

2798

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

FARKLI KESİT ŞEKLİNE VE EŞDEĞER KONİKLİK AÇISINA SAHİP

GEÇİŞ BORULARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mak.Müh.Atilla BİLGİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"Makina Yüksek Mühendisi"

Unvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8.1.1988

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 1.2.1988

Tez Danışmanı : Doç.Dr.Mehmet ATILGAN

Jüri Üyesi : Doç.Dr.Hüseyin Ş.ONUR

Jüri Üyesi : Doç.Dr.Mehmet UYSAL

Enstitü Müdürü: Prof.Dr.Doğan TURHAN

Ocak 1988

TRABZON

**T. G.**  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi

## ÖNSÖZ

Bu çalışmayı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptığım ve Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimini sürdürdüğüm sırada master tezi olarak hazırladım.

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemyen K.T.Ü. mensuplarına ve özellikle danışman hocam sayın Doç.Dr.Mehmet ATILGAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak, 1988

Atilla BİLGİN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ .....	No ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
NOTASYON LİSTESİ .....	iv
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
TABLO LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	x
SUMMARY .....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. GEÇİŞ BORULARININ GEOMETRİSİ .....	3
2.1. Giriş .....	3
2.2. Geçiş Borularının Tasarımı .....	4
2.3. Eksen Boyunca Alan Değişimi .....	4
2.4. Eşdeğer Koniklik Açısı .....	6
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	9
3.1. Giriş .....	9
3.2. Deney Borularının Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi .....	9
3.3. Deney Düzeneğinin Tanıtılması .....	15
3.4. Ölçü Aletleri ve Yapılan Ölçümler .....	18
3.5. Basınç Ölçme sondasının kalibrasyonu ...	19
3.6. Akışla ilgili kalibrasyon .....	21
3.7. Ölçümlerin değerlendirilmesi .....	23
BÖLÜM 4. SONUÇLAR .....	26
4.1. Giriş .....	26
4.2. Eksenel Hız Değişimi .....	26
4.3. Eksenel Yük Değişimi .....	46
4.4. Yük Kayıp Katsayısı .....	57
KAYNAKLAR .....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	63

## NOTASYON LİSTESİ

- $A_1$  : Giriş kesit alanı  
 $A_2$  : Çıkış kesit alanı  
 $A_x$  : Boru ekseninde  $x$  mesafesindeki kesit alanı  
 $\bar{A}_x = A_x/A_1$ , boyutsuz kesit alanı  
 $a, b$  : Giriş kesitine ait kısa ve uzun kenarlar  
 $c, d$  : Çıkış kesitine ait kısa ve uzun kenarlar  
 $C$  : Yük kayıp katsayısı  
 $D$  : Hidrolik çap, çap  
 $f_1, f_2$  :  $\alpha, \beta$  ve  $\kappa$  ya bağımlı büyüklükler  
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ , yer çekimi ivmesi  
 $H$  : toplam yük  
 $H_1$  : Giriş kesitindeki toplam yük  
 $H_5$  : Çıkış kesitindeki toplam yük  
 $\Delta H$  : Yük farkı  
 $\kappa = A_2/A_1$ , çıkış kesiti alanının giriş kesiti alanına oranı  
 $l$  : Geçiş borusunun uzunluğu  
 $P$  : Pitot tüpü ile ölçülen statik basınç  
 $P_o$  : Pitot tüpü ile ölçülen toplam basınç  
 $P_a$  : Üçlü sonda ile ölçülen statik basınç  
 $P_t$  : Üçlü sonda ile ölçülen toplam basınç  
 $P_c$  : Ortam basıncı  
 $\Delta P$  : Debi kalibrasyonu için basınç farkı  
 $Q$  : Debi  
 $R_h = 0.287 \text{ kJ/kgK}$ , havanın gaz sabiti  
 $R_1$  : Giriş kesiti eşdeğer yarıçapı  
 $R_2$  : Çıkış kesiti eşdeğer yarıçapı  
 $R_x$  : Boru ekseninde  $x$  mesafesindeki eşdeğer yarıçap  
 $Re$  : Reynolds sayısı  
 $t_c$  : Ortam sıcaklığı  
 $U$  : Ortalama hız  
 $u$  : Çizgisel hız  
 $x$  : Eksenel koordinat  
 $\bar{x} = x/l$ , boyutsuz eksenel uzunluk  
 $z$  : Yükselti  
 $\alpha = a/b$   
 $\alpha_k$  : Kinetik enerji düzeltme faktörü  
 $\beta =$   
 $\gamma$  : ağırlık

- $\rho_h$  : Havanın yoğunluğu  
 $\nu_h$  : Havanın kinematik viskozitesi  
 $\theta_e$  : Eşdeğer yarım koniklik açısı  
 $\theta_y$  : Boru alt ve üst yüzeylerinin yatay düzlemle yaptığı açı  
 $\theta_d$  : Boru yanal yüzeylerinin düşey düzlemle yaptığı açı



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Çeşitli geçiş şekilleri .....	3
Şekil 2.2 Dikdörtgenden, dikdörtgene geçiş (Uzun eksenler dik konumda) .....	5
Şekil 2.3 (a) Herhangi bir geçiş durumu, (b) Eksenel doğrultudaki alan değişimi bu geçiş durumuyla eşdeğer olan dairesel kesite indirgen- miş geçiş .....	7
Şekil 3.1 Dikdörtgen kesitten dikdörtgen kesite geçiş borusu ( $\alpha=0.5, \beta=0.5$ , uzun eksenler dik konumda) .....	11
Şekil 3.2 Dikdörtgen kesitten dikdörtgen kesite geçiş borusu ( $\alpha=0.5, \beta=0.75$ , uzun eksenler dik konumda).....	12
Şekil 3.3 Dikdörtgen kesitten kare kesite geçiş borusu ( $\alpha=0.5, \beta=1.0$ ) .....	13
Şekil 3.4 Geçiş borularının eksenli boyunca ( $\beta$ nin 0.5, 0.75 ve 1.0 olması durumları için) boyutsuz alan değişimi .....	10
Şekil 3.5 Deney düzeneği .....	16
Şekil 3.6 Adaptör .....	17
Şekil 3.7 Basınç ölçme sondası .....	18
Şekil 3.8 Sonda kalibrasyon eğrileri .....	20
Şekil 3.9 Debi kalibrasyon eğrisi .....	23
Şekil 4.1 Eksenel hız değişimi " $\phi_e=3.5^\circ, \beta=0.5$ , Yatay doğrultudaki ölçümler"..	28
Şekil 4.2 Eksenel hız değişimi " $\phi_e=3.5^\circ, \beta=0.5$ , Düşey doğrultudaki ölçümler"..	29
Şekil 4.3 Eksenel hız değişimi " $\phi_e=3.5^\circ, \beta=0.75$ , Yatay doğrultudaki ölçümler"..	30
Şekil 4.4 Eksenel hız değişimi " $\phi_e=3.5^\circ, \beta=0.75$ , Düşey doğrultudaki ölçümler"..	31
Şekil 4.5 Eksenel hız değişimi " $\phi_e=3.5^\circ, \beta=1.0$ , Yatay doğrultudaki ölçümler"..	32

Şekil 4.6	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=3.5^\circ$ , $\beta=1.0$ , Düşey doğrultudaki ölçümler..	33
Şekil 4.7	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=0.5$ , Yatay doğrultudaki ölçümler..	34
Şekil 4.8	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=0.5$ , Düşey doğrultudaki ölçümler..	35
Şekil 4.9	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=0.75$ , Yatay doğrultudaki ölçümler..	36
Şekil 4.10	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=0.75$ , Düşey doğrultudaki ölçümler..	37
Şekil 4.11	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=1.0$ , Yatay doğrultudaki ölçümler..	38
Şekil 4.12	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=1.0$ , Düşey doğrultudaki ölçümler..	39
Şekil 4.13	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=0.5$ , Yatay doğrultudaki ölçümler..	40
Şekil 4.14	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=0.5$ Düşey doğrultudaki ölçümler..	41
Şekil 4.15	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=0.75$ , Yatay doğrultudaki ölçümler..	42
Şekil 4.16	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=0.75$ , Düşey doğrultudaki ölçümler..	43
Şekil 4.17	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=1.0$ , Yatay doğrultudaki ölçümler..	44
Şekil 4.18	Eksenel hız değişimi " $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=1.0$ , Düşey doğrultudaki ölçümler..	45
Şekil 4.19	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=3.5^\circ$ , $\beta=0.5$ ) .....	48
Şekil 4.20	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=3.5^\circ$ , $\beta=0.75$ ) .....	49
Şekil 4.21	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=3.5^\circ$ , $\beta=1.0$ ) .....	50
Şekil 4.22	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=0.5$ ) .....	51
Şekil 4.23	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=5.0^\circ$ , $\beta=0.75$ ) .....	52

Şekil 4.24	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=5.0$ , $\beta=1.0$ ) .....	53
Şekil 4.25	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=0.5$ ) .....	54
Şekil 4.26	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=0.75$ ) .....	55
Şekil 4.27	Eksenel yük değişimi ( $\phi_e=6.5^\circ$ , $\beta=1.0$ ) .....	56
Şekil 4.28	Yük kayıp katsayısı - Re sayısı değişimi .....	58
Şekil 4.29	Yük kayıp katsayısı - Re sayısı değişimi .....	59
Şekil 4.30	Yük kayıp katsayısı - $\beta$ değişimi .....	60
Şekil 4.31	Yük kayıp katsayısı - $\phi_e$ değişimi .....	61



## TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1 Deney borularının geometrik özellikleri	15
Tablo 3.2 Adaptörü oluşturan parçalara ait boyutlar	17
Tablo 3.3 Sonda kalibrasyonu için yapılan ölçümler	20
Tablo 3.4 Çeşitli $\Delta P$ basınç farklarına karşılık gelen Q debileri	22



## ÖZET

Geçiş boruları, turbo makinaların giriş ve çıkış kesitleri ve havalandırma kanalları gibi boru sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu borularda giriş ve çıkış kesitleri farklı olabildiği gibi alan oranları da farklı olabilir.

Bu çalışmada, geçiş borularının giriş ve çıkış kesit şekillerinin ve eşdeğer koniklik açısının yük kayıpları üzerindeki etkilerini belirlemek için bir seri deney yapılmıştır. Geçiş borularının giriş ve çıkış kesit geometrileri dikdörtgen olup bunların uzun eksenleri birbirlerine dik konumdadır. Tüm geçiş boruları için giriş kesiti kenar oranı ve çıkış/giriş kesit alanları oranı sırasıyla 0.5 ve 2.0 olarak sabit alınmıştır. Çıkış kesiti kenar oranı 0.5 ten 1.0 a kadar (0.5,0.75 ve 1.0) değiştirilmiş ve her bir farklı geçiş gurubu için eşdeğer koniklik açısı  $7^{\circ}$  den  $13^{\circ}$  ye kadar ( $7^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$  ve  $13^{\circ}$ ) değiştirilmiştir.

Deneyler üç farklı Reynolds sayısı için ( $3.0 \times 10^5$ ,  $4.5 \times 10^5$  ve  $6.0 \times 10^5$ ) her bir test borusu üzerinde tekrarlanmıştır.

DeneySEL sonuçlardan, azalan çıkış kesiti kenar oranı ve artan eşdeğer koniklik açısıyla yük kayıplarının arttığı görülmüştür. Böylece en büyük yük kayıp katsayısı ve dolayısıyla yük kaybı, dikdörtgenden dikdörtgene geçişte en küçük çıkış kesiti kenar oranına (0.5) ve en büyük eşdeğer koniklik açısına ( $13^{\circ}$ ) sahip boruda meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, artan boru boyuyla yük kayıpları azalmaktadır. Bu da yük kayıp katsayılarının sürtünme kaybından daha çok ayrılma kayıplarından etkilendiğini göstermektedir.

Diğer taraftan, tüm geçiş borularında artan Reynolds sayısı ile yük kayıp katsayıları düşmektedir.

## SUMMARY

Transition pipes are common in duct systems such as the inlet and outlet sections of turbomachinery and air conditioning ducting. In these pipes, the inlet and outlet sections and also the area ratios may be different.

In this work, a series of experiments have been carried out, in order to determine the effect of the inlet and outlet sectional shape and the equivalent cone angle of the transition pipes on head losses. The inlet and outlet sectional geometries of the test pipes are rectangular and their long axes are perpendicular. For all transition ducts, the inlet aspect ratio and the outlet/inlet cross-sectional area ratios have been taken constant as 0.5 and 2.0 respectively. The outlet aspect ratios ranged from 0.5 to 1.0 (0.5, 0.75 and 1.0) and the equivalent cone angle ranged from  $7^\circ$  to  $13^\circ$  ( $7^\circ$ ,  $10^\circ$  and  $13^\circ$ ) for each different transition set.

The experiments were repeated for three different Reynolds number ( $3.0 \times 10^5$ ,  $4.5 \times 10^5$  and  $6.0 \times 10^5$ ) on each test duct.

For each test, pressure measurements were made in five different locations along the pipe, namely at inlet and outlet sections and at the center, one fourth and three quarter of working section. Traverses across the flow were made in two directions: parallel to horizontal and to the vertical directions. Measurements of pressure have been made on transition sections and head losses, head loss coefficients and velocities were calculated from the recorded experimental data.

From the experimental results, it was shown that the head losses increases with decreasing outlet aspect ratio and increasing equivalent cone angle. Thus, the largest head loss coefficient and therefore the head losses were occurred in the rectangular to rectangular pipe, which have the smallest outlet aspect ratio (0.5) and for the largest equivalent cone angle ( $13^{\circ}$ ).

As a result; the head losses decreases with the increasing pipe length. It shows that, the head loss coefficients are more influenced by the flow separation losses than the friction losses.

On the other hand, the head loss coefficient decreased with increasing Reynolds number for the all test pipes.

## BÖLÜM-1

### GİRİŞ

Farklı geometrik şekillere ve/veya kesit alanlarına sahip iki boru kesiti arasındaki geçişi sağlamak için tasarlanan borulara "geçiş boruları" adı verilir.

Bu tanımdan her ne kadar geçiş borusunun iki boru sistemi arasındaki geçişi sağlayan bir boru olduğu anlamı ortaya çıkıyorsa da, gerçekte bu tam olarak böyle değildir. Örneğin aksitesir türbinlerinde olduğu gibi çarktan gelen suyun boşaltma kanalına (serbest atmosfere) aktarılmasında yayıcı olarak, ters türbinlerinde de su hüzmesinin çark kapçelerine uygun koşullar altında (serbest atmosfer içerisinde) sevkinde enjektör olarak geçiş borularından yararlanılır. Bunlardan başka geçiş borularının kullanım alanlarına örnek olarak su ve hava tünelleri, türbomakinalar ve özellikle jet motorlarının giriş ağızları, kuvvet santralleri boru sistemleri ve klima ve maden ocaklarının havalandırma kanalları verilebilir. Kuşkusuz bu örnekleri daha da çoğaltmak mümkündür.

Geçiş boruları çeşitli bakımlardan ele alınarak sınıflandırılabilir. Örneğin geçiş borusunun ekseni doğrultusunda alan değişimi dikkate alındığında bu borular aşağıdaki gibi beş ana grupta toplanılabilir (Dekam and Calvert, 1985):

1. Eksen boyunca kesit alanının arttığı ve ortalama hızın azaldığı, difüzör şeklindeki geçişler.
2. Eksen boyunca kesit alanının azaldığı ve ortalama hızın arttığı geçişler.
3. Daralan genişleyen ve genişleyen daralan geçişler.
4. Ani geçişler.
5. Sabit kesit alanlı geçişler.

Bu çalışma, çok genel bir biçimde yukarıda yapılmış olan guruplandırmadan birincisinin kapsamına girmektedir. Ancak

difüzör şeklindeki geçişler de çok değişik açılardan ele alınabilir. Burada özellikle giriş ve çıkış kesit şekillerinin akışa olan etkileri açısından geçiş boruları incelenmiştir.

Yapılan çalışma genel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde sırasıyla geçiş borularının geometrisi, yapılan deneysel çalışma ve elde edilen sonuçlar ele alınmıştır.

## BÖLÜM-2

### GEÇİŞ BORULARININ GEOMETRİSİ

#### 2.1. GİRİŞ

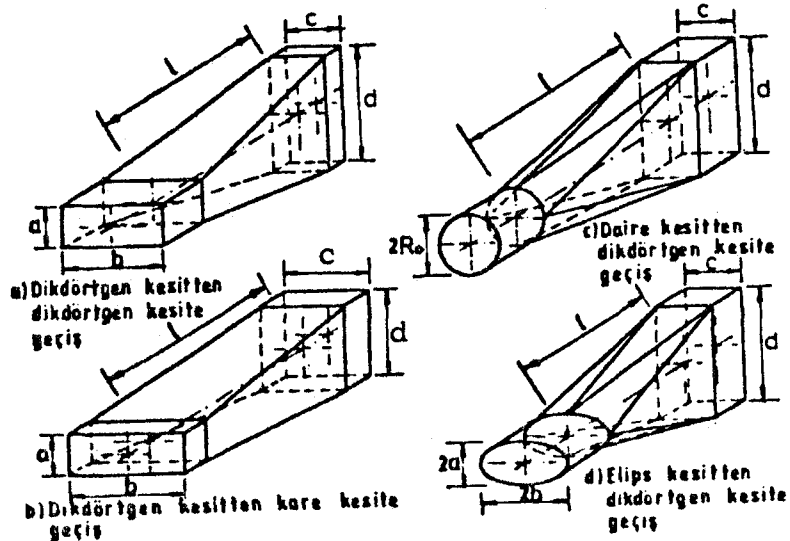
Geçiş borularının geometrisi, giriş ve çıkış kesit alanlarının şekline ve konumuna bağlıdır. En çok rastlanan geçiş şekillerini geometrik açıdan üç sınıfta toplamak mümkündür.

1. Dikdörtgen kesit alanından, dikdörtgen kesit alanına geçişler.

2. Dikdörtgen kesit alanından, elips kesit alanına geçişler (veya tersi).

3. Elips kesit alanından, elips kesit alanına geçişler.

Diğer bazı geçiş şekilleri, bu geçişlerin birer özel durumu olmaktadır. Örneğin dikdörtgen kesitin kenar oranlarının 1 olması durumunda kare kesit, elips kesitin uzun ve kısa eksenlerinin birbirine eşit olması durumunda da dairesel kesit elde edilecektir. Çeşitli geçiş şekilleri şekil 2.1 de görülmektedir.



Şekil 2.1 Çeşitli geçiş şekilleri

Yukarıda belirtilen üç esas geçiş şekli ve bunların bütün özel durumları Atılğan (1982) tarafından oldukça geniş bir şekilde incelenmiş olup; burada, yapılan deneysel çalışmada ele alınan geçiş borularının geometrileriyle ilgili elde edilen sonuçlar ve konu ile ilgili bazı kavramların verilmesiyle yetinilmiştir.

## 2.2 GEÇİŞ BORULARININ TASARIMI

Geçiş borularının tasarımında çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında gerek yapım, gerekse boru içerisindeki akış düzeni açısından çeşitli farklılıklar vardır. Günümüzde geçiş borularının tasarımında en çok kullanılan iki yöntem olup, bunların dayandığı ana prensipler;

1. Geçiş borusunun giriş ve çıkış kesitleri arasında, eksen boyunca alan değişimi lineer olacak şekilde,

2. Geçiş borusunun giriş ve çıkış kesitlerinin çevreleri üzerindeki karşılıklı noktalar arasındaki geçişler düz hatlar boyunca olacak şekilde tasarım yapmak (Atılğan, 1982).

Bu yöntemlerden birincisinde geçiş borusu boyunca düzgün bir basınç değişimi elde edilmektedir. Fakat böyle bir geçiş için, geçiş borusunun cidarı boyunca genellikle eğrisel bir dönel yüzeyin yapımına ihtiyaç vardır. Yani, yapım güçlüğü bu yöntemde önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

İkinci yöntemde ise, geçiş borusunun eksenini boyunca alan değişimi genellikle lineer olmamakta, ancak belli özel durumlar için lineer bir geçiş sağlanabilmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada geçiş borularının tasarımı bu ikinci yöntemle göre yapılmıştır (Şekil 2.1).

## 2.3. EKSEN BOYUNCA ALAN DEĞİŞİMİ

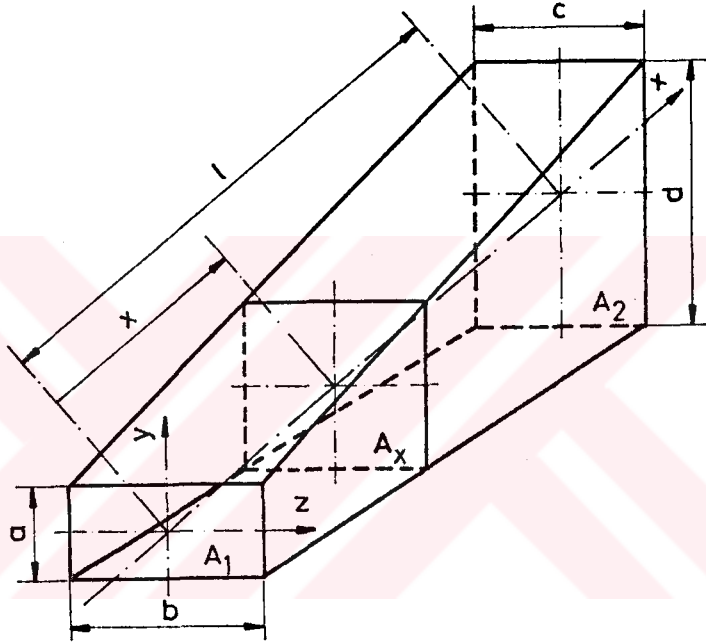
Yukarıdaki bölümde açıklanan tasarım yöntemlerinden ikincisinde, eksen boyunca alan değişiminin bazı özel durumlar dışında genellikle lineer olmadığı belirtilmişti. Geçiş boruları içerisindeki akışın incelenmesinde, eksen boyunca alan değişiminin de akışa olan etkisini inceleyebilmek amacıyla bu değişimin bilinmesinde yarar vardır. Bölüm 2.1 de belirtilen tüm geçiş borularının, bölüm 2.2 deki ikinci tasarım yöntemine göre tasarımlarının yapılması durumunda eksen boyunca alan değişimini veren ifadeler, giriş ve çıkış kesitlerinin geometrik parametreleri



cinsinden Atılğan (1982) tarafından elde edilmiştir.

Burada, sadece yapılan çalışmada incelenen geçiş boruları için elde edilmiş olan bağıntılar verilmiş ve konunun daha iyi anlaşılabilmesi için gereken bazı açıklamalar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, giriş ve çıkış kesitlerinin uzun eksenleri birbirine dik konumda bulunan dikdörtgen kesit alanından, dikdörtgen kesit alanına geçişler incelenmiştir. Böyle bir geçiş şekli ile ilgili giriş çıkış boyutları şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2 Dikdörtgenden, Dikdörtgen geçiş (Uzun eksenler dik konumda).

Buna göre sırasıyla A<sub>1</sub> ve A<sub>2</sub> giriş ve çıkış kesit alanları, a,b ve c,d giriş ve çıkış kesiti kenar uzunlukları ve l de boru boyu olmak üzere, aksenal doğrultuda giriş kesitinden x kadar uzaklıktaki kesit alanı;

$$\bar{A}_x = \frac{A_x}{A_1} = 1 + f_1(\alpha, \beta, \kappa) \cdot \bar{x} + f_2(\alpha, \beta, \kappa) \cdot \bar{x}^2 \quad (2.1)$$

şeklinde verilmiştir (Atılğan,1982). Burada giriş ve çıkış kesiti kenar oranları sırasıyla;

$$\alpha = a/b, \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (2.2)$$

$$\beta = c/d, \quad 0 < \beta \leq 1 \quad (2.3)$$

ve boyutsuz aksenal uzunluk,

$$\bar{x} = x/l \quad (2.4)$$

dir.

$f_1(\alpha, \beta, \kappa)$  ve  $f_2(\alpha, \beta, \kappa)$  değerleri geçiş borusunun geometrisinden elde edilmiş olup, boye bir geçiş şekli için (şekil2.2);

$$f_1(\alpha, \beta, \kappa) = \frac{(1+\alpha.\beta)}{\sqrt{\alpha.\beta}} .\sqrt{\kappa} - 2 \quad (2.5)$$

ve

$$f_2(\alpha, \beta, \kappa) = \kappa - 1 - f_1(\alpha, \beta, \kappa) \quad (2.6)$$

şeklinde verilmiştir. Bu bağıntılarda çıkış kesit alanının giriş kesit alanına oranı

$$\kappa = A_2 / A_1 \quad (2.7)$$

olarak tanımlanmıştır.

(2.2) ve (2.3) bağıntılarından görüldüğü gibi  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri 0 ile 1 aralığında değişmektedir. Bundan dolayı (2.1) bağıntısı yalnız uzun eksenleri dik konumda bulunan dikdörtgen kesit alanından dikdörtgen kesit alanına geçişler için değil, bu geçişin özel durumları olan dikdörtgen kesit alanından kare kesit alanına (ve bunun tersi) ve kare kesit alanından kare kesit alanına geçişler için de geçerli olmaktadır.

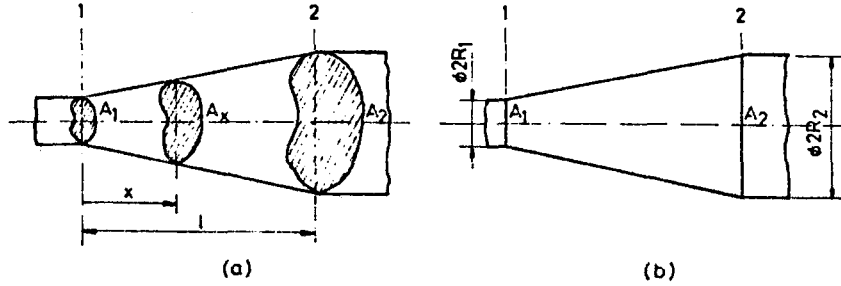
#### 2.4. EŞDEğER KONIKLIK AÇISI

Giriş ve çıkış kesit alanları ve şekilleri farklı olan geçiş borularını tanımlamada en uygun parametrelerden biri de "eşdeğer koniklik açısı" dır.

Eşdeğer koniklik açısının belirlenmesinde aşağıdaki yol izlenmiştir.

şekil 2.3a daki gibi giriş ve çıkış kesit alanı ve şekli farklı olan en genel durumdaki bir geçiş borosu ele alınmış ve bu boru eksenı boyunca  $x$  mesafesindeki kesit alanı  $A_x$  ise, bu kesit alana eşdeğer bir alana sahip daire için  $R_x$  eşdeğer yarıçapı tanımlanmıştır. Boyece şekil 2.3a daki geçiş durumuyla eşdeğer bir alan değişimine sahip, şekil 2.3b deki gibi dairesel kesit alanlı bir geçiş elde edilmiş ve koniklik açısı buna

göre belirlenmiştir (Atılğan, 1982).



Şekil 2.3 (a) Herhangi bir geçiş durumu, (b) aksenal doğrultudaki alan değişimi bu geçiş durumuyla eşdeğer olan dairesel kesite indirgenmiş geçiş.

Bu durumda x mesafesindeki kesit alan;

$$A_x = \pi \cdot R_x^2 \quad (2.8)$$

olacağına göre, giriş ve çıkış kesit alanları da;

$$A_1 = \pi \cdot R_1^2 \quad (2.9)$$

ve

$$A_2 = \pi \cdot R_2^2 \quad (2.10)$$

olacaktır (Şekil 2.3b). Bu eşitliklerden eşdeğer yarıçaplar kolaylıkla belirlenebilir. Buna göre eşdeğer koniklik açısı (eşdeğer yarım koniklik açısı);

$$\tan \phi_e = \frac{dR_x}{dx} \quad (2.11)$$

şeklinde tanımlanabilir. Aksenal doğrultudaki eşdeğer yarıçap değişimi, alan değişimine bağlı olduğundan (2.11) ifadesi, (2.1);(2.8) ve (2.9) eşitliklerinden yararlanılarak;

$$\tan \phi_e = \left( \frac{R_1}{2 \cdot l} \right) \cdot \frac{f_1(\alpha, \beta, \kappa) + 2 \cdot f_2(\alpha, \beta, \kappa) \cdot \bar{x}}{\sqrt{\bar{A}_x}} \quad (2.12)$$

şeklinde elde edilir (Atılğan,1982).

Bu son bağıntıdan da görüldüğü gibi eşdeğer koniklik açısı  $l/R$  boyutsuz boru uzunluğu ile ters orantılı olmaktadır.

Eşdeğer koniklik açısının genel olarak geçiş borusunun geometrisine, yani giriş ve çıkış kesitlerinin şekline ve birbirlerine göre konumlarına bağlı olarak değiştiği söylenebilir. Bunun yanında alan oranlarının ve geçiş borusu boyunun da bu açının değişimi üzerinde etken faktörler olduklarını belirtmek gerekir.

(2.12) ifadesinden  $\bar{x}=0$  ve  $\bar{x}=1$  sınır değerleri için;

$$\tan \phi_{e_1} = \left( \frac{R_1}{l} \right) \cdot \frac{f_1(\alpha, \beta, \kappa)}{2} \quad (2.13)$$

$\bar{x} \rightarrow 0$

$$\tan \phi_{e_2} = \left( \frac{R_1}{2 \cdot l} \right) \cdot \frac{2 \cdot (\kappa - 1) - f_1(\alpha, \beta, \kappa)}{\sqrt{\kappa}} \quad (2.14)$$

$\bar{x} \rightarrow 1$

olarak belirlenir. Elde edilen bu son ifadelerden,  $\kappa \neq 1$  (giriş ve çıkış kesit alanları farklı) olması durumunda eşdeğer koniklik açısının giriş ve çıkıştaki sınır değerleri olan  $\phi_{e_1}$  ve  $\phi_{e_2}$  nin birbirinden farklı değerler alacağı açıkça görülebilir.

Bir geçiş borusu içindeki akışın incelenmesi sözkonusu olduğunda akış yönünde eşdeğer koniklik açısının pozitif olarak büyük olması (difüzör), negatif olarak büyük olmasından (lüle) daha tehlikelidir. Zira difüzörlerde bu açının (eşdeğer yarım koniklik açısı)  $4^\circ \div 5^\circ$  nin üzerine çıkması halinde yük kayıplarının artmasına karşılık, lülede üst sınır  $20^\circ \div 30^\circ$  ye kadar çıkabilmektedir.

Sonuç olarak, farklı kesit alanları arasındaki geçiş durumlarında, geçiş borusunun tasarımında eğer diğer büyüklükler de belli ise eşdeğer koniklik açısı veya boru boyundan birinin seçilmesiyle diğeri de (2.13) ve (2.14) bağıntılarından kolaylıkla belirlenebilir. Burada dikkat edilecek husus; eğer boru boyu hesaplanıyorsa bulunan değerlerden küçük olanının, yok eğer eşdeğer koniklik açısı hesaplanıyorsa büyük olanın kritik değer olarak seçilmesinin gerekmekte olduğudur.

## BÖLÜM-3

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1. GİRİŞ

Tasarımları bölüm 2.2 de belirtilen yönteme göre yapılan geçiş borularının imalatı, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deney borularının geometrik özellikleri bölüm 3.2 de detaylı olarak verilmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde önce gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmış, daha sonra da bazı ölçüm aletleri kullanılarak çeşitli ölçümler alınmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları bölüm 3.5 te anlatılacak olan hesap yöntemine uygun olarak yazılan bir bilgisayar programıyla değerlendirilmiştir.

Kalibrasyon işlemlerinin yapılması ölçümler ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

#### 3.2. DENEY BORULARININ GEOMETRİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Yapılan çalışmada, uzun eksenleri birbirine dik konumda bulunan ve dikdörtgen biçiminde giriş ve çıkış kesitlerine sahip geçiş boruları incelenmiştir. Bu borular çıkış kesit alanının giriş kesit alanına oranı  $\kappa=2$  olan difüzör şeklindeki borular olup, bütün deney borularında giriş kesitinin geometrik özellikleri sabit tutulmuştur. Buna göre giriş kesiti kenar oranı  $\alpha=0.5$  ve alanı  $A=0.04 \text{ m}^2$  alınmıştır.

Özellikle çıkış kesiti kenar oranı ve eşdeğer koniklik açısının akışa ve yük kayıplarına olan etkisini belirleyebilmek amacıyla  $\beta$  ve  $\phi_e$  parametreleri değiştirilmiştir.

Test edilen boruların çıkış kesiti kenar oranları ( $\beta$ ) sırasıyla 0.5 , 0.75 ve 1.0 olarak seçilmiştir. Böylece kenar oranı  $\alpha=0.5$  olan dikdörtgen kesitten, uzun eksen bu kesitin

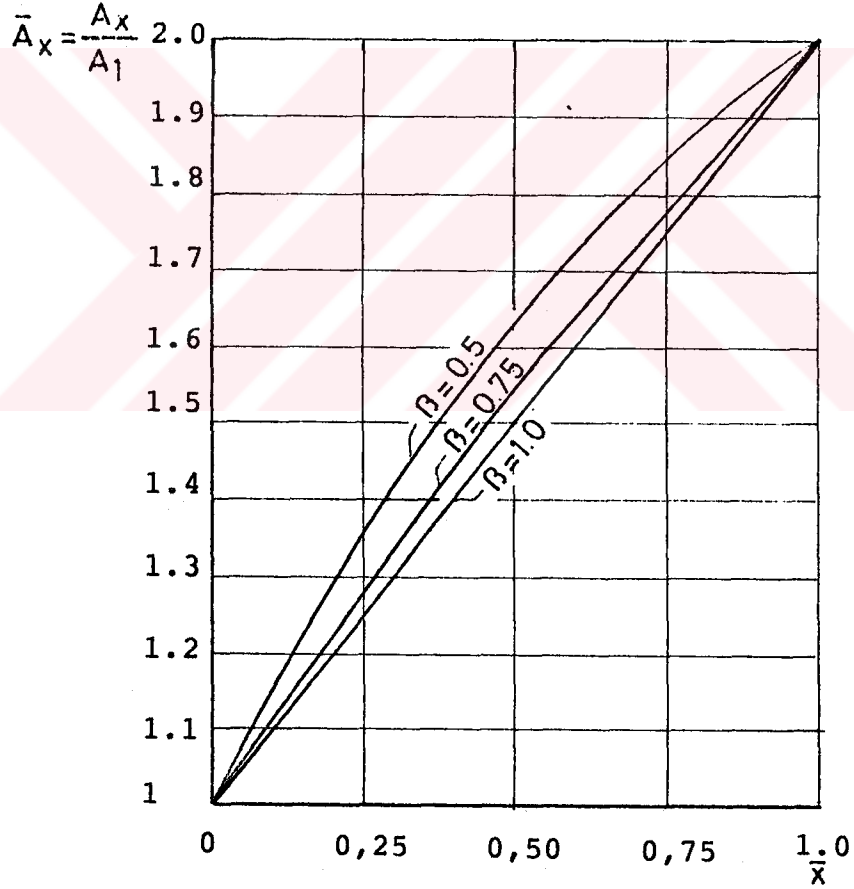
uzun eksenine dik olan ve sırasıyla kenar oranı;

1.  $\beta = 0.5$  olan dikdörtgen kesite (Şekil 3.1),

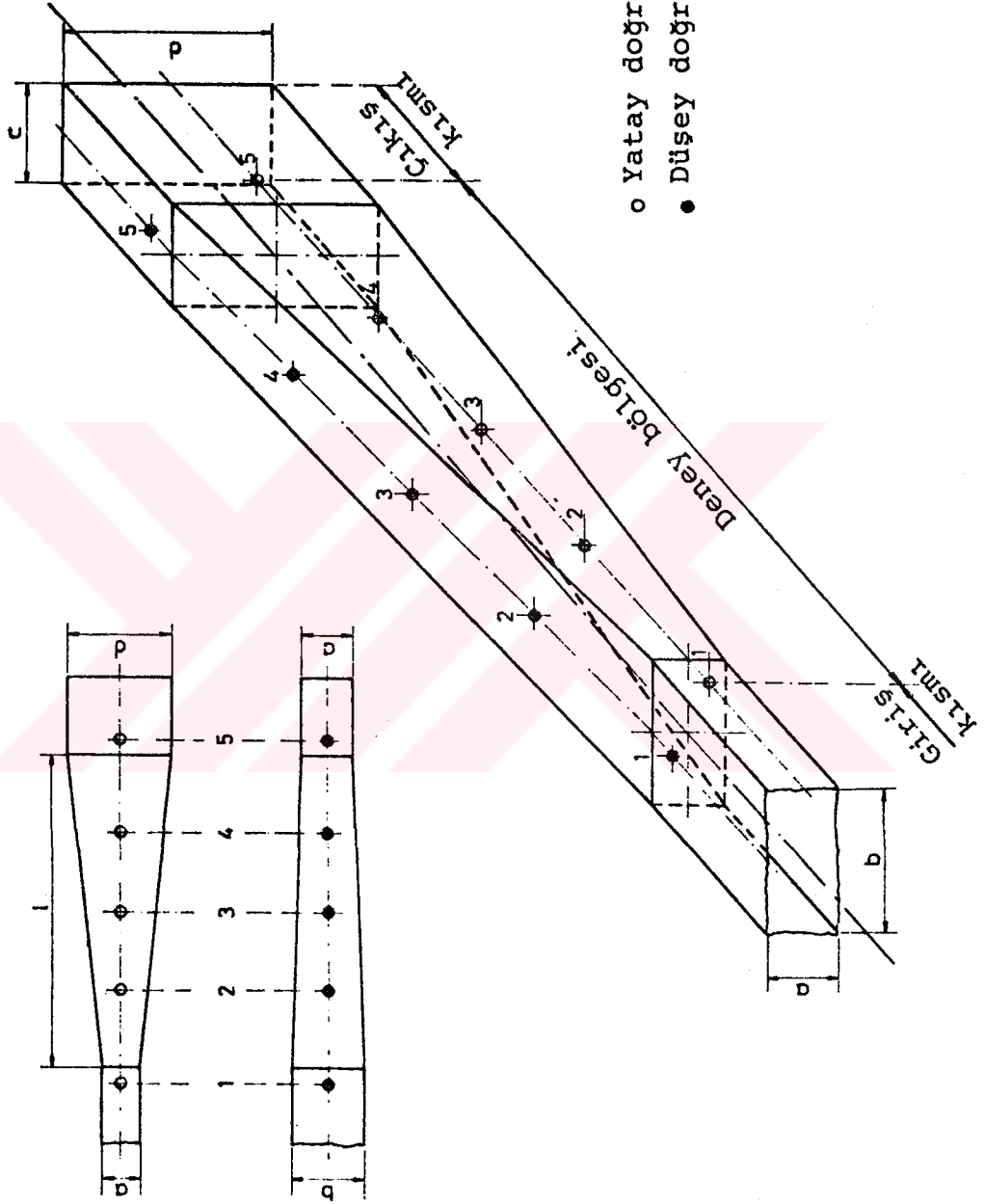
2.  $\beta = 0.75$  olan dikdörtgen kesite (Şekil 3.2) ve

3.  $\beta = 1.0$  olan dikdörtgen (dolayısıyla kare) kesite (Şekil 3.3) geçişlerde akışın ve yük kayıplarının nasıl etkilendiği, bu üç durum için elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir (bölüm 4).

Yukarıdaki giriş ve çıkış parametrelerine göre bu üç tip geçiş borusu için boru eksenini boyunca alan değişimi (2.1) bağıntısına göre belirlenmiş olup, bu değişimler Şekil 3.4 te görülmektedir.  $\beta = 1.0$  durumunda (dikdörtgenden kareye geçiş)

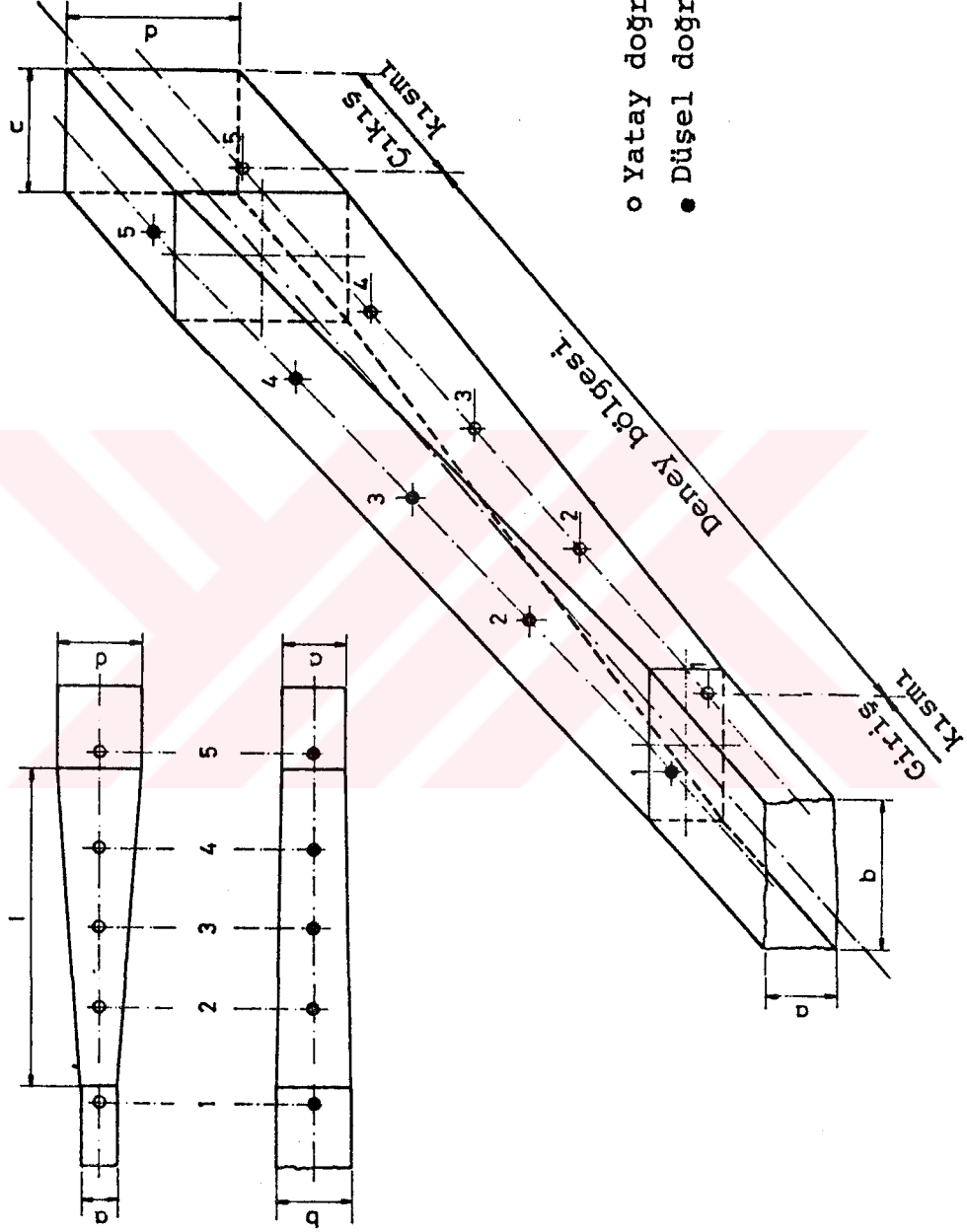


Şekil 3.4 Geçiş borularının eksenini boyunca ( $\beta$ 'nin 0.5, 0.75 ve 1.0 olması durumları için) boyutsuz alan değişimi



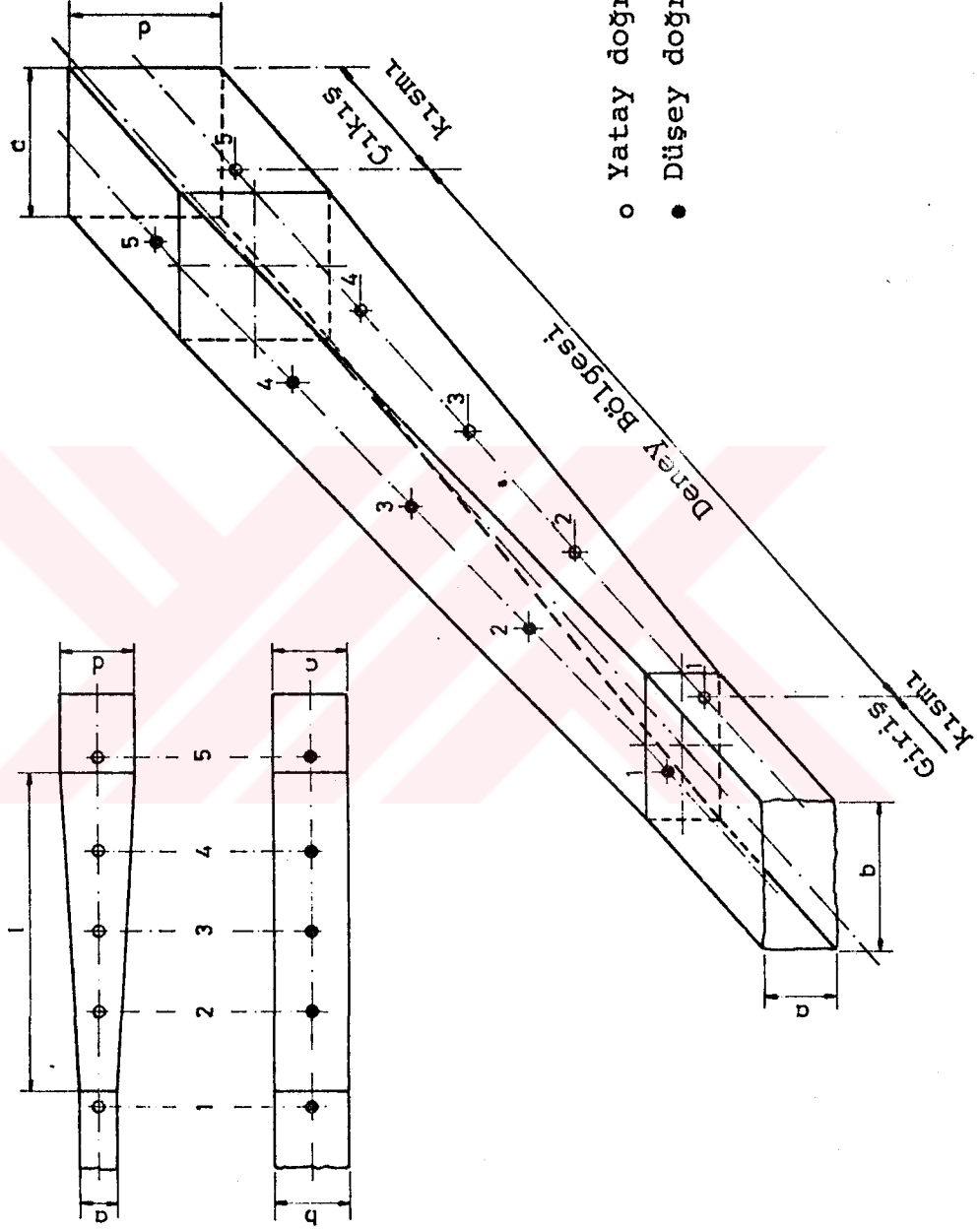
- Yatay doğrultudaki ۆlçümler
- Düşey doğrultudaki ۆlçümler

Şekil 3.1 Dikdörtgen kesitten dikdörtgen kesite geçiş borusu  
( $\alpha=0.5$  ,  $\beta=0.5$  , uzun eksenler dik konumda)



Şekil 3.2 Dikdörtgen kesitte dikdörtgen kesite geçiş borusu  
 ( $\alpha=0.5$  ,  $\beta=0.75$  , uzun eksenler dik konumda)





- Yatay doğrultudaki ölçümler
- Düşey doğrultudaki ölçümler

Şekil 3.3 Dikdörtgen kesitten kare kesite geçiş borusu  
( $\alpha=0.5$  ,  $\beta=1.0$ )

giriş kesitinden çıkış kesitine kadar alan değişimi lineer olmakta,  $\beta$  nın 0.75 ve 0.5 değerleri için bu değişim eğrisel bir durum arz etmektedir. Yani geçiş borularının tümünde giriş kesitinden çıkış kesitine kadar sürekli bir alan artışı olmakla birlikte, bu artış geçiş borusunun eksenini boyunca her bir  $\beta$  için farklı olmakta ve boru çıkışında tüm borularda giriş kesitine göre alan artışı %100 e ulaşmaktadır ( $\kappa=A_2/A_1=2$  olması nedeniyle).  $\beta$  nın 0.5 ve 0.75 olması durumları, lineer geçiş durumuyla ( $\beta=1.0$ ) karşılaştırılırsa;

1.  $\beta=0.5$  durumunda alan artışı boru ortasına kadar ( $\bar{x}=0.5$  veya 3. ölçüm kesiti) lineer geçişe göre daha fazla olmakta ve burada fark %13 e ulaşmaktadır. ( $\beta=1.0$  için %50 alan artışı olduğu halde,  $\beta=0.5$  için artış %63 e varmakta).

2.  $\beta=0.75$  durumunda da,  $\beta$  nın 0.5 olduğu duruma benzer bir alan değişimi olmakla birlikte, bu durumda boru ortasında meydana gelen alan artışı o kadar yüksek olmamakta ve giriş kesitine göre alan artışı %54 e ulaşmaktadır.

Yukarıda, geçiş borularındaki akışın incelenmesinde değiştirilen geometrik parametrelerden birinin de eşdeğer koniklik açısı ( $\theta_e$ ) olduğu belirtilmişti. Buna göre eşdeğer koniklik açıları sırasıyla  $3.5^\circ$ ,  $5^\circ$  ve  $6.5^\circ$  olarak (eşdeğer yarım koniklik açıları) seçilmiştir. Giriş kesiti ile çıkış kesiti arasındaki (sadece giriş ve çıkış kesitleri dikkate alındığında) alan artışı, deney borularının tümünde sabit ve çıkış kesiti alanının giriş kesiti alanına oranı  $\kappa=2$  olduğundan, eşdeğer koniklik açılarının değişmesi boru boylarını da değiştirmektedir. Böylece eşdeğer koniklik açısının ve dolayısıyla boru boyunun değişiminin de yük kayıplarına etkileri incelenmiştir.

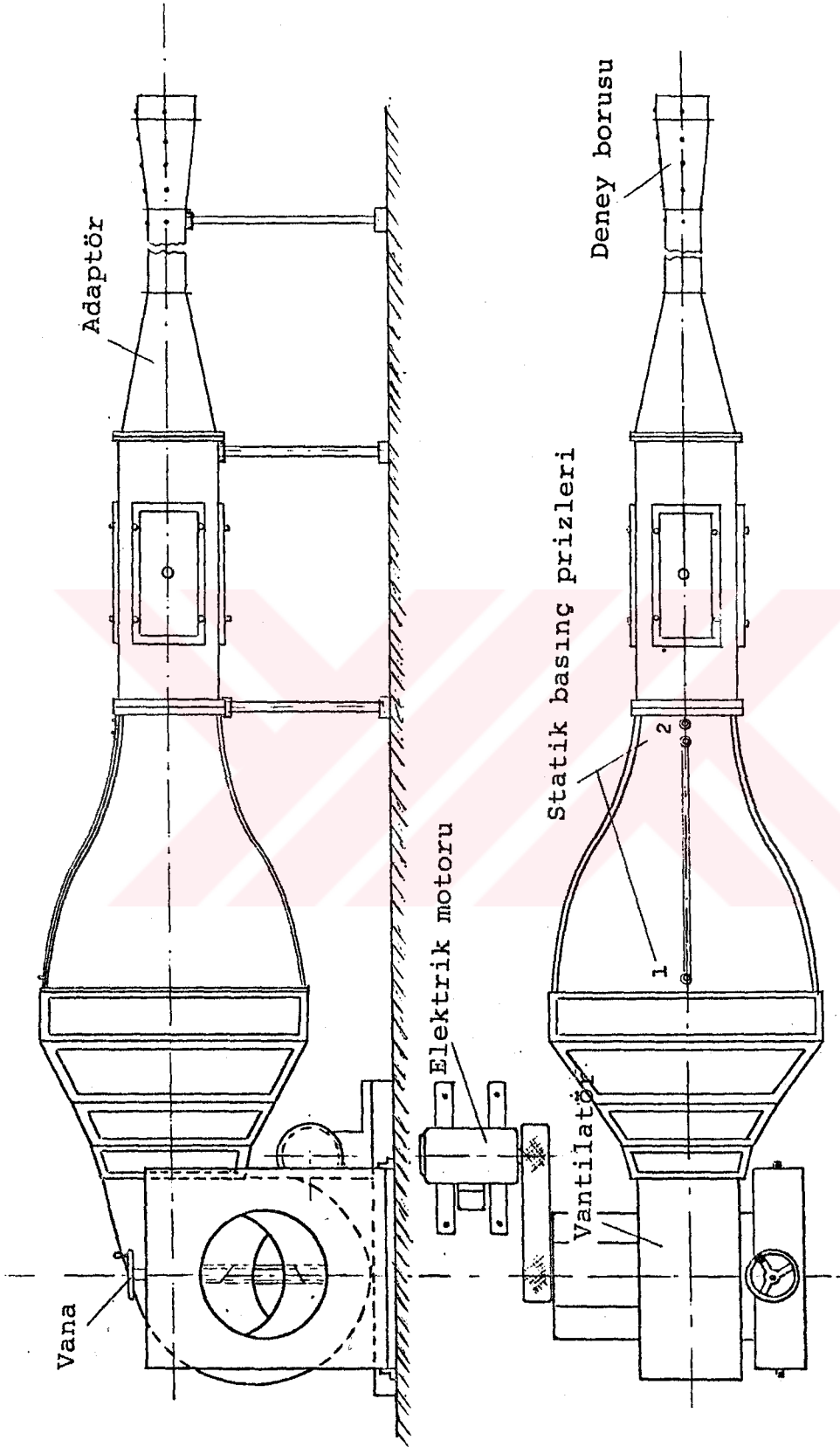
Çalışmada ele alınan geçiş borularının geometrik boyutları ve giriş ve çıkış parametreleri Tablo 3.1 de görülmektedir.

Tablo 3.1 Deney borularının geometrik özellikleri

SEMBOLLER	GEÇİŞ ŞEKİLLERİ											
	Giriş			Çıkış			Giriş			Çıkış		
	a	b	A <sub>1</sub>	d	c	A <sub>2</sub>	a	b	A <sub>1</sub>	d	c	A <sub>2</sub>
$\beta=c/d$	0.50			0.75			1.0					
c (mm)	200			245			283					
d (mm)	400			326.5			283					
$\alpha=a/b$	0.50			0.50			0.50					
a (mm)	141.5			141.5			141.5					
b (mm)	283			283			283					
$\kappa$	2			2			2					
A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	0.04			0.04			0.04					
A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	0.08			0.08			0.08					
$\theta_{\beta}$ (°)	3.5	5.0	6.5	3.5	5.0	6.5	3.5	5.0	6.5	3.5	5.0	6.5
z (mm)	1417	991	761	1084	758	582	922	645	495			
$\ddot{y}$ (°)	5.21	7.43	9.64	4.89	6.96	9.04	4.38	6.26	8.13			
$\ddot{d}$ (°)	-1.67	-2.39	-3.11	-1.00	-1.43	-1.86	0.00	0.00	0.00			

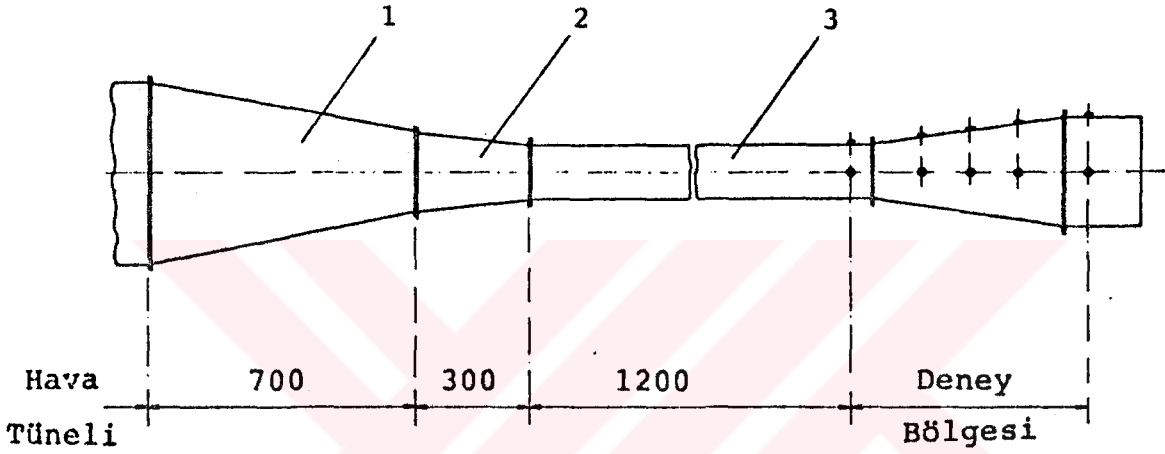
### 3.3 DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI

Deney düzeneği şekil 3.5 te görüldüğü gibi bir hava tüneli ve bu tünelin çıkış kesitini istenilen alana ve geometriye indirgeyen bir adaptörden oluşmaktadır. Hava, sisteme 8.5 kW gücündeki bir elektrik motorunun, kayış kasnak tertibatıyla tahrik ettiği vantilâtör tarafından gönderilmektedir. Vantilâtörün hemen önünde, sisteme gönderilecek olan havanın debisini ayarlayabilmek amacıyla bir vana bulunmaktadır. Vantilâtörün bastığı hava, dönme etkisinin ve şebeke elektrik akımının değişmesiyle oluşabilecek basınç titreşimlerinin yok edilmesi için önce geniş bir hazneye gönderilmektedir. Bu geniş haznedeki sonra hava, tünelin daralan kesitinden (457 x 457 mm<sup>2</sup>) geçerek adaptöre gelmektedir.



Şekil 3.5 Deneý düzenneđi

Şekil 3.6 da görüldüğü gibi adaptör üç parçadan oluşmaktadır. Bunlardan 1 ve 2 numaralı parçalar akış kesit alanını ve geometrisini istenilen duruma ( $282.8 \times 141.4 \text{ mm}^2$ ) getirmeyi sağlar. 3 numaralı parça ise, bu işlem dolayısıyla bozulabilecek olan akışın gelişmesine yardımcı olur. Böylece 3 numaralı parçanın çıkışına bağlanan deney borusunun girişinde düzgün bir akışın oluşması sağlanır.



Şekil 3.6 Adaptör

Adaptörü meydana getiren parçaların boyutları Tablo 3.2 de verilmiştir.

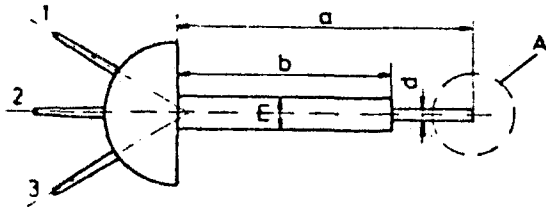
Tablo 3.2 Adaptörü oluşturan parçalara ait boyutlar

Parça No	Boy (mm)	Giriş Boyutları (mm x mm)	Çıkış Boyutları (mm x mm)
1	700	457 x 457	200 x 200
2	300	200 x 200	282.8 x 141.4
3	1200	282.8 x 141.4	282.8 x 141.4

### 3.4 ÖLÇÜ ALETLERİ VE YAPILAN ÖLÇÜMLER

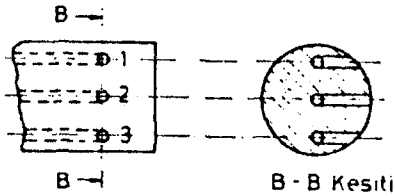
Geçiş borusu içinde akış hüküm sürerken genel olarak toplam ve statik basınç ölçümleri yapılmıştır. Deney borularının simetrik olmayışı nedeniyle ölçümler yatay ve düşey doğrultularda ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her bir boru için beş ayrı kesitte ölçüm yapılmıştır. Birinci ve beşinci ölçüm kesitleri, geçiş borusunun girişinin 60 mm önünde ve çıkışının 60 mm arkasında alınmıştır. Böylece geçiş borusunun giriş ve çıkışındaki parçalarla birleşme yerlerinde doğabilecek akış bozukluklarının ilk ve son kesitte yapılacak ölçümlere etkileri azaltılmıştır. Diğer ölçümler geçiş borusunun eksenini boyunca 0.25 , 0.50 ve 0.75 inci kesitlerinde gerçekleştirilmiştir.

Yapılan toplam ve statik basınç ölçümlerinde standart pitot tüpü yerine UNITED SENSOR firmasının imalatı olan YA-120-24-F-22-CD tipi standart bir üçlü basınç ölçme sondası kullanılmıştır. Şekil 3.7 de görüldüğü gibi bu sondada bir adet toplam ve iki adet te statik basınç ölçme prizleri bulunmaktadır. Toplam basınç prizinin iki yanında bulunan statik basınç prizlerinden ölçülen basınçların dengeleneceği şekilde eksenini etrafında döndürülmesi suretiyle, sondanın iki boyutlu bir düzlem içerisinde akışa dik olması sağlanmıştır.



Tip: YA-120-24-F-22-CD

$\phi d$	a	$\phi m$	b
1/8"	24"	1/4"	22"



- 1,3 Statik basınç prizleri  
2: Toplam basınç prizi

A Detayı

Şekil 3.7 Basınç ölçme sondası

Her bir kesitte yapılan ölçümler cidardan itibaren boru merkezine doğru 5 mm lik adımlarla gerçekleştirilmiştir. Bunun için deney düzeneğine uygun olarak geliştirilen özel bir ölçüm düzeneğinden yararlanılmıştır.

Basınçların okunmasında çok tüplü ve eğimi ayarlanabilen sulu bir manometre kullanılmıştır.

Deney akışkanı olan havanın çeşitli özelliklerinin belirlenebilmesi için deneylerin yapılışı sırasında çevre sıcaklığı ve ortam basıncı ölçülmüştür.

### 3.5 BASINÇ ÖLÇME SONDASININ KALİBRASYONU

Deneylerde kullanılan birçok ölçü aletleri genel olarak gerçek olmayan değerleri ölçerler. Bazan da uzun zaman kullanıldıklarında eski duyarlıklarını kaybederler. Bu nedenle gerektiğinde ölçü aletleri, gerçek değerleri ölçen başka bir ölçü aletine göre kalibre edilirler.

Yapılan çalışmada, basınç ölçümleri için kullanılan üçlü sonda da gerçek değerleri ölçmediğinden, gerçek toplam ve statik basınç değerlerini ölçebilen standart pitot tüpüne göre kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır:

Standart pitot tüpü ve üçlü sonda ile, bir kesitte belirli bir noktada ve değişik vana açıklıklarına tekâbül eden farklı debilerde toplam ve statik basınçlar ölçülmüştür.

$P_0$ : Pitot tüpü ile ölçülen toplam basınç,

$P$  : Pitot tüpü ile ölçülen statik basınç,

$P_t$ : Üçlü sonda ile ölçülen toplam basınç ve

$P_a$ : Üçlü sonda ile ölçülen statik basınç olmak üzere, ölçülen bu değerlerden (Tablo 3.3) yararlanılarak, en küçük kareler yöntemiyle  $P_0$  ile  $P_t$  ve  $P$  ile  $P_a$  arasında;

$$P_0 = P_t \quad (3.1)$$

ve

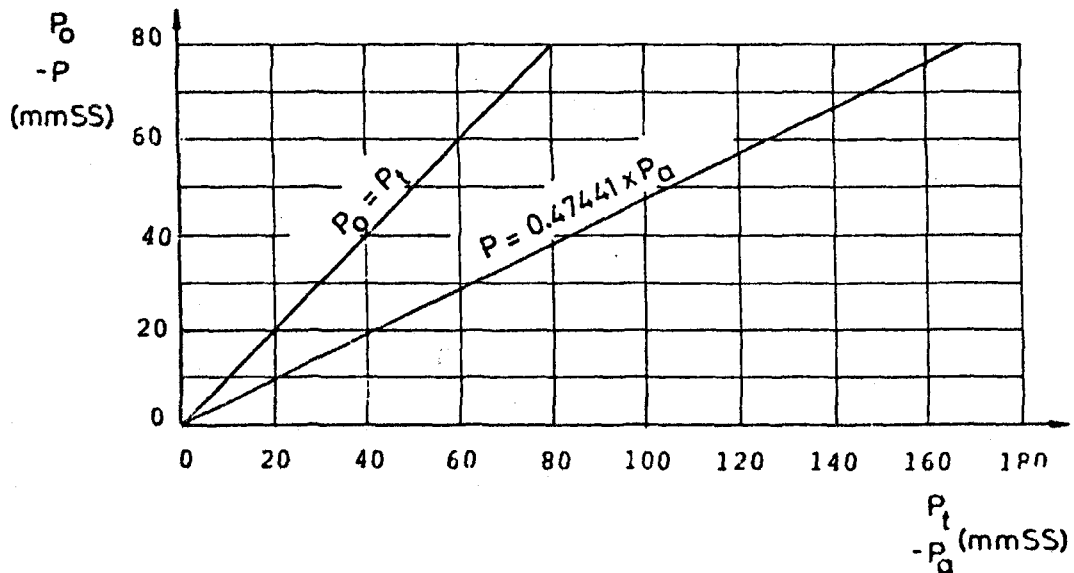
$$P=0.47441 \times P_a \quad (3.2)$$

bağıntıları elde edilmiştir. Bu bağıntıların grafikleri, son-  
danın kalibrasyon eğrileri olup, şekil 3.8 de görülen bu eğrilerden

veya (3.1) ve (3.2) bağıntılarından yararlanılmak suretiyle gerçek olmayan ölçüm değerlerinden, gerçek değerlere kolayca geçilebilir.

Tablo 3.3 Sonda kalibrasyonu için yapılan ölçümler

$P_o$ (mmSS)	$P$ (mmSS)	$P_t$ (mmSS)	$P_a$ (mmSS)
14.0	- 12.5	14.0	- 27.5
22.0	- 19.5	22.0	- 44.0
29.0	- 27.0	29.0	- 53.0
36.0	- 35.0	36.0	- 74.0
43.0	- 41.5	43.0	- 89.0
50.0	- 49.0	50.0	-104.0
58.0	- 57.0	58.0	-120.0
64.5	- 64.5	64.5	-135.0
71.5	- 72.0	71.5	-150.0
79.0	- 79.5	79.0	-167.0



Şekil 3.8 Sonda kalibrasyon eğrileri



### 3.6 AKIŞLA İLGİLİ KALİBRASYON

Hava tüneline deney bölgesine gelen havanın ortalama hızının ve Re sayısının belirlenebilmesi için, hava tüneline geçen havanın debisinin belinmesi gerekir. Bunun için hava tüneline (1) ve (2) noktalarındaki basınç prizlerinden (şekil 3.6) alınan statik basınç farkına göre, tünelden geçen havanın debisi kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyon işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır:

Hava tüneline en geniş ve en dar kesitlerinde bulunan (1) ve (2) nolu basınç prizleri bir betz manometresi ile irtibatlandırılmıştır. Çeşitli vana açıklıklarında, hava tüneline bu iki kesiti arasında elde edilen her bir basınç farkı için ( $\Delta P = P_1 - P_2$ ), belirli bir kesitte standart pitot tüpü ile basınç taraması yapılmıştır. Basınç ölçümleri cıvardan başlayarak merkeze doğru 5 mm lik adımlarla gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm noktasında ölçülen toplam ve statik basınç değerlerinden yararlanılarak dinamik basınçlar;

$$P_d = P_o - P \quad (3.3)$$

ve çizgisel hızlar;

$$u = \sqrt{2 \cdot \frac{P_d}{\rho_h}} \quad (3.4)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Son bağıntıda  $\rho_h$  havanın yoğunluğu olup;

$$\rho_h = \frac{P_c}{R_h(t_c + 273)} \cdot 100 \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Bu son bağıntıda;

$P_c$  (mBar) : ortam basıncı,

$t_c$  (°C) : çevre sıcaklığı ve

$R_h$  (J/kgK) : havanın gaz sabiti (=287) değerleri,

verilen boyutları ile kullanılırsa havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ) boyutunda elde edilmektedir.

Her bir vana açıklığına karşılık gelen ortalama hız; bu vana açıklığında, cıdardan itibaren 5 mm lik adımlarla yapılan ölçümlerden (3.4) bağıntısına göre belirlenen çizgisel hızların ortalamasının hassas yamuk formülüne göre hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Ortalama hızın bilinmesi halinde o kesitten geçen debi;

$$Q = A \cdot U \quad (3.6)$$

şeklinde kolaylıkla bulunabilir. Tablo 3.4'te, her bir  $\Delta P$  basınç farkı için hesaplanan Q debileri görülmektedir.

Tablo 3.4 Çeşitli  $\Delta P$  basınç farklarına karşılık gelen Q debileri

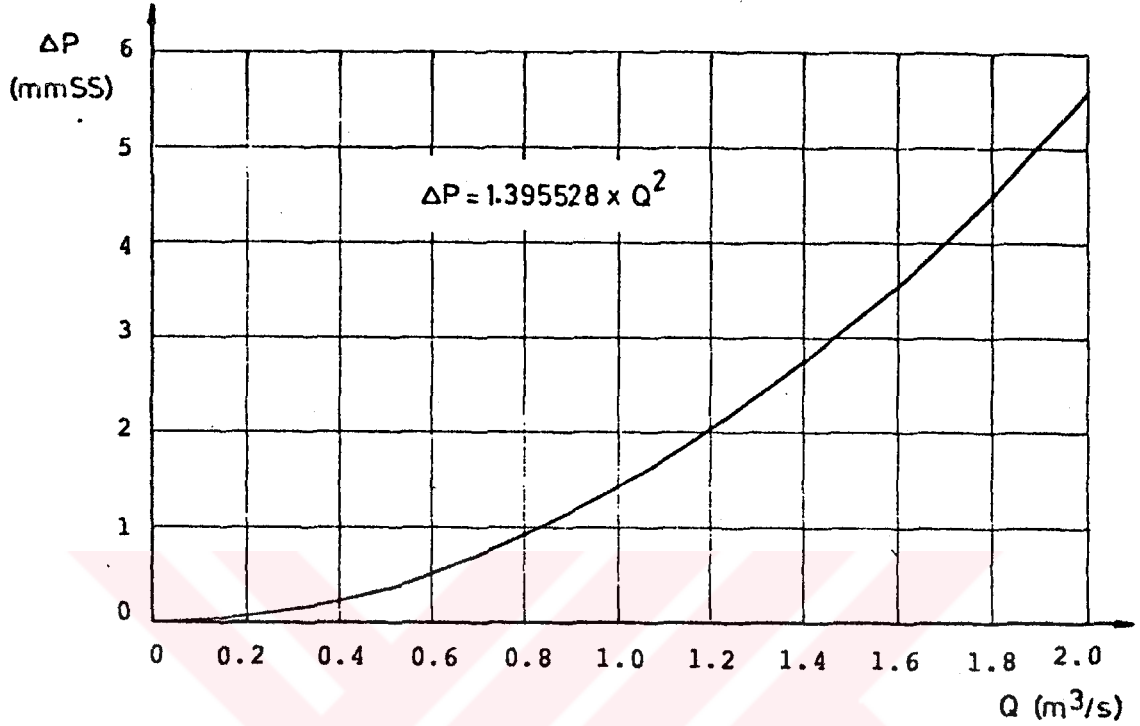
$\Delta P$ (mmSS)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
Q (m <sup>3</sup> /s)	0.8272	1.0138	1.2016	1.3335	1.4674	1.5792	1.7045	1.7969	1.8995	1.9776

Elde edilen bu değerleri en iyi karakterize eden  $\Delta P=f(Q)$  eğrisinin denklemi, en küçük kareler yöntemi kullanılarak;

$$\Delta P=1.395528 \times Q^2 \quad (3.7)$$

şeklinde elde edilmiştir. Bu eğrinin grafiği şekil 3.9 da görülmektedir.

Yapılan kalibrasyon sayesinde, istenilen hava debisi ve dolayısıyla Re sayısı için gerekli  $\Delta P$  basınç farkı (hava tünelinde bulunan (1) ve (2) numaralı basınç prizlerinden elde edilen basınçlar arasındaki fark) kolaylıkla belirlenebilmekte ve vana açıklığı buna göre ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.9 Debi kalibrasyon eğrisi

### 3.7 ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyler üç değişik akış şartında (Re sayısında) gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı Re sayıları geçiş borularının giriş kesitlerine göre belirlenmiş olup, bu kesitlerin dairesel olmayışı nedeniyle Re sayılarının hesaplanmasında "hidrolik çap" tanımından yararlanılmıştır. Buna göre,

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu_h} \quad (3.8)$$

olup burada;

U : giriş kesitindeki ortalama hız,

D : hidrolik çap (4 x kesit alanı/kesitin ıslak çevresi)

$\nu_h$ : havanın kinematik viskozitesidir.

Deneylerin yapıldığı akış şartları tablo 3.5 te görülmektedir.

Tablo 3.5 Deneylerin yapıldığı akış şartları

$\Delta P$ (mmSS)	Q (m <sup>3</sup> /S)	Re x 10 <sup>-5</sup>
1.4	1.00160	3.0
3.1	1.49042	4.5
5.5	1.98524	6.0

Her bir akış şartı için cıdardan itibaren 5 mm lik adımlarla yapılan ölçümlerden yararlanılarak (3.4) bağıntısı yardımıyla çizgisel hızlar hesaplanmış ve hız profilleri belirlenmiştir.

Geçiş borularının eksenleri boyunca yük değişimlerini elde edebilmek için, her bir kesitte akışkanın sahip olduğu toplam yükün (enerjinin) bilinmesi gerekmektedir. Bunun için;

$$H = \frac{P^*}{\gamma} + \alpha_k \cdot \frac{U^2}{2 \cdot g} \quad (3.9)$$

bağıntısından yararlanılmıştır. Burada  $\alpha_k$  (kinetik enerji düzeltme faktörü); akışkanın boru içerisinde U ortalama hızıyla akıyormuş gibi düşünülmesi halinde, birim ağırlıktaki akışkanın kinetik enerjisinin ( $U^2/2 \cdot g$ ), kesit alanı boyunca değişen u hızları için belirlenen  $u^2/2 \cdot g$  lerin ortalamasını vermesi için kullanılan bir katsayıdır. Re sayısına bağlı olarak değişen bu katsayının belirlenmesi burada ele alınmayacaktır. Uygulamada türbülanslı akışlarda  $\alpha_k$  nın 1.04 ile 1.07 arasında değerler aldığı bilinmektedir. Pratikte, yapılan hesaplarda  $\alpha_k$  nın 1.0 alınmasıyla büyük bir hata yapılmış olmaz (Özgür, 1980; Atılğan, 1982). Bu nedenle burada da kinetik enerji düzeltme faktörü  $\alpha_k=1.0$  alınmıştır.

(3.9) bağıntısında  $P^*/\gamma$  "piyezometrik yük" olarak adlandırılmakta olup;

$$\frac{P^*}{\gamma} = \frac{P}{\gamma} + z \quad (3.10)$$

şeklinde belirlenir. (3.9) ve (3.10) bağıntılarında U kesitteki ortalama hız, P de boru merkezinde ölçülen statik basınçtır. Yapılan çalışmada boru eksenini yatay düzleme paralel olduğundan, bu bağıntılardaki z yükselti terimi dikkate alınmamıştır.

Bir akış durumunda iki nokta arasındaki yük kaybı, bu noktalar arasındaki toplam yüklerin farkına eşittir. Yük kaybının, kinetik enerji yüküne bölünmesiyle de yük kaybı katsayısı elde edilir. Yapılan çalışmada, yukarıda belirtilen her bir akış şartında deney boruları için yük kaybı katsayıları; geçiş borusunun giriş ve çıkış kesitleri arasındaki yük kaybının, giriş kesitindeki kinetik enerji yüküne bölünmesiyle elde edilmiştir. Buna göre 1. ve 5. ölçüm kesitleri arasındaki yük kaybı;

$$\Delta H = H_1 - H_5 \quad (3.11)$$

ve yük kaybı katsayısı da;

$$C = \frac{\Delta H}{\alpha_k \frac{U_1^2}{2.g}} \quad (3.12)$$

bağıntılarından hesaplanmıştır. Bu son bağıntıda da  $\alpha_k = 1.0$  alınmıştır.

Ölçümlerin değerlendirilmesinde, genel olarak yukarıdaki hesap yöntemine uygun olarak yazılan bir bilgisayar programından yararlanılmıştır.

## BÖLÜM-4

### SONUÇLAR

#### 4.1. GİRİŞ

Ölçümlerin, bölüm 3 te anlatılan hesap yöntemine göre değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçların irdelenebilmesi için, çeşitli parametrelere göre değişimlerinin grafikleri çizilmiştir. Cidardan merkeze kadar olan hız profillerinin ve her bir kesitteki yük değerlerinin eksen boyunca; ve yük kayıp katsayısının Re sayısı, eşdeğer koniklik açısı ve çıkış kesiti kenar oranına göre değişimleri için çizilen bu grafikler ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

#### 4.2. EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ

Her bir geçiş borusu için beş farklı kesit (ikisi geçiş borularının giriş ve çıkışlarında, üçü de eksen boyunca 0.25 , 0.50 ve 0.75 inci noktalarda) ve üç farklı Re sayısında ( $3.0 \times 10^5$  ,  $4.5 \times 10^5$  ve  $6.0 \times 10^5$ ) çizilen hız profilleri şekil 4.1 ila 4.18 de görülmektedir. Geçiş borularının aynı doğrultularda eksene göre simetrik olmalarına karşılık, farklı doğrultularda simetrik olmayışları nedeniyle hız profilleri boru cidarından merkeze kadar; ve yatay ve düşey doğrultular için ayrı ayrı çizilmiştir.

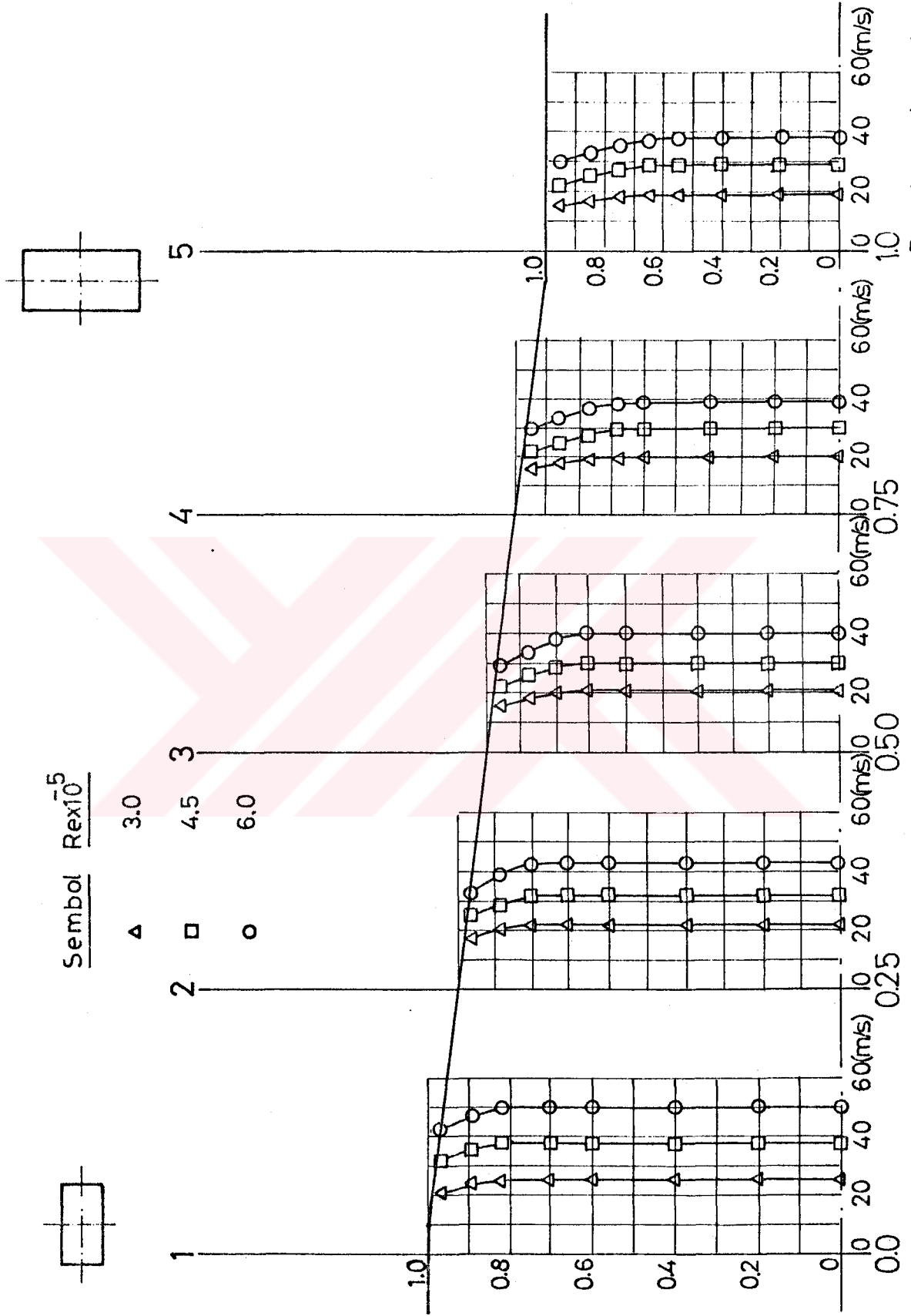
Deney boruları giriş kesitinden çıkış kesitine kadar eksen boyunca sürekli bir alan artışına sahip difüzör şeklinde borular olduklarından, aksenal doğrultuda ilerledikçe hızlarda azalmalar meydana gelmektedir. Ayrıca, viskoz etkilerden dolayı sınır tabaka içinde cidara yaklaştıkça hızlardaki düşüşler tüm şekillerde görülmektedir.

Genel olarak yatay ve dűsey doğrultulardaki hız profillerinde meydana gelen belirgin farklılıklar alt-üst yüzeylerin ve yanıl yüzeylerin eksenle yaptıkları açılardan kaynaklanmaktadır. Geçiş borularının tümünde alt ve üst yüzeyler akış doğrultusunda eksenden uzaklaşarak oldukça büyük açılar yapmaktadırlar. Bu açılar  $\beta$  nın küçük, eşdeğer koniklik açısının ise büyük değerlerinde daha da artmaktadır. Yanıl yüzeyler ise  $\beta=1$  durumunda eksene paralel olmakta, diğer durumlarda da nispeten küçük açılarla akış doğrultusunda eksene yaklaşmaktadır (Tablo 3.1). Bu nedenle dűsey doğrultuda sınır-tabaka kalınlığındaki artış, yatay doğrultuya göre çok daha hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Bu durum  $\beta$  nın küçük değerlerinde daha da belirginleşmektedir (Şekil 4.2,4.8,4.14).

Farklı borularda aynı ölçüm kesitinde yatay veya dűsey doğrultulardaki hız profilleri de kendi aralarında bazı farklılıklar göstermektedir.

Dűsey doğrultuda yapılan ölçümlerden elde edilenler birbirine benzer olduğu halde (şekil 4.2,4.4,4.6), eşdeğer koniklik açısının büyük değerleri için cidara yaklaştıkça hızlar çok fazla düşmekte ve bu nedenle hız profilleri cidara yakın bölgelerde birbirlerine yaklaşmaktadır. Bu durum özellikle 3. ölçüm kesitinden sonra daha belirgin hale gelmektedir(şekil4.14, 4.16,4.18).

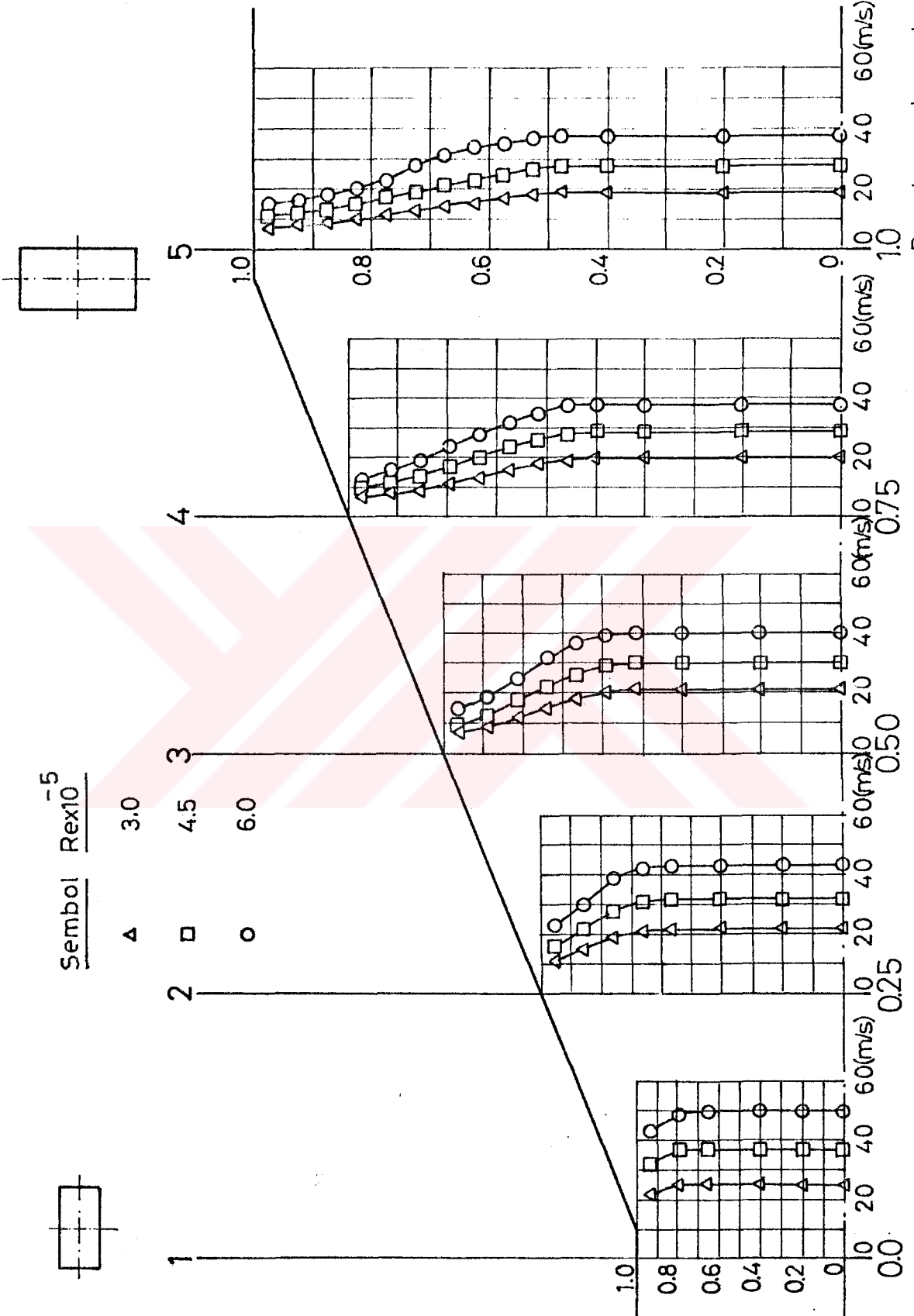
Yatay doğrultudaki ölçümlerden elde edilen hız profilleri ise daha düzgün olup, cidardaki yaklaşımlar meydana gelmektedir.



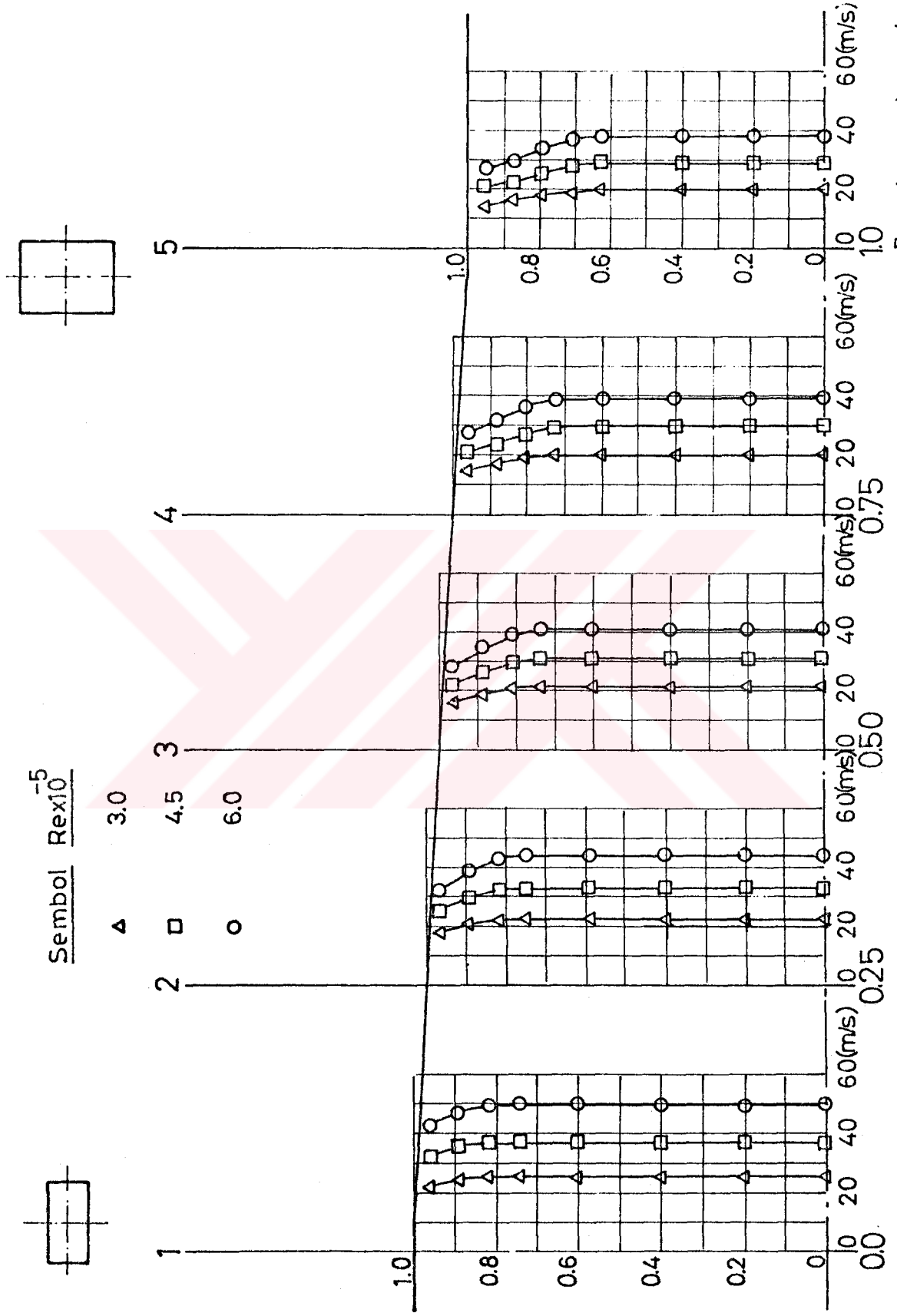
Şekil 4.1 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 3.5^\circ$  -  $\beta = 0.5$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler"

Boyutsuz eksenel uzunluk  $\bar{x}$

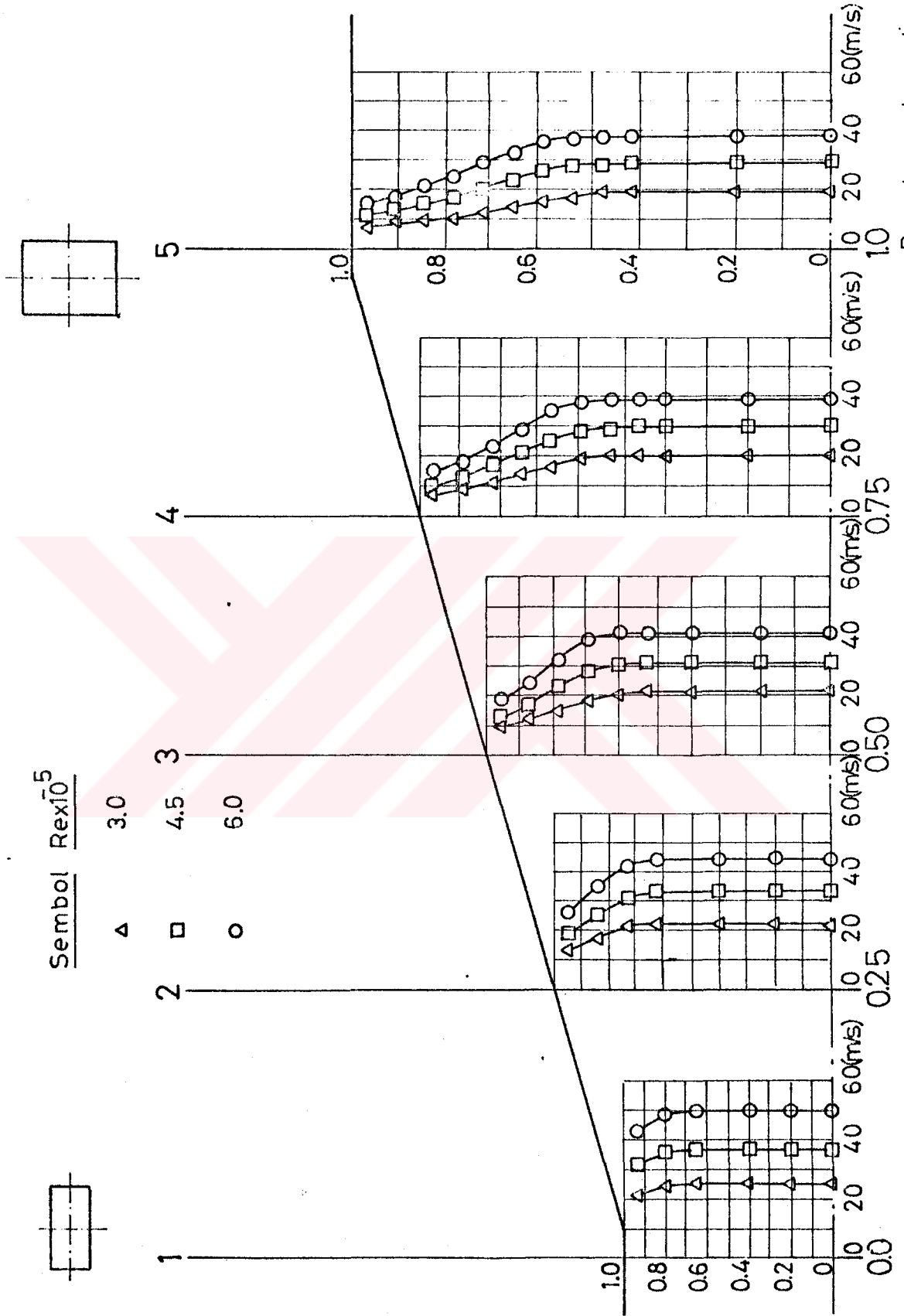




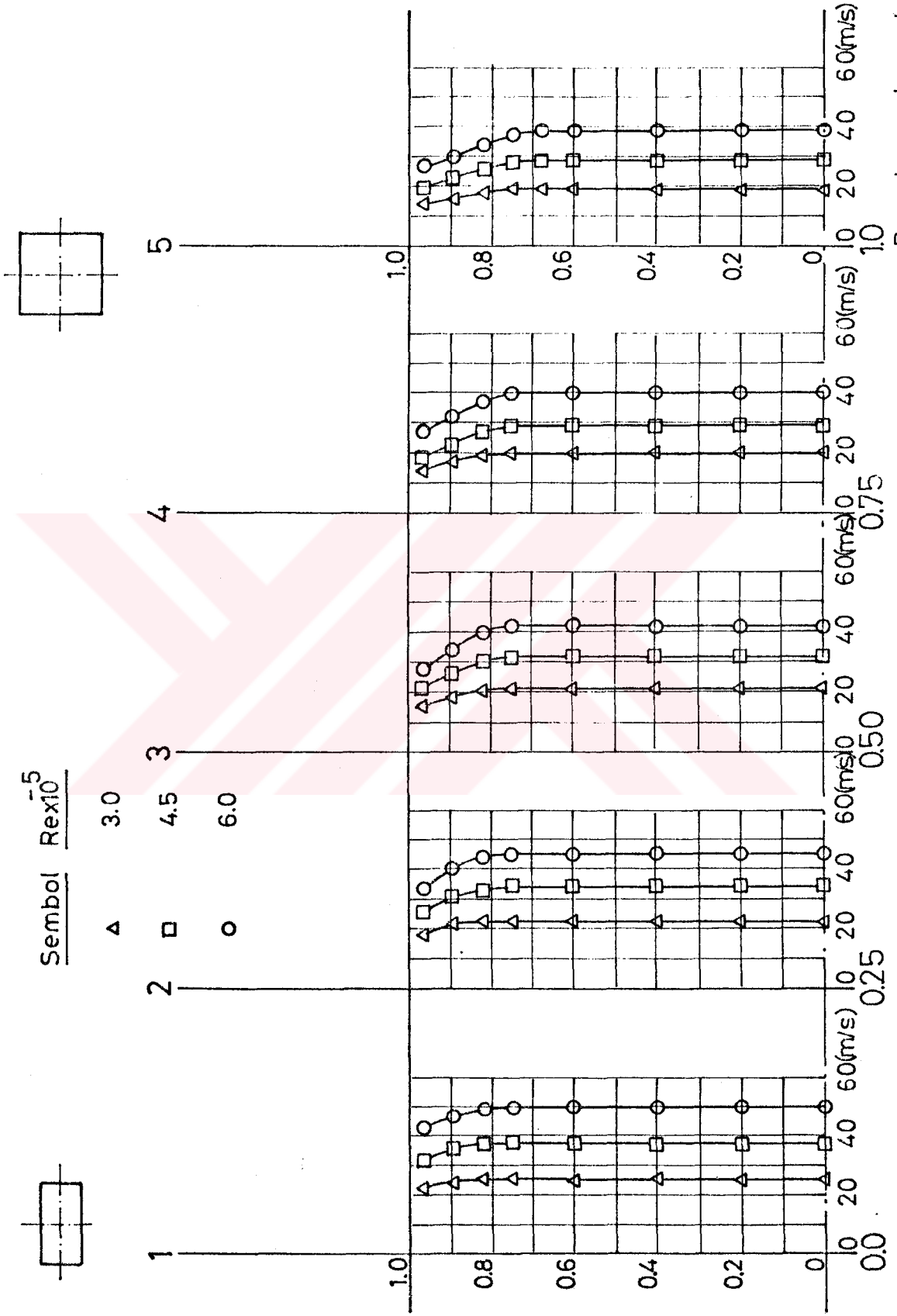
Şekil 4.2 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_{\xi}=3.5^{\circ}-\beta=0.5$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz eksnel uzunluk  $\bar{x}$



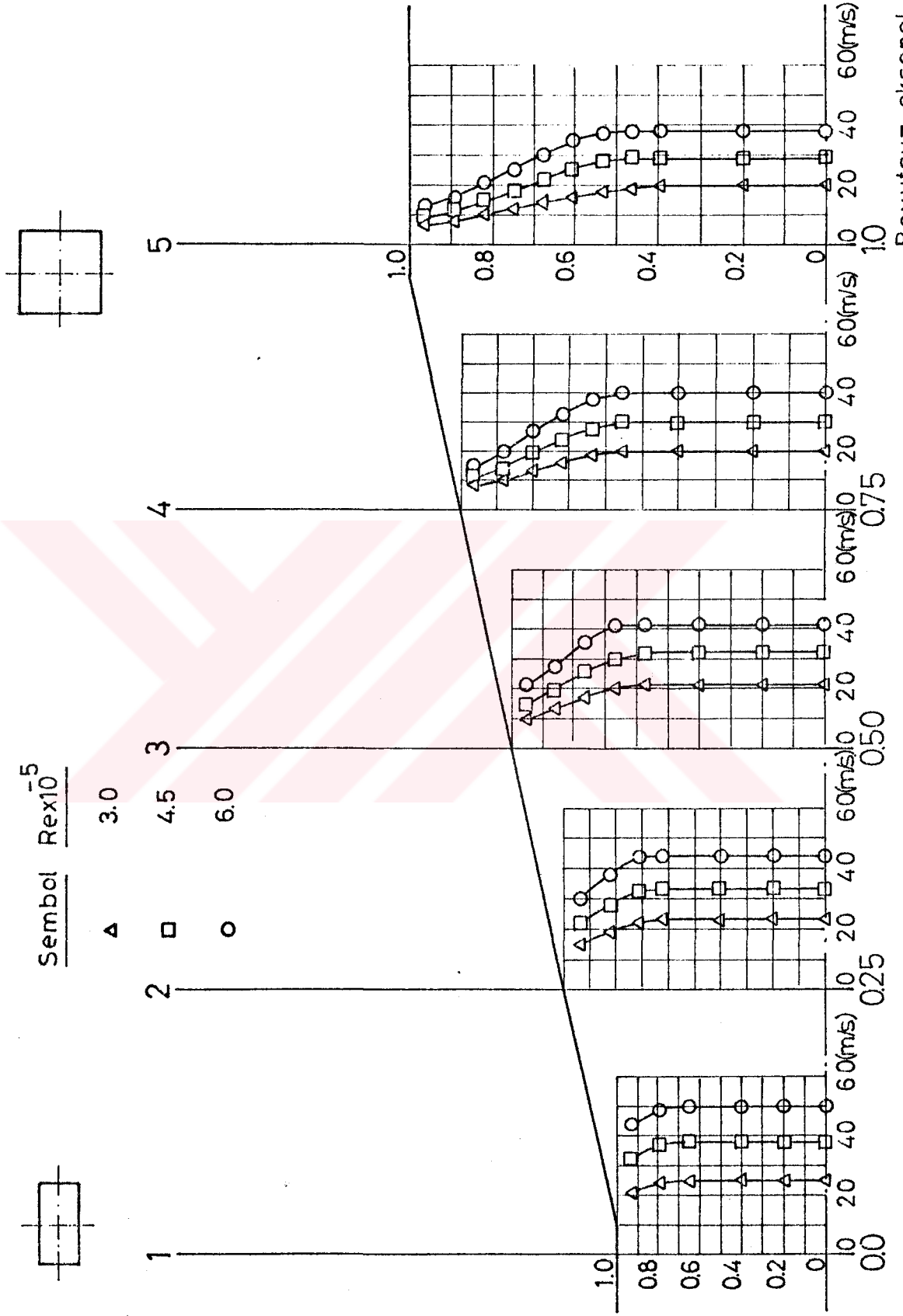
Şekil 4.3 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 35^\circ - \beta = 0.75$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz eksenel uzunluk  $\bar{x}$



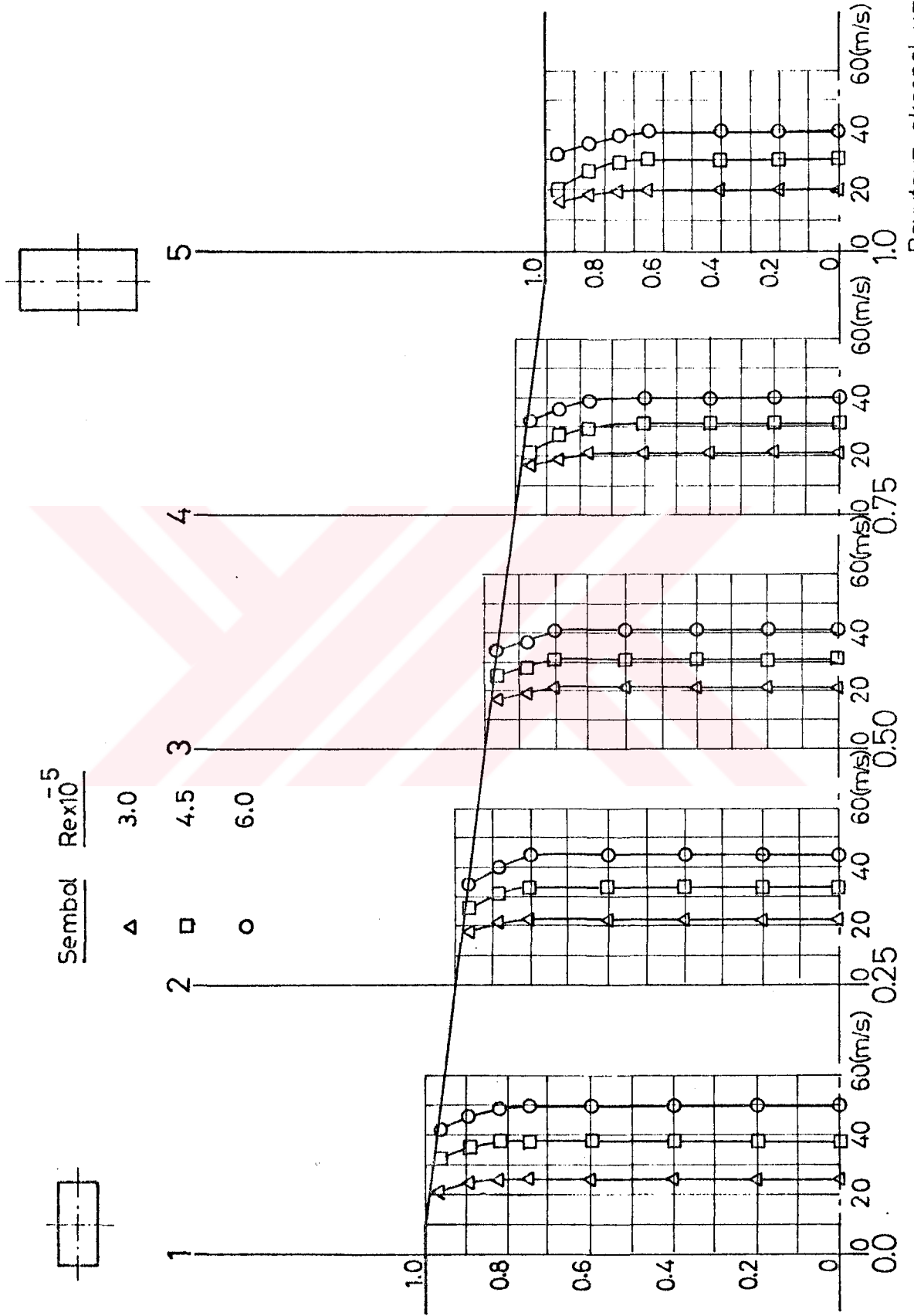
Şekil 4.4 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi = 3.5^\circ - \beta = 0.75$ - Düşey Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz eksenei uzunluk  $\bar{x}$



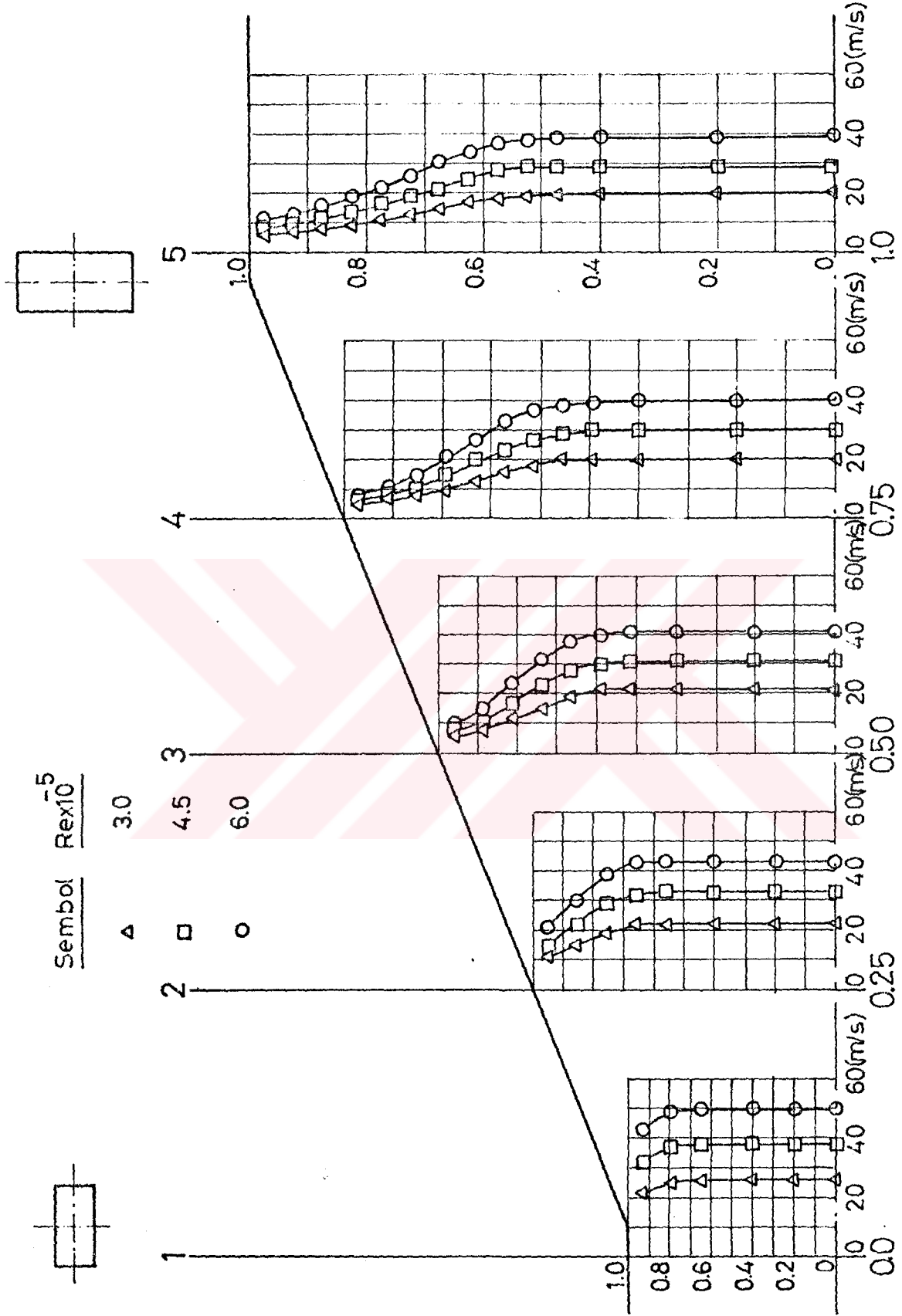
Şekil 4.5 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e=3.5^\circ - \beta=10^\circ$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz aksenal uzunluk  $\bar{x}$



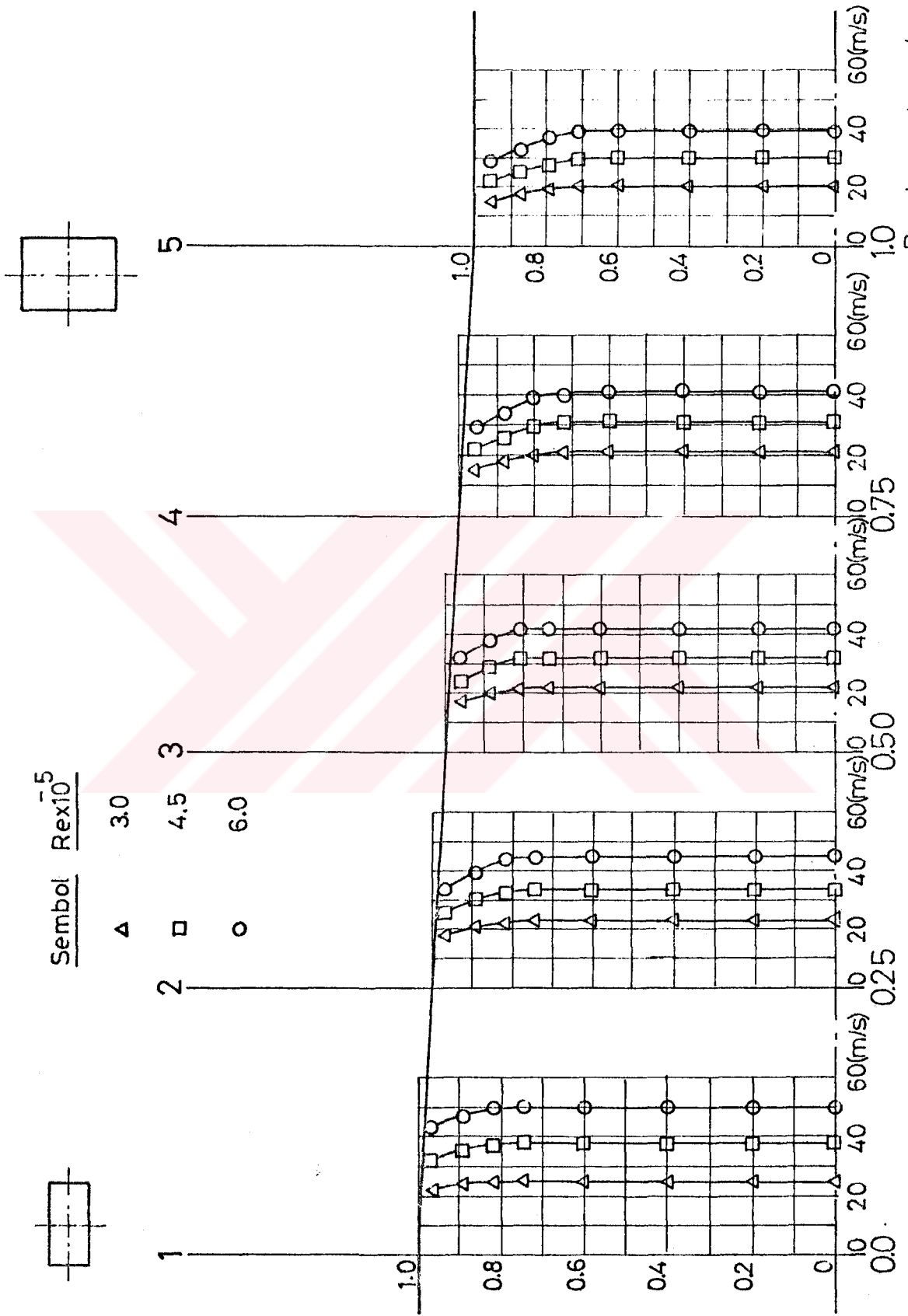
Şekil 4.6 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e=35^\circ - \beta=10$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz aksenal uzunluk  $\bar{x}$



Şekil 4.7 . EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 5.0^\circ - \beta = 0.5$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz aksenal uzunluk  $\bar{x}$

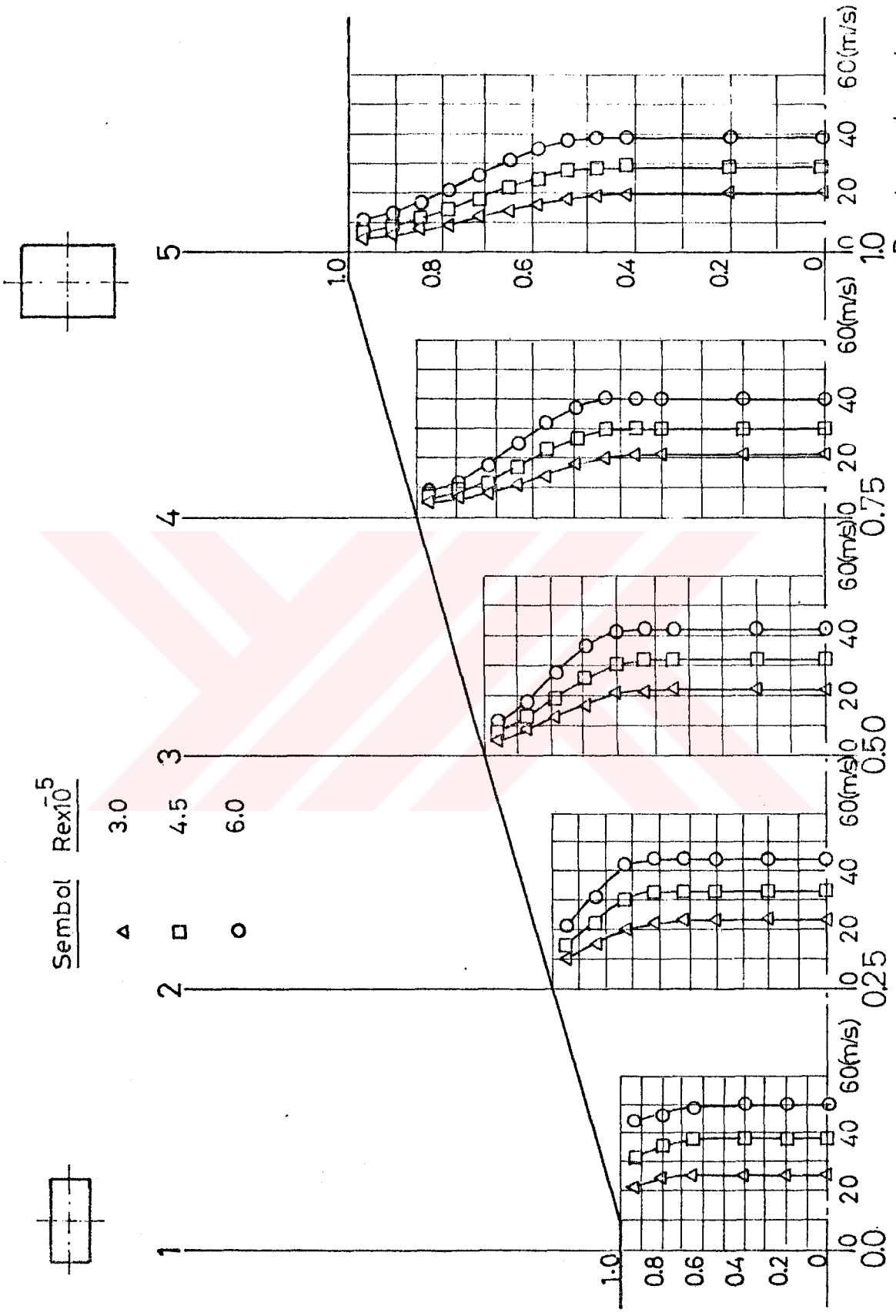


Şekil 4.8 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 5.0^\circ - \beta = 0.5$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz eksnel uzunluk  $\bar{x}$

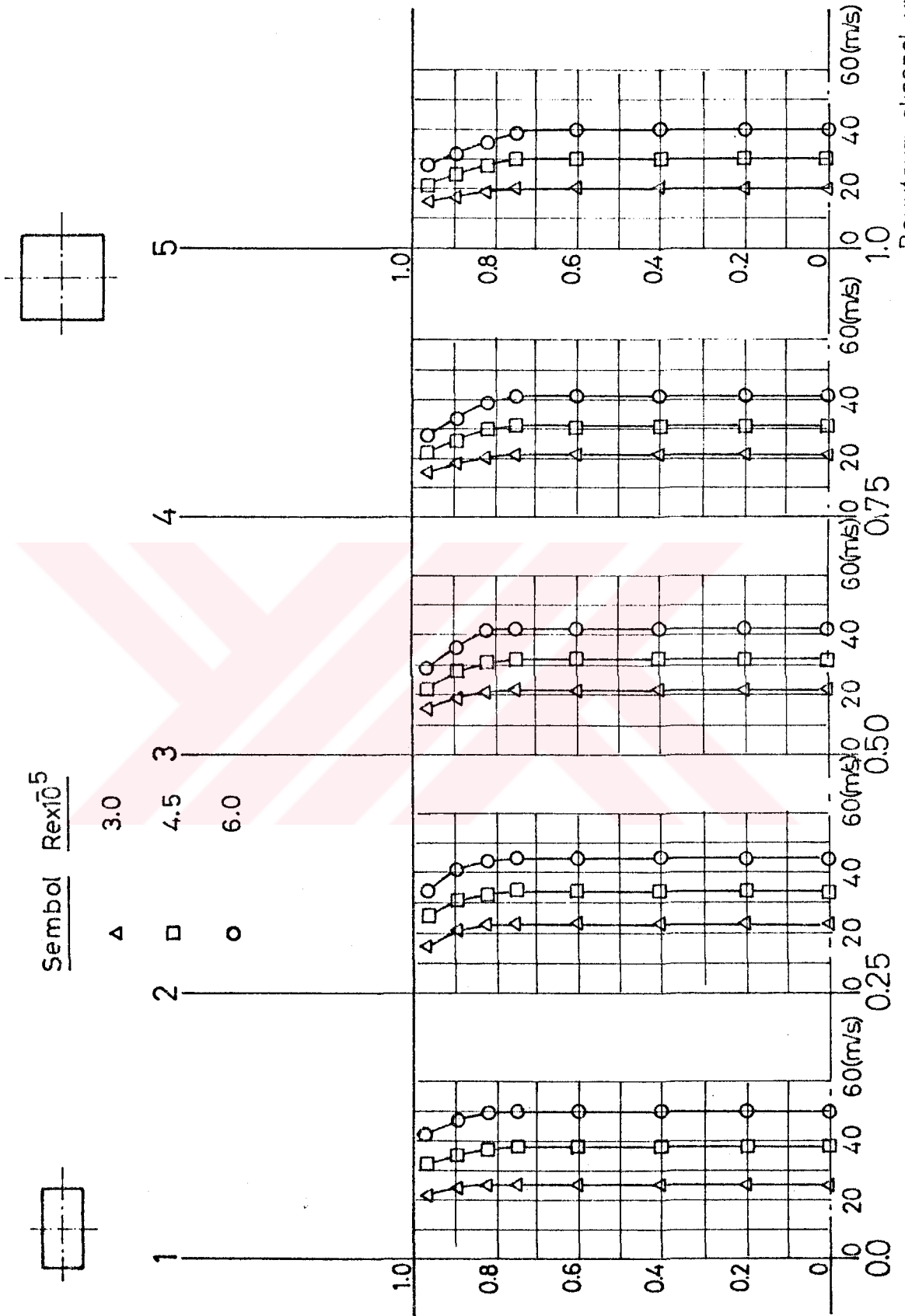


Şekil 4.9 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ  $\phi = 50^\circ - \beta = 0.75$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler”

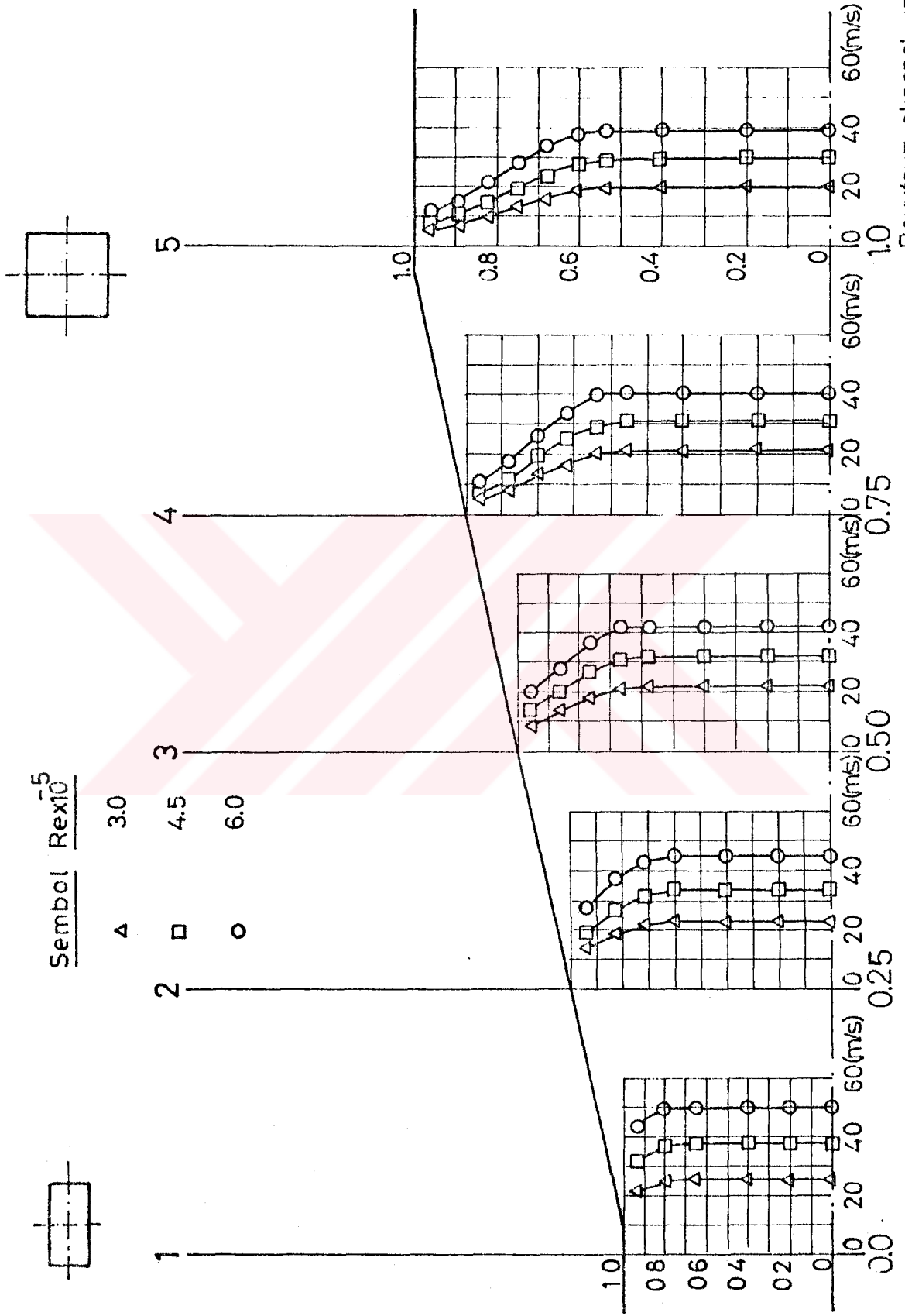




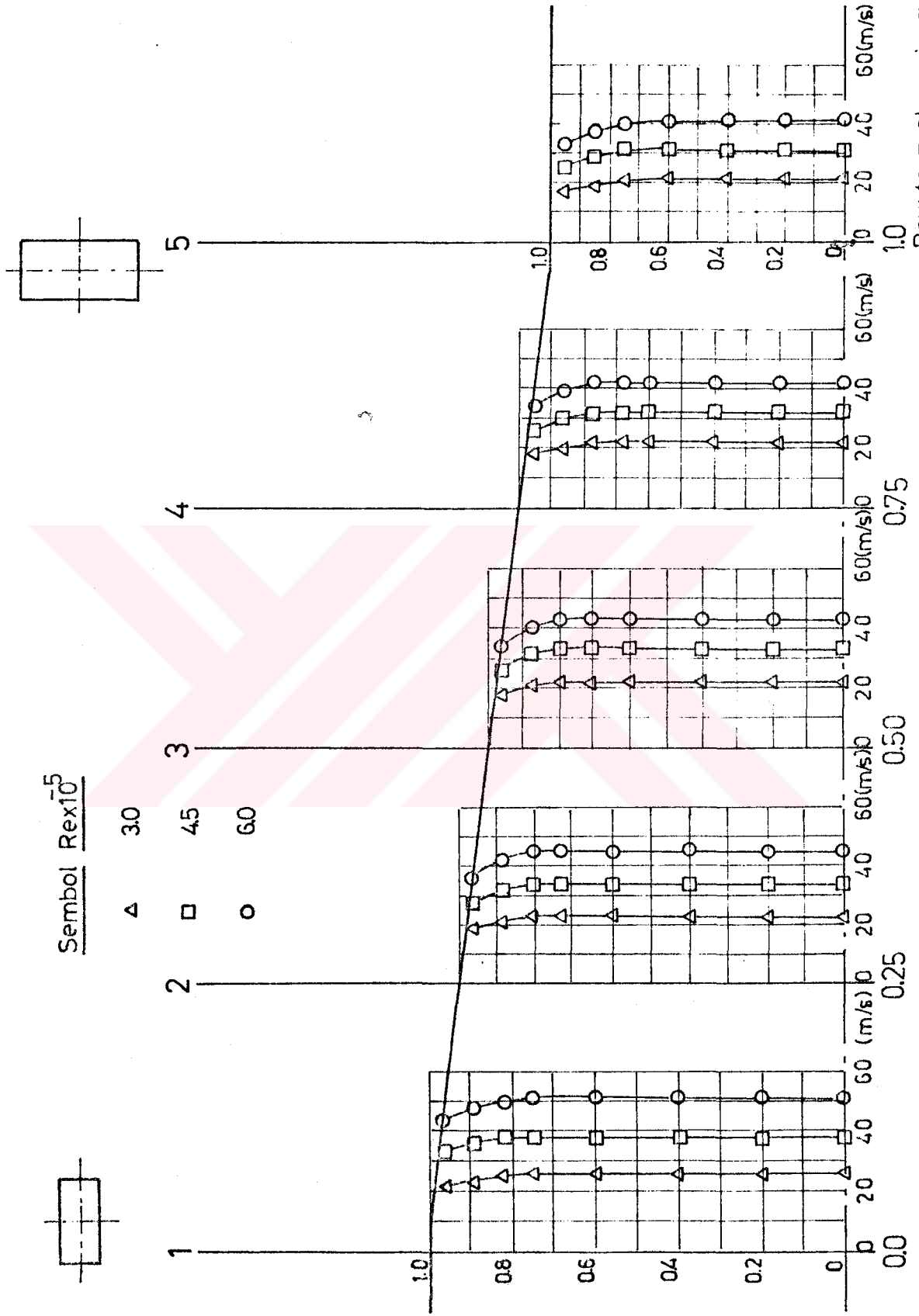
Şekil 4.10 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 50^\circ - \beta = 0.75$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler"



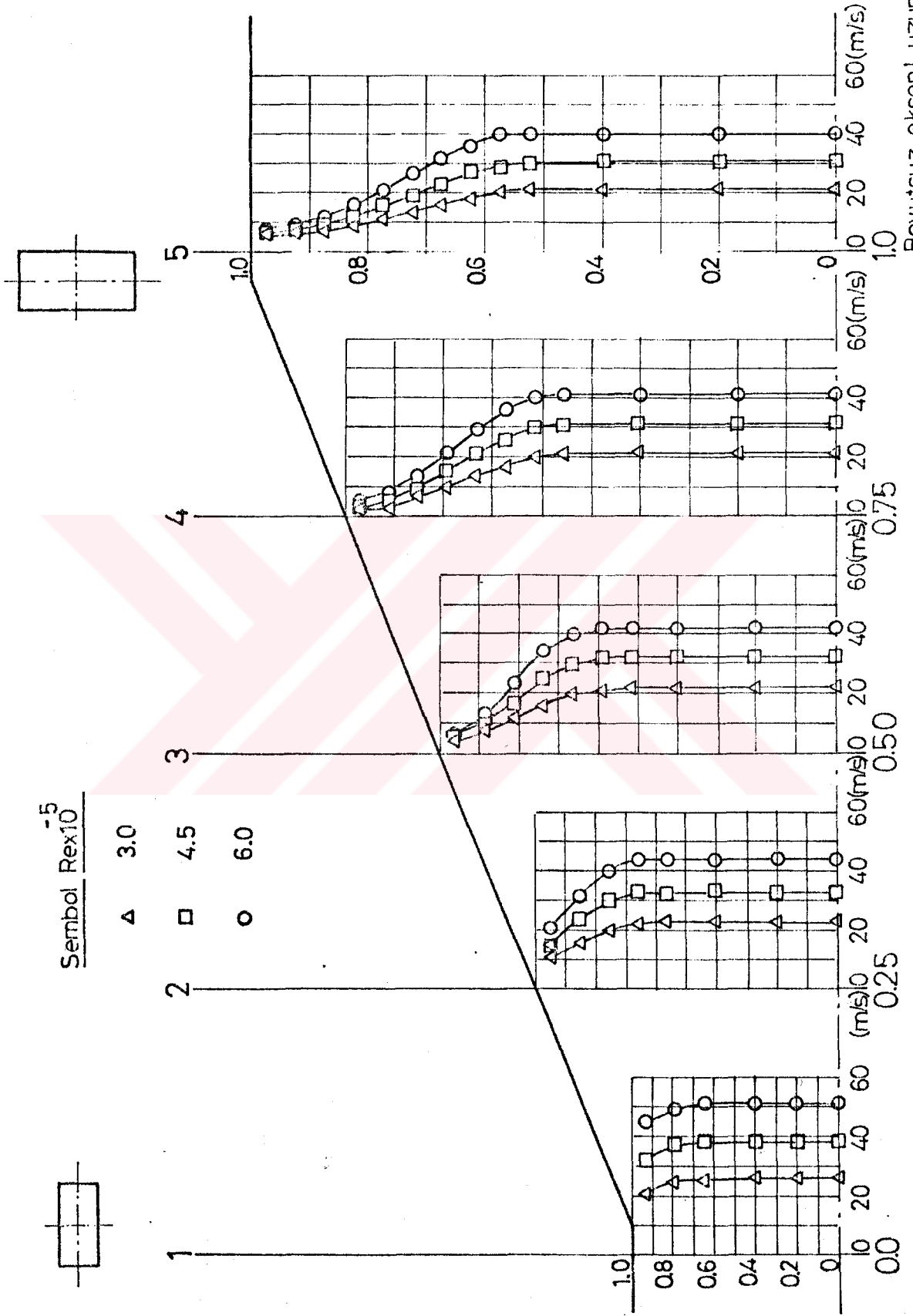
Şekil 4.11 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 5.0^\circ - \beta = 10$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz aksenal uzunluk  $\bar{x}$



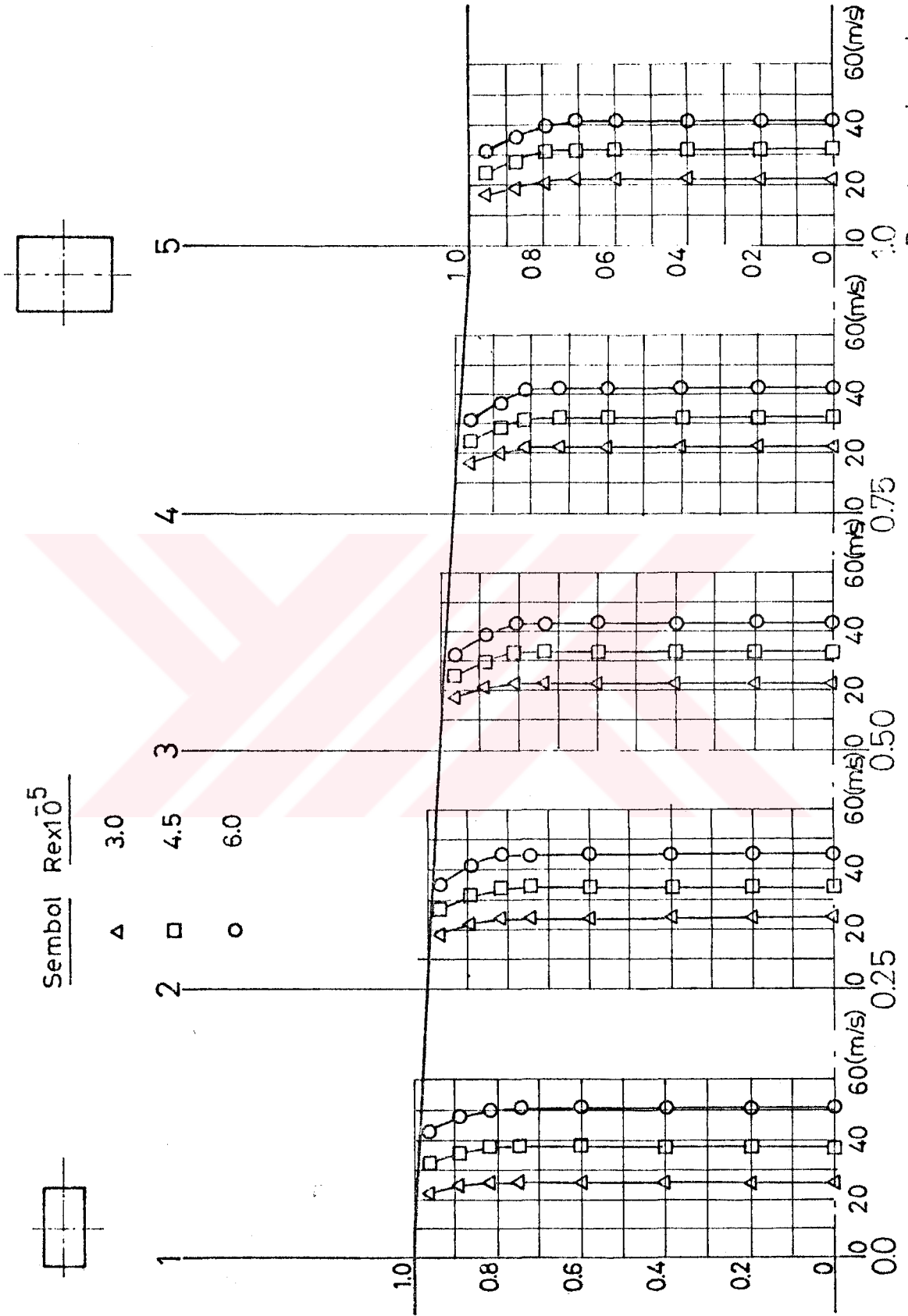
Şekil 4.12 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e=5.0^\circ$  -  $\beta=1.0$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz ekstenel uzunluk  $\bar{x}$



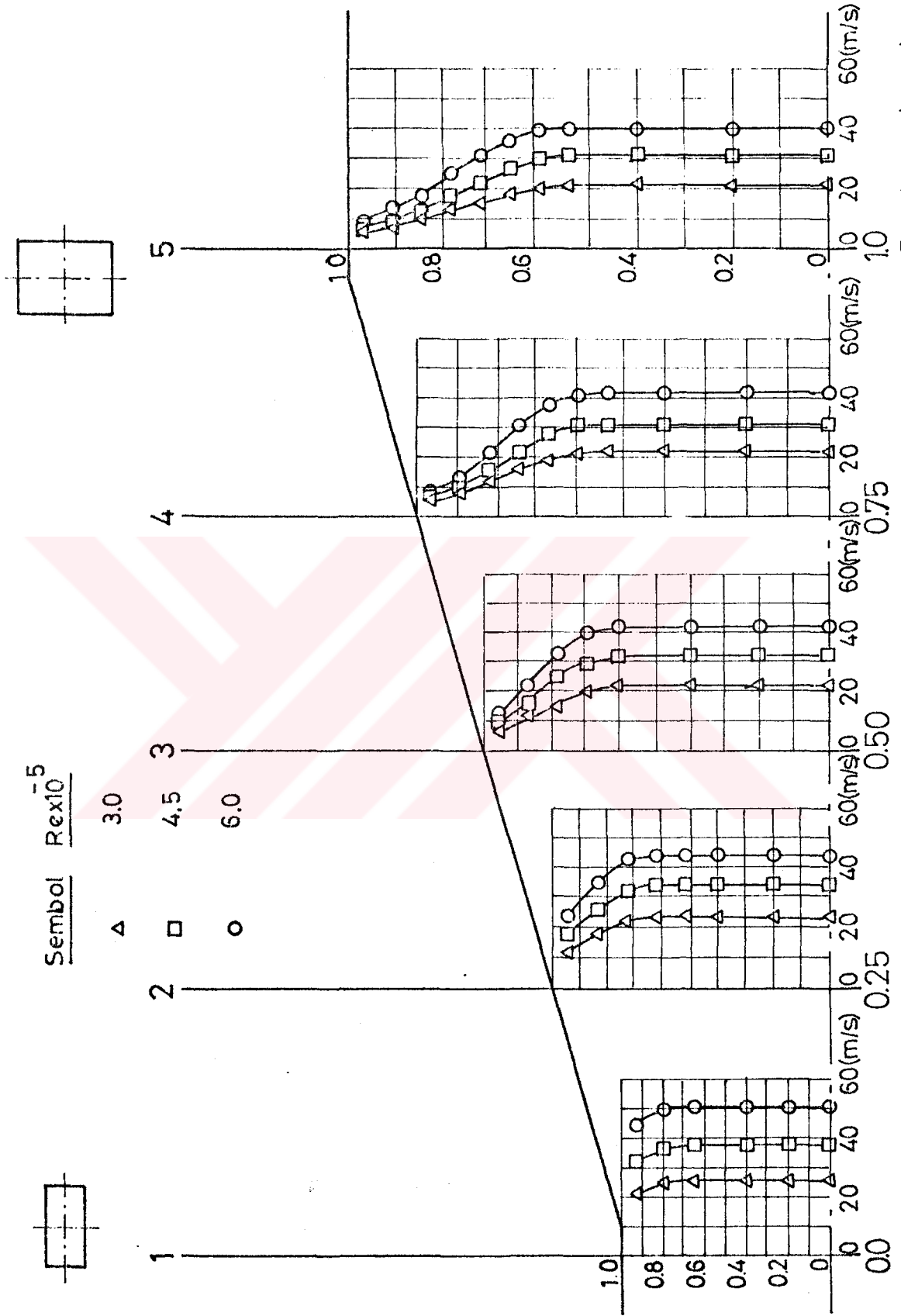
Şekil 4.13 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e=6.5^\circ - \beta=0.5$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz eksenei uzunluk  $\bar{x}$



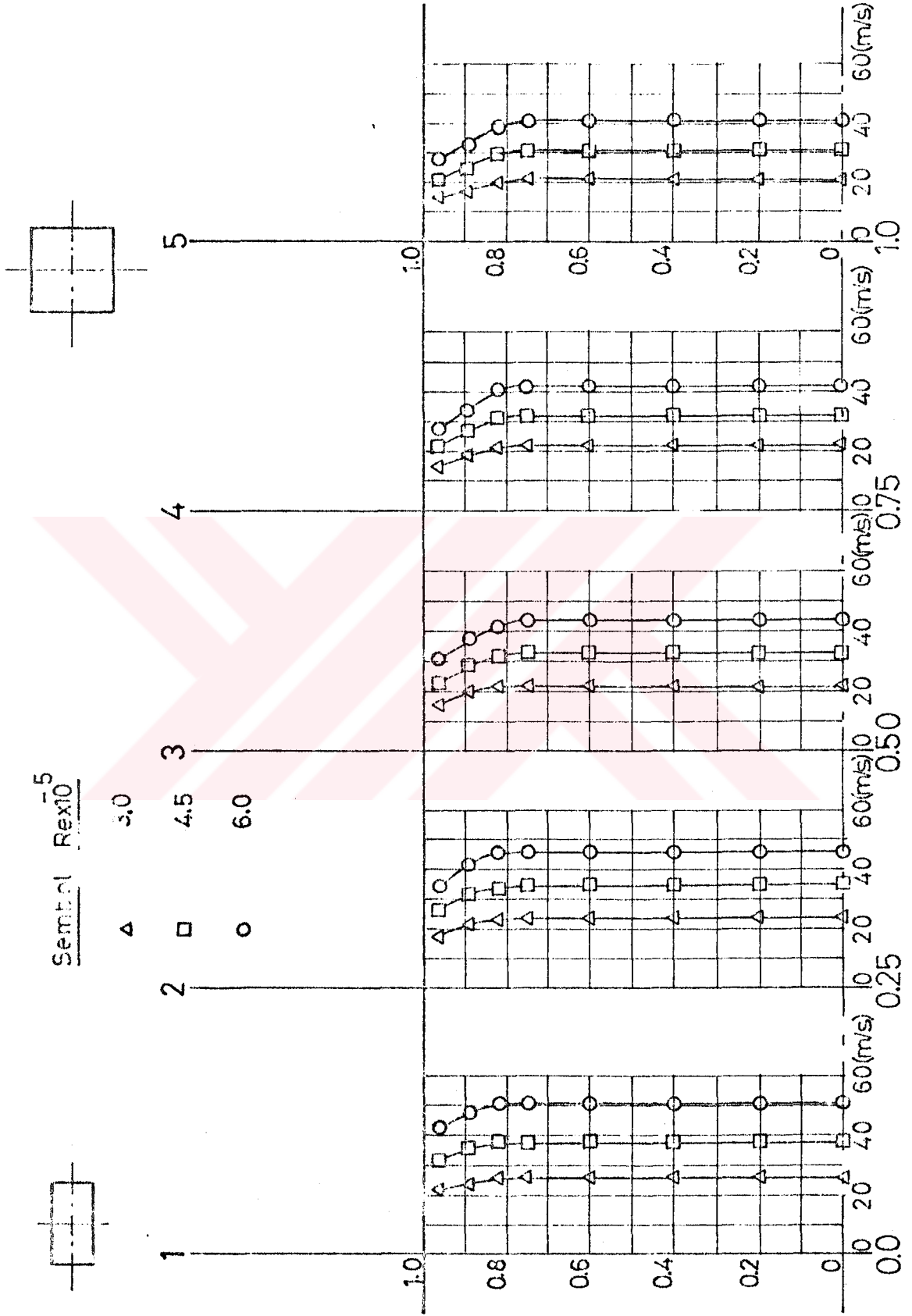
Şekil 4.14 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_c = 65^\circ$  -  $\beta = 0.5$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz eksenli uzunluk  $\bar{x}$



Şekil 4.15 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 6.5^\circ$  -  $\beta = 0.75$  - Yatay Doğrultudaki ölçümler" Boyutsuz eksenel uzunluk:  $\bar{x}$

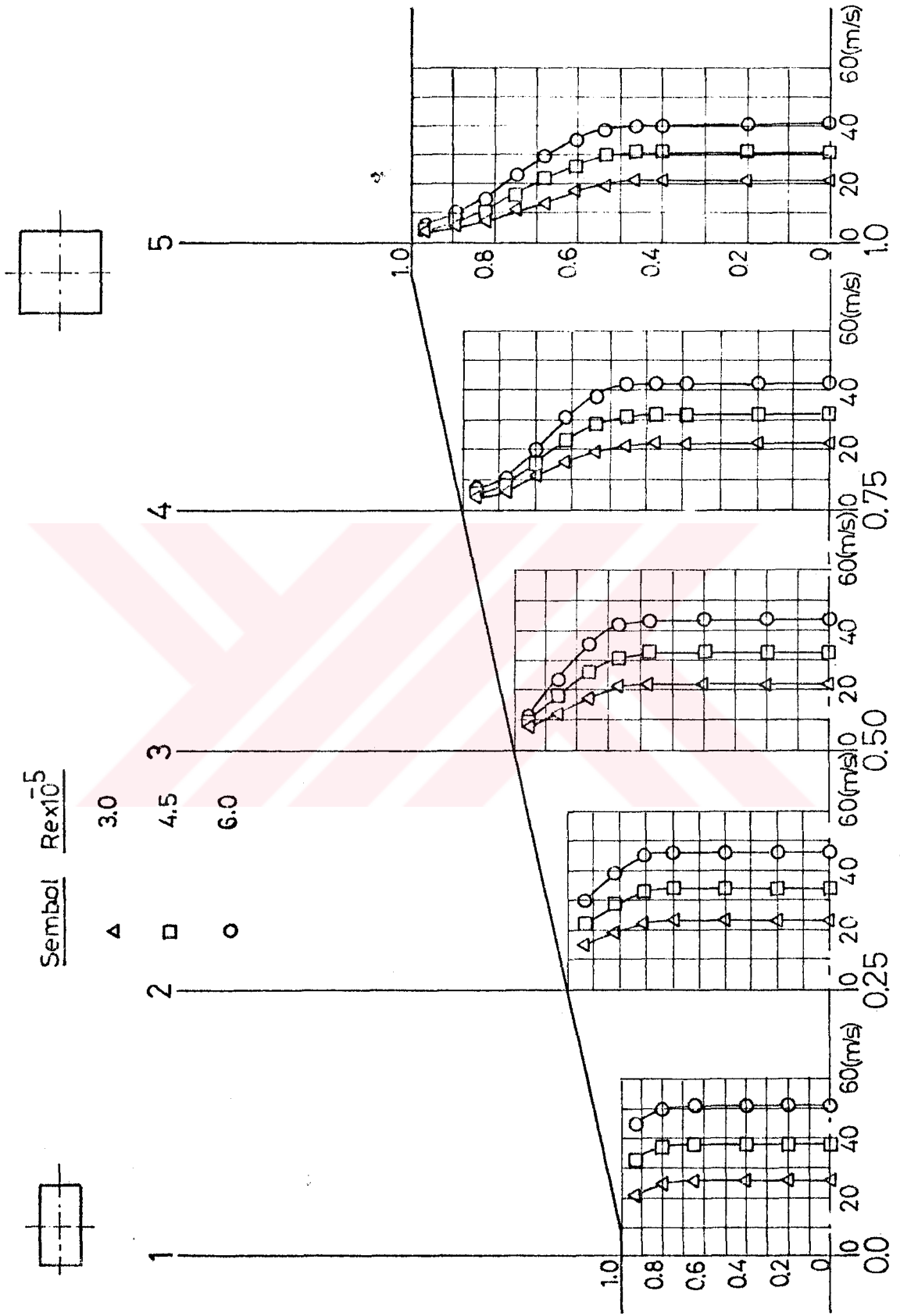


Şekil 4.16 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e=6.5^\circ$  -  $\beta=0.75$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler".  
Boyutsuz aksenal uzunluk  $\bar{x}$



Şekil 4.17 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e=6.5^\circ - \beta=1.0$  - Yatay Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz ekstenel uzunluk  $x$





Şekil 4.18 EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ " $\phi_e = 65^\circ - \beta = 10$  - Düşey Doğrultudaki Ölçümler" Boyutsuz eksenel uzunluk  $\bar{x}$

### 4.3. EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ

Geçiş borularının eksenleri boyunca üç farklı Re sayısı için çizilen yük değişim eğrileri şekil 4.19 ila 4.27 de görülmektedir,

Genel olarak bütün geçiş durumlarında artan Re sayıları ile yük kayıpları artmaktadır. Bu artış; Re sayılarının büyük değerlerinde daha fazla olmaktadır.

Çıkış kesiti kenar oranları aynı olan borularda eşdeğer koniklik açısı küçüldükçe yük kayıpları azalmaktadır. Eşdeğer koniklik açısının küçülmesi boru boyunun ve dolayısıyla sürtünme kayıplarının artmasına neden olacaktır. Sürtünme kayıpları arttığı halde toplam yük kaybının azalması, test borularında toplam yük kayıpları üzerinde ayrılma kayıplarının daha etken olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Zira boru boyunun uzamasıyla (eşdeğer koniklik açısının küçülmesi) boru cidarının eksenle yaptığı açılar küçülmekte ve böylece cıdarda oluşan ayrılma kayıpları azalmaktadır.

Aynı tip geçiş borularında ( $\beta$  ları aynı) eksen boyunca yük değişimleri aynı Re sayıları için benzer formlarda olmaktadır.

Çıkış kesiti kenar oranı 0.5 olan borularda 1. ve 3. kesitler arasındaki yük değişimi, diğer kesitler arasındaki değişimden oldukça büyüktür. Re sayısının artışıyla bu fark daha da belirginleşmektedir (şekil 4.19,4.22,4.25).

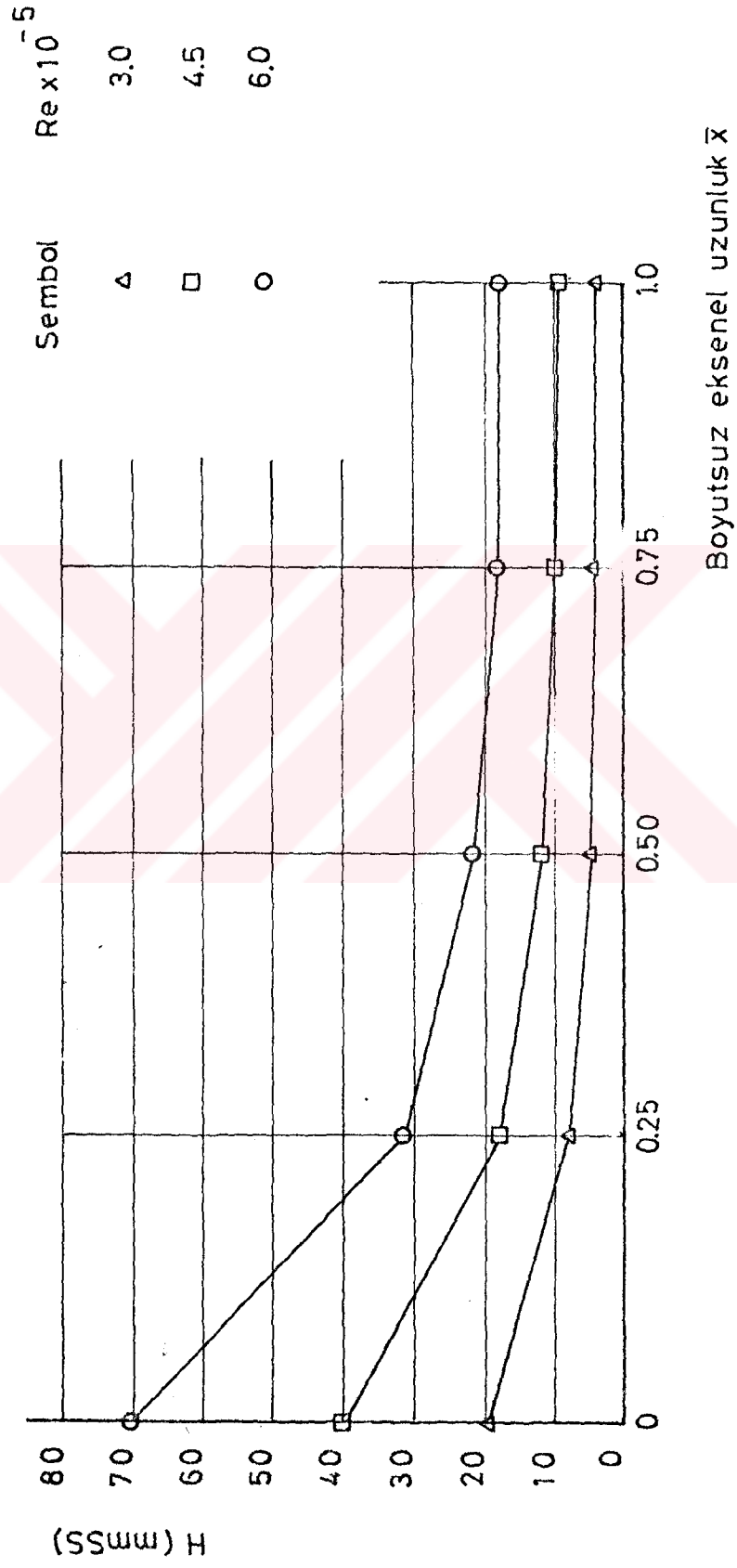
$\beta$  büyüdükçe ( $\beta=0.75$ ) 3. kesite kadar olan yük değişimiyle bu kesitten sonraki değişim arasındaki fark azalmakta (şekil 4.20,4.23,4.26) ve  $\beta=1.0$  durumunda bu değişim yaklaşık olarak lineer bir form kazanmaktadır (şekil 4.21,4.24,4.27).

Geçiş borularında çıkış kesiti kenar oranı ve Re sayısına bağlı olarak meydana gelen bu tipik yük değişimlerini, deney borularının eksenleri boyunca alan değişimlerine bağlı olarak açıklayabiliriz.

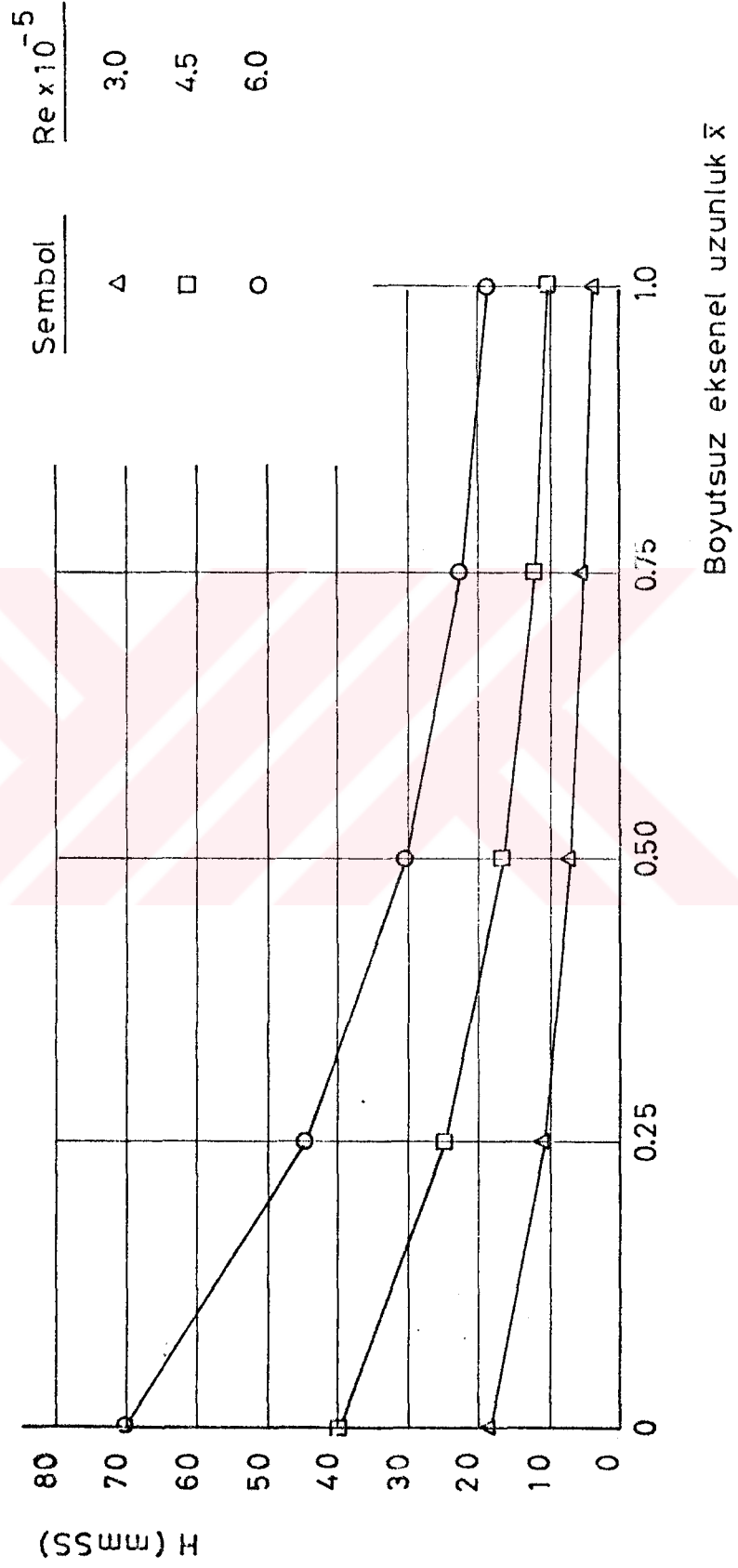
Bölüm 3.2 de geçiş borularının eksenleri boyunca alan artışlarının  $\beta$  ya bağlı olarak değişimleri detaylı olarak incelenmiş,  $\beta=1.0$  durumunda eksen boyunca alan artışının lineer olduğu, buna karşılık  $\beta \neq 1.0$  durumunda 3. kesite kadar olan alan artışının lineer artışa göre daha fazla olduğu ve  $\beta$

küçüldükçe farkın arttığı belirtilmiştir. Buna göre  $\beta$  küçüldükçe (alan artışı daha hızlı bir şekilde meydana geldikçe) boru içerisindeki akış, ani genişlemeye benzer bir etkiyle karşılaşmakta ve cidarda meydana gelen ayrılma ve girdaplar yük kayıplarının artmasına neden olmaktadır.

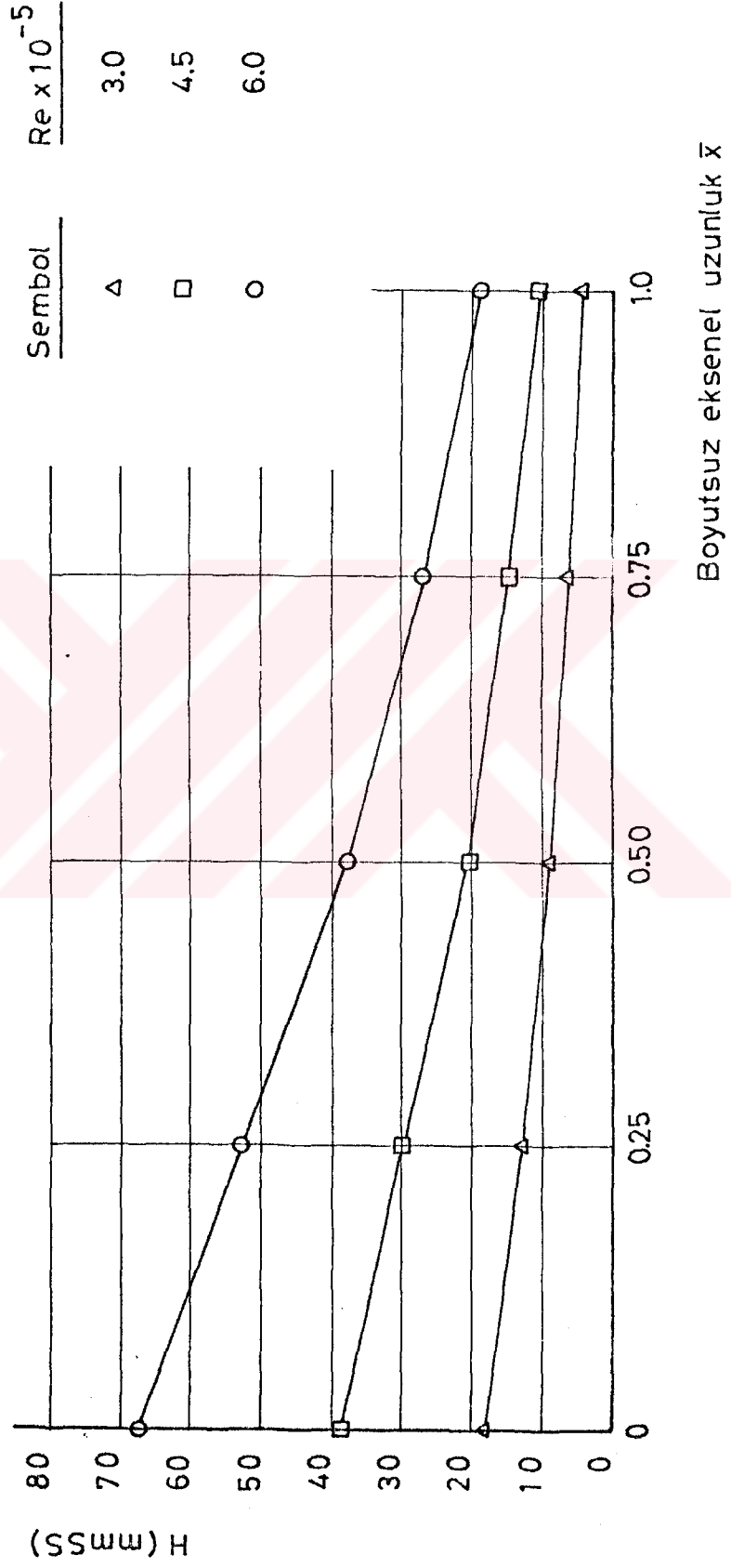




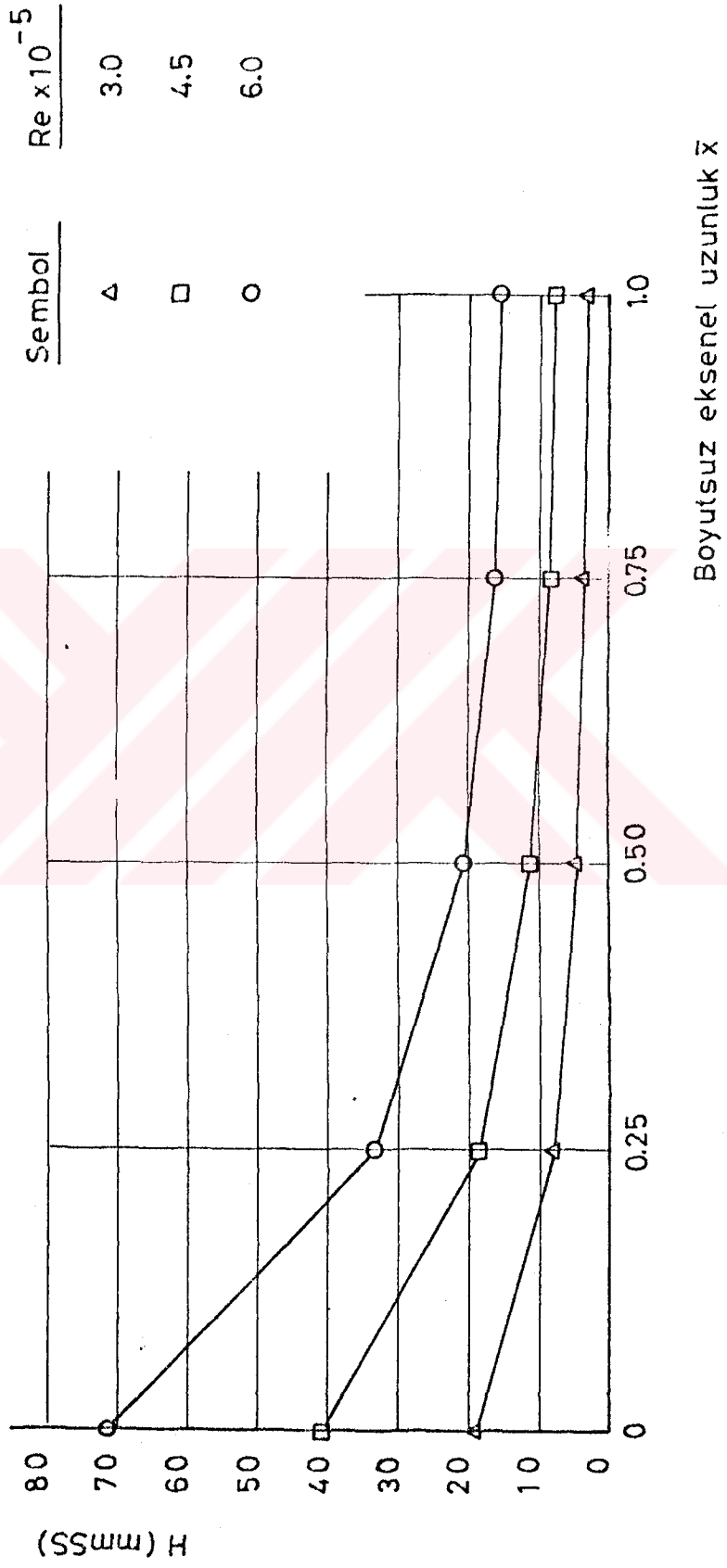
Şekil 4.19 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 3.5^\circ - \beta = 0.5$ )



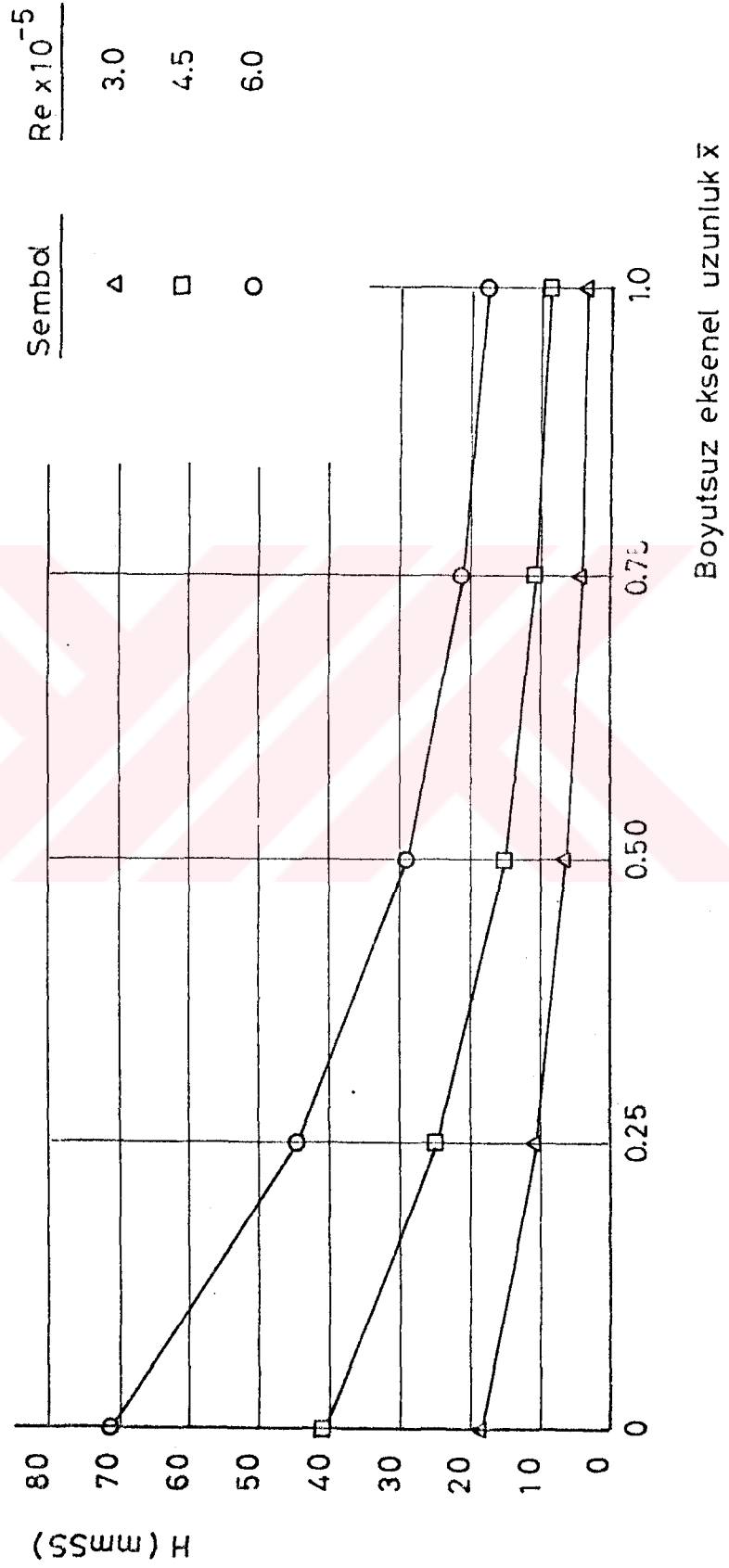
Şekil 4.20 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_g = 3.5^\circ - \beta = 0.75$ )



Şekil 4.21 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 3.5^\circ - \beta = 1.0$ )

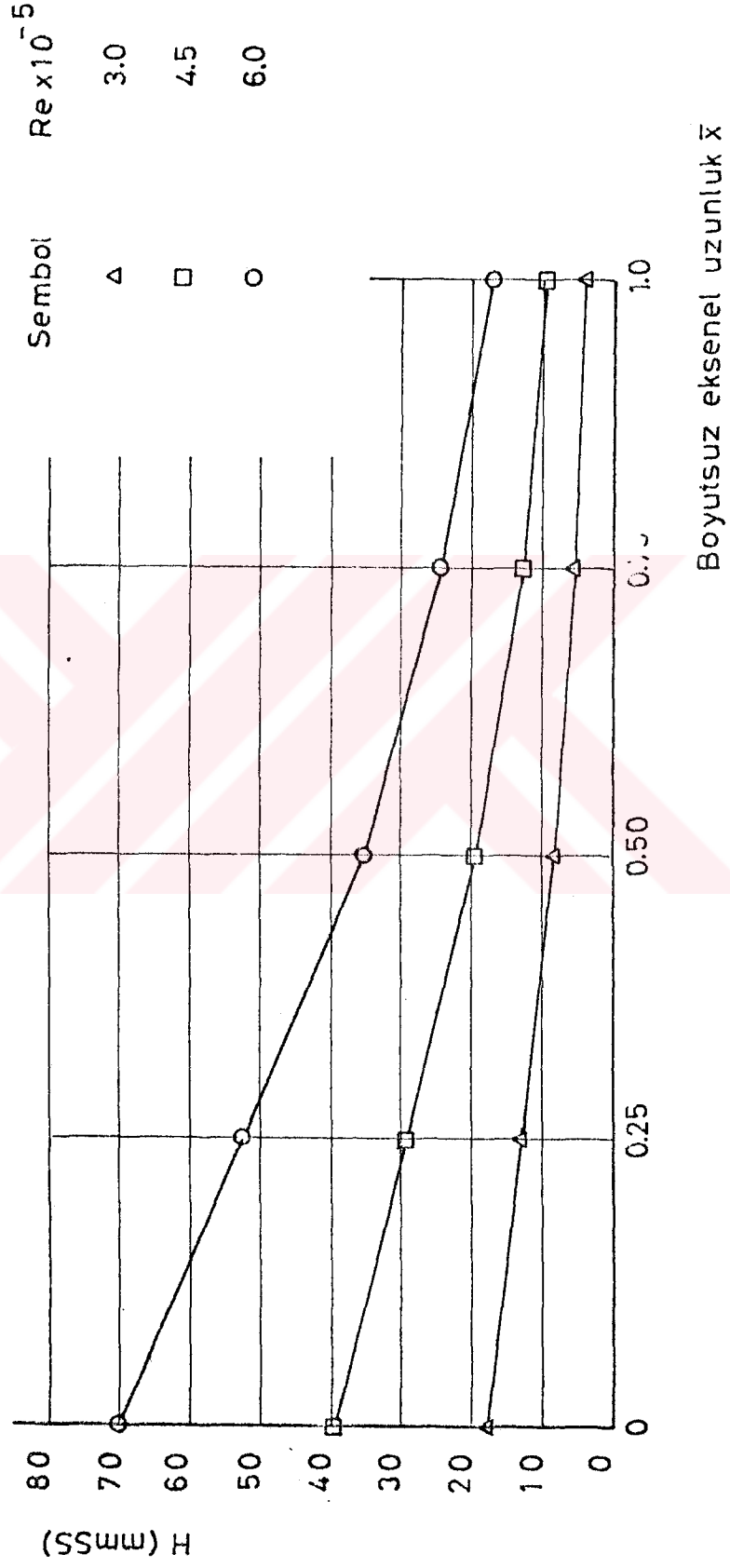


Şekil 4.22 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 5.0^\circ - \beta = 0.5$ )

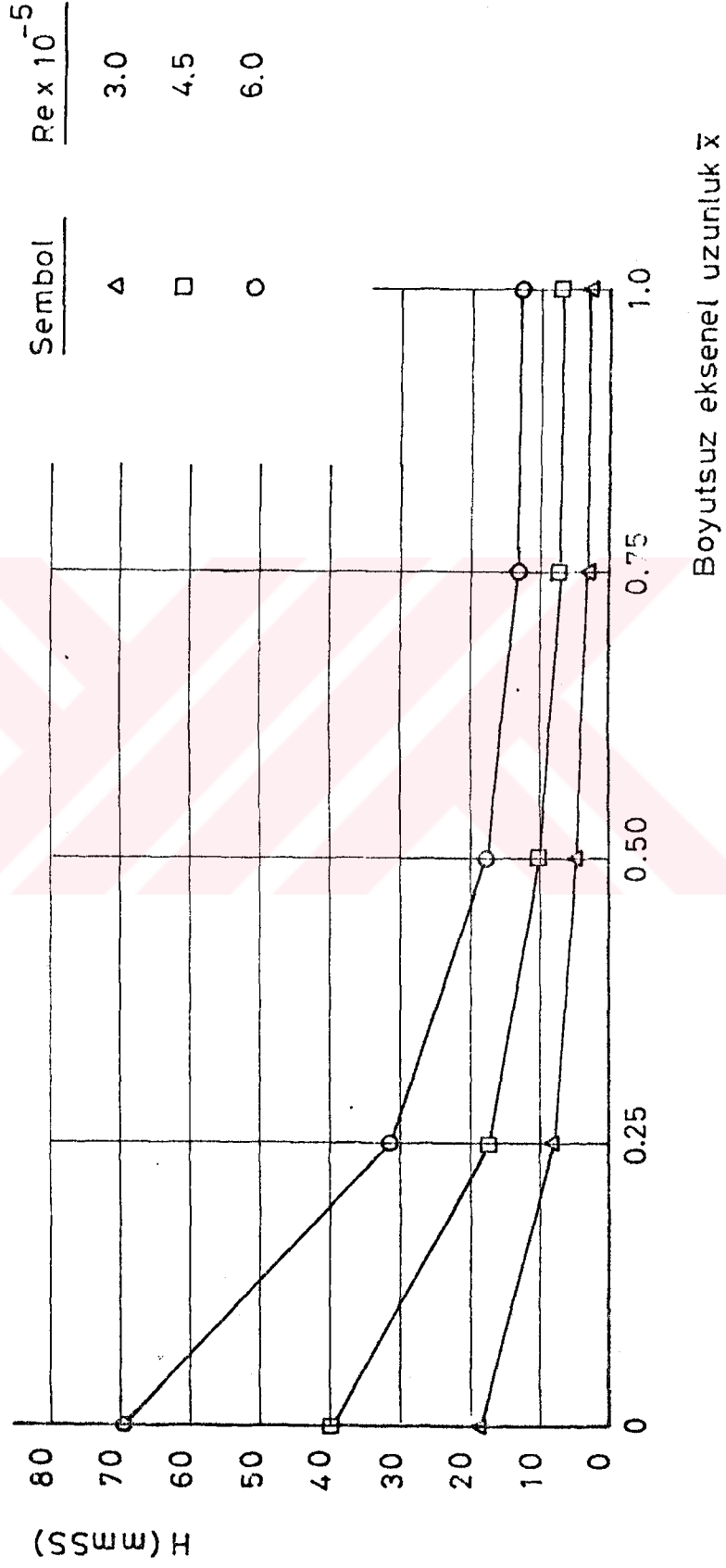


Şekil 4.23 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 5.0^\circ$  -  $\beta = 0.75$ )

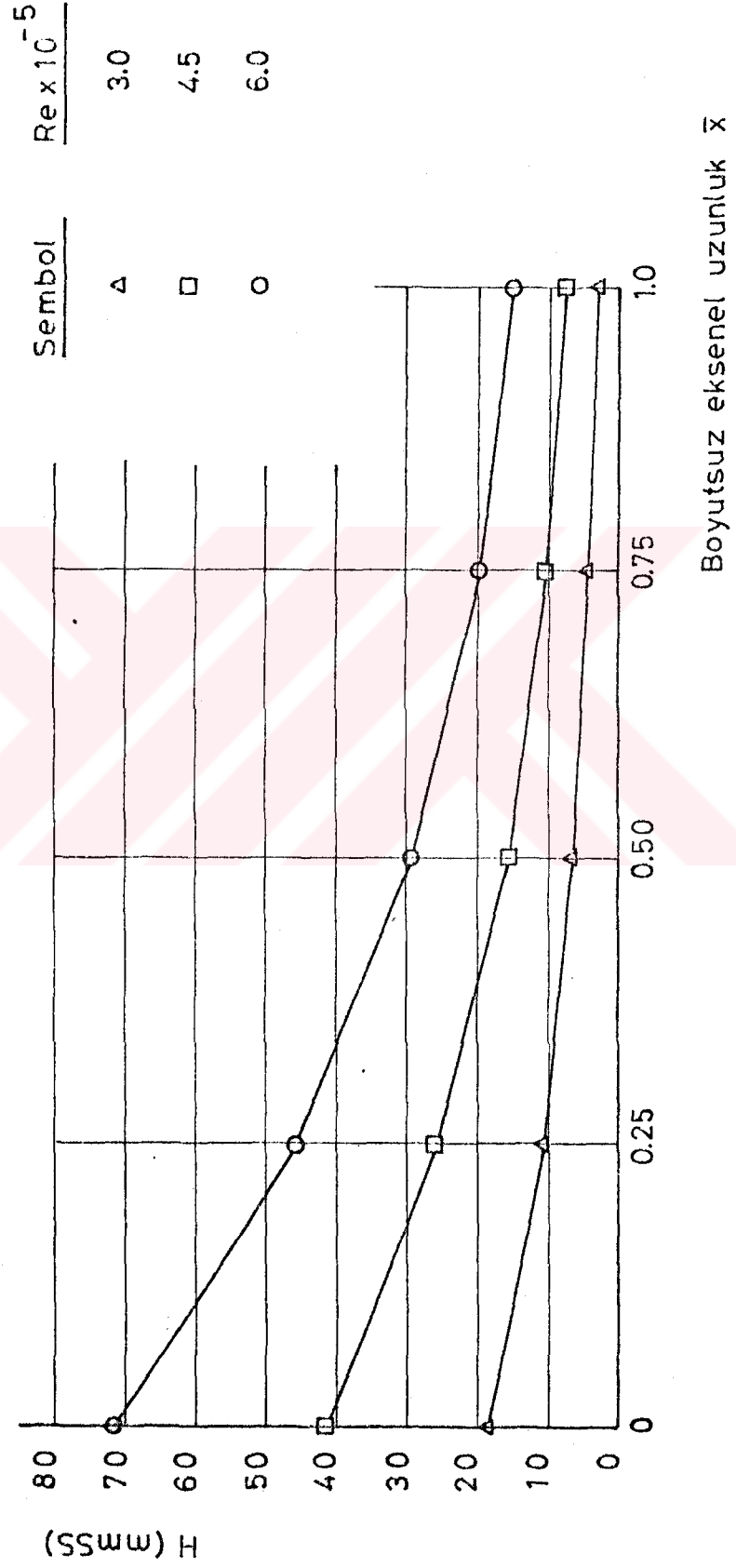




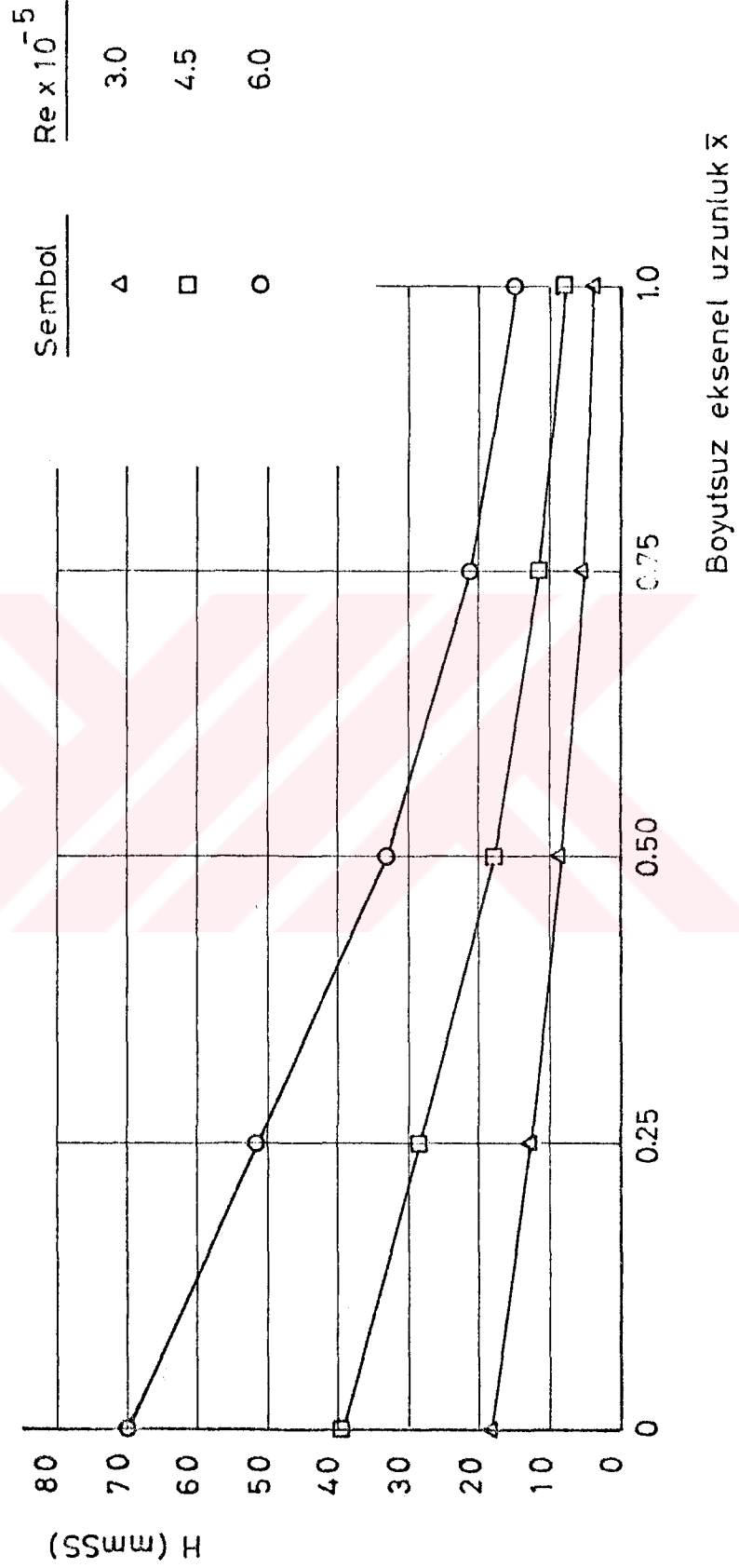
Şekil 4.24 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 5.0^\circ - \beta = 1.0$ )



Şekil 4.25 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 6.5^\circ - \beta = 0.50$ )



Şekil 4.26 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 6.5^\circ - \beta = 0.75$ )



Şekil 4.27 EKSENEL YÜK DEĞİŞİMİ  
( $\phi_e = 6.5^\circ$  -  $\beta = 1.0$ )

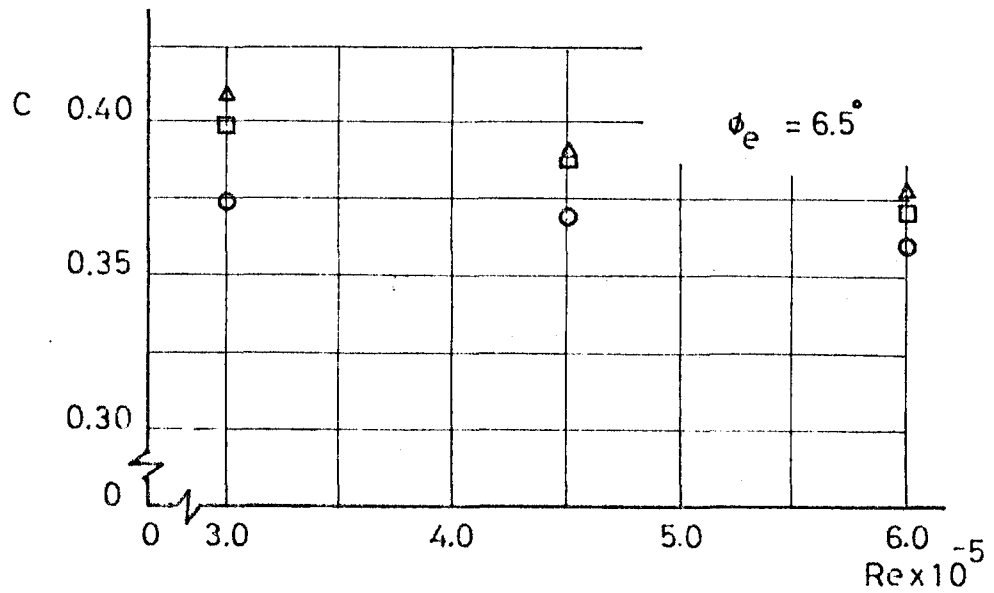
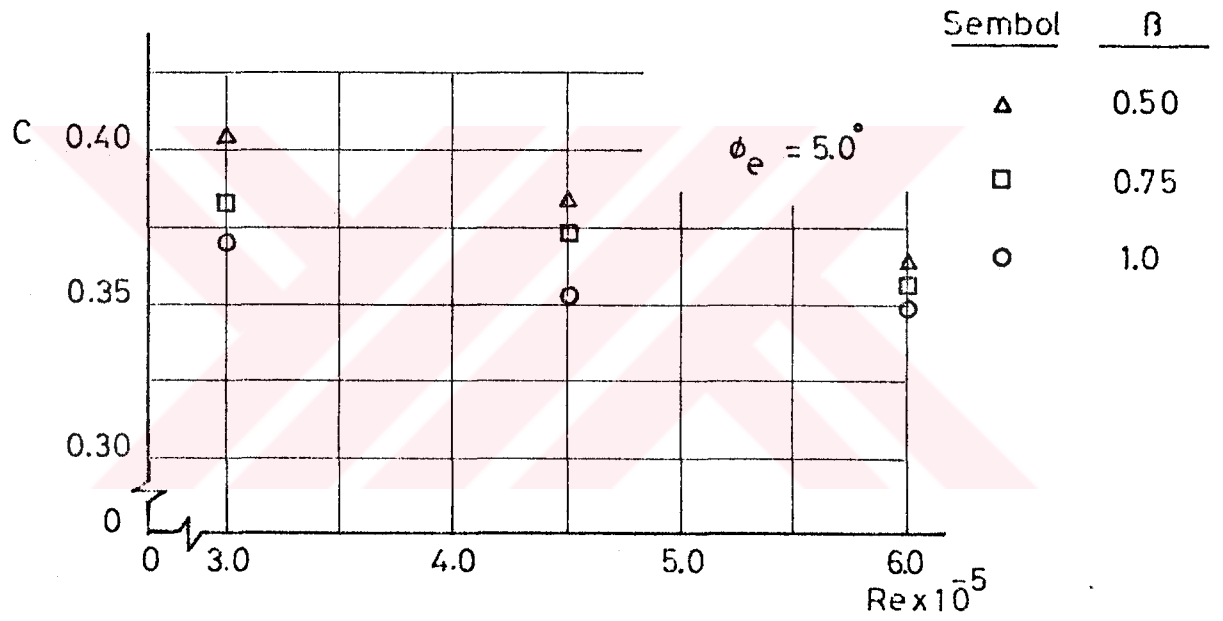
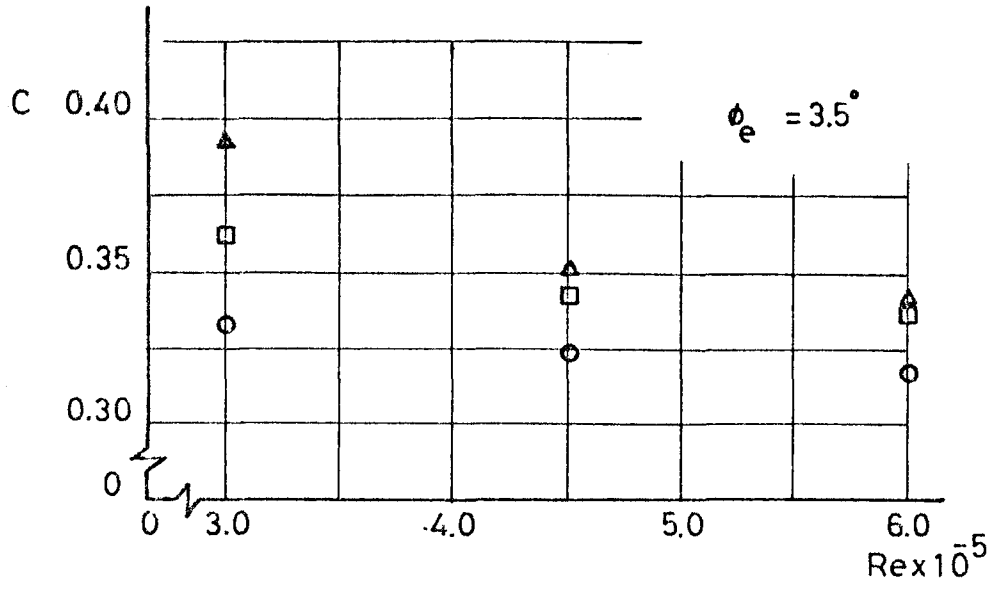
#### 4.4. YÜK KAYIP KATSAYISI

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre yük kayıp katsayısının Re sayısı ve geçiş borularının geometrileriyle ilgili diğer parametrelere göre değişimi şekil 4.28 ile 4.31 de görülmüştür.

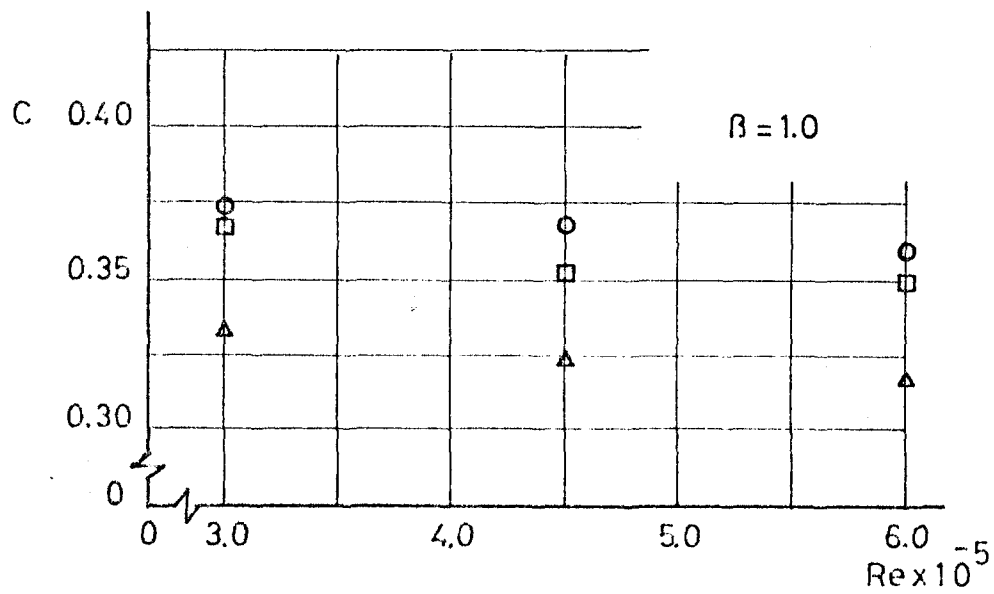
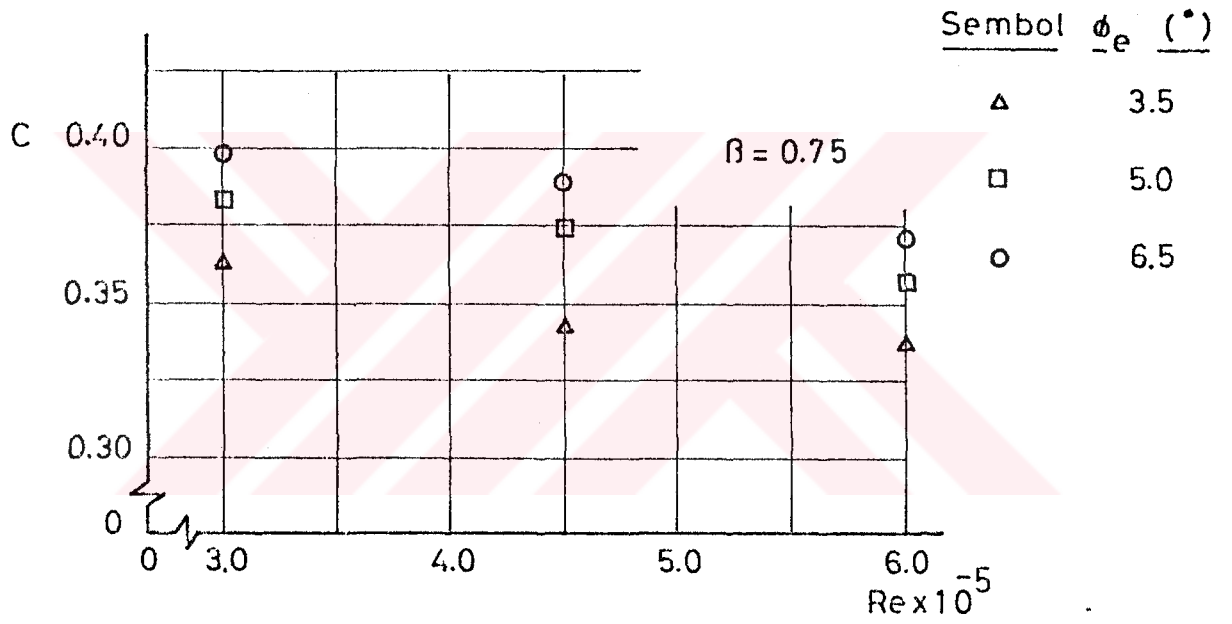
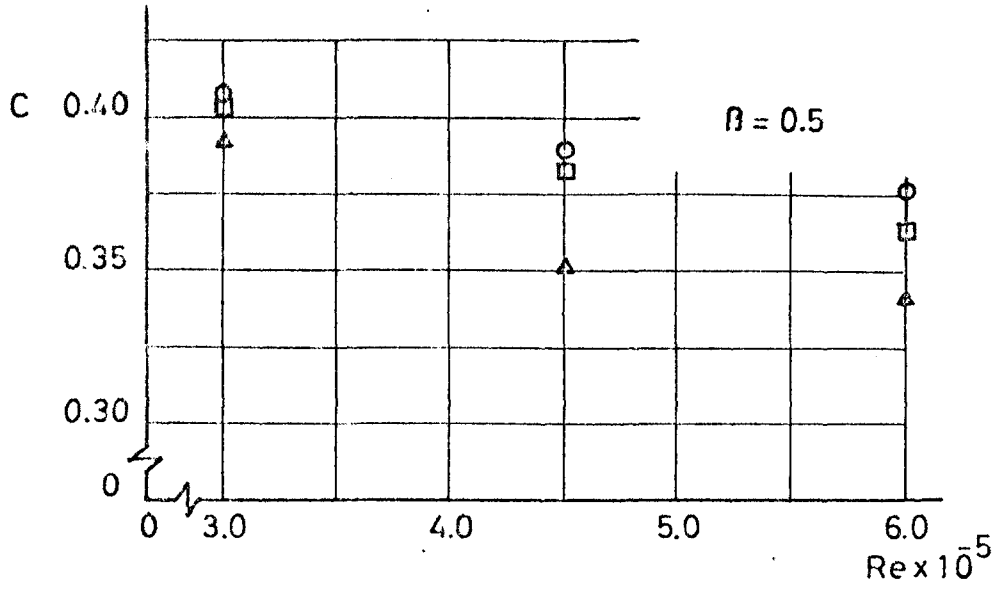
Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi deneyler Re sayısının  $3 \times 10^5$  ten  $6 \times 10^5$  e kadar olan üç değişik değeri için yapılmıştır. Buna göre yük kayıp katsayısı tüm geçiş boruları için artan Re sayısı ile birlikte düşmektedir (şekil 4.28 , 4.29).

Çıkış kesiti kenar oranının yük kayıp katsayısına etkisi ise şekil 4.30 da görülmüştür.  $\beta$  küçüldükçe yük kayıp katsayısından belirgin bir artış meydana gelmektedir. Bu artış,  $\beta$  nın küçük değerlerinde 3. kesite kadar olan hızlı alan değişimi (artan ayrılma kayıpları) ve aynı eşdeğer koniklik açısına ve fakat daha büyük çıkış kesiti kenar oranına sahip borulara göre boru boyunun daha büyük oluşundan (artan sürtünme kayıpları) kaynaklanmaktadır. Ancak burada etken faktörün alan değişimi ve dolayısıyla ayrılma kayıpları olduğu tahmin edilmektedir. Zira eşdeğer koniklik açısının küçülmesiyle boru boyu arttığı halde yük kayıp katsayıları düşmektedir (şekil 4.31).

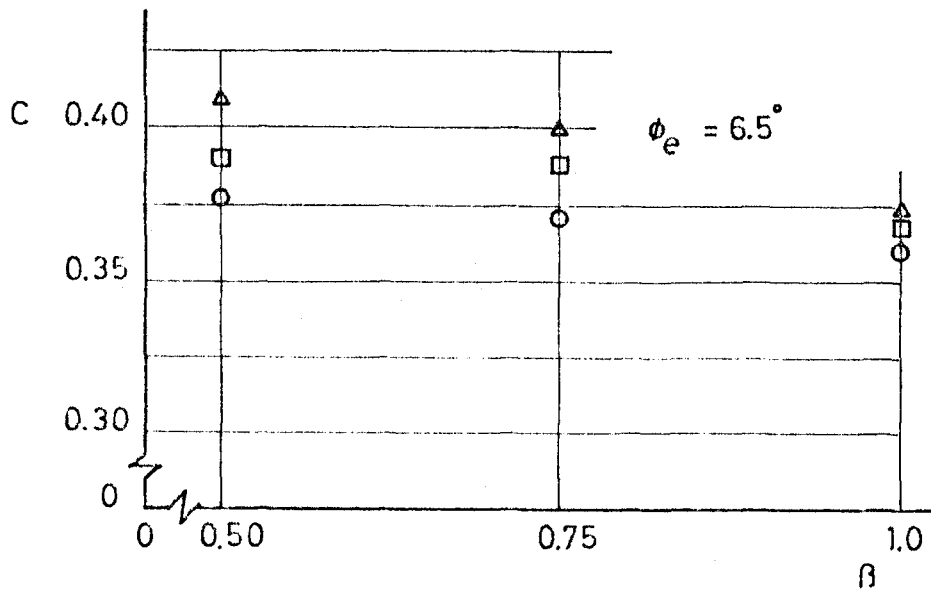
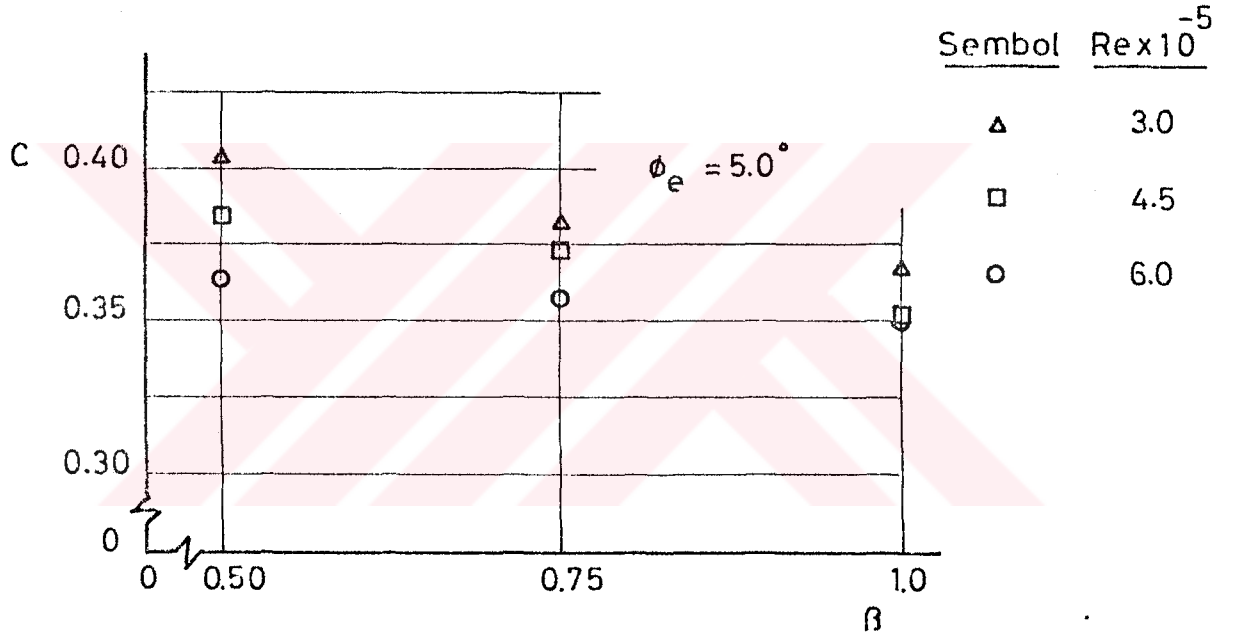
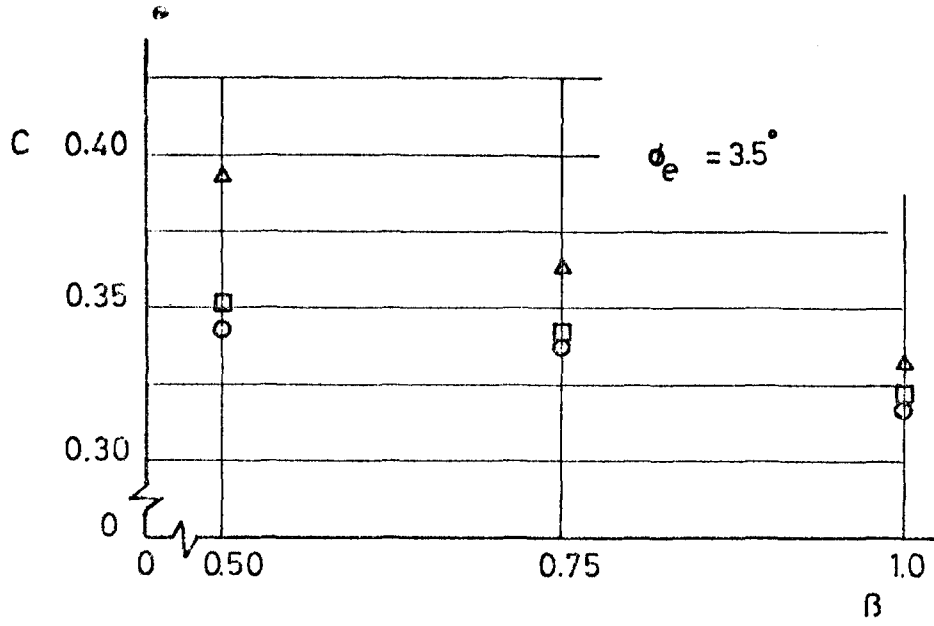
Sonuç olarak deneylerde kullanılan test borularında en büyük yük kayıp katsayısı;  $\beta=0.5$  ,  $\phi_e=6.5^\circ$  olan geçiş borusunda  $Re=3 \times 10^5$  akış koşullarından yaklaşık 0.405 olarak ve en küçük yük kayıp katsayısı da;  $\beta=1.0$  ,  $\phi_e=3.5^\circ$  olan geçiş borusunda  $Re=6.0 \times 10^5$  akış koşullarından yaklaşık 0.318 olarak belirlenmiştir (şekil 4.30,4.31).



Şekil 4.28 YÜK KAYIP KATSAYISI- $Re$  SAYISI DEĞİŞİMİ

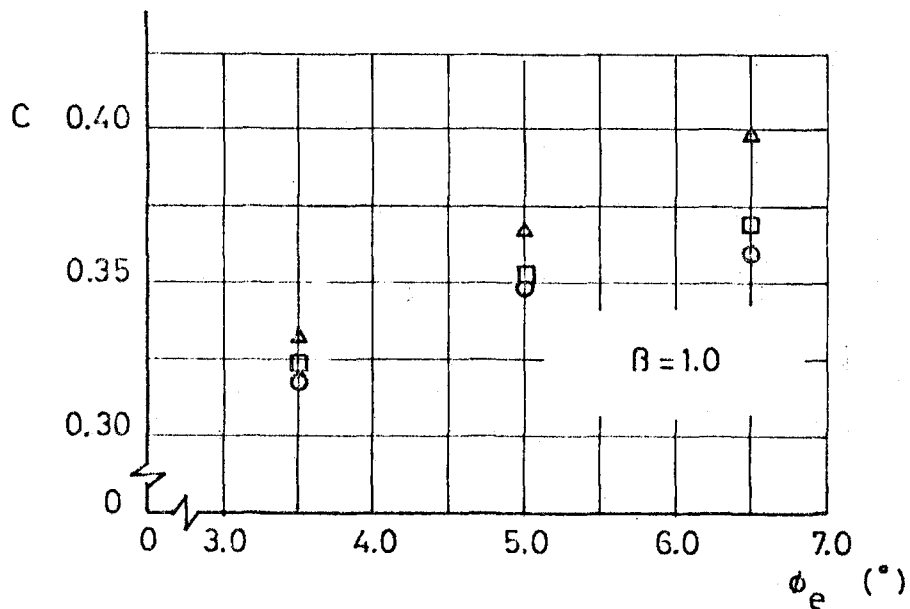
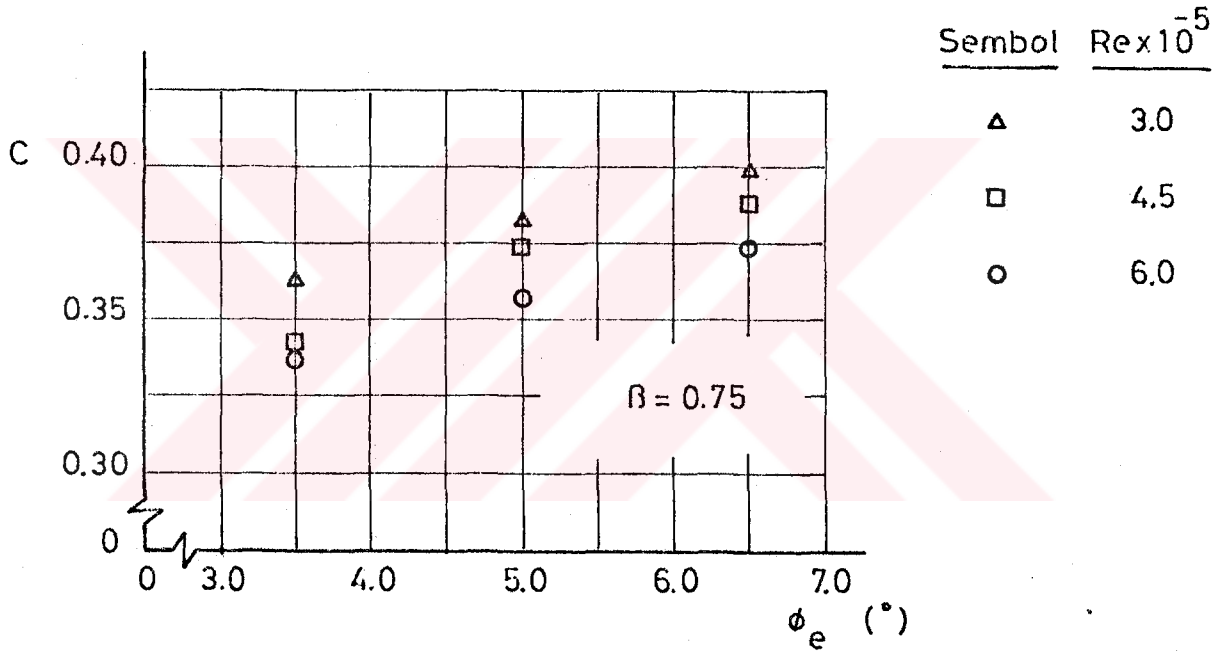
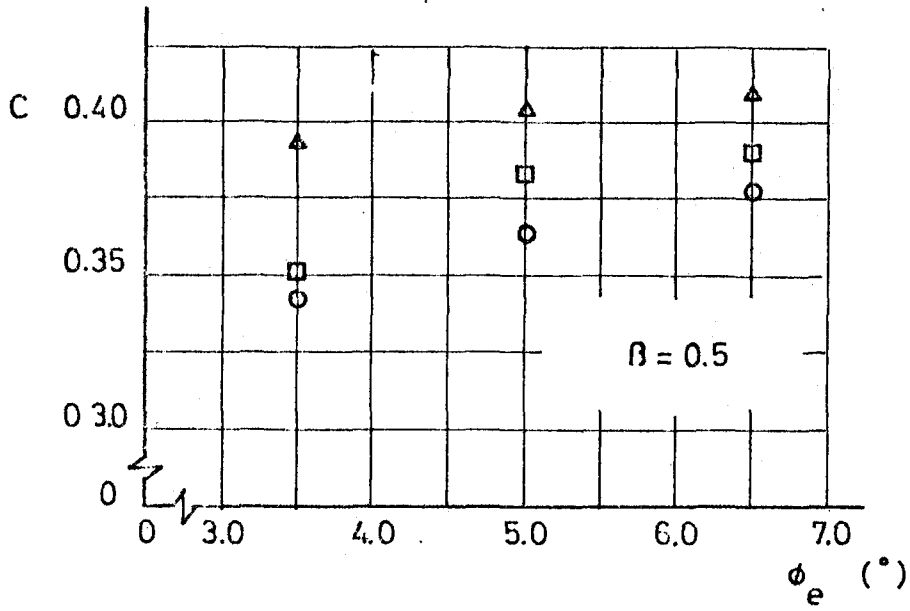


Şekil 4.29 YÜK KAYIP KATSAYISI- $Re$  SAYISI DEĞİŞİMİ



Şekil 4.30 YÜK KAYIP KATSAYISI -  $\beta$  DEĞİŞİMİ





Şekil 4.31 YÜK KAYIP KATSAYISI -  $\phi_e$  DEĞİŞİMİ

## KAYNAKLAR

- Atılğan, M.(1980).., Geçiş borularının geometrisi ve bu borulardaki akışın incelenmesi.  
K.T.Ü. Makina ve Elektrik Fakültesi, Doçentlik Tezi, Trabzon.
- Baskaran, P. and Ramamurthy, A.S.(1975).., Area distribution along transitional diffuser, Engineering, London, 828-829 pp.
- Calvert, J.R. and Atılğan, M.(1980), Pessure losses in transitions, University of Southampton, Department of Mechanical Engineering, ME/79/14.
- Dekam, E.F. and Calvert, J.R.(1985).., Pressure losses in transitions between spure and rectangular ducts of the same cross-sectional area, Int.J.Heat an Fluid Flow, Vol.6, Num.3, 212-216 pp.
- Miller, D.S.(1978).., Internal Flow System, British Hydromechanics Research Association, 5 -9 pp.
- Özgür, C.(1980).., Deneysel Hidromekanik, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 103-104 s.
- Şen, S.(1987), Geçiş borularında farklı kesit geometrileri ve boru boylarının akışa olan etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, K.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- White, F.M.(1979).., Fluid Mechanics, Mc Graw-Hill, 366 - 372 pp.

**ÖZGEÇMİŞ**

28.12.1963'te RİZE'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzon'da İsmetpaşa İlkokulu, Cumhuriyet Ortaokulu ve Trabzon Lisesi'nde tamamlayarak, 1981 yılında K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde yüksek öğrenime başladı. Dört yıllık lisans eğitimini başarıyla tamamlayarak 1985 yılında bu bölümden Makina Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen yüksek lisans öğrenimine devam etmekte olup, K.T.Ü. de Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

**T. C.**  
**Yükseköğretim Kurulu**  
**Dokümantasyon Merkezi**