



DÜŞEY VE ARALIKLI YERLEŞTİRİLEN BLOKLARIN ARKASINDA TAŞINIM ISI GEÇİŞİ VE BASINÇ DAĞILIMININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Murat ÇAKAN^{*1}, Hakan F. ÖZTOP^{**} ve İhsan DAĞTEKİN^{**}

^{*} İstanbul Teknik Üniversitesi, Mak. Fak., Mak. Müh. Bölümü,
Gümüşsuyu, İstanbul, cakanmu@itu.edu.tr

^{**}Fırat Üniversitesi, Müh. Fak. Makina Müh. Böl., Elazığ
hfoztop1@yahoo.com, idadtekin@firat.edu.tr

(Geliş Tarihi: 17. 06. 2005)

Özet: Isı geçişinin pasif yollarla iyileştirilmesi aktif metotlara nazaran daha ekonomik olabilmektedir. Bunun için akış fiziğinin iyi incelenmesi ve ısı geçişini arttıran mekanizmaların ayrıntılı biçimde ortaya konması gerekmektedir. Bu çalışmada üst üste konmuş ahşap iki bloğun arasındaki düşey aralığın, bloklar arkasında oluşan basınç ve ısı iz bölgesine etkisi incelenmiştir. Blokların arkasındaki statik basınç alanları benzerlik göstermekle birlikte, yerel ısı taşınım katsayısı dağılımı konfigürasyona ve aralık yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Taşınım ısı geçişi, Düşey aralıklı bloklar, Sıvı kristal

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER AND STATIC PRESSURE DISTRIBUTION BEHIND VERTICALLY LOCATED INTERMITTENT BLOCKS

Abstract: Enhancement of heat transfer by passive methods may be more economical when compared to that attained by active methods. To achieve this, it is necessary to focus on flow physics in detail and to relate them to various heat transfer enhancement mechanisms. The present work aims to investigate the heat transfer and static pressure distribution behind vertically placed intermittent blocks. Although the static pressure field distribution shows similarity behind the blocks, the local heat transfer coefficient distribution varies depending on the configuration and the gap heights.

Keywords: Convective heat transfer, Vertically intermittent blocks, Liquid crystal

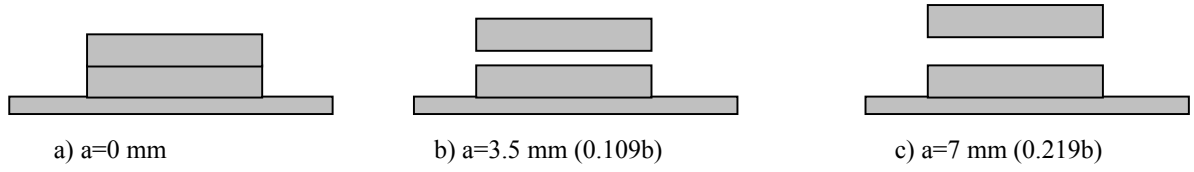
SEMBOLLER

a	Bloklar arası mesafe, [m]
b	Blok genişliği, [m]
c	Blok kalınlığı, [m]
h	ısı taşınım katsayısı, [W/m ² K]
Nu	Nusselt sayısı
L	karakteristik uzunluk, [m]
P _{atm}	Atmosfer basıncı, [Pa]
P _{priz}	Yerel statik basınç, [Pa]
Tu	Türbülans yoğunluğu
U	Hız, [m/s]
H	yükseklik, [m]
K	ısı iletim katsayısı, [W/mK]

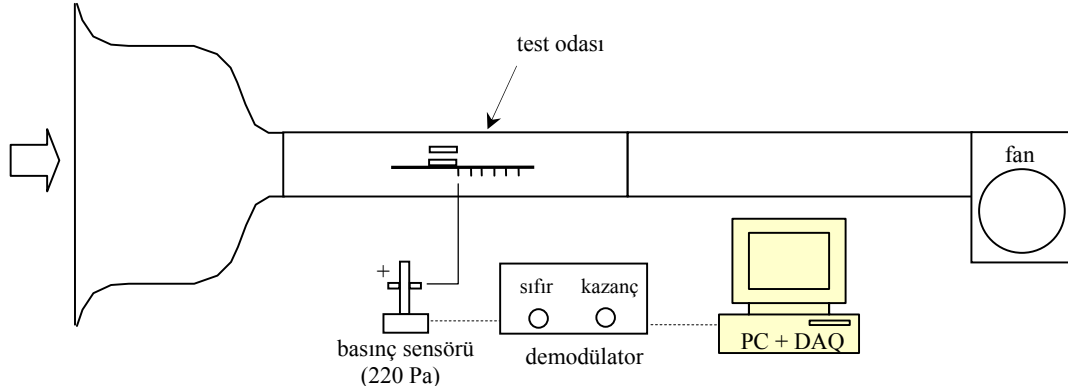
GİRİŞ

Isı geçişi iyileştirme teknikleri aktif ve pasif metotlar olarak literatürde geniş bir şekilde yer almakta ve bu konudaki araştırmalar devam etmektedir (Bergles, 1973). Aktif metotlar olarak; emme, üfleme, titreşim gibi yöntemler sayılabilir. Pasif metotlar kullanarak ısı geçişini iyileştirmek ise akış çerçesine farklı geometrilerde kanatçıklar yerleştirmek veya kanal ve boru içerisine akışkanı saptırıcı elemanlar koymak suretiyle yapılabilir. Acharya vd. (1993), yüksek Reynolds sayılarında türbin kanadı soğutma kanallarındaki yerel taşınım ısı geçiş katsayısını tespit etmek amacıyla farklı görünüş ve farklı engel boşluk oranlarında, sürtünme faktörü ve yerel taşınım ısı geçiş katsayısı için deneysel çalışmalar yapmışlar ve ampirik formülasyonlar elde etmişlerdir. Han vd. (1988), dikdörtgen engeller yerleştirilmiş kanallarda türbülanslı akış karakteristiklerini ve ısı geçişini incelemişlerdir. Çalışmalarda, katı dikdörtgen engeller kullanılmış, sabit ısı akısı sınır şartlarındaki iki engel

¹ İletişim kurulacak yazar



Şekil 2. Deneyle kullanılan üç konfigürasyon.



Şekil 3. Rüzgar tüneli ve statik basınç farkı ölçüm sistemi.

Şekil 1’de görülen model 350 mm x 350 mm kesiti haiz düşük hızlı ve emme modunda çalışan 9:1 daralma oranına sahip bir rüzgar tünelinin düşey konumda orta noktasına yerleştirilmiştir (Şekil 3). Statik basınç ölçümleri Şekil 1’de görülen levhanın üzerine açılmış 1 mm çapındaki basınç prizleri aracılığıyla rüzgar tüneline ortalama hız 0.73, 1.38, 2.03 ve 2.68 m/s iken gerçekleştirilmiştir. Söz konusu hızlarda ahşap blokların toplam yüksekliğini (0.53b) temel alan Reynolds sayıları sırasıyla 827, 1564, 2300 ve 3037’dir. Tünel içindeki ortalama hız 0.73 m/s ve 1.38 m/s olduğu durumlarda A ($x=-2b$) çizgisi boyunca sıcak tel anemometresi kullanılarak alınan hız karakteristikleri tünel içindeki ortalama türbülans yoğunluğunun % 2.9 ila % 4.4 civarında olduğunu göstermektedir (Şekil 4).

DENEYSSEL ÖLÇÜMLER

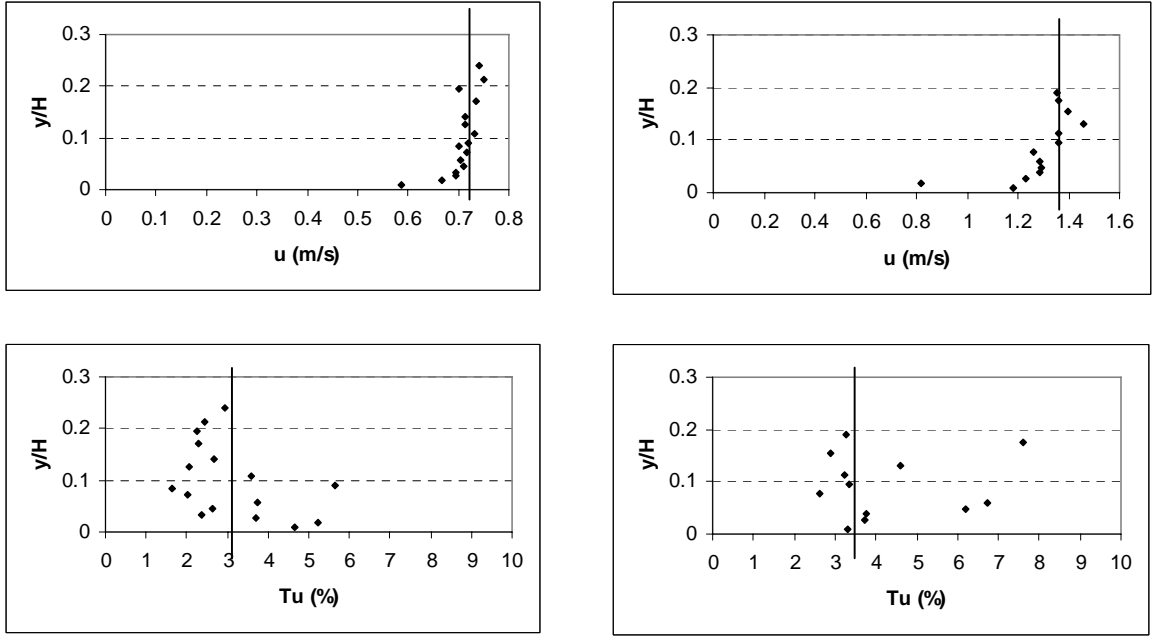
Statik Basınç Ölçümleri

Statik fark basınç ölçümleri değişken dirençli mikro basınçölçer sensör aracılığıyla yapılmıştır. Kullanılan basınç sensörünün okuyabileceği maksimum basınç farkı 220 Pa’dır. Önceden kalibre edilmiş basınç sensöründen gelen sinyal bir demodülatörden geçerek 12 bitlik bir veri toplama kartınca dijitalleştirilmiş ve işlenmiştir.

Isıl ölçümler

Bu çalışmada, ahşap blokların arkasında oluşan ısıl iz alanı sıvı kristal termografisi metoduyla incelenmiştir. İncelemede 40°C - 45°C arasında renk değiştiren sıvı kristal filmi ahşap blokları üzerinde taşıyan bir pertinaks® plakanın üzerine yapıştırılmıştır. Sabit ısı akısı sınır koşulu söz konusu bu plaka ile aynı boyuttaki bir başka plaka arasına sandviçlenmiş elastik bir ısıtıcı levha (150mm x 150mm) ile sağlanmıştır (Şekil 5).

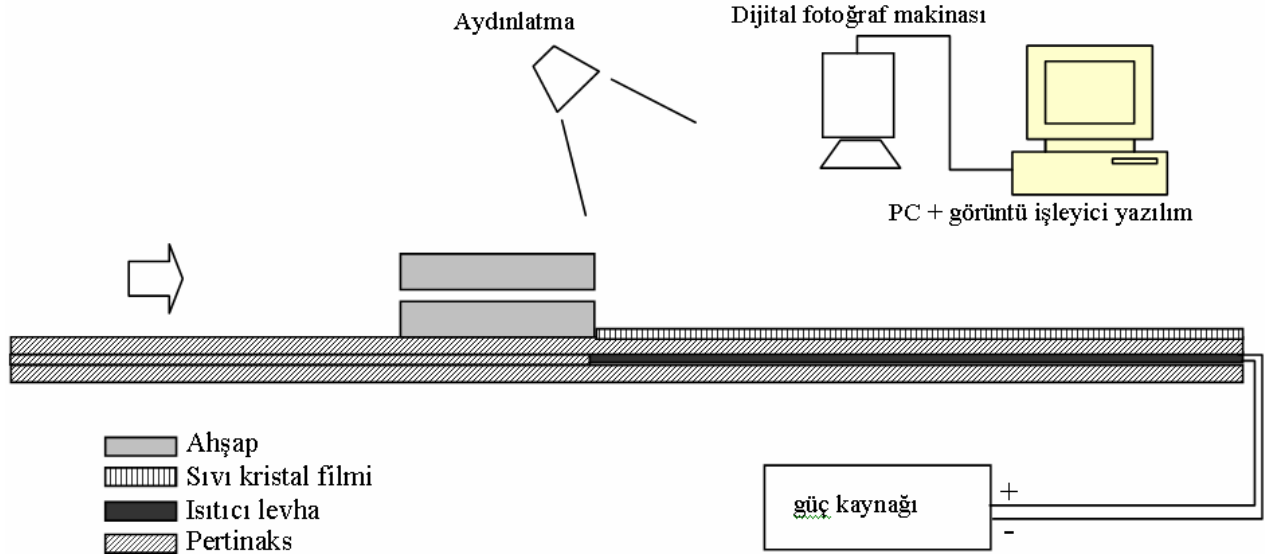
Sıvı kristal termografisi ile ilgili detaylı bilgi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir (Çakan, 2000, 2001). Burada sadece sistemin işleyişi ele alınacaktır. Sisteme sabit ısı akısı ayarlanabilir bir doğru akım güç kaynağı tarafından sağlanmaktadır ve bu ısının elastik ısıtıcı levhayı sandviçleyen iki pertinaks® bloğa eşit miktarda geçtiği kabul edilmektedir. Ahşap blokların arkasına; levhanın üzerine çift taraflı yapışkan ile yapıştırılan 100 mikron kalınlığındaki sıvı kristal filmi maruz kaldığı ısı akısı sonucunda ısınır ve üzerinden akan akışkanın etkisiyle yüzeyinde iki boyutlu bir sıcaklık dağılımı sergiler. Normalde şeffaf ön plan gerisinde siyah arka planlı sıvı kristal filmi üzerindeki 40°C - 45°C arasındaki sıcaklıklara sahip noktalar böylece renklenmiş olur. Bu sıcaklık aralığının altında veya üstünde kalan ve o ısıtma rejimi için renk sergilemeyen noktaların da renkli hale gelmesi için güç kaynağı farklı güçlere ayarlanarak deney



a) Ortalama hız = 0.73 m/s

b) Ortalama hız = 1.38 m/s

Şekil 4. A çizgisi boyunca hız ve türbülans yoğunluğu dağılımı.



Şekil 5. Isıl ölçümlerde kullanılan sistem.

tekrarlanır ve böylece tüm sıvı kristal yüzeyinden (ısıtma rejimi-renk bilgisi) alınmış olur. Elde edilen renk bilgisinin sıcaklık bilgisine çevrilmesi için ise üzerinde yaratılan doğrusal sıcaklık gradyeninin içine yerleştirilmiş termoelemanlar aracılığıyla bilindiği sıvı kristal filmiyle kaplı bir alüminyum plakanın kalibre edilmesi yeterlidir. Böylelikle renk bilgisi sıcaklık bilgisine dönüştürülmüş olur. Deneylerde tek levha yüzeyinde oluşan sabit ısı akısı değerleri 350 ile 550 W/m² mertebesinde dir. Isının

pertinaks® levha kalınlığı boyunca tek boyutlu transfer olduğu ve ışımla ısı kaybının zorlanmış taşınım oranla ihmal edilebilir miktarda olduğu kabul edilmiştir. Isıl deneyler sadece U=2.03 m/s için gerçekleştirilmiştir. Akış sıcaklığı test odasına yerleştirilmiş bir termometre aracılığı ile belirlenmiştir. Isı taşınım katsayısı h, ısı akısının sıvı kristal yüzeyi üzerindeki sıcaklık değerleri ile akış sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkına bölünmesi ile bulunur. Karakteristik uzunluk olarak toplam ahşap

yüksekliği (0.53b) kullanılır ve Nu ifadesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

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

DENEYSEL BELİRSİZLİK

Statik basınç ve Nusselt sayısı üzerindeki belirsizlik Kline ve McClintock (1953)'ün önerdiği biçimde hesaplanmış ve yaklaşık %6 olarak bulunmuştur.

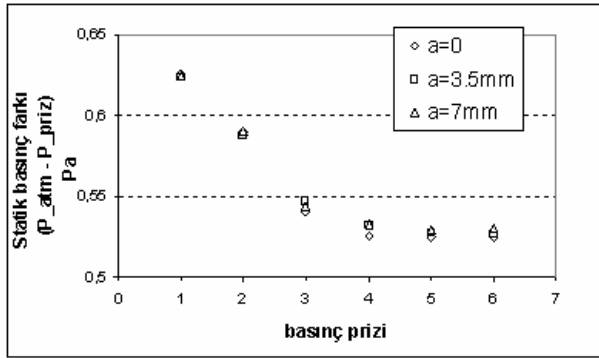
SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Levha üzerindeki statik basınç farkı dağılımı deneylerde kullanılan dört farklı ortalama hız değeri ve üç farklı konfigürasyon için Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6, dört farklı ortalama tünel hız değerinde de üst üste yerleştirilmiş iki ahşap bloklar arasındaki açıklığın, elemanların arkasındaki statik basınç alanını ancak ihmal edilebilecek derecede değiştirdiğini göstermektedir. Böylelikle her bir prizde konfigürasyondan bağımsız;

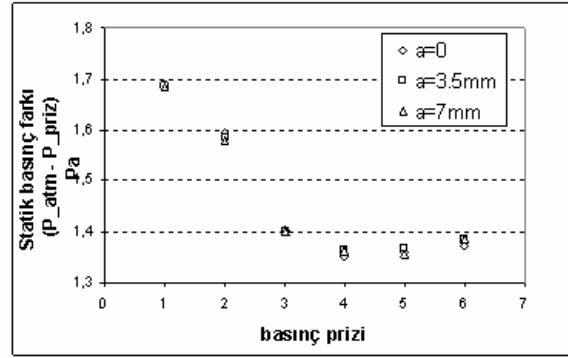
ortalama statik basınç değerlerinin priz ve tünel ortalama hızı ile değişimini gösteren bir diyagram çizilebilir (Şekil 7). Bu diyagramda, tüneldeki ortalama hız arttıkça, her ne şekilde yerleştirilmiş olursa olsunlar, ahşap blokların arkasındaki düşük basınç bölgesinin şiddetinin giderek büyüdüğü görülebilir. Bu, bloklar arkasında oluşan döngünün hız arttıkça büyüdüğüne işaretir.

Şekil 8-a, b ve c, sırasıyla a=0, a=3.5 mm ve a=7 mm konfigürasyonları için ahşap blokların arkasında, tünel ortalama hızı U=2.03 m/s iken, oluşan ısıl iz bölgesini Nu dağılımı cinsinden göstermektedir.

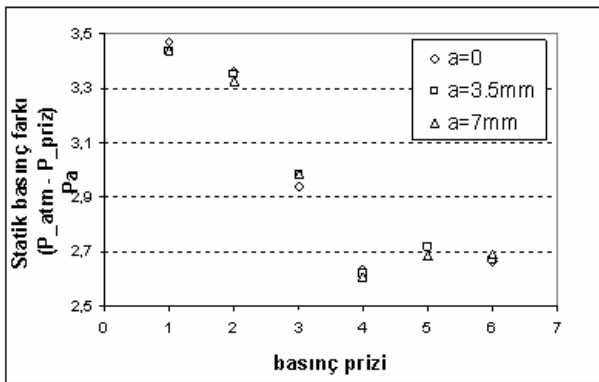
Eğer Şekil 8'de verilen iki boyutlu Nu dağılımları, statik basınç dağılımında olduğu gibi, levhanın simetri ekseninde çizdirilecek olursa Şekil 9'da görülen dağılım elde edilir. İki ahşap bloklar arasında açıklık bulunmadığı halde (a = 0 mm) x/b oranı 1.05 ile 2.15 arasında taşınımın ısı geçişinin yüksek olması bu bölgede akımın yüzeye yeniden kavuştuğunu düşündürmektedir.



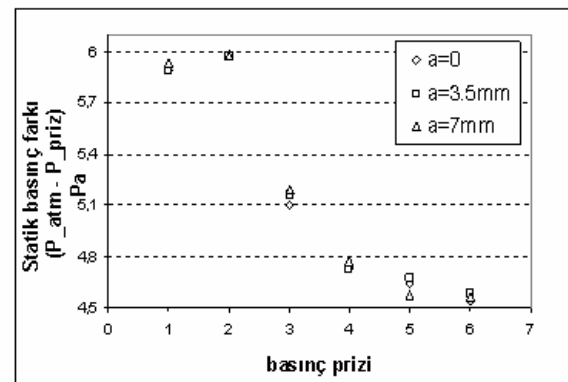
a) U=0.73 m/s



b) U=1.38 m/s

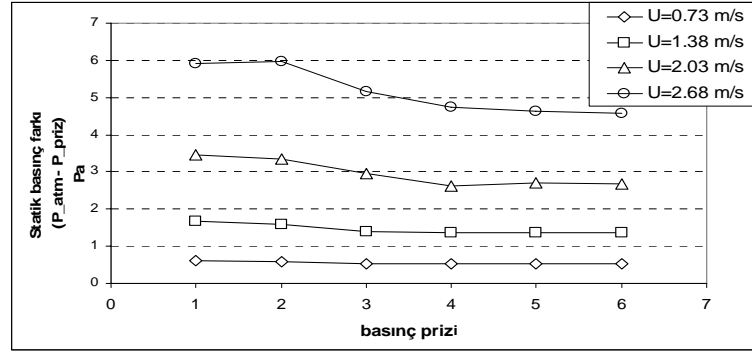


c) U=2.03 m/s

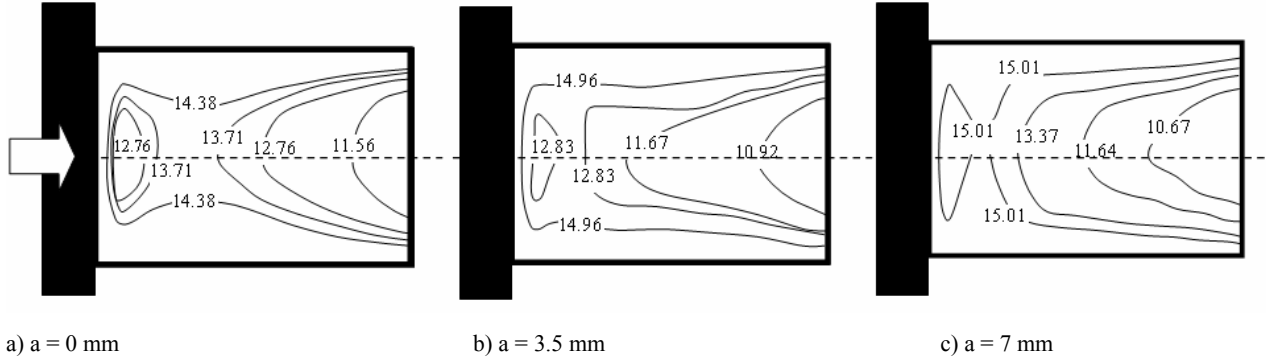


d) U=2.68 m

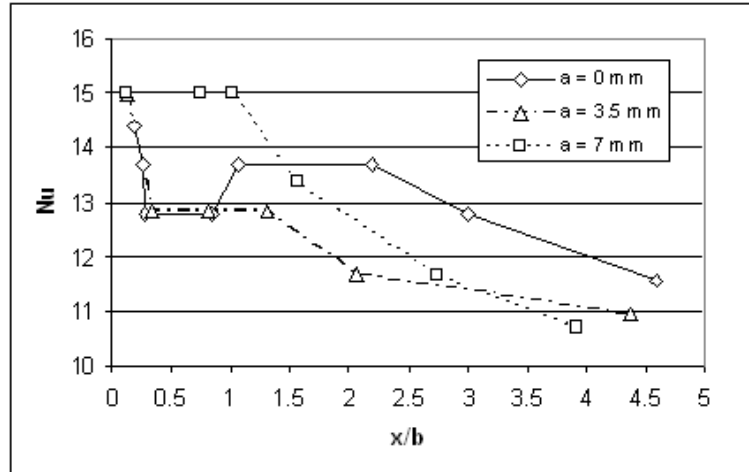
Şekil 6. Ahşap bloklar arkasında statik basınç farkı dağılımı.



Şekil 7. Ortalama statik basınç farkının tünel hızı ile değişimi.



Şekil 8. Isıl iz bölgelerindeki Nu dağılımı.



Şekil 9. Levhanın simetri ekseninde Nu dağılımı.

x/b oranı 2.15'in üstüne çıktıkça sınır tabaka kalınlaşması sonucunda taşınım ile ısı geçişi giderek kötüleşir. Bu konfigürasyonda $x/b=0$ ile $x/b=1.05$ arasında görece olarak düşük Nu sayıları ile karakterize edilen bir geri dönüş bölgesi görülmektedir. $x/b=0$ 'a çok yakın bölgelerdeki üç konfigürasyonda da görülen yüksek Nu değerleri ısıtıcının sınır bölgelerinden ısıtılmayan

pertinaks® plakaya iletimle kaybedilen ısı yüzünden oluşmaktadır ve akışın fiziki ile ilgisinin olmadığı düşünülmektedir. $a=3.5$ mm konfigürasyonunda, Şekil 9'dan görüldüğü kadarıyla yüzeye akım kavuşması ya yaşanmamakta ya da taşınım ile ısı geçişinin diğer bölgelerden biraz daha iyi olduğu $x/b=0.4$ ile 1.4 arasında çok zayıf olarak yaşanmaktadır. Olası bir başka açıklama

ise bu bölgenin açıklıksız ($a=0$ mm) konfigürasyonunun aksine zayıf da olsa bir soğutucu jeti ile $x/b=1.3$ 'e kadar zayıf olarak soğutulduğu şeklindedir. $a=7$ mm konfigürasyonuna gelindiğinde iki ahşap bloğun arasındaki açıklığın artmasının düşük x/b bölgelerinde ısı geçişini arttırdığı kolaylıkla görülebilir. Öncelikle Nu sayısını dağılımı açıklıksız konfigürasyondan çok $a=3.5$ mm konfigürasyonuna benzemektedir. Ancak bu konfigürasyonda, ahşap bloklar arkasındaki ısıtılan bölge $a=3.5$ mm konfigürasyonuna göre daha fazla bir soğutma havası ile süpürülmektedir. Eğer bir akım kavuşmasından söz edilebilirse bu kavuşma $a=3.5$ mm için $x/b=1.3$; $a=7$ mm içinse $x/b=1$ civarında gerçekleşmektedir. Sözü edilen her iki olası kavuşma bölgesinden sonra sınır tabaka kalınlaşmasının taşınımıyla ısı geçişini giderek kötüleştirdiği görülebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmayı 878 numaralı proje kapsamında destekleyen, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Birimi (FÜBAP) 'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Acharya, S., Dutta, S., Myrum, T.A., Baker, R.S., Periodically Developed Flow and Heat Transfer in a Ribbed Duct, *Int. J. Heat Mass Transfer* 36, 2069-2082, 1993.

Bergles, A.E., Recent Developments in Convective Heat Transfer Augmentation, *Appl. Mech. Reviews* 26, 675-682, 1973.

Çakan, M., Soğutma Kanallarında Zorlanmış Taşınımın Isı Geçişinin Sıvı Kristal Termografi Yöntemiyle Belirlenmesi, *13. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 5-7 Eylül 2001, Konya

Çakan, M., Yüzey Sıcaklık Dağılımlarının Sıvı Kristal Termografisi Yöntemi ile Belirlenmesi, *Isı Bilim ve Tekniği Dergisi* 21, 2, 2001

Çakan, M., Aerothermal Investigation of Fixed Rib-Roughened Cooling Passages, von Karman Institute Lecture Series 2000-03 (ISSN 0377-8312), 2000, Rhode St. Genèse, Belgium.

Han, J. C., Heat Transfer and Friction Characteristics in Rectangular Channels with Rib Turbulators, *J. Heat Transfer* 110, 321-328, 1988.

Hwang, J. J., Liou, T. M., Augmented Heat Transfer in a Rectangular Channel with Permeable Ribs Mounted on the Wall, *J. Heat Transfer* 116, 912-920, 1994.

Hwang, J. J., Heat Transfer-Friction Characteristic Comparison in Rectangular Ducts with Slit and Solid Ribs Mounted on one Wall, *J. Heat Transfer* 120, 709-716, 1998.

Iacovides, H., Kelemenis, G., Raisce, M., Flow and Heat Transfer in Straight Cooling Passages with Inclined Ribs on Opposite Walls: An Experimental and Computational Study, *Experimental Thermal and Fluid Science* 27, 283-294, 2003.

Kline, S. J., McClintock, F. A., Describing Uncertainty in Single-Sample Experiments, *Mechanical Engineering*, 75, 3-8, 1953.

Liou, T.M., Hwang, J.J., Effect of Ridge Shapes on Turbulent Heat Transfer and Friction in a Rectangular Channel, *Int. J. Heat Mass Transfer* 36, 931-940, 1993.

Liou, T.M., Hwang, J.J., Turbulent Heat Transfer Augmentation and Friction in Periodic Fully Developed Channel Flows, *J. Heat Transfer* 114, 56-64, 1992.

Molki, M., Mostoufizadeh, A.R., Turbulent Heat Transfer in Rectangular Ducts with Repeated-Baffle Blockages, *Int. J. Heat Mass Transfer* 32, 1491-1499, 1989.

Sparrow, E.M., Liu, C.H., Heat-Transfer, Pressure-Drop and Performance Relationships for in-line, Staggered, and Continuous Plate Heat Exchangers, *Int. J. Heat Mass Transfer* 22, 1613-1625, 1980.

Zhang, Y.M., Gu, W.Z., Han, J.C., Heat Transfer and Friction in Rectangular Channels with Ribbed or Ribbed-Grooved Walls, *J. Heat Transfer* 116, 58-65, 1994.