

ÜÇ GEÇİŞLİ BİR KANALDA ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Büşra AKDERE¹
Sakarya Üniversitesi/Sakarya

Ünal UYSAL² ve Nedim SÖZBİR³
Sakarya Üniversitesi/Sakarya

ÖZET

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. Bu çalışmada 3 geçişli bir kanat modeli üzerinde kare ve dairesel deliklerin olduğu 2 geçiş parçası (tümünde 2 sıra olmak üzere, dairesel delikli ve kare delikli, dairesel) kullanılarak, 4 farklı Reynolds sayısı için deneysel olarak sıvı kristal termografisi metoduyla kanal yüzeyindeki ısı geçiş katsayısı değişimi araştırılmıştır. 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 olduğu tespit edilmiştir.

GİRİŞ

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]. Başka bir çalışmada çarpmalı jet sistemlerinde çapraz akım ve iki plaka arasındaki aralığın etkisi

¹ FBE Makina Müh. Böl., E-posta:bsraakdre@gmail.com

² Yrd. Doç. Dr., Makina Müh. Böl., E-posta: uysal@sakarya.edu.tr

³ Doç. Dr., E-posta: sozbir@sakarya.edu.tr

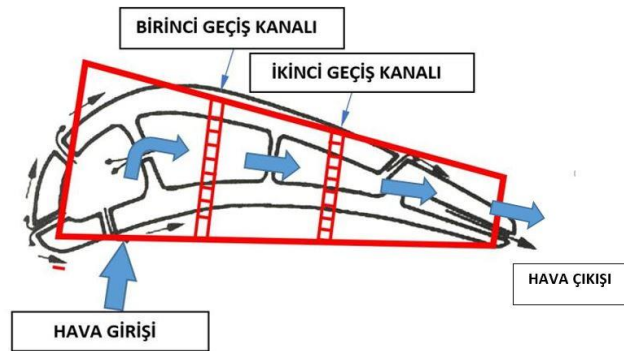
araştırılmıştır [Azad. Gm. S. 2000]. Literatürde iki geçişli kanallarda ısı transferi büyüklüklerinin araştırılmasında düz ve ripli geometriye sahip kanallar kullanılmıştır. Riplerin kullanılmış olduğu kanallardaki ısı geçişi büyüklüklerinin düz kanallardan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir çalışmada ise kenar kalınlığının artışı ile film soğutma etkisinin nasıl etkileyeceği ortaya koyulmuştur. Yoğun türbülans etkisinden dolayı kenar kalınlığı, film soğutma etkisinden daha hızlı olduğu anlaşılmış ve soğutucu akışkan karışımı ve sıcak gaz üzerine gönderilmesi konusunda yeni mekanizmalar ortaya konmuştur. [Holloway, D. S., Leylek, J. H., and Buck, F. A., 2002].

Sıvı kristal Termografisi tekniği kullanarak gaz türbini kanatı 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]. 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.

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.

DENEYSEL ÇALIŞMA

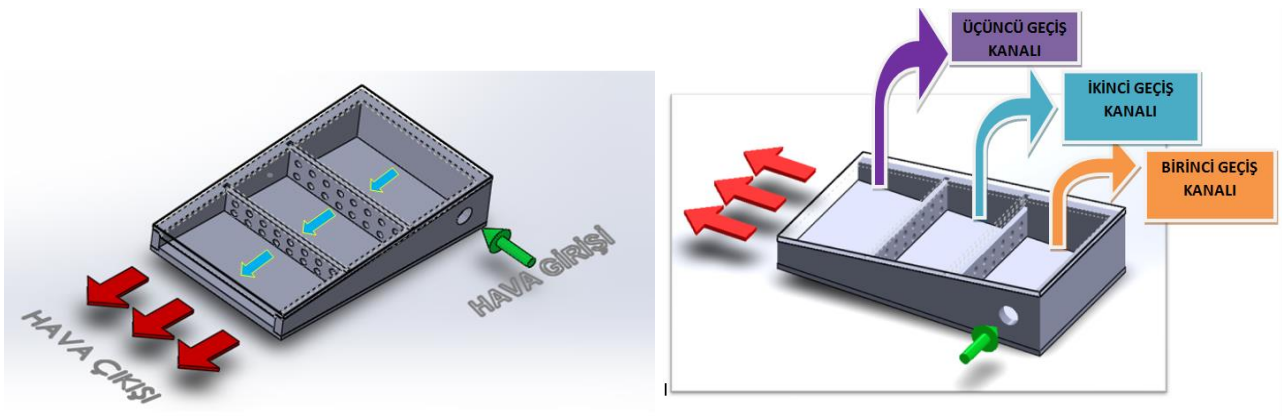
Deney Modeli:



Şekil 1: Deney modeli

Bu çalışmada Şekil 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.

Deneyisel 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.

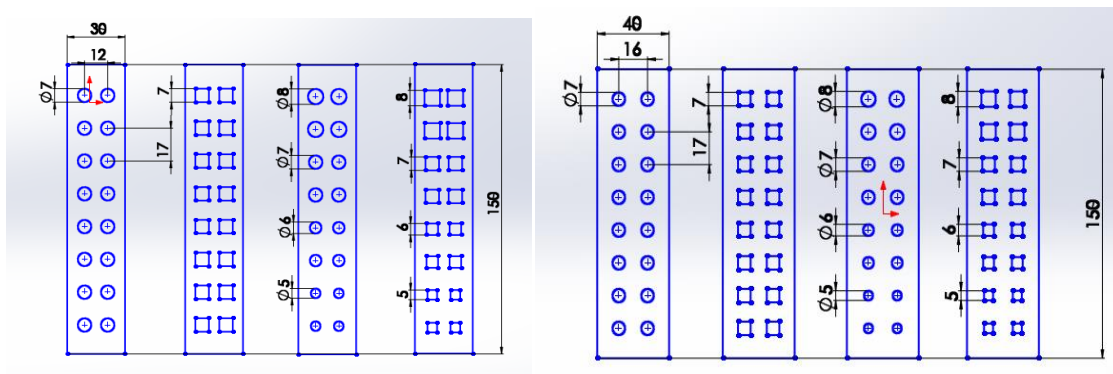


Şekil 2: Modelin üç boyutlu görünüşü

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 2.'deli 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 150mm-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 2.'de Modelin üç boyutlu hali gösterilmektedir. Deney modeli içerisindeki kanal geçişlerinde kullanılan parçalarının dört farklı konfigürasyonda tasarlanmıştır.

Deney Modelinde Kullanılan Geçiş Parçaları



Şekil 3: Geçiş parçaları

Deney Belirsizliği

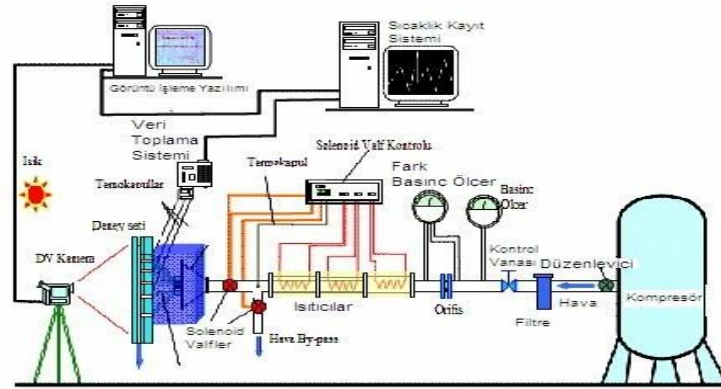
Isı transferi katsayısının tespit edilebilmesi için sıvı kristal kullanarak yapılan ölçümlerde özellikle test yüzeyi, giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlıdır. Test yüzeyi, giriş ve çıkış sıcaklıklarında meydana gelen belirsizlik sırasıyla % 0,5 % 0,4 ve % 1'dir. Sıcaklık ölçümlerinin toplam belirsizliği $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$

şeklinde olacaktır. Ayrıca diğer belirsizlikler sıvı kristalin renk kalibrasyon sıcaklığı, renk değişimi sıcaklığı ve katı malzemenin termal difüzyonunda meydana gelen hatalardır. Bu hatalar yaklaşık olarak %5, %4 ve %1 şeklindedir. Diğer büyük bir belirsizlik ise deneye gönderilen hava debisi ve reynolds sayısındaki ölçüm hatalardır. Bunlar yaklaşık olarak %4 olarak alınabilir. Isı transferi katsayısına tüm bu hataların toplanmasıyla etki eden hata oranı %7 olarak hesaplanabilir

Deney Düzeneği

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



Şekil 4: Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Birinci bölümde, basınçlı hava kaynağı kullanılan kompresör, hava kontrol vanası, havayı temizlemek için kullanılan bir hava filtresi, Şekil 4'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 solenoid 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.

İkinci bölümde, termal sıvı kristallerin renk değişimlerini kayıt edeceğimiz bir adet kamera, 2 adet yüksek wattlı ışık kaynağı bulunmaktadır. İyi bir görüntü elde etmek için test bölümünün altı, ışık 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 veriler ile yüzeyin ısı transferi özelliklerini LCIA yazılımı ile bulmak mümkün olacaktır.

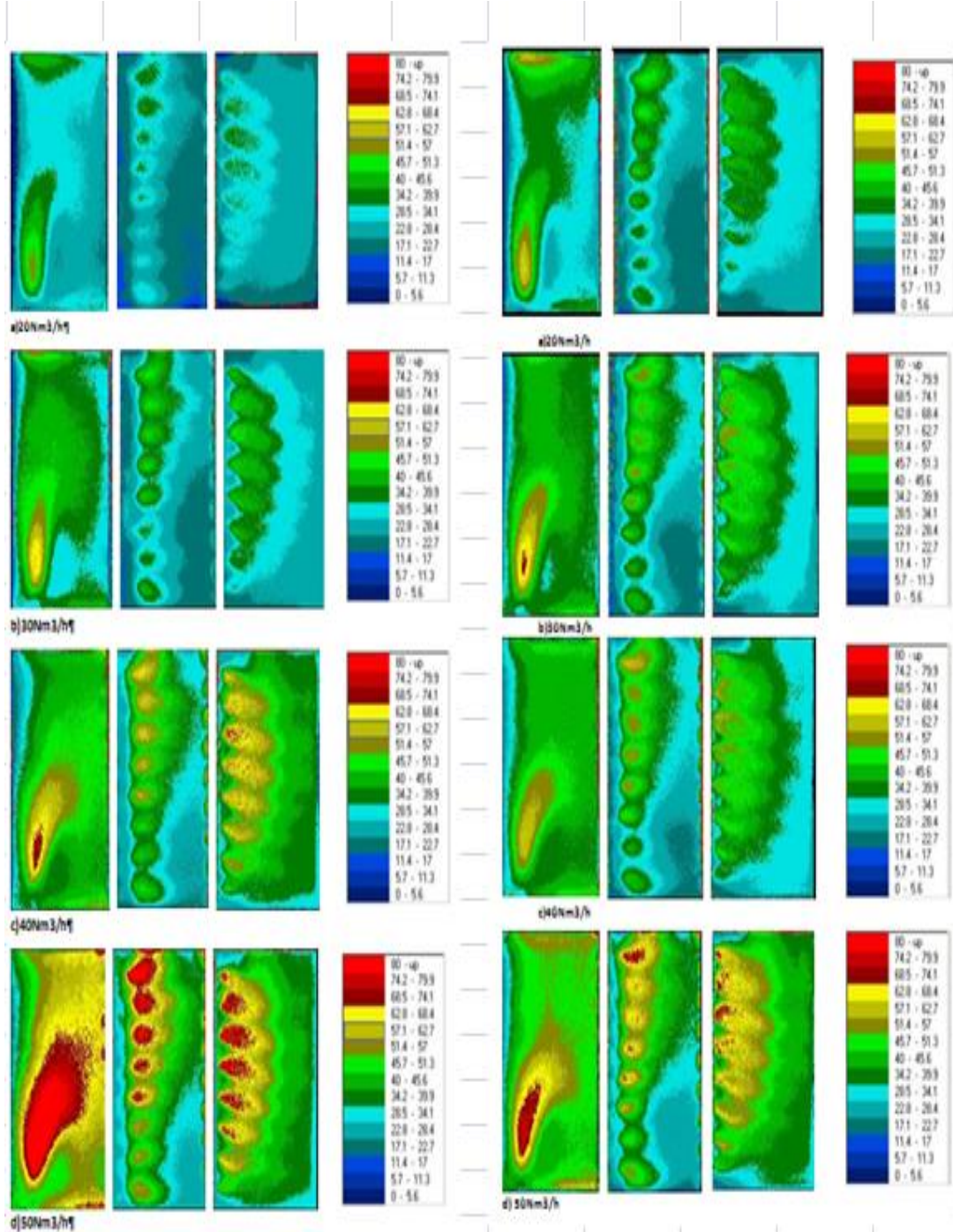
Dördüncü bölümde ise; test bölümü bulunmaktadır. Bu bölümde deneyi yapılacak sistemin plexiglassdan yapılmış modeli ve bu modelin ilgili bölümü termal sıvı kristalle kaplanmıştır.

DENEY SONUÇLARI

Deneyler dört farklı debide gerçekleştirilmiştir. Şekil 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 değerlerde olduğu görülmektedir.

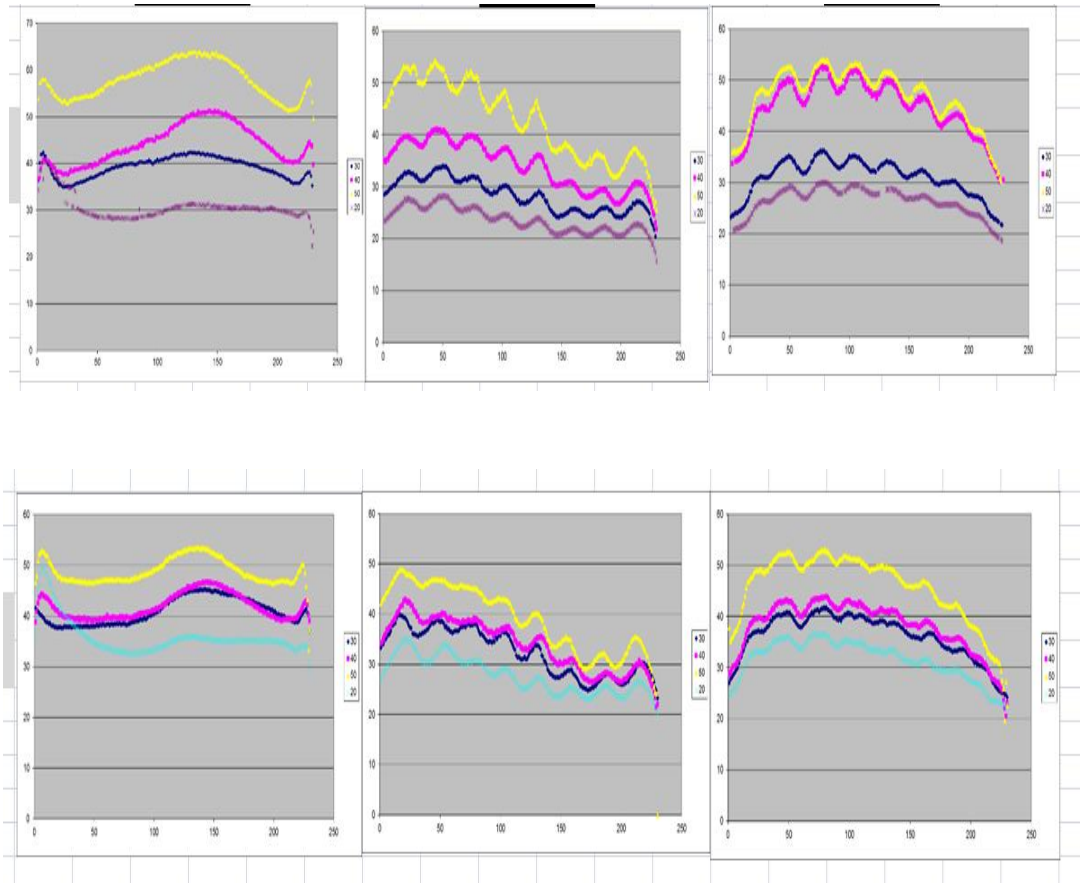


Şekil 5: İkili daire (debi: 20-30-40-50) ikili kare (debi:20-30-40-50)

Şekil 6'da iki sıralı dairesel ve 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 tespit edilmiştir. Üçüncü geçiş kanalında dairesel ve kare jetli modellerde kanal eni doğrultusunda kanal sonuna doğru ortalama ısı geçiş katsayısında düşüş meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 6: İkili sıralı daire ve kare delikli geçiş parçasında 20-30-40 ve 50 debideki h ($\text{kw/m}^2\text{K}$) değişimi

Birinci Geçiş Kanalındaki Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

Birinci Geçiş kanalındaki ısı geçiş katsayısının değişimi incelendiğinde; 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. Genel olarak 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 görölmüştür.,

İkinci Geçiş Kanalındaki Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

Re sayısının artması kanal içindeki ısı geçiş katsayısının artmasına neden olduğu görölmektedir. İki sıralı dairesel delikli kanal geçiş parçasından geçen akışın kanal çıkışı doğrultusunda ısı geçiş katsayısını arttırdığı görölmüştür. 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 görölmektedir.

Geçiş parçası kenarında, kanal eni boyunca ısı geçiş katsayısında ani bir düşüş meydana geldiği görölmektedir. 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.

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 görölmektedir. Ancak bu düşüş kanal alt bölgesinde daha yüksek iken kanal üst bölgesine daha az olduğu tespit edilmiştir. 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.

Üçüncü Geçiş Kanalındaki Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

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

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

Kaynaklar

- [1] 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.
- [2] Astarita, T., ve Cardone, G., (2000), "Thermofluidynamic Analysis of The Flow Near A Sharp 180° Turn Channel", *Experimental Thermal Fluid Science*, 20,188-200.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Han, J. C., (1984), "Heat Transfer and Friction on Channels with Two Opposite Rib-Roughened Walls", *ASME Journal Heat Transfer*,106,774-781.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Kline, S. J., ve McClintock, F. A., (1953), "Describing Uncertainties in Single- Sample Experiments," *Mech. Eng. Am. Soc.*, 75,3-8.
- [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] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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
- [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] 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.