

TÜRBÜLANSLI AKIŞTA ISI TRANSFERİNİN BLOKLU YÜZEYLER İLE ARTTIRILMASI

*Onur YEMENİCİ **
*Z. Abidin FIRATOĞLU ***

Özet: Bu çalışmada, düz ve bloklu yüzeyler üzerinde türbülanslı akış için ısı transferi analizi blok yüksekliğine bağlı olarak yapılmıştır. Hız ve türbülans yoğunlukları ölçümlerinde sabit sıcaklıklı bir kızgın tel anemometresi kullanılırken, sıcaklık değerleri termal çiftler ile ölçülmüştür. 15 ve 25 mm blok yüksekliklerine sahip bloklu yüzey ortalama Stanton sayılarının, düz yüzey değerlerinden sırasıyla %38 ve %84 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, blokların varlığının ısı transferini önemli derecede arttırdığını ve ısı transferinin blok yüksekliği ile arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bloklu yüzey, Türbülanslı akış, Isı transferi artırımı.

Heat Transfer Enhancement in Turbulent Flows by Blocked Surfaces

Abstract: In this study, the heat transfer analyses over flat and blocked surfaces were carried out in turbulent flow under the influence of the block height. A constant-temperature hot wire anemometer was used to the velocity and turbulent intensity measurements, while temperature values were measured by copper-constantan thermocouples. The average Stanton numbers for block heights of 15 and 25 mm were higher than those of flat surface by %38 and %84, respectively. The results showed that the presence of the blocks increased the heat transfer and the enhancement rose with block heights.

Keywords: Blocked surface, Turbulent flow, Heat transfer enhancement.

1. GİRİŞ

Bloklu yüzeyler üzerinde akışların incelenmesi, elektronik sistemler, gaz türbinleri, nükleer reaktörler, ısı değiştiricileri, enerji ve çevresel kontrol sistemleri ve biyomedikal cihazlar gibi, ısıtma ve soğutmanın gerektiği birçok mühendislik probleminin analizi ve çözümü için gerekli olduğundan literatürde geniş yer tutmaktadır.

Kim ve Anand (1994) yüzeye yerleştirilmiş bloklar üzerinde türbülanslı akışı ve ısı transferini sayısal olarak incelemişler ve Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısının arttığını tespit etmişlerdir. Leung ve diğ. (1997) dikdörtgen bloklar üzerinden akışta taşınım ısı transferi ve basınç düşümü karakteristikleri üzerine bir çalışma yapmış ve matematiksel korelasyonlar geliştirmişlerdir. Bir kanaldaki ısıtılmış bloklar üzerinden laminar ve türbülanslı akış deneysel ve sayısal olarak Chen ve Wang (1998) tarafından araştırılmış ve türbülanslı akıştaki Nusselt sayılarında artış gözlemlenmiştir. Young ve Vafai (1998) yalıtılmış bir kanal içindeki ısıtılmış bir bloğun zorlanmış taşınım ile soğutulması üzerine bir çalışma yapmış ve

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa.

** Harran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.

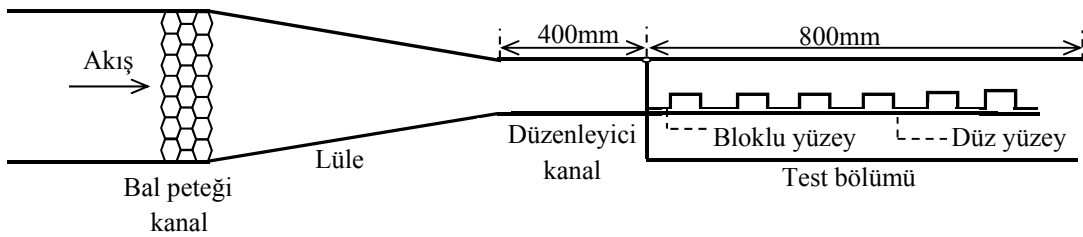
İletişim Yazarı: O. Yemenici (oseckin@uludag.edu.tr)

blok geometrisinin akış ve ısı karakteristikleri üzerine etkisini belirlemiştir. Kanal içerisinde akışta alüminyum bloklarla ısı transferinin arttırılması Naik ve diğ. (1999) tarafından deneysel olarak incelenmiş ve blok yüksekliği arttıkça ısı transferinin arttığını saptanmıştır. Bilen ve Yapıcı (2001) alüminyum dikdörtgen bloklarla oluşturulmuş ısıtılmış bir yüzey üzerinden akışta ısı transferini deneysel olarak araştırmışlar ve bloklı ve bloksuz yüzeyden olan ısı transferi için korelasyonlar geliştirmişlerdir. Blokların varlığının ısı transferi üzerine olan etkileri Şara ve diğ. (2001) tarafından yapılan deneysel bir çalışma ile tespit edilmiştir. Korichi ve Oufer (2006), üst ve alt duvarlarında ısıtılmış bloklara sahip bir dikdörtgen kanalda, 2 boyutlu, süresiz akışı sayısal olarak incelemişler ve Reynolds sayısının artmasıyla ısı transferinin arttığını belirlemişlerdir. Ryu ve diğ. (2007) üç ve iki boyutlu kare, üçgen ve yarım daire bloklara sahip kanallardaki türbölanslı akışta ısı transferini incelemişlerdir. Perng ve Wu (2008), ısıtılmış bloklara sahip bir kanal içerisinde türbölanslı akış ve taşınımla ısı transferini, türbölütör kullanılmadan ve ilk bloğun üzerine dikdörtgen bir türbölütör yerleştirilerek sayısal olarak incelemişlerdir. Isı üreten bloklara sahip yüzeylerin bulunduğu kanal akışında zorlanmış taşınım Tsay ve Cheng (2008) tarafından sayısal olarak çalışılmış ve blok yüksekliği arttıkça ortalama Nusselt sayısının arttığını tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, hem düz yüzey hem de bloklı yüzeyler için 15 m/s serbest akış hızı ve 15 ve 25 mm blok yüksekliklerinde yapılarak blok yüksekliğinin türbölanslı akış ve ısı transferine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

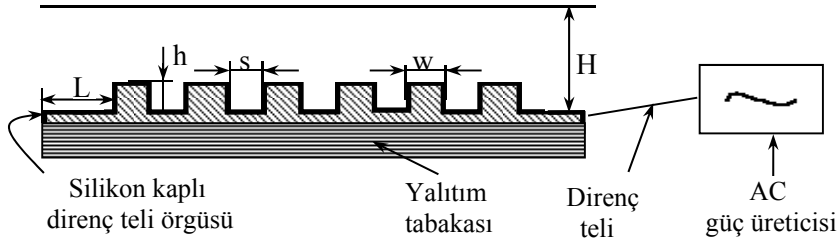
Deneylerde genel yapısı Şekil 1'de gösterilen, açık devre ve üfleme tipindeki düşük hızlı rüzgâr tüneli kullanılmıştır. Maksimum hızı 30 m/s ve bu hızdaki türbölans yoğunluğu %0.7 olan bu tüneldeki akış hızı bir kelebek vana ile kontrol edilirken, hava akışı 5.7 kW gücündeki eksenel bir fan vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bal peteği şeklinde oluşturulmuş kanal düz akış çizgileri elde etmek ve akışın türbölans seviyesini düşürmek için kullanılırken, lüle sınır tabakanın ayrılmasını önlemek ve akışı hızlandırmak için kullanılmıştır. Lülenin devamındaki düz kanal ise, test kısmından önce, akışı düzenlemek ve kesit daralması etkisinden kurtulmak için tasarlanmıştır. Test bölümlerinin (800mmx240mmx200mm) yan yüzeyi, akış alanının tamamının gözlemlenmesine olanak verecek şekilde saydam fleksiglas malzemeden üretilmiş ve üst yüzeyine hız probunun ve termal çiftlerin yüzeye dik yöndeki ve akış yönündeki hareketlerini sağlayan bir kanal açılmıştır.



Şekil 1:
Rüzgâr tüneli ve test bölümü

Deneylerde, 240 mm genişliğinde, 750 mm uzunluğunda ve 0.8 mm kalınlığında bakır bir düz yüzey kullanılmış ve ölçümler akış yönünde $x=30, 75, 195, 315, 435, 555$ ve 675 mm olmak üzere 7 noktada yapılmıştır. Bloklı yüzey deneylerinde ise, blok yükseklikleri (h) 15 ve 25 mm, uzunlukları 510 ve 450 mm ve blok sayıları sırasıyla 8 ve 6 olan iki tane bakır bloklı yüzey kullanılmıştır. Her iki yüzeyde blok genişliği (w), kanal yüksekliği (H), bloklar

arasındaki mesafe (s) ve test bölümünün girişinin ilk bloğa olan uzaklığı (L) sırasıyla 30, 200, 30 ve 60 mm olarak sabittir. Bloklü yüzey boyutları düz yüzey ile aynı toplam yüzey alanını elde edecek şekilde seçilmiş ve ölçüm istasyonları Şekil 5’de detaylı olarak verilmiştir. Tüm yüzeylerin üzerinde düzgün dağılımlı ısı akısı elde edebilmek için, Şekil 2’de gösterildiği gibi, yüzeylerin altına AC güç üreticisi ile ısınan krom-nikel direnç telleri döşenmiş, ısının düzgün dağılımını sağlamak için kabloların arası silikon ile doldurulmuş ve ısı kayıplarını önlemek için alt yüzey cam yünü ile kaplanmıştır. Tüm deneylerde, serbest akış hızları, hız profilleri ve türbülans yoğunlukları sabit sıcaklıklı bir kızgın tel anemometresi ile ölçülürken sıcaklıklar bakır-krom tipinde termal çiftlerle ölçülmüştür.



Şekil 2:

Isıtılmış bloklü yüzey boyutları ve montajı

Düz yüzey üzerinden akışta sınır tabakayı tanımlamak için akış yönündeki x mesafesiyle hesaplanan Reynolds sayısı ($Re_x = Ux/\nu$), momentum kalınlığı (θ) Reynolds sayısı ($Re_\theta = U\theta/\nu$) ve yerdeğiştirme kalınlığının (δ^*) momentum kalınlığına oranı olan biçim faktörü (H) kullanılmış ve ölçülen hız profilleri Prandtl (1/7) güç kanunuyla elde edilen hız profiliyle karşılaştırılmıştır (Bkz. Şekil 3). Tüm yüzeyler için türbülans yoğunluğu $Tu = 100xu_{rms}/U$ ile ifade edilmiştir.

Düz ve bloklü yüzeyler için boyutsuz yüzey sıcaklıkları, ısı taşınım katsayıları ve buna bağlı olarak Stanton sayıları sırasıyla $\theta_w = (T_w - T_0)/(T_{in} - T_0)$, $h = q/(T_w - T_0)$ ve $St = h/\rho UC_p$ ile hesaplanmıştır. Buradaki net ısı akısı (q) akış sırasında transfer edilen ısı akısı ($q_f = V_f I_f/A$) ile akış yokken yüzey üzerinde her ölçüm noktasında akış sırasındaki aynı sıcaklıkları elde etmek için gerekli ısı akısı ($q_o = V_o I_o/A$) arasındaki farktır. Bloklü yüzey deneysel Stanton sayıları düz yüzey sonuçları ile karşılaştırılırken, düz yüzey St değerleri Kays and Crawford (1993) tarafından ifade edilen laminer akış için analitik (Eş. (1)) ve türbülanslı akış için yaklaşık yöntemlerle (Eş. (2)) elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

$$St_x = 0.453 Re_x^{-0.5} Pr^{-0.666} (1 - (x_1/x)^{0.75})^{-0.333} \quad (1)$$

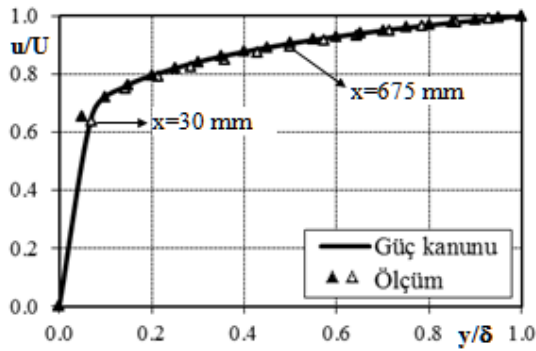
$$St_x = 0.030 Re_x^{-0.2} Pr^{-0.4} (1 - (x_1/x)^{0.9})^{-0.111} \quad (2)$$

Her iki eşitlikte de Pr Prandtl sayısı, x izafi başlangıç uzunluğu iken, x_1 ısıtılmamış başlangıç uzunluğudur ve Blasius analitik metot kullanılarak $x_1 = (U\theta_{30mm}^2/0.44\nu) - 0.03$ ile hesaplanmıştır.

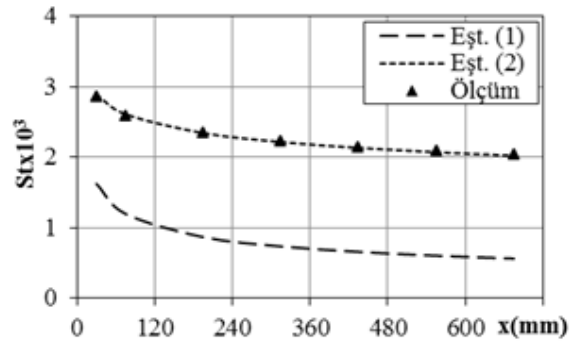
Belirsizlik analizi için Kline ve McClintock (1953) tarafından verilen yöntem kullanılmıştır. Hız ve sıcaklık ölçümlerinde oluşan maksimum belirsizlikler sırasıyla $\pm\%2.2$ ve $\pm\%2.8$ olarak elde edilirken, bu ölçümler kullanılarak elde edilen Stanton sayısındaki maksimum belirsizlik $\pm\%3.9$ olarak hesaplanmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Düz yüzey üzerinde 15 m/s hızda elde edilen deneysel hız profilleri 1/7 güç kanunuyla elde edilen türbölanslı hız profilleriyle uyum gösterirken (Şekil 3), Re_x , Re_θ ve H değerleri 3.7×10^6 - 4.3×10^6 , 1281-2028 ve 1.39-1.31 aralığında hesaplanarak akışın türbölanslı bölgede olduğunu göstermektedir. Minimum türbölans yoğunluğu (%0.7) sınır tabakanın dışında elde edilirken, maksimum değer (%5.8) sınır tabaka içinde yüzeye en yakın noktada elde edilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü gibi, deneysel Stanton sayıları türbölanslı akış için yaklaşık yöntemlerle elde edilen değerlerle uyum göstererek hız profillerini doğrulamaktadır. Düz yüzey deneysel verileri 1/7 güç kanunu ve Eşitlik (2) ile elde edilen hız profilleri ve Stanton sayıları ile uyum göstererek hem akışın 15 m/s’ de türbölanslı olduğunu hem de kullanılan ölçüm cihazlarının doğruluğunu göstermektedir.



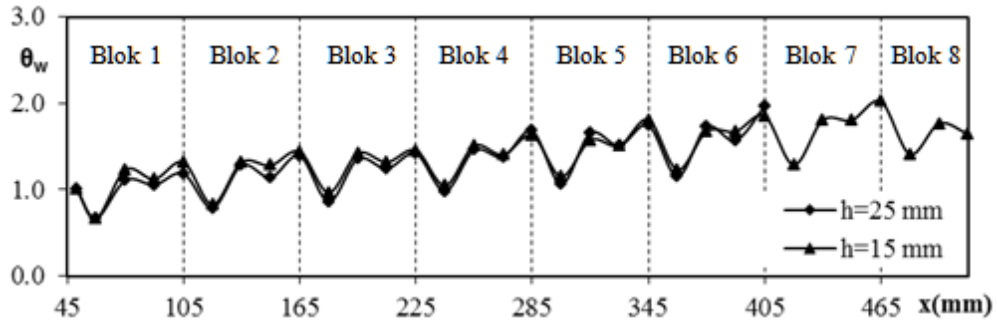
Şekil 3:
Düz yüzey hız profilleri



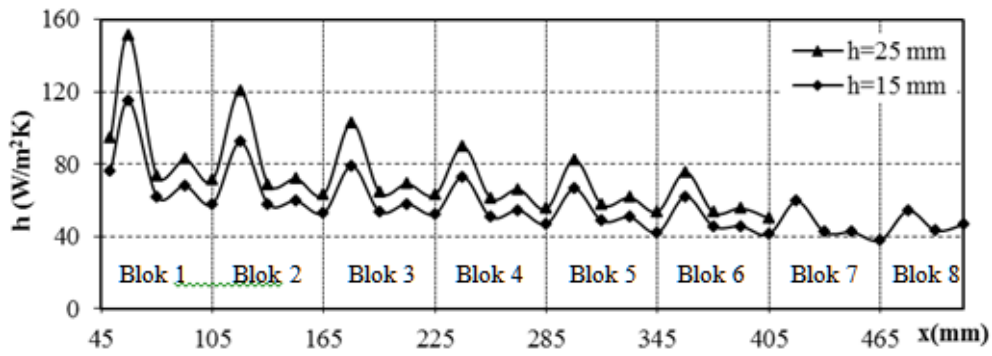
Şekil 4:
Düz yüzey Stanton sayıları

15 ve 25 mm blok yüksekliklerine sahip bloklı yüzeyler üzerinde türbölanslı akışta, blok yükseklikleriyle elde edilen Reynolds sayıları sırasıyla 1.4×10^4 ve 2.4×10^4 olarak hesaplanmıştır. $h=15$ ve 25 mm için ortalama hızın maksimum değerleri, ilk bloğun üst başlangıç köşelerinde sırasıyla 18.13 ve 19.25 m/s olarak ölçülmüştür. Bu maksimum hız Morris ve Garimella (1996) tarafından kesit daralmasından dolayı akışkanın momentumunun artmasıyla açıklanmıştır. $h=15$ ve 25 mm için minimum Tu değerleri düz yüzeyin girişinden çıkışına doğru sırasıyla %1.8-3.3 ve %2.2-3.6 aralığında değişmiştir. Buna göre, blokların varlığı türbölans yoğunluğunu arttırmış ve Tu blok yüksekliği arttıkça artmıştır.

Şekil 5 ve 6’da, türbölanslı akış boyutsuz yüzey sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayılarının akış yönünde değişimi blok yüksekliğine bağlı olarak için verilmiştir. Maksimum yüzey sıcaklıkları her bloğun üst yüzeyinde oluşmuş ve akış yönünde ilerleyen bloklarda artmıştır. Blokların üst yüzeylerindeki sıcaklıkların blok aralarındakinden fazla olması, blok aralarının ana akıştan izole edilmiş olmasıyla açıklanabilir (Leung ve diğ., 1997). Her iki blok yüksekliğinde de maksimum ısı transferi ilk bloğun üst başlangıç köşesinde olmuş ve devam eden bloklarda azalmıştır. Maksimum ısı transferinin ilk bloğun üst başlangıç köşesinde oluşunun nedeni kesit daralması ve akış çarpmasından dolayı burada hızın maksimum olmasıdır. Isı taşınım katsayıları en büyük değişimi ilk iki blokta gösterirken, son bloklar arasında daha küçük bir değişim göstermiştir ki bu dağılım Young ve Vafai (1998) tarafından da doğrulanmıştır.

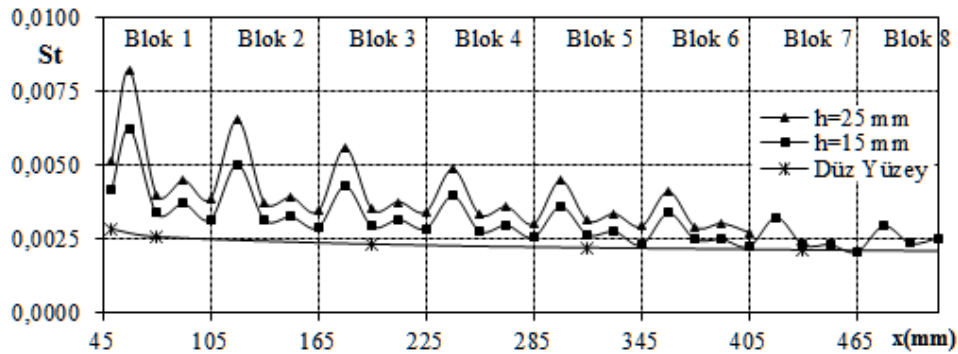


Şekil 5:
Boyutsuz yüzey sıcaklıkları



Şekil 6:
Isı taşınım katsayıları

Düz ve bloklu yüzeyler üzerinde akışta Stanton sayılarının akış yönünde değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Akış yönünde ısı transferinin azalması bloklar arasındaki boşluklarda ve son bloğun arkasında oluşan dolaşım bölgelerinden kaynaklanmaktadır. İlk bloğun üst ön köşesindeki Stanton sayıları aynı noktadaki düz yüzey St değerlerinden $h=15$ ve 25 mm için sırasıyla %130 ve %195 fazla iken son bloğun üstündeki %40 ve %90 fazladır. Boşluk yüzeylerindeki St değerleri artan blok yüksekliğiyle sırasıyla, ilk boşlukta %25 ve %53 ve son boşlukta %1 ve %26 artmıştır. Blok yüksekliğinin artması türbülansı arttırmış, artan bu türbülans taşınım tabakasına nüfuz etmiş ve bu tabakayı rahatsız ederek ısı transferini arttırmıştır (Mohammed, 2006 ve Ryu ve diğ., 2007).



Şekil 7:
Bloklu ve düz yüzey Stanton sayılarının akış yönünde değişimi

Bloklu yüzeylerin ortalama St sayılarının düz yüzey değerlerine oranı, 15 ve 25 mm blok yükseklikleri için sırasıyla 1.38 ve 1.84 olarak elde edilmiştir. Tüm blok yüksekliklerinde bloklu yüzeyler üzerindeki ısı transferi düz yzeydekinden büyük çıkmıştır. Bu artışın nedeni Lee ve Moneim (2001) tarafından laminer alt tabakanın engellenmesi ve bloklarla ısı transfer yüzey alanının arttırılmasıyla açıklanmıştır.

4. SONUÇLAR

Düz yüzey üzerinde 15 m/s serbest akış hızında akış trblanslı karakter göstermiştir. Her iki bloklu yüzeyde de hızın yerel maksimum değeri ilk bloğun üst başlangıç köşesinde oluşmuştur. Bloklu yüzey trblans yoğunlukları düz yüzey değerlerinden büyüktür ve blok yüksekliği arttıka Tu artmıştır.

Bloklu yüzeyler üzerinde akışta çalışılan tüm blok yüksekliklerinde maksimum sıcaklıklar her bloğun üst yüzeyinde oluşmuştur. Maksimum ısı transferi ilk bloğun üst başlangıç köşesinde elde edilirken, minimum değer son bloğun arkasındaki yüzeyde elde edilmiştir. Bloklar arasındaki boşlukların ısı transfer değerleri blokların üst yüzeylerindeki değerlerden daha küçük ancak düz yüzey değerlerinden daha fazladır. Bloklu yüzey ortalama St sayıları düz yüzey ortalama St değerlerinden 15 ve 25 mm blok yükseklikleri için sırasıyla 38% ve 84% daha büyüktür. Blok yüksekliği arttıka ısı transferi artmıştır.

KAYNAKLAR

1. Bilen, K. ve Yapıcı, S. (2001) Heat transfer from a surface fitted with rectangular blocks at different orientation angle, *Heat and Mass transfer*, 38, 649-655.
2. Chen, Y.M. ve Wang, K.C. (1998) Experimental study on the forced convective flow in a channel with heated blocks in tandem, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 16, 286-298.
3. Kays, W.M. ve Crawford, M.E. (1993) Convective heat and mass transfer, *New York: McGraw Hill*.
4. Kim, S.H. ve Anand, N.K. (1994) Turbulent heat transfer between a series of parallel plates with surface-mounted discrete heat sources, *Journal of Heat Transfer*, 116, 577-587.
5. Kline, S.J. ve McClintock, F.A. (1953) Describing uncertainties in single sample experiments, *Mech. Eng.*, 75, 3-8.
6. Korichi, A. ve Oufar, L. (2006) Heat transfer enhancement in oscillatory flow in channel with periodically upper and lower walls mounted obstacles, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 52, 1138-1148.
7. Lee, C.K., Abdel-Moneim, S.A. (2001) Computational analysis of heat transfer in turbulent flow past a horizontal surface with two-dimensional ribs, *International Communication Heat and Mass Transfer*, 28, 161-170.
8. Leung, C.W., Kang H.J. ve Probert, S.D. (1997) Horizontal simulated printed-circuit board assembly in fully-developed laminar-flow convection, *Applied Energy*, 56, 71-91.
9. Mohammed, M.M. (2006) Air cooling characteristics of a uniform square modules array for electronic device heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 26, 486-493.
10. Morris, G.K. ve Garimella, S.V. (1996) Thermal wake downstream of a three-dimensional obstacle, *Experimental Thermal and Fluid Science*. 12, 65-74.

11. Naik, S., Probert, S.D. ve Bryden, I.G. (1999) Heat transfer characteristics of shrouded longitudinal ribs in turbulent forced convection, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20, 374-384.
12. Perng, S-W ve Wu, H-W. (2008) Numerical investigation of mixed convective heat transfer for unsteady turbulent flow over heated blocks in a horizontal channel, *International Journal of Thermal Sciences*, 47, 620-632.
13. Ryu, D.N., Choi, D.H. ve Patel, V.C. (2007) Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional blocks, Part II: Heat transfer, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28, 1112-1124.
14. Sara, O.N., Pekdemir T., Yapıcı S. ve Yılmaz M. (2001) Enhancement of heat transfer from a flat surface in a channel flow by attachment of rectangular blocks, *International Journal of Energy Research*, 25, 563-576.
15. Tsay, Y.-L. ve Cheng, J.-C. (2008) Analysis of convective heat transfer characteristics for a channel containing short multi-boards mounted with heat generating blocks, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 145-154.
16. Young, T.J. ve Vafai, K. (1998) Convective flow and heat transfer in a channel containing multiple heated obstacles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41, 3279-3298.

Makale 19.06.2012 tarihinde alınmış, 19.11.2012 tarihinde düzeltilmiş, 21.11.2012 tarihinde kabul edilmiştir.

