

## Dikdörtgen Kanatlı Yüzeyler Üzerindeki Isı Transfer Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemiyle Deneysel Olarak İncelenmesi

Onur YEMENİCİ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16000, Bursa

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0011-8343>

\*Sorumlu yazar: osecin@uludag.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.01.2024

Kabul tarihi: 21.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Dikdörtgen kanat

Taguchi yöntemi

Stanton sayısı

Isı transferi

Rüzgar tüneli

### ÖZ

Bu çalışmada ısıtılmış dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerinden akışta akış hızı, kanat yüksekliği ve kanat sayısının ısı transferi üzerindeki etkileri Taguchi yöntemiyle deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler 12, 18 ve 24 mm kanat yüksekliğinde ardışık 7, 8 ve 9 adet kanada sahip yüzeyler üzerinden 3, 10 ve 15 m/s akış hızları için düşük hızlı bir rüzgâr tünelinde yapılmıştır. Serbest akış ve duvar sıcaklıkları termal çiftler ile ölçülmüş ve performans parametresi olarak Stanton sayısı dikkate alınmıştır. Deneysel plan olarak L9 ortogonal dizisi seçilmiş ve sonuçlar sinyal-gürültü (S/N) oranı ve ANOVA yöntemi kullanılarak en uygun koşullar açısından analiz edilmiştir. Kanatlı yüzeyler üzerinde akışta ısı transferi kanat yüksekliği, kanat sayıları ve akış hızıyla artmıştır. Isı transferini artırmak için en etkili parametre sırasıyla akış hızı ve kanat yüksekliği iken, kanat sayısı en az etkili parametre olarak belirlenmiştir. En iyi sonuç 9 adet 24 mm kanat yüksekliğine sahip yüzey üzerinde 15 m/s akış hızında elde edilmiştir.

## Experimental Investigation of Heat Transfer Characteristics over Rectangular Fin Surfaces by Taguchi Method

### Research Article

#### Article History:

Received: 23.01.2024

Accepted: 21.05.2024

Published online: 10.12.2024

#### Keywords:

Rectangular fin

Taguchi method

Stanton number

Heat transfer

Wind tunnel

### ABSTRACT

In this study, the effects of flow velocity, fin height, and the number of fins on heat transfer over heated rectangular fin surfaces were experimentally investigated using the Taguchi method. Experiments were conducted in a low-speed wind tunnel with surfaces having consecutive 7, 8 and 9 fins with heights of 12, 18 and 24 mm, and for flow velocities of 3, 10, and 15 m/s. Free stream and wall temperatures were measured with thermocouples, and the Stanton number was considered as the performance parameter. An L8 orthogonal array was chosen as the experimental design, and the results were analyzed in terms of signal-to-noise (S/N) ratio and the analysis of variance (ANOVA) method to determine the optimal conditions. Heat transfer over fin surfaces increased with fin height, fin numbers, and flow velocity. While the most effective parameters in increasing heat transfer were flow velocity and fin height, respectively, the least effective parameter was determined as the number of fins. The optimal result was obtained with 9 fins of 24 mm height on the surface at a flow velocity of 15 m/s.

**To Cite:** Yemenici O. Dikdörtgen Kanatlı Yüzeyler Üzerindeki Isı Transfer Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemiyle Deneysel Olarak İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2084-2093.

## 1. Giriş

Dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerindeki akış ve ısı transferi analizleri birçok mühendislik problemi ve tasarımı için büyük önem taşımaktadır. Kanatlar akışta ayrılma-yeniden birleşmeden kaynaklanan akış kararsızlığı ve daha büyük ısı transfer alanı yaratarak ısı transferini arttırmakta ve daha az enerji tüketimine yol açmaktadır. Bu nedenle elektronik devreler, soğutma kanalları, biyomedikal sistemler gibi birçok uygulama alanında kanatlı yüzeyler aktif olarak kullanılmaktadır. Kanatlı yüzeyler üzerinde akış ve ısı transferi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Kim ve Anand (1994), yüzey monteli ısı kaynaklarına sahip bir dizi paralel levha arasındaki türbülanslı ısı transferini incelemiş ve yüzeylerin ortalama ısı transferinin Reynolds sayısı ile arttığını bildirmiştir. Chomdee ve Kiatsirirot (2007), bir elektronik modül dizisinin giriş bölgesinde delta kanatçık vorteks jeneratörleri ile ısı transferini arttırmak için bir çalışma yapmıştır. Naik ve ark. (1999), kanatlı yüzeylerin ısı transferi üzerindeki etkilerini inceledi ve kanat yüksekliği ile ısı transfer oranlarının arttığını bildirmiştir. Bilen ve Yapıcı (2001), dikdörtgen bir kanal içerisine yerleştirilen türbülans artırıcıların farklı düzenlemelerinin ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Herman ve Kang (2001), oluklu bir kanalın zorlanmış taşınım ile soğutulması için üç farklı ısı transferi artırma stratejisinin sonuçlarını incelemişler ve paralel levha kanalına kıyasla oluklu kanalın ısı transferini artırdığını bulmuşlardır. Ryu ve ark. (2007a, 2007b) iki boyutlu kanatlara ve üç boyutlu bloklara sahip kanallardaki türbülanslı akışın akış ve ısı transfer karakteristiklerini iki ayrı çalışma ile incelemişlerdir. Sonuç olarak blok düzenlemelerinin akış karakteristiklerini önemli ölçüde etkilediğini ve ısı transferini artırdığını belirtmişlerdir. Isı üreten bloklara sahip bir kanaldaki iki boyutlu zorlanmış taşınım Tsay ve Cheng (2008) tarafından incelenmiş ve ısı transferinin blok yüksekliği arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Yemenici ve ark. (2012, 2017), bloklu yüzeyler üzerinden laminar ve türbülanslı akışta blok yükseklikleri ile akış hızlarının akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkilerini deneysel ve nümerik olarak iki ayrı çalışmada incelemişlerdir. Son yıllarda deney tasarımı ve kalite kontrolü konularında Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem çeşitli parametrelerin ve seviyelerinin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Maksimum anlamlı verinin minimum zaman ve maliyetle toplanmasının yanı sıra sistemin performansını belirleyen faktörlerin etkileşimi ve optimum parametre ayarları da bu metotla belirlenebilir. Bu nedenle Taguchi deneysel tasarım yöntemi literatürde etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Arslanoglu ve Yiğit (2016) yaptıkları çalışmada aydınlatma lambalarının ışınımının insan termal konforu üzerinde etkisini Taguchi yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Comakli ve ark. (2009) ısı pompalarında R22 ve R404A soğutucu karışımlarının optimum çalışma koşullarının belirlenmesi için yine Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Türkan (2022) Taguchi metodu kullanılarak mürekkep püskürtülmesinin optimizasyon analizini yapmıştır. Witcher ve ark. (2017) Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanarak düşük hızlı bir kanat tasarımının aerodinamik analizini gerçekleştirmiştir.

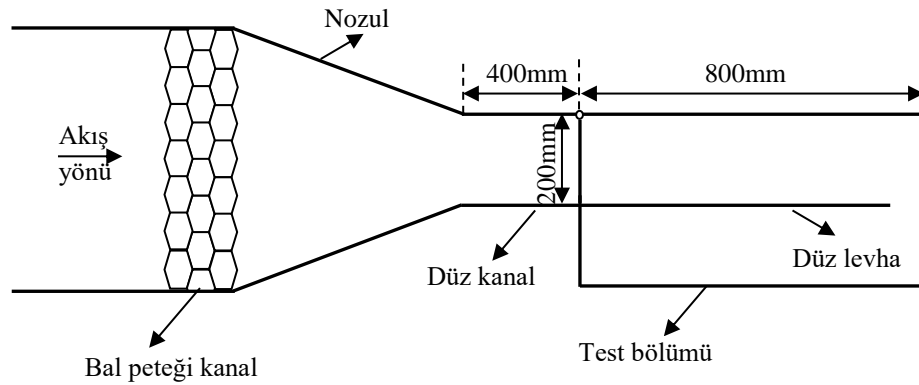
Literatürde kanatlı yüzeyler üzerinden akışta akış ve ısı transferi ile ilgili yapılan araştırmalar, akışın karmaşıklığından dolayı, ya akış şartları ya da kanat geometrisinin etkilerini incelemek üzerinedir.

Mevcut çalışmada hem akış şartları hem de kanat geometrisi değiştirilerek bu açığın kapanması amaçlanmaktadır. Akış hızı, kanat yüksekliği ve kanat sayısının ısı transferi üzerindeki bileşik etkileri deneysel olarak incelenmiş ve ısı transferi artış miktarı üzerinde bu parametrenin etkileri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Böylece her bir parametrenin ısı transferi artış miktarına olan katkılarını aynı anda değerlendirilmiş ve tasarımda öncelikli parametreler belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada tüm deneyler Şekil 1’ de gösterilen üflemeli tip düşük hızlı bir rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Test bölümünün girişindeki maksimum akış hızı 30 m/s ve türbülans yoğunluğu %0,7’ dir. Akış hızı 6 kW’ lık rüzgar tüneli içindeki bir kelebek vanayla kontrol edilmektedir. Test bölümüne girmeden önce hava 305 x 305 mm<sup>2</sup> kesit alanına ve 150 mm kalınlığına sahip olan bir bal peteği kanal, 1.5:1 daralma oranına sahip bir nozul ve 305 x 305 mm<sup>2</sup> çıkış alanına sahip 400 mm uzunluğundaki bir düzeltme kanalı içinden geçmektedir. Pleksiglas test bölümünün giriş alanı 200 x 305 mm<sup>2</sup> ve uzunluğu 800 mm’ dir.

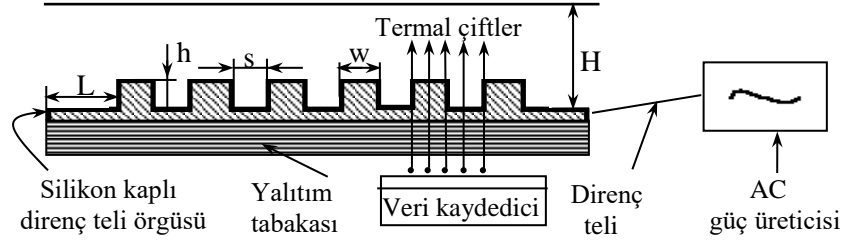


Şekil 1. Rüzgar tüneli ve test bölümünün şematik gösterimi

Deneyler 240 mm genişliğinde ve 750 mm uzunluğundaki bakır bir düz levha ve bu düz levhalardan elde edilen 9 farklı konfigürasyona sahip dikdörtgen kanatlı yüzeyler ile gerçekleştirilmiştir. Kanatlı yüzeyler kanat yükseklikleri (h) 12, 18 ve 24 mm alınarak, 7, 8 ve 9 adet ardışık kanatlardan oluşturulmuştur. Test bölümünün genişliği (W) ve yüksekliği (H), kanat genişliği (w), kanatlar arasındaki boşluklar (s) ve test bölümünün girişinden ilk kanada kadar olan uzunluk (L) tüm ölçümler boyunca sırasıyla 240, 200, 30, 30 ve 60 mm olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kanat yükseklikleri uygulamada kullanılan gerçek kanat yükseklikleri göz önüne alınarak seçilirken, kanat sayıları deney düzeneğine uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Literatürde en iyi ısı transfer performansı en büyük kanat yüksekliği ve en fazla kanat sayısı ile elde edilmektedir. Ancak büyük kanat yüksekliğinin uygulama alanları sınırlıdır ve kanat sayısının etkisi de akış yüzeyi boyunca azalmaktadır.

Tüm sıcaklıklar yüzeylerin altına monte edilmiş bakır-constant termal çiftler ve bir veri kaydedici ile ölçülmüştür. Şekil 2’ de gösterildiği gibi, kanatlı yüzeylerin alt yüzeyi sabit ısı akışı elde etmek için 0.1

mm çapında silikon kaplı krom-nikel dirençli tel örgü ile kaplanmış ve ardından ısı kaybını minimize etmek amacıyla bir yalıtım tabakası ile örtülmüştür. Düz levha üzerindeki sıcaklık ölçümleri akış yönünde 30, 60, 180, 300, 420, 540 ve 660 mm mesafesinde olmak üzere yedi ölçüm noktasında yapılmıştır. Kanatlı yüzeylerde ise termal çiftler her bir kanadın üst yüzeyine eşit aralıklı üçer adet, kanatlar arasındaki tüm boşluklarda birer adet ve ilk kanatların önünde bir adet olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Kanatlı yüzey konfigürasyonu ve termal çiftlerin detayı

Düz ve kanatlı yüzeylerde ısı taşınım katsayıları ve buna bağlı olarak Stanton sayıları sırasıyla

$$h=q/(T_w-T_0)$$

(1)

$$St=h/\rho U C_p$$

(2)

formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada net ısı akısı ( $q$ ), aynı yüzey sıcaklığını elde etmek için akış varken ( $q_f=V_f I_f/A$ ) ve akış olmadığında elde edilen ısı akısı ( $q_o=V_o I_o/A$ ) farkını temsil etmektedir.  $V$  ve  $I$  ise sırasıyla voltaj ve akım değerlerini ifade etmektedir. Kanatlı yüzeyler üzerinden elde edilen deneysel Stanton sayıları, düz yüzey deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Belirsizlik analizi için Kline ve McClintock (1953) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinden elde edilen maksimum belirsizlik oranı  $\pm\%2.5$  iken, bu ölçümler kullanılarak hesaplanan Stanton sayısındaki maksimum belirsizlik  $\pm\%3.5$  olarak hesaplanmıştır.

## 2.2. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi deney tasarım için ortogonal dizileri kullanarak, gerekli verileri minimum zaman ve maliyetle elde ederek verimliliğe katkı sağlamaktadır. Bu yöntemde elde edilen deney sonuçları, sinyal/gürültü ( $S/N$ ) değerlerine dönüştürülerek değerlendirilir.  $S/N$  değeri, kalite değişkeninin hedef türüne göre "daha küçük, daha iyi", "daha büyük, daha iyi", "nominal, en iyi" olmak üzere üç farklı şekilde hesaplanıp analiz edilir. Bu çalışmada çıkış değişkeni Stanton sayısı ( $St$ ) olduğu için Eşitlik (3)' de verilen "daha büyük, daha iyi" türündeki  $S/N$  denklemi kullanılmıştır.

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

(3)

Burada;  $n$  gözlem sayısını ve  $y$  gözlemlenen verileri ifade etmektedir. Parametrelerin etkilerini değerlendirmek için ortalama değerler, sinyal/gürültü (S/N) oranları ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. ANOVA, incelenen değişkenlerle oluşturulan ve çıkış değişkenindeki varyasyonu açıklamak amacıyla kurulan bir regresyon modeline uygulanmıştır. Bu yöntemle, Lock ve ark. (2017) tarafından belirtildiği gibi, hangi parametrelerin etkili olduğu ve değişkenliği açıklamaya ne kadar katkıda buldukları belirlenmiştir.

Mevcut çalışmada, dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerinden akışta ısı transferini arttırmak amacıyla kanat yüksekliği, akış hızı ve kanat sayısı olmak üzere üç parametreyi optimize etmek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Böylece en yüksek ısı transferinin elde edildiği en uygun parametre seti bulunmuştur. 3 parametrenin 3 seviyede incelenmesi amacıyla tam faktöriyel bir deney planı kullanılırsa, her bir model için  $3^3 = 27$  adet deney yapmak gerekmektedir. Ancak bu çalışmada, Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanılarak gerekli deney sayısı 1/3 oranında azaltılarak 9 farklı deney tasarımı için yapılmıştır. Parametreler ve seviyeleri Tablo 1’ de ayrıntılı olarak verilirken, deney planını belirleme amacına en uygun Taguchi L9 deney planı ise Tablo 2’ de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Deneyde kullanılan parametre ve seviyeler

Parametreler	Seviye 1	2	3
Kanat yüksekliği (mm)	12	18	24
Akış hızı (m/s)	3	10	15
Kanat sayısı	7	8	9

**Tablo 2.** Taguchi ortogonal L9 dizisi deney planı

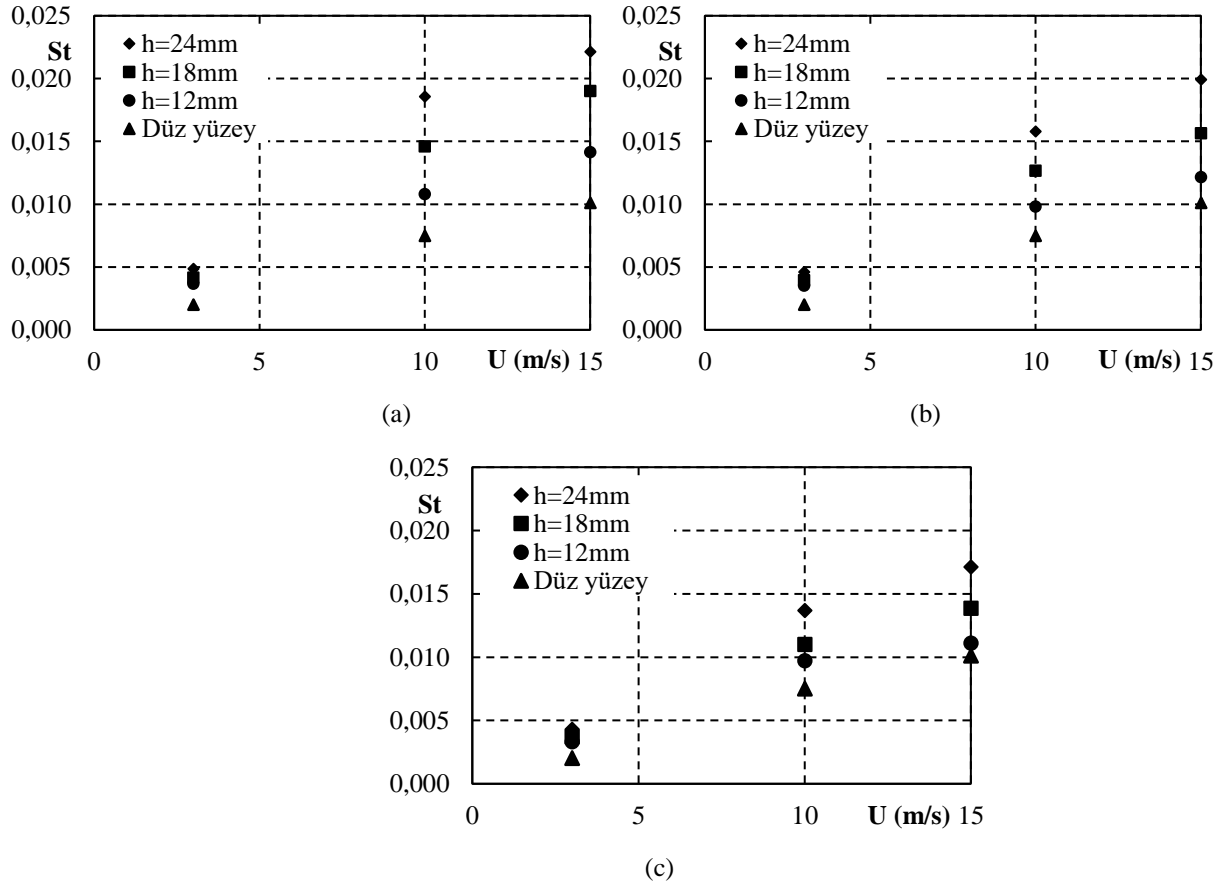
Deney no	Kanat yüksekliği (mm)	Akış hızı (m/s)	Kanat sayısı
T1	12	3	7
T2	12	10	8
T3	12	15	9
T4	18	3	8
T5	18	10	9
T6	18	15	7
T7	24	3	9
T8	24	10	7
T9	24	15	8

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Deney Sonuçları

Bu bölümde dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerinde akışta ölçülen sıcaklık verileriyle elde edilen Stanton sayıları üzerinde akış hızı, kanat yüksekliği ve kanat sayılarının etkisi incelenmiştir. Ayrıca düz yüzey üzerinden akışta elde edilen sonuçlarla da karşılaştırma yapılmıştır. Wu ve Perng (1999)’ in çalışma sonuçlarına benzer şekilde, tüm hız değerleri için kanatlı yüzeylerde en büyük St sayısı ilk kanadın üst köşesinde elde edilmiş ve akış boyunca azalmıştır. Düz yüzey değerlerine kıyasla daha yüksek olmasına rağmen, kanatlı yüzeylerdeki en düşük değerler ise dolaşım bölgelerinin olduğu kanat aralarında tespit edilmiştir. En sondaki kanadın arkasında da yeniden dolaşım bölgelerinden dolayı düşük Stanton sayıları

elde edilmiştir. Şekil 3 (a), (b) ve (c)' de kanatlı ve düz yüzeyler üzerinden akışta ortalama Stanton sayısının serbest akış hızı ile değişimi 9, 8 ve 7 kanat sayıları için sırasıyla verilmiştir. 9 adet 12, 18 ve 24 mm yüksekliğe sahip kanatlı yüzeylerde düz yüzeye göre St sayısı artışı  $U=3$  m/s için sırasıyla %82, %105 ve %142 ve  $U=15$  m/s için sırasıyla %40, %88 ve %118 olarak hesaplanmıştır. 10 m/s akış hızı için, 8 adet 12, 18 ve 24 mm kanat yüksekliğine sahip kanatlı yüzeyler üzerinden akışta St değerlerinin düz yüzeye göre artışı sırasıyla 1,3; 1,7 ve 2,1 oranındadır. Kanat yükseklikleri ve serbest akış hızları arttıkça ısı transferi artmış ve düz yüzey ile kıyaslandığında St sayısındaki artışın düşük hızlı akışlarda daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kanat sayısının artması da Stanton sayısında bir artışa sebep olmuştur.



Şekil 3. Kanatlı ve düz yüzeyler üzerinde akışta Stanton sayısının serbest akış hızı ile değişimi (a)  $n=9$ , (b) 8 ve (c) 7

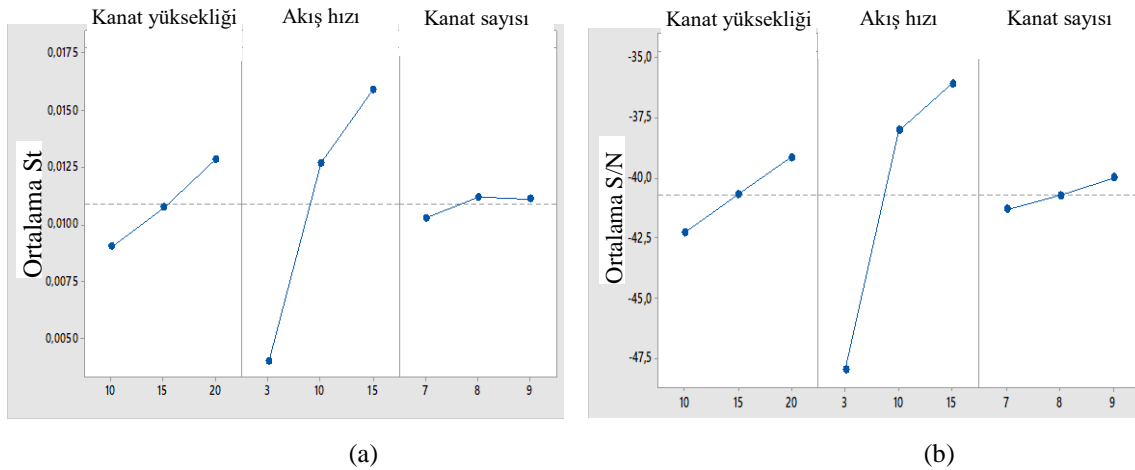
### 3.2. Taguchi Analizi

Bu çalışmada her biri 3 parametre için 3 seviye seçilerek 9 farklı deney için hesaplanan Stanton sayıları ile Taguchi yöntemi kullanılarak ANOVA analizleri gerçekleştirilmiştir. Isı transferi üzerindeki hata kaynaklarının etkisini gözlemlmek için her deney aynı koşullar altında üç kez tekrarlanmıştır. 7, 8 ve 9 adet ardışık kanat için, kanat yükseklikleri 12, 18, 24 mm ve serbest akış hızları 3, 10 ve 15 m/s değerleri alınmıştır. Tablo 3' te kanatlı yüzeylerin ortalama Stanton sayısı değerleri, S/N oranları ve istatistiksel sonuçlar verilmiştir.

**Tablo 3.** Kanatlı yüzeyler için St ve S/N değerleri

Deney no	St	S/N oranı	Standart sapma
T1	0,003317	-49,584846	0,000028
T2	0,009770	-40,202344	0,000051
T3	0,014003	-37,076342	0,000148
T4	0,003934	-48,107082	0,000073
T5	0,014504	-36,770708	0,000106
T6	0,013750	-37,236154	0,000218
T7	0,004857	-46,273027	0,000052
T8	0,013762	-37,228169	0,000210
T9	0,019907	-34,020252	0,000101

Şekil 4 (a) ve (b)' de parametrelerin ısı transferi artışı üzerine etkilerini incelemek için sırasıyla ortalama St ve S/N değerleri verilirken, Tablo 4' de S/N oranları için çıkış değerleri ve 3 parametrenin etkisine göre sıralama değerleri verilmiştir. En yüksek ve en düşük ortalama St sayısı değerleri sırasıyla T9 ve T1 geometrisinde elde edilmiştir. S/N değeri değişimlerine göre, en yüksek St değeri, en büyük ortalama S/N oranlarına sahip 24 mm kanat yüksekliğine sahip 9 adet kanatlı yüzey üzerinde ve 15 m/s giriş hızında elde edilmiştir. Kanat yüksekliği, akış hızı ve kanat sayısının artması ısı transferini arttırmıştır. S/N oranları için çıkış değerlerine göre parametrelerin ısı transferi üzerinde en etkili parametrenin giriş hızı, ikinci olarak kanat yüksekliği ve son olarak da kanat sayısı olduğu belirlenmiştir.

**Şekil 4.** Kanatlı yüzeyler için ana etki grafikleri: (a) Ortalama St, (b) Ortalama S/N değeri**Tablo 4.** S/N oranları için çıkış değerleri

Seviye	Kanat yüksekliği (mm)	Akış hızı (m/s)	Kanat sayısı
1	-42,29	-47,99	-41,35
2	-40,70	-38,07	-40,78
3	-39,17	-36,11	-40,04
Delta	3,11	11,88	1,31
Rank	2	1	3

ANOVA, sonuçlar üzerinde her bir parametrenin katkısını ve birbirleriyle etkileşimlerini tanımlamak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu çalışmada ANOVA yöntemi kanatlı yüzeyler üzerinden akışta kanat yüksekliği, akış hızı ve kanat sayısının ısı transferi üzerine etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Tablo 5’ de verilen ANOVA sonuçları ile matematiksel modelin güvenilirliği ve parametrelerin katkı oranları sunulmuştur. Hesaplanan p değerlerine göre, St sayısı değişiminde kanat sayısının anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Determinasyon katsayısının ( $R^2$ ) 94,42 değeri ise kurulan matematiksel modelin parametrelerin St sayısı üzerine etkilerini doğru olarak açıkladığını göstermektedir. St sayısı üzerine giriş hızının etkisinin %85,7, kanat yüksekliğinin etkisinin %7,9 ve kanat sayısının etkisinin %0,75 olduğu bulunmuştur. Parametrelerin St sayısı değişimine olan katkı değerlerine göre akış hızı en etkili parametre olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 5.** Kanatlı yüzeyler için ANOVA değerleri

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	p-Value	%
Kanat yüksekliği	2	0,000021	0,00001	1,41	0,414	7,9
Akış hızı	2	0,000228	0,000114	15,38	0,049	85,7
Kanat sayısı	2	0,000002	0,000001	0,12	0,894	0,75
Error	2	0,000015	0,000007			
Total	8	0,000266				
<b>Model Summary</b>						
	<b>S</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> (adj)</b>			
	0,0027241	94,42%	77,67%			

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, kanat yüksekliği, kanat sayısı ve akış hızlarının ısı transferi karakteristikleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar üzerinde her bir parametrenin etkisi Taguchi ve ANOVA yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır.

- Kanatların varlığının ısı transferini önemli derecede arttırdığı ve bu artışın kanat yüksekliği, kanat sayısı ve akış hızına önemli ölçüde bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Kanatlı yüzeyler üzerinden akışta ortalama St sayıları, kanat yükseklikleri ve kanat sayılarına bağlı olarak, 3, 10 ve 15 m/s akış hızları için sırasıyla 0,0049-0,0033, 0,019-0,0098 ve 0,022-0,011 arasında tespit edilmiştir.
- Kanatlı yüzeyler üzerinde akışta ortalama Stanton sayısı değerleri kanat yüksekliği, kanat sayıları ve akış hızıyla artmıştır. Ayrıca Stanton sayısındaki artış, düz yüzey ile kıyaslandığında, 3 m/s hıza sahip laminar akışta daha belirgindir.
- Kanatlı yüzeyler üzerinde akışta St sayısı değerleri düz yüzey değerleri ile karşılaştırıldığında kanat yüksekliği, kanat sayıları ve akış hızına bağlı olarak yaklaşık %10-%140 arasında artmıştır.
- Isı transferini arttırmak için en etkili parametre sırasıyla akış hızı ve kanat yüksekliği iken, kanat sayısı en az etkili parametre olarak belirlenmiştir.



- Kanat yüksekliği ve akış hızı ortalama St değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı iken, kanat sayısı tek başına bu değerler üzerinde en az etkiye sahiptir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Kaynakça**

- Arslanoglu N., Yigit A. Experimental investigation of radiation effect on human thermal comfort by Taguchi method. *Applied Thermal Engineering* 2016; 92: 18–23.
- Bilen K., Yapici S. Heat transfer from a surface fitted with rectangular blocks at different orientation angle. *Heat and Mass Transfer* 2001; 38: 649–655.
- Chomdee S., Kiatsiriroat T. Air-cooling enhancement with delta winglet vortex generators in entrance region of in-line array electronic modules. *Heat Transfer Engineering* 2007; 28: 372–379.
- Comakli K., Simsek F., Comakli O., Sahin B. Determination of optimum working conditions R22 and R404A refrigerant mixtures in heat-pumps using Taguchi method. *Applied Energy* 2009; 86: 2451–2458.
- Herman C., Kang E. Comparative evaluation of three heat transfer enhancement strategies in a grooved channel. *Heat and Mass Transfer* 2001; 37: 563–575.
- Kim SH., Anand NK. Turbulent heat transfer between a series of parallel plates with surface-mounted discrete heat sources. *ASME Journal of Heat Transfer* 1994; 116: 577–587.
- Lock RH., Lock PF., Morgan KL., Lock EF., Lock DF. *Statistics: Unlocking the power of data*. 2<sup>nd</sup> Ed. John Wiley & Sons Inc.: 2017.
- Holman JP. *Experimental methods for engineers*. 5th ed. NY: McGraw Hill; 1989.
- Naik S., Probert SD., Bryden IG. Heat transfer characteristics of shrouded longitudinal ribs in turbulent forced convection. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 1999; 20: 374–384.
- Ryu DN., Choi DH., Patel VC. Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional blocks, Part II: Heat transfer. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2007; 28: 1112–1124.
- Ryu DN., Choi DH., Patel VC. Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional blocks, Part I: Resistance. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2007; 28: 1098–1111.
- Turkan B. Optimization analysis of the inkjet using the Taguchi method. *Pamukkale Universitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2023; 29(3): 281-288.
- Tsay YL., Cheng, JC. Analysis of convective heat transfer characteristics for a channel containing short multi-boards mounted with heat generating blocks. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2008; 51: 145–154.
- Umur H., Yemenici O., Umur Y., Sakin A. Flow and heat transfer characteristics over rectangular blocked surfaces. *Experimental Heat Transfer* 2017; 30(3): 192-204.

- Witcher K., McAndrew I., Vishnevskaya E. Aerodynamic analysis of low speed wing design using Taguchi L9 orthogonal array. Asia Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, 2017.
- Wu HW., Perng SW. Effect of oblique plate on the heat transfer enhancement of mixed convection over heated blocks in a horizontal channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 1999; 42: 1217–1235.
- Yemenici O., Fıratoğlu ZA., Umur H. An experimental investigation of flow and heat transfer characteristics over blocked surfaces in laminar and turbulent flows. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2012; 55: 3641-3649.