



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DÜZ PLAKALI YÜZEYLERDE YATAY
YÖNDE SİNÜZOİDAL DALGALANDIRILMIŞ
KANATÇIKLARIN DOĞAL TAŞINIM VE
İŞİNİM İLE ISI TRANSFERİ ETKİLERİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

MUHAMMED MUSAB GAVGALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2021

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Musab GAVGALI tarafından hazırlanan “**DÜZ PLAKALI YÜZEYLERDE YATAY YÖNDE SİNÜZOİDAL DALGALANDIRILMIŞ KANATÇIKLARIN DOĞAL TAŞINIM VE İŞİNİM İLE ISI TRANSFERİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması 24/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmza****Başkan**

Prof. Dr. Saim KOÇAK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Aziz Hakan ALTUN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ulaş ATMACA

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması “Düz Plakalı Yüzeylerde Yatay Yönde Dalgalandırılmış Kanatçıkların Doğal Taşınım Isı Transferi Etkilerinin Deneysel ve Nümerik İncelenmesi” tarafından 20401053 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed Musab GAVGALI

Tarih: 24/12/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

DÜZ PLAKALI YÜZEYLERDE YATAY YÖNDE SİNÜZOİDAL DALGALANDIRILMIŞ KANATÇIKLARIN DOĞAL TAŞINIMLA VE IŞINIM ile ISI TRANSFERİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Muhammed Musab GAVGALI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aziz Hakan ALTUN

2021, 74 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Aziz Hakan ALTUN
Prof. Dr. Saim KOÇAK
Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ulaş ATMACA**

Günümüzde, havacılık, uçak ve kimyasal üretim tesislerindeki çeşitli ısı değiştiricilerinde ve özellikle elektronik devrelerin soğutulması gibi oldukça geniş bir alanda ısı transferi artırımı için kanatçıklar kullanılmaktadır. Enerjinin daha verimli kullanılması, makinaların ve elektronik cihazların yüksek performanslı çalışması açısından kanatçık tasarımı oldukça önemlidir. Literatürde kanatçık tasarımı üzerinde birçok araştırmalar yapılmıştır ve halende yapılmaktadır. Araştırmacılar son zamanlarda yeni tasarımlar üzerinde çalışmalara devam etmektedir.

Bu çalışmada sabit yükseklikte, üç farklı periyotta (1, 2 ve 3), dört farklı genlik değerinde (1 mm - $H/30$, 2 mm - $H/15$, 3 mm - $H/10$ ve 5 mm - $H/6$) yatay yönde dalgalandırılmış sinüzoidal kanatçıkların doğal taşınım ile ısı transferine etkileri ışınımı da göz önüne alarak deneysel olarak belirlenmiş ve incelenmiştir Sinüzoidal kanatçıklar tez çalışması kapsamında tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneysel düz plaka, dikdörtgen kesitli ve 12 adet sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakaların yukarı, yana ve aşağı bakar konumlarında (0° , 90° , 180°), 8 farklı giriş güçlerinde (2.5-20 Watt) gerçekleştirilmiştir. Deneysel sırasında geçici rejim plaka taban sıcaklıkları ölçülmüş, ardından veri bilgisayarı ile kararlı rejim sıcaklık değerleri elde edilerek veriler indirgenmiştir. Toplamda 327 adet ayrı deney yaklaşık olarak 1100 saat içerisinde tamamlanmıştır. Işınım ile ısı transferi hesaplanırken şekil faktörü de göz önüne alınmıştır. Ayrıca ışınım ile ısı transferi hesabında ışınım yayma oranının 1 olarak kabul edilebilmesi için tüm kanatçıklar mat siyah anot kaplanmıştır.

Deneysel veriler incelenirken doğal taşınım performansı açısından gösterge olarak Nusselt sayısı (Nu) kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre kanatçıkların eklenmesi düz plakaya göre Nu değerlerini arttırdığı görülmektedir. Diğer sinüzoidal kanatçıklar içerisinde 1 periyotlu 2 mm ($H/15$) genlikli sinüzoidal kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakaya göre daha yüksek Nu değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Fakat sinüzoidal dalgalı kanatçıklarda genlik arttıkça Nu değerlerinde bir azalmanın olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin yüksek genliğin doğal taşınım hareketine engel olduğu bu nedenle de taşınım ile ısı transferini azalttığı söylenebilir. Tüm oryantasyonlar için 1 periyotlu 2 mm ($H/15$) genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçığın en yüksek Nu değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre 1 periyotlu 2 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre sırası ile 0° , 90° , 180° konumlandırılmada %32.65, %18.62 ve %29.80'e kadar varan Nu değerlerinde bir artış sağladığı görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre kanatçık konumlandırılmalarının Nu değerleri etkisi büyükten küçüğe sırası ile 0° , 180° ve 90° olduğu saptanmıştır. Yatay (0°) konumlandırmanın dikeye göre (90°) daha verimli bir oryantasyon olduğu aşağı bakar (180°) konumlandırmanın ise en verimsiz konumlandırma olduğu elde edilen sonuçlar arasındadır. Periyot ve genlik arttıkça ışınım ile gerçekleşen ısı transferi oranının arttığı görülmüştür. 3 periyotlu 5 mm ($H/6$) genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçığın en yüksek

ışınıma sahip , fakat en düşük Nu değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Tüm sinüzoidal dalgali kanatçıklardan gerçekleşen toplam ısı transferindeki ışımm oranının %37 ile %61 arasında değiştigi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dalgali Kanatçık, Genişletilmiş Yüzeylerde Doğal Taşınım, Isı alıcısı, Işımm ile Isı Transferi, Sinüzoidal Kanatçık



ABSTRACT**MS THESIS****EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF HEAT
TRANSFER BY NATURAL CONVECTION AND RADIATION OF
HORIZONTAL SINUSOIDAL WAVED FINS ON FLAT PLATE SURFACES****MUHAMMED MUSAB GAVGALI****Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering****Advisor: Assist. Prof. Dr. Aziz Hakan ALTUN****2021 Year, 74 Pages****Jury****Advisor: Assist. Prof. Dr. Aziz Hakan ALTUN****Prof. Dr. Saim KOÇAK****Assist. Prof. Dr. Şükrü Ulaş ATMACA**

Today, fins are used to increase heat transfer in various heat exchangers in aviation, aircraft, and chemical production facilities, and in a wide range of areas such as cooling of electronic circuits. Fin design is very important in terms of more efficient use of energy and high-performance operation of machines and electronic devices. A lot of research has been done on fin design in the literature and is still being done. Researchers have been working on new designs lately.

In this study, the effects of horizontal wavy sinusoidal fins on flat plate surfaces with constant height, three different periods (1, 2, and 3), and four different amplitude values (1 mm H/30, 2 mm H/15, 3 mm H/10, and 5 mm H/6) on natural convection and radiation heat transfer were investigated with a designed experimental setup. The experimental setup was designed and manufactured within the scope of the thesis study. Experiments were carried out at 8 different input powers (in the range of 2.5 - 20 Watts) with a flat plate, rectangular cross-sectional, and 12 sinusoidal wavy fin plates facing up, sideways, and down (0°, 90°, 180°). During the experiments, the transient plate base temperatures were measured, then the data were reduced by obtaining the stable regime temperature values with the data computer. In total, 327 separate experiments were completed in approximately 1100 hours. The view factor was also considered while calculating the heat transfer by radiation. In addition, all fins are covered with matte black anode so that the radiation emission rate can be accepted as 1 in the radiative heat transfer calculation.

Nusselt number (Nu) was used as an indicator while examining the experimental data in terms of natural convection performance. According to the findings, it is seen that the addition of fins increases the Nu values compared to the flat plate. Among the other sinusoidal fins, it was determined that the 1-period 2 mm (H/15) amplitude sinusoidal fin had higher Nu values than the rectangular finned plate. However, it was observed that Nu values decreased as the amplitude increased in sinusoidal wavy fins. The reason for this phenomenon is that as the amplitude increases, it prevents the natural convection movement and therefore reduces the convective heat transfer. It was observed that the sinusoidal wavy fin with 1 period and 2 mm (H/15) amplitude had the highest Nu values for all orientations. According to this result, it has been observed that the 1-period 2 mm amplitude sinusoidal fin provides an increase in Nu values up to 32.65%, 18.62% and 29.80% at 0°, 90°, 180° positioning, respectively, compared to the rectangular fin. According to the findings, it was determined that the Nu values of the fin positioning effects were 0°, 180° and 90°, respectively, from the largest to the smallest. It is among the results obtained that horizontal (0°) positioning is a more efficient orientation than vertical (90°) positioning, while downward (180°) positioning is the most inefficient positioning. It was observed that the rate of heat transfer by radiation increased as the period and amplitude increased. It was observed that the 3-period 5 mm (H/6) amplitude

sinusoidal wavy fin had the highest radiation but the lowest Nu values. It has been determined that the radiation rate in the total heat transfer from all sinusoidal wavy fins varies between 37% and 61%.

Keywords: Wavy Fin, Natural Convection on Extended Surfaces, Heat sink, Radiation Heat Transfer, Sinusoidal Fin



ÖNSÖZ

Bu çalışmamda beni yönlendiren ve her türlü yardımını esirgemeyen öncelikle danışmanım *Dr. Öğr. Üyesi Aziz Hakan ALTUN* 'a, tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen *Dr. Eyüb CANLI* 'ya ve maddi ve manevi hep yanımda duran babam *Ziya GAVGALI*, annem *Ayşen GAVGALI* ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Musab GAVGALI
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
ÖNSÖZ	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Dikdörtgen Kesitli Kanatçıklı Plakalarda Yapılmış Çalışmalar	3
2.2. Pimli Kanatçıklı Plakalarda Yapılmış Çalışmalar	7
2.3. Karmaşık Geometrilere Sahip Kanatçıklı plakalarla Yapılmış Çalışmalar.....	10
2.4. Mikro Kanatçıklı Plakalarda Yapılmış Çalışmalar	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Kanatçıkların Karakteristikleri	15
3.2. Deney Düzenegi.....	21
3.3. Deneylerin Uygulaması.....	25
3.3.1. Deneylerde kararlı rejim hali.....	26
3.4. Veri Analizi	28
3.5. Belirsizlik Analizi	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	39
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
5.1. Sonuçlar.....	58
5.2. Öneriler.....	60
KAYNAKLAR	62
EKLER	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Semboller

A :	Alan	(m ²)
α :	Sinüzoidal Kanatçıkların Genliği	(mm)
F :	Şekil Faktörü	
g :	Yerçekimi İvmesi	(m/s ²)
h :	Taşıyım Katsayısı	(W/m ² K)
H :	Yükseklik	(mm)
I :	Amper	(A)
k :	Kanatçık Ark Uzunluğu	(mm)
L :	Uzunluk	(mm)
M :	Taban Plaka Kalınlığı	(mm)
N :	Kanatçık Sayısı	
p :	Çevre	(mm)
p :	Periyot Sayısı	
P :	Güç Girdisi	W
Q :	Isı Transfer Oranı	W
S :	Kanatçıklar Arası Uzaklık	(mm)
t :	Kanatçık Kalınlığı	(mm)
T :	Sıcaklık	(K) veya (°C)
V :	Voltaj	(V)
W :	Kısa Kenar Ölçüsü, En	(mm)
W :	Belirsizlik	

Yunan Harfleri

β :	Hacimsel Genişlik Katsayısı	(1/K)
ε :	Işınım Yayıma Oranı	
μ :	Dinamik Viskozite	(kg/m.s)
ν :	Kinematik Viskozite	(m ² /s)
σ :	Stefhan-Boltzman Sabiti	(W/m ² K ⁴)
Δ :	Fark İşleci	

Üst İndisler

*	Karakteristik
---	---------------

Alt İndisler

i_s :	Işınım
f :	Film
$taş$:	Taşıyım
1:	Kanatçıklı Plaka Yüzeyi
2:	Çevre Yüzeyi
t :	Toplam
w :	Plaka Yüzeyi
∞ :	Ortam
s :	Yüzey

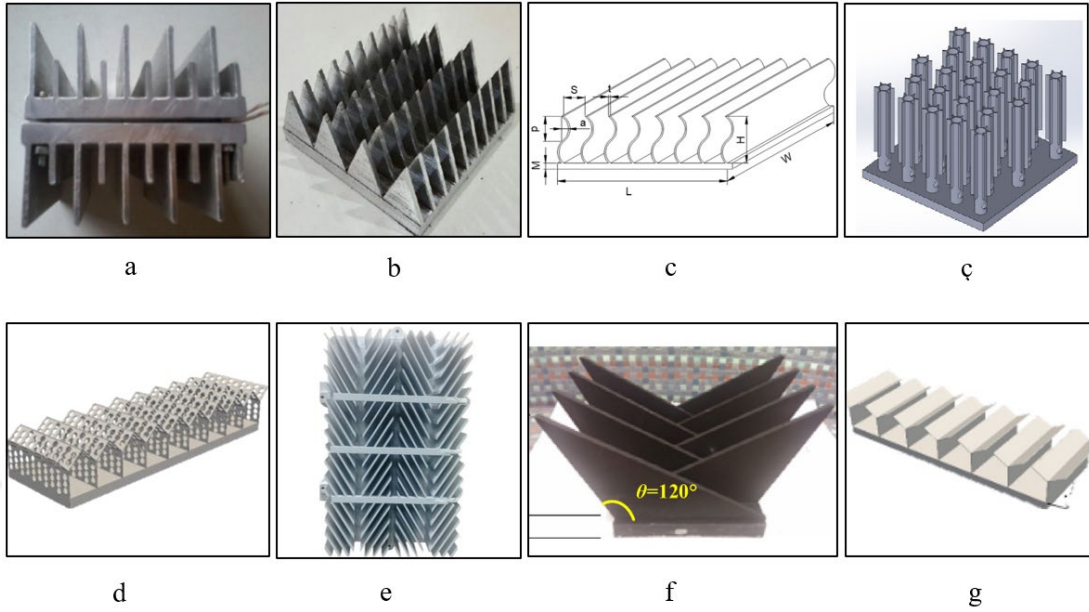
Kısaltmalar

BAP:	Bilimsel Araştırma Projesi
Nu:	Nusselt Sayısı
Gr:	Grashof Sayısı
Pr:	Prandtl Sayısı
Ra:	Rayleigh Sayısı

1. GİRİŞ

Isının bir yerden diğerine aktarılması elektronik cihazların soğutulmasından ortam ısıtmasına, ısı değiştiricilerinden iklimlendirme sistemlerine kadar birçok mühendislik uygulamalarında görülmektedir. Aynı zamanda tarımdan havacılığa, taşıtlardan uzay uygulamalarına kadar her sektörde önemli bir yere sahiptir. Birçok endüstriyel uygulamalarda cihazların aşırı ısınması ekipmanlarda güvenilirliğin azalmasına, verimde düşüşe, bazı hatalara ve bakım ihtiyacına neden olmaktadır. Bu tür önemli sorunları önlemek için kullanılan yöntemlerden biri olan pasif soğutma tekniği birçok alanda kullanılmaktadır.

Yüzeylerde ısı transferini arttırmak için kullanılan kanatçıklar, ısı transferi yüzeyini arttırmakta ve bazen akış yapısını da değiştirerek ısı transferi etkinliğini iyileştirmektedir. Pasif soğutma tasarımlarında da sıkça kanatçık kullanılmaktadır. Kanatçıklar geleneksel olarak dikdörtgen kesitli veya pimli geometrilerden oluşmaktadır. Günümüzde ise Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi çok farklı kanatçık tasarımları bulunmaktadır. Kanatçıkların kesit alanı farklı olabileceği gibi kanatçık malzemesi yüzey malzemesi ile aynı veya farklı olabilir. Farklı olması durumunda kanatçıklar, lehim, kaynak, sıkı geçme ve buna benzer yöntemlerle yüzeye tutturulurlar. Bu kanatçıklar, havacılık, uçak ve kimyasal üretim tesislerinde çeşitli ısı değiştiricilerinde ve özellikle elektronik devrelerin soğutulması gibi çok geniş bir alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca kanatçıklar, birçok elektronik sistemde üretilen ısıyı uzaklaştırarak cihazların işlevselliğini arttırmakta, hizmet süresini uzatmakta ve yüksek verimde çalışmasını sağlamaktadır. Pasif soğutma yaklaşımlarında kanatçıklar ile yüzeylerin genişletilmesinin özel bir sebebi, bu düzenlemelerde zorlanmış taşınımdaki yüksek taşınımın olmaması ve bu nedenle etkinlik artışının doğrudan yüzey alanına ve akış yapısına bağlı olmasıdır. Ayrıca, kullanılmakta olan kanatçıkların geometrileri, maliyet ve kolaylık açısından basit geometriler olarak seçilmektedir. Kanatçıkların hem ısı transferi arttırmadaki önemi ve de maliyet açısından öneminden dolayı günümüzde kanatçıklı yüzeylerden doğal taşınımla ısı transferine dair literatürde halen birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlar; kanatçıkların dizilimine, farklı geometri tasarımlarına, farklı konum açalarına, kanatçık üzerine açılan deliklere ve delik geometrilerine göre yapılan değişik çalışmalardır.



Şekil 1.1. Farklı tasarımlardaki kanatçık çeşitleri, sırası ile; a: Awasarmol ve Pise (2018), b: Davoodi ve Yaghoubi (2019), c: Altun ve Ziylan (2019), ç: Effendi ve Kim (2017), d: Karlapalem ve ark. (2019), e: K. Zhang ve ark. (2020), f: Chu ve ark. (2019), g: Karlapalem ve Dash (2021)

Bu tezde de sabit yükseklikte, üç farklı periyotta (1, 2 ve 3), kanatçık yüksekliği $H=30$ mm iken, dört farklı genlik değerinde ($H/30$, $H/15$, $H/10$ ve $H/6$) düz plakalı yüzeylerde yatay yönde sinüzoidal olarak dalgalandırılmış kanatçıkların kararlı rejim koşullarında ışıınım ve doğal taşınım ile ısı transferine etkileri, tasarlanan deney düzeneği ile incelenmiştir. Deneyle, kanatçıkların yukarı (0°), yana (90°) ve aşağı (180°) bakar konumlarında, 2.5-20 Watt arası ısıtma güç aralığında tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Rayleigh sayısına (Ra) Nusselt sayısına (Nu) ve ışıınım ile ısı transferine indirgenmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur. Kanatçıkların ve yönelimlerin birbiri ile kıyasları bu grafiklere göre yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kanatçıklı yüzeylerden doğal taşınım ile ısı transferi üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Farklı kanatçık tasarımı, açıklığı, yüksekliği, kalınlığı ve uzunluğu üzerinde çeşitli düzenlemeler yapılan literatür çalışmalarında ısı transferi performansını arttırmaya yönelik örnekler görülmektedir. Birçok farklı açıda konumlandırılmış, çok geniş aralıkta giriş güç değeri kullanarak hem deneysel hem de teorik olarak çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, farklı ve yenilikçi geometriler için ayrı başlıklar altında özetler halinde aşağıda sunulmuştur.

2.1. Dikdörtgen Kesitli Kanatçıklı Plakalarda Yapılmış Çalışmalar

Bu kısımda dikdörtgen kesitli plakalı kanatçıklarda doğal taşınım ile ısı transferi olayını inceleyen ve ışınım ile ısı transferini de dikkate alan deneysel ve sayısal çalışmaların literatür özeti sunulmuştur.

Bu çalışmalardan ilki 1985 yılında Leung ve ark. (1985) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazarlar dikey bir plaka üzerinde hem yatay hem de dikey yöndeki dikdörtgen kesitli kanatçıklardan gerçekleşen doğal taşınım ve ışınım ile ısı transferini deneysel olarak araştırmışlardır. Kanatçıklar arasındaki karşılaştırmada dikey kanatçıklı plakaların ısı performansını daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Yine sonuçlarda ısı performansını kanatçık uzunluğu ile arttırdığını göstermişlerdir. Ayrıca elde ettikleri sonuçlara göre kanatçık aralığı arttıkça ışınım oranının azaldığını ve sonrasında ise hemen hemen sabit kaldığını gözlemlemişlerdir.

Leung ve Probert (1987), dikey bir plaka üzerine yerleştirilen dikdörtgen kanatçıklarda, değişken kanatçık kalınlığının doğal taşınım ve ışınım ile ısı transfer hızına etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Beş farklı kanatçık kalınlığında (1, 3, 6, 9, 19 mm) ve ortam sıcaklığının 20°C ila 40°C üzerindeki bir plaka sıcaklığında deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar, optimum kanatçık kalınlığının 3 ± 0.5 mm olduğunu göstermişlerdir.

Naik ve ark. (1987), adyabatik ve yüksekliği değişebilen bir kanala yatay olarak konumlandırılmış kanatçıklı plakalarda doğal taşınım ve ışınımla soğutma deneyi gerçekteştirmişlerdir. Kanal yüksekliğinin kanatçık yüksekliğine oranı sıfırdan bire çikartıldığında, kanatçıklardan daha fazla ısının transfer edildiğini ve toplam ısı transferinde ışınımın katkısının ise azaldığını gözlemlemişlerdir.

Rammohan Rao ve Venkateshan (1996), çalışmalarında, yatay konumlandırılmış dikdörtgen kanatçık dizisini farklı kanatçık yüksekliği, aralığı ve ışınım yayma oranları için doğal taşınım ve ışınımla ısı transferini farklı sıcaklık aralığında incelemişlerdir. Hem taşınım hem de ışınım uygulamalarında ışınım ölçümünün önemine vurgu yapmışlardır. Toplam ısı kaybının hesaplanmasını, taşınım ve ışınımı birbirinden bağımsız olarak elde etmişlerdir. Deneyleri 0.05-0.85 gibi geniş bir ışınım yayma oranı aralığında gerçekteştirmişlerdir. Buldukları sonuçlara göre toplam ısı transferinde ışınım oranının % 7 ile 40 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Rao ve ark. (2006), kapalı bir muhafaza içindeki elektronik işlemciyi soğutmak için yatay olarak yerleştirilen dikdörtgen kanatçıklı plaka ile hem doğal taşınım hem de ışınım koşulları altında sayısal analizler gerçekteştirmişlerdir. Kanatçık yüksekliği, aralığı, taban plakası sıcaklığı ve ışınım yayma oranları gibi parametrelerin ısı transfer hızı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yazarlar, ışınımın toplam ısı transferinin %20'sine kadar katkıda bulunduğunu gözlemlemişlerdir. ışınımın ihmal edilmesinin yüzey sıcaklığının %22 daha yüksek olmasına neden olacağını, bu nedenle ışınımın ihmal edilmemesi gerektiğini göstermişlerdir.

Fujii (2007), dikey plaka üzerine eğimli olarak yerleştirilmış ve kesintili-aralıklı dizilmış dikdörtgen kanatçıklı plakaların ısıl performansını deneysel olarak araştırmıştır. Deneyleri 30°-90° gibi geniş açılı aralığında eğimli kanatçıklar üzerinde gerçekteştirmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre en iyi ısıl performansın 60° eğimli kanatçıklarda olduğunu göstermiştir. Yazar, düşük ışınım yayma oranına (0.03) sahip bir alüminyum kanatçık kullandığı için ışınım etkisinin % 1'den daha az olduğunu ve deneylerde taşınımın baskın olduğunu gözlemlemiştir.

Suryawanshi ve Sane (2009), ters çevrilmiş dikdörtgen çentiklere sahip yatay konumlandırılmış dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakalardan doğal taşınım ile ısı transferini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, ortalama ısı transfer katsayısının geleneksel kanatçıklı plakalardan yaklaşık %30-40 daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca,

araştırma bulgularında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizi verilerinin deneysel sonuçlarla tutarlı olduğunu gözlemlemiştir.

Tari (2009), $1/\sqrt{2}$ en boy oranına sahip dikey düz panel ekranlar için pasif soğutma tertibatının ısı analizini gerçekleştirmiştir. Bu, dikey düz plakadaki ışıma katkısının toplam ısı transferine oranının %50'ye kadar olduğunu ve kanatçıklı plaka eklendiğinde bu oranın önemli ölçüde arttığını gözlemlemiştir. Tari, basit ısı alıcılarının kullanılmasıyla, yüksek ısı dağılımı gerektiren çeşitli bileşenlerin bile yeterince soğutulabileceğini göstermiştir.

Khor ve ark. (2010), dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakalarda gerçekleşen ışımanın ile ısı transferinin ısı performans üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Doğal taşınım koşullarında ışıma göz ardı edilirse %30'dan fazla hata oluşabileceğini, şekil faktörü dahil edilmediğinde ise %60'tan fazla hata oluşabileceğini göstermişlerdir.

Do ve ark. (2012), dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakalarda çeşitli kanatçık geometrileri ve farklı eğim açılarında doğal taşınım koşulları altında odaklanmış fotovoltaik modülünün soğutulması için birçok deney gerçekleştirmişlerdir. Modülden uzaklaştırılan ısının %13'ü yüzey ışımaından kaynaklanan ısı transferi olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca yazarlar diğer parametrelere göre optimum kanatçık aralığının, büyük oranda sıcaklık değişimine ve eğim açısına bağlı olduğunu göstermişlerdir.

S.-H. Yu ve ark. (2012), radyal plaka üzerindeki dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakada doğal taşınım ve ışımaı göz önüne alarak kanatçık optimizasyonu üzerine deneysel ve sayısal olarak çalışmışlardır. Farklı ışıma yayma oranı ve ısı akısı parametrelerinde, kanatçık ısı performansının %12.3 oranında arttığını göstermişlerdir. Referans model ile aynı kütleye sahip optimize edilmiş model için, ortalama ısı direncin % 8.7 azaldığını gözlemlemiştir.

Tari ve Mehrtash (2013), dikeye göre geniş bir açı aralığına yerleştirilmiş ($\pm 4^\circ$, 10° , 20° , 30° , 45° , 60° , 80° , 85° , 90°) dikdörtgen kanatçıklı plakanın ısı performans analizi için bir dizi sayısal simülasyonlar yürütmüşlerdir. Hesaplamalarında ışımaı göz önüne alan yazarlar, eğim açısına bağlı olarak ışıma katkısının %13-40 arasında değiştiğini göstermişlerdir. Yazarlar, yataya göre taban açısı göz önünde bulundurularak, belirli bir Ra sayısı aralığında geçerli Nu sayısı için yeni korelasyonlar önermişlerdir.

Ahmadi ve ark. (2015), izotermal dikey konumlandırılmış çeşitli uzunluklarda dikdörtgen kesintili olarak dizilmiş kanatçıklardan gerçekleşen doğal taşınım ve ışıınım ile ısı transferi için yeni bir analitik çözüm önermişlerdir. Yeni tasarım kanatçıkların geleneksel kanatçıklardan 5 kat daha fazla ısı transfer edebildiğini ve %30'a kadar daha az ağırlığa sahip olduğunu göstermişlerdir. Yazarlar, düşük (0.1) ışıınım yayma oranına sahip kanatçıklarda %3.2 gibi düşük bir ışıınım etkisi bulmuşlar ve bu nedenle ışıınımın önemli olmadığını belirtmişlerdir.

Feng ve ark. (2018), doğal taşınım ve ışıınım ortamında yeni tasarım olan çapraz kanatçıklı plakalarda deneysel ve sayısal olarak çalışma yapmışlardır. Çapraz kanatçıklı plakanın geleneksel dikdörtgen kesitli kanatçıklara göre %11-15 arasında daha yüksek ısı transfer katsayısına sahip olduğunu göstermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre 0.32 ışıınım yayma oranında ışıınım etkisinin % 20-25 aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir.

Awasarmol ve Pise (2018), farklı eğim açılarında kısa-kanatçıklı plakalarda ısı performansını belirlemek için doğal taşınım ve ışıınım ortamında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları deneylerde 90° oryantasyon konumunda, standart yüksekliğe sahip dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakaya göre kısa-kanatçıklı plakalarının ısı performansının %28 daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca kısa kanatçık kullanıldığında % 25 daha az malzeme kullanıldığını da göstermişlerdir.

Nair ve Ghoshdastidar (2018), LED soğutma için dikey olarak yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakalarda geniş parametre değerlerinde doğal taşınım üzerine karşılaştırmalı sayısal analiz gerçekleştirmişlerdir. Doğal taşınımın yanında ışıınım etkisi de hesaba dahil edilmiştir. Toplam ısı transferindeki ışıınım oranının % 8 ila 14 arasında değiştiğini göstermişlerdir.

Abbas ve Wang (2020), doğal taşınım ve ışıınım ortamında dikey olarak yerleştirilmiş dikdörtgen kanatçıkların farklı kaydırma oranları için ısı transfer etkisini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre 0.9 ışıınım yayma oranında ışıınımın toplam ısı transferine katkısının kanatçık parametrelerine bağlı olarak % 34.5 ile 38 arasında değiştiğini göstermişlerdir. Kaydırma oranı arttıkça şekil faktörünü artırdığını fakat düşük yüzey sıcaklığı nedeniyle ışıınım ile gerçekleşen ısı transferi azalttığını göstermişlerdir.

Hassan ve Shafey (2021), doğal taşınım ve ışıınım koşullarında bir muhafaza içindeki işlemciyi soğutmak için dikdörtgen kanatçıklı plaka durumunda 3 boyutlu sayısal analiz gerçekleştirmişlerdir. Işınımsız analizlerde işlemci sıcaklığının yaklaşık % 20'ye kadar arttığını gözlemlemişlerdir. Kapalı hacimlerdeki kanatçıklarda ışıınım etkisinin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yukarıda özetlenen çalışmalarda genel olarak, düz bir plaka üzerinde dikdörtgen kesitli kanatçıkların doğal taşınım ile ısı transferinde ışıınımın önemi vurgulanmaktadır. Sonuç olarak ışıınımla ısı transferi dikkate alınmadığı sayısal çalışmalarda daha yüksek yüzey sıcaklıkları yani daha düşük ısı transferi, deneysel çalışmalarda ise daha yüksek taşınım katsayısı yani yüksek ısı transferi gözlemlendiği söylenebilir.

2.2. Pimli Kanatçıklı Plakalarda Yapılmış Çalışmalar

Pimli kanatçıklı yapılar ısıyı hızlı bir şekilde uzaklaştırmak için kullanılan diğer bir yapısal eleman çeşididir. Literatürde yer alan çalışmalarda, pim çapı, pimler arasındaki uzaklık, pim yüksekliği, delikli pimler, farklı pim kesitleri, pim dizilişleri, oryantasyonları ve benzeri çeşitli parametreler üzerinde değişiklik yapılarak farklı ısı performans sonuçları elde edilebilmiştir. Bu kısımda çeşitli kesit geometrilerine sahip, düz, delikli ve diğer pim kanatçıklı plakalarda doğal taşınım ve ışıınımla ısı transfer etkileri üzerine yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların bir özeti sunulmuştur.

Sparrow ve Vemuri (1985), dikey bir taban plakasına sabitlenmiş sık yerleştirilmiş pimli kanatçık dizilerinden hem doğal taşınım hem de ışıınımla ısı transferi üzerine deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Yüksek ışıınım elde etmek için 0.82 ışıınım yayma oranına sahip siyah eloksal kaplamalı bir alüminyum malzeme kullanmışlardır. Pimli kanatçıklı plakalarda ışıınımın toplam ısı transferine katkısının %25-40 aralığında olduğunu göstermişlerdir.

Sparrow ve Vemuri (1986) yaptıkları bir diğer çalışmada, doğal taşınım ve ışıınım ile ısı transferi ortamında 3 farklı oryantasyonda, çeşitli sıklıklardaki pimli kanatçık dizisinin ısı performansına etkisini inceleyen bir dizi deneysel çalışmalar yapmışlardır. Toplam ısı transferinde ışıınım oranının genellikle % 25 ile 40 aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir. Taban plakası ile ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça,

ışınımın toplam ısı transferine katkısının 40 tan fazla gerçekleştiğini göstermişlerdir. Ayrıca, kanatçıklar daha sık bir şekilde dizildiğinde, ışınlama ısı transferinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Aihara ve ark. (1990), dikey bir plaka üzerine yerleştirilmiş daire kesitli pimli kanatçıklı plakalardaki doğal taşınım da ışınlama etkisinin de ele alındığı ısı performansını incelemişlerdir. Daire kesitli pimli kanatçıklı plakalardaki ısı transferi için ampirik bir korelasyon önermişlerdir. Yazarlar, 0.9 ışınlama yayma oranına sahip siyah kaplamalı bakır pimli kanatçık kullanmışlar ve ışınlama toplam ısı transferine katkısının %19 ile 48 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Zografos ve Sunderland (1990), doğal taşınım koşulları altında farklı açılarda hem sıralı hem de saptırmalı dizilmiş 3 farklı pimli kanatçık dizisinin ısı transfer performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Geniş aralıklı Ra sayıları için farklı geometrilerdeki pimli kanatçıkların ısı performansını tahmin eden deneysel bir model geliştirmişlerdir. Test edilen pimli kanatçık dizileri için ışınlama toplam ısı transferinin yaklaşık %5'ine katkıda bulunduğunu bulmuşlardır. Toplam pimli kanatçıklarının sadece % 10'undan daha azının taban plakasının kenarında olması yani ortama açık olması ve pimli kanatçıkların uzunluğunun diğer literatürdeki değerlerden daha kısa olması sebebiyle ışınlama katkısının önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir.

E. Yu ve Joshi (2002), kapalı ve açık muhafazalar içine yerleştirilmiş hem yatay hem de dikey yönde konumlandırılmış kare kesitli pimli kanatçıklı plakaların ısı transfer performansını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Kapalı muhafazada içindeki pimli kanatçıklı plakanın ısı performansının, açık ortamdaki kanatçıklı plakaya göre daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca testlerde ışınlama oranının toplam ısı transferinin %40'ından fazla olduğunu göstermişlerdir. Düşük güçlerde bu katkının daha da önemli hale geldiğini belirtmişlerdir.

Mueller ve Abu-Mulaweh (2006), doğal taşınım ve ışınlama ısı transferi ortamında dikey bir plaka üzerine yatay olarak yerleştirilmiş dairesel pimli tek kanatçığın ısı performansını hem deneysel hem de sayısal olarak araştırmışlardır. Dairesel pimli kanatçığın sıcaklık dağılımını deneysel olarak belirlemişler ve verilerin sayısal sonuçlarla tutarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. ışınlama ısı transferinin %15-20 aralığında gerçekleştiğinin ve tek kanatçıklı plakanın tasarımında ışınlama göz ardı edilemeyeceğinin altını çizmişlerdir.

Sahray ve ark. (2010), doğal taşınım ve ışınlama ile ısı transferi olaylarına yönelik olarak yatay yerleştirilen farklı pim yüksekliği ve sıklığı değerlerinde kare kesitli pimli kanatçıklı plakaların optimizasyonu için soğutma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Işınlama yayma oranının 0.45 değeri için ışınlama katkısının % 15-40 aralığında olduğunu belirten yazarlar, daha düşük güç girdisinde bu oranın daha da arttığını gözlemlemişlerdir.

Sertkaya ve ark. (2011), farklı güç girdilerinde ve yönelim açılarında dairesel kesitli pimli kanatçıklı plakalarda gerçekleşen hem doğal taşınım hem de ışınlama ile ısı transferi etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında, toplam ısı transferindeki ışınlama yüzdesinin, yaklaşık 0.8'lik bir ışınlama yayma oranı için, %25-40 aralığında gerçekleştiğini ve bu oranın daha düşük güç girdilerinde daha da artabileceğini gözlemlemişlerdir. Yukarı bakar konumdaki pimli kanatçıklı plakanın etkinliğinin ve ısı transfer oranının diğer açılara göre daha yüksek olduğunu göstermişler ve açının artması ile bu değerlerin azaldığını belirtmişlerdir.

Baldry ve ark. (2019), doğal bir taşınım ortamında termoelektrik soğutma için kullanılan dairesel pimli kanatçıklı plakalara ait deneysel sonuçları kullanarak üç boyutlu sayısal simülasyon doğrulaması gerçekleştirmişlerdir. Doğrulanmış simülasyon aracını kullanarak 6 farklı kanatçık parametre değişkenini ve toplamda 19 farklı konfigürasyona sahip pimli plakaları incelemişlerdir. Toplam ısı transferindeki ışınlama oranını %41 olarak bulan yazarların çalışmasında ışınlama yayma oranı 0.92'dir. Sayısal inceleme sonuçlarına göre ayrıca optimizasyon çalışması da yapılmıştır.

Oh ve ark. (2019), doğal taşınım ve ışınlama koşullarında dikey bir yüzeye monte edilmiş, farklı en-boy oranlarına ve eğime sahip pimli kanatçıklı plakalar üzerinde sayısal simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan eğim açısı aralığı -45 ila +45 iken ışınlama toplam ısı transferine %9.2 oranında bir katkısının olduğunu bulmuşlardır. Negatif açılı kanatçığın, pozitif açı verilmiş kanatçığa göre daha iyi bir ısı performansına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Z. Zhang ve ark. (2020), doğal taşınım ve ışınlama ısı transferi koşullarında, benzer kanatçık geometrisi parametrelerine sahip (taban alanı, hacim ve yükseklik) kanatçıklı plakalar için bir şarj cihazının soğutulmasına yönelik deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Toplam ısı transferinde ışınlama oranının kanatçık geometrilerine, yönelim açısına ve ışınlama yayma oranı parametrelerine bağlı olarak % 20 ile 35 arasında değiştiğini göstermişlerdir.

Pimli plakaların doğal taşınım ve ışınım ısı transferi performansları üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, pim kesit geometrisinin, uzunluğunun, sıklığının, dizilişinin, oryantasyonunun, ışınım yayma oranının, malzemesinin ve yüzey sıcaklıklarının çok farklı ısı transferi sonuçlarına yol açabildiği görülmektedir. Literatür sonuçları özetlenirken genellikle ışınımın toplam ısı transferi içerisindeki yüzdesine yer verilmiştir. Fakat bu gösterge aynı zamanda doğal taşınım ısı transferinin etkinliği hakkında da fikir vermektedir. Bir kanatçıklı plakada ışınımın toplam ısı transferi içerisindeki oranı nispeten yüksek ise doğal taşınımın etkinliğinin artırılabilir. Çünkü literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, geometrik parametrelerin doğal taşınımın etkinliğini sınırladığı durumlarda ışınımın etkisinin oransal olarak arttığı anlaşılmaktadır. Pimli kanatçıkların plakalı kanatçıklara göre daha gözenekli ve daha kompakt bir hacim oluşturabildiği de literatür çalışmaları incelendiğinde anlaşılmaktadır. Genel olarak literatür taramasında da gösterildiği üzere, ışınımın toplam ısı transferindeki payı göz ardı edilemeyecek mertebededir. Diğer taraftan literatürdeki çalışmaların bir diğer vurgusu, pim yüzeylerinin ışınım yayma oranının önemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yayınım katsayılarının çok düşük veya çok yüksek olması doğrusal orantılı olarak ışınımı etkilemektedir. Işınımın toplam ısı transferi içindeki payı, kanatçıklı plaka yüzey sıcaklığını ve dolayısıyla Ra sayısını da etkilediği için doğal taşınım da ışınımdan oldukça etkilendiği söylenebilir.

2.3. Karmaşık Geometrilere Sahip Kanatçıklı plakalarla Yapılmış Çalışmalar

Yaklaşık 60 yıldan beri ısı performansını arttırmak için farklı kanatçık geometrilerinin incelenmesi ile çok çeşitli ve yenilikçi kanatçık tasarımları ortaya çıkmıştır. Bu kısımda doğal taşınım ve ışınım ile ısı transferi ortamında geleneksel kanatçıklardan farklı tasarıma sahip kanatçıklı plakalar üzerinde yapılan ısı transferi çalışmalarına yer verilmiştir.

Karagiozis ve ark. (1994), geniş bir Ra aralığında doğal taşınım ile ısı transferi üzerine dikey plaka üzerinde hem yatay hem de dikey oryantasyona sahip farklı geometrilere sahip izotermal üçgen kanatçıklı plakalar için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yazarlar, ışınım yayma oranını 0.2 den 1 değerine arttırdığında Nu değerlerinin de 5 kat arttığını göstermişlerdir.

Azarkish ve ark. (2010), uzunlamasına daralan kanatçıkların farklı enine kesit profillerin doğal taşınım ve ışınlama ile ısı transferine etkisini genetik algoritma kullanarak incelemiştir. Gerçekleştirdikleri tüm testlerde, ışınlama toplam ısı transferine katkısının %35'ten fazla olduğunu göstermişlerdir. Düşük ışınlama yayma oranında bile ışınlama ile ısı transferinin yüksek olduğunu ve ihmal edilmemesi gerektiğinin altını çizmişlerdir.

Effendi ve Kim (2017), doğal taşınım ile ısı transfer ortamında hibrit kanatçıklı plakalarda ısı performansının farklı açılardaki etkisini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Işınlama etkisini hem analitik hem de sayısal olarak hesaplayan yazarlar, bu değerin % 30 ile 42 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Mousavi ve ark. (2018), doğal taşınım ve ışınlama etkileri altında dikey olarak yerleştirilmiş 10 farklı yeni kanatçık geometrisinin ısı performansını belirlemek amacıyla sayısal üç boyutlu (3B) analizler gerçekleştirmişlerdir. Çok çeşitli konfigürasyonlarda deneyler yapmışlar ve ışınlama oranının %27.5-36 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Kesik üst kapaklı kanatçıklı plakanın, ağırlığı arttırmadan en iyi ısı performansı sağlayan kanatçıklı plaka olduğunu göstermişlerdir.

Davoodi ve Yaghoubi (2019), doğal taşınım ve ışınlama koşullarında yatay olarak yerleştirilmiş 10 farklı zikzak kanatçıklı plakanın ısı performansını deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, toplam ısı girdisindeki ışınlama oranının 0.09 ışınlama yayma oranında yaklaşık %10 olduğunu ve artan ısı girdisi ile bu oranın azaldığını gözlemlemişlerdir. Tüm deneylerde taşınım ile gerçekleşen ısı transferi oranının toplam ısı transferinde % 80'in üstünde olduğunu göstermişlerdir.

Chu ve ark. (2019), düşük vakum basınç ortamında farklı yerleştirme düzeni ve açılardaki üçgen kanatçıklı plakaların doğal taşınım ile ısı transferi etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Basıncın 400 Pa olduğu deneylerde, önerdikleri kanatçıkların standart dikdörtgen kesitli kanatçıklara göre ısı performansının %20'ye kadar daha yüksek olduğu yazarlar tarafından gözlemlenmiştir.

Altun ve Ziylan (2019), yatay bir taban plakasına monte edilmiş 3 farklı (H/30 H/15 H/10) genliğe sahip dikey yönde sinüzoidal dalgalı kanatçıkların doğal taşınım ile ısı transferi etkilerini ışınlama da dikkate alınarak deneysel olarak incelemiştir. Kanatçıklı plakalar ve çevreleyen yüzeylerin siyah ışınlama yayma oranına sahip olduğunu ve

kanatçıkların izotermal bir sıcaklığa sahip olduğunu varsaymışlardır. Böylece ışıının katkısının %25-50 arasında olduğunu hesaplamışlardır. En yüksek taşınım oranının H/30 genlikli kanatçıklı plakada elde edildiğini göstermişlerdir. Ayrıca ışıının ile ısı transferinin en iyi H/10 genlikli sinüzoidal kanatçıklı plakada olduğunu bulmuşlardır.

Putra ve ark. (2019), yeni bir tasarım olarak ele aldıkları içi boş hibrit pimli kanatçıkların doğal taşınım ve ışıınımla ısı transferine etkilerini sayısal olarak araştırmışlardır. Işınımla ısı transferi oranında en büyük etkiye sahip parametrenin kanatçık aralığı olduğunu gözlemlemişlerdir. Işınım yayma oranının 0.9 değerinde ışıınının toplam ısı transferine katkısının %30 olduğunu belirtmişlerdir.

Karlapalem ve ark. (2019), dal-kanatçıklı plakaların farklı açılı konumlarındaki doğal taşınım ve ışıınımla ısı transferi etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Parlak alüminyum kanatçık malzemesi kullandıkları çalışmada, ışıının yayma oranının 0.02 değeri için toplam ısı transferindeki ışıının etkisinin % 2.24 ile 4.91 arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

Karlapalem ve Dash (2021), iki yıl sonra yaptıkları diğer çalışmalarda dal-kanatçıklı plakalarını delerek ve dal açıları değiştirerek bu değişikliklerin ısı performans etkisini laminer doğal taşınım ve ışıının ortamında sayısal olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, toplam ısı transferinde ışıının oranının, dallanma kanatçık yönüne bağlı olarak 0.4 ışıının yayma oranı için %19-31 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

K. Zhang ve ark. (2020), doğal taşınım ortamında W-tipi kanatçıklı plakalar için ısı performansını incelemek amacı ile sayısal çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları deneysel olarak da doğrulamışlardır. Boyutsuz değişkenlerle elde edilmiş karakteristik parametreler sunmuşlardır. Eğimli plakalı kanatçıklar için %12 sapmaya sahip bir korelasyon önermişlerdir.

Bu kısımda ele alınan literatür çalışmaları nispeten daha yakın zamanda gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların büyük çoğunluğu sayısal simülasyon çalışmalarıdır. Birçok çalışmada kullanılan karmaşık geometriler göze çarpmaktadır. Sonuç olarak çalışmalarda üretim kolaylığının ve maliyetinin çoğu zaman göz ardı edildiği gözlemlenmiştir.

2.4. Mikro Kanatçıklı Plakalarda Yapılmış Çalışmalar

Konvansiyonel olarak kullanılan standart kanatçıklı plakaların yanı sıra mikro elektronik cihazları soğutmak için mikro boyutlu kanatçıklı plakalar kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde genellikle dikdörtgen kesitli, dairesel veya dikdörtgen kesitli pimli kanatçık gibi çeşitli tasarımlarda kanatçıklı plakalar kullanılmaktadır. Bu kısımda doğal taşınım ile ısı transferi ışınım ısı transferinin de göz önüne alındığı mikro boyutlu kanatçıklı plakaları inceleyen çalışmalar sunulmuştur.

Kulkarni ve Das (2005), yatay olarak konumlandırılmış mikro ölçekli elektronik işlemcinin hem doğal hem de zorlanmış taşınım koşullarında soğutulmasını analitik ve sayısal olarak araştırmışlardır. Elektronik çipleri soğutmak için bir ısıl model önermişlerdir. Düşük bir soğutma istendiği durumlarda kanatçık kullanılmayan haline göre mikro ölçekli kanatçıklı plakaların daha iyi bir seçenek olduğunu bildirmişlerdir.

Harahap ve ark. (2006), dikey konumlandırılmış dikdörtgen kanatçıklı plakalarda taban plakası boyutlarının minyatürleştirilmesinin ısı transfer performansı üzerindeki etkilerini araştırmak üzere deneyler gerçekleştirmişlerdir. Standart boyutlardaki kanatçıklar için önerilen korelasyonların, minyatürleştirilmiş kanatçıklardan elde edilen deneysel verilere uygulanamayacağını belirtmişlerdir. Işınım yayma oranı düşük (0.11) olan bir alüminyum kullandıkları çalışmada %5'in altında bir ışınım etkisi bulmuşlar ve taşınımın daha baskın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kim ve ark. (2008), doğal taşınım ve ışınım ile ısı transferi ortamında hem yatay hem de dikey olarak yerleştirilmiş 0.1 ile 0.2 mm yüksekliğe sahip silikon plaka mikro kanatçıkların ısıl performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Mikro kanatçıktan gerçekleşen ısı transferini tahmin etmede makro kanatçıklar için önerilen korelasyonların kullanılamayacağını göstermişlerdir. Ayrıca dikey ve yatay konumlandırılan mikro kanatçıkların eğim etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

Shokouhmand ve Ahmadpour (2010), doğal taşınım ve ışınım ile ısı transferi koşullarında bir izotermal yatay plaka üzerine yerleştirilen mikro kanatçıkların ısıl performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, toplam ısı transferine ışınım etkisinin yaklaşık %21 oranında olduğunu ve bu etkinin ihmal edilemeyeceğini göstermişlerdir.

Mahmoud ve ark. (2011), yatay olarak yerleştirilmiş bir mikro kanatçıklı plakanın ısı performansını incelemek üzere bir dizi deney yürütmüşlerdir. Çalışmalarında kanatçık boyutları ile ısı transfer oranı arasında bir korelasyon önermişlerdir.

Micheli ve ark. (2015a), doğal taşınım ve ışıınım ile ısı transferini mikro kanatçıklı plakaların geometri, yönelim ve ısı performans arasındaki ilişkiyi ele alarak incelemişlerdir. Işıınım ile ısı transferinin toplam ısı transferine oranının %60 gibi yüksek bir değere ulaştığını ve mikro kanatçıklı plakalardan gerçekleşen ışıınım etkisinin ihmal edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Micheli ve ark. (2015b), yaptıkları diğer çalışmalarında, konsantre fotovoltaik panellerin soğutulması için mikro kanatçıklı plakaların ısı transferini iyileştirme etkilerini hesaplamalı olarak incelemişlerdir. Kütleyle bağlı gücün, kanatçiksiz plakalara göre kıyasla %50 arttığını gözlemlemişlerdir. Yazarlar, mikro kanatçıklı plakaların tasarımında ışıınımın dikkate alınması gerektiğini burada da altını çizmişlerdir.

Micheli ve ark. (2016), silikon gofret tipi dikdörtgen kesitli mikro kanatçıklar ve silikon gofret tipi pimli mikro kanatçıkların ısı performansını karşılaştırmak üzere doğal taşınım ve ışıınım ile ısı transferini göz önünde bulundurarak deneyler yapmışlardır. Sonuçlarında, pimli mikro kanatçıkların dikdörtgen kanatçıklardan daha iyi ısı performansına ve daha az malzeme kullanımına sahip olduğunu göstermişlerdir.

Mikro ölçekteki kanatçıklı plakalarda doğal taşınım ve ışıınım etkisinin de ele alındığı ısı transferi incelenmesine yönelik çalışmalar gözden geçirildiğinde, daha büyük ölçekte yapılan çalışmalarda türetilen korelasyonların, modellerin ve ampirik ifadelerin mikro ölçekte geçerli olmadığı söylenebilir. Bu sonuç aynı zamanda daha büyük ölçeklerde denenilen ve incelenen geometrilerin, mikro ölçekli kanatçıklar için tekrar denenebileceğini göstermektedir. İncelenen çalışmaların bazılarında ışıınımın katkısı ihmal edilebilir düzeydedir. Diğer taraftan bazı mikro ısı değiştiricilerinde ise ışıınım ısı transferi çok etkin bulunmaktadır. Mikro kanatçıklı plakalarda ışıınım ısı transferinin etkinliğinin kanatçık sıklığı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca mikro kanatçıklı plakalarda açılı ve eğim etkisinin daha az olduğu da anlaşılmaktadır.

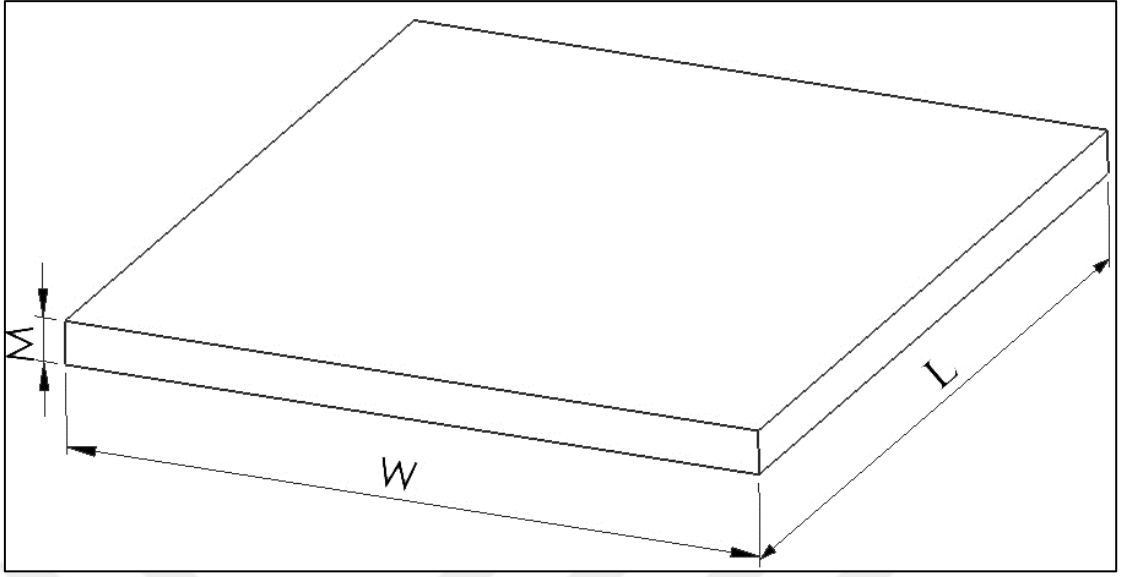
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm kanatçıkların karakteristiklerini, deney düzeneğini, deney uygulama prosedürünü ve hata analizinin detaylarını içermektedir. Bahsedilen detaylar aynı sırada alt başlıklar halinde aşağıda sunulmaktadır.

3.1. Kanatçıkların Karakteristikleri

Deneylerde kullanılacak kanatçıklı plakalar kolay işlenebilirliği ve ısı iletim katsayısının ($k=170 \text{ W/m.K}$) yüksek olması nedeni ile 7000 serisi alüminyum alaşımından imal edilmiştir. Bu sayede kanatçıklı plakadaki iletim direnci azaltılmış ve kanatçıklı plaka taban sıcaklığının bütün yüzeyleri temsil ettiği bir durum elde edilmiştir. Işınım hesabında ışınım yayma oranının 1 olarak kabul edilebilmesi için kanatçıklar mat siyah anot kaplama yapılmıştır. Çalışma kapsamında kanatçıklar CNC makinesi ile talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Dolayısıyla her bir tasarlanan kanatçıklı plakalar yekpare olarak imal edilmiştir.

Kurgulanan ve oluşturulan deneysel düzeneğin doğruluğunun da tespit edilebilmesi açısından literatürdeki korelasyonlarla bir karşılaştırma yapabilmek için ilk olarak kanatçıksız düz plaka üretilmiştir. Düz plaka Şekil 3.1 ve Tablo 3.1' de gösterildiği gibi kalınlığı (M) 5 mm, uzunluğu (L) 90 mm ve genişliği (W) 80 mm olarak belirlenmiştir.

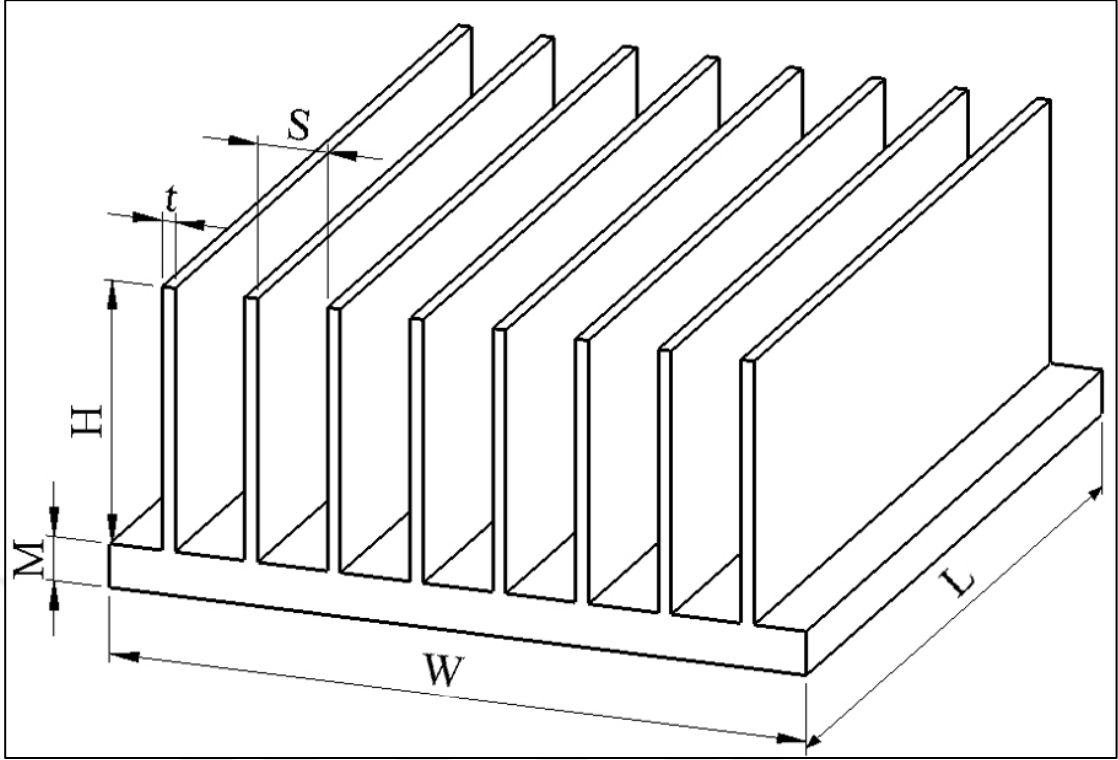


Şekil 3.1. Düz plaka geometrik detayları

Tablo 3.1. Düz plaka geometrik ölçüleri

L (mm)	W (mm)	M (mm)
90	80	5

Dikdörtgen kesitli kanatçık detayları ve ölçüleri Şekil 3.2 ve Tablo 3.2’de verilmiştir. Buna göre kanatçık yüksekliği (L) 30 mm, kanatçık kalınlığı (t) 1.5 mm, kanatçıklar arası mesafe (S) 8 mm olarak tasarlanmıştır.

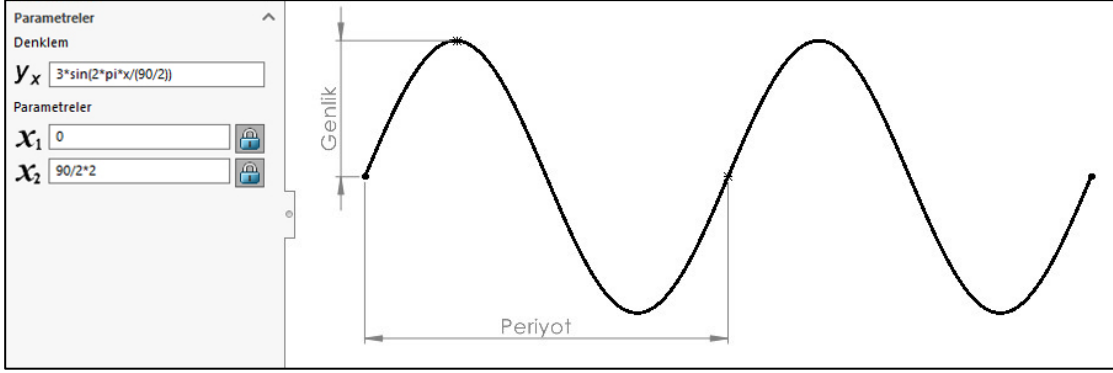


Şekil 3.2. Dikdörtgen kesitli kanatçık geometrik detayları

Tablo 3.2. Dikdörtgen kesitli kanatçık geometrik ölçüleri

L (mm)	W (mm)	M (mm)	H (mm)	S (mm)	t (mm)	n
90	80	5	30	8	1.5	8

Sinüzoidal kanatçıklar çizilirken Şekil 3.3’de görüldüğü gibi Solidworks üç boyutlu katı modelleme programı kullanılmıştır. Tablo 3.3’e göre toplamda 12 adet farklı genlik ve periyottaki kanatçıkların sinüs denklemindeki A, B, C, D katsayı ayrıntıları gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Solidworks programında sinüs dalgası çizim ayrıntıları (Örnek: 2 Periyotlu 3mm genliğe sahip (P2 – H/10) kanatçık için)

Sinüs denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$y = A \sin\left(x \frac{2\pi}{B}\right), \quad x_1 = 0, \quad x_2 = CD \quad (3.1.)$$

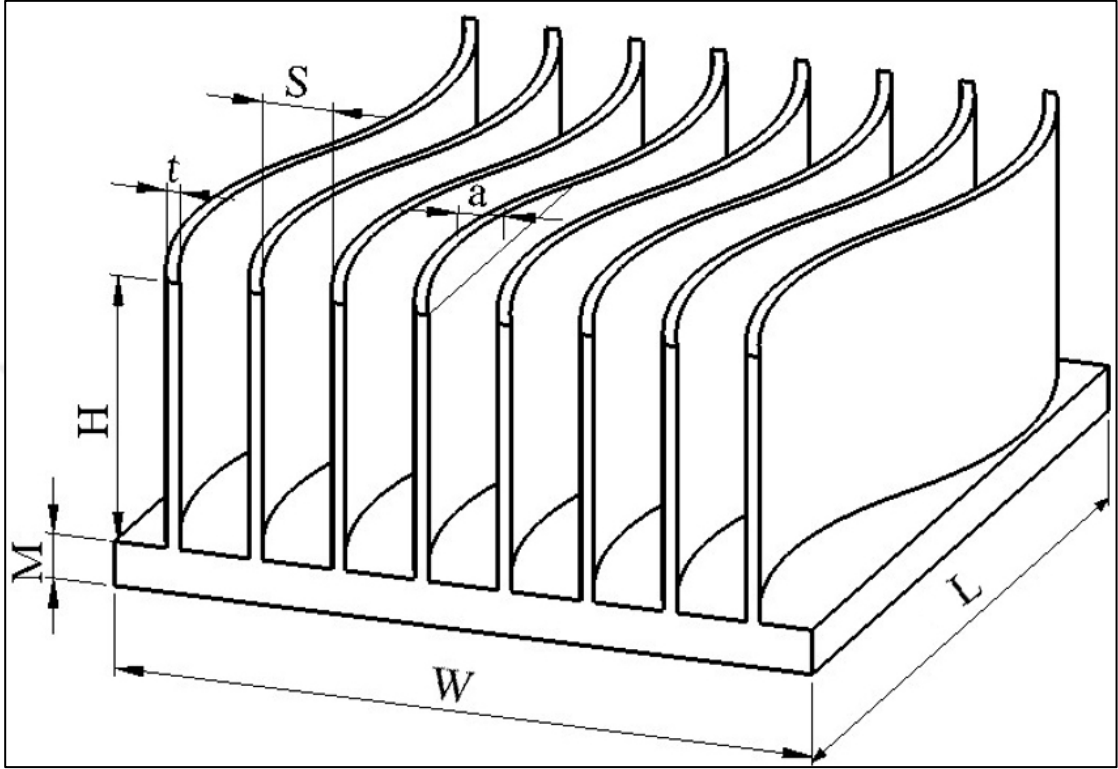
Sırası ile A, B, C ve D kat sayıları genlik (mm), periyot uzunluğu (mm), denklem uzunluğunu (mm) ve periyot sayısını ifade etmektedir.

Tablo 3.3. Her bir dalgalı kanatçık için A, B, C ve D katsayıları

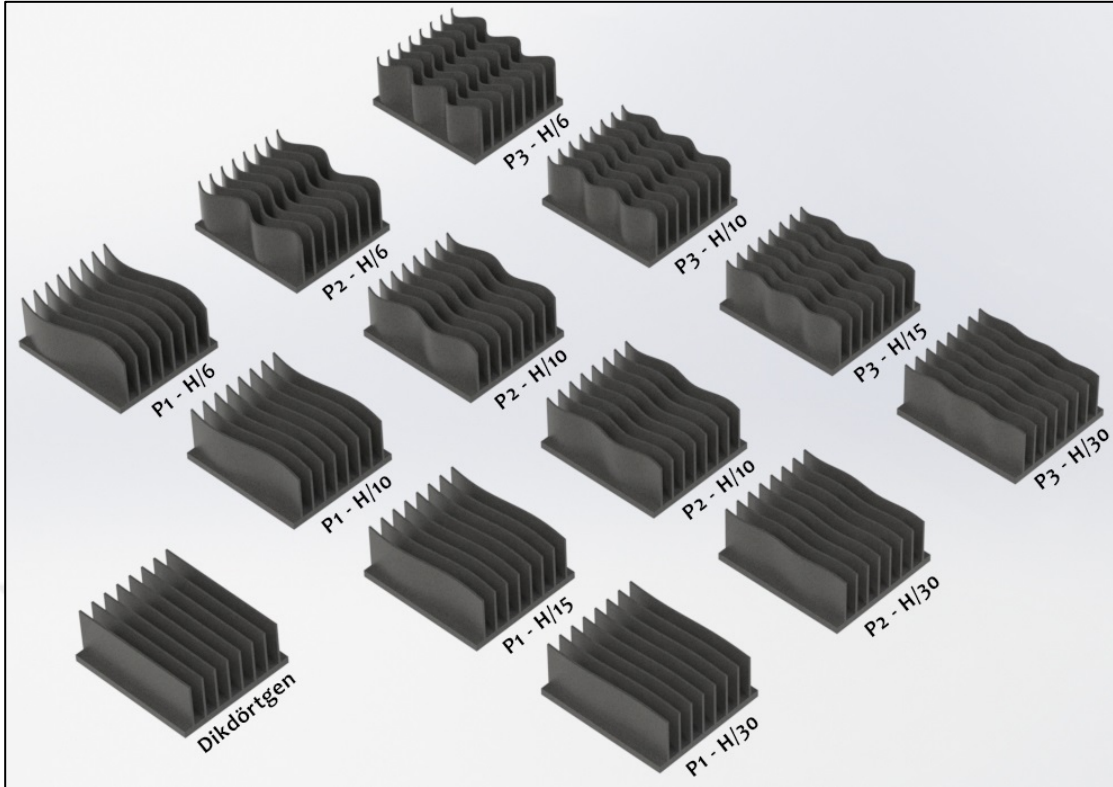
Katsayılar	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P3	P3	P3	P3
	H/30	H/15	H/10	H/6	H/30	H/15	H/10	H/6	H/30	H/15	H/10	H/6
A	1	2	3	5	1	2	3	5	1	2	3	5
B	90	90	90	90	90/2	90/2	90/2	90/2	90/3	90/3	90/3	90/3
C	90	90	90	90	90/2	90/2	90/2	90/2	90/3	90/3	90/3	90/3
D	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3

Sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakaların geometrik detayları Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Tablo 3.4’e göre toplamda 4 farklı genlik değeri (1 mm H/30, 2 mm H/15, 3 mm H/10 ve 5 mm H/6) ve 3 farklı periyot sayısında (1, 2 ve 3) olmak üzere 12 adet kanatçıklı plaka kullanılmıştır.

Toplam 13 adet olan dikdörtgen kesitli ve sinüzoidal dalgalı kanatçıkların geometri görünüşleri Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bir periyot dalgalı kanatçık geometrik detayları

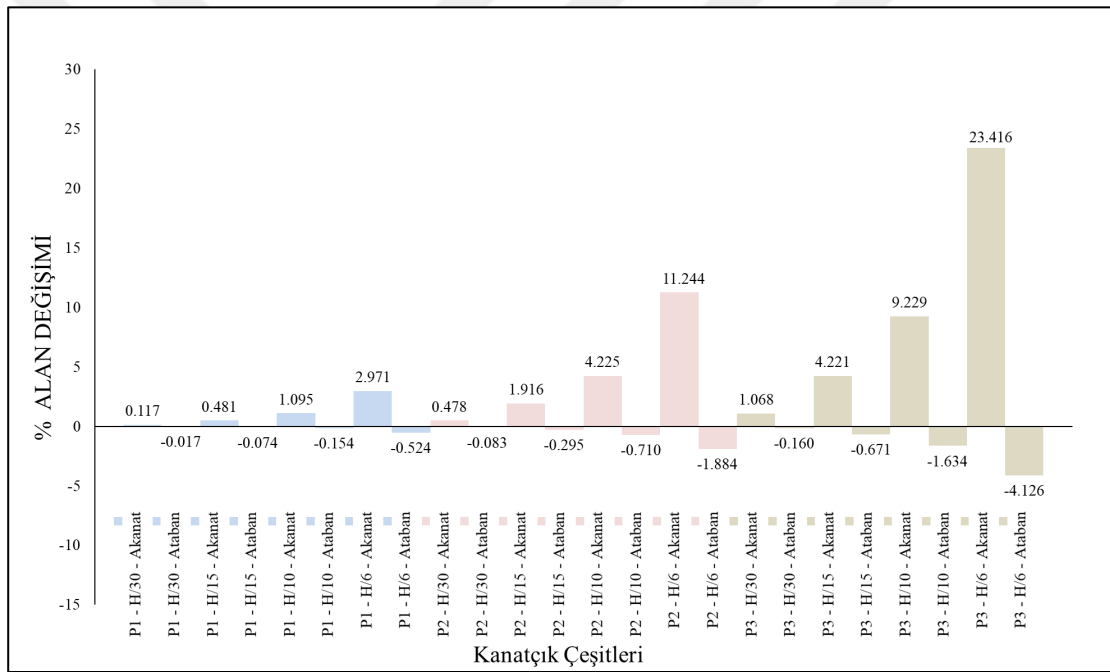


Şekil 3.5. Dikdörtgen kesitli ve sinüzoidal dalgalı kanatçıklar

Tablo 3.4. Sinüzoidal dalgalı kanatçıkların geometrik ölçüleri; ölçüler milimetre birimindedir.

Tip	L	W	M	H	S	t	n	P	a	L_{ark}
P1 (H/30)	90	80	5	30	8	1.5	8	1	1	90.10901
P1 (H/15)	90	80	5	30	8	1.5	8	1	2	90.43734
P1 (H/10)	90	80	5	30	8	1.5	8	1	3	90.98149
P1 (H/6)	90	80	5	30	8	1.5	8	1	5	92.67838
P2 (H/30)	90	80	5	30	8	1.5	8	2	1	90.43557
P2 (H/15)	90	80	5	30	8	1.5	8	2	2	91.72837
P2 (H/10)	90	80	5	30	8	1.5	8	2	3	93.84415
P2 (H/6)	90	80	5	30	8	1.5	8	2	5	100.13322
P3 (H/30)	90	80	5	30	8	1.5	8	3	1	90.89862
P3 (H/15)	90	80	5	30	8	1.5	8	3	2	93.85415
P3 (H/10)	90	80	5	30	8	1.5	8	3	3	98.33399
P3 (H/6)	90	80	5	30	8	1.5	8	3	5	111.08891

Toplam 12 adet sinüzoidal kanatçığın, dikdörtgen kesitli kanatçığın alanına göre toplam alan değişim grafiği Şekil 3.6’de gösterilmiştir. Tüm değerler 3B katı modelleme programı (Solidworks) kullanarak manuel olarak alınmıştır. Grafikten görüleceği gibi genlik ve periyot arttıkça yüzey alanının % 0.117’den % 23.416 değerine kadar arttığı görülmektedir. Fakat sinüzoidal eğriden dolayı dikdörtgen kesitli kanatçığın taban alanına göre dalgalı kanatçıklı plakanın taban alanının hafif olarak azaldığı gözlemlenmektedir. Taban alanı azalışı, % 0.0017’den % 4.126 değerine kadar değişmektedir. Şekil 3.6 incelendiğinde plakalı kanatçıkların dalgalı formunun toplam ısı transfer yüzey alanını arttırdığı görülmektedir.

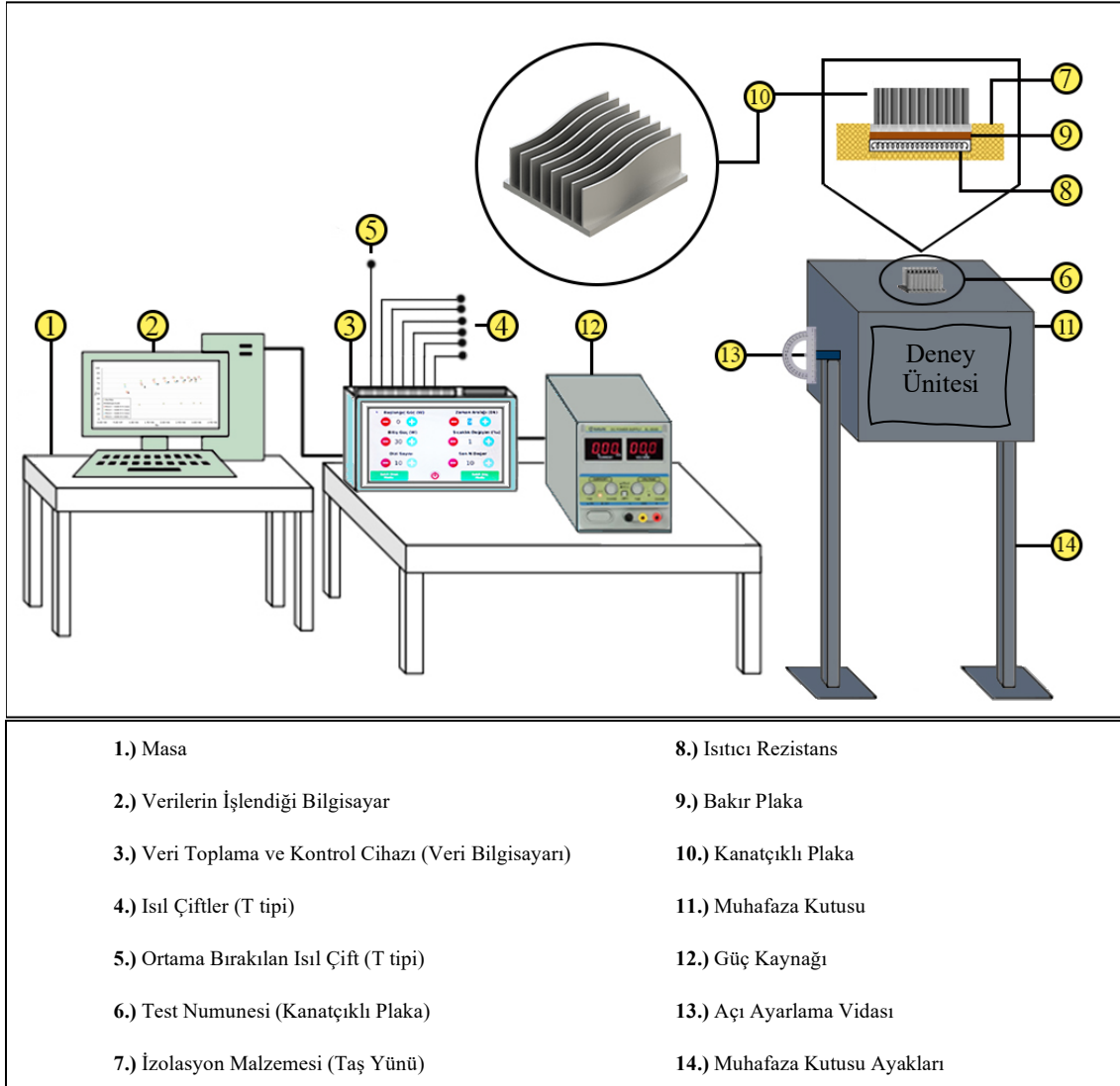


Şekil 3.6. Dikdörtgen kesitli kanatçığa göre sinüzoidal kanatçıkların yüzde alan değişimleri

3.2. Deney Düzenegi

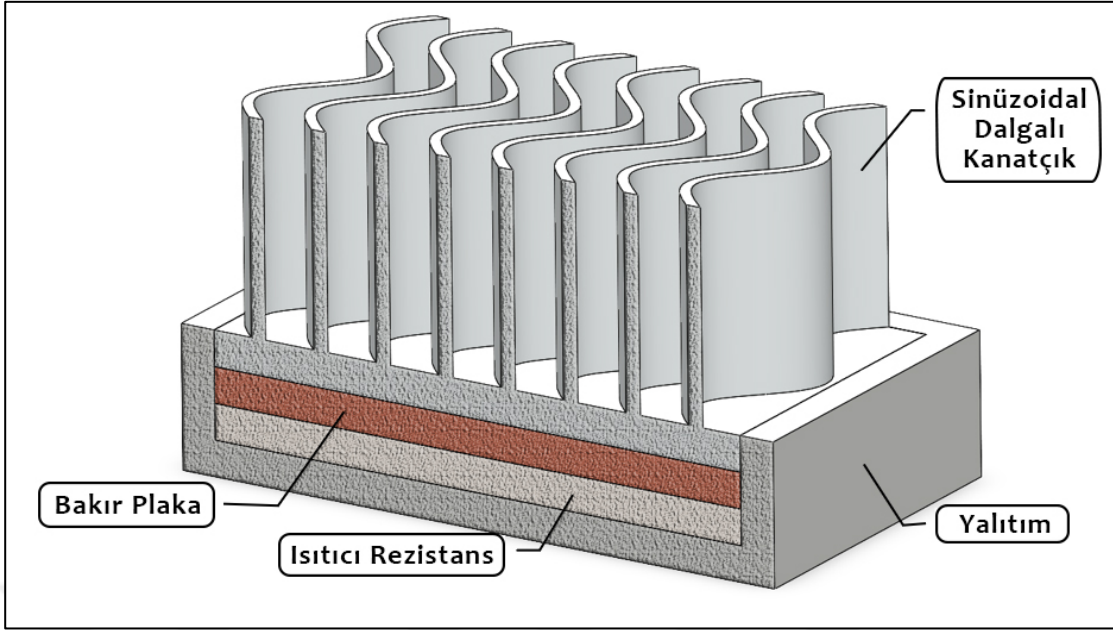
Bu çalışmada kullanılan ve Şekil 3.7’ de gösterilen deney ünitesi Selçuk Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu laboratuvarında kurulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi deney seti, izolasyon malzemesi (taş yünü) ile yalıtılmış muhafaza kutusu, test plakaları, ısıl çiftler, veri toplama ve kontrol cihazı (veri bilgisayarı), veri bilgisayarı

tarafından kontrol edilen güç kaynağı, verilerin işlendiği bilgisayar, ısıtıcı rezistans, açılı ayarlama vidası ve bakır levhadan oluşmaktadır. Deney düzeneğinin bulunduğu laboratuvar ortamı da dış etkenlerden (güneş, sıcaklık, hava akışı, sıcaklık vb.) mümkün olduğunca arındırılmıştır.



Şekil 3.7. Deney düzeneği şeması

Deney düzeneğinde Şekil 3.8' de gösterildiği gibi sabit ısı akışı şartını sağlamak için dirençli ısıtıcı kanatçıklı plakanın altına yerleştirilmiştir. Isıtıcıda üretilen ısının eşit bir şekilde kanatçıklı plakaya aktarılabilmesi için kanatçıklı plaka ile ısıtıcı arasında bakır bir levha yerleştirilmiştir.

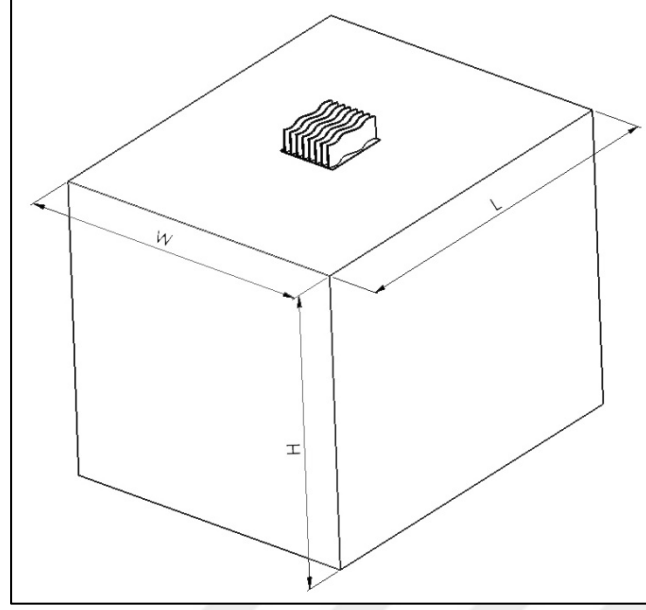


Şekil 3.8. Sinüzoidal dalgalı kanatçık, bakır plaka ve ısıtıcı rezistans kesit detayları

Şekil 3.9’da gösterildiği gibi plakalar, adyabatik şartı sağlamak için içi taş yünü ile doldurulmuş olan bir muhafazanın üzerinde hazırlanan bir yuvaya yerleştirilmiştir. Tablo 3.5 görüldüğü gibi muhafaza kutusunun boyutları 500x400x400 mm olarak belirlenmiştir.

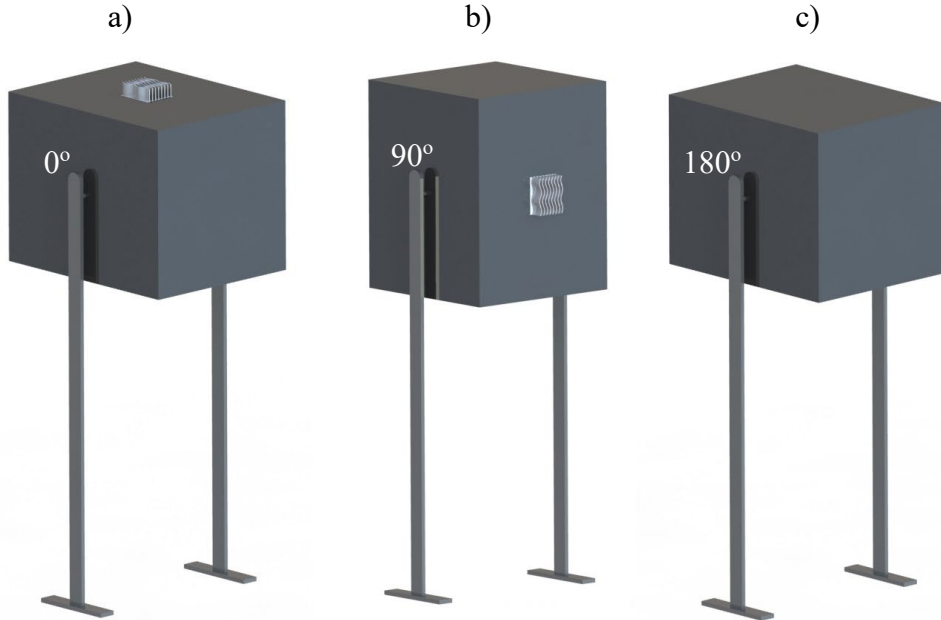
Tablo 3.5. Muhafaza kutusu geometrik ölçüleri (mm)

L	W	M
500	400	400



Şekil 3.9. Muhafaza kutusu geometrik detayları

Deneylerde muhafaza kutusu, 0 derece, 90 derece, 180 derece konumlarına su terazisi yardımı ile getirilmiştir. Ardından deneyler bahsedilen açılarda her bir kanatçıklı plaka için tekrarlanmıştır. Şekil 3.10'da farklı açılardaki kanatçıkların konumları gösterilmiştir.

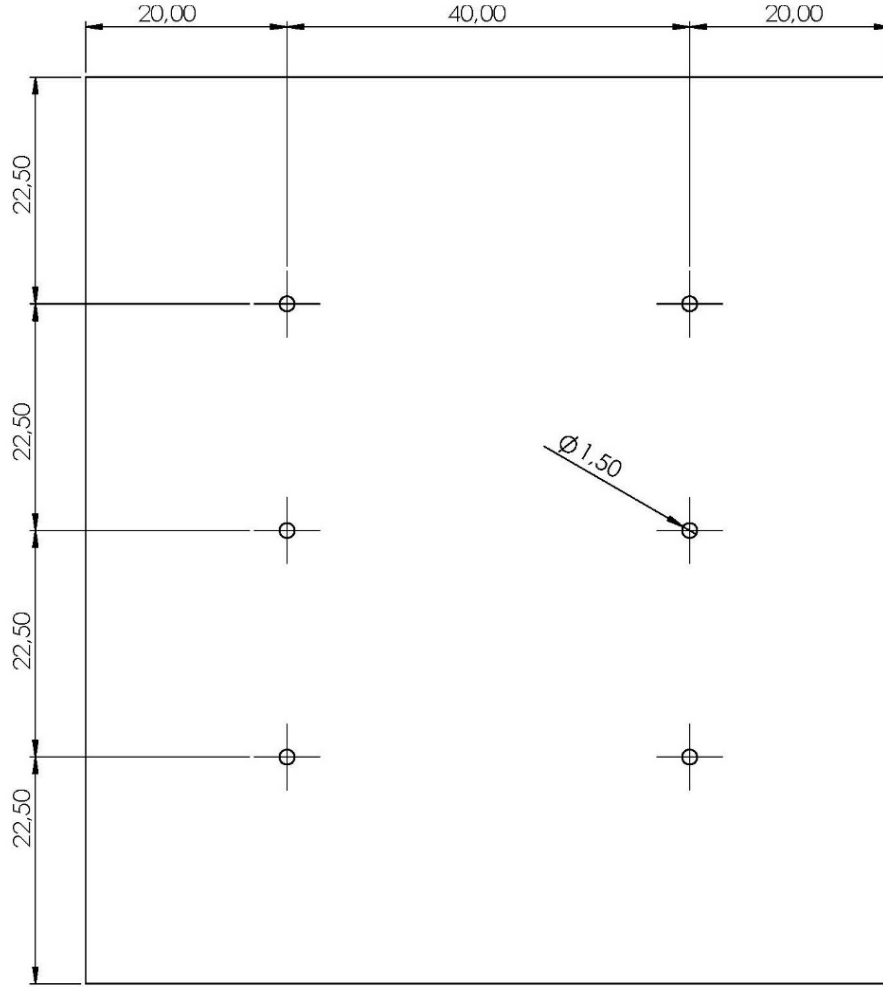


Şekil 3.10. Kanatçıkların açısız konumları a) 0°, b) 90°, c) 180°

3.3. Deneylerin Uygulaması

Deney süresince, deneylerin yapıldığı laboratuvar ortamı dış etkenlerden olabildiğince arındırılmıştır. Bunun için karanlık ve kapalı bir oda kullanılmıştır. Böylece ortamdan gelebilecek ışıınım ve taşınım ile ısı transferi üzerindeki etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olması amaçlanmaktadır. Deneylerde veri bilgisayarı ile kontrol edilen güç kaynağı istenilen akımda ayarlanabilerek elektriksel güç girdisi sağlanabilmektedir. Sisteme verilen güç, ısıtıcı direnci ve üzerinden geçen akımın karesinin çarpımı ile hesaplanmaktadır.

Kanatçık taban sıcaklığını belirlemek için T tipi (hassasiyeti -270°C ila $+370^{\circ}\text{C}$ aralığında ve $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ olan) ısı çiftleri, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi plakanın altından üst yüzeye yakın yerlere kadar açılan 6 simetrik delik içerisine sıkıca yerleştirilmiştir. Ayrıca çevre sıcaklığını ölçmek için bir ısı çifti de ortama yerleştirilmiştir. Isıl çiftlerden gelen sıcaklık sinyalleri veri bilgisayarı tarafından anlık olarak kaydedilmiş ve daha sonra bir metin dosyasına aktarılmıştır. Metin dosyasındaki veriler bir veri işleme yazılımında, tez içerisinde tanıtılan veri indirgeme formülleriyle işlenmiştir.

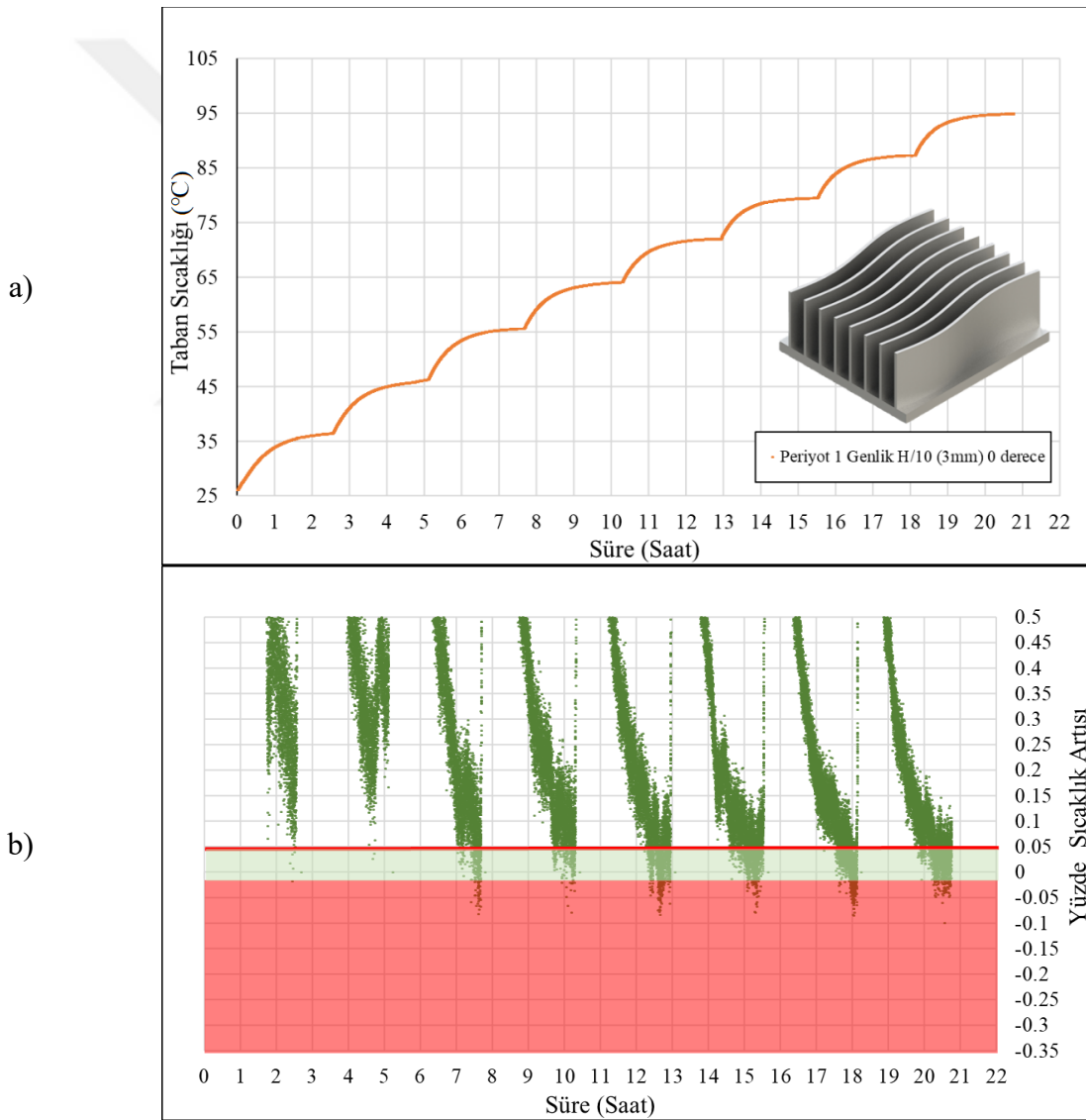


Şekil 3.11. Termokupl'ların plaka üzerindeki konumları

3.3.1. Deneylerde kararlı rejim hali

Deneyler 2.5 Watt ısıtma gücünden başlayarak 2.5 Watt'lık güç artışları ile 20 Watt'a kadar her bir deney numunesi için ayrı ayrı yapılması hedeflenmiştir. Şekil 3.12 a'da deneylerde doğal taşınım ve ışınım ısı transferinin kararlı rejime geçişinin nasıl gerçekleştiği gösterilmektedir. Yatay eksen saati, dikey eksen ise ortalama taban plaka sıcaklığını göstermektedir. Deneylerde sürekli rejime ulaşma süresi 2 ile 4 saat arasında değişmiştir. Bu süre kanatçıklı plakanın geometrisine, ısıtma gücüne ve belirlenen sıcaklık değişimi limit değerine göre değişmektedir. Elektriksel akım, voltaj ve dolayısıyla ısıtma gücü değerleri veri bilgisayarı tarafından kontrol edilen güç kaynağı ile düzenlenmiştir. Plakalarda oluşan sıcaklıklar veri bilgisayarı tarafından otomatik

ölçülmüş ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Veri bilgisayarı yardımı ile ısı çiftlerinden alınan sıcaklıklar işlenerek sıcaklığın kararlı rejime ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. Taban sıcaklığının sıcaklık artış oranı %0.5'in altına düştüğünde ısı transferinin sürekli rejime girdiği kabul edilmiştir. Kararlı rejime ulaşıldıktan sonra elde edilen sıcaklıklar veri bilgisayarına kaydedildikten sonra bir sonraki güç artışını yine veri bilgisayarı otomatik olarak değiştirmiştir. Tüm bu sistem otomasyona dayalı olarak uzaktan da kontrol edilmiştir. Şekil 3.12 b'de bir veri ile kendinden önceki 500'üncü değer arasındaki sıcaklık artış yüzdesi grafik ile gösterilmiştir. Bu şekle göre sıcaklık artışının %0.5 değerinin altına düştüğünde veri bilgisayarı otomatik olarak gücü arttırdığı görülmektedir.



Şekil 3.12. P1 – H/10 Yatay konumlandırılmış sinüzoidal dalgalı kanatçıkta taban sıcaklığının zamana göre a) değişim grafiği b) sıcaklık artış yüzdesi grafiği

Şekil 3.12.'de bir deneme deseni gösterilmiştir. Düz plaka için 2-10 Watt arası toplam 5 adet güç değerinde deneyler yapılmıştır. Dikdörtgen ve sinüzoidal dalgalı kanatçıklar için 2.5-20 Watt arası toplam 8 adet güç değerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Seçilen güç aralıklarında azami güç değerlerinin sebebi kanatçıklı plaka yüzey sıcaklığının güvenlik gerekçesiyle 120 °C'nin üzerine çıkmamasının istenmesidir. En az 8 farklı ısıtma gücünde deneyler tekrarlanarak mümkün olduğunca güç aralığında bir çözünürlük elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tüm deneyler yatay yukarı, yana ve aşağı bakar (0°, 90°, 180°) konumlarında olmak üzere üç ayrı açıda yapılmıştır. Toplamda minimum 327 adet deney gerçekleştirilmiştir. Düz plakada deneyin kararlı hale gelmesi yaklaşık 3-4 saati bulurken kanatçıklarda bu süre yaklaşık 2.5-3 saate kadar düşmektedir. Çalışma 1100 saatin üzerinde bir sürede tamamlanabilmiştir.

Tablo 3.6. Deney parametreleri

Kanatçık Tipi	Isı Akısı W/m^2	Adet	Güç sayısı	Açı Sayısı	Toplam Deney Adedi	Deney Süresi (Saat)
Düz Plaka	277-1388	1	5	3	15	4
Dikdörtgen Kesitli Kanatçık	347-3472	1	8	3	24	3
Sinüzoidal Kanatçıklar	347-3472	12	8	3	288	3

3.4. Veri Analizi

Yapılan tüm deneylerin sonucunda yaklaşık olarak 28 milyon ham veri toplanmıştır. Tez çalışması kapsamında bu verilerin içinden kararlı rejim sıcaklık değerleri ayıklanmış ve daha sonra bu sıcaklık değerleri Nu ve Ra gibi indirgenmiş değerlerin elde edilmesinde kullanılmışlardır. Buna göre,

Rayleigh sayısı;

$$Ra = (Gr)(Pr) = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \frac{\mu c_p}{k} \quad (3.2.)$$

olarak ifade edilir. Prandtl sayısı;

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (3.3.)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

β hacimsel genleşme katsayısıdır ve

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (3.4.)$$

olarak verilir. Burada film sıcaklığı T_f ;

$$T_f = (T_w + T_\infty) / 2 \quad (3.5.)$$

olarak belirlenmiştir.

Yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı, ΔT ;

$$\Delta T = T_w - T_\infty \quad (3.6.)$$

olarak alınmıştır.

Taşınım ile ısı transferinin akışkanın iletim ile ısı transferine oranını veren Nu,

$$\text{Nu} = \frac{hL_c}{k} \quad (3.7.)$$

olarak alınmıştır. Burada karakteristik uzunluk aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$L_c = L \quad (3.8.)$$

“ h ” taşınım katsayısı;

$$h = \frac{Q_{taş}}{A(T_w - T_\infty)} \quad (3.9.)$$

olarak hesaplanmaktadır. Taşınım katsayısındaki alan,

$$A_{plaka} = WL \quad (3.10.)$$

şeklindedir. Taşınım ile ısı transferi,

$$Q_{taş} = P_T - Q_{ış} \quad (3.11.)$$

denkleminde hesaplanır. Burada “ P ” ısıtıcı gücüdür ve;

$$P = I^2 R \quad (3.12.)$$

ile hesaplanmaktadır.

Işınım ile gerçekleşen ısı transferi her zaman ihmal edilecek kadar az olmayabilir, bu sebepten taşınımın bulunabilmesi için ışınım ile transfer edilen ısının hesaplanması gerekmektedir.

$$Q_{ış} = F_\varepsilon F_{1-2} \sigma A (T_w^4 - T_\infty^4) \quad (3.13.)$$

bağlantısı ile hesaplanmaktadır.

Deneylerde kullanılan sinüzoidal dalgalı kanatçıklar için ışıınım şekil faktörünü direk hesaplayan bir denklem bulunmamaktadır. Şekil faktörünün elde edilebilmesi için bazı karmaşık analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunlara ilaveten bazı kabullerin yapılması gerekmektedir.

- Taban plakası, kanatçıklı plakalar ve tüm çevre yüzeyler siyah cisim yayınına eş bir yayınım yapıyor olarak kabul edilmiştir.
- Işıınım sadece katı cidarlar arasında gerçekleşmektedir (gaz ışıını sıfırdır).
- Tüm çevre yüzeyler izotermal ve çevre ile aynı sıcaklığa sahip olduğu kabul edilmiştir.
- Plaka ve kanatçıklar eşit ve sabit sıcaklıkta oldukları varsayılmış.

Şekil faktörünün hesaplanmasında sinüzoidal dalgalı kanatçıklar için doğrudan elde edilebilen bir bağıntı için L kanatçık uzunlukları (" L_{ark} " yay uzunluğu açılımı hesaplanarak) düz dikdörtgen kesitli kanatçık denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Siyah cisim yayını $F_{\varepsilon} = 1$ için (3.13) denklem aşağıdaki hali alır;

$$Q_{ışıını} = F_{1-2} \sigma A (T_w^4 - T_{\infty}^4) \quad (3.14.)$$

Kanatçıklı plakalarda, bir miktarı kendi içinde, kalan kısmı çevre ortama olmak üzere ışıına yolu ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Işıınım ile gerçekleşen ısı transferi toplam beş doğrultuda meydana gelmektedir. Bunlar, plaka yüzeyinden kanatçık yüzeyine, kanatçık yüzeyinden taban yüzeyine, kanatçık yüzeyinden kanatçık yüzeyine, plaka tabanı yüzeyinden çevre ortama ve son olarak kanatçık yüzeyinden ortam yüzeyine ısı transferi gerçekleşmektedir. İlk üç doğrultuda gerçekleşen ışıına ile ısı transferi kanatçıklı plakanın içerisinde kalmaktadır.

Q_{1-1} → Işıınım ile gerçekleşen ısı transferinin kanatçıklı plaka yüzeyleri içerisinde kalan miktarı,

Q_{1-2} → Işıınım ile gerçekleşen ısı transferinin kanatçıklı plaka yüzeyinden çevre ortama aktarılan miktarıdır,

Dikdörtgen plaka için şekil faktörü dağılım bağıntısı;

$$F_{1-1} + F_{1-2} = 1 \quad (3.15.)$$

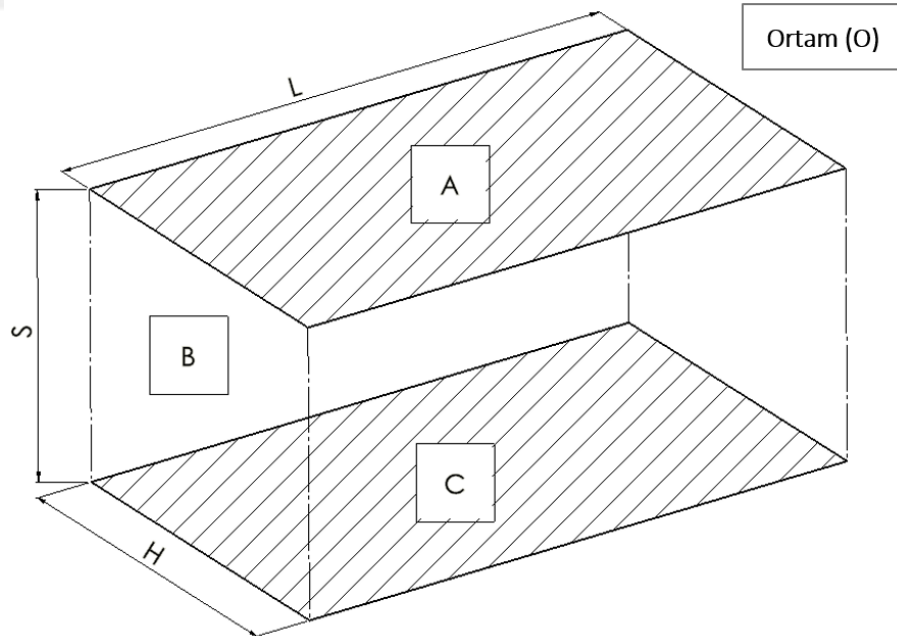
olarak belirlenir (Kakaç, 1972) .

Kanatçıklı yüzeylerden ortama ışıma ile ısı transferi için şekil faktörü denklemi;

$$F_{1-2} = 1 - F_{1-1} \quad (3.16.)$$

olarak bulunur.

Kanatçıklı plaka yüzeyleri Şekil 3.13.'de gösterildiği gibi A, B, C ve O kısımlarına ayrılmıştır. Ayrılan modüllerden birbirlerine paralel olan iki plaka A-C yüzeyi olarak belirlenmiştir. Birbirlerine dik olan iki plaka ise A-B ve C-B yüzeyleri olarak tanımlanmıştır. Bu yüzeylere ait tüm boyutlar ve mesafeler bilindiği için denklem (3.18) ve (3.20)'den şekil faktörleri hesaplanabilir.



Şekil 3.13. Birbirlerine paralel yüzeyler arasındaki şekil faktörü gösterimi

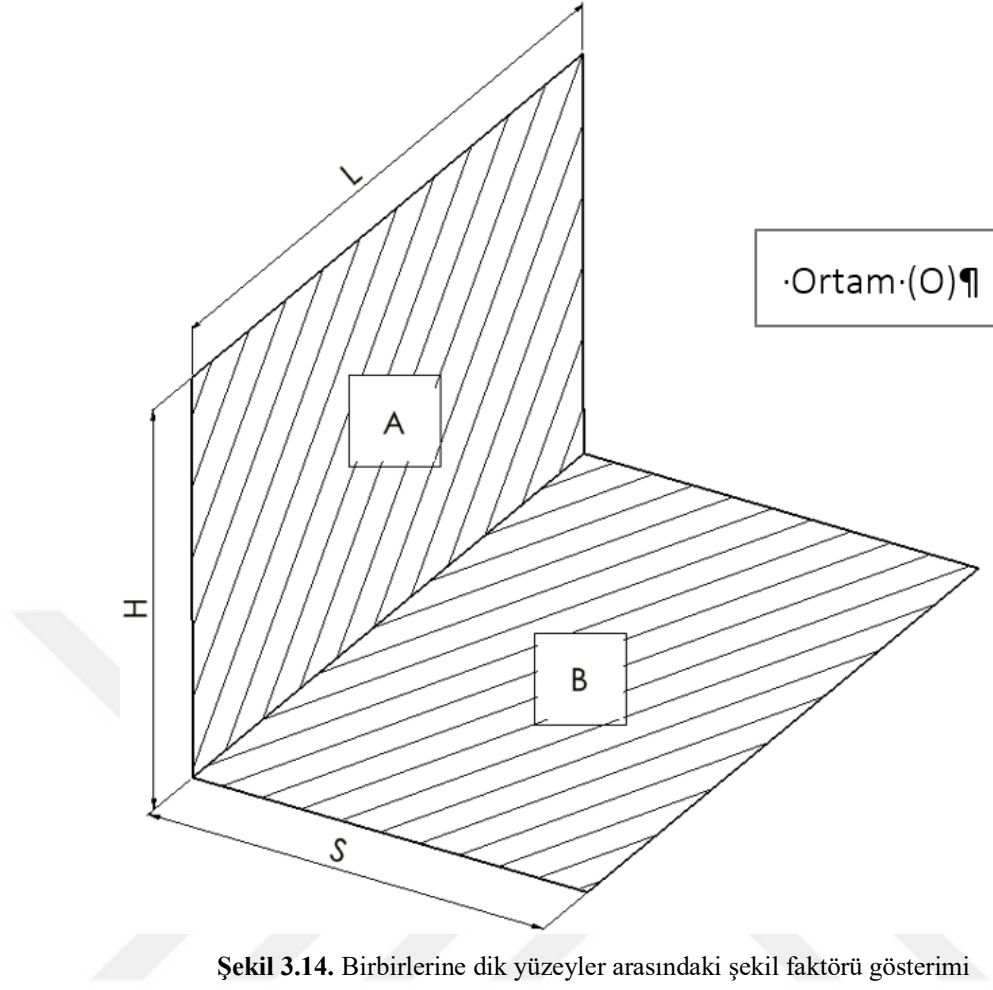
\bar{L} ve \bar{H} denklem (3.17)'deki gibi ifade edilir ise,

$$\bar{L} = \frac{L}{S}, \quad \bar{H} = \frac{H}{S} \quad (3.17.)$$

F_{ac} denklem (3.18)'deki gibi olur.

$$F_{ac} = \frac{2}{\pi \bar{L} \bar{H}} \left\{ \begin{aligned} & \ln \left[\frac{(1 + \bar{L}^2)(1 + \bar{H}^2)}{1 + \bar{L}^2 + \bar{H}^2} \right] + \bar{L} (1 + \bar{H}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\bar{L}}{(1 + \bar{H}^2)^{1/2}} \\ & + \bar{H} (1 + \bar{L}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\bar{H}}{(1 + \bar{L}^2)^{1/2}} - \bar{L} \tan^{-1} \bar{L} - \bar{H} \tan^{-1} \bar{H} \end{aligned} \right\} \quad (3.18.)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır (Howell vd., 2010).



Şekil 3.14. Birbirlerine dik yüzeyler arasındaki şekil faktörü gösterimi

\bar{S} ve \bar{H} aşağıdaki denklem (3.19)'deki gibi ifade edilir ise,

$$\bar{H} = \frac{H}{L}, \quad \bar{S} = \frac{S}{L} \quad (3.19.)$$

F_{ba} denklem (3.20)'deki gibi olur.

$$F_{ba} = \frac{2}{\pi \bar{S}} \left\{ \begin{aligned} & \bar{S} \tan^{-1} \frac{1}{\bar{S}} + \bar{H} \tan^{-1} \frac{1}{\bar{S}} - (\bar{H}^2 + \bar{S}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{1}{(\bar{H}^2 + \bar{S}^2)^{1/2}} \\ & + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{(1 + \bar{S}^2)(1 + \bar{H}^2)}{1 + \bar{S}^2 + \bar{H}^2} \left(\frac{S^2 (1 + \bar{S}^2 + \bar{H}^2)}{(1 + \bar{S}^2)(\bar{S}^2 + \bar{H}^2)} \right)^{\bar{S}^2} \left(\frac{H^2 (1 + \bar{H}^2 + \bar{S}^2)}{(1 + \bar{H}^2)(\bar{H}^2 + \bar{S}^2)} \right)^{\bar{H}^2} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3.20.)$$

olarak hesaplanmaktadır (Howell vd., 2010).

2 periyotlu 5 mm genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçık için örnek şekil faktörü hesabı Ek-4'te verilmiştir.

3.5. Belirsizlik Analizi

Yapılan deneysel incelemede geometrilerin birbirine kıyası sayesinde değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerle ilgili olarak yüksek güven düzeyi oluşmuştur çünkü deneyler tekrarlandığında aynı sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu durum yaklaşık olarak sıfır standart sapmaya yaklaşan, kararlı durum ısı transferi incelemelerine has bir durumdur. Mekanik, kimya ve malzeme alanlarında anizotropi kaynaklı deney sonuçlarında elde edilen standart sapmanın aksine hem bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar hem de ısı transferi literatürünün genelinde deneyler aynı test düzeneğinde tekrarlandıkları sürece neredeyse aynı değerleri vermektedir. Bu nedenden karşılaştırmalı değerlendirmeler geçerli ve kabul edilebilir olmaktadır. Fakat bulguların mutlak değerlerinin başka uygulamalarda kullanılmaları açısından farklı bir durum söz konusudur. Deneysel donanım ve deneylerin yapılışı açısından toleranslar ve belirsizlikler yüzünden elde edilen bulguların mutlak değerlerinde bir miktar belirsizlik bulunmaktadır. Bu durum aynı deneylerin başka bir deney düzeneğinde tekrarlanmasıyla veya kanatçıklı plakalarda uygulamada kullanılmasıyla bir miktar farklı sonuçlar oluşturacağı anlamına gelmektedir. Uygulamacıların bu hususa dikkat ederek tasarımlarını geliştirmeleri ve değerlendirmelerini yapması gerekmektedir. Bu nedenle bu

tez çalışmasında bulunan ve tespit edilen büyüklüklerin de belirsizliklerini saptamak amacıyla bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşım bu bölümde açıklanmaktadır.

Ölçülmesi gereken büyüklük “ R ”;

$R = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ olarak yazılabilir. Her bir değişkene ait hata/belirsizlik değeri

Büyükliğe etki eden n tane bağımsız değişkenler; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olarak seçilir.

$w_1^*, w_2^*, w_3^*, \dots, w_n^*$ ise “ R ” büyüklüğünün belirsizlik değeri w_R^* ile gösterilebilir ve w_R^* ;

$$W_R^* = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1^* \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2^* \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n^* \right)^2 \right]^{0,5} \quad (3.21.)$$

olarak yazılabilir Genceli (1998).

Gerçekleştirilen deneyleri ölçümlerindeki belirsizliğe sebep olan parametreler şu şekilde saptanmıştır.

- Elektrik enerjisinin direnç değerinin ölçülmesinde kullanılan multimetre cihazının ölçüm toleransı: %0.12
- Elektrik enerjisinin akım değerinin ölçülmesinde kullanılan cihazın ölçüm toleransı: %1
- Sıcaklık ölçümünde kullanılan gösterge cihazının toleransı: %0.75

Yukarıda belirtilerin dışında herhangi bir hatanın olmadığı kabul edilmiştir.

Ölçülen değerler (3.7) numaralı denklemden Nusselt sayısı için belirsizlik ifadesi:

$$W_{Nu}^* = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial h} w_h^* \right)^2 \right]^{0,5} \quad (3.22.)$$

Öncelikle taşınım ile gerçekleşen ısı transferi ve sonrasında ışınım ile gerçekleşen ısı transferi için bir belirsizlik hesaplanmıştır ve en son taşınım katsayısındaki belirsizlik

w_h^* elde edilmiştir. Belirsizlik ile ilgili ifadeler aşağıdaki (3.23)-(3.24) arasındaki bağıntılarda belirtilmiştir.

Taşınım h katsayısındaki belirsizlik ifadesi;

$$W_h^* = \left[\left(\frac{\partial h}{\partial Q_{\text{ışınım}}} w_{Q_{\text{ışınım}}}^* \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_w} w_{T_w}^* \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_\infty} w_{T_\infty}^* \right)^2 \right]^{0,5} \quad (3.23.)$$

(3.12) Numaralı bağıntıdan $Q_{\text{ışınım}} = F_\epsilon \cdot F_f \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_w^4 - T_\infty^4)$ ışınlıma gerçekleşen ısı transferinden kaynaklanan belirsizlik ifadesi;

$$W_{Q_{\text{ışınım}}}^* = \left[\left(\frac{\partial Q_{\text{ışınım}}}{\partial T_w} w_{T_w}^* \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{\text{ışınım}}}{\partial T_\infty} w_{T_\infty}^* \right)^2 \right]^{0,5} \quad (3.24.)$$

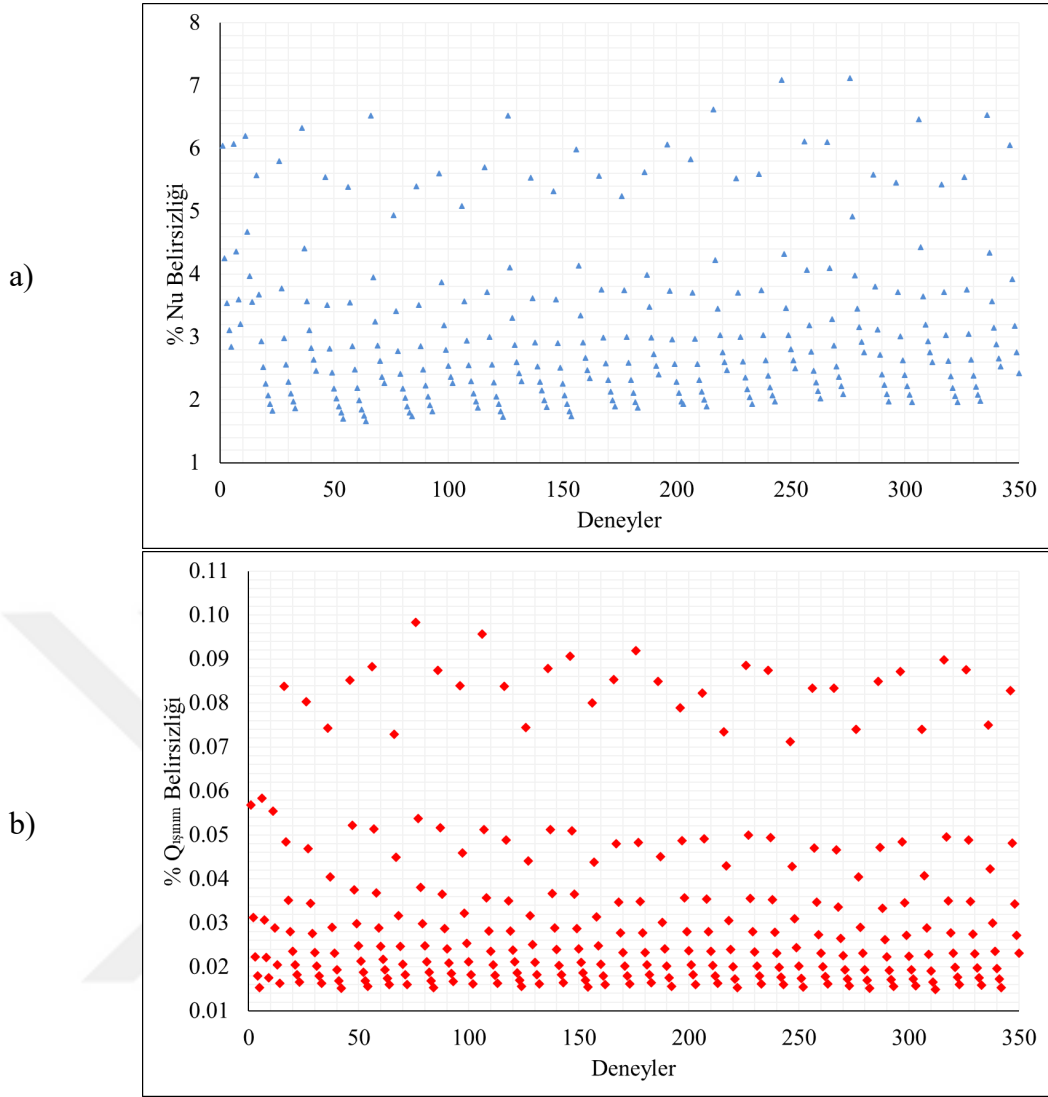
Şeklinde elde edilir.

Yüzdesel olarak Nusselt sayısı için toplam belirsizlik ifadesi;

$$\%W_{Nu}^* = \frac{W_{Nu}^*}{Nu} 100 \quad (3.25.)$$

Şeklinde hesaplanır.

Belirsizlik hesaplamaları Şekil 3.15'de gerçekleştirilen tüm deneyler için % belirsizlik olarak gösterilmiştir. Şekilde (a) grafiği incelendiğinde % Nusselt belirsizliği yaklaşık 1.5 ile 7 arasında değiştiği görülmektedir. Şekilde (b) grafiğinde ise ışınlıma ile ısı transferi hesaplamasındaki belirsizlik % 0.01 ile 0.1 arasında gerçekleştiği görülmektedir. Belirsizliklerin oluşmasında en büyük etkinin taşınımın hesaplamasında, elektrikteki akım ve direnç ölçümlerindeki kullanılan cihazın neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu neden ile ısıtma gücünde kullanılan elektrige dair değerlerin daha hassas biçimde ölçülmesi önerilebilir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu araştırmada 13 farklı kanatçıklı plakanın (düz, dikdörtgen kesitli ve sinüzoidal kanatçıklar, 3 farklı periyotta ve 4 farklı genlik değerinde; “H/30 1 mm, H/15 2 mm, H/10 3 mm, H/6 5 mm” dalgalı plakalar ile) ışınlım etkisi de dikkate alınarak doğal taşınım ile ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir. Tüm deneyler 3 farklı açı değerinde; yukarı (0°), yana (90°) ve aşağı bakar (180°) konumlarında ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Her bir test için kanatçıklar tabandan 2.5 Watt artışlar ile 8 farklı giriş gücü (2.5-20 Watt) ile ısıtılmıştır. 13 farklı kanatçıklı plaka, 3 farklı açı ile toplam 39 adet deney seti kurulmuştur.

Deney düzeneğinin doğruluğu belirlemek için ilk olarak deneylere düz plaka ile başlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatürde alttan ısıtılmış yüzeyin yatay şekilde konumlandırılması durumunda McAdams (1954) tarafından verilen;

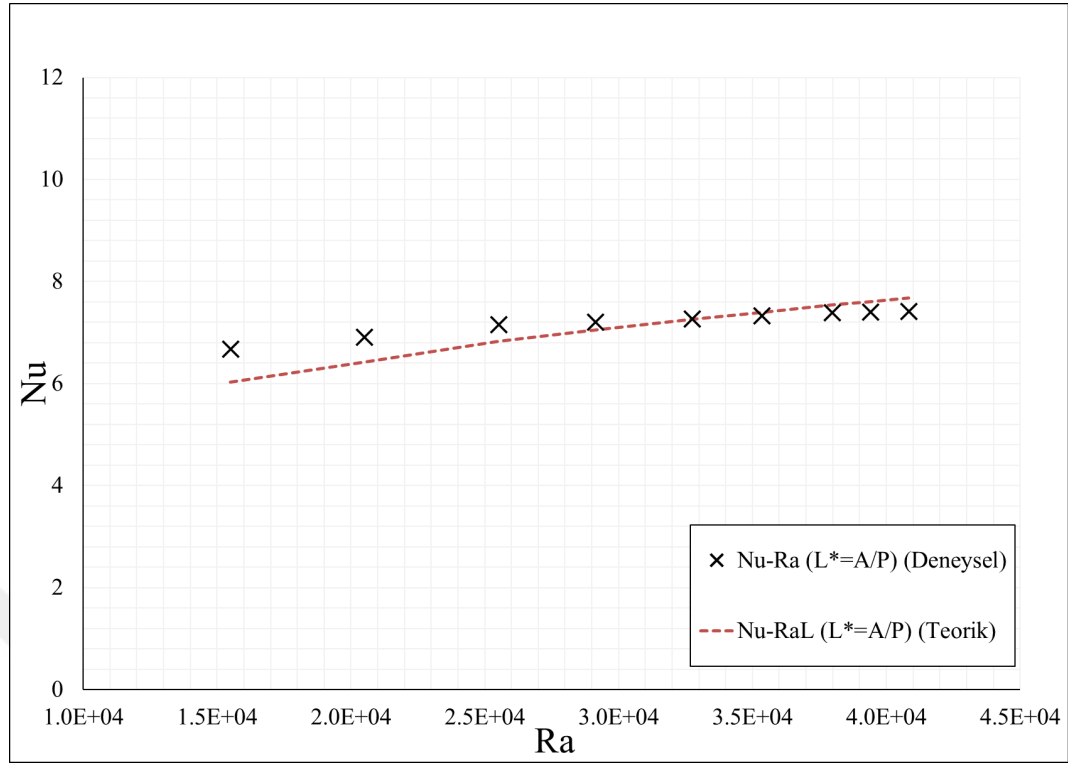
$$Nu_{L^*} = 0.54Ra_{L^*}^{1/4} \quad (10^4 < Ra_{L^*} < 2 \times 10^7) \quad (4.1.)$$

$$Nu_{L^*} = 0.15Ra_{L^*}^{1/3} \quad (2 \times 10^7 < Ra_{L^*} < 3 \times 10^{10}) \quad (4.2.)$$

(4.1) ve (4.2) korelasyonlar kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu korelasyonlarda karakteristik uzunluk denklem 4.3 verildiği gibi yüzey alanının toplam çevre uzunluğuna bölümü olarak hesaplandığı için düz plaka için de aynı karakteristik uzunluk kullanılmıştır.

$$L^* = A_s / P \quad (4.3.)$$

Düz plaka için Nusselt sayısının (Nu) Rayleigh sayısına (Ra) değişimini gösteren grafik şekil 4.1.’de gösterilmektedir. Şekil 4.1 incelendiğinde, düz plaka için elde edilen deneysel sonuçların literatürdeki teorik sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Düz plaka için Nusselt değerinin Rayleigh sayısına göre değişimi

Şekil 4.2'de 0° 'ye konumlandırılmış kanatçıkların Ra sayısına göre Nu sayısındaki değişimleri gösterilmiştir. Şekilde a, b ve c grafiklerinde sırası ile 1, 2 ve 3 periyotlu, 4 farklı genliğe sahip (H/30, H/15, H/10, H/6) sinüzoidal kanatçıklı plakaların eğrilerini gösterilmektedir.

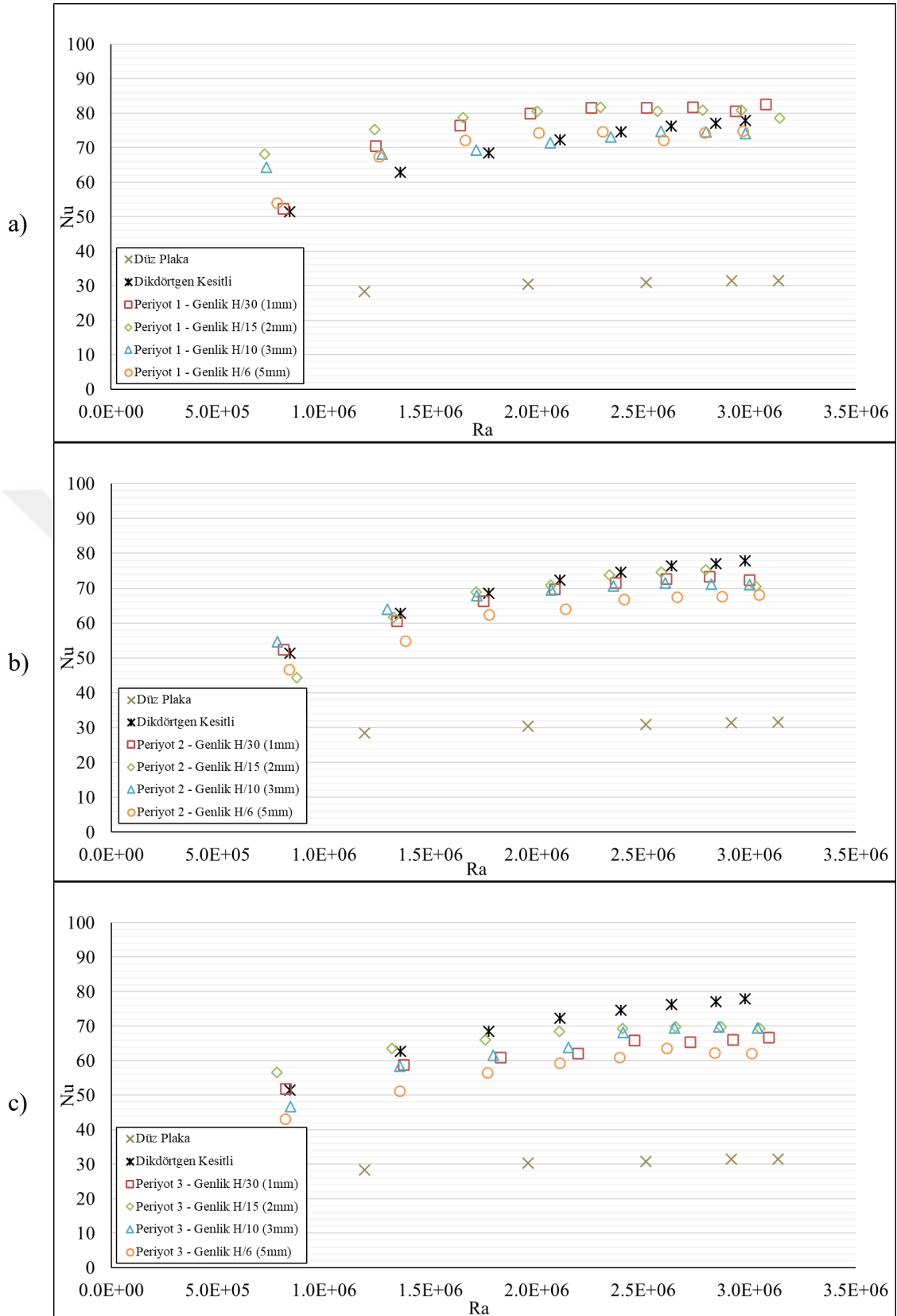
Şekil 4.2a incelendiğinde, 1 periyotlu sinüzoidal kanatçıklı plakaların değişim eğrileri birbirlerine benzerlik göstermektedir. Kanatçıksız düz plakanın Ra sayısına göre Nu değerlerinin değişimi yaklaşık sabit kalırken, kanatçıklı plakalarda bu oran oldukça fazla olduğu görülmektedir. Grafik daha detaylı incelendiğinde düşük Ra sayılarında ($Ra < 2 \times 10^6$) 2 mm (H/15) genliğe sahip kanatçığın en iyi Nu değerlerine sahip olduğu ve bu değer dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 32.65'e kadar daha yüksek olduğu saptanmaktadır. Ra sayısı belli bir değer yukarısında ise ($Ra > 2 \times 10^6$) çok az da olsa 1 mm (H/30) genliğe sahip kanatçığın % 9.48'e kadar daha yüksek bir Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 3 ve 5 mm (H/10, H/6) genliğe sahip sinüzoidal kanatçıkların,

belirli bir Ra sayısına kadar ($Ra = 2.5 \times 10^6$) dikdörtgen kesitli düz kanatçıklara göre Nu sayısının hafif daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 4.2b incelendiğinde, 2 periyotlu sırası ile 1 ve 2 mm genlikli sinüzoidal kanatçıkların Nu sayıları, dikdörtgen kesitli kanatçığa göre yaklaşık olarak aynı değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. 3 mm genlikli kanatçığın düşük Ra sayılarında dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 6.15'e kadar kısmi bir Nu artışı görülmektedir. 5 mm genlikli kanatçığın ise dikdörtgen kesitli kanatçığa göre %14.53'e kadar Nu değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin yüksek genliğin kanatçıklarda doğal taşınım hareketine engel olduğu bu nedenle de taşınım ile ısı transferini azalttığı söylenebilir.

Şekil 4.2c 3 periyotlu sırası ile 1, 2, 3 ve 5 mm genlikli (H/30, H/15, H10, H6) sinüzoidal kanatçıkların Nu değerlerinin, dikdörtgen kesitli kanatçığa göre bariz bir şekilde azaldığı görülmektedir. Belirli bir Ra sayısına kadar ($Ra = 1.5 \times 10^6$) 2 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre Nu değerlerinin % 10.5'a kadar arttığı, sonrasında ise Nu değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca bu sinüzoidal kanatçığın diğer kanatçıklar arasında en iyi Nu değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın ise en düşük Nu değerlerine sahip olduğu ve bu değerlerin dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 25.37'ye kadar daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.2 (a, b ve c) grafikleri birlikte incelendiğinde, sinüzoidal kanatçıklarda periyot arttıkça Nu değerlerinde hafif bir azalış olduğu görülmektedir. 1 periyotlu 2 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın en yüksek Nu değerlerine sahip olduğu ve bu değerlerin dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 32.65'e kadar daha yüksek olduğu görülmüştür. 3 periyotlu 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın ise en düşük Nu değerlerine sahip olduğu ve bu değerlerin dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakaya göre % 25.37'ye kadar daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3'de 90 derecede konumlandırılmış kanatçıkların Ra sayısına göre Nu sayısındaki değişimleri gösterilmiştir. Sırasıyla a, b ve c grafikleri 1, 2 ve 3 periyotlu, 4 farklı genliğe sahip (H30, H/15, H10, H/6) sinüzoidal kanatçıklı plakaların eğrilerini gösterilmektedir.

Şekil 4.3a incelendiğinde, 1 periyotlu sinüzoidal kanatçıkların hepsi, dikdörtgen kesitli kanatçığa göre 18.21'e kadar daha yüksek bir Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 1 mm genlikli kanatçığın belirli bir Ra ($Ra = 2,5 \times 10^6$) sayısına kadar 2, 3 ve 5 mm genlikli kanatçıklar ile benzer Nu eğrisine sahip olduğu görülmektedir. Bu değerden sonra 2 mm genlikli kanatçığın diğer kanatçıklara göre çok daha yüksek bir Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 3 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın en düşük Nu değerlerine sahip ve diğer sinüzoidal kanatçıklara göre (% 1.03) daha düşük bir artış sağladığı görülmektedir.

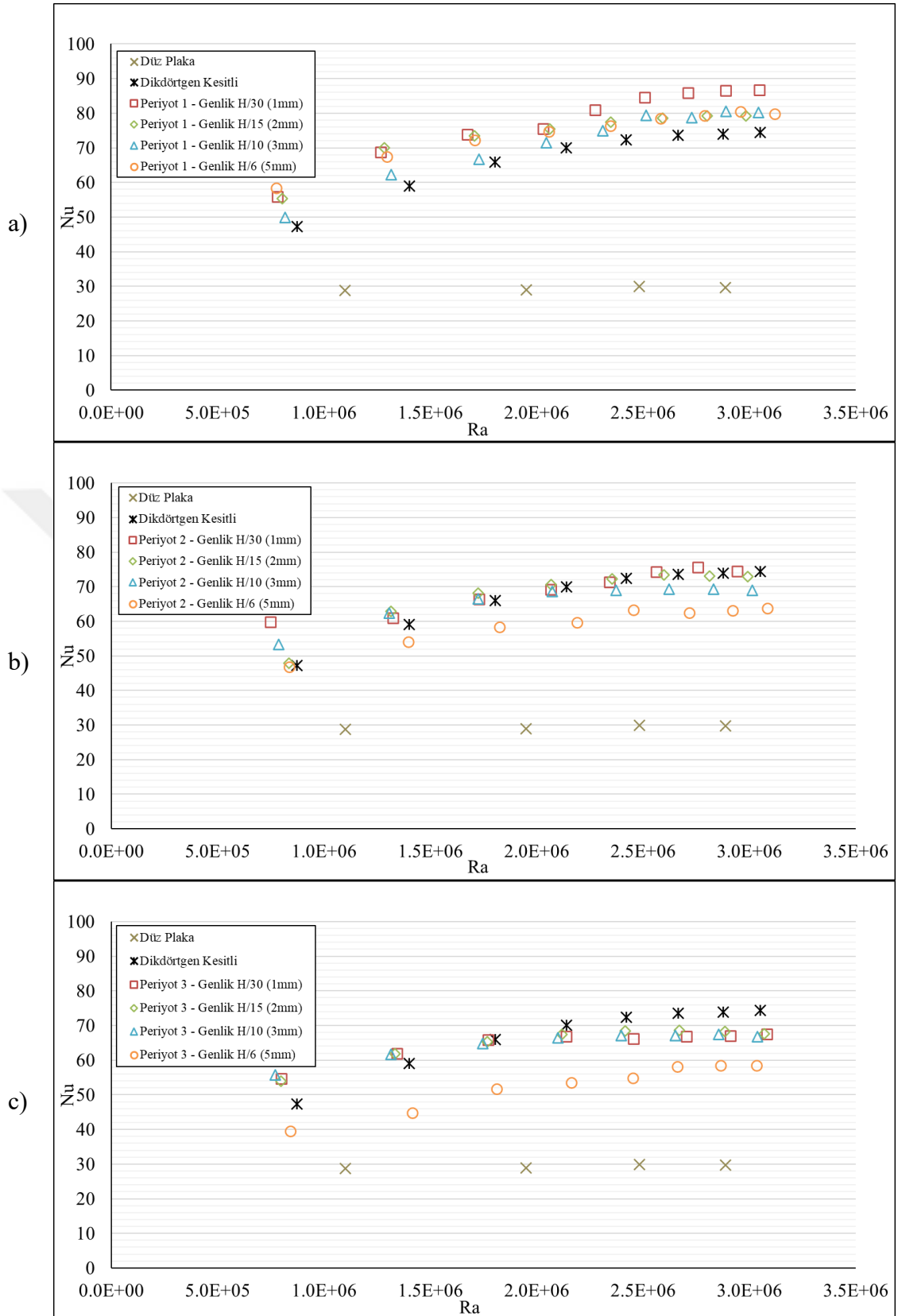
Şekil 4.3b incelendiğinde, 2 periyotlu sinüzoidal kanatçıklı plakalarda 1, 2 ve 3 mm genlikli kanatçıkların dikdörtgen kesitli kanatçıklara göre Nu eğrileri benzerlik göstermektedir. 1 mm genlikli kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre Nu değerlerinde % 26.29'e kadar bir artış sağladığı görülse de yüksek Ra sayılarında % 3.2'ye azalmıştır. 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçıkta belirli bir Ra sayısından sonra ($Ra = 1 \times 10^6$) dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 17.79'a kadar daha düşük bir Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.3c incelendiğinde, 3 periyotlu 1 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın, dikdörtgen kesitli kanatçığa göre belirli bir Ra ($Ra < 2 \times 10^6$) sayısına kadar Nu değerleri yüksek olduğu (% 15.34) görülmektedir. Bu değerden sonra dikdörtgen kesitli kanatçığa göre sinüzoidal kanatçığın Nu değerlerinde (% 10.28'e kadar) düşüş gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın diğer kanatçıklara göre en düşük Nu değerlerine sahip olduğu ve bu değerın dikdörtgen kanatçıklara göre % 32.2'e kadar daha az olduğu görülmektedir.

Şekil 4.3 (a, b ve c) grafikleri aynı anda incelendiğinde, 2 periyotlu kanatçığa göre 1 periyotlu kanatçığın daha yüksek bir Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 3 periyotlu kanatçığın 1 periyotlu kanatçığa göre belirli bir Ra sayısına kadar ($Ra < 1.5 \times 10^6$) yakın Nu eğrilerine sahip, fakat bundan daha yüksek Ra sayılarında 3 periyotlu sinüzoidal kanatçıkların daha düşük Nu sayılarına sahip olduğu görülmektedir. 90° konumlandırılmış sinüzoidal kanatçıklarda 1 periyotlu 2 mm genlikli kanatçığın en

yüksek Nu değerlerine sahip ve bu değer in dikdörtgen kesitli kanatçıklara göre % 18.62'e kadar bir artış sağladığı görülmektedir. 3 periyotlu 5 mm genlikli kanatçığın ise en düşük Nu değerlerine sahip ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre ise % 32.2'e kadar daha düşük olduğu görülmektedir.





Şekil 4.3. 90° konumlandırılmış düz plaka, dikdörtgen kesitli ve 4 farklı genliğe sahip a) 1 periyotlu, b) 2 periyotlu ve c) 3 periyotlu sinüzoidal kanatçıkların Nu - Ra değişim grafiği

Şekil 4.4'de 180 derecede konumlandırılmış kanatçıkların Ra sayısına göre Nu sayısındaki değişimleri gösterilmiştir. Sırasıyla a, b ve c grafikleri 1, 2 ve 3 periyotlu, 4 farklı genliğe sahip (H30, H/15, H10, H/6) sinüzoidal kanatçıklı plakaların eğrilerini gösterilmektedir.

Şekil 4.4a incelendiğinde, 1 periyotlu sinüzoidal kanatçıklarda belirli bir Ra sayısından sonra ($Ra < 1 \times 10^6$) genel olarak sinüzoidal kanatçıkların dikdörtgen kesitli kanatçıktan daha yüksek bir Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 2 mm genlikli kanatçığın en yüksek Nu değerlerine sahip olduğu ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 7.06 ile % 29.8 arasında artış sağladığı görülmektedir. Bu Ra sayısından önceki değerlerde ise Nu değerlerinin, 1 ve 3 mm genlikli kanatçıkların dikdörtgen kesitli kanatçığın altında kaldığı anlaşılmaktadır. 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın en düşük Nu değerlerine sahip olduğu görülse de halen dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 11.85 % 15.92 aralığında değişen daha yüksek bir Nu değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

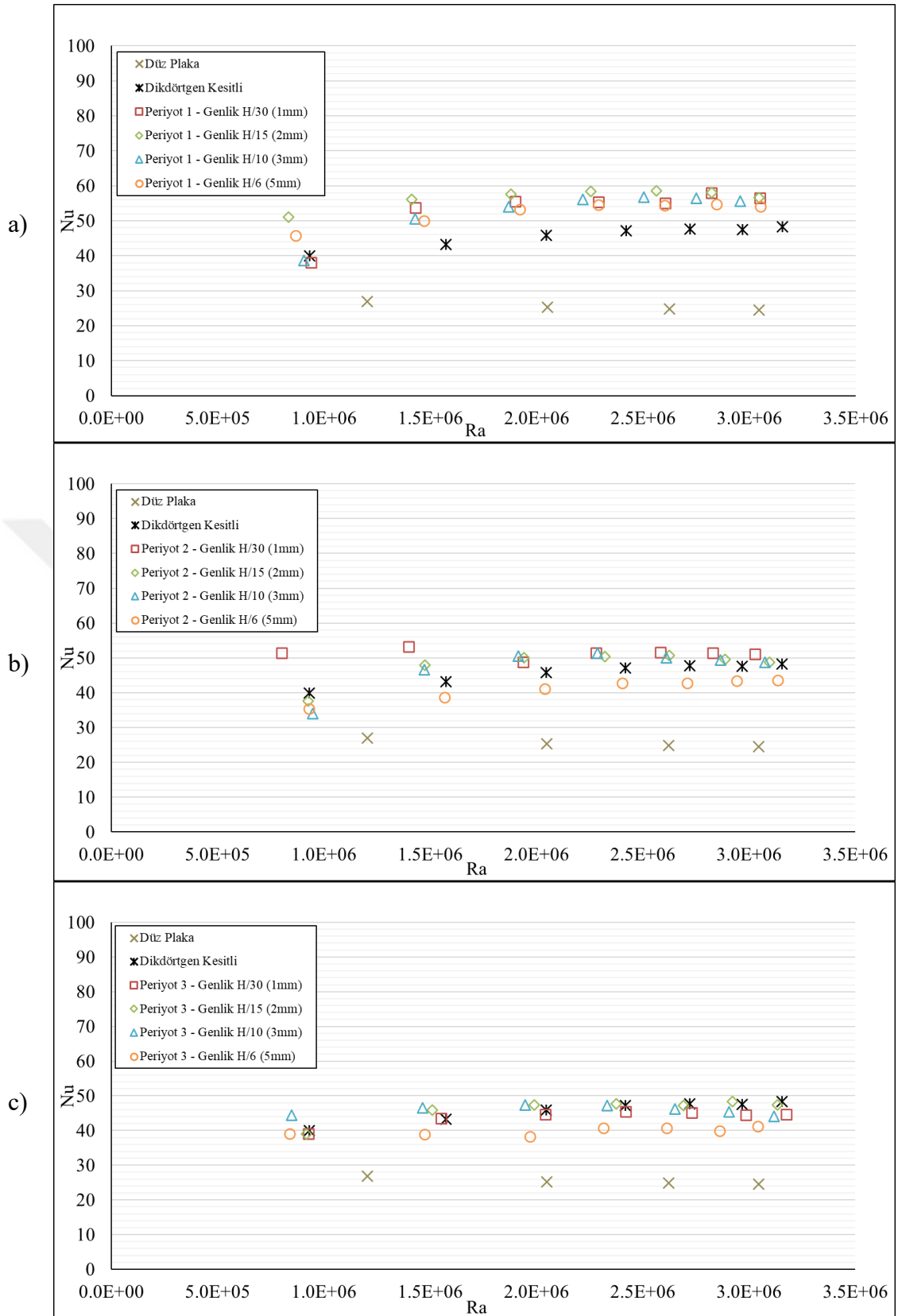
Şekil 4.4b incelendiğinde, 2 periyotlu sinüzoidal dalgalı kanatçıklarda düşük Ra sayılarında ($Ra < 2 \times 10^6$) 1 mm genlikli sinüzoidal kanatçıklı plakanın diğer kanatçıklardan Nu değerlerinde bariz bir şekilde artış görüldüğü ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 23.03-28.55 daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu değerden daha yüksek Ra sayılarında ise ($Ra < 2 \times 10^6$) sadece 5 mm genlikli kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçıktan daha düşük bir Nu değerlerine sahip olduğu (% 9.8 ile % 12.85) saptanmaktadır.

Şekil 4.4c incelendiğinde, 3 periyotlu sinüzoidal dalgalı kanatçıklarda düşük Ra sayılarında ($Ra < 1.75 \times 10^6$) 3 mm genlikli kanatçığın Nu değerlerinin en yüksek olduğu ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 11.19'a kadar daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu Ra sayısından sonra ise sinüzoidal ve dikdörtgen kanatçıkların yakın Nu eğrilerine sahip olduğu görülmektedir. 5 mm genlikli kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre en düşük Nu değerlerine (% 2.26 ile % 20.20 aralığında) sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.4 (a, b ve c) grafikleri aynı anda incelendiğinde, periyot arttıkça doğal taşınım hava hareketinin akış kanallarındaki artan genlikten dolayı olumsuz etkilendiği ve dolayısıyla Nu sayılarında azalış olduğu ve böylece ısı performansını kötü etkilediği görülmektedir. Aşağı bakar konumda (180°) dikdörtgen kesitli kanatçığa göre 1 periyot 2 mm genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçığın en yüksek Nu değerlerine sahip olduğu (%

29.8) görülmektedir. 3 periyotlu 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçıklı plakanın ise en düşük Nu değerlerine sahip olduğu (% 20.2) görülmektedir.





Şekil 4.4. 180° konumlandırılmış düz plaka, dikdörtgen kesitli ve 4 farklı genliğe sahip a) 1 periyotlu, b) 2 periyotlu ve c) 3 periyotlu sinüzoidal kanatçıkların Nu - Ra değişim grafiği

Şekil 4.5’de 0 derecede konumlandırılmış kanatçıkların Ra sayısına göre ışınlam ile gerçekleşen ısı transferinin toplam ısı transferindeki payı gösterilmiştir. A, b ve c grafikleri sırası ile 1, 2 ve 3 periyotlu, 4 farklı genliğe sahip (H30, H/15, H10, H/6) sinüzoidal kanatçıklı plakaların eğrilerini gösterilmektedir.

Şekil 4.5a incelendiğinde, kanatçıksız düz plakanın tüm kanatçıklı plakalardan daha yüksek bir ışınlam ısı transferi oranına sahip olduğu görülmektedir. 3 ve 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçıkların, dikdörtgen kesitli kanatçığa yakın bir ışınlam oranı eğrisine sahip olduğu görülmektedir. Düşük Ra sayılarında ($Ra < 2 \times 10^6$) 2 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın en düşük ışınlam oranına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Dikdörtgen kesitli kanatçığa göre ise ışınlam oranında % 9.03 ile % 17.73 arasında bir düşüş olduğu görülmektedir. Daha yüksek Ra sayılarında ise 1 mm genlikli kanatçığın en düşük ışınlam oranına sahip ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 6.02 % 2.19 lik bir düşüş gerçekleştiği saptanmaktadır. 5 mm genlikli kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre ışınlam oranında en yüksek (% 5.73’e kadar) artışa sahip kanatçık olduğu belirlenmiştir. Son olarak kanatçıklardan gerçekleşen ısı transferinde ışınlam oranının % 36 ile 48 arasında değiştiği elde edilen bulgular arasındadır.

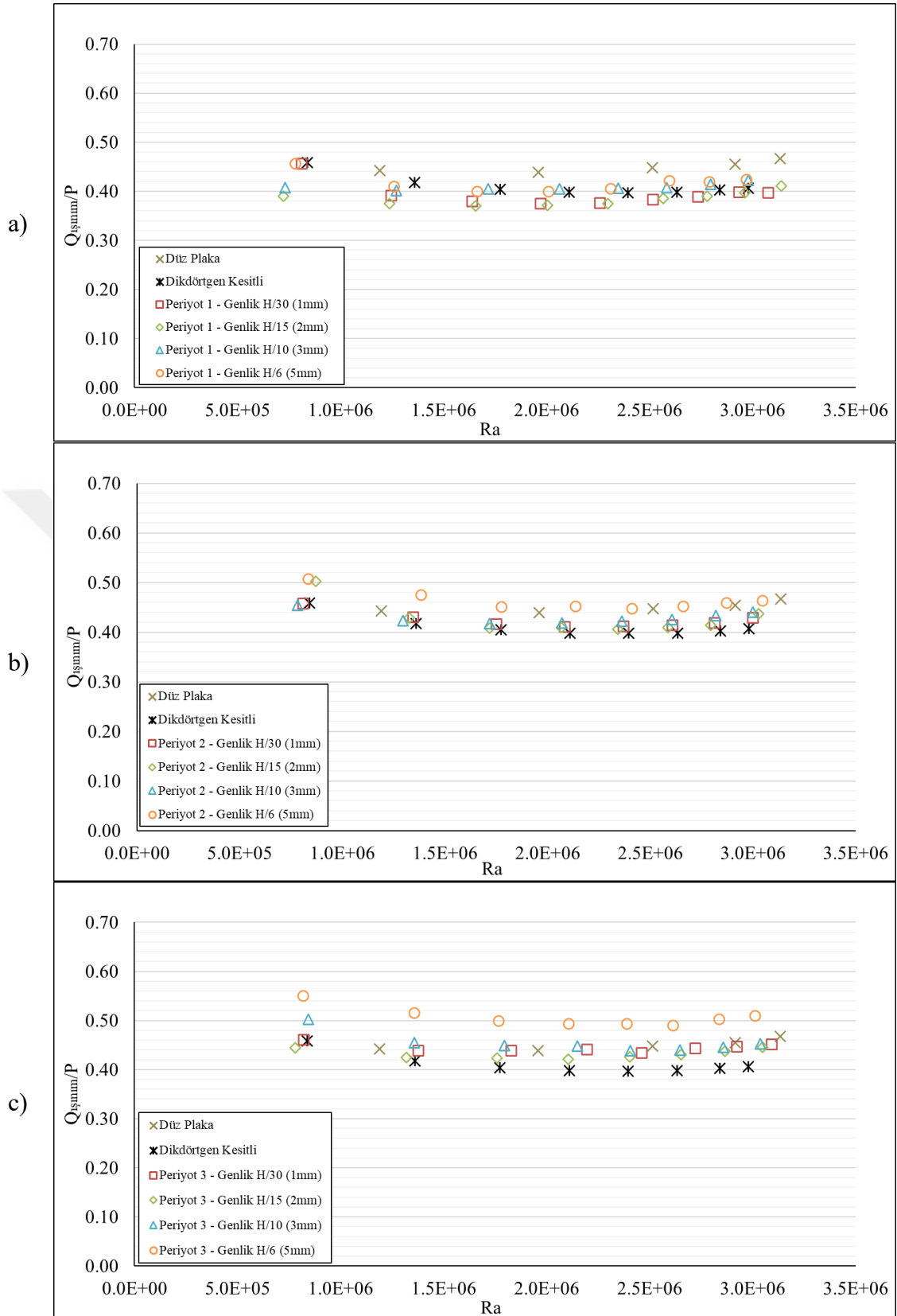
Şekil 4.5b incelendiğinde, 2 periyotlu kanatçıklar içinde 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın en yüksek ışınlam ile ısı transferi oranına sahip ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre ışınlamda % 13.98’e kadar bir artış sağladığı görülmektedir. Dikdörtgen kesitli kanatçığın en düşük ışınlam ile ısı transferi oranına sahip olduğu görülmektedir. 1, 2 ve 3 mm genliğe sahip kanatçıkların ise benzer bir ışınlam ile ısı transferi eğrisine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca kanatçıklardan gerçekleşen toplam ısı transferinde ışınlamın %40-51 arasında değişen bir oranda gerçekleştiği görülmüştür.

Şekil 4.5c incelendiğinde, 3 periyotlu kanatçıklar içerisinde 5 mm genliğe sahip sinüzoidal kanatçığın diğer tüm kanatçıklardan bariz bir şekilde daha yüksek ışınlam oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu dalgalı kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 25.19’a kadar bir artış sağladığı anlaşılmaktadır. 2 mm genlikli kanatçığın 3 periyotlu sinüzoidal kanatçıklar içinde en düşük ışınlam katkısına (% 3.32 % 9.69) sahip olduğu görülmektedir. Sinüzoidal kanatçıklardan gerçekleşen toplam ısı transferine ışınlamın katkısının %42-55 arasında değiştiği görülmektedir.

Şekil 4.5 (a, b ve c) grafikleri aynı anda incelendiğinde, ışınlam ile ısı transferi katkısının periyot arttıkça arttığı görülmektedir. Düşük Ra sayılarında ışınlam oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ra sayısı arttığında ise ışınlam oranının sabit kalma

eğiliminde olduğu görülmektedir. Sinüzoidal kanatçıklar içerisinde 3 periyoda ve 5 mm genliğe sahip kanatçığın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre en yüksek ışınlam katkısına sahip olduğu (% 25.19) görülmektedir. 1 periyotlu 2 mm genliğe sahip kanatçığın ise dikdörtgen kanatçığa göre en düşük ışınlam oranına sahip olduğu (% 17.73) saptanmaktadır.





Şekil 4.5. 0° konumlandırılmış düz plaka, dikdörtgen kesitli ve 4 farklı genliğe sahip a) 1 periyotlu, b) 2 periyotlu ve c) 3 periyotlu sinüzoidal kanatçıkların $Q_{sınım}$ - Ra değişim grafiği

Şekil 4.6'da 90 derecede konumlandırılmış kanatçıkların Ra sayısına göre ışınlama gerçekleşen ısı transferinin toplam ısı transferindeki oranı gösterilmiştir. A, b ve c grafikleri sırası ile 1, 2 ve 3 periyotlu, 4 farklı genliğe sahip (H30, H/15, H10, H/6) sinüzoidal kanatçıklı plakaların eğrilerini gösterilmektedir.

Şekil 4.6a incelendiğinde, 1 periyotlu kanatçıklar içerisinde tüm sinüzoidal kanatçıkların ışınlama ile ısı transfer oranı, dikdörtgen kesitli kanatçık eğrisinin altında kaldığı görülmektedir. Belirli bir Ra sayısından önce ($Ra = 2.5 \times 10^6$) sinüzoidal dalgalı kanatçıklar içerisinde 3 mm genlikli kanatçığın en yüksek ışınlama oranına sahip olduğu saptanmıştır. Dikdörtgen kesitli kanatçığa göre ise bu ışınlama oranının %0.56 ile -%4.20 arasında değiştiği görülmektedir. Daha yüksek Ra sayılarında ise 2, 3 ve 5 mm genlikli kanatçıkların benzer ışınlama oranı eğrisine sahip olduğu anlaşılmaktadır. 1 mm genlikli kanatçığın en düşük ışınlama ile ısı transferi oranına sahip ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 10.39'a kadar bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir. 1 periyota sahip sinüzoidal kanatçıklardan gerçekleşen toplam ısı transferindeki ışınlama katkısının % 38 ile 47 arasında değiştiği görülmektedir.

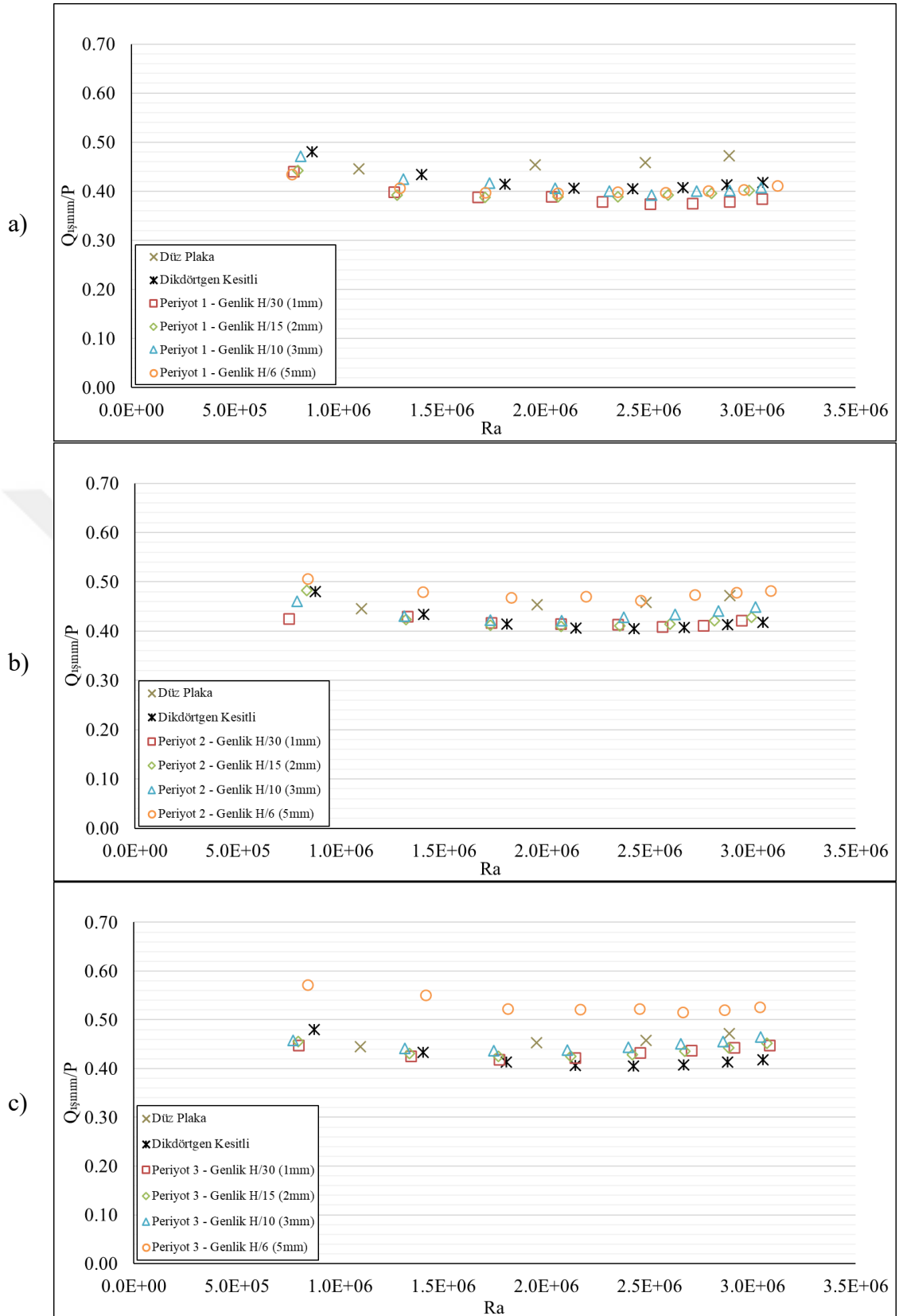
Şekil 4.6b incelendiğinde, 2 periyotlu kanatçıklar içerisinde 5 mm genlikli kanatçığın en yüksek ışınlama ile ısı transferi oranına sahip olduğu görülmektedir. Dikdörtgen kesitli kanatçığa göre ise ışınlama oranında % 15.93'e kadar bir artış sağladığı anlaşılmaktadır. Ra belirli bir değer altında ($Ra < 1.5 \times 10^6$), 1, 2 ve 3 mm genlikli kanatçıkların ışınlama ile ısı transferi oranının dikdörtgen kesitli kanatçığın altında kaldığı görülmektedir. Bu Ra değerinden sonra ise dikdörtgen kesitli kanatçıktan daha fazla bir ışınlama ile ısı transferi oranına sahip olduğu görülmektedir. 2 periyota sahip sinüzoidal kanatçıkların %41 ile %51 arasında değişen bir ışınlama ile ısı transferi oranına sahip olduğu elde edilen bulgular arasındadır.

Şekil 4.6c incelendiğinde, 3 periyotlu sinüzoidal kanatçıklar içinde 5 mm genlikli kanatçığın bariz bir şekilde en yüksek ışınlama ile ısı transfer oranına sahip ve bu oranın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 29.01'e kadar yüksek olduğu görülmektedir. 1, 2 ve 3 mm genlikli kanatçıkların benzer bir ışınlama ile ısı transferi oranı eğrisine sahip olduğu saptanmaktadır. Bu kanatçıkların düşük Ra sayılarında dikdörtgen kanatçığa göre daha yüksek bir ışınlama oranına sahip olduğu ve Ra arttıkça sabit kaldığı ardından hafif olarak arttığı anlaşılmaktadır. Sinüzoidal kanatçıklar içinde az da olsa 1 mm genlikli kanatçığın en düşük ışınlama oranına sahip olsa da dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 7.16 daha

yüksek olduğu bulunmuştur. 3 periyota sahip sinüzoidal kanatçıkların % 38 ile 58 arasında değişen bir ışınlım ile ısı transferi oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.6 (a, b ve c) grafikleri aynı anda incelendiğinde, dikey olarak konumlandırılmış 3 farklı periyoda ve 4 farklı genliğe sahip sinüzoidal dalgalı kanatçıklarda periyot sayısı arttıkça ışınlım ile ısı transferi oranının arttığı anlaşılmaktadır. 1 periyotlu kanatçık hariç 2 ve 3 periyota sahip kanatçıklar içerisinde 5 mm genlikli kanatçığın en yüksek ışınlım ile ısı transferi oranına sahip olduğu görülmektedir. 1 periyotlu ve 1 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın dikdörtgen kanatçığa göre en düşük ışınlım oranına (% 10.39) sahip olduğu görülmektedir. 3 periyotlu ve 5 mm genlikli kanatçığın ise dikdörtgen kesitli kanatçığa göre (% 29.01'e varan) en yüksek ışınlım oranına sahip kanatçık olduğu görülmektedir.





Şekil 4.6. 90° konumlandırılmış düz plaka, dikdörtgen kesitli ve 4 farklı genliğe sahip a) 1 periyotlu, b) 2 periyotlu ve c) 3 periyotlu sinüzoidal kanatçıkların $Q_{ışınım}/P$ - Ra değişim grafiği

Şekil 4.7'da 180 derecede konumlandırılmış kanatçıkların Ra sayısına göre ışınlama gerçekleşen ısı transferinin toplam ısı transferindeki oranı gösterilmiştir. A, b ve c grafikleri sırası ile 1, 2 ve 3 periyotlu, 4 farklı genliğe sahip (H30, H/15, H10, H/6) sinüzoidal kanatçıklı plakaların eğrilerini gösterilmektedir.

Şekil 4.7a incelendiğinde, 1 periyoda sahip kanatçıklar içerisinde tüm sinüzoidal kanatçıkların ışınlama ile ısı transferi oranı, dikdörtgen kesitli kanatçık eğrisinin altında kalma eğilimi olduğu görülmektedir. Belirli bir Ra değerinden sonra ($Ra > 1.5 \times 10^6$) sırası ile 5, 3, 1 ve 2 mm genlikli kanatçıkların yüksekten düşüğe doğru ışınlama oranlarına sahip olduğu görülmektedir. 2 mm genliğe sahip kanatçığın en düşük ışınlama katkısına sahip olduğu ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 14.80'e kadar bir düşüş gerçekleştiği saptanmıştır. 1 periyoda sahip sinüzoidal kanatçıklar içerisinde toplam ısı transferindeki ışınlama katkısının %45-54 arasında değiştiği görülmektedir.

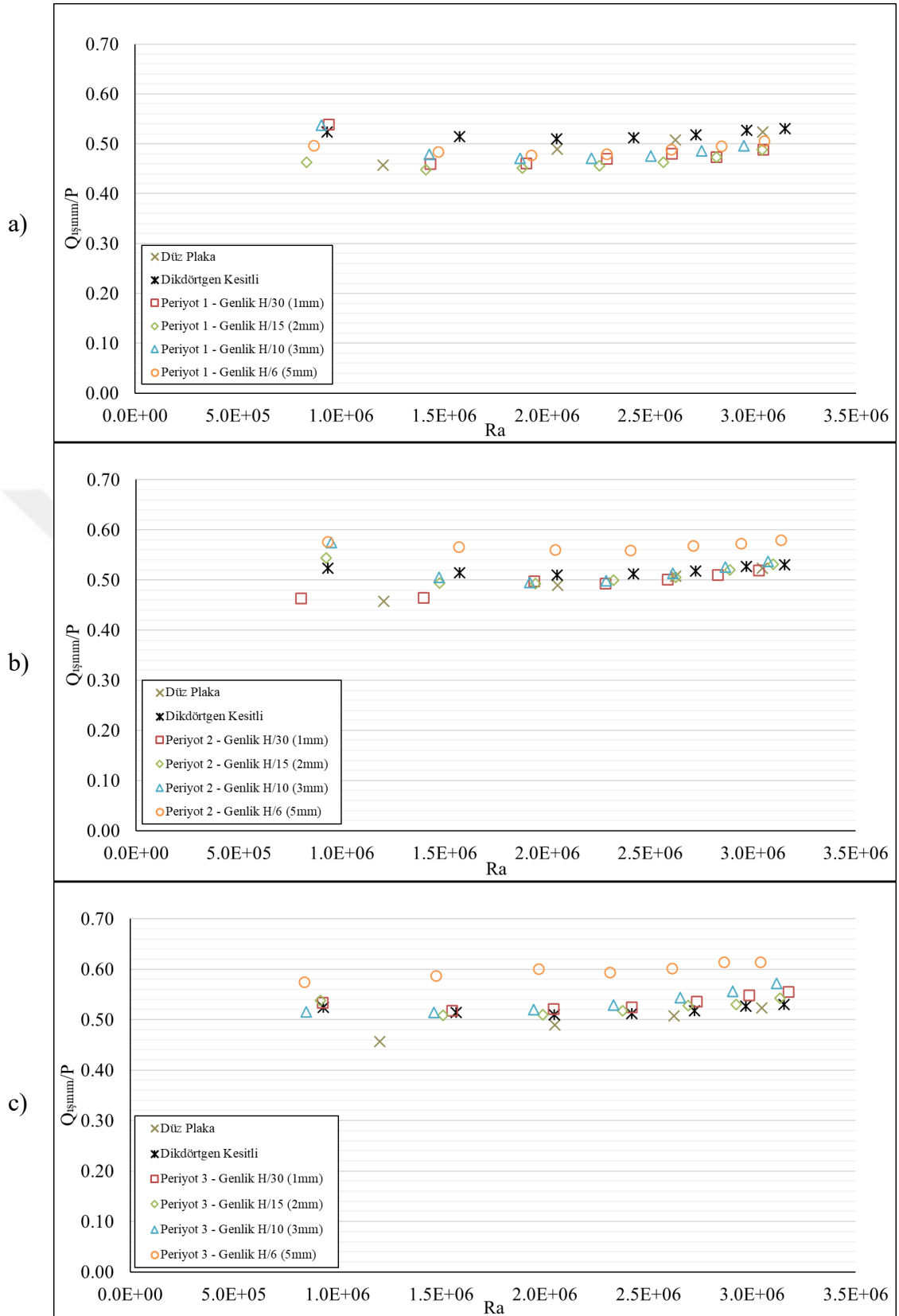
Şekil 4.7b incelendiğinde, 5 mm genliğe sahip kanatçığın en yüksek ışınlama ile ısı transferi oranına sahip ve bu oranın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 9.99'a kadar bir artış sağladığı görülmektedir. Bunun yanında diğer sinüzoidal dalgalı kanatçıkların ışınlama oranının dikdörtgen kesitli kanatçık eğrisinin altında kaldığı görülmektedir. Ra sayısı arttığında ise 1, 2 ve 3 mm genlikli kanatçıkların, dikdörtgen kesitli kanatçık eğrisine yakınlaşmaya başladığı görülmektedir. 2 periyoda sahip sinüzoidal dalgalı kanatçıkların % 47 ile 58 arasında değişen bir ışınlama ile ısı transfer oranına sahip olduğu bulunmaktadır.

Şekil 4.7c incelendiğinde, 3 periyoda sahip sinüzoidal dalgalı kanatçıklar içerisinde 5 mm genlikli kanatçığın en yüksek ışınlama ile ısı transfer oranına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu oranın ise % 17.75'e kadar arttığı bulunmaktadır. Ra arttıkça ışınlama katkısının arttığı görülmektedir. 1, 2 ve 3 mm genliğe sahip kanatçıkların birbirlerine yakın ışınlama ile ısı transfer oranına sahip olduğu bulunmaktadır. 3 periyoda sahip sinüzoidal dalgalı kanatçıkların %51 ile %61 arasında değişen bir ışınlama ile ısı transfer oranına sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.7 (a, b ve c) grafikleri aynı anda incelendiğinde, 180 derecede konumlandırılmış 3 farklı periyoda ve 4 farklı genliğe sahip sinüzoidal dalgalı kanatçıklarda periyot arttıkça ışınlama ile ısı transfer oranının arttığı bulunan sonuçlar arasındadır. Ayrıca her üç grafikten açıktır ki 5 mm genlikli kanatçığın en fazla ısı transferi gerçekleştiren kanatçık türü olduğu anlaşılmaktadır. 1 ve 2 periyotlu kanatçıkların dikdörtgen kesitli kanatçıktan daha düşük bir ışınlama sahip olduğu görülmektedir. 3 periyotlu kanatçıkların ise az da olsa dikdörtgen kesitli kanatçıklardan

daha iyi bir ışı nım oranına sahip oldu ğ u saptanmaktadır. Dikdörtgen kesitli kanatçı ğ a göre en yüksek ışı nım oranı artışı 3 periyotlu 5 mm genlikli sinüzoidal kanatçıklarda görülmüş ve bu oran % 17.75'e kadar çıktı ğ ı görülmektedir. En düşük ışı nım oranının 1 periyotlu ve 1 mm genlikli sinüzoidal kanatçı ğ ın sahip oldu ğ u ve dikdörtgen kesitli kanatçı ğ a göre ise % 14.80'e varan bir düşüş görüldü ğ ü elde edilen bulgular arasındadır.





5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada yalıtım ile izole edilmiş bir muhafazaya yerleştirilen düz plaka, dikdörtgen kesitli kanatçıklı plaka ve üç farklı periyoda sahip (1, 2, 3) ve dört farklı genliğe sahip (1 mm H/30, 2 mm H/15, 3 mm H/10, 5 mm H/6) toplamda 12 adet sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakaların doğal taşınım ısı transferine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Doğal taşınım ile ısı transferinin yanında ışınımın etkisi göz önüne alınmıştır. Yapılan tüm testler 3 farklı oryantasyonda (0° yatay, 90° dikey, 180° aşağı bakar) gerçekleştirilmiştir. Deneysel 8 farklı güç değeri (2.5-20 Watt) için tekrarlanmıştır. 39 adet deney seti ile toplamda 327 adet deney yürütülmüştür. Her bir deneyde taban plakası sıcaklık artışı % 0.5 değerinin altına düştüğünde sistem kararlı rejime ulaştığı kabul edilmiştir. Kararlı rejime ulaşıldıktan sonra elde edilen sıcaklıklar veri bilgisayarına kaydedildikten sonra bir sonraki güç artışını yine veri bilgisayarı otomatik olarak değiştirmiştir. Tüm bu sistem otomasyona dayalı olarak uzaktan da kontrol edilmiştir. Numune başına deneyler yaklaşık 2.5-4 saat arasında sürmüştür. Işınım ile ısı transferi etkileri, şekil faktörü de göz önüne alınarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar özet olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- ❖ Sinüzoidal kanatçıklarda periyot artarken ısı performansta bir azalmanın olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak periyot arttıkça hava akışında blokajın oluşması ve bunun ısı transferini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.
- ❖ 1 periyotlu sinüzoidal dalgalı kanatçıkların dikdörtgen kesitli kanatçıklara göre daha yüksek Nu değerlerine sahip olduğu görülürken, 2 periyotlu sinüzoidal dalgalı kanatçıkların ise dikdörtgen kesitli kanatçıklar ile benzer bir Nu eğrisi olduğu görülmektedir. 3 periyotlu sinüzoidal dalgalı kanatçıkların Nu değerleri dikdörtgen kesitli kanatçıkların daha da altında kaldığı gözlemlenmiştir.
- ❖ Yatay konumlandırılmada (0°) dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakaya göre en yüksek ısı performansına sahip sinüzoidal kanatçığın 1 periyotlu 2 mm (H/15) genlikli kanatçıklı plaka olduğu ve bu oranın % 32.65'e kadar yüksek çıktığı elde edilen bulgular arasındadır. En düşük ısı performanslı kanatçığın ise 3 periyotlu 5 mm (H/6) genlikli

kanatçık olduğu ve bu oranın dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 25.37'ye kadar bir azalma olduğu bulunmuştur.

- ❖ Dikey konumlandırmada (90°) dikdörtgen kesitli kanatçığa göre Nu değerlerindeki en fazla artışın 1 periyotlu 2 mm (H/15) genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçık olduğu ve bu oranın % 18.62'e kadar çıktığı bulunan sonuçlar arasındadır. Dikdörtgen kesitli kanatçığa göre Nu değerlerinde en fazla düşüşün, 3 periyotlu 5 mm (H/6) genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakalarda gerçekleştiği görülmüştür. Gözlemlenen düşüşün % 32.20'ye kadar vardığı görülmüştür.
- ❖ Aşağı bakar konumlandırmada (180°) dikdörtgen kesitli kanatçığa göre Nu değerlerinde en fazla artışın 1 periyotlu 2 mm (H/15) genlikli kanatçıklarda olduğu ve bu oranın % 29.80'e kadar yüksek çıktığı bulunmuştur. 3 periyotlu 5 mm (H/6) genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakanın ise en düşük Nu değerlerine sahip ve dikdörtgen kesitli kanatçığa göre % 20.20'ye varan bir azalışın olduğu görülmüştür.
- ❖ Tüm oryantasyonlarda 1 periyotlu 2 mm (H/15) genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçığın en yüksek ısı performansına sahip kanatçık olduğu saptanmıştır.
- ❖ Tüm oryantasyonlarda 3 periyotlu 5 mm (H/6) genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçığın ise en düşük ısı performanslı kanatçık olduğu görülmüştür. Nedeninin yüksek genliklerde akışın engelleneceği ve hava hareketinin yavaşlamasından kaynaklı taşınım ile ısı transferinin azalacağı tahmin edilmektedir.
- ❖ Yatay konumlandırmanın (0°) dikey konumlandırmadan (90°) daha yüksek Nu değerlerine sahip bir oryantasyon olduğu belirlenmiştir.
- ❖ Aşağı bakar (180°) konumlandırmanın taşınım ile ısı transferini en olumsuz etkileyen konumlandırma olduğu görülmüştür.
 - ❖ Sonuç olarak en yüksek ısı performansına sahip 1 periyotlu 2 mm genlikli sinüzoidal kanatçığın dikdörtgen kanatçığa göre, Nu değerlerinde sırası ile 0° , 90° ve 180° oryantasyonda % 32.65, % 18.62 ve % 29.80'e kadar varan bir artış sağladığı görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre sinüzoidal dalgalı kanatçıkların en fazla Nu artışı sağladığı oryantasyonlar büyükten küçüğe sırası ile 0° , 180° , 90° olduğu saptanmıştır.

Işınım ile ısı transferine yönelik bulgular;

- ❖ Periyot ve genlik arttıkça ışınım ile ısı transferi oranının da arttığı gözlemlenmiştir.

- ❖ Tüm sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakalarda ışınlama gerçekleşen ısı transferinin toplam ısı transferine katkısının %37 ile %61 arasında değişen bir aralıkta olduğu bulunmuştur.
- ❖ 3 periyotlu 5 mm genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçığın en yüksek ışınlama ile ısı transferi oranına sahip kanatçık olduğu görülmüştür.
- ❖ Yatay konumlandırılarda (0°) dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakaya göre ışınlama oranında artışın en yüksek olduğu kanatçığın 3 periyotlu 5 mm genlikli kanatçık (% 25.19), en fazla azalmanın olduğu kanatçığın ise 1 periyotlu 2 mm genlikli kanatçıklı plaka (%17.73) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca giriş gücüne göre ışınlama ile gerçekleşen ısı transferi oranının %36 ile %55 arasında değiştiği görülmektedir.
- ❖ Dikey konumlandırılarda (90°) dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakaya göre ışınlama oranında artışın en yüksek olduğu kanatçığın 3 periyotlu 5 mm genlikli kanatçık (% 29.01), en fazla azalmanın olduğu kanatçığın ise 1 periyotlu 2 mm genlikli kanatçıklı plaka (%10.39) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca giriş gücüne göre ışınlama ile gerçekleşen ısı transferi oranının %38 ile %58 arasında değiştiği görülmektedir.
- ❖ Aşağı bakar konumlandırılarda (180°) dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakaya göre ışınlama oranında artışın en yüksek olduğu kanatçığın 3 periyotlu 5 mm genlikli kanatçık (% 17.75), en fazla azalmanın olduğu kanatçığın ise 1 periyotlu 2 mm genlikli kanatçıklı plaka (%14.80) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca giriş gücüne göre ışınlama ile gerçekleşen ısı transferi oranının %45 ile %61 arasında değiştiği görülmektedir.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda standart dikdörtgen kesitli kanatçıklı plakalara göre 1 periyotlu 2 mm (H/15) genlikli yatay sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakaların kullanılmasının daha verimli olacağı sonucu elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

Gerçekleştirilen çalışmalar sırasında edinilen bilgi ve tecrübelerle istinaden gelecekteki çalışmalar için araştırmacılara aşağıdaki öneriler verilebilir.

- Bu tez kapsamında yapılan deneylerde kullanılan sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakalar üzerine delik, geometrik değişiklikler gibi işlemler ile Nu değerlerinde bir artış sağlanabilir.
- Zorlanmış (Cebri) taşınım ile ısı transferi etkileri araştırılabilir.

- Elde edilen ısı transferi sonuçları ile kanatçık geometri parametreleri arasında nümerik korelasyonlar kurularak veri indirilmesi sağlanabilir ve böylelikle ara değerlerin bulunması sağlanabilir.
- Kanatçıklar arası mesafeler (S) değiştirilerek doğal taşınım ve ışıyım etkileri incelenebilir.
- Farklı kanatçık yüksekliklerine (H) sahip kanatçıklı plaka dizilimleri için ısı transfer performansı etkileri incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Abbas, A., Wang, C.-C., 2020 Augmentation of natural convection heat sink via using displacement design. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 154:, 119757.
- Ahmadi, M., Pakdaman, M. F., Bahrami, 2015, M. Pushing the limits of vertical naturally-cooled heatsinks; Calculations and design methodology. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 87:, 11–23.
- Aihara, T., Maruyama, S., Kobayakawa, S., 1990, Free convective/radiative heat transfer from pin-fin arrays with a vertical base plate (general representation of heat transfer performance). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 33(6):, 1223–1232.
- Altun, A. H., Ziyilan, O., 2019, Experimental investigation of the effects of horizontally oriented vertical sinusoidal wavy fins on heat transfer performance in case of natural convection. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 139:, 425–431.
- Awasarmol, U. V., Pise, A. T., 2018, Experimental Study of Heat Transfer Enhancements from Array of Alternate Rectangular Dwarf Fins at Different Inclinations. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 99(1):, 125–131.
- Azarkish, H., Sarvari, S. M. H., Behzadmehr, A., 2010, Optimum geometry design of a longitudinal fin with volumetric heat generation under the influences of natural convection and radiation. *Energy Conversion and Management*, 51(10):, 1938–1946.
- Baldry, M., Timchenko, V., Menictas, C., 2019, Optimal design of a natural convection heat sink for small thermoelectric cooling modules. *Applied Thermal Engineering*, 160(March):, 114062.
- Çengel, Y. ve Cimbala, J., M., 2015, *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları (Üçüncü Baskıdan Çeviri)*, Ankara, Palme Yayıncılık, 350-362, 948.
- Chu, W.-X., Lin, Y.-C., Chen, C.-Y., Wang, C.-C., 2019, Experimental and numerical study on the performance of passive heat sink having alternating layout. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 135:, 822–836.
- Davoodi, H., Yaghoubi, M., 2019, Experimental and numerical study of natural convection heat transfer from arrays of zigzag fins. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 55(7):, 1913–1926.
- Do, K. H., Kim, T. H., Han, Y. S., Choi, B. Il, Kim, M. B., 2012, General correlation of a natural convective heat sink with plate-fins for high concentrating photovoltaic module cooling. *Solar Energy*, 86(9):, 2725–2734.
- Effendi, N. S., Kim, K. J. 2017, Orientation effects on natural convective performance of hybrid fin heat sinks. *Applied Thermal Engineering*, 123(May):, 527–536.
- Feng, S., Shi, M., Yan, H., Sun, S., Li, F., Lu, T. J., 2018, Natural convection in a cross-

- fin heat sink. *Applied Thermal Engineering*, 132:, 30–37.
- Fujii, M., 2007, Enhancement of natural convection heat transfer from a vertical heated plate using inclined fins. *Heat Transfer - Asian Research*, 36(6):, 334–344.
- Genceli, O. F., 1998, Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Harahap, F., Lesmana, H., Dirgayasa, I. K. T. A. S., 2006, Measurements of heat dissipation from miniaturized vertical rectangular fin arrays under dominant natural convection conditions. *Heat and Mass Transfer*, 42(11):, 1025–1036.
- Hassan, H., Shafey, N. Y. A., 2021, 3D study of convection-radiation heat transfer of electronic chip inside enclosure cooled by heat sink. *International Journal of Thermal Sciences*, 159(19–20):, 106585.
- Howell, J.R., Menguc, M.P., & Siegel, R., 2010, *Thermal Radiation Heat Transfer*
- Kakaç, S., 1970, Örneklerle Isı Transferi, ODTÜ, Yayın No.27, ANKARA
- Karagiozis, A., Raithby, G. D., Hollands, K. G. T., 1994, Natural Convection Heat Transfer From Arrays of Isothermal Triangular Fins in Air. *Journal of Heat Transfer*, 116(1):, 105–111.
- Karlapalem, V., Dash, S. K., 2021, Design of perforated branching fins in laminar natural convection. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 120(December 2020):, 105071.
- Karlapalem, V., Rath, S., Dash, S. K., 2019, Orientation effects on laminar natural convection heat transfer from branching-fins. *International Journal of Thermal Sciences*, 142(September 2018):, 89–105.
- Khor, Y. K., Hung, Y. M., Lim, B. K., 2010, On the role of radiation view factor in thermal performance of straight-fin heat sinks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(8):, 1087–1095.
- Kim, J. S., Park, B. K., Lee, J. S., 2008, Natural Convection Heat Transfer Around Microfin Arrays. *Experimental Heat Transfer*, 21(1):, 55–72.
- Kulkarni, D. P., Das, D. K., 2005, Analytical and numerical studies on microscale heat sinks for electronic applications. *Applied Thermal Engineering*, 25(14–15):, 2432–2449.
- Leung, C. W., Probert, S. D., 1987, Heat-exchanger design: Optimal uniform thickness of Vertical rectangular fins protruding perpendicularly outwards, at uniform separations, from a Vertical rectangular ‘Base.’ *Applied Energy*, 26(2):, 111–118.
- Leung, C. W., Probert, S. D., Shilston, M. J., 1985, Heat exchanger design: Optimal uniform separation between rectangular fins protruding from a vertical rectangular base. *Applied Energy*, 19(4):, 287–299.

- Mahmoud, S., Al-Dadah, R., Aspinwall, D. K., Soo, S. L., Hemida, H., 2011, Effect of micro fin geometry on natural convection heat transfer of horizontal microstructures. *Applied Thermal Engineering*, 31(5):, 627–633.
- McAdams, W. H., 1954, *Heat Transmission*, New York, : McGraw-Hill.
- Micheli, L., Reddy, K. S., Mallick, T. K. a., 2015, General correlations among geometry, orientation and thermal performance of natural convective micro-finned heat sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 91:, 711–724.
- Micheli, L., Reddy, K. S., Mallick, T. K. b., 2015, Plate Micro-fins in Natural Convection: An Opportunity for Passive Concentrating Photovoltaic Cooling. *Energy Procedia*, 82:, 301–308.
- Micheli, L., Reddy, K. S., Mallick, T. K., 2016, Experimental comparison of micro-scaled plate-fins and pin-fins under natural convection. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 75(July):, 59–66.
- Mousavi, H., Rabienataj Darzi, A. A., Farhadi, M., Omidi, M., 2018, A novel heat sink design with interrupted, staggered and capped fins. *International Journal of Thermal Sciences*, 127(January 2017):, 312–320.
- Mueller, D. W., Abu-Mulaweh, H. I., 2006, Prediction of the temperature in a fin cooled by natural convection and radiation. *Applied Thermal Engineering*, 26(14–15):, 1662–1668.
- Naik, S., Probert, S. D., Wood, C. I., 1987, Natural-convection characteristics of a horizontally-based vertical rectangular fin-array in the presence of a shroud. *Applied Energy*, 28(4):, 295–319.
- Nair, D. V., Ghoshdastidar, P. S., 2018, A comparative study of 2-D and 3-D conjugate natural convection from a vertical rectangular fin array with multilayered base subjected to distributed high heat flux. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 121:, 1316–1334.
- Oh, Y. W., Choi, Y. S., Ha, M. Y., Min, J. K., 2019, A numerical study on the buoyancy effect around slanted-pin fins mounted on a vertical plate (Part-I: Laminar natural convection). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 132:, 731–744.
- Putra, S. S. G. R., Effendi, N. S., Kim, K. J., 2019, A parametric study on structural effects of hollow hybrid fin heat sinks in natural convection and radiation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(6):, 2985–2993.
- Rammohan Rao, V., Venkateshan, S. P., 1996, Experimental study of free convection and radiation in horizontal fin arrays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39(4):, 779–789.
- Rao, V. D., Naidu, S. V., Rao, B. G., Sharma, K. V., 2006, Heat transfer from a horizontal fin array by natural convection and radiation—A conjugate analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

- Sahray, D., Shmueli, H., Ziskind, G., Letan, R., 2010, Study and Optimization of Horizontal-Base Pin-Fin Heat Sinks in Natural Convection and Radiation. *Journal of Heat Transfer*, 132(1):, 1–13.
- Sertkaya, A. A., Bilir, Ş., Kargici, S., 2011, Experimental investigation of the effects of orientation angle on heat transfer performance of pin-finned surfaces in natural convection. *Energy*, 36(3):, 1513–1517.
- Shokouhmand, H., Ahmadpour, A., 2010, Heat transfer from a micro fin array heat sink by natural convection and radiation under slip flow regime. *WCE 2010 - World Congress on Engineering 2010*, 2:, 1286–1291.
- Sparrow, E. M., Vemuri, S. B., 1985, Natural Convection/Radiation Heat Transfer From Highly Populated Pin Fin Arrays. *Journal of Heat Transfer*, 107(1):, 190–197.
- Sparrow, E. M., Vemuri, S. B., 1986, Orientation effects on natural convection/radiation heat transfer from pin-fin arrays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 29(3):, 359–368.
- Suryawanshi, S. D., Sane, N. K., 2009, Natural Convection Heat Transfer From Horizontal Rectangular Inverted Notched Fin Arrays. *Journal of Heat Transfer*, 131(8):, 1–6.
- Tari, I., 2009, Passive cooling assembly for flat panel displays with integrated high power components. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55(3):, 1707–1713.
- Tari, I., Mehrtash, M., 2013, Natural convection heat transfer from inclined plate-fin heat sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 56(1–2):, 574–593.
- Yu, E., Joshi, Y., 2002, Heat transfer enhancement from enclosed discrete components using pin–fin heat sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(25):, 4957–4966.
- Yu, S.-H., Jang, D., Lee, K.-S., 2012, Effect of radiation in a radial heat sink under natural convection. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(1–3):, 505–509.
- Zhang, K., Li, M.-J., Wang, F.-L., He, Y.-L., 2020, Experimental and numerical investigation of natural convection heat transfer of W-type fin arrays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 152:, 119315.
- Zhang, Z., Lau, E., Botting, C., Bahrami, M., 2020, Naturally cooled heat sinks for battery chargers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 147:, 118911.
- Zografos, A. I., Sunderland, J. E., 1990, Numerical simulation of natural convection from pin fin arrays. *American Society of Mechanical Engineers, Heat Transfer Division, (Publication) HTD*, 157:, 55–61.

EKLER

EK-1

1 atm basınçta havanın özellikleri tablosu (Çengel ve Cimbala, 2015)

1 atm basınçta havanın özellikleri							
Sıcaklık	Yoğunluk	Özgül Isı	Isıl İletkenlik	Isıl Yayınım Katsayısı	Dinamik Viskozite	Kinematik Viskozite	Prandtl Sayısı
$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$	$k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	$\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	$\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

EK-2

Düz plaka için örnek bir hesaplama

Düz plaka için örnek bir veri indirgeme süreci aşağıda sunulmuştur. Kanatçıklı plakalar için belirtilmiş denklemler ve kabuller, düz plaka için de aynı şekilde kabul edilmiştir. Hesaplamalarda deneylerde elde edilen sıcaklık verileri (T_w, T_∞) kullanılmıştır. Nu ve Ra değerler, ölçülerek ve hesaplanarak bulunan veriler kullanılarak aşağıdaki adımlar takip edilerek elde edilmiştir.

Ölçülen ve hesaplanan verilerden faydalanılarak Nu ve Ra değerleri aşağıda belirtilen adımlar takip edilerek bulunmuştur. Örnek hesaplama yatay (0 derece) konumda ve 10 Watt güç değerine göre yapılmıştır.

$$P = 10 \text{ W}$$

$$T_w = 372.83 \text{ K}$$

$$T_\infty = 297.95 \text{ K}$$

$$T_f = (T_w + T_\infty) / 2 = 335.99 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_w - T_\infty = 74.88 \text{ K}$$

$$A_{plaka} = LW = (0.09)(0.08) = 0.0072 \text{ m}^2$$

$$Q_{Işınım} = F_\varepsilon F_f \sigma A_{plaka} (T_w^4 - T_\infty^4)$$

$$F_\varepsilon = 1$$

$$F_f = 1$$

$$Q_{Işınım} = (1)(1)(5.67)(10^{-8})(372.83^4 - 297.95^4) = 4.67 \text{ W}$$

$$Q_{taşınım} = P - Q_{Işınım} = 10 - 4.67 = 5.33 \text{ W}$$

$$Nu = \frac{h L^*}{k}$$

$$T_f = 335.99 \text{ K} \rightarrow k = 0.02825 \text{ W/mK}$$

$$L^* = A_{plaka} / Perimetre = 0.021176 \text{ m}$$

$$Q_{taşınım} = h A_{plaka} (T_w - T_\infty) \text{ denkleminde}$$

Nu denkleminde h değeri konursa;

$Nu = 7.41$ olarak bulunur.

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} Pr$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 1/T_f = 0.002982 \text{ 1/K}$$

$$T_f = 335.99 \text{ K} \rightarrow Pr = 0.720$$

$$T_f = 335.99 \text{ K} \rightarrow \nu = 0.00001914 \text{ m}^2/\text{s}$$

$Ra = 40844.64$ olarak hesaplanır.

EK-3**Sinüzoidal dalgalı 1 Periyotlu H/6 (5mm) genlikli kanatçık için örnek bir hesaplama**

Benzer bir örnek veri indirgemesi sinüzoidal dalgalı 1 Periyotlu H/6 (5mm) genlikli kanatçıklı plaka için aşağıda sunulmuştur. Hesaplamalar yukarı bakar (0 derece) konumlandırılmış şekilde ve 10 Watt güç değerine göre yapılmıştır.

$$P = 10 \text{ W}$$

$$T_w = 336.60 \text{ K}$$

$$T_\infty = 299.10 \text{ K}$$

$$T_f = (T_w + T_\infty) / 2 = 317.69 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_w - T_\infty = 37.50 \text{ K}$$

$$A_{plaka} = LW = (0.09) (0.08) = 0.0072 \text{ m}^2$$

$$Q_{Işınım} = Q_{Işınım\ taban} + Q_{Işınım\ kanatçık\ iç} + Q_{Işınım\ kanatçık\ dış} + Q_{Işınım\ uç}$$

$$Q_{Işınım} = 0.30 + 1.66 + 1.52 + 0.51$$

$$Q_{Işınım} = 4.00 \text{ W}$$

$$Q_{taşınım} = P - Q_{Işınım} = 10.00 - 4.00 = 6.00 \text{ W}$$

$$Nu = \frac{hL^*}{k}$$

$$T_f = 317.85 \text{ K} \rightarrow k = 0.02696 \text{ W/mK}$$

$$L^* = 0.09 \text{ m}$$

$$Q_{taşınım} = h A_{plaka} (T_w - T_\infty)$$

Nu denklemine h değeri konursa;

$$Nu = 74.24 \text{ olarak bulunur.}$$

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} Pr$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 1/T_f = 0.0031461/\text{K}$$

$$T_f = 317.85 \text{ K} \rightarrow Pr = 0.724$$

$$T_f = 317.85 \text{ K} \rightarrow \nu = 0.00001744 \text{ m}^2/\text{s}$$

$Ra = (2.01)(10^6)$ olarak hesaplanır.



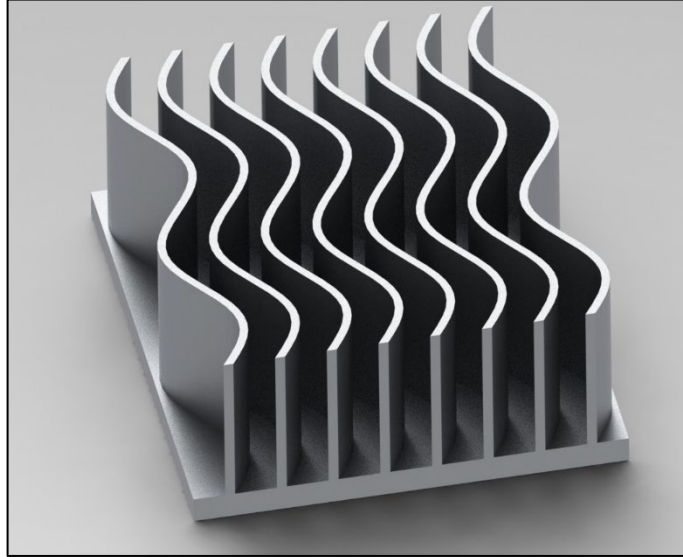
EK-4**2 periyotlu 5 mm genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçık için örnek şekil faktörü hesabı**

Kanatçıklı plakalarda, şekil faktörü ile ışınlım ısı transferinin nasıl hesaplandığı aşağıda örnek bir hesaplamayla ifade edilmiştir. Örnek olarak seçilmiş bir sinüzoidal dalgalı kanatçıkta şekil faktörü dikkate alınarak hesaplaması yapılmıştır. Örnek olarak seçilen kanatçıklı plakanın geometrik görünüşü aşağıda gösterilmiştir. 2 periyotlu H/6 (5 mm) genlikli ısı alıcısının geometrik parametreleri kullanıldığında, uzatılmış yay uzunluğu $L = L_{ark} = 100.13322$ mm'dir. H kanatçık uzunluğu ve S kanatçık açıklığı sırası ile 30 ve 8 mm'dir. Bu veriler ile \bar{L} ve \bar{H} ;

$$\bar{L} = \frac{L}{S} = \frac{100.13322}{8} = 13.51665 \quad (1)$$

$$\bar{H} = \frac{H}{S} = \frac{30}{8} = 3.75 \quad (2)$$

olarak hesaplanır.



Örnek: 2 Periyotlu H/6 (5mm) genlikli sinüzoidal dalgalı ısı alıcısı 3 boyutlu modellemesi

Böylelikle (3.18) denkleminde \bar{L} ve \bar{H} yerine konur ise paralel şekil faktörü

$$F_{ac} = 0.452324 \quad (3)$$

olarak bulunur. Diğer parametreler;

$$\bar{H} = \frac{H}{L} = \frac{30}{100.13322} = 0.2996 \quad (4)$$

$$\bar{S} = \frac{S}{L} = \frac{8}{100.13322} = 0.0798935 \quad (5)$$

olarak hesaplanır. \bar{H} ve \bar{S} (3.20) denkleminde yerlerinde konur ise dikey şekil faktörü

$$F_{ba} = F_{bc} = 0.267947 \quad (6)$$

olarak hesaplanır.

Kanatçıklardan ve tabandan çevre ortama olan şekil faktörü;

$$F_{ab}A_a = F_{ba}A_b \quad (7)$$

$$F_{ab} = F_{cb} = \frac{F_{ba}A_b}{A_a} = \frac{F_{ba}SL}{HL} = \frac{(0.267947)(0.008)(0.09)}{(0.03)(0.09)} = 0.071453 \quad (8)$$

$$F_{co} + F_{ac} + F_{ab} = 1 \quad (9)$$

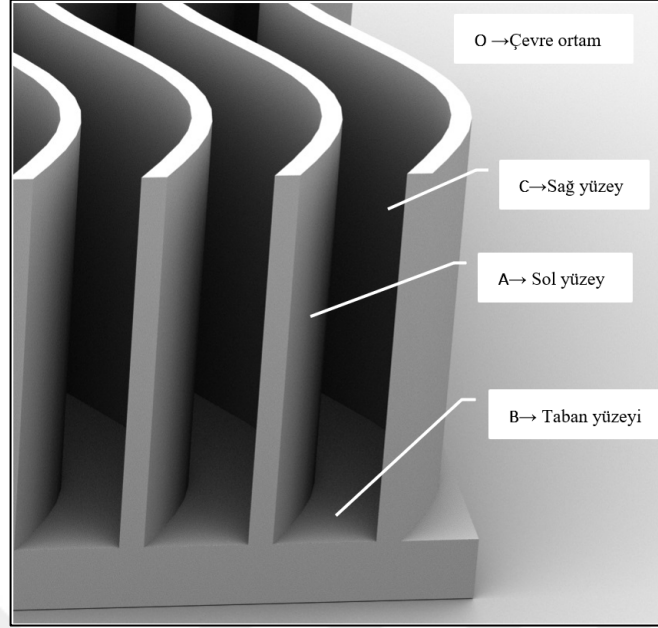
$$F_{ao} = F_{co} = 1 - (F_{ac} + F_{ab}) = 1 - (0.45232 + 0.07145) = 0.476224 \quad (10)$$

$$F_{bo} + F_{ba} + F_{ba} = 1 \quad (11)$$

$$F_{bo} = 1 - (F_{ba} + F_{ba}) = 1 - (0.267947 + 0.267947) = 0.464105 \quad (12)$$

olarak hesaplanır.

Aşağıda kanatçıklar taban ve çevre ortam ışınlam şekil faktörü modülleri gösterilmiştir.



Işınım şekil faktörü modülleri

Denklem (10) ve (11) ile kanatçıklardan çevre ortama ve taban yüzeyden çevre ortama ışıınım şekil faktörleri hesaplanmıştır. Kanatçık üzerindeki ısı transferi yapan toplam alanların verisi Solidworks 3 boyutlu katı modelleme program ile manuel olarak alınmıştır. Elde edilen tüm veriler ile yatay (0 derece) konumlandırılmış 2 periyotlu 5 mm genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçıklardan ışıınım ile gerçekleşen ısı transferi;

Kanatçık taban yüzeyinden çevre ortama ışıınım ile transfer edilen ısı miktarı;

$$Q_{Işınım\ taban} = (F_{bo})(\sigma)(A_{taban})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (13)$$

$$Q_{Işınım\ taban} = (0.464105)(5.67)(10^{-8})(0.00600469)(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (14)$$

$$Q_{Işınım\ taban} = (1.58)(10^{-10})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (15)$$

Her iki tarafı kapalı iç kısımdaki kanatçıklardan (14 adet) ışıınım ile transfer edilen ısı;

$$Q_{Işınım\ kanatçık\ iç} = (F_{co})(\sigma)(A_{bir\ kanatçık\ yüzeyi})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (16)$$

$$Q_{Işınım\ kanatçık\ iç} = (14)(0.476224)(5.67)(10^{-8})(0.0030036)(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (17)$$

$$Q_{Işınım\ kanatçık\ iç} = (1.13)(10^{-9})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (18)$$

Dış ortama bakan kanatçıklardan (2 adet) ışıınım ile transfer edilen ısı;

$$Q_{Işınım\ kanatçık\ dış} = (2)(\sigma)(A_{bir\ kanatçık\ yüzeyi})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (19)$$

$$Q_{Işınım\ kanatçık\ dış} = (2)(5.67)(10^{-8})(0.0030036)(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (20)$$

$$Q_{Işınım\ kanatçık\ dış} = (3.40)(10^{-10})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (21)$$

Kanatçık (üst ve yan) kenar uç kısımlarından ışıınım ile transfer edilen ısı;

$$Q_{Işınım\ uç} = (2H + L_{ark})t\sigma(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (22)$$

$$Q_{Işınım\ uç} = [(2)(0.03) + (0.01001332)](0.0015)(5.67)(10^{-8})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (23)$$

$$Q_{Işınım\ uç} = (5.95)(10^{-12})(T_w^4 - T_\infty^4) \quad (24)$$

Böylelikle ısı alıcısından ışıınım ile gerçekleşen toplam ısı transferi miktarı;

$$Q_{Işınım\ toplam} = Q_{Işınım\ taban} + Q_{Işınım\ kanatçık\ iç} + Q_{Işınım\ kanatçık\ dış} + Q_{Işınım\ uç} \quad (25)$$

(25) numaralı denklem, 2 periyot ve 5 mm genlikli sinüzoidal dalgalı kanatçıklı plakadan ışıınım ile gerçekleşen ısı transferi hesaplamasında kullanılan ifadedir.