

## Araştırma Makalesi / Research Article

**EXPERIMENTALLY INVESTIGATION OF THE EFFECT OF A SQUARE CROSS-SECTIONAL OBSTACLE LOCATED IN A CHANNEL ON HEAT TRANSFER**Hasan GÜL<sup>\*1</sup>, Duygu EVİN<sup>2</sup>, Vedat TANYILDIZI<sup>2</sup><sup>1</sup> Firat Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, ELAZIĞ<sup>2</sup> Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

Geliş/Received: 30.03.2005 Kabul/Accepted: 25.07.2006

**ABSTRACT**

In the present study, the effects of a square cross-sectional obstacle, located before the heated zone of a rectangular channel normal to the flow direction and parallel to the heated surface, on heat transfer and friction characteristics are investigated, experimentally. The experiments were conducted for Re number in the range of  $3.10^3 < Re < 15.10^3$ . It was seen that, the size and location of the obstacle, which can be changed vertically and horizontally, affect heat transfer. Optimum parameters that cause maximum heat transfer enhancement were determined. 142 % heat transfer enhancement was obtained with the obstacle for optimum conditions while increase in friction factor was 200 %.

**Keywords:** Obstacle, heat transfer, flow.**KANAL İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN KARE KESİTLİ ENGELİN ISI TRANSFERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ****ÖZET**

Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli bir kanalın içerisinde ısıtma bölgesi önüne- akışa dik ve kanal tabanına paralel olarak yerleştirilen kare kesitli bir engelin ısı transferi ve sürtünme kayıp karakteristikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Reynolds sayısının  $3.10^3 < Re < 15.10^3$  aralığında incelendiği çalışmada, yatay ve düşey doğrultuda konumu değiştirilen engelin konumunun ve boyutlarının ısı transferi üzerinde etkili olduğu ve maksimum ısı transferinin elde edildiği optimum parametreler tespit edilmiştir. Kanal içerisine yerleştirilen engelin-optimum konum ve boyutta- ısı transferinde %142 gibi bir iyileşme sağladığı ancak, sürtünme kayıplarında %200 oranında bir artışın olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Engel, ısı transferi, akış.**1. GİRİŞ**

Son zamanlarda, elektronik kartlar üzerindeki elemanların soğutma işlemler üzerine yapılan çalışmalara sıklıkla rastlanılmaktadır. Bu çalışmalar, elektronik teknolojisindeki hızlı ilerlemeler ve günden güne artan karmaşık ve güçlü bilgisayarlara olan ihtiyaçtan kaynaklanmakta ve

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: hgul@firat.edu.tr, tel: (0424) 237 00 00 / 4395

elektronik devre elemanlarında açığa çıkan ısı enerjisinin etkili bir şekilde uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır.

Young and Vafai [1], çoklu ve tekli düzende iki boyutlu engellerin yerleştirildiği bir kanalda, zorlanmış taşınım ısı transferini, Reynolds sayısının  $Re = 800 - 1300$  aralığında incelemiştir. Bu araştırmacılar kanal genişliğinin ve verilen ısı gücünün değişiminin etkilerini araştırmışlar ve ampirik korelasyon geliştirmişlerdir. Bir başka çalışma Wang ve Vafai [2] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada engelin geometrik özelliklerinin ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Jubran ve arkadaşları[3], kübik engeller içeren bir dikdörtgen kanal içerisinde ısı transferi ve basınç düşümünü incelemiştir. Bu çalışmada engelin boyutları ve geometrik özellikleri değişken olarak alınmıştır. Meinders ve Hanjalic[4] iki duvara monte edilen küp şeklindeki elemanların ısı transferine etkilerini türbülanslı akış şartlarında incelemiştir. Bu araştırmacılar; taşınım ısı transferinin, yerleştirilen engellerin diziliş şekline göre çok

#### Bilimsel Adlandırma

$A$	Isı transfer yüzey alanı, $m^2$
$D$	Engel yüksekliğinin Kanal yüksekliğine oranı,
$f$	sürtünme katsayısı
$h$	Isı taşınım katsayısı, $W / m^2 K$
$H$	Kanal yüksekliği, m
$L$	Kanal uzunluğu, $m$
$l$	engel genişliği, $m$
$h_1$	engel yüksekliği, $m$
$k$	havanın ısı iletim katsayısı, $W / mK$
$Nu$	Nusselt sayısı
$Q$	Isı miktarı, W
Re	Reynolds sayısı, $Re = u_0 L / \nu$
$T$	Sıcaklık, $K$
$u_0$	ortalama hız, $m / s$
$x, y$	yatay ve düşey uzaklık, $m$

büyük değişiklik gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada yerleştirilen engeller için elde edilen ısı transfer katsayısının engelin yerleştirildiği konumdan bağımsız olduğunu saptamışlardır.

Tropea ve Gackstater [5], yatay bir kanalın alt yüzeyine dikdörtgen bir silindir yerleştirilerek bu silindirin arka bölgesindeki akışı, düşük Reynolds sayılarında incelemiştir. Bu çalışmada Reynolds sayısı, blokaj oranı, uzunluk-yükseklik oranı gibi değişkenler göz önüne alınarak incelenmiştir. Davalath ve Beyazitoğlu [6], yatay bir kanalın iç duvarlarına yerleştirilmiş dikdörtgen bloklar üzerindeki akışı sayısal olarak incelemiştir. Araştırmacılar bloklardan transfer edilen ısıyı ve blokların yüzeylerindeki sıcaklık dağılımını incelemiştir. Bir başka nümerik çalışmadaki üçgen biçiminde bir engelin arka bölgesindeki zayıf akımın incelenmesi ise Zielinska ve Wesfreid [6] tarafından yapılmıştır.

Elektronik elemanların pasif metotlarla soğutulması ile ilgili bir çalışma da Wu ve Perng [7] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yatay bir kanal içerisine beş adet engel yerleştirilmiş ve bu engellerin ısı transferine olan etkileri incelemiştir. Bu çalışmada Nusselt sayısında %39.5 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Elektronik elemanların soğutulmasına ilişkin bir çalışma da Sultan [8] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada elektronik elemana yerleştirilen engelin üzerindeki ortalama ısı taşınım katsayısı incelenmiş ve Nusselt sayısında

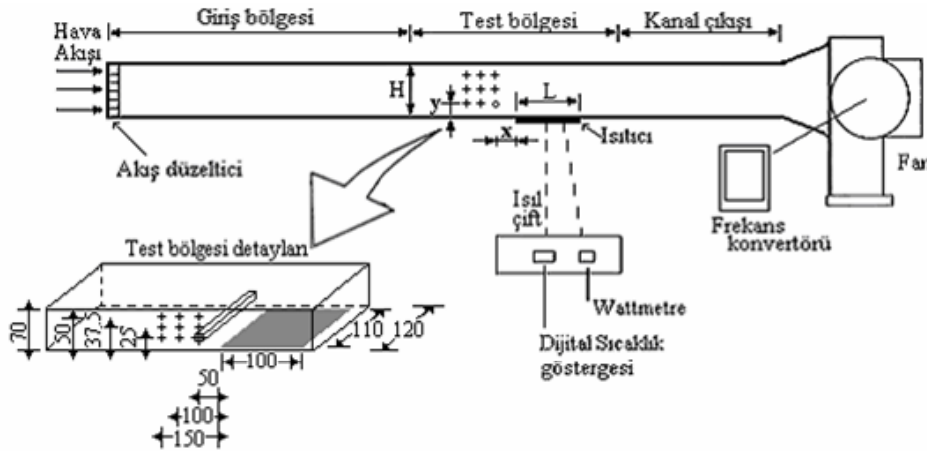
## Experimentally Investigation of the Effect of a Square ...

ortalama %13 bir iyileşme sağlanmıştır. Benzer bir çalışma Leung ve arkadaşları [9] tarafından Re sayısının 500–19.000 aralığında uygulanmış ve bu araştırmacılar ısı transferinde %130 gibi bir iyileşme sağlamışlardır. Jubran ve arkadaşları [10] bir yüzey üzerine sıralı şekilde yerleştirilen dikdörtgen ve kare kesitli engellerin ısı transferi üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada dikdörtgen kesitli engellerin kare kesitli engellerden daha iyi bir ısı transferi sağladığını belirlemişlerdir.

Elektronik elemanların soğutma işleminde pasif teknikler oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, soğutulması hedeflenen elemanın ön tarafına yerleştirilen kare kesitli bir engelin soğutma yüzeyine olan yatay ve düşey uzaklığının ve engelin boyutunun ısı transferi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL METOT

Şekil 1’de bu çalışmada kullanılan deney düzeneği şematik olarak görülmektedir. Hava kanalı dikdörtgen kesitli olup,  $70 \times 120 \text{ mm}^2$  kesit alanına, 2930 mm uzunluğa sahiptir. Kanal, ısı iletim katsayısı düşük ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olması nedeniyle fleksiglas malzemeden imal edilmiştir. Bir fan tarafından emilen hava bir akış düzelticiden geçerek test bölgesine gelmektedir. Kanalın tabanına  $100 \times 110 \text{ mm}^2$ ’lik bir ısıtıcı ile sabit ısı akışı verilmiştir. Bu ısıtıcının verdiği ısıyı kontrol etmek için, bir varyak kullanılmıştır. Devreye ampermetre ve voltmetre bağlanmış olup ampermetrenin hassasiyeti 0.1 A ve voltmetrenin minimum okuma değeri 0.1 V’tur.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik resmi ve test bölgesi detayları

Akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları ısı çiftleriyle dört farklı noktada ölçülerek bunların ortalama değerleri alınmıştır. Isıtıcının yüzeyindeki sıcaklıklar, x ve y doğrultularında beşer adet bakır-konstant ısı çifti ile ölçülmüş ve bunların ortalama değerleri yüzey ortalama sıcaklık değeri olarak alınmıştır. Bir frekans konvertörü ile fan devri ve dolayısıyla hava debisi değiştirilmiş, bu da farklı Reynolds sayılarında deney yapabileme imkânı sağlamıştır. Her deneyde sistemin kararlı duruma gelmesi için, yaklaşık 1.5-2 saatlik süreye ihtiyaç duyulmakta ve değerler kaydedilmektedir.

Sürtünme katsayısının tespiti için boş ve engel yerleştirilmiş kanala ait basınç ölçümü deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, 0-30 psi aralığında %0.5 hassasiyetle çalışan Omega basınç transducer kullanılmıştır.

Engelin yerleştirildiği konum yatay ve düşey doğrultuda değiştirilebilmektedir. X boyutsuz mesafesi engelin ısıtıcıdan yatay uzaklığının kanal yüksekliğine oranı ( $x/H$ ), Y boyutsuz

mesafesi engelin ısıtıcıya dik uzaklığının kanal yüksekliğine oranı ( $y/H$ ) ve  $D$  ise kare kesitli engelin kenar uzunluğunun yine kanal yüksekliğine oranı ( $h/H$ ) olarak tanımlanmıştır. Böylece engel büyüklüğü ve konumu değişken parametre olarak alınmıştır.

### Şekil 1. Deney düzeneği ve ölçme noktaları

Bu deneysel çalışmada  $Re$  sayısı;  $3000 < Re < 15000$ , engelin yatay konumu  $0.714 < X < 2.142$ , düşey konumu  $0.357 < Y < 0.714$  ve engel büyüklüğü ise  $0.285 < D < 0.428$  arasında seçilmiştir. Reynolds sayısı,  $Re = u_0 D_h / \nu$ , şeklinde tanımlanmıştır. Burada,  $D_h$  hidrolik çap,  $u_0$  ortalama hız,  $\nu$  kinematik viskozitedir.  $T_y$ , ortalama yüzey sıcaklığı ve  $T_0$ , ortalama akışkan sıcaklığı, olmak üzere sisteme verilen ısı  $Q$ ,

$$Q = h A (T_y - T_0) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $h$  taşınım katsayısı olup,

$$h = \frac{Q_{verilen}}{A(T_y - T_0)} \quad (2)$$

olarak yazılır. Nusselt sayısı ise,

$$Nu = hL / k = QL / A.(T_y - T_0)k \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $A$  ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanı,  $k$  akışkanın ısı iletim katsayısını göstermektedir. Sürtünme katsayısı ise;

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D_h}\right) \rho \frac{u_0^2}{2}} \quad (4)$$

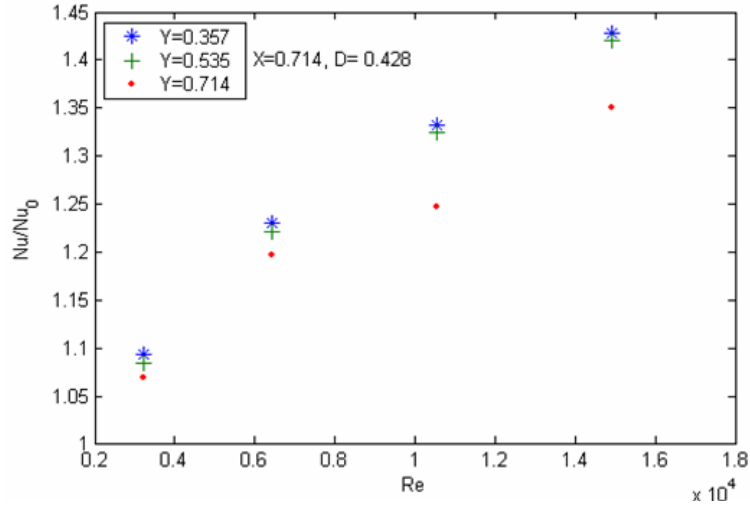
şeklinde ifade edilir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

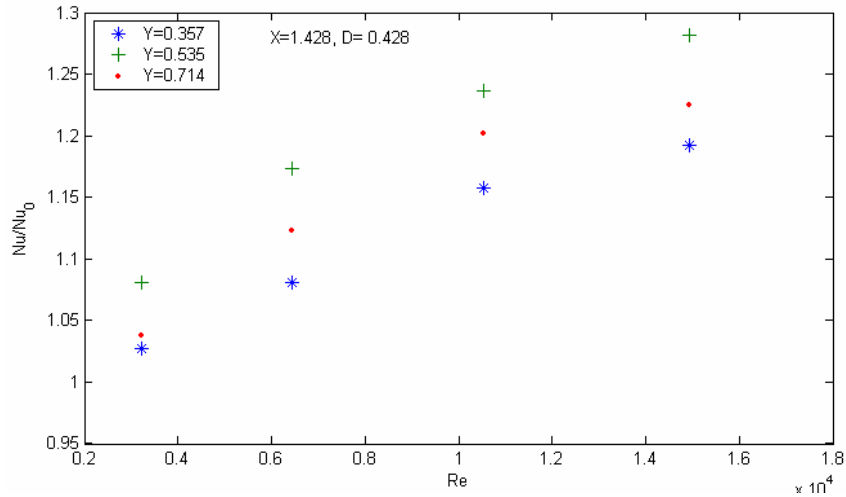
Şekil 2-4'de  $D=0.428$  boyutsuz büyüklüğüne sahip engelin, kanal içerisindeki konumunun ( $X$  ve  $Y$  boyutsuz mesafelerinin) değiştirilmesinin ısı transferi üzerine etkileri görülmektedir. Öncelikle  $X$  değerleri sabit tutulmuş ve üç farklı  $Y$  boyutsuz mesafesi için farklı Reynolds sayılarında ısı transferi artışı  $Nu/Nu_0$  olarak incelenmiştir. Kanala engel konulmadan elde edilen Nusselt sayısı değerleri  $Nu_0$  ile ifade edilmiştir. Tüm durumlar için önüne engel yerleştirilen bölgeden transfer edilen ısının boş kanaldakine nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda kanal içerisine yerleştirilen engelin, akışa dönme etkisi verdiği ve dönmenin kanal alt yüzeyinde -ısıtma bölgesinde- ilave türbülans etkisi meydana getirdiği söylenebilir. Her üç şekilde de Reynolds sayısı arttıkça  $Nu/Nu_0$  değerinin dolayısıyla ısı transferinin arttığı görülmektedir. Şekil 2'de en yüksek Nusselt sayısı değeri  $X=0.714$  için  $Y=0.357$  değerinde elde edilmiştir. Yatayda ısıtıcıdan uzaklaştıkça -yani  $X$  değeri arttıkça- maksimum  $Nu$  sayısını veren boyutsuz düşey mesafe olan  $Y$  değerinin de artmakta olduğu saptanmış ve  $X=1.428$ ,  $Y=0.535$  olarak elde edilmiştir (Şekil 3). Aynı eğilim Şekil 4'de tespit edilmiş ve artan  $X$  yatay mesafesi ( $X=2.142$ ) ile birlikte en yüksek ısı transferi artışı  $Y=0.714$  değerinde elde edilmiştir. Isıtıcıdan yatayda uzaklaştıkça yüksek ısı transferi sağlamak için düşeyde de uzaklaşılması gerektiği görülmüştür. Ancak üç grafik karşılaştırılıp tüm konumlar birlikte değerlendirildiğinde maksimum ısı artışı Reynolds 3000–15000 aralığında  $X=0.714$  boyutsuz yatay ve  $Y=0.357$  boyutsuz düşey mesafelerinde yani ısıtılan

### Experimentally Investigation of the Effect of a Square ...

bölgeye yatayda ve düşeyde en yakın konumda elde edilmiştir. Engel bu optimum konumdayken Re sayısının en yüksek değeri -Re=14922- için maksimum  $Nu/Nu_0$  oranı 1.42 olarak hesaplanmıştır.



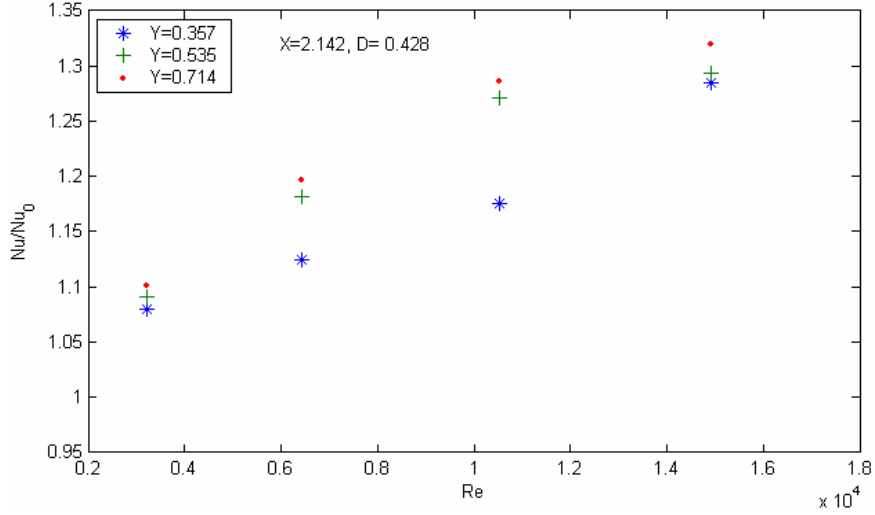
Şekil 2. Engelin konumunun, X=0.714, D=0.428,  $Nu - Re$  değişimi üzerine etkisi



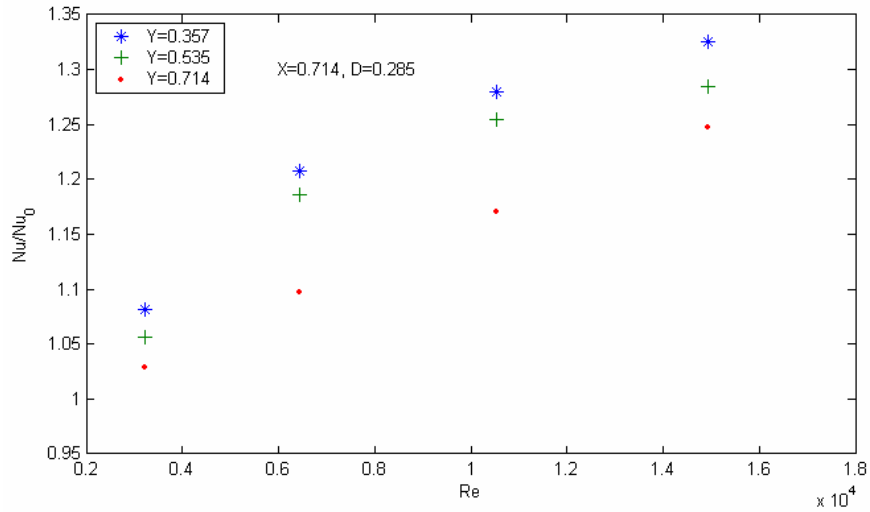
Şekil 3. Engelin konumunun,  $Nu - Re$  değişimine etkisi

Şekil 5 -7'de D=0.285 boyutsuz büyüklüğüne sahip engelin kanal içerisindeki konumunun ısı transferi üzerine etkileri görülmektedir. Öncelikle X değerleri sabit tutulmuş ve üç farklı Y boyutsuz mesafesi için farklı Reynolds sayılarında ısı transferi artışı  $Nu/Nu_0$  olarak incelenmiştir. D=0.285 boyutsuz büyüklüğüne sahip engel ile elde edilen deney sonuçları, kenarı daha uzun olan kare kesitli engel (D=0.428) ile elde edileninkilerle benzer özellikler göstermektedir. Engel yatayda ısıtılan bölgeden uzaklaştıkça ısı transferi artışı için düşeyde de uzaklaşmak gerektiği

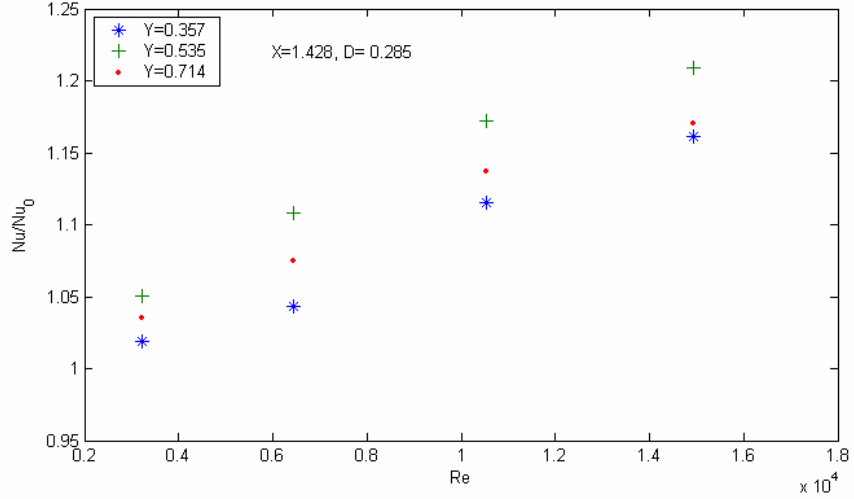
sonucu görüldü. Engelin yataydaki konumu sabit tutularak, düşeydeki konumu değiştirildiğinde her üç grafikte de en iyi ısı transferinin,  $X=0.714$  değerinde aldığı görülmüştür. Üç farklı düşey nokta içerisinde  $Y=0.357$ ,  $X=1.428$  sabit değerinde  $Y=0.535$  ve  $X=2.142$  için  $Y=0.714$  konumunda en yüksek Nusselt sayılarının sağlandığı görülmektedir. Bu durum her iki büyüklükteki engel  $-D=0.428$  ve  $D=0.285$  için de geçerlidir. Tüm konumlar karşılaştırıldığında ısı transferini maksimum yapan optimum engel konumu olarak yine  $X=0.714$  ve  $Y=0.357$  boyutsuz mesafeleri elde edilmektedir. Ancak engel büyüklüğü azaldıkça  $Nu/Nu_0$  değeri azalmaktadır.  $D=0.285$  boyutsuz büyüklüğe sahip engel optimum konumundayken  $Re=14922$  için maksimum  $Nu/Nu_0$  oranı 1.32 olarak elde edilmiştir.



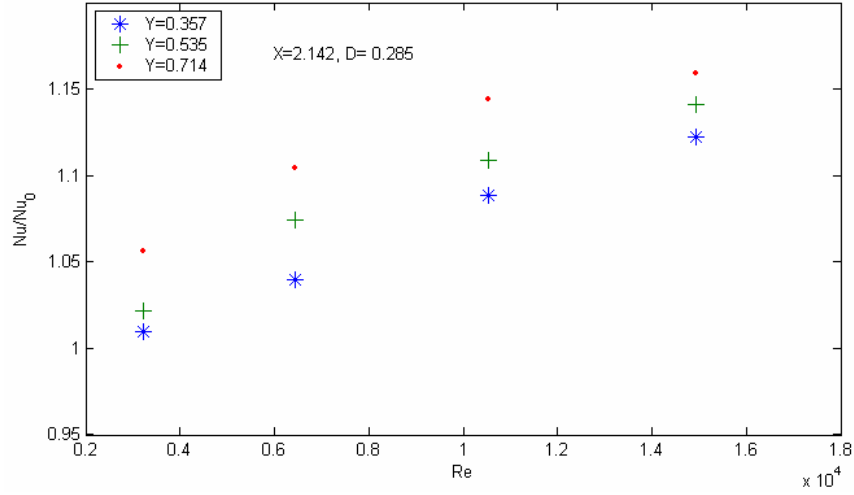
Şekil 4. Farklı Y değerlerinde Re-Nu sayısı değişimi ( $X=2.142$ ,  $D=0.428$ )



Şekil 5. Engelin kanal içerisine yerleştirme durumunun Re-Nu sayısı üzerine etkisi



Şekil 6. Engelin, X=1.428 ve D=0.285 değeri için Y konumunun Re-Nu değerimine

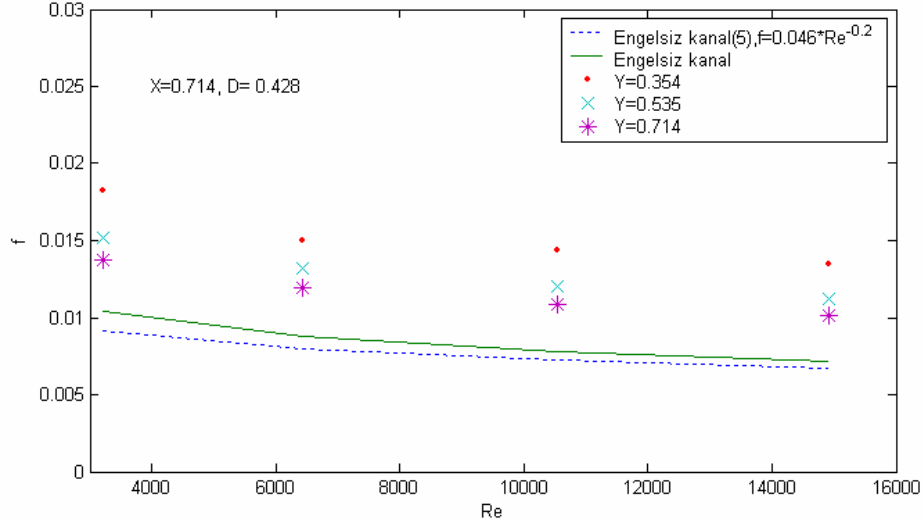


Şekil 7. Engelin Y, konumu için, Re-Nu sayısı değışimi , (X=2.14, D=0.285)

Grafik 8'de sabit X=0.714 boyutsuz yatay mesafesi ve farklı Y boyutsuz mesafeleri için sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değışimi verilmiştir. Sürtünme katsayısı Lei ve arkadaşları [11] tarafından yapılan bir çalışmada boş kanal için,

$$f_0 = 0.046 \text{Re}^{-0.2} \quad (5)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır. Grafikten görüleceği üzere, engelin kanal cidarlarına yakın konulması durumunda sürtünme katsayısı artmaktadır. Engelin kanalın her iki kenarına daha yakın değerlerde konulması durumunda türbülans etkisinin arttığı dolayısı ile sürtünme katsayısında artış görülmektedir.



Şekil 8. Sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Çizelge 1'de her iki büyüklükteki engel için 9 farklı engel konumunda 4 farklı Re değeri için elde edilen  $Nu/Nu_0$  değerleri karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 1. Engelin kanal içerisindeki farklı konumları için  $Nu/Nu_0$  sayısının Re sayısı ile değişimi

$h_1/H$	$x/H$	$y/H$	Re			
			3218	6437	5000	14922
D	X	Y	$Nu/Nu_0$			
0.428	0.714	0.357	1.0939	1.2308	1.3323	1.4275
		0.535	1.0839	1.2215	1.3240	1.4204
		0.714	1.0687	1.1976	1.2465	1.3503
	1.428	0.357	1.0275	1.0804	1.1581	1.1921
		0.535	1.0807	1.1729	1.2364	1.2821
		0.714	1.0380	1.1226	1.2014	1.2244
	2.142	0.357	1.0793	1.1246	1.1758	1.2842
		0.535	1.0906	1.1813	1.2710	1.2938
		0.714	1.0936	1.1970	1.2862	1.3190
0.285	0.714	0.357	1.0821	1.2081	1.2802	1.3259
		0.535	1.0565	1.1856	1.2547	1.2842
		0.714	1.0286	1.0968	1.1699	1.2479
	1.428	0.357	1.0189	1.0428	1.1151	1.1610
		0.535	1.0502	1.1077	1.1718	1.2086
		0.714	1.0349	1.0747	1.1365	1.1702
	2.142	0.357	1.0096	1.0395	1.0885	1.1221
		0.535	1.0217	1.0743	1.1088	1.1409
		0.714	1.0561	1.1042	1.1444	1.1593



#### 4. SONUÇLAR

1. Engelin yerleştirildiği konumunun ısı transferi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Yatayda ısıtıcıdan uzaklaştıkça maksimum Nu sayısını veren boyutsuz düşey mesafe olan Y değerinin de artmakta olduğu saptanmıştır.
2. Isı transfer yüzeyine yatayda ve düşeyde en yakın konum ısı transferinde en fazla artış sağlandığı optimum konum olarak belirlenmiştir.
3. Engel büyüklüğü arttıkça ısı transfer bölgesindeki ortalama Nusselt değeri de artmaktadır.
4. Kanal içerisine yerleştirilen engel -optimum konumdayken- ısı transferinde yaklaşık %140 bir artış sağlamıştır. Bu artış Re sayısının azalması ile azalmakta ve düşük Reynolds sayılarında yaklaşık %110 değerine düşmektedir.
5. Sürtünme katsayısında boş engele göre yaklaşık %200 gibi bir artış görülmüştür.

#### KAYNAKLAR

- [1] Young T. J., Vafai. K., “Experimental and numerical investigation of forced convective characteristics of array of channel mounted obstacles”, ASME J. Heat Transfer 121, 34-42, 1999.
- [2] Wang Y., Vafai. K., “Heat transfer and pressure loss characterization in a channel with discrete flush-mounted and protruding heat sources”, Experimental Heat Transfer 12, 1-16, 1999.
- [3] Jubran B. A., Al-Salaymeh. A.S., “Thermal wakes measurement in electronic modules in the presence of heat transfer enhancement devices”, Appl. Thermal Engrg. 19, 1081-1096, 1999.
- [4] Meinders E.R., Hanjalic K., “Experimental Heat Transfer from in-line and staggered configuration of two wall-mounted cubes”, Internat. J. Heat Mass Transfer 45, 465-482, 2002.
- [5] Tropea C. D., Gackstatter R.,” The flow over two dimensional surface-mounted obstacles at low Reynolds numbers”, J. Fluid Engrg. 107 (1985) 489-494.
- [6] Davalath J., Bayazitoglu, Y., “Forced convection cooling across rectangular blocks”, J. Heat Transfer 109, 321-328, 1987.
- [7] Perng H.W. Wu., S.W., “Effect of an oblique plate on the heat transfer enhancement of mixed convection over heated blocks in horizontal channel”, Internat. J. Heat and Mass Transfer 42, 1217-1235, 1999.
- [8] Sultan G.I., “Enhancing forced convection heat transfer from multiple protruding heat sources simulating electronic components in horizontal channel by passive cooling”, Microelectronics J. 31, 773-779, 2000.
- [9] Leung C.W., Cihan T.L, Robert S.D., Kang H.J., “Forced convection from a horizontal ribbed rectangular base plate penetrated by arrays of holes”, Appl. Energy 62, 81-95, 1999.
- [10] Jubran B.A., Swiety S.A., Hamdan M.A., “Convective heat transfer and pressure drop characteristics of various array configurations to simulate the cooling of electronic modules”, Intrenat. J.Heat Mass transfer 39, 3519-3529, 1996.
- [11] Wang L., Sunden B., “Experimental Investigation of Local Heat Transfer in a SquareDuct with Continuous and Truncated Ribs”, Experimental Heat Transfer, 18, 179-197, 2005.