

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YATAY DİKDÖRTGEN KANALLARDA
AKIŞ VE DİK DAİRESEL OLMAYAN DÖNEL
ENGELLERİN ISI TRANSFERLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevr. Müh. Gökhan KIVILCIM

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YATAY DİKDÖRTGEN KANALLARDA
AKIŞ VE DİK DAİRESEL OLMAYAN DÖNEL
ENGELLERİN ISI TRANSFERLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Gökhan KIVILCIM

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

.

Bu tez 25 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ
Jüri Başkanı

Prof. Dr. H. Rıza GÜVEN
Üye

Prof. Dr. Şerafeddin ÖZBEY
Üye

TEŞEKKÜR

Bu araŐtırmanın baŐlangıcından bitimine kadar vermiŐ oldukları destek ve katkılardan dolayı Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Öğretim Üyesi Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ'ye, Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Öğretim Üyesi Prof. Dr. Vedat TANYILDIZI ve ArŐ. Gör. Duygu EVİN'e teşekkür ederim.

Saygılarımla

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	ix
SİMGELER LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY.....	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

TAŞINIM	4
2.1. Taşınım Sınır Tabakaları	5
2.1.1. Hız (hidrodinamik) sınır tabakası	5
2.1.2. Isıl sınır tabaka	7
2.1.3. Sınır tabakaların önemi	9
2.2. Laminer ve Türbülanslı Akış:	9

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMA	12
3.1. Deney Düzenegi	12
3.2. DeneYlerin Yapılışı	17
3.3. Hesaplama	19
3.4. DeneYlerden Elde Edilen Veriler	20
3.4.1. Engelsiz boş kanal için deneYlerden elde edilen sonuçlar	21
3.4.2. Dönel olmayan sabit engeller için bulunan konveksiyon deneYi sonuçları21	

- 3.4.3. Dönel kare kesitli engeller için konum ve devrin ısı transferine etkisi ... 39
- 3.4.4. Dönel dairesel kesitli engeller için konum ve devrin ısı transferine etkisi.52

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yerel ve toplam ısı transfer işlemleri, (a) Herhangi bir şekilli yüzey, (b) düz levha	4
Şekil 2.2. Bir düz levha üzerinde hız (hidrodinamik) sınır tabakasının gelişimi	6
Şekil 2.3. Sabit sıcaklıkta bir düz levha üzerinde ısı sınır tabakanın gelişimi	7
Şekil 2.4. Bir düz levha üzerinde hız (hidrodinamik) sınır tabakanın gelişimi	9
Şekil 2.5. Sabit sıcaklıkta bir düz levha üzerinde akış için hız sınır tabaka kalınlığı δ ve yerel ısı transfer katsayısı h 'nın değişimi	11
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin ve kanalın şematik gösterimi	13
Şekil 3.2. Test bölgesinin kesiti ve en kesit görünüşü	13
Şekil 3.3. Deney düzeneği ve kanalı gösteren resim	14
Şekil 3.4. Yukarıdaki resimlerden a: Deneyde kullanılan ısıtıcı elemanını, b: Engelin dönmesinde kullanılan DC motorunu, c: Sıcaklık kontrolünde kullanılan dijital sıcaklık göstergesi ve Wattmetre'yi, d: Test bölgesi detaylarını ve e: Deney düzeneğinde kullanılan emiş çalışan hızı ayarlanabilen fanı göstermektedir	15
Şekil 3.5. Engel ve ısıtıcının birbirine göre konumu	16
Şekil 3.6. Isıtıcı yüzey ve engellerin yerleştirildiği delikler arasındaki boyutsuz açıklık	16
Şekil 3.7. Kanala engel konulmadan yapılan deneylerde Nusselt'in Reynolds sayısı ile değişimi	21
Şekil 3.8. $K= 0.428$ boyutsuz büyüklüğündeki kare kesitli sabit engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi	24
Şekil 3.9. $K= 0.285$ boyutsuz büyüklüğündeki kare kesitli sabit engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi	28
Şekil 3.10. $K= 0.142$ boyutsuz büyüklüğündeki kare kesitli sabit engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi	29

Şekil 3.11. $D= 0.428$ boyutsuz büyüklüğündeki dairesel kesitli sabit engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi	32
Şekil 3.12. $D=0.285$ boyutsuz büyüklüğündeki dairesel kesitli sabit engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi	33
Şekil 3.13. $X=0.714$, $Y= 0.357$ (1. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli sabit engellerin ısı transferine etkisi.....	34
Şekil 3.14. $X= 1.428$, $Y= 0.357$ (2. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	35
Şekil 3.15. $X=2.142$, $Y= 0.357$ (3. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	35
Şekil 3.16. $X=0.714$, $Y= 0.535$ (4. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	36
Şekil 3.17. $X=1.428$, $Y= 0.535$ (5. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	36
Şekil 3.18. $X=2.142$, $Y= 0.535$ (6. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	37
Şekil 3.19. $X=0.714$, $Y= 0.714$ (7. konum) konum için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	37
Şekil 3.20. $X=1.428$, $Y= 0.714$ (8. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	38
Şekil 3.21. $X=2.142$, $Y= 0.714$ (9. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi	38
Şekil 3.22. $X=0.714$, $Y= 0.357$ (1. konum) konumu için dönel kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	47
Şekil 3.23. $X=1.428$, $Y= 0.357$ (2. konum) konumu için dönel kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 3.24. $X=2.142$, $Y= 0.357$ (3. konum) konumu için dönel kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	48

Şekil 3.25. $X=0.714$, $Y= 0.535$ (4. konum) konum için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.26. $X=1.428$, $Y= 0.535$ (5. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.27. $X=2.142$, $Y= 0.535$ (6. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.28. $X=0.714$, $Y= 0.714$ (7. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 3.29. $X=1.428$, $Y= 0.714$ (8. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 3.30. $X=2.142$, $Y= 0.714$ (9. konum) konumu için dönele kare engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması	52
Şekil 3.31. $X=0.714$, $Y= 0.357$ (1. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	61
Şekil 3.32. $X=1.428$, $Y= 0.357$ (2. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 3.33. $X=2.142$, $Y= 0.357$ (3. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 3.34. $X=0.714$, $Y= 0.535$ (4. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	63
Şekil 3.35. $X=1.428$, $Y= 0.535$ (5. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	64

Şekil 3.36. $X=2.142$, $Y= 0.535$ (6. konum) konumu için dönel dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 3.37. $X=0.714$, $Y= 0.714$ (7. konum) konumu için dönel dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	65
Şekil 3.38. $X=1.428$, $Y= 0.714$ (8. konum) konumu için dönel dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	65
Şekil 3.39. $X=2.142$, $Y= 0.714$ (9. konum) konumu için dönel dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.1. Isı transferinde maksimum iyileşmeyi sağlayan optimum parametreler ...	69

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Boş kanal ile yapılan deneylerden elde edilen değerler.....	21
Tablo 3.2. $K=0.428$ (Kare-30) boyutsuz büyüklüğündeki kare kesitli dönел olmayan engel için dokuz farklı konumda elde edilen değerler	22
Tablo 3.3. Kare-20 ($K=0.285$) kare kesitli dönел olmayan engelin dokuz farklı konumu için bulunan değerler.....	25
Tablo 3.4. Kare-10 ($K=0.142$) kare kesitli dönел olmayan engelin dokuz farklı konumu için bulunan değerler.....	26
Tablo 3.5. $D=0.428$ ve $D=0.285$ dairesel kesitli dönел olmayan (sabit) engellerin dokuz farklı konumu için elde edilen değerler.....	30
Tablo 3.6. Kare Kesitli dönел engellerin dokuz farklı konumu ve iki farklı dönme devri için elde edilen değerler	39
Tablo 3.7. Dairesel kesitli dönел engellerin dokuz farklı konumu ve iki farklı dönme devri için elde edilen değerler	52
Tablo 4.1. Isı transferinde elde edilen maksimum değerler ve bunu sağlayan optimum parametreler	68

SİMGELER LİSTESİ

- q'' : Yerel Isı Akısı.
 T_∞ : Akışkan Sıcaklığı.
 T_s : Yüzey Sıcaklığı.
 q : Toplam Isı Geçişi.
 \bar{h} : Tüm Yüzey İçin Ortalama Taşınım Katsayısı.
 τ : Kayma gerilmesi.
 τ_s : Yüzey kayma gerilmesi.
 c_f : Yerel sürtünme katsayısı.
 μ : Dinamik viskozite.
 δ_t : Isıl sınır tabaka kalınlığı.
 k : Akışkanın ısı iletim katsayısı.
 δ_c : Derişiklik sınır tabakası kalınlığı.
 δ : Hidrodinamik (hız) sınır tabaka kalınlığı.
 ρ : Akışkan yoğunluğu.
 U_∞ : Ortalama akışkan hızı.
 Re : Reynolds sayısı.
 Nu : Nusselt sayısı.
 h_x : Yerel ısı taşınım katsayısı.
 Pr : Prandtl sayısı.
 St : Stanton sayısı.
 \bar{h}_L : Yüzey boyunca ortalama ısı taşınım katsayısı.
 Sh : Sherwood sayısı.
 Sc : Schmit sayısı.
 A_s : Isı transfer yüzey alanı.
 u_m : Boru kesiti boyunca ortalama akışkan hızı.

- A_c : Boru kesit alanı.
 \dot{m} : Akışkanın kütleli debisi.
 C_V : Akışkanın özgül ısısı.
 T_{m0} : Akışkanın Çıkış Sıcaklığı.
 T_{mi} : Akışkanın Giriş Sıcaklığı.
 ΔT_{lm} : Logaritmik ortalama sıcaklık farkı.
 \bar{U} : Ortalama toplam ısı geçiş katsayısı.
 Gz_D : Graetz sayısı.
 f : Sürtünme faktörü.
 D_h : Hidrolik çap.
 A_c : Akış kesit alanı.
 P : Islak çevre.
 x : Engelin ısıtıcıdan yatay uzaklığı.
 y : Engelin ısıtıcıdan düşey uzaklığı.
 D : Engel boyutunun kanal yüksekliğine oranı.
 X : Engelin ısıtıcıdan yatay uzaklığının kanal yüksekliğine oranı.
 Y : Engelin ısıtıcıdan düşey uzaklığının kanal yüksekliğine oranı.
 N : Engelin dönme devir sayısı.
 T_y : Isıtıcı elemanın yüzey sıcaklığı,
 A_s : Isı transfer yüzey alanı.
 T_0 : Ortalama akışkan sıcaklığı.
 Q : Yüzeyden akışkana taşınım ile geçen ısı.
 L : Isıtıcı elemanın akış doğrultusundaki kenar uzunluğu.
 ν : Kinematik viskozite.

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Isı Transferi, Dönel ve dönel olmayan engellerin, Dikdörtgen kesitli bir kanal.

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli bir kanal içerisinde ısıtma bölgesi önüne akışa dik ve kanal tabanına paralel olarak yerleştirilen engellerin ısı transferi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Reynolds sayısının $3.10^3 < Re < 15.10^3$ aralığında incelendiği çalışmada, kare ve dairesel kesitli olmak üzere iki farklı geometride ve her biri üç farklı boyutta seçilen engelin konumu yatay ve düşey doğrultuda dokuz farklı noktada değiştirilerek, her bir durum için engelin gerek sabit gerekse dönme halinde deneyler yapılmıştır. Engel döndürülerek yapılan deneylerde iki farklı dönme devri kullanılmıştır. Böylece engelin konumunun, boyutlarının, geometrisinin, sabit veya dönel olmasının ve dönme devrinin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiş ve maksimum ısı transferinin elde edildiği optimum durumlar belirlenmiştir.

THE EFFECTS OF TURNING AND NON-TURNING BARRIERS IN A RECTANGULAR SEGMENTED CHANNEL ON HEAT TRANSFER

SUMMARY

Keywords: Heat transfer, turning and non-turning barriers, A Rectangular segmented channel.

This study has been conducted by examining empirically the effects of the barriers put parallel and perpendicular to flow on the base in front of the heating area in a rectangular segmented channel. The study in which the Reynolds number is taken as $3 \cdot 10^3 < Re < 15 \cdot 10^3$ has been conveyed by doing so many experiment that two different turning circuits are used for these experiments which the barriers have been square and round and three different dimensions changed at nine points. So the static and turning conditions of the position, the volume and the geometry of the barrier and the effects of turning circuit on heating transfer are searched and the optimum situations

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde ısı üreten elektronik elemanların soğutulması üzerine yapılan çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Bu çalışmalar, elektronik teknolojisindeki hızlı ilerlemeler ve günden güne artan karmaşık ve güçlü bilgisayarlara olan ihtiyaçtan kaynaklanmakta ve elektronik devre elemanlarında açığa çıkan ısı enerjisinin etkili bir şekilde uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır [1]. Elektronik elemanın kendinden beklenen fonksiyonu yerine getirebilmesi ancak sıcaklığının belirli değerler arasında kalması ile mümkün olmakta ve dolayısıyla hassas bir soğutma yapılması gerekmektedir. Soğutulacak elemanlar ortamda her zaman tek olmayıp değişik engeller arkasında bulunabilmektedir. Bu nedenle birçok elektronik elemandan oluşan bir cihazın tasarımında çeşitli engeller arkasında bulunan cisimler üzerindeki akışta ısı taşınım katsayılarının bilinmesi gerekir [2].

Young ve Vafai, çoklu ve tekli düzende iki boyutlu engellerin yerleştirildiği bir kanalda, zorlanmış taşınım ile ısı transferini, Reynolds sayısının $Re = 800 - 1300$ aralığında incelemiştir. Bu araştırmacılar kanal genişliğinin ve verilen ısı gücünün değişiminin etkilerini araştırmışlar ve ampirik korelasyon geliştirmişlerdir [3]. Wang ve Vafai tarafından yapılan başka bir çalışmada engelin geometrik özelliklerinin ısı transferine olan etkileri incelenmiştir [4]. Jubran ve arkadaşları ise, benzer bir çalışmada kübik engeller içeren bir dikdörtgen kanal içerisinde ısı transferi ve basınç düşümünü incelemiştir. Bu çalışmada engelin boyutları ve geometrik özellikleri değişken olarak alınmıştır [5]. Meinders ve Hanjalic iki duvara monte edilen küp şeklindeki elemanların ısı transferine etkilerini türbülanslı akış şartlarında incelemiştir. Bu araştırmacılar; taşınım ile yerel ısı transferinin, yerleştirilen engellerin diziliş şekline göre çok büyük değişiklik gösterdiğini belirlemiştir. Bu çalışmada yerleştirilen engeller için elde edilen ısı transfer katsayısının engelin yerleştirildiği konumdan bağımsız olduğunu saptamışlardır [6]. Tropea ve Gackstater, yatay bir kanalın alt yüzeyine dikdörtgen bir silindir yerleştirilerek bu

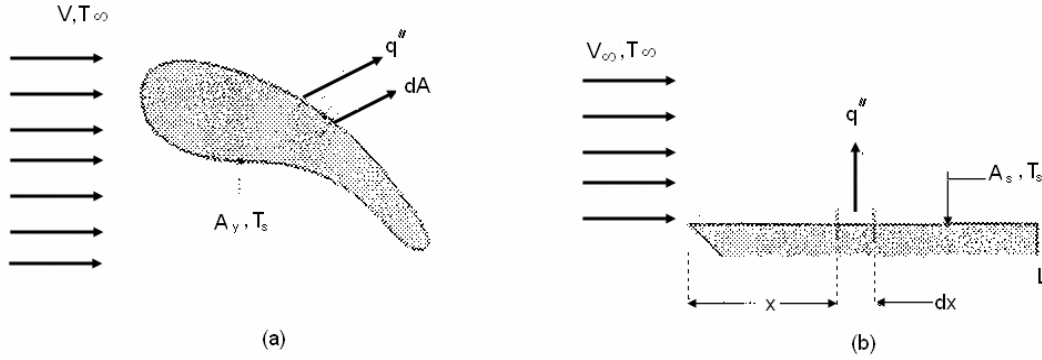
silindirin arka bölgesindeki akışı, düşük Reynolds sayılarında incelemiştir. Tropea ve Gackstater çalışmalarında Reynolds sayısı, blokaj oranı, uzunluk-yükseklik oranı gibi değişkenler göz önüne alınarak incelenmişlerdir [7]. Davalath ve Beyazıtöğlü, yatay bir kanalın iç duvarlarına yerleştirilmiş dikdörtgen bloklar üzerindeki akışı sayısal olarak incelemiştir. Araştırmacılar bloklardan transfer edilen ısıyı ve blokların yüzeylerindeki sıcaklık dağılımını incelemiştir [8]. Bir başka nümerik çalışmadaki üçgen biçiminde bir engelin arka bölgesindeki zayıf akımın incelenmesi ise Zielinska ve Wesfreid tarafından yapılmıştır. Elektronik elemanların pasif metotlarla soğutulması ile ilgili bir çalışma da Wu ve Perng tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yatay bir kanal içerisine beş adet engel yerleştirilmiş ve bu engellerin ısı transferine olan etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada Nusselt sayısında %39.5 oranında bir iyileşme sağlanmıştır [9]. Elektronik elemanların soğutulmasına ilişkin bir çalışma da Sultan tarafından yapılmıştır. Sultan bu çalışmasında elektronik elemana yerleştirilen engelin üzerindeki ortalama ısı taşınım katsayısını incelemiş ve Nusselt sayısında ortalama %13 gibi bir iyileşme sağlamıştır [10]. Benzer bir çalışmada Leung ve arkadaşları Re sayısını 500–19.000 aralığında uygulamış ve ısı transferinde %130 gibi bir iyileşme sağlamışlardır [11]. Jubran ve arkadaşları bir yüzey üzerine sıralı şekilde yerleştirilen dikdörtgen ve kare kesitli engellerin ısı transferi üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada dikdörtgen kesitli engellerin kare kesitli engellerden daha iyi bir ısı transferi sağladığını belirlemiştir [12].

Gül ve arkadaşları, kanal içerisine yerleştirilen kare kesitli bir engelin ısı transferine etkisini incelemiş ve optimum konum ve boyuttaki engelin ısı transferinde yaklaşık %142 gibi bir iyileşme sağladığını ancak sürtünme kayıplarında %200 oranında bir artış olduğunu belirlemiştir [1].

Mittal, sınır tabaka ayrılması ile akış kontrolü yapılabileceğini gösteren bir çalışma yapmıştır. Küçük dönel silindirler kullanarak bir silindir üzerinden geçen akışın kontrolünü nümerik olarak incelemiştir [13]. Tokumaru ve Dimotakis bir silindirin dönmesi sonucu iz akımı üzerinde etkili bir kontrolün sağlanabileceğini laboratuvar deneyleri ile göstermişlerdir.

Bu çalışmada soğutulması hedeflenen elemanın n tarafına yerleştirilen dairesel ve kare kesitli silindirik bir engelin soğutma yüzeyine olan yatay ve düşey uzaklığının, engel geometrisi ve boyutunun, engelin sabit olması ve döndürülmesi halinde ısı transferi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

BÖLÜM 2. TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ



Şekil 2.1. Yerel ve toplam ısı transfer işlemleri, (a) Herhangi bir şekilli yüzey, (b) düz levha

Şekil 2.1.a, V hızında ve T_∞ sıcaklığında bir akışkan yüzey alanı A_s olan, rasgele bir biçimi olan bir cisim üzerinde akmaktadır. Yüzeyin T_s Sıcaklığında olduğu varsayılıyor ve eğer $T_s \neq T_\infty$ olursa taşınım ile ısı geçişi olacaktır.

Yerel ısı akısı q'' aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2.1)$$

Burada h : yerel taşınım katsayısıdır. Yüzey üzerinde akış koşullarının noktadan noktaya değişmesi nedeniyle, yüzey boyunca q'' ve h değişir. Toplam ısı geçişi q ise yerel ısı akısının bütün yüzey üzerinde entegrasyonu ile elde edilir. Yani;

$$q = \int_{A_s} q'' dA_s \quad (2.2)$$

veya

$$q = (T_s - T_\infty) \int_{As} h dAs \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir.

Tüm yüzey için ortalama taşınım katsayısı \bar{h} ile tanımlanırsa toplam ısı geçişi şöyle tanımlanabilir;

$$q = \bar{h} As (T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

Denklem (2.3) ve (2.4)'ün eşitlenmesiyle ortalama ve yerel taşınım katsayıları arasındaki ilişki bulunur.

$$\bar{h} = \frac{1}{As} \int_{As} h dAs \quad (2.5)$$

Düzlem levha üzerinde akış (Şekil 2.1.b) için h, levha ucundan başlayarak x uzunluğu ile değişir ve (2.5) eşitliği

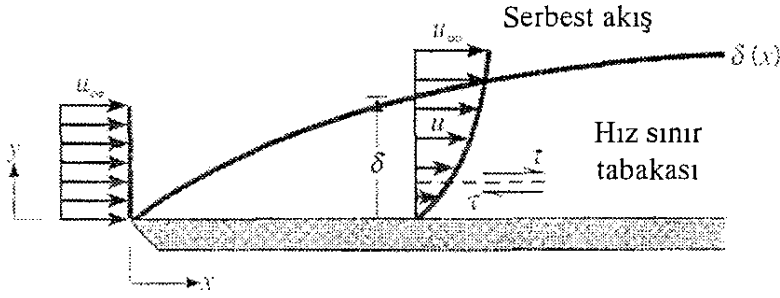
$$\bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (2.6)$$

Bişiminde düzenlenir

2.1. Taşınım Sınır Tabakaları

2.1.1. Hız (hidrodinamik) sınır tabakası

Sınır tabaka kavramını açıklamak için Şekil 2.2 'yi (düz levha üzerinde akışı) ele alalım.



Şekil 2.2. Bir düz levha üzerinde hız (hidrodinamik) sınır tabakasının gelişimi

Akışkan parçacıkları yüzey ile temas ettiklerinde hızları sıfır olur. Bu parçacıklar bitişik akışkan tabakaları içinde parçacıkların hareketini yavaşlatır ve bu etki azalarak $y = \delta$ uzaklığında göz ardı edilebilir değere gelir. Akışkan hareketinin bu yavaşlaması akışkan hızına paralel düzlemlerde etkili olan kayma gerilmesi τ ile ilgilidir. Yüzeyden y uzaklığının artışıyla akışkan hızının x bileşeni U , serbest akış değeri U_{∞} 'a ulaşıncaya kadar artar (∞ alt indisi sınır tabaka dışında serbest akış içindeki koşulları göstermek için kullanılmaktadır).

δ büyüklüğü sınır tabaka kalınlığı olarak adlandırılır. Ve genelde $u=0.99 U_{\infty}$ değerine ulaşıldığı y değeri olarak tanımlanır. Sınır tabaka hız profili, sınır tabaka içinde U hızının y ile değişimini gösterir. Buna göre akış iki farklı bölgeye ayrılabilir;

İnce bir akışkan tabakası (sınır tabaka); bu tabaka içinde hız gradyanı ve kayma gerilmesi büyüktür ve sınır tabaka dışındaki bölge; bu tabaka içinde hız gradyanı ve kayma gerilmeleri göz ardı edilebilir. Levha giriş ucundan başlayarak x arttıkça sürtünmenin etkisi serbest akış içinde daha ötelere taşınır ve sınır tabaka büyür (δ, x ile artar).

Akışkan hızı ile ilgili olması nedeniyle, önceden sınır tabakası olarak belirtilen bölge daha açık bir biçimde hız (hidrodinamik) sınır tabakası olarak adlandırılır. Akışkanlar mekaniğinde mühendisler için önemi;

Yüzey kayma gerilmesi τ_s ile ilişkisinden başka bir deyişle yüzey sürtünmesi ile ilişkisinden kaynaklanır. Dış akışlar için yerel sürtünme katsayısı kayma gerilmesi ile gösterilir.

$$c_f = \frac{\tau_s}{\frac{\rho u_\infty^2}{2}} \quad (2.7)$$

Yerel sürtünme katsayısı önemli bir boyutsuz parametre olup yüzey sürtünme kaybını hesaplamak için kullanılır. *Newton akışkanı* varsayımı ile yüzey kayma gerilmesi, yüzeydeki hız gradyanından belirlenebilir.

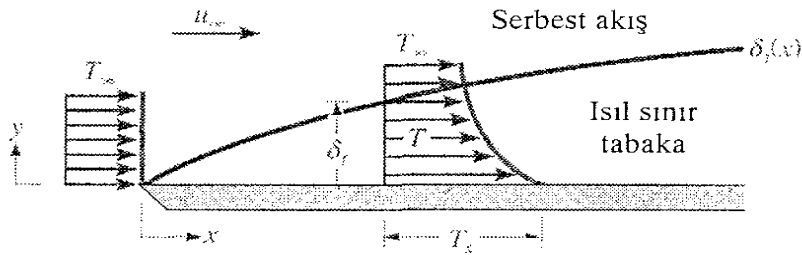
Yüzey kayma gerilmesi yüzeydeki hız gradyanı ile bulunur.

$$\tau_s = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (2.8)$$

μ : Dinamik viskozite

2.1.2. Isıl sınır tabaka

Bir yüzey üzerinde akış olduğunda nasıl bir hız sınır tabakası gelişirse, akışkan sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı olduğunda da ısıl tabaka gelişir. Sabit sıcaklıkta bir düz levha üzerinde akışı inceleyelim (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Sabit sıcaklıkta bir düz levha üzerinde ısıl sınır tabakanın gelişimi

Bir yüzey üzerinde akış olduğunda nasıl bir hız sınır tabakası gelişirse, akışkan sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı olduğunda da *ısıl sınır tabaka* gelişir. Sabit sıcaklıkta bir düz levha üzerinde akışı inceleyelim (şekil 2.3). Levha giriş ucunda sıcaklık profili düzgün dağılımlı olup $T(y) = T_\infty$ 'dur. Bununla beraber akışkan parçacıkları levha ile temas ettiklerinde levha ile aynı sıcaklığa ulaşırlar. Bu parçacıkların komşu akışkan tabakası ile enerji değişimi akışkan içinde sıcaklık gradyanlarına yol açar. Akışkanın sıcaklık gradyanlarının oluştuğu bu bölge ısıl sınır tabakadır ve bu tabakanın kalınlığı δ_t 'dir. Genelde;

$$\frac{T_s - T}{T_s - T_\infty} = 0,99 \text{ oranını sağlayan } y \text{ değeri olarak tanımlanır.}$$

Giriş ucundan uzaklaştıkça ısı geçişi serbest akışı daha fazla etkilediği için ısıl sınır tabaka büyür.

Giriş ucundan x uzaklıkta yerel ısı akısı, $y=0$ 'da akışkana Fourier yasası uygulayarak belirlenir.

$$q_s'' = -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (2.9)$$

Bu bağıntının kullanımı uygundur. Çünkü yüzeyde akışkan hareketi yoktur ve enerji aktarımı yalnızca iletim ile olur. 2.9 klemi ile Newton'un Soğuma yasası birleştirilirse;

$$h = \frac{-k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (2.10)$$

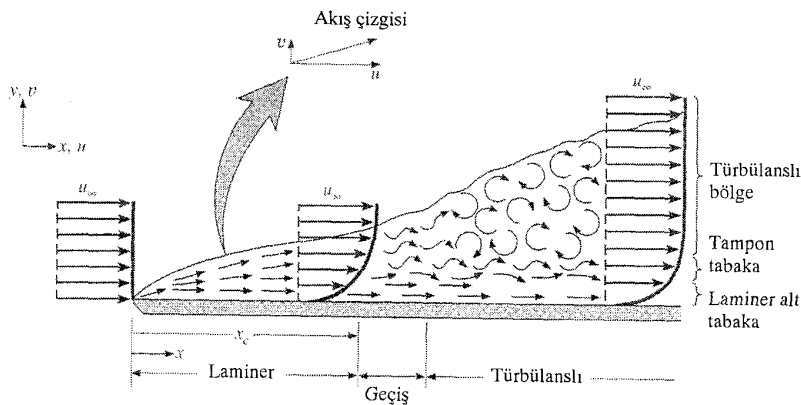
eşitliği elde edilir. Böylece sınır tabaka içindeki koşullar levha yüzeyindeki sıcaklık gradyanı, $\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}$ ve sınır tabakadaki ısı geçişini belirler. $(T_s - T_\infty)$ sabit olup, x

ten bağımsızdır (δ_t , x 'in artmasıyla artar, sınır tabaka içindeki sıcaklık gradyanı x 'in artmasıyla azalır ve buna bağlı olarak da q_s'' ve h x 'in artması sonucu azalır).

2.1.3. Sınır tabakaların önemi

Hız sınır tabakasının kalınlığı $\delta(x)$ olup, içinde hız gradyanı ve kayma gerilmelerinin varlığıyla tanımlanır. Isıl sınır tabakasının kalınlığı $\delta_t(x)$ olup, içinde sıcaklık gradyanı ve ısı aktarımı vardır. Son olarak derişiklik sınır tabakasının kalınlığı $\delta_c(x)$ olup, içinde derişiklik gradyanı ve kütle geçişi vardır. Mühendisler için bu üç sınır tabakanın en önemli etkileri sırasıyla, yüzey sürtünmesi, taşınım ile ısı geçişi ve taşınım ile kütle geçiştir. Herhangi bir yüzey üzerinde akış için, bir hız sınır tabakası ve sonucunda yüzey sürtünmesi her zaman olacaktır. Ancak, bir ısıl sınır tabaka ve böylece taşınım ile ısı geçişi yalnızca yüzey ve serbest akışın sıcaklıkları farklıysa vardır. Benzer şekilde derişiklik sınır tabakası ve taşınım ile kütle geçişi yalnızca bir maddenin yüzey derişikliği, serbest akışın derişikliğinden farklıysa vardır. Her üç sınır tabakanın bir arada olduğu durumlar gerçekleşebilir. Böyle durumlarda sınır tabakalar çok seyrek olarak aynı hızda gelişir ve belirli bir x noktasında δ , δ_t ve δ_c kalınlıkları eşit değildir.

2.2. Laminer ve Türbülanslı Akış:



Şekil 2.4. Bir düz levha üzerinde hız (hidrodinamik) sınır tabakanın gelişimi

Herhangi bir taşınım probleminin incelenmesinde ilk adım sınır tabakanın laminar veya türbülanslı olduğunun belirlenmesidir. Yüzey sürtünmesi ve taşınım ile ısı geçişi akışın laminar veya türbülanslı olmasına büyük ölçüde bağlıdır.

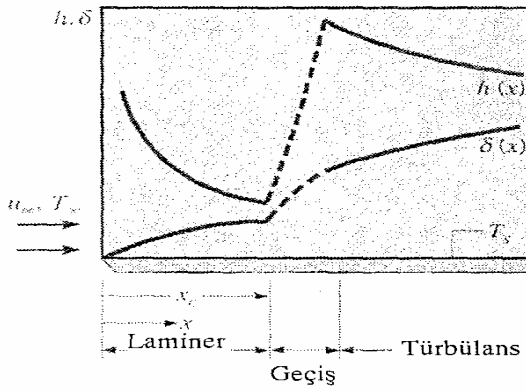
Şekil 2.4’de gösterildiği gibi laminar ve türbülanslı akış arasında keskin farklılıklar vardır. Laminar sınır tabaka içinde, akışkan hareketi çok düzenlidir ve parçacıkların akış çizgileri boyunca hareket ettikleri gözlenir. Bir akış çizgisi boyunca akışkan hareketi x ve y yönlerinde hız bileşenleri ile tanımlanabilir. v hız bileşeni yüzeye dik yöndeki bileşendir ve bu bileşen sınır tabakada momentum, enerji ve kütle geçişine önemli katkıda bulunur. Yüzeye dik yönde akışkan hareketi, sınır tabakanın x yönündeki gelişiminin bir sonucudur.

Buna karşılık, türbülanslı sınır tabaka içinde akışkan hareketi çok düzensizdir ve akış içinde ani hız değişimleri gözlenir. Bu düzensiz değişimler momentum, enerji ve kütle geçişini artırır ve bundan dolayı taşınım ile geçiş hızı gibi yüzey sürtünmesi de artar. Düzensiz değişimlerin sonucu akışkanın karışması türbülanslı sınır tabaka kalınlığını artırır ve sınır tabaka profilleri (hız, sıcaklık ve derişiklik) laminar akıştakine oranla daha düzdür.

Bir düz levha üzerinde hız sınır tabakasının gelişimi Şekil 2.4’de şematik olarak gösterilmiştir. Sınır tabaka başlangıçta laminardır, fakat giriş ucundan biraz ötede, küçük çalkalanmalar başlar, bunlar şiddetlenir ve türbülanslı akışa geçiş olur. Akışkan içindeki çalkalanmalar geçiş bölgesinde gelişmeye başlar ve sınır tabaka sonunda tümüyle türbülanslı olur. Tam türbülanslı bölge içinde, akışkan kitlelerinin üç boyutlu gelişigüzel hareketleri söz konusudur ve beklendiği gibi türbülansa geçişte sınır tabaka kalınlığında, yüzey kayma gerilmesinde ve taşınım katsayısında önemli artışlar olur. Bu etkiler Şekil 2.5’de hız sınır tabaka kalınlığı δ ve yerel taşınım katsayısı h için gösterilmiştir. Türbülanslı sınır tabaka içinde üç ayrı bölge tanımlanabilir. Laminar alt tabaka’da aktarım yayılımı olur ve hız profili hemen hemen doğrusaldır. Buna bitişik olan tampon tabakada yayılım ve kütle taşınımı karşılaştırılabilir düzeydedir. En üstteki türbülanslı bölgede ise aktarım gelişigüzel kitle hareketleri ile gerçekleşir.

Sınır tabaka hesaplarında laminardan türbülanslı akışa geçişin, bir x_c noktasında başladığı varsayılır. Bu nokta Reynolds sayısı olarak adlandırılan bir boyutsuz değişkenin aldığı değerle belirlenir [14].

$$R_{ex} = \frac{\rho U_{\infty} \cdot x}{\mu} \quad (2.11)$$



Şekil 2.5. Sabit sıcaklıkta bir düz levha üzerinde akış için hız sınır tabaka kalınlığı δ ve yerel ısı transfer katsayısı h 'nin değişimi

$$R_{ex} = \frac{\rho U_{\infty} \cdot x}{\mu} = 5 \cdot 10^5 \quad (2.12)$$

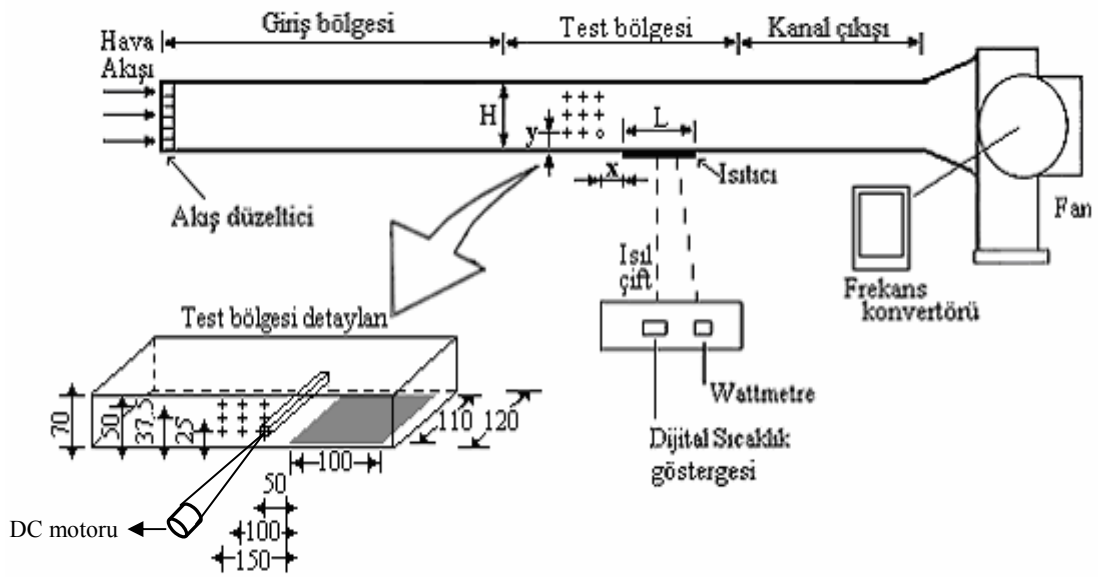
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Düzenegi

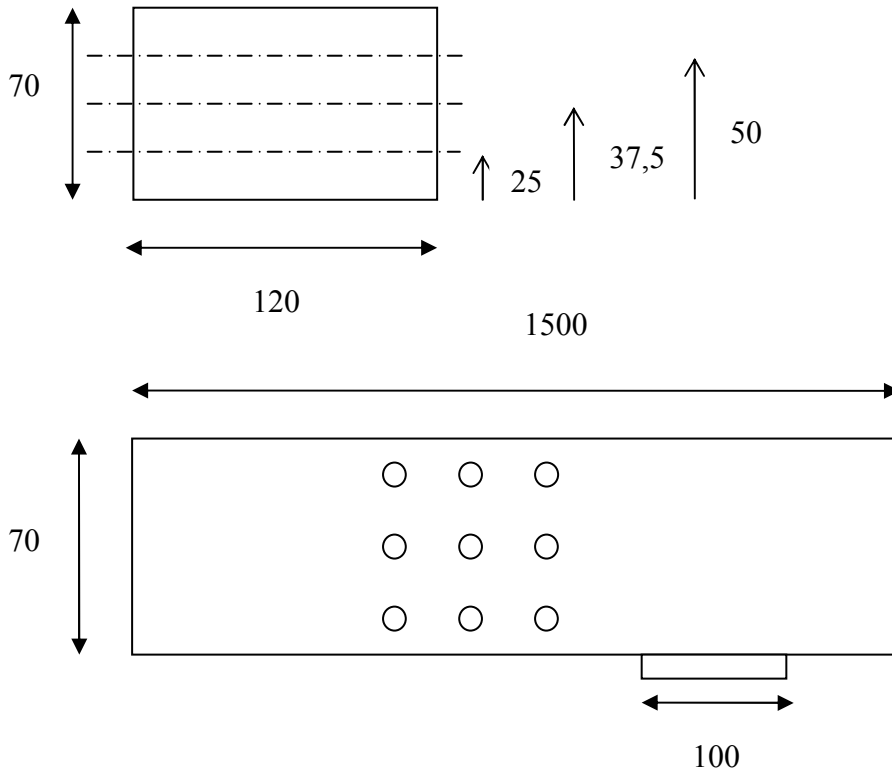
Şekil 3.1’de bu çalışmada kullanılan deney düzenegi şematik olarak görülmektedir. Hava kanalı dikdörtgen kesitli olup $70 \times 120 \text{ mm}^2$ kesit alanına, 2930 mm uzunluğa sahiptir. Kanal, ısı iletim katsayısı düşük ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olması nedeniyle fleksiğlas malzemedan imal edilmiştir. 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 akısı verilmiştir. Bu ısıtıcının verdiği ısıyı kontrol etmek için, bir varyak kullanılmıştır.

Akışkanın giriş sıcaklığı bir termometre ile ısıtıcının yüzey sıcaklıkları ise bir bakır-konstant ısı çifti ile ölçülmüştür. Bir frekans konvertörü ile fan devri ve dolayısıyla hava debisi değiştirilmiş, bu da farklı Reynolds sayılarında deney yapabilmek imkanı sağlamıştır. Her deneyde sistem kararlı duruma geldikten sonra okunan yüzey sıcaklıkları kaydedilmektedir.

Engelin yerleştirildiği konum yatay ve düşey doğrultuda değiştirilebilmektedir. X boyutsuz mesafesi engelin ısıtıcıdan yatay uzaklığının kanal yüksekliğine oranı (x/H), Y mesafesi engelin ısıtıcıya dik uzaklığının kanal yüksekliğine oranı (y/H), ve D ise engel çapının (kare kesitli engel için kenar uzunluğu) kanal yüksekliğine oranı (h/H) olarak tanımlanmıştır. Böylece engel büyüklüğü, şekli ve konumu değişken parametre olarak alınmıştır. Ayrıca engelin farklı devirlerde döndürülmesinin ısı transferi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Engelin devir sayısı N ile gösterilmiştir ve birimi devir/dakika olarak alınmıştır. Burada, $N=600 \text{ d/dk}$ ve $N=900 \text{ d/dk}$ olmak üzere iki farklı devirde çalışılmıştır.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin ve kanalın şematik gösterimi

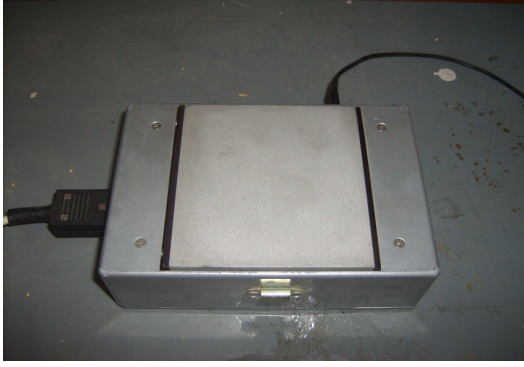


Şekil 3.2. Test bölgesinin kesiti ve en kesit görünüşü

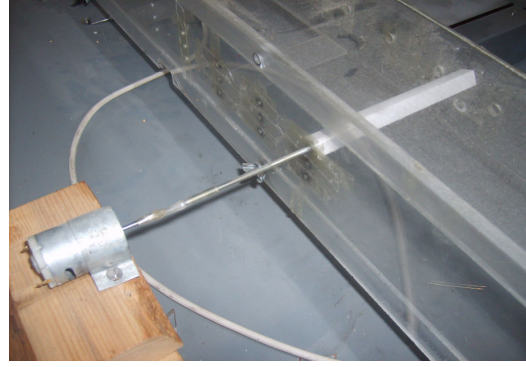


Şekil 3.3. Deney düzeneği ve kanalı gösteren resim

Şekil 3.3'de bu çalışmada kullanılan deney düzeneği ve kanalın fotoğrafı görülmektedir.



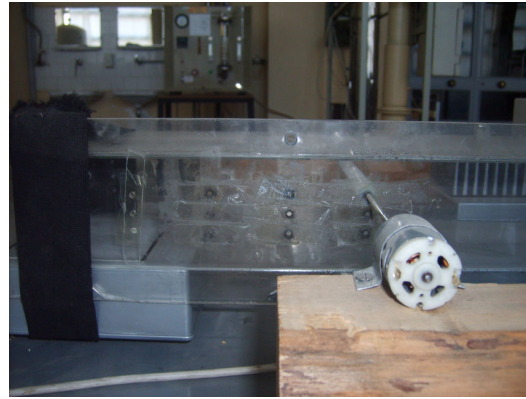
(a)



(b)



(c)



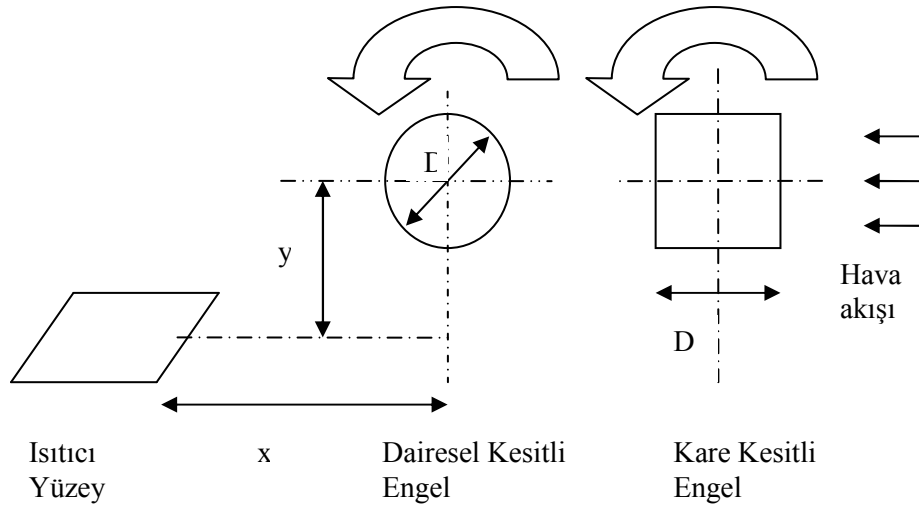
(d)



(e)

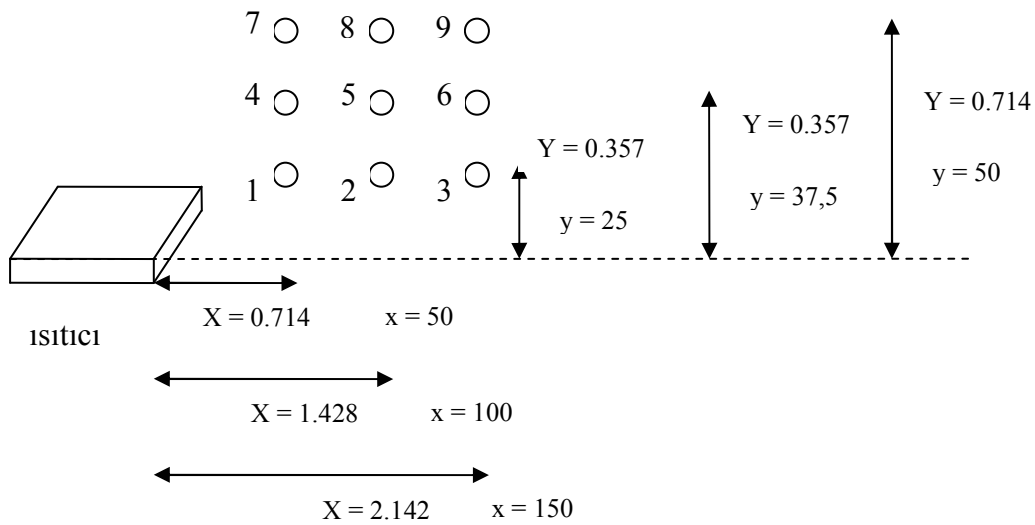
Şekil 3.4. Yukarıdaki resimlerden a: Deneyde kullanılan ısıtıcı elemanını, b: Engelin dönmesinde kullanılan DC motorunu, c: Sıcaklık kontrolünde kullanılan dijital sıcaklık göstergesi ve Wattmetre'yi, d: Test bölgesi detaylarını ve e: Deney düzeneğinde kullanılan emişe çalışan hızı ayarlanabilen fanı göstermektedir.

Isıtıcı yüzeyin önüne kanala yatayda x ve düşeyde y eksenini doğrultusunda değişik aralıklarla engeller konularak deneyler yapılmıştır. Çapı (kare kesitli engel için kenar uzunluğu) D olan engel ve ısıtıcı yüzeyin birbirine göre konumu Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Burada x , engelin ısıtıcıdan olan yatay uzaklığı, y ise engelin ısıtıcıya dik uzaklığıdır.



Şekil 3.5. Engel ve ısıtıcının birbirine göre konumu

Isıtıcı yüzey ile engel arasındaki boyutsuz açıklık Şekil 3.6’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Isıtıcı yüzey ve engellerin yerleştirildiği delikler arasındaki boyutsuz açıklıklar

Burada;

$X = \frac{x}{H}$ ve $Y = \frac{y}{H}$ ile tanımlanmıştır.

$$D = \frac{h}{H}$$

X ve Y engel ve ısıtıcı arasındaki boyutsuz açıklık,

x : Engelin ısıtıcıya olan yatay uzaklığı

y : Engelin ısıtıcıdan dik uzaklığı

H : Kanal yüksekliği

h : Dairesel kesitli engel çapı (kare kesitli engel için kenar uzunluğu)

D : Dairesel kesitli engel çapının kanal yüksekliğine oranı

K : Kare kesitli engelin kenar uzunluğunun kanal yüksekliğine oranı

Engel boyutları kare kesitli silindirik engeller için kenar uzunlukları ve dairese kesitli silindirik engeller için ise kesit çapları 10, 20 ve 30 mm seçilmiştir.

3.2. Deneilerin Yapılışı

Isıtılan eleman hava kanalında ölçme bölgesine yerleştirilerek üzerinden hava akımı geçirilmek suretiyle soğutulmuştur. Giriş ve çıkıştaki hava sıcaklığı bir termometre ile ölçülmüş ve sürekli rejime gelmesi beklenerek yüzeydeki sıcaklık değişimi hassas bir kaydediciden ($\pm 0,02$ C hassasiyetle) okunmuştur.

Bu çalışmada deneysel metot olarak, test bölgesine kanal tabanına yerleştirilen deney elemanı ilk önce 75 W' a getirilerek sıcaklığı 85 °C'a gelinceye kadar ısıtılmış ve hemen ardından ısı gücü 20 W'a indirilerek sürekli rejime gelmesi için 50 dk beklendikten sonraki yüzeydeki sıcaklık değişimi hassas bir dijital sıcaklık göstergesinden okunarak değerler kaydedilmiştir. Kanalda giriş ve çıkıştaki hava sıcaklıkları ise bir termometre ile ölçülmüş ve bunların ortalaması alınarak T_0 ortalama akışkan sıcaklığı olarak kaydedilmiştir.

Çalışmada önce engel konulmadan boş boruda ölçümler yapılmış sonrada ısıtıcı yüzeyden yatayda ve düşeyde farklı mesafelere dokuz farklı konuma engel

yerleştirilerek engelin hem sabit hem de dönel olması halinde ayrı ayrı ölçümler yapılmış ve engelin ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Engelin dönmesi bir DC motoru tarafından sağlanmakta ve dönme devri bir adaptörden ayarlanmaktadır. Deneyleerde engel 600 ve 900 (devir/dk) olmak üzere iki farklı devirde döndürülerek çalışılmıştır. Kanalda hava akışı emişe çalışan, hızı ayarlanabilir bir fan tarafından sağlanmaktadır. Böylece hava debisi değiştirilerek farklı Reynolds sayıları için deney yapabilmek imkânı sağlanmıştır. Hava hızı bir anemometre ile ölçülmüştür. 0.55, 1.1, 1.8 ve 2.55 m/s olmak üzere dört farklı hava hızında çalışılmış ve bu hızlara bağlı olarak dört farklı Reynolds sayısı hesaplanmıştır. Isı taşınım katsayısı, düz levha üzerinde sıcaklık gradyanının olmadığı ve yüzeyden iletim ve ışınlama ile ısı kaybının ihmal edilebilecek düzeyde olduğu kabulüyle belirlenmiştir.

Çalışmada, ilk önce kanala engel konulmadan deneyler yapılmış ve deneysel olarak hesaplanan Nusselt sayılarının Reynolds sayısı ile değişiminin grafiği çizilmiştir. Daha sonra kanalın ölçme bölgesine - ısıtıcı yüzeyden farklı yatay ve düşey mesafelere - değişik boyutlarda kare ve dairesel kesitli silindirik engeller yerleştirilerek bu engellerin sabit olması halinde ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Nusselt sayısının, kanal boş iken hesaplanan Nu_0 'a oranı olan Nu/Nu_0 'ın Reynolds sayısı ile değişimi daha sonraki deney sonuçları kısmında grafikler halinde gösterilerek karşılaştırılacaktır.

Daha sonra aynı deneyler, engelin iki farklı devirde döndürülmesi halinde yapılmış ve engelin farklı devirlerde dönmesinin ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Böylece engelin hem sabit olması hem de farklı devirlerde döndürülmesi halinde dönmenin ısı transferine etkisi grafikler halinde karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak hesaplanan Nusselt sayısının; engel şekli ve büyüklüğü, engel ve ısıtıcı yüzey arasındaki boyutsuz açıklık ve farklı akış hızları için hesaplanan Reynolds sayısı ile değişiminin grafikleri çizilmiştir.

3.3. Hesaplama

Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{u_0 \cdot D_h}{\nu} \text{ şeklinde tanımlanmıştır.}$$

Burada u_0 ortalama hız, D_h hidrolik çap, ν ise kinematik viskozitedir.

$$D_h = \frac{4 \times 0,07 \times 0,12}{2 \times (0,07 + 0,12)} = 0,0897$$

u_0 : 0,55 m/sn için Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{0,55 \times 0,0897}{1,75 \times 10^{-5}} = 2819,143$$

Üniform sıcaklık kabulüyle T_y yüzey sıcaklığındaki deney elemanı ile T_0 ortalama akışkan sıcaklığındaki hava arasında taşınım ile geçen ısı, Newton'un soğuma kanunundan;

$Q = h \cdot A_s \cdot (T_y - T_0)$ olarak ifade edilebilir.

Burada ;

A_s : ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanı (m^2)

T_y : Isıtıcı elemanın yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_0 : Ortalama akışkan sıcaklığı ($^{\circ}C$)

Q : Yüzeyden akışkana taşınım ile geçen ısı (W)

h : Isı taşınım katsayısı ($W / m^2 \cdot K$)

$$A_s = 0,10 \times 0,11 \text{ m}^2$$

$$Q = 20 \text{ W}$$

Örneğin; 30 mm kare kesitli dönel olmayan engelde 1.Konum için Nusselt sayısı hesaplanırsa,

$$20 = h \cdot (0,10 \times 0,11) \cdot (84,2 - 17)$$

Buradan h çekilirse,

$h = 27,06$ bulunur. Bu değer aşağıdaki denklemde yerine konursa,

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k}$$

Burada ;

L : Isıtıcı elemanın akış doğrultusundaki kenar uzunluğu (L= 0,10 m)

k : Havanın ısı iletim katsayısı (W / m. K)

$$Nu = \frac{27,06 \times 0,10}{0,028}$$

$$Nu = 96,4697$$

Boyutsuz Nusselt sayısı elde edilir.

Burada tüm özellikler ortalama akışkan sıcaklığında alınmıştır.

3.4. Deneylelerden elde edilen veriler

Deneylelerden elde edilen verilerle, engel konumunun, büyüklüğünün, geometrisinin ve engelin sabit ya da dönel olması durumunda ısı transferine olan etkilerinin incelenmesi amacıyla farklı Reynolds sayıları için grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerde ısı transferindeki iyileştirme Nu / Nu_0 olarak ifade edilmiştir. Burada Nu_0 , boş boru (engelsiz) ile yapılan deneylelerden elde edilen Nusselt değerlerini göstermektedir.

3.4.1. Engelsiz boş kanal için deneylerden elde edilen sonuçlar

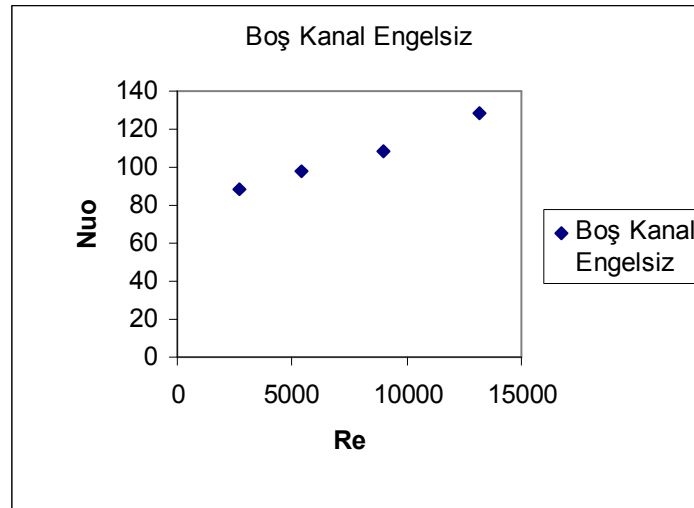
Boş (engelsiz) kanal için bulunan değerler Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Boş kanal ile yapılan deneylerden elde edilen değerler

u	Re	Tort	Ty	ΔT	h	Nuo
0,55	2677,595	15,6	88,8	73,2	24,83855	88,19004
1,1	5435,316	16,3	82,7	66,4	27,38226	97,91617
1,8	9025,444	16,75	77	60,25	30,17729	108,6657
2,55	13205,62	15,35	67,1	51,75	35,13395	128,4481

Dikdörtgen kesitli kanala engel konulmadan yani kanal boş iken ölçümler yapılmış ve Tablo 3.1’de verilen değerlere bağlı olarak ısı transferindeki değişim Şekil 3.7’de grafik halinde gösterilmiştir.

Şekil 3.7’den de görüleceği gibi kanala engel konulmadan yapılan deneylerde artan Reynolds sayısı ile birlikte ısı transferi de artmaktadır.



Şekil 3.7. Kanala engel konulmadan yapılan deneylerde Nusselt’in Reynolds sayısı ile değişimi

3.4.2. Dönel olmayan sabit engeller için bulunan konveksiyon deneyi sonuçları

Aşağıda Tablo 3.2’de $K=0.428$ (Kare-30) büyüklüğündeki kare kesitli dönel olmayan engelin dokuz farklı konumu için deneylerden elde edilen veriler görülmektedir.

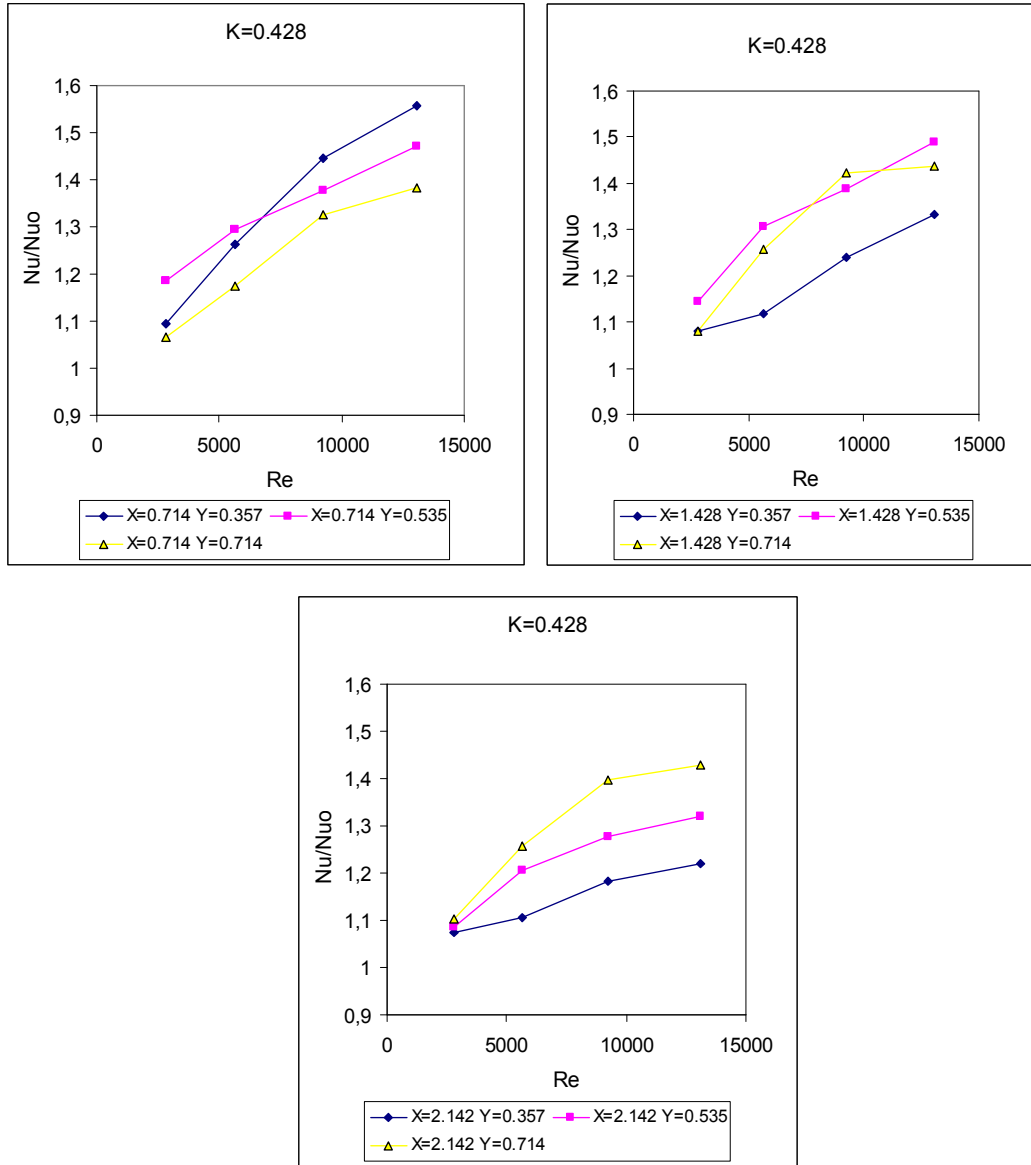
Tablo 3.2. $K=0.428$ (Kare-30) boyutsuz büyüklüğündeki kare kesitli dönöl olmayan engel için dokuz farklı konumda elde edilen değerler.

Kare-30 ($K=0.428$) dönöl olmayan engeli için bulunan değerler								
Kare-30 engeli $X=0.714$ $Y=0.357$ (1.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	17,00	84,20	67,20	27,06	96,47	88,19	1,09
1,10	5638,29	16,85	70,30	53,45	34,02	123,58	97,92	1,26
1,80	9226,29	16,20	58,90	42,70	42,58	157,24	108,70	1,45
2,55	13070,57	15,80	49,80	34,00	53,48	200,07	128,50	1,56
Kare-30 engeli $X=0.714$ $Y=0.535$ (4.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	17,25	79,60	62,35	29,16	104,57	88,19	1,19
1,10	5638,29	16,40	68,70	52,30	34,76	126,64	97,92	1,29
1,80	9226,29	16,20	60,90	44,70	40,68	149,79	108,70	1,38
2,55	13070,57	15,60	51,50	35,90	50,65	189,08	128,50	1,47
Kare-30 engeli $X=0.714$ $Y=0.714$ (7.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	16,05	85,10	69,05	26,33	93,89	88,19	1,06
1,10	5638,29	17,00	74,10	57,10	31,84	115,07	97,92	1,18
1,80	9226,29	16,95	63,20	46,25	39,31	144,17	108,70	1,33
2,55	13070,57	16,10	54,10	38,00	47,85	177,87	128,50	1,38
Kare-30 engeli $X=1.428$ $Y=0.357$ (2.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	16,30	84,40	68,10	26,70	95,26	88,19	1,08
1,10	5638,29	16,45	76,30	59,85	30,38	109,54	97,92	1,12
1,80	9226,29	15,75	65,20	49,45	36,77	134,70	108,70	1,24
2,55	13070,57	15,00	54,50	39,50	46,03	171,28	128,50	1,33
Kare-30 engeli $X=1.428$ $Y=0.535$ (5.konum) için								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	19,75	83,80	64,05	28,39	100,90	88,19	1,14
1,10	5638,29	18,65	70,20	51,55	35,27	127,84	97,92	1,31
1,80	9226,29	17,15	61,40	44,25	41,09	151,02	108,70	1,39
2,55	13070,57	15,70	51,20	35,50	51,22	191,27	128,50	1,49
Kare-30 engeli $X=1.428$ $Y=0.714$ (8.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	14,60	83,00	68,40	26,58	95,23	88,19	1,08
1,10	5638,29	13,75	67,80	54,05	33,64	123,13	97,92	1,26
1,80	9226,29	13,60	57,30	43,70	41,61	154,52	108,70	1,42
2,55	13070,57	16,25	52,90	36,65	49,61	184,69	128,50	1,44
Kare-30 engeli $X=2.142$ $Y=0.357$ (3.konum) için								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	16,25	84,70	68,45	26,56	94,74	88,19	1,07
1,10	5638,29	15,25	75,90	60,65	29,98	108,32	97,92	1,11

Tablo 3.2. Devamı

1,80	9226,29	14,25	66,10	51,85	35,07	128,57	108,70	1,18
2,55	13070,57	13,35	56,50	43,15	42,14	156,72	128,50	1,22
Kare-30 engeli X=2.142 Y=0.535 (6.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	12,80	81,20	68,40	26,58	95,69	88,19	1,08
1,10	5638,29	15,90	71,80	55,90	32,53	118,07	97,92	1,21
1,80	9226,29	15,05	63,20	48,15	37,76	138,84	108,70	1,28
2,55	13070,57	14,25	54,20	39,95	45,51	169,60	128,50	1,32
Kare-30 engeli X=2.142 Y=0.714 (9.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	14,05	81,30	67,25	27,04	97,15	88,19	1,10
1,10	5638,29	13,45	67,50	54,05	33,64	123,23	97,92	1,26
1,80	9226,29	13,00	57,50	44,50	40,86	151,83	108,70	1,40
2,55	13070,57	18,25	54,90	36,65	49,61	183,68	128,50	1,43

Tablo 3.2'deki değerlere bağlı olarak ısı transferindeki değişim Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Burada $K = 0.428$ boyutsuz büyüklüğündeki kare kesitli sabit engelin ısıtılan yüzey önüne farklı X ve Y boyutsuz mesafelerinde yerleştirilmesi sonucunda ısı transferindeki değişim incelenmiştir. Engelin yerleştirildiği tüm 9 konumda da engelsiz kanala nazaran ısı transferinde artış söz konusudur. Ayrıca Reynolds arttıkça Nusselt sayısı dolayısıyla ısı transferi artmaktadır. Ancak bu Nusselt değerlerinin maksimum olduğu konumlar söz konusudur. Şekil 3.8'de önce Y sabit tutularak X değerleri artırılmıştır. $Y = 0.357$ için ısı transferinde en fazla iyileştirme $X = 0.714$ yani ısıtıcıya en yakın olan 1. konumdaki engel ile sağlanmıştır. Ancak Y artırıldığında yani $Y = 0.535$ için en iyi iyileşme $X = 1.428$ olan 5. konumda elde edilmiştir. $Y = 0.714$ olduğunda ise Nusselt değerlerinin yine $X = 1.428$ 'de daha yüksek olduğu görülmektedir. Tüm konumlar karşılaştırıldığında $K = 0.428$ kare kesitli sabit engelin $X = 0.714$ $Y = 0.357$ konumuna yerleştirilmesi durumunda ısı transferindeki iyileşme maksimum olmaktadır. Bu konumda en yüksek Reynolds için sağlanan Nusselt değeri boş boruya nazaran yaklaşık 1,55 katı daha yüksektir.



Şekil 3.8. $K= 0.428$ boyutsuz büyüklüğündeki (Kare-30) kare kesitli dönel olmayan engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi

Tablo 3.3’de ve Tablo 3.4’de $K=0.285$ (Kare-20) ve $K=0.142$ (Kare-10) kare kesitli dönel olmayan engeller için deneylerden bulunan değerler verilmektedir.

Tablo 3.3. Kare-20 (K=0.285) kare kesitli dönel olmayan engelin dokuz farklı konumu için bulunan değerler

Kare-20 (K=0.285) dönel olmayan engeli için bulunan değerler								
Kare-20 engeli X=0.714 Y=0.357 (1.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	19,35	84,40	65,05	27,95	99,32	88,19	1,13
1,10	5638,29	18,30	72,40	54,10	33,61	121,51	97,92	1,24
1,80	9226,29	17,70	62,60	44,90	40,49	148,48	108,70	1,37
2,55	13070,57	16,75	54,00	37,25	48,81	181,32	128,50	1,41
Kare-20 engeli X=0.714 Y=0.535 (4.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	15,90	83,60	67,70	26,86	95,97	88,19	1,09
1,10	5638,29	15,05	70,00	54,95	33,09	120,54	97,92	1,23
1,80	9226,29	14,45	60,40	45,95	39,57	146,16	108,70	1,34
2,55	13070,57	13,95	50,80	36,85	49,34	184,81	128,50	1,39
Kare-20 engeli X=0.714 Y=0.714 (7.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	18,60	89,90	71,30	25,50	90,06	88,19	1,02
1,10	5638,29	17,80	78,20	60,40	30,10	108,07	97,92	1,10
1,80	9226,29	17,10	68,90	51,80	35,10	127,71	108,70	1,17
2,55	13070,57	16,40	60,20	43,80	41,51	152,97	128,50	1,19
Kare-20 engeli X=1.428 Y=0.357 (2.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	16,00	84,80	68,80	26,43	94,28	88,19	1,07
1,10	5638,29	15,75	73,30	57,55	31,59	114,48	97,92	1,17
1,80	9226,29	19,10	67,90	48,80	37,26	135,38	108,70	1,25
2,55	13070,57	18,55	60,50	41,95	43,34	159,19	128,50	1,24
Kare-20 engeli X=1.428 Y=0.535 (5.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	18,15	84,40	66,25	27,44	97,68	88,19	1,11
1,10	5638,29	17,85	72,50	54,65	33,27	120,35	97,92	1,23
1,80	9226,29	17,15	63,40	46,25	39,31	144,09	108,70	1,33
2,55	13070,57	17,25	55,80	38,55	47,16	174,65	128,50	1,36
Kare-20 engeli X=1.428 Y=0.714 (8.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	21,00	91,20	70,20	25,90	91,03	88,19	1,03
1,10	5638,29	21,25	78,30	57,05	31,87	113,88	97,92	1,16
1,80	9226,29	20,25	68,80	48,55	37,45	135,70	108,70	1,25
2,55	13070,57	19,10	59,60	40,50	44,89	164,96	128,50	1,28
Kare-20 engeli X=2.142 Y=0.357 (3.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	18,85	87,80	68,95	26,37	93,35	88,19	1,06
1,10	5638,29	18,50	79,10	60,60	30,00	107,49	97,92	1,10
1,80	9226,29	18,00	70,10	52,10	34,90	126,62	108,70	1,16
2,55	13070,57	19,10	63,40	44,30	41,04	150,04	128,50	1,17
Kare-20 engeli X=2.142 Y=0.535 (6.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	19,05	87,30	68,25	26,64	94,34	88,19	1,07
1,10	5638,29	19,00	75,90	56,90	31,95	114,89	97,92	1,17

Tablo 3.3. Devamı

1,80	9226,29	18,25	66,40	48,15	37,76	137,64	108,70	1,27
2,55	13070,57	17,50	59,10	41,60	43,71	161,06	128,50	1,25
Kare-20 engeli X=2.142 Y=0.714 (9.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = Ty - To$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	17,40	88,90	71,50	25,43	90,06	88,19	1,02
1,10	5638,29	20,60	77,90	57,30	31,73	113,54	97,92	1,16
1,80	9226,29	20,05	70,80	50,75	35,83	129,51	108,70	1,19
2,55	13070,57	19,60	61,90	42,30	42,98	157,35	128,50	1,22

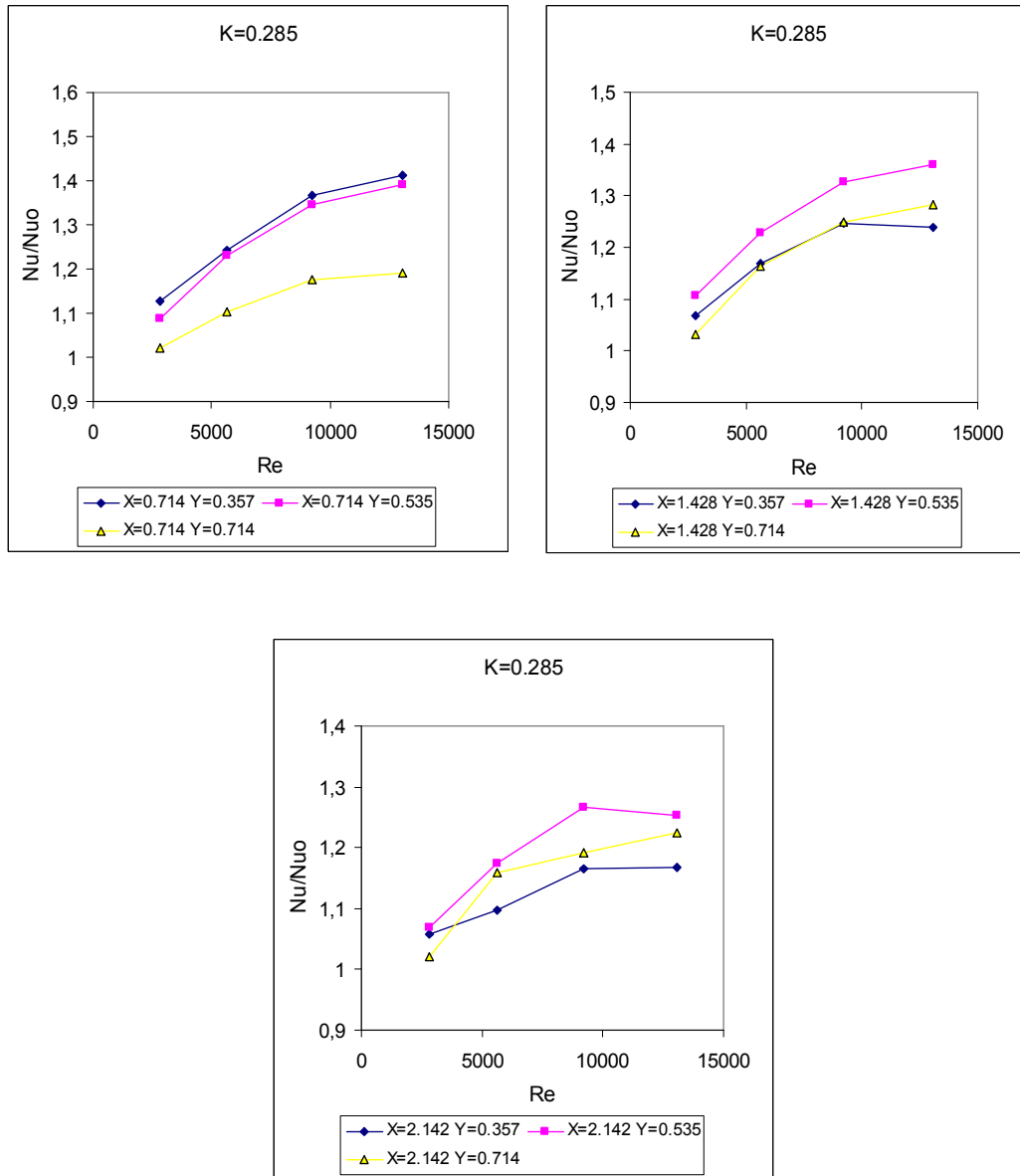
Tablo 3.4. Kare-10 (K=0.142) kare kesitli dönel olmayan engelin dokuz farklı konumu için bulunan değerler

Kare-10 (K=0.142) dönel olmayan engeli için bulunan değerler								
Kare-10 engeli X=0.714 Y=0.357 (1.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = Ty - To$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	19,25	88,40	69,15	26,29	92,96	88,19	1,05
1,10	5638,29	18,55	75,70	57,15	31,81	114,48	97,92	1,17
1,80	9226,29	17,90	65,00	47,10	38,60	141,04	108,70	1,30
2,55	13070,57	21,65	61,30	39,65	45,86	167,53	128,50	1,30
Kare-10 engeli X=0.714 Y=0.535 (4.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = Ty - To$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	21,25	93,10	71,85	25,31	88,69	88,19	1,01
1,10	5638,29	20,75	83,60	62,85	28,93	102,72	97,92	1,05
1,80	9226,29	19,95	73,40	53,45	34,02	122,56	108,70	1,13
2,55	13070,57	15,05	60,50	45,45	40,00	147,63	128,50	1,15
Kare-10 engeli X=0.714 Y=0.714 (7.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = Ty - To$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	15,15	90,20	75,05	24,23	85,91	88,19	0,97
1,10	5638,29	14,60	81,20	66,60	27,30	98,04	97,92	1,00
1,80	9226,29	14,10	71,60	57,50	31,62	115,10	108,70	1,06
2,55	13070,57	15,10	63,80	48,70	37,33	137,15	128,50	1,07
Kare-10 engeli X=1.428 Y=0.357 (2.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = Ty - To$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	16,45	86,80	70,35	25,84	91,90	88,19	1,04
1,10	5638,29	16,05	75,20	59,15	30,74	111,06	97,92	1,13
1,80	9226,29	15,80	68,20	52,40	34,70	126,59	108,70	1,16
2,55	13070,57	15,55	60,00	44,45	40,90	150,95	128,50	1,17
Kare-10 engeli X=1.428 Y=0.535 (5.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = Ty - To$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	14,60	87,50	72,90	24,94	88,82	88,19	1,01
1,10	5638,29	14,15	75,90	61,75	29,44	106,55	97,92	1,09
1,80	9226,29	14,00	66,50	52,50	34,63	126,95	108,70	1,17
2,55	13070,57	13,80	58,30	44,50	40,86	151,50	128,50	1,18

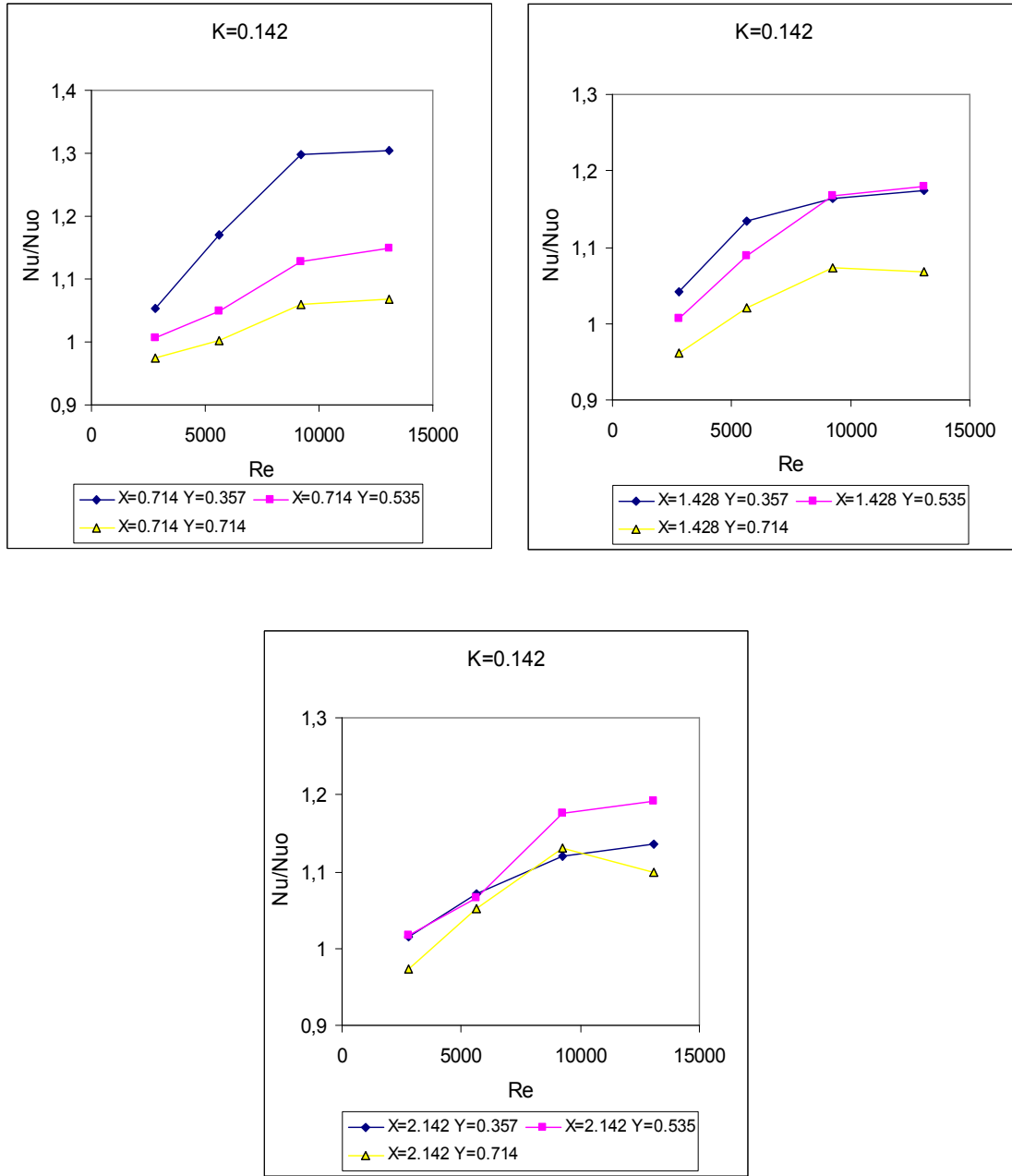
Tablo 3.4. Devamı

Kare-10 engeli X=1.428 Y=0.714 (8.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	13,85	90,00	76,15	23,88	84,83	88,19	0,96
1,10	5638,29	13,75	79,30	65,55	27,74	99,97	97,92	1,02
1,80	9226,29	13,50	70,40	56,90	31,95	116,59	108,70	1,07
2,55	13070,57	14,40	63,20	48,80	37,26	137,11	128,50	1,07
Kare-10 engeli X=2.142 Y=0.357 (3.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	15,40	87,60	72,20	25,18	89,58	88,19	1,02
1,10	5638,29	15,05	77,60	62,55	29,07	104,82	97,92	1,07
1,80	9226,29	14,90	69,40	54,50	33,36	121,66	108,70	1,12
2,55	13070,57	14,40	60,40	46,00	39,53	146,02	128,50	1,14
Kare-10 engeli X=2.142 Y=0.535 (6.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	13,05	85,60	72,55	25,06	89,66	88,19	1,02
1,10	5638,29	12,95	76,10	63,15	28,79	104,33	97,92	1,07
1,80	9226,29	12,85	65,20	52,35	34,73	127,74	108,70	1,18
2,55	13070,57	12,85	57,00	44,15	41,18	153,17	128,50	1,19
Kare-10 engeli X=2.142 Y=0.714 (9.konum)								
u	Re	Tort	Ty	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	12,95	88,40	75,45	24,10	85,90	88,19	0,97
1,10	5638,29	13,15	77,00	63,85	28,48	103,03	97,92	1,05
1,80	9226,29	13,55	67,70	54,15	33,58	122,95	108,70	1,13
2,55	13070,57	13,45	61,00	47,55	38,24	141,32	128,50	1,10

Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'deki değerlerden faydalanarak çizilen Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'daki grafiklerde sırasıyla $K= 0.285$ (Kare-20) ve $K= 0.142$ (Kare-10) kare kesitli dönel olmayan engellerin farklı X ve Y boyutsuz mesafelerinde yerleştirilmesi sonucunda ısı transferindeki değişim incelenmiştir. Bu grafikler de Şekil 3.8 ile aynı karakteristiktir. Üç büyüklükteki engel için de maksimum ısı transferi $X= 0.714$ ve $Y= 0.357$ konumuna engelin yerleştirilmesi durumunda sağlanmıştır. Engel boyutu küçüldükçe türbülans etkisi azalmakta ve buna bağlı olarak da ısı transferindeki artış düşmektedir. En yüksek Re değeri için $K= 0.428$ kare kesitli engel ile % 155 iyileşme sağlanırken $K= 0.285$ kare kesitli engel ile yaklaşık % 141 ve $K= 0.142$ kare kesitli engel ile yaklaşık % 130 iyileşme sağlanabilmiştir.



Şekil 3.9. $K=0.285$ boyutsuz büyüklüğündeki (Kare-20) kare kesitli dönele olmayan engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi



Şekil 3.10. $K=0.142$ boyutsuz büyüklüğündeki (Kare-10) kare kesitli dönel olmayan engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi

Tablo 3.5’de $D=0.428$ (Dairesel-30) ve $D=0.285$ (Dairesel-20) büyüklüklerine sahip dairesel kesitli engeller için dokuz farklı konumda elde edilen değerler görülmektedir.

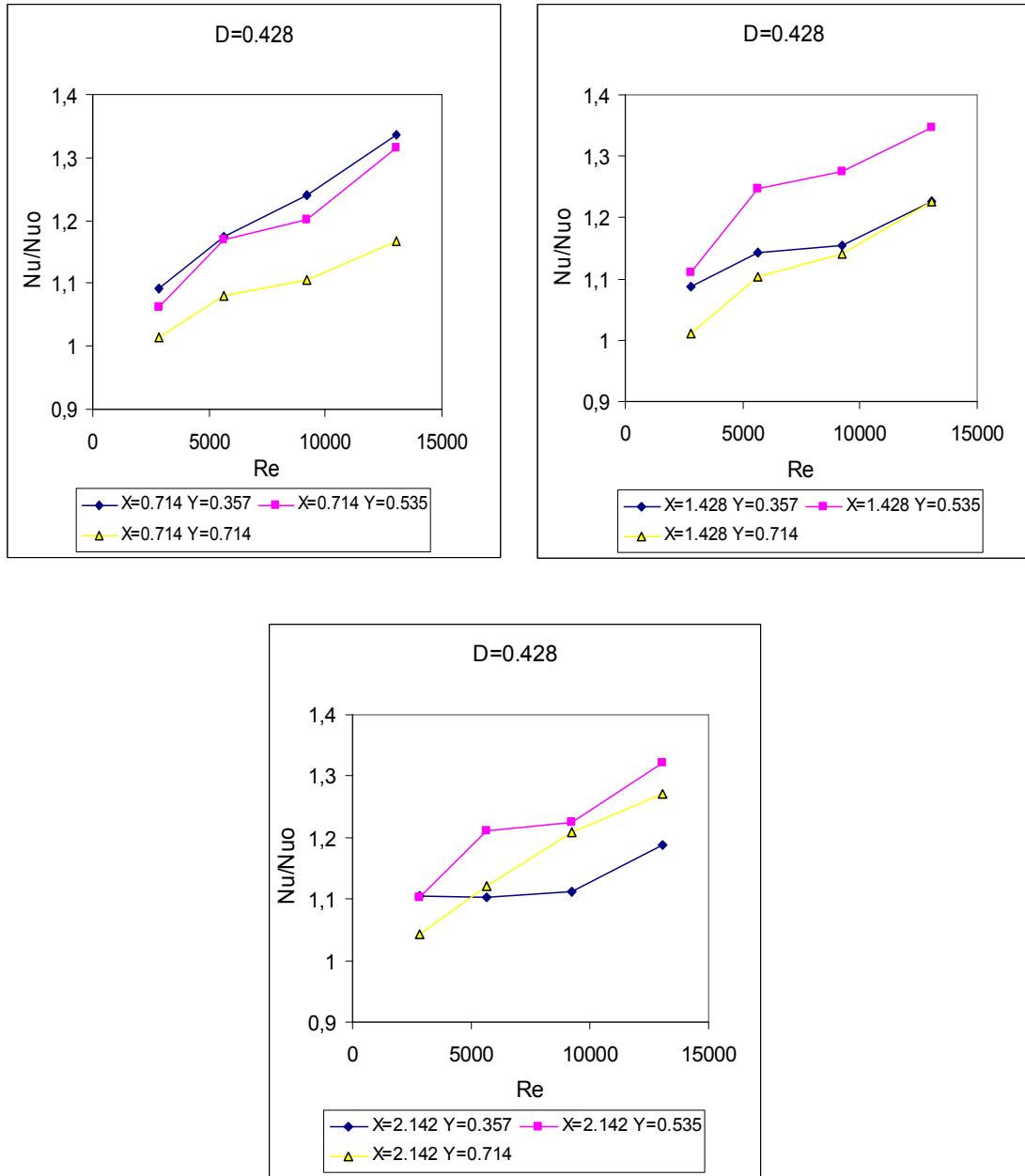
Tablo 3.5. D=0.428 ve D=0.285 dairesel kesitli dönel olmayan (sabit) engellerin dokuz farklı konumu için elde edilen değerler

Dairesel-30 (D=0.428) ve Dairesel-20 (D=0.285) dönel olmayan engeller için bulunan değerler										
Dairesel-30 engeli X=0.714 Y=0.357 (1.konum)					Dairesel-20 engeli X=0.714 Y=0.357 (1.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	90,30	90,88	1,09	0,55	2819,14	91,2	97,85	90,88	1,08
1,10	5638,29	80,50	99,68	1,17	1,1	5638,29	80,1	117,92	99,68	1,18
1,80	9226,29	72,00	111,73	1,24	1,8	9226,29	74,5	131,54	111,73	1,18
2,55	13070,57	63,80	126,33	1,34	2,55	13070,57	67,7	152,99	126,33	1,21
Dairesel-30 engeli X=0.714 Y=0.535 (4.konum)					Dairesel-20 engeli X=0.714 Y=0.535 (4.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	92,10	90,88	1,06	0,55	2819,14	95,1	92,32	90,88	1,02
1,10	5638,29	80,70	99,68	1,17	1,1	5638,29	85,9	106,50	99,68	1,07
1,80	9226,29	73,50	111,73	1,20	1,8	9226,29	78,1	122,45	111,73	1,10
2,55	13070,57	64,40	126,33	1,32	2,55	13070,57	70,9	142,08	126,33	1,12
Dairesel-30 engeli X=0.714 Y=0.714 (7.konum)					Dairesel-20 engeli X=0.714 Y=0.714 (7.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	95,20	90,88	1,01	0,55	2819,14	95	92,46	90,88	1,02
1,10	5638,29	85,20	99,68	1,08	1,1	5638,29	88,9	101,42	99,68	1,02
1,80	9226,29	77,60	111,73	1,11	1,8	9226,29	82	113,92	111,73	1,02
2,55	13070,57	69,30	126,33	1,17	2,55	13070,57	74,7	131,00	126,33	1,04
Dairesel-30 engeli X=1.428 Y=0.357 (2.konum)					Dairesel-20 engeli X=1.428 Y=0.357 (2.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	90,50	90,88	1,09	0,55	2819,14	90,2	99,37	90,88	1,09
1,10	5638,29	82,00	99,68	1,14	1,1	5638,29	83,3	111,34	99,68	1,12
1,80	9226,29	75,50	111,73	1,15	1,8	9226,29	76,7	125,83	111,73	1,13
2,55	13070,57	67,20	126,33	1,23	2,55	13070,57	70,3	144,01	126,33	1,14
Dairesel-30 engeli X=1.428 Y=0.535 (5.konum)					Dairesel-20 engeli X=1.428 Y=0.535 (5.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	89,20	90,88	1,11	0,55	2819,14	92,7	95,65	90,88	1,05
1,10	5638,29	77,30	99,68	1,25	1,1	5638,29	83,4	111,14	99,68	1,11
1,80	9226,29	70,80	111,73	1,27	1,8	9226,29	76,3	126,83	111,73	1,14
2,55	13070,57	63,50	126,33	1,35	2,55	13070,57	69,7	145,99	126,33	1,16
Dairesel-30 engeli X=1.428 Y=0.714 (8.konum)					Dairesel-20 engeli X=1.428 Y=0.714 (8.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	95,40	90,88	1,01	0,55	2819,14	96,2	90,88	90,88	1,00
1,10	5638,29	84,00	99,68	1,10	1,1	5638,29	90	99,68	99,68	1,00
1,80	9226,29	76,10	111,73	1,14	1,8	9226,29	81	115,99	111,73	1,04
2,55	13070,57	67,20	126,33	1,23	2,55	13070,57	74	132,91	126,33	1,05
Dairesel-30 engeli X=2.142 Y=0.357 (3.konum)					Dairesel-20 engeli X=2.142 Y=0.357 (3.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	89,50	90,88	1,11	0,55	2819,14	92	96,66	90,88	1,03
1,10	5638,29	84,00	99,68	1,10	1,1	5638,29	87	104,58	99,68	1,03
1,80	9226,29	77,30	111,73	1,11	1,8	9226,29	81,5	114,95	111,73	1,05

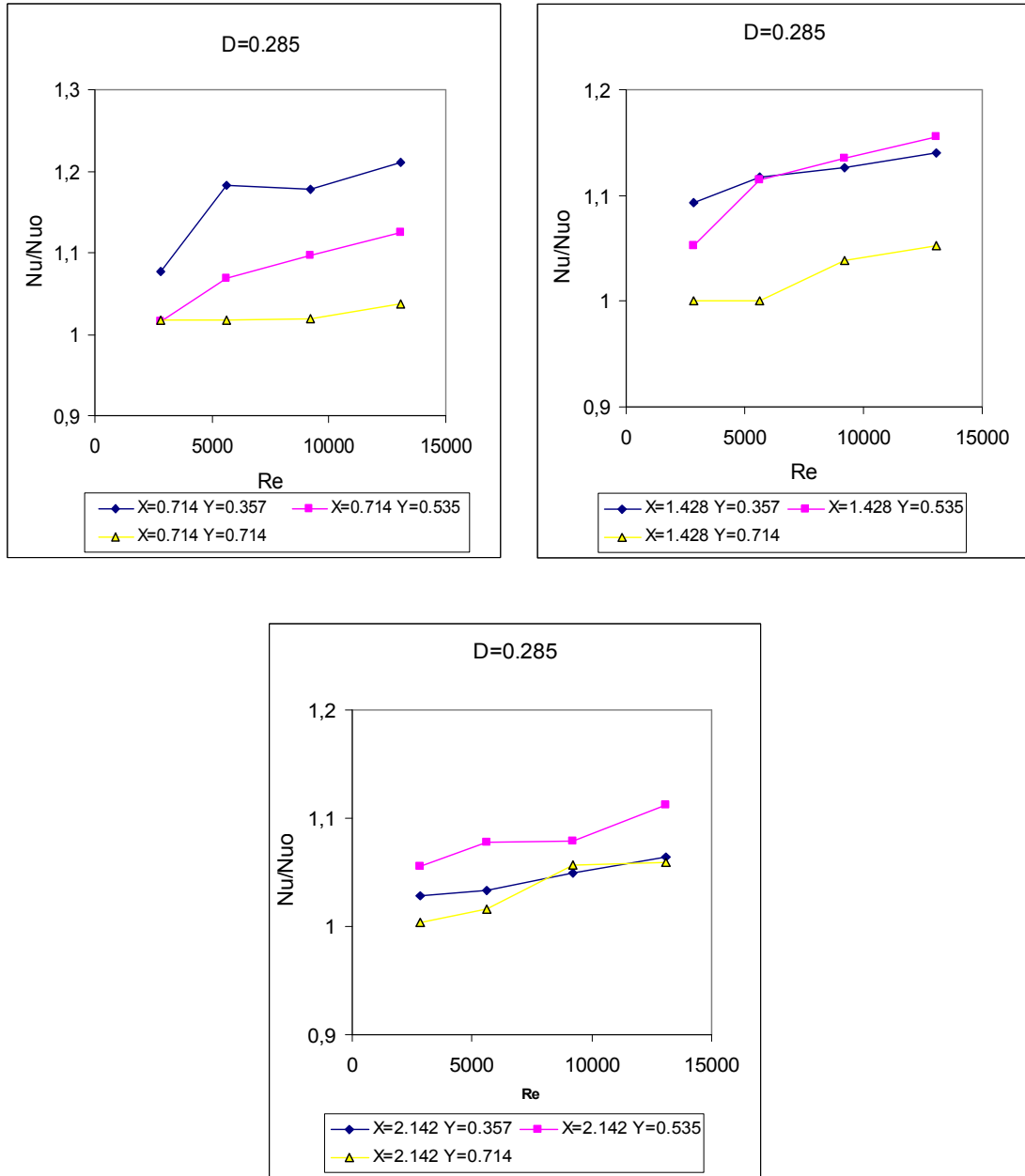
Tablo 3.5. Devamı

2,55	13070,57	68,50	126,33	1,19	2,55	13070,57	74,9	130,46	126,33	1,06
Dairesel-30 engeli X=2.142 Y=0.535 (6.konum)					Dairesel-20 engeli X=2.142 Y=0.535 (6.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	89,60	90,88	1,10	0,55	2819,14	92,5	95,93	90,88	1,06
1,10	5638,29	78,80	99,68	1,21	1,1	5638,29	85,4	107,40	99,68	1,08
1,80	9226,29	72,60	111,73	1,23	1,8	9226,29	78,9	120,60	111,73	1,08
2,55	13070,57	64,20	126,33	1,32	2,55	13070,57	71,4	140,52	126,33	1,11
Dairesel-30 engeli X=2.142 Y=0.714 (9.konum)					Dairesel-20 engeli X=2.142 Y=0.714 (9.konum)					
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo	U (m/s)	Re	Ty	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	93,30	90,88	1,04	0,55	2819,14	95,9	91,27	90,88	1,00
1,10	5638,29	83,10	99,68	1,12	1,1	5638,29	89	101,26	99,68	1,02
1,80	9226,29	73,20	111,73	1,21	1,8	9226,29	80	118,14	111,73	1,06
2,55	13070,57	65,70	126,33	1,27	2,55	13070,57	73,7	133,74	126,33	1,06

Tablo 3.5'deki verilen değerlerden yararlanarak Şekil 3.11 - 3.12' de sırasıyla $D=0.428$ ve $D=0.285$ boyutsuz büyüklüklerine sahip dairesel kesitli engellerin yerleştirildiği konumların ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gerek $D=0.428$ gerekse $D=0.285$ için Y sabit tutulduğunda aynı X değerlerinde yüksek ısı transferi sağlandığı görülmektedir. Yani $Y=0.357$ için $X=0.714$ 'de (1.konum), $Y=0.535$ sabit değerinde $X=1.428$ (5.konum) ve $Y=0.714$ için $X=2.142$ (9.konum) konumlarında yüksek Nusselt değerleri elde edilmiştir. Yani ısı transferini artırmak için engelin yerleştirildiği ısı transfer yüzeyinden olan mesafenin yatayda arttıkça düşeyde de artması gerektiği görülmektedir. Ancak $D=0.428$ dairesel kesitli sabit engelin $X=1.428$ $Y=0.535$ konumuna yerleştirilmesiyle maksimum iyileşme sağlanmıştır.



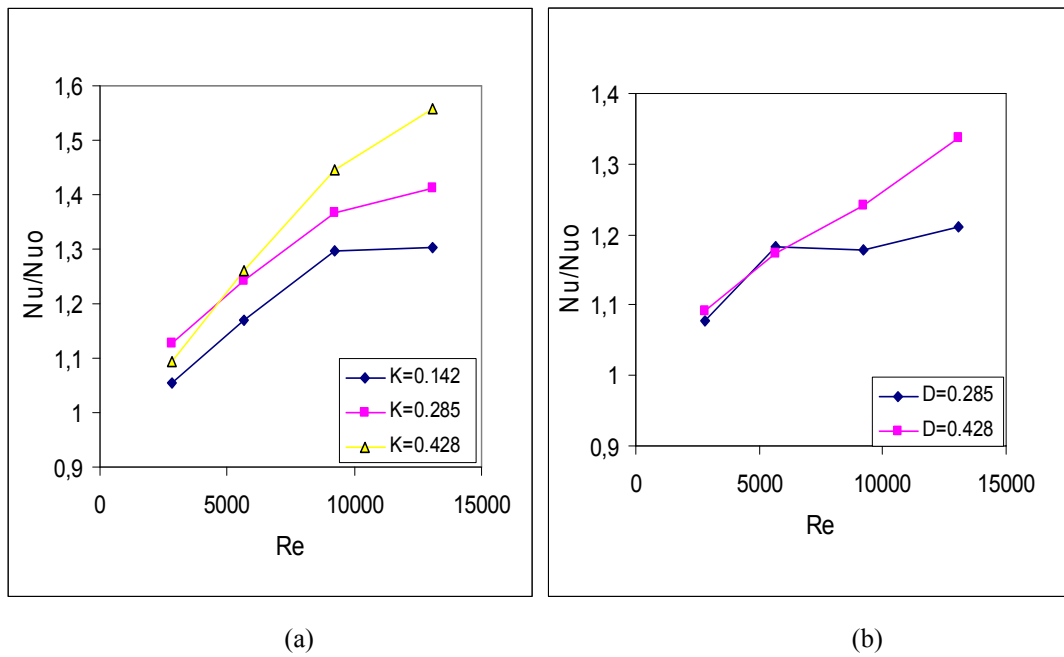
Şekil 3.11. $D = 0.428$ boyutsuz büyüklüğündeki dairesel kesitli dönel olmayan engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi



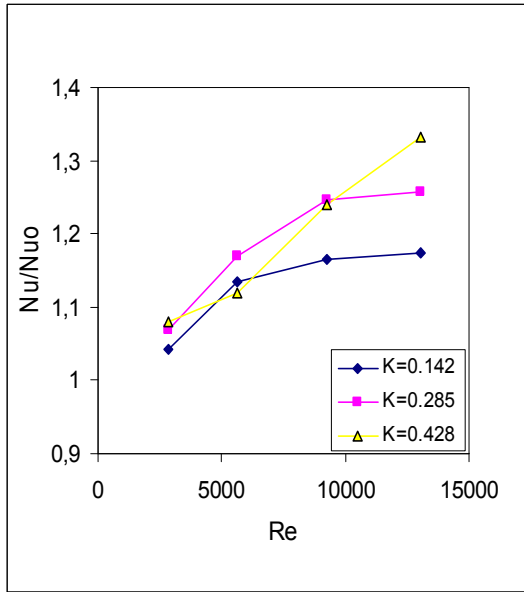
Şekil 3.12. $D=0.285$ boyutsuz büyüklüğündeki dairesel kesitli dönel olmayan engelin yerleştirildiği konumların ısı transferine etkisi

Şekil 3.13 – 3.21 aralığındaki grafiklerde, farklı büyüklüklerdeki kare ve dairesel kesitli dönel olmayan (sabit) engeller her grafikte farklı bir konum için karşılaştırılmıştır. Grafiklerin tümünde 9 konum için de aynı büyüklüklerdeki kare kesitli engeller ile ısı transferinde elde edilen iyileşme, dairesel kesitli engellere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin $X=0.714$ $Y=0.357$ konumundaki $D=0.428$ kare kesitli engel ile en yüksek Reynolds sayısında ısı

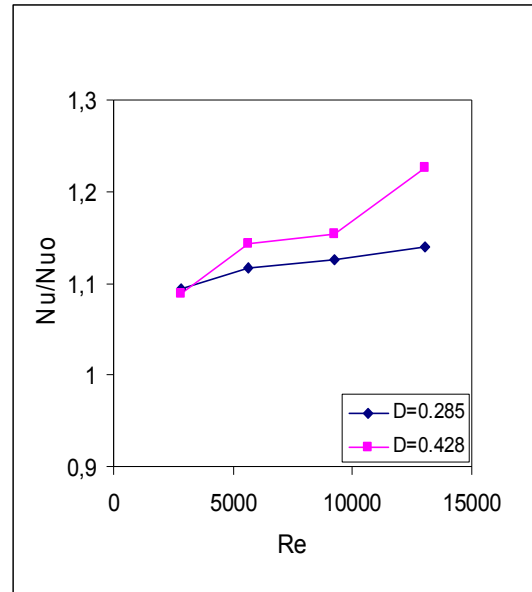
transferinde yaklaşık % 155 iyileşme sağlanırken aynı büyüklükteki dairesel kesitli engel ile yaklaşık % 135 gibi bir iyileşme sağlanmıştır. Diğer konumlar için de aynı durum söz konusudur. Hatta şekil 3.13’da $D= 0.142$ boyutsuz büyüklüğündeki en küçük kesitli kare engelin daha büyük boyuttaki $D= 0.285$ dairesel kesitli engele nazaran daha yüksek ısı transferine sebep olduğu görülmektedir. Aynı iyileşme diğer tüm konumlar için de (Şekil 3.13-3.21) geçerlidir. Bu durum kare kesitli engeldeki sivri kenarların hava akışını ısı transfer yüzeyine doğru daha iyi yönlendirerek türbülans etkisi yaratmasına bağlanabilir.



Şekil 3.13. $X=0.714$, $Y= 0.357$ (1. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

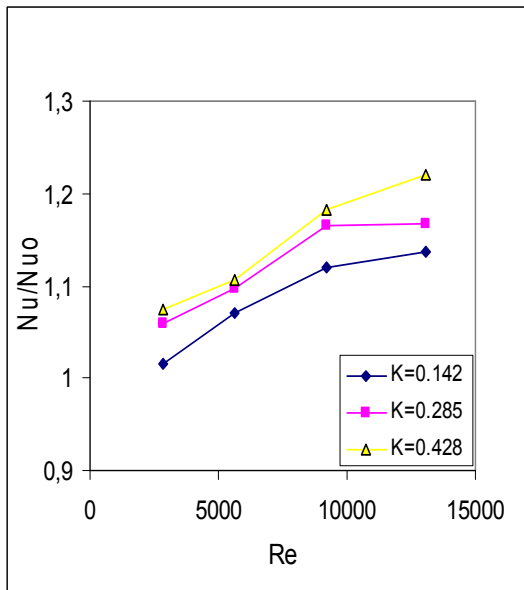


(a)

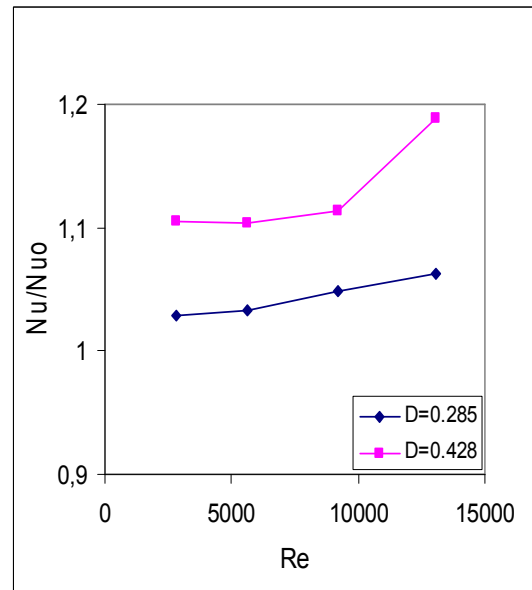


(b)

Şekil 3.14. $X=1.428$, $Y=0.357$ (2. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

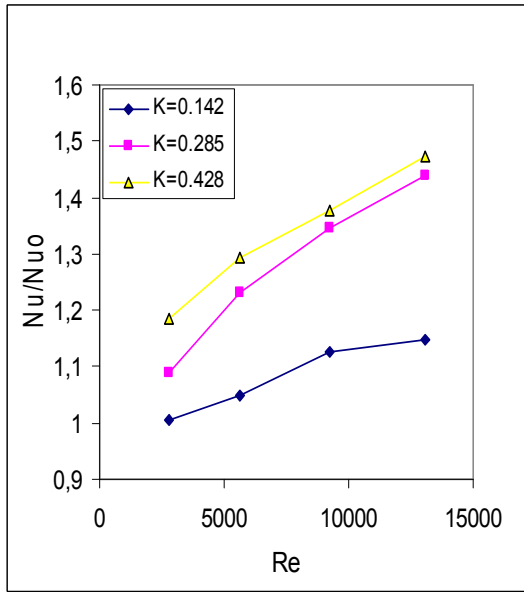


(a)

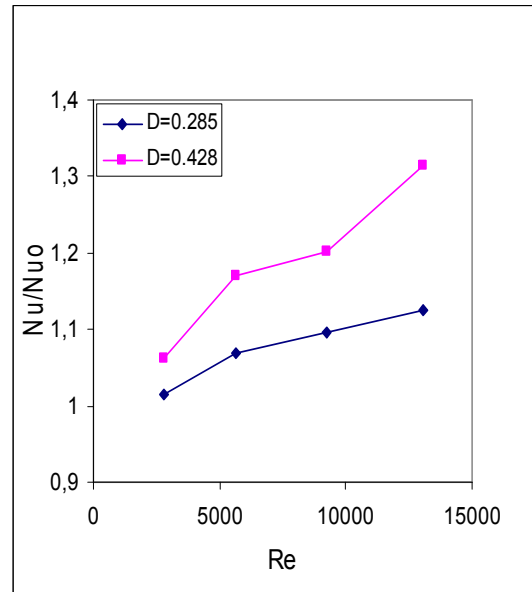


(b)

Şekil 3.15. $X=2.142$, $Y=0.357$ (3. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

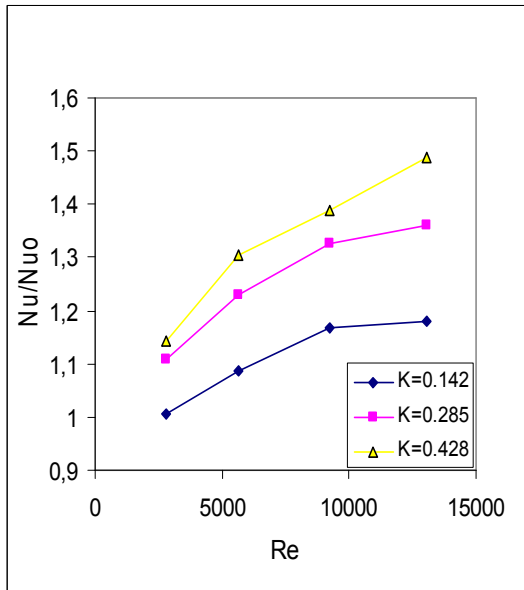


(a)

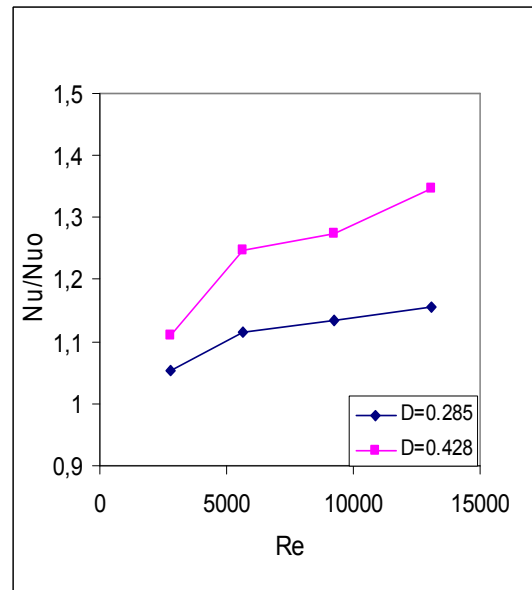


(b)

Şekil 3.16. $X=0.714$, $Y=0.535$ (4. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

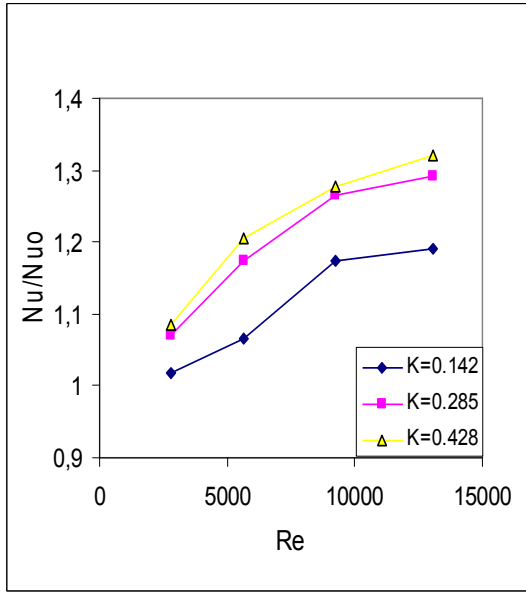


(a)

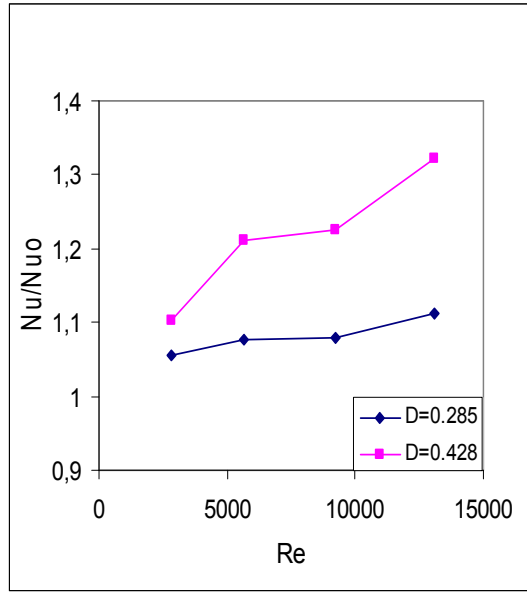


(b)

Şekil 3.17. $X=1.428$, $Y=0.535$ (5. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

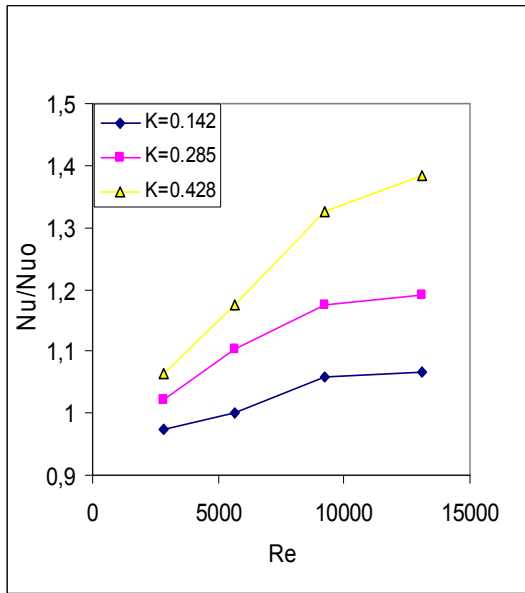


(a)

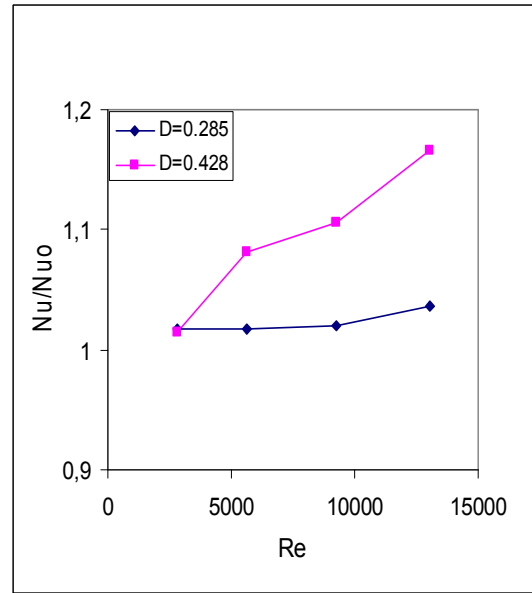


(b)

Şekil 3.18. $X=2.142$, $Y=0.535$ (6. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

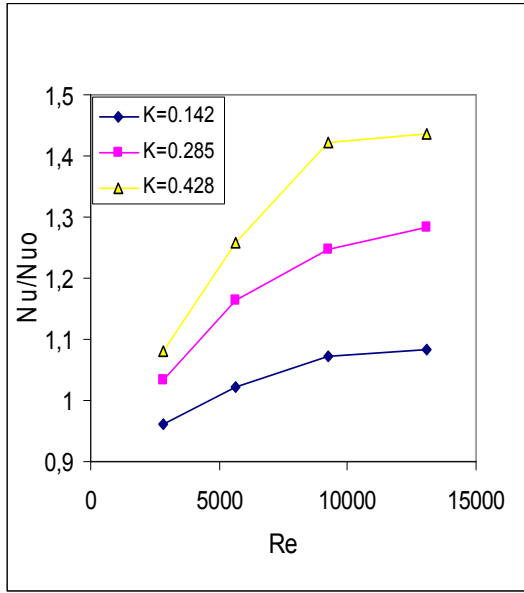


(a)

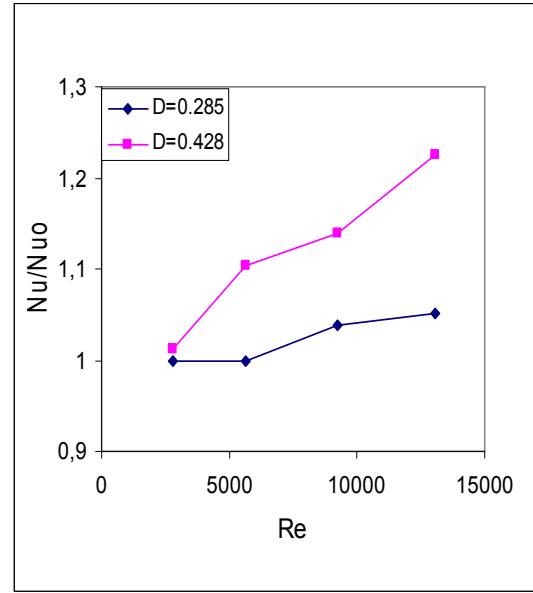


(b)

Şekil 3.19. $X=0.714$, $Y=0.714$ (7. konum) konum için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

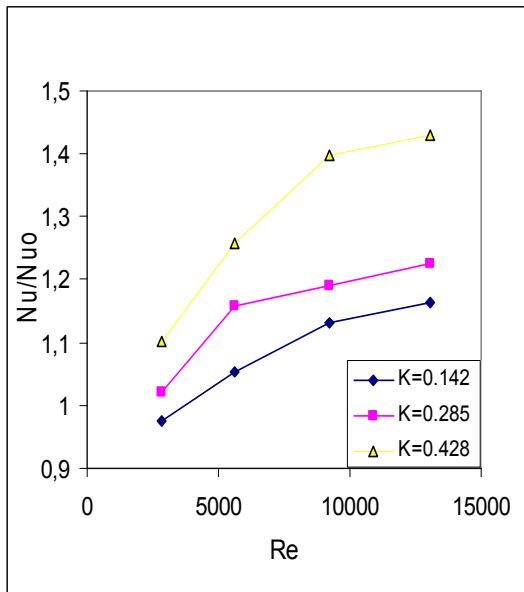


(a)

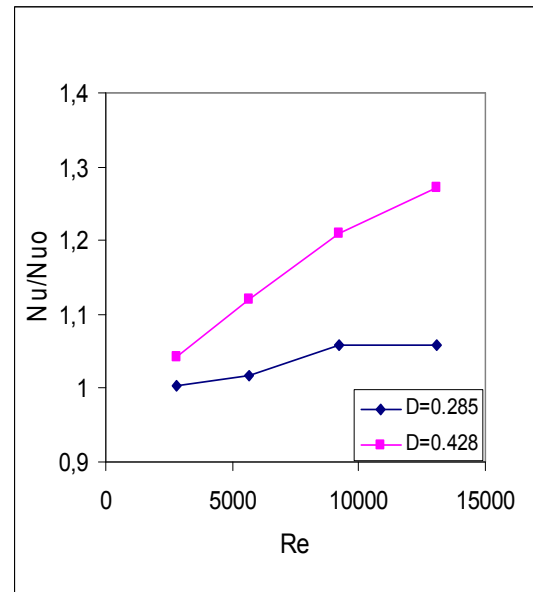


(b)

Şekil 3.20. $X=1.428$, $Y=0.714$ (8. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi



(a)



(b)

Şekil 3.21. $X=2.142$, $Y=0.714$ (9. konum) konumu için kare (a) ve dairesel (b) kesitli engellerin ısı transferine etkisi

3.4.3. Dönel kare engeller için konum ve devrin ısı transferine etkisi

Tablo 3.6'da kare kesitli engellerin dokuz farklı konumu ve iki farklı dönme devri için elde edilen değerler görülmektedir.

Tablo 3.6. Kare Kesitli dönel engellerin dokuz farklı konumu ve iki farklı dönme devri için elde edilen değerler

1.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.Konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	82,50	15,50	67,00	27,14	97,17	88,19	1,01
1,10	5638,29	78,70	16,80	61,90	29,37	105,52	97,92	1,05
1,80	9226,29	73,90	16,50	57,40	31,68	114,57	108,70	1,08
2,55	13070,57	67,80	16,50	51,30	35,44	129,25	128,50	1,10
Kare-20 (K=0.285) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	80,80	20,30	60,50	30,05	107,17	88,19	1,22
1,10	5638,29	72,20	21,00	51,20	35,51	127,97	97,92	1,31
1,80	9226,29	66,40	21,10	45,30	40,14	145,74	108,70	1,34
2,55	13070,57	57,40	21,80	35,60	51,07	187,54	128,50	1,46
Kare-30 (K=0.428) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	69,80	13,40	56,40	32,24	117,74	88,19	1,34
1,10	5638,29	60,80	14,70	46,10	39,44	145,56	97,92	1,49
1,80	9226,29	51,50	14,30	37,20	48,88	182,81	108,70	1,68
2,55	13070,57	45,00	13,20	31,80	57,18	216,12	128,50	1,68
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	81,90	16,00	65,90	27,59	98,80	88,19	0,93
1,10	5638,29	76,40	16,50	59,90	30,35	109,42	97,92	1,06
1,80	9226,29	73,90	16,80	57,10	31,84	115,13	108,70	1,12
2,55	13070,57	71,20	16,20	55,00	33,06	120,05	128,50	1,12
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	77,70	20,60	57,10	31,84	113,97	88,19	1,29
1,10	5638,29	71,90	21,00	50,90	35,72	128,77	97,92	1,32
1,80	9226,29	62,60	20,70	41,90	43,39	158,46	108,70	1,46
2,55	13070,57	57,60	21,30	36,30	50,09	184,00	128,50	1,48
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=900d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	57,80	13,00	44,80	40,58	150,75	88,19	1,71
1,10	5638,29	54,10	14,50	39,60	45,91	171,06	97,92	1,75
1,80	9226,29	49,50	13,50	36,00	50,51	189,63	108,70	1,74
2,55	13070,57	45,30	13,00	32,30	56,29	212,75	128,50	1,75

Tablo 3.6. Devamı

2.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	82,60	14,50	68,10	26,70	95,71	88,19	0,93
1,10	5638,29	76,80	16,00	60,80	29,90	107,82	97,92	0,97
1,80	9226,29	78,10	16,00	62,10	29,28	105,38	108,70	1,09
2,55	13070,57	68,60	16,00	52,60	34,57	126,01	128,50	1,10
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	86,70	21,20	65,50	27,76	98,11	88,19	1,11
1,10	5638,29	74,90	20,50	54,40	33,42	120,09	97,92	1,23
1,80	9226,29	68,30	22,00	46,30	39,27	142,06	108,70	1,31
2,55	13070,57	61,00	21,40	39,60	45,91	167,87	128,50	1,31
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	78,40	15,50	62,90	28,91	104,07	88,19	1,18
1,10	5638,29	64,10	13,80	50,30	36,15	132,97	97,92	1,36
1,80	9226,29	57,60	18,00	39,60	45,91	169,43	108,70	1,56
2,55	13070,57	47,90	16,50	31,40	57,90	216,99	128,50	1,69
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	84,70	14,30	70,40	25,83	92,35	88,19	0,95
1,10	5638,29	81,50	16,00	65,50	27,76	99,46	97,92	0,97
1,80	9226,29	77,90	16,00	61,90	29,37	105,75	108,70	1,02
2,55	13070,57	68,60	16,00	52,60	34,57	126,01	128,50	1,05
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	83,40	21,00	62,40	29,14	103,45	88,19	1,17
1,10	5638,29	76,80	22,00	54,80	33,18	118,67	97,92	1,21
1,80	9226,29	67,80	22,00	45,80	39,70	143,71	108,70	1,32
2,55	13070,57	59,80	21,20	38,60	47,10	172,55	128,50	1,34
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	69,50	15,00	54,50	33,36	121,63	88,19	1,38
1,10	5638,29	62,10	13,00	49,10	37,03	136,74	97,92	1,40
1,80	9226,29	57,20	16,90	40,30	45,12	166,83	108,70	1,53
2,55	13070,57	52,80	15,90	36,90	49,27	183,55	128,50	1,56
3.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	84,90	17,00	67,90	26,78	95,39	88,19	0,90
1,10	5638,29	83,10	16,50	66,60	27,30	97,54	97,92	0,99
1,80	9226,29	77,30	16,20	61,10	29,76	107,19	108,70	1,00
2,55	13070,57	74,10	17,40	56,70	32,07	115,82	128,50	1,08
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀

Tablo 3.6. Devamı

0,55	2819,14	86,60	21,30	65,30	27,84	98,41	88,19	1,12
1,10	5638,29	78,10	21,00	57,10	31,84	113,85	97,92	1,16
1,80	9226,29	67,90	20,20	47,70	38,12	138,30	108,70	1,27
2,55	13070,57	58,60	18,50	40,10	45,34	166,97	128,50	1,30
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	79,50	15,60	63,90	28,45	102,27	88,19	1,16
1,10	5638,29	71,50	18,00	53,50	33,98	123,07	97,92	1,26
1,80	9226,29	62,10	18,80	43,30	41,99	153,84	108,70	1,42
2,55	13070,57	53,20	18,20	35,00	51,95	192,80	128,50	1,50
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	84,60	16,80	67,80	26,82	95,59	88,19	0,91
1,10	5638,29	80,50	16,50	64,00	28,41	101,86	97,92	0,97
1,80	9226,29	78,30	16,00	62,30	29,18	105,01	108,70	1,04
2,55	13070,57	73,70	17,50	56,20	32,35	116,89	128,50	1,08
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	85,00	21,20	63,80	28,50	100,94	88,19	1,14
1,10	5638,29	77,10	20,50	56,60	32,12	115,08	97,92	1,18
1,80	9226,29	68,50	20,00	48,50	37,49	135,94	108,70	1,25
2,55	13070,57	59,20	18,00	41,20	44,13	162,49	128,50	1,26
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	73,20	15,70	57,50	31,62	114,60	88,19	1,30
1,10	5638,29	69,60	18,50	51,10	35,58	129,10	97,92	1,32
1,80	9226,29	61,20	18,50	42,70	42,58	156,25	108,70	1,44
2,55	13070,57	56,90	18,50	38,40	47,35	174,77	128,50	1,47
4.KONUM								
Kare-10 (K=0.142)dönel engel, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	87,70	17,00	70,70	25,72	91,27	88,19	0,93
1,10	5638,29	83,60	16,50	67,10	27,10	96,75	97,92	0,94
1,80	9226,29	81,40	17,50	63,90	28,45	101,76	108,70	0,99
2,55	13070,57	71,00	17,50	53,50	33,98	123,24	128,50	1,03
Kare-20 (K=0.285)dönel engel, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	80,30	18,00	62,30	29,18	104,46	88,19	1,18
1,10	5638,29	68,20	14,40	53,80	33,80	123,53	97,92	1,26
1,80	9226,29	61,10	14,90	46,20	39,35	145,14	108,70	1,34
2,55	13070,57	51,90	14,40	37,50	48,48	181,22	128,50	1,41
Kare-30 (K=0.428)dönel engel, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	71,80	20,50	51,30	35,44	127,87	88,19	1,45
1,10	5638,29	64,50	21,50	43,00	42,28	153,85	97,92	1,57
1,80	9226,29	59,20	19,00	40,20	45,23	166,31	108,70	1,63

Tablo 3.6. Devamı

2,55	13070,57	48,00	18,00	30,00	60,61	226,62	128,50	1,76
Kare-10 (K=0.142)dönel engel, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	85,20	16,70	68,50	26,54	94,55	88,19	0,96
1,10	5638,29	83,10	16,80	66,30	27,42	97,95	97,92	0,99
1,80	9226,29	78,10	17,40	60,70	29,95	107,61	108,70	1,00
2,55	13070,57	70,80	17,50	53,30	34,11	123,73	128,50	1,07
Kare-20 (K=0.285)dönel engel, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	75,30	18,00	57,30	31,73	114,33	88,19	1,30
1,10	5638,29	65,80	14,50	51,30	35,44	129,95	97,92	1,33
1,80	9226,29	60,90	14,50	46,40	39,18	144,64	108,70	1,35
2,55	13070,57	51,40	14,80	36,60	49,68	185,70	128,50	1,45
Kare-30 (K=0.428)dönel engel, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	64,70	19,50	45,20	40,23	146,71	88,19	1,66
1,10	5638,29	60,70	20,90	39,80	45,68	167,21	97,92	1,71
1,80	9226,29	54,00	19,00	35,00	51,95	192,38	108,70	1,77
2,55	13070,57	46,90	17,50	29,40	61,84	231,75	128,50	1,80
5.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	87,00	17,00	70,00	25,97	92,27	88,19	0,97
1,10	5638,29	84,60	17,50	67,10	27,10	96,50	97,92	0,98
1,80	9226,29	77,20	18,00	59,20	30,71	110,38	108,70	0,99
2,55	13070,57	70,80	18,00	52,80	34,44	124,82	128,50	1,05
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	79,70	14,50	65,20	27,89	100,36	88,19	1,14
1,10	5638,29	70,20	15,50	54,70	33,24	120,99	97,92	1,24
1,80	9226,29	61,90	14,50	47,40	38,36	141,39	108,70	1,30
2,55	13070,57	54,20	14,60	39,60	45,91	171,02	128,50	1,33
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	80,20	21,30	58,90	30,87	110,02	88,19	1,25
1,10	5638,29	66,40	19,80	46,60	39,02	141,92	97,92	1,45
1,80	9226,29	58,30	18,20	40,10	45,34	167,11	108,70	1,54
2,55	13070,57	53,10	20,50	32,60	55,77	206,37	128,50	1,61
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	88,60	17,20	71,40	25,46	90,25	88,19	0,97
1,10	5638,29	83,60	17,50	66,10	27,51	98,09	97,92	0,96
1,80	9226,29	80,00	17,80	62,20	29,23	104,69	108,70	1,00
2,55	13070,57	70,70	18,00	52,70	34,50	125,08	128,50	1,02
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=900 d/dk								

Tablo 3.6. Devamı

u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	74,50	14,50	60,00	30,30	109,81	88,19	1,19
1,10	5638,29	70,60	14,50	56,10	32,41	118,06	97,92	1,21
1,80	9226,29	62,50	14,50	48,00	37,88	139,51	108,70	1,28
2,55	13070,57	53,20	14,50	38,70	46,98	175,26	128,50	1,36
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	74,00	20,60	53,40	34,05	122,47	88,19	1,39
1,10	5638,29	62,70	19,10	43,60	41,70	152,59	97,92	1,56
1,80	9226,29	55,40	17,50	37,90	47,97	177,68	108,70	1,63
2,55	13070,57	50,90	20,00	30,90	58,84	218,53	128,50	1,70
6.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	85,80	17,50	68,30	26,62	94,65	88,19	0,92
1,10	5638,29	82,60	15,90	66,70	27,26	97,54	97,92	0,97
1,80	9226,29	78,10	15,80	62,30	29,18	105,07	108,70	1,00
2,55	13070,57	74,50	19,00	55,50	32,76	118,01	128,50	1,07
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	82,10	15,60	66,50	27,34	97,94	88,19	1,11
1,10	5638,29	74,70	16,50	58,20	31,24	112,88	97,92	1,15
1,80	9226,29	63,70	15,80	47,90	37,96	139,33	108,70	1,25
2,55	13070,57	57,50	15,70	41,80	43,50	161,04	128,50	1,28
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	80,70	19,20	61,50	29,56	105,59	88,19	1,20
1,10	5638,29	66,30	16,50	49,80	36,51	133,41	97,92	1,31
1,80	9226,29	61,80	17,80	44,00	41,32	151,66	108,70	1,36
2,55	13070,57	57,30	17,50	39,80	45,68	168,76	128,50	1,40
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	87,90	16,50	71,40	25,46	90,41	88,19	0,94
1,10	5638,29	83,00	15,50	67,50	26,94	96,38	97,92	0,98
1,80	9226,29	77,70	16,00	61,70	29,47	106,12	108,70	0,98
2,55	13070,57	73,10	18,50	54,60	33,30	120,25	128,50	1,03
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	79,30	15,50	63,80	28,50	102,48	88,19	1,16
1,10	5638,29	70,90	16,30	54,60	33,30	120,97	97,92	1,24
1,80	9226,29	63,40	15,40	48,00	37,88	139,17	108,70	1,24
2,55	13070,57	57,70	15,50	42,20	43,08	159,51	128,50	1,28
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	72,10	17,00	55,10	33,00	119,56	88,19	1,36
1,10	5638,29	64,60	16,90	47,70	38,12	139,53	97,92	1,42
1,80	9226,29	59,30	18,00	41,30	44,02	162,08	108,70	1,45

Tablo 3.6. Devamı

2,55	13070,57	53,20	17,00	36,20	50,23	186,72	128,50	1,49
7.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	89,90	17,80	72,10	25,22	89,15	88,19	0,84
1,10	5638,29	89,00	21,50	67,50	26,94	94,88	97,92	0,88
1,80	9226,29	88,20	21,00	67,20	27,06	95,46	108,70	0,97
2,55	13070,57	77,50	20,50	57,00	31,90	114,21	128,50	1,01
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	84,90	16,50	68,40	26,58	94,75	88,19	1,07
1,10	5638,29	76,80	15,90	60,90	29,86	107,66	97,92	1,10
1,80	9226,29	67,70	15,70	52,00	34,97	127,67	108,70	1,17
2,55	13070,57	57,20	15,60	41,60	43,71	161,90	128,50	1,26
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	76,40	20,00	56,40	32,24	115,68	88,19	1,31
1,10	5638,29	67,70	19,50	48,20	37,72	137,03	97,92	1,40
1,80	9226,29	57,40	17,80	39,60	45,91	169,52	108,70	1,56
2,55	13070,57	48,80	16,20	32,60	55,77	208,83	128,50	1,63
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	87,90	17,50	70,40	25,83	91,58	88,19	0,87
1,10	5638,29	90,30	21,50	68,80	26,43	92,93	97,92	0,90
1,80	9226,29	87,00	21,00	66,00	27,55	97,35	108,70	0,95
2,55	13070,57	75,70	20,50	55,20	32,94	118,22	128,50	1,04
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	75,70	16,70	59,00	30,82	111,17	88,19	1,26
1,10	5638,29	69,30	16,00	53,30	34,11	124,23	97,92	1,27
1,80	9226,29	63,20	15,60	47,60	38,20	140,34	108,70	1,29
2,55	13070,57	58,90	16,00	42,90	42,38	156,54	128,50	1,30
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	70,20	20,20	50,00	36,36	131,53	88,19	1,49
1,10	5638,29	63,90	18,90	45,00	40,40	147,65	97,92	1,51
1,80	9226,29	52,80	17,00	35,80	50,79	188,91	108,70	1,74
2,55	13070,57	49,60	16,00	33,60	54,11	202,45	128,50	1,78
8.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	89,00	17,50	71,50	25,43	90,04	88,19	0,85
1,10	5638,29	87,50	16,70	70,80	25,68	91,20	97,92	0,92
1,80	9226,29	80,80	15,80	65,00	27,97	100,34	108,70	0,93
2,55	13070,57	79,70	20,00	59,70	30,46	108,80	128,50	1,02

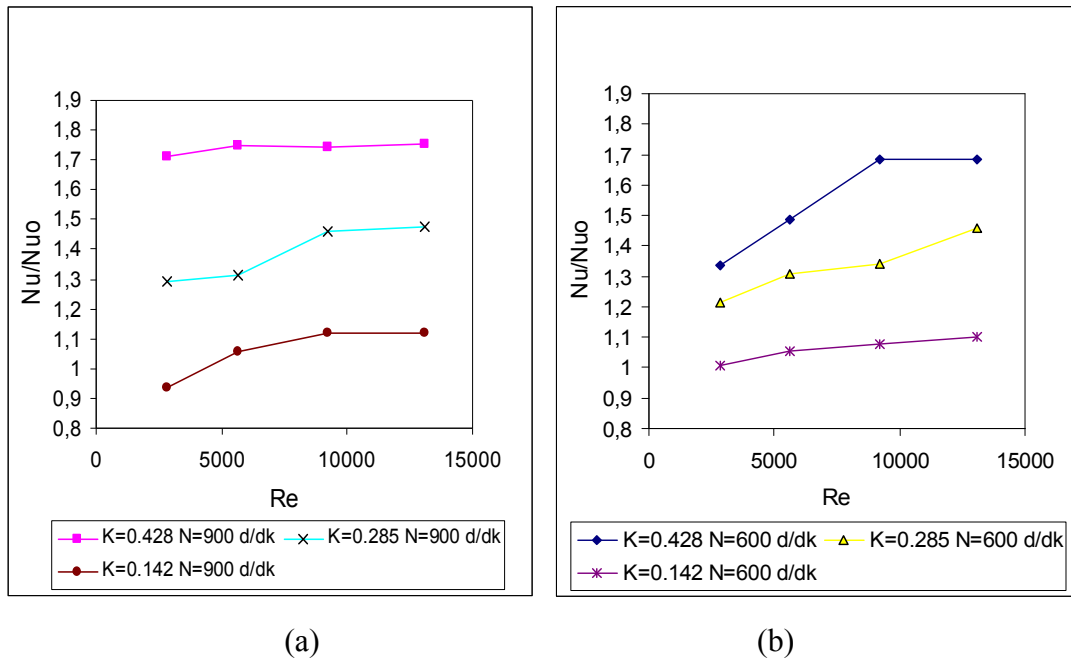
Tablo 3.6. Devamı

Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	85,00	15,50	69,50	26,16	93,36	88,19	1,06
1,10	5638,29	73,60	15,30	58,30	31,19	113,03	97,92	1,15
1,80	9226,29	62,60	15,50	47,10	38,60	141,96	108,70	1,31
2,55	13070,57	54,80	14,50	40,30	45,12	167,93	128,50	1,31
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	82,80	20,00	62,80	28,95	103,01	88,19	1,17
1,10	5638,29	70,10	20,00	50,10	36,29	131,32	97,92	1,34
1,80	9226,29	56,10	17,50	38,60	47,10	174,29	108,70	1,60
2,55	13070,57	52,60	20,00	32,60	55,77	206,65	128,50	1,61
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	89,50	17,00	72,50	25,08	88,80	88,19	0,89
1,10	5638,29	86,50	16,00	70,50	25,79	91,80	97,92	0,90
1,80	9226,29	82,40	16,00	66,40	27,38	97,99	108,70	0,94
2,55	13070,57	76,30	19,50	56,80	32,01	114,95	128,50	1,01
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	80,20	15,50	64,70	28,10	100,93	88,19	1,14
1,10	5638,29	68,30	15,40	52,90	34,37	125,44	97,92	1,28
1,80	9226,29	61,60	15,20	46,40	39,18	144,36	108,70	1,33
2,55	13070,57	50,90	14,20	36,70	49,54	185,48	128,50	1,44
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	75,70	20,50	55,20	32,94	118,22	88,19	1,34
1,10	5638,29	63,50	19,40	44,10	41,23	150,64	97,92	1,54
1,80	9226,29	52,00	16,80	35,20	51,65	192,39	108,70	1,72
2,55	13070,57	50,50	20,00	30,50	59,61	221,52	128,50	1,77
9.KONUM								
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	88,70	18,50	70,20	25,90	91,62	88,19	0,90
1,10	5638,29	82,20	17,00	65,20	27,89	99,69	97,92	0,94
1,80	9226,29	83,10	19,50	63,60	28,59	101,74	108,70	1,02
2,55	13070,57	75,30	19,00	56,30	32,29	116,20	128,50	1,04
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	79,90	13,50	66,40	27,38	98,65	88,19	1,12
1,10	5638,29	72,80	13,20	59,60	30,51	111,00	97,92	1,13
1,80	9226,29	63,40	15,00	48,40	37,57	138,10	108,70	1,27
2,55	13070,57	54,10	13,70	40,40	45,00	167,86	128,50	1,31
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	82,70	20,00	62,70	29,00	103,19	88,19	1,17

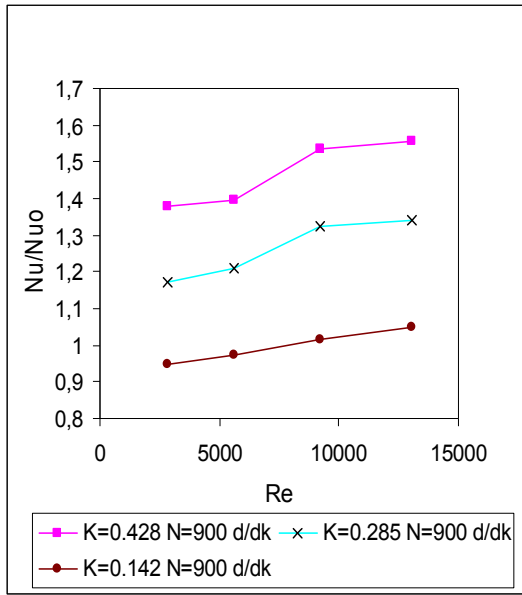
Tablo 3.6. Devamı

1,10	5638,29	66,20	18,20	48,00	37,88	138,12	97,92	1,41
1,80	9226,29	56,30	16,70	39,60	45,91	170,03	108,70	1,56
2,55	13070,57	53,70	20,50	33,20	54,76	202,48	128,50	1,58
Kare-10 (K=0.142) dönel engel, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	89,60	17,50	72,10	25,22	89,22	88,19	0,88
1,10	5638,29	83,50	16,00	67,50	26,94	96,26	97,92	0,89
1,80	9226,29	86,00	19,40	66,60	27,30	96,80	108,70	0,98
2,55	13070,57	76,40	18,50	57,90	31,40	112,90	128,50	1,01
Kare-20 (K=0.285) dönel engel, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	81,70	13,40	68,30	26,62	95,69	88,19	1,08
1,10	5638,29	68,10	13,00	55,10	33,00	120,86	97,92	1,23
1,80	9226,29	62,60	14,50	48,10	37,80	139,20	108,70	1,28
2,55	13070,57	53,50	13,50	40,00	45,45	169,73	128,50	1,32
Kare-30 (K=0.428) dönel engel, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	81,10	19,30	61,80	29,42	105,01	88,19	1,19
1,10	5638,29	64,80	17,50	47,30	38,44	140,56	97,92	1,44
1,80	9226,29	57,50	17,00	40,50	44,89	165,91	108,70	1,53
2,55	13070,57	52,40	20,00	32,40	56,12	207,99	128,50	1,62

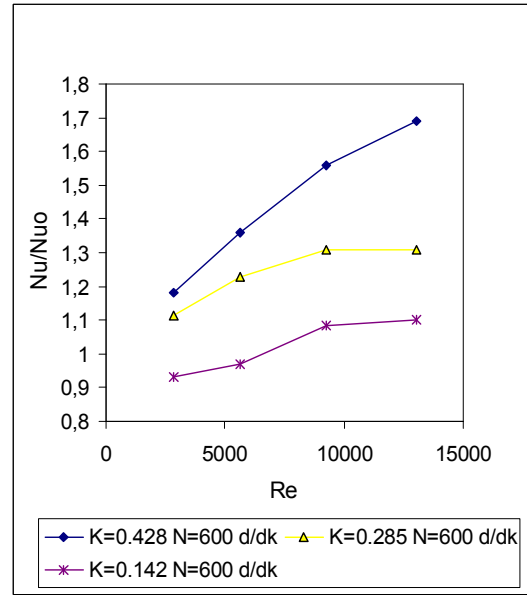
Tablo 3.6'daki değerlere bağlı olarak çizilen Şekil 3.22 – 3.30 aralığındaki grafiklerde her biri farklı boyutta olan kare kesitli dönel engellerin 600 ve 900 devir/dk olmak üzere iki farklı devirde döndürülmesi sonucu elde edilen ısı transferindeki iyileşme görülmektedir. Şekil 3.22'de $X=0.714$ $Y=0.357$ konumuna yerleştirilen kare kesitli engelin üç farklı boyutsuz büyüklüğü ve iki farklı devrinin etkisi incelenmiştir. En yüksek Nusselt değerleri $D=0.428$ olan en büyük engelin $N=900$ d/dk sayısında akış doğrultusunda döndürülmesi ile elde edilmiştir. Devir sayısı arttıkça ısı transferinde artış olduğu ancak bu durumun öncelikle en küçük boyuttaki engelde ihmal edilebilecek kadar az olduğu görülmektedir. Tüm konumlar için kare kesitli dönen engele ait diğer şekillerde de devrin ve boyutun etkisi benzer karakteristiktir. Dönen kare kesitli engel ile en iyi ısı transferi $X=0.714$ $Y=0.535$ (4.konum) konumunda, en az iyileşme ise $X=2.142$ $Y=0.535$ (6.konum) konumunda elde edilmiştir.



Şekil 3.22. $X=0.714$, $Y=0.357$ (1. konum) konumu için dönel kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

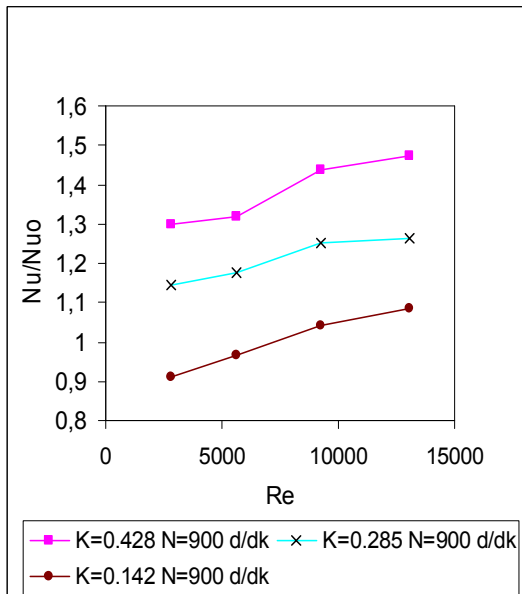


(a)

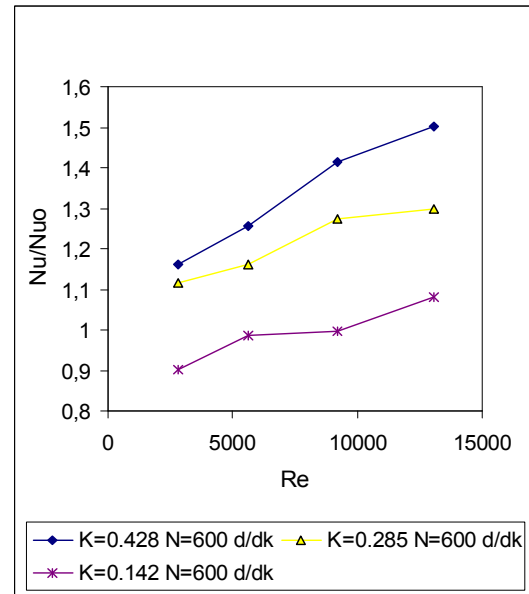


(b)

Şekil 3.23. $X=1.428$, $Y=0.357$ (2. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

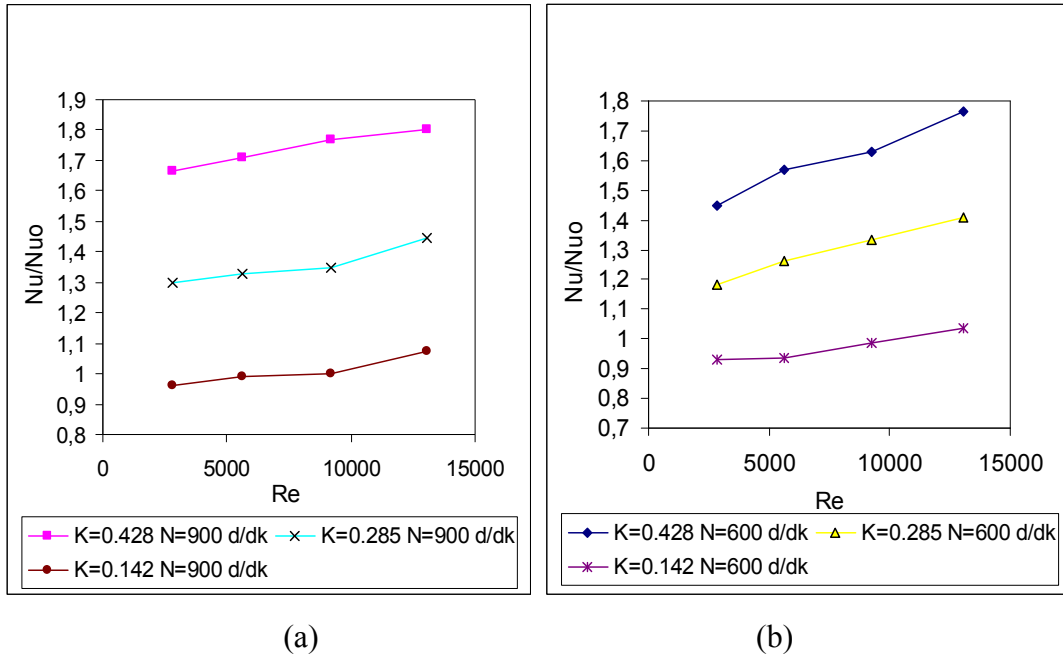


(a)

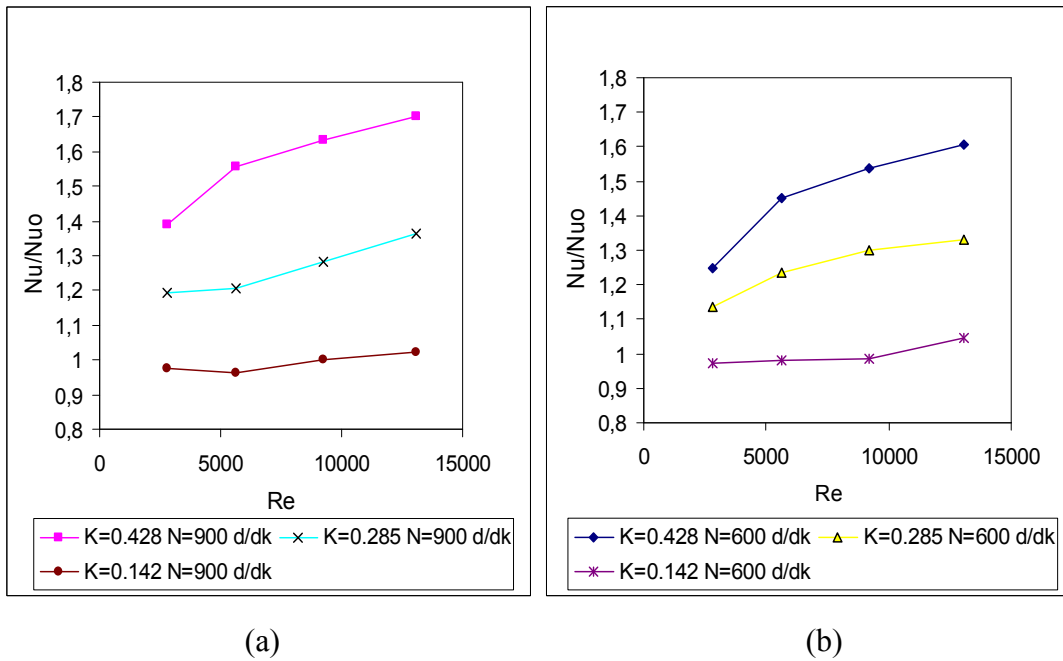


(b)

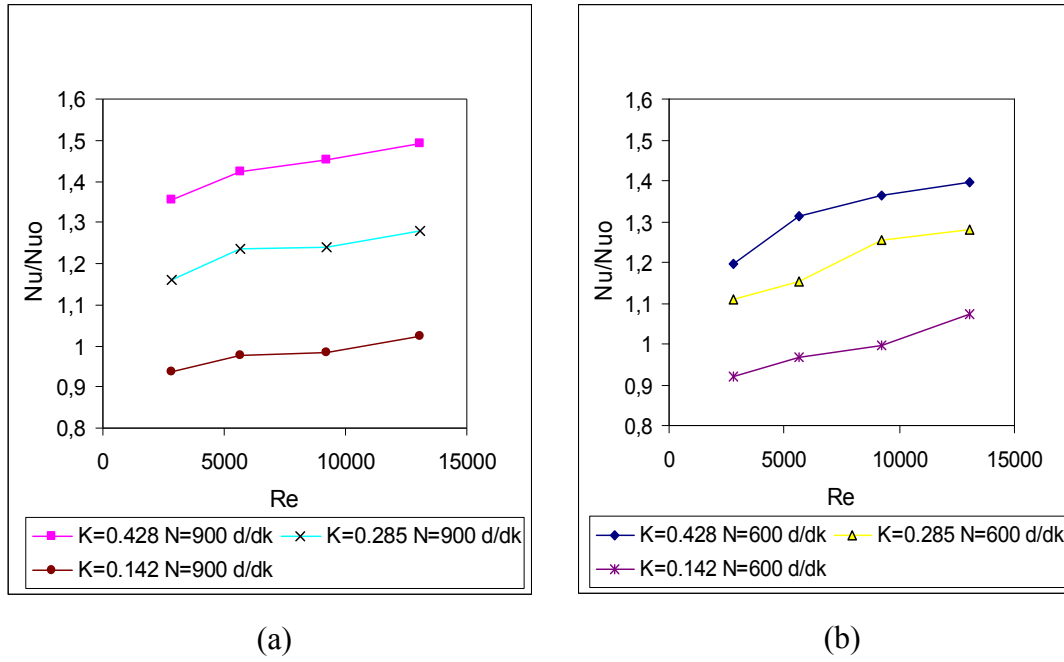
Şekil 3.24. $X=2.142$, $Y=0.357$ (3. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



Şekil 3.25. $X=0.714$, $Y=0.535$ (4. konum) konum için dölal kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

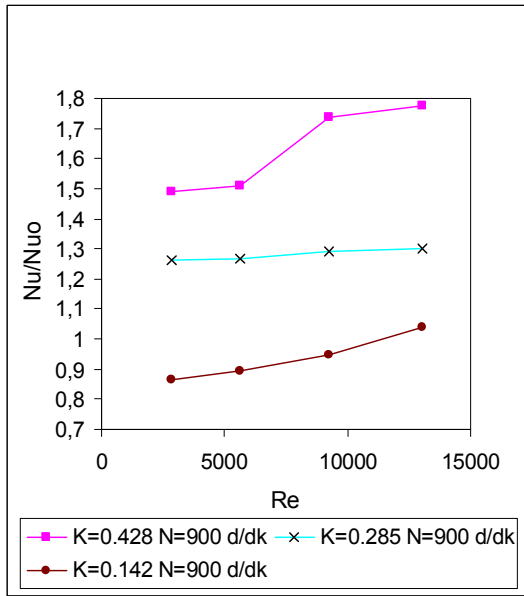


Şekil 3.26. $X=1.428$, $Y=0.535$ (5. konum) konumu için dölal kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

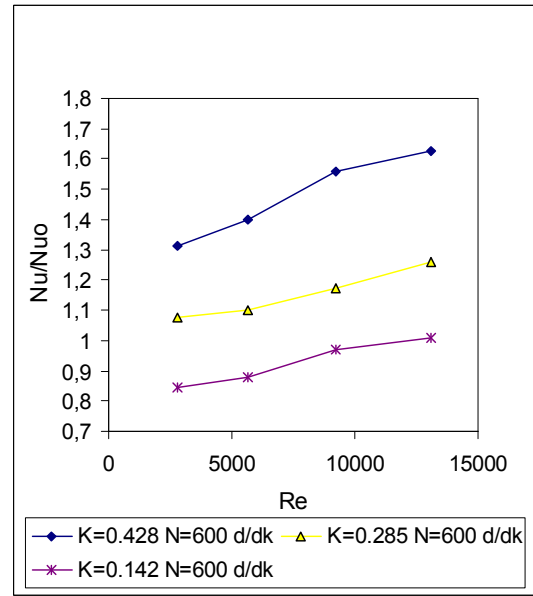


Şekil 3.27. $X=2.142$, $Y=0.535$ (6. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

$D=0.142$ en küçük kesitli dönen engelin yaklaşık $Re < 9000$ değerlerinde tüm konumlarda $Nu/Nu_0 < 1$ olduğu görülmektedir. Yani bu durumda engel yerleştirme bir iyileştirme metodu olmaktan çıkmakta aksine ısı transferini kötüleştirmektedir. Bu en küçük kesitli engelin her iki devirde döndürülmesi ile yaklaşık $Re > 9000$ için ya bir iyileşme sağlanamamakta ya da Nusselt sayısında çok az bir yükselme gerçekleşmektedir. Ancak en iyi konumda $D=0.428$ kare kesitli engelin $N=900$ d/dk'da döndürülmesi ile engelsiz nazarın yaklaşık % 180 gibi bir iyileşme görülmektedir. Dönen engelin boyutu küçüldükçe ısı transferine etkisi azalmaktadır. Yani aynı konumda yine en yüksek Reynolds sayısı için $D=0.285$ orta boyutlu engelin yine 900 d/dk'da döndürülmesi ile yaklaşık % 145 bir iyileşme sağlandığı görülmektedir.

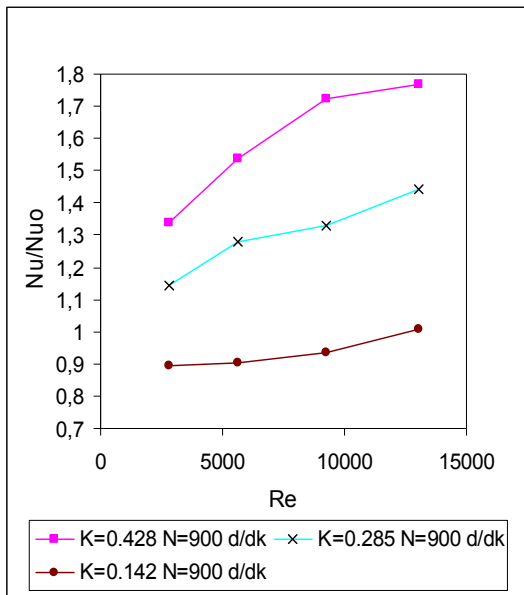


(a)

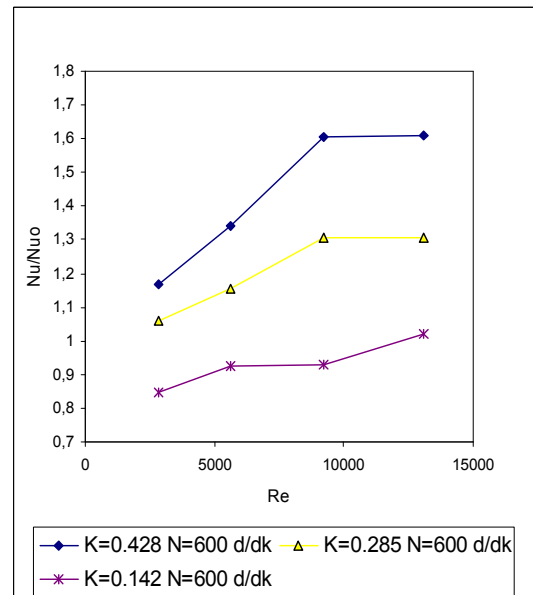


(b)

Şekil 3.28. $X=0.714$, $Y=0.714$ (7. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

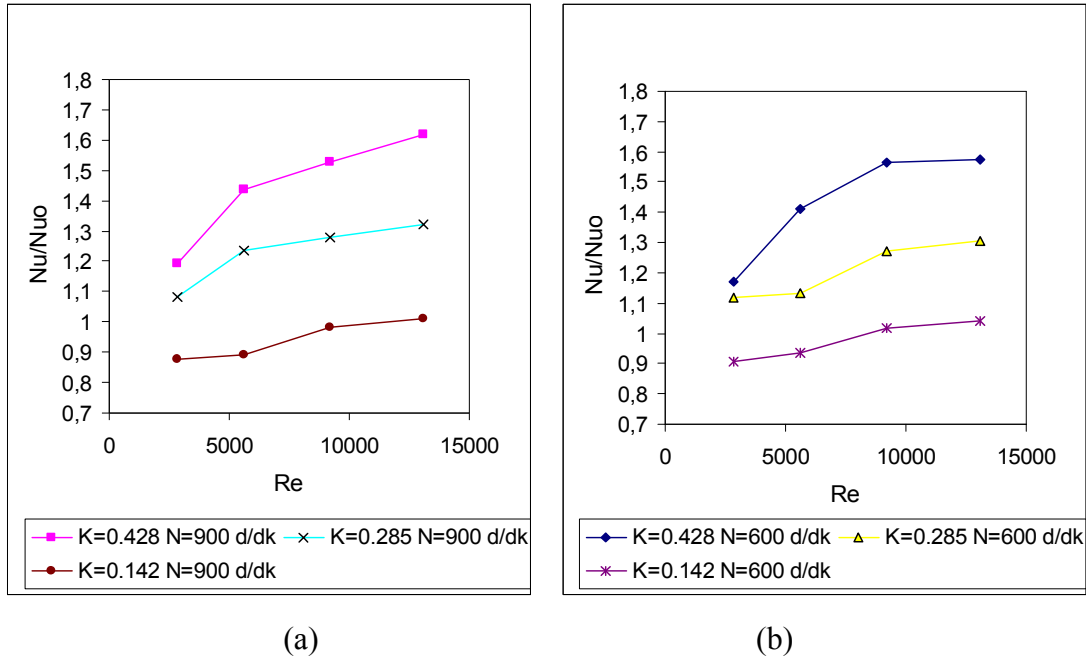


(a)



(b)

Şekil 3.29. $X=1.428$, $Y=0.714$ (8. konum) konumu için dönele kare kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



Şekil 3.30. $X=2.142$, $Y=0.714$ (9. konum) konumu için dönel kare engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

3.4.4. Dönel dairesel kesitli engeller için konum ve devrin ısı transferine etkisi

Tablo 3.7’de dairesel kesitli engellerin dokuz farklı konumu ve iki farklı dönme devri için elde edilen değerler görülmektedir.

Tablo 3.7. Dairesel kesitli dönel engellerin dokuz farklı konumu ve iki farklı dönme devri için elde edilen değerler

1.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=600 d/dk								
u	Re	T_y	T_0	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu_0	Nu/Nu_0
0,55	2819,14	86,80	20,00	66,80	27,22	96,34	88,19	1,09
1,1	5638,29	74,70	17,50	57,20	31,79	114,70	97,92	1,17
1,8	9226,29	67,90	15,70	52,20	34,83	127,14	108,70	1,19
2,55	13070,57	60,50	18,50	42,00	43,29	159,01	128,50	1,24
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=600 d/dk								
u	Re	T_y	T_0	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu_0	Nu/Nu_0
0,55	2819,14	91,30	32,00	59,30	30,66	106,22	88,19	1,20
1,1	5638,29	82,50	31,00	51,50	35,30	123,87	97,92	1,27
1,8	9226,29	74,40	30,00	44,40	40,95	145,39	108,70	1,34

Tablo 3.7. Devamı

2,55	13070,57	67,40	30,80	36,60	49,68	177,83	128,50	1,38
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	79,60	19,20	60,40	30,10	107,67	88,19	1,22
1,1	5638,29	68,50	16,90	51,60	35,24	128,31	97,92	1,31
1,8	9226,29	62,90	17,20	45,70	39,79	145,92	108,70	1,34
2,55	13070,57	54,10	20,00	34,10	53,32	197,16	128,50	1,53
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	85,20	19,00	66,20	27,46	97,54	88,19	1,11
1,1	5638,29	73,40	16,00	57,40	31,68	114,73	97,92	1,17
1,8	9226,29	66,90	16,00	50,90	35,72	130,51	108,70	1,20
2,55	13070,57	59,10	17,00	42,10	43,19	159,26	128,50	1,24
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	92,00	32,00	60,00	30,30	104,89	88,19	1,19
1,1	5638,29	82,40	30,80	51,60	35,24	123,68	97,92	1,26
1,8	9226,29	73,10	29,70	43,40	41,89	149,06	108,70	1,37
2,55	13070,57	66,70	30,80	35,90	50,65	181,46	128,50	1,41
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	78,00	18,00	60,00	30,30	108,79	88,19	1,23
1,1	5638,29	69,10	16,90	52,20	34,83	126,73	97,92	1,29
1,8	9226,29	62,50	19,00	43,50	41,80	153,01	108,70	1,41
2,55	13070,57	54,70	20,00	34,70	52,40	193,59	128,50	1,51
2.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	84,20	16,20	68,00	26,74	95,44	88,19	1,08
1,1	5638,29	79,70	19,50	60,20	30,20	107,97	97,92	1,10
1,8	9226,29	71,20	19,00	52,20	34,83	126,02	108,70	1,16
2,55	13070,57	61,90	17,50	44,40	40,95	150,33	128,50	1,19
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	92,70	29,50	63,20	28,77	99,81	88,19	1,13
1,1	5638,29	82,70	30,00	52,70	34,50	121,17	97,92	1,24
1,8	9226,29	74,10	28,50	45,60	39,87	141,90	108,70	1,31
2,55	13070,57	67,40	28,00	39,40	46,15	165,81	128,50	1,33
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀

Tablo 3.7. Devamı

0,55	2819,14	81,90	17,00	64,90	28,02	100,19	88,19	1,14
1,1	5638,29	70,40	19,50	50,90	35,72	129,29	97,92	1,28
1,8	9226,29	64,20	17,50	46,70	38,93	142,48	108,70	1,32
2,55	13070,57	57,80	16,50	41,30	44,02	162,74	128,50	1,35
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	88,20	16,00	72,20	25,18	89,44	88,19	1,01
1,1	5638,29	79,50	19,50	60,00	30,30	108,36	97,92	1,11
1,8	9226,29	69,50	17,50	52,00	34,97	127,05	108,70	1,17
2,55	13070,57	60,70	16,00	44,70	40,68	149,87	128,50	1,18
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	92,50	29,40	63,10	28,81	100,01	88,19	1,13
1,1	5638,29	82,50	29,00	53,50	33,98	119,55	97,92	1,22
1,8	9226,29	75,00	29,00	46,00	39,53	140,41	108,70	1,29
2,55	13070,57	67,70	28,00	39,70	45,80	164,49	128,50	1,31
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=1.428 Y=0.357 (2.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	81,60	17,00	64,60	28,15	100,70	88,19	1,14
1,1	5638,29	73,90	18,50	55,40	32,82	118,39	97,92	1,21
1,8	9226,29	66,30	16,90	49,40	36,81	134,42	108,70	1,24
2,55	13070,57	57,40	16,90	40,50	44,89	165,96	128,50	1,30
3.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	86,60	15,00	71,60	25,39	90,49	88,19	1,03
1,1	5638,29	75,10	14,50	60,60	30,00	108,64	97,92	1,11
1,8	9226,29	68,10	14,50	53,60	33,92	123,99	108,70	1,14
2,55	13070,57	61,20	14,00	47,20	38,52	142,23	128,50	1,16
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	91,30	29,00	62,30	29,18	101,50	88,19	1,15
1,1	5638,29	82,80	27,50	55,30	32,88	115,84	97,92	1,18
1,8	9226,29	76,60	27,00	49,60	36,66	130,29	108,70	1,20
2,55	13070,57	72,00	27,00	45,00	40,40	144,48	128,50	1,23
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	83,40	19,80	63,60	28,59	101,66	88,19	1,15
1,1	5638,29	71,50	18,50	53,00	34,31	124,15	97,92	1,27
1,8	9226,29	66,50	16,50	50,00	36,36	132,84	108,70	1,29
2,55	13070,57	56,70	15,00	41,70	43,60	161,76	128,50	1,33

Tablo 3.7. Devamı

Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	86,80	14,80	72,00	25,25	89,99	88,19	1,02
1,1	5638,29	77,10	14,00	63,10	28,81	104,13	97,92	1,06
1,8	9226,29	69,60	14,50	55,10	33,00	120,37	108,70	1,11
2,55	13070,57	59,60	14,00	45,60	39,87	147,54	128,50	1,15
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	89,10	29,00	60,10	30,25	105,51	88,19	1,20
1,1	5638,29	80,70	27,20	53,50	33,98	120,11	97,92	1,23
1,8	9226,29	75,60	26,50	49,10	37,03	131,88	108,70	1,23
2,55	13070,57	70,00	26,00	44,00	41,32	148,35	128,50	1,25
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=2.142 Y=0.357 (3.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	81,10	18,00	63,10	28,81	103,02	88,19	1,17
1,1	5638,29	70,30	17,50	52,80	34,44	124,99	97,92	1,28
1,8	9226,29	61,20	15,50	45,70	39,79	146,59	108,70	1,34
2,55	13070,57	54,20	15,00	39,20	46,38	172,67	128,50	1,34
4.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	86,20	14,70	71,50	25,43	90,70	88,19	0,87
1,1	5638,29	81,10	15,50	65,60	27,72	99,43	97,92	0,92
1,8	9226,29	76,40	16,00	60,40	30,10	108,59	108,70	1,02
2,55	13070,57	78,00	20,00	58,00	31,35	112,25	128,50	1,03
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	90,50	27,80	62,70	29,00	101,11	88,19	1,15
1,1	5638,29	82,40	26,30	56,10	32,41	114,43	97,92	1,17
1,8	9226,29	73,10	26,40	46,70	38,93	139,13	108,70	1,28
2,55	13070,57	64,60	25,40	39,20	46,38	167,86	128,50	1,31
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	80,20	19,50	60,70	29,95	107,01	88,19	1,21
1,1	5638,29	70,60	18,50	52,10	34,90	126,45	97,92	1,29
1,8	9226,29	60,90	16,00	44,90	40,49	149,16	108,70	1,37
2,55	13070,57	53,90	18,00	35,90	50,65	187,84	128,50	1,46
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	85,40	15,00	70,40	25,83	92,18	88,19	0,89
1,1	5638,29	76,20	16,00	60,20	30,20	108,98	97,92	1,00

Tablo 3.7. Devamı

1,8	9226,29	80,80	15,50	65,30	27,84	99,92	108,70	1,11
2,55	13070,57	76,30	19,00	57,30	31,73	114,02	128,50	1,14
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	88,80	27,50	61,30	29,66	103,69	88,19	1,18
1,1	5638,29	81,90	26,00	55,90	32,53	114,95	97,92	1,17
1,8	9226,29	72,80	26,00	46,80	38,85	138,96	108,70	1,28
2,55	13070,57	64,00	25,00	39,00	46,62	168,94	128,50	1,31
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	75,20	19,00	56,20	32,35	116,43	88,19	1,32
1,1	5638,29	60,20	17,00	43,20	42,09	154,97	97,92	1,45
1,8	9226,29	57,40	15,50	41,90	43,39	160,72	108,70	1,48
2,55	13070,57	53,20	17,00	36,20	50,23	186,72	128,50	1,58
5.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	90,60	18,20	72,40	25,11	88,65	88,19	0,89
1,1	5638,29	83,10	16,50	66,60	27,30	97,54	97,92	0,91
1,8	9226,29	82,10	16,40	65,70	27,67	99,02	108,70	0,97
2,55	13070,57	77,20	20,20	57,00	31,90	114,31	128,50	1,01
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	90,50	25,70	64,80	28,06	98,10	88,19	1,11
1,1	5638,29	79,70	26,70	53,00	34,31	121,48	97,92	1,24
1,8	9226,29	72,60	26,80	45,80	39,70	141,88	108,70	1,31
2,55	13070,57	65,80	27,50	38,30	47,47	171,05	128,50	1,33
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	77,50	17,50	60,00	30,30	108,94	88,19	1,24
1,1	5638,29	71,30	15,80	55,50	32,76	119,02	97,92	1,27
1,8	9226,29	62,90	17,00	45,90	39,61	145,32	108,70	1,34
2,55	13070,57	59,10	22,30	36,80	49,41	180,89	128,50	1,41
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	87,50	17,00	70,50	25,79	91,56	88,19	0,87
1,1	5638,29	84,40	16,00	68,40	26,58	94,88	97,92	0,97
1,8	9226,29	78,30	16,50	61,80	29,42	105,79	108,70	1,00
2,55	13070,57	79,00	21,00	58,00	31,35	111,95	128,50	1,04
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=900 d/dk								

Tablo 3.7. Devamı

u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	88,30	26,00	62,30	29,18	102,29	88,19	1,16
1,1	5638,29	81,60	26,40	55,20	32,94	116,40	97,92	1,19
1,8	9226,29	73,80	26,50	47,30	38,44	137,22	108,70	1,26
2,55	13070,57	65,10	27,20	37,90	47,97	173,08	128,50	1,35
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	77,70	16,00	61,70	29,47	106,12	88,19	1,20
1,1	5638,29	65,00	16,20	48,80	37,26	136,44	97,92	1,26
1,8	9226,29	63,60	17,00	46,60	39,02	143,00	108,70	1,32
2,55	13070,57	59,70	22,00	37,70	48,23	176,50	128,50	1,37
6.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	86,60	21,00	65,60	27,72	98,00	88,19	0,90
1,1	5638,29	86,70	19,50	67,20	27,06	95,84	97,92	0,99
1,8	9226,29	80,90	20,80	60,10	30,25	107,80	108,70	0,98
2,55	13070,57	75,80	19,50	56,30	32,29	116,05	128,50	1,11
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	92,00	26,70	65,30	27,84	97,04	88,19	1,10
1,1	5638,29	82,80	26,50	56,30	32,29	113,93	97,92	1,16
1,8	9226,29	73,50	25,80	47,70	38,12	136,25	108,70	1,25
2,55	13070,57	67,70	26,80	40,90	44,45	159,92	128,50	1,24
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	79,50	19,50	60,00	30,30	108,36	88,19	1,23
1,1	5638,29	73,70	18,00	55,70	32,64	117,86	97,92	1,24
1,8	9226,29	65,30	18,50	46,80	38,85	141,78	108,70	1,30
2,55	13070,57	55,50	16,20	39,30	46,26	171,64	128,50	1,34
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	88,50	20,00	68,50	26,54	93,74	88,19	0,91
1,1	5638,29	84,20	18,50	65,70	27,67	98,48	97,92	1,01
1,8	9226,29	79,60	20,20	59,40	30,61	109,34	108,70	1,01
2,55	13070,57	74,80	18,50	56,30	32,29	116,36	128,50	1,06
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	90,30	26,60	63,70	28,54	99,71	88,19	1,13
1,1	5638,29	82,70	26,20	56,50	32,18	113,59	97,92	1,16
1,8	9226,29	74,10	25,80	48,30	37,64	134,45	108,70	1,24

Tablo. 3.7. Devamı

2,55	13070,57	66,70	26,80	39,90	45,57	164,14	128,50	1,28
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=2.142 Y=0.535 (6.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	83,30	19,00	64,30	28,28	100,67	88,19	1,14
1,1	5638,29	68,10	18,90	49,20	36,95	134,28	97,92	1,30
1,8	9226,29	62,20	17,20	45,00	40,40	148,33	108,70	1,36
2,55	13070,57	59,50	16,50	43,00	42,28	155,95	128,50	1,37
7.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	92,20	20,80	71,40	25,46	89,40	88,19	0,77
1,1	5638,29	90,40	20,00	70,40	25,83	90,98	97,92	0,87
1,8	9226,29	87,30	19,20	68,10	26,70	94,53	108,70	0,93
2,55	13070,57	83,60	18,50	65,10	27,93	99,46	128,50	1,01
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	89,70	26,30	63,40	28,68	100,29	88,19	1,07
1,1	5638,29	86,20	27,00	59,20	30,71	107,80	97,92	1,10
1,8	9226,29	78,50	26,50	52,00	34,97	124,05	108,70	1,14
2,55	13070,57	69,00	25,80	43,20	42,09	151,34	128,50	1,18
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	81,00	19,00	62,00	29,33	104,73	88,19	1,09
1,1	5638,29	77,30	17,00	60,30	30,15	108,50	97,92	1,11
1,8	9226,29	68,40	16,50	51,90	35,03	127,65	108,70	1,17
2,55	13070,57	63,80	21,20	42,60	42,68	155,50	128,50	1,21
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	90,80	20,80	70,00	25,97	91,36	88,19	0,81
1,1	5638,29	89,00	19,80	69,20	26,27	92,75	97,92	0,89
1,8	9226,29	85,00	18,50	66,50	27,34	97,19	108,70	0,95
2,55	13070,57	81,20	18,50	62,70	29,00	103,60	128,50	1,04
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	81,10	26,00	55,10	33,00	116,75	88,19	1,18
1,1	5638,29	81,50	27,00	54,50	33,36	117,82	97,92	1,20
1,8	9226,29	74,30	26,00	48,30	37,64	134,38	108,70	1,24
2,55	13070,57	70,80	26,70	44,10	41,23	147,72	128,50	1,32
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=0.714 Y=0.714 (7.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀

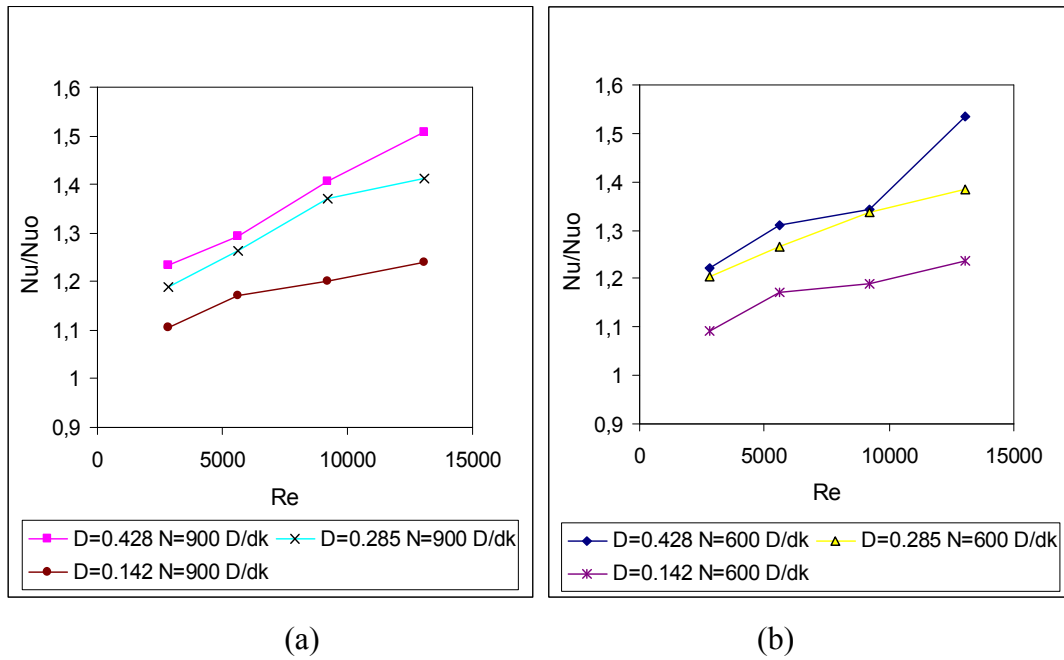
Tablo. 3.7. Devamı

0,55	2819,14	80,00	18,00	62,00	29,33	105,00	88,19	1,19
1,1	5638,29	67,00	16,50	50,50	36,00	131,44	97,92	1,25
1,8	9226,29	63,30	17,00	46,30	39,27	143,99	108,70	1,32
2,55	13070,57	60,70	20,50	40,20	45,23	165,63	128,50	1,34
8.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	88,50	16,80	71,70	25,36	89,93	88,19	0,84
1,1	5638,29	87,40	17,00	70,40	25,83	91,70	97,92	0,87
1,8	9226,29	84,20	15,50	68,70	26,47	94,55	108,70	0,94
2,55	13070,57	75,80	15,00	60,80	29,90	108,11	128,50	1,02
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	90,60	26,50	64,10	28,36	99,06	88,19	1,12
1,1	5638,29	85,50	26,00	59,50	30,56	107,49	97,92	1,13
1,8	9226,29	76,10	26,60	49,50	36,73	130,71	108,70	1,20
2,55	13070,57	67,70	26,40	41,30	44,02	158,45	128,50	1,23
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	83,70	19,20	64,50	28,19	100,28	88,19	1,14
1,1	5638,29	75,30	17,50	57,80	31,46	113,42	97,92	1,16
1,8	9226,29	68,00	19,50	48,50	37,49	136,13	108,70	1,24
2,55	13070,57	59,80	18,00	41,80	43,50	160,03	128,50	1,25
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	89,90	17,00	72,90	24,94	88,26	88,19	0,83
1,1	5638,29	86,10	16,00	70,10	25,94	92,37	97,92	0,89
1,8	9226,29	81,60	14,40	67,20	27,06	97,14	108,70	0,94
2,55	13070,57	76,70	15,50	61,20	29,71	107,20	128,50	1,00
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	85,30	26,20	59,10	30,76	108,22	88,19	1,14
1,1	5638,29	81,70	25,80	55,90	32,53	115,01	97,92	1,17
1,8	9226,29	75,90	26,70	49,20	36,95	131,52	108,70	1,21
2,55	13070,57	66,30	25,90	40,40	45,00	162,39	128,50	1,26
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=1.428 Y=0.714 (8.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = Ty-Tg$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	83,10	18,00	65,10	27,93	99,59	88,19	1,13
1,1	5638,29	70,50	18,00	52,50	34,63	125,59	97,92	1,18
1,8	9226,29	68,30	17,50	50,80	35,79	130,26	108,70	1,20
2,55	13070,57	60,20	18,20	42,00	43,29	159,14	128,50	1,24

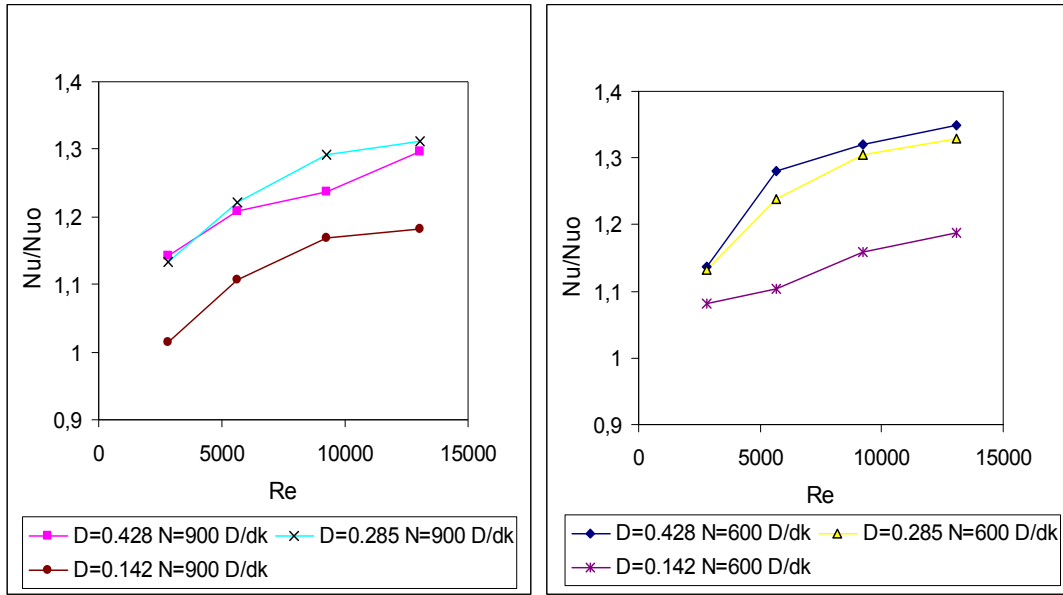
Tablo. 3.7. Devamı

9.KONUM								
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	87,90	15,00	72,90	24,94	88,73	88,19	0,82
1,1	5638,29	83,30	15,00	68,30	26,62	95,28	97,92	0,89
1,8	9226,29	83,80	16,50	67,30	27,02	96,44	108,70	0,97
2,55	13070,57	78,40	16,00	62,40	29,14	104,83	128,50	1,01
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	93,10	25,70	67,40	26,98	94,00	88,19	1,07
1,1	5638,29	83,90	25,80	58,10	31,29	110,34	97,92	1,13
1,8	9226,29	75,80	25,50	50,30	36,15	128,86	108,70	1,19
2,55	13070,57	67,30	25,30	42,00	43,29	156,12	128,50	1,21
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=600 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	86,90	18,00	68,90	26,39	93,63	88,19	1,06
1,1	5638,29	75,70	18,00	57,70	31,51	113,48	97,92	1,16
1,8	9226,29	67,20	17,90	49,30	36,88	134,35	108,70	1,24
2,55	13070,57	58,90	18,50	40,40	45,00	165,67	128,50	1,29
Dairesel-10 (D=0.142) dönel engeli, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	87,50	15,00	72,50	25,08	89,26	88,19	0,82
1,1	5638,29	86,70	15,20	71,50	25,43	90,58	97,92	0,87
1,8	9226,29	85,30	16,80	68,50	26,54	94,53	108,70	0,93
2,55	13070,57	77,80	16,00	61,80	29,42	105,93	128,50	1,01
Dairesel-20 (D=0.285) dönel engeli, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	86,90	25,10	61,80	29,42	103,43	88,19	1,10
1,1	5638,29	83,40	25,70	57,70	31,51	111,19	97,92	1,14
1,8	9226,29	74,90	25,00	49,90	36,44	130,14	108,70	1,20
2,55	13070,57	67,90	25,50	42,40	42,88	154,49	128,50	1,20
Dairesel-30 (D=0.428) dönel engeli, X=2.142 Y=0.714 (9.konum) N=900 d/dk								
u	Re	Ty	T ₀	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nu ₀	Nu/Nu ₀
0,55	2819,14	83,70	18,00	65,70	27,67	98,61	88,19	1,12
1,1	5638,29	68,60	18,00	50,60	35,93	130,63	97,92	1,19
1,8	9226,29	69,10	18,00	51,10	35,58	129,27	108,70	1,19
2,55	13070,57	59,00	16,50	42,50	42,78	157,89	128,50	1,33

Tablo 3.7’de elde edilen verilere bağlı olarak çizilen Şekil 3.31 – 3.39 aralığındaki grafiklerde üç farklı boyuttaki ($D= 0.142; 0.285; 0.428$) dönele dairesel kesitli engellerin 9 farklı konumda ve iki farklı devirde ($N= 600$ ve 900 devir/dakika’da) döndürülmesinin ısı transferi üzerine etkisi görülmektedir. Tüm konumlarda ve her bir engel büyüklüğü için genel olarak bakıldığında devir sayısının etkisi görülmektedir. Yine engel büyüklüğü arttıkça ısı transferi iyileşmektedir. Dönen silindirin engel için en iyi konumu dönen karede olduğu gibi $X= 0.714$ $Y= 0.535$ (4.konum) konumunda elde edilmiştir. Bu konumda $D= 0.428$ büyüklüğündeki engelin $N= 900$ d/dk’da döndürülmesi ile yaklaşık en yüksek Re değerinde % 158’lik bir artış elde edilmiştir.



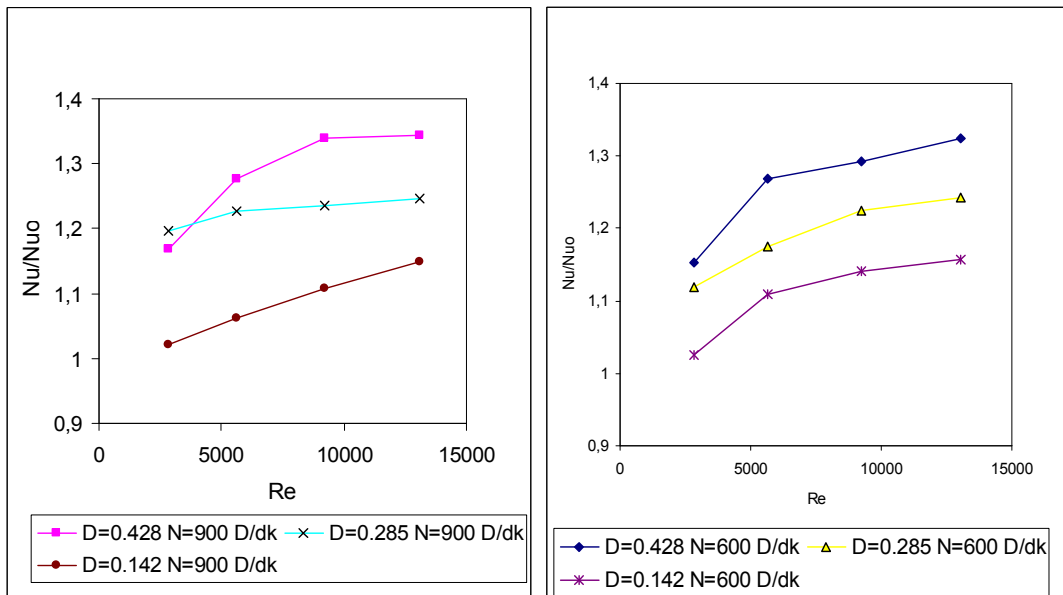
Şekil 3.31. $X=0.714$, $Y= 0.357$ (1. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N= 900$ d/dk, (b) $N= 600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



(a)

(b)

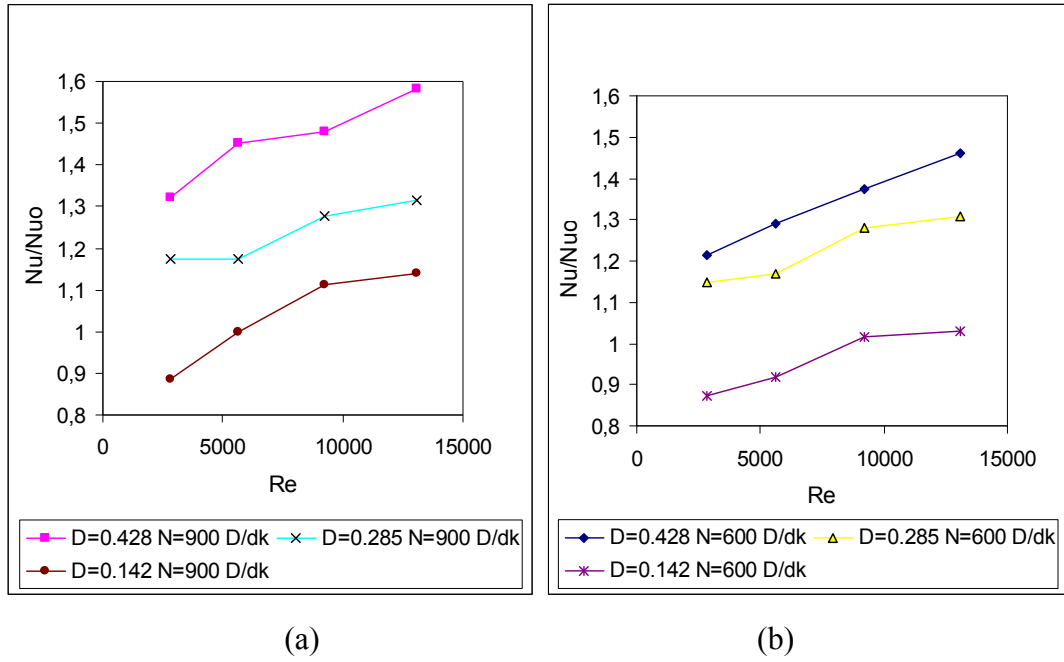
Şekil 3.32. $X=1.428$, $Y=0.357$ (2. konum) konumu için döneel dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



(a)

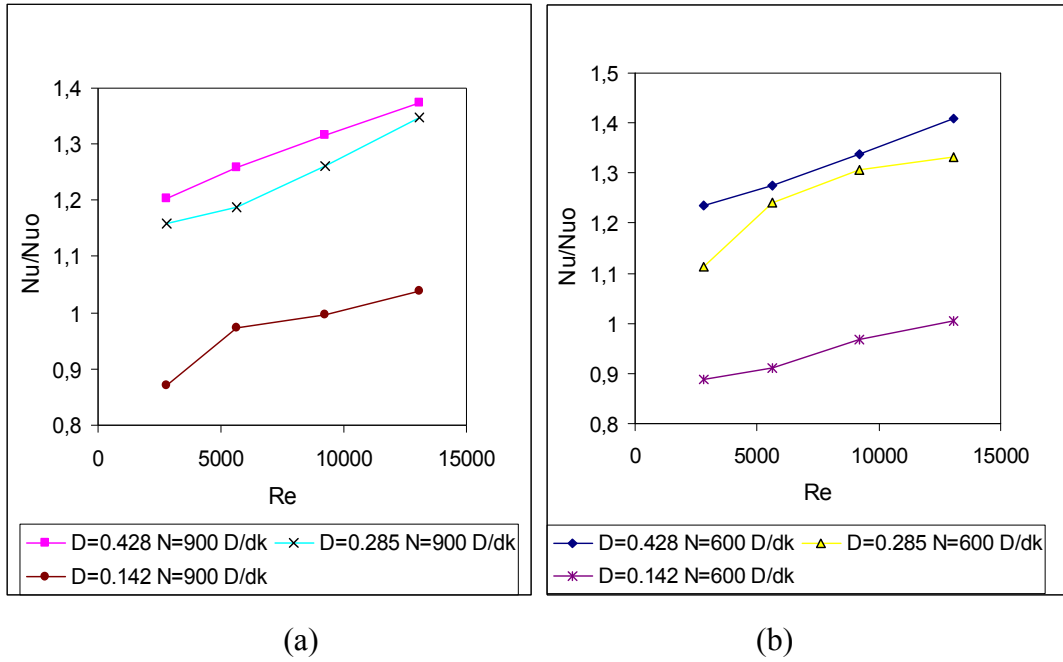
(b)

Şekil 3.33 $X=2.142$, $Y=0.357$ (3. konum) konumu için döneel dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

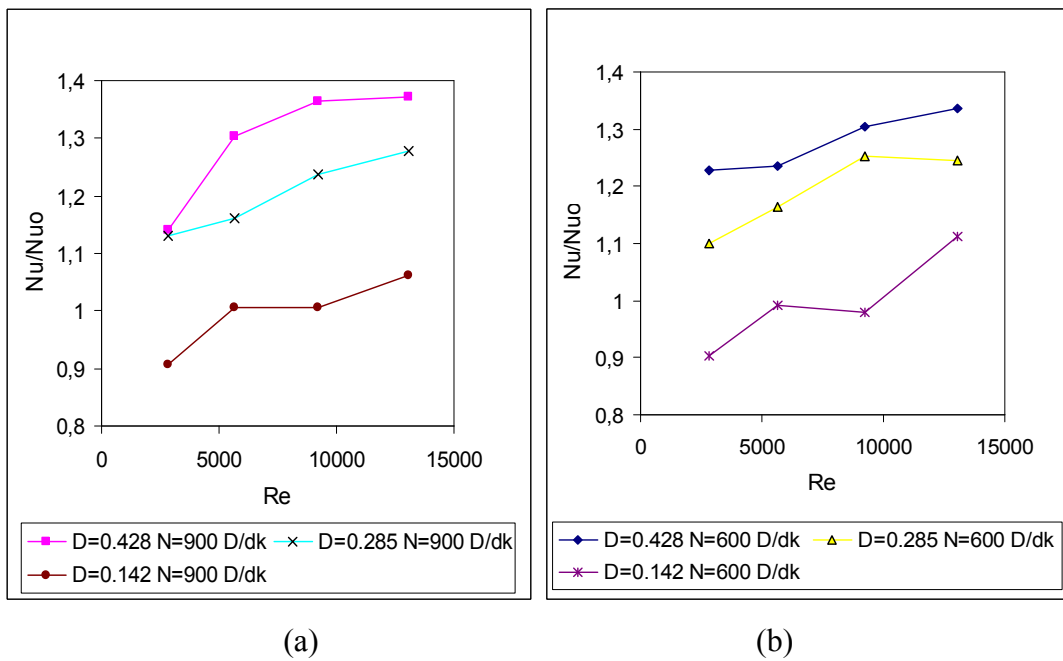


Şekil 3.34. $X=0.714$, $Y=0.535$ (4. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

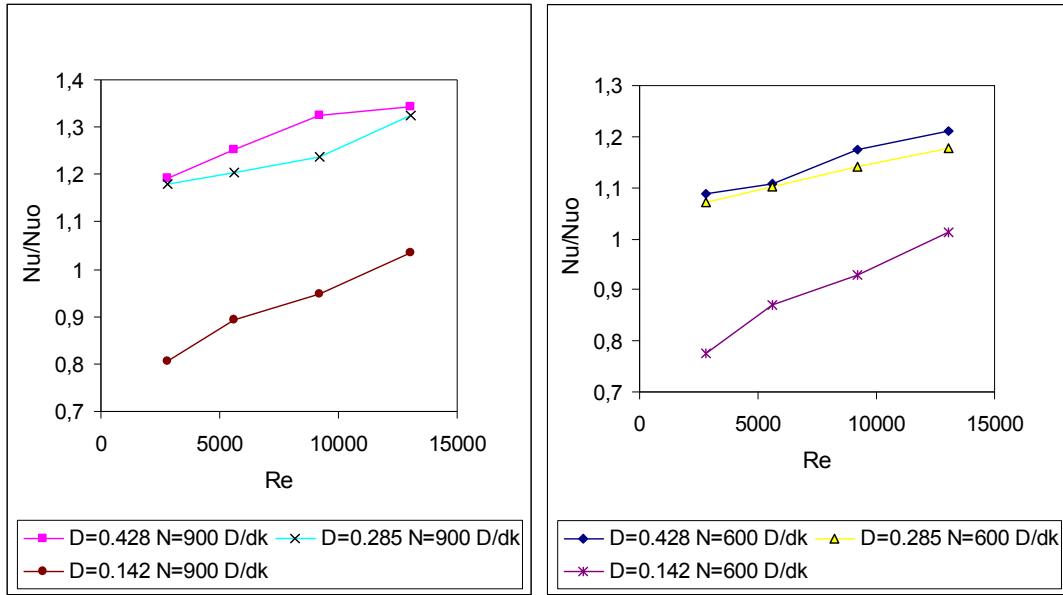
Silindirik engelin döndürülmesi ile kare kesitli engele nazaran ısı transferinde daha düşük bir iyileşmeye sebep olmuştur. En düşük kesitli silindirik engelin ($D=0.142$) döndürülmesi ile yapılan deneylerde özellikle $Y=0.714$ olduğu tüm üç konumda da ısı transferinde iyileştirmeden ziyade bir azalmaya sebep olmaktadır. Zira bu konumlarda $Re < 10000$ için $Nu/Nu_0 < 1$ olduğu görülmektedir. Şekil 3.37 – 3.39 aralığındaki grafiklerde bu durum açıkça görülmektedir. Dönen silindirik engel boyutu arttıkça ısı transferinde de bir artış görülmektedir. Ancak silindirik engelin boyutunun etkisinin kare kesitliye nazaran daha az olduğu görülmektedir. Devrin ($N=600 - 900$ d/dk) etkisi de ihmal edilebilecek kadar azdır.



Şekil 3.35. $X=1.428$, $Y=0.535$ (5. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



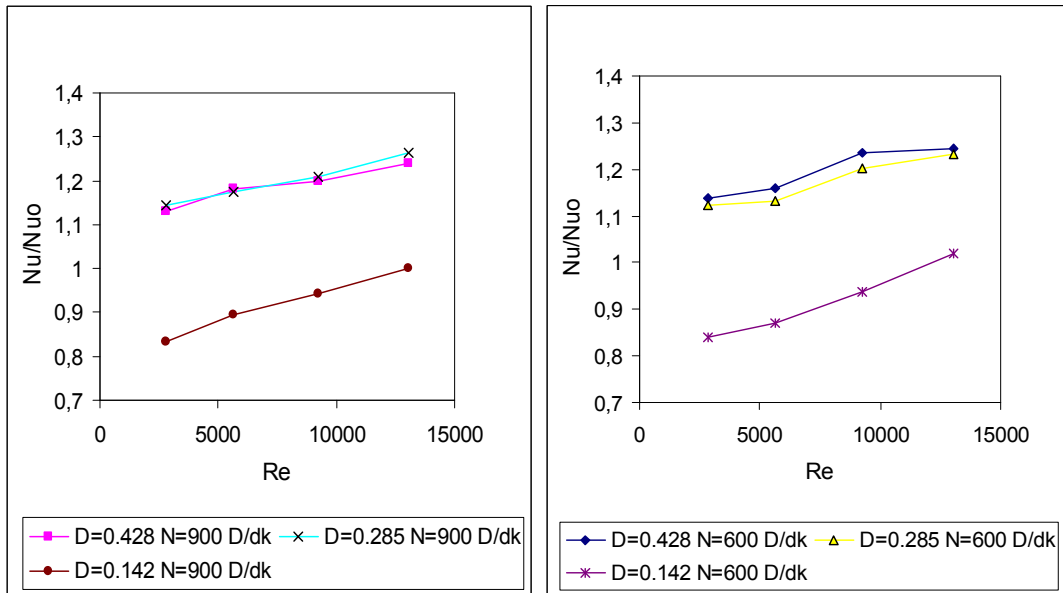
Şekil 3.36. $X=2.142$, $Y=0.535$ (6. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



(a)

(b)

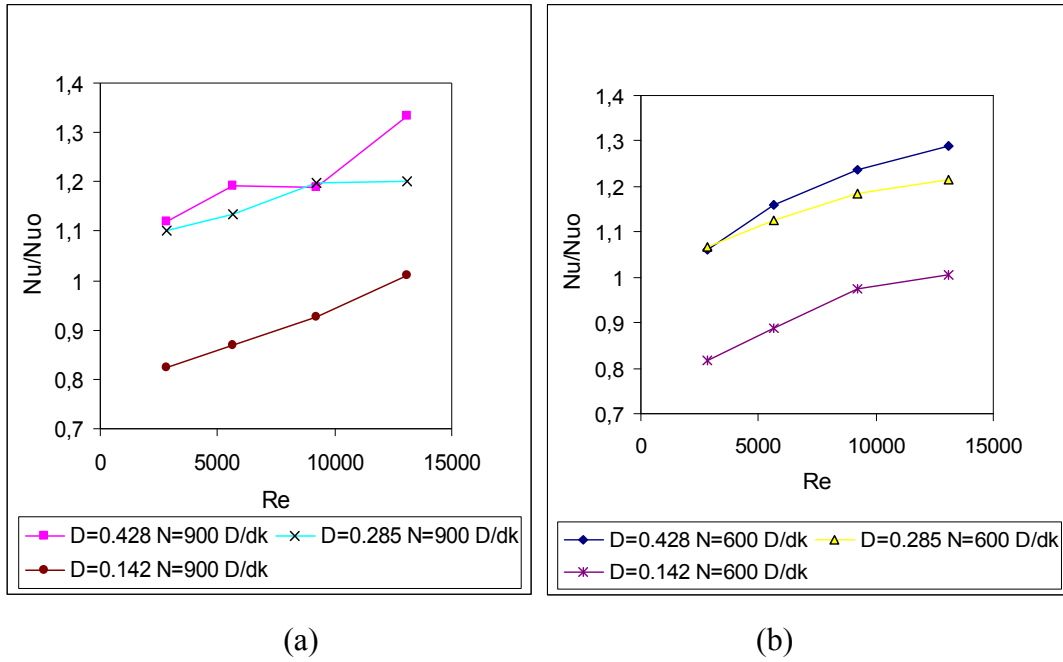
Şekil 3.37. $X=0.714$, $Y=0.714$ (7. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



(a)

(b)

Şekil 3.38. $X=1.428$, $Y=0.714$ (8. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması



Şekil 3.39. $X=2.142$, $Y=0.714$ (9. konum) konumu için dönele dairesel kesitli engellerde farklı iki dönme devrinin (a) $N=900$ d/dk, (b) $N=600$ d/dk ısı transferine etkisinin karşılaştırılması

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düşük Reynolds sayılarında engelden belirli bir uzaklıkta düşük Nusselt sayılarının elde edilmesi, deney elemanının engel arkasındaki ayrılmış akış bölgesinde kalmasıyla izah edilebilir. Yüksek Reynolds sayılarında ise engel üzerinde ayrılma noktasının arkaya doğru kayması ve ayrılma bölgesindeki çalkantılı akışın ısıtıcının ön yüzeyinde etkili olması nedeniyle engelin hemen arkasında ısı transferinin yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Engel ve ısıtıcı arasındaki mesafenin artması ile bu etki azalacağından Nusselt sayısında bir düşüş beklenmesi normaldir.

Deneylelerden elde edilen veriler, engel arkasındaki akışın gerçekte çok karmaşık olduğunu ve bu akışın fiziksel yapısının ancak detaylı bir akış gözleme deneyi ile aydınlatılması gerektiğini göstermektedir.

Deneylelerden, bir engel arkasındaki ısıtıcı elemandan taşınım ile ısı transferinin engel geometrisi, boyutu, ısıtıcıdan olan açıklığı, sabit veya dönel olması ve Reynolds sayısı ile büyük oranda değiştiği belirlenmiştir. Küçük Reynolds sayılarında ısı transferinde küçük farklılıklar görülürken Reynolds sayısı büyüdükçe ısı transferi iyileşmektedir. Çalışmada yapılan ölçümlere bağlı olarak deney elemanı için hesaplanan Nu/Nu_0 oranının engelden belirli bir uzaklıkta ve otimum durumda bir maksimuma eriştiği belirlenmiştir. Maksimum Nusselt sayısının elde edildiği mesafe ve maksimum değerin ise Reynolds sayısı, engel boyutu ve şekli, engelin sabit veya dönel olmasına ve dönme devrine bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.1’de bu çalışmada ısı transferinde elde edilen en yüksek değerler ve maksimum iyileşme sağlayan optimum parametreler görülmektedir.

Tablo 4.1. Isı transferinde elde edilen maksimum değerler ve bunu sağlayan optimum parametreler

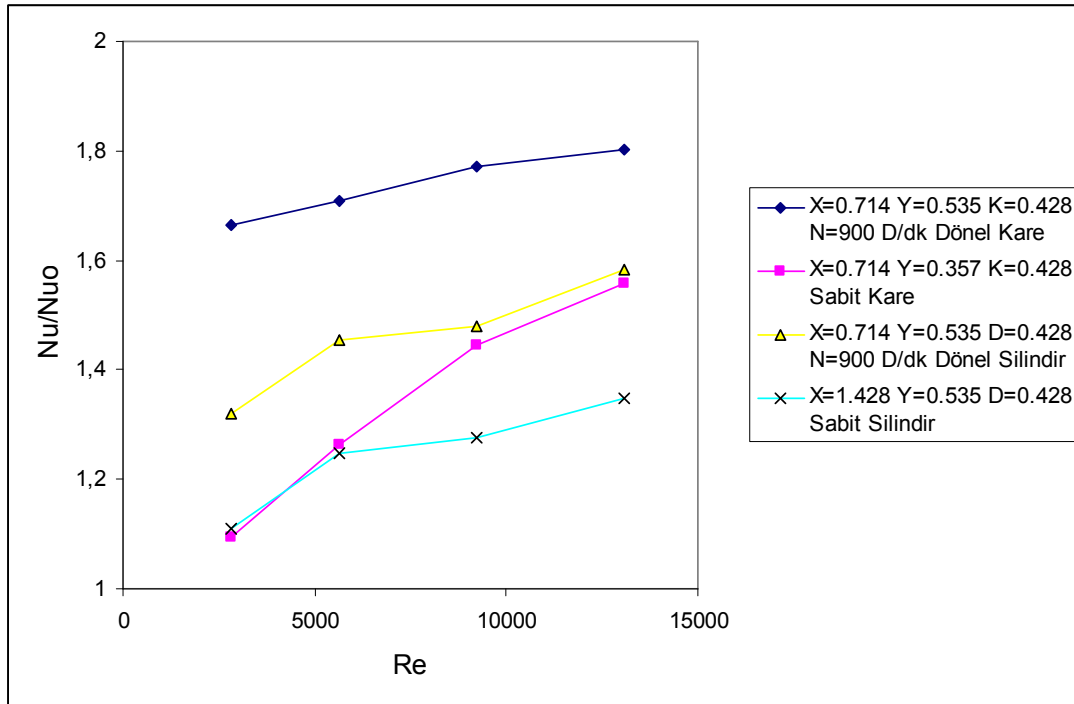
K=0.428 (Kare-30) dönel kare engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) konumu, N=900 d/dk								
u	Re	Ty	Tg	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	64,70	19,50	45,20	40,23	146,71	88,19	1,66
1,10	5638,29	60,70	20,90	39,80	45,68	167,21	97,92	1,71
1,80	9226,29	54,00	19,00	35,00	51,95	192,38	108,70	1,77
2,55	13070,57	46,90	17,50	29,40	61,84	231,75	128,50	1,80

K=0.428 (Kare-30) dönel olmayan (sabit) kare engeli, X=0.714 Y=0.357 (1.konum) konumu								
u	Re	Ty	Tort	$\Delta T = T_y - T_o$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	84,20	17,00	67,20	27,06	96,47	88,19	1,09
1,10	5638,29	70,30	16,85	53,45	34,02	123,58	97,92	1,26
1,80	9226,29	58,90	16,20	42,70	42,58	157,24	108,70	1,45
2,55	13070,57	49,80	15,80	34,00	53,48	200,07	128,50	1,56

D=0.428 (Dairesel-30) dönel silindirik engeli, X=0.714 Y=0.535 (4.konum) konumu, N=900 d/dk								
u	Re	Ty	Tg	$\Delta T = T_y - T_g$	h	Nu	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	75,20	19,00	56,20	32,35	116,43	88,19	1,32
1,10	5638,29	60,20	17,00	43,20	42,09	154,97	97,92	1,45
1,80	9226,29	57,40	15,50	41,90	43,39	160,72	108,70	1,48
2,55	13070,57	53,20	17,00	36,20	50,23	186,72	128,50	1,58

D=0.428 (Dairesel-30) dönel olmayan silindirik (sabit) engeli, X=1.428 Y=0.535 (5.konum) konumu				
U (m/s)	Re	Ty	Nuo	Nu/Nuo
0,55	2819,14	89,20	90,88	1,11
1,10	5638,29	77,30	99,68	1,25
1,80	9226,29	70,80	111,73	1,27
2,55	13070,57	63,50	126,33	1,35

Tablo 4.1’de elde edilen verilere göre çizilen Şekil 4.1 grafiğinde, bu çalışmada ısı transferinde maksimum iyileşmeyi sağlayan optimum parametreler görülmektedir.



Şekil 4.1. Isı transferinde maksimum iyileşmeyi sağlayan optimum parametreler

Bu grafikten aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılabılır;

1. Tüm konumlarda gerek kare gerekse dairesel kesitli sabit engelin her üç boyutu içinde ısı transferinde bir iyileşme sağlanmıştır.
2. Kare kesitli sabit (dönel olmayan) engel ile elde edilen Nusselt değerleri dairesel kesitli (silindirik) sabit engele nazaran daha yüksektir.
3. Kare kesitli dönel engel ile ısı transferinde elde edilen iyileşme silindirik kesitli dönel engele nazaran daha yüksektir.
4. Engel büyüklüğü arttıkça ısı transferi artmaktadır.
5. Aynı konum ve Reynolds değerleri için aynı büyüklükteki kare ve silindirik kesitli engellerin döndürülmesi ile yapılan deneylerde sabitlere nazaran daha yüksek Nusselt sayıları elde edilmiştir.

6. Maksimum iyileşme $N= 900$ devir/dakika devirde $D= 0.428$ boyutsuz büyüklüğüne sahip kare kesitli engelin $X= 0.714$ $Y= 0.535$ konumunda döndürülmesi ile elde edilmiştir. Bu durumda yaklaşık % 180 gibi bir iyileşme sağlanmıştır.

7. Dönen engeller ile yapılan deneylerde $D= 0.142$ en küçük kesitli dönel engel ile yaklaşık $Re < 9000$ değerlerinde tüm konumlarda $Nu/Nu_0 < 1$ olduğu görülmekte yani bu durumda engel yerleştirme ısı transferinde bir iyileştirme metodu olmaktan çıkmakta aksine ısı transferini kötüleştirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] GÜL, H., EVİN, D., TANYILDIZI, V., “Kanal İçerisine Yerleştirilen Kare Kesitli Engelin Isı Transferine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, sayı 3, 2006; 65-73.
- [2] DALOĞLU, A., ÜNAL, A., “Engel Arkasındaki bir Silindirden Isı Transferinin İncelenmesi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 11, 1997; 903-912
- [3] YOUNG, T.J., VAFAİ, K., “Experimental and numerical investigation of forced convective characteristics of array of channel mounted obstacles”, ASME J. Heat transfer. 121,1999; 34-42.
- [4] WANG, Y., VAFAİ, K., “Heat transfer and pressure loss cracterization in a channel with discrete flush-mounted and protruding heat sources”, Experimental heat transfer, 12,1999; 1-16.
- [5] JUBRAN, B., A., AL-SALAYMEH, A., S., “Thermal Wakes Measurement İn Electronic Modules İn The Presence Of Heat Transfer Enhancement Devices”, Appl. Thermal Engrg, 19,1999; 1081-1096.
- [6] MEİNDERS, E.,R., HANJALİC, K., “Experimental Heat Transfer From İn-Line And Staggered Configuration Of To Wall-Mounted Cubes”, Internat. J. Heat Mass Transfer, 45,2002; 465-482.
- [7] TROPEA, C., D., GACKSTATER, R., “The Flow Over To Dimensional Surface-Mounted Obstacles At Low Reynolds numbers”, J. Fluid engrg, 107,1985; 489-494.
- [8] DAVALATH, J., BAYAZİTOĞLU, Y., “Forced Convection Cooling Across Rectangular Blocks”, J. Heat transfer, 1987; 109, 321-328.
- [9] PERNG, H., W., Wu., S., W.,” Effect Of An Oblique Plate On The Heat Transfer Enhancement Of Mixed Convection Over Heated Blocks İn Horizontal Channel”, Internat. J. Heat And Mass Transfer, 42, 1999; 1217-1235.
- [10] SULTAN, G., I.,”Enhancing Forced Convection Heat Transfer From Multiple Protruding Heat Sources Simulating Electronic Components İn

Horizontal Channel By Passive Cooling” Micro Electronics J, 31,2000; 773-779.

- [11] LEUNG, C., W., CİHAN, T., L., Robert, S., D., Kang, H., J., “Forced Convection From A Horizontal Ribbed Rectangular Base Plate Penetrated By Arrays Of Holes”, Appl. Energy, 62,1999; 81-95.
- [12] JUBRAN, B., A., SWIETY, S., A., HANDAN, M., A., “Convective Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Various Array configurations to Simulate The Cooling of electronic modules”, Internat. J. Heat Mass Transfer, 39, 1996; 3519-3529.
- [13] MİTTAL, S., “Control Of Flow Past Bluft Bodies Using Rotating Control Cylinders”, Journal of Fluids And Structures, sayı 15, 2001; 291-326.
- [14] INCROPERA, F., P., DEWİTT, D.,P., “Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri” Çevirenler; Derbentli, T., Genceli, O., Güngör, A., Hepbaşlı, A., İlken, Z., Özbalta, N., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C., Uralcan, Y., 4. Basım, 2006; 492

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan Kıvılcım, 22.05.1978'de Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1997 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü kazandı ve 1. sınıfı burada okuduktan sonra Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaparak buradan 10.06.2002 tarihinde mezun oldu. 2003-2004 eğitim-öğretim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Enerji dalında Yüksek Lisans eğitimi yapmaya hak kazandı. Halen Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir..