

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ GEÇİŞLİ BİR KANALDA
ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra AKDERE

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ünal UYSAL

Mayıs 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ GEÇİŞLİ BİR KANALDA
ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra AKDERE

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

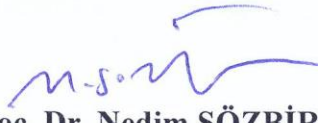
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ünal UYSAL

Bu tez 22/07/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Y. Doç. Dr. Ünal UYSAL
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Nedim SÖZBİR
Üye



Prof. Dr. Rıza GÜVEN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Büşra AKDERE

10.06.2016

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan; bilgi, tecrübe ve güler yüzüyle çalışmama ışık tutan, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmamın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikle beni yönlendiren ve ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirme konusunda bana yardım sağlayan, çalışmamın yöneticisi Saygı Değer Hocam Yrd. Doç. Dr. Ünal UYSAL'a, çalışmam sırasında kullandığım Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Laboratuvarı'nda görevli olan hocalarıma ve bitirme öğrencilerimizden olan Burhan Özudoğru, Abdullah Çevik, Abdurrahman Kartal, Ahmet Çakır ve Ahmet Salman'a yardım ve desteklerinden ötürü teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Eğitim öğretim hayatımda her daim yanımda olduğu gibi bu süreç içerisinde de yanımda olan, manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve özellikle benim iyi bir yerlere gelmem için çabalayan en büyük destekçim olan annem Kamile Akdere'ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3.	
GAZ TÜRBİNLERİ.....	8
3.1. Gaz Türbini Tanımı ve Dizaynı	8
3.2. Örnek Bir Gaz Türbininin Tanıtımı	11
3.2.1. Çalışma prensibi.....	12
3.3. Gaz Türbinlerinin Sınıflandırılması.....	13
3.4. Gaz Türbin Kanatlarında Soğutma İhtiyacı	14
3.5. Gaz Türbini Kanatları Soğutma Yöntemleri.....	17
3.5.1. İçten soğutma teknikleri.....	18
3.5.1.1. Kanal soğutma	19
3.5.1.2. Rip türbülantörlü soğutma	19
3.5.1.3. Çarpmalı jet soğutma	22
3.5.1.4. Matris soğutma	24

3.5.2. Dıştan soğutma teknikleri	25
3.5.2.1. Film soğutma	28
 BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	32
4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı.....	32
4.2. Deney Düzeneği.....	32
4.3. Deney Elemanları.....	34
4.3.1. Kompresör.....	34
4.3.2. Hava tankı	34
4.3.3. Şartlandırıcı (Filtre)	35
4.3.4. Vana.....	35
4.3.5. Dijital manometre	36
4.3.6. Isıtıcılar ve reosta	37
4.3.7. Kontrol paneli	38
4.3.8. Debimetre.....	38
4.3.9. Dijital Video Kamera	39
4.3.10. Işıklandırma Sistemi	39
4.4. Deney Modeli.....	43
4.4.1. Deney modelinde kullanılan geçiş parçaları	43
4.4.1.1. İkili sıralı dairesel delikli geçiş parçası.....	43
4.4.1.2. İkili sıralı karesel delikli geçiş parçası.....	44
4.4.1.3. İkili sıralı daralan dairesel delikli geçiş parçası.....	45
4.4.1.4. İkili sıralı daralan karesel delikli geçiş parçası.....	46
4.4.2. Geçiş parçalarının karşılaştırılması.....	47
4.5. Sıvı Kristal Termografisi (TLC)	48
4.5.1. TLC giriş	48
4.5.2. TLC kullanım alanları.....	48
4.5.3. Sıvı kristalin yapısı	49
4.5.4. Sıvı kristallerin sınıflandırılması.....	51
4.5.5. Sıcaklık görüntüleme teknikleri	52
4.5.5.1. Nitel sıcaklık görüntüleme tekniği.....	53

4.5.5.2. Nicel sıcaklık görüntüleme tekniği	53
4.5.6. Renk-sıcaklık tepkimesi kalibrasyonu	54
4.5.6.1. Doğrudan kalibrasyon yöntemi.....	54
4.5.6.2. Müteakip-izoterm yöntemi	54
4.5.6.3. Gradyan yöntemi.....	55
4.5.7. Sıcaklık ölçümündeki hataların kaynakları.....	55
4.5.8. Metodun teorisi	56
4.6. Liquid Crystal Image Analyser (LCIA) yazılımı.....	57
4.7. Deneyin Yapılışı	60
4.7.1. Termal sıvı kristal yüzeyin hazırlanması	60
4.7.2. Hazırlık aşaması.....	60
4.7.3. Deneyin yapılışı	61
4.7.4. Deney sonrası izlenmesi gereken proses.....	61
4.8. Reynolds Sayısı Hesaplanması	62
4.9. Deney Belirsizliği	66
 BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI	67
5.1. Deney Sonucunda Elde Edilen Veriler	67
5.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	72
5.3. İkili Dairede Geçiş Kanallarında Isı Geçiş Katsayısının Belirlenmesi	76
5.3.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi.....	77
5.3.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	78
5.3.3. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	79
5.4. İkili Karede Geçiş Kanallarında Isı Geçiş Katsayısının Belirlenmesi .	80
5.4.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi.....	80
5.4.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	81
5.4.3. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	81
5.5. İkili Daralan Dairede Geçiş Kanallarında Isı Geçiş	
Katsayısının Belirlenmesi	82
5.5.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi.....	82
5.5.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	83

5.5.3. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	83
5.6. İkili Daralan Karede Geçiş Kanallarında Isı Geçiş	
Katsayısının Belirlenmesi	84
5.6.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi.....	84
5.6.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	85
5.6.3. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi	85
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

μ	: Dinamik viskozite
I	: Elektriksel akım
R	: Elektriksel direnç
ϑ	: Hız
Dh	: Hidrolik çap
Q	: Isı akısı
2D	: İki boyutlu
ν	: Kinematik viskozite
m	: Kütleli debi
Nu	: Nusselt sayısı
Cp	: Özgöl ısı, J/kgK
Re	: Reynolds sayısı
TLC	: Thermal liquid crystal (Termokrom sıvı kristal)
3D	: Üç boyutlu
h	: Yerel ısı transfer katsayısı
ρ	: Yoğunluk

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Gaz türbini tanımı	8
Şekil 3.2. Gaz türbini çalışma prensibi	9
Şekil 3.3. Basit sabit basınç gaz türbini	10
Şekil 3.4. Sabit basınç Brayton çevrimi P-V, T-S diyagramı	11
Şekil 3.5. Gaz türbini içerisindeki basınç, sıcaklık ve akış hızı gösterimi	14
Şekil 3.6. Gaz türbinlerinde tahmin edilen çalışma koşulları	15
Şekil 3.7. Türbin kanat profili ısı transferi bölgeleri ve çevre akış özellikleri.....	16
Şekil 3.8. Gaz türbini düşük ve yüksek basınç türbinlerin soğutulması	17
Şekil 3.9. LM2500+ Gaz türbini soğutma kanalları	18
Şekil 3.10. Kanat soğutmasında konveksiyon soğutma sistemleri	19
Şekil 3.11. Kanatçık kanalları	20
Şekil 3.12. Kanatçık etrafındaki akış	21
Şekil 3.13. K ve c kanatçık bulunan kanal karşılaştırılması	21
Şekil 3.14. SR-şema geometrisi, ön görünüş (sol) ve üst görünüş (sağ).....	22
Şekil 3.15. SSR-şema geometrisi, ön görünüş (sol) ve üst görünüş (sağ)	22
Şekil 3.16. Çarpmalı soğutma	22
Şekil 3.17. Kavisli hedef plakası.....	23
Şekil 3.18. Matris geometri örneği.....	24
Şekil 3.19. Açık matris	24
Şekil 3.20. Soğutmalı kanat	26
Şekil 3.21. Isı akısı.....	26
Şekil 3.22. Film soğutma yöntemi	27
Şekil 3.23. Tek ve çok sıralı film soğutma yöntemi.....	28
Şekil 3.24. Soğutma filminin kanat üzerindeki yapısı-1	29
Şekil 3.25. Soğutma filminin kanat üzerindeki yapısı-2	29
Şekil 3.26. Çok sıralı film soğutma.....	30

Şekil 3.27. Yanmış gazın davranışı	30
Şekil 3.28. Film soğutmalı kanadın yüzeyindeki renklendirilmiş akım çizgileri .	31
Şekil 4.1. Deney modeli	32
Şekil 4.2. Deney düzeneğinin fotoğrafı.....	33
Şekil 4.3. Deney düzeneği ekipmanları fotoğrafı.....	34
Şekil 4.4. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	34
Şekil 4.5. Deney düzeneğinde kullanılan hava tankı	34
Şekil 4.6. Deney düzeneğinde kullanılan filtre	35
Şekil 4.7. Deney düzeneğinde kullanılan vana	36
Şekil 4.8. Deney düzeneğinde kullanılan dijital manometre.....	36
Şekil 4.9. Deney düzeneğinde kullanılan ısıtıcılar ve reosta	37
Şekil 4.10. Deney düzeneğinde kullanılan reosta	37
Şekil 4.11. Deney düzeneğinde kullanılan kontrol paneli.....	38
Şekil 4.12. Deney düzeneğinde kullanılan debimetre	38
Şekil 4.13. Deney düzeneğinde kullanılan dijital video kamera	39
Şekil 4.14. Deney düzeneğinde kullanılan ışıklandırma sistemi.....	39
Şekil 4.15. Deney modeli	40
Şekil 4.16. Modelin ön, sol, üst ve üç boyutlu görünüşü	40
Şekil 4.17. Modelin üst görünüşü	40
Şekil 4.18. Modelin yan görünüşü	41
Şekil 4.19. Modelin üç boyutlu görünüşü	41
Şekil 4.20. Modelin üç boyutlu görünüşünde geçiş kanalları	43
Şekil 4.21. İkili sıralı dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 1. geçiş parçası	43
Şekil 4.22. İkili sıralı dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 2. geçiş parçası	43
Şekil 4.23. İkili sıralı karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 1. geçiş parçası	44
Şekil 4.24. İkili sıralı karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 2. geçiş parçası	44
Şekil 4.25. İkili sıralı daralan dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 1. geçiş parçası.....	45

Şekil 4.26. İkili sıralı daralan dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 2. geçiş parçası.....	45
Şekil 4.27. İkili sıralı daralan karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 1. geçiş parçası.....	46
Şekil 4.28. İkili sıralı daralan karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 2. geçiş parçası.....	46
Şekil 4.29. 1. Geçiş parçaları	47
Şekil 4.30. 2. Geçiş parçaları	47
Şekil 4.31. Renk değişim skalası (Uysal,2005).....	50
Şekil 4.32. TLC kaplamalı yüzey (Uysal,2005).....	51
Şekil 4.33. Uç sıcaklık teorisi (Uysal,2005)	57
Şekil 4.34. LCIA programının görüntüsü	58
Şekil 4.35. LCIA programının $h(kw/m^2K)$ değişiminin görüntüsü	58
Şekil 4.36. LCIA programında dijital video kamera ile kaydedilen renk değişiminin izlenmesi-1	59
Şekil 4.37. LCIA programında dijital video kamera ile kaydedilen renk değişiminin izlenmesi-2.....	59
Şekil 5.1. İkili daire	68
Şekil 5.2. İkili kare	68
Şekil 5.3. İkili daralan daire	69
Şekil 5.4. İkili daralan kare	69
Şekil 5.5. İkili daire ikili kare.....	70
Şekil 5.6. İkili daralan daire - ikili daralan kare.....	71
Şekil 5.7. İkili sıralı dairesel delikli geçiş parçasına ait sistemin 20-30-40 ve 50 debideki $h(kw/m^2K)$ değişimi	74
Şekil 5.8. İkili sıralı kare delikli geçiş parçasına ait sistemin 20-30-40 ve 50 debideki $h(kw/m^2K)$ değişimi	74
Şekil 5.9. İkili sıralı daralan dairesel delikli geçiş parçasına ait sistemin 20-30-40 ve 50 debideki $h(kw/m^2K)$ değişimi	75
Şekil 5.10. İkili sıralı daralan kare delikli geçiş parçasına ait sistemin 20-30-40 ve 50 debideki $h(kw/m^2K)$ değişimi	75
Şekil 5.11. İkili dairede birinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	73

Şekil 5.12. İkili dairede ikinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	74
Şekil 5.13. İkili daire üçüncü geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	75
Şekil 5.14. İkili karede birinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	79
Şekil 5.15. İkili karede ikinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	79
Şekil 5.16. İkili karede üçüncü geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	80
Şekil 5.17. İkili daralan dairede birinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	81
Şekil 5.18. İkili daralan dairede ikinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	81
Şekil 5.19. İkili daralan dairede üçüncü geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	82
Şekil 5.20. İkili daralan karede birinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	83
Şekil 5.21. İkili daralan karede ikinci geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	83
Şekil 5.22. İkili daralan karede üçüncü geçiş kanalında ısı geçiş katsayısının değişimi	84

ÖZET

Anahtar kelimeler: Isı transferi katsayısı, Çarpmalı Jetle Soğutma, Termal sıvı kristali, Sıcaklık ölçümü, Gaz türbinleri, Gaz türbinlerinin soğutulması

Gaz türbinleri uçaklarda ve helikopterlerde kullanılan önemli ekipmanlardan birisidir. Gaz türbinlerinin termal verimi ve çıkış gücünü iyileştirmek için yüksek sıcaklıkta (1150-1350°C) gazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sıcaklıklar gaz türbin kanatlarında müsaade edilen metal sıcaklığının üzerindedir. Bu nedenle gaz türbinlerinin herhangi bir arızaya sebep vermemesi için soğutulması gerekmektedir. Özellikle birincil kanatlar daha yüksek sıcaklıklara maruz kaldıkları için kanat içinde özel soğutma geometrileri tasarımları ve soğutma teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler içten soğutma, türbülator soğutma ve yüzeyde hava filmi meydana getirme ve çarpmalı jetle soğutma teknikleridir. Soğutucu akışkan olarak kompresörde üretilen havanın yaklaşık %20'si kullanılmaktadır. Alınan bu hava önce iç kanallara, daha sonrada kanat yüzeyi üzerine ve bir kısmı ise kanat uç kısmına gönderilerek soğutma gerçekleştirilir. Gaz türbini ve soğutulması ile ilgili ayrıntılı bilgiler bölüm 3.'te yer almaktadır. Bu çalışmada 3 geçişli bir kanat modeli üzerinde kare ve dairesel deliklerin olduğu 2 geçiş parçası (tümünde 2 sıra olmak üzere, dairesel delikli, kare delikli, dairesel daralan delikli ve kare daralan delikli) kullanılarak, 4 farklı Reynolds sayısı için deneysel olarak sıvı kristal termografisi metoduyla kanal yüzeyindeki ısı geçiş katsayısı değişimi araştırılmıştır. Bölüm 4.'te deney modeli ile ilgili ayrıntılar anlatılmaktadır. Elde edilen sonuçlar geçiş parçası geometrisine bağlı olarak, Reynolds sayısının etkisi, kanal içindeki hız dağılımı ve ısı geçiş katsayısı dağılımları gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda dairesel ve kare delikli geçiş parçaları kıyaslandığında 20 m³/h, 30 m³/h debide yapılan deneylerde kare delikli geçiş parçasının kullanıldığı üç geçişli kanalda meydana gelen ısı geçişinin daha yüksek olmasına rağmen dairesel delikli geçiş parçasının kullanıldığı kanalda ısı geçişinin daha homojen olduğu tespit edilmiştir. 40 m³/h ve 50 m³/h değerlerinde yapılan deneylerde dairesel geçiş parçasının kullanıldığı kanalda daha yüksek ısı transferi katsayısı ve daha homojen bir ısı geçiş dağılımının olduğu gözlemlenmiştir. Bölüm 5.'te deney sonuçları ve deney sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması açık bir şekilde verilmiştir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER ON THREE PASS A CHANNEL

SUMMARY

Keywords: Heat Transfer Coefficient, Thermal Liquid Crystal, Impingement Cooling, Temperature Measurement, Gas Turbines, Gas Turbine Cooling

Gas turbines are one of the most important equipments which are used in aircrafts and helicopters. High temperature gases (1150-1350°C) are needed to improve the thermal efficiency and output power of gas turbines. These temperatures are above the allowed limit of material temperature on gas turbine blades. Therefore gas turbines should be cooled so they don't cause any trouble and break down. Especially high temperatures occur on the first stage blades which require special cooling geometries, designs and cooling techniques. These techniques are internal cooling, rip turbulated cooling and airfoil film cooling techniques and impingement jet cooling. Approximately %20 of the produced air in gas turbines compressor are used as a coolant air. The coolant taken is sent for distribution firstly to the channels, then to the airfoil and then to the trailing edge for cooling. Detailed information on gas turbines and cooling technique are in section 3.

In this study we investigated the change of the heat transfer coefficient on the surface with the TLC method on a blade model with 3 pass channel. Section 4 describes the details about the experimental model, it is seen that the Reynolds number effects, speed distribution in the channel and heat transfer coefficient distribution differs as a result of the geometry of the parts' transition. In the experimental studies, comparison of circular and square-hole transition parts of 20m³/h, 30m³/h flow experiments show that although the channel with three passings has been found to have a more homogenous heat relay, the square hole used for the part of the transition with three passing channels has access to the higher heat occurring compared to the circular - hole transition piece. In the 40 m³/h and 50 m³/h value experiments the circular-hole transition piece used had the higher heat transfer coefficient in the channel and a more homogeneous distribution of the heat transfer was observed. Experiment results and comparisons of the obtained data from these results are detailed in section 5.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gaz türbinleri savunma sanayiinde özellikle; uçaklar ve helikopterler, enerji üretiminde; elektrik santralleri ve gemi motorlarında enerji üretmek için kullanılır. Gaz türbinleri stratejik öneme sahip bir üründür ve çok az firma tarafından imal edilir. Gaz türbinleri düşük egzoz emisyonları, yüksek verim ve yüksek miktarda elektrik üretim kapasitesinin gibi pek çok güçlü tarafları nedeniyle fosil yakıtlı türbinlerden daha çok tercih edilmektedirler. Endüstrileşme ve sanayileşmenin artması ile birlikte her yıl enerji tüketimi de artmaktadır. Bu yüzden gaz türbinlerinin önemi gelecekte de devam edecektir. Gaz türbinlerinin ömürleri, türbin bakımına ve türbin kanatlarının ömürlerine bağlıdır. Bu nedenle türbin kanatlarının ömürlerini arttırmak ve çalışma güvenliğini sağlamak için türbin kanadında meydana gelen aşırı ısı yükünün alınması iç ve dış soğutma teknikleri ile mümkün olmaktadır. Gaz türbini kanatlarında soğutmanın arttırılmasında kanat içerisindeki iç kanalların kullanılması son derece önemlidir. Özellikle türbinlerin birincil kanatlarının soğutulması için farklı geometrilerde ve farklı kombinasyonlarda iç geçiş kanalları kullanılmaktadır. Araştırmacılar bu soğutma kanallarının geliştirilmesi için, kanal içinde rip konfigürasyonu ve şekli, farklı kanal geometrileri şekilleri, çarpmalı jet ve geometrileri ve çapraz akışın arttırılması v.s. konusunda araştırmalar yapmaktadır.

Bu çalışmada 3 geçişli bir türbin kanat modeli üzerinde 2 sıralı kare ve dairesel deliklerin olduğu 4 farklı geçiş parçası (dairese delikli, kare delikli, dairese daralan delikli ve kare daralan delikli) kullanılarak, 4 farklı Reynolds sayısı için sıvı kristal termografisi metoduyla kanal yüzeyindeki ısı geçiş katsayısı değişimi deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımıyla geçiş parçası geometrisine, Reynolds sayısına bağlı olarak kanal yüzeyinde meydana gelen ısı geçiş katsayısı dağılımlarının nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Yüzeydeki ısı geçiş katsayısı dağılımını tespit etmek için Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği'nde kurulu bulunan TLC deney seti ve 3 geçişli bir türbin kanat modeli kullanılmıştır. TLC (Termokromik Sıvı Kristali) Sıvı Kristal Termografisi olarak bilinen ve sıcaklığa bağlı olarak renk değiştirebilen sıvı kristallerin araştırılması planlanan yüzeyin üzeri kaplanmasıyla, yüzey üzerindeki her bir noktanın ısı geçiş katsayısı dağılımının elde edilmesini sağlayan bilimsel bir yöntemdir. LC (Sıvı Kristal) maddesi kimyasal bir karışımdır ve deney modeli üzerinde araştırma yapılacak yere ince bir film şeklinde püskürtülerek kaplanır. Yüzeyde kuruduktan sonra akım yönünde herhangi bir bozucu ve direnç etkisi meydana getirmeksizin sıcaklık ölçümlerine olanak sağlar. LC, yüzeyin sıcaklığına göre renk verebilmektedir. Böylece elde edilen renklere göre yerel sıcaklıklar ölçülmüş olur. Bu yöntemde, levha yüzeyi TLC ile kaplanmakta ve model üzerindeki sıcaklık değişimine bağlı olarak sıvı kristallerin renk değiştirmesi izlenmektedir. Böylece hem sıcaklık dağılımları izlenebilmekte hem de yüzeyde meydana gelen ısı transfer katsayısı hesaplanabilmektedir.

Sıvı kristal termografisi metodu kullanılarak deneyde kullanılan model üzerinde 4 farklı debide ($20\text{m}^3/\text{h}$ - $30\text{m}^3/\text{h}$ - $40\text{m}^3/\text{h}$ - $50\text{m}^3/\text{h}$) ısı geçiş katsayısı değişimi tespit edilmiştir. Bu renk değişimleri bir DV kamera vasıtası ile filme alınır ve görüntü işleme kartı kullanılarak deney sırasında elde edilen sıcaklık değerleri ile karşılaştırılarak model yüzeyi üzerindeki ısı akısı ve sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak tespit edilebilir. Digital video kamera yardımıyla deney esnasında kayıt altına alınan bu renk değişiminin filmi LCIA (Liquid Crystal Imaning Analayser) yazılımı ile kameradan gerçek zamanlı görüntüleri yakalayarak bunları AVI dosyalarına dönüştürür ve tüm test yüzeyindeki lokal ısı transfer katsayıları bu şekilde elde edilebilir (Bu program USA Pittsburgh Üniversitesi Makina Mühendisliği tarafından geliştirilmiştir). Deney düzeneğinin çeşitli noktalarına bağlı termoçift elemanlardan alınan sıcaklık değerleri veri toplama kartı ile kaydedilir, bu renk profili kullanılarak yüzeydeki sıcaklık dağılımı ve ısı transfer katsayısı hesaplanabilir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmalarına elde edilen bilgiler aşağıda sıralanmıştır. Gaz Türbin kanatlarında ısı geçiş performansının artırılması konusunda çok farklı çalışmalar yapıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada türbin kanatlarında kullanılan geçiş parçaları, geçişli kanalları ve bunlarda kullanılan çarpmalı jet geometrileri üzerinde araştırmalar üzerine odaklanılmıştır. Bunlardan biri, dikdörtgen bir kanal içinde 4 sıra ve 12 hava jet delikli bir deneysel set üzerinde ısı transferi ölçümleri yapılmıştır. 3 farklı çapraz akım gönderilerek farklı Re sayıları için hava jetlerinin meydana getirdiği ısı transferi katsayısı termal sıvı kristal tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Hedef yüzey üzerine çapraz akımın etkisi ve Re sayısının etkisi ve ısı transferi katsayısının değişimi incelenmiş ve bu sonuçlar Nu sayısına ve Re sayısı değişimine bağlı olarak grafiklerde gösterilmiştir (Gm. S. Azad, Y.Huang ve J.C.Han, 2000).

Başka bir çalışmada 5 dairesel jeti şaşırtmalı olarak yerleştirmiş ve iki jet arasındaki boşlukların ve jet çaplarının değişik konfigürasyonlardaki ve 3 farklı Re sayısında yüzeyin ısı akısının değişimi deneysel olarak araştırmışlardır. Nu sayısına bağlı olarak uygun değer çap ve aralık bulunmaya çalışılmıştır (J.Y.San and M.D. Lai, 2001).

Bir araştırmada ise akış yönünde, artan dairesel çaplı, sıralı 6 adet jet tarafından etkilenen yüzeydeki ısı transfer katsayısının deneysel araştırması yapılmıştır. Hedef yüzey ve jet(çıkış) plakasında olmak üzere her iki yerdeki yerel ısı transferi dağılımları sıvı kristal tekniği ile ölçülmüştür. Jet-hedef aralığı ve jetlerin birbirleri ile olan aralığının değişimlerinin ısı transfer katsayısının dağılımına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada değişik Re sayılarında ve kanal genişliklerinde deneyler yapılmış ve Nu sayısına bağlı olarak sonuçlar sunulmuştur (U.Uysal, PW. Li M.K. Chyu, F.J.Cunha, 2005) Aynı çapta hava jetleri ile bir kanala ısıtılmış hava

gönderilmiş ve kanal yüzeylerinin yüzey film katsayıları deneysel olarak tespit edilmeye çalışılmıştır (Osama M.A., 2003).

Konvektif ısı transferi ölçümleri için termal sıvı kristalleri tekniği hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Deneysel çalışma bir test yüzeyi üzerinde yapılmıştır. Bu yüzey üzerindeki renk değişimleri bir resim işleme prosesi ile ısı transferi katsayısı ölçümü yapılmıştır. Deneysel sistemin geometrisi bir türbin kanadına benzetilerek deneyler yapılmış ve hava jetleri kullanılarak soğutulma gerçekleştirilmiştir. Böylece yüzey üzerindeki ısı transferi değerleri elde edilmiştir. Termal sıvı kristal tekniği kullanarak gaz türbini kanacığı üzerindeki ısı transferi ölçümleri hakkında bilgiler verilmiştir ve gaz türbini kanadın üzerinde termal sıvı kristal tekniği kullanarak ısı transferi olaylarını deneysel olarak incelemiştir (Ekkad. S.V(1995), Han. J.C. 1998).

Dikdörtgen bir kanal içinde 4 sıra ve 12 hava jet delikli bir deneysel set üzerinde ısı transferi ölçümleri yapılmıştır. 3 farklı çapraz akım gönderilerek farklı Re sayıları için hava jetlerinin meydana getirdiği ısı transferi katsayısı termal sıvı kristal tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Hedef yüzey üzerine çapraz akımın etkisi ve Re sayısının etkisi ve ısı transferi katsayısının değişimi incelenmiş ve bu sonuçlar Nu sayısına ve Re sayısı değişimine bağlı olarak grafiklerle gösterilmiştir. Bu çalışma Pittsburgh Üniversitesinde yapılan deneysel çalışmalardır. Burada çalışmada çarpmalı jet sistemlerinde çapraz akım ve iki plaka arasındaki aralığın etkisi araştırılmıştır (Azad. Gm. S. 2000).

Literatürde iki geçişli kanallarda ısı transferi büyüklüklerinin araştırılmasında düz ve ripli geometriye sahip kanallar kullanılmıştır. Riplerin kullanılmış olduğu kanallardaki ısı geçişi büyüklüklerinin düz kanallardan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Gaz türbin kanatlarında önce yapılan içten soğutmalı çalışmalarda ise; hücum kenarı ve kuyruk kenarı üzerinde ısı transferinin artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca döner haldeki sistemlerde TLC kullanarak en ve boy oranı 1-5 arasında olan iki geçişli düz bir kanaldaki ısı transferi etkileri de araştırılmıştır.

Kanat içinde hücum kenarı ve kanat orta bölümünün olduğu bölgelerde iç kanallar ve iç kanallarda çarpmalı jet kullanarak kanatların soğutulması konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Diğer araştırmalarda ise ripli ve pürüzlü yüzeylere düz sıralı dizilmiş bir çarpmalı jetlerin yardımıyla yapılan soğutmada meydana gelen çapraz akışın etkisi araştırılmıştır.

Diğer bir çalışmada, kanal duvarlarında rip bulunan iki geçişli dikdörtgen bir kanalın belli bir devirde döndürülmesiyle meydana gelen ısı geçişinin nasıl olduğu tespit edilmiştir.

Farklı bir çalışmada ise kanatın hücum kenarının olduğu bölgede kanat içerisindeki soğutma kanalından çıkan soğutucu akışkanın kanat yüzeyi üzerinde meydana getirdiği ısı transferinin değişimi incelenmiştir.

Literatürdeki bir çalışmada ise bir türbin kanadının kuyruk kenarına benzer yamuk şeklinde ripli geçiş kanalında meydana gelen sürtünme faktörü ve ısı geçiş sayısının değişimi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda kanal içerisindeki riplerin akışa karşı bir direnç meydana getirdiği tespit edilmiştir. Kanat kuyruk kenarında iç kanal olan ancak hava çıkışı doğrudan olmayan kanallara sahip kuyruk kısımlarındaki ısı transferi katsayısının değişimin çok daha geniş aralıkta olduğu, hava çıkışı kanalına sahip olan kuyruk kenarlı kanatlarda ise kuyruk kenarında daha düzgün bir ısı geçişi dağılımının olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde yapılan araştırmalara göre iki geçişli kanal üzerinde birçok çalışma yapılmasına rağmen üç geçişli bir kanal modeli üzerinde bir çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada üç geçişli bir kanalda dairesel ve kare deliklerin olduğu geçiş parçaları kullanarak kanal yüzeyi üzerinde meydana gelen ısı transferinin nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, kanat üzerinde farklı bölgelere çarpmalı jet soğutmanın uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmalarda çarpmalı jetlerin büyüklükleri, jetler arasındaki uzaklık, jet ve hedef plaka arasındaki aralık ve iki

veya daha çok sıralı jet kullanarak deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda farklı Reynolds sayıları, jet büyüklükleri ve jet sayıları için sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Nu sayısına ve Re sayısının değişimine bağlı olarak gösterilmiştir. (Albeirutty, et al., 2003). Ayrıca jet ile yapılan çalışmalarda çapraz akışın ısı geçiş katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir (Osama, M.A., 2003). Sıvı kristal termografisi yöntemi ile ısı geçiş katsayısının bulunması ile ilgili teorik çalışma yapılmıştır (Chyu, M. K., Ding, H., Downs, J. P., and Soechting, F. O., 1998). Ayrıca sıvı kristal termografisi yöntemiyle çarpmalı jet ve jet-hedef plaka aralığı konusunda farklı jet geometrileri, jet aralıkları ve jet-hedef plaka aralığı ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Uysal, U., Li, P.-W., Chyu, M.K., Cunha, F.J., 2006).

Kanadın kuyruk kısmında çalışılan soğutma tasarımlarında uygun tasarım çözümünü getirmek için birkaç yöntem günümüzde kullanılmaktadır. Isı transferini geliştirmek için yapılan çeşitli planlar, film soğutmanın bozulmasının azaltmak için ve soğutma planlarına eklenerek elde edilen yapısal tasarımlar vardır. Tasarım denge ve gereksinimlerini karşılamak için ihtiyaç olan tüm yönler dikkat edilmesi gerekir.

Yapılan çalışmaların birinde kanadın kuyruk kısmındaki yapılandırmaları en iyi temsil eden dört konfigürasyon ve temel özellikleri iç yüzünü anlayabileceği her yapılandırma için sağlanan analitik çözümler geliştirilmiştir. Yapılan alternatifler arasında ek faydaları ile soğutma performansını arttıran sadece kesintili tasarımın yapısal bir bütünlük sağladığı sonucuna varılmıştır. Genelde modern gaz türbinlerinin pratik uygulamalarında kesintili konfigürasyonlar kullanılır. Kuyruk kısmının kesintili kenarı üzerindeki basınç, soğutucu fırlatma ile var olan yayının yalnızca bir kısmının üstesinden gelebilmiştir (Cunha, F. J. and Chyu, M. K., 2006).

Bir çalışmada kanadın kuyruk kısmında bozulan boşlukların film soğutmada aşağı akımın etkisini toprakların enine yönü üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Yoğunluk oranı, kenar kalınlığı, yarık uzunluğu ve ejeksiyon açıları etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada yoğunluk oranı ve ölçülen film soğutma etkisi üzerinde güçlü bir etkisi görülmemesine rağmen fırlatma açısının optimum açısı 8.5 derece etkilendiği

bulunmuştur. En güçlü bağımlılık kenar kalınlığı olduğu görülürken, film soğutma etkisinin de önemli ölçüde kenar kalınlığı artmasına bağlı olarak azaldığı sonucuna varıldı (Taslim, M. E., Spring, S. D., and Mehlman, B. P., 1992).

Başka bir çalışmada ise kenar kalınlığının artışı ile film soğutma etkisinin nasıl bozulacağına mekanizmasını ortaya koyulmuştur. Yoğun girdap dökülmesinden dolayı büyük kenar kalınlığı, film soğutma etkisinden daha hızlı olduğu desteklendi ve soğutucunun karışımı ve sıcak gaz için büyük sürüş mekanizması olarak atılan kenardan kararsız girdap dökülmesi tanımlandı (Holloway, D. S., Leylek, J. H., and Buck, F. A., 2002).

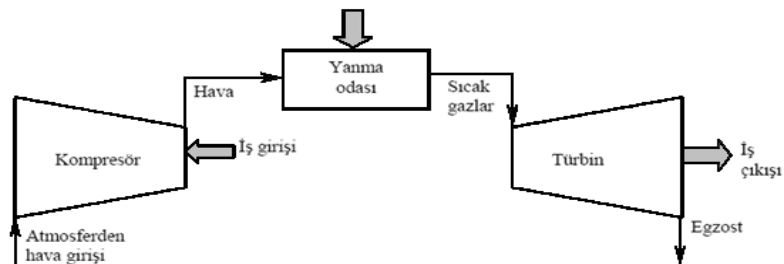
Diğer çalışmalara göre akış alanı daha karmaşık bir sayısal yöntem uygulandı. Kalın küt kenar tarafından etkilenmiş olan ana akış ve soğutucu arasındaki güçlü etkileşimi bularak kesintili kenar basınç üzerinde ısı ve akışkan akışı üzerinde diğer önemli etkinin ise, kuyruk kenarının yanında ana akışın hızlı olması gerektiği bulundu (Martini, P., Schulz, A., Bauer, H.-J., and Whitney, C. F. 2005).

BÖLÜM 3. GAZ TÜRBİNLERİ

3.1. Gaz Türbini Tanımı ve Dizaynı

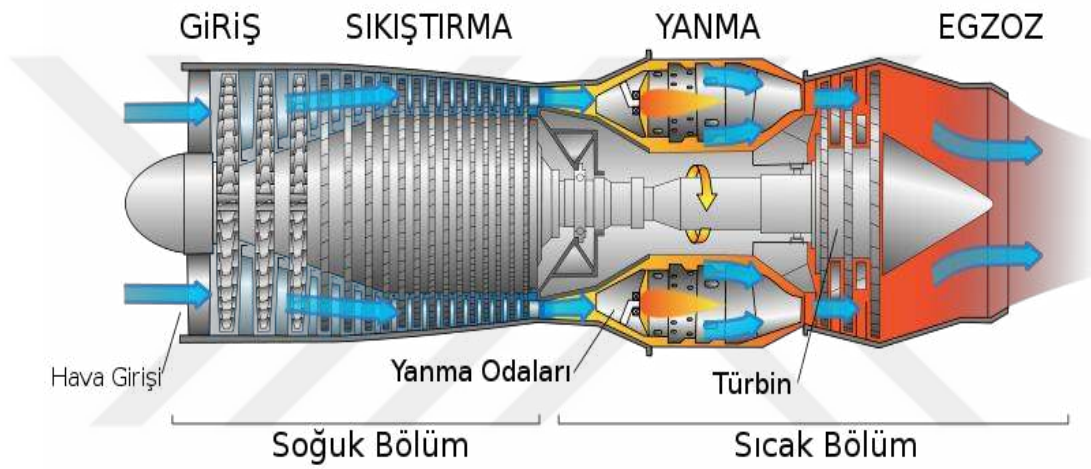
Gaz türbinleri boyut ve ağırlıklarına göre yüksek miktarlarda güç üretimi yapan, yakıtın kontrollü bir şekilde yanması ile güç üreten diğer içten yanmalı makineler gibi makinelerdir ve son kırk yılda güç endüstrisinde önemli bir ticari araç konumuna gelmişlerdir. Günümüzde gaz türbinleri turbo makineler sınıfına girmektedir. Bir turbo makinenin tanımını yapacak olursak mekanik enerjinin şaft işine, sürekli akan bir akışkanın rotor kolonlarında oluşturduğu dinamik hareketler vasıtasıyla çevrildiği makinelerdir. Turbo makineler fonksiyonlarına göre iş alan (kompresör veya fan) ve iş üreten (gaz türbini) turbo makineler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kompakt bir makine olmaları, düşük ağırlığa sahip olmaları ve yakıt çeşitliliği gibi avantajlara sahip olmaları gaz türbinlerinin kullanım alanlarını çeşitlendirmektedir (Baskharone-2006).

Gaz türbininin dönel kompresörde havayı sıkıştıran, yanma odasında sıkıştırılmış havaya yakıt püskürtülmesi ile yanmanın olduğu ve yanmış gazların türbinde genişlemesini sağlayarak güç üreten bir makine olduğu daha önce belirtilmişti. Gaz türbinlerinde türbin çıkış gücü kompresörün ve bağlanmış herhangi bir yükün hareket ettirilmesinde kullanılır. Bu anlatım aşağıda Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Gaz türbini tanım

Gaz türbinleri, güç kaynağı olarak kullanılan pistonlu içten yanmalı motorlarla karşılaştırıldığında, salınım yapan parçaların olmaması nedeniyle yüksek dönme hızlarına ulaşabilen, özgül kütle ve boyutlar bakımından daha küçük makinelerdir. Gaz türbinleri genellikle itici güç ve elektrik enerjisi üretim alanlarında kullanılmaktadır. İtme gücü, yüksek hızda türbinden çıkan egzoz gazlarının bir lüleden geçerek genişlemesiyle sağlanır. Bu türbinlerinin teorik çevrimi Brayton çevrimidir. Bu termodinamik çevrime göre çalışan bir gaz türbini kesiti Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



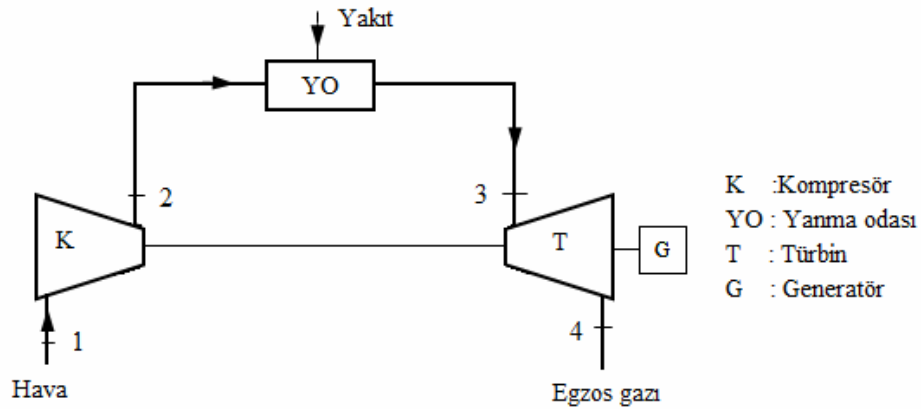
Şekil 3.2. Gaz türbini çalışma prensibi

Gaz türbinleri, güç üreten bir makine olduğu için birçok güç üreten makinede olduğu gibi, bir termodinamiksel çevrime dayanır. Gaz türbinlerinin teorik çevrimi, başlangıçta bir pistonlu motor olarak George Brayton tarafından geliştirilen Brayton çevrimidir. Bugün Brayton çevriminin kullanımı, sıkıştırma ve genişlemenin aksel kompresörler ve türbinlerde olduğu gaz türbinleri ile sınırlıdır. Gaz türbinleri genellikle açık çevrimde çalışırlar.

Temel gaz türbini çevrimine baktığımızda karşımıza Boston (A.B.D.)'lu mühendis olan George Brayton' un 1870' li yıllarda ortaya attığı çevrimi karşımıza çıkar. Brayton çevrimi, genel olarak gaz türbinlerinde kullanılan, periyodik bir prosesdir. Diğer içten yanmalı güç çevrimleri gibi açık bir sistem olmasına rağmen; termodinamik analiz için egzoz gazlarının içeri alınıp tekrar kullanıldığı farz edilir ve

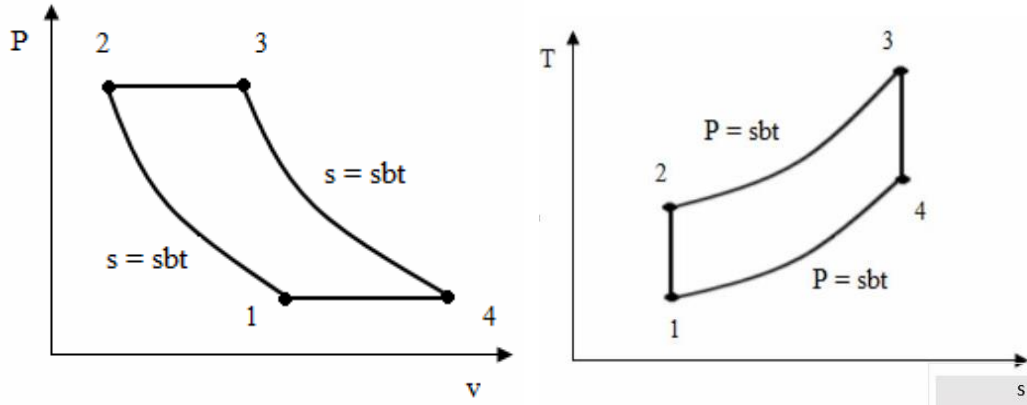
kapalı bir sistem gibi analize uygun hale gelir. Aynı zamanda Joule çevrimi olarak da bilinir. Brayton 1873 yılında yağ yakıt ile çalışmak üzere sabit basınçta yanma ve tam genişleme özellikleri olan bir motor geliştirdi. Bu motorda bir silindir, hava veya yanıcı karışımı sıkıştırırken diğer silindir de is silindiri olarak kullanılıyordu. İş silindiri atmosferik basınca kadar genişlemeyi sağlayacak kadar genişti. Kompresör, yanıcı karışımı karışım alıcıya gönderiyor, karışım buradan motora akarken ateşleniyor ve yanma sabit basınçta gerçekleşiyordu. Bu çevrim günümüz gaz türbinlerinin teorik çevrimi olarak kullanılmaktadır.

Şekil 3.3.'de basit bir sabit basınç gaz türbini sistem seması görülmektedir. Basit bir gaz türbini, ortak bir mile monte edilmiş olan K kompresörü, T türbini, YO yanma odası ve G çıkış gücü bağlantısından oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Basit sabit basınç gaz türbini

Kompresör 1 numaralı noktadan atmosferik havayı alıp 2 noktasındaki basınca kadar yükselterek, yanma odasına gönderir. Yanma odasına ikinci bir noktadan yakıt akısı olmaktadır. Hava içerisine püskürtülen yakıtın yanması sabit basınçta ve sürekli olmaktadır. Yanma ürünleri 3 numaralı kısımdan türbine girdikten sonra türbini terk eden gazlar 4 numaralı kısımdan atmosfere atılır veya atık ısı kazanlarına gönderilir. Egzoz gazlarının basıncı teorik olarak atmosfer basıncındadır. Bu çevrimin P-V ve T-S diyagramları Şekil 3.4.'de görülmektedir.



Şekil 3.4. Sabit basınç Brayton çevrimi P-V , T-S diyagramı

İdeal Brayton çevrimi aşağıda belirtilen dört içten tersinir hal değişiminden oluşur;

- 1-2 Kompresörde hava izantropik olarak sıkıştırılır
- 2-3 Sabit basınçta sisteme enerji verilir
- 3-4 Yanmış gazlar türbinde izantropik olarak genişler
- 4-1 Sabit basınçta sistemden çevreye enerji verilir

Akışkanın kütleli debisi çevrim boyunca değişmez ve ideal hava gibi sabit kompozisyonda bir gaz olarak kabul edilir.

3.2. Örnek Bir Gaz Türbininin Tanıtımı

Bu kısımda amaç, başlıca gaz türbini üreticilerinden olan Solar firmasının endüstride elektrik üretiminde kullanılan 1000 Beygir gücündeki T-1000 S modelini, örnek bir gaz türbini olarak tanıtarak bu tür uygulamaların anlaşılabilirliğini arttırmak açısından fayda sağlamaktır. Bu gaz türbininin üzerinde bulunan çeşitli parçalar; başa, arkaya, sol ve sağa olmak üzere 4 tarafa yerleştirilmiştir. Bu yönler gaz türbininin egzoz tarafında durup hava girişine doğru bakılarak tarif edilmişlerdir. Hava giriş kısmı gaz türbininin baş tarafı olarak kabul edilecektir. Solar T-1000 S gaz türbini altı esas kısımdan meydana gelmiştir. Bu kısımlar ve dönen parçalar aynı eksen etrafında yerleştirilmişlerdir. Bu esas kısımlar baştan arkaya doğru aşağıda belirtildiği şekilde sıralanmaktadır:

1. Hava giriş kısmı
2. Kompresör
3. Yanma odası
4. Gaz üretici türbin
5. Güç türbini
6. Güç aktarım kısmı

3.2.1. Çalışma prensibi

Yukarıda tanıtımı yapılan gaz türbininin çalışma prensibini incelemek gaz türbini tanımı ve tanıtımı anlatımının zihinlerde daha kolay yer edinmesini sağlayacaktır. Gaz türbini kompresör kısmında devamlı sıkıştırılmış hava akışı, yanma odasında devamlı yanma ile türbin kısmından devamlı bir güç üretir. Atmosfer havası, kompresör tarafından, kompresörün marş motorunun hareketi ve daha sonra yanmanın başlaması ile türbin kısmının hareketi ile emilir. Kompresör havayı 6.5/1 oranında bir basınca sıkıştırır. Sonra difüzör kompresörden gelen havayı yanma odasına sevk eder. Yanma odası içerisinde yakıt basınçla püskürtülür. İlk çalıştırma esnasında bu yakıtı ateşlemek için bir buji yerleştirilmiş olup, yüksek voltaj ile çalışmaktadır. Yeteri derecede hava ve yakıt akışı olduğu müddetçe yanma odasında sürekli yanma mevcuttur. Gaz türbini deniz seviyesinde ve 26.7 °C ortam sıcaklığında nominal hızında çalışırken, kompresöre yaklaşık olarak dakikada 297.3268 m-küp hava girmektedir.

Yanma odasında genleşen gazlar, türbin kısmından geçerken kanatlara çarparak gaz üretici türbinini ve güç türbinini tahrik ederler. Gaz üretici türbininin shaftı kompresör kısmını tahrik etmek için gerekli gücü verir. Güç türbininin shaftındaki güç ise şanzıman vasıtasıyla yüke verilir. Türbinden çıkan egzoz gazları bir egzoz kollektörü tarafından toplanır. Egzoz kollektörü dakikada yaklaşık olarak 713.5845 m-küp (normal çalışmada en fazla 454 °C sıcaklıkta egzozu atmosfere atar. Bu gaz türbini maksimum 22300 dev/dk. ile çalışmakta ve güç aktarım kısmında ise bu devir 2 kademedede 1800 devire düşürülerek maksimum devirde 380 volt 5000 amper DC elektrik akımı üretmektedir (Peterson Builders, Inc-1967).

3.3. Gaz Türbinlerinin Sınıflandırılması

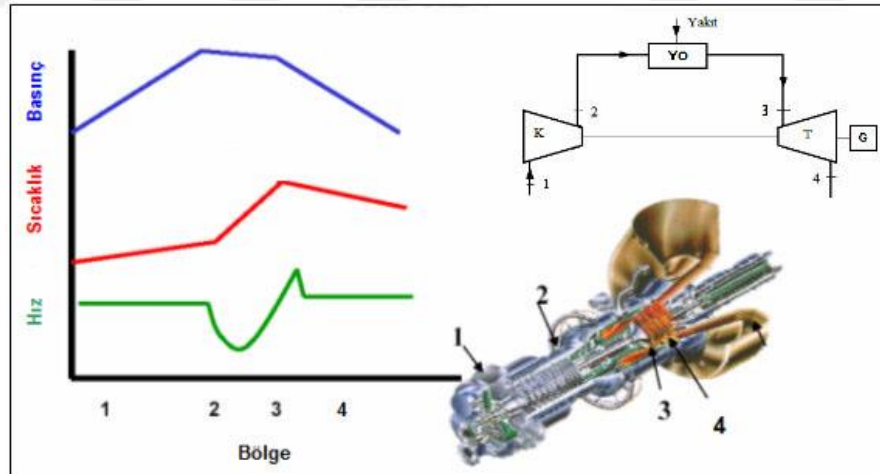
Gaz türbinleri, çeşit özellikleri bakımından aşağıda belirtildiği şekilde sıralanabilir (Çetinkaya-1999).

1. Isının verilişi bakımından
 - Sabit hacim gaz türbinleri
 - Sabit basınç gaz türbinleri
2. Çevrimin türüne göre;
 - Açık sistem gaz türbinleri
 - Kapalı sistem gaz türbinleri
 - Birleşik sistem gaz türbinleri
3. Mekanik düzenleri bakımından;
 - Tek şaftlı gaz türbinleri
 - İki veya daha çok şaftlı gaz türbinleri
 - Ayrı güç türbinli (ara ısıtıcı yok, çalışma esnekliği) gaz türbinleri
 - Seri akışlı gaz türbinleri
 - Paralel akışlı gaz türbinleri
4. Kullanılan elemanlara göre;
 - Basit gaz türbinleri
 - Rejeneratörlü gaz türbinleri
 - Ara soğutuculu türbinleri
 - Ara ısıtıcılı gaz türbinleri
 - Kompleks (ara soğutucu, rejeneratör, ara ısıtıcı birlikte)

3.4. Gaz Türbin Kanatlarında Soğutma İhtiyacı

Gaz türbinleri, havacılıkta, elektrik üretim santralinde ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Gaz türbinlerinde kullanılan hava temel olarak üç ana görevi vardır. Bunlardan birincisi yanma için gerekli oksijeni sağlamaktır. İkinci olarak ise yüksek sıcaklıklara maruz kalan parçaların bu sıcaklıklar nedeniyle zarar görmesini önlemek için soğutma görevi yapmaktır. Son olarak ise türbinin belirli bölümleri arasında sızdırmazlığın sağlanması için sızdırmazlık havası olarak kullanılır.

Gerçek çalışma prensibine göre bir gaz türbinindeki, kompresör ve yanma odasının giriş-çıkış, türbin rotor giriş, türbin çıkış ve egzoz kısımlarında tespit edilen basınç, sıcaklık ve hız değişimleri Şekil 3.5.'de gösterilmiştir. Yanma odası içerisindeki yanma sonrası gazlar, kompresörden gelen hava ile soğutulmakta ve türbine soğutulmuş olarak gönderilmektedir. Bunun sebebi ise, yaklaşık 1800 C'ye ulaşan gazın soğutulmadan gönderilmesi halinde türbin sıcak gaz yolu üzerindeki parçaların eriyebilecek olmasıdır.



Şekil 3.5. Brayton çevrimi esasına göre çalışan gaz türbini içerisindeki basınç, sıcaklık ve akış hızı gösterimi

Türbin içerisindeki kanatlar, çalışma esnasında temel olarak aşağıdaki zorlamalara maruz kalırlar;

- 1) Mekanik zorlanmalar

- a) Sürünme: Yüksek sıcaklıkta sabit (ya da belirli yönde değişken) yük altında kalan malzemede meydana gelen deformasyon şekli
- b) Yorulma: Malzemenin tekrarlanan yükler altında deforme olması.

2) Isıl zorlanmalar

- a) Oksidasyon: Malzemelerin oksijen ile reaksiyona girerek eksik elektron seviyesine inmesidir.
- b) Yüksek sıcaklık korozyonu: Malzemelerin yüksek sıcaklık etkisiyle kimyasal reaksiyon göstererek bozunması; (bazen yüksek sıcaklık nedeniyle hem oksidasyon hem de redüksiyon yani malzemenin elektron alması) yüksek sıcaklık korozyonu olarak değerlendirilir.

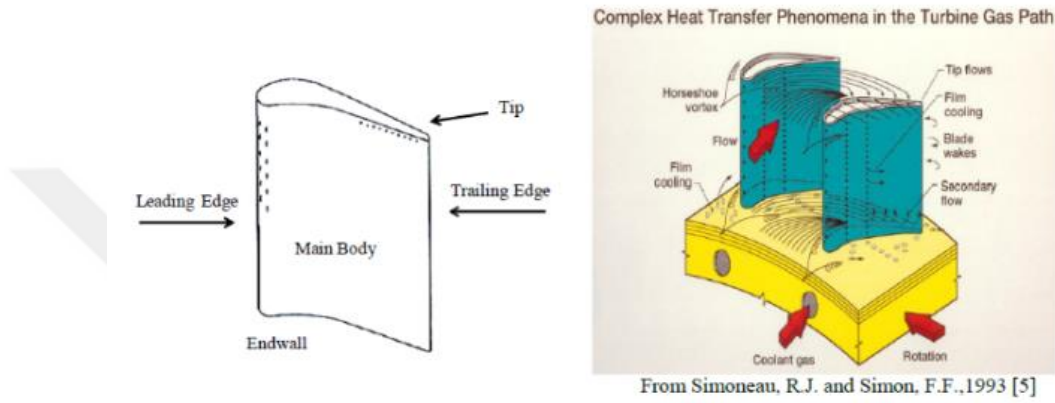
Gaz türbin giriş sıcaklığının artması, aynı zamanda türbin kanatları ve sıcak gaz yolu üzerindeki diğer ekipmanların maruz kaldığı ve yukarıda açıklanan zorlamaların etkisini de ciddi ölçüde arttırmaktadır ve bundan en çok nasibini alan da türbin kanatlarıdır. Bu durum göz önüne alındığında; türbin kanat malzemesinin iyileştirilmesi, kanat kaplamaları ve kanat soğutma yöntemleri konuları üzerinde mühendislik, çalışmaları yoğunlaştırılmıştır.

Son teknolojik gelişmelere göre kullanılan yakıta bağlı olarak gaz türbinlerindeki öngörülen bölgesel sıcaklık ve basınç değerleri Şekil 3.6.'da gösterilmiştir (Alvin, M.A., Pettit, F., 2007).

GAZ TÜRBİNLERİNDE TAHMİN EDİLEN ÇALIŞMA KOŞULLARI			
	Syngaz Türbini 2010	Hidrojen Türbini 2015	Oksi-Yakıt Türbini 2015
Yanma Odası Çıkış Sıcaklığı, °C (°F)	~ 1480 (~2700)	~1480 (~2700)	
Türbin Giriş Sıcaklığı, °C (°F)	~1370 (~2500)	~1425(~2600)	~1760 (~3200) (IPT) ~760 (~1400) (HPT)
Türbin Çıkış Sıcaklığı, °C (°F)	~595 (~1100)	~595 (~1100)	
Türbin Giriş Basıncı, psig	~265	~300	~1500 (HPT) ~ 625 (IPT)
Türbin Akış Bileşimi, %	H ₂ O (8.5) CO ₂ (9.27) N ₂ (72.8) Ar (0.8) O ₂ (8.6)	H ₂ O (17.3) CO ₂ (1.4) N ₂ (72.2) Ar (0.9) O ₂ (8.2)	H ₂ O (75-90) CO ₂ (25-10) O ₂ , N ₂ , Ar (1.7)

Şekil 3.6. Gaz türbinlerinde tahmin edilen çalışma koşulları

Bu tablodan da anlaşılacağı üzere en çok termal zorlanma türbin girişindeki birincil bölgede meydana gelmektedir. Bu nedenle bu bölgedeki kanatların soğutulması son derece önemlidir. Birincil bölgedeki bir türbin kanat profili genellikle beş bölüme ayrılabilir: Öncü (hücum) kenar, ana gövde, arka kenar, bitiş duvarı veya platform bölgesi ve kanat ucu şeklindedir. Şekil 3.7.'de, gaz akışının karmaşıklığı ve kanat profilinin beş bölümden oluşan şemasını göstermektedir.



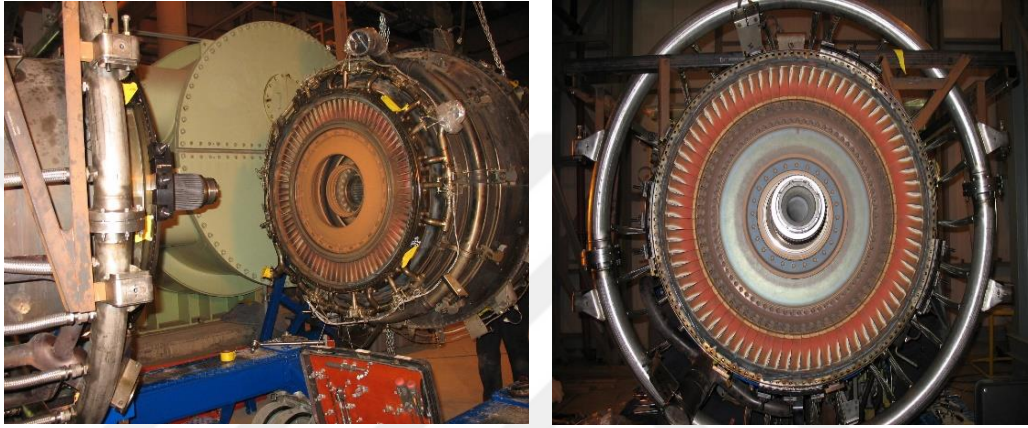
Şekil 3.7. Türbin kanat profili ısı transferi bölgeleri ve çevre akış özellikleri

Günümüzde, malzeme teknolojisi oldukça ileri düzeylere ulaşmasına rağmen gaz türbinlerinin giriş sıcaklıkları, kanat malzemelerinin dayanma sıcaklıklarından çok daha yüksektir. Bu nedenle, ileri malzeme teknolojisi ile üretilen türbin kanatlarının da mutlak surette soğutulması gerekmektedir. Soğutmanın bu denli önemli olması, gaz türbini üreticilerini özellikle kanat soğutma teknolojileri konusunda yoğun araştırmalar yapmaya yöneltmiştir.

Gaz türbinlerinin ömürleri, türbin bakımına ve türbin kanatlarının ömürlerine bağlıdır. Bu nedenle türbin kanatlarının ömürlerini arttırmak ve çalışma güvenliğini sağlamak için türbin kanadında meydana gelen aşırı ısı yükünün alınması hem iç hem dış soğutma teknikleri ile mümkün olmaktadır.

3.5. Gaz Türbin Kanatları Soğutma Yöntemleri

Gaz türbinlerinde en hassas türbin bölümüdür. Türbin yanma odasından sonra bulunduğu için dolayı yüksek sıcaklıklara maruzdur. Ayrıca kompresörde görülen yorulma ve çatlak etkilerine de maruzdur. Türbin sıcaklığı 1300°C'lere kadar ulaşmakta ve devir sayısı da yaklaşık 9500–10000 dev/dk'dır. Bu çalışma koşullarından dolayı gaz türbinlerinin en hassas bölümüdür.

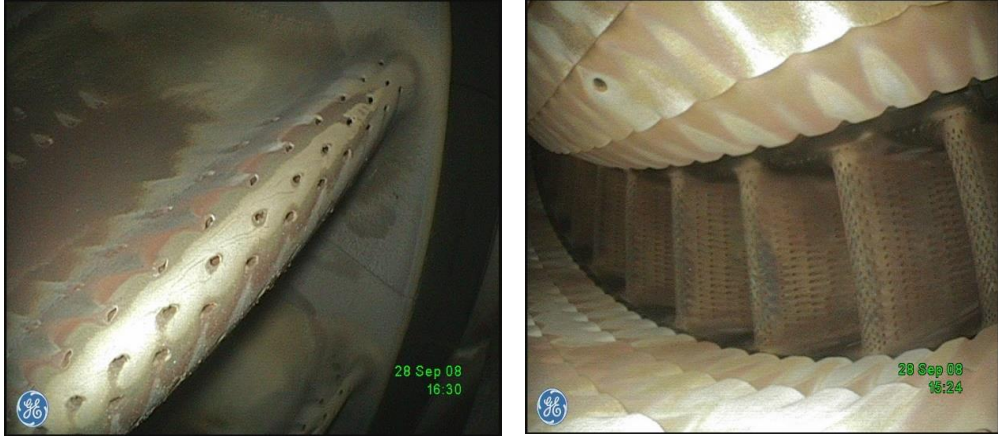


Şekil 3.8. Gaz türbini düşük ve yüksek basınç türbinleri, türbinlerin soğutulması (Nuh Çimento Hereke, 2007)

Gaz türbinlerinde, türbinin maruz kaldığı yüksek sıcaklık etkisini azaltmak için türbin kanat ve stratörlerinde soğutma uygulamaları yapılmaktadır. Bu soğutma uygulamaları 1960'lardan günümüze kadar çeşitlenerek gelişmiştir. 1960'larda internal soğutma işlemi yapılırken, 1980'lerde film soğutma uygulamaları da internal soğutma işlemine eklenerek daha etkin soğutma sağlanmıştır.

Soğutma işleminde kullanılan hava kompresörün belirli kademelerinden alınır. Sıkıştırarak basınçlandırılmış ve sıkışma işleminin etkisiyle 200 - 300°C sıcaklıklara ulaşan hava kompresörden alınarak türbine taşınır. Türbinde seal denilen taşıyıcılar yardımıyla bu soğutma havası türbin kanat ve stratörlerindeki kanallara yönlendirilerek soğutma işlemi gerçekleştirilir.

Soğutma işlemindeki akışı inceleyecek olursak, türbine yanma odasından gelen sıcak gazlar, kanallardaki daha soğuk gazlara emme etkisi yapar. Bu emme etkisini artırmak için kanalların çıkış kısımları yönlüdür.



Şekil 3.9. LM2500+ Gaz türbini soğutma kanalları (Alarko Kırklareli, 2007)

Gaz türbin kanatlarında kullanılan soğutma teknolojileri literatürde içten soğutma ve dıştan soğutma olarak sınıflandırılmıştır.

3.5.1. İçten soğutma teknikleri

1. Kanal soğutma
2. Rip türbülantörli soğutma
3. Çarpmalı jet soğutma
4. Matris soğutma

3.5.2. Dıştan soğutma teknikleri

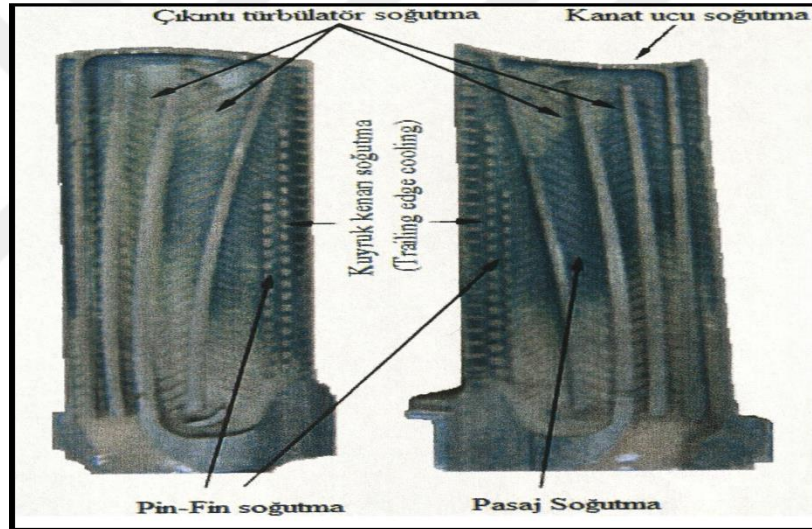
1. Film soğutma
2. Çarpmalı jet soğutma

3.5.1. İçten soğutma teknikleri

İçten soğutmada soğutucu hava kompresör kademesinden alınır ve kanat iç kanallarından geçirilir. Bu en genel tekniktir ve kanal soğutma olarak adlandırılır. Maksimum ısı çekebilmek için havanın, kanat iç çeperlerine çarpmasına izin verilir. Bu teknik çarpma soğutma olarak adlandırılır.

3.5.1.1. Kanal soğutma

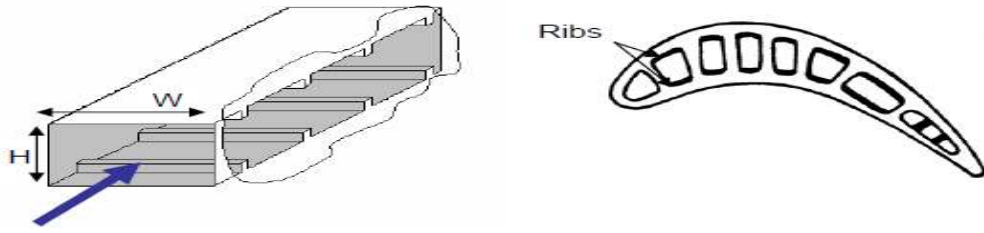
Kanat soğutmada uygulanan ilk metoddur. Kanat içerisindeki kanallarda soğutucu akışkan kendisi ısınırken kanadı soğutur. Isı transferini arttırmak için soğutucu akışkan olarak görevlendirilen havanın hızının yüksek olması istenir. Yüksek hızlarda oluşan türbülans; kanallardaki çıkıntı ve pin-fin olarak adlandırılan türbülatorlerle (riplerle) arttırılabilir. Fakat bu tip kanatların üretimi oldukça zor ve pahalıdır. Türbülans oluşturmak için dizayn edilen bu çıkıntılar soğutma verimini artıran sistemlerdir. Konveksiyon soğutma metodu, aşağıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere kanal, çıkıntı ve pin-fin soğutması olarak sınıflandırılmaktadır (Han ve Dutta, 2000, Han 2004).



Şekil 3.10. Kanat soğutmasında konveksiyon soğutma sistemleri

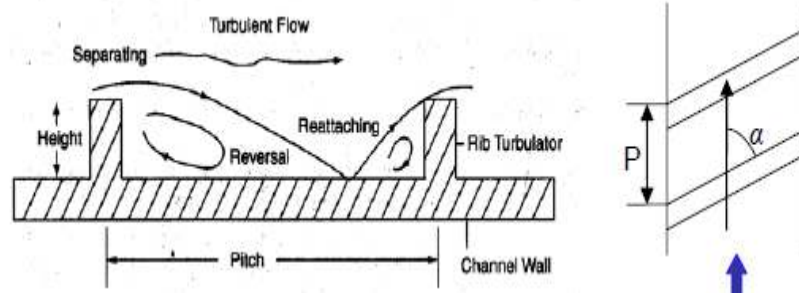
3.5.1.2. Rip türbülatorlü soğutma

Türbin paletleri ve kanatlarında, kanatçıklar iç soğutma kanallarının ortasında çokça kullanılır. Kanatçıklar basınç tarafı ile emme tarafına doğru hemen hemen her zaman karşıt duvarlarda yer almaktadır. Bazen sadece tek tarafta kanatçık vardır, çünkü iç soğutma ve dış yükler eşleşebilir bu da farklı basınç ve emme tarafına sebep olur.



Şekil 3.11. Kanatçık kanalları

Kanatçıklar, üst taraftaki kanatçıkta akıştan ayrılmaya ve iki kanatçık arasındaki akışı yeniden bağlamaya sebep olur. Isı transferinin artışı sınır tabakanın düzenini bozar. Ayırma ve yeniden birleşme akışın türbülansını artırır bu da akışın ortasındaki soğuk olanlarla duvarın kenarındaki akışı elemanlarını birbiriyle karıştırır. Yeni ince sınır tabaka her kanatçıktan sonra yeniden bağlanma noktasında başlatılır.

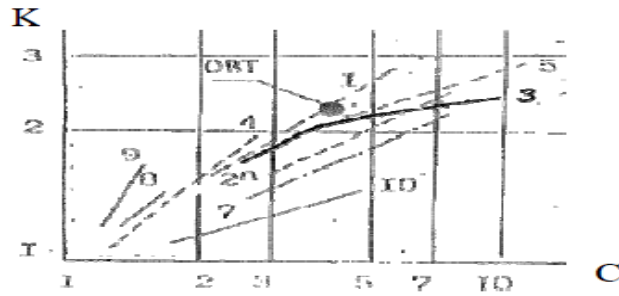


Şekil 3.12. Kanatçık etrafındaki akış

Isı transferi artışı kanalın en boy oranı, akışın Reynolds sayısı ve kaburga yapılandırmasına esaslarına bağlıdır. Şekil 3.12.'da bir kanatçık bulunan kanal kurulumunu ve kanatçık yüksekliği, kanatçık açısı, perde gibi önemli kanatçık parametrelerini gösterir. Akış yönüne ortogonal olan kanatçık enine kanatçık olarak adlandırılır. Karmaşık akış nedeniyle kanatçık oluşturmak, debi, analitik çözümler yerine, deneylerden elde edilen ampirik bağıntılar tarafından tarif edilmelidir.

Farklı deneyler ve türbin kanadı kanalları sonuçlarını karşılaştırmak için, geometrinin bazı boyutsuz oranları ekstra ilgi çekicidir. Çizgili kanallar için önemli boyutsuz parametreler; kanal boy oranı, eğim-kaburga yüksekliği oranı ve kaburga yükseklik-hidrolik çap oranı vardır. Kaburga açısı α tanımı da önemlidir.

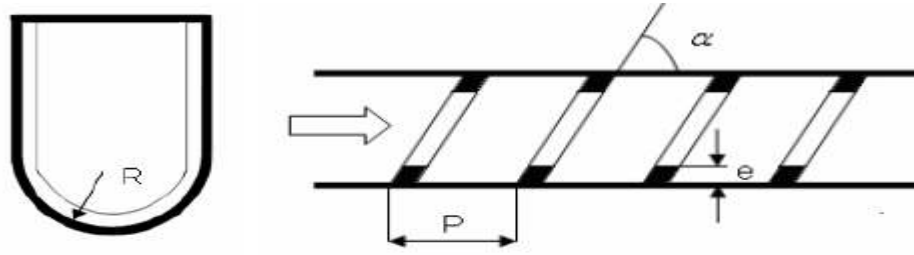
Yivli borunun dezavantajı basınç düşüşünün kaburgalar tarafından artmış olmasıdır. Bununla birlikte kanatçık nispeten küçük olmasına rağmen basınç düşüşü genellikle kabul edilebilir. Büyük basınç düşüşü genellikle kanal virajlarında oluşur. Isı transferi ile basınç düşüşü karşılaştırılması farklı soğutma metotlarında yapılmıştır. Şekil 3.13.'deki 3 numaralı eğri iki karşıt duvarın kanatçığı ile bir kanalı temsil eder. Sürtünmenin ısı transferinden daha hızlı büyümesi nettir ve belirgindir.



Şekil 3.13. K ve C kanatçık bulunan kanal karşılaştırılması

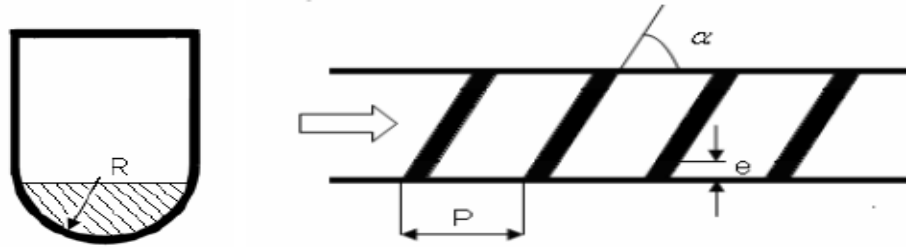
Pürüzsüz bir kanalda Nusselt sayısı türbülanslı gelişen akış nedeniyle giriş yakınında yüksek düzeydedir. Bundan başka girişten itibaren Nusselt sayısı azalır. Bununla birlikte, yivli kanaldaki düz duvarın Nusselt sayısı düz kanalinkine göre %20 - %60 daha yüksektir. Bir kanatçıklı kanalda, Nusselt sayısı kanatçıklar arasında ayrılma ve tekrar birleşme nedeniyle her iki tarafı kanatçıklı ve düz duvarlarda dalgalanmaktadır. Nervürlü duvarlarda pürüzsüz duvarlara göre yüksek dalgalanmalar ve yüksek Nusselt sayısı vardır.

Öncü köşe kanalları genellikle U- şeklindedir. U- şekilli kanalların kanatçık türbülanslı soğutması Nagoga tarafından incelenmiştir. Nagoga iki farklı soğutma yöntemini test etti ve bunlara SR- şeması ve SSR-şeması dedi. SR- ve SSR-şemalarının her ikisi de akışın dik ya da α açılı olarak kanatçıkların periyodik bir dizi içinde dizilmelerinden oluşur. Kanatçıklar kanalın içbükey tarafına bağlıdır. SR etraftaki kanatçıklara direnir ve Şekil 3.14.'de görülebilir.



Şekil 3.14 SR-şema geometrisi, ön görünüş (sol) ve üst görünüş (sağ)

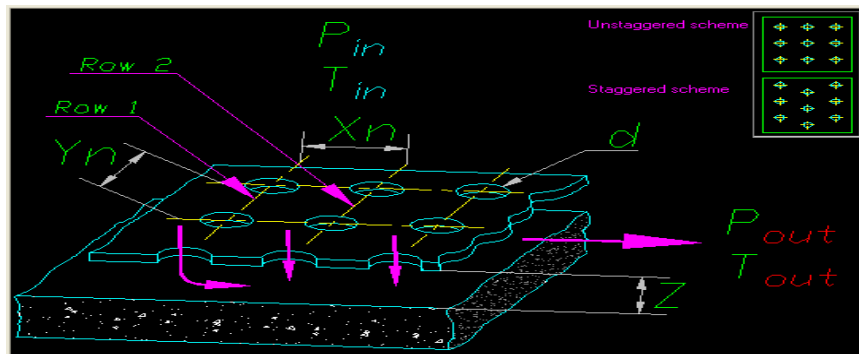
SSR-şema yarı dairesel boyuna yerleştirilmiş segmentli kanatçıklardan oluşur.



Şekil 3.15. SSR-Şema geometrisi, ön görünüş (sol) ve üst görünüş (sağ),

3.5.1.3. Çarpmalı jet soğutma

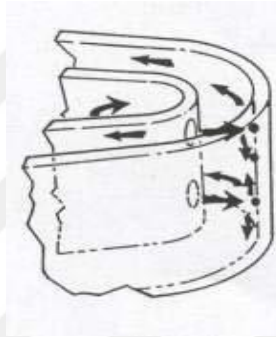
Modern gaz türbinlerinin çeşitli bölgelerinin soğutulması için çarpmalı jetlerinin kullanımı çok yaygındır. Özellikle yüksek basınç türbinlerinde çarpmalı jetlerinin soğutma verimleri çok yüksektir. Çarpmalı soğutma genellikle kanadın ön kanadın lokal olarak soğutmak için çok verimli bir yoldur. Hava, kanat içindeki merkeze doğru radyal olarak yönlendirilir ve sonra eksenel yöne döner ve kanadın iç yüzeyi üzerine küçük delikler vasıtasıyla çarptırma yapılır.



Şekil 3.16. Çarpmalı soğutma

Şekil 3.16.'da çarpmalı soğutma yöntemi örneğidir. Plaka delikleri arasından yüksek basınçta hava akar. Deliklerden oluşan jet yüzeyine çarptığı zaman yüzey soğur.

Soğutmanın yapılacağı yüzeye hedef plakası ve akışkanın gönderildiği delikli plakaya da jet plaka denir. Farklı çarpmalı soğutma sistemleri olmakla beraber, jetlerde örneklendirmeyi yapabiliriz, hedef plaka konfigürasyonu, jet konfigürasyonu jet açısındaki atak. Şekil 3.16.'daki düz bir yüzeye çarpan jetler bir dizi içerir. Şekil 3.17.'de verilen örnekte eğrisel bir hedef plakaya çarpar ancak kanatçık veya kanat üzerindeki ilk çizgi soğutma yapılır.



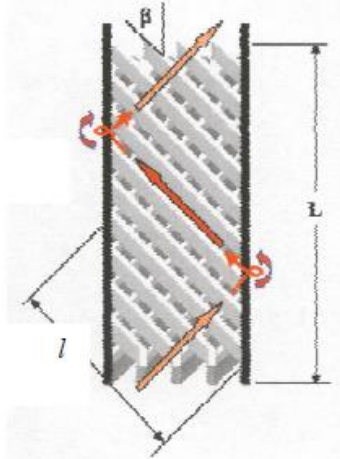
Şekil 3.17. Kavisli hedef plakası

Jetlerden darbe olan hedef plakalar da, akış yüksek türbülanslı ve sınır katmanlar ince olduğundan yüksek ısı transfer katsayısına neden olur. Çarpmalı soğutma başlıca yüksek ısı transfer katsayısının ihtiyaç olduğu yerlerde kullanılır. Ayrıca da kuyruk kenarı ve orta kanat gibi ince bileşen parçalar üzerinde kullanılır. Platformlar da genellikle çarpmalı soğutma yöntemi ile soğutulur.

Çarpma jetlerinin düzenli olarak dizilişleri türbin kanatları ve kanat platformlarını üniform ve kontrollü soğutmasını yapmak için kullanılır. Böyle düzenli çarpma dizileri genellikle hedef yüzeylere karşı yönlendirilir. Çarpma geometrisi, delik çapı, akım yolu, jetten jete olan aralığın mesafesi ve jet orifisi ile hedef plaka arasındaki mesafe ile tanımlanır. Hedef plakaya jetlerin vurduğu yerdeki akış yüksek türbülanslıdır ve çok yüksek ısı transfer katsayısını sağlayan sınır tabakası çok incedir. Çarpmalı jet soğutma çok yüksek ısı transferinin ihtiyaç olduğu yerde kullanılır. Kanal platformlarında çarpma soğutma ile soğutulabilir.

3.5.1.4. Matris soğutma

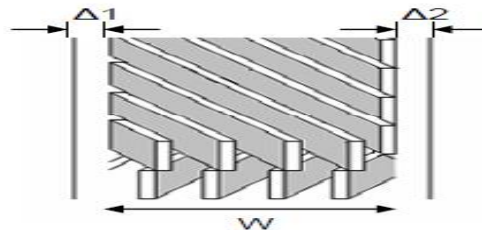
Bir matris, ters açılı uzunlamasına yivlerin iki katmanından oluşur. Rib kanal sistemi oluşturmak, içinde soğutma havası akan bu matris çıkış yolunda kanalı değiştirir ve sürekli olarak yön değiştirir.



Şekil 3.18 Matris geometri örneği

Isı iletim katsayısı, her kanalın girişinde geliştirilen yeni bir ince tabakanın girişine bağlı olarak artar. Akış başka bir kanaldan geçerken, girdap oluşturulur ve akış türbülansı artar. Isı aktarımı nedeniyle boyuna riplerin artan ısı transferi yüzey alanını artırır. Başka bir olumlu etkisi boyuna rip bileşeninin gücünü artırır. Kanalların β açısı ısı transferinin geliştirilmesi üzerinde büyük etkisi vardır.

Şekil 3.18.'de kapalı matris diye adlandırılan matris, kanalları yan duvara bitişen matristir. Kapalı bir matriste, bir kanalın sonuna ulaştığında akım diğer kanallardan akışı ile karıştırılmadan, viraj boyunca ve karşı tarafta bir kanala akmaktadır. Kanallar ve yan duvar arasında bir boşluk olduğu yerde bir alternatif tasarıma açık matris denir.



Şekil 3.19. Açık Matris

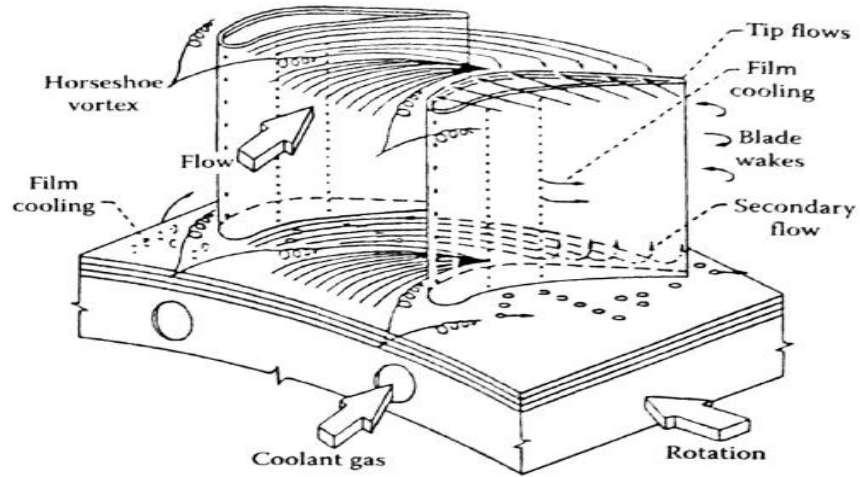
Matris soğutma genellikle türbin paletleri ve kanatları arka kenarı kullanılır. Finspang'da üretilen Siemens Gaz Türbinleri içinde, sadece açık matrisler kullanılmaktadır. Genellikle açık matrislerin akışı aksenel ve kapalı matrislerin akışı radyaldır. Bu soğutma yöntemi batıda nispeten bilinmemektedir, ancak eski Sovyetler Birliği'nde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu nedenle, açık literatürde mevcut bilgiler sınırlıdır.

3.5.2. Dıştan soğutma teknikleri

Dıştan soğutmada, hava kompresör kademesinden alınır kanat içerisinden geçip küçük deliklerden dış çeper üzerinden çıkar. Bu hava, kanat dış çeperi üzerinde ince bir soğutucu film tabakası oluşturur. Bu yöntem film soğutma olarak adlandırılır. Bu film koruma sağlar ve böylece kanadın ömrünü artırır. Ayrıca, film soğutma uygulamasının komple kanat üzerine uyarlanmasıyla tranpration soğutma yöntemi geliştirilmiştir.

3.5.2.1. Film soğutma

Türbin kanat yüzeyleri, kaplamalar, kanat uçları ve uç duvarlar ayrı delikli film soğutma kullanılarak soğutulur. Tipik soğutulmuş kanat Şekil 3.20.'de gösterilmiştir. Şekilde çeşitli yerlerde soğutucu, ayrı delikler boyunca kanadın içerisinden gönderilen ana akıma enjekte edilir. Film soğutma iç yüzeyinden ısı alarak dahili soğutma tekniklerine göre, doğrudan kanat yüzeyini korur. Film soğutma, aynı zamanda, iç konveksiyon filmi deliğinden kanat yüzeyinden ısı kaldırır.



Şekil 3.20. Soğutmalı kanat

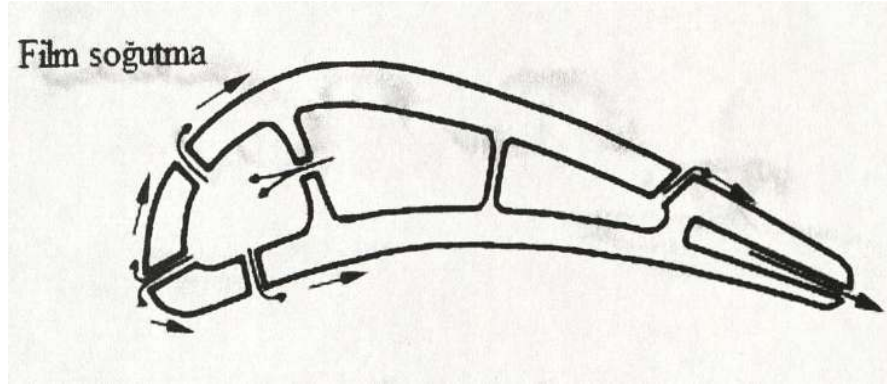
Termal korumanın kanat ucu yüzeyine düşük ısı yükü sağlaması beklenmektedir. Tasarımcılar film enjekte edildiğinde birleşen yüzeye yüklenen ısıyı bilmek isterler. Ayrık delikli enjeksiyonun karmaşık yapısından dolayı, filmi altındaki yerel duvar sıcaklığı ve film enjeksiyon ile gazın ısı transfer katsayısının bilinmesi gerekir (T_w). Bu iki bileşen parça yüzeyindeki düşük ısı yükünün tahmin edilmesi içindir.

Şekil 3.20.'de film enjeksiyon geometrisi ve ısı transfer modeli gösterilmektedir. Tipik olarak, film, soğutma olmadan yüzeye ısı yükü ısı akısı olarak temsil edilir.

$$q_0'' = h_0(T_g - T_w)$$

Şekil 3.21. Isı akısı

Film soğutma, sıcak gazlarla çevrelenen kanat yüzeyini korumak için verimli bir yoldur. Soğutma havası kanat yüzeyindeki deliklerin içinden geçer ve kanadın üzerinde nispeten düşük sıcaklıkta bir koruma filmi şekillenir. Film soğutma yöntemi, günümüz yüksek sıcaklık gaz türbinlerinin gelişimine imkan sağlamıştır. Film soğutma, genellikle birinci kademe hareketli ve sabit kanatlar gibi gaz türbinin en sıcak parçalarında uygulanır.



Şekil 3.22 Film soğutma yöntemi

Kanat yüzeyinde, soğutma havası hem koruyucu bir film tabakası oluşturur hemde kanada geçmesi muhtemel ısıyı üzerine alarak ortamdan uzaklaştırmaya çalışır. Anlaşıldığı üzere, film soğutması için gerekli akışkan, önce kanadın içindeki kanallardan geçer ve içten soğutma görevini yapar. Yani bu soğutma yöntemi aslında iki yöntemin birleşiminden oluşmaktadır. Kanat yüzeyleri, kanat uçları ve kanat platformlarının soğutulmasında özellikle film soğutma yöntemi kullanılır.

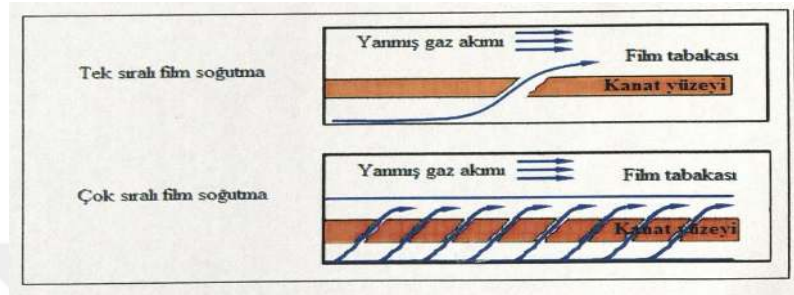
Film soğutmada kullanılan akışkanın sıcaklığı, gaz türbininden geçen yanmış gaz akış sıcaklığından oldukça düşüktür. Kanat üzerinde oluşturulan ince bir film tabakası ile kanada ısı transferi azaltılır ve böylece kanadın ömrü artar. Eğer kanadın işletme sıcaklığı, maksimum dizayn sıcaklığının 100 C üzerinde ise, bu kanadın ömrünü yaklaşık %50 azaltabilir (Altoraieri, 2003).

Film soğutma performansı, çeper eğriliği, üç boyutlu dıştan akış yapısı, serbest akış türbülansı, sıkıştırılabilirlik, akış kararsızlığı, delik ölçüsü, şekli, yeri ve enjeksiyon açısı tarafından etkilenir (Garg, 2001).

Film soğutmada serbest akım türbülansının etkisi üzerinden bazı araştırmacılar araştırma yapmışlardır. Yapılan araştırmada adyabatik film soğutma verimliliğinin incelenmesinde likit kristal termografi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, araştırmada serbest akım türbülansının, film soğutma üzerinde bir etkisinin var olduğu fakat o derece önemli olmadığı ve çok yüksek üfleme oranlarında ihmal edilebileceği rapor edilmiştir.

Film soğutma yöntemi kanat yüzeyi ve kanat platformunda iki değişik şekilde uygulanabilmektedir.

1. Tek sıralı (Ayrık) film soğutma
2. Çok sıralı (Düzgün- Uniform) film soğutma



Şekil 3.23. Tek ve çok sıralı film soğutma yöntemi

1. Tek sıralı Film Soğutma

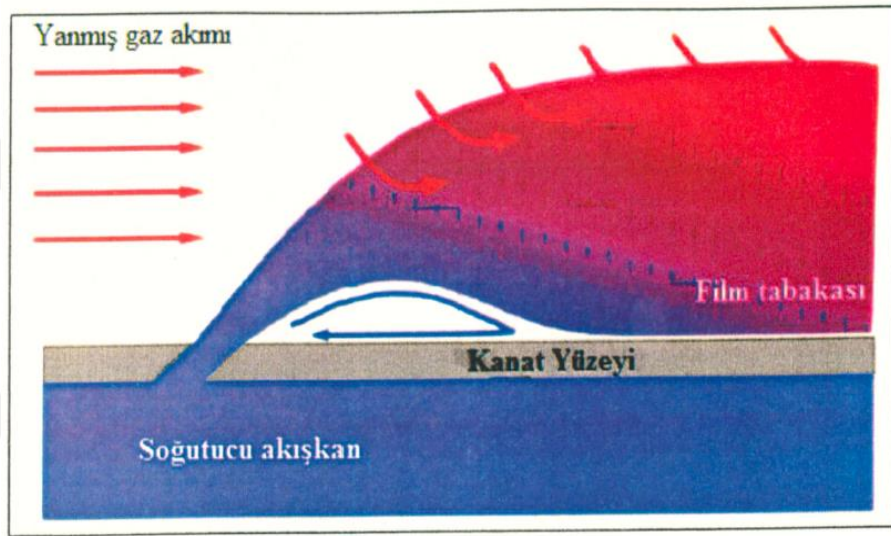
Soğutucu akışkan filmi kanadın dış yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturmak için soğutucu akışkanın soğutma kapasitesinden yararlanılır. Bir film soğutma işlemi birçok parametreye bağlıdır. Film soğutmayı etkileyen ilk fiziksel özellikler, yanmış gaz akışına göre soğutucu akışkanın üfleme oranı, sıcaklık oranı, yoğunluk oranı ve türbülans yoğunluğudur. Ayrıca, geometrik karakteristiklerinin film soğutma üzerinde etkisi vardır. Bu yüzden kanadın geometrisi ve film soğutma delikleri onların dağılımı ve yeri üzerinde geniş çaplı çalışmalar yapılmaktadır.

Soğutma etkinliğini belirleyen faktörler aşağıdaki gibidir:

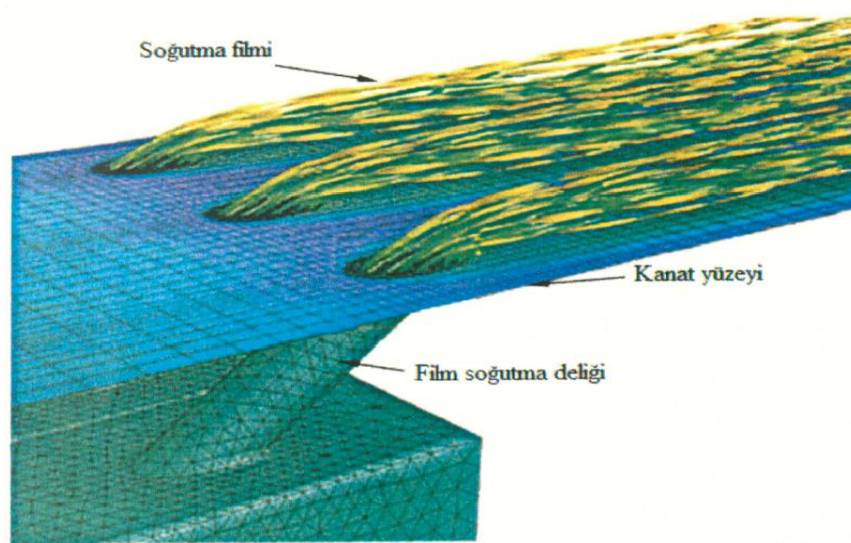
1. Soğutma havasının yanmış gaz akış hacmine oranı
2. Film tabakası oluşturacak akışkanın, deliklerden püskürtme açısı
3. Film tabakası oluşturacak soğutma havasının deliklerden çıktıktan sonraki yayılımı
4. Kanat üzerindeki film soğutma deliklerinin sayısı ve birbirine olan mesafesi
5. Yanmış gaz ve film soğutma akışkanında oluşan türbülanslar
6. Kanat yüzeylerinin eğilimleri

Tüm bu parametreler uygun seçildiğinde en iyi soğutmayı yapmak mümkün olmaktadır. Bunlara ek olarak soğutma havasının üfleme oranı soğutma için uygun seçilmesi gereken parametrelerden birisidir. Tüm bunlardan sonra tek sıralı film soğutma yöntemi daha anlaşılır olacaktır.

Tek sıralı film soğutma yönteminde Şekil 3.24.'de görüleceği gibi tek sıra deliklerin içinden geçen hava kanat yüzeyinden geçerken soğutucu bir film tabakası oluşturmaktadır.



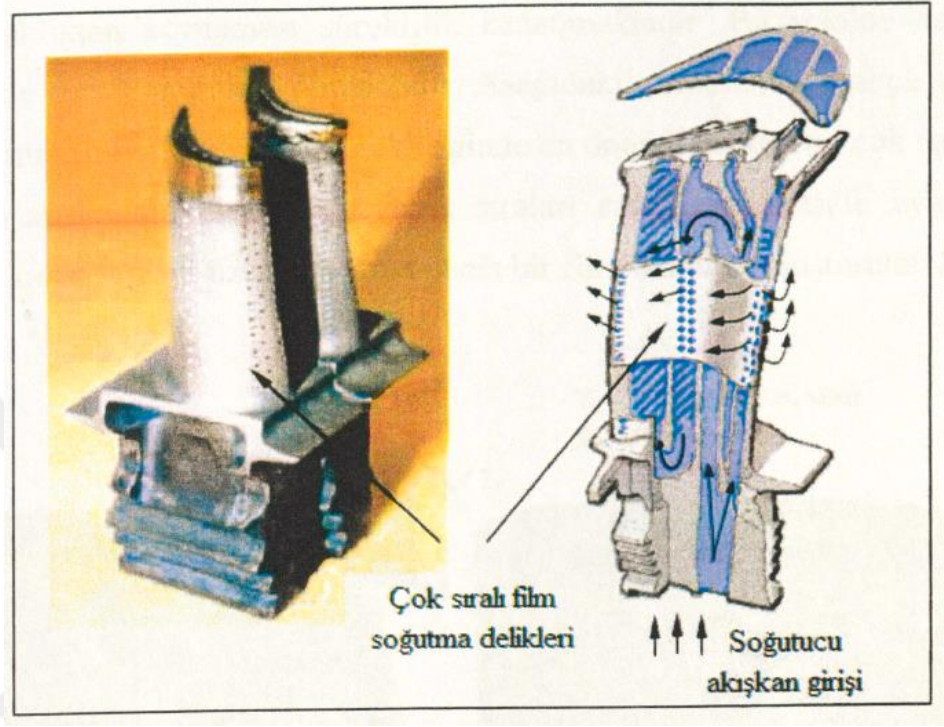
Şekil 3.24. Soğutma filminin kanat üzerindeki yapısı – 1



Şekil 3.25. Soğutma filminin kanat üzerindeki yapısı – 2

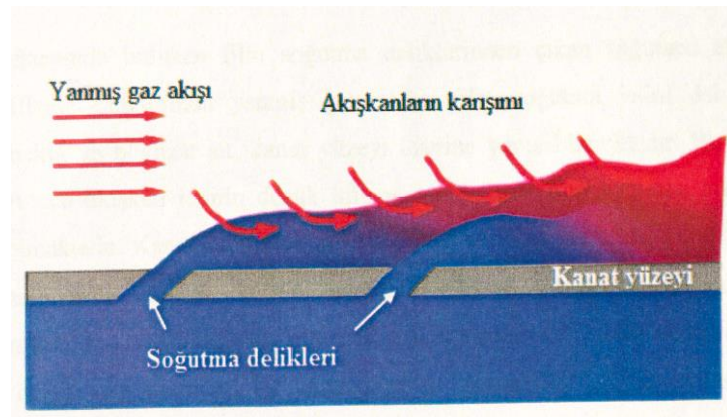
2. Çok Sıralı Film Soğutması

Aşağıdaki şekilde çok sıralı film soğutmasına örnek bir kanadın fotoğrafı ve şematik gösterilimi gösterilmektedir.



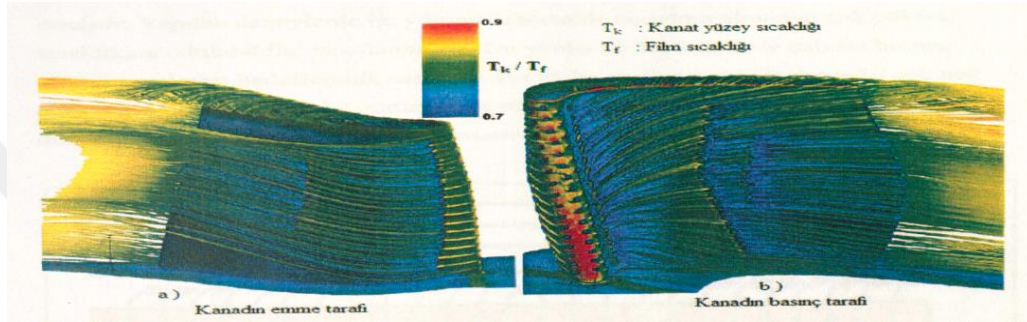
Şekil 3.26. Çok sıralı film soğutması

Şekil 3.27.'de görüldüğü gibi kanat yüzeyinde film soğutma uygulaması için yanmış gazın akış yönünde birden fazla sıralı delikler bulunmaktadır. kanat üzerindeki çok sıralı film tabakasının oluşması ile yanmış gaz akışının davranışını gösteren Şekil 3.23.'dedir



Şekil 3.27. Yanmış gazın davranışı

Bu durumda soğutma filminin etkinliği kanat yüzeyi boyunca düşmekle birlikte bir sonraki soğutma deliklerinin bulunduğu bölgede tekrar artırılarak kanat yüzeyinin yüksek sıcaklıktan korunması süreklilik kazanmaktadır. Bu şekilde daha iyi bir soğutma elde etmek mümkün olmaktadır. Aşağıdaki grafikte açıkça anlaşılağı üzere, soğutma film etkinliğinin sürekliliğinde en önemli parametre çok sıra soğutma deliklerinin arasındaki mesafedir. Delik sıraları arasındaki mesafe uygun şekilde ayarlanırsa kanat yüzeyi üzerinde daha geniş bir film tabakası oluşturulabilir.

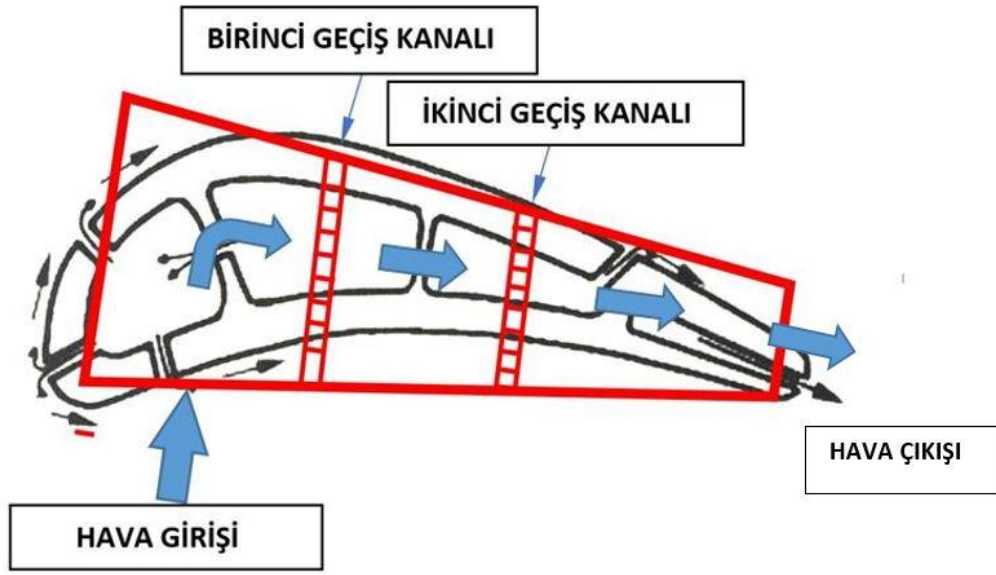


Şekil 3.28. Film soğutmalı kanadın yüzeyindeki renklendirilmiş akım çizgileri

Kanat yüzeyinde bulunan film soğutma deliklerinden çıkan soğutucu akışkanın düşük üfleme oranlarında yanmış gaz akışı, film soğutma jetini daha kolay bükülebilmekte ve böylece jet kanat yüzeyi üzerine yapışabilmektedir. Bu nedenle film soğutucu akışkan jetinin düşük üfleme oranlarında film soğutma etkinlikleri yüksek olmaktadır. Kanat üzerindeki film soğutma etkinliğinde üfleme oranının yanı sıra kanat yüzey eğriliğinin önemi çok önemlidir. Kanat yüzey eğriliği çok fazla attırıldığında veya azaltıldığında film soğutma etkinliği azalır. Bu nedenle iyi bir etkinlik değeri için optimum bir yüzey eğriliği seçilmelidir. Ayrıca kanat yüzey eğriliğini çok miktarda arttırdığımızda yüzeyden ayrılmalar oluşmaktadır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı



Şekil 4.1. Deney modeli

Bu çalışmada Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi bir gaz türbini kanadından üç geçişli bir deney modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model içerisinde iki sıralı dairesel ve kare delikli geçiş parçaları kullanılarak kanal içerisinde soğutma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda model yüzeyi üzerinde homojen bir ısı geçiş katsayısı dağılımı için iki sıralı daralan dairesel ve kare geçiş parçalarının kullanıldığı deneyler yapılmış ve diğer yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmada TLC (Sıvı kristal termografisi) metodu kullanılarak model üzerinde meydana gelen ısı geçiş katsayısı dağılımı araştırılmıştır. Model yüzeyleri sıvı kristal ile kaplanarak yüzey üzerinde meydana gelen sıcaklığa bağlı renk

değişimleri tespit edilerek, LCIA (Liquid Crystal Image Analyser) yazılım programı yardımıyla yüzey üzerinde meydana gelen ısı geçiş katsayısının dağılımı tespit edilmiştir.

4.2. Deney Düzenegi

Ti katının ilk sıcaklığını temsil eder. Tr konveksiyon sisteminin referans sıcaklığıdır ve jet sıcaklığı baz alınarak seçilmiştir, h; konvektif ısı taşınım katsayısını temsil eder ve Tw ve Tr' ye dayalıdır. K ısı iletkenliği katsayısı, α katının ısı yayılım katsayısıdır.

Deney düzenegi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Deney düzenegi 4 ana bölümden meydana gelmektedir.

Birinci bölümde, basınçlı hava kaynağı kullanılan kompresör, hava kontrol vanası, havayı temizlemek için kullanılan bir hava filtresi, şekil 4.2'de boru içerisinden geçen havanın debisini ölçmek için bir debimetre ve havanın ısıtılması için kullanılan farklı güçlere sahip ısıtıcılar, basınç ölçmek için manometreler, ısıtılmış havayı deneye başlamadan by-pass hattına ve deney esnasında ve deney parçalarına yönlendirmek için 2 adet selonoid valf ile ısıtıcıların ve valflerin bağlı olduğu ve açılıp kapanmasının sağlandığı anahtarların bağlı olduğu kontrol bölümü, test bölümünden önce bulunan ve akışı düzgünleştirmek için kullanılan bir difüzör bulunmaktadır. Şekil 4.1.'de deney düzeneginin genel fotoğrafı, Şekil 4.4'de şematik resmi ve detayları verilmiştir.

İkinci bölümde, termal sıvı kristallerin renk değişimlerini kayıt edeceğimiz bir adet kamera, 2 adet yüksek watl ışıık kaynağı bulunmaktadır. İyi bir görüntü elde etmek için test bölümünün altı, ışıık kaynaklarının üstü ve test bölümündeki parlayan her şey siyah karton ile kaplanmıştır.

Üçüncü bölümde, test bölümünün giriş çıkış sıcaklıklarını, hava sıcaklığını deney süresince ölçen ve bir pc yardımıyla kayıt eden DAQ sistemi ve termokapullardan

meydana gelmektedir. Buradan alınan datalar ile yüzeyin ısı transferi özelliklerini LCIA yazılımı ile bulmak mümkün olacaktır.

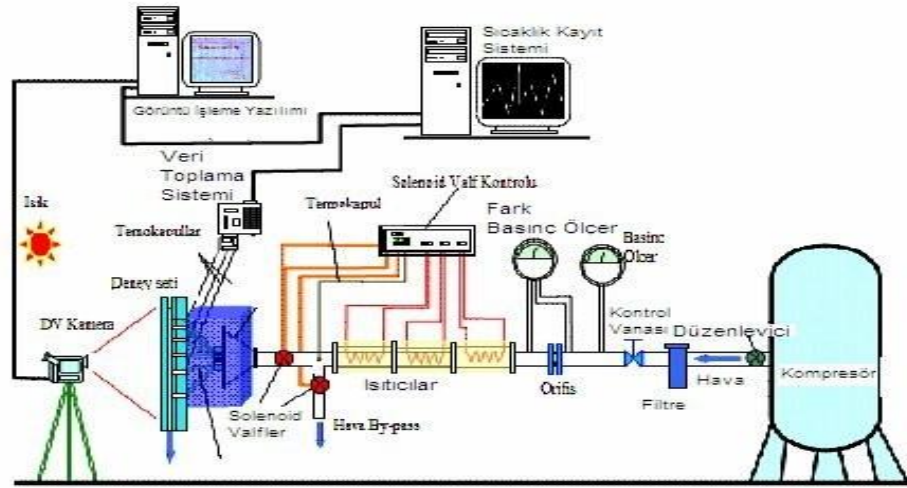
Dördüncü bölümde ise; test bölümü bulunmaktadır. Bu bölümde deneyi yapılacak sistemin plexiglassdan yapılmış modeli ve bu modelin ilgili bölümü termal sıvı kristalle kaplanmıştır. Şekil 4.3.'de TCL ile kaplanmış deney modeli görülmektedir.



Şekil 4.2. Deney düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 4.3. Deney düzeneği ekipmanları fotoğrafı



Şekil 4.4. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

4.3. Deney Elemanları

4.3.1. Kompresör

Deney için gereken havayı sağlar. Kompresörün debisi yetmediği için kompresör havayı hava tankına 8 bar basınçlı olarak depolamaktadır. Deneydeki hava tanktan tedarik edilmektedir.

4.3.2. Hava tankı

Kompresörün debisi yetmediği için gerekli hava, hava tankında 8 bar basınçta depolanır. Deney için gerekli havayı tedarik eder.



Şekil 4.5. Deney düzeneğinde kullanılan hava tankı

4.3.3. Şartlandırıcı (Filtre)

Havanın içindeki su buharını filtre eder.



Şekil 4.6. Deney düzeneğinde kullanılan filtre

4.3.4. Vana

Deney düzeneğine girecek olan hava debisinin kontrolünü sağlar. Deneyde kullanılmak istenen değerlere göre vana açılıp kapatılarak gerekli debi sağlanır.



Şekil 4.7. Deney düzeneğinde kullanılan vana

4.3.5. Dijital manometre

Deneydeki değerleri kontrol etmek ve sonrasında reynold sayısını hesaplayabilmek için dijital manometre kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Deney düzeneğinde kullanılan dijital manometre

4.3.6. Isıtıcılar ve reosta

Sisteme giren havanın sıcaklığını ayarlamak için 2 adet ısıtıcı kullanılmıştır. Sıcaklığı hassas bir şekilde ayarlayabilmek için ısıtıcılardan birine reosta takılmıştır.



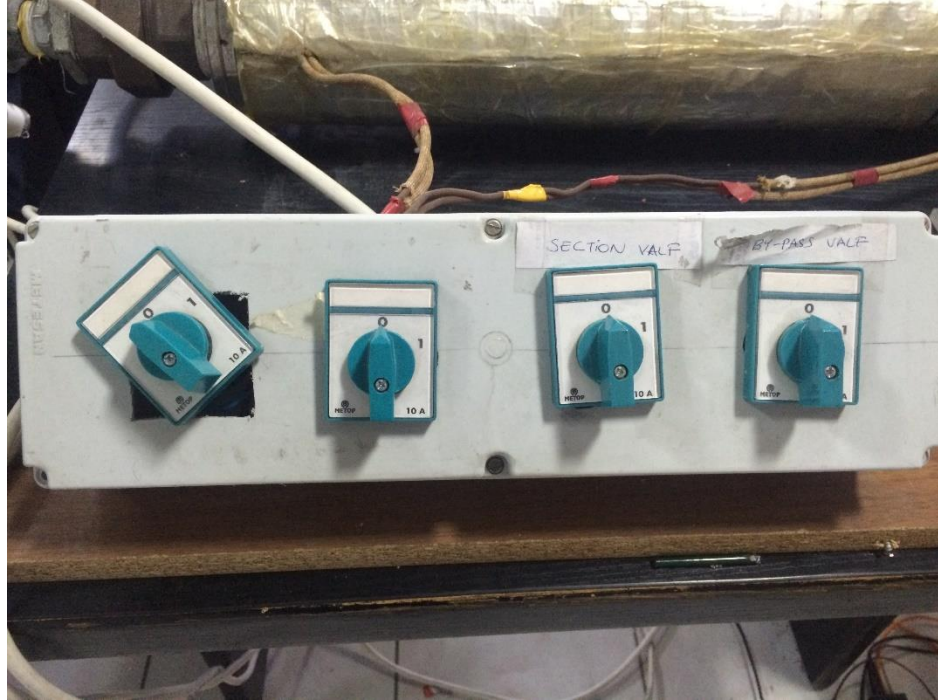
Şekil 4.9. Deney düzeneğinde kullanılan ısıtıcılar ve reosta



Şekil 4.10. Deney düzeneğinde kullanılan reosta

4.3.7. Kontrol paneli

Isıtıcılar ve valflerin kontrol edilebilmesi ve gerektiğinde açılıp kapatılması için kontrol panosu yapılmış ve anahtarların bu panelin üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.11. Deney düzeneğinde kullanılan kontrol paneli

4.3.8. Debimetre

Yapılan deneylerde debi miktarını ölçebilmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Deney düzeneğinde kullanılan debimetre

4.3.9. Dijital video kamera

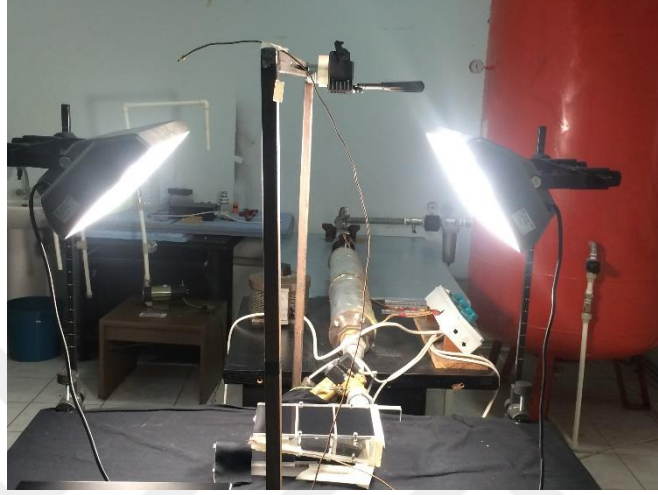
Deney esnasında meydana gelen renk değişimini kayıt altına almak için kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Deney düzeneğinde kullanılan dijital video kamera

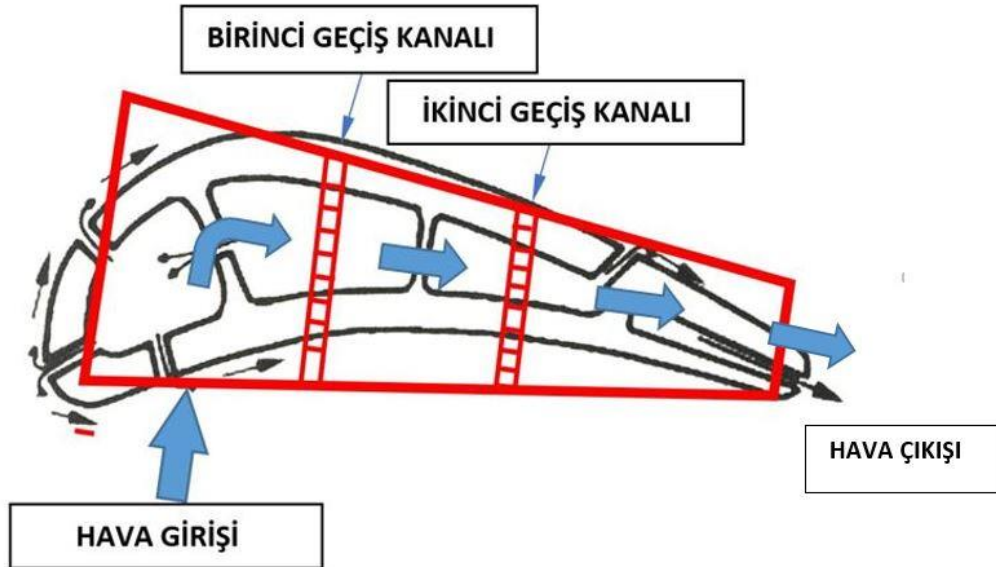
4.3.10. Işıklandırma sistemi

Deney sırasında gözlenen renk değişimi dijital video kamera yardımı ile kayıt altına alınırken ortam ışıkları kapatılarak sadece ışıklandırma sistemi kullanılır.

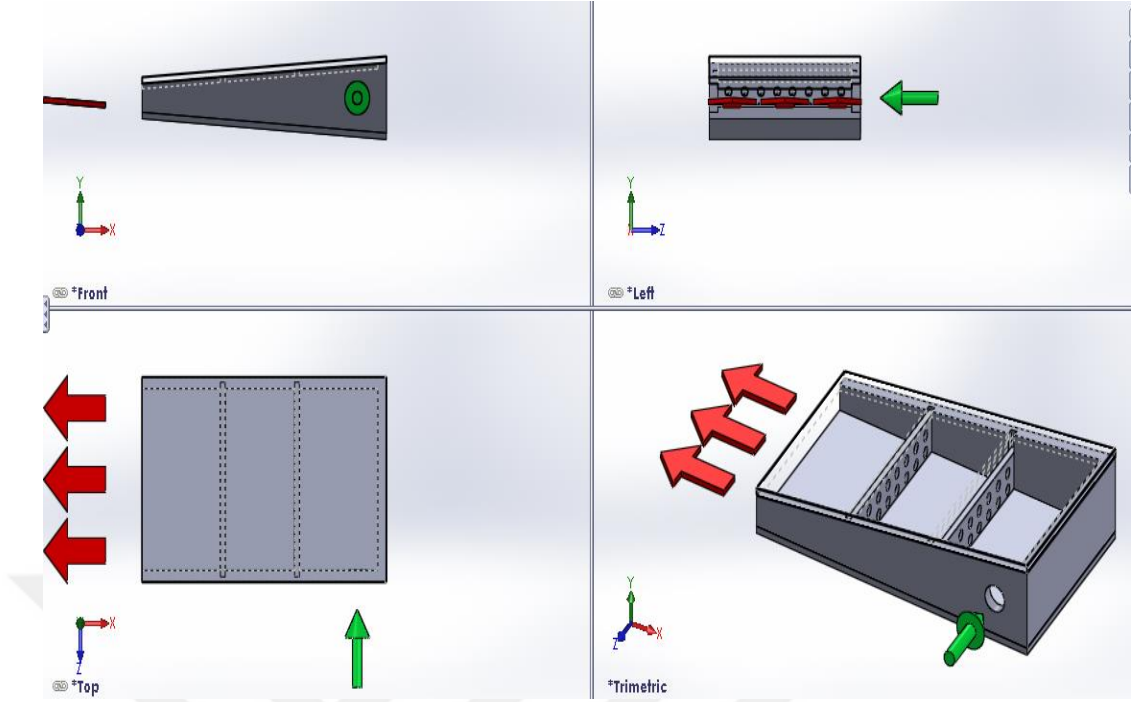


Şekil 4.14. Deney düzeneğinde kullanılan ışıklandırma sistemi

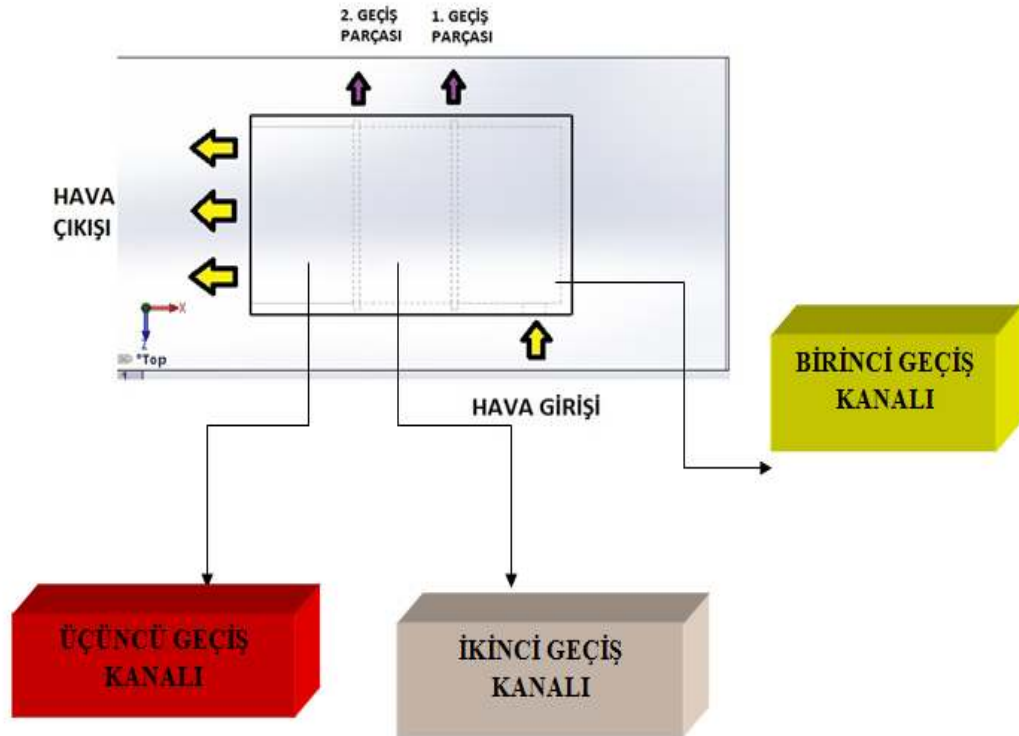
4.4. Deney Modeli



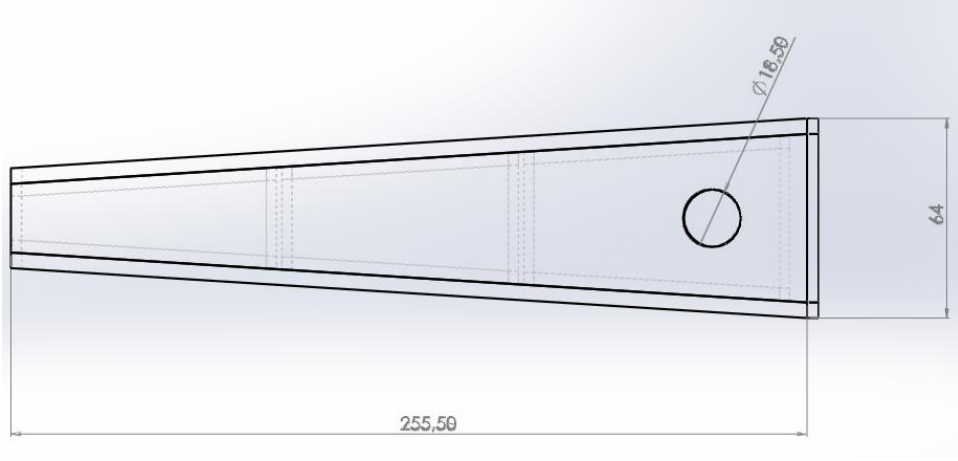
4.15. Deney modeli



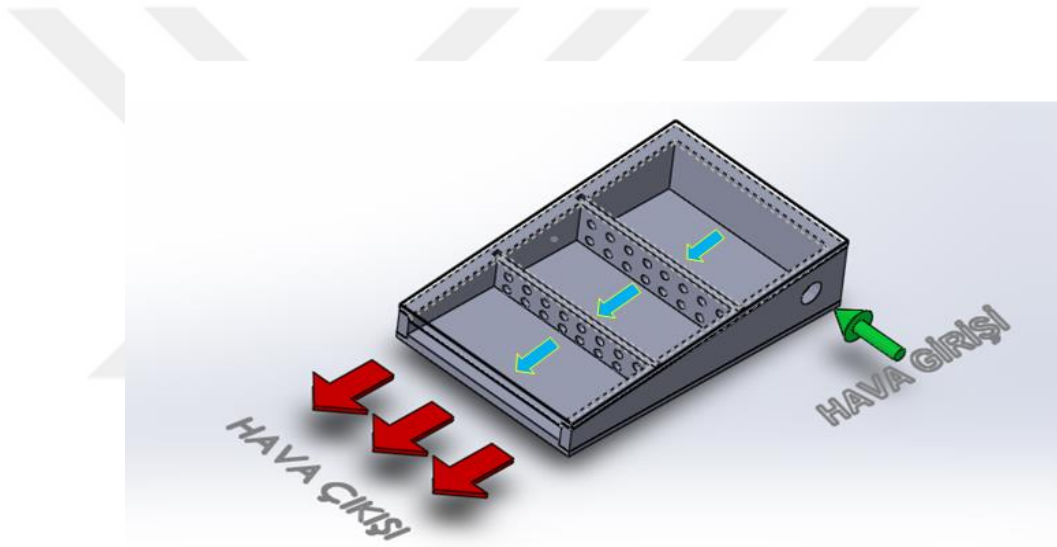
Şekil 4.16. Modelin ön, sol, üst ve üç boyutlu görünüşü



Şekil 4.17. Modelin üst görünüşü



Şekil 4.18. Modelin yan görünüşü



Şekil 4.19. Modelin üç boyutlu görünüşü

Bu çalışmada gaz türbin kanatları içerisindeki üç geçişli bir soğutma kanal modeli oluşturulmuştur. Geçiş kanalları arasında dairesel ve kare delikli geçiş parçaları kullanılarak soğutma performanslarının değişimi deneysel olarak araştırılmıştır. Üç geçişli dikdörtgen kanallar üzerinde dairesel ve kare kanallar için ısı transferi katsayısı ve sıcaklık dağılımının değişiminin farklı debilerde ölçülmüştür.

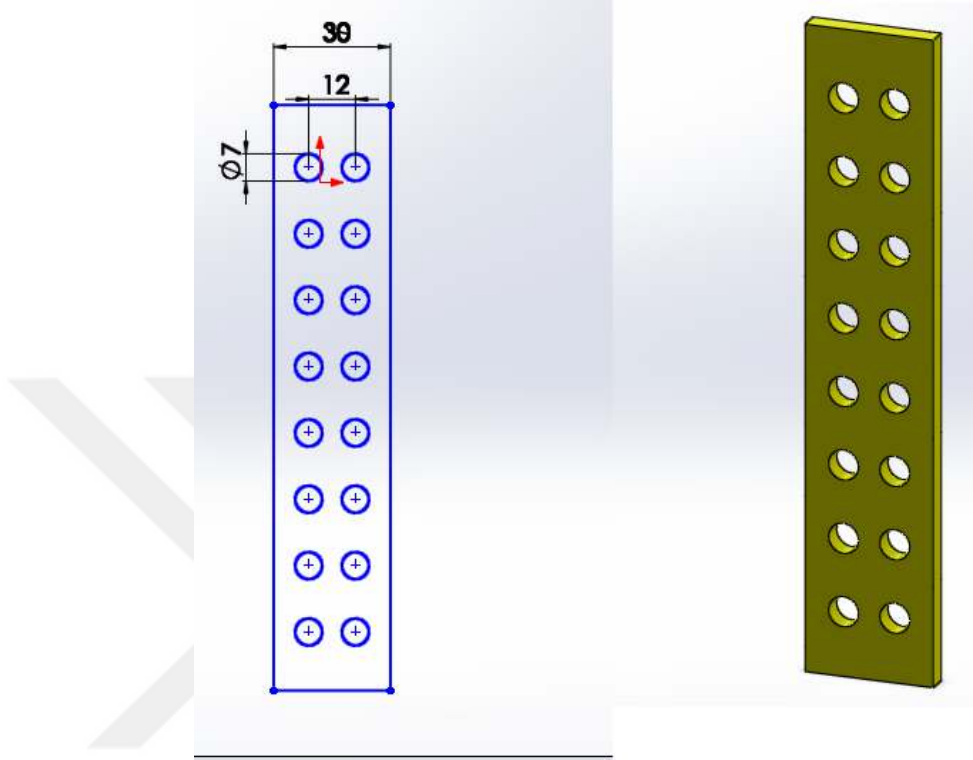
Deney modeli olarak 255mmx150mm boyutlarında dikdörtgen giriş kısmı 65mm yüksekliğinde çıkış kısmı ise 20 mm çıkışı yüksekliği olan yamuk şeklindedir. Şekil 4.14.'daki model üzerinde 3 farklı bölge oluşturulmuştur. Bu bölgeler kanat hücum

kenarı, kanat orta kenarı ve kanat kuyruk kenarı şeklinde düşünülmüştür. Modelin 1. bölgesine 18.5 mm çapındaki bir dairesel kanaldan sabit sıcaklıkta ve sabit basınçta kanala dik olarak hava girişi olmaktadır. Giren hava ilk olarak 1. geçiş bölgesinde bulunan 150 mm-40mm boyutlarında ve et kalınlığı 5mm olan geçiş parçası üzerindeki kare ve dairesel deliklerden geçerek 2. geçiş kanalına ve bu kanal sonunda bulunan 2. geçiş parçası olan 150mm-30mm boyutlarında ve et kalınlığı 5mm olan 2. Geçiş parçası üzerindeki dairesel ve kare deliklerden geçerek ortama gönderilmektedir. Şekil 4.9.'da Modelin üç boyutlu hali gösterilmektedir. Deney modeli içerisindeki kanal geçişlerinde kullanılan parçalarının dört farklı konfigürasyonda tasarlanmıştır.

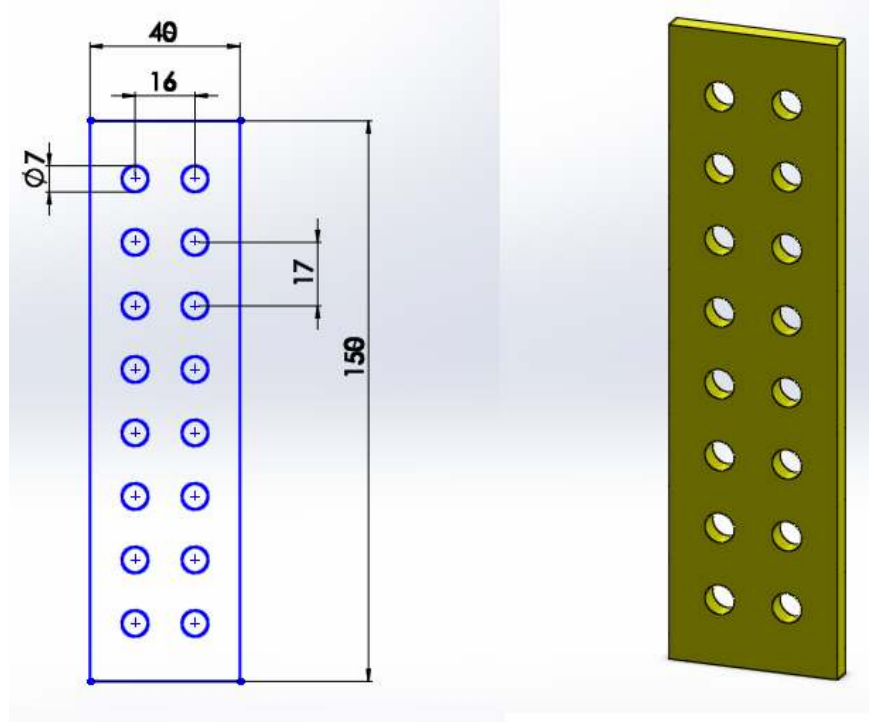


4.4.1. Deney modelinde kullanılan geçiş parçaları

4.4.1.1. İki sıralı dairesel delikli geçiş parçası

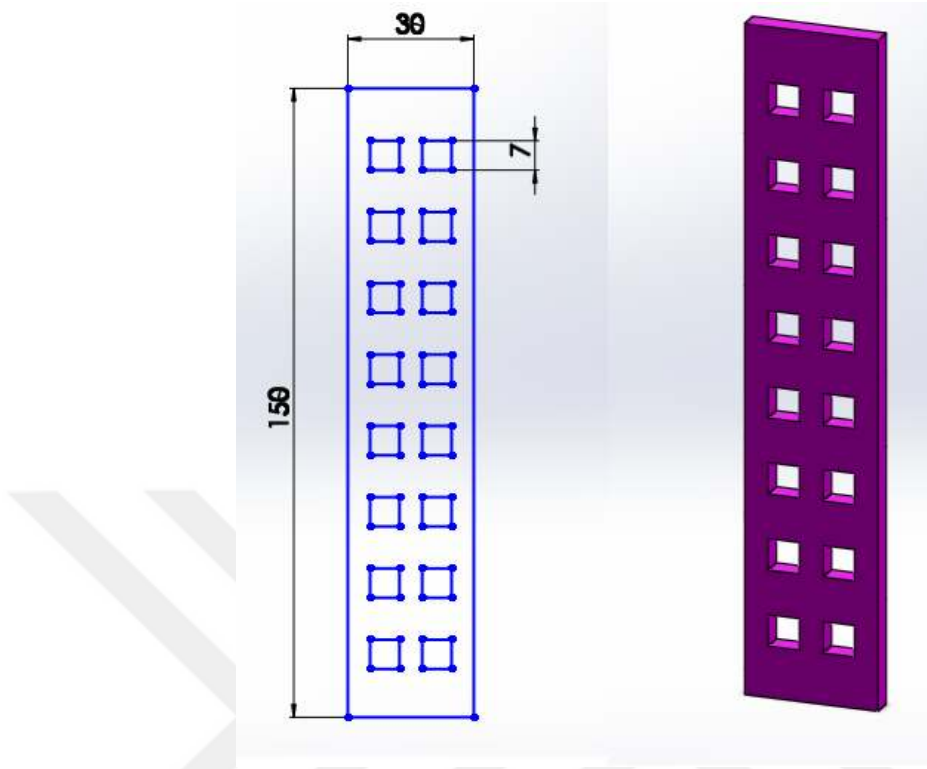


Şekil 4.21. İki sıralı dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 1. geçiş parçası

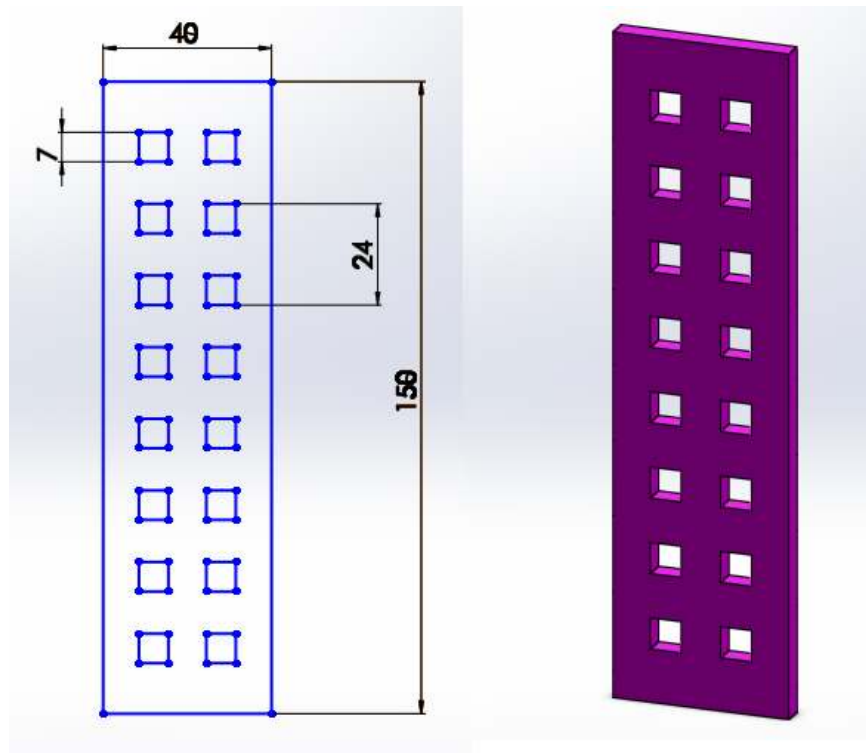


Şekil 4.22. İki sıralı dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 2. geçiş parçası

4.4.1.2. İki sıralı karesel delikli geçiş parçası

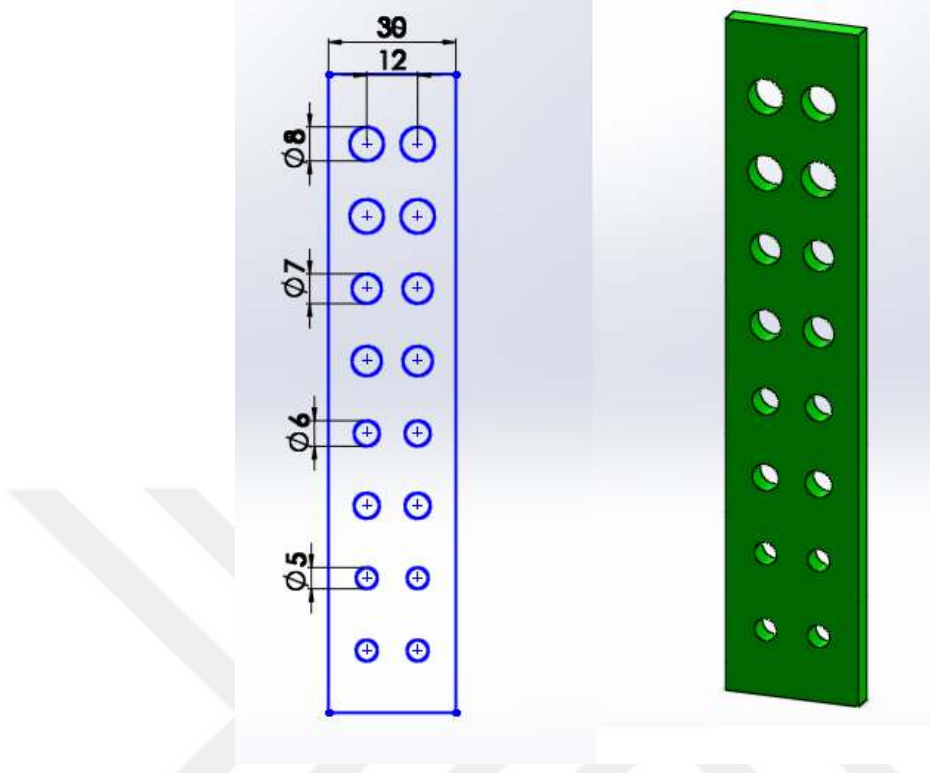


Şekil 4.23. İki sıralı karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 1. geçiş parçası

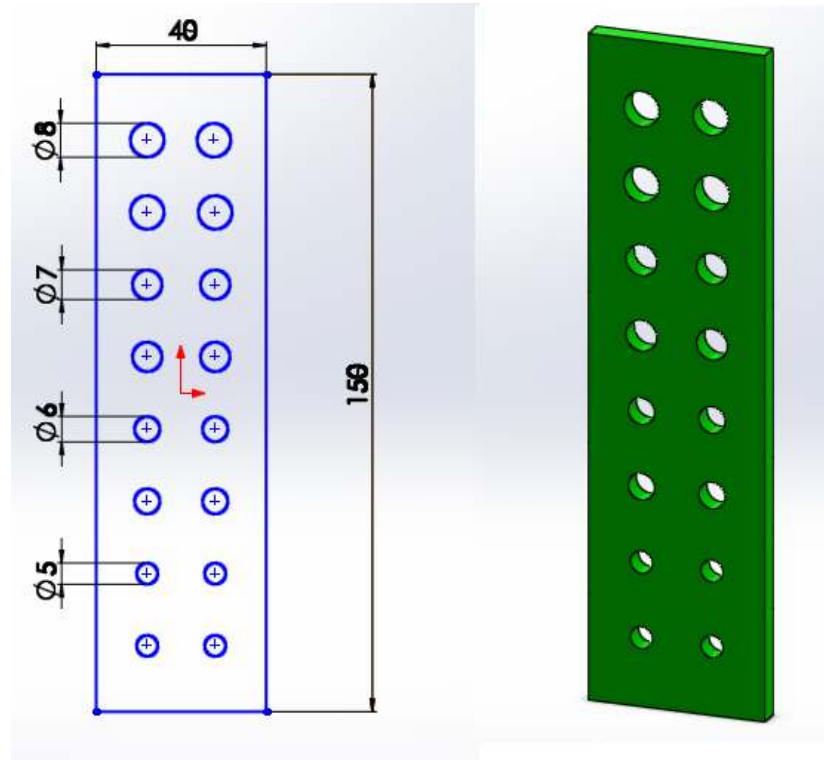


Şekil 4.24. İki sıralı karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 2. geçiş parçası

4.4.1.3. İki sıralı daralan dairesel delikli geçiş parçası

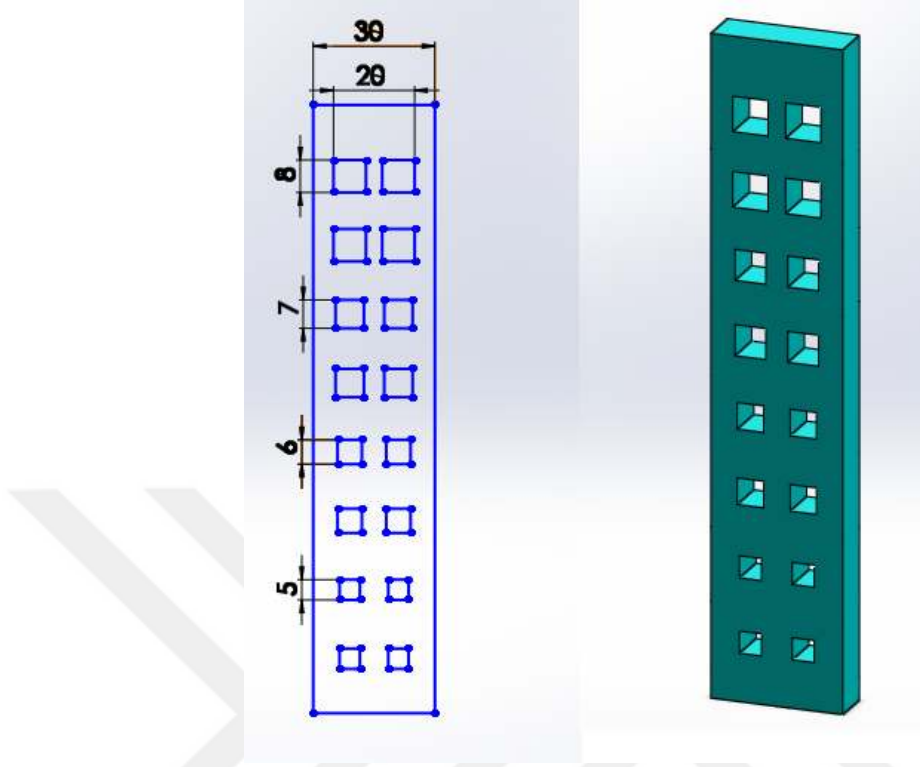


Şekil 4.25. İki sıralı daralan dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntüsü 1. geçiş parçası

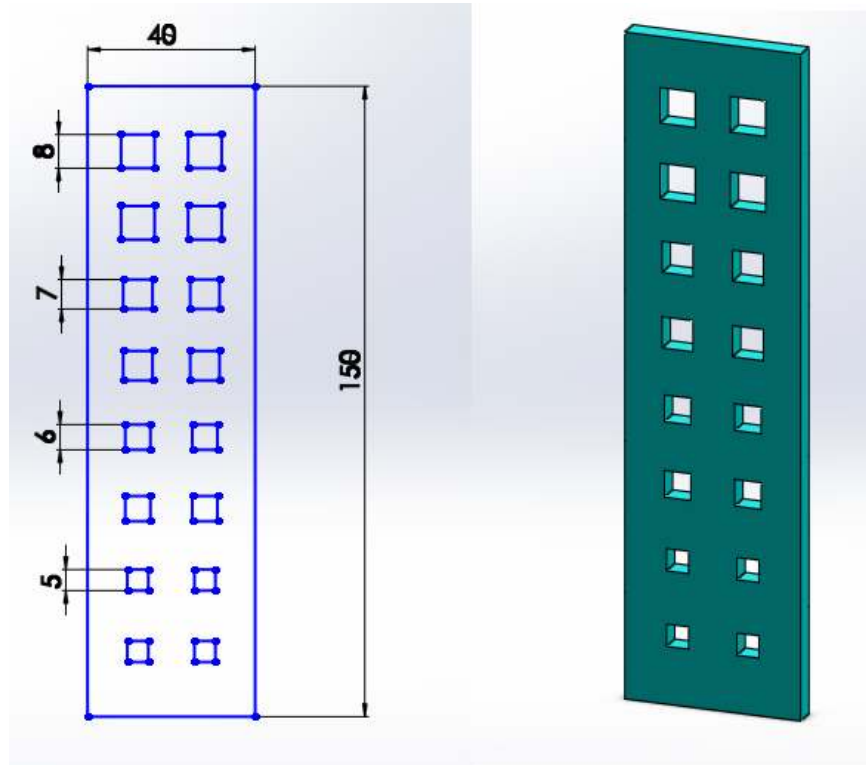


Şekil 4.26. İki sıralı daralan dairesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntüsü 2. geçiş parçası

4.4.1.4. İki sıralı daralan karesel delikli geçiş parçası

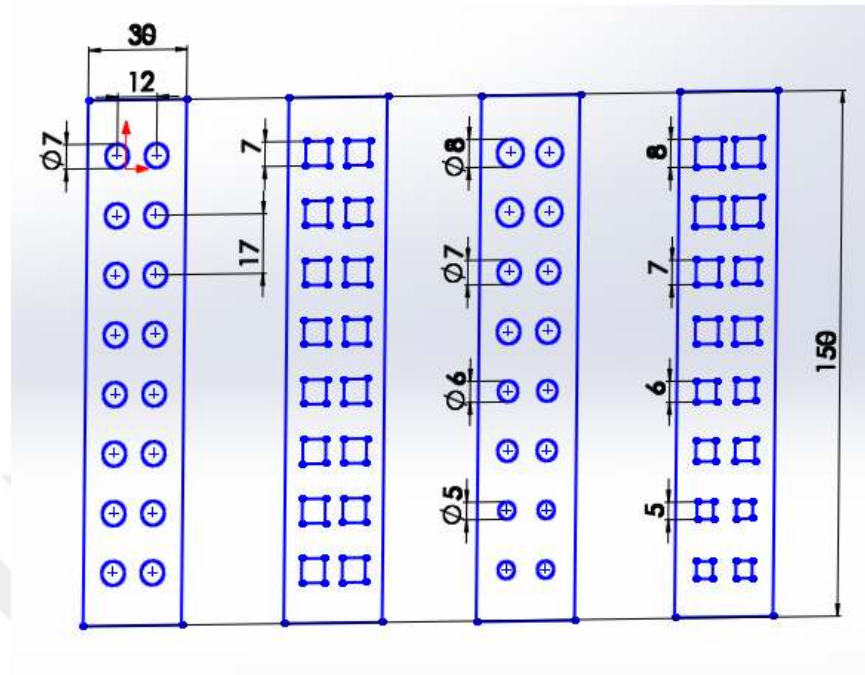


Şekil 4.27. İki sıralı daralan karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 1. geçiş parçası

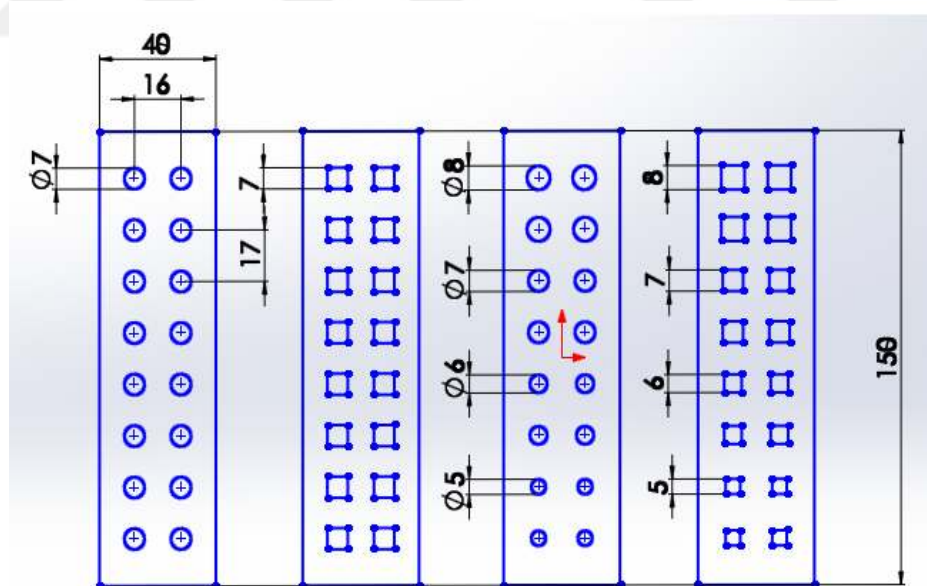


Şekil 4.28. İki sıralı daralan karesel delikli geçiş parçasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşü 2. geçiş parçası

4.4.2. Geçiş parçalarının karşılaştırılması



Şekil 4.29. 1. Geçiş parçaları



Şekil 4.30. 2. Geçiş parçaları

4.5. Sıvı Kristal Termografisi (TLC)

4.5.1 TLC giriş

Son yıllarda özellikle Avrupa ve Amerika’da ısı transferi uygulamalarında, sıcaklık ölçümleri için görsel sıvı kristal tekniği geliştirilmiştir. [Not: Bundan sonra zaman zaman kısaltma amacıyla LC (liquid crystal) veya TLC (thermocromic liquid crystal) denilecektir.]

LC maddesi kimyasal sıvı bir karışımdır ve yüzeye ince bir film şeklinde püskürtülür. Yüzeyde kuruduktan sonra akım yönünde herhangi bir bozucu ve direnç etkisi meydana getirmeksizin sıcaklık ölçümlerine olanak sağlar. LC, yüzeyin sıcaklığına göre renk verebilmektedir. Böylece elde edilen renklere göre yerel sıcaklıklar ölçülmüş olur. Sıcaklık-renk tepkimesi bir kamera ya da fotoğraf makinesiyle görsel olarak kayıt edilebilir.

4.5.2. TLC kullanım alanları

Çeşitli araştırmacılar; sıcaklık görüntülemeye TLC ısıl grafik tekniğinin uygulanışını, TLC malzemelerinin yapısını, özelliklerini, sınıflandırılmasını, kalibrasyonunu, nitel ve nicel ölçüm sonuçlarının elde edilmesini, türlerini, avantajlarını ve kullanım sınırlarını anlatan raporlar hazırlamışlardır. TLC sıcaklık tespitinde kullanılmış, bunun yanında TLC kullanarak akışın görüntülenmesi yapılmıştır. Bazı çalışmalarda TLC ‘in özellikle elektrik alanında kullanılması incelenmiştir. Bazı mikro devrelerde, multi tabaka devre kartlarında, yarı iletken cihazlarda ve diğer elektronik bileşenlerde özellikle soğuma karakteristiklerinin tespitinde bir sıcaklık ölçme tekniği olarak TLC bileşenlerinin kullanılışı araştırılmıştır.

LC yöntemi yüzeyden ısı akışını kontrol etmenin bir yolu olarak da kullanılmıştır. Elektriksel alandan dolayı konvektif hareket oluşması durumunda ortaya çıkan fiziksel olay tartışılmıştır. Bir başka çalışmada ise; taşınım ile ısı transferine LC

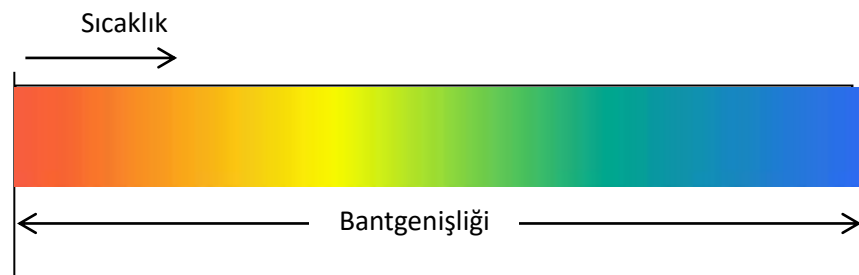
teknikinin uygulanması incelenmiştir. TLC kullanılarak, zorlanmış taşınımli bir ortama yerleştirilmiş olan ısıtılmış nesnelerden elde edilen ısı transferinin ve akışkan akışının nitel ve nicel görüntü tespitleri yapılmıştır.

TLC 'in diğer bir geniş kullanım alanı ise yüzeye çarpan jetler olmuştur. Richards & Richards, buharlaşmakta olan su damlacıklarının kuru hava jetine maruz kalması esnasındaki anlık soğumayı inceledikleri çalışmalarında TLC kullanmışlardır. Goldstein ve Timmers, tarafından yapılan deneysel çalışmada tek veya çok sıralı jetlerin düz bir levha üzerine normal yönde çarpması halinde yerel ısı transfer katsayılarını bulmak için bir görüntü tekniği kullanılmıştır. Bilen ve arkadaşları, uzun bir borudan çıkan türbülanslı dönel hava jeti ile yaptıkları deneylerde; çeşitli jet açısı ve Re değerlerinde TLC'in yüzey sıcaklığına göre renk değiştirme özelliğinden faydalanarak yerel sıcaklıkları ölçmüşlerdir.

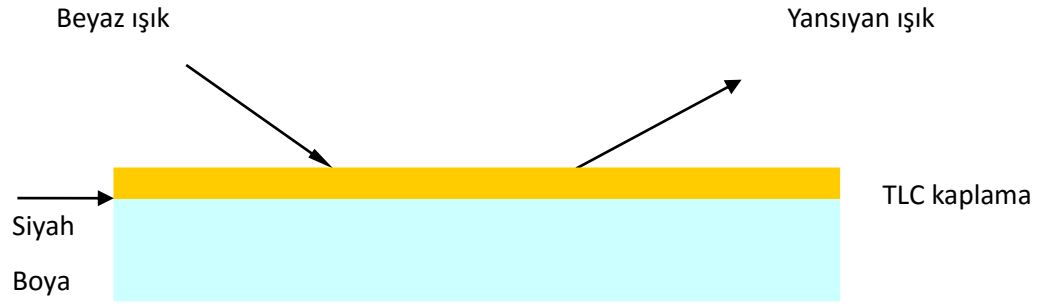
4.5.3. Sıvı kristalin yapısı

Doğada bazı organik maddeler, katı sıvı ve gaz fazının dışında dördüncü bir faz özelliği gösterirler. Bu faz durumunda; bu tip maddeler katı ve sıvı özelliklerinin bir karışımına sahiptir. İlk olarak 1988 yılında Avusturyalı Botanist F.R. Reinitzer, cholesteryl benzoate adlı organik maddenin, atmosferik basınçta ve 145°C sıcaklıkta aniden katı fazdan bulanık bir sıvıya dönüştüğünü ve sıcaklığın artması ile bu bulanık sıvının 178°C sıcaklıkta aniden berrak bir sıvıya dönüştüğünü gözlemiştir. İki yıl sonra Gatterman p-azoxyanisole ve p-azoxyphenetole adlı maddelerin de aynı davranışı gösterdiğini açıklamıştır. Bir süre sonra Alman fizikçi O. Lehmann, bulanık görünümlü ara fazın, cholesteryl benzoate kristale benzer molekül sel yapıya sahip alanlar içerdiğini göstermiştir. Bu bulanık sıvılarda dikkati çeken bazı özellikler vardır. Bunlar diğer sıvılar gibi akıcı olup bulundukları kabın şeklini almalarına karşılık, katı kristaller gibi polarize ışıktaki çift kırılma özelliğine sahiptir ve girişim renkleri verebilmektedir. Hem katı hem de sıvı özellikleri aynı anda taşıdıklarından bunlara termokromik sıvı kristal (TLC) adı verilmiştir.

TLC 'in ara fazına mezomorphic faz veya sadece mezophaze denir. Bu ara faz belli organik bileşikler için karakterize edilir. Bu ara fazda moleküller dizili olmalarına rağmen hareketlidir. Ara fazın üç farklı çeşidi vardır. Bunlar: smectic, nematic ve cholesteric olarak adlandırılırlar. TLC, üzerine gelen ışığa karşılık spektrumdaki renkleri sırayla gösterir. Çoğu karışımlar, sıcaklık arttığı zaman renksizlikten, kırmızı renge dönüşür ve yüksek bir sıcaklıkta tekrar renksizliğe dönmeden evvel spektrumundaki renkleri peş peşe gösterir. Renk değişikliği tersinirdir, yani soğuma sırasında ısıtmada olduğu gibi TLC renklerini bu sefer de tersten başlayarak gösterebilir. Sıcaklığa göre sadece tek bir renk gösteren karışımlar da yapılabilir. TLC 'in -30°C ile 100°C arasındaki sıcaklık aralığını kapsadığı belirtilmiştir. Esas olarak bir TLC; saf katı ve saf sıvı fazları arasındaki bir maddenin termodinamik fazıdır ve belirli şartlar altında bazı organik bileşenlerden ortaya çıkar. TLC 'in görünür ışığı yansıtmaya başladığı sıcaklık (kısaca olay sıcaklığı denilebilir) altındaki tüm sıcaklıklarda TLC katı halde olacaktır ve saydam olarak görünecektir. TLC olay sıcaklığında iken beyaz ışıkla aydınlanan ve sabit optik şartlar altında görüntülenen TLC malzemesi görülebilir ışığın (yani rengin) eşdeğer olmayan dalga boylarını yansıtacaktır. TLC 'in şerit genişliği boyunca sıcaklık arttığı zaman TLC 'in yansıyan rengi de değişecektir. Son olarak, sıcaklık TLC 'in netlik-noktası sıcaklığını (TLC'nin görünür ışığı yansıtmayı durdurduğu noktadaki sıcaklık) aşarsa, malzeme saf sıvı haline geçer ve tekrar saydam hale geri döner. Bu özellik seçici yansıma özelliğidir (TLC sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ışığın özel bir dalga boyunun kırılması) ve çoğu TLC 'lerde hem ısıtmada hem de soğutmada çok az hatayla ortaya çıkar.



Şekil 4.31. Renk değişim skalası (Uysal, 2005)



Şekil 4.32. TLC Kaplamalı Yüzey (Uysal, 2005)

4.5.4. Sıvı kristallerin sınıflandırılması

TLC' ler ticari olarak piyasada iki türlü bulunur. Bunlardan ilki çeşitli firmalar tarafından geliştirilmiş kendinden yapışkanlı, sayısal göstergeli şeritlerdir. İkincisi ise özel kaplarda saklanan sıvı kristal malzemedir.

Özellikle şerit şeklindeki bir TLC'in kimyasal yapısı yani renk-sıcaklık tepkimesi TLC üretimi esnasında düzenleyici tarafından verilen basit TLC formülasyonu ile açıklanabilir. Nicel uygulamalar için, seçilen bu formülasyonlar faydalı olabilir. Örneğin "R35C5W" sık kullanılan bir TLC formülasyonudur. "R35C'nin anlamı kırmızı renk (R=red) olay sıcaklığında yani 35°C 'de başlıyor demektir. "5W" mavinin başlama sıcaklığının, kırmızıdan 5°C yukarıda olduğunu gösterir bu da kullanıcıya şerit aralığını formülasyonlardan kolayca belirlemeyi sağlar. Dar-şeritli TLC formülasyonları 1 ya da 2 °C 'nin altında şerit genişliğine sahip iken, geniş-şerit formülasyonları 5°C ila 25°C arasında şerit genişliğine sahiptir .

TLC 'den yararlanmada bazı sınırlamalar vardır. Bunlardan birincisi; eğer TLC, çevre havası etkisinden korunmamış ise kirlenmesi sonucunda yapısı değişebilir. İkincisi TLC ara fazda, yani mezophaze 'da ise sıvı haldedir ve sıvı olan bu maddeye toz zerrecikleri kolayca yapışabilir, bu da TLC 'in bazı özelliklerini etkileyebilir. Bu iki nedenle TLC 'in her iki etkiye karşı çok iyi korunması gerekir.

Bu etkilerle mücadele etmek için iki üretim tekniği geliştirilmiştir. Bunlar mikro kapsüller ve polimer dağılımdır.

Mikrokapsüller (ME) “National Cash Register” şirketi araştırmacıları 1970’li yılların başlarında mikro kapsüllü TLC tekniğinin gelişmesine öncülük etmişlerdir. Mikro kapsül, ham TLC malzemesini 5–10 mikron çaplarında kapsüller içerisinde sararak koruma yöntemidir. Su esaslı tutkal malzemenin içinde asılı duran mikro kapsüllü TLC formülasyonları hemen hemen tüm uygulamalarda kullanılabilir. Mikro kapsül yöntemi kimyasal kirlenmeye karşı muhteşem bir direnç sağlar. Ayrıca iyi bir radyasyondan korunma yöntemidir. Ancak yine de, ME-TLC ‘leri hazırlarken ve uygularken özel bir dikkat gerekir. Özellikle TLC ‘den gelen yansıyan ışığın aşırı inceltilmesi ve tutkal ile mikro kapsüllerin birbirinden ayrılması gibi problemler bertaraf edilmelidir.

Polimer Dağılım (PD): Polimer dağılım TLC malzemesinin sürekli dökümü veya tabakalaşma üretimini kolaylaştırmak için araştırmacıların orijinal olarak geliştirdikleri bir yöntemdir. Yöntem kimyasal olarak saf manomer esaslı TLC malzemesini katı polimer esaslı matrise dağıtır. Bu yöntemin bir faydası TLC ‘den yansıyan ışığın gerçekte şeffaf olan polimer malzemesinden dolayı daha az incelmesidir. Bu özellik; ham TLC malzemesinin daha parlak renk tepkisi karakteristiklerini korur. Ancak PD-TLC ‘lerin kullanımı şu nedenlerden dolayı sınırlıdır:

1. Püskürtmeli ortamlarda kullanılışı uygun değildir, yalnızca düzlem yüzeylerde kullanılabilirler.
2. İmal edilen levhanın kesilmiş bir kısmı kullanıldığı zaman kimyasal kirlenme PD- TLC yüzeyini bozacağından dolayı oluşan köşe etkileri PD-TLC ‘lerin kullanım alanını sınırlar.

4.5.5. Sıcaklık görüntüleme teknikleri

TLC 'ler ile sıcaklık ölçülmesi için iki yaklaşım vardır. Birinci yaklaşımda TLC cisim üzerine sürülür ve cisim üzerindeki sıcaklık dağılımı görünür hale gelir. Dış etkilerden bozulmaması için sürülen TLC 'in üzeri polivinil alkol ile kaplanır. Bu prensibe dayanan ve firmalar tarafından geliştirilmiş kendinden yapışkanlı sayısal göstergeli TLC şeritler değişik yerlerde kolayca kullanılabilirler TLC'li ikinci tip sıcaklık ölçerlerde, cisimlerden yayılan kızıl ötesi ışınlar, TLC ile temasta olan ve kızıl ötesi ışınları absorbe eden bir levha üzerine düşürülür. TLC kısmının gözlenmesi ile cismin sıcaklık profili rahatça izlenebilir. Sıcaklık kontrollü bir hacmin iki tarafındaki pencereden biri kızıl ötesi ışınları geçirebilen malzemeden yapılmıştır. Diğer pencere ise görünen aralıkta ışık dalga boylarını geçiren bir camdan yapılmıştır. Bu iki pencere arasına ve bunlara paralel olarak TLC'li eleman yerleştirilmiştir. Bu eleman, 5mm kalınlıkta polyester bir levhadır. Bu levhanın ışınım düşen tarafına kızıl ötesi ışını yutan 1 - 3mm kalınlıkta altın veya nikel malzeme, diğer tarafına ise 10 mm kalınlığında TLC malzeme kaplanmıştır. Altın veya nikel kaplama çok ince olduğundan arkasından bakıldığında saydam olarak görülebilmektedir. Cisimden gelen kızıl ötesi ışınlar, bu yutucu yüzey üzerine düştüğünde oluşan sıcaklık farkları gözlemci tarafından TLC'den izlenebilir.

TLC ile sıcaklık ölçümünü yardımcı gözlem aparatları kullanıp kullanmamaya göre iki gruba ayırabiliriz.

4.5.5.1. Nitel sıcaklık görüntüleme tekniği

Birçok sıcaklık görüntüleme uygulaması yalnızca nitel bilgiye gereksinim gösterir. Nitel ölçüm en basit ifadeyle TLC'in yansıttığı renklerin insan gözüyle incelenmesi ve renklere tekabül eden sıcaklıkların uygun bir kalibrasyonla belirlenmesi esasına dayanır. TLC kaplı yüzeyin renk görüntüsünün kameraya çekilerek gözlenmesi uygulamalarda ucuz ve kolayca yerine getirilebilen bir tekniktir.

4.5.5.2. Nicel sıcaklık görüntüleme tekniği:

Nicel ölçüm; renk-sıcaklık tepkimesinin tespit edilmesinde görüntüleme-aydınlatma cihazı kullanmayı gerektirir. Nicel LC termografik uygulamalarında ya dar-şeritli ME-TLC formülasyonu (1°C - 2°C aralığında renk tepkimesi verebilen şeritler) ya da her biri farklı olay sıcaklıklarına sahip birden fazla dar-şeritli TLC 'lerin karışımı kullanılır. Böylece bir dar-şeritli ME-TLC formülasyonu ve basit bir görüntü üretim sistemi kullanarak yüksek doğrulukta nispi sıcaklık ölçümleri yapılmasına izin verir. Dar-şeritli TLC 'leri kullanmaya bir alternatif tekli geniş-şeritli TLC (5 ve 20°C aralığında renk tepkimesi verebilen şeritler) kullanarak tekli görüntüden izoterm numunelerini haritalamaktır. Bu geniş-şerit tekniği cisimler büyük sıcaklık değişimine sahip olduğunda çok yararlıdır. Bilindiği gibi renk sübjektif bir kavram olduğundan onu saymak çok zordur. Nicel TLC uygulamalarında kullanılan modern makine vizyon sistemleri insan gözünün çıkıntı ve koniklerinin rengi kırmızı, sarı ve mavi ana renklerinin (RGB) bileşimine ayrıştırma özelliğini esas alarak doğal üçlü renk ayrışmasını gerçekleştirmek istiyorlar. Bu sistemlerde her bir görüntüde uygun renk tepkimesini üretmeye uygun miktarda kırmızı, sarı ve mavi depolanır. Ancak bu şekilde yükleme TLC termografik için çok etkili değildir. Çünkü bir TLC termografisinde her bir noktadaki sıcaklığı yorumlayacak üç renge (kırmızı, sarı ve mavi) ihtiyaç vardır. Ayrıca bu sistemlerin ideal olmayan optik şartların mevcut olması durumundaki uygulamalarda kullanılması zordur. Yine de, son gelişmeler standart RGB vizyon modeli esaslı TLC termografik için özel olarak tek değerli renk tanımlayıcılarını çok sağlam bir şekilde üretmişlerdir.

4.5.6. Renk-sıcaklık tepkimesi kalibrasyonu

4.5.6.1. Doğrudan kalibrasyon yöntemi

TLC 'in hakiki renk-sıcaklık tepkimesi, ölçme sisteminin kendisi olan tepkimeyi etkileyebilecek durumdadır. Bu etkiyi belirlemenin en kolay yolu TLC ile renk ölçme sistemi tepkime karakteristiklerini yerinde doğrudan kalibre etmektir. Bu yöntem, ilgilenilen yüzey alanının üstünde ya da yakınında TLC sıcaklığını kontrol etmeyi veya ölçmeyi bertaraf ederek, deney cihazının hazırlanmasını öngörür.

4.5.6.2. Müteakip-izoterm yöntemi

Test yüzeyini ve TLC' yi, TLC olay sıcaklığına getirerek veri toplama işi başlatılır. Daha sonra yüzey renk görüntüsü alınır ve ortalama renk değeri hesaplanır ve test yüzeyi sıcaklığıyla beraber hafızaya alınır. Netlik noktası sıcaklığına ulaşınca kadar daha yüksek sıcaklıklarda tekrar edilir. Kontrol etmesi kolay gibi gözükse de bu yöntem zaman alıcıdır ve zayıf renk-sıcaklık çözünürlüğü vardır.

4.5.6.3. Gradyan yöntemi

Müteakip-izoterm yöntemini tamamlamaya çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemde aynı doğrusal sıcaklık gradyanında olduğu gibi TLC malzemesine bir ölçülebilir renk-sıcaklık dağılımı konur. Gradyan tekniği tam yürütüldüğü zaman, tek bir renk görüntüsü kullanan TLC için tüm renk-sıcaklık tepkimelerinin temsil edildiği durumun aksine daha süreklidir.

4.5.7. Sıcaklık ölçümündeki hataların kaynakları

Sıcaklık ölçüm hatalarının etkilerini TLC termografik uygulamalarında tam olarak saymak olanağı yoktur. Bunun nedeni; çoğunlukla olası hata kaynaklarının çok sayıda olması ve bu hata kaynaklarının TLC termografik sisteminin ortalama sıcaklık ölçüm hassasiyeti üzerindeki etkilerinin fazla olmasıdır. Ölçüm hatalarının kaynakları genelde:

1. TLC malzemesinin uygulanmasında ve/veya hazırlanmasında uygun olmayan yüzey
2. TLC renk-sıcaklık yorumunun ve/veya kalibrasyonunun uygun olmaması,
3. Renk ve/veya sıcaklık ölçüm cihazı ile birleşen yerleşik hatalar şeklinde özetlenebilir.

Sıvı kristal ile sıcaklık ölçmenin çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Bunlar şöyle sıralamak mümkün olabilir:

1. İyi bir hassasiyet,
2. Hızlı ölçme zamanı,
3. İyi tekrarlanabilme,
4. Tersinir renk gösterebilme,
5. Kullanımda geniş sıcaklık aralığı,
6. Değişebilir renk gösterimi,
7. Uygulaması kolay,
8. Esnek ve düzensiz yüzeyler için çok iyi uygulanabilir,
9. Nispeten ucuz,
10. Renk gösterimi görsel olarak kayıt edilebilir,
11. Saklama ömrü sınırlı,
12. Doğruluğu (hassaslığı) kullanan kişiye bağlıdır.

4.5.8. Metodun teorisi

Isı transferi ölçümlerinde sıcaklığı izlemek için sıvı kristal kullanımı uygulaması kararlı (steady State) ve kararsız (transient) teknikler olarak sınıflandırılabilir. Steady State (Kararlı) Durum için uygulamada; steady state tekniği, yüzey sıcaklığını izlemek için sıvı kristal kullanan ısıtılmış bir model kullanır. Genellikle yerel ısı transferi katsayıları aşağıdaki denklemden elde edilir.

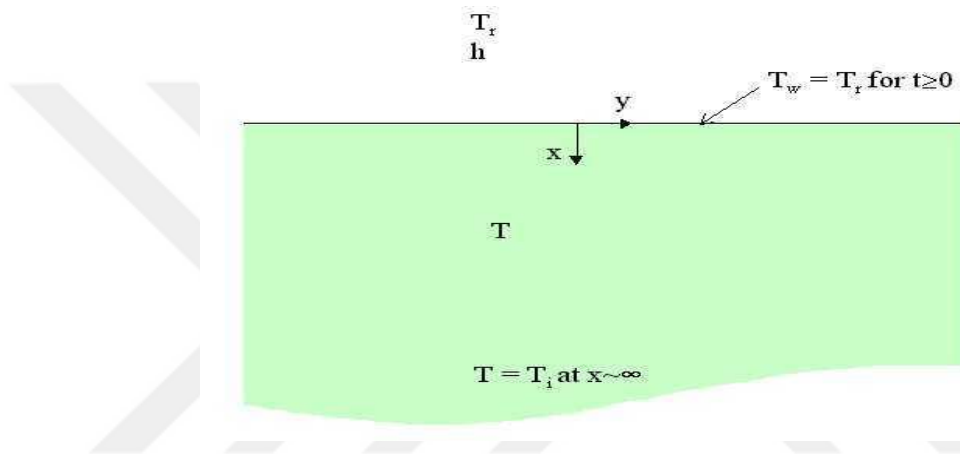
$$h = \frac{q}{T_r - T_w} \quad q = I^2 R \quad (4.1)$$

Burada h yerel ısı transferi katsayısını, I akımı, q bilinen ısı akısı, R ısıtıcının alanı başına düşen elektrik direncini, T_r , uygun yürütülen gaz sıcaklığını (örneğin hava sıcaklığı), T_w yerel yüzey sıcaklığını göstermektedir

Transient (Kararsız) durum için uygulanması; bu uygulamada yüzey ısıtıcısına gerek duyulmaz. Bu nedenle, eğer yüzey ısı akısına karşılık termal cevap biliniyorsa testte herhangi bir tür model kullanılması mümkündür. Genellikle test süresi içinde sıcaklık artışının model maddesinin içine nüfuz etmesi, model duvar kalınlığıyla

karşılaştırıldığında, küçük olduğu varsayılır. Böylece ısı iletiminin zamana bağlı madde içinde tek boyutlu ve kararsız olduğu düşünülebilir. Sıvı kristal ölçümlerinde kararsız durum zamanla yüzey sıcaklığının değişmesidir.

Lokal ısı transferi katsayısı TLC tekniği ile birlikte, yarı sonsuz katı modellerde tek boyutlu geçici ısı iletim çözeltisi Metzger and Larson [1986], Chyu et.al [1998] tarafından kullanılarak hesaplanmıştır. Yüzeydeki bir taşınım sınır şartı altında yarı sonsuz katının yüzey sıcaklığı (T_w), aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



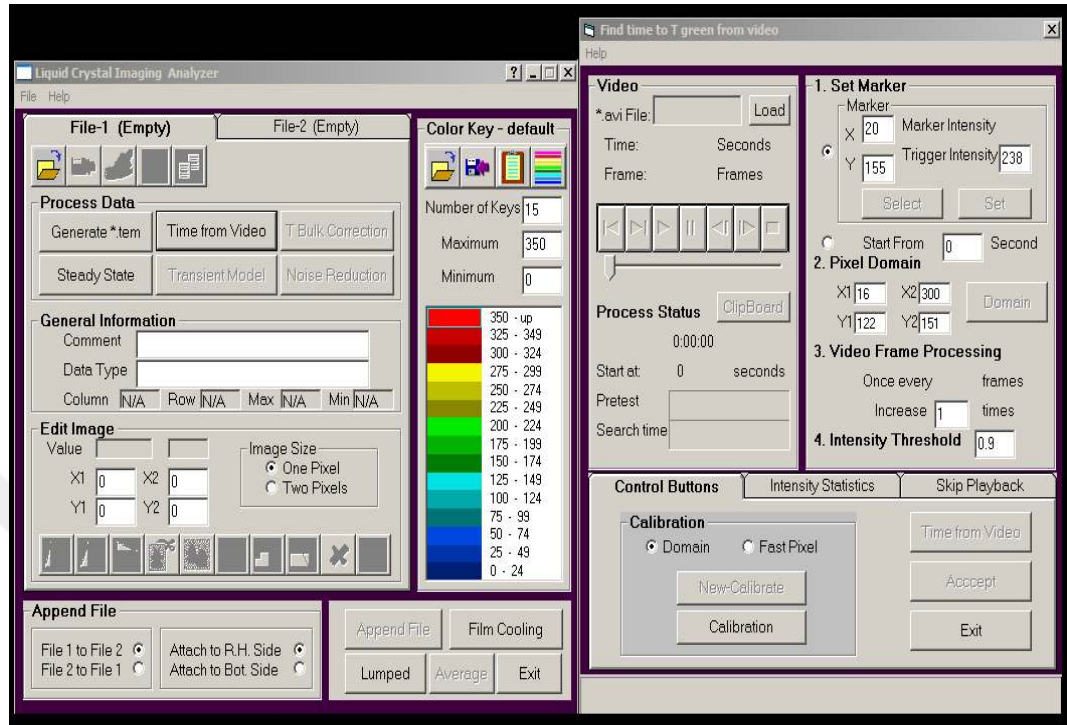
Şekil 4.33. Üç Sıcaklık Teorisi (Uysal, 2005.)

$$\frac{T_w - T_i}{T_r - T_i} = \exp\left(\frac{h^2 \alpha t}{k^2}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{h\sqrt{\alpha t}}{k}\right)$$

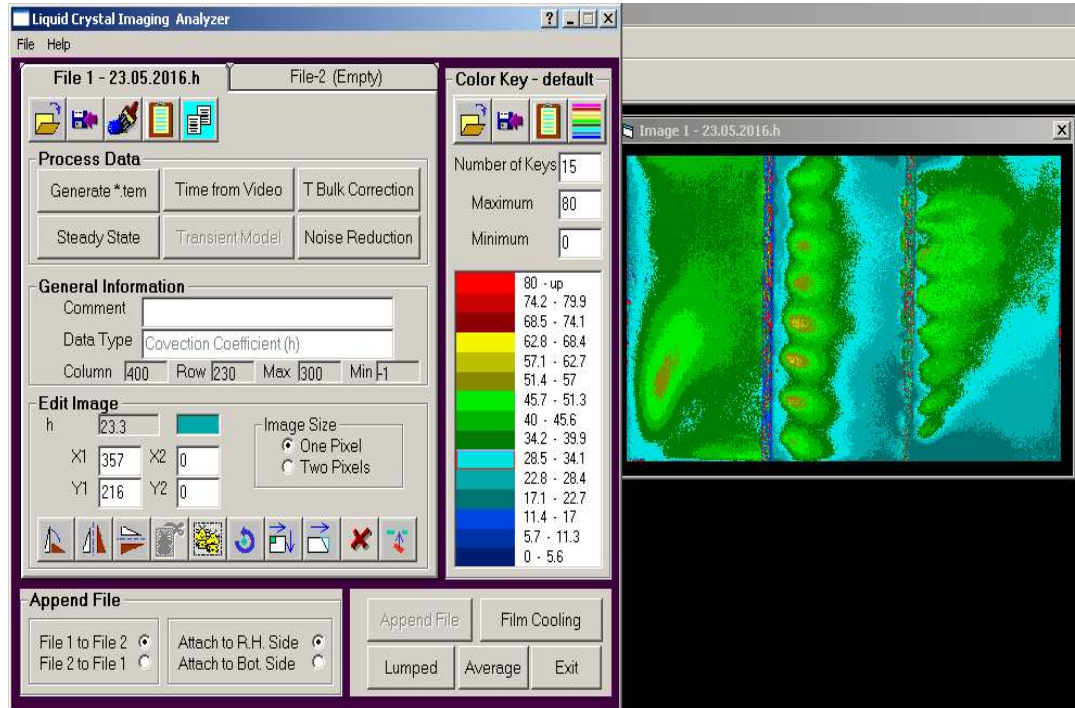
4.6. Liquid Crystal Image Analyser (LCIA) Yazılımı

LCIA yazılımı Pittsburgh Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü tarafından yazılmıştır. Bu yazılım yüzey ısı transferi katsayılarını saptamak için cholesteric (thermochromic) sıvı kristal görüntülerini kullanan bir veri indirgeme programıdır. LCIA, hem transient hem de steady state sıvı kristal tekniklerine uygulanabilir. İşlemci, 32-bit LCIA yazılımı ve yüksek nitelikli PCI renkli resim yakalayıcıdan oluşmaktadır. Windows® XP ya da NT ortamında çalışmaktadır. Resim yakalayıcı, videobandı ya da kameradan gerçek zamanlı görüntüleri yakalayıp bunları AVI

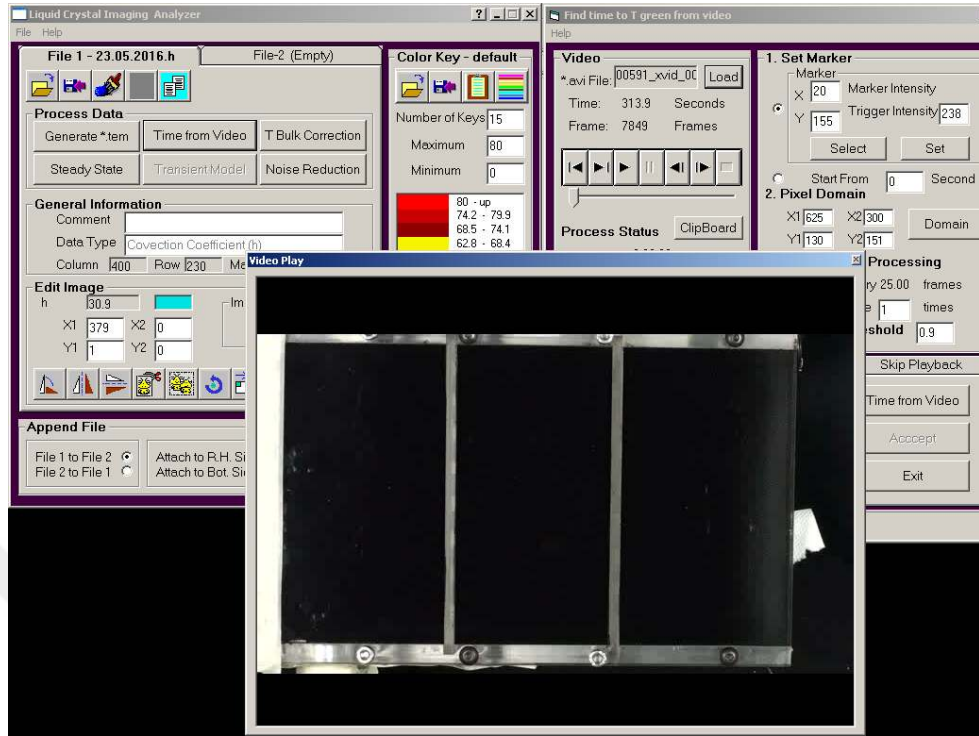
(audio-video-interleaved) dosyalarına dönüştürerek tüm test yüzeyindeki lokal ısı transferi katsayılarını elde etmektedir.



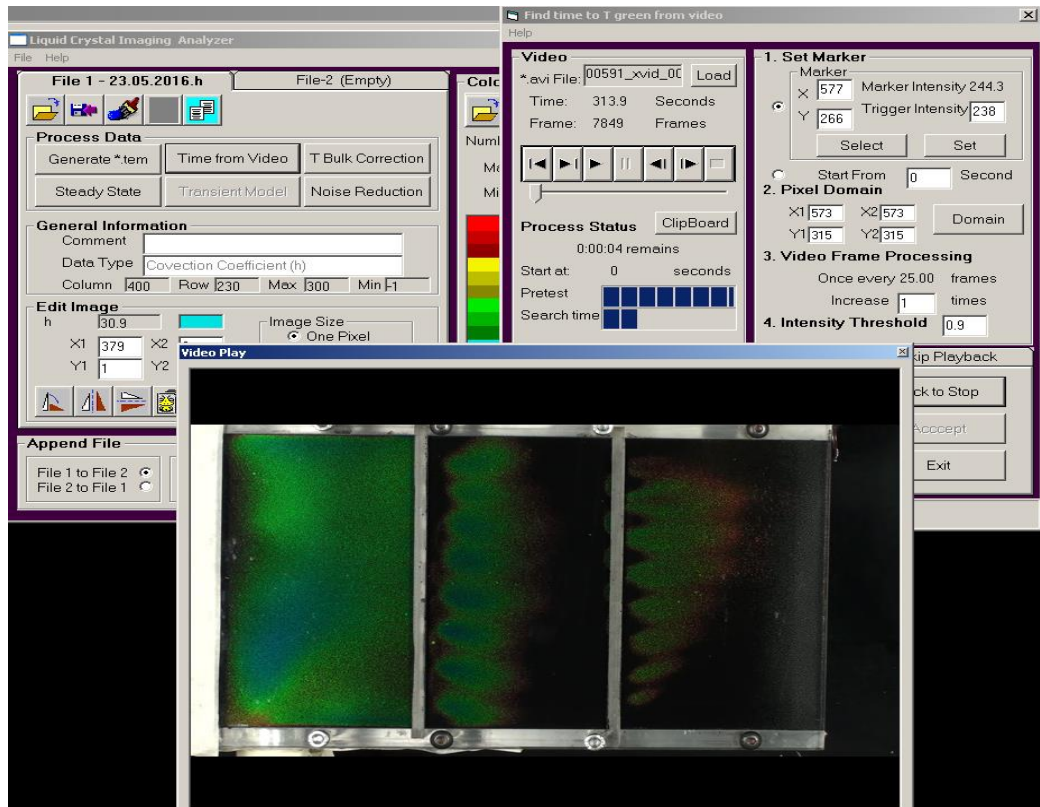
Şekil 4.34. LCIA programının görüntüsü



Şekil 4.35. LCIA programının $h(kw/m^2K)$ değişiminin görüntüsü



Şekil 4.36. LCIA programında dijital video ile kaydedilen renk değişiminin izlenmesi-1



Şekil 4.37. LCIA programında digital video ile kaydedilen renk değişiminin izlenmesi-2

4.7. Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan bazı ön hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Bunlar sırasıyla termal sıvı kristal yüzeyin hazırlanması, test bölümünün deneye hazırlanması, deneyin yapılması ve elde edilen DV kayıtlarının ve sıcaklık kayıtlarının LCIA'nın istediği forma dönüştürme işlemleri ve Bu verilerden faydalanarak istenilen ısı transferi özelliklerini LCIA yazılımı ile bulunmasıdır.

4.7.1. Termal sıvı kristal yüzeyinin hazırlanması

Sıvı kristalli model yüzeyinin üzerine uniform şekilde püskürtmek için basınçlı havaya, iki sprej tabancasına, bir ısı tabancasına, termal sıvı kristale ve siyah mürekkep veya özel siyah boyaya ihtiyaç vardır. Sıvı kristaller, beyaz ışıkla aydınlatıldıklarında seçici davranarak dalga boyunun sınırlı bir kısmını yansıtırken, geri kalan kısım emilir ya da geçirilir. Yansıtılmayan ışığın emilmesi ve yansıtılan sinyalin görünmesini için siyah bir zemin gereklidir. Zemin, model yüzeyin üzerine siyah mürekkep ya da siyah boya püskürterek hazırlanabilir. Genellikle siyah boya daha iyi sonuç verir ama çıkarması zordur. Bununla birlikte mürekkep kolayca temizlenebilen tatmin edici bir zemin verir. Sıvı kristal kaplamayı hazırlamadan önce kişi kameranın renk değişimlerini nasıl göreceğine karar vermelidir. Kural, sıvı kristal kaplamanın her zaman kamera ile siyah zemin arasında yer almasıdır.

4.7.2. Hazırlık aşaması

1. Kompresör tankına giden havanın basıncı regülatör yardımıyla istenilen basınç değerine ayarlanır.
2. Kompresörden çıkan havanın basıncıda yine regülatör yardımıyla istenilen basınç değerine çekilir ki bu çalışmalarda deneylerde bu 3 bardır.
3. Kamera deney düzeneğini dik görececek şekilde aparata yerleştirilir.
4. Ortam ışıkları kapatılır ve sadece deney düzeneği üzerindeki güneş ışığına eş değer ışık veren 4 tane lamba yakılır.
5. DV kameranın beyaz ayarı yapılır.

6. Bilgisayarda termokupulların sıcaklık ölçüm kaydı başlatılır.

4.7.3. Deneyin prosedürü

1. İlk olarak tankın vanası açılarak hava akışı sağlanır.
2. Debimetre yardımıyla havanın debisi istenilen değere ayarlanır.
3. Isıtıcılar açılarak havanın istenilen sıcaklık değerine gelene kadar by-pass hattından akışı sağlanır.
4. Sıcaklık by-pass hattında 60oC'ye ulaştığında bilgisayar kaydı başlatılır. Kamera kaydı başlatılır.
5. By-pass hattı kapatılır. Deney hattını besleyen ana boru hattına yönlendirilir. Bu şekilde deney düzeneğine sıcak hava ulaşır.
6. Düzenekteki kristallerin renk değişimi kamera sayesinde kayıt edilir.
7. Deney süresi hava sıcaklığı renk değişimini tamamlayacak seviyeye çıkıncaya kadar devam edecektir.
8. Deney süresi boyunca kütleli debi kaydı yapılmamıştır. Deneye başlandığında, deney sonunda tank çıkış sıcaklığı kayıt altına alınmıştır. Tank sıcaklığındaki değişim deney başı ve sonu arasında ortalama 0,5 – 3°C aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Hacimsel debi sabit tutulmuştur.
9. Renk değişimi tamamlandığında önce kamera kaydı kapatılır. Sonra bilgisayar kaydı kapatılır. Son olarakta ısıtıcılar kapatılır. Parçanın soğuma sırasında da renk değişimi gözlenmektedir.

4.7.4. Deney sonrası izlenmesi gereken proses

1. İlk olarak Labview Signal Ecpres programı yardımıyla kaydedilen sıcaklık değerleri Office Excel yardımıyla açılır ve kopyalanarak açılan bir wordpad dosyasına yapıştırılır.
2. Kaydedilen bu wordpad dosyasının uzantısı .asc' çevrilir. Çünkü kullandığımız görüntü işleme programı sıcaklık için sadece bu formatı okumaktadır.

3. İkinci olarak kameradaki görüntüleri ANY video converter programı yardımıyla .avi formatında kayıt edilir. LCIA programı .avi formatındaki video görüntülerini işleyebilmektedir.
4. Son olarak ise LCIA programıyla daha önce asc olarak kaydedilen sıcaklık datasını .tem uzantına çevrilerek kayıt edilir.
5. .avi olan görüntümüzü işleyerek .tim olarak kayıt edilir.
6. Transient model şeklinde iki datanın yani görüntü ve sıcaklık datasını birbiriyle harmanlayarak yüzeydeki ısı geçiş katsayısı hesaplanır.
7. Elde edilen veriler LCIA programından alınarak istenilen formatta ve şekilde grafik veya contour plot şeklinde sunulur.

4.8. Reynolds Sayısı Hesaplanması

Kapalı ve 8 bar basınç bir ortamdan bir regülatör yardımıyla 3 bar basınca düşürülen hava deney sistemine gönderilmektedir. Hava debisi bir akış ayar valfi yardımıyla ayarlanabilmektedir. Bu debi değerleri ölçümü için TESTO firmasının üretmiş olduğu 6444 model numaralı debi ölçer kullanılmaktadır. Bu cihaz debi değerini Nm³/h ve türevleri biriminden göstermektedir.

Sabit Değerler

$$A_{giriş} = \frac{\pi \cdot 0,0185^2}{4} = 2,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{çıkış} = 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$D_{giriş} = 0,0185 \text{ m}, D_{çıkış} = 0,0204 \text{ m}, T_{giriş} = 65^\circ\text{C} = 338^\circ\text{K}$$

$$v_{65} = 1,9455 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Termodinamik kitabından alınan A-16 Tablosu Ek-1'dedir.

A-16 TABLOSUNDAN;

$$T = 15^\circ\text{C}$$

$$P = 101,33 \text{ kPa}$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 1,789 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$\dot{V}_{15} = 20 \text{ Nm}^3/\text{h}, P_{giriş} = 100 \text{ kPa}, P_{çıkış} = 200 \text{ kPa}$$

$$P \cdot v_{65} = R \cdot T \quad 100 \cdot v_{65} = 0,287.338 \quad v_{65} = 0,98006 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{65} = \frac{1}{v_{65}} = 1,0309 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{15} \dot{V}_{15} = \rho_{65} \cdot \dot{V}_{65} \quad 1,225 \cdot \frac{20}{3600} = 1,0309 \cdot \dot{V}_{65} \quad \dot{V}_{65} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{giriş} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_g} = \frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{2,68 \cdot 10^{-4}} = 24,6 \text{ m/s}$$

$$V_{çıkış} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_ç} = \frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{1,54 \cdot 10^{-3}} = 4,28 \text{ m/s}$$

$$\mu_{65} = \rho_{65} \cdot v_{65} = 1,0309 \cdot 1,9455 \cdot 10^{-5} = 2,0056 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Re_{giriş} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{giriş} \cdot D_{giriş}}{\mu_{65}} = \frac{1,309 \cdot 24,6 \cdot 0,0185}{2,0056 \cdot 10^{-5}} = 23392,6$$

$$Re_{çıkış} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{çıkış} \cdot D_{çıkış}}{\mu_{65}} = \frac{1,309 \cdot 4,28 \cdot 0,0204}{2,0056 \cdot 10^{-5}} = 4488$$

$$\dot{V}_{15} = 30 \text{ Nm}^3/\text{h}, P_{giriş} = 120 \text{ kPa}, P_{çıkış} = 240 \text{ kPa}$$

$$P \cdot v_{65} = R \cdot T \quad 120 \cdot v_{65} = 0,287.338 \quad v_{65} = 1,237 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{65} = \frac{1}{v_{65}} = 0,8083 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{15} \dot{V}_{15} = \rho_{65} \cdot \dot{V}_{65} \quad 1,225 \cdot \frac{30}{3600} = 0,8083 \cdot \dot{V}_{65} \quad \dot{V}_{65} = 0,0126 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{giriş} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_g} = \frac{0,0126}{2,68 \cdot 10^{-4}} = 47,12 \text{ m/s}$$

$$V_{\zeta 1 k 1 \zeta} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_{\zeta}} = \frac{0,0126}{1,54 \cdot 10^{-3}} = 8,18 \text{ m/s}$$

$$\mu_{65} = \rho_{65} \cdot v_{65} = 0,8083 \cdot 1,9455 \cdot 10^{-5} = 1,5725 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Re_{giri\zeta} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{giri\zeta} \cdot D_{giri\zeta}}{\mu_{65}} = \frac{0,8083 \cdot 47,12 \cdot 0,0185}{1,5725 \cdot 10^{-5}} = 44808,3$$

$$Re_{\zeta 1 k 1 \zeta} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{\zeta 1 k 1 \zeta} \cdot D_{\zeta 1 k 1 \zeta}}{\mu_{65}} = \frac{0,8083 \cdot 8,18 \cdot 0,0204}{1,5725 \cdot 10^{-5}} = 8577,6$$

$$\dot{V}_{15} = 40 \text{ Nm}^3/\text{h}, P_{giri\zeta} = 130 \text{ kPa}, P_{\zeta 1 k 1 \zeta} = 280 \text{ kPa}$$

$$P \cdot v_{65} = R \cdot T \quad 100 \cdot v_{65} = 0,287 \cdot 338 \quad v_{65} = 1,34 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{65} = \frac{1}{v_{65}} = 0,7462 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{15} \dot{V}_{15} = \rho_{65} \cdot \dot{V}_{65} \quad 1,225 \cdot \frac{40}{3600} = 0,7462 \cdot \dot{V}_{65} \quad \dot{V}_{65} = 0,0182 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{giri\zeta} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_g} = \frac{0,0182}{2,68 \cdot 10^{-4}} = 67,9 \text{ m/s}$$

$$V_{\zeta 1 k 1 \zeta} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_{\zeta}} = \frac{0,0182}{1,54 \cdot 10^{-3}} = 11,8 \text{ m/s}$$

$$\mu_{65} = \rho_{65} \cdot v_{65} = 0,7462 \cdot 1,9455 \cdot 10^{-5} = 1,4517 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Re_{giri\zeta} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{giri\zeta} \cdot D_{giri\zeta}}{\mu_{65}} = \frac{0,7462 \cdot 67,9 \cdot 0,0185}{1,4517 \cdot 10^{-5}} = 64568,3$$

$$Re_{\zeta 1 k 1 \zeta} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{\zeta 1 k 1 \zeta} \cdot D_{\zeta 1 k 1 \zeta}}{\mu_{65}} = \frac{0,7462 \cdot 11,8 \cdot 0,0204}{1,4517 \cdot 10^{-5}} = 12373,4$$

$$\dot{V}_{15} = 50 \text{ Nm}^3/\text{h}, P_{giri\zeta} = 160 \text{ kPa}, P_{\zeta 1 k 1 \zeta} = 340 \text{ kPa}$$

$$P \cdot v_{65} = R \cdot T \quad 100 \cdot v_{65} = 0,287 \cdot 338 \quad v_{65} = 1,649 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_{65} = \frac{1}{v_{65}} = 0,6063 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{15} \dot{V}_{15} = \rho_{65} \cdot \dot{V}_{65} \quad 1,225 \cdot \frac{50}{3600} = 0,6063 \cdot \dot{V}_{65} \quad \dot{V}_{65} = 0,0281 m^3/s$$

$$V_{giriş} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_g} = \frac{0,0281}{2,68 \cdot 10^{-4}} = 104,85 m/s$$

$$V_{çıkış} = \frac{\dot{V}_{65}}{A_ç} = \frac{0,0281}{1,54 \cdot 10^{-3}} = 18,25 m/s$$

$$\mu_{65} = \rho_{65} \cdot v_{65} = 0,6063 \cdot 1,9455 \cdot 10^{-5} = 1,1796 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$Re_{giriş} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{giriş} \cdot D_{giriş}}{\mu_{65}} = \frac{0,6063 \cdot 104,85 \cdot 0,0185}{1,1796 \cdot 10^{-5}} = 99699,5$$

$$Re_{çıkış} = \frac{\rho_{65} \cdot V_{çıkış} \cdot D_{çıkış}}{\mu_{65}} = \frac{0,6063 \cdot 104,85 \cdot 0,0204}{1,1796 \cdot 10^{-5}} = 19135,4$$

Tablo 4.1. Hesaplanan Regiriş ve Reçıkış değerleri

Debi (Nm ³ /h)	Regiriş	Reçıkış
20	23392,6	4488
30	44808,3	8577,6
40	64568,3	12373,4
50	99699,5	19135,4

4.9. Deney Belirsizliği

Isı transferi katsayının tespit edilebilmesi için sıvı kristal kullanarak yapılan ölçümlerde özellikle test yüzeyi, giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlıdır. Test yüzeyi, giriş ve çıkış sıcaklıklarında meydana gelen belirsizlik sırasıyla % 0,5 % 0,4 ve % 1'dir. Sıcaklık ölçümlerinin toplam belirsizliği $\pm 0,20^\circ\text{C}$ şeklinde olacaktır. Ayrıca diğer belirsizlikler sıvı kristalin renk kalibrasyon sıcaklığı, renk değişimi sıcaklığı ve katı malzemenin termal difüzivitesinde meydana gelen hatalarıdır. Bu hatalar

yaklaşık olarak %5, %4 ve %1 şeklindedir. Diğer büyük bir belirsizlik ise deneye gönderilen hava debisi ve reynolds sayısındaki ölçüm hatalarıdır. Bunlar yaklaşık olarak %4 olarak alınabilir. Isı transferi katsayısına tüm bu hataların toplanmasıyla etki eden hata oranı %7 olarak hesaplanabilir



BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

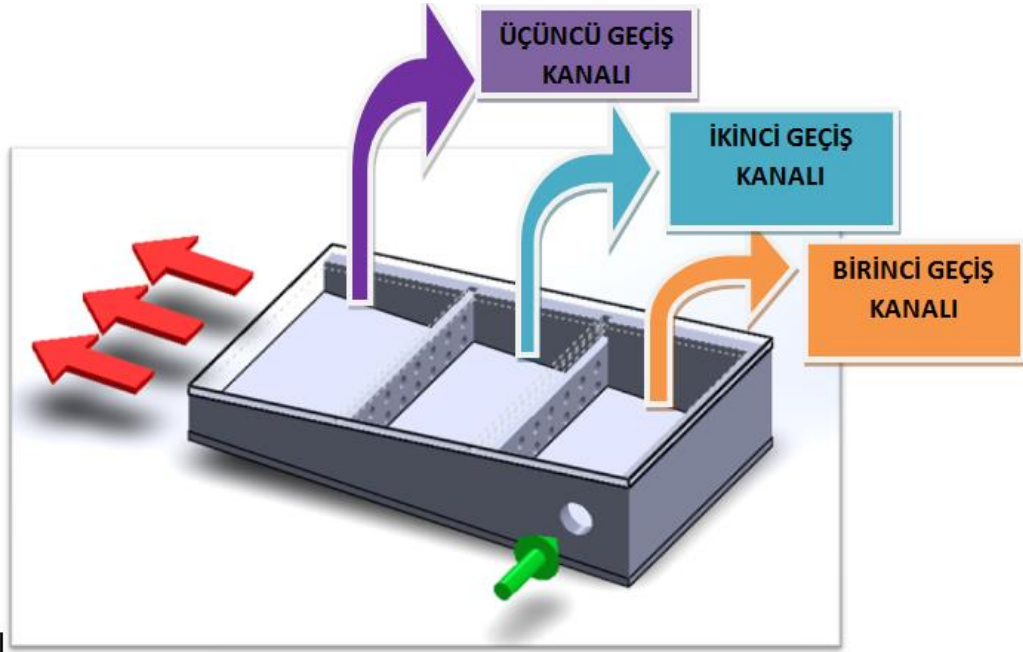
5.1. Deney Sonucunda Elde Edilen Veriler

Deneyler dört farklı debide gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'de deney düzeneği içerisindeki geçiş parçalarından her birinin ayrı ayrı 20-30-40 ve 50 debideki yapılan çalışmalar sonucundaki kanal yüzeyinde meydana gelen ısı geçiş katsayısının dağılımı ve grafikleri gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde reynold sayısının değişimine göre lokal ısı transferi katsayısının değişimi verilmiştir. Reynold sayısı girişte (23000-100000), çıkışta ise (4400-20000) arasında değişmektedir.

Deneyler dört farklı debide ve Re sayısında gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Şekil 5.2.'de iki sıralı daire deliklerin olduğu geçiş parçalarının kullanıldığı deneysel sonuçlar ve iki sıralı kare deliklerin olduğu geçiş parçasının kullanıldığı deneysel sonuçlar, Şekil 5.2.'de iki sıralı daralan dairesel deliklerin olduğu parçaların kullanıldığı deneysel sonuçlar ve iki sıralı daralan kare deliklerin olduğu parçaların kullanıldığı deneysel sonuçlar gösterilmiştir. Deneysel çalışmada TLC-Sıvı Kristal termografisi metodu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar LCIA (liquid Crystal Imaging Analyzer) isimli program kullanılarak eş eğriler elde edilmiştir.

Şekil 5.1.'de modelin üç boyutlu görünüşü ve model üzerindeki bölgelerin isimleri görülmektedir. Yapılan yorumlar sırasında model üzerindeki bölge isimleri kullanılacaktır.



Şekil 5.1. Modelin üç boyutlu görünüşünde geçiş kanalları

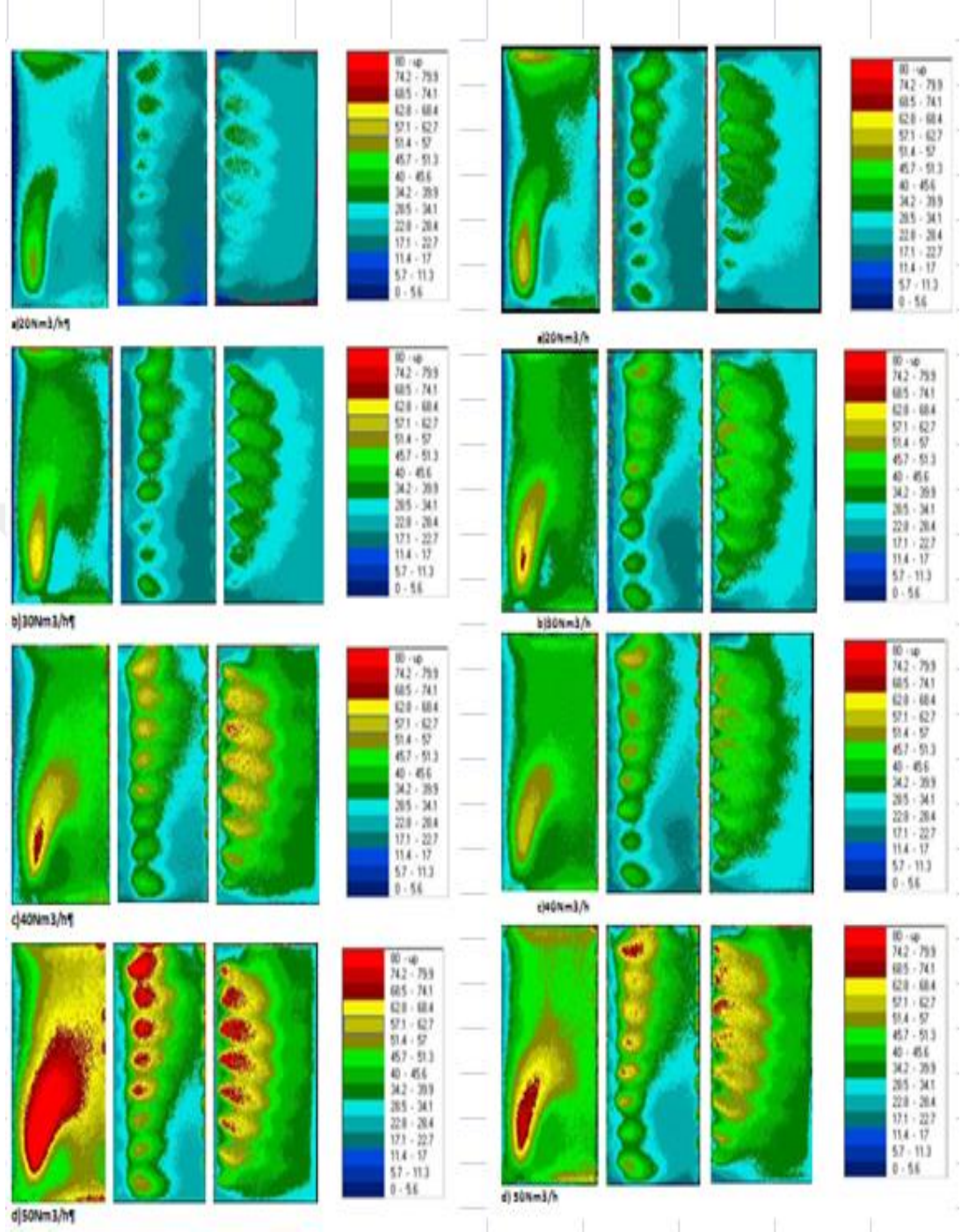
5.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.5 de görüldüğü gibi iki sıralı dairesel ve kare jetlerin aynı Re sayıları için yüzey ısı geçiş katsayı dağılımları görülmektedir. Re sayısının artmasıyla ısı geçiş katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Dairesel ve Kare jetli geçiş parçası ile yapılan deneysel çalışmalarda Re sayısının küçük olduğu deneyler karşılaştırıldığında kare jet geçişi olan yüzeylerde daha homojen ve yüksek ısı geçiş katsayısı dağılımı olduğu görülmektedir. Ancak Re sayısı arttıkça dairesel jetlerin kullanıldığı yüzeylerde ısı geçiş katsayısının arttığı ve daha homojen bir dağılım oluşturduğu görülmektedir. Re sayısının artmasına bağlı olarak meydana gelen jet akışın gelişmesinin dairesel jetlerde daha iyi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle geçiş parçalarında yüksek Re sayılarında dairesel jetlerin kullanımı ısı geçiş katsayısı arttıracaktır.

1 geçiş kanalında ısı geçiş katsayısı dağılımı hava giriş doğrultusunda değişim göstermekte iken 2 ve 3 geçiş kanallarında geçiş parçası üzerindeki jetlerin etkisiyle kanal çıkışı doğrultusunda meydana geldiği görülmektedir. Hava giriş doğrultusunda

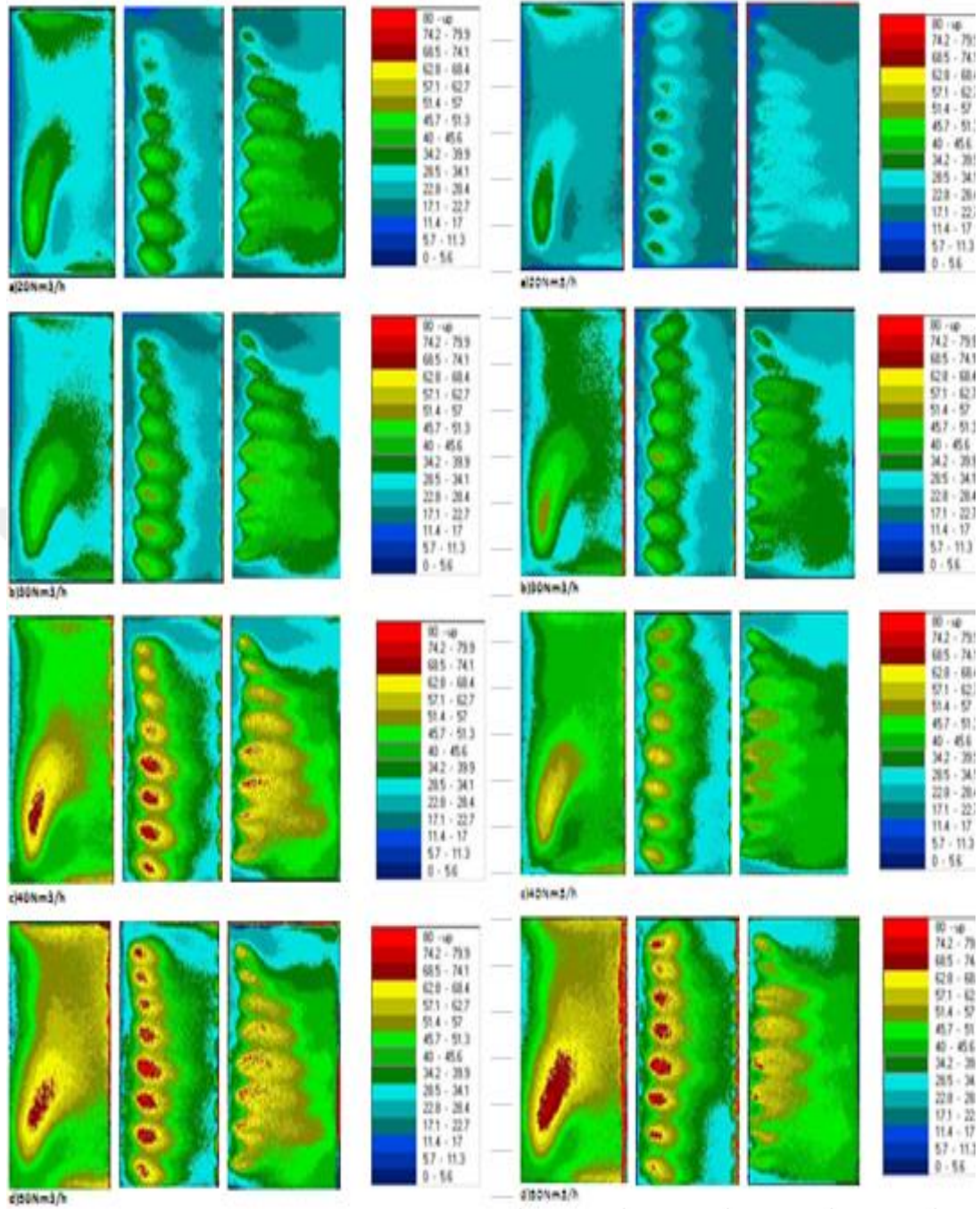
ısı geçiş katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Kare ve dairesel jetlerin etkisinde olan 2 ve 3. Geçiş kanalında kanal üst bölgesinde meydana gelen ısı geçiş katsayısı kanal alt bölgesine göre göre daha düşük değerde olduğu görölmektedir. Bu nedenle yine iki sıralı daralan dairesel ve kare jetler kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda daralan dairesel ve kare jetlerin ikinci ve üçüncü geçiş kanallarında homojenliği arttırdığı tespit edilmiştir.





Şekil 5.2. İki sıralı daire (debi: 20-30-40-50) ikili kare (debi:20-30-40-50)

Daralan dairesel jetlerin kullanılmış olduğu modellerde meydana gelen ısı geçiş katsayısının daralan kare jetlere göre daha yüksek olduğu karakteristlik olarak birbirlerine benzediği görülmüştür. Re sayısı artmasıyla hem daralan dairesel jetli modelde hemde daralan kare jetli modelde genel olarak ısı transferi katsayısında doğrusal bir değişimin olduğu tespit edilmiştir.

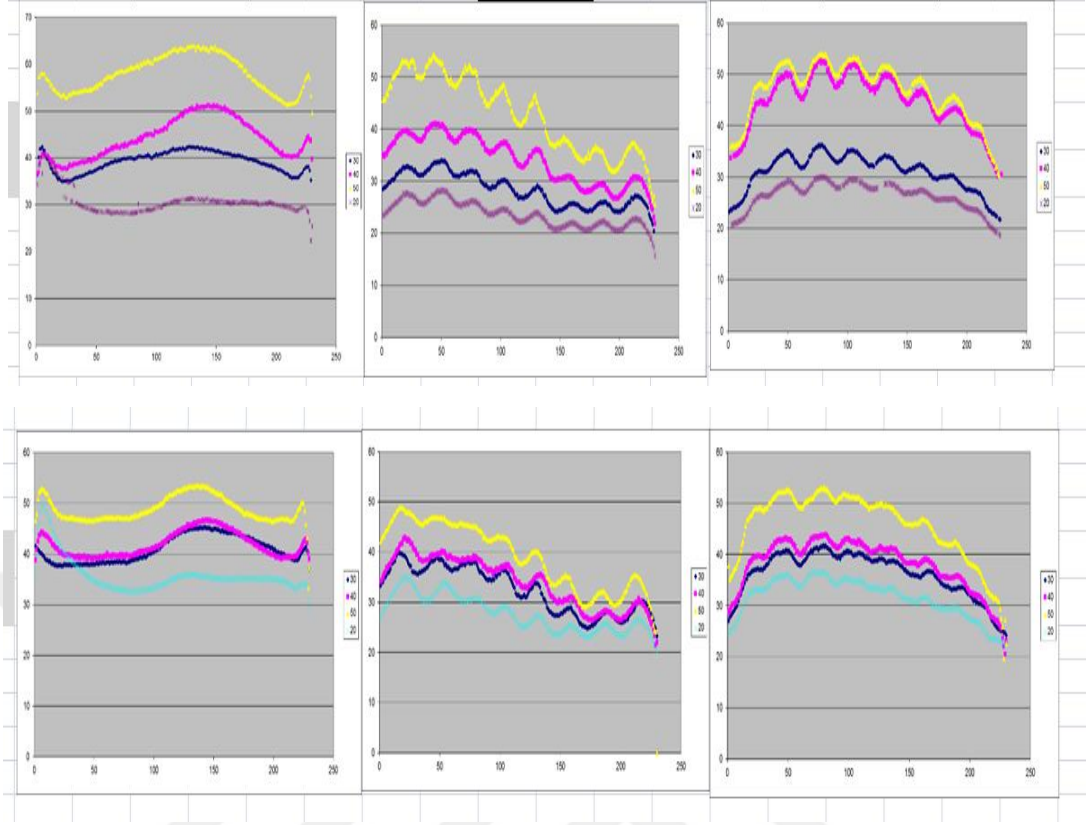


Şekil 5.3. İki sıralı daralan daire (debi: 20-30-40-50) ikili daralan kare (debi:20-30-40-50)

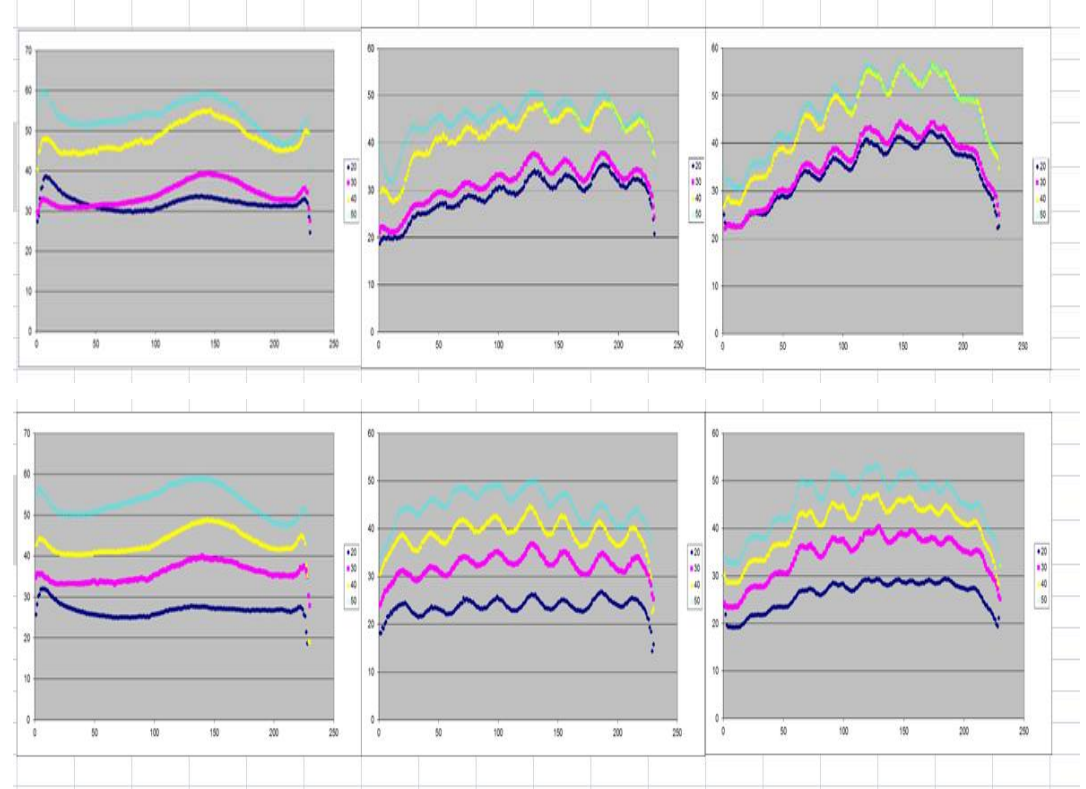
Daralan dairesel jetli modelde ısı geçiş katsayısı dağılımının bazı bölgelerde, (özellikle jet akışının tam geliştiği bölgelerde) yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Her ne kadar daralan dairesel jetli modelde meydana gelen ısı geçiş katsayısının değeri daralan kare jetli modelde meydana gelen ısı geçiş katsayısı değerine göre daha yüksek olmasına rağmen daralan kare jetli modelde daha homojen bir dağılımın

olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle Re sayısı 65000’ne kadar daha homojen bir dağılım için daralan kare jetli geçiş parçalarının kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. Re sayısının yükselmesi ile birlikte Re sayısı 100000 olduğunda her iki modelde benzer ısı geçiş katsayısı dağılımı olduğu Şekil 5.3.’te görülmektedir.





Şekil 5.4. İki sıralı sıralı daire ve kare delikli geçiş parçasında 20-30-40 ve 50 debideki h ($\text{kw/m}^2\text{K}$) değişimi



Şekil 5.5. İki sıra sıralı d. dairesel ve kare delikli geçiş parçasına 20-30-40 ve 50 debideki h ($\text{kw/m}^2\text{K}$) değişimi

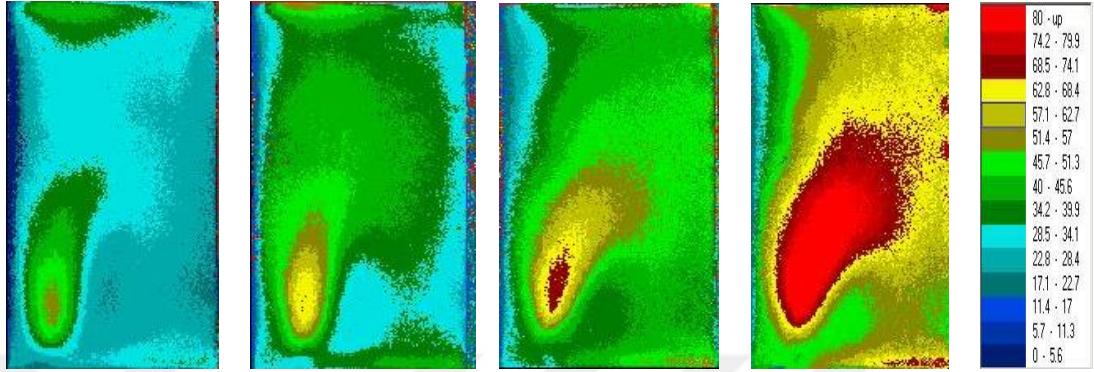
Şekil 5.4., ve Şekil 5.5.'te iki sıralı dairesel, kare, daralan dairesel ve daralan kare jetli geçiş parçaları olan modellerde enine ortalama ısı geçiş katsayısının dağılımı görülmektedir. Birinci geçiş kanalında kanal eni doğrultusunda ısı geçiş katsayısının dağılımının hava girişi doğrultusunda meydana geldiği, kanal ortasını geçince maksimum değerlere ulaştığı, kanal sonuna doğru bir düşüş eğilimi gösterdiği ve kanalın kapalı olması nedeniyle çapraz akışın etkisi artmış ve ısı geçiş katsayısında bölgesel artışlar meydana gelmiştir.

İkinci ve üçüncü geçiş kanallarında geçiş parçaları üzerindeki dairesel ve kare jetlerin etkisi görülmektedir. Dairesel ve kare jetlerin orta noktalarında ısı geçiş katsayısının maksimum değere ulaştığı ve kanal eni doğrultusunda bu değişim görülmektedir.

Hem dairesel hem de kare jetli modellerin ikinci geçiş kanalında kanal eni doğrultusunda ısı geçiş katsayısının düşüş eğiliminde olduğu, daralan kare ve daralan dairesel jetli modellerde ise kanal eni doğrultusunda doğrusal bir değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. Üçüncü geçiş kanalında dairesel ve kare jetli modellerde kanal eni doğrultusunda kanal sonuna doğru ortalama ısı geçiş katsayısında düşüş meydana geldiği, daralan dairesel ve kare jetli modellerde ise kanal eni doğrultusunda kanal sonuna doğru ortalama ısı geçiş katsayısında artış meydana geldiği görülmüştür.

5.3. İki Sıralı Daire için Geçiş Kanallarında Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

5.3.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



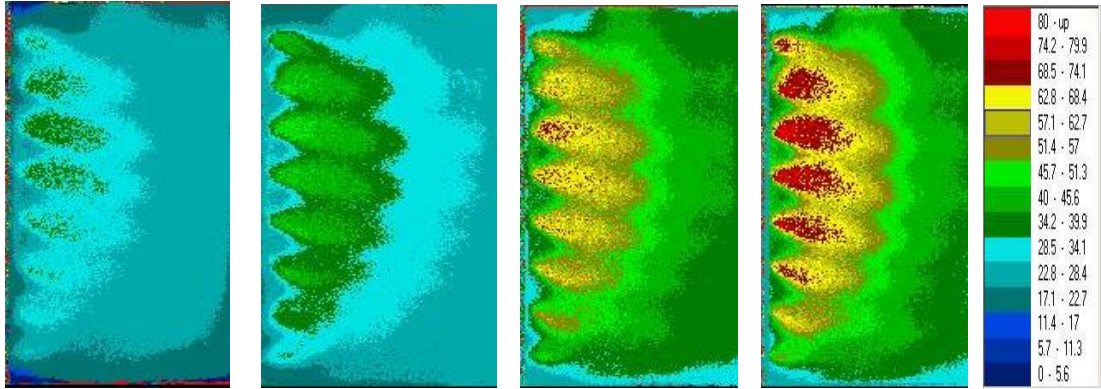
Şekil 5.6. İkili dairede birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

Kanal genelinde Reynolds sayısına bağlı olarak ısı geçiş katsayısının arttığı görülmektedir. Reynolds sayısının artması kanal içinde ısı geçiş katsayısının homojenleşmesine katkı sağladığı anlaşılmıştır. Küçük Reynolds sayısında kanal sonunda çapraz akışın geliştiği bölgede ısı geçişinin kanal orta ve çıkış bölgelerine göre daha yüksek olduğu ancak Re sayısı arttıkça bu durumun azaldığı tespit edilmiştir.

Hava girişine yakın bölgelerde Reynolds sayısının artmasına bağlı olarak kanal ortasına ve çıkış doğrultusunda yüksek ısı geçiş katsayısı bölgeleri meydana geldiği, bu bölgelerin Re sayısı ile doğru orantılı olarak geliştiği tespit edilmiştir. Kanal sonunun kapalı olması ve kanal geçiş parçası yönünde akışın olması ve bu yüzden bu bölgelerde basınç düşümü meydana geldiği ve bu nedenle ısı geçişinin bu yönde arttığı anlaşılmaktadır.

Yapılan literatür araştırmalarına dayanarak kanal içinde ısı geçişinin daha homojen hale getirilmesi için kanal içinde bir bölme parçasının konulmasının uygun olacağı ve bu şekilde kanalın bir U kanal şeklinde dönüşeceği ve bu sayede ısı geçişinin kanal boyunca homojenleşeceği kanaati oluşmuştur.

5.3.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



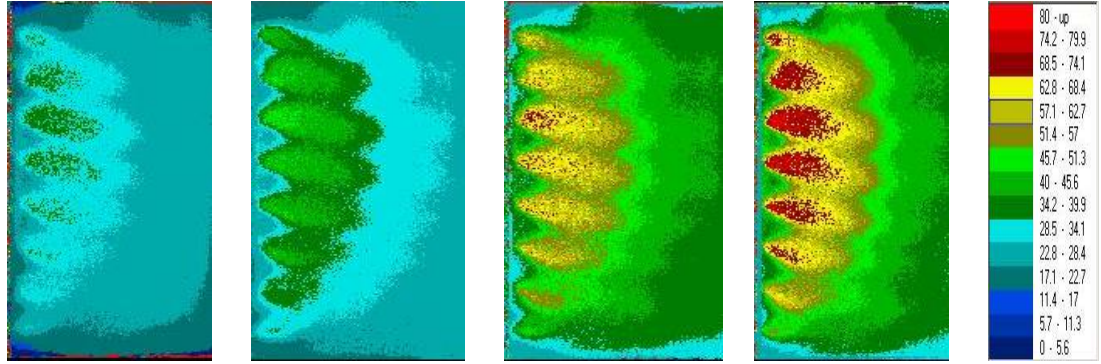
Şekil 5.7. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

Re sayısının artması kanal içindeki ısı geçiş katsayısının artmasına neden olduğu görülmektedir. İki sıralı dairesel delikli kanal geçiş parçasından geçen akışın kanal çıkışı doğrultusunda ısı geçiş katsayısını arttırdığı görülmüştür. Ancak bu artışın 1.kanal giriş doğrultusunda meydana geldiği tespit edilmiştir. Kanal geçiş parçası üzerinde bulunan çift sıralı dairesel deliklerden Re sayısına bağlı olarak 1.sinde düşük 2-3 de orta 4’da ise yüksek seviyede akış doğrultusuna göre ısı geçişi katsayısının arttığı görülmektedir.

Geçiş parçası kenarında, kanal eni boyunca ısı geçiş katsayısında ani bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeninin geçiş parçası üzerindeki deliklerden geçerken kesit daralması nedeniyle hızının arttığı ve akımın tam gelişmeden jet etkisi oluşturduğu ve tam gelişmesiyle birlikte kanal çıkışı doğrultusunda ısı geçiş katsayısının artmasına neden olduğu anlaşılmıştır.

Kanal içinde daha homojen bir ısı geçiş katsayısı dağılımı istenmektedir. Bu nedenle kanal geçiş parçası üzerindeki deliklerin boyutları ve sayıları bu duruma etki ettiği anlaşılmıştır. Bu nedenle daralan çapta dairesel delikler olan geçiş parçaları kullanılarak homojenlik sağlanmaya çalışılmıştır. Bu şekilde yapılan deneysel çalışmalar ileride gösterilmiştir.

5.3.3. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



Şekil 5.8. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

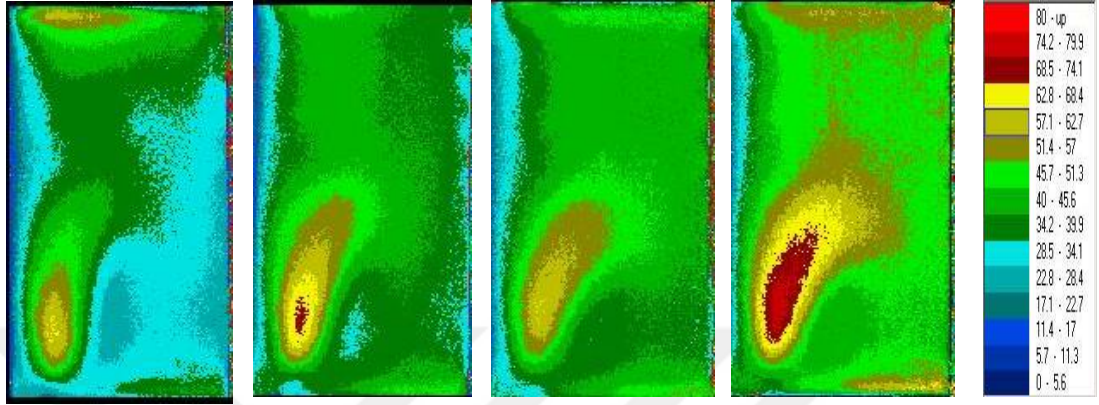
Bu geçiş kanalı çıkışı atmosfere açık olduğu için kanal çıkışı boyunca ısı geçiş katsayısının diğer geçiş kanallarına göre daha homojen dağıldığı görülmektedir. Kanal geçiş parçası orta bölgesinde daha yüksek ısı geçiş katsayısı meydana gelmekteyken kanal kenarlarına doğru ısı geçiş katsayısının değerinde azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kanal geçiş parçası çıkışında ikinci geçiş parçasına benzer şekilde ani bir ısı geçiş katsayısında azalma meydana geldiği kanal çıkışına doğru akımın gelişmesiyle ısı geçiş katsayısının da artmanın olduğu görülmektedir.

Geçiş kanalında homojen ısı geçiş dağılımı oluşturulması hedeflenmiştir. Ancak geçiş parçasındaki deliklerin konum ve sayıları nedeniyle bu homojen dağılımın meydana gelmediği görülmektedir. Bu nedenle dağılımda homojenlik meydana getirebilmek için geçiş parçası üzerindeki deliklerin boyutlarında değişiklik yapılarak deneyler tekrar edilmiştir. Yapılan deneylerle ilgili açıklamalar ileride verilmiştir.

5.4. İki Sıralı Kare için Geçiş Kanallarında Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

5.4.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

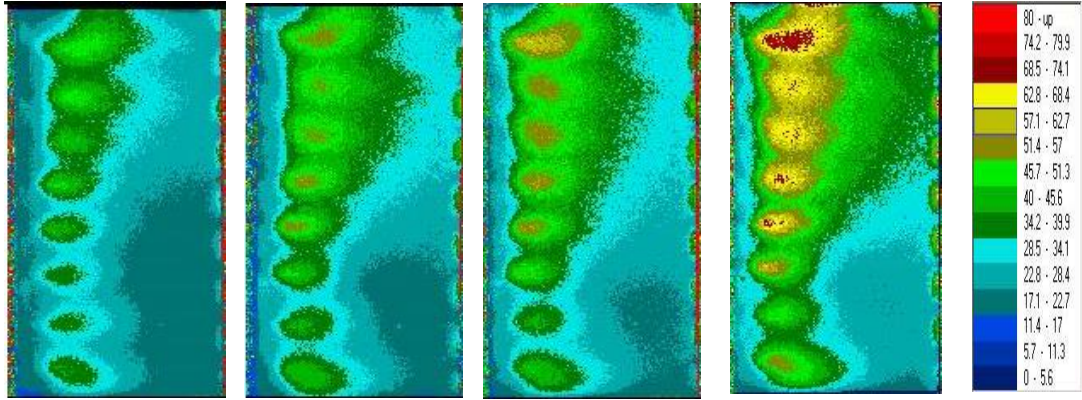


Şekil 5.9. İkili karede birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

Dairesel geçiş parçalı kanaldaki duruma benzer şekilde bir değişim olduğu anlaşılmıştır. Re sayısının artmasıyla kanal içindeki ortalama ısı geçiş katsayısının arttığı görülmektedir. Akışkan girişinin bulunduğu bölgede jet etkisi ile oluşmuş kanal yüzeyindeki ortalama ısı geçiş katsayısından daha yüksek değerlerde bölgesel bir ısı geçiş katsayısında artış olduğu, bu artışın Re sayısının artmasıyla birlikte daha belirgin bir değere ulaştığı görülmektedir. Dairesel geçiş parçalı kanallara benzer şekilde kanal sonunda basınç düşmesi ve türbülansın etkisiyle ısı geçiş katsayısında lokal olarak kanal duvarı boyunca ısı geçiş katsayısında bir artışın olduğu tespit edilmiştir.

Genel 1. Geçiş kanalında akışkan girişi olması nedeniyle ısı geçiş katsayısının homojen dağılım göstermediği tespit edilmiştir. Bu durumun giderilmesi için kanal içinde ilave bir geçiş parçası daha konularak U şeklinde bir kanal oluşturulması ısı geçiş katsayısının daha homojen olmasına katkı sağlayacaktır. Literatürde benzer çalışmaların olduğu görülmüştür.

5.4.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

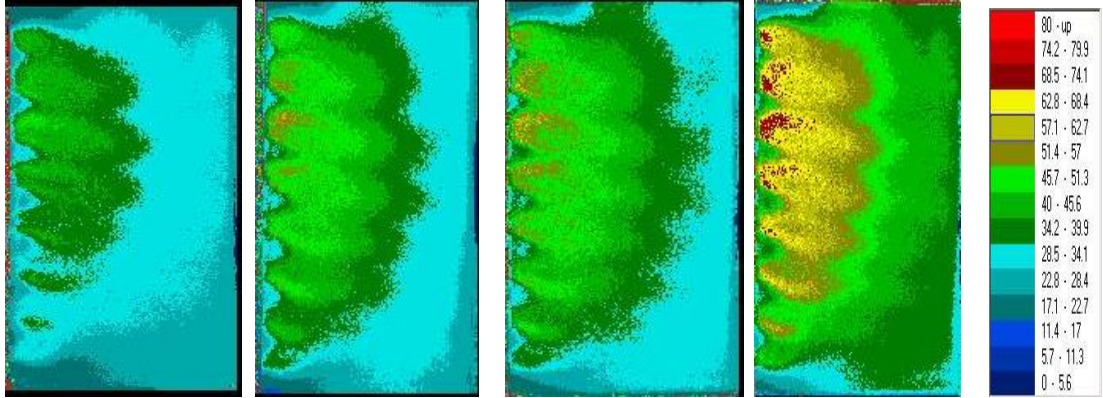


Şekil 5.10. İkili karede ikinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

İkinci geçiş kanalında meydana gelen ısı geçiş katsayısı dağılımı incelendiğinde 1. Kanal akışkan girişine yakın bölgelerde daha düşük değerlerde ısı geçiş katsayısı dağılımı olduğu, kanal sonuna doğru bu değer giderek arttığı görülmektedir. Isı dağılımı incelendiğinde kanal sonuna doğru türbülansın artması nedeniyle ısı geçişinin arttığı anlaşılmaktadır. Diğer geçiş kanallarında olduğu gibi Re sayısının artmasıyla birlikte kanal içinde meydana gelen ısı geçiş katsayısının arttığı görülmektedir.

İki kanal arasında kullanılan geçiş parçası üzerindeki kare ve dairesel jetlerin etkisiyle jet çıkışında jetler boyunca ısı geçiş katsayısında ani düşüşlerin olduğu, jet akışın gelişmesiyle birlikte kanal içinde akış doğrultusunda ısı geçiş katsayısının arttığı ve kanal sonuna doğru tekrar düşüş gösterdiği görülmektedir. Ancak bu düşüş kanal alt bölgesinde daha yüksek iken kanal üst bölgesine daha az olduğu tespit edilmiştir.

5.4.3. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



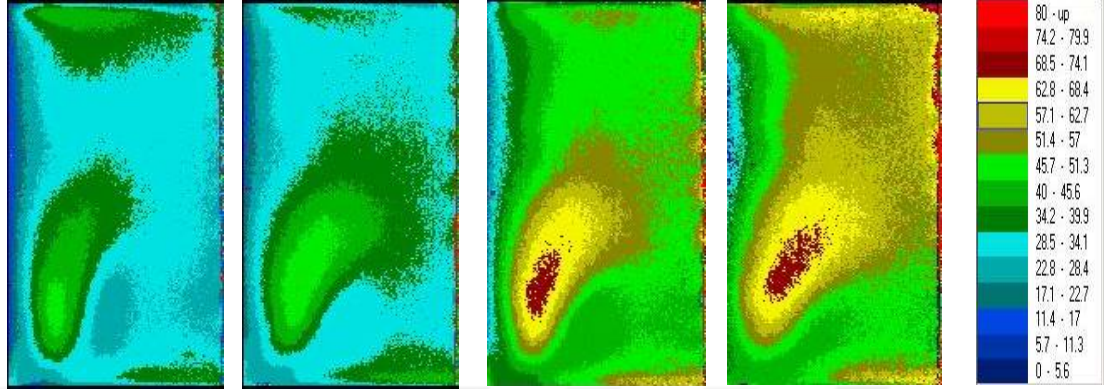
Şekil 5.11. İkili karede üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

Üçüncü geçiş kanalında diğer kanallara benzer şekilde Re sayısının artmasıyla ısı geçiş katsayısında artışın olduğu görülmektedir. Kanal geçişi için kullanılan jetlerin etkisiyle ısı geçiş katsayısının akış doğrultusunda kanal ortasına doğru yükseldiği ve çıkışa doğru tekrar düştüğü tespit edilmiştir. Geçiş kanalında en yüksek ısı geçiş katsayısının kanal orta bölgesinde meydana geldiği görülmektedir. Kanal sonuna doğru ısı geçiş katsayısının homojenleştiği şekillerden anlaşılmaktadır.

5.5. İki Sıralı Daralan Daire için Geçiş Kanallarında Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

Daha homojen bir ısı geçiş dağılımı oluşturulması amacıyla iki sıra benzer boyutta dairesel jet delikleri yerine kanal eni doğrultusunda boyutlarda azalma olan daralan dairesel jetler kullanılarak deneyler tekrar edilmiştir. Aynı Re sayılarında tekrar edilen deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

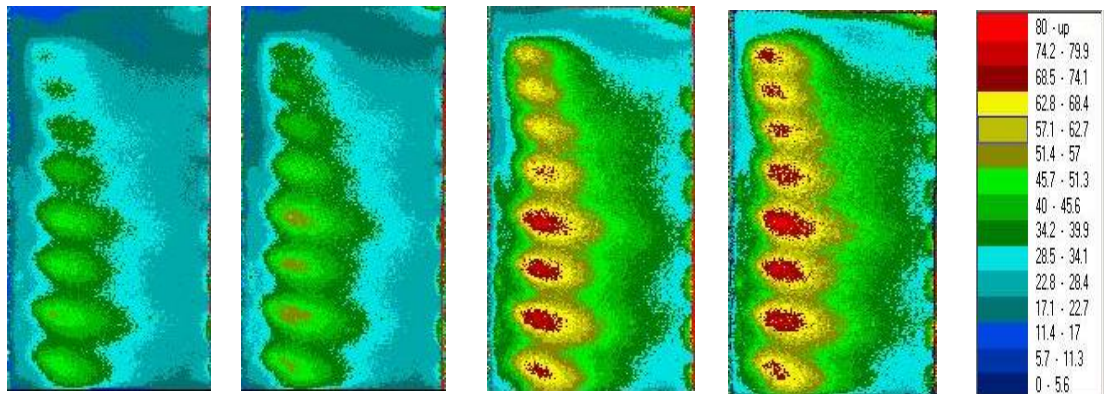
5.5.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



şekil 5.12. İkili daralan dairede birinci geçiş kanalındaki geçiş katsayısının değişimi

Yapılan deneyler sonucunda birinci kanalda farklı jet boyutlarının kanal içinde meydana gelen ısı geçiş katsayısı dağılımına etkisinin olmadığı eşit jet geçiş parçalarıyla benzer özellikte dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

5.5.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

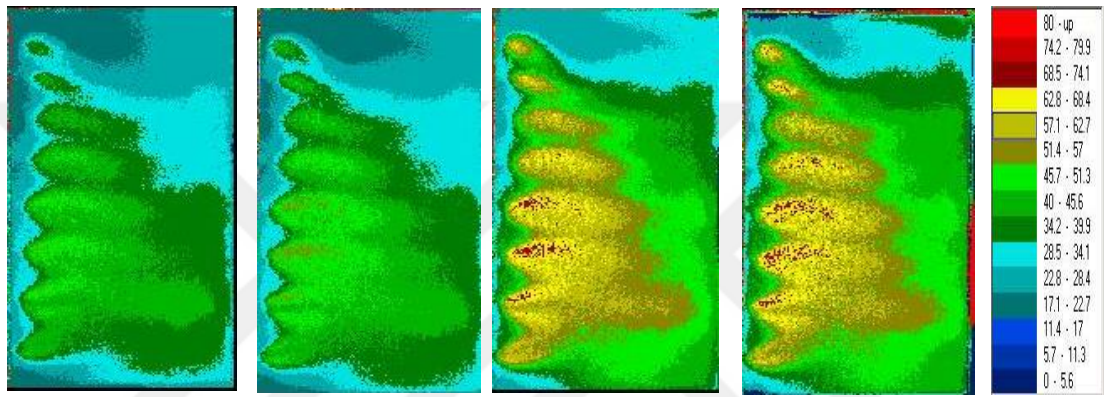


şekil 5.13. İkili daralan daire ikinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

İki sıralı daralan dairesel jet çaplarındaki daralma ısı geçiş katsayısının dağılımını eşit jet deliklerine göre daha homojen hale getirmiştir. Özellikle kanal eni boyunca ısı

geçiş katsayısı dağılımının homojenleştiği şekillerden anlaşılmaktadır. Ancak kanal eni boyunca jet etkisinin oluşturduğu ısı geiş katsayısındaki bölgesel azalmalar ve jet akışın gelişmesiyle medyana gelen bölgesel artışlar daha net olarak görülmektedir. İkinci geöiş kanalında meydana gelen ısı geiş katsayısı dağılımının birinci geiş kanalına göre daha yüksek ve homojen olduğu tespit edilmiştir.

5.5.3. Üçüncü geiş kanalındaki ısı geiş katsayısının değışimi

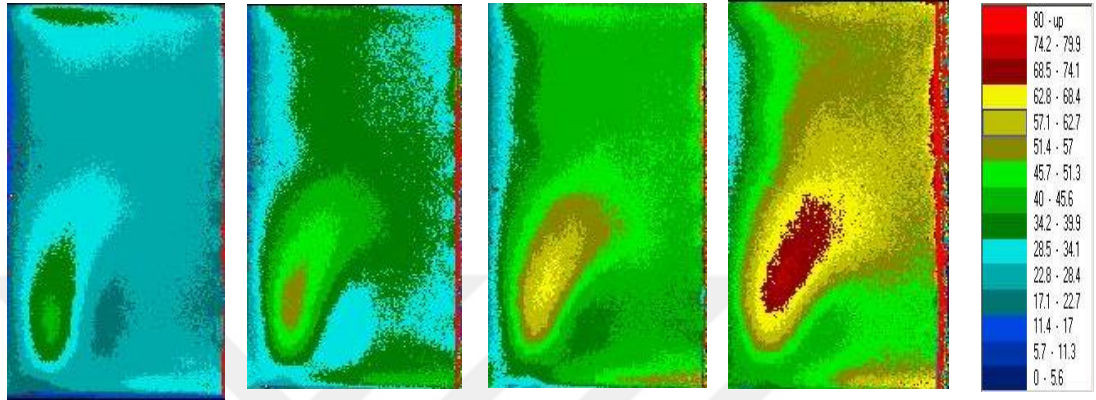


Şekil 5.14. İkili daralan daire üçüncü geiş kanalındaki ısı geiş katsayısının değışimi

Üçüncü geiş kanalında dairesel daralan jetlerin kanal sonuna doğru ısı geiş katsayısının dağılımını net bir şekilde değıştirdiği görülmüktedir. Özellikle kanal eni boyunca eşit jet çaplarında meydana gelen ısı geiş katsayısı dağılımının daha homojen olduğu, geiş parçasında kullanılan jetlerin çaplarının bu homojenliği değıştirdiği görülmektedir. Buna göre ikinci geiş parçası üzerindeki dairesel jet deliklerinin aynı çapta olmasının daha uygun olacağı anlaşılmıştır.

5.6. İki Sıralı Daralan Kare için Geçiş Kanallarında Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

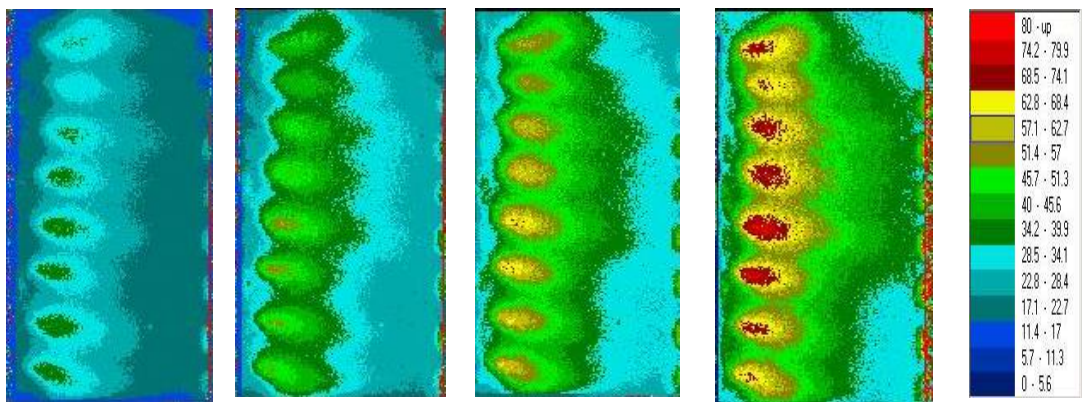
5.6.1. Birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



Şekil 5.15. İkili daralan karede birinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

Yapılan deneyler sonucunda birinci kanalda farklı jet boyutlarının kanal içinde meydana gelen ısı geçiş katsayısı dağılımına etkisinin olmadığı, tüm modellerde benzer özellikte dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Hava girişi doğrultusunda gelişen akımın etkisi ve geçiş parçasının üzerindeki jetlerin etkisi ile akışın geçiş parçasına doğru yöneldiği görülmektedir.

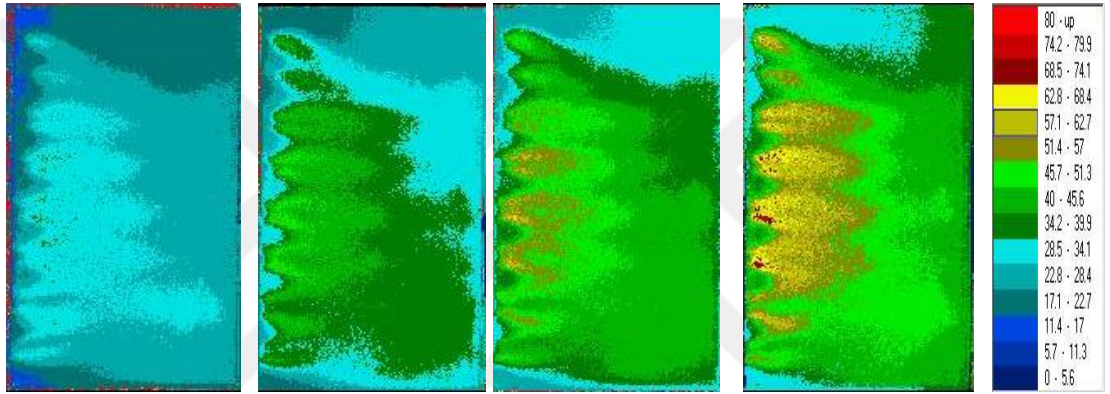
5.6.2. İkinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



Şekil 5.16. İkili daralan kare ikinci geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

İki sıralı daralan kare jetteki geometrik daralma ısı geçiş katsayısının dağılımını eşit jet deliklerine göre daha homojen hale getirmiştir. Özellikle kanal eni boyunca ısı geçiş katsayısı dağılımının homojenleştiği şekillerden anlaşılmaktadır. Ancak kanal eni boyunca jet etkisinin oluşturduğu ısı geçiş katsayısındaki bölgesel azalmalar ve jet akışın gelişmesiyle meydana gelen bölgesel artışlar daha net olarak görülmektedir. İkinci geçiş kanalında meydana gelen ısı geçiş katsayısı dağılımının birinci geçiş kanalına göre daha yüksek ve homojen olduğu tespit edilmiştir.

5.6.3. Üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi



Şekil 5.17. İkili daralan kare üçüncü geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi

Üçüncü geçiş kanalında daralan kare jetlerin kanal sonuna doğru ısı geçiş katsayısının dağılımını net bir şekilde değiştirdiği görülmektedir. Özellikle kanal eni boyunca eşit jet çaplarında meydana gelen ısı geçiş katsayısı dağılımının daha homojen olduğu, geçiş parçasında kullanılan jetlerin çaplarının bu homojenliği değiştirdiği görülmektedir. Buna göre ikinci geçiş parçası üzerindeki daralan kare jet deliklerinin aynı boyutta olmasının daha uygun olacağı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Uysal, U., Li, P.-W., Chyu, M.K., Cunha, F.J., (2006), "Heat Transfer on Internal Surfaces of A Duct Subjected To Impingement of A Jet Array with Varying Jet Hole-Size and Spacing", *Journal of Turbomachinery*, 128,158-165
- [2] Han, J. C., ve Park, J. S., (1988), "Developing Heat Transfer in Rectangular Channels with Rib Turbulators", *International Journal Heat Mass Transfer*, 31, 1,183-195.
- [3] Han, J. C., (1984), "Heat Transfer and Friction on Channels with Two Opposite Rib-Roughened Walls", *ASME Journal Heat Transfer*,106,774-781.
- [4] Han, J.C., Ou S., Park, J.S., ve Lei, C.K., (1989), "Augmented Heat Transfer in Rectangular Channels of Narrow Aspect Ratios with Rib Turbulators", *International Journal Heat Mass Transfer*, 32,1619-1630.
- [5] Han J.C., Zhang Y.M., ve Lee C.P., (1991), "Augmented Heat Transfer in Square Channels with Parallel, Crossed, and V-Shaped Angled Ribs", *ASME Journal Heat Transfer*, 113,590-596.
- [6] Han, J.C., ve Zhang, Y.M., (1992), "High Performance Heat Transfer Ducts with Parallel, Broken, and V-Shaped Ribs", *International Journal Heat Mass Transfer*, 35,513-523.
- [7] Taslim, M.E., ve Wadsworth, C.M, (1997), "An Experimental Investigation of The Rib Surface- Averaged Heat Transfer Coefficient in A Rib- Roughened Square Passage", *ASME Journal Turbomachinery*, 119,381-389.
- [8] Taslim, M.E., Li T., ve Spring, S.D., (1995), "Experimental Study of The Effects of Bleed Holes on Heat Transfer and Pressure Drop in Trapezoidal Passages with Tapered Turbulators", *ASME Journal Turbomachinery*, 117,281-290.
- [9] Chandra, P.R., Niland, M.E., and Han J.C., (1997), "Turbulent Flow Heat Transfer And Friction in A Rectangular Channel with Varying Number of Ribbed Walls", *ASME Journal Turbomachinery*, 119,374-380.
- [10] Wang, L., ve Sunden, B., (2005), "Experimental Investigation of Local Heat Transfer in A Square Duct with Continuous and Truncated Ribs", *Journal Experimental Heat Transfer*, 18,179-197.

- [11] Tanda, G., ve Cavallero, D., (2001), "An Experimental Investigation of Forced Convection Heat Transfer in Channel with Rib Turbulators By Mean of Liquid Crystal Thermography", *Experimental Thermal Fluid Science*, 26,15-121.
- [12] Johnson, R. W., ve Launder, B. E., (1985), "Local Nusselt Number and Temperature Field in Turbulent Flow Through A Heated Square- Sectioned U Bend", *International Journal Heat Fluid Flow*, 6,171-180.
- [13] Chyu, M.K., (1991), "Regional Heat Transfer in Two-Pass and Three- Pass Passages with 180° Sharp Turns", *ASME Journal Heat Transfer*, 113,63- 70.
- [14] Ekkad, S. V., Huang, Y., ve Han, J.C., (1998), "Detailed Heat Transfer Distributions in Two-Pass Square Channels with Rib Turbulators and Bleed Holes", *International Journal Heat Mass Transfer*, 41, 3781-3791.
- [15] Mochizuki, S., Murata, A., Shibata, R., ve Yang, W.J., (1999), "Detailed Measurements of Local Heat Transfer Coefficients in Turbulent Flow Through Smooth and Rib-Roughened Serpentine Passages with A 180° Sharp Bend", *International Journal Heat Mass Transfer*, 42,1925-1934.
- [16] Astarita, T., ve Cardone, G., (2000), "Thermofluidynamic Analysis of The Flow Near A Sharp 180° Turn Channel", *Experimental Thermal Fluid Science*, 20,188-200.
- [17] Astarita, T., Cardone, G., ve Carlomagno, G. M., (2002), "Convective Heat Transfer in Ribbed Channels with A 180° Turn", *Experiments in Fluids*, 33,90-100.
- [18] Algawair, W., Iacovides, H., Kounadis, D., ve Xu, Z., (2007), "Experimental Assessment of The Effects of Prandtl Number and of A Guide Vane on The Thermal Development in A Ribbed Square-Ended U-Bend", *Experimental Thermal Fluid Science*, 32,670-681.
- [19] Salameh, T., Sunden, B., (2010), "An Experimental Study of Heat Transfer and Pressure Drop on The Bend Surface of A U-Duct", ASME GT2010-22139, in *Proceedings of ASME Turbo Expo (2010): Power for Land, Sea and Air GT2010*, Glasgow, UK.
- [20] Chyu, M. K., Ding, H., Downs, J. P., ve Soechting, F. O., (1998), "Determination of Local Heat Transfer Coefficient Based on Bulk Mean Temperature Using a Transient Liquid Crystals Techniques," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 18,142–149.
- [21] Van Treuren, K. W., Wang, Z., Ireland, P. T., ve Jones, T. V., (1993), "Detailed Measurements of Local Heat Transfer Coefficient and Adiabatic Wall Temperature Beneath an Array of Impinging Jets," *ASME J. Turbomach.*, 16,369–371.

- [22] Kline, S. J., ve McClintock, F. A., (1953), “Describing Uncertainties in Single- Sample Experiments,” Mech. Eng. Am. Soc., 75,3–8.



EKLER

EK 1: Termodinamik Tablo A-16

Ek 11/6/08 10:15 Page 909



Ek 1 | 909

TABLO A-16

Yüksek seviyede atmosferin özellikleri

Yükseklik, m	Sıcaklık, °C	Basınç, kPa	Yör Çökümü g, m/s ³	Ses hızı, m/s	Yoğunluk, kg/m ³	viskozite, μ , kg/(m.s)	Isıl iletkenlik, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0246
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8000	-36.9	35.85	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10,000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12,000	-56.5	19.40	9.770	296.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14,000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16,000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18,000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Neyse: U.S. Standard Atmosphere Supplement, U.S. Government Printing Office, 1966. Değerler 45° enlemdeki ortalama yıl boyu ortalamalarına dayalıdır ve yün herhangi bir anı ve hava yapısına bağlı olarak değişir. Deniz seviyesindeki ($z = 0$) yoğunluk $\rho = 1.225$ kg/m³, $g = 9.80665$ m/s² olarak alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra Akdere, 27.10.1991'da İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2009 yılında Ali Rıza Özderici Lisesi Sayısal bölümünden mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde eğitim almaya başladı. 2010 yılında yatay geçiş hakkı kazanarak Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde eğitimine devam etti ve 2014 yılında mezun oldu. Akabinde Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve halen devam etmektedir. 2014 yılından itibaren Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. Dr. Ünal Uysal'ın öğrenci asistanı olarak görev almaktadır.