

---

## BLOKLU YÜZEY ÜZERİNDE AYRILMIŞ AKIŞIN İNCELENMESİ

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

---

**Özet:** Bu çalışmada; düz ve bloklu yüzeyler üzerinde ayrılmış akış deneysel olarak incelenmiştir. Hız ve türbülans yoğunlukları ölçümleri sabit sıcaklıklı bir kızgın tel anemometresi ile yapılırken statik basınç ölçümleri bir mikro manometre ile yapılmıştır. İlk bloktan önceki yüzeyde, ilk bloğun üstünde, bloklar arasında ve son bloğun arkasındaki yüzeyde ayrılma ve yeniden birleşmeler oluşmuş ve blokların varlığı türbülans yoğunluğunu önemli derecede arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bloklu yüzey, Ayrılmış akış, Türbülans yoğunluğu.

### Analysis of Separated Flow over Blocked Surface

**Abstract:** In this study, the separated flow over flat and blocked surfaces was investigated experimentally. Velocity and turbulence intensity measurements were carried out by a constant-temperature hot wire anemometer and static pressure measurements by a micro-manometer. The flow separations and reattachments were occurred before the first block, on the first block, between blocks and after the last block, and the presence of the blocks significantly increased the turbulent intensity.

**Keywords:** Blocked surface, Separated flow, Turbulent intensity.

## 1. GİRİŞ

Bloklu yüzeyler üzerinde akışlarda, bloğun varlığının akış yapısı, sürüklenme ve ısı transferi üzerine etkileri, ısıtma ve soğutmanın gerektiği birçok mühendislik probleminin analizi ve çözümü için incelenmesi gerekmektedir. Bu yüzeyler elektronik sistemler, gaz türbin kanatları, gaz soğutmalı nükleer reaktörler, ısı değiştiricileri, güneş kolektörleri, enerji ve çevresel kontrol sistemleri, roketler ve biomedikal cihazlar gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Kanal içerisindeki bir blok üzerinde tam gelişmiş akış ile ilgili bir çalışma Tropea ve Gackstatter (1985) tarafından deneysel olarak yapılmış ve yeniden dolaşım bölgeleri ile yeniden birleşme uzunlukları incelenmiştir. Young ve Vafai (1998) yalıtılmış bir kanal içindeki ısıtılmış bir bloğun zorlanmış taşınım ile soğutulmasını incelemişler ve bloğun varlığının parabolik hız alanını önemli ölçüde değiştirdiğine işaret etmişlerdir. Wahidi ve diğ. (2005) tarafından, farklı geometriye sahip çukurlara sahip dört yüzey üzerinden türbülanslı sınır tabaka akışında, yüzey sürtünme katsayısı araştırılmış ve çukurlu yüzeylerde düz yüzeye göre sürtünmenin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ryu ve diğ. (2007) farklı geometrilerdeki bloklara sahip kanallarda bulunan türbülanslı akış, bloklar arasındaki mesafenin blok yüksekliğine oranını değiştirerek,

---

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

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

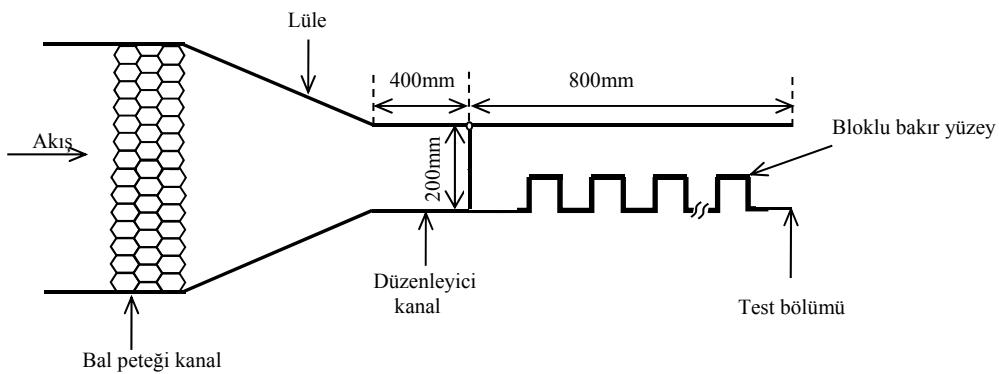
İletişim Yazarı: O. Yemenici (oseckin@uludag.edu.tr)

nümerik olarak irdelemişler ve blokların akışa gösterdiği direnci belirlemişlerdir. Igarashi ve Takasaki (1992) tarafından yapılan bir çalışmada, bir düz yüzey üzerine yerleştirilmiş üç adet iki boyutlu dikdörtgen blok etrafındaki hava akışı, blok yükseklikleri ve blok aralıkları değiştirilerek, deneysel olarak incelenmiştir. Korichi ve Oufer (2006), üst ve alt duvarlarında ısıtılmış bloklara sahip bir dikdörtgen kanalda, 2 boyutlu, süreksiz, laminer akışın akış örnekleri ve Nusselt sayılarını, Reynolds sayısının etkisinde nümerik olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısının düşük değerlerinde akışın sürekli ve kararlı olduğunu, sayının artmasıyla birlikte akışta salınımlar ve dalgalar oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Davalath ve Bayazitoglu (1987) dikdörtgen bloklar üzerinde gelişmekte olan akış üzerine nümerik bir çalışma yapmışlar ve Reynolds sayısının artmasıyla yeniden birleşme uzunluğunun arttığını belirtmişlerdir. Chen ve Wang (1996) adyabatik bir kanal içerisindeki ısıtılmış bir blok üzerinden türbülanslı akışı nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir.

Bu çalışmada düz ve bloklü yüzeyler üzerinde türbülanslı akış, serbest akış hızı 15 m/s ve blok yüksekliği 25 mm sabit alınarak, deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Deneyler maksimum hızı 30 m/s ve bu hızdaki türbülans yoğunluğu % 0.7 olan açık devre ve üfleme tipindeki düşük hızlı bir rüzgâr tüneline yapılmıştır. Hava akışı 5.7 kW gücündeki aksel bir fan vasıtasıyla sağlanırken, akış hızı bir kelebek vana ile kontrol edilmiştir. Hava tünele koruyucu bir metal kafesin monte edildiği ağızdan girerek, fanın devamında bulunan metal kanalın içinden geçmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi metal kanalın çıkışında, hem düz akış çizgileri elde etmek hem de akışın türbülans seviyesini düşürmek için, kesit alanı 305x305 mm<sup>2</sup> ve kalınlığı 15 cm olan bal peteği bir kanal kullanılmıştır. Bu kanaldan sonra sınır tabakanın ayrılmasını önlemek ve akışı hızlandırmak için, daralma oranı 1.5:1 olan bir lüle yerleştirilmiştir. Lülenin devamındaki 400 mm uzunluğunda ve 305x200 mm<sup>2</sup> giriş alana sahip düz kanal ise test kısmından önce akışı düzenlemek için kullanılmıştır. 800 mm uzunluk, 240 mm genişlik ve 200 mm yüksekliğe sahip test bölümünün yan yüzeyi, akış alanının tamamının gözlemlenmesi için, saydam pleksiglass malzemeden yapılmış ve üst yüzeyine hız probunun her üç yöndeki hareketlerini sağlayan kanallar açılmıştır.



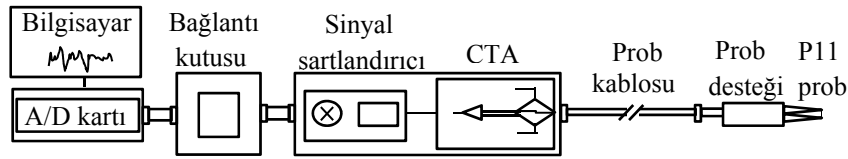
**Şekil 1:**

*Rüzgâr tüneli, test bölümü ve bloklü yüzey*

Düz yüzey deneyleri için genişliği 240 mm ve uzunluğu 750 mm bir düz yüzey kullanılırken, bloklü yüzey deneyleri 240 mm genişlik, 25 mm blok yüksekliği, 510 mm uzunluk ve 6 adet bloğa sahip yüzey üzerinde yapılmıştır. Ayrıca bloklü yüzeyde blok genişliği,

bloklar arasındaki mesafe ve test bölümünün girişinin ilk bloğa olan uzaklığı sırasıyla 30, 30 ve 60 mm olarak sabit tutulmuştur. Düz yüzey ölçümleri akış yönünde  $x=30, 75, 195, 315, 435, 555$  ve  $675$  mm olmak üzere 7 noktada yapılırken, bloklu yüzey ölçüm istasyonları şekillerde detaylı olarak verilmiştir.

Bu çalışmada serbest akış hızları, hız profilleri ve türbülans yoğunluklarının saptanmasında, ölçüm zinciri Şekil 2’de gösterilen, sabit sıcaklıklı bir kızgın tel anemometresi (CTA) kullanılmıştır. Bu zincir, prob desteği ve kablosuna sahip bir prob, bir CTA, bir sinyal şartlandırıcı, bir A/D dönüştürücü ve bir bilgisayardan oluşur. Ayrıca veri eldesi ve analizi için uygun bir uygulama yazılımı, deneylerin daha hızlı ve hassas yapılması için bir prob kalibrasyon cihazı ve prob hareketi için bir travers sistemi kullanılmıştır. Düz ve bloklu yüzeyler üzerindeki statik basınç değerleri, yüzeylerde açılan 0,8 mm çapındaki statik basınç delikleri ve bir mikro manometre yardımıyla elde edilmiştir.



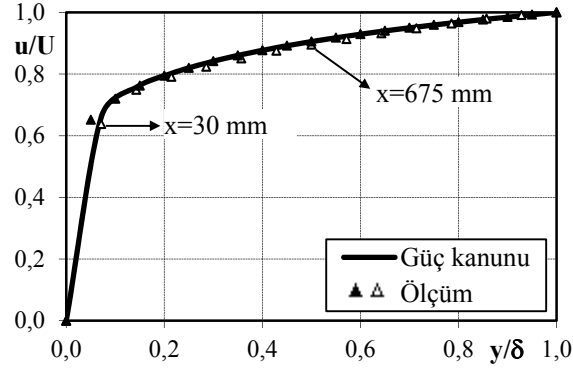
**Şekil 2:**  
CTA ölçüm zinciri

Ölçüm cihazları deneysel verileri belli ölçüm aralıklarında kaydedebilmekteyken, tespit edilen tüm deneysel değerler düzeneklerin ve cihazların hassasiyeti ile ilgili olarak hatalar içermektedirler. Bu çalışmada hataların hangi düzeyde olduklarının belirlenmesi ve hatalardan kaynaklanan belirsizliklerin tespit edilmesi için Kline ve McClintock (1953) belirsizlik yöntemi kullanılmıştır. Hız, basınç ve sıcaklık ölçümlerinde oluşan maksimum belirsizlikler sırasıyla  $\pm 2.2\%$ ,  $4.5\%$  ve  $2.8\%$  olarak elde edilirken, bu ölçümler kullanılarak elde edilen Reynolds sayısı, basınç katsayısı ve Stanton sayısındaki maksimum belirsizlikler ise sırasıyla  $\pm 2.3\%$ ,  $4.8\%$  ve  $3.9\%$  olarak tespit edilmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

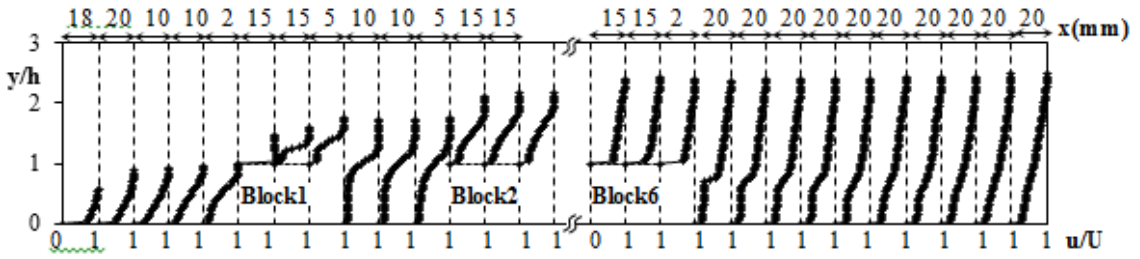
Düz yüzey için yapılan hız ölçümlerinden elde edilen hız profilleri ve sınır tabaka parametreleri kullanılarak sınır tabakanın yapısı belirlenmiştir. Ayrıca ölçülen hız profilleri türbülanslı akış için Prandtl (1/7) güç kanunuyla elde edilen hız profiliyle karşılaştırılmıştır. Bloklu yüzeyler üzerinde elde edilen hız profillerinde ortalama hız sıfır ve ayrılma noktaları saptanarak ters akışın olduğu bölgeler tespit edilmiş ve yeniden birleşme uzunlukları ölçülmüştür (Atlı, 1988). Tüm yüzeyler için statik basınç değişimleri basınç katsayısı  $C_p = (P - P_0) / 0.5 \rho U^2$  ile ifade edilirken, türbülans yoğunluğu  $Tu = 100 u_{rms} / U$  ile tanımlanmıştır.

Şekil 3’te düz yüzey üzerinde 15 m/s serbest akış hızı için hem deneysel profiller hem de türbülanslı akış yaklaşımlarıyla elde edilen hız profilleri verilmiş ve deneysel hız profillerinin 1/7 güç kanunuyla elde edilen türbülanslı hız profilleriyle uyum gösterdiği saptanmıştır. Akış yönündeki  $x$  mesafesiyle hesaplanan Reynolds sayısı ( $Re_x = Ux/\nu$ ), momentum kalınlığı Reynolds sayısı ( $Re_\theta = U\theta/\nu$ ) ve biçim faktörü ( $H = \delta^*/\theta$ ) ise sırasıyla  $3.7 \times 10^6 - 4.3 \times 10^6$ , 1281-2028 ve 1.39-1.31 aralığında değişerek akışın türbülanslı yapıda olduğunu doğrulamaktadır. Düz yüzey boyunca ölçülen türbülans yoğunlukları, sınır tabakanın dışında minimum (0.7%) ve yüzeye en yakın noktada maksimum (5.8%) değerini almıştır.



**Şekil 3:**  
Düz yüzey boyutsuz hız profilleri

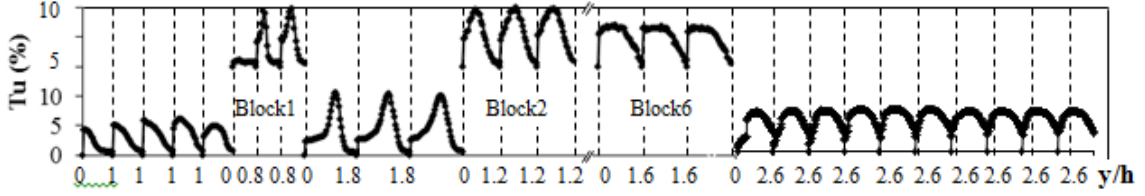
Şekil 4’de, 15 m/s serbest akış hızı için, 25 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinden akışta elde edilen boyutsuz hız profilleri gösterilmiştir. Furukawa ve Yang (2003) tarafından da belirtildiği gibi, bloklü yüzeyde akış çizgileri ilk bloğun engellemesinden dolayı saparak bloğun önüne bitişik bir ayrılma bölgesi oluşturmuştur. İlk bloğun önünde oluşan ayrılma noktasının bu bloğa olan uzaklığı 15 mm olarak elde edilmiştir. Ortalama hızın maksimum değeri ilk bloğun üst başlangıç köşesinde 15.75 olarak ölçülmüştür. Bu maksimum hız kesit daralmasından dolayı akışkanın momentumunun artmasıyla açıklanabilir. İlk blok üstünde de ayrılma ve 27 mm sonra tekrar birleşme gözlemlenirken, diğer blokların üst yüzeylerinde ayrılma tespit edilmemiştir. Son bloktan sonraki arka yüzeyde oluşan yeniden dolaşım bölgesi, Armaly ve diğ. (2001) tarafından bu bloktan sonraki ani genişlemeden dolayı akış içinde gelişen negatif basınç gradyanının ters akış alanlarını oluşturması ve akışın bloğun köşesinden ayrılıp bloklandırılmış yüzeyde birleşmesiyle açıklanmıştır. Yeniden birleşme uzunluğunun blok yüksekliğine oranı ( $X_R/h$ ) 6.8 olarak bulunmuştur.



**Şekil 4:**  
Bloklü yüzey boyutsuz hız profilleri

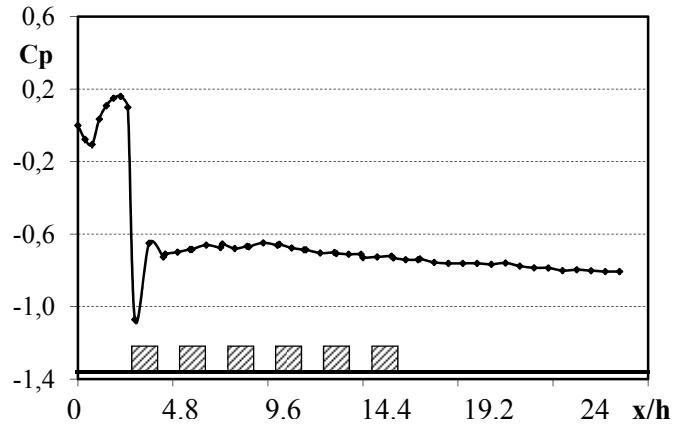
Şekil 5’de bloklü yüzey üzerinden 15 m/s serbest akış hızında türbülans yoğunluklarının ( $Tu$ ) akış yönünde değişimi gösterilmiştir. İlk bloktan önceki yüzeyde türbülans yoğunluğunun maksimum değeri (%5.9) ayrılma noktası civarında elde edilmiştir (Chen ve Wang, 1996). Türbülans yoğunluğu tüm yüzeydeki en düşük maksimum değerini (%1.9) hızın maksimum olduğu ilk bloğun ön köşesinde alırken, en yüksek değerini (%10.6) boşluklarda oluşan ayrılma bölgelerinden dolayı ilk iki blok arasındaki boşlukta almıştır. İlk bloktan sonraki tüm blok üstlerinde maksimum  $Tu$  değerleri blokların giriş köşelerinde elde edilmiştir. Son bloğun arkasındaki yeniden birleşme noktası civarında serbest akış türbülans yoğunluğu %7.8 olarak tespit edilmiştir. Bloklar akıştaki ayrılmalar ve yeniden birleşmeden dolayı lokal duvar

türbülansı yarattıklarından, bu yüzeyde ölçülen türbülans yoğunluklarının tamamı düz yüzeydekenden büyük çıkmıştır (Buchlin 2002).



**Şekil 5:**  
*Bloklu yüzey türbülans yoğunluklarının akış yönünde değişimi*

15 m/s serbest akış hızındaki türbülanslı akışta, basınç katsayılarının ( $C_p$ ) akış yönündeki değişimi Şekil 6' da gösterilmiştir. Girişte sıfır olan basınç katsayısı belirli bir mesafede önce yavaşça düşmüş, daha sonra ilk bloğa kadar artış göstermiştir. Bu artış ilk bloğun önünde ayrılma olduğunu göstererek, hız profillerinden elde edilen sonuçları doğrulamıştır. Lokal hızın maksimum olduğu ilk bloğun üst ön köşesinde basınç katsayısı aniden minimuma inmiştir (Faghri ve diğ., 1994). İlk bloğun üstünde  $C_p$  artış göstermiş ve bu artış blok yüzeyindeki akış ayrılmasıyla da doğrulanmıştır. İlk bloktan sonra basınç katsayısı değerleri Terekhov ve diğ. (2003)' nin geri basamak akışlarında yaptığı çalışmalarından farklı olarak periyodik olarak azalmıştır.



**Şekil 6:**  
*Bloklu yüzey basınç katsayılarının akış yönünde değişimi*

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada düz ve bloklu yüzeyler üzerinde 15 m/s serbest akış hızında akış karakteristikleri incelenmiştir. Düz yüzey üzerinde yapılan öncelikli ölçümler 15 m/s serbest akış hızında akışın türbülanslı olduğunu göstermiştir. Bloklu yüzey üzerinde akışta ilk bloğun önünde ve üstünde, bloklar arasında ve son bloğun arkasında ayrılma ve yeniden birleşmeler tespit edilmiştir.

Bloklu yüzey türbülans yoğunluklarının tümü düz yüzeyinkilerden daha büyüktür. Blok köşeleri ve ayrılma noktaları civarında daha yüksek Tu değerleri elde edilmiştir. Türbülans yoğunluğunun tüm yüzeydeki en yüksek değeri (%9.7) ilk iki blok arasındaki boşlukta ölçülmüştür.

Girişte sıfır olan basınç katsayısı belirli bir mesafede önce yavaşça düşmüş, daha sonra ilk bloğa kadar artış göstermiş, lokal hızın maksimum olduğu ilk bloğun ön üst köşesinde minimum değerini almış, ilk bloğun üstünde tekrar artmış ve ilk bloktan sonra periyodik olarak azalmıştır. Basınç katsayısındaki artışlar bu bölgelerde ayrılmalar olduğunu göstererek hız profilleri sonuçlarını doğrulamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Armaly, B.F., Li, A. ve Nie, J.H. (2001). Three-dimensional forced convection flow adjacent to backward-facing step. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 16, 222-227.
2. Atlı, V. (1988). Subsonic flow over a two dimensional obstacle immersed in a turbulent boundary layer on a flat surface, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 31, 225-239.
3. Buchlin, J.M. (2002). Convective heat transfer in a channel with perforated ribs, *Int. J. Therm. Sci.*, 41, 332-340.
4. Chen, Y.M. ve Wang, K.C. (1996). Simulation and measurement of turbulent heat transfer in a channel with a surface-mounted rectangular heated block, *Heat and Mass Transfer*, 31, 463-473.
5. Davalath, J. ve Bayazitoglu, Y. (1987). Forced convection cooling across rectangular blocks, *Journal of Heat Transfer*, 109, 321-328.
6. Faghri, M., Molki, M. ve Chrupcala (1994). J. Entrance analysis of turbulent flow in an array of heated rectangular blocks, Intersoc. Conf. Thermal Phenom., Washington DC, USA., 18, 198-206.
7. Furukawa, T. ve Yang, W. (2003). Thermal-fluid flow in parallel boards with heat generating blocks, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 5005–5015.
8. Igarashi, T. ve Takasaki, H. (1992). Fluid flow around three rectangular blocks in a flat-plate laminar boundary layer, *Experimental Heat Transfer*, 5, 17-31.
9. 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.
10. Kline, S.J. ve McClintock, F.A. (1953). Describing uncertainties in single sample experiments, *Mech. Eng.*, 75, 3-8.
11. Korichi, A. ve Oufer, 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*, 28, 1138-1148.
12. 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 I: Resistance, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28, 1098-1111.
13. Terekhov, V.I., Yarygina, N.I. ve Zhdanov, R.F. (2003). Heat transfer in turbulent separated flows in the presence of high free-stream turbulence, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 4535–4551.
14. Tropea, C.D. ve Gackstatter, R. (1985). The flow over two-dimensional surface-mounted obstacles at low Reynolds numbers, *Journal of Fluids Engineering*, 107, 489-494.
15. Wahidi, R., Chakrouni, W. ve Al-Fahed, S. (2005). The behavior of the skin-friction coefficient of a turbulent boundary layer flow over a flat plate with differently configured

transverse square grooves, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 30, 141-152.

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 11.07.2012 tarihinde alınmış, 02.11.2012 tarihinde düzeltilmiş, 09.11.2012 tarihinde kabul edilmiştir.

