

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MOTORLU TAŞIT RADYATÖRLERİNDE KULLANILAN PANJUR  
TİP KANATLARDA ISI TRANSFERİ VE AKIŞIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Makina Müh. Serkan ÇETİN**

**Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hasan KARABAY**

**KOCAELİ, 2009**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MOTORLU TAŞIT RADYATÖRLERİNDE KULLANILAN PANJUR  
TİP KANATLARDAN ISI TRANSFERİ VE AKIŞIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Makina Müh. Serkan ÇETİN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 9 Kasım 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Aralık 2008**

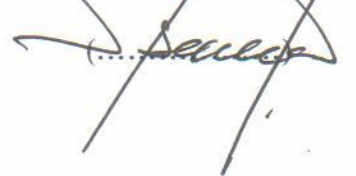
**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Hasan  
KARABAY**

  
(.....)

**Üye  
Prof. Dr. Cem  
PARMAKSIZOĞLU**

  
(.....)

**Üye  
Prof. Dr. Halil İbrahim  
SARAÇ**

  
(.....)

**KOCAELİ, 2009**

## **ÖNSÖZ**

Otomotiv sektöründe araçlarda kullanılan parçaların kapladıkları hacimlerin ve ağırlıklarının azaltılması rekabet şartlarından ötürü oldukça önemlidir. Özellikle motorların ve soğutma paketlerinin kapladığı hacimler önem taşımaktadır. Soğutma paketinin kapladığı hacmin azaltılması amacı ile günümüzde araç radyatörlerinde şaşırtmalı tip kanatlar kullanılmaktadır. Bu nedenle havanın şaşırtmalı tip kanatların içerisindeki hareketin ve kanatcıklar üzerindeki ısı taşınım katsayısı dağılımı, şaşırtmalı tip kanatların geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Motorlu taşıt radyatörlerinde kullanılan panjur tip kanatlarda ısı transferi ve akışın incelenmesi konusunda beni fikir ve tecrübeleri ile yönlendiren, çalışmalarımda beni destekleyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan KARABAY'a , Hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Huri ÇETİN ve babam Ergin ÇETİN 'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ÖZET.....	vii
İNGİLİZCE ÖZET.....	viii
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR.....	2
2.1 $F_p$ için yapılan geçmiş çalışmalar.....	3
2.2 $F_L$ için yapılan çalışmalar.....	9
2.3 $L_p$ için yapılan çalışmalar.....	11
2.4 $\theta$ için yapılan çalışmalar.....	12
3 DENEYSEL ÇALIŞMA.....	19
3.1 Testleri Yapılan Radyatör.....	19
3.1.1 Test düzeneği.....	20
3.1.2 Test sonuçları.....	20
3.2 $\varepsilon$ -N Yöntemi ve Kullanılan Değişkenlerin Hesaplanması.....	21
3.2.1 Hava tarafı için kullanılacak değişkenlerin hesaplanması.....	23
3.2.2 Su tarafı için kullanılacak değişkenlerin hesabı.....	23
3.3 Hesaplamalar.....	24
3.4 Sonuçlar.....	26
4 SAYISAL MODELLEME (HAD).....	27
4.1 Analizi Yapılacak Model.....	28
4.1.1 Grid yapısı.....	29
4.2 Sınır Şartları.....	31
4.3 Matematik Denklemler.....	32
4.3.1 Türbülans Modeli.....	32
4.3.2 Çözücü.....	33
4.4 HAD Sonuçları.....	33
4.4.1 Hava akışı Sonuçları.....	34
4.4.2 Isıl Sonuçlar.....	38
4.5 Test ve HAD analizi sonuçlarının karşılaştırılması.....	42
4.6 HAD analizi ve $\varepsilon$ -N Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	43
5 FARKLI PARAMETRELERİNİN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ.....	45
5.1 Şaşırtma Sayısının Isı Transferine Etkisi.....	45
5.1.1 Farklı Şaşırtma Sayısına Sahip Modeller.....	45
5.1.2 Farklı şaşırtma sayısına sahip modellerin sonuçları.....	46
5.2 Kanat Yüksekliğinin Isı Transferine Etkisi.....	48
5.2.1 Farklı yüksekliklere sahip modeller.....	48
5.2.2 Farklı Kanat yüksekliğine sahip modellerin analiz sonuçları.....	48
6 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	52
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Arttırılmış yüzeyli ısı değiştirgeçlerinin genel yapısı [1].....	2
Şekil 2.2: Panjur kanatlara ait geometrik parametreler .....	3
Şekil 2.3: Hsieh ve Jang (2007) nin deneylerinde kullandığı fin geometrisi [2] .....	4
Şekil 2.4: Isı geçiş katsayısının hava giriş hızına göre farklı fin geometrilerinde değişimi[2] .....	5
Şekil 2.5: Basınç düşümünün hava giriş hızına göre farklı fin geometrilerinde değişimi[2] .....	5
Şekil 2.6: Malapure ve diğ. (2007) nin çalışmalarında kullandığı model [3] .....	6
Şekil 2.7: Malapure ve diğ. (2007) nin çalışmalarında kullandığı modelin sınır koşulları [3] .....	6
Şekil 2.8: Isı transferinin Reynolds ile değişimi $L_p=0,81$ mm, $F_h = 11$ mm, $\theta = 29$ [3] .....	8
Şekil 2.9: Basınç düşümünün Reynolds ile değişimi $L_p=0,81$ mm, $F_h = 11$ mm, $\theta = 29$ [3] .....	9
Şekil 2.10: Isı transferi katsayısının hava giriş hızına göre farklı kanat geometrilerinde değişimi [4] .....	10
Şekil 2.11: Basınç düşümünün hava giriş hızına göre farklı kanat geometrilerinde değişimi [4] .....	10
Şekil 2.12: Kanatcık uzunluğunun, optimum kanatcık açısında ısı transferi katsayısına etkisi [3] .....	11
Şekil 2.13: $h$ in kanatcık açısı ile değişimi [3] .....	12
Şekil 2.14: DeJong ve. Jacobi (2007) nin deneylerinde kullandığı model [5] .....	13
Şekil 2.15: Resirkülasyon ve karışık dönme bölgeleri [5].....	14
Şekil 2.16: $\theta = 18$ , $F_p/L_p = 1,09$ [5].....	15
Şekil 2.17: $\theta = 28$ , $F_p/L_p = 1,09$ [5] .....	15
Şekil 2.18: $\theta = 22$ , $F_p/L_p = 1,2$ [5] .....	16
Şekil 2.19: Çeşitli kanat sayısı ve kanatcık açısına göre modellerin Reynolds – Sherwood sayılarının karşılaştırılması [5] .....	17
Şekil 2.20: 15 ve 3 kanatlı geometrilerin Reynolds sayısına göre Sherwood sayısı karşılaştırması [5] .....	17
Şekil 3.1: Testleri yapılan Radyatör ve Kanat Geometrisi.....	19
Şekil 4.1: HAD analizi yapılacak kanat demeti .....	27
Şekil 4.2: Basitleştirilme yapılan bölgeler .....	28
Şekil 4.3: Analizi yapılacak olan basitleştirilmiş model. ....	28
Şekil 4.4: Alüminyum ve havanın keşiştiği bölgedeki grid yapısı .....	29
Şekil 4.5: Alüminyum ve hava tarafındaki mesh yapısı .....	30
Şekil 4.6: Hava giriş ve çıkış kısmındaki Mesh yapısı .....	30
Şekil 4.7: Sınır şartlarının verileceği eksenler .....	31
Şekil 4.8: Alüminyum duvarlarındaki sıcaklık değişimi .....	33
Şekil 4.9: Hız vektörleri, Basınç ve sıcaklık değişimlerinin gösterileceği düzlem .....	34
Şekil 4.10: Kanatcıklar arasındaki hız vektörleri.....	35
Şekil 4.11: şaşırtma kanatcıklarının çevresindeki hız vektörleri .....	36
Şekil 4.12: şaşırtma kanatcıklarının etrafındaki hız dağılımı .....	36
Şekil 4.13: Kanatcıklar etrafındaki hız vektörleri.....	37
Şekil 4.14: Kanatcıklar etrafındaki hız dağılımı .....	37
Şekil 4.15: Hava Giriş Gölgesindeki ısı taşınım katsayıları.....	38
Şekil 4.16: Hava çıkış bölgesindeki ısı taşınım katsayıları .....	39

Şekil 4.17: Basınç değişimi .....	40
Şekil 4.18: Hava Sıcaklığının değişimi .....	41
Şekil 4.19: Test ile HAD analizi sonuçları karşılaştırması.....	42
Şekil 4.20: E-N ve HAD Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	43
Şekil 5.1: Farklı Şaşırtma Sayılarına Sahip modellerin geometrik ölçüleri .....	45
Şekil 5.2: Şaşırtma sayısına bağlı olarak ısı transferindeki değişim .....	47
Şekil 5.3: Şaşırtma Sayısı için $St.Pr^{(2/3)}$ – Re eğrisi .....	47
Şekil 5.4: Kanat yüksekliğine bağlı olarak ısı geçişinin değişimi.....	50
Şekil 5.5: Kanat yükseklikleri için $St.Pr^{(2/3)}$ – Re eğrisi.....	50

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1: Hsieh ve Jang (2007) nin deneylerinde kullandığı modelin geometrik ölçüleri[2] .....	4
Tablo 2.2: Malapure ve diğ. (2007) nin çalışmalarında kullandığı modele ait geometrik ölçüler [3] .....	7
Tablo 2.3: Malapure ve diğ. (2007) yaptığı çalışmalar neticesinde elde ettiği veriler [3] .....	7
Tablo 2.4: $F_L$ nin incelendiği modellerin geometrik ölçüleri [4] .....	9
Tablo 2.5: DeJong ve. Jacobi (2007) nin deneylerinde kullandığı modele ait geometrik veriler [5] .....	13
Tablo 3.1: Test Şartları ve Sonuçlar .....	21
Tablo 3.2: $\epsilon$ -N yönteminde kullanılan veriler .....	25
Tablo 3.3: NTU yöntemi ile bulunan değerler .....	26
Tablo 4.1: Sınır Şartları .....	31
Tablo 4.2: HAD ve Test Sonuçlarının Karşılaştırması .....	42
Tablo 4.3: HAD analizi sonucu hesaplanan değerler .....	43
Tablo 5.1: Farklı Şaşırtma sayılarına sahip modellere ait veriler ve sonuçlar .....	46
Tablo 5.2: Farklı yüksekliklere sahip modellerin geometrik ölçüleri .....	48
Tablo 5.3: Fin yüksekliklerine sahip modellere ait veriler ve sonuçlar .....	49

## SİMGELER DİZİNİ

A	Isı transferi alanı	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>0</sub>	Radyatörün Kanatsız haldeki ısı transferi alanı	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>c</sub>	Akıştaki minimum kesit alanı	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>k</sub>	Kanatların Toplam Alanı	[m <sup>2</sup> ]
C	C Sayısı	[Boyutsuz]
C <sub>h</sub>	Hava için Isıl Kapasite Debisi	[J/s.K]
C <sub>p</sub>	Sabit Basıncıta Özgül Isı	[J/kg.K]
C <sub>s</sub>	Sıvı için Isıl Kapasite Debisi	[J/s.K]
D <sub>h</sub>	Hidrolik Çap	[m]
F <sub>t,δ</sub>	Fin Kalınlığı	[mm]
F <sub>h</sub>	Fin Yüksekliği	[mm]
F <sub>L</sub>	Fin Uzunluğu	[mm]
F <sub>p</sub>	İki fin arası mesafe	[mm]
G	Kütle Akısı	[kg/m <sup>2</sup> .s]
K	Toplam Isı Transfer katsayısı	[W/m <sup>2</sup> .K]
L	Derinlik	[mm]
L <sub>h</sub>	Louver fini yüksekliği	[mm]
L <sub>p</sub>	Louver fini uzunluğu	[mm]
Nu	Nusselt	[Boyutsuz]
NTU	NTU Sayısı	[Boyutsuz]
P	Akış kesitindeki ıslak çevre	[m]
Pr	Prandtl	[Boyutsuz]
Re	Reynolds	[Boyutsuz]
R <sub>h</sub>	Hidrolik yarıçap	[m]
Sh	Sherwood	[Boyutsuz]
St	Stanton Sayısı	[Boyutsuz]
T <sub>c</sub>	Çıkış Sıcaklığı	[C]
T <sub>g</sub>	Giriş Sıcaklığı	[C]
h	Isı taşınım katsayısı	[W/m <sup>2</sup> .K]
k	Isı iletim Katsayısı	[W/m.K]
m	Kütleli Debi	[kg/s]
v	Hız	[m/s]
μ	Dinamik Viskosite	[kg/m.s]
ρ	Yoğunluk	[kg/m <sup>3</sup> ]
θ	Louver açısı	[D°]
ε	Isı Değiştiricisi Etkenliği	[Boyutsuz]
η	Verim	[Boyutsuz]



## ÖZET

### MOTORLU TAŞIT RADYATÖRLERİNDE KULLANILAN PANJUR TİP KANATLARDA ISI TRANSFERİ VE AKIŞIN İNCELENMESİ

Serkan ÇETİN

**Anahtar Kelimeler:** Isı Değiştirgeci, Radyatör, Panjur tip Kanat, Kanatçık, HAD analizi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

**Özet:** Bu çalışmada, Şaşırtmalı tip kanatların HAD analizleri yapılmış ve analiz sonuçları daha önce yapılan testlerin sonuçları ile karşılaştırılmış, Kanatlar arasındaki hava akışı ve kanatçıklar üzerindeki ısı taşınım katsayısı dağılımları incelenmiştir. Test ile analiz sonuçlarının Stanton-Prandtl ın Reynolds a göre değişimi ve matematiksel yöntemler ile karşılaştırılmasında sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Ayrıca şaşırtma sayısının ve kanat yüksekliğinin ısı transferini nasıl etkileyeceğinin görülebilmesi için farklı geometriler üzerinde analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ise şaşırtma sayısının azaltılmasının ısı transferini az bir miktar arttırdığı görülmüştür. Kanat yüksekliğinin etkisi incelendiğinde yüksekliğin artması ile ısı transferinde belirgin bir artış görülmüştür.

## İNGİLİZCE ÖZET

### INSPECTION OF THE HEAT TRANSFER AND FLOW IN THE LOUVERED FINS USED IN THE VEHICLE RADIATORS

Serkan ÇETİN

**Keywords:** Heat Exchanger, Radiator, Louver Fins, Fins, CFD Analyses, Computational Fluid Dynamics

**Abstract:** In this study, Louvered fins CFD analysis has been done and analysis the results are compared with available experimental data's, air flow between fins and heat transfer coefficients distribution on the fins has been investigated. It has been seen that the results on the comparison between test and analysis results for the coolant air outlet temperature and the mathematical method are very close to each other.

Additionally to see how the fin height and turnover quantity effect heat transfer, analysis on different models has been done. As a result of this analysis, it has been seen that decreasing of turnover quantity redounded heat transfer. When the fin heights effect has been investigated, significant increasing at heat transfer has been seen by the increasing of the fin height.

## 1 GİRİŞ

Isı değiştirgeçleri bir akışkandan diğerine ısı transfer etmek amacı ile kullanılan cihazlardır. Birçok uygulamada akışkanların karışmaması için akışkanlar bir yüzey ile birbirlerinden ayrı tutulur. Azda olsa karıştırıcılı tiplerine rastlanabilir.

Isı eşanjörleri iklimlendirme, ısıtma, soğutma ve kimyasal prosesler gibi sanayide birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle motorlu taşıtlarda radyatörler, motor soğutma işlevi görmektedir.

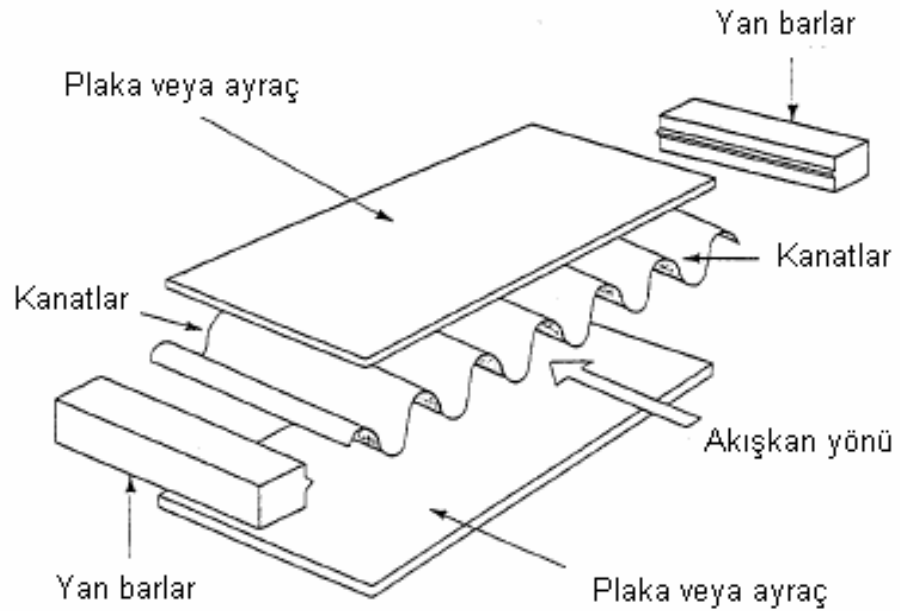
Günümüzde özellikle otomotiv sanayisinde ağırlık ve yer tasarrufu amacı ile daha kompakt radyatörler tercih edilmektedir. Isı değiştirgeçlerinde daha az hacimde daha fazla ısı transferi gerçekleştirme amacı ile ısı taşıma katsayısı düşük olan akışkan tarafında alan arttırımı yapılmaktadır. Bu alan arttırımı ısı transferi olan yüzeye kanatlar eklenerek yapılmaktadır.

Isı transferi yüzey alanı arttırımında birçok kanat çeşidi vardır. Dalgalı tip kanatlar, iğne tip kanatlar, delikli tip kanatlar ve panjur tip kanatlar ısı değiştirgeçlerinde yaygın olarak kullanılan kanat tiplerinden bazılarıdır.

Bu çalışmada ilk olarak panjur tip kanatçıklar üzerine daha önce yapılan çalışmalar aktarılacak, ardından daha önce testleri yapılmış bir radyatörde kullanılan panjur kanatların HAD analizleri yapılacaktır. Daha sonra HAD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar test sonuçları ile karşılaştırılacak ve son olarak kanatçık yüksekliği ve şaşırtma sayısının ısı transferine ve verimliliğe etkileri incelenecektir.

## 2 LİTERATÜR

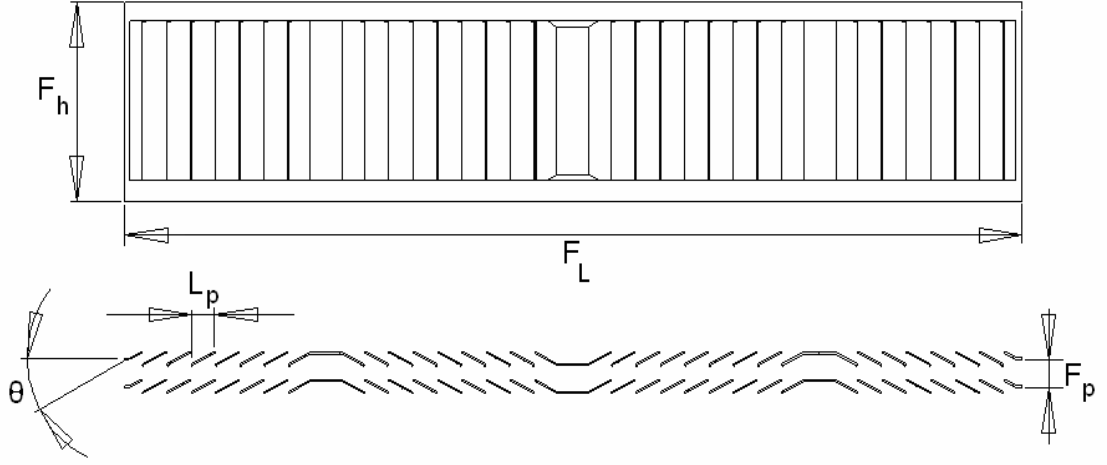
Louvered Finler (Panjur kanatlar) ısı değiştirgeçlerinde ısı transferi yüzeyini artırma amacı ile kullanılan geometrilerdir. Panjur tipi kanatlar, ısı transfer alanının artırılarak ortalama ısı transferinin artırılması amacıyla birçok ısı değiştirgeci tasarımında mevcuttur. Şekil 2.1 de Panjur tip kanatların da kullanıldığı arttırılmış yüzeyli ısı değiştirgeçlerinin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Arttırılmış yüzeyli ısı değiştirgeçlerinin genel yapısı [1]

Şekil 2.1 de üst ve alt kısımda gösterilen plakalar üzerinden ısı taşınım katsayısı daha yüksek olan akışkan geçirilir. İki plaka arasına sıkıştırılan kanatlar arasından ise ısı taşınım katsayısı daha düşük olan akışkan geçirilir. Kanatlar arasından ısı transfer katsayısı daha düşük olan akışkanın geçirilmesinin nedeni, ısı transfer alanının arttırılması ve dolayısı ile ısı transferinin kanatlar yardımı ile arttırılmasıdır.

Daha az hacimde daha fazla ısı transferi sağlaması nedeni ile özellikle otomotiv sektöründe, araç radyatörlerinde panjur tip kanat yapıları tercih edilmektedir. Şekil 2.2 de Panjur tipi kanata ait geometrik parametreler gösterilmektedir.



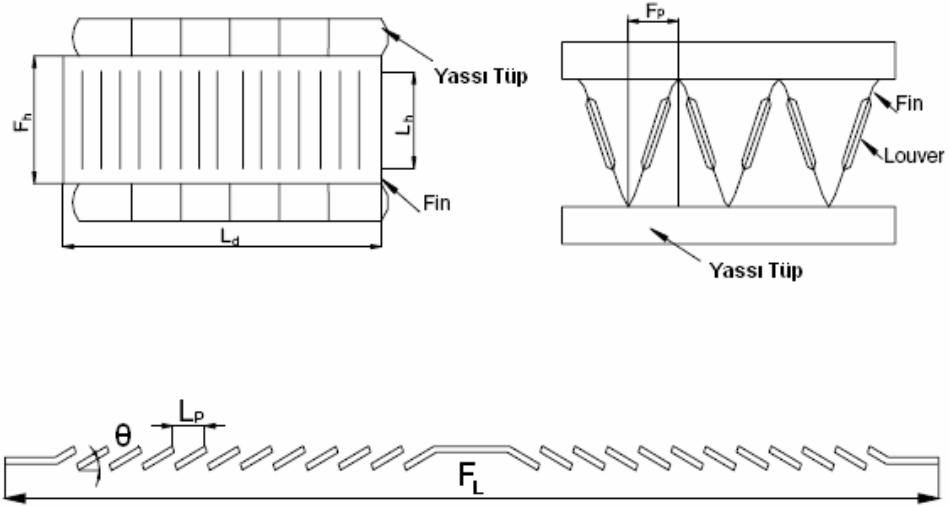
Şekil 2.2: Panjur kanatlara ait geometrik parametreler

Şekil 2.2 de gösterilen panjur kanatta,  $\theta$  ile gösterilen açı, kanatcıkların yatay doğrultu ile yaptıkları açıdır ve kanatcık açısı (Louver açısı) olarak isimlendirilir.  $F_h$  ise kanat yüksekliğidir.  $L_p$  ile gösterilen uzunluk ise kanatcık uzunluğudur.  $F_L$ , kanat uzunluğudur ancak kimi kaynaklarda kanat derinliği olarak da adlandırılmaktadır.  $F_p$  kanat sıklığıdır ve iki kanat arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır.

Bu bölümde, panjur tipi kanatlar üzerine daha önce yapılan çalışmalar anlatılacak ve çalışmalarını neticesinde ulaşılan sonuçlar gösterilecektir. Geçmişte panjur tip kanat yapısı üzerine yapılan çalışmalar Deneysel, Nümerik ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizi (HAD) olarak 3 kısma ayrılabilir.

## 2.1 $F_p$ için yapılan geçmiş çalışmalar.

Hsieh ve Jang (2007) [2] farklı  $F_p$ ,  $F_L$  ve  $\theta$  için türettiği modelleri 250 x 200 lük bir radyatör de denemiştir. Kullanılan modeller ve geometrik ölçüleri Şekil 2.3 te verilmiştir. Kullanılan panjur tip kanat modelinde bir şaşirtma mevcuttur.



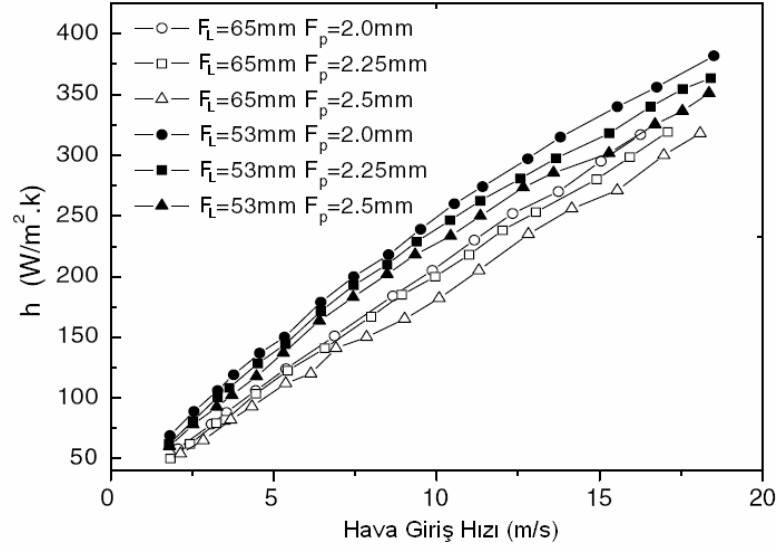
Şekil 2.3: Hsieh ve Jang (2007) nin deneylerinde kullandığı fin geometrisi [2]

Tablo 2.1 de Hsieh ve Jang (2007) nin deneylerinde kullandığı modellerin geometrik ölçüleri verilmektedir. Deneylerde kullandığı bu modellerde sadece  $F_p$  ve  $F_L$  ölçülerini değiştirmiş diğer ölçüleri sabit tutmuştur.

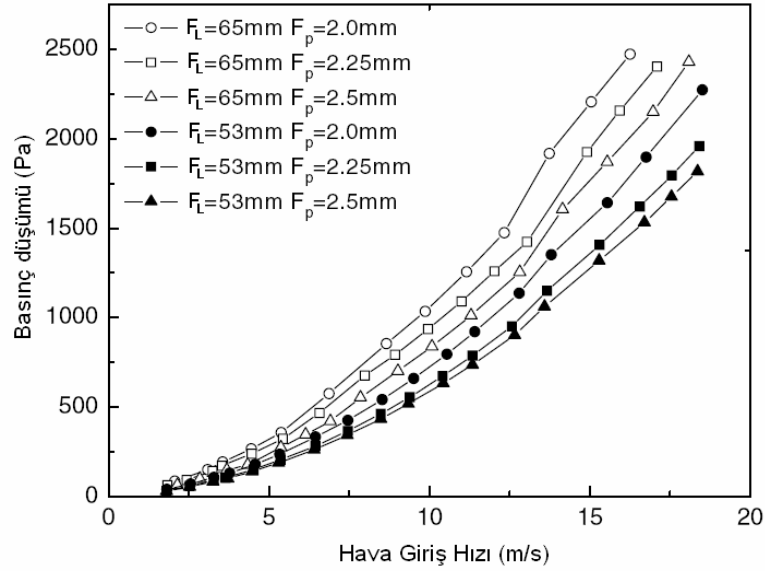
Tablo 2.1: Hsieh ve Jang (2007) nin deneylerinde kullandığı modelin geometrik ölçüleri[2]

No	$F_p$	$F_h$	$F_L$	$F_t$	$\theta$	$L_p$
1	2	8	65	0,2	28	1,2
2	2,25	8	65	0,2	28	1,2
3	2,5	8	65	0,2	28	1,2
4	2	8	53	0,2	28	1,2
5	2,25	8	53	0,2	28	1,2
6	2,5	8	53	0,2	28	1,2

$F_L = 65 - 53$  lik 2 farklı tüp ve  $F_p = 2 - 2,25 - 2,5$  lik 3 farklı fin geometrisi ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen ısı taşınım katsayısı ( $h$ ) Şekil 2.4 de ve ve Basınç düşümü verileri Şekil 2.5 de grafik halinde gösterilmiştir.



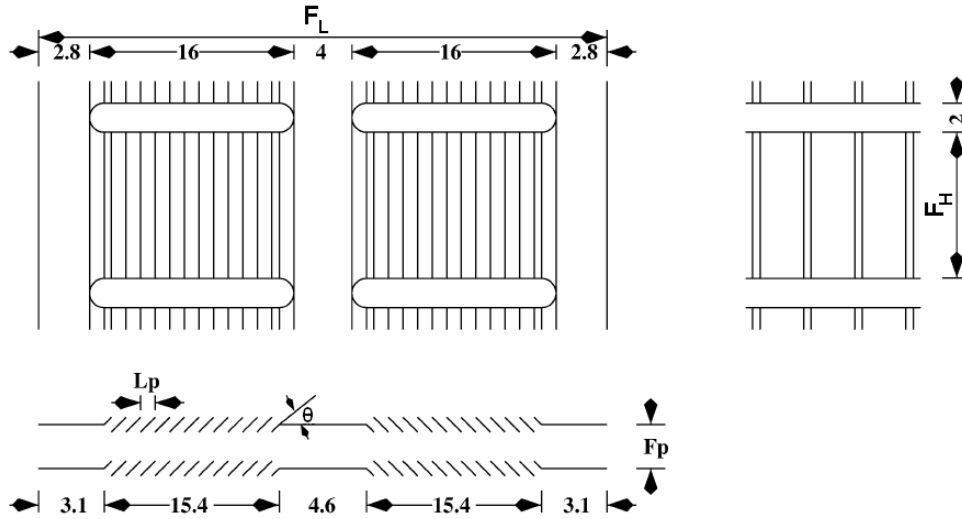
Şekil 2.4: Isı geçiş katsayısının hava giriş hızına göre farklı fin geometrilerinde değişimi[2]



Şekil 2.5: Basınç düşümünün hava giriş hızına göre farklı fin geometrilerinde değişimi[2]

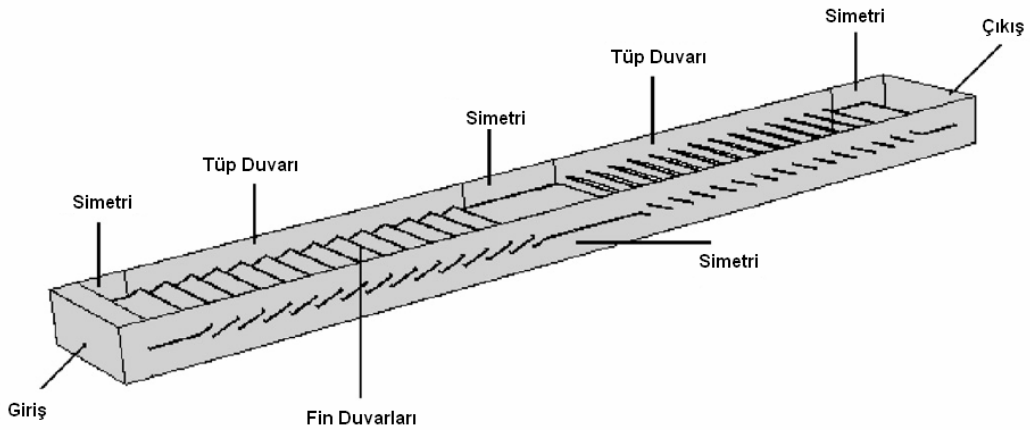
Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 de görüldüğü gibi kanat sıklığı azaldıkça, ısı transfer katsayısı ve basınç düşümü, aynı giriş hızında artmaktadır. [2]

Malapure ve diğ. (2007) [3] yaptığı HAD çalışmasında modellerinde 0,05 mm lik saçtan yapılmış bakır kanat kullanmıştır. Kullandığı modellerin çoğunda tek sıra kanat kullanmış, sadece 3 modelde 2 sıra kanat kullanmıştır. Şekil 2.6 da, analiz ettiği modellere ait geometrik ölçüler verilmiştir.



Şekil 2.6: Malapure ve diğ. (2007) nin çalışmalarında kullandığı model [3]

Şekil 2.7 de Malapure ve diğ. (2007) nin analizlerinde kullandığı modeller için uyguladığı sınır şartları gösterilmiştir. Analizlerde Katı taraf olan alüminyum kanatçıklar modellenmemiş, onun yerine tüm kanatçık duvarlarına ve tüp duvarlarına sabit sıcaklık sınır şartı uygulanmıştır. Akışın sürekliliğinin sağlanması için ise üst ve altta simetri olarak gösterilen bölgelere periyodik sınır şartı tanımlanmıştır.



Şekil 2.7: Malapure ve diğ. (2007) nin çalışmalarında kullandığı modelin sınır koşulları [3]

Tablo 2.2 de Malapure ve diğ. (2007) nin çalışmalarında kullandığı modellerin geometrik ölçüleri verilmiştir. Malapure ve diğ. (2007)  $F_L$  haricindeki diğer tüm geometrik parametreleri kombinasyonlar halinde değiştirerek her geometrik ölçünün ısı transferine etkisini görmeyi amaçlamıştır.



Tablo 2.2: Malapure ve diğ. (2007) nin çalışlarında kullandığı modele ait geometrik ölçüler [3]

	$F_p$	$F_h$	$F_L$	$F_t$	$\theta$	$L_p$
1	2,02	11	41,6	0,05	25,5	1,4
2	3,25	11	41,6	0,05	25,5	1,4
3	1,65	11	41,6	0,05	25,5	1,4
4	2,09	11	41,6	0,05	21,5	1,4
5	2,03	11	41,6	0,05	28,5	1,4
6	2,15	11	21,6	0,05	25,5	1,4
7	1,7	11	21,6	0,05	25,5	1,4
8	2,11	11	41,6	0,05	29	0,81
9	1,72	11	41,6	0,05	29	0,81
10	3,33	11	41,6	0,05	29	0,81
11	2,18	11	41,6	0,05	30	1,1
12	2,16	11	41,6	0,05	20	0,81
13	2,16	8	41,6	0,05	28	1,1
14	2,17	14	41,6	0,05	22	1,1
15	2,17	8	41,6	0,05	22	1,1

Malapure ve diğ. (2007) yaptığı çalışmalar sonucu deneysel ve sayısal hesaplamaları ile elde ettiği St sayıları Tablo 2.2 te verilmiştir. Tablo 2.2 teki Ste değerleri Deneysel verilerden, Stc değerleri ise hesaplamalı verilerden gelen sonuçların neticesinde elde edilen Stanton sayılarıdır.

Tablo 2.3: Malapure ve diğ. (2007) yaptığı çalışmalar neticesinde elde ettiği veriler [3]

		Model Numarası							
		1		2		3		4	
$Re_d$		Ste	Stc	Ste	Stc	Ste	Stc	Ste	Stc
400		0,057	0,066	0,062	0,073	0,052	0,058	0,05	0,067
600		0,047	0,049	0,049	0,057	0,04	0,043	0,04	0,051
800		0,039	0,041	0,043	0,048	0,034	0,036	0,033	0,042
1000		0,035	0,036	0,038	0,043	0,029	0,031	0,029	0,037
2000		0,023	0,025	0,027	0,029	0,019	0,02	0,019	0,023
3000		0,019	0,023	0,02	0,025	0,016	0,02	0,015	0,0189
4000		0,017	0,019	0,018	0,024	0,013	0,014	0,013	0,02

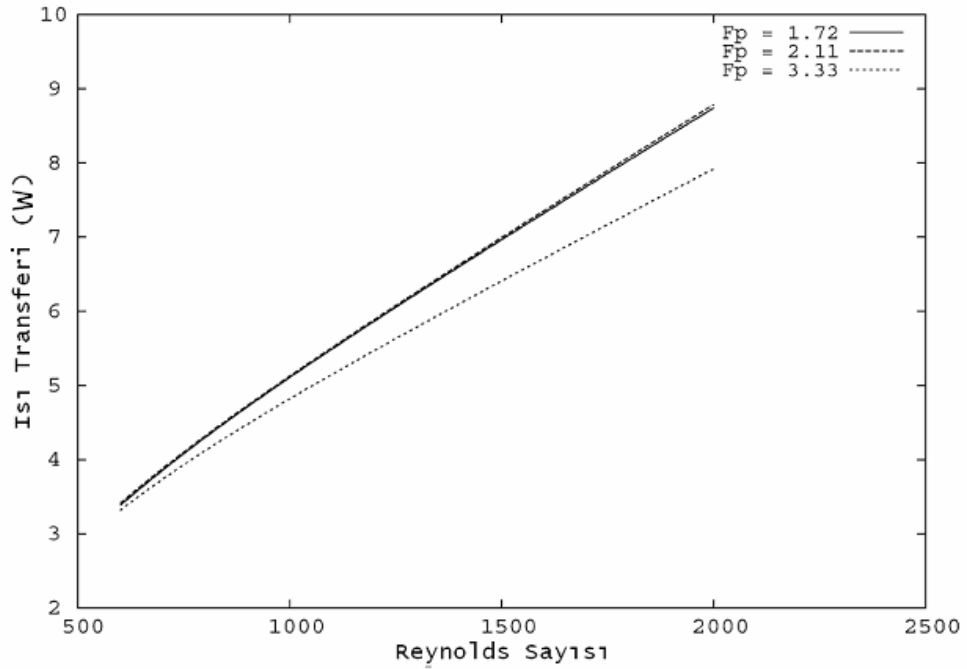
		Model Numarası							
		5		6		7		8	
$Re_d$		Ste	Stc	Ste	Stc	Ste	Stc	Ste	Stc
400		0,06	0,068	0,068	0,068	0,056	0,062	0,059	0,085
600		0,048	0,051	0,05	0,052	0,042	0,046	0,05	0,065
800		0,039	0,042	0,042	0,043	0,037	0,037	0,045	0,055
1000		0,037	0,0369	0,038	0,0375	0,032	0,032	0,04	0,049
2000		0,023	0,024	0,025	0,0239	0,023	0,019	0,028	0,032
3000		0,019	0,02	0,02	0,022	0,019	0,024	0,021	0,029
4000		0,017	0,018	0,017	0,019	0,017	0,0198	0,019	0,024

Tablo 2.3 (Devam): Malapure ve diğ. (2007) yaptığı çalışmalar neticesinde elde ettiği veriler [3]

		Model Numarası							
		9		10		11		12	
Re <sub>d</sub>		Ste	Stc	Ste	Stc	Ste	Stc	Ste	Stc
400		0,062	0,071	0,033	0,049	0,062	0,078	0,049	0,066
600		0,051	0,055	0,038	0,062	0,05	0,06	0,048	0,055
800		0,045	0,046	0,039	0,051	0,043	0,05	0,043	0,049
1000		0,04	0,04	0,04	0,045	0,038	0,043	0,039	0,044
2000		0,025	0,035	0,03	0,031	0,025	0,028	0,028	0,031
3000		0,02	0,027	0,023	0,028	0,021	0,025	0,02	0,025
4000		0,018	0,022	0,02	0,023	0,018	0,02	0,017	0,0209

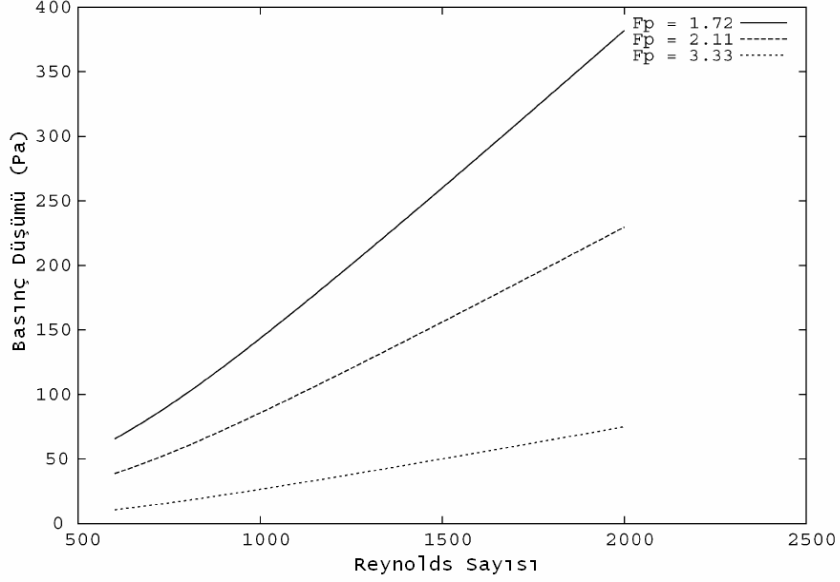
		Model Numarası					
		13		14		15	
Red		Ste	Stc	Ste	Stc	Ste	Stc
400		0,061	0,084	0,068	0,074	0,05	0,07
600		0,052	0,062	0,055	0,06	0,045	0,055
800		0,043	0,052	0,047	0,05	0,039	0,045
1000		0,038	0,044	0,04	0,043	0,035	0,039
2000		0,024	0,029	0,026	0,0267	0,023	0,025
3000		0,02	0,027	0,02	0,026	0,019	0,23
4000		0,018	0,021	0,07	0,079	0,017	0,21

Malapure ve diğ. (2007) nın farklı kanat sıklığına sahip modellerin ısı transferinin ve basınç düşümünün Reynolds sayısına göre değişimini elde ettiği grafik Şekil 2.8 da verilmiştir. Kullanılan modellerde yalnızca  $F_p$  ölçüsünü değiştirmiş, diğer ölçüleri sabit tutmuştur.



Şekil 2.8: Isı transferinin Reynolds ile değişimi  $L_p=0,81$  mm,  $F_h = 11$  mm,  $\theta = 29$  [3]

Şekil 2.8 de görüldüğü gibi, iki kanat arasındaki mesafenin 3.33 mm den 2.11 e düşürülmesi ile ısı transferinde bir artım olmuştur. Ancak, 2.11 ile 1.72 mm kanat sıklıklı modeller arasında, ısı transferi açısından bir fark görülmemiştir. [3]



Şekil 2.9: Basınç düşümünün Reynolds ile değişimi  $L_p=0,81$  mm,  $F_h = 11$  mm,  $\theta = 29$  [3]

Şekil 2.9 de,  $F_h$  aralığının azalması ile basınç düşümünde bir artma olmuştur. Bunun nedeni, iki kanat arasındaki mesafenin düşmesi ile kanatcıkların sınır tabaka ve vorteks oluşumunda daha etkili olması ve kanatcıklar arasından akan havanın artık rahat geçememesidir.

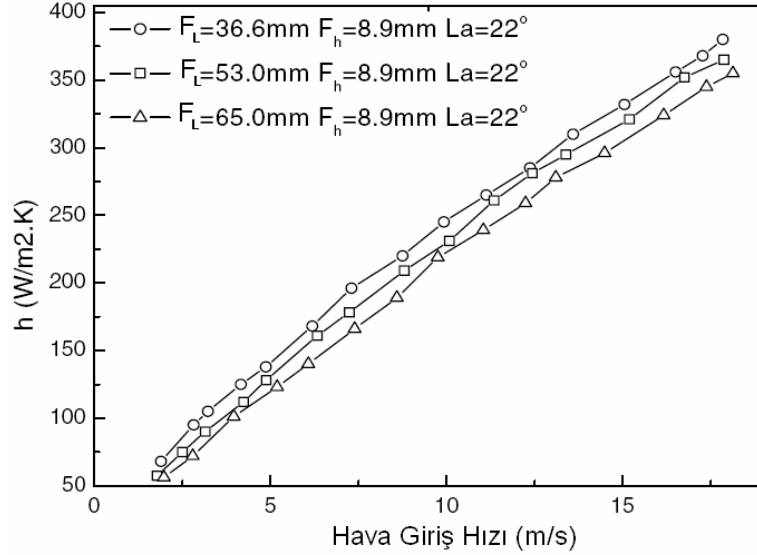
## 2.2 $F_L$ için yapılan çalışmalar

Dong ve diğ. (2007) [4] nin  $F_L$  üzerine yaptığı çalışmada kullandığı geometriye (Şekil 2.3) ait veriler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

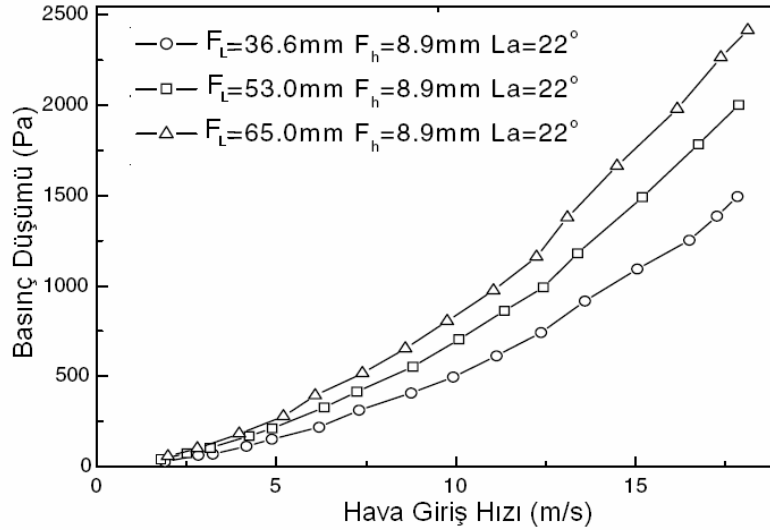
Tablo 2.4:  $F_L$  nin incelendiği modellerin geometrik ölçüleri [4]

No	$F_p$	$F_h$	$F_L$	$F_t$	$\theta$	$L_p$
12	2	8,9	65	0,15	22	1,2
13	2	8,9	53	0,15	22	1,2
14	2	8,9	36,6	0,15	22	1,2

$F_L = 36,6 - 53 - 65$  lik 3 farklı geometri ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen  $h$ - $Re$  değişimi Şekil 2.10 te ve Basınç düşümü Şekil 2.11 te grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Isı transferi katsayısının hava giriş hızına göre farklı kanat geometrilerinde değişimi [4]



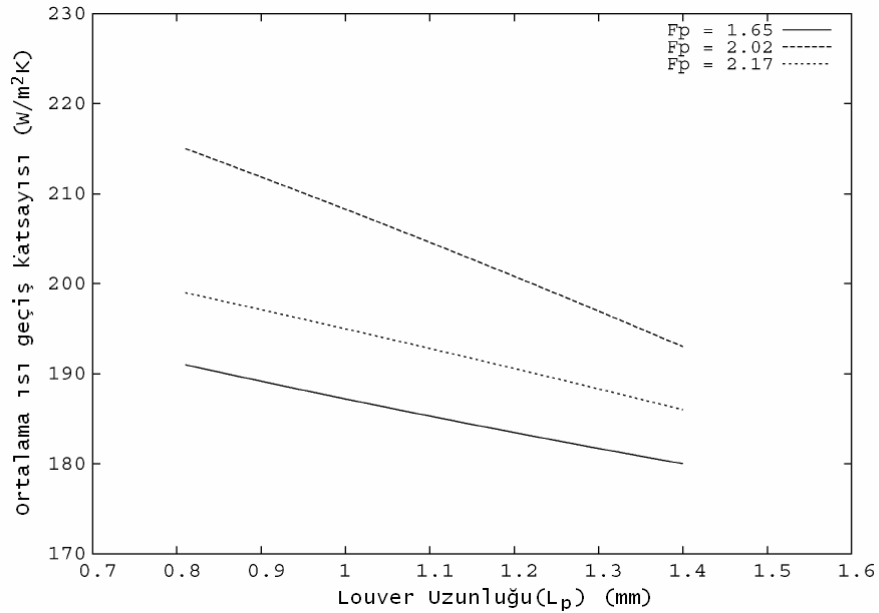
Şekil 2.11: Basınç düşümünün hava giriş hızına göre farklı kanat geometrilerinde değişimi [4]

Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 da görüldüğü gibi, kanat uzunluğunun ısı geçişi katsayısında ve basınç düşüşlerinde etkisi olduğu açıktır. Kanat uzunluğunun, aynı hava giriş hızında azalması ile ısı transferi katsayısı artmakta, bununla beraber basınç düşümü de artmaktadır. [4]

Kanat uzunluğunun %44 arttırılması ile düşük hava giriş hızlarında basınç düşümündeki artış ısı transferindeki artışa nazaran daha fazladır. Ancak yüksek hava giriş hızlarında kanat uzunluğunun artması ile basınç düşümündeki artış ve ısı transferindeki artış yüzde olarak birbirine oldukça yakındır.

### 2.3 $L_p$ için yapılan çalışmalar.

Daha önce Başlık 2.1 de Malapure ve diğ. (2007) nin çeşitli modeller için yaptığı çalışmaların sonuçları verilmişti. Bu çalışmalara göre farklı kanat sıklıklarına sahip modellerde, ortalama ısı geçiş katsayısının kanatcık uzunluğuna göre değişimi aşağıda gösterilmiştir. Kanatcıkların yatay ile yaptığı aç 28 derecedir.

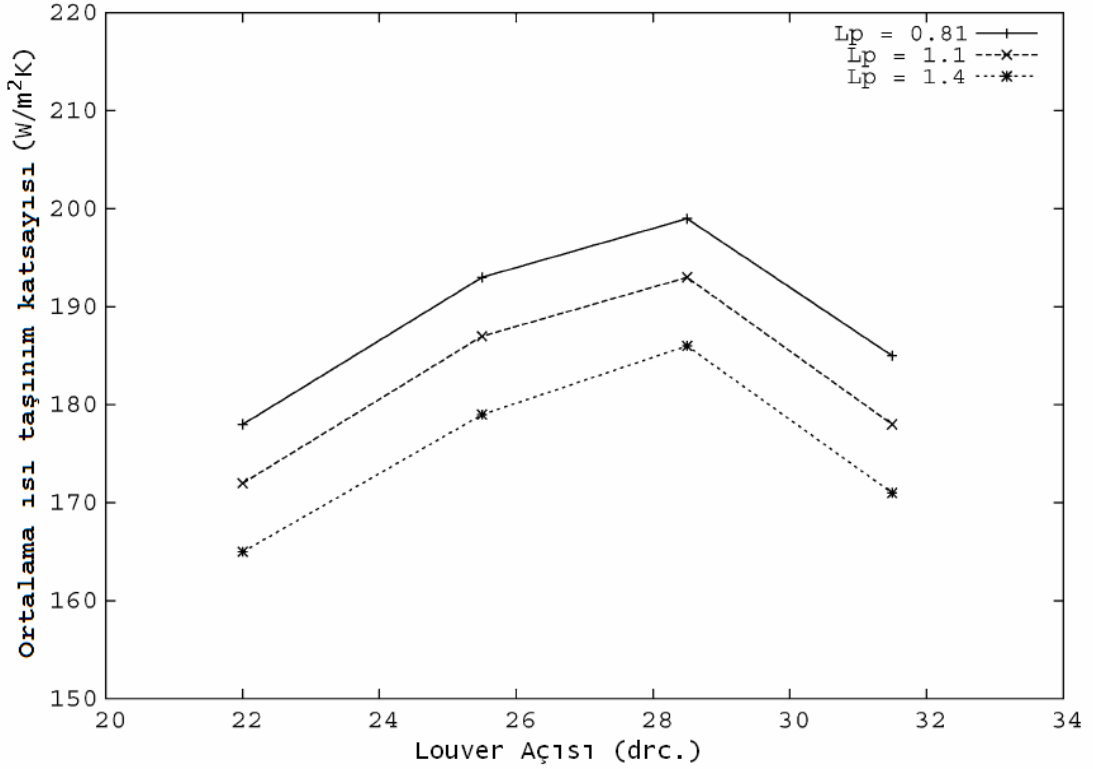


Şekil 2.12: Kanatcık uzunluğunun, optimum kanatcık açısında ısı transferi katsayısına etkisi [3]

Kanatcık uzunluğunun azalması, hava akışını kesintiye uğratan ince sınır tabaka oluşumuna neden olmaktadır. Fakat belirli bir kanatcık uzunluğundan sonra basınç düşüşleri büyümektedir. Bu nedenle optimum kanatcık uzunluğunu 0.81 mm almıştır. [4]  $L_p$  nin 0.81 mm den daha küçük değerlerde basınç düşüşlerinin artmasının nedeni hava akımının kanatcık doğrultusunu izlememesi ve bu nedenle hava akımında oluşabilecek türbülanslar olduğu düşünülmektedir.

## 2.4 $\theta$ için yapılan çalışmalar.

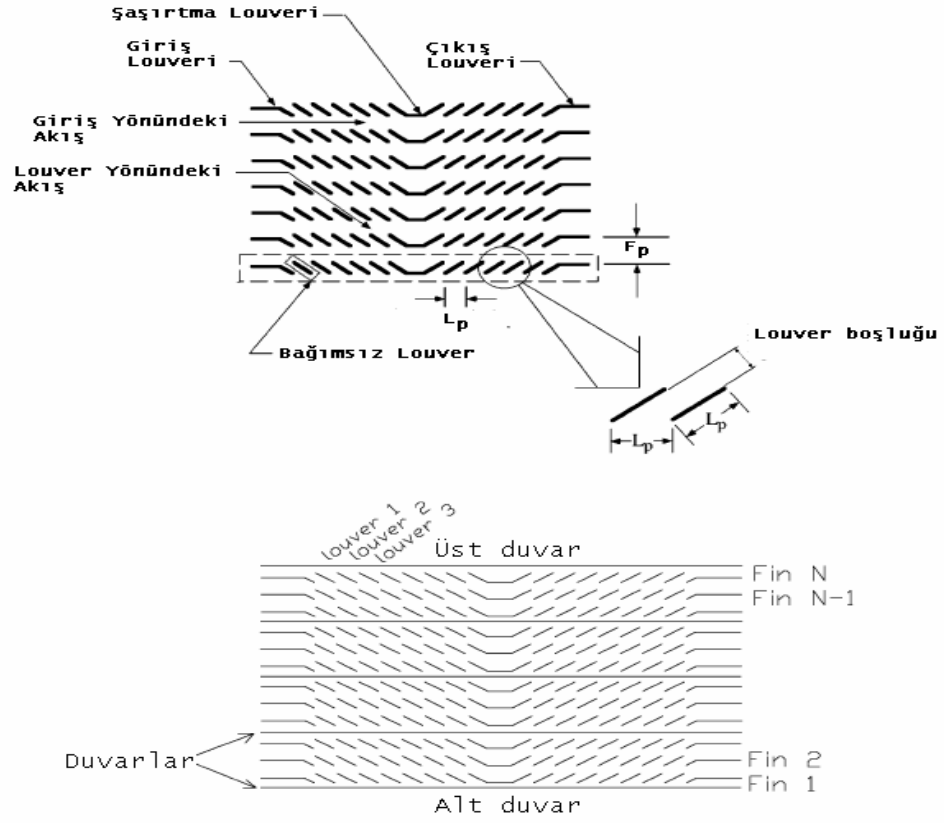
Daha önce, Bölüm 2.1 de, Malapure ve diğ. (2007) [3] nin çeşitli modeller için yaptığı çalışmaların sonuçları verilmişti. Bu çalışmalara göre farklı kanatçık uzunluklarına sahip modellerde, ortalama ısı geçiş katsayısının kanatçık açısına göre değişimi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.13: h in kanatçık açısı ile değişimi [3]

Şekil 2.13 da, ısı geçiş katsayısının kanatçık açısı 28 e yaklaştıkça arttığı, daha sonra azaldığı görülmektedir. Isı geçiş katsayısındaki artış, kanatçık açısının 28 dereceye gelmesi ile yüksek Reynolds sayılarında akışın kanatçık açısı doğrultusunda hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. [3].

DeJong ve. Jacobi (2007) [5] yapmış olduğu çalışmada, akışı deneysel olarak gözlemlemiş, farklı kanat sayıları ve kanatçık açıları için değerlendirmeler yapmışlardır. Deneylerinde kullandığı model geometrisi Şekil 2.14 te boyutları Tablo 2.5 da aşağıda verilmiştir.



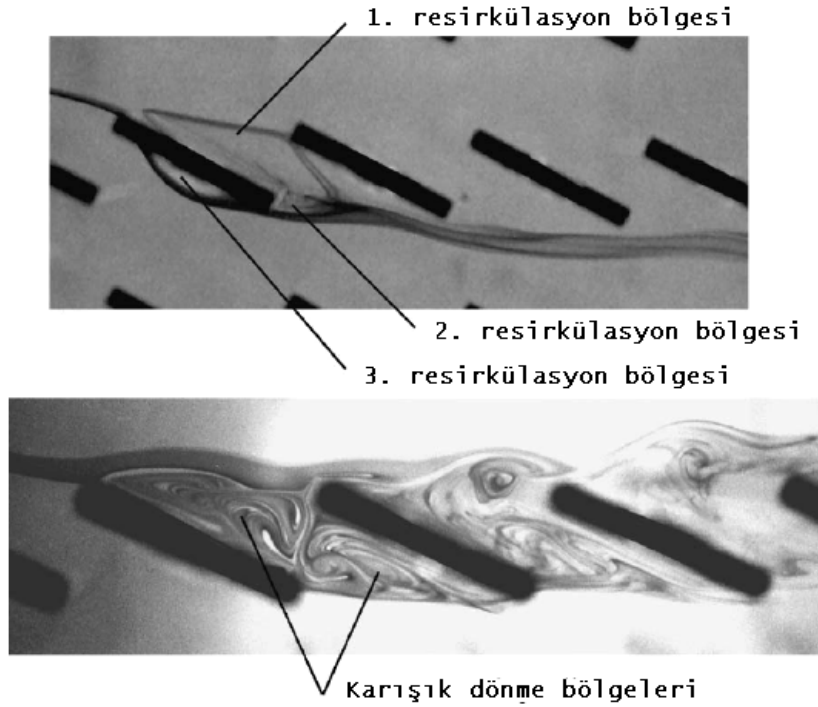
Şekil 2.14: DeJong ve. Jacobi (2007) nin deneylerinde kullandığı model [5]

Tablo 2.5: DeJong ve. Jacobi (2007) nin deneylerinde kullandığı modele ait geometrik veriler [5]

Örnek No	$F_h$	$\theta$	$L_p$	$F_p/L_p$	Maksimum Fin Sayısı
1	70,6	18	11,90	1,09	12
2	70,6	18	11,90	1,09	12
3	70,6	22	11,90	1,20	15

DeJong ve. Jacobi (2007) deneylerinde, kanatları farklı deney koşullarında görme maksadı ile ayırabilmek için kanat aralarına konulabilen hareketli duvarlar kullanmıştır, bu duvarların yüksekliği 71 mm, derinliği ise duvarın konumuna göre 152 – 243 mm arasında değişmektedir.

Şekil 2.15 te Kanatcıklar arasında oluşan resirkülasyon ve karışık dönme bölgeleri gösterilmiştir. Resirkülasyonun gözlemlendiği ve ilk olarak gösterilen akış ta Reynolds sayısı 510,  $\theta$  açısı 25 ve  $F_p/L_p$  oranı 1 dir. Karışık dönme bölgelerinin gözlemlendiği akışta ise Reynolds sayısı 820 dir.[5]



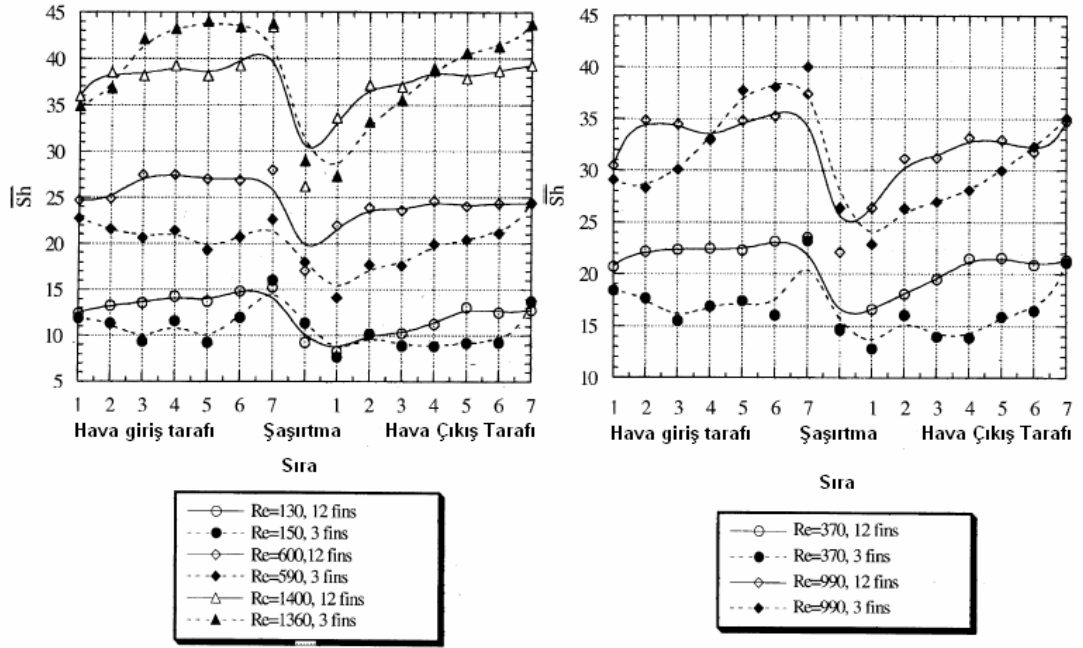
Şekil 2.15: Resirkülasyon ve karışık dönme bölgeleri [5]

Şekil 2.15 te gösterilen 1.resirkülasyon bölgesi kanatçı'nın hemen üst kesiminde meydana gelmiştir. 2. resirkülasyon bölgesi kanatçı'nın alt bölümünde 3. resirkülasyon bölgesi ise hava akımının kanatçıktan ayrıldığı bölgede oluşmuştur. 1. ve 2. resirkülasyon bölgelerinde hava değişimi daha az olduğundan ısı transferini olumsuz yönde etkilemesi kuvvetle muhtemeldir.

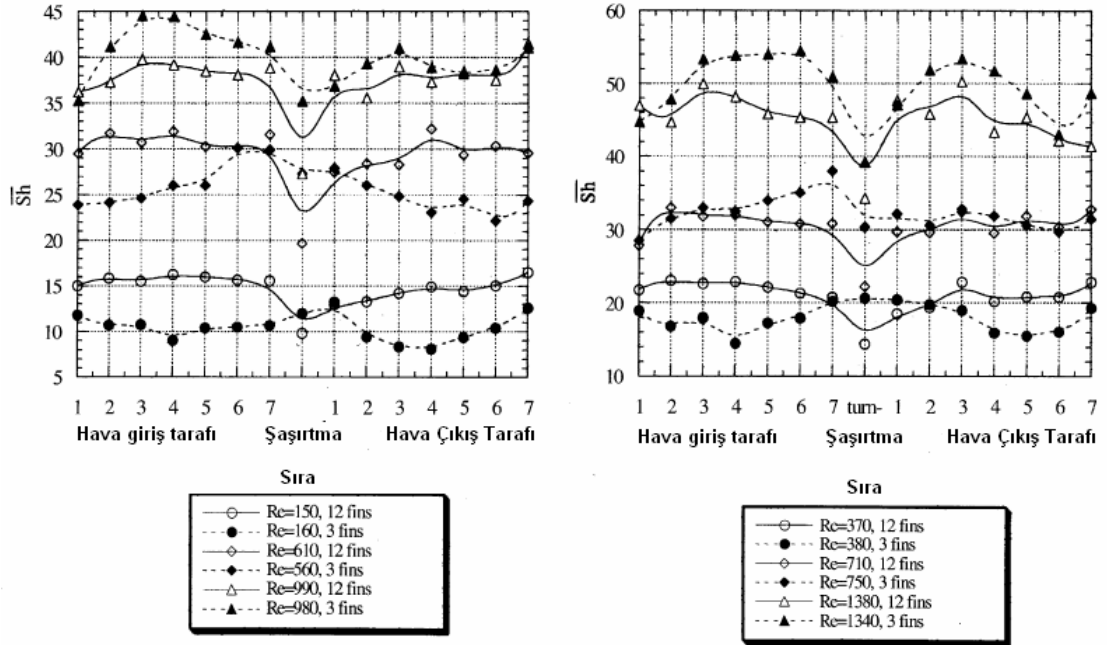
Reynolds un 510 dan 820 ye çıkması ile resirkülasyonlar yerini karışık dönmelere bırakmaktadır. Karışık dönme bölgeleri kanatçı'nın hemen altında ve üstünde oluşmaktadır. Hava akışı daha hızlı olduğundan karışık dönmeler içerisinde hava değişimi daha fazla olmaktadır ve bu durum ısı transferini, yüksek Reynolds sayılarında arttırmaktadır.

DeJong ve. Jacobi (2007) Yaptığı deneysel çalışmalarda 3 ve 12 kanat sayısına sahip modeller denemiş, ve elde ettiği verilerden Sherwood ve Reynolds sayıları hesaplamış ve her geometri için bu sayılara göre değerlendirmeler yapmıştır. Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18 da farklı Reynolds sayıları için her bir kanatçıdaki Sherwood sayısının değişimi gösterilmektedir.

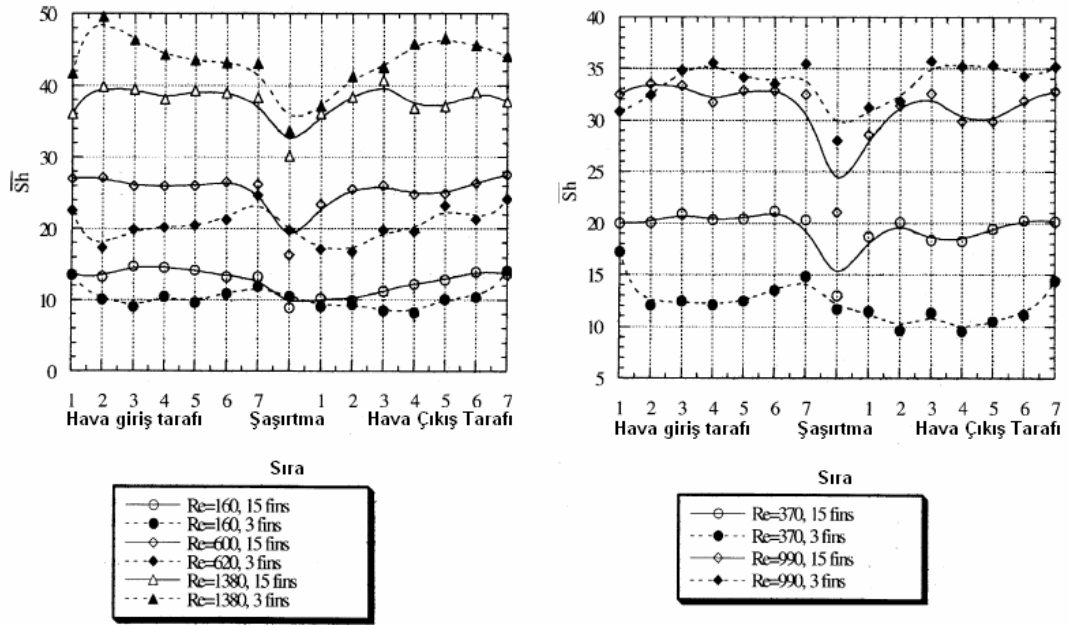




Şekil 2.16:  $\theta = 18$ ,  $F_p/L_p = 1.09$  [5]



Şekil 2.17:  $\theta = 28$ ,  $F_p/L_p = 1.09$  [5]

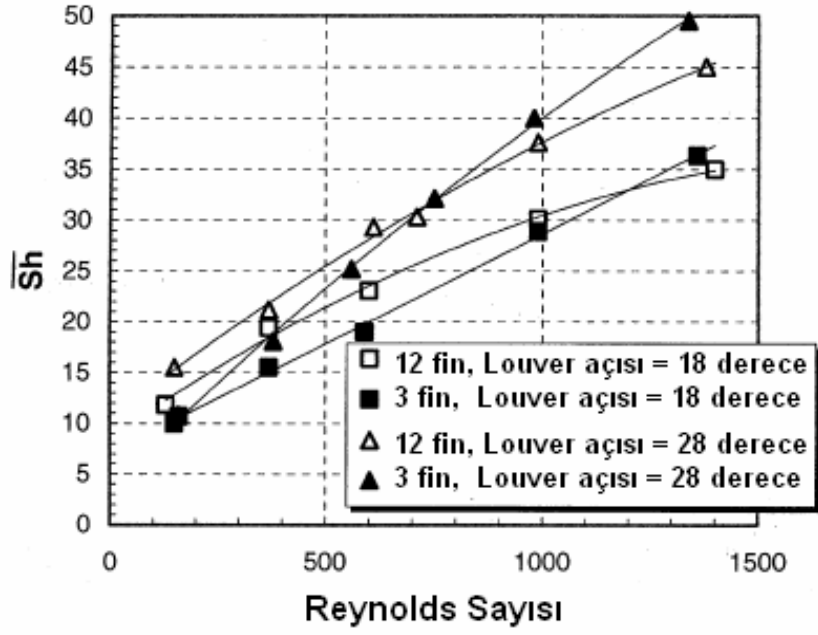


Şekil 2.18:  $\theta = 22$  ,  $F_p/L_p = 1,2$  [5]

Üç kanatlı ve 15 kanatlı Şekil 2.16 te gösterilen  $\theta = 18$  ve  $F_p/L_p = 1.09$  olan modelde her Reynolds sayısı için hava giriş tarafından şaşırtmaya doğru, kanatcıklarda Sh değerleri artmakta, şaşırtma da önemli bir düşüş meydana gelmekte ve şaşırtma kanatcığından çıkışa doğru Sherwood sayısında yine bir çıkış gözlemlenmektedir.

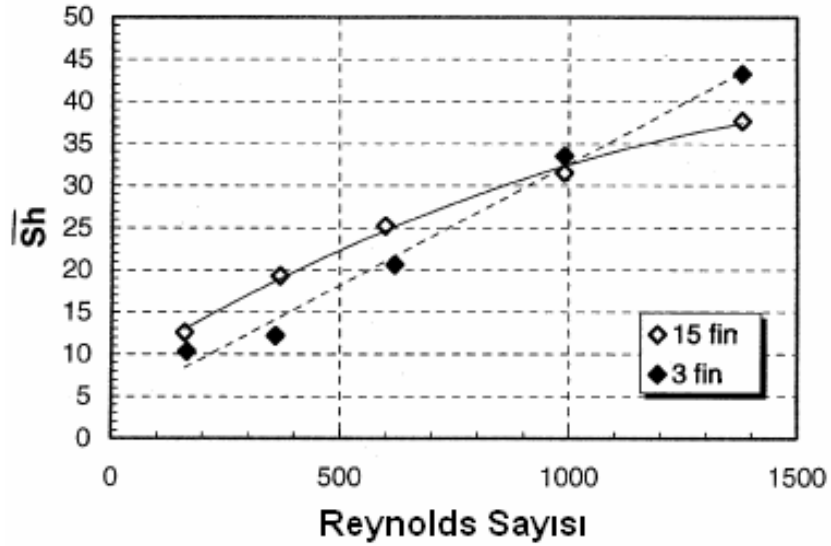
DeJong ve. Jacobi (2007) yaptığı deneysel çalışmalardan elde ettiği sonuçları değerlendirdiğinde, Düşük reynolds larda , üç kanata sahip modeldeki Sherwood sayısının 15 kanatlı olan modele göre daha düşük olduğunu, fakat yüksek Reynolds sayıları için bunun tersinin gerçekleştiğini görmüştür. [5]

12 ve 15 kanata sahip geometrilerde, şaşırtma kanatcığındaki Sherwood sayısının giriş tarafındaki kanatcığın Sherwood sayısından oldukça düşük olduğunu gözlemlemiş ve bunun nedeninin şaşırtma kanatcığının boyunun, diğer kanatcıklardan yaklaşık 3 kat uzun olmasına ve böylece ortalama sınır tabaka kalınlığının diğer kanatcıklara göre daha büyük olması ile ilgili olduğunu belirtmiştir. Fakat bu düşme, Yüksek Reynolds lar hariç, 3 kanatlı modelde çok belirgin değildir. [5]



Şekil 2.19: Çeşitli kanat sayısı ve kanatçık açısına göre modellerin Reynolds – Sherwood sayılarının karşılaştırılması [5]

28 ve 18 derecelik kanatçık açılarının karşılaştırmalarında, 28 derecelik kanatçık açısına sahip modelin Sherwood sayısının diğer modelden daha yüksek olduğu görülmüştür. [5]



Şekil 2.20: 15 ve 3 kanatlı geometrilerin Reynolds sayısına göre Sherwood sayısı karşılaştırması [5]

Şekil 2.20 de Düşük reynolds sayılarında, büyük ayrılma bölgelerinin kütle transferini azalttığı, bunun da 3 kanatlı modelin ortalama kütle transferinin, periyodik şartlara sahip diğer modellerden daha düşük olmasına neden olduğu görülmüştür. Daha yüksek Reynolds sayılarında ise oldukça kararsız olan akış kütle transferini arttırmıştır. [5] 500 Re gibi Düşük reynolds sayılarında üç ve 15 kanatlı modeller arasındaki ortalama Sh sayılarındaki fark Reynolds sayısı 1000 e ulaştığında kapanmaktadır. Reynolds sayısı 1500 e yaklaştıkça üç kanatlı modelin Sh sayısı giderek artmakta ve 15 kanatlı geometrinin Sh sayısı ile arasındaki farkı arttırmaktadır.

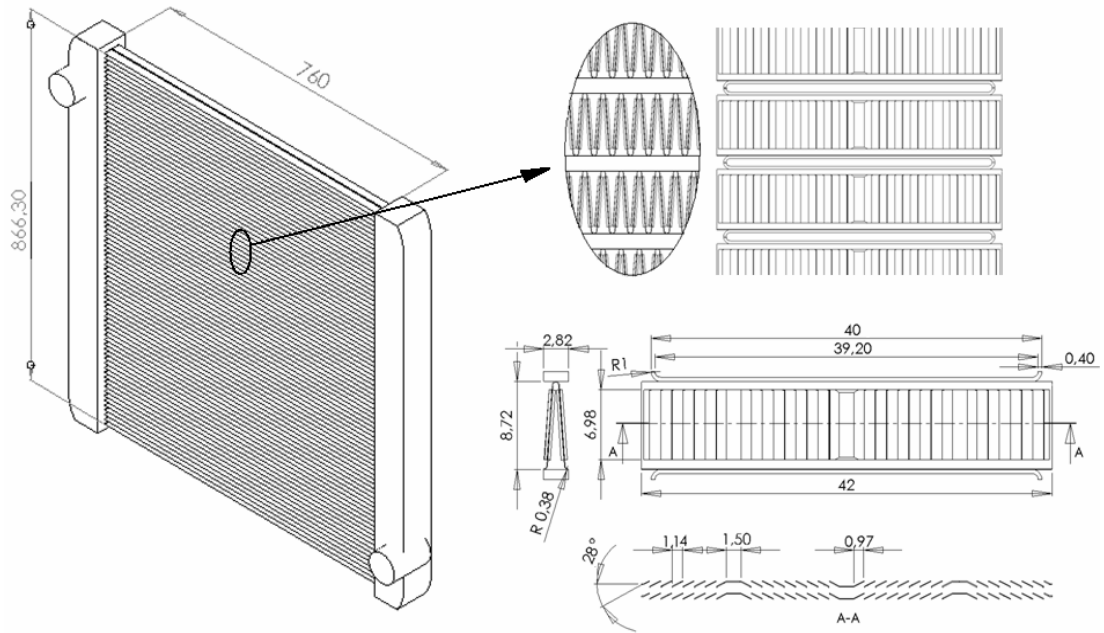
### 3 DENEYSEL ÇALIŞMA

Radyatörlerin tasarımı aşamasında, LMTD (Logarithmic Mean Temperature Difference) ve NTU (The Number of Transfer Units) gibi matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler yardımı ile, ısı değıştirgecinin kapasitesi ve verimi bulunabilmektedir.

Bu bölümde, Testleri yapılan radyatörden alınan veriler  $\epsilon$ -N yöntemi ile değerlendirilecek, ve radyatörün etkinliği belirlenecektir. Bu Tezde deneysel bir çalışma yapılmamış , daha önce yapılan test ve deneylerden alınan sonuçlar değerlendirilmiş ayrıca yapılan testlerin deney düzenekleri açıklanmıştır.

#### 3.1 Testleri Yapılan Radyatör

Test edilen radyatörde ve kanata ait geometrik bilgiler Şekil 3.1 de verilmiştir. Kanat yapısı olarak üç şaşırtmalı panjurlu tip kanatcıklar kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Testleri yapılan Radyatör ve Kanat Geometrisi

Kanat malzemesi olarak alüminyum tercih edilmiştir. Kanat kalınlığı 0.08 mm ve kanatcık açısı 28 derecedir. Kanatcık uzunluğu ise 1,1 mm dir.

Motordan gelen soğutucu akışkan olan suyun geçeceği kanallar 0,4 mm kalınlığında alüminyumdan yapılmıştır. Yükseklikleri 2,05 mm genişlikleri ise 40 mm dir. Radyatörde soğutucu akışkan olarak %50 glikol katkılı su kullanılmıştır.

### **3.1.1 Test düzeneği**

Testlerde, bilgisayar yardımı ile kontrol edilen test düzeneği kullanılmaktadır. Düzenek, aracı simüle edecek şekilde tasarlanmıştır. Hava debisi - sıcaklığı, soğutucu akışkan debisi-sıcaklığı kontrol edilebilmektedir.

Test sırasında hava giriş sıcaklığı radyatörün ön tarafından 1 cm uzaklıkta bulunan 9 adet termo eleman yardımıyla ölçülmektedir. Ölçülen sıcaklıkların ortalaması alınarak radyatör hava giriş sıcaklığı saptanmaktadır. Radyatörün arka kısmında ve radyatöre 1 cm uzaklıkta bulunan 5 adet termo eleman yardımıyla da radyatör hava çıkış sıcaklıkları ölçülmektedir. Bu 5 noktadan ölçülen değerlerin ortalaması alınarak radyatör hava çıkış sıcaklığı belirlenir.

Radyatöre giren soğutucu akışkanın sıcaklığı, radyatör girişinden 5 cm ve 6 cm uzaklıkta bulunan 2 adet termo eleman yardımıyla ölçülür. Bu termo elemanlar yardımıyla elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak radyatöre giren soğutucu akışkanın sıcaklığı belirlenir. Radyatörden çıkan soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı ise, yine giriş sıcaklığında olduğu gibi radyatör çıkışından 5 cm ve 6 cm uzaklıkta 2 adet termo eleman yardımıyla ölçülür. 5 cm ve 6 cm'den ölçülen bu değerlerin ortalaması alınarak radyatörden çıkan soğutucu akışkanın sıcaklığı belirlenir.

### **3.1.2 Test sonuçları**

Test şartları ve testler neticesinde elde edilen hava çıkış sıcaklığı ve soğutucu akışkandaki sıcaklık değişimi gibi sonuçlar Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1: Test Şartları ve Sonuçlar

Hava Giriş Hızı, [m/s]	2	4	6
Hava Debisi, [kg/s]	1,59	3,18	4,78
Hava Giriş Sıcaklığı, [C]	45	45	45
Soğutucu Akışkan Debisi, [lt/s]	2,5	2,5	2,5
Soğutucu Akışkan giriş sıcaklığı, [C]	95	95	95
Hava Çıkış Sıcaklığı, [C]	81,2	73,5	67,9
Soğutucu Akışkandaki Sıcaklık değişimi [C]	-6,21	-10,14	-12,6
Isı Atımı, [kW]	61,7	80,5	96,1

### 3.2 $\epsilon$ -N Yöntemi ve Kullanılan Değişkenlerin Hesaplanması

Akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıkları belli olmayan bazı durumlarda klasik ortalama logaritmik sıcaklık farkı yöntemi kullanılarak sonuca ulaşma ancak deneme yanılma yöntemi ile mümkündür. Böyle durumlarda NTU yöntemi olarak ta bilinen  $\epsilon$ -N yöntemi nin kullanılması kolaylık sağlar. Diğer taraftan  $\epsilon$ -N yönteminin diğer bir üstünlüğü, aynı gaye için kullanılacak ısı değiştiricilerinin birbirleri ile karşılaştırılmasını sağlar ve bunların içinden en uygununun seçimine imkan verir. [6]

$\epsilon$ -N yönteminde ilk olarak Isı değiştiricisi etkenliği ( $\epsilon$ ) Denklem (3.1) ve (3.2) yardımı ile 2 şekilde hesaplanır.

$$\epsilon = \frac{q}{q_{\max.}} \quad (3.1)$$

(3.1) numaralı denklem, geçen ısının, geçebilecek en fazla ısıya oranıdır. (3.2) numaralı denklem ise, N ve C sabitlerini içeren üstel bir fonksiyondur. Burada  $\epsilon$  çapraz akışlı ve karışmayan hal için hesaplanmaktadır.

$$\epsilon = 1 - \exp\left[\left(\frac{1}{C_r}\right)(NTU)^{0.22} \left\{\exp[-C_r(NTU)^{0.78}] - 1\right\}\right] \quad (3.2)$$

Denklem (3.3) te, NTU değişkeninin hesabı gösterilmektedir.

$$NTU = \frac{K_h A}{C_{\min.}} \quad (3.3)$$

Denklem (3.3) te kullanılan C sabiti, Denklem (3.4) yardımı ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Burada  $C_{\min}$  hava tarafı ve su tarafı için hesaplanan ısı kapasite debilerinden en küçük olanıdır.  $C_{\max}$  ise en büyük ısı kapasite debisidir.

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (3.4)$$

Denklem (3.3) te kullanılan  $K_h$ , Hava tarafı için hesaplanan toplam ısı iletim katsayısıdır ve denklem (3.5) yardımı ile hesaplanır.  $A_h$  radyatörün hava ile temas eden alanı,  $A_s$  Suyun temas ettiği alan,  $k_a$  Alüminyum un ısı transfer katsayısı ve  $\delta$  de kanatcıkların kalınlığıdır.

$$\frac{1}{K_h} = \frac{A_h}{h_{su}A_s} + \frac{A_h\delta}{k_a} + \frac{1}{h_h\eta_{hava}} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5) te kullanılan  $\eta_{hava}$  ın bulunabilmesi için ilk olarak kanat verimi hesaplanmalıdır. Kanat veriminin denklem (3.6) yardımı ile bulunur.

$$\eta_c = \frac{\tanh(mL_c)}{mL_c} \quad (3.6)$$

$L_c$  verimli kanat yüksekliğidir ve denklem (3.7) yardımı ile Kanatcık yüksekliğinin ikiye bölünmesi ile bulunur.  $m$  ise denklem (3.8) yardımı ile hesaplanır.

$$L_c = \frac{F_h}{2} \quad (3.7)$$

$$m = \sqrt{\frac{2h_h}{k_a\delta}} \quad (3.8)$$

Daha sonra hava tarafındaki yüzey için verimlilik olan  $\eta_{hava}$  , Denklem (3.9) yardımı ile hesaplanır.



$$\eta_{hava} = \frac{\eta_k A_k}{A} + \frac{A_0}{A} \quad (3.9)$$

### 3.2.1 Hava tarafı için kullanılacak değişkenlerin hesaplanması

Hava tarafındaki Reynolds, Denklem (3.10) te belirtildiği şekilde hesaplanır.

$$Re = \frac{4.r_h G_h}{\mu} \quad (3.10)$$

Denklem (3.10) te G kütle akısıdır ve havanın kütle debisinin havanın geçeceği minimum kesit alanına oranıdır. Burada G, Denklem (3.11) yardımı ile bulunur.

$$G = \frac{\dot{m}_h}{A_c} \quad (3.11)$$

Hidrolik yarıçap olan  $r_h$  ise Denklem (3.12) te aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Burada  $A_c$  akıştaki minimum kesit alanı, A ise ısı transferi alanıdır.

$$r_h = \frac{A_c \cdot L}{A} \quad (3.12)$$

Isıl kapasite debisi olan  $C_h$  ise Denklem (3.13) da belirtildiği gibi hesaplanır.

$$C_h = \dot{m}_h \cdot c_h \quad (3.13)$$

Hava ve su tarafı için hesaplanan Isıl kapasiteler den en küçüğü,  $C_{min}$  olarak kabul edilir.

### 3.2.2 Su tarafı için kullanılacak değişkenlerin hesabı

Su tarafındaki Reynolds Denklem (3.14) yardımı ile hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \quad (3.14)$$

Burada Hidrolik çap olan  $D_h$ , Denklem (3.15) yardımı ile hesaplanır. Burada P ıslak çevredir

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (3.15)$$

Isıl kapasite debisi olan  $C_s$  ise Denlem (3.16) yardımı ile hesaplanır.

$$C_s = \dot{m}_s \cdot c_s \quad (3.16)$$

$h_s$  nin bulunmasında kullanılacak olan Nusselt boyutsuz sayısı, Denklem (3.17) ile hesaplanır.

$$Nu = 0,036 Re^{0,8} Pr^{1/3} (D/L)^{0,055} \quad (3.17)$$

Daha sonra bulunan bu Nusselt sayısı yardımı ile  $h_s$ , denklem (3.18) deki gibi hesaplanabilir.

$$h_s = \frac{Nu_s k_s}{D_h} \quad (3.18)$$

Değerlendirmelerde kullanılacak olan Prandtl Deklem (3.19) ve Stanton sayısı Denklem (3.20) yardımı ile hesaplanır.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (3.19)$$

$$St = \frac{h}{\rho v C_p} = \frac{Nu}{Re \cdot Pr} \quad (3.20)$$

### 3.3 Hesaplamalar

İlk olarak Hava tarafı için hidrolik yarıçap denklem (3.12) yardımı ile hesaplanır. Daha sonra hava giriş sıcaklığına göre hava tarafı için Reynolds sayısı bulunur. Testte ölçülen kütleli debi kullanılarak sırası ile  $G$ ,  $C_h$  ve  $C_s$  hesaplanır. Hava ve Su tarafı için  $C_h$  ve  $C_s$  hesaplanır,  $C_{min}$  ve  $C_{max}$  belirlendikten sonra,  $C$  sayısı hesaplanır.

Daha sonra su tarafında ki  $h$  in bulunması için Reynolds sayısı hesaplanır. Bulunan bu Reynolds, Nusselt denkleminde yerine konular ve Nusselt sayısı hesaplanır. Hesaplanan Bu Nusselt sayısı yardımı ile, Denklem (3.18) ten  $h_s$  bulunur.

Isı değiştirgeci etkenliği, denklem (3.1) dan hava tarafında oluşan sıcaklık farkının su giriş sıcaklığının hava giriş sıcaklığından çıkarılması ile bulunan maksimum ısı geçişine oranı şeklinde bulunur. Denklem (3.2) da  $C$  ve  $\epsilon$  yerlerine konular ve sonlu farklar yöntemi ile NTU hesaplanır. Bulunan NTU ile,  $K_h$  hesaplanacaktır..

$K_h$  in hesaplanmasının ardından ilk adımda, Denklem (3.5) yardımı ile ilk olarak  $\eta_{hava}$  1 kabul edilip  $h_h$  hesaplanır. İkinci adımda  $h_h$ , Kanatcık verimi denkleminde (3.6) yerine konularak  $\eta_{hava}$  tekrar hesaplanır. Daha sonra ilk adım yeniden uygulanır. Bu iterasyon, son iki iterasyon sonucunda 0.001 fark kalana kadar devam ettirilir. İterasyonlar sonucunda hesaplanan  $h_h$  ile  $St.Pr^{(2/3)}$  hesaplanır.

Tablo 3.2 de 2, 4 ve 6 m/s Hava giriş hızları için uygulanan  $\epsilon$ -N yönteminde kullanılan veriler ve hesaplanan değerler belirtilmiştir.

Tablo 3.2:  $\epsilon$ -N yönteminde kullanılan veriler

Hava tarafı			
$V_{hava}$	2	4	6
$\dot{m}$	1,59	3,18	4,77
$T_g$	45	45	45
$T_C$	81,22	73,5	67,87
$C_p$	1008	1008	1008
$C_h$	1602,72	3205,44	4808,16
$A$	38,72	38,72	38,72
$A_k$	33,66	33,66	33,66
$A_0$	5,056	5,056	5,056
$A_c$	0,54	0,54	0,54
$k_h$	0,03	0,03	0,03
$r_h$	$5,36 \times 10^{-4}$	$5,36 \times 10^{-4}$	$5,36 \times 10^{-4}$
$\rho$	1,10	1,10	1,10
$\mu$	1,93E-05	1,93E-05	1,93E-05
$G$	2,96	5,91	8,87
$Re$	328,52	657,04	985,56
$Pr$	0,70	0,70	0,70
$St$	0,046	0,034	0,027

Tablo 3.2 Devam:  $\epsilon$ -N yönteminde kullanılan veriler

St.Pr <sup>2/3</sup>	0,036	0,027	0,022
$\eta_h$	0,954	0,934	0,922
$\eta_k$	0,947	0,924	0,911
Alüminyum			
$k_a$	206	206	206
$\delta$	0,08	0,08	0,08
Su Tarafı			
$V_{su}$	0,653	0,653	0,653
$m_{su}$	$2,5 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$
$T_{su,q}$	95	95	95
$C_p$	3420	3420	3420
$C_s$	8550	8550	8550
$k_s$	0,457	0,457	0,457
$D_h$	$2,40 \times 10^{-3}$	$2,40 \times 10^{-3}$	$2,40 \times 10^{-3}$
$A_c$	$4,76 \times 10^{-5}$	$4,76 \times 10^{-5}$	$4,76 \times 10^{-5}$
P	0,079	0,079	0,079
$\mu$	$7,34 \times 10^{-7}$	$7,34 \times 10^{-7}$	$7,34 \times 10^{-7}$
Re	2135,81	2135,81	2135,81
Pr	5,5	5,5	5,5
Nusselt	21,34	21,34	21,34
$h_h$	4060,05	4060,05	4060,05
$\epsilon$ -N			
C	0,187	0,375	0,562
$\epsilon$	0,724	0,570	0,457
NTU	1,47	1,01	0,766
$K_h$	60,85	83,61	95,12
$h_h$	73,42	109,29	129,79

### 3.4 Sonuçlar

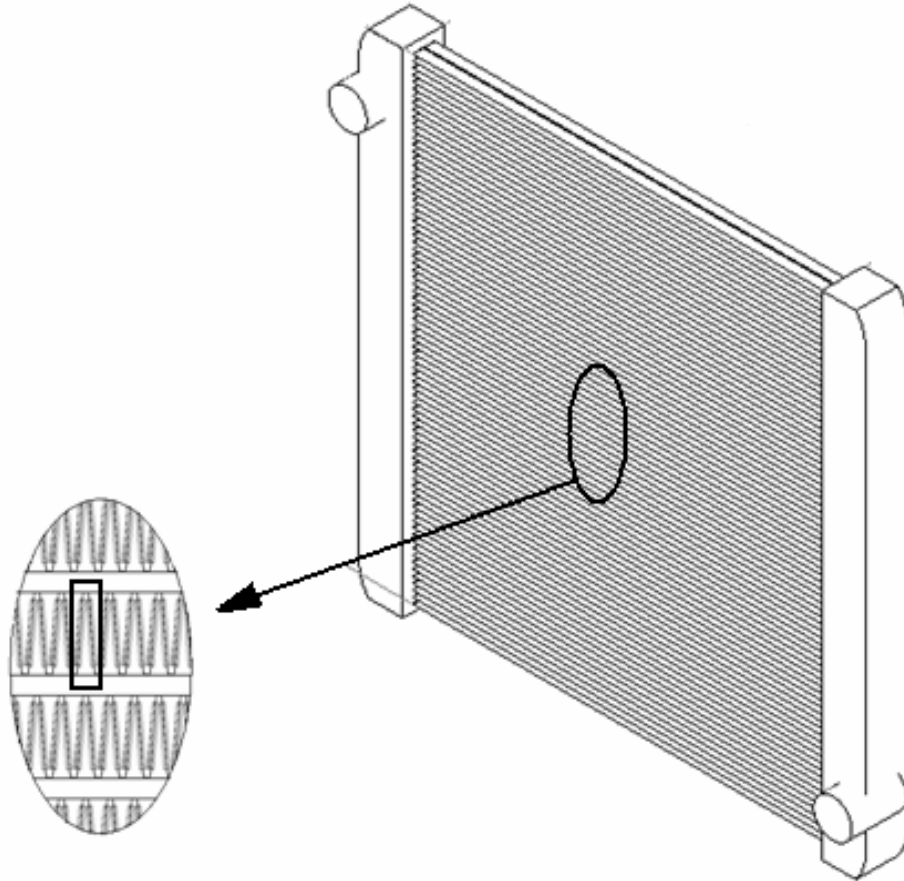
Denklem (3.20) yardımı ile hesaplanan Stanton ve havanın özelliklerinden alınan Prandtl sayısı ile, radyatörün St.Pr<sup>2/3</sup> Sayısı hesaplanır. Tablo 3.3 da değerlendirmede kullanılacak olan boyutsuz sayılar mevcuttur.

Tablo 3.3: NTU yöntemi ile bulunan değerler

Re	328,52	657,04	985,56
Pr	0,703	0,703	0,703
St	0,046	0,034	0,027
St.Pr <sup>2/3</sup>	0,036	0,027	0,021

#### 4 SAYISAL MODELLEME (HAD)

Bu Bölümde, Bölüm 3 te  $\epsilon$ -N yöntemi ile Çalışma eğrisi belirlenen radyatörün katı ve hava tarafının HAD analizleri yapılacaktır. Tüm radyatörün analizi mevcut Bilgisayarlar ile yapılamayacağından dolayı, Şekil 4.1 de gösterilen radyatörün 2 kanadının analizi yapılmıştır. Gerçek akışı simüle edebilmek için hava kesintiye uğratılmamış, sağ ve sol bölgelere periyodik sınır şartı [7] tanımlanmıştır.

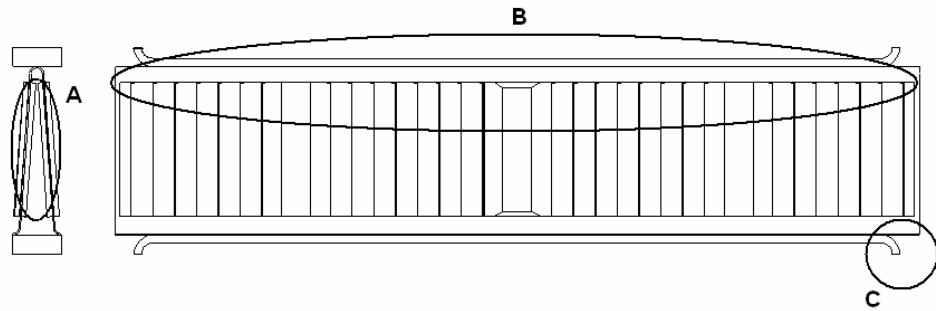


Şekil 4.1: HAD analizi yapılacak kanat demeti

HAD analizi neticesinde bulunan sonuçlar Bölüm 4.6 ta sonuçlar  $\epsilon$  -N yöntemi neticesinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılacaktır.

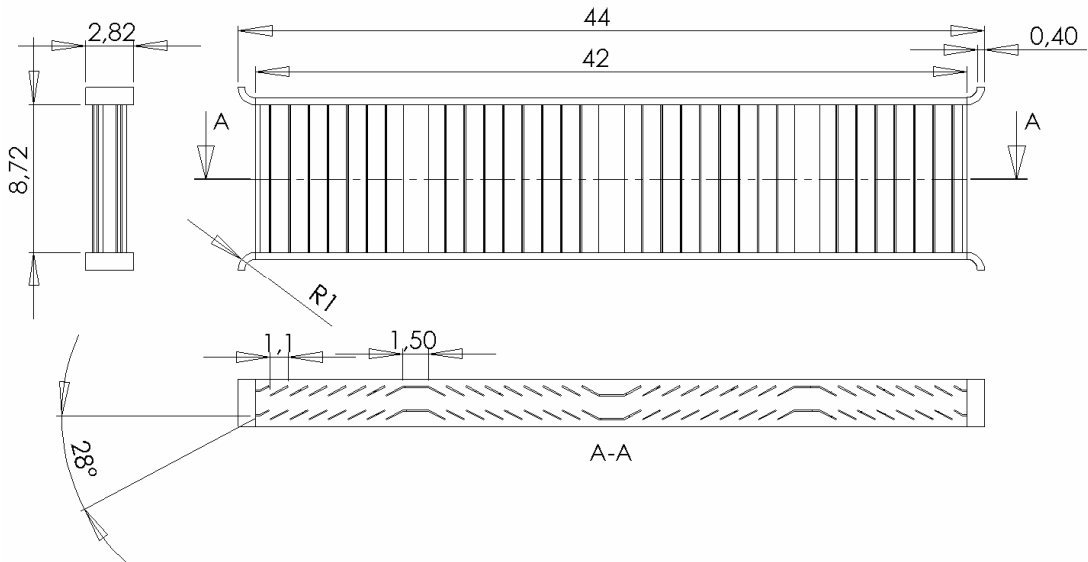
#### 4.1 Analizi Yapılacak Model

Testleri yapılan modele, daha kolay mesh atılabilmesi ve her modelde aynı yoğunlukta mesh kullanılabilmesi amacı ile model basitleştirilmiştir. Şekil 4.2 de Basitleştirme yapılan bölgeler gösterilmiştir. A ile gösterilen bölgede, Aralarında 12 Derece olan kanatlar birbirine paralel hale getirilmiş ve B ile gösterilen bölgeler kaldırılıp kanatlar Sıcak suyun geçtiği üst duvarlara dayandırılmıştır. C ile gösterilen bölgede ise gerçekte 40 mm olan soğutucu kanallar uzatılmıştır.



Şekil 4.2: Basitleştirilme yapılan bölgeler

Şekil 4.3 da yapılan basitleştirmelerden sonra analizi yapılacak modelin geometrik ölçüleri verilmiştir.



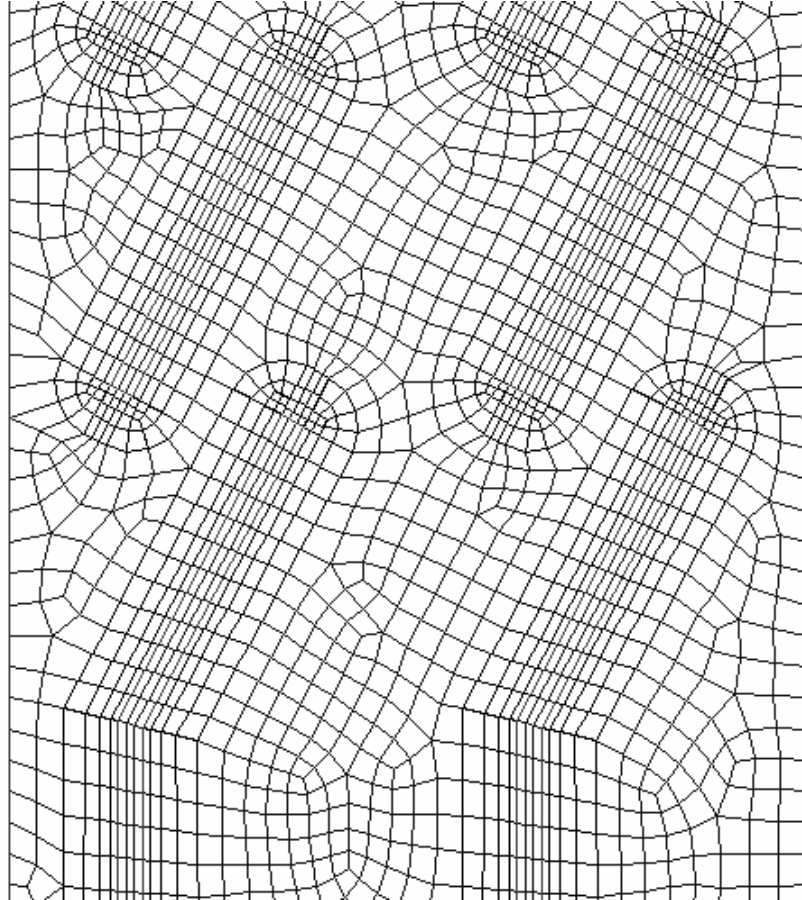
Şekil 4.3: Analizi yapılacak olan basitleştirilmiş model.

#### 4.1.1 Grid yapısı

Grid yapısı, ilk olarak hava ile alüminyumun kesiştiği alanda 2 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Alüminyum kanatçıklar, üçe bölünerek altı yüzlü elemanlar ile ilk olarak 2D meshlenmiş, daha sonra yukarıya doğru 50 kat halinde taranarak Alüminyum tarafında mesh oluşturulmuştur

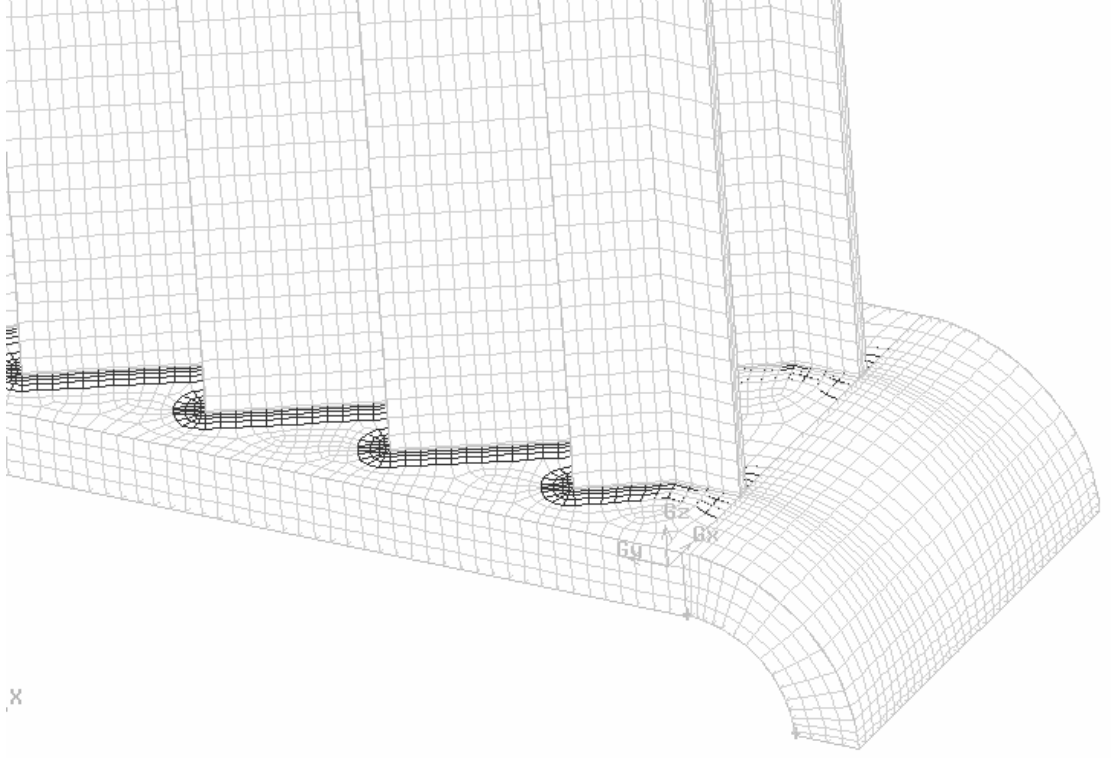
Daha sonra hava ile alüminyumun kesiştiği noktada 2D grid yapısı oluşturulmuştur. Grid yapısı oluşturulurken, kanatçıklar etrafındaki kava hareketinin daha iyi gözlemlenebilmesi ve ısı transferinde daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için kanatçıklar etrafına 0.025 mm den başlayan ve 1.3 büyüme oranına sahip 4 sıra Sınır tabaka mesh i oluşturulmuştur.

Sınır tabaka mesh i oluşturulduktan sonra, 0.08 mm lik grid uzunluğu ile hava ile alüminyumun kesiştiği alanda Şekil 4.4 te görülen 2D grid yapısı oluşturulmuştur.

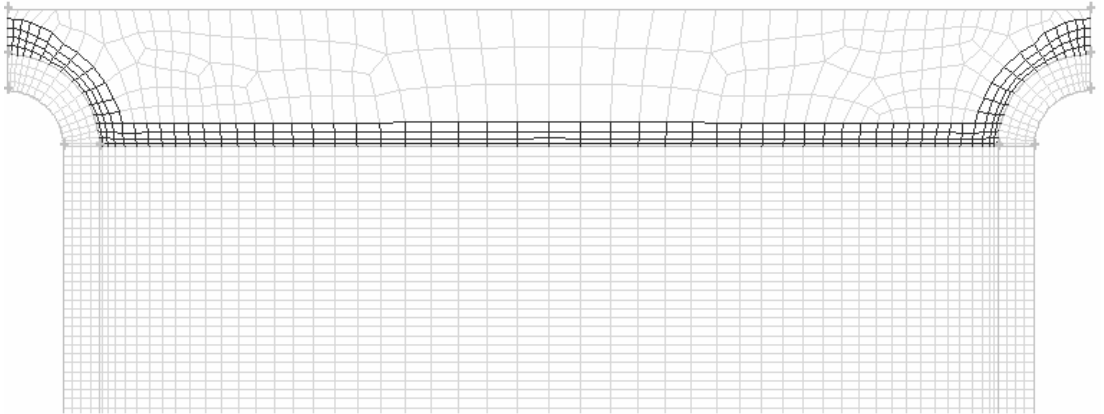


Şekil 4.4: Alüminyum ve havanın kesiştiği bölgedeki grid yapısı

Daha sonra, Şekil 4.4 de gösterilen 2D grid yapısı alüminyum da olduğu gibi yukarıya doğru 50 sıra halinde taranarak hava tarafındaki 3D grid yapısı oluşturulmuştur.(Şekil 4.5)



Şekil 4.5: Alüminyum ve hava tarafındaki mesh yapısı

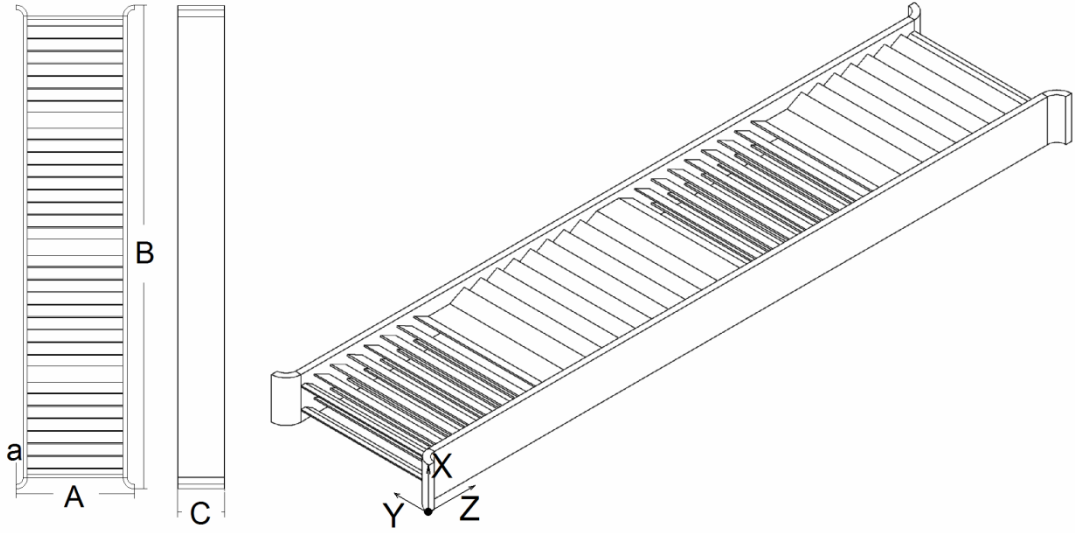


Şekil 4.6: Hava giriş ve çıkış kısmındaki Mesh yapısı



## 4.2 Sınır Şartları

Yapılan analizlerde su tarafı incelenmemiş, yalnızca hava tarafı üzerinde durulmuştur. Bu nedenle sıcaklık sınır şartı olan su sıcaklığı, testlerde her bir farklı hava giriş hızları için elde edilen ortalama su sıcaklığı kabul edilmiştir.



Şekil 4.7: Sınır şartlarının verileceği eksenler

Tablo 4.1: Sınır Şartları

	Adı	Yeri	V	T	P
1	Hava Giriş	$Z = 0, 0 \leq X \leq C, 0 \leq Y \leq A$	Sabit	Sabit	Sabit
2	Periyodik	$X = 0, 0 \leq Z \leq B, 0 \leq Y \leq A$	Periyodik	Periyodik	Periyodik
3	Periyodik	$X = C, 0 \leq Z \leq B, 0 \leq Y \leq A$	-	-	-
4	Hava Çıkış	$Z = B, 0 \leq X \leq C, 0 \leq Y \leq A$			Sabit
5	Üst Su Kanalı	$Y = a, 0 \leq Z \leq B, 0 \leq X \leq C$	0	Sabit	
6	Alt Su Kanalı	$Y = A - a, 0 \leq Z \leq B, 0 \leq X \leq C$	0	Sabit	

Tablo 4.1 de 1 numara ile gösterilen hava giriş sınır şartına, her bir test için ölçülen hava giriş hızı tanımlanmıştır. 2 ve 3 numara ile gösterilen sınır şartında ise yan taraflarda periyodik bölgeler atanarak akışın sürekliliği sağlanmıştır. 4. sırada gösterilen Hava çıkış sınır şartı bölgesine ise, atmosfer basıncı tanımlanmıştır. 5 ve 6. sınır şartlarına ise testlerde her farklı hava giriş hızı için bulunan ortalama su sıcaklığı tanımlanmıştır.

### 4.3 Matematik Denklemler

Bu model için analiz programına süreklilik, Momentum, toplam enerji ve termal enerji denklemleri çözdürülmüştür. [8] Bu denklemler aşağıda gösterilmektedir.

Süreklilik

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (4.1)$$

Momentum

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{S}_M \quad (4.2)$$

Denklem (4.2) de kullanılan  $\boldsymbol{\tau}$  için kullanılan formül Denklem (4.3) te verilmiştir.

$$\boldsymbol{\tau} = \mu \left( \nabla \mathbf{U} + (\nabla \mathbf{U})^T - \frac{2}{3} \delta \nabla \cdot \mathbf{U} \right) \quad (4.3)$$

Toplam enerji

$$\frac{\partial (\rho h_{\text{tot}})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} h_{\text{tot}}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\tau}) + \mathbf{U} \cdot \mathbf{S}_M + \mathbf{S}_E \quad (4.4)$$

$$h_{\text{tot}} = h + \frac{1}{2} \mathbf{U}^2 \quad (4.5)$$

#### 4.3.1 Türbülans Modeli

Analizde kullanılacak türbülans modele yapılan validasyon çalışmaları neticesinde karar verilmiştir. İlk olarak Reynolds-Stress türbülans modeli denenmiş ancak Çıkış sıcaklıklarının çok yüksek çıkması nedeni ile gerçekçi bulunmamıştır. Ardından SST (Shear Stress Transport) modeli denenmiş, hava çıkış sıcaklıkları çok daha düşük çıkması nedeni ile tercih edilmemiştir.

Analizde kullanılacak k-ε modeli, yapılan analizler neticesinde test sonuçlarına oldukça yakın sonuçlar verdiği için bu çalışmada k-ε modeli kullanılacaktır. [9]

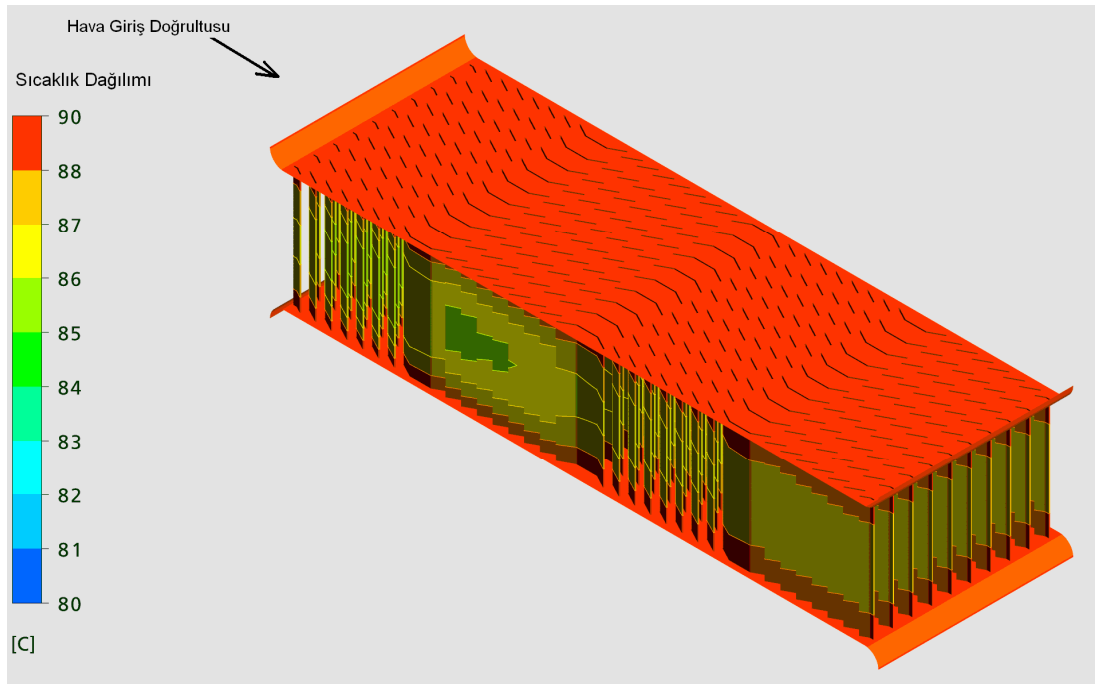
#### 4.3.2 Çözücü

Problemin karmaşıklığından ve değerlerdeki ufak hataların dahi sonucu büyük ölçüde etkileyeceğinden ötürü çözücü olarak 2. derece (Second order) çözücü tercih edilmiştir[8].

#### 4.4 HAD Sonuçları

Her hava giriş hızı için yapılan HAD analizleri ortalama 8 saat sürmüştür. Analizler için çift çekirdekli P4 3.0 Ghz işlemci kullanılmıştır. Her bir model analiz sırasında, her bir işlemci bellekte yaklaşık olarak 1.4 GB yer işgal etmiştir.

Aşağıda, HAD analizi neticesinde elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Şekil Şekil 4.8 - Şekil 4.18 te gösterilen sonuçlar, 4m/s hava giriş hızı neticesinde elde edilen sonuçlardır.

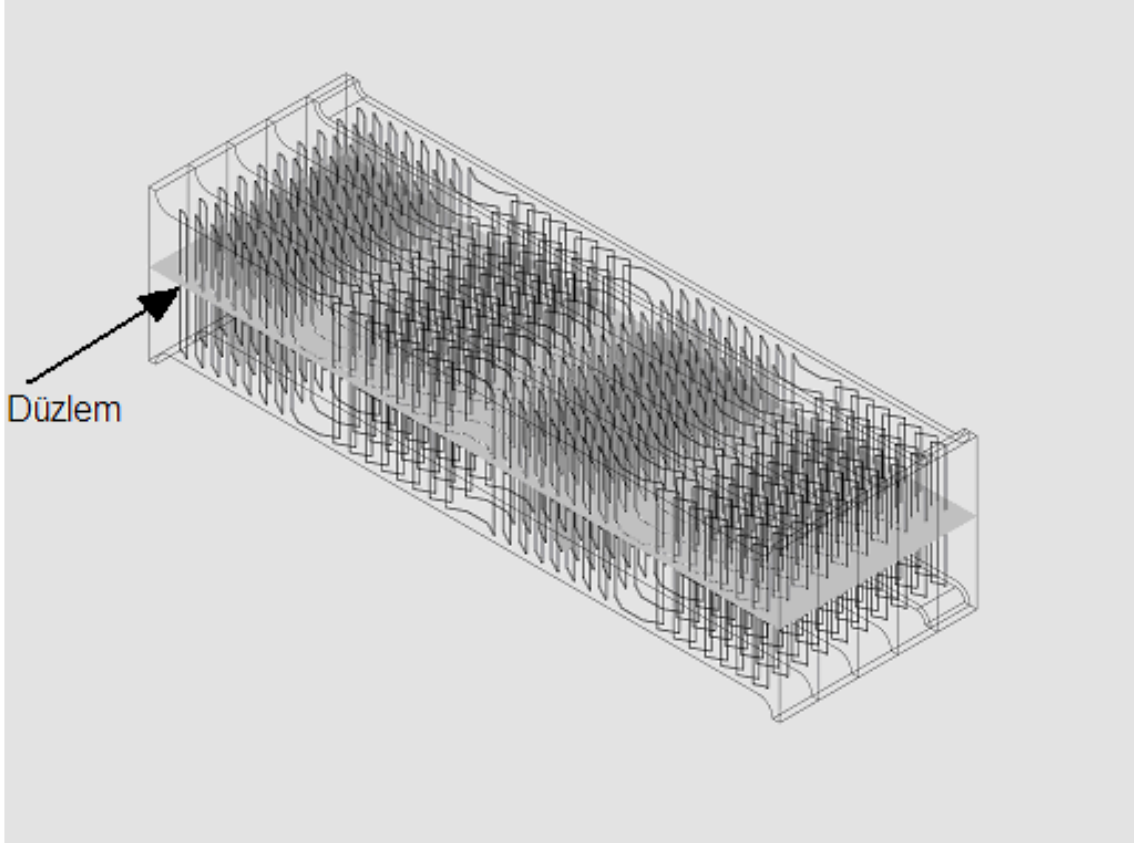


Şekil 4.8: Alüminyum duvarlarındaki sıcaklık değişimi

Şekil 4.8 den de görüldüğü gibi, Tüm alüminyum kanatçıklar, yaklaşık olarak duvar sıcaklığına ulaşmıştır. Hava giriş tarafındaki kanatçıkların sıcaklıklarının düşük olmasının nedeni, havanın çıkış bölgesine doğru ısınmasıdır.

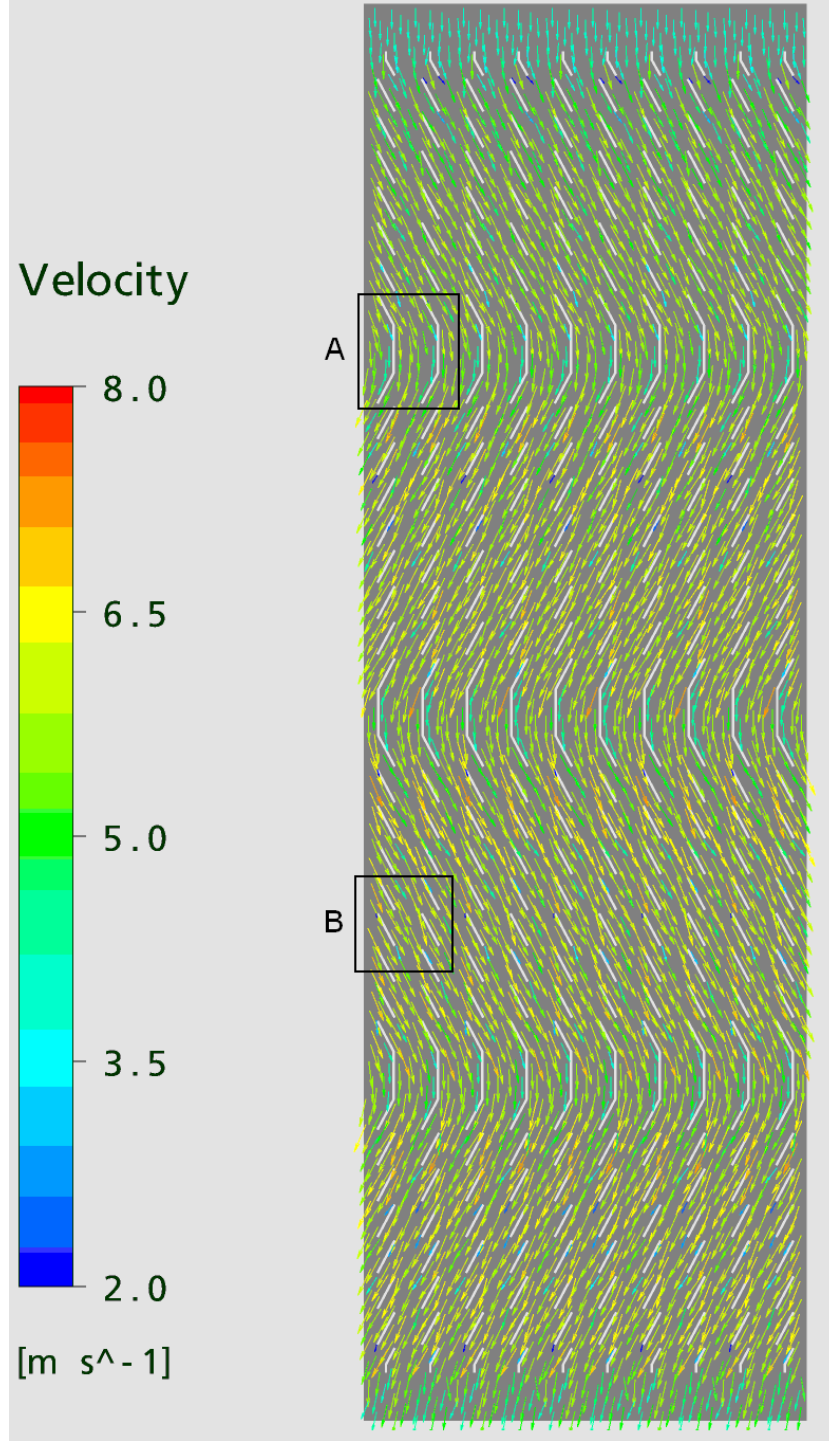
#### 4.4.1 Hava akışı Sonuçları

Bu bölümde hava tarafındaki akış sonuçları değerlendirilecektir. Şekil 4.10 - Şekil 4.14 te gösterilen tüm hız vektörleri ve hız dağılımları Şekil 4.9 te belirtilen düzlem üzerinden alınmış sonuçlardır.



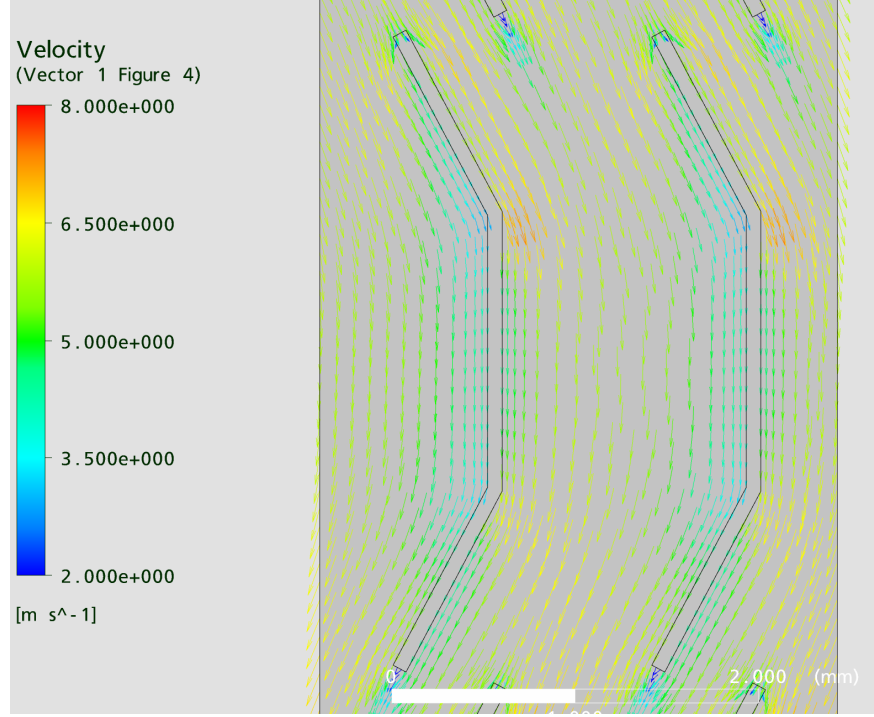
Şekil 4.9: Hız vektörleri, Basınç ve sıcaklık değişimlerinin gösterileceği düzlem

Şekil 4.9 de gösterilen düzlem, Şekil 4.7 de Y yönünde gösterilen doğrultunun Tam ortasından alınmıştır. Şekil 4.7 üzerinde tanımlamak gerekirse konumu  $Y = a + A/2$  ,  $0 \leq Z \leq B$  ,  $0 \leq X \leq C$  olarak belirtilebilir.

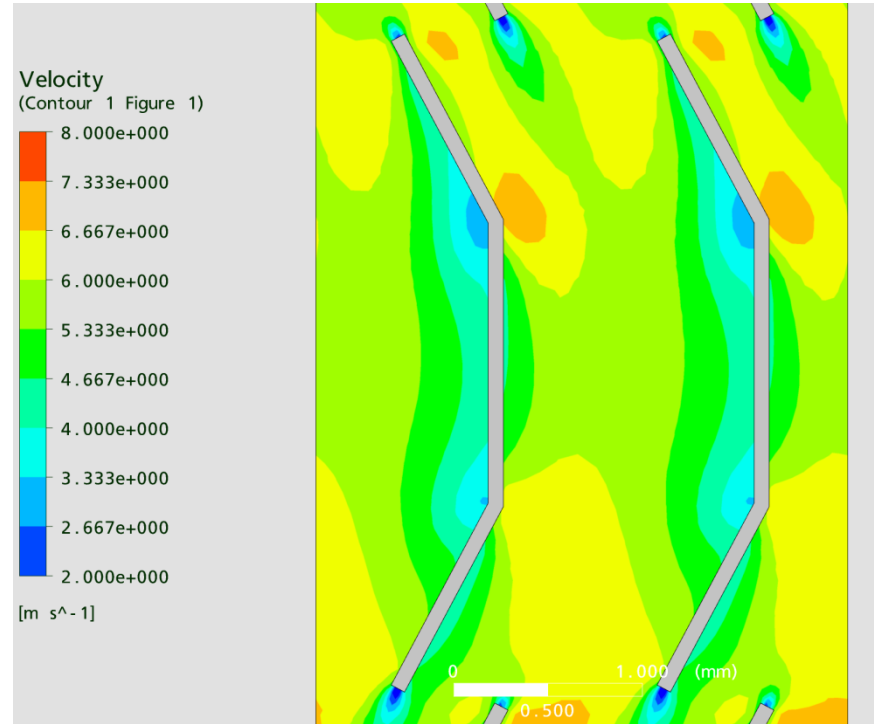


Şekil 4.10: Kanatcıklar arasındaki hız vektörleri

Radyatör içerisindeki hava akışı Şekil 4.10 de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi hava akışı, kanatcıklar doğrultusundadır. A ile görülen bölgedeki akış Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 de, B ile gösterilen bölgedeki akış ise Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 te detaylı şekilde görülebilir.

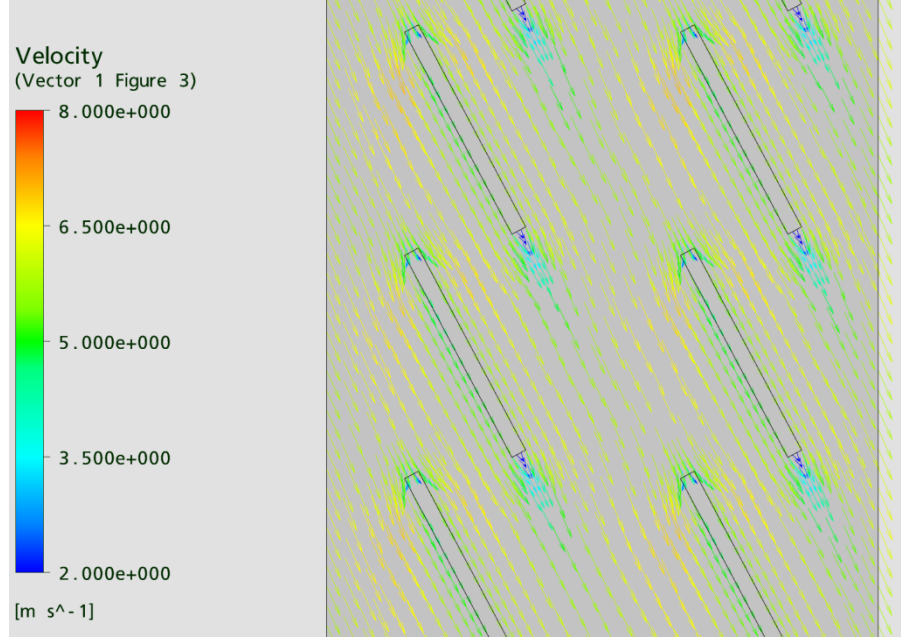


Şekil 4.11: Şaşırtma kanatcıklarının çevresindeki hız vektörleri

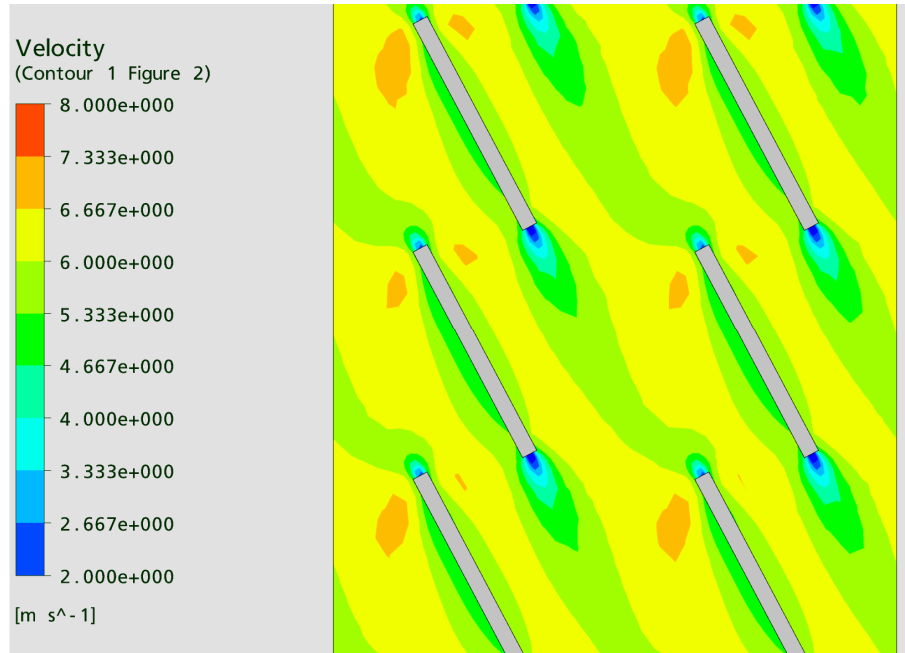


Şekil 4.12: Şaşırtma kanatcıklarının etrafındaki hız dağılımı

Görüldüğü gibi Hava hızı, şaşırtma kanatcıklarının çevresinde düşmektedir. Özellikle şaşırtma kanatcığının iç kısımlarında hızlar oldukça düşüktür. Bu hız düşüşü ısı transferini bu bölgelerde olumsuz yönde etkilemektedir.



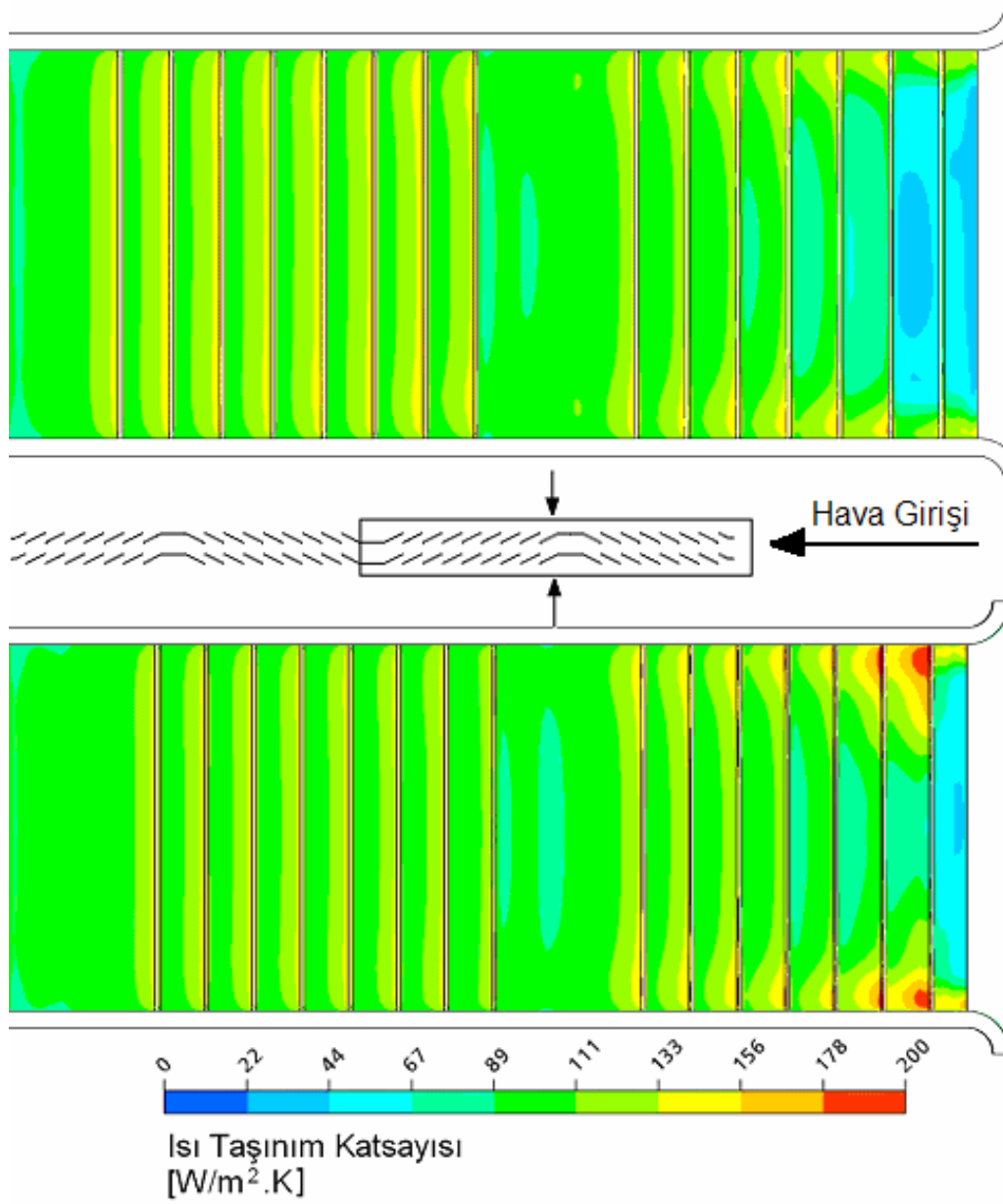
Şekil 4.13: Kanatçıklar etrafındaki hız vektörleri



Şekil 4.14: Kanatçıklar etrafındaki hız dağılımı

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 den de görüldüğü gibi, kanatçıkların giriş kısımlarında hızlar, orta kısımlara göre daha yüksektir. Kanatçıklar etrafındaki hız dağılımına bakıldığında, kanatçıklar etrafındaki sınır tabaka oluşumu görülebilir. Havanın kanatçıklardan ayrıldığı noktalarda hızlar oldukça düşüktür.

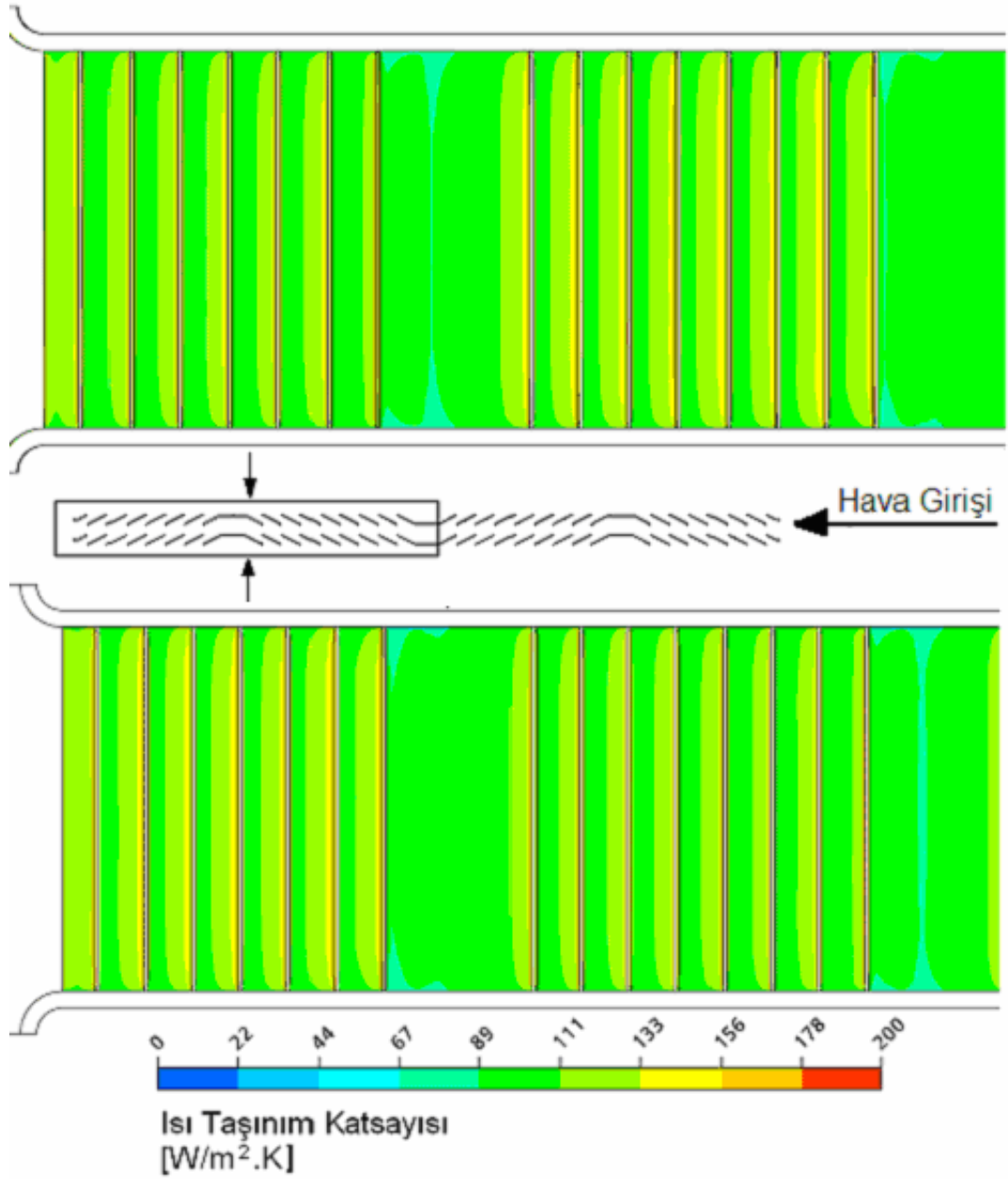
#### 4.4.2 Isıl Sonuçlar



Şekil 4.15: Hava Giriş Gölgesindeki ısı taşıyım katsayıları

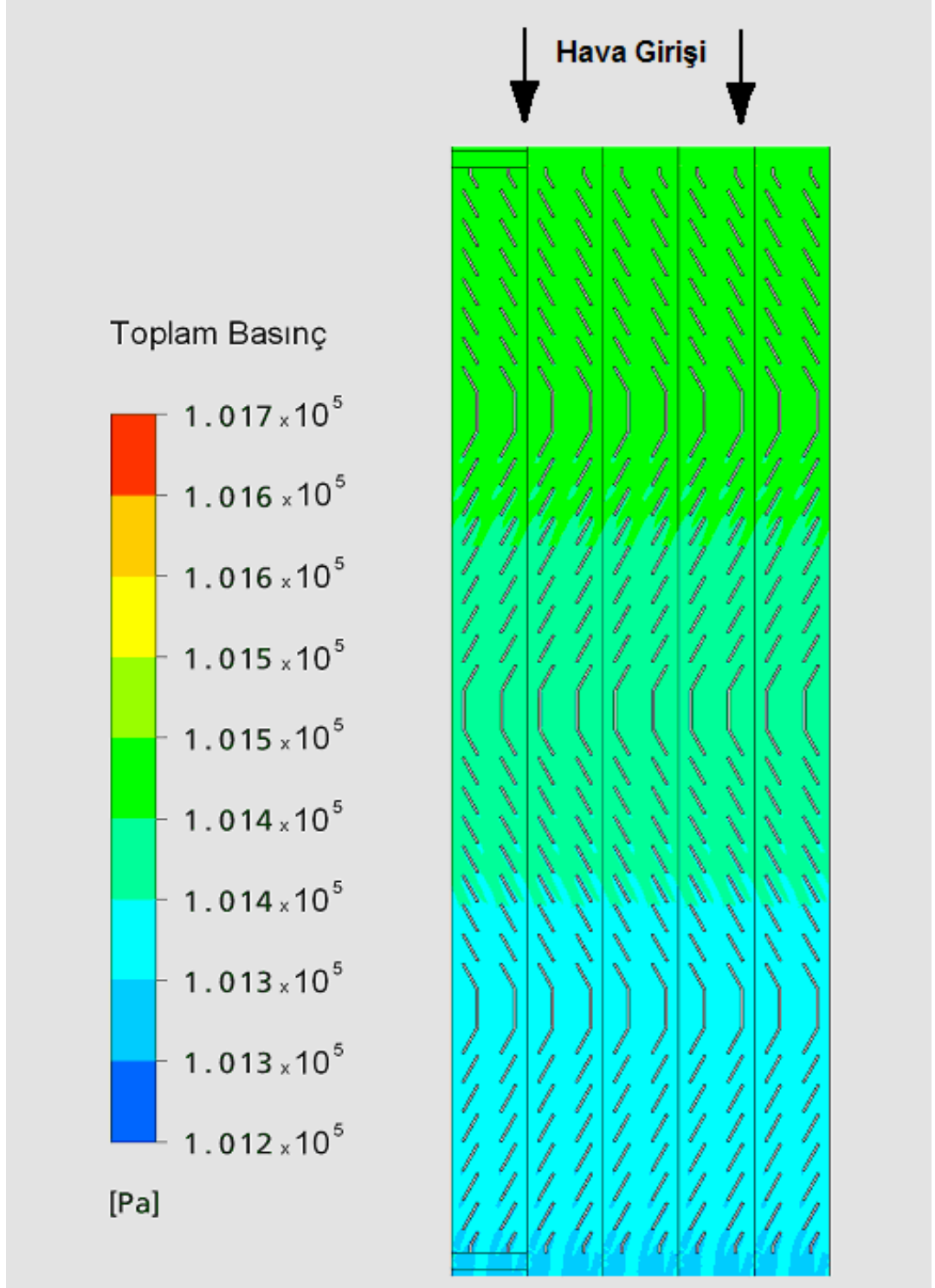
Giriş bölgesindeki ilk kanatçıkta, ısı taşıyım katsayıları oldukça düşüktür. İkinci ve üçüncü kanatçıkta havanın akış kesitinin giriş bölgesine göre daralmasından dolayı bu kanatçık yüzeylerindeki ısı taşıyım katsayılarında bir artma görülmektedir. Giriş ile ilk şaşırtma arasında kalan kanatçıklarda tüplere yakın olan üst bölgelerdeki ortalama ısı taşıyım katsayısı orta bölgelere göre daha yüksektir. Bunun nedeni giriş kesiti ile kanatçıkların bulunduğu kesitin farklı oluşudur. Ancak bu fark ilk şaşırtma kanatçığından sonra havanın akışının daha üniform olması ile oldukça azalmaktadır.





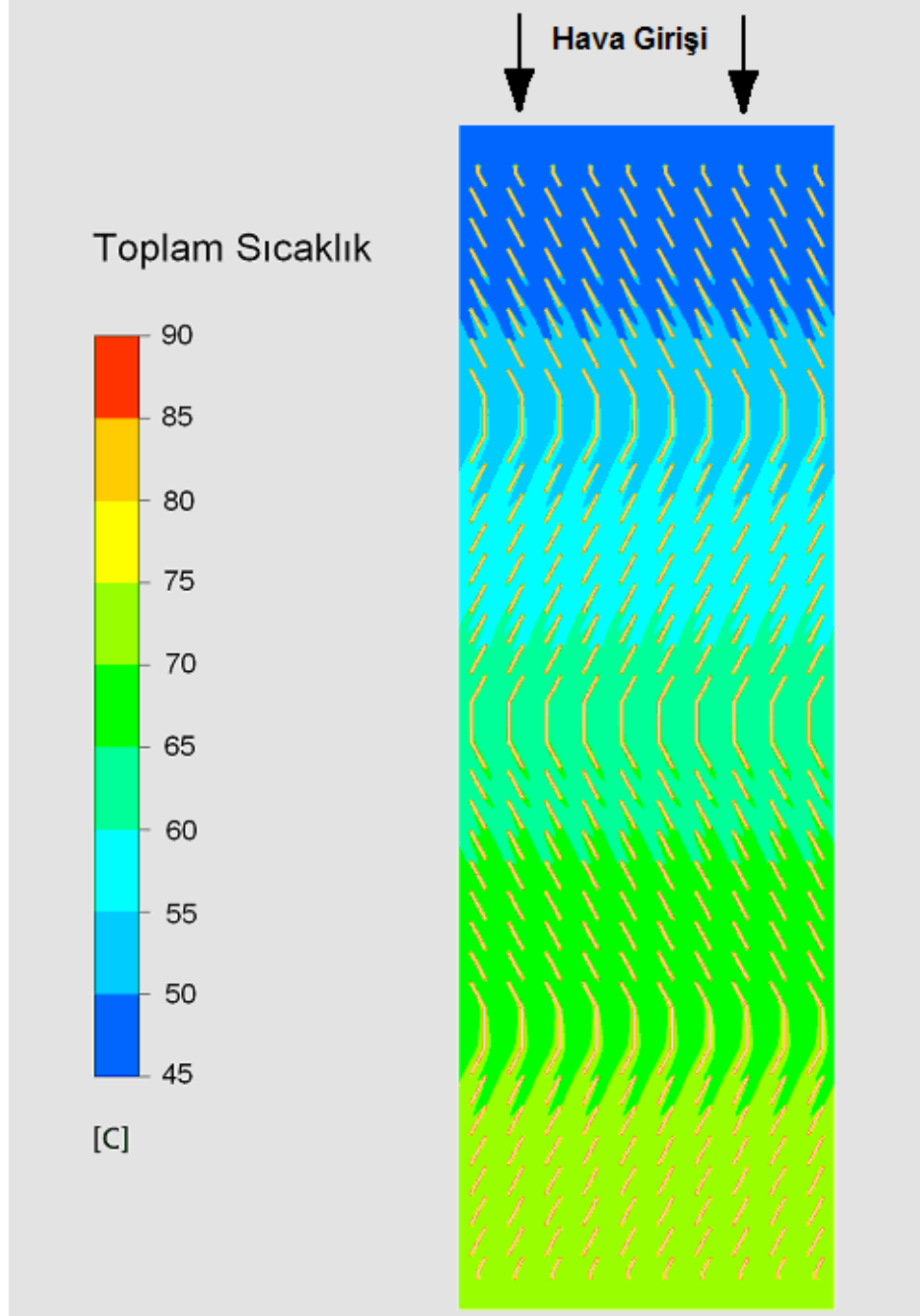
Şekil 4.16: Hava çıkış bölgesindeki ısı taşınım katsayıları

Hava çıkış bölgesinde, ısı taşınım katsayıları sağılımı giriş bölgesine göre daha düzenlidir. Kanatçıkların hava ile temas eden ilk bölgelerinde ısı taşınım katsayıları, havanın kanatçıktan ayrıldığı çıkış bölgeye göre daha yüksektir. Bunun nedeni Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 ten de görüleceği gibi kanatçıkların giriş kısımlarında hızların daha yüksek olması ve çıkış kısımlarına doğru hızların düşmesidir.



Şekil 4.17: Basınç değişimi

Şekil 4.17 ten görüleceği gibi, hava basıncı çıkış bölgesine doğru düşmektedir. Bunun nedeni kanatcıkların havaya gösterdiği direnç olarak açıklanmaktadır.



Şekil 4.18: Hava Sıcaklığının değişimi

Şekil 4.18 te görüldüğü gibi havanın sıcaklığı, çıkış bölgesine doğru artmaktadır. Hava giriş tarafındaki ilk şaşırtma kanatlığına ve hemen sonraki kanatlığa bakıldığında, kanatlıkların iki yüzünün çevresindeki havada sıcaklık farkı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, Şekil 4.12 den de görüleceği gibi şaşırtma çevresindeki hava hızlarının düşük oluşudur. Yine Hava hızının şaşırtmaya yakın bölgelerde, özellikle şaşırtmaların içte kalan bölgelerinde düşük oluşu ısı transferini azaltmakta ve bu da şaşırtmalar çevresindeki hava sıcaklığına etki etmektedir.

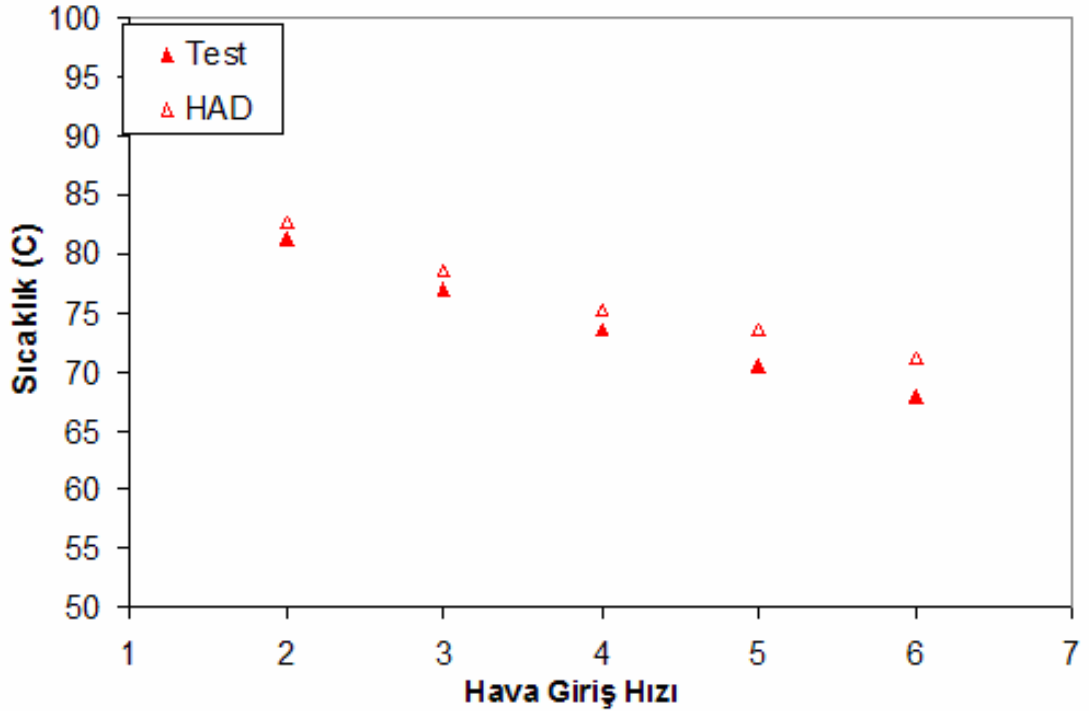
#### 4.5 Test ve HAD analizi sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz ve test sonuçlarının karşılaştırması Tablo 4.2 de yapılmaktadır.

Tablo 4.2: HAD ve Test Sonuçlarının Karşılaştırması

Hava Giriş Hızı (m/s)	Sıcaklık (C)		
	Test	CFD	% Hata
2	81,2	82,95	2,16
4	73,5	75,65	2,93
6	67,9	71,55	5,38

Şekil 4.19 de, HAD analizleri neticesinde elde edilen hava çıkış sıcaklıklarının testler neticesinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması bulunmaktadır.



Şekil 4.19: Test ile HAD analizi sonuçları karşılaştırması

HAD analizi sonuçlarına göre, en büyük hata %5,38 ile 6 m/s giriş hızlı havanın çıkış sıcaklığında yapılmıştır. Hatanın Yüksek hava giriş hızında daha fazla olmasının önemli nedenlerinden biri, tüm modeller için aynı türbülans modelinin kullanılmış olmasıdır. Ancak en yüksek %hata oranı, HAD çalışmaları için kabul edilebilir aralık içerisinde.

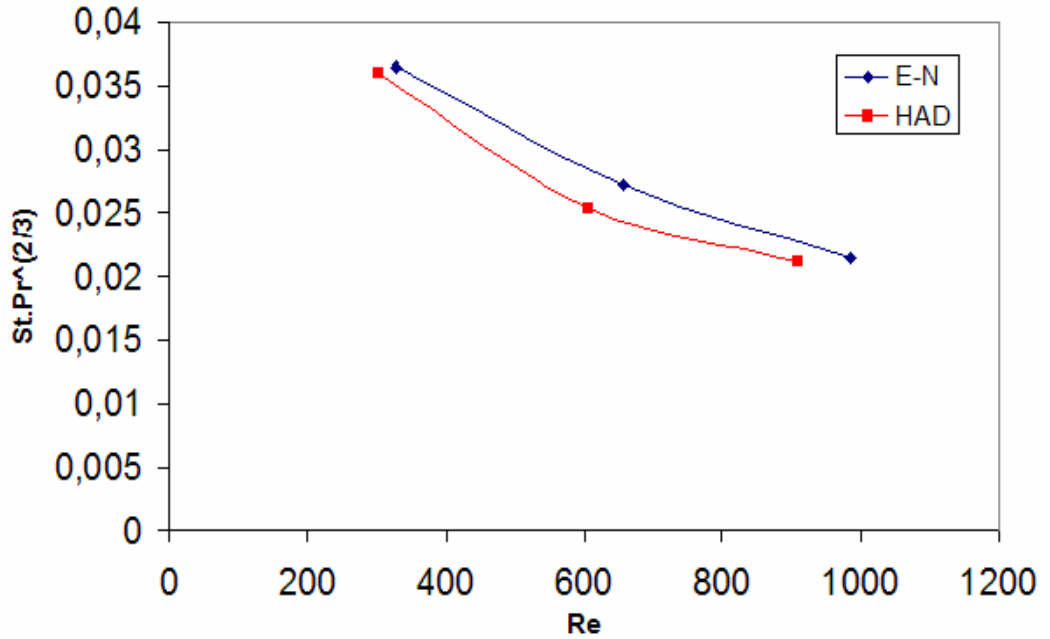
HAD analizi neticesinde bulunan sonuçlar ve hesaplanan St ve Pr değerleri Tablo 4.3 de verilmiştir. Hesaplanan St sayısında kullanılan ısı geçiş katsayısı (h), çözücü tarafından  $T_{ref}$  değeri hava giriş sıcaklığı değeri olan 45 C kullanılarak elde edilmiştir

Tablo 4.3: HAD analizi sonucu hesaplanan değerler

Hava Giriş Hızı (m/s)	2	4	6
$T_c$	356,1	348,8	344,7
Re	312,30	629,97	949,54
St Pr <sup>(2/3)</sup>	0,036	0,025	0,021

#### 4.6 HAD analizi ve $\epsilon$ -N Sonuçlarının Karşılaştırılması

HAD analizi neticesinde bulunan ve Tablo 4.3 de belirtilen sonuçların  $\epsilon$ -N yöntemi ile bulunan ve Tablo 3.3 te belirtilen sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 4.20 de gösterilmektedir.



Şekil 4.20: E-N ve HAD Sonuçlarının Karşılaştırılması

Görüldüğü gibi, HAD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar,  $\epsilon$ -N yöntemi ile elde edilen sonuçlara oldukça yakındır. En büyük hata % 8 dir.

HAD analizi neticesinde alınan sonuçlar incelendiğinde, Hava akışının kanatçıklar doğrultusunda olduğu görülmüştür. Ancak şaşırtmalar çevresinde hızda önemli bir

düşme gözlemlenmektedir, bu düşüş şaşırtma çevresinde ısı taşınım katsayısını olumsuz yönde etkilemektedir.

HAD analizinden elde edilen hava çıkış sıcaklığı ve testler sonucunda bulunan hava çıkış sıcaklıkları karşılaştırıldığında, HAD ve test sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Yüksek hızlarda Analiz ve test sonuçlarının aralarındaki farkın artmasının nedeni her şartın analizinde kullanılan aynı parametreler olduğu düşünülmektedir.

Şaşırtma sayısının ve Kanat yüksekliğinin ısı transferine yapacağı etkinin belirlenmesi için aynı mesh ve çözücü parametreleri kullanılarak HAD analizleri yapılabileceği görülmüştür.

## 5 FARKLI PARAMETRELERİNİN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bölüm 4.6 da yapılan HAD ve  $\varepsilon$ -N sonuçlarının karşılaştırılması neticesinde, farklı parametrelerin ısı transferine etkisinin incelenmesinde HAD Analizleri kullanılacaktır. Farklı parametreler için oluşturulacak yeni modellerin analizlerinde, Bölüm 4 de kullanılan mesh yapısı, sınır şartları ve çözücü parametreleri kullanılacaktır.

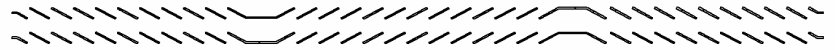
### 5.1 Şaşırtma Sayısının Isı Transferine Etkisi

Şaşırtma sonucu oluşabilecek basınç kayıplarının, sıcaklık ve ısı transferini ne şekilde etkileyeceğini görebilmek için, iki, üç ve dört şaşırtma sayılarına sahip modeller ile analizler yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.1 da gösterildiği şekilde, iki kanattan atılan enerji cinsinden değerlendirilecektir.

#### 5.1.1 Farklı Şaşırtma Sayısına Sahip Modeller

Analizi yapılacak modellerin geometrik ölçüleri daha önce analizi yapılan basitleştirilmiş model ile aynıdır. Sadece şaşırtma sayısı üç ten iki ye düşürülerek ve üçten dört e çıkarılarak iki yeni model oluşturulmuştur. Yine basitleştirilmiş modelde olduğu gibi kanatlar üst duvarlara kadar uzatılmıştır.

2 Şaşırtma



3 Şaşırtma



4 Şaşırtma



Şekil 5.1: Farklı Şaşırtma Sayılarına Sahip modellerin geometrik ölçüleri

### 5.1.2 Farklı şaşırtma sayısına sahip modellerin sonuçları

Tablo 5.1 de Geometrilerin değerlendirilmesinde yardımcı olacak olan  $St \cdot Pr^{(2/3)} - Re$  grafiğinin oluşturulmasında kullanılacak değerler ve bu değerler kullanılarak hesaplanmış  $St$  ve  $Re$  sayıları yer almaktadır.

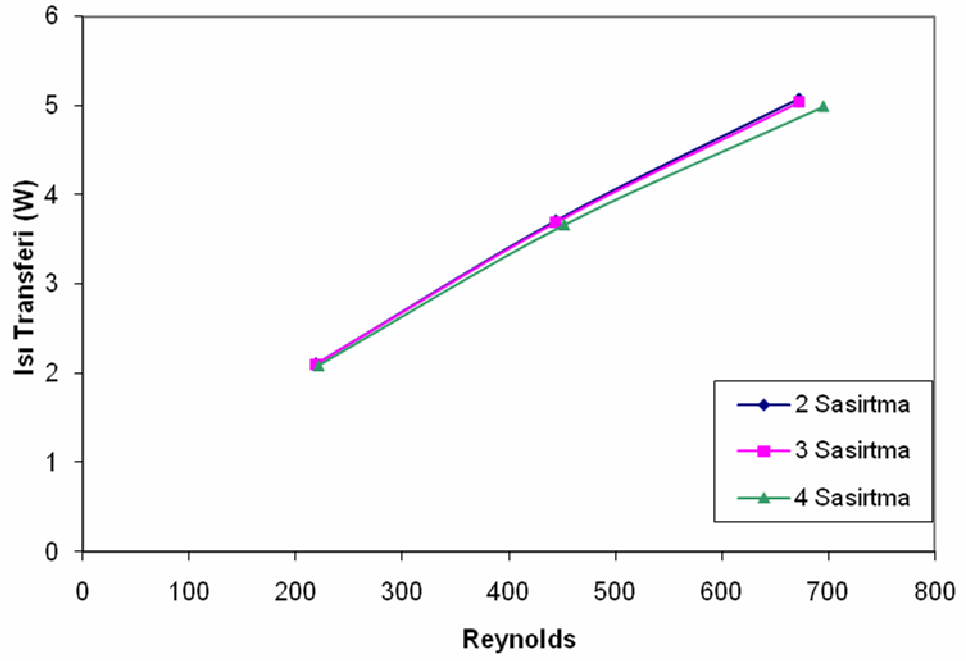
Tablo 5.1: Farklı Şaşırtma sayılarına sahip modellere ait veriler ve sonuçlar

Hava Giriş Hızı (m/s)	2 Şaşırtma			3 Şaşırtma		
	2	4	6	2	4	6
$T_c$	357,3	352,6	349,5	357,1	352,4	349,3
$h$	68,83	101,13	127,6	68,05	100,3	126,9
$q$	2,11	3,71	5,08	2,1	3,69	5,04
$\rho$	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,05
$c_p$	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8
$Pr$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$\mu$	$2,02 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,02 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$
$G$	2,07	4,17	6,29	2,07	4,18	6,29
$St$	$3,32 \times 10^{-2}$	$2,42 \times 10^{-2}$	$2,03 \times 10^{-2}$	$3,28 \times 10^{-2}$	$2,40 \times 10^{-2}$	$2,01 \times 10^{-2}$
$Re$	219,15	444,04	671,79	219,27	444,28	672,16
$St \cdot Pr^{(2/3)}$	0,026	0,019	0,016	0,026	0,019	0,016
$r_h$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$
	4 Şaşırtma					
Hava Giriş Hızı (m/s)	2	4	6			
$T_{cikis}$	359,3	352,22	343,13			
$h$	66,71	98,39	124,64			
$q$	2,09	3,67	4,99			
$\rho$	1,03	1,04	1,06			
$c_p$	1000,8	1000,8	1000,8			
$Pr$	0,7	0,7	0,7			
$\mu$	$2,03 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$1,99 \times 10^{-5}$			
$G$	2,07	4,18	6,36			
$St$	$3,23 \times 10^{-2}$	$2,35 \times 10^{-2}$	$1,96 \times 10^{-2}$			
$Re$	221,65	452,07	695,35			
$St \cdot Pr^{(2/3)}$	0,025	0,019	0,015			
$r_h$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$			

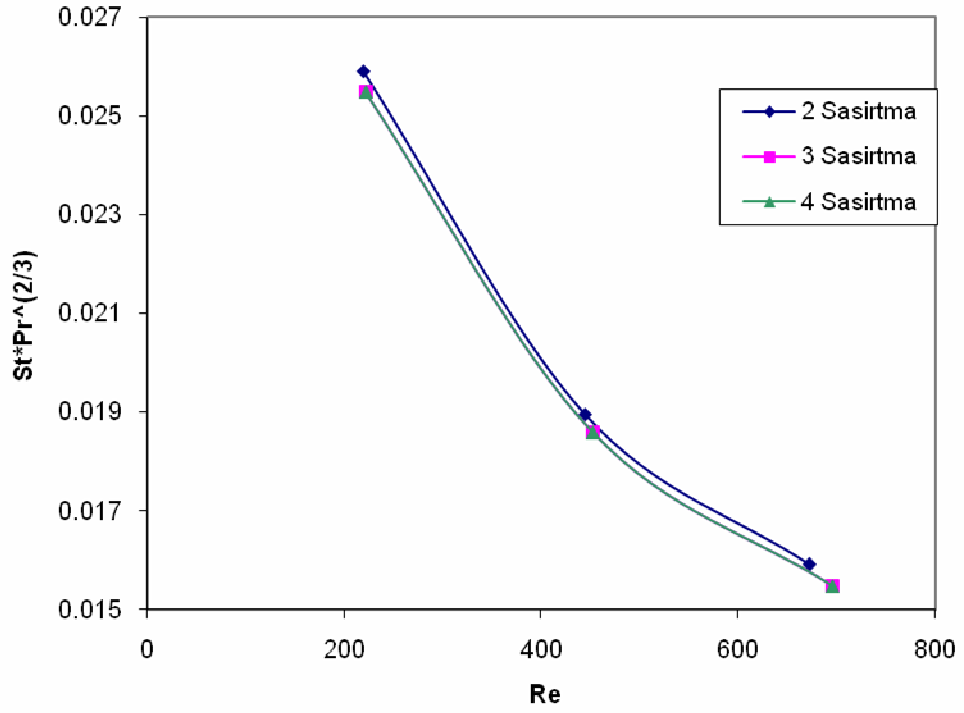
Şekil 5.2 de aynı Reynolds sayılarında Farklı geometrilerin karşılaştırmaları yer almaktadır.

Şekil 5.3 te ise  $St \cdot Pr^{(2/3)} - Re$  Grafiği verilmiştir.





Şekil 5.2: Şaşırtma sayısına bağlı olarak Isı transferindeki değişim



Şekil 5.3: Şaşırtma Sayısı için  $St \cdot Pr^{(2/3)}$  – Re eğrisi

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 ten de görüleceği gibi, Şaşırtma sayısındaki azalma ısı transferini olumlu yönde arttırmaktadır. Daha önce Bölüm 4.4.2 de de gösterildiği üzere şaşırtma çevresindeki ısı taşınım katsayısının düşük olması ve şaşırtmalardan bir tanesi eksiltince bunun ortalama ısı geçiş katsayısını yükseltmesi, azalan şaşırtma sayısı ile ısı transferinin artmasının başlıca nedenidir.

## 5.2 Kanat Yüksekliğinin Isı Transferine Etkisi

Kanat yüzey alanının artırılmasının veya azaltılmasının, ısı transferine nasıl etki edeceğini görebilmek ve radyatörde malzeme tasarrufu yapabilmek amacı ile farklı yükseklikteki modeller analiz edilmiştir. Sonuçlar iki kanattan atılan enerji cinsinden değerlendirilecektir.

### 5.2.1 Farklı yüksekliklere sahip modeller

Analizi yapılacak modellerin geometrik ölçüleri Tablo 5.2 de belirtilmiştir. Yine basitleştirilmiş modelde olduğu gibi kanatlar üst duvarlara kadar uzatılmıştır.

Tablo 5.2: Farklı yüksekliklere sahip modellerin geometrik ölçüleri

Model No	1	2	3	4
Yükseklik [mm]	7,40	8,72	10,00	11,36
Genişlik [mm]	2,56	2,56	2,56	2,56
Derinlik [mm]	44	44	44	44
Islak Alan [mm <sup>2</sup> ]	1598	1835	2070	2305
D <sub>h</sub> [m]	6,24 x 10 <sup>-4</sup>	6,20 x 10 <sup>-4</sup>	6,15 x 10 <sup>-4</sup>	6,04 x 10 <sup>-4</sup>

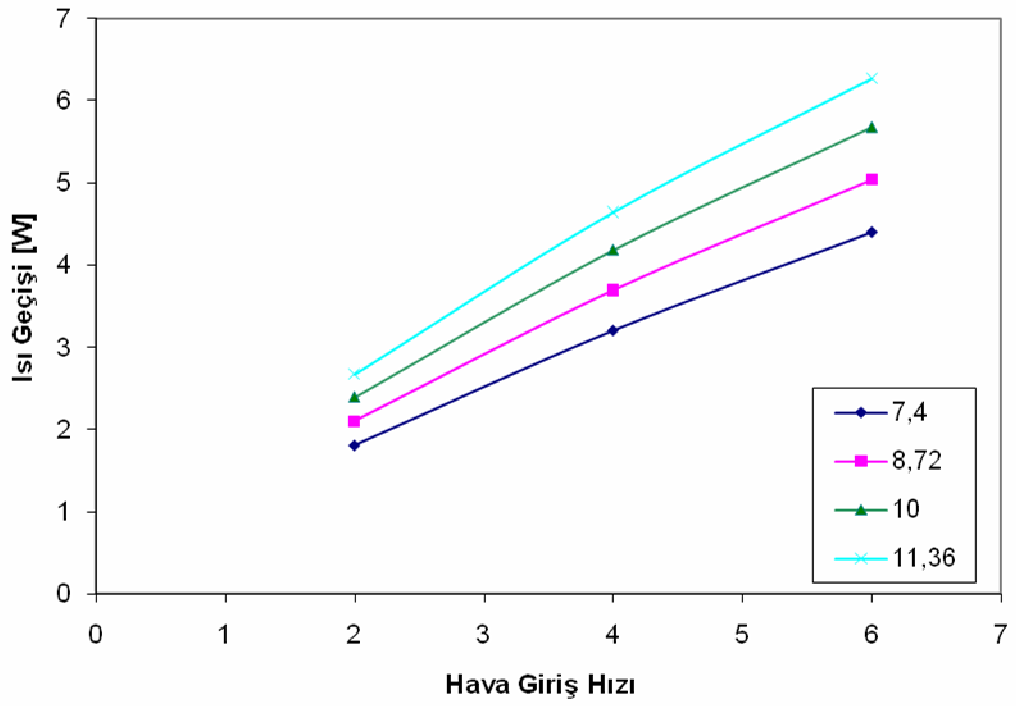
### 5.2.2 Farklı Kanat yüksekliğine sahip modellerin analiz sonuçları

Tablo 5.3 te, Geometrilerin değerlendirmesinde yardımcı olacak olan  $St \cdot Pr^{(2/3)} - Re$  grafiğinin oluşturulmasında kullanılacak değerler ve bu değerler kullanılarak hesaplanmış St ve Re sayıları yer almaktadır.

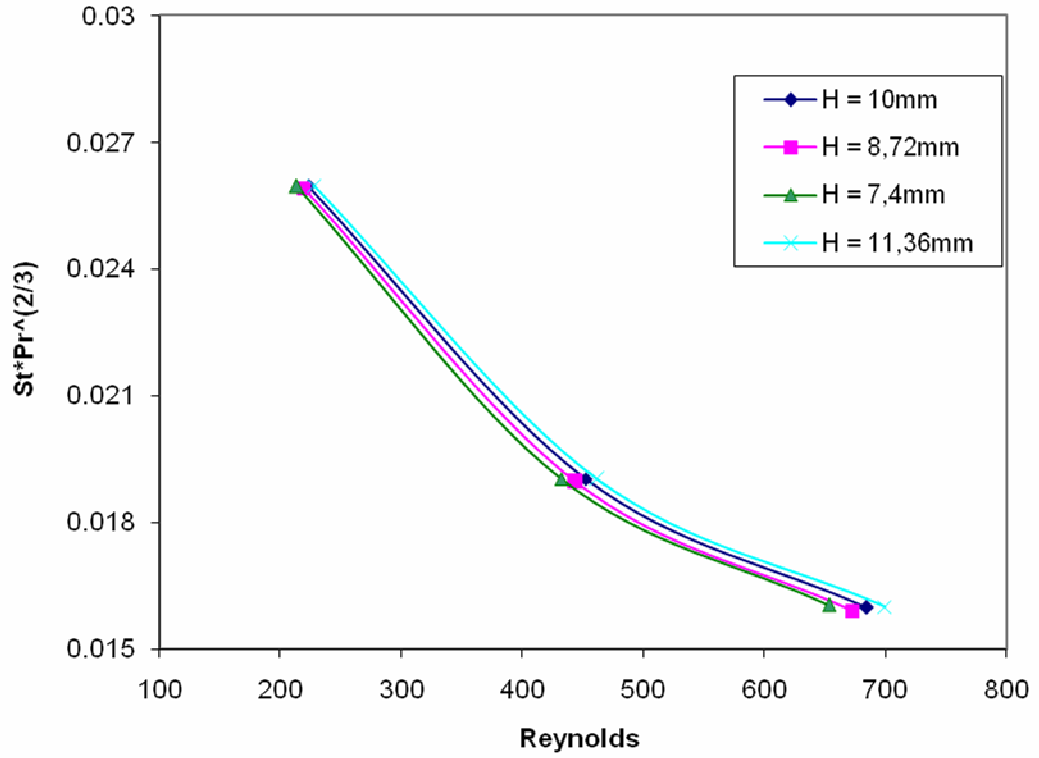
Tablo 5.3: Fin yüksekliklerine sahip modellere ait veriler ve sonuçlar

Yükseklik	H = 7,4mm			H = 8,72 mm		
Hava Giriş Hızı (m/s)	2	4	6	2	4	6
Tcikis	357,5	353	350,1	357,1	352,4	349,3
h	68,14	100,60	127,80	68,05	100,30	126,90
q	1,81	3,20	4,39	2,10	3,69	5,03
$\rho$	1,03	1,04	1,05	1,04	1,045	1,05
$c_p$	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8
Pr	0,702	0,702	0,702	0,702	0,702	0,702
$\mu$	$2,02 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,02 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$
G	2,07	4,17	6,29	2,07	4,18	6,29
$r_h$	$5,22 \times 10^{-4}$	$5,22 \times 10^{-4}$	$5,22 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-4}$
St	0,033	0,024	0,020	0,033	0,024	0,020
Re	213,44	432,23	653,56	219,27	444,28	672,16
St.Pr <sup>(2/3)</sup>	0,026	0,019	0,016	0,026	0,019	0,016
Yükseklik	H = 10mm			H = 11,36 mm		
Hava Giriş Hızı [m/s]	2	4	6	2	4	6
Tcikis	356,8	351,9	348,7	356,5	351,4	348,2
h	68,23	100,80	127,60	68,28	100,80	127,77
q	2,39	4,18	5,67	2,67	4,64	6,27
$\rho$	1,04	1,04	1,05	1,04	1,05	1,05
$c_p$	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8	1000,8
Pr	0,702	0,702	0,702	0,702	0,702	0,702
$\mu$	$2,02 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,00 \times 10^{-5}$	$2,02 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-5}$	$2,00 \times 10^{-5}$
G	2,07	4,18	6,30	2,07	4,18	6,31
$r_h$	$5,44 \times 10^{-4}$	$5,44 \times 10^{-4}$	$5,44 \times 10^{-4}$	$5,55 \times 10^{-4}$	$5,55 \times 10^{-4}$	$5,55 \times 10^{-4}$
St	0,033	0,024	0,020	0,033	0,024	0,020
Re	223,09	452,28	684,45	227,79	462,05	699,23
St.Pr <sup>(2/3)</sup>	0,026	0,019	0,016	0,026	0,019	0,016

Şekil 5.4 te ve Kanat yüksekliğinin ısı transferine etkisi gösterilmektedir. Şekil 5.5 da ise Farklı yüksekliklere sahip modellerin HAD analizleri neticesinde elde edilen verilerden bulunan çalışma eğrileri verilmiştir.



Şekil 5.4: Kanat yüksekliğine bağlı olarak ısı geçişinin değişimi



Şekil 5.5: Kanat yükseklikleri için  $St \cdot Pr^{(2/3)}$  – Re eğrisi

Şekil 5.4 ten de görüleceği gibi, kanat yüksekliğinin artması ile iki serpantin üzerinden meydana gelen ısı transferinde önemli ölçüde artış meydana gelmiştir. Bunun kanat yüksekliğinin artması ile hava debisinin artmasıdır. Farklı kanat yüksekliklerine sahip modeller,  $St.Pr^{(2/3)} - Re$  eğrisi üzerinde karşılaştırıldıklarında ise, aralarında çok belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Ancak Kanat yüksekliği 11.36 mm olan modelin verimi diğer modellere göre daha iyidir.

Kanat yüksekliğinin değiştirilmesi neticesinde önemli ölçüde değişecek olan ısı transferi, yapılan bu analizlerde incelenmemiş olan su tarafındaki ısı transferini de etkileyecektir. Bu nedenle kanat yüksekliğinin ısı transferini nasıl etkileyeceği hakkında kesin bir karara varılabilmesi motoru soğutan akışkan olan suyun geçtiği boruların da modele eklenmesi ve boru sayısının azaltılarak analizler yapılması gerekir.

## 6 BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan çalışmalar ve araştırmalar neticesinde elde edilen bulgular verilecektir.

Yapılan HAD analizleri ve test sonuçları karşılaştırıldığında, HAD sonuçlarının gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Mevcut durumun mesh parametreleri ve sınır şartları korunduğu takdirde, geometrik parametrelerin değiştirilmesinin ısı transferini ve akışı nasıl etki edeceğinin karşılaştırmalı olarak görülebileceği anlaşılmıştır.

Ayrıca HAD analizinden elde edilen ısı taşınım katsayısının kanat üzerindeki değişimi incelendiğinde, havanın kanatcıklara ilk temas ettiği bölgelerde  $h$  in yüksek olduğu, kanatcıkların sonlarına doğru ısı taşınım katsayısının düştüğü gözlemlenmektedir. Dolayısı ile kanatcık uzunluğunun azaltılması ile kanatcıklar üzerindeki ortalama ısı taşınım katsayısı artacak ve buna bağlı olarak ısı transferinde bir artım olacaktır.

Şaşırtma sayısının azaltılmasının ısı transferinde çok büyük bir etkisi olmamıştır. Şaşırtma sayısının azaltılması ile meydana gelen artışın nedeni, ortalama ısı taşınım katsayısını düşüren şaşırtmaların yerine kanatcıkların konularak, ortalama ısı taşınım katsayısının artırılmasıdır.

Kanat yüksekliğinin artırılması ile ortalama hava çıkış sıcaklığı değişmemiştir. Ancak artan kanat yüksekliği ile hava debisi arttığından, ısı transferinde önemli ölçüde artış meydana gelmiştir. Çalışma eğrilerine bakıldığında kanat yüksekliğinin artması ile verim arttırmıştır. Bu nedenle kanat yüksekliğinin ısı transferine etkisinin gerçekçi bir biçimde görülebilmesi için, hesaplamalara su tarafında katılması gerekmektedir.

Kanatlar arası mesafe ( $F_p$ ) ile ilgili yapılan daha önceki araştırma ve çalışmalarda, Kanatlar arası mesafenin azalması ile Aynı Reynolds sayıları için ısı transferinde belirgin bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Malapure ve diğ (2007) nin yaptığı araştırmada 1,72 ve 2,11 mm kanat açıklığında, ısı transferi değerleri birbirine oldukça yakındır. Ayrıca Kanatlar arası mesafenin azalması ile hava tarafında bir basınç kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

Kanat uzunluğu ( $F_L$ ) için yapılan önceki çalışmalarda, kanat uzunluğunun %44 artırılması ile düşük hava giriş hızlarında basınç düşümündeki artış ısı transferindeki artışa nazaran daha fazladır. Ancak yüksek hava giriş hızlarında kanat uzunluğunun artması ile basınç düşümündeki artış ve ısı transferindeki artış yüzde olarak birbirine oldukça yakındır.

Malapure ve diğ (2007) nin daha önce Kanatlık uzunluğu ( $L_p$ ) için yaptığı çalışmalarda her  $F_p$  değeri için  $L_p$  nin artması ile ısı transferinde belirgin bir artış saptamıştır. Ancak optimum  $L_p$  uzunluğunu 0,81 mm olarak belirlemiş ve belirli bir  $L_p$  uzunluğundan sora  $L_p$  nin azalması ile basınç düşümünde bir artış olduğunu söylemiştir. Bunun nedeninin hava akışında oluşabilecek türbülanslar olduğu ve hava akımının Kanatlık doğrultusunu izlememesi olduğu düşünülmektedir.

Kanatlık açısı için yapılan önceki çalışmalarda birçok araştırmacı optimum kanatlık açısının 28 – 30 derece arasında olduğunu saptamıştır. Ayrıca DeJong farklı Reynolds sayıları için kanatlıklardaki Sh değerlerini belirlemiştir. Tüm Reynolds sayıları için hava giriş tarafından şaşırtmaya doğru kanatlıklardaki Sh değerleri artmakta, şaşırtmada Sh değerinde önemli bir düşüş gözlemlenmekte ve şaşırtmadan çıkışa doğru Sh değerinde yine artış gözlemlenmektedir.

Ayrıca DeJong ve Jacobi 3 kanatlı ve 15 kanatlı modeller için yaptığı testlerde, Düşük Reynolds sayılarında 15 kanatlı modelde Sh sayısı her kanatlık açısı için 3 kanatlı modellere göre daha yüksektir. Ancak Reynolds sayısı arttıkça 3 kanatlı modelin Ortalama Sh değeri 15 kanatlı modelin Sh değerini yakalamakta ve yüksek Reynolds sayılarında geçmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan Çalışmalar neticesinde Hava akışının kanatcıklar doğrultusunda olduğu ve radyatör giriş çıkış suyu sıcaklığı sabitlendiğinde tüm kanatcıkların nerede ise duvar sıcaklıklarına ulaştığı görülmüştür. Kanat üzerindeki ısı taşınım katsayıları incelendiğinde, kanatcıkların uzunluklarının azaltılarak ısı transferinin artırılacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca tüm kanatcıklar sıcaklık bakımından rejime ulaştıklarında, kanatcık sıcaklıklarının yaklaşık olarak motor soğutması için kullanılan suyun sıcaklığına eşit olduğu görüldüğünden, kanat yüksekliğinin artırılarak hava debisinin artırılacağı görülmüştür. Artan hava debisi ile her kanatcıktan havaya olan enerji geçişi artacaktır. Böylece motoru soğutan soğutma suyundan daha fazla ısı çekilerek daha etkin bir soğutma sağlanabilir

Ayrıca test sonuçları ve HAD analizi sonuçları için  $St.Pr^{2/3} - Re$  eğrisi üzerinde değerlendirildiğinde, test ve HAD analizi sonuçları arasındaki farkın en fazla %6 olduğu görülmüştür.

Şaşırtma sayısının azaltılması ile ortalama ısı taşınım katsayısı artmış buda ısı transferini arttırmıştır. Ayrıca şaşırtmalarda meydana gelecek basınç kayıplarında göz önüne alındığında şaşırtma sayısının azaltılmasının avantajlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Kanat yüksekliğinin artırılması ile iki kanattan havaya geçen enerjide önemli bir artma olmuştur. Ancak farklı kanat yüksekliklerinin HAD analizi sonuçları hava çıkış sıcaklıkları açısından karşılaştırıldığında çok büyük bir fark görülmemiştir. Bu modellerin gerçekte nasıl sonuçlar vereceğinin görülmesi için su tarafının da analizlere dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



## KAYNAKLAR

1. Kreith, F “Heat and Mass Transfer”, **CRC Pres**, (1999)
2. Hsieh, C., Jang, J., “3-D thermal-hydraulic analysis for louver fin heat exchangers with variable louver angle”, **Applied Thermal Engineering**, 26, 1629–1639, 2007
3. Malapure, V.P., Mitra, S. K., Bhattacharya, A., “Numerical investigation of fluid flow and heat transfer over louvered fins in compact heat exchanger”, **International Journal**
4. Dong, J., Chen, J., Chen, Z., Zhang, W., Zhou, Y., “Heat transfer and pressure drop correlations for the multi-louvered fin compact heat exchangers”, **Energy Conversion**
5. DeJong, N.C., Jacobi, A.M., “Flow, heat transfer, and pressure drop in the near-wall region of louvered-fin arrays”, **Experimental Thermal and Fluid Science**, 27, 237–250, (2003)
6. Genceli, O., “Isı Değiştirgeçleri” , 2., **Birsen Yayınevi**, 106-110”(2005)
7. Ansys, “ANSYS CFX-Solver Modeling Guide | Domain Interface Modeling | Interface Models | Translational Periodicity Referansı Periodicity Release”, **CFX 11.0 Help**, (2006)
8. Ansys, “ANSYS CFX-Solver Theory Guide | Discretization and Solution Theory | Numerical Discretization | Advection Term”, **CFX 11.0 Help**, (2006)
9. Ansys, “ANSYS CFX-Solver Theory Guide | Turbulence and Wall Function Theory | Eddy Viscosity Turbulence Models | The k-epsilon model in ANSYS CFX”, **CFX 11.0 Help**, (2006)
10. Kays, W.M. , London, A.L. , “Compact Heat Exchangers”, Third Edition, **Krieger Publishing Company**, 1998

## **ÖZGEÇMİŞ**

1982 yılında Balıkesir’de doğdu. İlk öğrenimine Fatsa’da, Lise Öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliğinden 2006 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalından 2009 yılında mezun oldu.