05 dB ile 41,17 dB arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Re sayısına ait S/N oranı değerlerinin birinci seviyeden dördüncü seviyeye artış miktarı %11,1 olarak tespit edilmiştir. Re sayısının artışına bağlı olarak kollektörlerin Nu sayısı değerlerinin de artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Re sayısının maksimum olduğu seviye için ısı transferi miktarı da maksimum olmaktadır. İkinci parametre olan kollektör

tipi için S/N değerlerine bakıldığında birinci seviye olan Tip-I kollektör için 38,47 dB değeri görülürken ikinci seviye olan Tip-II için 39,97 dB değeri görülmektedir. Yutucu yüzey üzerinde yarım silindirik şekilli kanatçıklar kullanılmasının ısı transferine etkisinin daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Kollektörlerin eğim açılarının  $\alpha=25^\circ$ 'den  $40^\circ$ 'ye çıkartılması ile S/N oranı değerinin 39,72 dB değerinden 38,73 dB değerine düştüğü görülmektedir. Açı değerinin arttırılması ile yutucu yüzeye gelen güneş ışınları yatay olarak gelmekte ve bu sebeple de geri yansımalar daha fazla

parametre %18,08 ile kollektör tipi olur iken en düşük etki miktarına sahip parametre olarak ise %7,78 ile kollektör eğim açısı tespit edilmiştir. PCR değerleri için yapılan varyans analizinin hata miktarı %0,37 olarak elde edilmiştir. Hata miktarının düşük olması yapılan analiz güvenilirliğini arttırmıştır. Parametrelerin etki miktarları için ayrıca  $F_{test}$  değerleri de kullanılmaktadır. En yüksek  $F_{test}$  değeri 470,49 ile Re sayısına aitken en düşük  $F_{test}$  değeri ise 149,61 ile eğim açısı olmuştur.  $F_{test}$  değerlerine bakıldığında PCR değerlerini doğrulayan sonuçların elde edildiği görülmektedir.

**Çizelge 5.** Nu sayısı için S/N oranları ve yüzde etki miktarları “En Büyük En İyi” (S/N responses and contribution ratios for Nu number “larger is better”).

Sembol	Parametre	Seviyeler				Fark (max-min)	Sıra	PCR (%)
		1	2	3	4			
A	Reynolds Sayısı	37,05	38,77	39,91	41,17	4,11	1	73,77
B	Kollektör Tipi	38,47	39,97	-	-	1,50	2	18,08
C	Eğim Açısı	39,72	38,73	-	-	0,99	3	7,38



**Şekil 5.** Nu sayısı için ortalama S/N oranları (Mean S/N ratio graph for Nu number)

olmaktadır. Buna bağlı olarak da ısı kazanımları ve ısı transferi eğim açısı düşük olan kollektöre göre daha düşük olmaktadır.

Her bir deney parametresi ve seviyeleri için ortalama S/N oranları Şekil 5’de verilmiştir. Nu sayısı için her bir parametrenin en yüksek olduğu S/N oranı değeri o parametre için en iyi seviyeyi belirlemektedir. Şekil 5 incelendiğinde ortalama S/N oranı değerlerinin, Re sayısı için dördüncü seviyede 41,14 dB, kollektör tipi için ikinci seviyede 39,97 dB ve kollektör eğim açısı için ise birinci seviyede 39,72 dB ile en yüksek değerlerini aldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre Nu sayısının en iyi olduğu deney dizilimi  $A_4B_2C_1$  ( $Re=5000$ , Tip-II ve  $\alpha=25^\circ$ ) olarak tespit edilmiştir.

Deney parametrelerinin kollektörlerin ısı transfer miktarına olan yüzde etki miktarlarının tespiti için varyans analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda elde edilen PCR değerleri Çizelge 6’da sunulmuştur. Çizelge 6 incelendiğinde, Nu sayısı üzerinde en etkili parametrenin %73,77 PCR değeri ile Re sayısı olduğu görülmektedir. Re sayısından sonra en etkili ikinci

En iyi deney dizilimi olan  $A_4B_2C_1$  için elde edilen Nu sayısı değeri ile Minitab 17 programı ile Taguchi metodu kullanılarak elde edilen tahmini değer karşılaştırması Çizelge 7’de verilmiştir. Taguchi metodu kullanılarak tespit edilen  $A_4B_2C_1$  deney dizilimi için tahmin edilen Nu değeri 130,65 olarak bulunmuştur.  $A_4B_2C_1$  deney dizilimi için deneysel çalışma sonucunda tespit edilen Nu değeri ise 130,9’dur. Yapılan deneysel çalışma ile Taguchi metodu sonucu elde edilen sonuçlar birbiri ile uyum içerisindedir.  $L_8$  dikey deney dizilimi sonucunda oluşturulan deney sıralamasında birinci deney dizilimi olan  $A_1B_1C_1$  ( $Re=3150$ , Tip-I ve  $\alpha=25^\circ$ ) için S/N oranı değeri 36,75 dB iken en iyi deney dizilimi olan  $A_4B_2C_1$  ( $Re=5000$ , Tip-II ve  $\alpha=25^\circ$ ) için S/N değeri 42,34 dB olarak hesaplanmıştır. En iyi dizilimi bulmak için kullanılan Taguchi yöntemi ile elde edilen Nu değeri başlangıç parametre dizilimine göre 5,59 dB daha yüksek olarak bulunmuştur. Optimizasyon sayesinde Nu değerlerine ait S/N oranlarında %12,5 iyileştirme elde edilmiştir.



**Çizelge 6.** Nu sayısı için ANOVA sonuçları (Results of ANOVA for Nu number)

	df	SS	V	$F_{test}$	P	PCR (%)
Reynolds Number (Re)	3	18,3317	6,11055	470,49	0,002	73,77
Kollektör tipi	1	4,4972	4,4972	346,26	0,003	18,08
Eğim Açısı ( $\alpha$ )	1	1,9431	1,9431	149,61	0,007	7,78
Hata	2	0,026	0,01299			0,37
Toplam	7	24,7979				100,0

**Çizelge 7.** Nu sayısı için doğrulama deney sonuçları (Results of confirmations experiment for Nu number)

	Başlangıç Parametresi	Optimum parametre	
		Tahmin Edilen	Deney Sonucu
Seviye	$A_1B_1C_1$	$A_4B_2C_1$	$A_4B_2C_1$
Nusselt Sayısı	68,8	130,65	130,9
S/N Oranı (dB)	36,75	42,32	42,34

Başlangıç parametresine göre deney sonucunda elde edilen Nu sayısı iyileştirme miktarı: 5,59 dB.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, farklı deney parametrelerinin hava akışkanlı güneş kollektörü ısı transfer miktarına olan etkileri Taguchi metodu ile optimize edilmiştir. Ayrıca her bir parametrenin yüzde etki miktarları ANOVA yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Isı transfer miktarının maksimum olması için gerekli olan parametre dizilimi  $A_4B_2C_1$  (Re=5000, Tip-II ve  $\alpha=25^\circ$ ) olarak tespit edilmiştir.
- ANOVA analizi sonuçlarına göre ısı transfer miktarını (Nu) en çok etkileyen parametre %73,77 ile Re sayısı olur iken en az etkileyen parametre ise %7,78 ile kollektör eğim açısıdır. Kollektör tipinin etki miktarı ise %18,08'dir. Re sayısının artırılması ile Nu sayısı değerleri önemli ölçüde artırılabilir.
- Taguchi metodu kullanılarak yapılan optimizasyon ile elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbiri ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

#### SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

A	Alan, $m^2$
$c_p$	Havanın özgül ısısı, $J/kg^\circ C$
$D_h$	Hidrolik çap, m
h	Isı taşınım katsayısı, $W/m^2^\circ C$
I	Işınım Şiddeti, $W/m^2$
k	Isı iletim katsayısı, $W/m^2^\circ C$
$\dot{m}$	Kütleli debi, $kg/s$
Nu	Nusselt sayısı
Re	Reynolds sayısı
$\dot{Q}_u$	Yararlı ısı, W
T	Sıcaklık, $^\circ C$
U	Hava hızı, $m/s$

$\nu$  Kinematik viskozite,  $m^2/s$

$\rho$  Yoğunluk,  $kg/m^3$

#### Alt Simgeler (Subscripts)

g Giriş

ç Çıkış

k Kollektör

y Yüzey

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kumar A., Saini R.P., Saini J.S., "A review of thermohydraulic performance of artificially roughened solar air heaters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37: 100–122, (2014).
- [2] Acir A., Ata İ., Canlı M.E., "Investigation of effect of the circular ring turbulators on heat transfer augmentation and fluid flow characteristic of solar air heater", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 77: 45-54, (2016).
- [3] Lin W., Ma Z., "Using Taguchi-Fibonacci search method to optimize phase change materials enhanced buildings with integrated solar photovoltaic thermal collectors", *Energy*, 106: 23-37, (2016).
- [4] Kuo C.F.J., Su T.L., Jhang P.R., Huang C.Y., Chiu C.H., "Using the Taguchi method and grey relational analysis to optimize the flat-plate collector process with multiple quality characteristics in solar energy collector manufacturing", *Energy*, 36: 3554-3562, (2011).
- [5] Kotcioglu I., Cansiz A., Khalaji M.N., "Experimental investigation for optimization of design parameters in a rectangular duct with plate-fins heat exchanger by Taguchi method", *Applied Thermal Engineering*, 50: 604-613, (2013).
- [6] Yadav S., Kaushal M., Varun, Siddhartha, "Nusselt number and friction factor correlations for solar air heater duct having protrusions as roughness elements on absorber plate", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44: 34–41, (2013).

- [7] Acir A., Ata İ., “A study of heat transfer enhancement in a new solar air heater having circular type turbulators”, *Journal of the Energy Institute*, 89: 606-616, (2016).
- [8] Chamoli S., Yu P., Kumar A., “Multi-response optimization of geometric and flow parameters in a heat exchanger tube with perforated disk inserts by Taguchi grey relational analysis”, *Applied Thermal Engineering*, 103: 1339–1350, (2016).
- [9] Bopche S.B., Tandale M.S., “Experimental investigations on heat transfer and frictional characteristics of a turbulator roughened solar air heater duct”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52: 2834–2848, (2009).
- [10] Celik N., Pusat G., Turgut E., “Application of Taguchi method and grey relational analysis on a turbulated heat exchanger”, *International Journal of Thermal Sciences*, 124: 85–97, (2018).
- [11] Ansari M., Bazargan M., “Optimization of flat plate solar air heater with ribbed surfaces”, *Applied Thermal Engineering*, 136: 356–363, (2018).
- [12] Acir A., Canlı M.E., Ata İ., Çakıroğlu R., “Parametric optimization of energy and exergy analyses of a novel solar air heater with grey relational analysis” *Applied Thermal Engineering*, 122: 330–338, (2017).
- [13] Chamoli S. “A Taguchi approach for optimization of flow and geometrical parameters in a rectangular channel roughened with V down perforated baffles”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 5: 59–69, (2015).
- [14] Sahin B., Demir A., “Performance analysis of a heat exchanger having perforated square fins”, *Applied Thermal Engineering*, 28: 621–632, (2008).
- [15] Sharma S.K., Kalamkar V.R., “Experimental and numerical investigation of forced convective heat transfer in solar air heater with thin ribs”, *Solar Energy*, 147: 277–291, (2017).
- [16] Pandey N.K., Bajpai V.K., Varun, “Experimental investigation of heat transfer augmentation using multiple arcs with gap on absorber plate of solar air heater”, *Solar Energy*, 134: 314–326, (2016).
- [17] Kline S.J., McClintock F.A., “Describing uncertainties in single sample experiments”, *Mechanical Engineering*, 75, 3–8, (1953).
- [18] Taguchi G., “Taguchi techniques for quality engineering”, *Quality Resources*, New York, (1987).
- [19] Güneş S., Manay E., Senyigit E., Ozceyhan V., “A Taguchi approach for optimization of design parameters in a tube with coiled wire inserts”. *Applied Thermal Engineering*, 31: 2568-2577, (2011).
- [20] Aghaie A.Z., Rahimi A.B., Akbarzadeh A., “A general optimized geometry of angled ribs for enhancing the thermo-hydraulic behavior of a solar air heater channel- A Taguchi approach”, *Renewable Energy*, 83: 47-54, (2015).