



**BORULARDA TÛRBÛLANS LI AKIŞTA  
DİRSEKLERİN  
ISI TRANSFERİNE ETKİLERİ**

**Ş. Ulaş ATMACA**

**YÛKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA ANABİLİM DALI**

**KONYA 2003**

T.C  
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BORULARDA TÜRBÜLANSLI AKIŞTA DİRSEKLERİN  
ISI TRANSFERİNE ETKİLERİ**

Ş. Ulaş ATMACA

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA ANABİLİM DALI

136/161  
T.C. YERLEŞTİRME KURULU  
KORDONASYON KURULU

T.C  
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

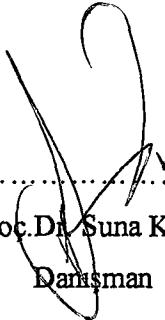
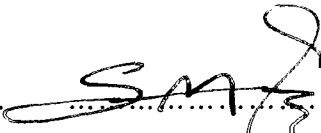
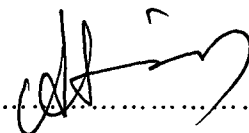
134161

**BORULARDA TÜRBÜLANSLI AKIŞTA DİRSEKLERİN  
ISI TRANSFERİNE ETKİLERİ**

Ş. Ulaş ATMACA

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA ANABİLİM DALI

Bu tez 11.08.2003 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Yrd.Doç.Dr. Suna KARGICI Danışman  
  
Prof.Dr. Şefik BİLİR Üye  
  
Yrd.Doç.Dr. Ali ATEŞ Üye

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BORULARDA TÜRBÜLANSLI AKIŞTA DİRSEKLERİN ISI TRANSFERİNE ETKİLERİ

Ş. Ulaş ATMACA  
Selçuk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Suna KARGICI

2003, 123 Sayfa

Jüri: Yrd.Doç.Dr. Suna KARGICI

Prof.Dr. Şefik BİLİR

Yrd.Doç.Dr Ali ATEŞ

Bu çalışmada, cidarları direnç olarak kullanılarak ısıtılan bir boruda, sabit yüzey ısı akısı sınır şartında ve türbülanslı hava akışında girişe yerleştirilen çeşitli açıda dirseklerin ısı transferine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Alt akış tarafında, ayrılma, yeniden tutunma ve yeniden gelişme bölgelerindeki yerel ısı transferi karakteristikleri belirlenerek, düz girişli boru deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Deneyler, altı farklı dirsek açısında ve Reynolds sayısının 5000-25000 değerleri arasında yapılmıştır. Sonuçlar, Nusselt sayısının, aksenal ve çevresel dağılımının dirsek açısına ve Reynolds sayısına bağlı olduğunu ve düz girişli boru değerlerine göre daha büyük olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** dirsekli, borularda türbülanslı ısı transferi, akış ayrılması

**ABSTRACT**  
**Master Thesis**

**THE EFFECTS OF ELBOWS ON TURBULENT  
HEAT TRANSFER IN PIPES**

**Ş. Ulaş ATMACA**

**Selçuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Assist.Prof.Dr. Suna KARGICI**

**2003, 123 Pages**

**Jury: Assist.Prof.Dr. Suna KARGICI**

**Prof.Dr. Şefik BİLİR**

**Assist.Prof.Dr. Ali ATEŞ**

The effects of elbows on heat transfer with turbulent air flow in pipes under constant wall flux boundary condition was investigated experimentally. The pipe was heated electrically using its wall as resistance, and the elbows, which are at various angle, attached at the entrance of the heated section. Downstream of the element, local heat transfer characteristics were calculated in separation, reattachment and redevelopment regions and compared with the results of flow with straight entrance.

Experiments were performed at six elbow angle with Reynolds number range from 5000 to 25000. The results show that both axial and circumferential distribution of Nusselt number is related with angle of elbow and Reynolds number. And values of Nusselt number are greater than the values of straight entrance

**Key words:** elbows, turbulent heat transfer in pipes, flow separation

## ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında hiçbir yardımlarını esirgemeyen her türlü problemimi titizlikle ele alan, değerli Hocam Yrd.Doç.Dr. Suna KARGICI'ya, benim ve çalışmamın üzerinde emeği büyük, değerli Hocam Prof.Dr. Şefik BİLİR'e ve Öğr.Gör. Osman Sami GÜVEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz 2003

Ş. Ulaş ATMACA  
Makine Müh.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No.

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOLLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE METOT	5
3.1 Taşınım	5
3.2 Gelişme Bölgesi ve Tam Gelişmiş Akış	5
3.3 Akış Ayrılması ve Yeniden Tutunma	9
3.4 DeneY Düzenegİ	13
3.4.1. DeneYlerin yapılışı	16
3.4.1.1 Isıl çift kalibrasyonu	17
3.5 Hesaplamalar	18
3.5.1 Hesaplama örneğİ	24
3.5.2 Belirsizlik analizi	28
4. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLARI	34
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	65
6. KAYNAKLAR	66
7. EKLER	72

## SEMBOLLER

		Birimler
A	alan	$m^2$
C	ventüri katsayısı	-
$C_p$	sabit basınçta özgül ısı	J/kgK
D	çap	m
h	ısı taşınım katsayısı	$W/m^2K$
I	elektrik akımı	A
k	ısı iletkenlik katsayısı	$W/mK$
K	faktör (denklemler 11)	-
L	boru uzunluğu	m
Nu	Nusselt sayısı	-
P	ısıtıcı gücü	W
Pr	Prandtl sayısı	-
q	ısı akısı	$W/m^2$
Q	ısı transferi	W
$\dot{q}$	iç ısı üretimi	$W/m^3$
r	radyal koordinat	m
R	elektrik direnci	$\Omega$
Re	Reynolds sayısı	-
T	sıcaklık	$^{\circ}C$
U	akış hızı	m/s
V	voltaj	V
$\dot{V}$	hacimsel debi	$m^3/s$
w	belirsizlik	-
x	eksenel koordinat	m
$\rho$	Yoğunluk	$kg/m^3$
$\nu$	kinematik viskozite	$m^2/s$
$\Delta h$	manometre kolları arasındaki seviye farkı	mmSS
$\theta$	açısal konum	$^{\circ}$
$\mu$	dinamik viskozite	kg/ms
$\varphi$	dirsek dönüş açısı	$^{\circ}$



## Alt indisler

b	yığık
f	akışkan
fd	tam gelişmiş
i	boru iç yüzeyinde
o	boru dış yüzeyinde
m	ortalama
t	toplam
w	boru cidarında
x	x aksenal konumunda
$\infty$	ortam
1	giriş
2	çıkış

## Üst indisler

'	yalıtım dış yüzeyinde
-	çevresel ortalama

## 1.GİRİŞ

Boru ve kanal içi akışlarda türbölanslı ısı transferi, yıllardan beri bu alanda yapılan bilimsel araştırmaların konusunu oluşturmaktadır. Henüz türbölans tam olarak anlaşılmamış olmasına rağmen, çeşitli iç akış türleri için ısı transferi karakteristikleri belirlenmiştir. Boru ve kanalların dış kısımlarında yapılan çeşitli düzenlemeler ile akış ayrılması hakkında yapılmış çok sayıda araştırma literatürde mevcuttur. Ancak iç akış konusu üzerinde yapılan araştırma sayısı oldukça azdır.

Boru ve kanallarda, keskin giriş ve dönüşler, ani genişleme veya daralma ve hızlı genişleme halinde görölen akış ayrılması, yüzeye tutturulmuş yönlendirici levhalar, vanalar, orifisler, türbölátörler ve karıştırıcılar gibi çeşitli uygulamalarda da görölür. Akış ayrılması, özellikle ayrılma ve yeniden tutunma bölgelerinde meydana gelen çalkantılar, girdaplar ve ilave türbölans nedeniyle ısı transferini önemli ölçüde arttırır.

Isı değiştiricilerinin çoğunda görölen dirsekli dönüşler sonrası ısı transferi karakteristikleri bu çalışmada deneysel olarak incelenmiştir. Cidarları direnç olarak kullanılarak elektrik ile ısıtılan bir boruda, sabit yüzey ısı akısı sınır şartı altında, ısıtılan bölge girişine yerleştirilen çeşitli açılardaki dirseklerden sonra alt akış tarafındaki ayrılma, tutunma ve yeniden gelişme bölgeleri için ısı transferi karakteristikleri belirlenmiştir. Deneyler 5000-25000 arası Reynolds sayıları ile 30°, 60°, 90°, 120° 150° ve 180° dirsek dönüşlerinde tekrarlanmıştır. Ayrıca düz girişli boru için de sonuçlar elde edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar Nusselt sayısının hem aksenel hem de çevresel dağılımı şeklinde verilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

WESKE(1948), çalışmasında yüksek Reynolds sayılı akışların eğri kanaldaki akışlarını sınır tabaka teorisi ile incelemiştir. Çözümler sonucunda kanallarda basınç düşmesinin radyüs oranı ve Reynolds sayısı ile ilişkisini belirlemiştir.

PIGOTT(1957), dirseklerin ve bağlantı elemanlarının basınca etkisini incelemiştir.

ITO (1960), çalışmasında dairesel kesitli bir boruda türbülanslı akışta basınç kaybını incelemiştir. Ayrıca çalışmasında yardımcı olması bakımından önceki çalışmalarla ve ampirik formüllerle kıyaslamalar yapmıştır.

EDE (1966), çalışmasında 180° dirsekleri ele almış ve içinden su geçen 180° dirseklerin yerel ısı transferi katsayısına etkilerini araştırmıştır. Çalışmasında, çeşitli dirsek radyüs oranları ve çeşitli Reynolds sayıları parametrelerine göre yerel ısı transferi katsayılarını incelemiştir. Boru içinden geçen akışın laminer ve geçiş bölgesinde olmasına göre boru sıcaklığı veya yerel ısı transferi katsayısını ele almıştır ve uygulayıcılar için çok kullanışlı sonuçlar elde etmiştir. Bunları da bir dizayn tablosu halinde vermiştir.

YAO ve LIAO (1974), çalışmalarında türbülanslı akışta ısı transferi ve cidar sıcaklığı dağılımını dikdörtgen kesitli ve U-dönüştü kanalda deneysel olarak incelemiştir. Akışkan olarak hava kullanmışlar ve Reynolds sayısını 700 ile 26500 arasında değiştirerek cidarda Nusselt sayısı değişimlerini incelemiştir.

YAO ve BERGER (1974), çalışmalarında boruda eğri bölgeye doğru akışta ayrılmayı ele almıştır.

HUMPHREY, TAYLOR ve WHITELOW (1977), kare kesitli bir kanalda akışkan olarak su kullanmışlar ve kanalın ani olarak 90° dönüş yapmasıyla hız bileşenlerini deneysel olarak incelemiştir. Reynolds sayısını 790 almışlar ve ikincil akışların yığılma ekseni hızının %65 kadar üstüne çıktığını belirlemiştir.

AGRAVAL, TALBOT ve GONG (1977), laminer sıkıştırılmaz Newtonien bir akışın kanal girişindeki kısmını deneysel olarak incelemişlerdir. Yao ve Berger (1974)'in çalışmalarıyla karşılaştırmalar yapmışlardır.

ZAPRYANOV, CHRISTOV ve TOSHEV (1979), çalışmalarında viskoz, sıkıştırılmaz, tam gelişmiş kararlı bir akışı incelemişlerdir. Sayısal çözümler sonucunda elde ettikleri sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu çıktığını görmüşlerdir.

MULLIN, GREATED (1979), çalışmalarında  $180^\circ$  eğri bir kanalın çeşitli konumlarında laser-anemometre ile hız profillerini elde etmişlerdir.

HUMPHREY, WHITELOW ve YEE (1980), kare kesitli, sıkıştırılmaz, gelişmiş akışta eğriliğin etkisini ele almışlardır. İkincil akış ortalama hızı ortalama hızının %28'ine ulaştığını bulmuşlardır.

TAYLOR, WHITELOW ve YANNESKIS (1982), çalışmalarında kare kesitli  $90^\circ$  dirsekte Reynolds sayısı 790 ile 40000 arasında değişirken Laser-Doppler ile hız dağılımını incelemişlerdir.

KOMIYAMA, OKUI (1984), dikdörtgen kesitli bir kanalda kanal oranı 0.8'den 5'e Reynolds sayısı da 100'den 3600'e kadar değişirken birlikte hidrodinamik ve ısı gelişmeyi sayısal olarak çözümlenmişlerdir. Hesaplamalar sonucunda Dean sayısı arttıkça kanalda ikincil akışların oluştuğu ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısının ve Nusselt sayısının arttığını bulmuşlardır.

YAO (1984), çalışmasında yatay eğri bir kanalda küçük bir bölgeyi ele almıştır. Çözüm, kaldırma ve santrifüj kuvvetlerin gelişen akış ile nasıl değiştiği hakkında bilgi vermektedir.

HUMPHREY, IACOVIDES ve LAUNDER (1984), çalışmalarında dairesel kesitli bir kanalda gelişmekte olan akış için Navier-Stokes denklemlerini sayısal olarak çözümlenmişlerdir.

METZGER ve LARSON (1986), çalışmalarında dikdörtgen kesitli bir kanalın  $90^\circ$  dönüşü sonucu oluşan ısı transferinin belirlenmesi için faz değişimi yöntemini kullanarak çözümler yapmışlardır.

AZZOLA, HUMPHREY, IACOVIDES ve LAUNDER (1986),  $180^\circ$  dönüş sonrası dirsekte ve dirsek sonrası aksel ve çevresel hız bileşenlerini Laser-Doppler ölçümüyle belirlemişlerdir.

BAUGHN, IACOVIDES, JACKSON, ve LAUNDER (1987), çalışmalarında türbülanslı hava akışında taşınım ile ısı transferini U-dirsekte deneysel olarak incelemişlerdir. Deneplerinde Reynolds sayısını  $2 \times 10^4$  ile  $1,1 \times 10^5$  arasında değiştirmişler ve yerel ısı transferi katsayısını 6 ayrı noktada 5 çevresel hızda ölçmüşlerdir. Bu çalışmada önceki çalışmalar ile kıyaslamalar yapılmış ve sonuçların çok uygun olduğu belirlenmiştir. Bir önemli nokta da dirsekten sonra Nusselt sayısındaki düzensizliğin 6 çap sonrasında kadar devam ettiğini bulmuşlardır.

CHENG ve YUEN (1987), izotermal olarak ısıtılan yatay bir boruda  $180^\circ$  dirsek sonrası akışın fotoğraflarını çekmişlerdir. Dean sayısını 99'dan 384'e kadar değiştirerek ikincil akışlar ile Dean sayısı arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir.

CHENG ve YUEN (1987), bu çalışmalarında ise  $180^\circ$  dirsek sonrası ikincil akışları ele almışlar. Çalışmalarında dirseği yatay, aşağı yönlü ve yukarı yönlü olmak üzere üç konumda yerleştirmişler ve akışı duman kullanarak gözlemişlerdir. Bu çalışmalarında önceki çalışmalarda bulunan bağıntıların gerçeğe ne kadar yaklaştığını da göstermişlerdir.

POULSON, ROBINSON (1987),  $180^\circ$  dirsekte kütle transferini ele almışlardır. Çeşitli maksimumların oluştuğu dirsek açısı ve konumlarını belirlemişlerdir.

CHOI ANAND (1994), çalışmalarında ısı değiştiricilerinde karşılaşılan peşe peşe iki dik açılı dönüşün ısı transferine etkisini sayısal olarak çözümlenmeye çalışmışlardır. Türbülanslı akış için standart k-ε modelini kullanmışlar ve sonucunda ısı transferi ve sürtünme faktörünün maksimum değerlerini bulmuşlardır.

GOERING, HUMPHREY, GRIEF (1996), çalışmalarında tam gelişmiş laminer bir akışın eğri bir kanalda durumunu sayısal olarak çözümlenmişlerdir. Sonuçta akışın sıcaklık dağılımının yanında ısı transferi ve basınç kaybı verileri de verilmiştir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Taşınım

Taşınım ile ısı transferinde ısı bir yüzeyden hareket halindeki bir akışkana transfer edildiğinden, ısı transferi işlemi akışkan içerisindeki ısı iletimi mekanizmasına ek olarak enerjinin hareket halindeki akışkan tarafından taşınmasını içerir. Akışkan hareket etmiyorsa taşınım ile ısı transferi, iletimle ısı transferiyle aynıdır. Taşınım ile ısı transferinde amaç, yüzeyden hareket halindeki akışkana ısı akısını hesaplamaktır.[H. Yüncü, S. Kakaç 1999]

Taşınım temel olarak iki sınıfa ayrılabilir. Bunlardan ilki; ısı geçiş bölgesine uzak bir yere yerleştirilen fan veya pompa ile akışkanın hareketlendirildiği zorlanmış taşınımdır. İkincisi ise akışkanın yoğunluk farklılığından hareket etmesiyle oluşan doğal taşınımdır.

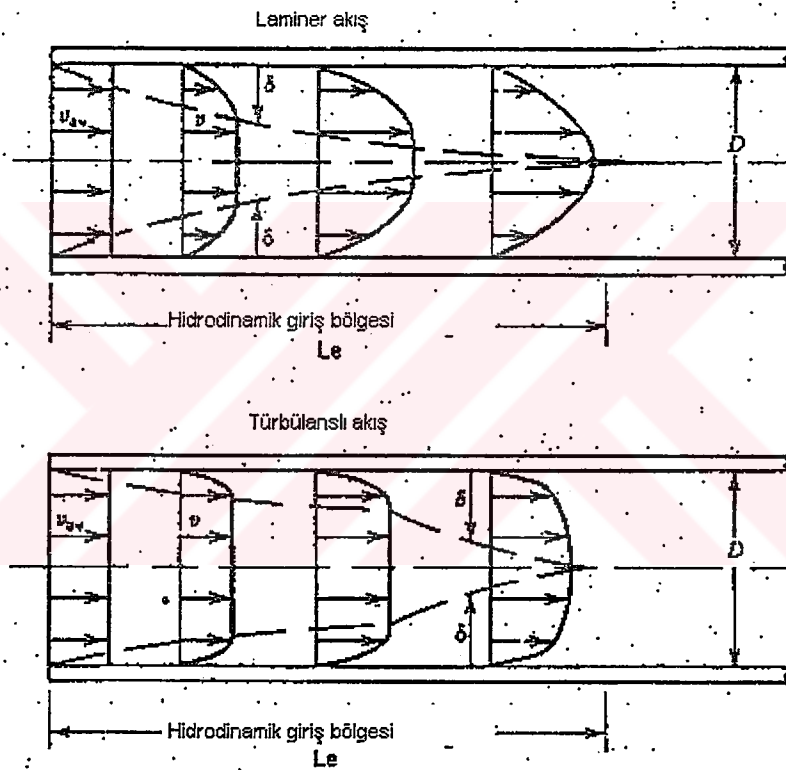
Taşınım da bir başka sınıflandırma, akışın iç akış veya dış akış olmasına göre yapılır. İç akışta akışkan, -boru akışında olduğu gibi- her yönden katı sınırlarla sınırlanmıştır. Dış akışta ise akışkan en az bir yönden sınırlanmıştır. Diğer yönler açıktır. Bu akışa en iyi örnek uçak kanatları üzerinden havanın akışıdır.

Bu iki sınıflandırma da birbirinden bağımsızdır.[Burneister 1993]

#### 3.2 Gelişme Bölgesi ve Tam Gelişmiş Akış

Dairesel borulardaki akışta, akışkan yüzeye temas ettiğinde, sürtünme etkilerinin önem kazandığı ve boru içinde ilerledikçe sınır tabakanın geliştiği bilinmektedir. Bu gelişme sürtünmesiz akış bölgesinin giderek küçülmesi ve boru

ekseninde sınır tabakanın birleşmesiyle sona erer. Bu birleşme noktasından sonra, sürtünme tüm kesit boyunca etkili olur ve hız profili artık aksel konum ile değişmez. Bu noktadan sonra akış “tam gelişmiştir”. Girişten bu noktanın gerçekleştiği noktaya kadar olan uzaklık “hidrodinamik giriş uzunluğu”, olarak tanımlanır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi tam gelişmiş hız profili dairesel boru içerisindeki laminar akış için paraboliktir. Türbülanslı akış için radyal doğrultuda türbülanslı karışma nedeniyle profil daha düzdür. [Incropera 2001]



**Şekil 3.1** Laminar ve türbülanslı akış için hidrodinamik giriş uzunluğu

Bir akışkan boruya yüzey sıcaklığından farklı bir sıcaklıkta girerse, taşınım ile ısı geçişi olur ve “ısı sınır tabaka” gelişmeye başlar. Boru yüzeyinde sınır



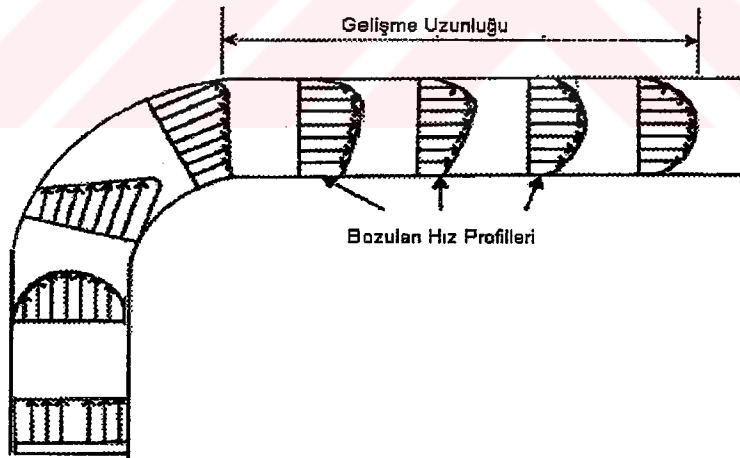


Bu bölgeden sonra sınır tabaka boruyu tam olarak doldurur.

Boru içi akışlarda hız profili, akışkanın laminer veya türbülanslı olmasına bağlıdır. Küçük Reynolds sayılı akışlarda giriş bölgesi uzunluğu ( $l_e$ ), kısa iken, büyük Reynolds sayılı akışlarda daha uzundur.

Giriş bölgesi içerisinde akışkanın hız ve basınç dağılımını belirlemek oldukça karmaşıktır. Fakat akış giriş bölgesinin sonuna geldiğinde (Şekil 3 2 2.Bölüm) akış sadece radyal koordinat ile değişir. Eksenel koordinattan bağımsızdır. Bu akış rejimi boruda bir düzensizlik oluncaya kadar geçerlidir. Boru çapının aniden değişmesi, akışın bir dirsek veya bağlantı elemanından geçmesi akışın rejimini bozar.

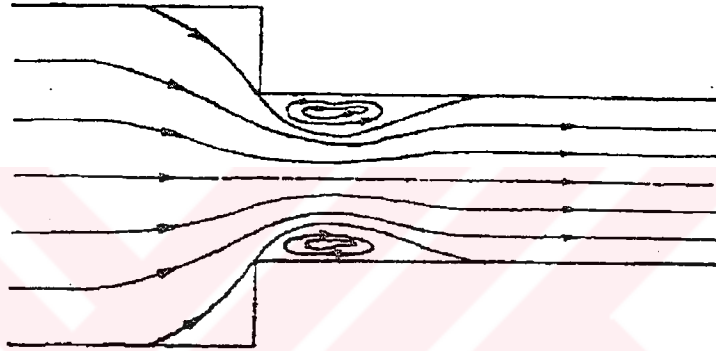
Bozulma olmadan önceki akış tam gelişmiş akış haline gelebilir (Şekil 3 2 2-3 arası). Engellemeden –yani akış rejiminin bozulmasından- sonra akış tekrar tam gelişmiş akış rejimini oluşturmaya çalışacaktır. (Şekil 3 2. 5.Bölge). Bu durum bir diğer bozulmaya kadar devam eder.



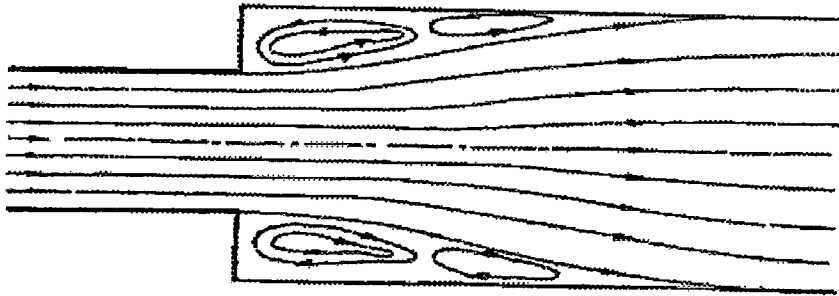
**Şekil 3.3** 90° dirsekte görülen akış bozulmaları

### 3.3 Akış Ayrılması ve Yeniden Tutunma

Boru ve kanal içi akışlarda ani daralma veya genişleme durumunda akış rejiminde bozulmadan dolayı oluşan akış ayrılması şematik olarak Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekil 3.6'da ise bir dirsekte meydana gelen akış ayrılması görülmektedir.



Şekil 3.4 Boru ve kanallarda ani daralma halinde akış geometrisi

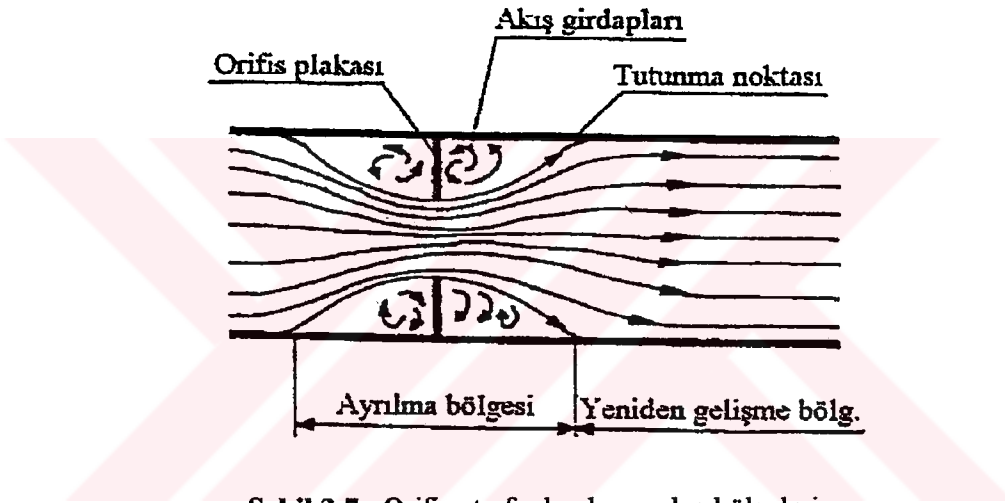


Şekil 3.5 Boru ve kanallarda ani genişleme haline akış geometrisi



arasındaki bölge ‐ayrılma bölgesi‐ olarak adlandırılır. Bu bölgede, ani daralma halinde olduğu gibi, sürekli sirkülasyon görülen bir bölüm vardır.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi orifis plakaları, en basit şekliyle ortasında delik bulunan ince düz bir plakadan oluşur. Orifis, akış yönünde bir engel oluşturarak boru kesitinde daralma meydana getirmektedir. Akış orifisten geçerken, boru cidarından ayrılarak gittikçe kesiti daralan bir hüzme oluşturur. Belirli bir mesafeden sonra hüzmenin kesiti genişleyerek, boru hacminin tamamını kaplar. Oluşan hüzme ile boru cidarı arasında ayrılmış akış bölgesi meydana gelir.



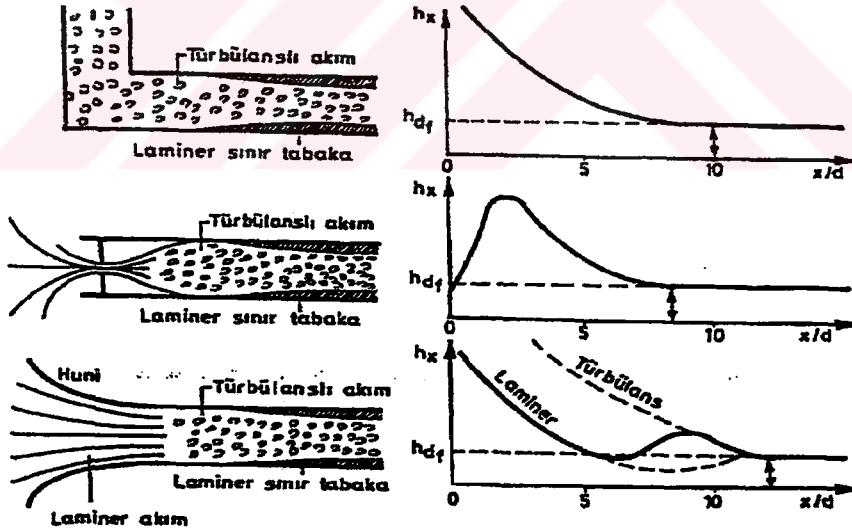
Şekil 3.7 Orifis etrafında oluşan akış bölgeleri

Dirsekli boru veya kanallardan geçen akışlarda, borunun merkezindeki akış santrifüj kuvvetlerden dolayı dışa doğru itilir. Dirseğin dış kenarındaki akışkan ise merkeze doğru çekilir. Böyle bir akış ayrılma, tekrar birleşme, küçük girdaplar ve akış bozulmalarıyla oldukça karmaşıktır. Dirsekten geçtikten sonra akış tekrar tam gelişmiş akış rejimini sağlamaya çalışır. Küçük Reynolds sayılı akışlarda bu geçiş yaklaşık  $x/D=10$  mesafesini bulurken, büyük Reynolds sayılı akışlarda bu mesafe biraz daha büyüür. [Kakaç, Shah, Hung 1987].

Tıkanmalı akış halinde olduğu gibi dirsekli kanallı akışlarda ısı transferi katsayıları tıkanmasız akışa göre daha büyüktür. Bunun yanında akış ayrılması sonucu oluşan ilave sürtünme kayıpları nedeniyle basınç düşüşü önemli oranda artmaktadır.

Akış ayrılması olan sistemlerde akışkanın boru veya kanal giriş kısmında ısı taşınım katsayısı genellikle girişten itibaren  $x/D=10$  mesafesine kadar yüksektir. Bu noktadan sonra akış gelişmeye başlar. Isı taşınım katsayısı da asimptotik olarak tam gelişmiş bölge değerine düşer. [Dağsöz 1990].

Isı taşınım katsayısının giriş bölgesinin geometrisine göre değişimi Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı üzere giriş bölgesinin başlangıcında akış ayrılması ve yeniden tutunma noktalarında ısı taşınım katsayısı nihai değerinin 2-2.5 katı civarında olmaktadır. [Dağsöz 1990]



Şekil 3.8 Giriş bölgesinde ısı taşınım katsayısının değişimi

### 3.4 Deney Düzeneği

Çalışmada kullanılan deney düzeneği şematik olarak şekil 3.9'da gösterilmiştir. Düzenek, giriş, test ve çıkış olmak üzere üç bölümlü bir akış borusu ve üzerindeki çeşitli ölçme cihazlarından oluşmaktadır.

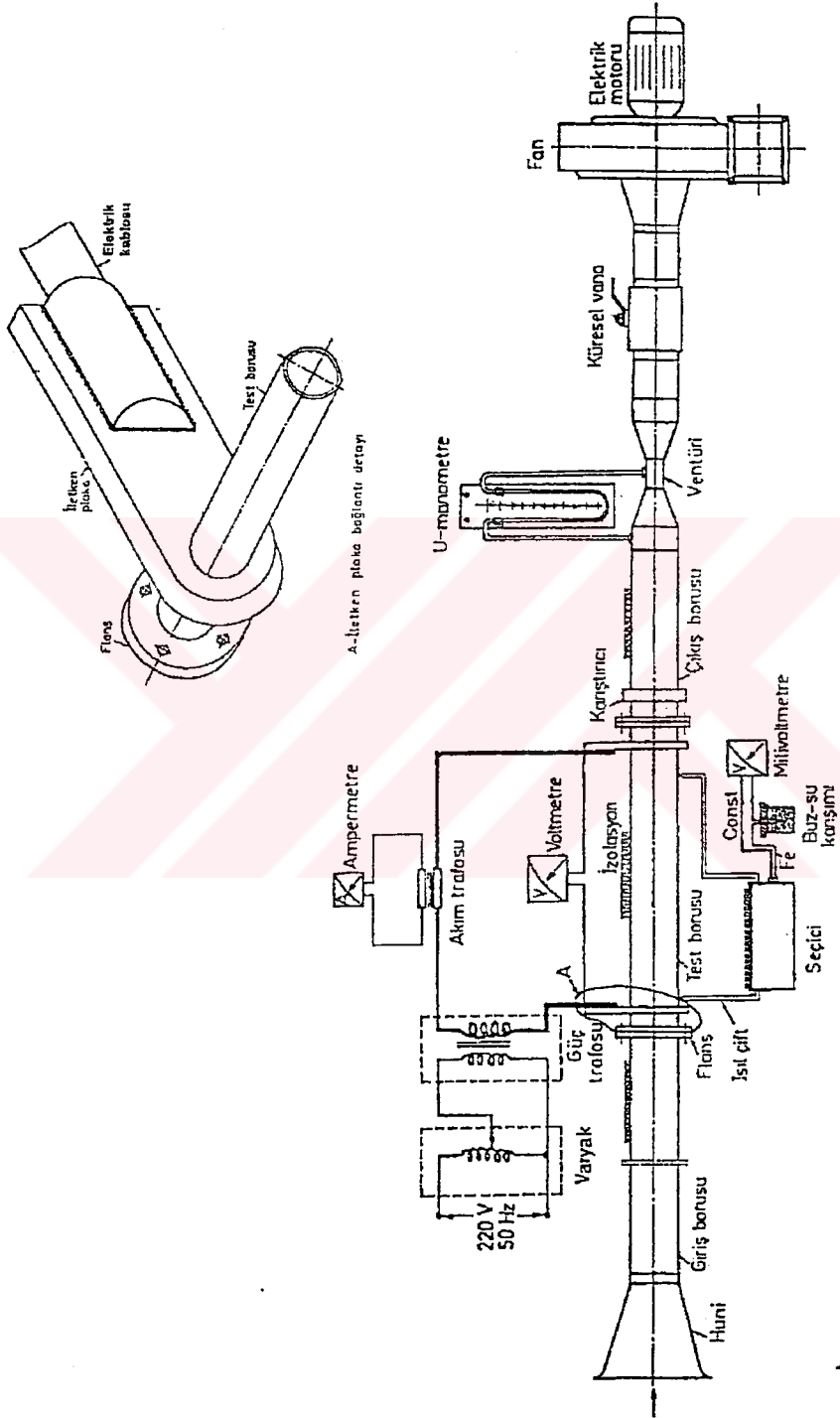
Giriş bölgesi, havanın darbesiz bir şekilde emilmesini sağlayan toplayıcı huni ve 2m (60 çap) uzunluğundaki bakır borudan oluşmaktadır. Boru uzunluğu hidrodinamik olarak gelişmiş akış elde etmek için yeterlidir. [Krall ve Sparrow 1966].

Test borusunun uzunluğu 1 m (30 çap) dır. Bu mesafe ısıl gelişme için yeterlidir. Isıtılan test borusu ile birlikte giriş ve çıkış borular da yalıtılmıştır.

50 cm uzunluğundaki çıkış borusu üzerinde karıştırıcı kutu, debi ölçmek için bir ventüri-U manometre düzeneği ve debi ayar vanası bulunmaktadır. Fanın çıkış borusuna bağlantısı esnek kauçuk malzemeden yapılmış bir hortum ile sağlanmaktadır.

İç çapları 33 mm, et kalınlıkları 1 mm olan bakır borular, flanşlar ile birbirlerine aynı merkezli olarak bağlanmıştır. Test borusunun giriş ve çıkışında ısı kaybını azaltmak ve hava sızdırmazlığını sağlamak amacıyla flanşlar arasına bakalit contalar yerleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan dirsekler giriş borusu ile test borusu arasına yine flanşlar ile yerleştirilmiştir.

Deney düzeneği temel olarak, laboratuvar ortamından emilen havanın sabit ısı akısı altında test borusundan geçerken ısıtılması ve dış ortama atılması prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 3.9 Deneysel düzenek

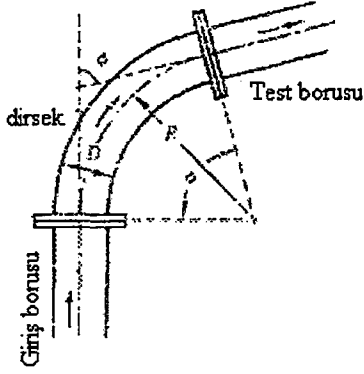
Test borusu, boruya doğrudan elektrik enerjisi verilmek suretiyle ısıtılmaktadır. Isıtıcı devresinde 5000W kapasiteli bir varyak ve 0-1000A ve 0-0.5 V aralıklarında çalışabilen bir transformatör ile voltmetre ve ampermetre bulunmaktadır. Akım test borusuna, borunun başlangıç ve bitiş kesitlerine tutturulan kalın iletken plakalar ile verilmektedir. Akımın çevresel olarak düzgün dağılımını sağlamak için, iletken plakalar boru dış çapına eşit çapta açılan deliklerden boruya geçirildikten sonra temas yüzeyleri çevresel olarak gümüş kaynağı ile doldurulmuştur.

Üzerlerinden akım geçirilen bakır plakanın sıcaklığı bir fan ile kontrollü olarak düşürülmüştür. Böylece test bölgesi girişinin plaka sıcaklığından etkilenmemesi sağlanmıştır.

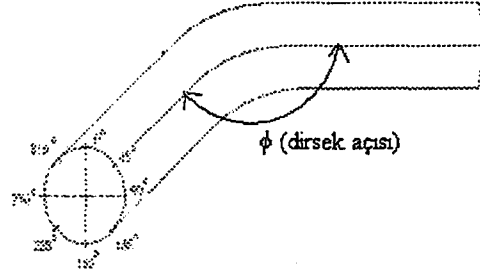
Isıtılan test borusunun dış yüzey sıcaklıkları, 216 adet kalibre edilmiş Fe-Constantan ısı çifti ile ölçülmektedir. Isıl çiftler 27 aksel konumda ve her aksel konum için 8 açısal konumda boru çevresine yerleştirilmiştir.(Şekil 3.11). Isıl çiftler test bölgesine giriş kısmında sık (0.25 çap), çıkışa doğru ise artan aksel aralıklar ile (en fazla 3 çap) yerleştirilmiştir. Test borusu giriş kısmına yerleştirilen ısı çiftleri arasındaki mesafenin küçük alınmasındaki amaç, buralarda meydana gelen akış ayrılmasının etkisini daha hassas olarak gözleyebilmektir. Isıl çiftler bir seçici anahtar ile sıcaklık ölçüm devresine bağlanmıştır. Referans sıcaklık için buz-su karışımı kullanılmıştır. Test borusu yalıtım dış yüzey sıcaklıkları 5 ayrı noktadan ve havanın test borusu giriş ve çıkış sıcaklıkları yine ısı çiftleriyle, ortam sıcaklığı ise bir termometre ile ölçülmektedir.

Deneylerde dirsek elemanı olarak elastik malzemeden hortum kullanılmıştır. Deneyler 30°, 60°, 90°, 120°, 150° ve 180° lik dirseklerde yapılmıştır. Dirseklerde radyüs oranı  $2R/d=10$  olarak alınmıştır. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Reynolds sayısı 5000-25000 aralığında değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Elastik hortum istenilen açı ve öngörülen radyüs oranı sağlanacak şekilde hassas bir şekilde ayarlanırken, dirsek çıkışının test borusunun hemen girişine denk gelmesine özen gösterilmiştir.





Şekil 3.10



Şekil 3.11

### 3.4.1 Deneilerin yapılışı

Deneiler, 7 farklı açıdaki dirsekler test borusunun girişine yerleştirilerek yapılmıştır. (Şekil 3.10). Ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla düz girişli boru için de deneiler yapılmıştır. Herhangi bir dirsek açısı için fan kapasitesine bağlı olarak 5 farklı debide ölçmeler yapılmıştır. Deneilerin aynı ortam şartlarında gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir. Ölçümler, deney düzeneğinin sürekli rejime erişmesinden sonra alınmıştır. Deney düzeneğinin ilk çalıştırılması durumunda sistemin sürekli rejime ulaşması yaklaşık 1.5 saat sürmüştür. Ancak bundan sonra yapılan debi değişimleri sonucunda sistemin rejime ulaşma süresi kısalmıştır.

Düz boru ve 6 farklı dirsek kullanılarak aynı debi için ölçmeler yapılmıştır.

Deneilerde ölçülen büyüklükler şunlardır:

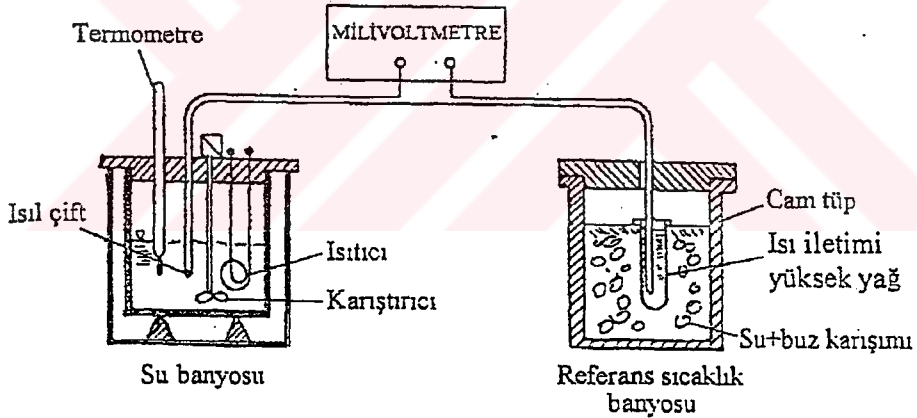
- Test borusu dış yüzey sıcaklıkları (216 ayrı noktadan)  $T_{wo}$ , ısıl çiftler ile (mV)
- U-manometre kolları arasındaki seviye farkı,  $\Delta h$ , (mmSS)
- Havanın test bölgesine giriş, çıkış ve yalıtım dış yüzey sıcaklıkları,  $T_{b_1}, T_{b_2}, T'$ , ısıl çiftleri ile (mV)

- Ortam sıcaklığı,  $T_{\infty}$ , termometre ile, ( $^{\circ}$  C)
- Gerilim, V, multimetre ile, (mV)
- Akım, I, pens ampermetre ile, (A)

### 3.4.1.1 Isıl çift kalibrasyonu

Isıl çiftler proses sanayiinde sıcaklık ölçülmesi, kaydedilmesi ve kontrol edilmesi işlemlerinde geniş çapta kullanılmaktadır. Ancak, öncelikle ölçme devresini güvenli olarak kullanabilmek için ısıl çiftlerin önceden kalibre edilmiş olması gerekir.

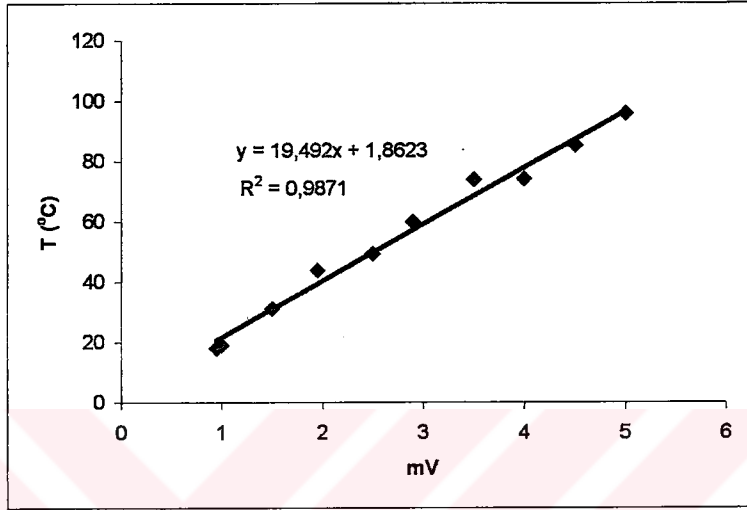
Bu amaçla hazırlanan ve ısıl çiftlerin kalibre edilmesinde kullanılan düzenek şematik olarak Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.12** Isıl çift kalibrasyon düzeneği

Şekilde görüldüğü gibi, su sıcaklığı elektrikli bir ısıtıcı ile belirli aralıklarla alınmıştır. Sıcaklıklar banyo içerisine yerleştirilen bir termometreden okunur. Okunan sıcaklıklara karşılık gelen voltaj değerleri ise milivoltmetreden okunur.

Ölçüm değerleri voltaj (mV)-sıcaklık (°C) diyagramında çizilerek kullanılan ısı çiftleri için sıcaklık ölçüm kalibrasyonu elde edilir. Bu çalışmada kullanılan Fe-Constantan ısı çifti için elde edilen kalibrasyon eğrisi Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Isıl çift kalibrasyon eğrisi

### 3.5 Hesaplamalar

Herhangi bir aksenal ve çevresel konumdaki yerel taşınım katsayıları ve yerel Nusselt sayıları aşağıdaki denklemler ile belirlenebilir.

$$h_x(\theta) = \frac{q_{wx}(\theta)}{T_{wi_x}(\theta) - T_{b_x}} \quad (1)$$

$$Nu_x(\theta) = \frac{h_x(\theta) \cdot D_i}{k} \quad (2)$$

Herhangi bir aksenal konumdaki çevresel ortalama taşınım katsayıları ve çevresel ortalama Nusselt sayıları da aşağıdaki denklemlerden belirlenebilir.

$$\bar{h}_x = \frac{\bar{q}_{wx}}{\bar{T}_{wix} - T_{bx}} \quad (3)$$

$$\overline{Nu}_x = \frac{\bar{h}_x \cdot D_t}{k} \quad (4)$$

Denklem (1) deki yüzey ısı akısı,  $q_{wx}(\theta)$ , çevresel cidar iletimi ihmal edildiği takdirde, üniformdur ve şu şekilde belirlenebilir.

$$q_{wx}(\theta) = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r_{wi} \cdot L} = sb \quad (5)$$

Tek boyutlu model için ayrıca  $q_{wx}(\theta) = \bar{q}_{wx}$  alınabilir. (6)

Isıtıcı net gücü, P,

$$P = P_t - Q' \quad (7)$$

dir.

Isıtıcı toplam gücü,  $P_t$ ,

$$P_t = V \cdot I = I^2 \cdot R \quad (8)$$

ve yalıtım dış yüzeyinden çevreye transfer edilen ısı,  $Q'$ ,

$$Q' = h'_m \cdot A' \cdot (T'_m - T_\infty) \quad (9)$$

ile hesaplanabilir.

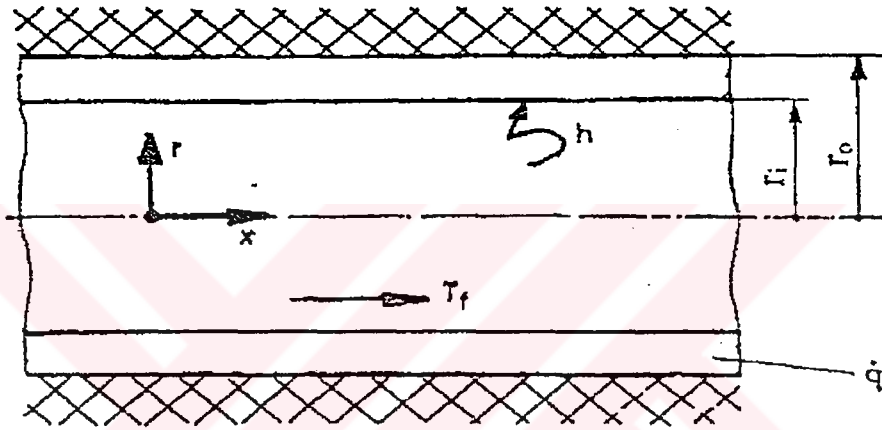
Yalıtım dış yüzeyinden ortalama taşınım katsayısı,  $h'_m$ ,

$$h'_m = 1.24 \cdot (T'_m - T_\infty)^{1/3} \quad (10)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. [Holman 1976].

Test borusu boyunca herhangi bir aksenal ve çevresel konumda ölçülen dış yüzey sıcaklıklarına,  $T_{w_o}(\theta)$ , karşılık gelen iç yüzey sıcaklıkları,  $T_{w_i}(\theta)$ , aşağıdaki gibi bir analizle hesaplanabilir.

Şekil 3.14'deki gibi içi boş, uzun, cidarlarında düzgün dağılmış biçimde ısı üretilen, ısı iletkenlik katsayısı sabit bir silindir içerisinde, sürekli rejimde ısı iletimi aşağıdaki diferansiyel denklemle karakterize edilebilir. [Kakaç ve Yener 1979].



Şekil 3.14 Boru cidarında ısı iletimi

$$\frac{\partial^2 T_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_w}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{k_w} = 0 \quad (11)$$

Bu denklemdeki  $\frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2}$  terimi cidardaki aksenal iletim terimidir. İnce cidarlı ve uzun bir boru için aksenal iletim radyal ilettime nazaran ihmal edilebilecek düzeydedir.

Böylece problem tek boyutlu hale dönüşür.

$$\frac{\partial^2 T_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_w}{\partial r} + \frac{\dot{q}}{k_w} = 0 \quad (12)$$

Denklem (12) şu şekilde ifade edilebilir

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{dT_w}{dr} \right) + \frac{\dot{q}}{k_w} r = 0 \quad (13)$$

denklem (13) iki kez integre edilirse, genel çözüm

$$T_w(r) = c_1 \ln r + c_2 - \frac{\dot{q}r^2}{4k_w} = 0 \quad (14)$$

elde edilir.

Borunun dış yüzeyinin yalıtılmış, iç yüzeyinde ise  $h$  ısı taşınım katsayısı ile  $T_f$  sıcaklığındaki akışkana ısı transfer edildiği varsayımı ile sınır şartları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$1. \text{ sınır şartı} \quad r = r_{wi} \text{ 'de } k_w \frac{dT_w}{dr} = h(T_w - T_f) \quad (15)$$

$$2. \text{ sınır şartı} \quad r = r_{wo} \text{ 'da } \frac{dT_w}{dr} = 0 \quad (16)$$

1. ve 2. sınır şartları uygulanırsa integral sabitleri

$$c_1 = \frac{\dot{q}r_{wo}^2}{2k_w} \quad (17)$$

$$c_2 = \frac{\dot{q}r_{wo}^2}{2r_{wi}h} - \frac{\dot{q}r_{wi}}{2h} - \frac{\dot{q}r_{wo}^2}{2k_w} \ln r_{wi} + \frac{\dot{q}r_{wi}^2}{4k_w} + T_f \quad (18)$$

olarak bulunur.  $c_1$  ve  $c_2$  denklem(14)'de yerlerine konulursa genel cidar sıcaklığı,

$$T_w(r) = \frac{\dot{q}r_{wo}^2}{2k_w} \left( \ln \frac{r}{r_{wi}} \right) + \frac{\dot{q}}{4k_w} (r_{wi}^2 - r^2) + \frac{\dot{q}r_{wo}^2}{2r_{wi}h} - \frac{\dot{q}r_{wi}}{2h} + T_f \quad (19)$$

elde edilir. Denklem (19)'de önce  $r = r_{wi}$  ve daha sonra  $r = r_{wo}$  yazılarak iç ve dış yüzey sıcaklık farkı,

$$T_{wo} - T_{wi} = \frac{\dot{q}r_{wo}^2}{2k_w} \left( \ln \frac{r_{wo}}{r_{wi}} \right) + \frac{\dot{q}}{4k_w} (r_{wi}^2 - r_{wo}^2) \quad (20)$$

ölçülen dış yüzey sıcaklığına karşılık gelen iç yüzey sıcaklığı ise,

$$T_{wi} = T_{wo} - \frac{\dot{q}r_{wo}^2}{2k_w} \left[ \ln \left( \frac{r_{wo}}{r_{wi}} \right) - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r_{wi}^2}{r_{wo}^2} \right) \right] \quad (21)$$

bulunur. denklem (21) şöyle ifade edilebilir.

$$T_{wi}(\theta) = T_{wo} - K \cdot \dot{q} \quad (22)$$

Bu denklemdeki faktör, K,

$$K = \frac{r_{wo}^2}{2k_w} \left[ \ln \left( \frac{r_{wo}}{r_{wi}} \right) - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r_{wi}^2}{r_{wo}^2} \right) \right] \quad (23)$$

dir.

Herhangi bir aksel konumdaki ortalama iç cidar sıcaklığı,  $\bar{T}_{wi}$ ; bu aksel konumda ölçülen 8 çevresel sıcaklığın aritmetik ortalaması alınarak bulunabilir.

İç ısı üretimi,  $\dot{q}$ ,

$$\dot{q} = \frac{P}{2\pi \cdot (r_{wo}^2 - r_{wi}^2) \cdot L} \quad (24)$$

ile hesaplanabilir.

Denklem (1)'deki yığık sıcaklıklar, test borusu boyunca doğrusal olarak değiştiği varsayımı ile,

$$T_{b_s} = T_{b_t} + \frac{P(x/L)}{\rho \dot{V} C_p} \quad (25)$$

şeklinde hesaplanabilir. [Krall ve Sparrow 1966, Sparrow, Koram ve Charmchi 1980]

Hesaplamalarda kullanılan Reynolds sayısı,  $Re$ ,

$$Re = \frac{U_m D_i}{\nu} \quad (26)$$

Ortalama akış hızı,  $U_m$ ,

$$U_m = \frac{\dot{V}}{A_i} \quad (27)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Manometre kolları arasındaki basınç farkı,  $\Delta P$ ,

$$\Delta P = (\rho_{su} - \rho_{hava}) g \Delta h \quad (28)$$

ve Bernoulli ve süreklilik bağıntıları ile hacimsel debi,  $\dot{V}$ ,

$$\dot{V} = C \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (29)$$

şeklinde hesaplanabilir. Ventüri katsayısı,  $C$ , Ek 4 ' deki diyagram ile belirlenmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan tüm akışkan özelliklerinin ortalama yığık sıcaklıktaki değerleri alınmıştır.

DeneySEL verileri kıyaslamak amacıyla gelişmiş bölge Nusselt sayıları için sırasıyla Dittus-Boelter, Drexel-McAdams, Sieder-Tate ve geçiş bölgesi Reynolds sayıları (2300-10000) için önerilen Gnilinski bağıntısı [Incropera 2001] kullanılmıştır.

$$Nu_{fd} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (30)$$



$$Nu_{fd} = 0.021 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (31)$$

$$Nu_{fd} = 0.027 Re^{4/5} Pr^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (32)$$

$$Nu_{fd} = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+1.27(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)}, \quad f = (0.79 \ln Re - 16.4)^{-2} \quad (33)$$

### 3.5.1 Hesaplama örneği

Bu bölümde tipik bir deneye ait veriler ile boru eksenini boyunca herhangi bir eksenel konumda sekiz açısız koordinat için yerel ve ortalama taşınım katsayıları ve Nusselt sayıları örnek olarak hesaplanacaktır.

30° dirsek ve  $x/2r_{wi}=1$  eksenel konum için aşağıdaki veriler ölçülmüştür.

- Havanın test borusuna giriş ve çıkış sıcaklığı  $T_{b_1} = 23.2^\circ C$ ,  $T_{b_2} = 41.1^\circ C$
- Test borusunun  $x/2r_{wi} = 1$  noktasındaki yüzey sıcaklığı  $T_{wo_x} = 39.44^\circ C$
- Ortam sıcaklığı  $T_\infty = 23^\circ C$
- Test borusu yalıtım dış yüzey ortalama sıcaklığı  $T'_m = 26.96^\circ C$
- U-manometre kolları arasındaki seviye farkı  $\Delta h = 4.5 \text{ mmSS}$
- Test borusu üzerindeki akım ve gerilim  $I = 620 \text{ A}$ ,  $V = 0.158 \text{ V}$

Test borusu içerisindeki havanın ortalama yığık sıcaklığı,

$$\bar{T}_b = \frac{T_{b_1} + T_{b_2}}{2} = 32.15^\circ C$$

dır. Havanın bu sıcaklıktaki fiziksel özellikleri ve U-manometredeki suyun yoğunluğu Ek 5 ve 6'daki tablolardan alınmıştır.

$$\rho_h = 1.1572 \text{ kg/m}^3, C_p = 1005.739 \text{ J/kgK}, k = 0.0265 \text{ W/m}^\circ\text{C},$$

$$\nu = 1.624 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}, Pr = 0.711, \rho_{su} = 998.2 \text{ kg/m}^3 \quad (T_{su} = 20^\circ\text{C} \text{ kabulü ile})$$

Test borusu ısı iletim katsayısı,  $k_w$ , cidarda sıcaklık değişimi çok büyük olmadığından tüm deneyler için sabit kabul edilmiş ve  $k_w = 350 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır.

Ventüride kesit değişimi nedeniyle oluşan basınç farkı,

$$\Delta P = (\rho_{su} - \rho_h) g \Delta h = (998.2 - 1.1572) \cdot 9.806 \cdot 0.0045 = 43.99 \text{ N/m}^2$$

bulunur.

Test borusundan geçen havanın hacimsel debisi, ventüri-manometre düzeneği ile belirlenen basınç farkı  $\Delta P$ , Bernoulli ve süreklilik bağıntıları ile,

$$\dot{V} = C \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_h}} = 0.97 \cdot \frac{(\pi/4) \cdot 0.0172^2}{\sqrt{1 - (17.2/32.2)^4}} \sqrt{\frac{2 \cdot 43.99}{1.1572}} = 0.002144 \text{ m}^3/\text{s}$$

bulunur. Burada ventüri katsayısı, C, ventüri boyutları ve Reynolds sayısına bağlı olarak Ek4'deki Şekil 1'den alınmıştır.

Ortalama akış hızı,

$$U_m = \frac{\dot{V}}{A_i} = \frac{0.002144}{(\pi/4) \cdot 0.033^2} = 2.5069 \text{ m/s}$$

Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{U_m D_i}{\nu} = \frac{2.5069 \cdot 0.033}{1.624 \times 10^{-5}} \cong 5000$$

bulunur.

Toplam ısıtıcı gücü,

$$P_t = \dot{V} \cdot I = 0.158 \cdot 620 = 97.96 \text{ W}$$

yalıtım dış yüzeyinden çevreye ısı transferi,

$$Q' = h'_m A' (\bar{T}' - T_\infty) = 1.24 \cdot \pi \cdot D' L (T'_m - T_\infty)^{1/3} = 1.24 \cdot \pi \cdot 0.09 \cdot 0.96 \cdot (26.96 - 23)^{1/3}$$

$$Q' = 2.5772 \text{ W}$$

ısıtıcı net gücü ise,

$$P = P_t - Q' = 97.96 - 2.5772 = 95.3827 \text{ W}$$

bulunur.

Test borusu yüzeyinden ısı akısı,

$$q_w = \frac{P}{2\pi r_{wi} L} = \frac{95.3828}{2 \cdot \pi \cdot 0.0165 \cdot 0.96} = 958.3731 \text{ W/m}^2$$

olarak hesaplanır.

Test borusu boyunca herhangi bir aksenal konumda ölçülen dış yüzey sıcaklığına,  $T_{wo_x}$ , karşılık gelen iç yüzey sıcaklığı,  $T_{wi_x}$ , aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$T_{wi_x} = T_{wo_x} - K\dot{q}$$

Bu denklemdeki faktör, K,

$$K = \frac{r_{wo}^2}{2k_w} \left[ \ln \frac{r_{wo}}{r_{wi}} - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r_{wi}^2}{r_{wo}^2} \right) \right] = \frac{0.0175^2}{2 \cdot 350} \left[ \ln \frac{0.0175}{0.0165} - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{0.0165^2}{0.0175^2} \right) \right] = 1.457 \times 10^{-9}$$

olarak bulunur.

İç ısı üretim miktarı,  $\dot{q}$ ,

$$\dot{q} = \frac{P}{2\pi(r_{wo}^2 - r_{wi}^2)L} = \frac{95.3828}{2\pi(0.0175^2 - 0.0165^2) \cdot 0.96} = 465093.2631 \text{ W/m}^3$$

bulunur. Test borusunun  $x/2r_{wi} = 1$  noktasında ölçülen dış yüzey sıcaklığı

$$T_{wo_x} = 39,44^\circ\text{C} \text{ olup buna karşılık iç yüzey sıcaklığı}$$

$$T_{wi_x} = T_{wo_x} - K\dot{q} = 39,44 - 1.457 \times 10^{-9} \cdot 465093.2631 = 39.43932^\circ\text{C}$$

olarak bulunur. Dış ve iç yüzey sıcaklıkları arasındaki fark,

$$T_{wo_x} - T_{wi_x} = 0.0006^\circ\text{C}$$

olarak bulunur ki, bu fark ihmal edilebilecek düzeydedir ve tüm hesaplamalarda gözardı edilmiştir.

Test borusu boyunca yığık sıcaklıkların doğrusal değiştiği varsayımı ile,  $x/2r_{wi} = 1$  noktasındaki yığık sıcaklık,

$$T_{b_x} = T_{b_1} + \frac{P(x/L)}{\rho \cdot \dot{V} \cdot C_p} = 23,2 + \frac{95.3828 \cdot (0.033/0.96)}{1.1572 \cdot 0.002144 \cdot 1005.7293} = 24.46^\circ\text{C}$$

bulunur.

Aynı noktadaki yerel taşınım katsayısı,

$$h_x(\theta) = \frac{q_w}{T_{wi_x}(\theta) - T_{b_x}}$$

$$h_x(0^\circ) = \frac{958.3731}{37.8 - 24.46} = 71.84 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Aynı işlemler diğer açısal konumlar için tekrarlanarak;

$$h_x(45^\circ) = 65.46 \text{ W/m}^2\text{C}, \quad h_x(90^\circ) = 62.07 \text{ W/m}^2\text{C},$$

$$h_x(135^\circ) = 62.48 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$h_x(180^\circ) = 62.48 \text{ W/m}^2\text{C}, \quad h_x(225^\circ) = 62.07 \text{ W/m}^2\text{C},$$

$$h_x(270^\circ) = 62.48 \text{ W/m}^2\text{C},$$

$$h_x(315^\circ) = 64.15 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Nusselt sayısı,

$$Nu_x(\theta) = \frac{h_x D_i}{k} \text{ ile;}$$

$$Nu_x(0^\circ) = \frac{71.84 \cdot 0.033}{0.0265} = 89,3$$

$$Nu_x(45^\circ) = 81.37 \quad , \quad Nu_x(90^\circ) = 77.15 \quad , \quad Nu_x(135^\circ) = 77.65$$

$$Nu_x(180^\circ) = 77.65 \quad , \quad Nu_x(225^\circ) = 77.15 \quad , \quad Nu_x(270^\circ) = 77.65 \quad ,$$

$$Nu_x(315^\circ) = 79.73$$

Ortalama iç yüzey sıcaklığı,

$$\bar{T}_{w_i} = (37.8 + 39.1 + 39.9 + 39.8 + 39.8 + 39.9 + 39.8 + 39.4)/8 = 39.44^\circ\text{C}$$

Çevresel ortalama taşınım katsayısı,

$$\bar{h}_x = \frac{\bar{q}_w}{T_{w_i} - T_{b_x}} = \frac{958.3731}{39.44 - 24.46} = 63.992 \text{ W/m}^2\text{C}$$

ve çevresel ortalama Nusselt sayısı,

$$\bar{Nu}_x = \frac{\bar{h}_x \cdot D_i}{k} = \frac{63.992 \cdot 0.033}{0.0265} = 79.537$$

### 3.5.2 Belirsizlik Analizi

Son yıllarda analitik çalışmaların yanında daha ucuz ve daha kolay olması nedeniyle sayısal çalışmalar ağırlık kazanmasına rağmen, bu çalışmalardan elde edilen sonuçların deneysel olarak desteklenmesi, deneysel çalışmaların önemini arttırmaktadır. Bununla birlikte deneysel çalışmalarda, elde edilen sonuçlar kadar önemli olan bir başka nokta, ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli etken ise, deneyler sırasında farklı nedenlerden ortaya çıkabilecek hatalardır. [Asan ve Namlı 1997].

Standartlara uygun olarak kurulan bir deney düzeneğinde elde edilen verilerde iki farklı şekilde hata ortaya çıkabilir. Bunlardan biri, deney düzeneğinin ve ölçü araçlarının yapısından kaynaklanan kaçınılmaz hatalar, diğeri ise deneyi yapan kişinin yaptığı ihmallerden kaynaklanan hatalardır. İkinci tür hataların, yetenekli bir kişinin deneyleri yapması ile kısmen giderilmesi mümkündür. Fakat birinci tür hataların giderilmesi veya azaltılması her zaman mümkün olmayabilir. Bunun nedeni, hataların doğrudan deneylerde kullanılan araç ve gereçlerin yapısından kaynaklanmasıdır. Bu hatalar, genliklerinin genellikle belli olmaması nedeniyle literatürde *belirsizlik* olarak adlandırılmaktadır. Belirsizlik analizi ise ölçmeler esnasında oluşan hataların belirlenerek bunların deneysel sonuçlar üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasıdır.

Belirsizlik analizi sadece sonuçların yorumlanmasında değil, aynı zamanda uygun ölçüm metodunun ve ölçü aracının seçiminde de önemli rol oynamaktadır. Ölçülecek büyüklük ve ölçü araçlarının seçiminde önce belirsizlik analizinin yapılması ve buna uygun büyüklük ve ölçü aracının seçilmesi, sonuçların içinde yer alabilecek belirsizliğin en aza indirilmesine yardımcı olacaktır. [Holman 1984]. Diğer taraftan, ölçülen büyüklüklerden hangisinin toplam belirsizlik üzerinde en etkin rol oynadığının belirlenmesi, bu ölçümlerin daha hassas yapılması için önlem almayı gerektireceğinden sonuçların belirsizliğinin azalmasına ayrıca katkıda bulunacaktır.

Bu bölümde nihai parametre olarak Nusselt sayısının belirsizlik analizi yapılmıştır. Ölçülen büyüklüklerin belirsizlik değeri yapılan kalibrasyon çalışmalarından ve tecrübi olarak belirlenmiştir. Bunun yanında deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatı sırasında yapılmış herhangi bir hatanın olmadığı kabul edilmiştir.

Yerel Nusselt sayısı, ölçülen değerler cinsinden,

$$Nu_x = \frac{2 \cdot h_x \cdot r_{wi}}{k}$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Nusselt sayısı için belirsizlik ifadesi ise,

$$w_{Nu_x} = \left[ \left( \frac{\partial Nu_x}{\partial h_x} w_{h_x} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu_x}{\partial r_{wi}} w_{r_{wi}} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu_x}{\partial k} w_k \right)^2 \right]^{1/2} \quad (34)$$

şeklinde belirlenebilir. Yerel taşınım katsayısında ki belirsizlik,  $w_h$ , hesaplama prosedürü takip edilerek sırasıyla ısıtıcı net gücü, ısı akısı, iç ısı üretimi, test borusu iç yüzey sıcaklığı, ventürideki basınç farkı, akış debi ve yığık sıcaklık için belirsizlik belirlendikten sonra bulunmuştur. Bu belirsizlik ifadeleri, türevleri alınmış ve gerekli kısaltmalar yapılmış halde sırasıyla aşağıda verilmiştir. Bu ifadelerden de anlaşılacağı üzere, sadece ölçümü yapılan büyüklüklerin belirsizliği dikkate alınmış, diğer belirsizlikler bu çalışmada ihmal edilmiştir.

Isıtıcı net gücündeki belirsizlik,

$$w_p = \left[ \left( (Iw_v)^2 + (Vw_t)^2 + \left( -1.24 \cdot (4/3) \cdot \pi \cdot D' \cdot L (\bar{T}' - T_\infty)^{1/3} w_{\bar{T}'} \right)^2 + \left( 1.24 \cdot (4/3) \cdot \pi \cdot D' \cdot L (\bar{T}' - T_\infty)^{1/3} w_{T_\infty} \right)^2 \right)^{1/2} \right] \quad (35)$$

sabit ısı akısındaki belirsizlik,

$$w_{q_w} = \frac{w_p}{2 \cdot \pi \cdot r_{wi} \cdot L} \quad (36)$$

iç ısı üretimindeki belirsizlik,

$$w_{\dot{q}} = \frac{w_p}{2 \cdot \pi \cdot (r_{wo}^2 - r_{wi}^2) \cdot L} \quad (37)$$

test borusu iç yüzey sıcaklığındaki belirsizlik,

$$w_{T_{wx}} = \left[ (w_{T_{wx}})^2 - (Kw_{\dot{q}})^2 \right]^{1/2} \quad (38)$$

ventüride oluşan basınç farkındaki belirsizlik,

$$w_{\Delta P} = g(\rho_{su} - \rho_h) w_h \quad (39)$$

akış debisindeki belirsizlik,

$$w_{\dot{V}} = \frac{C \cdot A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \frac{1}{\rho} \left( \frac{2\Delta P}{\rho} \right)^{-1/2} w_{\Delta P} \quad (40)$$

yığık sıcaklıktaki belirsizlik,

$$w_{T_{b_x}} = \left[ \left( w_{T_{a_1}} \right)^2 + \left( \frac{x/L}{\rho \dot{V} C_p} w_p \right)^2 + \left( \frac{-P(x/L)}{\dot{V}^2 \rho C_p} w_{\dot{V}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (41)$$

taşıyım katsayısındaki belirsizlik,

$$w_{h_x} = \left[ \left( \frac{w_{q_w}}{T_{w_{i_x}} - T_{b_x}} \right)^2 + \left( \frac{-q}{(T_{w_{i_x}} - T_{b_x})^2} w_{T_{w_{i_x}}} \right)^2 + \left( \frac{-q}{(T_{w_{i_x}} - T_{b_x})^2} w_{T_{b_x}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (42)$$

Nusselt sayısındaki belirsizlik,

$$w_{Nu_x} = \frac{2r_{wi}}{k} w_{h_x} \quad (43)$$

ifadeleri ile belirlenmiştir.

Nusselt sayısı için toplam belirsizlik,

$$\frac{w_{Nu_x}}{Nu_x} = \frac{\frac{2r_{wi}}{k} w_{h_x}}{\frac{2h_x r_{wi}}{k}} = \frac{w_{h_x}}{h_x} \quad (44)$$

ifadesi ile bulunmuştur.

Ölçülen büyüklükler için belirsizlik değerleri, yapılan kalibrasyon çalışmaları ve deneysel tecrübeler ile belirlenmiş ve bunlar aşağıda verilmiştir.

- a) Havanın test bölgesine giriş, çıkış sıcaklığı ile test borusu ve yalıtım dış yüzey sıcaklıklarının ölçülmesinde yapılan belirsizlik;  $\pm 0.25$  °C
- b) Ortam sıcaklığının ölçülmesinde yapılan belirsizlik;  $\pm 0.2$  °C
- c) Manometrenin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik;  $\pm 1$  mmSS
- d) Test borusu üzerinden geçen akımın ölçülmesinden kaynaklanan belirsizlik;  $\pm 0.1$  A
- e) Test borusu üzerindeki gerilimin ölçülmesinden kaynaklanan belirsizlik;  $10^{-4}$  Volt



e) Test borusu üzerindeki gerilimin ölçülmesinden kaynaklanan belirsizlik;  $10^{-4}$  Volt

Yukarıdaki verilen ifadeler ve belirsizlik değerleri ile yapılan belirsizlik analizi ile toplam belirsizliğe, deneyde ölçülen büyüklüklerden gelen belirsizliklerin katkıları Tablo 3.1’de verilmiştir. Tabloda birinci sütunda ölçülen büyüklüklere ait belirsizlikler, ikinci sütunda ise bu büyüklüklerin Nusselt sayısındaki toplam belirsizliğe katkıları yer almaktadır. Nusselt sayısı için toplam belirsizlik mutlak olarak  $\pm\%1.78$  bulunmuştur. Bu sonuç, deney sırasında kullanılan ölçme cihazlarının ve ölçme sisteminin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir.

Nusselt sayısındaki toplam belirsizliğe diğer belirsizliklerin katkıları belirlenirken, ilgili belirsizliğin tabloda belirtilen değerinin sıfır olduğu kabulünden hareketle,  $Nu_x$  için belirsizlik değerleri yeniden belirlenmiştir. Tabloda verilen sonuçlar incelenirse, Nusselt sayısındaki belirsizliğe en büyük katkıyı yaklaşık olarak hava giriş sıcaklığı ve test borusu dış yüzey sıcaklığı yapmakta olduğu görülür.

	Nusselt Sayısı $w_{Nu_x}$ (%)
Toplam belirsizlik	$\pm 1.78$
Havanın giriş sıcaklığı ( $w_{T_1} = \pm\%1.45$ )	$\pm 1.00$
Havanın çıkış sıcaklığı ( $w_{T_2} = \pm\%0.91$ )	$\pm 1.78$
Test borusu dış yüzey sıcaklığı ( $w_{T_{bc_x}} = \pm\%1.0$ )	$\pm 1.00$
Yalıtım dış yüzey ortalama sıcaklığı ( $w_{T_f} = \pm\%1.11$ )	$\pm 1.78$
Ortam sıcaklığı ( $w_{T_o} = \pm\%1.01$ )	$\pm 1.78$
Elektrik akımı ( $w_I = \pm\%0.016$ )	$\pm 1.78$
Voltaj ( $w_V = \pm\%0.08$ )	$\pm 1.78$
Manometre kolları arasındaki fark ( $w_h = \pm\%1.11$ )	$\pm 1.78$

**Tablo 3.1** Ölçülen her bir bağımsız değişkenin toplam belirsizlik üzerindeki etkileri.

Bunun yanında, diğer belirsizliklerin Nusselt sayısındaki belirsizliğe etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu durum, toplam belirsizlik üzerinde, ölçülecek hava giriş sıcaklığı ve test borusu dış yüzey sıcaklığının etkisinin belirlenmesi ile, bu iki değer için daha hassas bir ölçüm ile belirlenmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLARI

Deneyleer altı farklı dirsek açısı (30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°) ve beş farklı Reynolds sayısı (25000, 20000, 15000, 10000, 5000) için tekrarlanmıştır. Ayrıca dirsek etkilerini karşılaştırabilmek için deneylerin bir kısmı dirseksiz, düz girişli borular için yapılmıştır.

Sonuçlar genellikle yerel Nusselt sayıları cinsinden verilmiştir. Ancak dirsek etkilerin daha iyi görülebilmesi için bazı sonuçlar iç yüzey ve yığık sıcaklıklar cinsinden verilmiştir. Düz girişli borular için deney sonuçları klasik ısı gelişme bölgesi ısı transferini karakterize eder. Bu sonuçlar aynı zamanda öngörülen deney koşullarının ve sınır şartlarının ne ölçüde sağlanabildiğini ve uygulanan ölçme ve hesaplama yönteminin güvenilirliğini değerlendirme olanağı sağlar.

Düz girişli borular için elde edilen sonuçlar, Sparrow, Holman ve Seigel'in ısı gelişme bölgesi için elde ettikleri ve sonuçları [Kays 1966] tarafından verilen analitik çözüm ile karşılaştırılmış ve oldukça iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

Diğer taraftan yerel Nusselt sayılarının tam gelişmiş bölgedeki asimptotik değerleri, Dittu-Boelter, Drexel-McAdams, Sieder-Tate ve geçiş bölgesi Reynolds sayıları önerilen Gnielinski bağıntısı [Incropera 2001] gibi çeşitli korelasyonlarla kıyaslandığında, en fazla % 25 hata, ki bu kabul edilebilir bir sınırdır [Incropera 2001], uyumlu olduğu görülmüştür.

Deneysel Nusselt sayıları ile herhangi bir korelasyon ile elde edilen Nusselt değerleri arasındaki farkın nedenlerinden birisi deneyler esnasında cidar iç yüzey sıcaklığı ile yığık sıcaklıklar arasındaki farkın ( $T_{wi}-T_b$ ) büyük olmasıdır. Bu viskozitenin boru kesiti boyunca konumsal değişimine neden olmakta ve gazlar için deneysel Nusselt sayısının küçük çıkmasına neden olmaktadır. [Noter ve Sleicher 1972]. Viskozite değişimini dikkate alan düzeltme faktörleri kullanılsa bile, korelasyon değerindeki genellikle % 3-4 civarındaki azalma aradaki uyumsuzluğu kapatacak düzeyde değildir. Bu nedenle ısıtıcı gücünün düşük ve sıcaklık farkının olabildiğince küçük tutulması gerekir. Ancak bu da sıcaklık ölçümlerinin çok hassas

olmasını gerektirir ki; mevcut olanaklar buna elvermemektedir. Öte yandan, farklı ısıtıcı güçlerinde deneylerin tekrarlanması yöntemin güvenilirliğini değerlendirmenin bir başka yoludur. Bu yapıldığında da görülmüştür ki; ısıtıcı gücü çok küçük tutulduğunda makul olamayan sonuçlar çıkabilmekte, büyük tutulduğunda ise yukarıda bahsedilen nedenler ile, asimptotik Nusselt sayılarının deneysel sonuçları ile korelasyon karşılıkları arasındaki fark artmaktadır. Bu iki hususun beraber değerlendirilmesi deneyler için, bir anlamda, bir en uygun ısıtıcı gücünün belirlenmesini gerektirir ki; bu yapılan denemeler ile yaklaşık 100W olarak belirlenmiştir ve tüm deneylerde ısıtıcı devresinde akım 600A değerinde sabit tutularak gücün öngörülen değer civarında olması sağlanmıştır. Ancak bu ısıtıcı gücü tam gelişmiş bölgedeki iç yüzey-yığık sıcaklık farkının 20-30 °C lara kadar artmasına neden olmuştur. Bu değer genellikle önerilen 5-8 °C lık farktan bir hayli büyüktür. Öte yandan, sonuçların tam gelişmiş bölge değerlerine oranlanarak  $Nu_x/Nu_{fd}$  şeklinde verilmesi tam gelişmiş bölge yerel Nusselt sayılarındaki uyumsuzluğu göreceli olarak ortadan kaldırır ki bu bir çok çalışmada, [Krall ve Sparrow 1966, Koram ve Sparrow 1978, Sparrow, Koram ve Charmchi 1980], olduğu gibi bu çalışmada da böyle yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan ölçme ve hesaplama yönteminin doğruluk derecesini görmek amacıyla belirsizlik analizi yapılmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda Nusselt sayısında toplam belirsizlik yaklaşık %1.78 olarak belirlenmiştir. Sayfa 18'deki örnek hesaplama için yapılan örnek belirsizlik hesabının detayları Ek 1'de verilmiştir.

Problemin iki bağımsız parametresi, dirsek açısı ve Reynolds sayısıdır. Deneyler altı farklı dirsek açısında ve 5000 ile 25000 arasında değişen Reynolds sayıları için tekrarlanmıştır.

Hesaplamalar için bir bilgisayar programı hazırlanmış ve program listesi Ek 2'de verilmiştir. Yine bazı ölçmelere ait örnek sonuçlar tablolar halinde Ek 3' te verilmiştir.

Şekil 4.1'de düz girişli boru için iç yüzey sıcaklıklarının çevresel ortalaması ile yığık sıcaklıkların aksenal dağılımı farklı Reynolds sayıları için verilmiştir.

Şeklin incelenmesinden cidar iç yüzey sıcaklıklarının ısı gelişme bölgesinin başlangıcında daha hızlı arttığı daha sonra artışın yavaşlayarak eğrilerin ısı gelişme bölgesinde doğrusal hale geldiği görülmektedir. Isıl gelişme bölgesinde cidar iç yüzey sıcaklıkları ile yığık sıcaklıklar arasındaki farkın sabitleşmesi, bir başka ifade ile  $T_{wi}$  ile  $T_b$  eğrilerinin paralel düz çizgiler haline gelmesi, deneylerde sabit yüzey ısı akısı sınır şartının sağlandığını göstermektedir.

Şekil 4.2'de yine düz girişli boru için beş farklı Reynolds sayısında yerel Nusselt sayılarının çevresel ortalaması tam gelişmiş bölge değerine oranlanarak verilmiştir. Gerek Şekil 4.1 ve gerek Şekil 4.2'den görüldüğü gibi düz boru için ısı gelişme 10-15 çaplık aksenal mesafede gerçekleşmektedir.

Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8 sırasıyla 30, 60, 90, 120 ve 180° lik dirsekler için yerel Nusselt sayılarının çevresel ortalamalarının aksenal dağılımı görülmektedir. Şekillerdeki eğriler farklı Reynolds sayıları için verilmiştir.

Isı taşınım katsayıları, ayrılma, yeniden tutunma ve yeniden gelişme bölgelerinde ısı gelişme bölgesi ve tam gelişmiş bölge değerine göre bir miktar artmıştır. Şekillerin incelenmesinden görülür ki; Nusselt eğrileri dirsekten sonra başlangıçta artarak bir maksimum değere ulaşmakta ve sonra tam gelişmiş bölge değerine düzenli bir şekilde azalmaktadır. Bu maksimumların akışın yüzeye yeniden tutunduğu bölge civarında olduğu bilinmektedir. [Krall 1966, Koram 1978] Şekillerden; Reynolds sayısı arttıkça girişteki dirseklerin Nusselt sayısı üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir. Dirseğin etkisinden akışta genel olarak her bir Reynolds değeri için maksimumlar yaklaşık yakın çap değerlerinde (1.5-3 çap) oluşmuştur.

Dirsek açıları büyürken sabit Reynolds sayılarında  $Nu_x/Nu_{fd}$  değerleri de genel olarak artmıştır. Bu değer yüksek Reynolds sayılarında daha fazla artmıştır. Örneğin  $Re=5000$  değerinde dirsek açısı 30° için maksimum  $Nu_x/Nu_{fd} = 2.204$  iken; dirsek açısı 180° için bu değer 2.25 olmuştur. Fakat  $Re=25000$  değerinde 30° ise maksimum  $Nu_x/Nu_{fd} = 1.4$ 'ten dirsek açısı 180° için 1.51 değerine yükselmiştir.

Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13'te ise Nusselt eğrileri herhangi bir Reynolds sayısında göre dirsek açıları parametrize edilerek verilmiştir. Ayrıca şekillerde düz girişli borular için de sonuçlar gösterilmiştir. Şekillerden girişteki dirseklerin Nusselt

değerlerini düz girişle kıyasla bir miktar arttırdığı görülmektedir. Şekillere göre dirsek açısı ve buna bağlı olarak akış ayrılması arttıkça ısı transferi katsayılarındaki artış beklenildiği gibi daha fazla olmaktadır. Şekillerden düşük Reynolds sayılarında maksimum  $Nu_x/Nu_{fd}$  değerinin büyüdüğü de görülmektedir.

Şekil 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19'da altı farklı dirsek açısı için farklı Reynolds sayılarında cidar iç yüzey sıcaklığının çevresel ortalaması ile yığık sıcaklıkların aksenal dağılımı görülmektedir.

Şekiller incelendiğinde iç yüzey sıcaklıklarının düz borudakinden farklı olarak başlangıçta bir azalma eğilimi gösterdiği ve akışın yüzeye yeniden tutunduğu nokta civarında bir minimum değere düştüğü sonra yeniden arttığı görülmektedir. Cidar iç yüzey sıcaklığı eğrileri, ısıl gelişme sağlandıktan sonra doğrusal olarak artmaya devam etmekte ve yığık sıcaklık eğrisi ile paralel hale gelmektedir. Bu da sabit yüzey ısı akısı sınır şartı için ısıl gelişmenin yeniden sağlandığının göstergesidir.

Şekil 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23'de bazı dirsek açıları ve bazı Reynolds sayılarında değişik çevresel açı değerleri için yerel Nusselt sayılarının aksenal dağılımları örnek olarak verilmiştir. Bu eğrilerden  $0^\circ$ - $180^\circ$ ;  $45^\circ$ - $135^\circ$  ve  $225^\circ$ - $315^\circ$  açı değerlerindeki simetriden dolayı Nusselt sayılarının ortalaması alınarak çizilmiştir.

Şekillerden yerel Nusselt eğrilerinin genel karakterlerinin çevresel ortalama yerel Nusselt eğrilerine benzer olduğu görülmektedir.

Nusselt sayılarının çevresel dağılımlarında yerel Nusselt sayılarının gerek ortalama ve gerekse maksimum değerleri  $45^\circ$ - $135^\circ$  ve  $90^\circ$  değerlerinde diğerlerine göre daha büyüktür. Bu değerler dirseğin iç tarafındaki bölgeye aittir. Buradan dirseğin iç tarafında akış ayrılmasının daha etkili olduğunu düşünmek mümkündür.

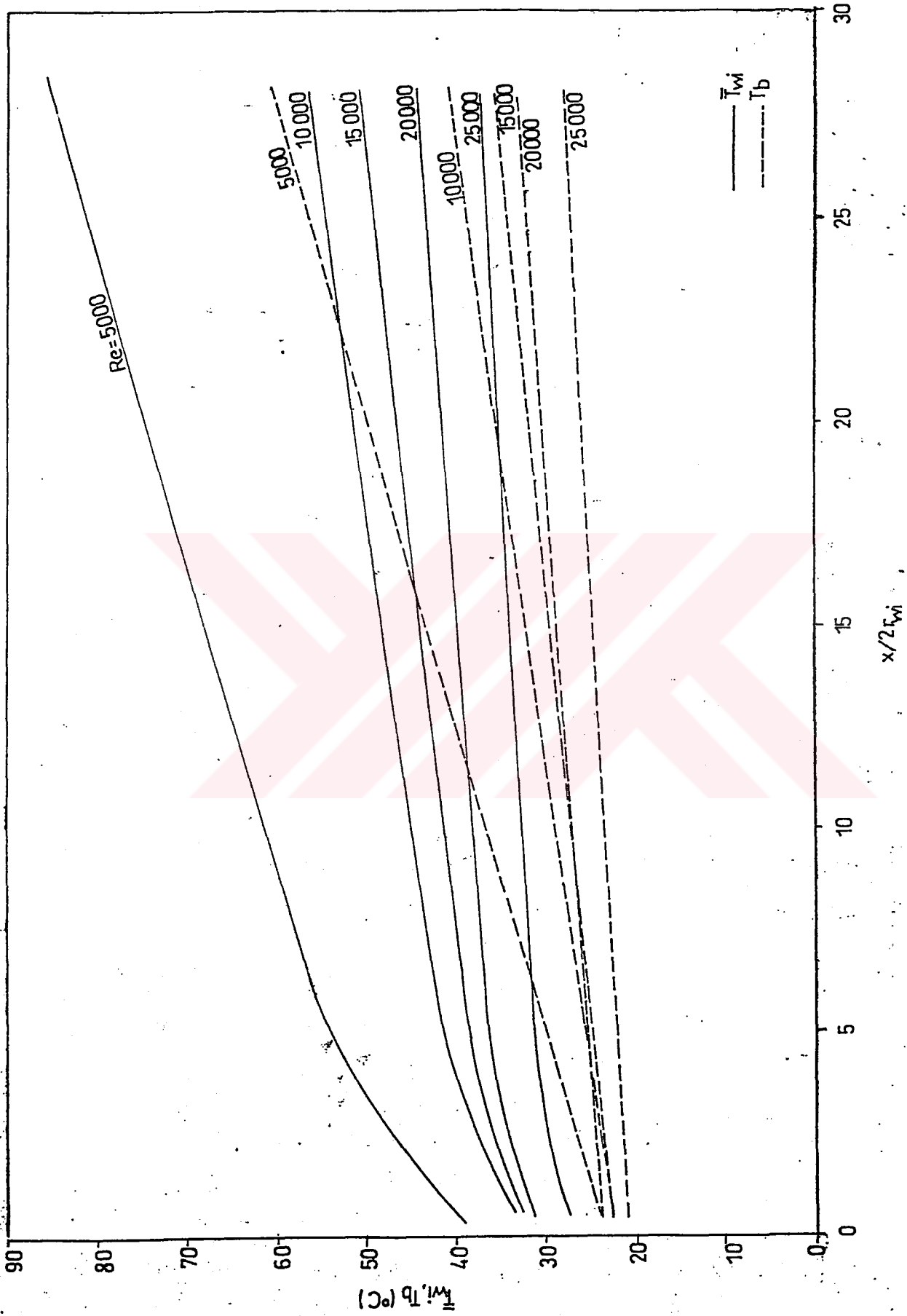
Nusselt sayılarının açısal değişiminde girişteki dirseğin etkisi ilk 3-5 çaplık mesafede belirgin olmaktadır. Sonraki aksenal mesafeler için bu etki azalmaktadır.

Şekil 4.24'te yerel Nusselt sayılarının açısal dağılımının değişik aksenal konumlar  $Re=10000$  ve  $180^\circ$  dirsek açısı için örnek olarak verilmiştir. Bu şekillerde simetri nedeniyle boru kesitinin üst yarısındaki Nusselt değerleri gösterilmiştir. Şekillerde  $0^\circ$  lik açı konumu borunun en üst noktasını, (+) açı değerleri dirseğin iç

tarafına karşılık gelen, (-) aç ı değerleri dirseğin dış tarafına karşılık gelen konumları göstermektedir.

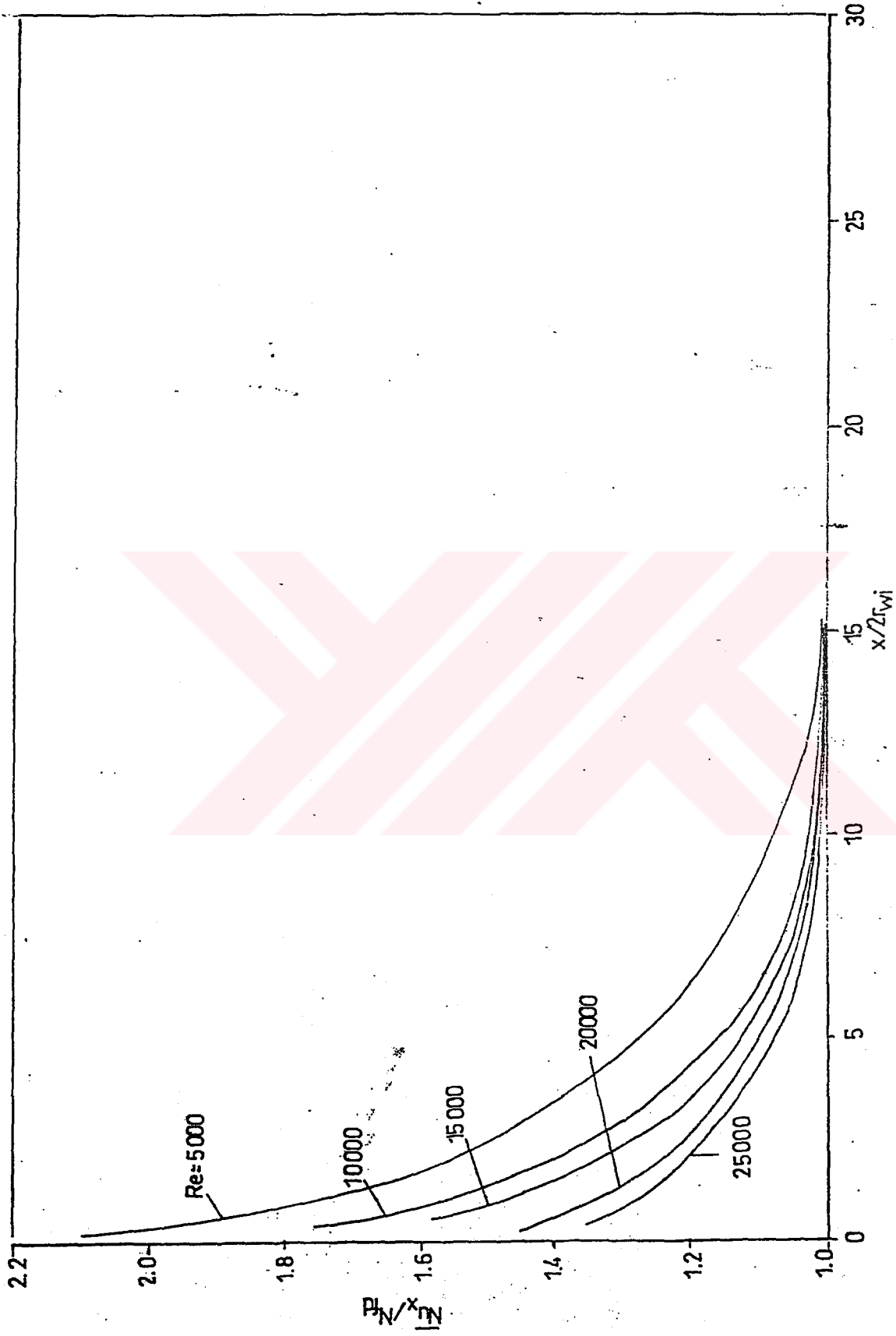
Bu şekillerden de görüldüğü gibi dirseğin iç tarafına karşılık gelen bölgeler için Nusselt değerleri dış tarafına karşılık gelenlere nazaran daha büyük olmaktadır. Eksenel mesafe arttıkça Nusselt değerlerindeki çevresel değişim gittikçe azalmakta ve ısıl gelişmenin yeniden sağlandığı 13-15 çaplık bir eksenel mesafeden sonra da tümüyle ortadan kalkmaktadır.



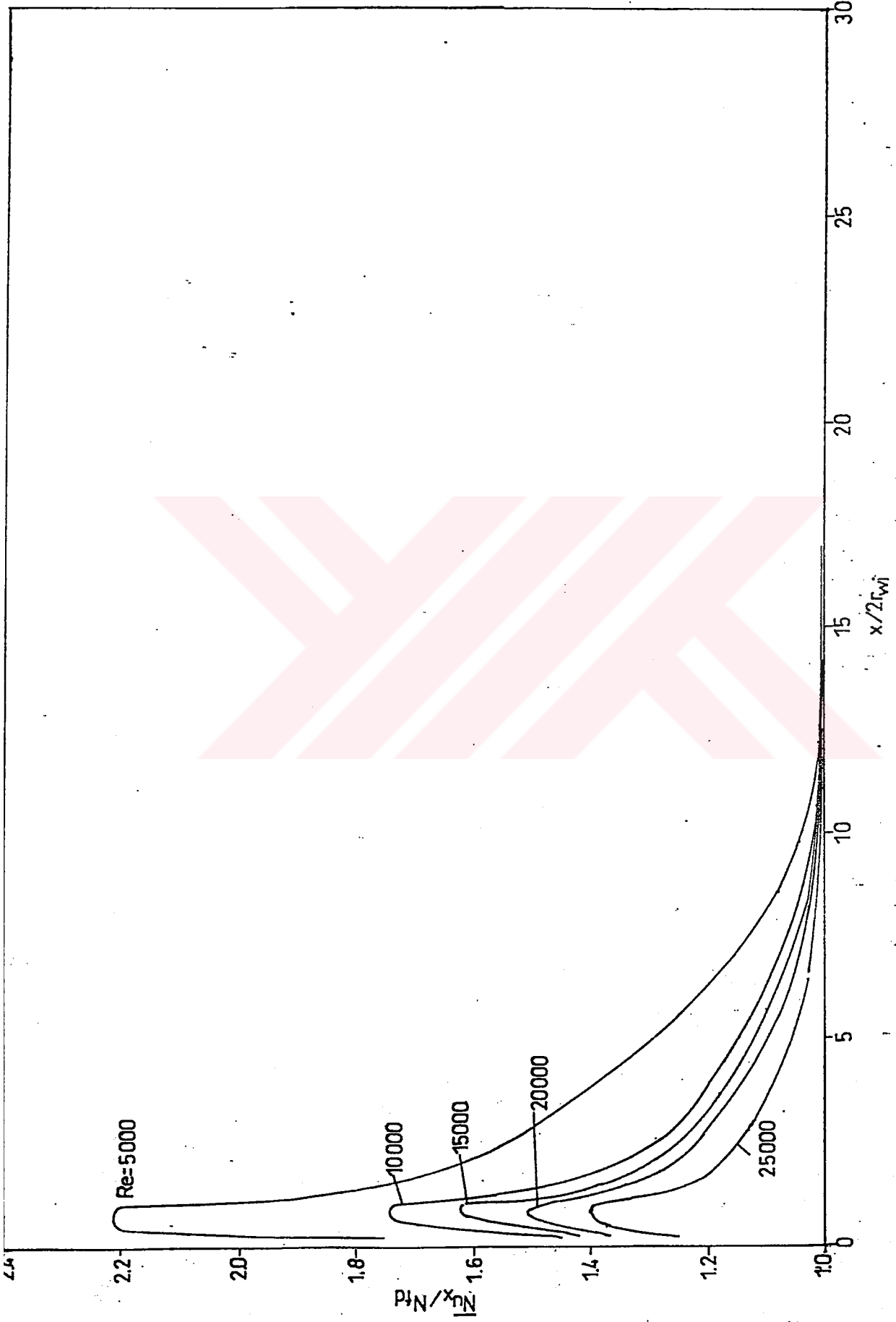


Şekil 4.1 Düz girişli boru için iç yüzey ve yığık sıcaklıklar

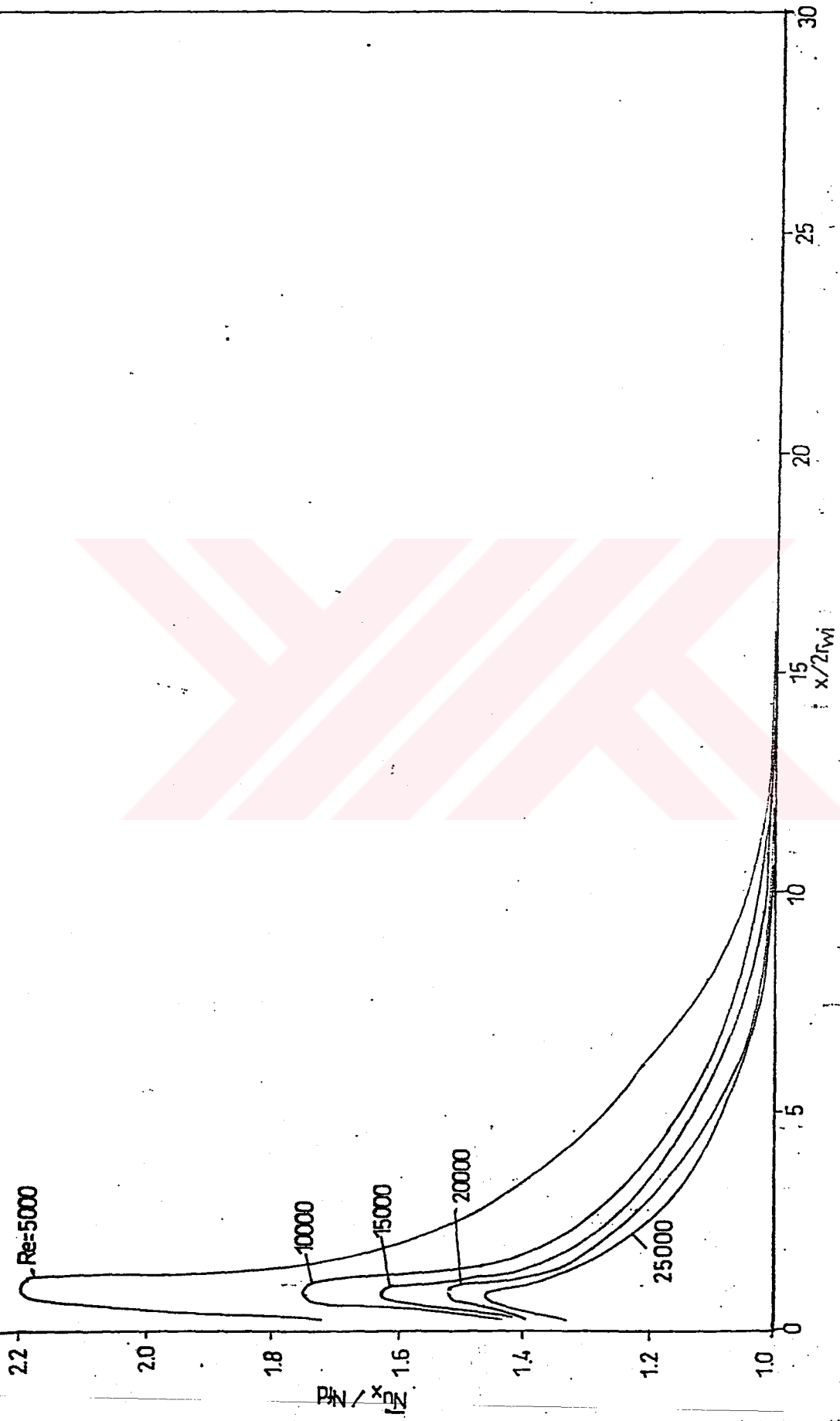




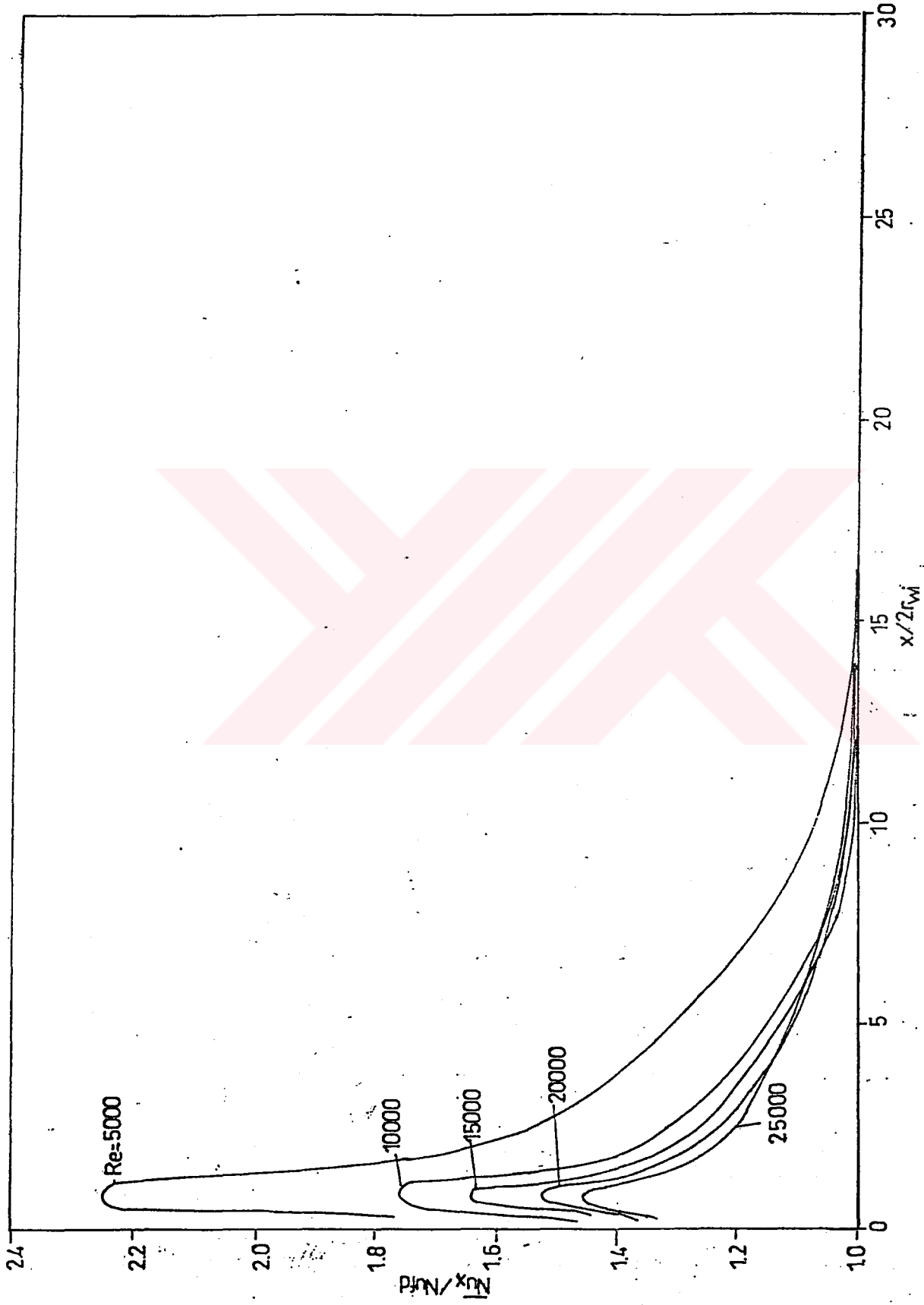
Şekil 4.2 Düz girişli boru için yerel Nusselt sayıları



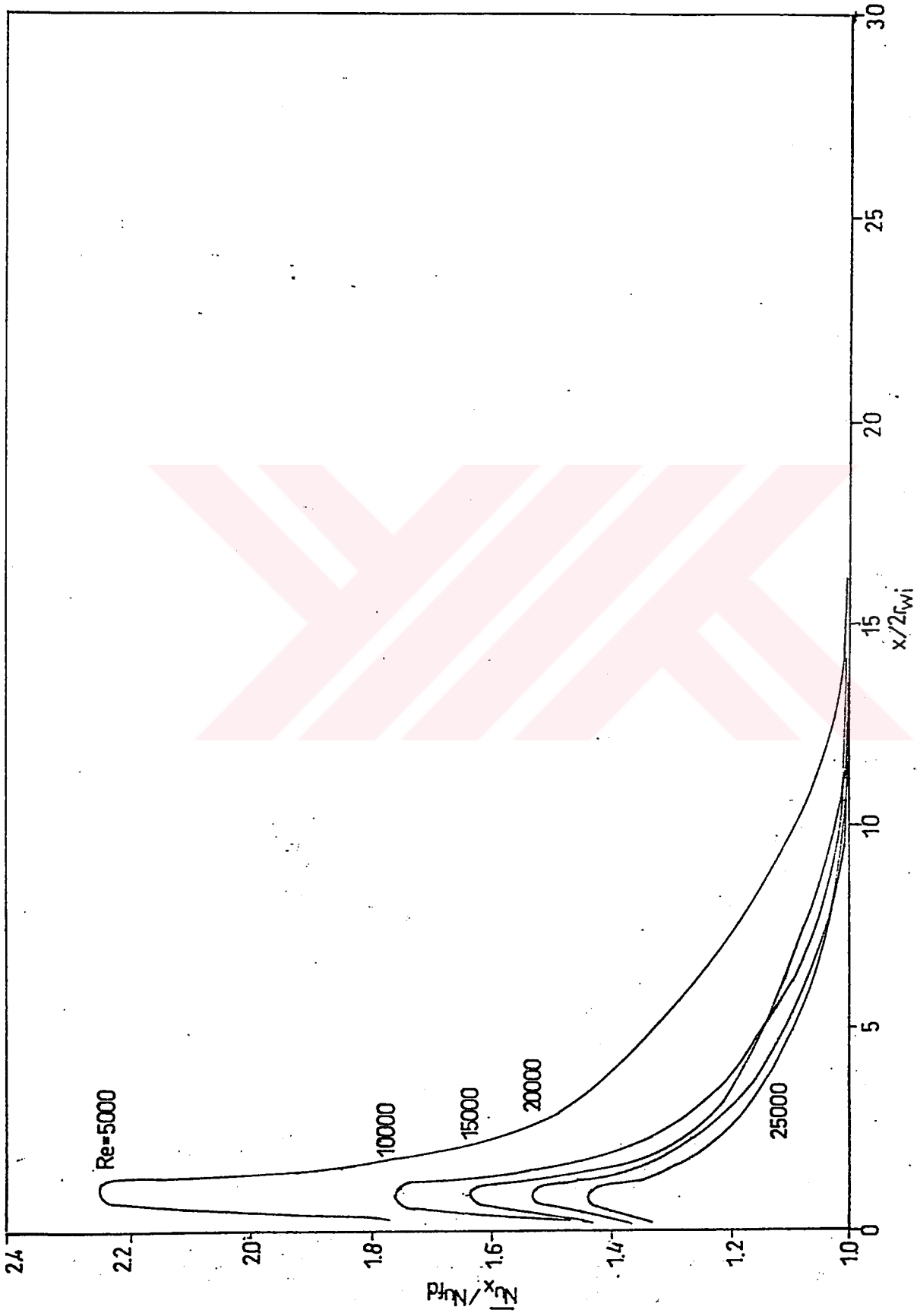
Şekil 4.3 30° dirsek için çevresel ortalama Nusselt sayıları



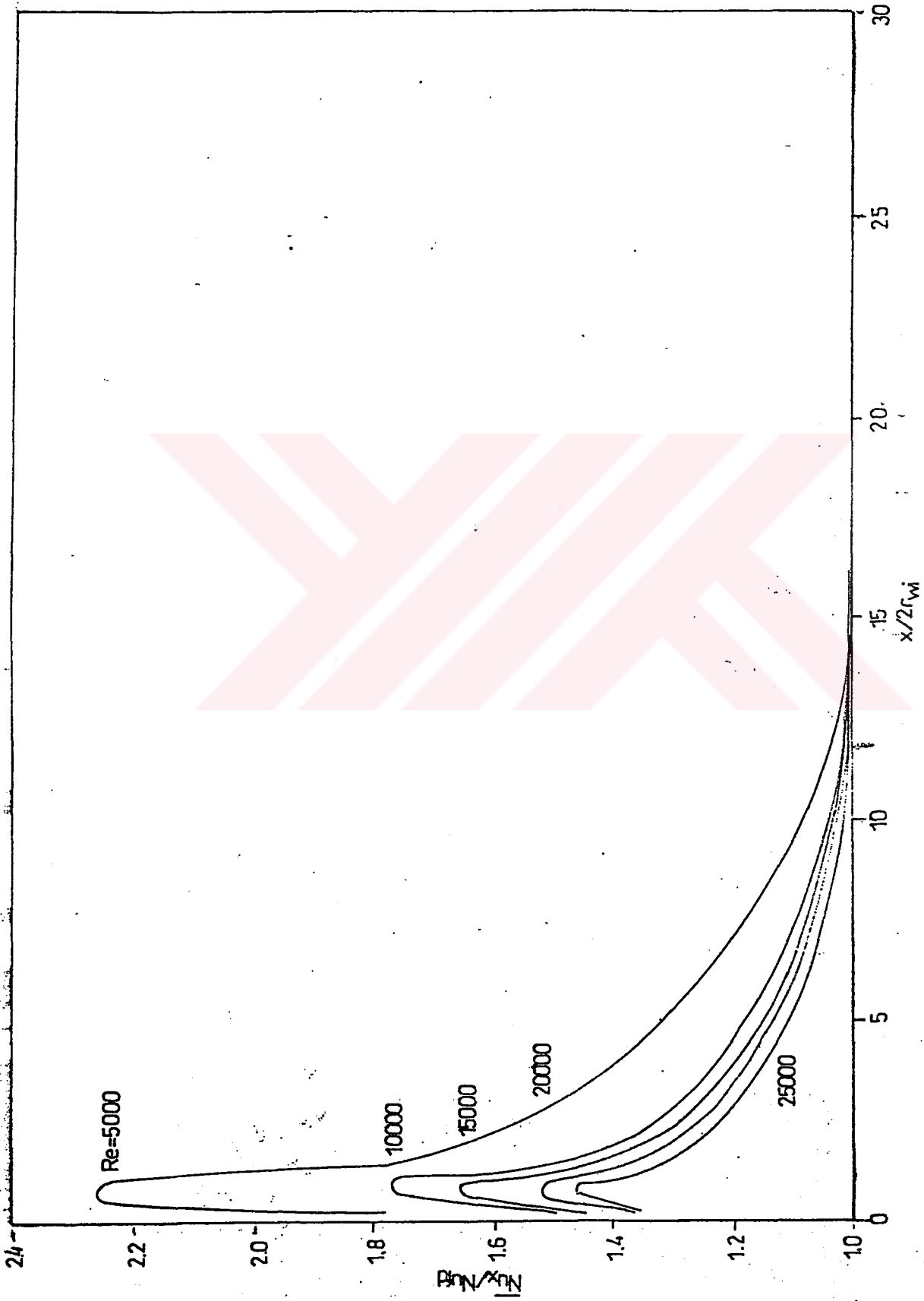
Şekil 4.4 60° dirsek için çevresel ortalama Nusselt sayıları



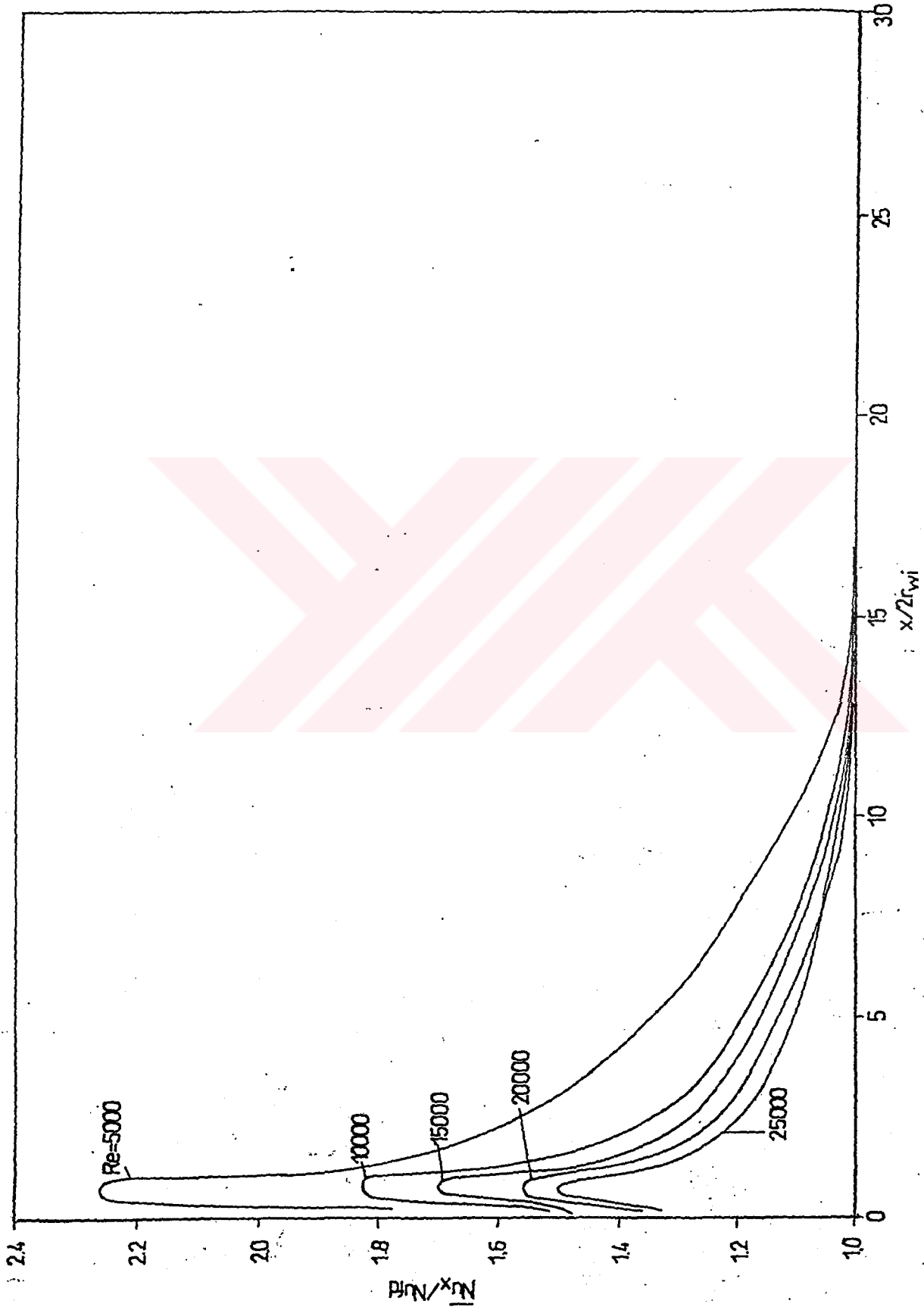
Şekil 4.5 90° dirsek için çevresel ortalama Nusselt sayıları



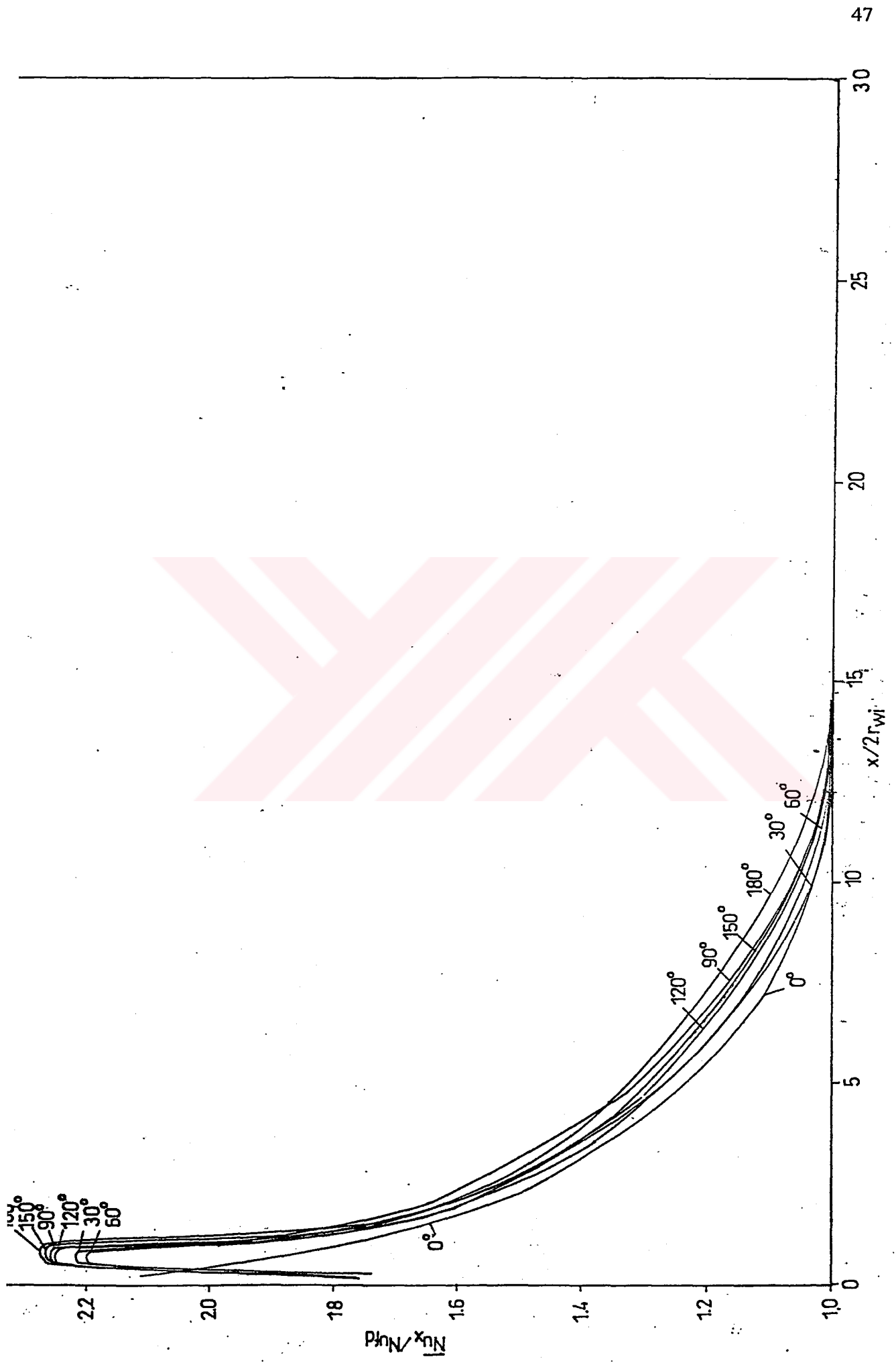
Şekil 4.6 120° dirsek için çevresel ortalama Nusselt sayıları



Şekil 4.7 150° dirsek için çevresel ortalama Nusselt sayıları

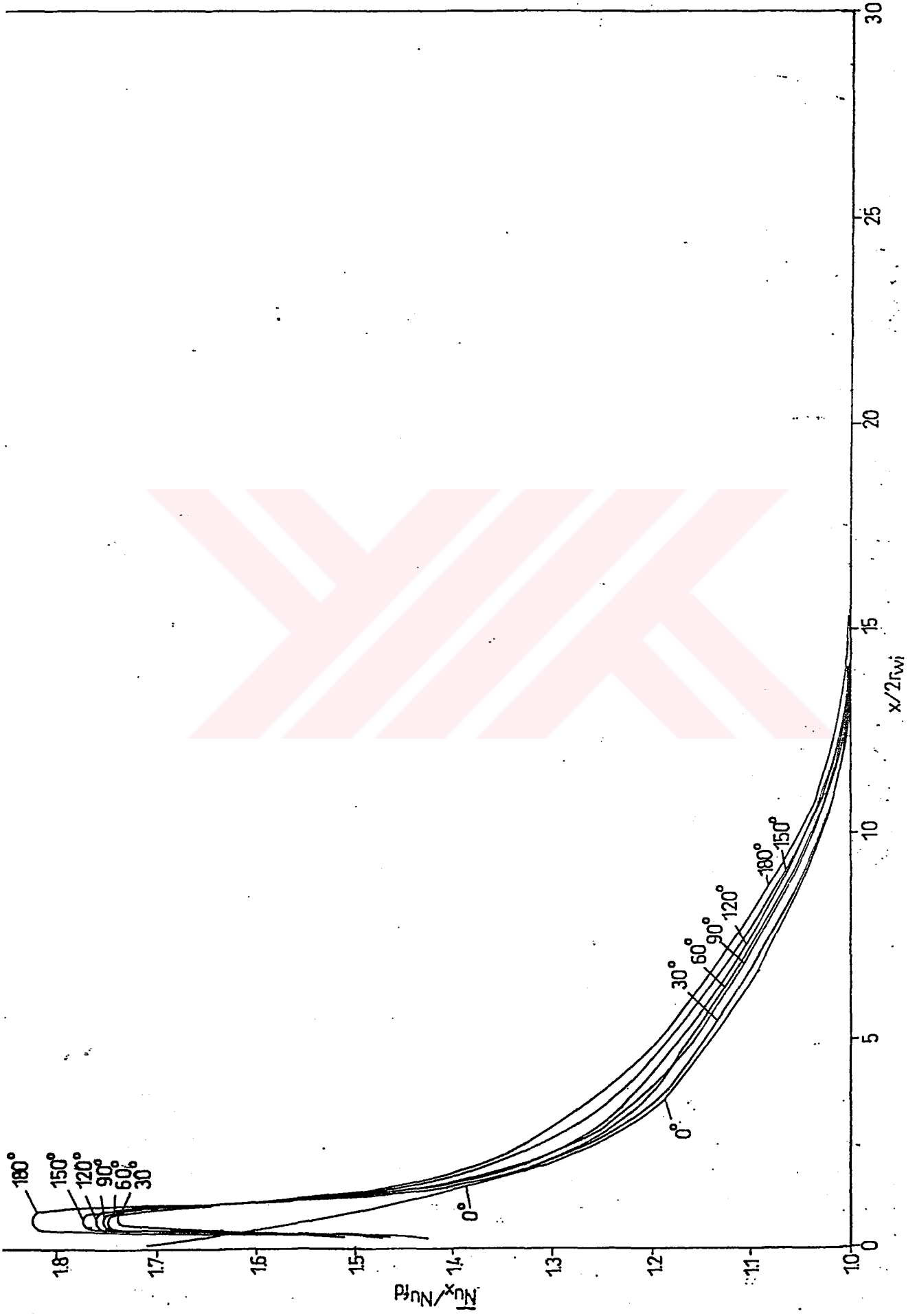


Şekil 4.8 180° dirsek için çevresel ortalama Nusselt sayıları

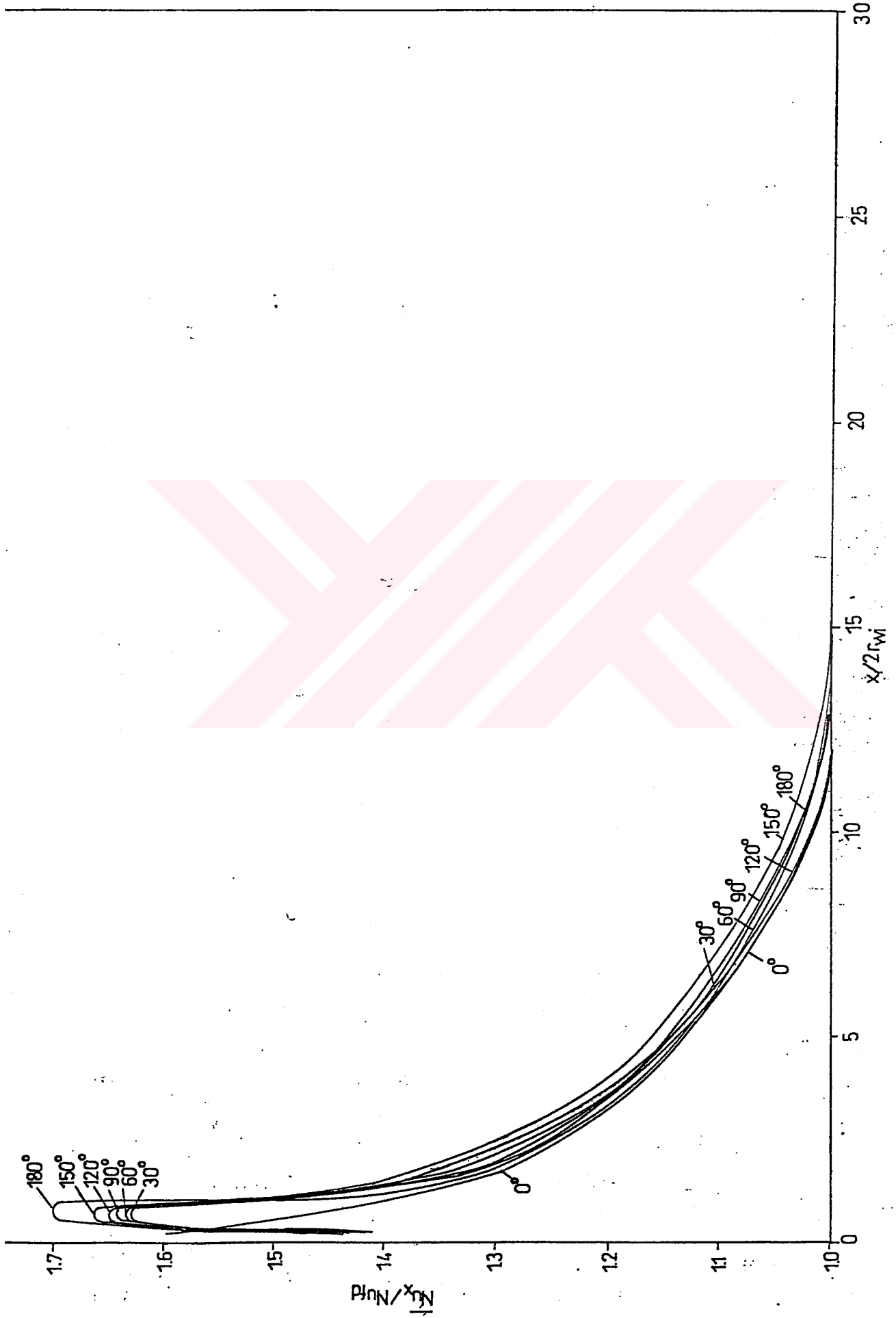


Şekil 4.9 Re=5000 için çevresel ortalama Nusselt sayıları

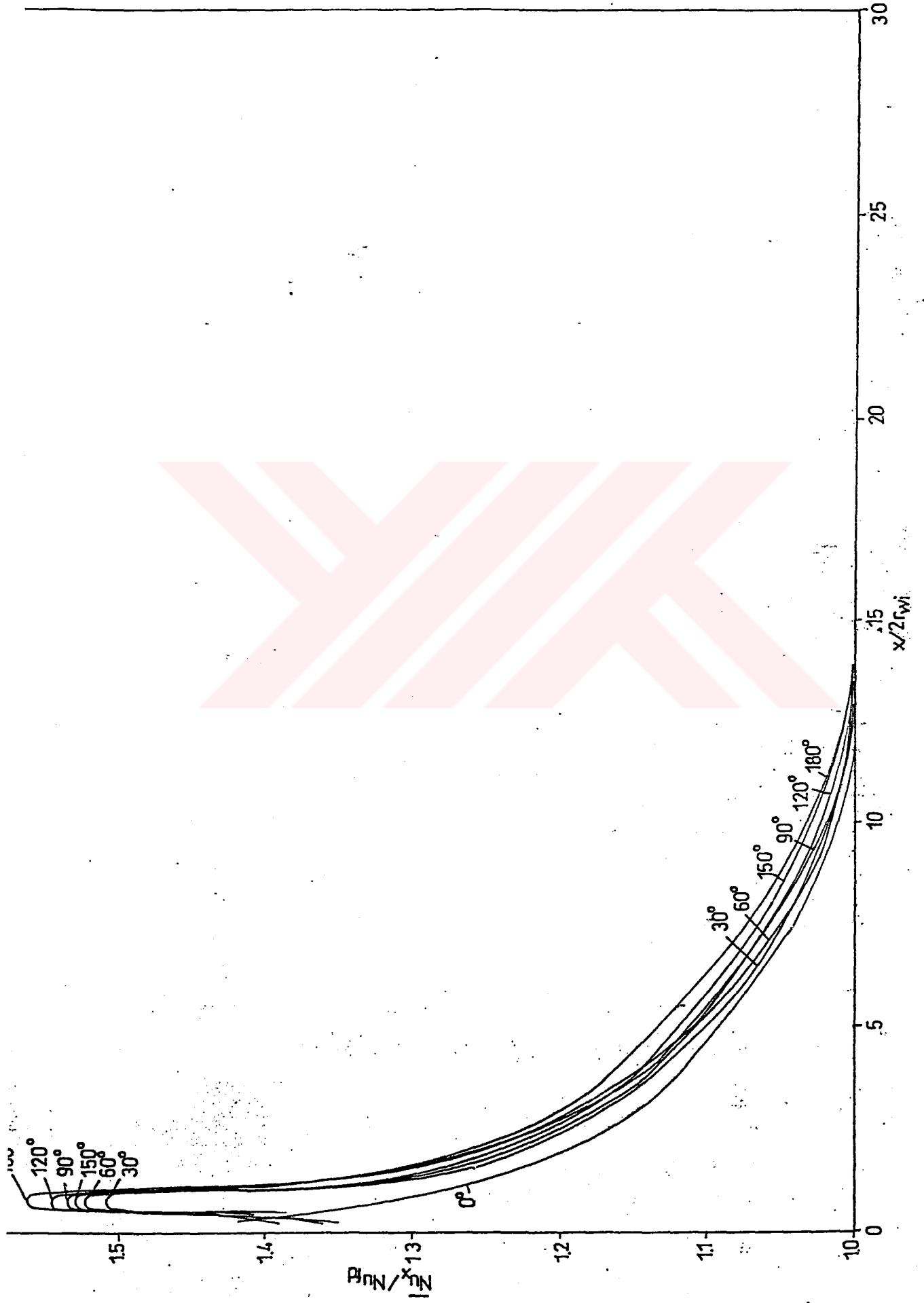




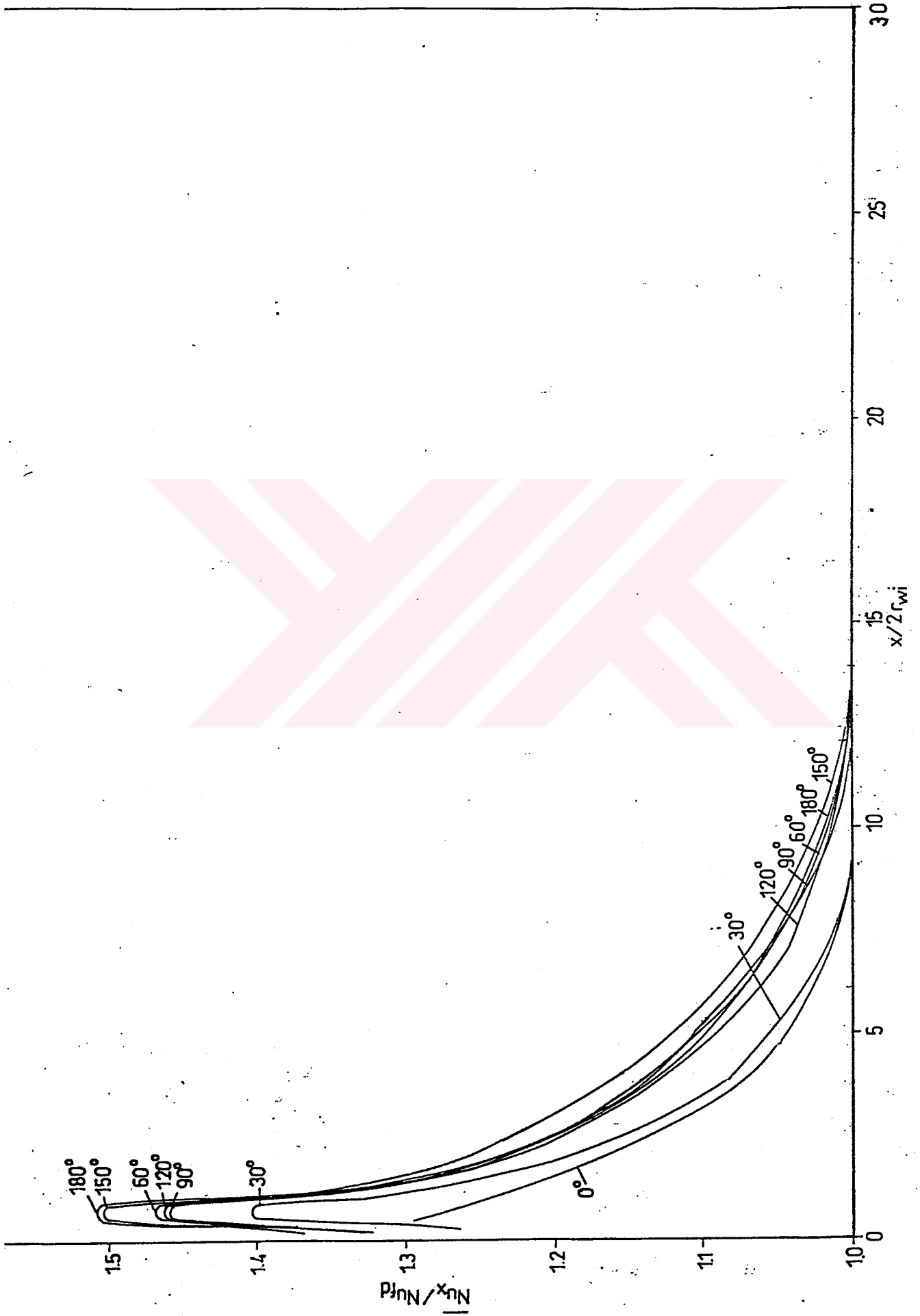
Şekil 4.10  $Re=10000$  için çevresel ortalama Nusselt sayıları



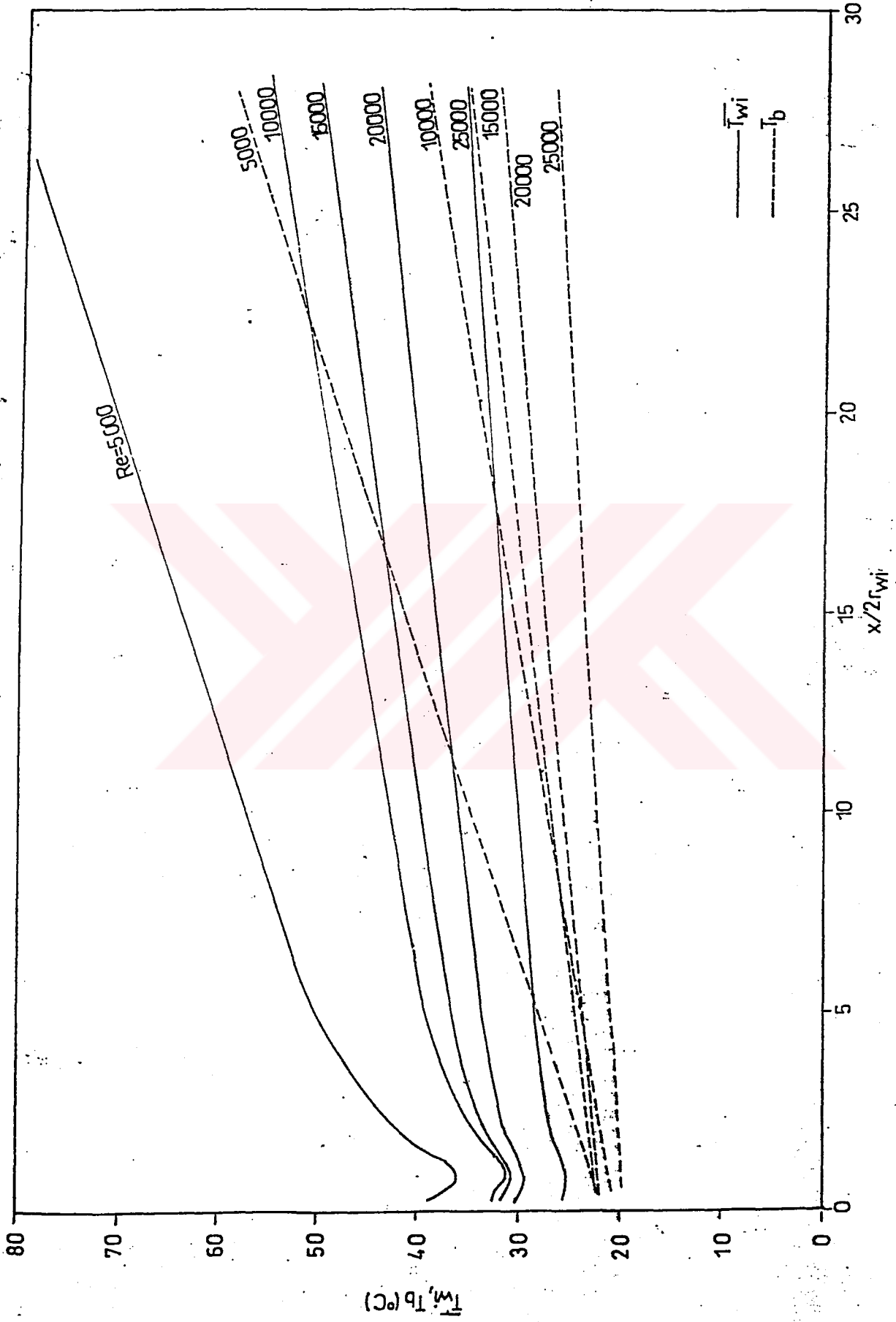
Şekil 4.11  $Re=15000$  için çevresel ortalama Nusselt sayıları



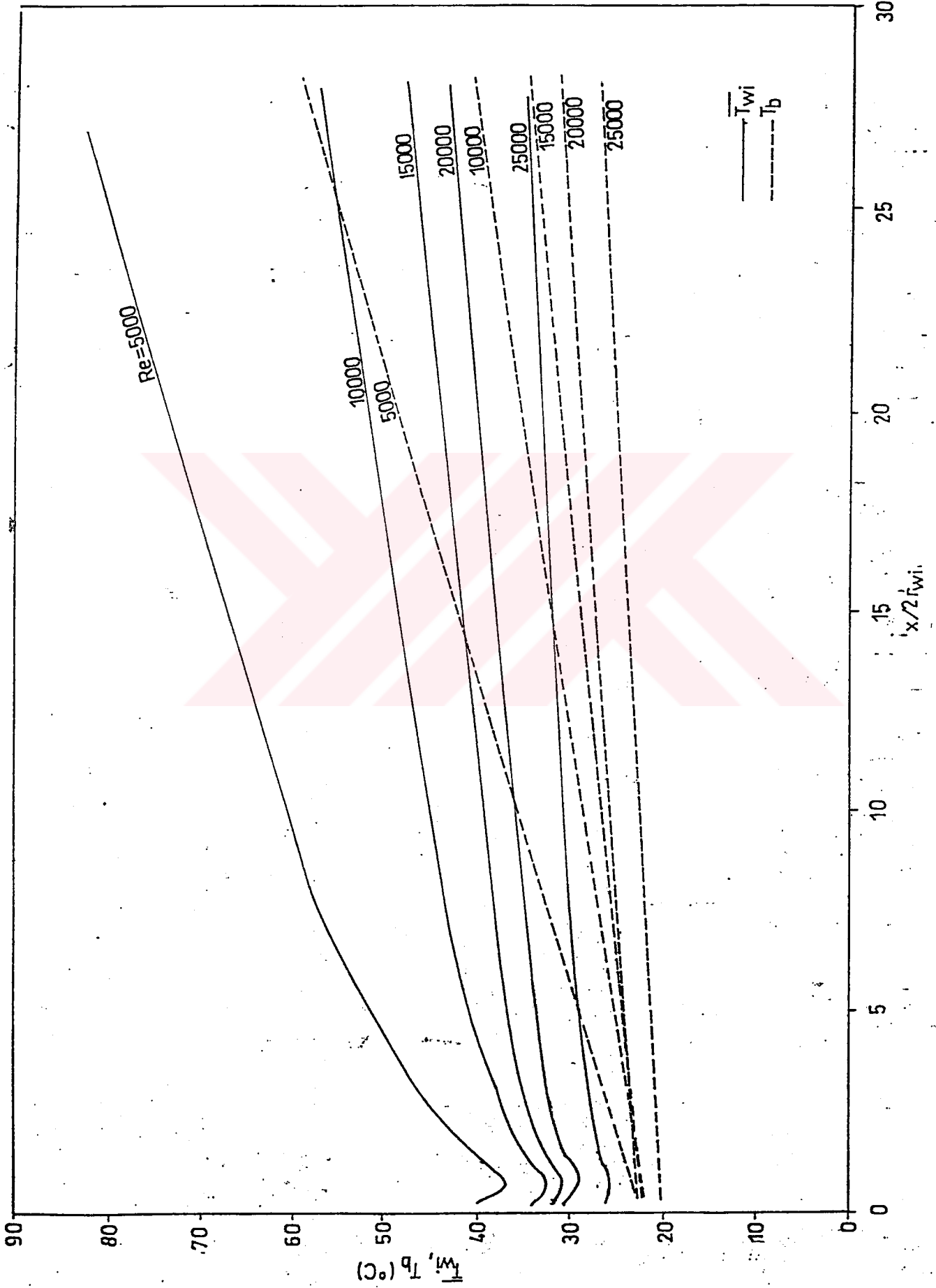
Şekil 4.12  $Re=20000$  için çevresel ortalama Nusselt sayıları



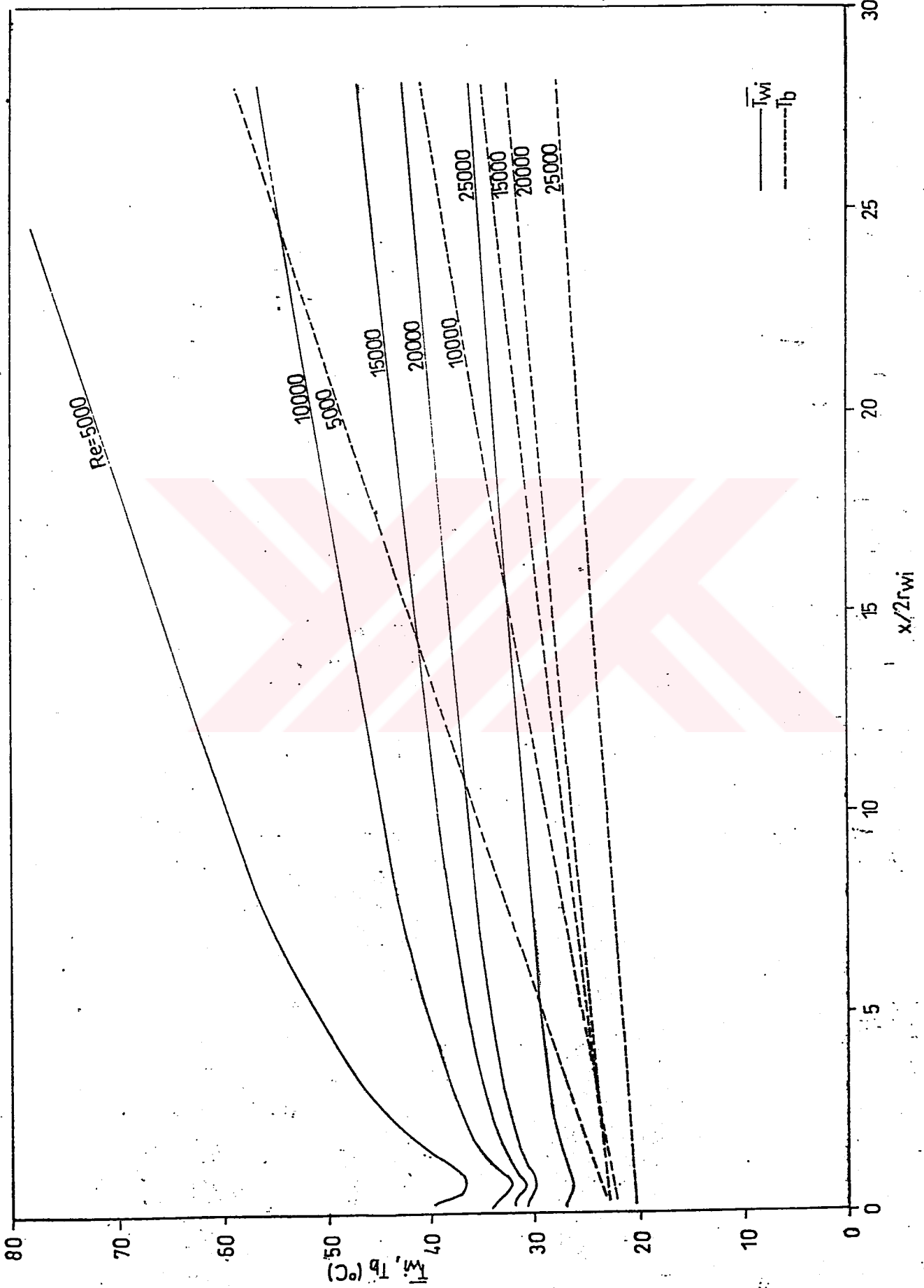
Şekil 4.13  $Re=25000$  için çevresel ortalama Nusselt sayıları



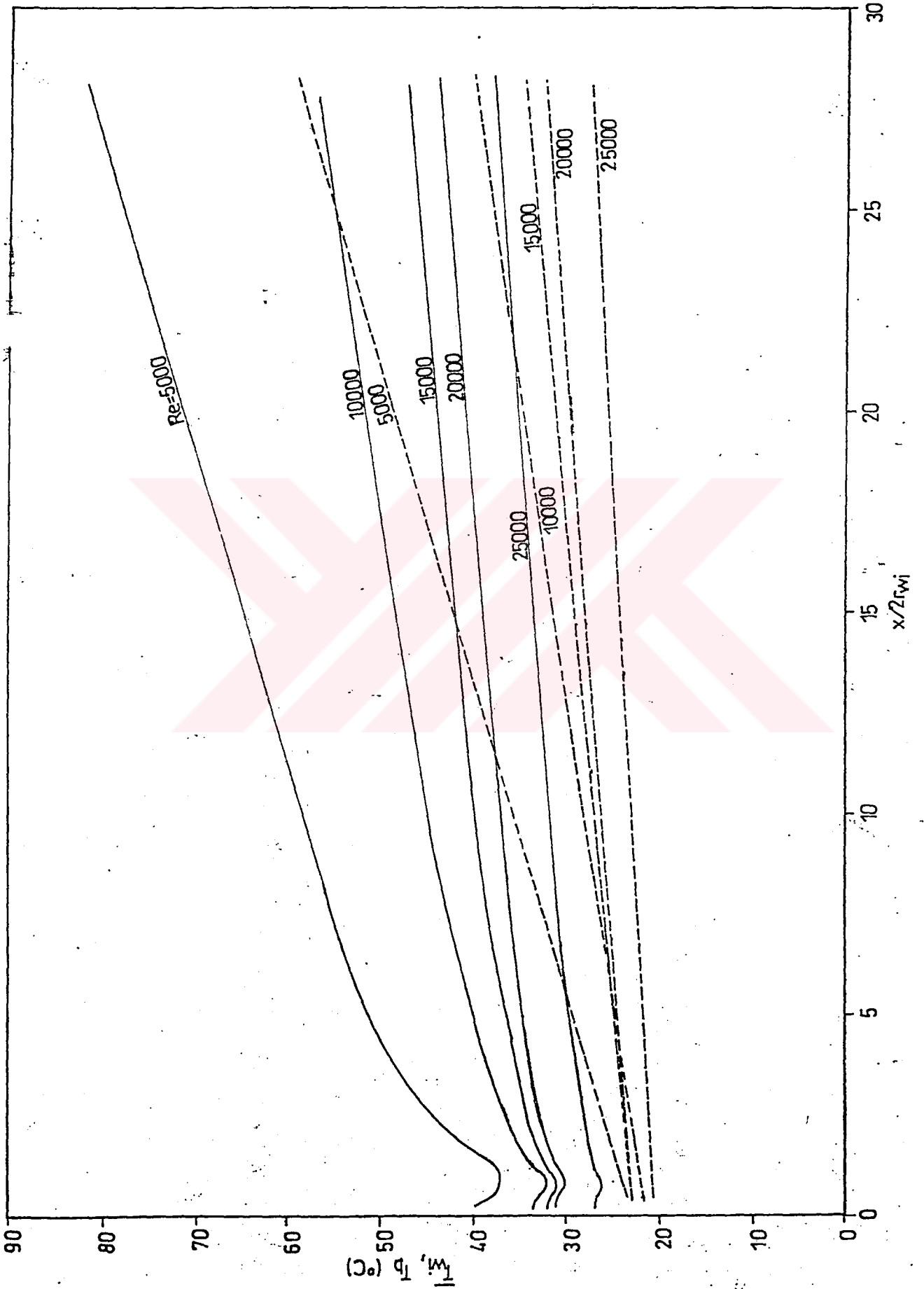
Şekil 4.14 180° girişli dirsek için çevresel ortalama iç yüzey ve yığık sıcaklıklar



Şekil 4.15 150° girişli dirsek için çevresel ortalama iç yüzey ve yığık sıcaklıklar

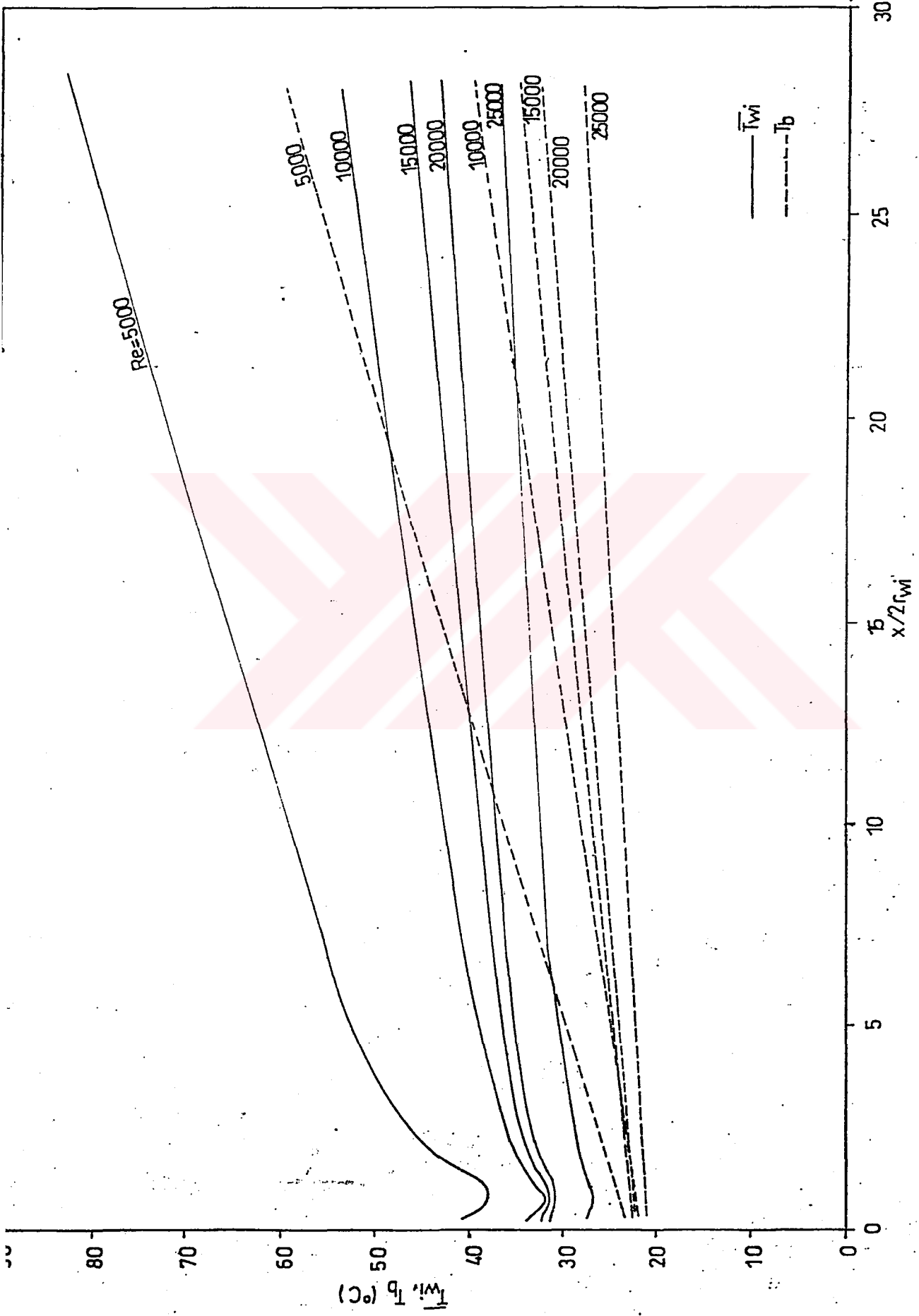


Şekil 4.16 120° girişli dirsek için çevresel ortalama iç yüzey ve yığık sıcaklıklar

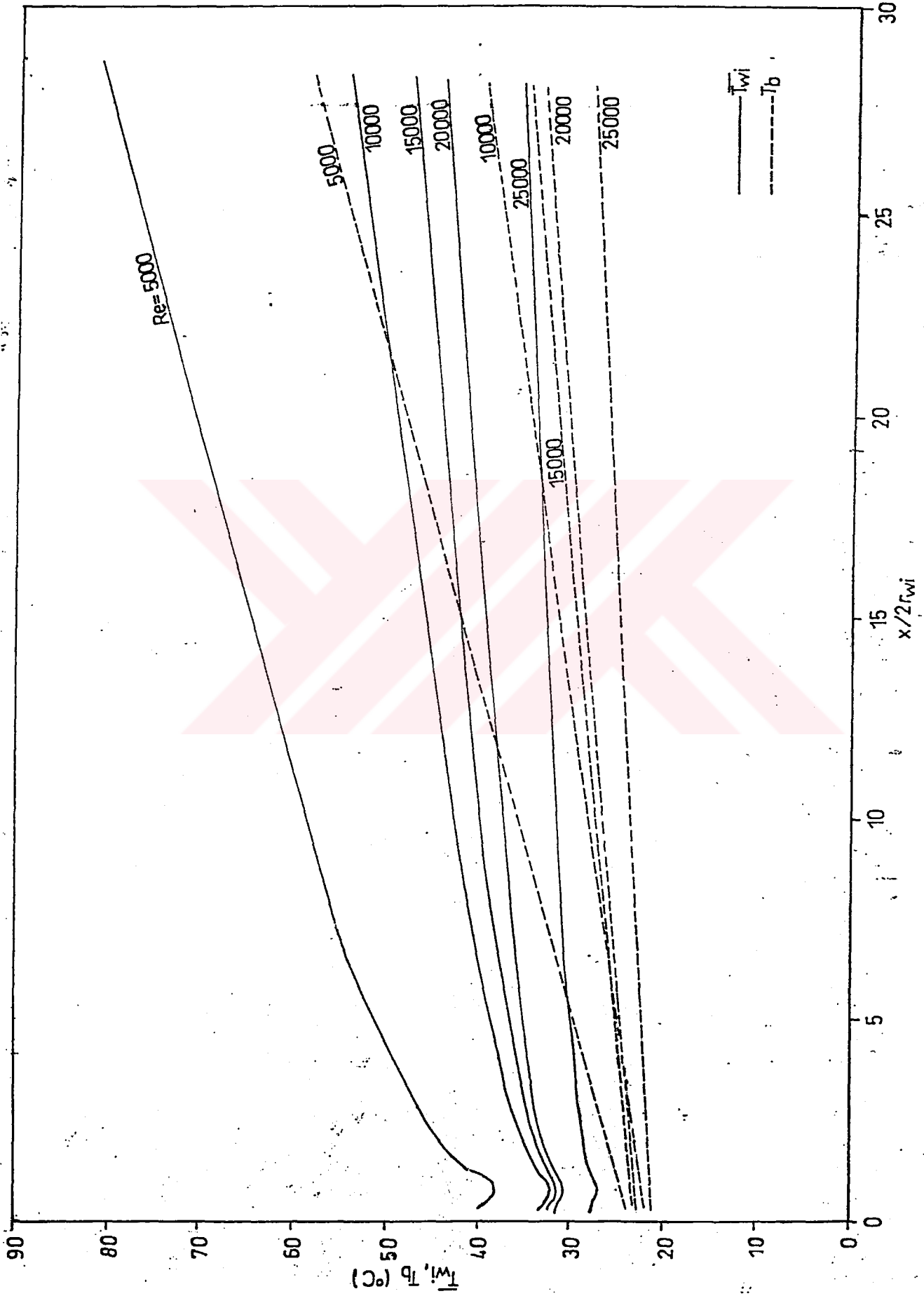


Şekil 4.17 90° girişli dirsek için çevresel ortalama iç yüzey ve yığık sıcaklıklar

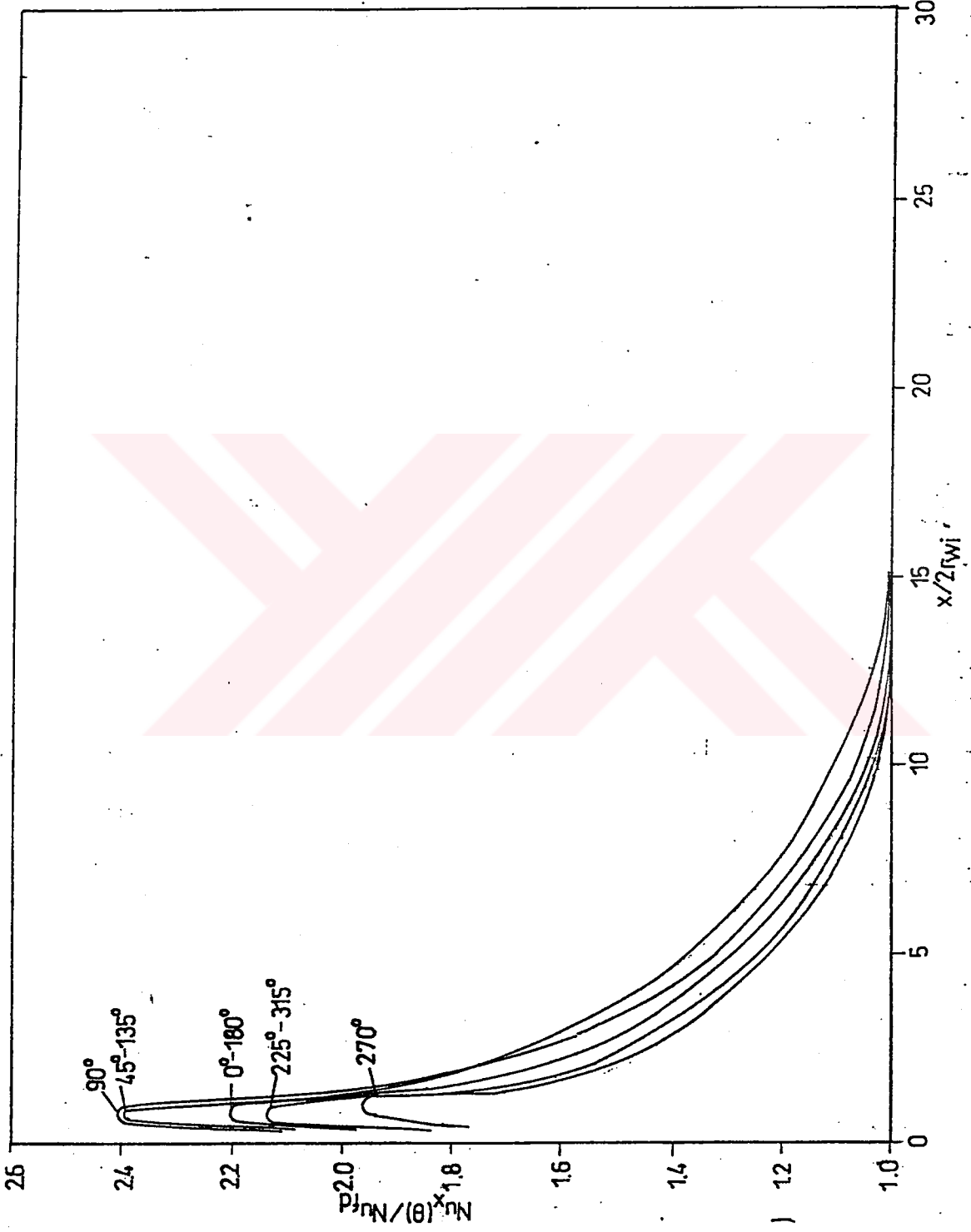




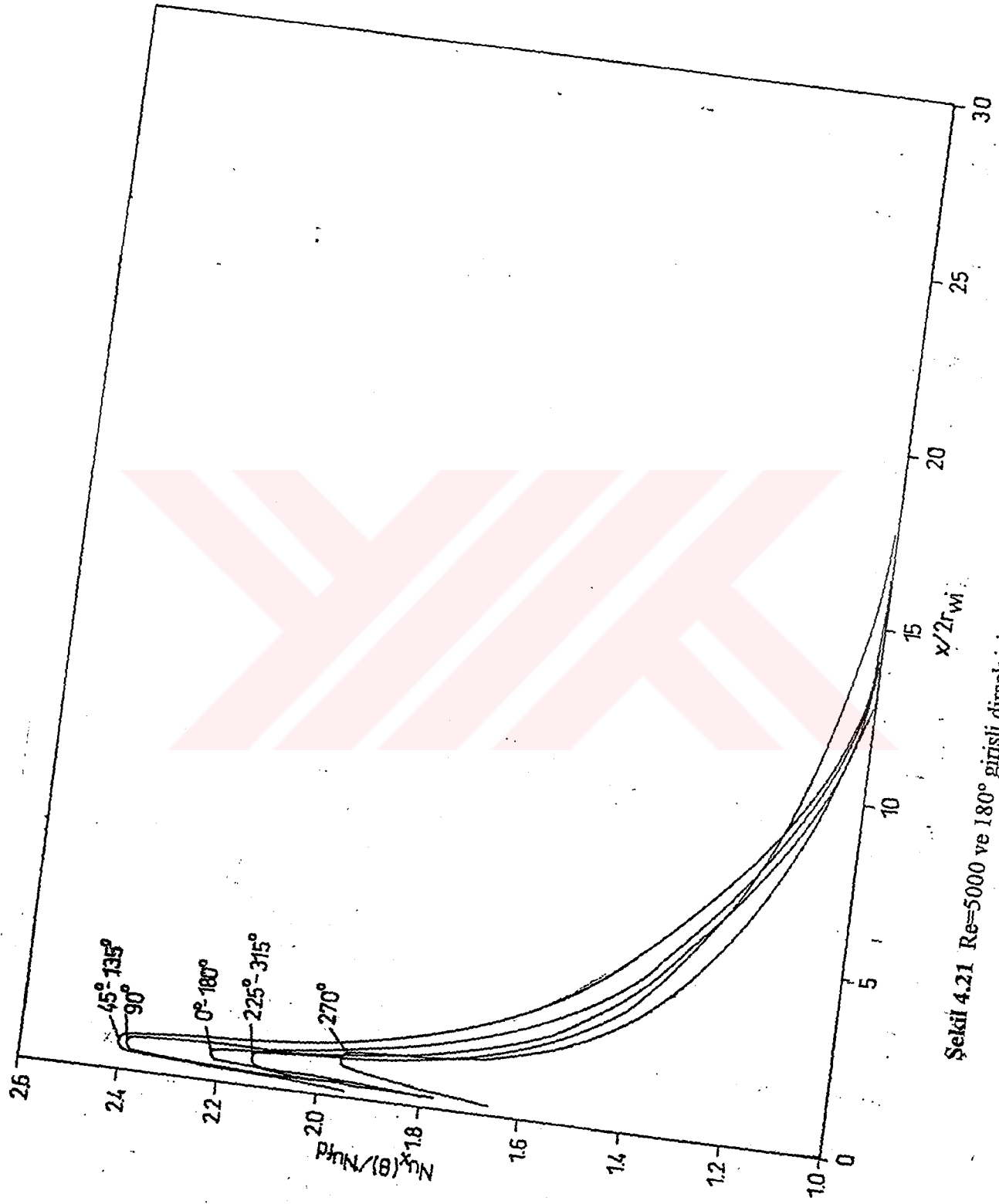
Şekil 4.18 60° girişli dirsek için çevresel ortalama iç yüzey ve yığık sıcaklıklar



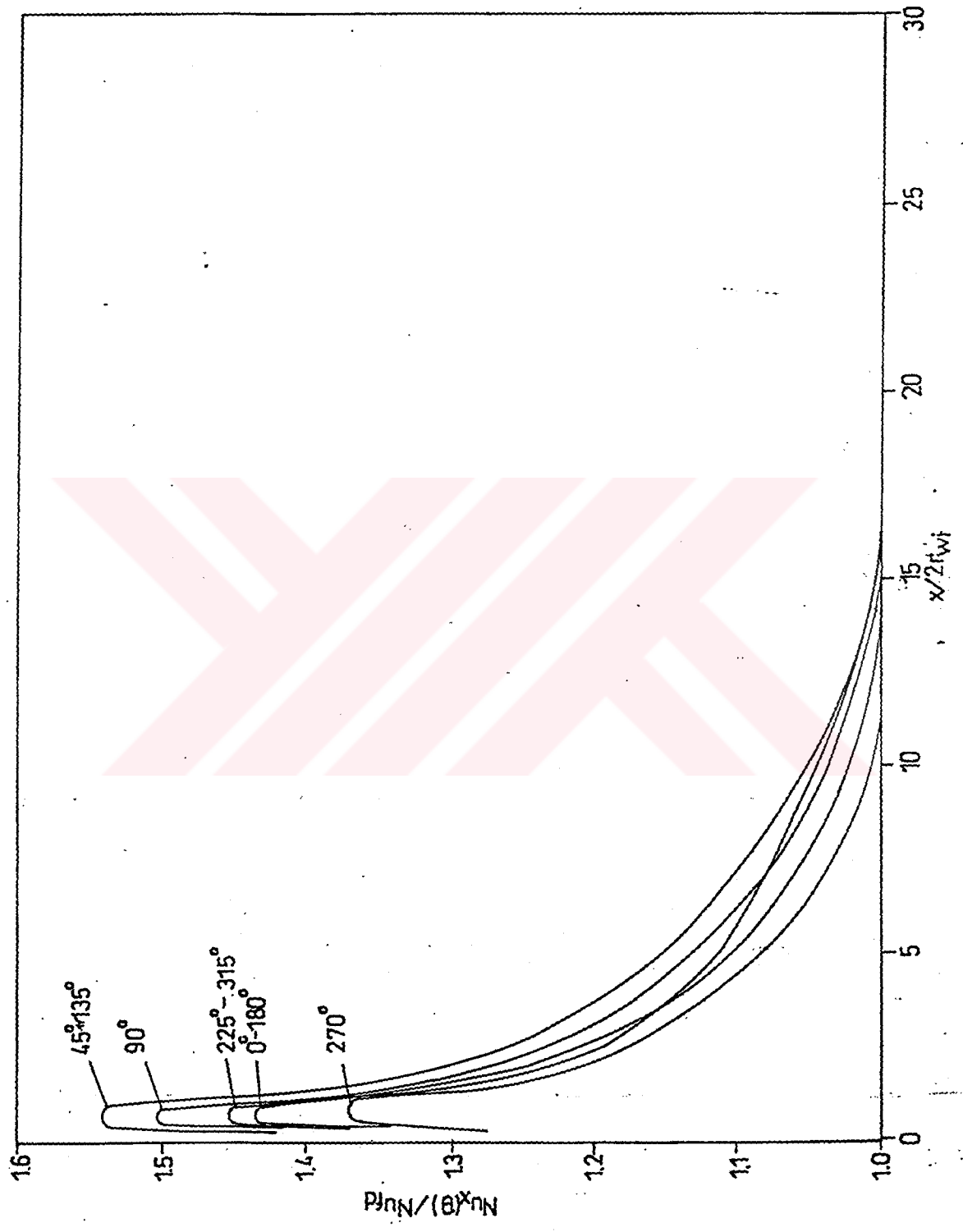
Şekil 4.19 30° girişli dirsek için çevresel ortalama iç yüzey ve yığık sıcaklıklar



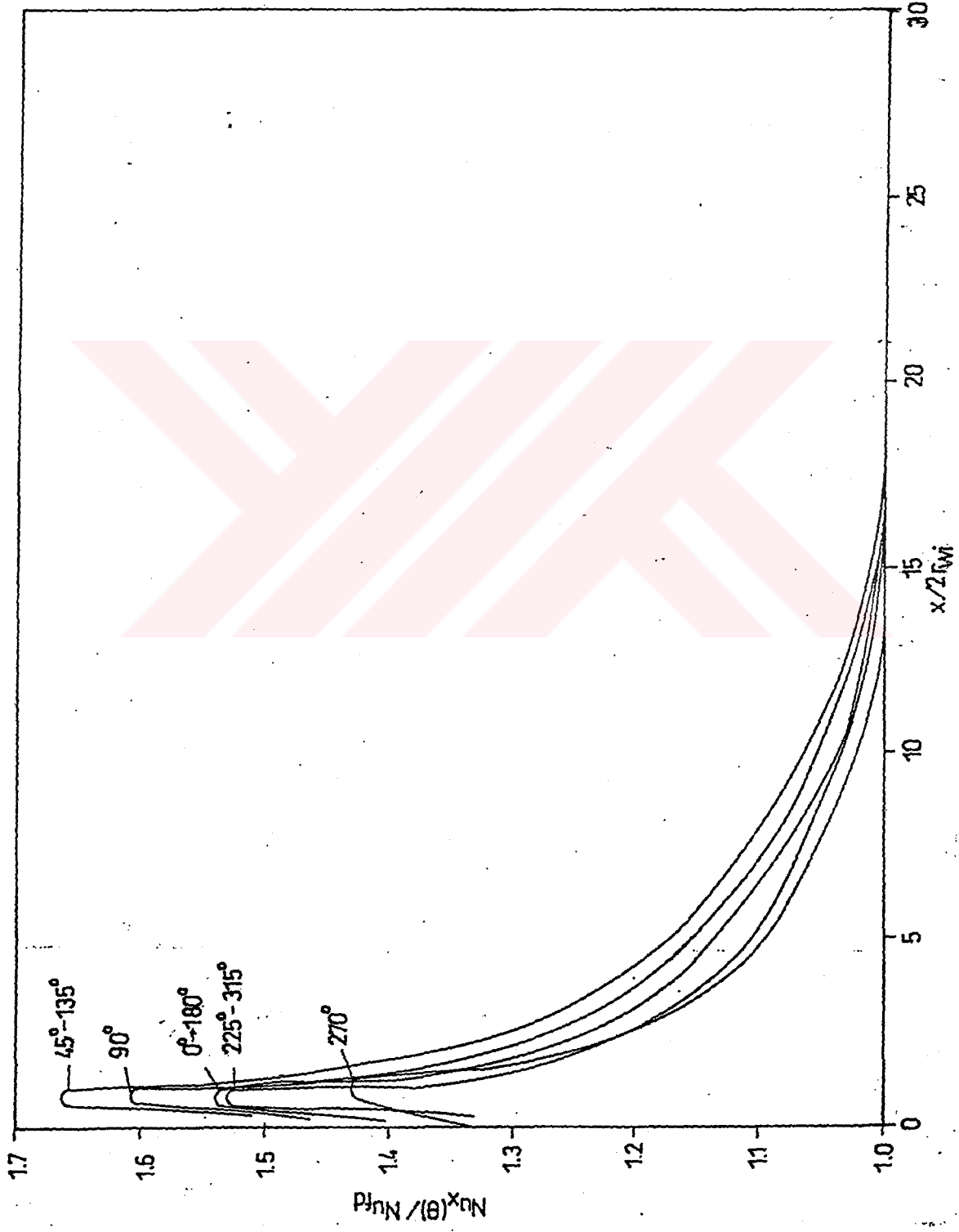
Şekil 4.20  $Re=5000$  ve  $30^\circ$  girişli dirsek için çevresel yerel Nusselt sayıları



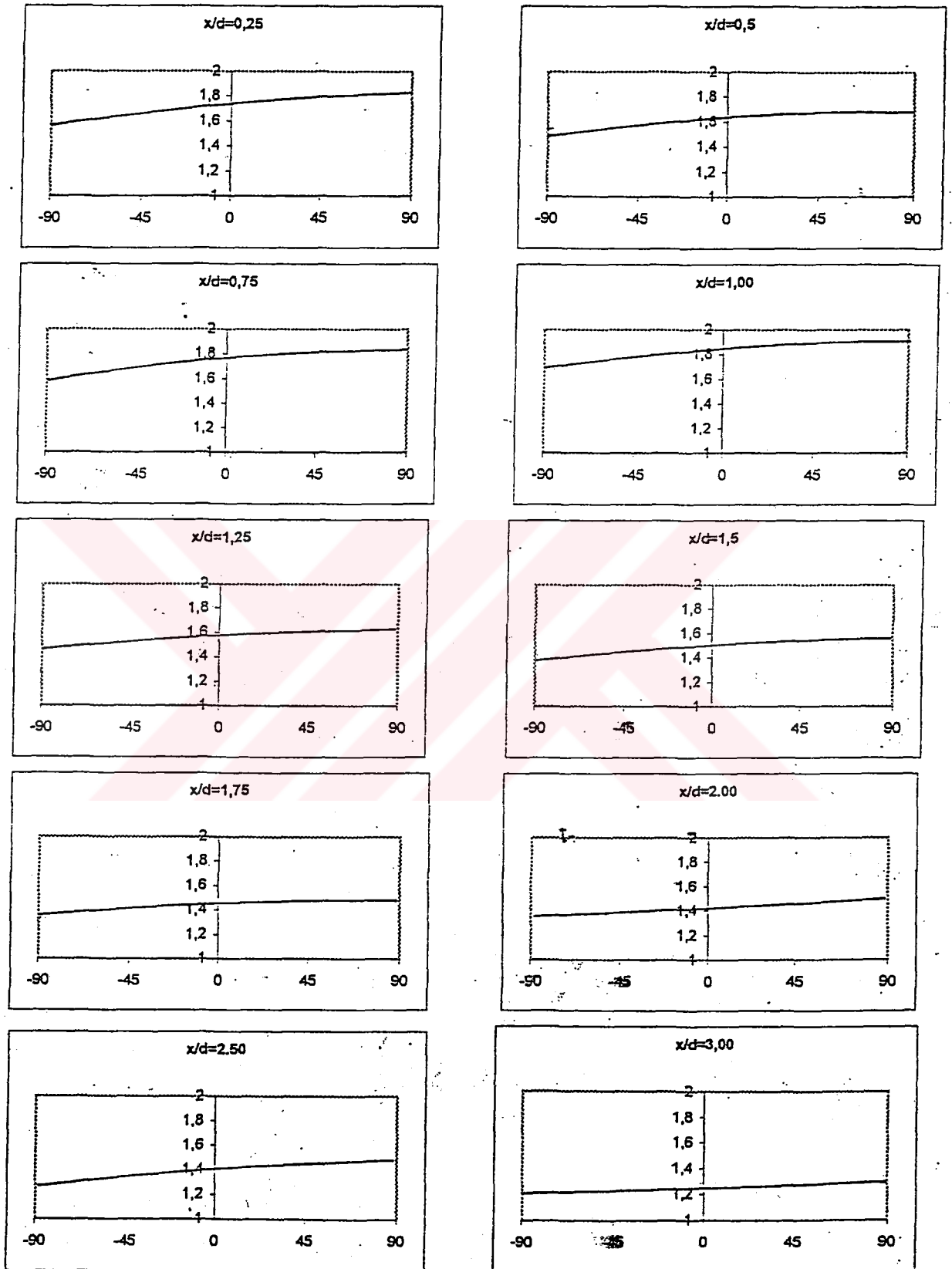
Şekil 4.21  $Re=5000$  ve  $180^\circ$  girişli dirsek için çevresel yerel Nusselt sayıları



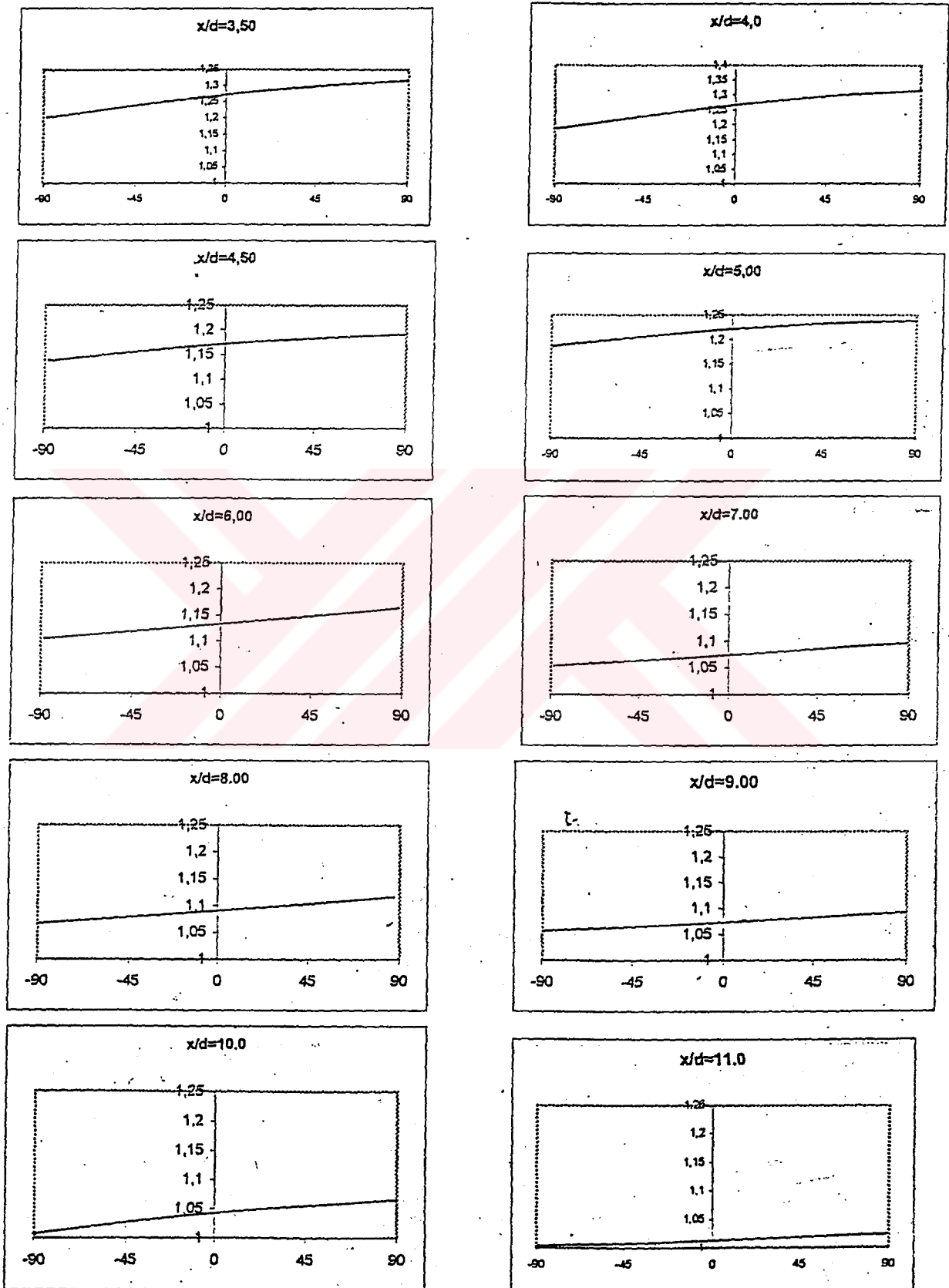
Şekil 4.22  $Re=25000$  ve  $30^\circ$  girişli dirsek için çevresel yerel Nusselt sayıları



Şekil 4.23  $Re=25000$  ve  $180^\circ$  girişli dirsek için çevresel yerel Nusselt sayıları



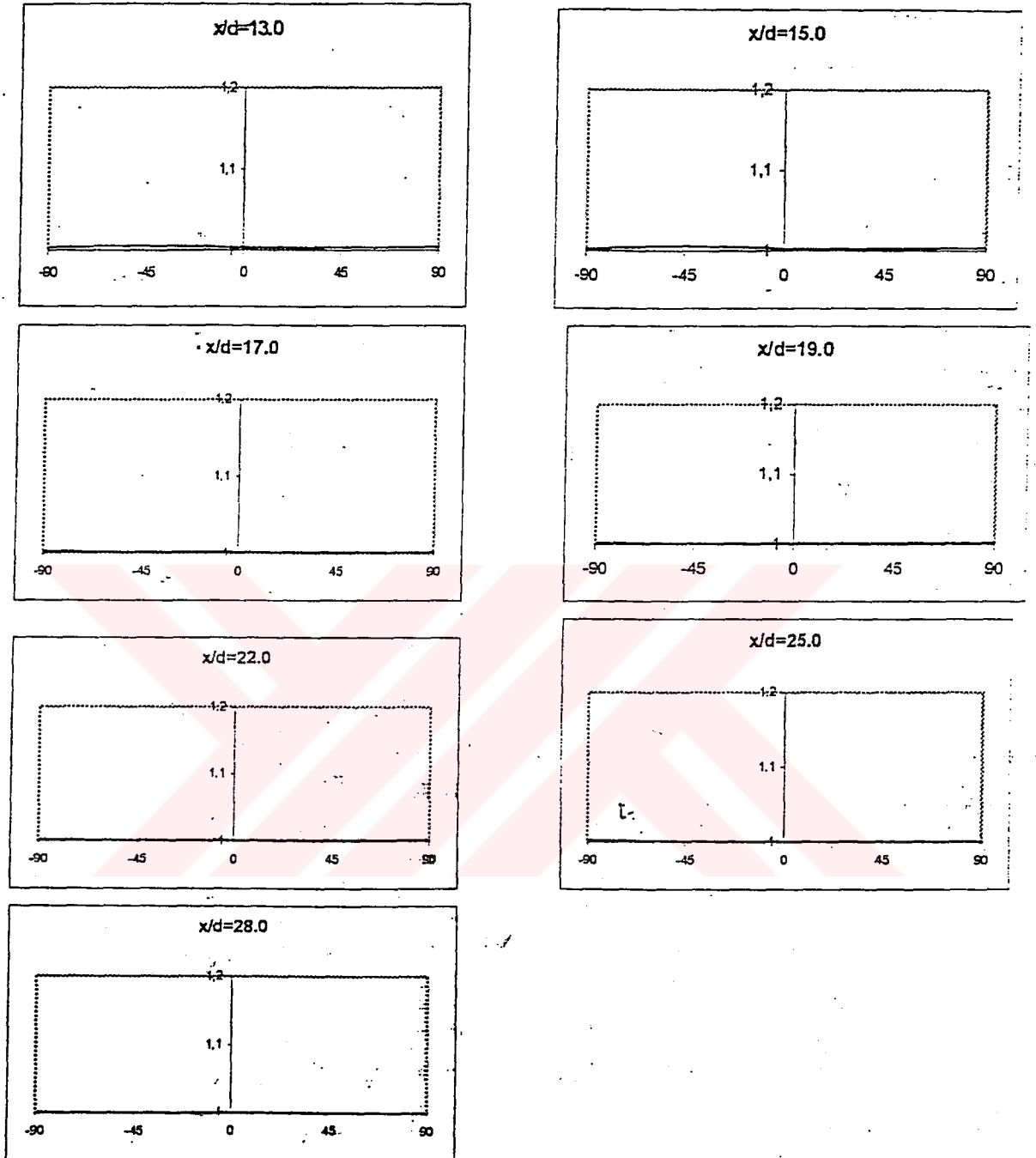
Şekil 4.24  $Re = 10000$  ve  $180^\circ$  girişli dirsek için çevresel yerel Nusselt sayılarının açısal dağılımı



Sekil 4.24 (devamı)

CEMRE KONSALTIYANLIK  
MÜHÜRÜ





Şekil 4.24 (devamı)

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada borularda türbülanslı hava akışında girişteki dirseklerin ısı transferine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler farklı dirsek açıları ve farklı Reynolds sayıları için gerçekleştirilmiş ve ısı transferi karakteristiklerinin hem aksenel hem de aksenel asimetri nedeniyle çevresel dağılımları gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir.

1. Girişteki dirseklerin neden olduğu akış ayrılması ısı transferi kat sayılarını klasik ısıl gelişme bölgesi ve tam gelişmiş bölge değerlerine kıyasla büyümesine neden olmuştur.
2. Dirsek çıkışından itibaren Nusselt sayıları başlangıçta artmakta ve muhtemelen yeniden tutunmanın gerçekleştiği bölgede bir maksimum değere ulaştıktan sonra tam gelişmiş bölge değerine doğru düzgün bir şekilde azalmaktadır.
3. Dirsek açısı ve buna bağlı olarak akış ayrılması etkisi arttıkça ısı transferi katsayısındaki artış beklenildiği gibi artmaktadır. Buna karşılık Reynolds sayıları arttıkça etkileri azalmaktadır.
4. Tüm parametre değerleri için dirsekten sonraki 13-15 çaplık bir mesafede yeniden gelişme sağlamaktadır.
5. Isı transferi katsayısındaki artış akış ayrılmasının gerçekleştiği dirseğin iç tarafına karşılık gelen konumlarda, dış tarafına karşılık gelen konumlara nazaran daha büyük olmaktadır.
6. Çevresel değişimlerin etkisi dirsekten sonraki 1.5-3 mesafede etkili olurken daha sonra azalmakta ve ısıl gelişmenin yeniden sağlandığı aksenel mesafede etkisini kaybetmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. ABDELMESSIH, A., N., 1979, Laminar Flow Heat Transfer Downstream from U-Bends, Oklahoma State University PhD Thesis
2. AGRAWAL, Y., TALBOT, L., GONG, K., 1978, Laser Anemometer Study of Flow Development in Curved Circular Pipes, J. Fluid Mech. Vol 85, part 3, pp 497-518.
3. AMANO, R., S., 1985, Turbulent Heat Transfer in a Channel with Two Right-Angle Bends, Int. J. Heat Transfer, vol.28. No.11, pp.2177-2179
4. ASAN, H., NAMLI, L., 1997, Deneysel Isı Transferi ve Basınç Kaybı Çalışmalarında Belirsizlik Analizi, Bildiri No.2D-4, 11. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı c1,s.369-378,
5. AZZOLA, J., HUMPHREY, J. A. C., IACOVIDES, H., LAUNDER, B. E., 1986, Developing Turbulent Flow in a U-bend of Circular Cross-Section: Measurement and Computation, Transactions of ASME, June vol.108, pp.214.
6. BARA, B., NANDAKUMAR, K., MASLIYAH, J., H., 1992, An Experimental and Numerical Study of the Dean Problem: Flow Development Towards Two-Dimensional Multiple Solutions, J. Fluid Mech., vol.244, pp.339-376
7. BAUGHN, J. W., IACOVIDES, H., JACKSON, D., C., LAUNDER, B. E., 1987, Local Heat Transfer Measurements in Turbulent Flow Around a 180-deg Pipe, Transactions of ASME, February vol.109, pp.43.
8. BİLİR, Ş., DARICI, S., 1997, Borularda Akış Tıkanmasının Türbülanslı Isı Transferine Etkileri, 11. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Edime.

9. BURMEISTER, L. C., Convective Heat Transfer, 1993, John Wiley & Sons, Inc.
10. CHENG, K. C., YUEN, F. P., 1987, Flow Visualization Studies on Secondary Flow Patterns in Straight Tubes Downstream of a 180-deg Bend and in Isothermally Heated Horizontal Tubes, Journal of Heat Transfer, February, vol 109, pp.49.
11. CHENG, K.C., YUEN, F. P., 1987, Flow Visualization Experiments on Secondary Flow Patterns in an Isothermally Heated Curved Pipe, Journal of Heat Transfer, vol 109, pp.55
12. CHOI, J. M., ANAND, N. K., 1995, Turbulent Heat Transfer in a Serpentine Channel with Series of Right-Angle Turns, Int. J. Heat Mass Transfer, vol.38, No.7, pp. 1225-1236
13. DAĞSÖZ, A.K., 1990, Isı Transferi, İTÜ, İstanbul
14. DARICI, S., 1998, Borularda Akış Tıkanmasının Türbülanslı Isı Transferine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
15. EDE, A.J., 1966, The Effect of a 180° Bend on Heat Transfer to Water in a Tube, 3<sup>rd</sup> International Heat Transfer Conference, pp.99
16. FILETTI, E.G., KAYS, W.M., 1967, Heat Transfer in Separated, Reattached and Redeveloped Regions Behind a Double Step and Entrance to a Flat Duct., Trans. ASME, J. Heat Tr., Vol. 89. pp.163-168

17. HOLMAN, J. P., 1976, Heat Transfer, McGraw-Hill Book Comp., New York.
18. HUMPHREY, A. C., WHITELOW, J. H., YEE, G., 1981, Turbulent Flow in a Square Duct with Strong Curvature, J. Fluid Mech, vol.103 pp.443-463.
19. HUMPHREY, A.C., TAYLOR, A., M., K., 1977, Laminar Flow in a Square Duct of Strong Curvature, J. Fluid Mech. Vol 83, part 3, pp 509-527.
20. HUMPHREY, J., A., C., IACOVIDES, H., LAUNDER, B.E., 1985, Some Numerical Experiments on Developind Laminar Flow n Circular-Sectioned Bends, J. Fluid Mech, vol.154 pp.357-375.
21. INCROPERA P.P, DeWITT, D. P., 2001, Isı ve KütLe Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, Dördüncü Basımdan Çev.
22. ITO, H. 1960, Pressure Losses in Smooth Pipe Bends, Journal of Basic Engineering, March 1960.
23. KAKAÇ, S., SHAH, R., HUNG, W., Convective Heat Transfer in Bends and Fittings, Handbook of Single Phase Convective Heat Transfer, John Wiley & Sons, 1987
24. KAKAÇ, S., YENER, Y., Convective Heat Transfer, 1995, CRC Press Inc., Second Ed.
25. KAPÇI, M., 1999, Borularda Asimetrik Akış Tıkanmasının Türbülanslı Isı Transferine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
26. KAYS, W. M., Convective Heat and Mass Transfer, 1975, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delphi

27. KOMIYAMA, Y., MIKAMI, F., OKUI, K., 1984, Laminer Forced Convection Heat Transfer in Curved Channels of Rectangular Cross Section, Heat Transfer Japan, vol. 12, pp. 68

28. KORAM, K.K.SPARROW, E.M., 1978, Turbulent Heat Transfer Downstream of an Unsymmetric Blockage in a Tube, Trans. ASME, J. Heat Tr., Vol. 100. pp.588-594

29. KRALL, K. M., SPARROW, E. M., 1966, Turbulent Heat Transfer in the Seperated, Reattached and Redeveloped Regions of a Circular Tube, Trans. ASME, J. Heat Tr., Vol. 87. pp.131-136

30. MAYLE, R.E., BLAIR, M.F., KOPPER, F.C., 1979, Turbulent Boundry Layer Heat Transfer on Curved Surfaces, Journal of Heat Transfer, August vol.101

31. MEHTA, N. D., BELL, K. J., 1981, Laminer Flow Heat Transfer in a Tube Preceded by a 180° Bend, Heat Transfer- Soviet Research vol.13, No.6

32. METZGER, D. E, LARSON, D.E., 1986, Use of Melting Point Surface Coating for Local Convection Heat Transfer Measurements in Rectangular Channel Flows with 90-deg Turns, Transactions of ASME, February vol.108, pp.48.

33. MULLIN, T., GREATED, C.,A., 1980, Oscillatory Flow in Curved Pipes. Part 1. The Developing Flow Case, J. Fluid Mech, vol.98, part 2, pp.383-395.

34. NALBANT, A., 2001, Borularda Klape Şeklinde Bir Eleman ile Gerçekleştirilen Asimetrik Akış Tıkanmasının Türbülanslı Isı Transferine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

35. NOTTER, R. H., SLEICHER, C. A., 1972, A Solution to the Turbulent Graetz Problem-III Fully Development and Entry Region Heat Transfer rates, Chemical Engineering Science vol. 27, pp. 2073-2093
36. PIGOTT, J, S, 1956, Losses in Pipe and Fittings, Annual Meeting of The American Society of Mechanical Engineers, November 25-30, New York
37. POULSON, B., ROBINSON, R., 1988, The Local Enhancement of Mass Transfer at 180° Bends, Int.J. Heat Mass Transfer, vol. 31, No.6, pp. 1289-1297
38. SPARROW E. M., KORAM, K. K., CHARMCHI, M., 1980, Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics Induced by a Slat Blockage in a Circular Tube, Trans. ASME, J. Heat Tr., Vol. 102. pp.64-70
39. TAYLOR, A.M.K.P., WHITELAW, J.H., YIENNESKIS, M., 1982, Curved Duct with Strong Secondary Motion,; Velocity Measurements of Developing Laminar and Turbulent Flow, Transactions of the ASME September, vol. 104
40. WESKE, J.R, PROVIDENCE, R.I, 1947, Investigations of the Flow in Curved Ducts at Large Reynolds Number, Annual Meeting of The American Society of Mechanical Engineers, December1-5 Atlantic City
41. YANG, J.W., LIAO, N., 1974, Turbulent Heat Transfer in Rectangular Ducts with 180°-Bend, Fifth International Heat Transfer Conference September 3-7 Japan.
42. YAO, L, S., BERGER, S.,A., 1975, Entry Flow in a Curved Channel, Journal of Fluid Mech., vol67, part1,pp.177-196
43. YAO, L., S., 1984, Heat Convection in a Horizontal Curved Pipe, Journal of Heat Transfer, February, vol 106, pp.71

44. YÜNCÜ, H., KAKAÇ, S.,1999, Temel Isı Transferi, Bilim Kitabevi, Ankara

45. ZAPRYANOV, Z., CHRISTOV, CH., TOSHEV, E., 1980, Fully Developed Laminar Flow and Heat Transfer in Curved Tubes, Int. J. Heat Transfer, vol.23, pp. 873-880.





## 7. EKLER

### Ek 1. Örnek Belirsizlik Analizi Hesabı

Burada nihai parametre olarak Nusselt sayısının belirsizlik analizi yapılmıştır.

Yerel Nusselt sayısı, ölçülen değerler cinsinden

$$Nu_x = \frac{h_x \cdot D_i}{k}$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Nusselt sayısı için belirsizlik ifadesi ise,

$$w_{Nu_x} = \left[ \left( \frac{\partial Nu_x}{\partial h_x} w_{h_x} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu_x}{\partial r_{wi}} w_{r_{wi}} \right)^2 + \left( \frac{\partial Nu_x}{\partial k} w_k \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

$D_i$  ve  $k$  sabitlerinin türevlerinin sıfır olması nedeniyle denklem (1)

$$w_{Nu_x} = \frac{D_i}{k} w_{h_x} \quad (2)$$

Isı taşınım katsayısındaki belirsizlik,

$$w_{h_x} = \left[ \left( \frac{w_{q_w}}{T_{wi_x} - T_{b_x}} \right)^2 + \left( \frac{-q}{(T_{wi_x} - T_{b_x})^2} w_{T_{wi_x}} \right)^2 + \left( \frac{-q}{(T_{wi_x} - T_{b_x})^2} w_{T_{b_x}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Sabit ısı akısındaki belirsizlik,

$$w_{q_w} = \frac{w_p}{2 \cdot \pi \cdot r_{wi} \cdot L} \quad (4)$$

Isıtıcı net gücündeki belirsizlik,

$$w_p = \left[ \left( \frac{\partial P}{\partial P_t} w_{P_t} \right)^2 + \left( \frac{\partial P}{\partial Q'} w_{Q'} \right)^2 \right]^{1/2} = (w_{P_t}^2 + w_{Q'}^2)^{1/2} \quad (5)$$

Isıtıcı toplam gücündeki belirsizlik ,

$$w_{pt} = \left[ \left( \frac{\partial P_t}{\partial I} w_I \right)^2 + \left( \frac{\partial P_t}{\partial V} w_v \right)^2 \right]^{1/2} = \left[ (V \cdot w_I)^2 + (I \cdot w_v)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Yalıtım dış yüzeyi ısı transferindeki belirsizlik,

$$w_{Q'} = \left\{ \left[ A'(\bar{T}' - T_\infty) w_{\bar{h}'} \right]^2 + \left[ \bar{h}'(\bar{T}' - T_\infty) w_{A'} \right]^2 + \left[ \bar{h}' A' w_{\bar{T}'} \right]^2 + \left[ -\bar{h}' A' w_{T_\infty} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (7)$$

Yalıtım dış yüzeyi ortalama taşınım katsayısındaki belirsizlik,

$$w_{\bar{h}'} = \left\{ \left[ 1.24 \cdot 1/3 (\bar{T}' - T_\infty)^{-2/3} w_{h'} \right]^2 + \left[ -1.24 \cdot 1/3 (\bar{T}' - T_\infty)^{-2/3} w_{T_\infty} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (8)$$

Yalıtım dış yüzeyi ortalama sıcaklığındaki belirsizlik,

$$w_{\bar{T}'} = \frac{1}{5} \left( w_{T_1'}^2 + w_{T_2'}^2 + w_{T_3'}^2 + w_{T_4'}^2 + w_{T_5'}^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

Test borusu iç yüzey ortalama sıcaklığındaki belirsizlik,

$$w_{\bar{T}_{\text{max}}} = \left[ \left( w_{\bar{T}_{\text{max}}} \right)^2 + \left( K w_{q'} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

Test borusu dış yüzey ortalama sıcaklığındaki belirsizlik,

$$w_{\bar{T}_{\text{max}}} = \frac{1}{8} \left( w_{T_{\text{wo}1}}^2 + w_{T_{\text{wo}2}}^2 + w_{T_{\text{wo}3}}^2 + \dots + w_{T_{\text{wo}8}}^2 \right)^{1/2} \quad (11)$$

İç ısı üretimindeki belirsizlik,

$$w_{\dot{q}} = \frac{w_p}{2 \cdot \pi \cdot (r_{\text{wo}}^2 - r_{\text{wi}}^2) \cdot L} \quad (12)$$

Yığık sıcaklıktaki belirsizlik,

$$w_{T_{\text{bx}}} = \left[ \left( w_{T_{\text{bx}}} \right)^2 + \left( \frac{x/L}{\rho \dot{V} C_p} w_p \right)^2 + \left( \frac{-P(x/L)}{\dot{V}^2 \rho C_p} w_{\dot{V}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

Hacimsel debideki belirsizlik,

$$w_{\dot{v}} = \frac{C \cdot A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \cdot \frac{1}{\rho} \left( \frac{2\Delta P}{\rho} \right)^{-1/2} w_{\Delta P} \quad (14)$$

Basınç farkındaki belirsizlik,

$$w_{\Delta P} = g(\rho_{su} - \rho_h) w_h \quad (15)$$

Ölçülen büyüklükler için belirsizlik değerleri, yapılan kalibrasyon çalışmaları ve deneysel tecrübeler ile belirlenmiş ve bunlar aşağıda verilmiştir.

- Havanın test bölgesine giriş, çıkış sıcaklığı ile test borusu ve yalıtım dış yüzey sıcaklıklarının ölçülmesinde yapılan belirsizlik;  $\pm 0.25$  °C
- Ortam sıcaklığının ölçülmesinde yapılan belirsizlik;  $\pm 0.2$  °C
- Manometrenin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik;  $\pm 1$  mmSS
- Test borusu üzerinden geçen akımın ölçülmesinden kaynaklanan belirsizlik;  $\pm 0.1$  A
- Test borusu üzerindeki gerilimin ölçülmesinden kaynaklanan belirsizlik;  $10^{-4}$  Volt

$$w_{\Delta h} = 10^{-3} m$$

$$w_{\Delta p} = (998.2 - 1.15729)9.806 \cdot 10^{-3} = 9.777$$

$$w_{\dot{v}} = \frac{0.97 \pi / 4 (0.0172)^2}{\sqrt{1 - \left( \frac{17.2}{27.2} \right)^4}} \cdot \frac{1}{1.1572} \left( \frac{2 \cdot 43.99}{1.1572} \right)^{-1/2} \cdot 9.777 = 0.00023$$

$$w_{\bar{T}} = \frac{1}{5} \left[ (0.25)^2 + (0.25)^2 + (0.25)^2 + (0.25)^2 + (0.25)^2 \right]^{1/2} = 0.11$$

$$w_{\bar{h}} = \left\{ 1.24 \cdot 1/3 (26.96 - 23)^{-2/3} \right\}^2 (0.1^2 + 0.2^2) \Bigg\}^{1/2} = 0.036$$

$$w_Q = \left\{ \left[ \pi \cdot 0.11 \cdot 0.96 (26.96 - 23) \cdot 0.036 \right]^2 + \left[ 1.24 \cdot (26.96 - 23)^{1/3} \cdot \pi \cdot 0.11 \cdot 0.96 \cdot 0.1 \right]^2 + \left[ -1.24 \cdot (26.96 - 23)^{1/3} \cdot \pi \cdot 0.11 \cdot 0.96 \cdot 0.2 \right]^2 \right\}^{1/2} = 0.1512$$

$$w_{p_h} = \left[ (0.158 \cdot 0.12)^2 + (620 \cdot 1 \cdot 10^{-4})^2 \right]^{1/2} = 0.0648$$

$$w_p = (0.0648^2 + 0.1512^2)^{1/2} = 0.1645$$

$$w_{T_{bx}} = \left\{ \begin{aligned} &0.25^2 + \left[ \frac{0.033/0.96}{1.1572 \cdot 0.002144 \cdot 1005.7293} \cdot 0.1645 \right]^2 + \\ &\left[ \frac{-95.3828(0.033/0.96)}{1.1572 \cdot 0.002144^2 \cdot 1005.7293} \cdot 0.00023 \right]^2 \end{aligned} \right\}^{1/2} = 0.0198$$

$$w_{\dot{q}} = \frac{0.1645}{2 \cdot \pi \cdot (0.0175^2 - 0.0165^2) \cdot 0.96} = 802.113$$

$$w_{\bar{T}_{\text{max}}} = \frac{1}{8} (0.25^2 \cdot 8)^{1/2} = 0.0883$$

$$w_{\bar{T}_{\text{min}}} = \left[ 0.0883^2 + (1.457 \cdot 10^{-9} \cdot 802.113)^2 \right]^{1/2} = 0.0883$$

$$w_{\dot{q}_{\text{max}}} = \frac{0.1645}{2 \cdot \pi \cdot 0.0165 \cdot 0.96} = 1.6528$$

$$w_{\bar{h}_x} = \left[ \left( \frac{1.6528}{39.44 - 24.46} \right)^2 + \left( \frac{-958.3731 \cdot 0.0883}{(39.44 - 24.46)^2} \right)^2 + \left( \frac{958.3731 \cdot 0.25}{(39.44 - 24.46)^2} \right)^2 \right]^{1/2} = 1.137$$

$$w_{Nu_x} = \frac{1.137 \cdot 0.033}{0.0265} = 1.416$$

$$\overline{Nu_x} = 79.53$$

$$\% \text{ Belirsizlik} \cong 1.781$$

## Ek 2 Hesaplamalar İçin Bilgisayar Programı

```

Option Base 1
Dim dizi(), adizi() As String
Private boşvar

Private Sub numarala()

For a = 1 To MSFlexGrid1.Rows - 1
MSFlexGrid1.TextMatrix(a, 0) = a
Next a

End Sub

Private Sub Command1_Click()

For a = 1 To 29

Call ort(a)

Next a

End Sub

Private Sub ort(kolon)

On Error GoTo bitir
sayac = 0
toplam = 0

For b = 1 To 8
If MSFlexGrid2.TextMatrix(b, kolon) <> "" Then sayac = sayac + 1
toplam = toplam + Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(b, kolon))
Next b

MSFlexGrid2.TextMatrix(9, kolon) = toplam / sayac

bitir:
End Sub

Private Sub Command2_Click()

Dim T1, T2, OrtYSic
T1 = Val(Form1.MSFlexGrid2.TextMatrix(1, 28))
T2 = Val(Form1.MSFlexGrid2.TextMatrix(2, 28))
'OrtYSic = Val(0.5 * (T1 + T2))

Form2.Text1(0).Text = Val(T1)
Form2.Text2(0).Text = Val(T2)
Form2.Text3(0).Text = Val(Form1.Text2.Text)
Dim Tm, y1, y2, y3, y4, y5 ' ortalama yalıtım dış yüzey sıcaklığı
y1 = Val(Form1.MSFlexGrid2.TextMatrix(3, 28))
y2 = Val(Form1.MSFlexGrid2.TextMatrix(4, 28))
y3 = Val(Form1.MSFlexGrid2.TextMatrix(5, 28))
y4 = Val(Form1.MSFlexGrid2.TextMatrix(6, 28))
y5 = Val(Form1.MSFlexGrid2.TextMatrix(7, 28))

'yalıtım dış yüzey sıcaklığı
Tm = (y1 + y2 + y3 + y4 + y5) / 5

'delta h(sıvı seviyeleri)
Dim delh, AkımI, Volt

```

```

delh = Val(Form1.Text3.Text)
AkımI = Val(Form1.Text5.Text)
Volt = Val(Form1.Text4.Text)
Form2.Text4(0).Text = Val(Tm)
Form2.Text5(0).Text = delh
Form2.Text6(0).Text = AkımI
Form2.Text7(0).Text = Volt

Dim OrtTSıc 'ortalama havanın yığık sıcaklığı

OrtTSıc = Val(0.5 * (T1 + T2))

Form2.Text1(1).Text = Val(OrtTSıc)

Dim Ro
Ro = 1.2828 - 0.00389 * OrtTSıc
'!
Form2.Text2(1).Text = Val(Ro)

Dim CePe As Double
CePe = 0.99902 + 0.000209 * OrtTSıc

Form2.Text3(1).Text = Val(CePe)

Dim IsılK As Double
IsılK = 0.0243 + 0.00007 * OrtTSıc

Form2.Text4(1).Text = Val(IsılK)

Dim mu As Double
mu = 0.00001295 + 0.000000093 * OrtTSıc

Form2.Text5(1).Text = Val(mu)
Dim Prand
Prand = 0.715 - 0.0001 * OrtTSıc

Form2.Text6(1).Text = Val(Prand)

' suyun Rosu sıcaklık 20 derece kabul ederek 998,2kg/merteküp
Dim RoSu
RoSu = 998.2
Form2.Text7(1).Text = Val(RoSu)

Dim VenBasFarki
VenBasFarki = (Val(RoSu) - Val(Ro)) * (Val(Form1.Text3.Text) * 0.009806)
Form2.Text1(2).Text = Val(VenBasFarki)

Dim HavHacDebisi As Double
HavHacDebisi = ((2 * Val(VenBasFarki) / Val(Ro)) ^ 0.5) * 0.0002909349716

Form2.Text3(2).Text = Val(HavHacDebisi)

'ortalama Akış hızı

Dim OrtAkHizi
OrtAkHizi = HavHacDebisi / 0.0008552986
Form2.Text3(2).Text = Val(OrtAkHizi)
'-----

```

```

'Reynolds sayısı

Dim Reynolds As Long

Reynolds = Val(OrtAkHizi) * 0.033 / mu
Form2.Text4(2).Text = Val(Reynolds)

'Toplam ısıtıcı gücü

Val TopIsGucu
TopIsGucu = Form1.Text4.Text * Val(Form1.Text5.Text)

Form2.Text5(2).Text = Val(TopIsGucu)

'-----
'yalıtım dış yüzeyinden çevreye ısı transferi

'Q=1.24*pi*d*1*(Tm-Too)4/3

Dim YalCevIsiTr

YalCevIsiTr = 0.411372703 * ((Tm - Val(Form1.Text2.Text)) ^ (4 / 3))

Form2.Text6(2).Text = Val(YalCevIsiTr)
' Isıtıcı net gücü
'P=Pt-Q
Dim IsNetGucu

IsNetGucu = Val(TopIsGucu) - Val(YalCevIsiTr)

Form2.Text7(2).Text = Val(IsNetGucu)

'-----
'ısı akısı

Dim IsiAkisi As Double

IsiAkisi = Val(IsNetGucu) / 0.099525655
Form2.Text7(3).Text = Val(IsiAkisi)
'-----

'TBxler

Dim tbxcarp As Double

tbxcarp = (Val(IsNetGucu) * 0.033) / 0.96 * Ro * HavHacDebisi * CePe
Dim Tbx1, Tbx2, Tbx3, Tbx4, Tbx5, Tbx6, Tbx7, Tbx8, Tbx9, Tbx10, Tbx11 As
Double

Dim Tbx12, Tbx13, Tbx14, Tbx15, Tbx16, Tbx17, Tbx18, Tbx19, Tbx20, Tbx21,
Tbx22, Tbx23 As Double

Dim Tbx24, Tbx25, Tbx26, Tbx27 As Double

Tbx1 = Val(T1) + (tbxcarp * 0.25)
Tbx2 = Val(T1) + (tbxcarp * 0.5)
Tbx3 = Val(T1) + (tbxcarp * 0.75)
Tbx4 = Val(T1) + (tbxcarp * 1)
Tbx5 = Val(T1) + (tbxcarp * 1.25)
Tbx6 = Val(T1) + (tbxcarp * 1.5)
Tbx7 = Val(T1) + (tbxcarp * 1.75)
Tbx8 = Val(T1) + (tbxcarp * 2)
Tbx9 = Val(T1) + (tbxcarp * 2.5)
Tbx10 = Val(T1) + (tbxcarp * 3)

```

```

Tbx11 = Val(T1) + (tbxcarp * 3.5)
Tbx12 = Val(T1) + (tbxcarp * 4)
Tbx13 = Val(T1) + (tbxcarp * 4.5)
Tbx14 = Val(T1) + (tbxcarp * 5)
Tbx15 = Val(T1) + (tbxcarp * 6)
Tbx16 = Val(T1) + (tbxcarp * 7)
Tbx17 = Val(T1) + (tbxcarp * 8)
Tbx18 = Val(T1) + (tbxcarp * 9)
Tbx19 = Val(T1) + (tbxcarp * 10)
Tbx20 = Val(T1) + (tbxcarp * 11)
Tbx21 = Val(T1) + (tbxcarp * 13)
Tbx22 = Val(T1) + (tbxcarp * 15)
Tbx23 = Val(T1) + (tbxcarp * 17)
Tbx24 = Val(T1) + (tbxcarp * 19)
Tbx25 = Val(T1) + (tbxcarp * 22)
Tbx26 = Val(T1) + (tbxcarp * 25)
Tbx27 = Val(T1) + (tbxcarp * 28)

```

```

MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 1) = Tbx1
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 2) = Tbx2
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 3) = Tbx3
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 4) = Tbx4
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 5) = Tbx5
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 6) = Tbx6
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 7) = Tbx7
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 8) = Tbx8
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 9) = Tbx9
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 10) = Tbx10
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 11) = Tbx11
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 12) = Tbx12
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 13) = Tbx13
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 14) = Tbx14
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 15) = Tbx15
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 16) = Tbx16
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 17) = Tbx17
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 18) = Tbx18
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 19) = Tbx19
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 20) = Tbx20
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 21) = Tbx21
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 22) = Tbx22
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 23) = Tbx23
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 24) = Tbx24
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 25) = Tbx25
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 26) = Tbx26
MSFlexGrid2.TextMatrix(10, 27) = Tbx27

```

```

MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 1) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 1) - Tbx1
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 2) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 2) - Tbx2
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 3) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 3) - Tbx3
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 4) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 4) - Tbx4
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 5) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 5) - Tbx5
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 6) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 6) - Tbx6
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 7) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 7) - Tbx7
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 8) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 8) - Tbx8
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 9) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 9) - Tbx9
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 10) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 10) - Tbx10
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 11) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 11) - Tbx11
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 12) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 12) - Tbx12
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 13) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 13) - Tbx13
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 14) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 14) - Tbx14
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 15) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 15) - Tbx15

```



```

MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 16) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 16) - Tbx16
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 17) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 17) - Tbx17
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 18) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 18) - Tbx18
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 19) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 19) - Tbx19
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 20) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 20) - Tbx20
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 21) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 21) - Tbx21
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 22) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 22) - Tbx22
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 23) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 23) - Tbx23
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 24) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 24) - Tbx24
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 25) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 25) - Tbx25
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 26) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 26) - Tbx26
MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 27) = MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 27) - Tbx27

```

'taşınım katsayısı

```

MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 1) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 1)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 2) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 2)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 3) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 3)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 4) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 4)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 5) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 5)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 6) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 6)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 7) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 7)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 8) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 8)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 9) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 9)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 10) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 10)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 11) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 11)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 12) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 12)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 13) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 13)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 14) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 14)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 15) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 15)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 16) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 16)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 17) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 17)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 18) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 18)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 19) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 19)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 20) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 20)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 21) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 21)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 22) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 22)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 23) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 23)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 24) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 24)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 25) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 25)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 26) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 26)
MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 27) = IsiAkisi / MSFlexGrid2.TextMatrix(11, 27)

```

Dim h1, h2, h3, h4, h5, h6, h7, h8, h9, h10, h11, h12, h13, h14, h15, h16, h17, h18, h19, h20, h21, h22, h23, h24, h25, h26, h27 As Double

```

h1 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 1))
h2 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 2))
h3 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 3))
h4 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 4))
h5 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 5))
h6 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 6))
h7 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 7))
h8 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 8))
h9 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 9))
h10 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 10))
h11 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 11))
h12 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 12))
h13 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 13))
h14 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 14))
h15 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 15))
h16 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 16))
h17 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 17))
h18 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 18))

```

```

h19 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 19))
h20 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 20))
h21 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 21))
h22 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 22))
h23 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 23))
h24 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 24))
h25 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 25))
h26 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 26))
h27 = Val(MSFlexGrid2.TextMatrix(12, 27))

```

'nusselt sayısı

```

Dim Nu1, Nu2, Nu3, Nu4, Nu5, Nu6, Nu7, Nu8, Nu9, Nu10, Nu11, Nu12, Nu13,
Nu14, Nu15 As Double

```

```

Dim Nu16, Nu17, Nu18, Nu19, Nu20, Nu21, Nu22, Nu23, Nu24, Nu25, Nu26, Nu27,
Nu28 As Double

```

```

Nu1 = h1 * 0.033 / Is1k
Nu2 = h2 * 0.033 / Is1k
Nu3 = h3 * 0.033 / Is1k
Nu4 = h4 * 0.033 / Is1k
Nu5 = h5 * 0.033 / Is1k
Nu6 = h6 * 0.033 / Is1k
Nu7 = h7 * 0.033 / Is1k
Nu8 = h8 * 0.033 / Is1k
Nu9 = h9 * 0.033 / Is1k
Nu10 = h10 * 0.033 / Is1k
Nu11 = h11 * 0.033 / Is1k
Nu12 = h12 * 0.033 / Is1k
Nu13 = h13 * 0.033 / Is1k
Nu14 = h14 * 0.033 / Is1k
Nu15 = h15 * 0.033 / Is1k
Nu16 = h16 * 0.033 / Is1k
Nu17 = h17 * 0.033 / Is1k
Nu18 = h18 * 0.033 / Is1k
Nu19 = h19 * 0.033 / Is1k
Nu20 = h20 * 0.033 / Is1k
Nu21 = h21 * 0.033 / Is1k
Nu22 = h22 * 0.033 / Is1k
Nu23 = h23 * 0.033 / Is1k
Nu24 = h24 * 0.033 / Is1k
Nu25 = h25 * 0.033 / Is1k
Nu26 = h26 * 0.033 / Is1k
Nu27 = h27 * 0.033 / Is1k

```

```

MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 1) = Nu1
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 2) = Nu2
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 3) = Nu3
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 4) = Nu4
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 5) = Nu5
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 6) = Nu6
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 7) = Nu7
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 8) = Nu8
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 9) = Nu9
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 10) = Nu10
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 11) = Nu11
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 12) = Nu12
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 13) = Nu13
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 14) = Nu14
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 15) = Nu15
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 16) = Nu16

```

```

MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 17) = Nu17
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 18) = Nu18
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 19) = Nu19
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 20) = Nu20
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 21) = Nu21
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 22) = Nu22
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 23) = Nu23
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 24) = Nu24
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 25) = Nu25
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 26) = Nu26
MSFlexGrid2.TextMatrix(13, 27) = Nu27

Form2.Show

End Sub

Private Sub MSFlexGrid1_MouseUp(Button As Integer, _
Shift As Integer, x As Single, y As Single)

Static CurrentWidth As Single
' Check to see if the Cell's width has changed.
If MSFlexGrid1.CellWidth <> CurrentWidth Then
Text1.Width = MSFlexGrid1.CellWidth
CurrentWidth = MSFlexGrid1.CellWidth
End If

End Sub

Private Sub Form_Load()

MSFlexGrid2.CellAlignment = flexAlignRightCenter

MSFlexGrid1.AllowUserResizing = flexResizeColumns
MSFlexGrid1.Cols = 30
MSFlexGrid1.Rows = 9
MSFlexGrid1.RowHeight(0) = 300
MSFlexGrid1.RowHeightMin = Text1.Height

MSFlexGrid2.AllowUserResizing = flexResizeColumns
MSFlexGrid2.Cols = 30
MSFlexGrid2.Rows = 14
MSFlexGrid2.RowHeightMin = Text1.Height

Text1.Visible = False
Text1.ZOrder (0)
Text1.Width = MSFlexGrid1.CellWidth

MSFlexGrid1.TextMatrix(1, 0) = 45
MSFlexGrid1.TextMatrix(2, 0) = 90
MSFlexGrid1.TextMatrix(3, 0) = 135
MSFlexGrid1.TextMatrix(4, 0) = 180
MSFlexGrid1.TextMatrix(5, 0) = 225
MSFlexGrid1.TextMatrix(6, 0) = 270
MSFlexGrid1.TextMatrix(7, 0) = 315
MSFlexGrid1.TextMatrix(8, 0) = 360

MSFlexGrid2.TextMatrix(1, 0) = 45
MSFlexGrid2.TextMatrix(2, 0) = 90
MSFlexGrid2.TextMatrix(3, 0) = 135
MSFlexGrid2.TextMatrix(4, 0) = 180
MSFlexGrid2.TextMatrix(5, 0) = 225

```

```

MSFlexGrid2.TextMatrix(6, 0) = 270
MSFlexGrid2.TextMatrix(7, 0) = 315
MSFlexGrid2.TextMatrix(8, 0) = 360

MSFlexGrid1.ColAlignment(0) = 3
MSFlexGrid1.ColAlignment(1) = 3

MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 1) = "0,25"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 2) = "0,50"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 3) = "0,75"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 4) = "1,00"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 5) = "1,25"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 6) = "1,50"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 7) = "1,75"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 8) = "2,00"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 9) = "2,50"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 10) = "3,00"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 11) = "3,50"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 12) = "4,00"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 13) = "4,50"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 14) = "5,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 15) = "6,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 16) = "7,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 17) = "8,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 18) = "9,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 19) = "10,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 20) = "11,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 21) = "13,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 22) = "15,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 23) = "17,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 24) = "19,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 25) = "22,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 26) = "25,0"
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 27) = "28,0"
,
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 1) = "0,25"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 2) = "0,50"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 3) = "0,75"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 4) = "1,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 5) = "1,25"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 6) = "1,50"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 7) = "1,75"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 8) = "2,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 9) = "2,50"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 10) = "3,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 11) = "3,50"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 12) = "4,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 13) = "4,50"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 14) = "5,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 15) = "6,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 16) = "7,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 17) = "8,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 18) = "9,00"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 19) = "10,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 20) = "11,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 21) = "13,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 22) = "15,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 23) = "17,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 24) = "19,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 25) = "22,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 26) = "25,0"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 27) = "28,0"

MSFlexGrid2.TextMatrix(9, 0) = "ORT"

```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSFlexGrid1_Click()
```

```
Text1.Width = MSFlexGrid1.CellWidth
Text1.Left = MSFlexGrid1.CellLeft + MSFlexGrid1.Left
Text1.Top = MSFlexGrid1.CellTop + MSFlexGrid1.Top
Text1.Text = MSFlexGrid1.Text
Text1.Visible = True
Text1.SetFocus
```

```
End Sub
```

```
Private Function fonksiyon(x)
fonksiyon = x
End Function
```

```
Private Sub Text1_Change()
```

```
MSFlexGrid1.Text = Text1.Text
```

```
MSFlexGrid2.Row = MSFlexGrid1.Row
MSFlexGrid2.Col = MSFlexGrid1.Col
If Text1.Text = "" Then
MSFlexGrid2.Text = ""
Else
MSFlexGrid2.Text = fonksiyon(Val(Text1.Text))
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
```

```
If KeyAscii = 13 Then
```

```
If MSFlexGrid1.Row = MSFlexGrid1.Rows - 1 Then
If MSFlexGrid1.Col = MSFlexGrid1.Cols - 1 Then
MSFlexGrid1.Row = 1
MSFlexGrid1.Col = 2
Text1.ZOrder
Text1.Top = MSFlexGrid1.CellTop + MSFlexGrid1.Top
Text1.Left = MSFlexGrid1.CellLeft + MSFlexGrid1.Left
Text1.Text = MSFlexGrid1.Text
Text1.Visible = True
Text1.SetFocus
ElseIf MSFlexGrid1.Col = 2 Then
'MsgBox MSFlexGrid1.Row & "---" & MSFlexGrid1.Col
MSFlexGrid1.Row = 1
MSFlexGrid1.Col = 3
Text1.ZOrder
Text1.Top = MSFlexGrid1.CellTop + MSFlexGrid1.Top
Text1.Left = MSFlexGrid1.CellLeft + MSFlexGrid1.Left
Text1.Text = MSFlexGrid1.Text
Text1.Visible = True
'MsgBox MSFlexGrid1.Row & "---" & MSFlexGrid1.Col
Text1.SetFocus
ElseIf MSFlexGrid1.Col = 4 Then
'MsgBox MSFlexGrid1.Row & "---" & MSFlexGrid1.Col
```

```
MSFlexGrid1.Row = 1
MSFlexGrid1.Col = 5
Text1.ZOrder
Text1.Top = MSFlexGrid1.CellTop + MSFlexGrid1.Top
Text1.Left = MSFlexGrid1.CellLeft + MSFlexGrid1.Left
Text1.Text = MSFlexGrid1.Text
Text1.Visible = True
'MsgBox MSFlexGrid1.Row & "--" & MSFlexGrid1.Col
Text1.SetFocus
Else
'MsgBox MSFlexGrid1.Row & "--" & MSFlexGrid1.Col
MSFlexGrid1.Row = 1
MSFlexGrid1.Col = MSFlexGrid1.Col + 1
Text1.ZOrder
Text1.Top = MSFlexGrid1.CellTop + MSFlexGrid1.Top
Text1.Left = MSFlexGrid1.CellLeft + MSFlexGrid1.Left
Text1.Text = MSFlexGrid1.Text
Text1.Visible = True
'MsgBox MSFlexGrid1.Row & "--" & MSFlexGrid1.Col
Text1.SetFocus
End If
Else
Text1.ZOrder
MSFlexGrid1.Row = MSFlexGrid1.Row + 1
Text1.Top = MSFlexGrid1.CellTop - MSFlexGrid1.Top
Text1.Text = MSFlexGrid1.Text
Text1.Visible = True
'MsgBox MSFlexGrid1.Row & "--" & MSFlexGrid1.Col
Text1.SetFocus
End If

End If

End Sub

Private Sub Text1_LostFocus()

Text1.Visible = False

End Sub
```

## Ek 3

## 180° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=25000

 $T_1=19,6^\circ\text{C}$     $T_2=23,5^\circ\text{C}$  $U_m=11,53$  m/s $A_f=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_f=88,9$  W $P=88,45$  W $q_w=888,773$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1007,38$  J/kg °C $k=0,0258$  W/m°C $\rho=1,1045$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,525 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7128

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	25,56	19,67	5,89	150,84	192,87
0,50	25,44	19,73	5,71	155,72	199,11
0,75	25,01	19,80	5,22	170,29	217,74
1,00	25,53	19,86	5,67	156,79	200,48
1,25	25,80	19,93	5,87	151,29	193,44
1,50	26,16	19,99	6,17	144,12	184,28
1,75	26,47	20,06	6,41	138,62	177,25
2,00	26,67	20,12	6,55	135,67	173,47
2,50	26,93	20,25	6,68	132,99	170,05
3,00	27,37	20,38	6,99	127,13	162,56
3,50	27,51	20,51	7,00	126,90	162,26
4,00	27,72	20,64	7,08	125,60	160,60
4,50	28,24	20,77	7,47	119,03	152,20
5,00	28,16	20,90	7,26	122,43	156,55
6,00	28,78	21,16	7,61	116,73	149,25
7,00	29,38	21,42	7,96	111,62	142,73
8,00	29,34	21,68	7,66	116,00	148,33
9,00	29,79	21,94	7,84	113,30	144,87
10,00	30,25	22,20	8,05	110,43	141,20
11,00	30,54	22,46	8,08	110,05	140,72
13,00	31,20	22,98	8,22	108,15	138,28
15,00	31,59	23,50	8,09	109,92	140,55
17,00	31,88	24,02	7,86	113,06	144,57
19,00	32,39	24,54	7,84	113,30	144,87
22,00	33,17	25,32	7,85	113,24	144,80
25,00	33,65	26,10	7,55	117,77	150,59
28,00	34,83	26,88	7,94	111,92	143,11

## Ek 3 (devamı)

## 150° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=25000

T<sub>1</sub>=20°C T<sub>2</sub>=23,6°CU<sub>m</sub>=11.35 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>i</sub>=92,9W

P=92,49 W

q<sub>w</sub>=929,402W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1003,57 J/kg °C

k=0.02582 W/m°C

ρ=1,19749kg/m<sup>3</sup>ν=1,527\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7128

$x/2r_{wi}$	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	26,20	20,07	6,13	151,50	193,59
0,50	26,09	20,13	5,96	156,03	199,37
0,75	25,67	20,20	5,48	169,75	216,90
1,00	26,20	20,26	5,94	156,51	199,98
1,25	27,04	20,33	6,71	138,45	176,91
1,50	26,77	20,39	6,38	145,70	186,17
1,75	26,95	20,46	6,49	143,16	182,92
2,00	27,13	20,52	6,61	140,70	179,79
2,50	27,48	20,65	6,83	136,09	173,89
3,00	27,93	20,78	7,14	130,10	166,24
3,50	28,10	20,92	7,18	129,36	165,30
4,00	28,28	21,05	7,24	128,42	164,10
4,50	28,78	21,18	7,60	122,32	156,30
5,00	28,74	21,31	7,43	125,05	159,79
6,00	29,39	21,57	7,82	118,88	151,90
7,00	30,03	21,83	8,20	113,31	144,79
8,00	30,01	22,09	7,92	117,32	149,91
9,00	30,53	22,35	8,17	113,70	145,28
10,00	30,84	22,62	8,22	113,04	144,44
11,00	31,33	22,88	8,45	110,02	140,58
13,00	31,83	23,40	8,43	110,27	140,91
15,00	32,43	23,92	8,50	109,32	139,69
17,00	32,85	24,45	8,40	110,60	141,32
19,00	33,38	24,97	8,41	110,58	141,29
22,00	33,93	25,75	8,17	113,70	145,29
25,00	34,12	26,54	7,58	122,66	156,73
28,00	35,21	27,32	7,89	117,82	150,55



## Ek 3 (devamı)

## 120° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=25000

T<sub>1</sub>=20,2°C T<sub>2</sub>=24,1°CU<sub>m</sub>=11.209 m/sA<sub>r</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>r</sub>=92,3W

P=91,81 W

q<sub>w</sub>=922,521W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1003,64 J/kg °C

k=0.02585 W/m°C

ρ=1,19613kg/m<sup>3</sup>ν=1,531\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7127

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>r</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>r</sub>
0,25	26,77	20,27	6,51	141,80	181,02
0,50	26,45	20,33	6,12	150,78	192,48
0,75	26,04	20,40	5,65	163,41	208,61
1,00	26,56	20,46	6,09	151,38	193,25
1,25	27,31	20,53	6,79	135,96	173,56
1,50	27,17	20,59	6,58	140,27	179,07
1,75	27,35	20,66	6,69	137,91	176,05
2,00	27,50	20,73	6,77	136,20	173,86
2,50	27,88	20,86	7,03	131,32	167,63
3,00	28,33	20,99	7,34	125,70	160,47
3,50	28,49	21,12	7,36	125,27	159,91
4,00	28,77	21,25	7,51	122,78	156,74
4,50	29,20	21,38	7,82	118,04	150,68
5,00	29,16	21,52	7,64	120,69	154,07
6,00	29,93	21,78	8,15	113,20	144,51
7,00	30,48	22,04	8,44	109,30	139,52
8,00	30,49	22,31	8,18	112,78	143,97
9,00	30,89	22,57	8,32	110,93	141,60
10,00	31,26	22,83	8,43	109,43	139,70
11,00	31,69	23,10	8,59	107,37	137,07
13,00	32,21	23,62	8,59	107,37	137,06
15,00	32,74	24,15	8,59	107,41	137,11
17,00	33,15	24,68	8,47	108,85	138,96
19,00	33,61	25,20	8,41	109,68	140,02
22,00	34,34	25,99	8,35	110,46	141,01
25,00	34,83	26,78	8,05	114,57	146,25
28,00	36,18	27,57	8,60	107,22	136,87

## Ek 3 (devamı)

## 90° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=25000

 $T_1=20,4^\circ\text{C}$   $T_2=24,4^\circ\text{C}$  $U_m=11,452\text{ m/s}$  $A_i=0,000855\ 10^{-4}\ \text{m}^2$  $P_t=90,958\text{ W}$  $P=90,78\text{ W}$  $q_w=912,186\text{ W/m}^2$  $C_p=1003,706\text{ J/kg }^\circ\text{C}$  $k=0,025868\text{ W/m}^\circ\text{C}$  $\rho=1,19516\text{ kg/m}^3$  $\nu=1,533\cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7127

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_b$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^\circ\text{C}$ )	$h_x$ ( $\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ )	$Nu_x$
0,25	26,81	20,47	6,35	143,68	183,29
0,50	26,68	20,53	6,14	148,47	189,40
0,75	26,23	20,60	5,63	161,96	206,61
1,00	26,71	20,66	6,05	150,71	192,27
1,25	29,73	20,73	9,00	101,38	129,33
1,50	27,37	20,79	6,58	138,66	176,89
1,75	27,52	20,86	6,66	137,00	174,77
2,00	27,76	20,92	6,83	133,49	170,29
2,50	28,03	21,05	6,98	130,71	166,74
3,00	28,53	21,19	7,34	124,22	158,47
3,50	28,66	21,32	7,34	124,26	158,52
4,00	28,93	21,45	7,49	121,85	155,44
4,50	29,45	21,58	7,87	115,88	147,83
5,00	29,40	21,71	7,69	118,60	151,30
6,00	30,16	21,97	8,19	111,43	142,15
7,00	30,70	22,23	8,47	107,73	137,43
8,00	30,70	22,49	8,21	111,17	141,81
9,00	31,19	22,76	8,43	108,21	138,05
10,00	31,53	23,02	8,51	107,23	136,79
11,00	31,90	23,28	8,62	105,82	134,99
13,00	32,44	23,80	8,64	105,58	134,69
15,00	32,99	24,33	8,66	105,33	134,37
17,00	33,37	24,85	8,52	107,11	136,64
19,00	33,85	25,37	8,48	107,62	137,29
22,00	34,39	26,16	8,23	110,89	141,46
25,00	34,73	26,94	7,79	117,12	149,41
28,00	35,84	27,73	8,11	112,51	143,54

## Ek 3 (devamı)

## 60° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=25000

 $T_1=20,8^\circ\text{C}$     $T_2=25,4^\circ\text{C}$  $U_m=11,347\text{ m/s}$  $A_f=0,000855\ 10^{-4}\ \text{m}^2$  $P_f=91,581\text{ W}$  $P=91,254\text{ W}$  $q_w=916,898\text{ W/m}^2$  $C_p=1003,847\ \text{J/kg }^\circ\text{C}$  $k=0,02591\ \text{W/m}^\circ\text{C}$  $\rho=1,19244\ \text{kg/m}^3$  $\nu=1,539\cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7126

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}\ (^{\circ}\text{C})$	$T_b(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$h_x(\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C})$	$Nu_x$
0,25	27,19	20,86	6,32	145,06	184,70
0,50	27,10	20,93	6,17	148,60	189,21
0,75	26,67	20,99	5,68	161,51	205,65
1,00	27,20	21,06	6,14	149,31	190,12
1,25	27,50	21,12	6,38	143,81	183,11
1,50	27,80	21,19	6,61	138,69	176,59
1,75	27,90	21,25	6,65	137,95	175,66
2,00	28,13	21,32	6,81	134,64	171,43
2,50	28,42	21,45	6,97	131,58	167,53
3,00	28,89	21,58	7,31	125,46	159,75
3,50	29,06	21,71	7,35	124,75	158,84
4,00	29,27	21,84	7,43	123,41	157,14
4,50	29,84	21,97	7,87	116,49	148,33
5,00	29,78	22,10	7,68	119,33	151,94
6,00	30,43	22,36	8,07	113,62	144,67
7,00	31,08	22,61	8,47	108,27	137,86
8,00	31,04	22,87	8,17	112,24	142,91
9,00	31,49	23,13	8,35	109,77	139,77
10,00	31,80	23,39	8,41	109,05	138,86
11,00	32,19	23,65	8,54	107,41	136,77
13,00	32,66	24,17	8,49	108,03	137,56
15,00	33,16	24,69	8,47	108,20	137,77
17,00	33,55	25,21	8,34	109,90	139,93
19,00	34,03	25,73	8,30	110,47	140,66
22,00	34,66	26,50	8,15	112,44	143,17
25,00	34,93	27,28	7,65	119,81	152,55
28,00	36,00	28,06	7,94	115,45	147,00

## Ek 3 (devamı)

## 30° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=25000

 $T_1=21^\circ\text{C}$   $T_2=25,4^\circ\text{C}$  $U_m=11.408$  m/s $A_i=0.000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_i=90,19$  W $P=89,74$  W $q_w=901,731$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1003,868$  J/kg °C $k=0.02592$  W/m°C $\rho=1,19205$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,5048 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7126

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	27,40	21,06	6,34	142,31	181,16
0,50	27,20	21,13	6,07	148,49	189,03
0,75	26,83	21,19	5,64	159,96	203,62
1,00	27,30	21,25	6,05	149,17	189,88
1,25	27,60	21,32	6,28	143,56	182,74
1,50	27,93	21,38	6,55	137,75	175,35
1,75	28,03	21,45	6,59	136,89	174,26
2,00	28,24	21,51	6,73	133,93	170,48
2,50	28,53	21,64	6,90	130,76	166,45
3,00	29,00	21,76	7,24	124,63	158,65
3,50	29,07	21,89	7,18	125,61	159,89
4,00	29,42	22,02	7,40	121,91	155,18
4,50	29,79	22,15	7,64	118,03	150,24
5,00	29,78	22,27	7,51	120,15	152,94
6,00	30,41	22,53	7,88	114,39	145,62
7,00	30,93	22,78	8,15	110,66	140,87
8,00	31,06	23,04	8,02	112,47	143,17
9,00	31,40	23,29	8,11	111,25	141,62
10,00	31,86	23,55	8,31	108,47	138,08
11,00	32,13	23,80	8,32	108,38	137,96
13,00	32,73	24,31	8,41	107,17	136,42
15,00	33,25	24,82	8,43	107,02	136,24
17,00	33,53	25,33	8,20	109,98	140,00
19,00	34,03	25,84	8,18	110,23	140,31
22,00	34,59	26,61	7,98	113,05	143,90
25,00	34,97	27,37	7,59	118,76	151,18
28,00	36,10	28,14	7,96	113,27	144,18

## Ek 3 (devamı)

## 0° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=25000

 $T_1=21^\circ\text{C}$   $T_2=25,4^\circ\text{C}$  $U_m=11.643$  m/s $A_f=0.000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_t=91,104$ W $P=90,9$ W $q_w=913,828$ W/m<sup>2</sup> $C_p=1003,868$  J/kg °C $k=0.02592$  W/m°C $\rho=1,19205$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,5048 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7126

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	27,20	21,06	6,78	134,82	171,62
0,50	27,60	21,13	6,60	138,47	176,27
0,75	27,84	21,19	6,81	134,26	170,91
1,00	27,73	21,26	7,10	128,73	163,87
1,25	28,00	21,32	7,16	127,62	162,46
1,50	28,36	21,39	7,31	124,97	159,08
1,75	28,48	21,45	7,55	121,07	154,12
2,00	28,70	21,52	7,95	114,88	146,24
2,50	29,00	21,65	7,95	114,89	146,25
3,00	29,47	21,78	8,14	112,24	142,88
3,50	29,60	21,90	8,42	108,52	138,14
4,00	29,92	22,03	8,27	110,55	140,72
4,50	30,33	22,16	8,77	104,14	132,57
5,00	30,30	22,29	9,24	98,88	125,87
6,00	30,94	22,55	9,01	101,46	129,15
7,00	31,53	22,81	9,06	100,83	128,36
8,00	31,56	23,07	9,26	98,71	125,65
9,00	31,87	23,33	9,25	98,80	125,76
10,00	32,33	23,58	9,52	96,03	122,24
11,00	32,58	23,84	9,76	93,65	119,21
13,00	33,10	24,36	9,59	95,28	121,29
15,00	33,60	24,88	9,59	95,32	121,34
17,00	33,95	25,39	9,54	95,83	121,99
19,00	34,46	25,91	9,22	99,07	126,11
22,00	34,93	26,68	9,64	94,79	120,66
25,00	35,13	27,46	9,64	94,79	120,66
28,00	36,33	28,23	9,64	94,79	120,66

## Ek 3 (devamı)

## 180° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=20000

 $T_1=22,7^\circ\text{C}$   $T_2=27,8^\circ\text{C}$  $U_m=9,448\text{m/s}$  $A_f=0,000855 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$  $P_f=99,355\text{W}$  $P=98,722\text{W}$  $q_w=991,934\text{W/m}^2$  $C_p=1007,38 \text{J/kg } ^\circ\text{C}$  $k=0,02606 \text{W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$  $\rho=1,1045 \text{kg/m}^3$  $\nu=1,5598 \cdot 10^{-5}$  $Pr=0,7124$ 

$x/2r_{wi}$	$T_{wi} (^\circ\text{C})$	$T_b (^\circ\text{C})$	$\Delta T (^\circ\text{C})$	$h_x (\text{W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C})$	$Nu_x$
0,25	30,36	22,79	7,57	131,09	165,96
0,50	30,15	22,88	7,27	136,46	172,76
0,75	29,51	22,97	6,54	151,61	191,93
1,00	30,23	23,06	7,17	138,42	175,23
1,25	30,60	23,15	7,45	133,20	168,62
1,50	31,01	23,24	7,77	127,65	161,60
1,75	31,27	23,33	7,93	125,05	158,30
2,00	31,60	23,42	8,18	121,33	153,60
2,50	31,90	23,61	8,29	119,59	151,40
3,00	32,47	23,79	8,68	114,22	144,60
3,50	32,69	23,97	8,72	113,79	144,05
4,00	32,92	24,15	8,77	113,14	143,23
4,50	33,56	24,33	9,23	107,45	136,02
5,00	33,46	24,51	8,95	110,85	140,33
6,00	34,41	24,87	9,54	103,97	131,62
7,00	35,07	25,24	9,83	100,91	127,74
8,00	35,07	25,60	9,47	104,71	132,56
9,00	35,67	25,96	9,71	102,15	129,32
10,00	36,33	26,32	10,00	99,18	125,55
11,00	36,68	26,69	9,99	99,30	125,71
13,00	37,50	27,41	10,09	98,31	124,46
15,00	38,25	28,13	10,12	98,07	124,15
17,00	38,75	28,86	9,89	100,29	126,97
19,00	39,43	29,58	9,84	100,80	127,61
22,00	40,34	30,67	9,67	102,56	129,84
25,00	40,72	31,76	8,96	110,73	140,17
28,00	41,59	32,85	8,74	113,46	143,64

## Ek 3 (devamı)

## 150° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=20000

 $T_1=21^\circ\text{C}$   $T_2=28^\circ\text{C}$  $U_m=9,4796\text{m/s}$  $A_f=0,000855 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  $P_f=95,58\text{W}$  $P=94,74\text{W}$  $q_w=951,999\text{W/m}^2$  $C_p=1004,14 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$  $k=0,02601 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  $\rho=1,1869 \text{ kg/m}^3$  $\nu=1,5529 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7125

$x/2r_{wi}$	$T_{wi} (^\circ\text{C})$	$T_b (^\circ\text{C})$	$\Delta T (^\circ\text{C})$	$h_x (\text{W/m}^2^\circ\text{C})$	$Nu_x$
0,25	30,29	21,08	9,20	103,42	131,19
0,50	30,18	21,16	9,01	105,62	133,98
0,75	29,57	21,24	8,33	114,30	144,99
1,00	30,17	21,32	8,85	107,60	136,49
1,25	30,60	21,40	9,20	103,53	131,33
1,50	30,93	21,49	9,44	100,81	127,88
1,75	31,13	21,57	9,57	99,51	126,22
2,00	31,24	21,65	9,59	99,24	125,89
2,50	31,75	21,81	9,94	95,76	121,48
3,00	32,26	21,97	10,29	92,55	117,40
3,50	32,43	22,13	10,30	92,46	117,29
4,00	32,68	22,29	10,39	91,63	116,24
4,50	33,28	22,46	10,82	87,99	111,62
5,00	33,22	22,62	10,60	89,79	113,90
6,00	34,00	22,94	11,06	86,09	109,20
7,00	34,77	23,26	11,50	82,77	104,99
8,00	34,80	23,59	11,21	84,91	107,71
9,00	35,40	23,91	11,49	82,87	105,12
10,00	35,84	24,24	11,60	82,05	104,09
11,00	36,40	24,56	11,84	80,40	101,99
13,00	37,17	25,21	11,97	79,56	100,93
15,00	37,95	25,85	12,10	78,70	99,83
17,00	38,33	26,50	11,83	80,45	102,05
19,00	38,93	27,15	11,78	80,83	102,53
22,00	39,70	28,12	11,58	82,20	104,27
25,00	39,93	29,09	10,84	87,78	111,35
28,00	40,71	30,06	10,65	89,36	113,36

## Ek 3 (devamı)

## 120° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=20000

 $T_1=23^\circ\text{C}$   $T_2=28,3^\circ\text{C}$  $U_m=9,4976\text{m/s}$  $A_i=0.000855 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  $P_i=99,79\text{W}$  $P=98,87\text{W}$  $q_w=993,491\text{W/m}^2$  $C_p=1004,38 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$  $k=0.026095 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  $\rho=1,18252 \text{ kg/m}^3$  $\nu=1,5635 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7124

$x/2r_{wi}$	$T_{wi} (^\circ\text{C})$	$T_b (^\circ\text{C})$	$\Delta T (^\circ\text{C})$	$h_x (\text{W/m}^2^\circ\text{C})$	$Nu_x$
0,25	30,80	23,08	7,72	128,70	162,75
0,50	30,56	23,17	7,39	134,38	169,93
0,75	30,00	23,25	6,75	147,26	186,23
1,00	30,61	23,34	7,28	136,54	172,67
1,25	31,00	23,42	7,58	131,12	165,81
1,50	31,50	23,51	7,99	124,30	157,19
1,75	31,70	23,59	8,11	122,53	154,95
2,00	32,00	23,68	8,32	119,36	150,94
2,50	32,42	23,85	8,57	115,91	146,58
3,00	32,97	24,01	8,96	110,92	140,27
3,50	33,16	24,18	8,97	110,71	140,01
4,00	33,45	24,35	9,10	109,21	138,10
4,50	34,10	24,52	9,58	103,73	131,17
5,00	34,08	24,69	9,39	105,81	133,81
6,00	34,95	25,03	9,92	100,14	126,64
7,00	35,78	25,37	10,42	95,38	120,62
8,00	35,80	25,71	10,09	98,42	124,46
9,00	36,44	26,04	10,40	95,54	120,81
10,00	36,81	26,38	10,43	95,25	120,45
11,00	37,36	26,72	10,64	93,35	118,05
13,00	38,06	27,40	10,66	93,19	117,85
15,00	38,78	28,07	10,70	92,83	117,39
17,00	39,28	28,75	10,53	94,31	119,27
19,00	39,94	29,43	10,51	94,51	119,52
22,00	40,71	30,44	10,27	96,70	122,29
25,00	40,98	31,46	9,53	104,27	131,85
28,00	41,80	32,47	9,33	106,48	134,65



## Ek 3 (devamı)

## 90° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=20000

T<sub>1</sub>=21,5°C T<sub>2</sub>=28,7°CU<sub>m</sub>=9,5033m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>i</sub>=99,48W

P=98,92W

q<sub>w</sub>=993,956W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,26 J/kg °C

k=0.026057 W/m°C

ρ=1,18466 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5584\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7124

$x/2r_{wi}$	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	31,21	21,58	9,63	103,22	130,72
0,50	30,99	21,67	9,32	106,66	135,08
0,75	30,41	21,75	8,66	114,76	145,34
1,00	31,07	21,84	9,23	107,64	136,32
1,25	31,50	21,92	9,58	103,77	131,43
1,50	31,90	22,01	9,89	100,46	127,23
1,75	32,07	22,09	9,98	99,64	126,18
2,00	32,34	22,18	10,17	97,76	123,80
2,50	32,80	22,34	10,46	95,06	120,39
3,00	33,41	22,51	10,90	91,18	115,47
3,50	33,60	22,68	10,92	91,03	115,29
4,00	34,00	22,85	11,15	89,15	112,90
4,50	34,58	23,02	11,56	86,01	108,93
5,00	34,58	23,19	11,39	87,25	110,50
6,00	35,44	23,53	11,91	83,44	105,67
7,00	36,27	23,86	12,40	80,13	101,49
8,00	36,30	24,20	12,10	82,15	104,04
9,00	36,94	24,54	12,40	80,13	101,48
10,00	37,40	24,88	12,52	79,36	100,51
11,00	37,86	25,21	12,65	78,58	99,52
13,00	38,51	25,89	12,63	78,72	99,70
15,00	39,23	26,56	12,66	78,50	99,42
17,00	39,72	27,24	12,48	79,66	100,88
19,00	40,36	27,91	12,45	79,85	101,12
22,00	41,07	28,93	12,14	81,84	103,65
25,00	41,32	29,94	11,38	87,36	110,64
28,00	42,21	30,95	11,26	88,27	111,79

## Ek 3 (devamı)

## 60° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=20000

T<sub>1</sub>=23,3°C T<sub>2</sub>=29,4°CU<sub>m</sub>=9,50857 m/sA<sub>t</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=100,4W

P=99,47W

q<sub>w</sub>=999,460W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,527 J/kg °C

k=0.026144 W/m°C

ρ=1,17979 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5701\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7123

$x/2r_{wi}$	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	31,23	23,39	7,84	127,43	160,84
0,50	31,26	23,47	7,79	128,26	161,90
0,75	30,73	23,56	7,17	139,33	175,87
1,00	31,31	23,64	7,67	130,24	164,40
1,25	31,70	23,73	7,97	125,34	158,20
1,50	32,19	23,81	8,37	119,34	150,63
1,75	32,94	23,90	9,05	110,48	139,44
2,00	32,77	23,98	8,79	113,70	143,51
2,50	33,03	24,15	8,88	112,53	142,03
3,00	33,66	24,32	9,34	107,06	135,13
3,50	33,87	24,49	9,38	106,56	134,50
4,00	34,36	24,66	9,69	103,09	130,12
4,50	34,83	24,83	9,99	100,02	126,25
5,00	34,84	25,00	9,84	101,60	128,24
6,00	35,69	25,34	10,34	96,62	121,96
7,00	36,52	25,68	10,83	92,26	116,46
8,00	36,53	26,02	10,50	95,15	120,10
9,00	37,17	26,37	10,81	92,49	116,74
10,00	37,63	26,71	10,92	91,53	115,53
11,00	38,15	27,05	11,10	90,01	113,61
13,00	38,89	27,73	11,16	89,57	113,06
15,00	39,56	28,41	11,15	89,61	113,10
17,00	40,03	29,09	10,94	91,33	115,28
19,00	40,65	29,77	10,88	91,87	115,96
22,00	41,36	30,79	10,56	94,61	119,41
25,00	41,57	31,81	9,75	102,48	129,36
28,00	42,58	32,84	9,74	102,63	129,54

## Ek 3 (devamı)

## 30° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=20000

T<sub>1</sub>=23,8°C T<sub>2</sub>=30,1°CU<sub>m</sub>=9,58983 m/sA<sub>t</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=102,67W

P=101,9W

q<sub>w</sub>=999,460W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,65 J/kg °C

k=0.026186 W/m°C

ρ=1,17746 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5756\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7123

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	31,93	23,89	8,04	127,42	160,57
0,50	31,78	23,97	7,80	131,35	165,52
0,75	31,31	24,06	7,25	141,26	178,01
1,00	31,94	24,15	7,80	131,44	165,64
1,25	32,20	24,23	7,97	128,63	162,10
1,50	32,74	24,32	8,42	121,66	153,32
1,75	32,93	24,41	8,53	120,18	151,45
2,00	33,64	24,49	9,15	112,00	141,14
2,50	33,62	24,67	8,95	114,50	144,29
3,00	34,24	24,84	9,40	108,98	137,34
3,50	34,44	25,01	9,43	108,68	136,95
4,00	34,79	25,19	9,60	106,76	134,54
4,50	35,40	25,36	10,04	102,07	128,63
5,00	35,40	25,53	9,87	103,87	130,89
6,00	36,30	25,88	10,42	98,35	123,94
7,00	37,08	26,23	10,86	94,40	118,96
8,00	37,23	26,57	10,65	96,18	121,21
9,00	37,83	26,92	10,91	93,95	118,40
10,00	38,21	27,27	10,94	93,63	117,99
11,00	38,80	27,62	11,18	91,62	115,46
13,00	39,53	28,31	11,22	91,33	115,10
15,00	40,33	29,00	11,32	90,50	114,05
17,00	40,85	29,70	11,15	91,87	115,78
19,00	41,51	30,39	11,12	92,13	116,10
22,00	42,23	31,43	10,80	94,90	119,59
25,00	42,60	32,47	10,13	101,17	127,49
28,00	43,60	33,51	10,09	101,58	128,01

## Ek 3 (devamı)

## 0° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=20000

T<sub>1</sub>=22°C T<sub>2</sub>=29,6°CU<sub>m</sub>=9,57164 m/sA<sub>t</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=104,12W

P=103,55W

q<sub>w</sub>=1040,43W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,41 J/kg °C

k=0.026106 W/m°C

ρ=1,18193 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5649\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7124

$x/2r_{wi}$	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	31,70	22,09	9,61	108,24	136,83
0,50	32,26	22,18	10,09	103,15	130,39
0,75	32,44	22,26	10,18	102,21	129,20
1,00	32,34	22,35	9,99	104,13	131,63
1,25	32,70	22,44	10,26	101,40	128,18
1,50	33,20	22,53	10,67	97,49	123,23
1,75	33,37	22,62	10,75	96,77	122,33
2,00	33,70	22,70	11,00	94,61	119,60
2,50	33,97	22,88	11,09	93,84	118,62
3,00	34,59	23,05	11,53	90,23	114,06
3,50	34,79	23,23	11,56	90,04	113,82
4,00	35,19	23,41	11,78	88,33	111,65
4,50	35,76	23,58	12,18	85,42	107,98
5,00	35,70	23,76	11,94	87,12	110,13
6,00	36,56	24,11	12,45	83,55	105,61
7,00	37,35	24,46	12,89	80,72	102,04
8,00	37,36	24,81	12,54	82,94	104,84
9,00	37,97	25,16	12,81	81,24	102,69
10,00	38,38	25,52	12,86	80,91	102,28
11,00	38,93	25,87	13,06	79,68	100,72
13,00	39,61	26,57	13,04	79,77	100,83
15,00	40,35	27,27	13,08	79,57	100,58
17,00	40,83	27,98	12,86	80,93	102,30
19,00	41,56	28,68	12,88	80,77	102,10
22,00	42,30	29,74	12,56	82,81	104,67
25,00	42,70	30,79	11,91	87,36	110,43
28,00	43,69	31,84	11,84	87,86	111,06

## Ek 3 (devamı)

## 180° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=15000

 $T_1=22,2^\circ\text{C}$   $T_2=29,9^\circ\text{C}$  $U_m=7,25817\text{ m/s}$  $A_f=0.000855\ 10^{-4}\ \text{m}^2$  $P_t=101,4\text{W}$  $P=100,27\text{W}$  $q_w=1007,575\text{W/m}^2$  $C_p=1007,381\ \text{J/kg }^\circ\text{C}$  $k=0.026123\ \text{W/m}^\circ\text{C}$  $\rho=1,10452\ \text{kg/m}^3$  $\nu=1,5673*10^{-5}$ 

Pr=0.7123

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}\ (^{\circ}\text{C})$	$T_b(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$h_x(\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C})$	$Nu_x$
0,25	31,57	22,32	9,25	108,91	137,58
0,50	31,34	22,44	8,90	113,24	143,04
0,75	30,56	22,56	8,00	125,98	159,14
1,00	31,40	22,68	8,72	115,54	145,95
1,25	33,22	22,80	10,42	96,72	122,18
1,50	32,60	22,92	9,68	104,07	131,47
1,75	32,95	23,04	9,91	101,66	128,42
2,00	33,20	23,16	10,04	100,34	126,75
2,50	33,92	23,40	10,52	95,79	121,00
3,00	34,70	23,64	11,06	91,08	115,05
3,50	34,96	23,88	11,08	90,93	114,87
4,00	35,63	24,12	11,51	87,52	110,56
4,50	36,24	24,36	11,88	84,80	107,12
5,00	36,30	24,60	11,70	86,08	108,74
6,00	37,38	25,07	12,30	81,91	103,48
7,00	38,47	25,55	12,91	78,03	98,57
8,00	38,56	26,03	12,52	80,45	101,63
9,00	39,40	26,51	12,89	78,18	98,76
10,00	40,05	26,99	13,06	77,15	97,46
11,00	40,85	27,47	13,38	75,30	95,13
13,00	41,91	28,43	13,49	74,71	94,38
15,00	42,74	29,39	13,35	75,47	95,33
17,00	43,40	30,34	13,06	77,18	97,49
19,00	43,98	31,30	12,67	79,51	100,44
22,00	45,20	32,74	12,46	80,86	102,15
25,00	45,30	34,18	11,12	90,59	114,43
28,00	45,48	35,61	9,86	102,18	129,08

## Ek 3 (devamı)

## 150° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=15000

T<sub>1</sub>=22,3°C T<sub>2</sub>=29,7°CU<sub>m</sub>=7,21081 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=100,44W

P=98,87W

q<sub>w</sub>=993,493W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,454 J/kg °C

k=0.02612 W/m°C

ρ=1,18116 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5668\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7124

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	31,90	22,41	9,49	104,70	132,28
0,50	31,65	22,52	9,13	108,85	137,52
0,75	30,84	22,63	8,21	121,03	152,91
1,00	31,63	22,75	8,88	111,85	141,31
1,25	33,02	22,86	10,16	97,79	123,55
1,50	32,73	22,97	9,76	101,80	128,61
1,75	33,24	23,08	10,16	97,76	123,51
2,00	33,30	23,19	10,11	98,29	124,18
2,50	33,92	23,41	10,50	94,60	119,52
3,00	34,66	23,64	11,02	90,16	113,91
3,50	34,91	23,86	11,05	89,88	113,55
4,00	35,37	24,08	11,29	88,02	111,20
4,50	36,16	24,31	11,86	83,80	105,87
5,00	36,20	24,53	11,67	85,13	107,55
6,00	37,30	24,98	12,32	80,61	101,85
7,00	38,41	25,42	12,99	76,47	96,61
8,00	38,44	25,87	12,58	79,00	99,81
9,00	39,26	26,31	12,94	76,75	96,97
10,00	39,94	26,76	13,18	75,39	95,25
11,00	40,64	27,21	13,43	73,96	93,45
13,00	41,71	28,10	13,62	72,96	92,18
15,00	42,48	28,99	13,49	73,67	93,07
17,00	43,20	29,88	13,32	74,59	94,24
19,00	43,89	30,77	13,11	75,75	95,71
22,00	45,03	32,11	12,92	76,91	97,17
25,00	45,25	33,45	11,80	84,18	106,36
28,00	45,50	34,79	10,71	92,73	117,16

## Ek 3 (devamı)

## 120° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=15000

T<sub>1</sub>=22,4°C T<sub>2</sub>=30°CU<sub>m</sub>=7,11765 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=100,13W

P=98,52W

q<sub>w</sub>=989,915W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,495 J/kg °C

k=0.026132 W/m°C

ρ=1,18038 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5687\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7123

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	31,90	22,51	9,39	105,45	133,16
0,50	31,66	22,63	9,04	109,54	138,31
0,75	30,89	22,74	8,15	121,49	153,41
1,00	31,66	22,85	8,81	112,40	141,94
1,25	32,20	22,96	9,24	107,17	135,32
1,50	32,77	23,08	9,70	102,10	128,92
1,75	33,27	23,19	10,08	98,17	123,97
2,00	33,75	23,30	10,45	94,74	119,63
2,50	33,98	23,53	10,46	94,66	119,53
3,00	34,76	23,75	11,01	89,94	113,57
3,50	35,04	23,98	11,07	89,45	112,95
4,00	35,42	24,20	11,21	88,27	111,46
4,50	36,41	24,43	11,99	82,59	104,29
5,00	36,32	24,65	11,67	84,84	107,13
6,00	37,40	25,10	12,30	80,50	101,65
7,00	38,52	25,55	12,96	76,36	96,42
8,00	38,59	26,00	12,59	78,65	99,31
9,00	39,43	26,45	12,97	76,30	96,34
10,00	40,14	26,90	13,23	74,81	94,46
11,00	40,73	27,35	13,37	74,04	93,49
13,00	41,83	28,26	13,57	72,93	92,09
15,00	42,41	29,16	13,26	74,68	94,30
17,00	43,12	30,06	13,06	75,80	95,72
19,00	43,73	30,96	12,77	77,54	97,91
22,00	44,84	32,31	12,53	78,98	99,73
25,00	45,00	33,66	11,34	87,30	110,23
28,00	45,33	35,01	10,31	95,99	121,20

## Ek 3 (devamı)

## 90° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=15000

 $T_1=22,3^\circ\text{C}$   $T_2=29,6^\circ\text{C}$  $U_m=7,21022\text{ m/s}$  $A_i=0,000855\ 10^{-4}\ \text{m}^2$  $P_i=99,68\text{W}$  $P=98,27\text{W}$  $q_w=987,416\text{W/m}^2$  $C_p=1004,44\ \text{J/kg }^\circ\text{C}$  $k=0,026116\ \text{W/m}^\circ\text{C}$  $\rho=1,18135\ \text{kg/m}^3$  $\nu=1,5663\cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7124

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}\ (^{\circ}\text{C})$	$T_b(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$h_x(\text{W/m}^2\ ^{\circ}\text{C})$	$Nu_x$
0,25	31,94	22,41	9,53	103,59	130,89
0,50	31,70	22,52	9,18	107,58	135,94
0,75	30,93	22,63	8,30	119,02	150,39
1,00	31,73	22,74	8,99	109,89	138,86
1,25	32,30	22,85	9,45	104,53	132,08
1,50	32,89	22,96	9,92	99,53	125,76
1,75	33,36	23,08	10,28	96,04	121,35
2,00	33,67	23,19	10,48	94,22	119,05
2,50	34,10	23,41	10,69	92,35	116,69
3,00	34,89	23,63	11,26	87,72	110,84
3,50	35,20	23,85	11,35	87,01	109,94
4,00	35,57	24,07	11,49	85,91	108,55
4,50	36,48	24,29	12,18	81,06	102,43
5,00	36,52	24,52	12,00	82,26	103,94
6,00	37,64	24,96	12,68	77,88	98,41
7,00	38,77	25,40	13,36	73,88	93,36
8,00	38,87	25,85	13,03	75,80	95,78
9,00	39,63	26,29	13,34	74,02	93,53
10,00	40,29	26,73	13,56	72,84	92,04
11,00	40,90	27,17	13,73	71,94	90,90
13,00	42,04	28,06	13,98	70,62	89,24
15,00	42,61	28,95	13,66	72,26	91,31
17,00	43,28	29,83	13,45	73,42	92,77
19,00	43,96	30,72	13,24	74,57	94,22
22,00	45,07	32,05	13,02	75,83	95,82
25,00	45,23	33,38	11,85	83,30	105,25
28,00	45,53	34,71	10,82	91,29	115,35



## Ek 3 (devamı)

## 60° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=15000

 $T_1=22,4^{\circ}\text{C}$     $T_2=30,4^{\circ}\text{C}$  $U_m=7,11999$  m/s $A_i=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_t=102,05$  W $P=100,88$  W $q_w=1013,68$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1004,53$  J/kg °C $k=0,02614$  W/m°C $\rho=1,1796$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,5705 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7123

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	31,96	22,52	9,44	107,36	135,49
0,50	31,71	22,63	9,08	111,62	140,87
0,75	30,94	22,75	8,20	123,67	156,07
1,00	31,71	22,86	8,85	114,50	144,51
1,25	32,30	22,98	9,32	108,73	137,22
1,50	32,91	23,09	9,82	103,20	130,25
1,75	33,34	23,21	10,14	100,01	126,22
2,00	33,69	23,32	10,36	97,82	123,45
2,50	34,03	23,55	10,48	96,73	122,07
3,00	34,81	23,78	11,03	91,90	115,98
3,50	35,11	24,01	11,10	91,33	115,26
4,00	35,89	24,25	11,64	87,08	109,90
4,50	36,43	24,48	11,95	84,84	107,07
5,00	36,48	24,71	11,77	86,10	108,66
6,00	37,63	25,17	12,46	81,38	102,70
7,00	38,77	25,63	13,14	77,16	97,38
8,00	38,87	26,09	12,78	79,31	100,10
9,00	39,63	26,55	13,08	77,52	97,83
10,00	40,31	27,01	13,30	76,22	96,20
11,00	40,94	27,48	13,46	75,30	95,03
13,00	42,00	28,40	13,60	74,52	94,05
15,00	42,64	29,32	13,32	76,12	96,07
17,00	43,30	30,24	13,06	77,64	97,98
19,00	43,85	31,17	12,68	79,92	100,86
22,00	45,07	32,55	12,52	80,96	102,17
25,00	45,32	33,93	11,38	89,06	112,39
28,00	45,73	35,32	10,41	97,41	122,93

## Ek 3 (devamı)

## 30° Dirsek Açısı İçin Deneysel Verileri

Re=15000

T<sub>1</sub>=22,5°C T<sub>2</sub>=30,3°CU<sub>m</sub>=7,30989 m/sA<sub>f</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=103,98W

P=103,05W

q<sub>w</sub>=1013,68W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,53 J/kg °C

k=0.02614 W/m°C

ρ=1,1796 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5705\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7123

$x/2r_{wi}$	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	31,99	22,61	9,37	110,50	139,46
0,50	31,70	22,73	8,97	115,43	145,68
0,75	30,96	22,84	8,11	127,64	161,08
1,00	31,79	22,96	8,83	117,31	148,06
1,25	32,30	23,07	9,23	112,23	141,65
1,50	32,94	23,19	9,75	106,16	133,98
1,75	33,40	23,30	10,10	102,56	129,43
2,00	33,61	23,42	10,20	101,56	128,17
2,50	34,10	23,65	10,45	99,07	125,03
3,00	34,86	23,88	10,98	94,31	119,02
3,50	35,11	24,11	11,01	94,07	118,72
4,00	35,84	24,34	11,51	89,99	113,57
4,50	36,43	24,57	11,86	87,32	110,20
5,00	36,44	24,80	11,64	88,92	112,23
6,00	37,60	25,25	12,35	83,88	105,85
7,00	38,70	25,71	12,99	79,74	100,63
8,00	38,77	26,17	12,60	82,19	103,73
9,00	39,60	26,63	12,97	79,85	100,77
10,00	40,31	27,09	13,22	78,32	98,84
11,00	40,99	27,55	13,44	77,06	97,25
13,00	42,20	28,47	13,73	75,41	95,17
15,00	42,81	29,39	13,43	77,12	97,33
17,00	43,48	30,30	13,18	78,57	99,16
19,00	44,11	31,22	12,89	80,33	101,38
22,00	45,26	32,60	12,66	81,81	103,24
25,00	45,47	33,98	11,49	90,12	113,74
28,00	45,90	35,35	10,55	98,18	123,91

## Ek 3 (devamı)

## 0° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

 $Re=15000$  $T_1=22,3^\circ\text{C}$   $T_2=30,1^\circ\text{C}$  $U_m=7,11765$  m/s $A_i=0,000855$   $10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_i=106,08$  W $P=105,44$  W $q_w=1059,505$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1004,49$  J/kg °C $k=0,026134$  W/m°C $\rho=1,18038$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,5687*10^{-5}$  $Pr=0,7123$ 

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	31,60	22,42	9,18	115,42	145,74
0,50	32,43	22,54	9,88	107,19	135,36
0,75	32,70	22,66	10,04	105,54	133,27
1,00	32,50	22,78	9,72	109,03	137,67
1,25	33,10	22,90	10,20	103,90	131,20
1,50	33,76	23,02	10,73	98,71	124,64
1,75	34,19	23,14	11,04	95,95	121,16
2,00	34,40	23,26	11,14	95,14	120,14
2,50	34,90	23,51	11,39	92,98	117,41
3,00	35,74	23,75	12,00	88,32	111,52
3,50	35,99	23,99	12,00	88,30	111,50
4,00	36,17	24,23	11,94	88,75	112,06
4,50	37,33	24,47	12,86	82,42	104,07
5,00	37,32	24,71	12,61	84,02	106,10
6,00	38,53	25,19	13,33	79,47	100,35
7,00	39,63	25,67	13,96	75,90	95,84
8,00	39,67	26,16	13,51	78,40	98,99
9,00	40,51	26,64	13,88	76,36	96,42
10,00	41,15	27,12	14,03	75,52	95,36
11,00	41,80	27,60	14,20	74,63	94,24
13,00	42,87	28,57	14,30	74,07	93,53
15,00	43,63	29,53	14,09	75,18	94,93
17,00	44,35	30,50	13,85	76,47	96,57
19,00	45,00	31,46	13,54	78,25	98,81
22,00	46,23	32,91	13,32	79,53	100,42
25,00	46,40	34,35	12,05	87,94	111,05
28,00	46,74	35,80	10,94	96,86	122,30

## Ek 3 (devamı)

## 180° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=10000

T<sub>1</sub>=20,7°C T<sub>2</sub>=31°CU<sub>m</sub>=4,9877 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=97,328W

P=95,579W

q<sub>w</sub>=960,352W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1007,38 J/kg °C

k=0.0261095 W/m°C

ρ=1,104524 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5654\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7124

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	32,43	20,87	11,56	83,06	104,98
0,50	31,99	21,03	10,96	87,66	110,80
0,75	30,79	21,20	9,59	100,17	126,60
1,00	31,94	21,36	10,58	90,78	114,74
1,25	32,80	21,53	11,27	85,22	107,71
1,50	33,70	21,70	12,00	80,01	101,12
1,75	34,20	21,86	12,34	77,84	98,39
2,00	34,80	22,03	12,77	75,20	95,04
2,50	35,45	22,36	13,09	73,37	92,74
3,00	36,51	22,69	13,82	69,49	87,82
3,50	36,87	23,03	13,85	69,36	87,67
4,00	37,52	23,36	14,16	67,83	85,73
4,50	38,70	23,69	15,01	63,98	80,87
5,00	38,70	24,02	14,68	65,43	82,70
6,00	40,19	24,69	15,50	61,96	78,31
7,00	41,78	25,35	16,43	58,44	73,87
8,00	41,91	26,02	15,90	60,41	76,35
9,00	43,11	26,68	16,43	58,44	73,86
10,00	44,20	27,34	16,86	56,98	72,01
11,00	45,35	28,01	17,34	55,38	70,00
13,00	46,57	29,34	17,23	55,73	70,43
15,00	48,14	30,67	17,47	54,97	69,48
17,00	48,90	32,00	16,90	56,81	71,81
19,00	49,83	33,33	16,50	58,20	73,57
22,00	51,14	35,32	15,82	60,69	76,71
25,00	50,63	37,31	13,32	72,09	91,12
28,00	49,40	39,31	10,09	95,14	120,25

## Ek 3 (devamı)

## 150° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=10000

T<sub>1</sub>=21,1°C T<sub>2</sub>=30,8°CU<sub>m</sub>=4,8225 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>i</sub>=97,174W

P=95,935W

q<sub>w</sub>=963,924W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,44 J/kg °C

k=0.0261165 W/m°C

ρ=1,181354 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5663\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7124

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	32,60	21,26	11,34	85,01	107,42
0,50	32,16	21,42	10,74	89,76	113,42
0,75	30,99	21,59	9,40	102,54	129,56
1,00	32,03	21,75	10,28	93,75	118,46
1,25	32,80	21,91	10,89	88,50	111,83
1,50	33,57	22,07	11,50	83,81	105,90
1,75	34,07	22,23	11,83	81,45	102,92
2,00	34,70	22,39	12,31	78,33	98,97
2,50	35,25	22,72	12,53	76,91	97,18
3,00	36,26	23,04	13,22	72,93	92,16
3,50	36,71	23,36	13,35	72,20	91,23
4,00	37,18	23,69	13,50	71,42	90,25
4,50	38,33	24,01	14,31	67,34	85,09
5,00	38,36	24,33	14,03	68,72	86,84
6,00	39,83	24,98	14,84	64,94	82,05
7,00	41,27	25,63	15,64	61,64	77,88
8,00	41,50	26,27	15,23	63,31	80,00
9,00	42,64	26,92	15,72	61,31	77,47
10,00	43,51	27,57	15,94	60,46	76,39
11,00	44,69	28,22	16,47	58,52	73,94
13,00	46,14	29,51	16,63	57,95	73,22
15,00	47,50	30,80	16,70	57,73	72,94
17,00	48,28	32,10	16,19	59,55	75,24
19,00	49,23	33,39	15,84	60,87	76,92
22,00	50,49	35,33	15,16	63,60	80,37
25,00	49,98	37,27	12,71	75,82	95,81
28,00	48,60	39,21	9,39	102,67	129,73

## Ek 3 (devamı)

## 120° Dirsek Açısı İçin Deneysel Verileri

Re=10000

 $T_1=21,5^\circ\text{C}$     $T_2=31,3^\circ\text{C}$  $U_m=4,8261$  m/s $A_f=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_f=98,58$  W $P=97,27$  W $q_w=977,364$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1004,53$  J/kg °C $k=0,026148$  W/m°C $\rho=1,179604$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,5705 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7123

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	33,00	21,66	11,34	86,18	108,77
0,50	32,58	21,82	10,76	90,87	114,68
0,75	31,41	21,98	9,44	103,58	130,72
1,00	32,51	22,14	10,38	94,19	118,87
1,25	33,20	22,30	10,90	89,64	113,13
1,50	33,80	22,46	11,34	86,16	108,74
1,75	34,81	22,62	12,20	80,12	101,12
2,00	35,43	22,78	12,65	77,24	97,49
2,50	35,88	23,09	12,79	76,42	96,45
3,00	36,94	23,41	13,53	72,24	91,17
3,50	37,40	23,73	13,67	71,51	90,25
4,00	37,95	24,05	13,90	70,32	88,75
4,50	39,05	24,37	14,68	66,58	84,02
5,00	39,08	24,69	14,39	67,91	85,71
6,00	40,53	25,33	15,20	64,31	81,16
7,00	42,12	25,96	16,15	60,51	76,37
8,00	42,23	26,60	15,63	62,55	78,94
9,00	43,47	27,24	16,23	60,21	75,99
10,00	44,48	27,88	16,60	58,89	74,32
11,00	45,63	28,52	17,11	57,12	72,09
13,00	47,00	29,79	17,21	56,79	71,68
15,00	48,33	31,07	17,26	56,63	71,47
17,00	49,00	32,34	16,66	58,67	74,05
19,00	49,93	33,62	16,31	59,93	75,64
22,00	51,04	35,53	15,51	63,01	79,52
25,00	50,58	37,44	13,14	74,39	93,88
28,00	50,58	39,36	13,14	74,39	93,88

## Ek 3 (devamı)

## 90° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=10000

 $T_1=21,4^\circ\text{C}$   $T_2=31,8^\circ\text{C}$  $U_m=4,8277$  m/s $A_i=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_i=100,152$  W $P=99,033$  W $q_w=994,752$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1004,57$  J/kg °C $k=0,026162$  W/m°C $\rho=1,178826$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,5724 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7123

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	33,41	21,57	11,85	83,96	105,91
0,50	33,00	21,73	11,27	88,30	111,38
0,75	31,73	21,90	9,83	101,22	127,68
1,00	32,89	22,07	10,82	91,96	115,99
1,25	34,32	22,24	12,08	82,31	103,83
1,50	34,70	22,40	12,30	80,89	102,03
1,75	35,34	22,57	12,77	77,88	98,23
2,00	35,50	22,74	12,76	77,94	98,31
2,50	36,52	23,07	13,45	73,98	93,32
3,00	37,64	23,40	14,24	69,86	88,12
3,50	38,10	23,74	14,36	69,27	87,37
4,00	38,67	24,07	14,59	68,16	85,98
4,50	39,83	24,41	15,42	64,52	81,38
5,00	39,90	24,74	15,16	65,62	82,77
6,00	41,66	25,41	16,25	61,22	77,22
7,00	43,20	26,08	17,12	58,09	73,28
8,00	43,27	26,75	16,53	60,19	75,92
9,00	44,51	27,41	17,10	58,17	73,37
10,00	45,36	28,08	17,28	57,56	72,61
11,00	46,54	28,75	17,79	55,92	70,54
13,00	48,06	30,09	17,97	55,35	69,82
15,00	49,39	31,42	17,97	55,37	69,84
17,00	50,10	32,76	17,34	57,36	72,35
19,00	51,05	34,09	16,96	58,67	74,00
22,00	49,11	36,10	16,12	61,73	77,86
25,00	54,20	38,10	16,12	61,73	77,86
28,00	56,21	40,11	16,12	61,73	77,86

## Ek 3 (devamı)

## 60° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=10000

T<sub>1</sub>=21,6°C T<sub>2</sub>=31,6°CU<sub>m</sub>=4,8277 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=97,482W

P=96,567W

q<sub>w</sub>=970,281W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,57 J/kg °C

k=0.026162 W/m°C

ρ=1,178826 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5724\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7123

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	33,20	21,76	11,44	84,84	107,01
0,50	32,61	21,93	10,69	90,79	114,52
0,75	31,40	22,09	9,31	104,21	131,44
1,00	32,50	22,25	10,25	94,68	119,42
1,25	33,77	22,41	11,36	85,44	107,77
1,50	34,19	22,58	11,61	83,59	105,43
1,75	34,80	22,74	12,06	80,46	101,49
2,00	35,00	22,90	12,10	80,21	101,18
2,50	35,92	23,23	12,69	76,48	96,46
3,00	36,97	23,56	13,42	72,32	91,22
3,50	37,43	23,88	13,55	71,62	90,34
4,00	37,98	24,21	13,78	70,43	88,84
4,50	39,14	24,53	14,60	66,44	83,80
5,00	39,10	24,86	14,24	68,13	85,94
6,00	40,66	25,51	15,15	64,04	80,77
7,00	42,13	26,16	15,97	60,75	76,63
8,00	42,33	26,81	15,51	62,54	78,88
9,00	43,56	27,47	16,09	60,30	76,06
10,00	44,51	28,12	16,40	59,18	74,65
11,00	45,36	28,77	16,59	58,47	73,76
13,00	46,97	30,07	16,90	57,42	72,42
15,00	48,21	31,38	16,84	57,63	72,69
17,00	48,88	32,68	16,20	59,88	75,53
19,00	49,84	33,98	15,86	61,20	77,19
22,00	51,01	35,94	15,08	64,36	81,18
25,00	50,47	37,89	12,57	77,16	97,33
28,00	49,29	39,85	9,44	102,79	129,65



## Ek 3 (devamı)

## 30° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=10000

T<sub>1</sub>=21,7°C T<sub>2</sub>=31,6°CU<sub>m</sub>=4,89866 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>i</sub>=99,51W

P=97,917W

q<sub>w</sub>=983,840W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,58 J/kg °C

k=0.0261655 W/m°C

ρ=1,1788631 kg/m<sup>3</sup>ν=1,5728\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7123

$x/2r_{wi}$	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	33,27	21,86	11,41	86,24	108,76
0,50	32,84	22,03	10,81	91,00	114,77
0,75	31,64	22,19	9,45	104,06	131,24
1,00	32,79	22,35	10,43	94,29	118,92
1,25	33,70	22,51	11,19	87,95	110,93
1,50	34,49	22,68	11,81	83,31	105,08
1,75	35,04	22,84	12,20	80,62	101,68
2,00	35,47	23,00	12,47	78,90	99,51
2,50	36,15	23,33	12,82	76,73	96,78
3,00	37,24	23,65	13,59	72,40	91,31
3,50	37,71	23,98	13,73	71,63	90,34
4,00	38,39	24,31	14,08	69,87	88,12
4,50	39,39	24,63	14,76	66,67	84,09
5,00	39,44	24,96	14,48	67,93	85,67
6,00	40,96	25,61	15,35	64,08	80,81
7,00	42,57	26,26	16,31	60,33	76,09
8,00	42,77	26,91	15,86	62,03	78,23
9,00	44,01	27,56	16,45	59,80	75,42
10,00	44,75	28,21	16,54	59,49	75,04
11,00	46,21	28,86	17,35	56,71	71,53
13,00	47,64	30,17	17,48	56,30	71,00
15,00	48,99	31,47	17,52	56,16	70,83
17,00	49,67	32,77	16,89	58,24	73,45
19,00	50,64	34,08	16,56	59,40	74,92
22,00	51,81	36,03	15,78	62,33	78,61
25,00	51,25	37,98	13,27	74,16	93,53
28,00	49,95	39,94	10,01	98,26	123,93

## Ek 3 (devamı)

## 0° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=10000

T<sub>1</sub>=22°C T<sub>2</sub>=32,4°CU<sub>m</sub>=4,83256 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=101,594W

P=100,183W

q<sub>w</sub>=1006,607W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1004,704 J/kg °C

k=0.026204 W/m°C

ρ=1,176492 kg/m<sup>3</sup>ν=1,578\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7122

x/2r <sub>wi</sub>	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	32,20	22,17	10,03	100,35	126,38
0,50	33,44	22,34	11,10	90,69	114,21
0,75	33,80	22,51	11,29	89,14	112,26
1,00	33,40	22,68	10,72	93,87	118,22
1,25	34,30	22,85	11,45	87,88	110,67
1,50	35,13	23,02	12,11	83,10	104,65
1,75	35,73	23,18	12,54	80,24	101,05
2,00	35,97	23,35	12,61	79,81	100,50
2,50	36,82	23,69	13,12	76,69	96,58
3,00	37,93	24,03	13,90	72,43	91,21
3,50	38,40	24,37	14,03	71,74	90,34
4,00	38,97	24,71	14,26	70,59	88,90
4,50	40,08	25,05	15,03	66,97	84,34
5,00	40,10	25,38	14,72	68,40	86,14
6,00	41,64	26,06	15,58	64,62	81,38
7,00	43,20	26,74	16,46	61,14	77,00
8,00	43,34	27,41	15,93	63,19	79,58
9,00	44,50	28,09	16,41	61,34	77,25
10,00	45,50	28,77	16,73	60,16	75,76
11,00	46,60	29,44	17,16	58,67	73,89
13,00	48,00	30,80	17,20	58,51	73,69
15,00	49,21	32,15	17,06	59,00	74,30
17,00	50,00	33,50	16,50	61,02	76,85
19,00	50,95	34,86	16,09	62,55	78,77
22,00	52,24	36,89	15,36	65,55	82,55
25,00	51,72	38,92	12,80	78,64	99,04
28,00	50,38	40,95	9,43	78,64	99,04

## Ek 3 (devamı)

## 180° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=5000

 $T_1=21,5^\circ\text{C}$   $T_2=39,1^\circ\text{C}$  $U_m=2,419390$  m/s $A_i=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_i=94,75$  W $P=92,28$  W $q_w=927,200$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1007,38$  J/kg °C $k=0,026421$  W/m°C $\rho=1,104524$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,6068 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7119

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	38,56	21,83	16,73	55,43	69,24
0,50	37,78	22,16	15,61	59,38	74,17
0,75	35,54	22,49	13,05	71,04	88,74
1,00	37,37	22,82	14,55	63,73	79,60
1,25	38,90	23,15	15,75	58,88	73,54
1,50	40,41	23,48	16,93	54,77	68,40
1,75	41,33	23,81	17,52	52,93	66,11
2,00	42,10	24,15	17,95	51,64	64,50
2,50	43,60	24,81	18,79	49,34	61,62
3,00	45,54	25,47	20,08	46,19	57,69
3,50	46,57	26,13	20,44	45,36	56,65
4,00	47,67	26,79	20,88	44,41	55,47
4,50	49,66	27,45	22,21	41,75	52,14
5,00	50,02	28,11	21,91	42,32	52,86
6,00	53,27	29,44	23,84	38,90	48,59
7,00	56,26	30,76	25,50	36,36	45,41
8,00	57,01	32,08	24,93	37,19	46,45
9,00	59,71	33,40	26,31	35,24	44,02
10,00	61,80	34,73	27,07	34,25	42,77
11,00	64,30	36,05	28,25	32,82	40,99
13,00	67,67	38,69	28,98	32,00	39,96
15,00	70,89	41,34	29,55	31,38	39,19
17,00	72,53	43,98	28,55	32,48	40,56
19,00	74,04	46,63	27,41	33,83	42,25
22,00	75,11	50,60	24,52	37,82	47,24
25,00	71,12	54,57	16,55	56,02	69,97
28,00	75,02	58,53	16,55	56,02	69,97

## Ek 3 (devamı)

## 150° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=5000

 $T_1=22,1^\circ\text{C}$   $T_2=40,4^\circ\text{C}$  $U_m=2,418293\text{ m/s}$  $A_i=0,000855\ 10^{-4}\text{ m}^2$  $P_i=99,52\text{ W}$  $P=97,063\text{ W}$  $q_w=975,2609\text{ W/m}^2$  $C_p=1005,55\text{ J/kg }^\circ\text{C}$  $k=0,0264875\text{ W/m}^\circ\text{C}$  $\rho=1,16073\text{ kg/m}^3$  $\nu=1,61563\cdot 10^{-5}$  $Pr=0,7118$ 

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}\text{ (}^\circ\text{C)}$	$T_b\text{ (}^\circ\text{C)}$	$\Delta T\text{ (}^\circ\text{C)}$	$h_x\text{ (W/m}^2\text{ }^\circ\text{C)}$	$Nu_x$
0,25	39,73	22,43	17,30	56,38	70,25
0,50	38,90	22,76	16,14	60,44	75,30
0,75	36,61	23,10	13,52	72,14	89,88
1,00	38,47	23,43	15,04	64,82	80,76
1,25	40,00	23,76	16,24	60,05	74,81
1,50	41,61	24,09	17,52	55,65	69,34
1,75	42,64	24,42	18,22	53,54	66,70
2,00	43,39	24,75	18,63	52,34	65,21
2,50	44,98	25,42	19,57	49,84	62,10
3,00	46,97	26,08	20,89	46,68	58,16
3,50	47,96	26,74	21,21	45,97	57,28
4,00	49,05	27,41	21,64	45,06	56,14
4,50	51,15	28,07	23,08	42,26	52,65
5,00	51,54	28,73	22,81	42,76	53,28
6,00	54,73	30,06	24,66	39,54	49,26
7,00	58,08	31,39	26,69	36,54	45,52
8,00	58,89	32,71	26,17	37,26	46,43
9,00	61,66	34,04	27,62	35,32	44,00
10,00	63,64	35,37	28,27	34,50	42,98
11,00	66,33	36,69	29,63	32,91	41,01
13,00	69,89	39,35	30,54	31,94	39,79
15,00	73,24	42,00	31,24	31,22	38,90
17,00	74,95	44,66	30,29	32,19	40,11
19,00	76,48	47,31	29,17	33,44	41,66
22,00	77,69	51,29	26,40	36,95	46,03
25,00	73,78	55,27	18,51	52,68	65,63
28,00	66,68	59,25	7,42	131,35	163,65

## Ek 3 (devamı)

## 120° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=5000

 $T_1=22,4^{\circ}\text{C}$   $T_2=41,2^{\circ}\text{C}$  $U_m=2,42052$  m/s $A_i=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_i=97,802$ W $P=95,049$ W $q_w=955,027$ W/m<sup>2</sup> $C_p=1005,66$  J/kg °C $k=0,026526$  W/m°C $\rho=1,158598$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,6207 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7118

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	39,66	22,73	16,93	56,40	70,17
0,50	38,94	23,05	15,89	60,11	74,78
0,75	36,59	23,38	13,21	72,29	89,94
1,00	38,53	23,70	14,83	64,41	80,12
1,25	40,00	24,03	15,97	59,78	74,38
1,50	41,54	24,35	17,19	55,55	69,11
1,75	42,52	24,68	17,84	53,53	66,59
2,00	43,36	25,00	18,36	52,03	64,72
2,50	44,93	25,65	19,28	49,53	61,62
3,00	46,83	26,30	20,53	46,52	57,88
3,50	47,79	26,95	20,83	45,84	57,03
4,00	48,83	27,60	21,23	44,98	55,96
4,50	50,85	28,25	22,60	42,26	52,57
5,00	51,20	28,90	22,30	42,83	53,28
6,00	54,56	30,20	24,36	39,21	48,78
7,00	57,48	31,50	25,98	36,76	45,74
8,00	58,21	32,80	25,41	37,58	46,75
9,00	60,87	34,10	26,77	35,68	44,38
10,00	62,69	35,40	27,28	35,00	43,55
11,00	65,21	36,70	28,51	33,50	41,68
13,00	68,56	39,30	29,25	32,65	40,62
15,00	71,69	41,90	29,78	32,07	39,89
17,00	73,35	44,51	28,84	33,11	41,19
19,00	74,88	47,11	27,77	34,39	42,79
22,00	75,90	51,01	24,89	38,37	47,73
25,00	72,35	54,91	17,44	54,75	68,12
28,00	76,42	58,81	17,44	54,75	68,12

## Ek 3 (devamı)

## 90° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=5000

T<sub>1</sub>=22,7°C T<sub>2</sub>=41,2°CU<sub>m</sub>=2,39214 m/sA<sub>i</sub>=0.000855 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>P<sub>t</sub>=96,72W

P=94,16W

q<sub>w</sub>=946,088W/m<sup>2</sup>C<sub>p</sub>=1005,69 J/kg °C

k=0.026536 W/m°C

ρ=1,15801 kg/m<sup>3</sup>ν=1,622\*10<sup>-5</sup>

Pr=0.7118

$x/2r_{wi}$	T <sub>wi</sub> (°C)	T <sub>b</sub> (°C)	ΔT(°C)	h <sub>x</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	Nu <sub>x</sub>
0,25	39,89	23,03	16,86	56,12	69,78
0,50	39,08	23,35	15,72	60,17	74,83
0,75	36,87	23,68	13,19	71,71	89,18
1,00	38,77	24,00	14,77	64,07	79,67
1,25	41,53	24,33	17,20	54,99	68,39
1,50	41,76	24,66	17,10	55,32	68,80
1,75	42,90	24,98	17,92	52,80	65,66
2,00	43,77	25,31	18,46	51,24	63,72
2,50	45,33	25,96	19,37	48,83	60,73
3,00	47,27	26,61	20,66	45,79	56,95
3,50	48,24	27,26	20,98	45,10	56,08
4,00	49,28	27,92	21,37	44,28	55,06
4,50	51,33	28,57	22,76	41,57	51,70
5,00	51,72	29,22	22,50	42,05	52,29
6,00	54,88	30,52	24,35	38,85	48,32
7,00	58,12	31,83	26,29	35,98	44,75
8,00	58,83	33,13	25,70	36,82	45,79
9,00	61,56	34,44	27,12	34,88	43,38
10,00	63,38	35,74	27,63	34,24	42,57
11,00	65,88	37,04	28,83	32,82	40,81
13,00	69,39	39,65	29,73	31,82	39,57
15,00	72,59	42,26	30,33	31,20	38,80
17,00	74,23	44,87	29,36	32,22	40,07
19,00	75,80	47,48	28,32	33,40	41,54
22,00	76,77	51,39	25,38	37,27	46,35
25,00	80,68	55,30	25,38	53,20	46,35
28,00	84,59	59,21	25,38	135,66	46,35

## Ek 3 (devamı)

## 60° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=5000

 $T_1=22,9^\circ\text{C}$   $T_2=41,7^\circ\text{C}$  $U_m=2,50792$  m/s $A_i=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_i=97,328$  W $P=94,75$  W $q_w=952,023$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1005,77$  J/kg °C $k=0,026561$  W/m°C $\rho=1,156653$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,625 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7117

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	40,60	23,21	17,39	54,76	68,03
0,50	39,76	23,53	16,24	58,64	72,85
0,75	37,47	23,84	13,63	69,84	86,77
1,00	39,36	24,15	15,20	62,62	77,80
1,25	42,42	24,47	17,95	53,03	65,88
1,50	42,74	24,78	17,96	53,00	65,85
1,75	43,63	25,09	18,54	51,35	63,80
2,00	44,51	25,41	19,11	49,82	61,90
2,50	46,12	26,03	20,08	47,40	58,89
3,00	48,02	26,66	21,36	44,58	55,38
3,50	49,11	27,29	21,83	43,61	54,19
4,00	50,22	27,91	22,30	42,68	53,03
4,50	52,40	28,54	23,86	39,90	49,57
5,00	52,90	29,17	23,73	40,11	49,84
6,00	56,11	30,42	25,69	37,05	46,04
7,00	59,42	31,67	27,75	34,31	42,63
8,00	60,26	32,93	27,33	34,83	43,28
9,00	62,94	34,18	28,76	33,10	41,12
10,00	64,89	35,43	29,46	32,32	40,16
11,00	67,39	36,69	30,70	31,01	38,53
13,00	70,99	39,19	31,79	29,94	37,20
15,00	74,30	41,70	32,60	29,20	36,28
17,00	75,88	44,20	31,68	30,05	37,34
19,00	77,36	46,71	30,65	31,06	38,59
22,00	78,23	50,47	27,76	34,30	42,61
25,00	74,42	54,23	20,19	47,16	58,59
28,00	67,21	57,99	9,22	103,22	128,25

## Ek 3 (devamı)

## 30° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

Re=5000

 $T_1=23,2^\circ\text{C}$   $T_2=41,1^\circ\text{C}$  $U_m=2,50695$  m/s $A_i=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_i=97,96$  W $P=95,38$  W $q_w=958,373$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1005,739$  J/kg °C $k=0,02655$  W/m°C $\rho=1,15723$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,624 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7117

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	40,59	23,52	17,08	56,12	69,75
0,50	39,81	23,83	15,98	59,97	74,53
0,75	37,60	24,15	13,45	71,23	88,54
1,00	39,44	24,46	14,98	63,97	79,51
1,25	41,00	24,78	16,22	59,07	73,42
1,50	42,73	25,09	17,64	54,34	67,54
1,75	43,53	25,41	18,13	52,87	65,72
2,00	44,33	25,72	18,61	51,51	64,02
2,50	45,85	26,35	19,50	49,16	61,10
3,00	47,86	26,98	20,87	45,91	57,07
3,50	48,84	27,61	21,23	45,15	56,11
4,00	50,02	28,25	21,77	44,02	54,71
4,50	52,12	28,88	23,25	41,23	51,24
5,00	52,54	29,51	23,03	41,61	51,71
6,00	55,78	30,77	25,01	38,32	47,63
7,00	59,14	32,03	27,11	35,35	43,94
8,00	59,93	33,29	26,64	35,98	44,72
9,00	62,74	34,55	28,19	34,00	42,25
10,00	64,76	35,81	28,95	33,10	41,15
11,00	67,40	37,07	30,33	31,60	39,28
13,00	70,84	39,60	31,25	30,67	38,12
15,00	74,19	42,12	32,07	29,89	37,14
17,00	75,82	44,64	31,17	30,74	38,21
19,00	78,24	47,16	31,08	30,84	38,33
22,00	78,25	50,95	27,31	35,10	43,62
25,00	74,27	54,73	19,54	49,06	60,97
28,00	66,91	58,52	8,40	114,14	141,86



## Ek 3 (devamı)

## 0° Dirsek Açısı İçin Deney Verileri

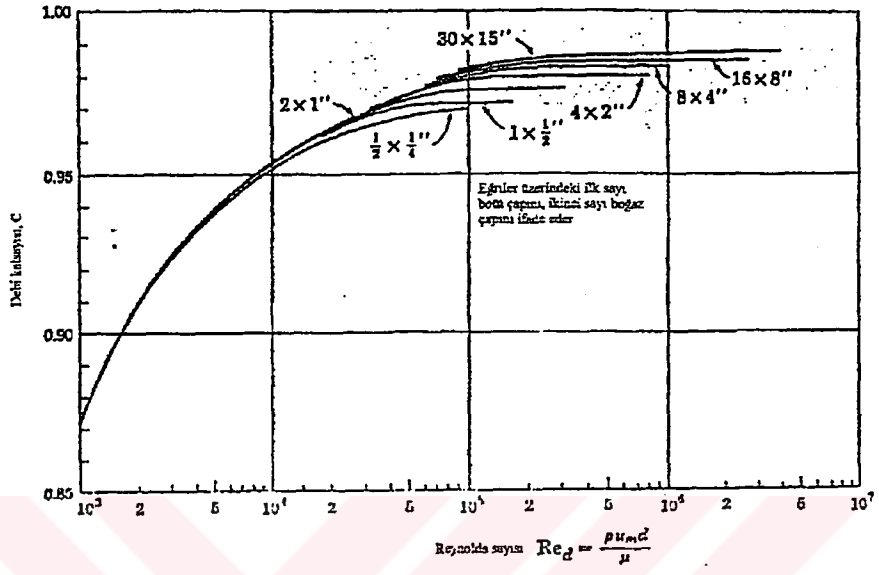
Re=5000

 $T_1=23,3^\circ\text{C}$   $T_2=43^\circ\text{C}$  $U_m=2,45475$  m/s $A_i=0,000855 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> $P_t=98,59$  W $P=95,91$  W $q_w=963,671$  W/m<sup>2</sup> $C_p=1005,94$  J/kg °C $k=0,026620$  W/m°C $\rho=1,153346$  kg/m<sup>3</sup> $\nu=1,6333 \cdot 10^{-5}$ 

Pr=0.7116

$x/2r_{wi}$	$T_{wi}$ (°C)	$T_b$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$h_x$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$Nu_x$
0,25	38,30	23,62	14,68	65,67	81,40
0,50	40,69	23,95	16,74	57,57	71,37
0,75	41,40	24,27	17,13	56,27	69,76
1,00	40,19	24,60	15,59	61,83	76,64
1,25	42,45	24,92	17,53	54,99	68,16
1,50	43,40	25,25	18,15	53,09	65,82
1,75	44,30	25,57	18,73	51,46	63,79
2,00	45,72	25,90	19,82	48,62	60,27
2,50	46,58	26,55	20,04	48,10	59,63
3,00	48,53	27,20	21,33	45,18	56,00
3,50	49,50	27,85	21,65	44,51	55,17
4,00	51,04	28,50	22,55	42,74	52,99
4,50	52,56	29,15	23,42	41,16	51,02
5,00	52,98	29,80	23,18	41,57	51,53
6,00	56,01	31,10	24,92	38,68	47,94
7,00	59,03	32,40	26,64	36,18	44,85
8,00	59,79	33,69	26,09	36,93	45,79
9,00	62,30	34,99	27,31	35,29	43,75
10,00	64,11	36,29	27,82	34,64	42,94
11,00	66,46	37,59	28,87	33,38	41,38
13,00	69,89	40,19	29,69	32,45	40,23
15,00	72,81	42,79	30,02	32,10	39,79
17,00	74,55	45,39	29,16	33,05	40,97
19,00	76,08	47,99	28,09	34,31	42,53
22,00	77,17	51,89	25,29	38,11	47,24
25,00	73,90	55,78	18,12	53,19	65,94
28,00	67,25	59,68	7,57	127,32	157,83

## Ek 4



Şekil 1. Ventüri için debi katsayıları (Holman 1984)

**Ek 5 Kuru havanın 760 mm Hg basıncında özellikleri (Kakaç 1970)**

$T$ : Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\rho$ : Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )

$c_p$ : Özgül ısı ( $\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$ )

$k'$ : Isı iletim kat. ( $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ )

$k$ : Isı iletim kat. ( $\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ )

$\beta$ : Isıl genişleme kat. ( $1/^{\circ}\text{K}$ )

$\mu$ : Dinamik viskozite ( $\text{kg/ms}$ )

$\mu'$ : Dinamik viskozite ( $\text{kg/s/m}^2$ )

$\nu$ : Kinematik viskozite ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\alpha$ : Isıl yayılma ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Pr: Prandtl sayısı ( $\frac{c_p \mu}{k} = \nu / \alpha$ )

$T$	$\rho$	$c_p$	$k'$	$k$	$10^3 \beta$	$10^5 \mu$	$10^6 \mu'$	$10^6 \nu$	$10^6 \alpha$	Pr
-150	2.793	0.245	0.0120	0.0103	8.21	0.87	0.887	3.11	4.19	0.74
-100	1.980	0.241	0.0165	0.0142	5.82	1.18	1.203	5.96	8.28	0.72
-50	1.534	0.240	0.0206	0.0177	4.51	1.47	1.494	9.55	13.4	0.715
0	1.2930	0.240	—	—	3.67	1.72	1.754	13.30	18.7	0.711
20	1.2045	0.240	0.0257	0.0221	3.43	1.82	1.855	15.11	21.4	0.713
40	1.1267	0.241	0.0271	0.0233	3.20	1.91	1.950	16.97	23.9	0.711
60	1.0595	0.241	0.0285	0.0245	3.00	2.00	2.042	18.90	26.7	0.709
80	0.9908	0.241	0.0299	0.0257	2.83	2.10	2.134	20.94	29.6	0.708
100	0.9458	0.242	0.0314	0.0270	2.68	2.18	2.224	23.06	32.8	0.704
120	0.8980	0.242	0.0328	0.0282	2.55	2.27	2.311	25.23	36.1	0.70
140	0.8535	0.242	0.0343	0.0295	2.43	2.35	2.397	27.55	39.7	0.694
160	0.8150	0.243	0.0358	0.0308	2.32	2.43	2.481	29.85	43.0	0.693
180	0.7785	0.244	0.0372	0.0320	2.21	2.51	2.564	32.29	46.7	0.69
200	0.7475	0.245	0.0386	0.0332	2.11	2.58	2.635	34.63	50.5	0.685
250	0.6745	0.247	0.0421	0.0362	1.91	2.78	2.832	41.17	60.3	0.68
300	0.6157	0.250	0.0390	0.0390	1.75	2.95	3.005	47.85	70.3	0.68
350	0.5662	0.252	0.0485	0.0417	1.61	3.12	3.178	55.05	81.1	0.68
400	0.5242	0.253	0.0516	0.0443	1.49	3.28	3.340	62.53	91.9	0.68
450	0.4875	0.258	0.0543	0.0467	—	3.44	3.508	70.54	103.1	0.685
500	0.4564	0.261	0.0570	0.0490	—	3.58	3.698	79.48	114.2	0.69
600	0.4041	0.266	0.0621	0.0534	—	3.58	3.693	95.57	138.2	0.69
700	0.3625	0.271	0.0667	0.0573	—	4.12	4.202	113.7	162.2	0.70
800	0.3287	0.276	0.0706	0.0607	—	4.37	4.450	132.8	185.8	0.715
900	0.301	0.280	0.0741	0.0637	—	4.59	4.680	152.5	210	0.725
1000	0.277	0.283	0.0770	0.0662	—	4.80	4.890	175	235	0.735

Ek 6 1 kg/cm<sup>2</sup> va daha yüksek basınçlarda suyun özellikleri (Kakaç 1970)

$T$  : Sıcaklık (°C)  
 $\rho$  : Basınç (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\rho$  : Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)  
 $c_p$  : Özgül ısı (kcal/kg°C)  
 $h_g$  : Buharlaştırma ısısı (kcal/kg)  
 $k$  : İst. iletim kats. (W/m°C)  
 $k$  : İst. iletim kats. (kcal/cm°C)

$\beta$  : İst. genişleme kats. (1/°K)  
 $\mu$  : Dinamik viskozite (kg/m.s)  
 $\mu'$  : Dinamik viskozite (kg/cm.s)  
 $\nu$  : Kinematik viskozite (m<sup>2</sup>/s)  
 $\alpha$  : İst. yitirime (m<sup>2</sup>/s)  
 $Pr$  : Prandtl sayısı

T	$\rho$	$\rho$	$c_p$	$h_g$	$k$	$k$	$\beta$	$10^6 \mu$	$10^6 \mu'$	$10^{12} \nu$	$10^8 \alpha$	Pr
0	1	999.8	1.0074	597.3	0.552	0.475	-0.07	1.792	182.7	1.795	0.131	13.67
10	1	999.7	1.0013	591.7	0.587	0.497	0.088	1.307	133.3	1.307	0.138	9.47
20	1	998.2	0.9988	586.0	0.598	0.514	0.306	1.082	102.2	1.082	0.143	7.01
30	1	995.7	0.9980	580.4	0.614	0.528	0.303	0.797	81.3	0.801	0.148	5.43
40	1	992.2	0.9980	574.7	0.628	0.540	0.385	0.653	66.6	0.658	0.151	4.33
50	1	988.0	0.9985	569.0	0.641	0.551	0.457	0.548	55.9	0.554	0.155	3.57
60	1	983.2	0.9994	563.2	0.652	0.560	0.523	0.467	47.6	0.475	0.158	3.00
70	1	977.8	1.0007	557.3	0.661	0.568	0.585	0.404	41.2	0.413	0.161	2.56
80	1	971.8	1.0023	551.3	0.669	0.575	0.643	0.355	36.2	0.365	0.164	2.21
90	1	965.3	1.0044	545.2	0.676	0.581	0.698	0.315	32.1	0.326	0.166	1.96
100	1	958.4	1.0070	539.0	0.682	0.586	0.752	0.282	28.8	0.295	0.169	1.75
120	2	924.5	0.9433	526.1	0.686	0.589	0.860	0.235	23.9	0.2485	0.171	1.45
140	3	884.8	0.861	512.5	0.684	0.588	0.975	0.199	20.3	0.215	0.172	1.25
160	6	802.5	0.7074	497.4	0.683	0.586	1.098	0.172	17.5	0.1890	0.173	1.09
180	10	722.5	0.5813	481.3	0.676	0.581	1.233	0.151	15.35	0.1697	0.172	0.98
200	15	657.7	0.474	463.5	0.666	0.572	1.392	0.136	13.96	0.1579	0.171	0.92
220	23	609.3	0.401	443.7	0.653	0.561	1.597	0.125	12.75	0.1488	0.168	0.88
240	34	571.6	0.337	421.7	0.636	0.546	1.862	0.116	11.78	0.1420	0.164	0.87
260	47	540.0	0.280	396.8	0.612	0.526	2.21	0.107	10.91	0.1365	0.157	0.87
280	65	515.7	0.235	368.5	0.581	0.499	2.70	0.0994	10.15	0.1325	0.145	0.91
300	87	492.1	0.200	345.4	0.541	0.465	3.45	0.0935	9.43	0.1298	0.129	1.00
320	115	467.0	0.170	325.6	0.491	0.432	4.60	0.0856	8.72	0.1282	0.111	1.15
340	148	440.5	0.145	305.3	0.430	0.370	6.25	0.0775	7.90	0.1272	0.0844	1.5
360	190	412.5	0.120	285.0	0.349	0.300	—	0.0683	6.98	0.1306	0.0500	2.6
374.2	225.6	326	0	0	0.209	0.180	—	0.0506	5.16	0.155	0	62