

87971

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜRÇAN GÜRİSOY

**LÜLE, ORİFİS VE VENTURİMETREDE
BASINÇ KAYBININ
ARAŞTIRILMASI**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KÜTÜPHANE BÖLÜMÜ**

ADANA - 1999

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LÜLE, ORİFİS VE VENTURİMETREDE
BASINÇ KAYBININ
ARAŞTIRILMASI

GÜRCAN GÜRSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 19.02.2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

İmza *Ahmet Pinarbaşı*
Yrd.Doç.Dr.
Ahmet PINARBAŞI

İmza *Kadir Aydın*
Doç.Dr.
Kadir AYDIN

İmza *Orhan Büyükalaca*
Doç.Dr.
Orhan BÜYÜKALACA

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No: 1588



Melih Borral
Prof.Dr. Melih BORAL
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından
Desteklenmiştir.
Proje No: FBE.97YL.104

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, şekil ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki
hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ORİFİSMETRE, VENTURİMETRE VE
LÜLEDE BASINÇ KAYBININ DENEYSSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

GÜRCAN GÜR SOY

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Yrd.Doç.Dr.Ahmet PINARBAŞI

Yıl: 1999, Sayfa: 102

Jüri : Doç.Dr. Kadir AYDIN

: Doç.Dr. Orhan BÜYÜKALACA

Bu çalışmada; orifis, lüle ve venturimetrenin yerleştirildiği bir boruda, laminar ve türbülanslı akış ortamında; akış yönünde cidar statik basınç dağılımının, debi katsayısı ve basınç kaybı deneysel olarak Reynolds sayısına ve debi ölçerlerin geometrisine göre değişimi araştırılmıştır. Mevcut sonuçların, literatürden alınan sonuçlar ile mukayesesi de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: orifis metre, lüle, venturimetre, debi katsayısı, basınç katsayısı

ABSTRACT

MSc THESIS

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF
PRESSURE LOSSES IN ORIFISMETER,
VENTURIMETER AND NOZZLE**

GÜRCAN GÜRSOY

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor : Asst.Prof.Dr. Ahmet PINARBAŞI

Year: 1999, Pages: 102

Jury : Assoc.Prof.Dr. Kadir AYDIN

: Assoc.Prof.Dr. Orhan BÜYÜKALACA

In this study; effect of Reynolds number and flowmeter geometry on wall static distribution in the direction of flow, coefficient of volume flow rate and the pressure losses through the orifice, venturi and flow nozzle into the circular pipe were studied experimentally. The present results were compared with results taken from the literature.

**Key Words: Orifismeter, Venturimeter, Nozzle, Pressure Loss,
Discharge Coefficient.**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince değerli zamanlarını harcayarak çalışmalarına her zaman yön veren, bilgi ve desteğini esirgemeyen, maddi ve manevi her türlü konuda yardımlarını gördüğüm hocam sayın Prof.Dr. Beşir ŞAHİN 'e ve sayın Yrd.Doç.Dr. Ahmet PINARBAŞI 'na, ders aşamasında ve sonrasında bilgilerinden yararlanmamı sağlayan başta bölüm başkanımız hocam sayın Prof.Dr. Tuncay YILMAZ ve diğer bölüm hocalarıma, maddi ve manevi yardımlarıyla bana destek olan mesai arkadaşlarım Öğr. Gör. Nilgün İNCE, Arş. Gör. Ali KAHRAMAN ile laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan değerli mesai arkadaşlarım Mak.Müh. Nezihi ÖZKAN, Veysel KAZAZ , Cevdet YILDIRIM, Mehmet ÜNLÜ ve Mehmet AKTAŞ 'a ayrı ayrı teşekkür ederim.

Sürekli destekleriyle her türlü konuda bana yön veren değerli aileme ve eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	III
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE METOD	7
3.1. Orifismetre	7
3.1.1. Basınç Kayıp Katsayısı	9
3.1.2. Debi Katsayısı	10
3.1.3. Deney Düzenegi	12
3.1.4. Deneyin Yapılışı	13
3.2. Venturimetre	15
3.3. Lüle	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
4.1. Orifismetre ile İlgili Deneysel Bulgular	23
4.1.1. Orifis Yerleştirilmiş Borularda Eksenel Yönde Basınç Dağılımı	23
4.1.2. Debi Katsayısının Değişimi	24
4.1.3. Basınç Katsayısının Değişimi	29
4.2. Venturimetre ile İlgili Deneysel Sonuçlar	31
4.2.1. Venturi Yerleştirilmiş Borularda Eksenel Yönde Basınç Dağılımı	31
4.2.2. Debi Katsayısının Değişimi	32
4.2.3. Basınç Kayıp Katsayısının Değişimi	32
4.3. Lüle ile İlgili Deneysel Sonuçlar	32
4.3.1. Lüle Yerleştirilmiş Borularda Eksenel Yönde Basınç Dağılımı	33
4.3.2. Debi Katsayısının Değişimi	33
4.3.3. Basınç Kayıp Katsayısının Değişimi	33
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	35

KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ ..	40
EK	41



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL NO	SAYFA
Şekil 3.1. Kalınlıklarına Göre Orifis Çeşitleri	7
Şekil 3.2. Köşelerin Geometrisine Göre Orifis Tipleri	8
Şekil 3.3. Orifis metre ve Basınç Prizleri	9
Şekil 3.4. Orifis Yerleştirilmiş Bir Boruda Basınç Dağılımı	9
Şekil 3.5. Akış İçinde Orifis ve Kontrol Hacmi	10
Şekil 3.6. Deney Düzenegi	14
Şekil 3.7. Venturimetre ve Boyutları	16
Şekil 3.8. Venturimetrede Basınç Prizlerinin Yeri	17
Şekil 3.9. Lülenin Geometrik Yapısı ve Basınç Prizlerinin Konumu	19
Şekil 3.10. Boru içine Yerleştirilmiş Lüledeki Basınç Prizlerinin Konumu....	20
Şekil 3.11. Viskozite Sıcaklık Eğrisi	21
Şekil 4.1. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.4$, $t^*=1/12$	42
Şekil 4.2. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.4$, $t^*=1/8$	43
Şekil 4.3. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.4$, $t^*=1/2$	44
Şekil 4.4. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.4$, $t^*=1$	45
Şekil 4.5. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.6$, $t^*=1/12$	46
Şekil 4.6. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.6$, $t^*=1/8$	47
Şekil 4.7. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.6$, $t^*=1/2$	48
Şekil 4.8. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis), $\beta=0.6$, $t^*=1$	49
Şekil 4.9. Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, $\beta=0.8$, $t^*=1/12$	50

Şekil 4.10.	Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis) , $\beta=0.8$, $t^*=1/8$	51
Şekil 4.11.	Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis) , $\beta=0.8$, $t^*=1/2$	52
Şekil 4.12.	Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis) , $\beta=0.8$, $t^*=1$	53
Şekil 4.13.	Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis) , $\beta=0.4$, $Re=3000$	54
Şekil 4.14.	Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis) , $\beta=0.8$, $Re=3000$	55
Şekil 4.15.	Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis) , $Re=1000$	56
Şekil 4.16.	Basınç Dağılımının Boru Boyunca Değişimi, (orifis) , $\beta=0.6$, $\beta=0.8$	57
Şekil 4.17.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $\beta=0.4$	58
Şekil 4.18.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $\beta=0.6$	59
Şekil 4.19.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $\beta=0.8$	60
Şekil 4.20.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $\beta=0.4$, $t^*=1/12$	61
Şekil 4.21.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $\beta=0.6$, $t^*=1/12$	62
Şekil 4.22.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $\beta=0.8$, $t^*=1/12$	63
Şekil 4.23.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $\beta=0.6$, $\beta=0.8$, $t^*=1/12$, $t^*=1$	64
Şekil 4.24.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $t^*=1$	65

Şekil 4.25. Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $t^*=1/2$..	66
Şekil 4.26. Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $t^*=1/8$..	67
Şekil 4.27. Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $t^*=1/12$..	68
Şekil 4.28. Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis) , $t^*=1/12, t^*=1$..	69
Şekil 4.29. Debi Katsayısının Orifis Açıklık Oranına Göre Değişimi, $t^*=1$	70
Şekil 4.30. Debi Katsayısının Orifis Açıklık Oranına Göre Değişimi, $t^*=1/2$.	71
Şekil 4.31. Debi Katsayısının Orifis Açıklık Oranına Göre Değişimi, $t^*=1/8$..	72
Şekil 4.32. Debi Katsayısının Orifis Açıklık Oranına Göre Değişimi, $t^*=1/12$	73
Şekil 4.33. Debi Katsayısının Orifis Açıklık Oranına Göre Değişimi $Re=3000$	74
Şekil 4.34. Debi Katsayısının Orifis Kalınlık Oranına Göre Değişimi, $\beta=0.4$	75
Şekil 4.35. Debi Katsayısının Orifis Kalınlık Oranına Göre Değişimi, $\beta=0.6$	76
Şekil 4.36. Debi Katsayısının Orifis Kalınlık Oranına Göre Değişimi, $\beta=0.8$	77
Şekil 4.37. Debi Katsayısının Orifis Kalınlık Oranına Göre Değişimi , $Re=3000$	78
Şekil 4.38. Basınç Kayıp Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis), $t^*=1$..	79
Şekil 4.39. Basınç Kayıp Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (orifis), $t^*=1/12$..	80
Şekil 4.40. Basınç Kayıp Katsayısının Orifis Açıklık Oranına Göre Değişimi, $t^*=1$..	81
Şekil 4.41. Basınç Kayıp Katsayısının Orifis Açıklık Oranına Göre Değişimi, $t^*=1/12$..	82
Şekil 4.42. Basınç Kayıp Katsayısının Orifis Kalınlık Oranına Göre Değişimi, $\beta=0.4$..	83
Şekil 4.43. Basınç Kayıp Katsayısının Orifis Kalınlık Oranına Göre	

	Değişimi, $\beta=0.6$..	84
Şekil 4.44.	Basınç Kayıp Katsayısının Orifis Kalınlık Oranına Göre Değişimi, $\beta=0.8$..	85
Şekil 4.45.	Venturimetre Yerleştirilmiş Boruda Akış Yönünde Basınç Dağılımı, (venturi), $\beta=0.6$, $2\theta_1=21^\circ$, $2\theta_2=10^\circ$..	86
Şekil 4.46.	Venturimetre Yerleştirilmiş Boruda Akış Yönünde Basınç Dağılımı, (venturi), $\beta=0.8$, $2\theta_1=21^\circ$, $2\theta_2=10^\circ$..	87
Şekil 4.47.	Venturimetre Yerleştirilmiş Boruda Akış Yönünde Basınç Dağılımı, (venturi), $Re=3000$, $2\theta_1=21^\circ$, $2\theta_2=10^\circ$..	88
Şekil 4.48.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi , (venturi), $2\theta_1=21^\circ$, $2\theta_2=10^\circ$..	89
Şekil 4.49.	Debi Katsayısının Açıklık Oranına Göre Değişimi, (venturi).....	90
Şekil 4.50.	Basınç Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (venturi)	91
Şekil 4.51.	Basınç Katsayısının Açıklık Oranına Göre Değişimi, (venturi), $2\theta_1=21^\circ$, $2\theta_2=10^\circ$..	92
Şekil 4.52.	Boyutsuz Basınç Farkının Boyutsuz Boru Boyuna Göre Değişimi, (lüle), $\beta=0.4$..	93
Şekil 4.53.	Boyutsuz Basınç Farkının Boyutsuz Boru Boyuna Göre Değişimi, (lüle), $\beta=0.6$..	94
Şekil 4.54.	Boyutsuz Basınç Farkının Boyutsuz Boru Boyuna Göre Değişimi, (lüle), $\beta=0.8$..	95
Şekil 4.55.	Boyutsuz Basınç Farkının Boyutsuz Boru Boyuna Göre Değişimi, (lüle), ..	96
Şekil 4.56.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (lüle), $\beta=0.4$	97
Şekil 4.57.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (lüle), $\beta=0.6$	98
Şekil 4.58.	Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi, (lüle), $\beta=0.8$	99

Şekil 4.59. Debi Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi (lüle)	100
Şekil 4.60. Basınç Kayıp Katsayısının Açıklık Oranına Göre Değişimi	101
Şekil 4.61. Basınç Kayıp Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimi ...	102



SİMGELER VE KISALTMALAR

ρ	Yoğunluk
d	Orifis Çapı, Venturi Çapı, Lüle Çapı
D	Boru Çapı
β	Açıklık Oranı (d/D)
A	Alan
t	Orifis kalınlığı
t^*	Kalınlık Oranı (t/D)
U	Hız
m	Debi
P	Basınç
ΔP	Basınç Farkı
ΔP^*	Boyutsuz Basınç , $\Delta P/(\rho \cdot U^2)$
L	Boru Uzunluğu
C_d	Debi Katsayısı
Re	Reynolds Sayısı
ν	Kinematik Viskozite
g	Yerçekimi İvmesi
L^*	Boyutsuz Boru Mesafesi
θ_1	Girişteki koniklik açısı (lüle)
θ_2	Çıkıştaki koniklik açısı (lüle)

1.GİRİŞ

Debi ölçümü, akışın bulunduğu endüstriyel tesislerde önemli bir konudur. Bu nedenle debi ölçmek için birçok cihaz geliştirilmiştir. Debi ölçümü, genel olarak mekanik ve basınç kaybı ilkesine göre çalışan sistemler olarak iki kısımda incelenebilirler.

Kullanılan ölçme yöntemlerinden en yaygın olanı orifisetrelerdir. Akış yolu üzerinde kesit daralmasından faydalanılarak elde edilen basınç değerlerine göre akışın miktarını belirlemek, en basit yöntem olan orifis plakalarıyla ölçmek mümkün olmaktadır. Şu ana kadar orifis plakaları ile debi ölçme prensibi üzerinde birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmış ve orifis öncesi ile sonrası akış karakteristikleri çıkarılarak kullanılacak orifis plakalarının boyutları standardlaştırılmıştır. Orifisetrelerin imalatlarının kolay olması, kalibrasyona gerek duymaması, akış içerisindeki zor şartlara dayanabilmesi, birçok endüstri tesislerinde kullanıma açık hale gelmesine neden olmuştur. Sonuç olarak, ekonomik açıdan imalatlarının kolaylığı, işletme giderinin az olması orifisetrelere yönelmenin açık nedenidir. Özellikle doğalgaz tesislerinde akış ölçümünde orifisetreler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde kullanılan bir diğer akış ölçer venturimetrelerdir. Geometrilere dolaylı yük kayıpları diğer akış ölçerlere göre daha azdır. Özellikle uçaklardaki itme sistemlerinin test edilmesinde, akışkan olarak sıvı gaz karışımının bulunduğu sistemlerde, plastik, boya, kağıt ve deri sanayinde venturiler yaygın olarak akışın ölçülmesinde kullanılırlar. Bunlardan başka, akış ölçmek için lüle sistemleri de endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır.

Ekonomik açıdan kayıpların en aza indirilmesi için, kullanılan sistemin olduğu yerdeki akış karakteristiklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Bunların yanısıra, kullanılacak sistemde akış karakteristiğine etki edecek katsayıların da çıkarılması ve bunların da ölçümde kullanılması gerekmektedir.

Düşük Reynold sayılarında viskoz kuvvetlerin akışa etkisi oldukça büyüktür. Bu kuvvetlerin büyüklüğü akış karakteristiklerini önemli miktarda etkilemektedir.

Bu çalışmada, deneyler Reynolds sayısının $200 \leq Re_o \leq 6000$ aralığında yapılmış olup, akış karakteristiği incelenmiş ve ortaya çıkan sonuçlar irdelenmiştir. Reynolds sayısı, Re_o , orifis metre, lüle ve venturimetrenin küçük çapına göre $Re = \rho d u / \mu$ olarak belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Endüstriyel tesislerde sık kullanılması nedeniyle basınç farkı ilkesine göre çalışan cihazlar üzerinde birçok çalışmalar yapılmıştır. Sistemde akışın miktarını ölçmek için kullanılan ilk akış ölçerin Romalılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir.

JOHANSEN (1930), orifis kalınlık oranının $t^*=1/12$ ve orifis açıklık oranının $0.2 < \beta < 0.8$ değerleri için ve orifisin boru çapına göre tanımlanmış Reynolds sayısının $0 < Re_D < 57000$ değerleri için debi katsayısını deneysel olarak hesaplamıştır. Çalışmasında çıkış köşelerinde 45° 'lik eğimi olan orifisler kullanmıştır. Deneysel sonuçlarda orifis açıklık oranı arttıkça debi katsayısının artışı ve türbülanslı bölgede debi katsayısının değişiminin laminar bölgeye nazaran çok daha az olduğunu ve nihayetinde sabit değerler aldığını gözlemiştir.

SPRENKLE (1960), pratikte kullanılan orifis tipleri ve basınç prizlerinin yerleri hakkında genel bilgiler vermiştir. Ayrıca bir bağlantıdan sonra düz boruya giren akışta orifisin yerleştirilebileceği mesafe konusunda araştırmalar yapmıştır.

Dairesel kesit alanlı borulara yerleştirilmiş orifislerdeki; daimi, eksenel-simetrik, viskoz, sıkıştırılmaz akışın yapısı, iki boyutlu Navier-Stokes denklemleri Mills (1968) tarafından sonlu farklar yöntemi ile sayısal olarak çözülerek incelenmiştir. Mills (1968), bu çalışmasında, açıklık oranı $\beta=0.5$ değeri için Reynolds sayısının $Re_o=0\sim 50$ aralığında akım çizgileri ve girdap bölgelerini belirlemiştir. Teorik olarak elde etmiş olduğu debi çıkış katsayısını Johanson 'un (1930) deneysel neticeleriyle uyum içinde olduğunu da vurgulamıştır.

ZAMPAGLIONE (1969), Reynolds sayısının $Re_o=400$ değerine kadar orifis açıklık oranının $0.2 < \beta < 0.7$ aralığında değişen 7 değeri için orifis akış karakteristiklerini deneysel olarak elde etmiştir.

LAKSHMANA RAO ve ark., (1972), Reynolds sayısının $Re_o=2000$ değerine kadar keskin köşeli ve yuvarlatılmış orifislerde orifis akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemişler fakat, orifis kalınlık oranının sadece $t^*=0.2$ değeri için çalışmışlardır.

GREENSPAN (1973), aralarında orifislerin de bulunduğu değişik akış ölçer geometrileri için sadece akım fonksiyonu eğrilerini hesaplamış, diğer sonuçlara değinmemiştir. Çalışmasında kendi geliştirdiği iteratif bir metodu kullanmıştır.

CROCKETT ve ark. (1973), orifis geometrisinin akış katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Akışın temasta bulunduğu orifisin iç yüzeyinin kare köşeli, köşeleri düzeltilmiş veya yuvarlatılmış geometrik şekillerin akış katsayısının değişimine neden olduğu gözlenmiştir.

STOLZ (1978), yapmış olduğu çalışmada, basınç prizlerinin çeşitli konumlarında, yüksek Reynolds sayılarındaki orifis debi katsayısının tayini için, orifis açıklık oranına ve orifis Reynolds sayısına bağlı formüller geliştirmişlerdir.

ALVI ve ark. (1978), orifis akış karakteristiklerini, yuvarlatılmış köşeli orifisler, keskin köşeli orifisler ve lüleler için açıklık oranının $0.2 < \beta < 0.8$ ve boru çapına göre tanımlanmış Reynolds sayısının $0 < Re_D < 10.000$ değerleri için deneysel olarak incelemişlerdir.

NIGRO ve ark. (1978), keskin köşeli orifis, kare köşeli orifis ve plaka orifisler için nümerik çözümler yapıp debi katsayısını değişen açıklık oranları için hesaplamışlardır. Ayrıca akım çizgileri ve girdap eğrilerinin oluşumlarını da teorik olarak incelemişlerdir.

GROSE (1983), boru çapına göre tanımlanmış Reynolds sayısının $0 \leq Re_D \leq 50$ aralığında, viskoziteyi de dikkate alan bir analitik ifade sunmuş ve teorik sonuçlarının literatürde mevcut olan deneysel verilerle karşılaştırmasını yapmıştır. Netice olarak orifis debi katsayısının Reynolds sayısı $Re_o = 0 \sim 50$ ile değişimini incelemiştir.

TEYSSANDIER ve ark. (1987), orifis açıklık oranının $0.3 < \beta < 0.7$ ve boru çapına göre Reynolds sayısının $21.000 < Re_D < 160.000$ değerleri için deneyler yapmışlar ve boru boyunca basınç değişimini incelemişlerdir.

ŞAHİN ve ark. (1988), orifis karakteristiklerinin, orifis kalınlık oranının $0.078 < t^* < 1$ arasındaki değişimini incelemişler ve orifis kalınlık debi katsayısını önemli ölçüde etkilediğini göstermişlerdir.

CEYHAN (1993), iki boyutlu aksenal simetrik, viskoz, sıkıştırılmaz, tam gelişmiş ve laminar akışta, boru içerisine yerleştirilmiş kare köşeli orifis etrafındaki akış karakteristiklerini Reynolds sayısının, $Re_o \leq 140$, orifis kalınlığının $1/16 \leq t^* \leq 1$ aralığında "Girdap-Akım Fonksiyonu Metodu" ile sayısal olarak araştırmıştır.

AKILLI (1994), basınç dağılımını, hız dağılımını, orifisin neden olduğu basınç kaybını ve debi katsayısını, C_d , boru çapının orifis çapına oranı olan $0.2 \leq \beta \leq 0.9$ değerleri, orifis kalınlığının orifis çapına oranı olan $1/16 \leq t^* \leq 1$ değerleri ve Reynolds sayısının $0 < Re_o \leq 2000$ değerleri için hesaplamıştır. Ayrıca, orifis sonrası akış bölgesindeki ayrılmayı incelemiş ve ölü akış bölgesinin boyutlarını orifis kalınlık oranı, t^* , orifis açıklık oranı, β , ve Reynolds sayısı, Re , ile değişimi hesaplamıştır.

Venturimetre tasarımı ile ilgili ilk çalışmalar 1962 yılında Smith ve Matz tarafından yapılmıştır. Bu geometri, dairesel ark şeklindeki giriş ve dairesel boğaz bölgesi ve daha sonra 6° ile genişleyen çıkış konisinden oluşmaktadır.

JAUMOTTE (1966), venturi tasarımında, giriş kısmı düz ve yarıçapının iki katı boyundaki boğaz bölgesi daha sonra da toplam koniklik açısı 7° ile genişleyen çıkış konisini seçmiştir. Aldığı açıklık oranı, β , değeri ise 0.334 'dür.

DUDZINSKI (1969), tasarlamış olduğu venturimetrenin giriş ve boğaz kısmı için ASME (American Society of Mechanical Engineers) standartlarından yararlanmış olup açıklık oranı $\beta=0.75$ ve çıkışta toplam koniklik açısı ise $2\theta_2=7.5^\circ$ 'dir.

ALVI ve ark. (1975), boru çapına göre tanımlanmış Reynolds sayısının $Re_D \leq 10.000$ ve açıklık oranı $0.2 \leq \beta \leq 0.8$ aralığında lülenin kayıp karakteristiklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, laminar akış, kritik Reynolds sayılarında akış ve türbülanslı akışta kayıpları göstermişlerdir.

BROWN ve ark. (1985), çalışmalarında Smith ve Matz ile Jaumotte ve Dudzinski 'nin geometrilerini kullanarak Reynolds sayısının $3.10^4 \leq Re_D \leq 10^7$ değerleri için debi katsayısını hesaplamış olup, buldukları sonuçların mukayesesini yapmışlardır. Bu hesaplamalar, debi katsayısının hassas bir şekilde bulunması için sınır tabakasında merkezkaç etkisinden dolayı meydana gelen belirsiz durumları minimuma indirmek için kullanılmıştır.

CHUNG ve ark. (1986), endüstride sıkça görülen gaz-partikül karışımı akışkanların venturimetre içindeki basınç farklarını değişik karışım oranlarında incelemiştir. Karışım için düzenledikleri eşitlikleri Patankar ve Spalding (1967) 'nin ileri farklar formülasyonu ile çözmüşlerdir. Çalışmalarında Farbas (1953) 'in venturimetre açıklık oranı $\beta=0.56$, girişteki toplam koniklik açısı $2\theta_1=30^\circ$ ve çıkıştaki toplam koniklik açısı $2\theta_2=15^\circ$ olan geometrisi ile Lee ve Crowes (1982) 'nin venturimetre açıklık oranı $\beta=0.5$, girişteki toplam koniklik açısı $2\theta_2=10^\circ$ olan geometrisi üzerinde çalışmışlar ve buldukları sayısal sonuçların Farbas (1953) ile Lee ve Crowes (1982) 'in deneysel sonuçları ile mukayeselerini yapmışlardır.

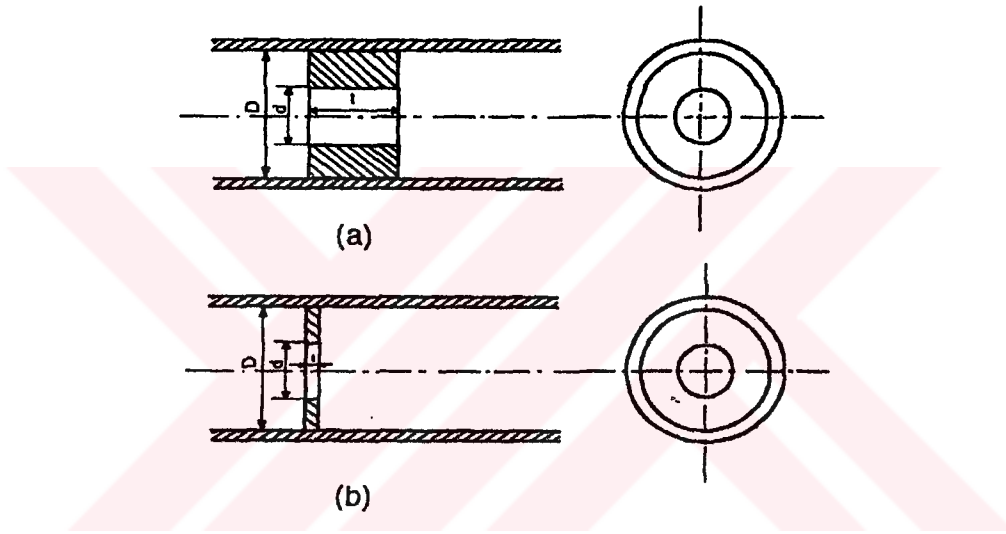
ŞAHİN (1996), venturimetre etrafındaki akışı, iki boyutlu, laminar, daimi, sıkıştırılmaz ve aksel simetrik olduğunu kabul ederek, Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri ile matematiksel olarak tanımlayıp Galerkin Metodu kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Ayrıca çalışmasında, venturimetrenin boğazındaki Reynolds sayısının $0 \leq Re_0 \leq 2000$, boru çapının boğaz çapına oranı olan $0.4 \leq \beta \leq 0.7$ ve girişteki toplam koniklik açısı $2\theta_1=21^\circ$, çıkıştaki toplam koniklik açısı $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ değerleri için deneyler yapmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Orifis metre

Orifis, genel olarak, ortasında delik bulunan bir plaka olarak tanımlanabilir. Boru içine yerleştirilen orifisler, akış içinde meydana getirdiği basınç farkı ile geçen akışkanın debisinin hesaplanmasında kullanılırlar.

Genel amaçlı olarak pekçok orifis çeşiti bulunmaktadır. Kalınlıklarına göre ayrılan orifisler, plaka ve tüp orifisler olarak ikiye ayrılabilirler (Şekil 3.1).



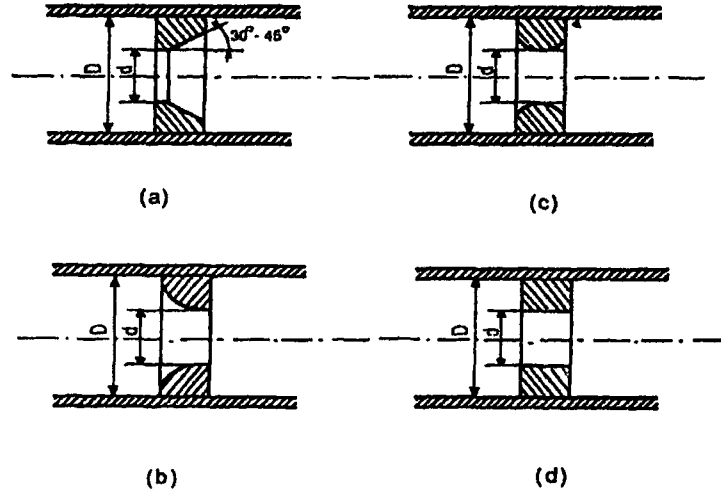
Şekil 3.1. Kalınlıklarına göre orifis çeşitleri

- a) Tüp Orifis
- b) Plaka Orifis

Aynı zamanda, orifisleri, köşelerinin geometrisine göre 4 ayrı gruba ayırmak mümkündür. Bunlar; kare köşeli, keskin köşeli, yuvarlatılmış ve yarım daire orifislerdir (Şekil 3.2).

Orifisler, genel olarak üç boyutu ile tarif edilirler. Bunlar; orifis plaka kalınlığı t , orifis çapı, d , ve boru çapı, D , 'dir. Bunlara ek olarak keskin köşeli orifislerde pah açısı, yarım daire orifislerde ise orifis yarıçapı ve diğer boyutlar olarak tariflenirler.

Mevcut çalışmada, orifisler ile ilgili iki parametre; orifis çapının boru çapına oranı β , ve orifis plaka kalınlığının orifis çapına oranı, t^* , gözönüne alınmıştır.



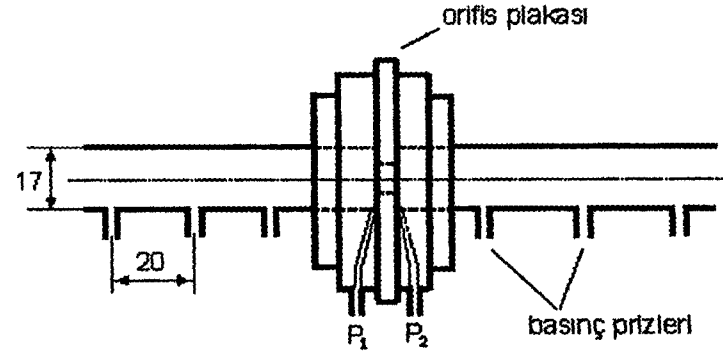
Şekil 3.2. Köşelerin geometrisine göre orifis tipleri

- a- Kare köşeli orifisler
- b- Yuvarlatılmış orifisler
- c- Yarım Daire orifisler
- d- Keskin Köşeli orifisler

Orifis ile debi ölçümünde dikkate alınması gereken en önemli unsur, debi katsayısı, C_d , 'dir. Debi katsayısı, gerçek debinin teorik debiye oranı olarak tarif edilir.

Literatürde, basınç farkının ölçüldüğü yere göre debi ölçümünün adı da değişmektedir. Basınç prizleri flanşlarının yanında ise "Flanş Prizleri ile Ölçüm", prizler orifis öncesi D , sonrası $D/2$ mesafelerine yerleştirilmişse "D-D/2 Prizleri ile Ölçüm" adını almaktadır. Mevcut çalışmada ise debi katsayılarını belirlemek için köşe prizleri kullanılmıştır. Köşe prizleri, orifisin hemen ön ve arka yüzeyinin boru ile birleştiği köşelerde şekil 3.3 'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.

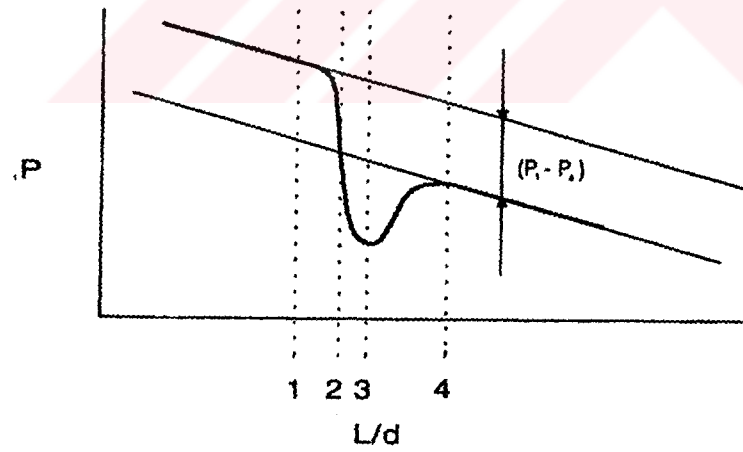
Basınç farkının büyüklüğü, akış miktarının bilinmesinde önemli bir unsurdur. Prizlerin yerlerinin seçimi de buna etki eden faktörler arasına girmektedir. Seçilecek ölçüm metodunu belirlemek için basınç prizlerinin yerinin belirlenmesinde büyük fayda vardır.



Şekil 3.3. Orifis metre ve Basınç Prizleri

3.1.1. Basınç Kayıp Katsayısı

Basınç kayıp katsayısı, orifis ile basınç ölçmede önemli bir faktördür. Orifiste toplam basınç kaybının belirlenmesinde kullanılır. Şekil 3.4 'te boru boyunca ve orifiste basınç dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Orifis yerleştirilmiş bir boruda basınç dağılımı

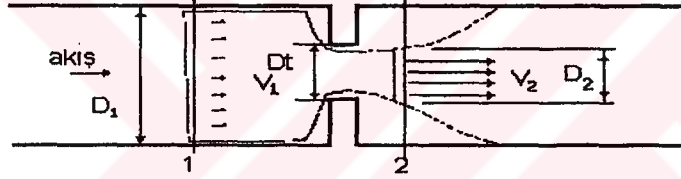
- (1) Orifis öncesi akış
- (2) Orifise giriş
- (3) Hızın en dar kesimi
- (4) Orifis çıkışı

Basınç kaybı katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$K = \frac{P_1 - P_4}{\frac{1}{2}\rho U_1^2} \quad (1)$$

3.1.2. Debi Katsayısı

Basınç farkından dolayı elde edilen değerler yardımıyla gerçek akış miktarını hesaplamasında da debi katsayısı kullanılır. Gerçek debinin teorik debiye oranı olan debi katsayısı aşağıdaki formülasyonlar yardımıyla çıkarılabilir.



Şekil 3.5. Akış içinde orifis ve kontrol hacmi

Şekil 3.5 'te de görüldüğü gibi orifis öncesi kesit 1 ve orifis sonrası kesit 2 arasında Bernoulli denklemi uygulandığında;

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} + gz_2 \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte $z_1 = z_2$ olduğundan;

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}(U_2^2 - U_1^2) = \frac{\rho U_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 \right] \quad (3)$$

süreklilik denklemine göre,

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 \quad \text{ve} \quad \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \quad (4)$$

Buradan,

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} U_2^2 \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemden U_2 çekilirse;

$$U_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - (A_2/A_1)^2 \right]}} \quad (6)$$

Teorik debi aşağıdaki gibi tarif edilir:

$$\dot{m}_{\text{teorik}} = \rho U_2 A_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (7)$$

Debi katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_d = \frac{\text{gerçek debi}}{\text{teorik debi}} = \frac{\dot{m}_{\text{gerçek}}}{\dot{m}_{\text{teorik}}} \quad (8)$$

7 no 'lu denklem, yukarıdaki denklemde yerine konursa;

$$m_{\text{gerçek}} = \frac{C_d A_t}{\sqrt{1 - (A_1/A_2)^2}} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (9)$$

veya açıklık oranı $\beta = A_t / A_1$ ile yeniden yazılırsa;

$$m_{\text{gerçek}} = \frac{C_d A_t}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (10)$$

Gerçek debi için $m_{\text{gerçek}} = \rho Q$ yazılırsa, debi katsayısı C_d aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_d = \frac{Q}{A_t} \frac{\sqrt{(1 - \beta^4)}}{\sqrt{2(P_1 - P_2)/\rho_{\text{yağ}}}} \quad (11)$$

3.1.3. Deney Düzenegi

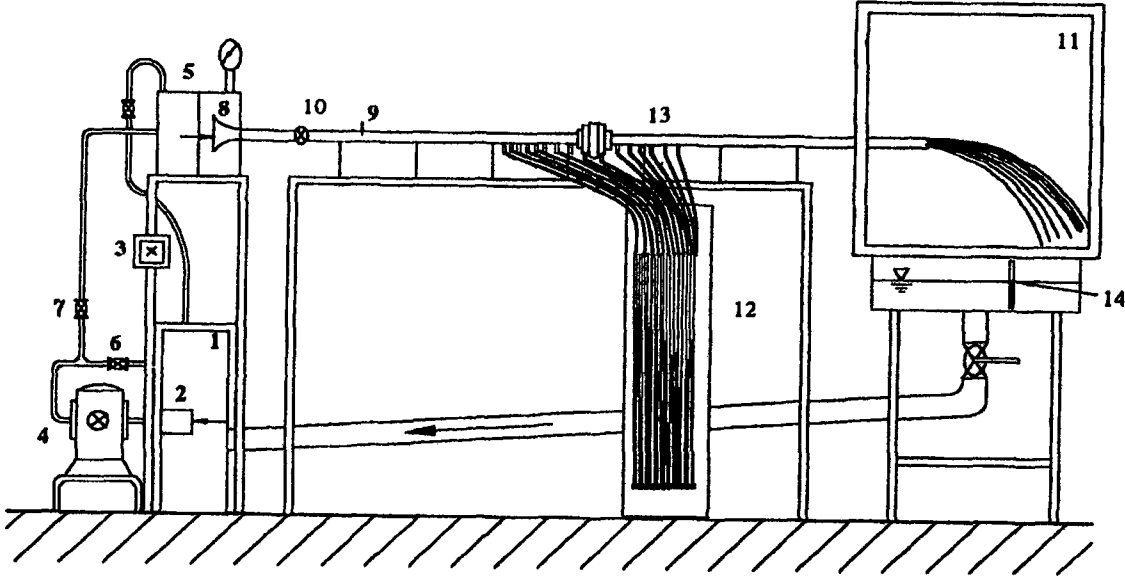
Deney düzenegi, akışkan olarak kullanılacak olan yağın test borusundan geçerek sirküle edilmesini sağlayan bir sistemdir (Şekil 3.6). Düzenekte kullanılan dişli pompa, gücü 1.5 KW olan elektrik motoruna bağlanmıştır ve maksimum güçte $1.57 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sn}$ debi ile akışkanı test borusuna basmaktadır. Pompa ile elektrik motoru bir kavrama ile birbirine bağlanmıştır. Akışkan içinde oluşabilecek hava kabarcıklarının alınması için depo üst kısmından hava ile irtibatlandırılmıştır. Yağ deposunun hacmi yaklaşık olarak 0.1 m^3 'tür. Akışkan, test borusuna girmeden önce 5 no 'lu haznede biriktirilmekte, oluşabilecek hava kabarcıkları yine aynı haznenin üst kısmından irtibatlandırılmış hortum vasıtasıyla ana tanka gönderilmektedir. Yağın sürekli temiz olarak sistemde dolaşması, pompaya zarar vermemesi ve ölçümlerde hatanın olmaması için 2 no 'lu filtre ana tankın içine yerleştirilmiştir. 6 ve 7 no 'lu valfler, debi kontrolü için kullanılmaktadır. 6 no 'lu valfin kapalı olması durumunda, sisteme gidecek yağ azalmaktadır. 7 no 'lu valf ise debinin daha ince ve fazla kademedeyi ayarı için sisteme yerleştirilmiştir. 8 no 'lu lüle, akışkanın test borusuna rahat girmesini sağlamaktadır. 9 no 'lu test borusu, 17 mm çapında bakır borudan oluşmakta ve bu boru üzerindeki 10

no 'lu valf ile debi kontrolü yapılabilmektedir. Boru üzerine yerleştirilmiş basınç prizlerinin sayısı, orifismetre öncesi 8, sonrası için 12 olarak tasarlanmıştır. 11 no 'lu tank ile yağın akışı gözlenmektedir. Aynı zamanda, debiyi hesaplamak için 14 no 'lu yağ seviye göstergesi tank üzerine monte edilmiştir. Aynı tankın altında bulunan valfin kapatılmasıyla depo içindeki yağ seviyesi yükselmekte ve 14 no 'lu gösterge ile değer okunabilmektedir. Deponun altındaki PVC boru ile akışkan, gözetleme tankından ana tanka akmaktadır. Deney esnasında, akışkanın sıcaklığını ölçmek için ana tankın üst kapağı açılabilir yapılmıştır. Aynı zamanda sıcaklık ölçmek için gözetleme deposunun cam yüzeyinde açılmış pencere de kullanılabilir. Akışkanın gözetleme deposuna akarken dalgalanma yapmasını önlemek için tank içindeki boruya bir lüle bağlanmıştır. Bundaki esas gaye, seviye göstergesindeki yağın sabit olarak yükselmesini sağlamaktır. Test borusu, yağ boşaltma tankından itibaren uzunluğu toplam 4 m olan, çapı 17 mm 'lik bakır borudur. Basınç prizleri, tek bir panoda toplanmış civalı manometreye bağlanmıştır. Manometre, düşük Reynolds sayılarında daha hassas ölçümü sağlamak amacıyla eğim verilebilir olarak tasarlanmıştır. Manometre üzerindeki civa, tek bir haznede toplanmış ve bu hazneden ayrı bir uç çıkarılarak atmosfere açık bırakılmıştır. Bunun nedeni, her bir prizdeki basıncın birbirini etkilememesini sağlamak içindir.

Düzenekte kullanılan gözetleme tankının taban ölçüleri 60 cm x 24 cm 'dir. Belirli süredeki yağın yüksekliğinin ölçümü ile debinin hesaplanmasında bu değerler kullanılacaktır.

3.1.4. Deneyin Yapılışı

Mevcut çalışmada, boru boyunca basınç dağılımını ve debi ölçümlerinin neden olduğu basınç farkını belirlemek için orifiste basınç dağılımını hesaplamak için şekil 3.3 'te gösterilen prizler kullanılmıştır. Etki alanındaki basınç dağılımını ve ayrıca orifisin neden olduğu basınç kaybını hesaplamak için 24 basınç prizi mevcuttur. Deneyin yapılışında şu sıra takip edilir:



Şekil 3.6. Deney Düzenegi

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| (1) Ana Tank | (2) Filtre |
| (3) Şalter | (4) Elektrik Motoru ve Pompa |
| (5) Yağ Boşaltma Tankı | (6) Valf |
| (7) Valf | (8) Lüle |
| (9) Boru Test Düzenegi | (10) Valf |
| (11) Gözetleme Tankı | (12) Civalı Manometre |
| (13) Venturimetre | (14) Yağ seviye göstergesi |

1- Deneye başlamadan önce 6 ve 7 no 'lu valfler haricinde tüm valfler açık konuma getirilir.

2- İlk olarak düşük Reynolds sayılarında ölçüm yapılacağı için, manometre yaklaşık 20° eğik konuma getirilir.

(Deneye başlarken, yağın sıcaklığı düşük olacağından viskozite değeri de buna paralel olarak büyük olacaktır. Deney esnasında, akışkan (yağ) sıcaklığı yükselmekte ve paralel olarak viskozitesi düşmektedir.

3- Çok az bir debinin sistemde geçmesi gerektiği düşünülerek 6 ve 7 no 'lu valfler biraz açılır.

4- Basınç prizlerine bağlı hortumlarda oluşmuş havayı almak için sistem çalıştırılır ve az bir süre sonra kapatılır. Böylece boru içinde akışkandan dolayı oluşacak basınç, hortumlardaki ve prizlerdeki havayı boru içine çekerek alır.

5- Manometrenin eğimi ölçülür.

6- Elektrik şalteri açılarak sistem devreye sokulur.

7- Elektrik motoru düşük güçte çalışmaya başlar ve pompayı tahrik ederek yağın ana tanktan yağ boşaltma tankına aktarılması sağlanır.

8- Akışkan, test borusundan geçerek basınç prizlerine gelir. Manometredeki civa seviyesi değişir ve akışkan, 11 no 'lu tanka boşalır. Manometredeki civa seviyeleri sabit kalıncaya kadar beklenir.

9- Basınç prizlerine bağlanmış hortumlardaki civa yüksekliği ölçülerek, manometre üzerindeki atmosfere açık hortumdaki civa yüksekliğinden çıkarılır.

10- Pompanın sürekli çalışması esnasında yağ ısınacağından ölçüm yapılırken mümkün olduğu kadar kısa sürede termometre ile yağın sıcaklığı ölçülür.

11- Akışkanın debisini ölçmek için 11 no 'lu gözetleme tankının altındaki valf kapatılır ve yağ seviye göstergesindeki belli seviyedeki yükselme süresi kronometre yardımıyla belirlenir.

12- Sonraki aşamada, 6 ve 7 no 'lu valfler bir miktar açılarak yukarıdaki işlemler tekrarlanır.

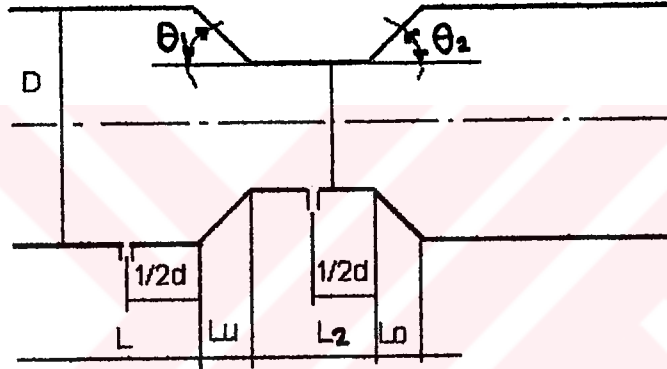
Yağ basıncının yükselmesi ile basınç prizlerine etki eden kuvvet artacağından civa seviyesi düşer. Sağlıklı ölçüm yapabilmek için, civa seviyesinin en az 5 cm kaldığı durumda, manometre eğimi arttırılır.

3.2. Venturimetre

Venturimetre, şekil 3.7 'de görüldüğü gibi, genel olarak konik olarak daralan giriş lülesi, düz boğaz kısmı ve konik olarak genişleyen lüleden oluşur. Venturimetreler, meydana getirdiği basınç farkından yararlanılarak borudan geçen akışkanın debisini ölçmek için kullanılırlar. Boruya flanşlar ile bağlanan

venturimetreler, beş kısımda incelenebilirler. Bu inceleme, BS (British Standards) ve ASME standartlarına göre şöyle yapılabilir:

- Boğaz kısmının çapı (d), boru çapı (D) 'nin $0.224D$ değerinden küçük, 0.742 değerinden büyük olamaz.
- Boğaz kısmının uzunluğu (L_2), boğaz kısmının çapına (d) eşit olmalıdır.



Şekil 3.7. Venturimetre ve boyutları

- Girişteki toplam koniklik açısı $2\theta_1 = 21^\circ$ olmalıdır. Buna göre giriş lülesi uzunluğu $L_u = 2.7(D-d)$ olmalıdır. Bu değerlerdeki toleranslar ise $\pm 0.24(D-d)$ kadar olması gerekmektedir.
- Çıkıştaki toplam koniklik açısı ($2\theta_2$), 5° 'den küçük, 15° 'den büyük olmamalıdır. Çıkış lülesinin uzunluğu (L_D), $1.5d$ 'den küçük olamaz.

Mevcut çalışmada, venturimetre boğaz kısmının çapının girişteki boru çapına oranı olan $\beta = d/D$ ve çıkıştaki toplam koniklik açısı $2\theta_2$ üzerinden uygun değişiklikler yapılarak uygun venturimetre geometrileri belirlenmiştir.

Venturimetre ile debi ölçümünde dikkate alınması gereken en önemli unsur debi katsayısıdır. Debi katsayısı, gerçek debinin teorik debiye oranı olarak tarif edilir.

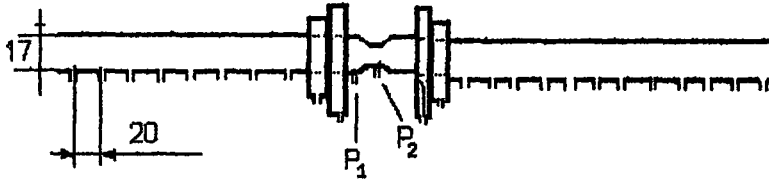
$U=U_{\max}/2$, 2 no 'lu denklemden yerine konulduğunda;

$$U_{\max} = 2\sqrt{2} \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\rho}} \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \quad (12)$$

Aynı zamanda $\bar{U} = U_{\max} / 2$ ve 7, 8 ve 10 no 'lu denklemler gözönüne alındığında debi katsayısı için;

$$C_d = \frac{Q}{A_t \sqrt{2}} (1-\beta^4)^{1/2} \sqrt{\frac{1}{\Delta P/\rho}} \quad (13)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 3.8. Venturimetrede basınç prizlerinin yeri

Genel olarak debi katsayısını etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- i) Akışkanın yoğunluğu
- ii) Akışkanın viskozitesi
- iii) Akışkanın sıkıştırılabilirliği

- iv) Akışkanın hız karakteristiği
- v) Venturimetre boğaz kısmı çapı
- vi) Boru çapı
- vii) Venturimetre çıkış lülesi koniklik açısı
- viii) Boru ve venturimetre yüzey pürüzlülüğü
- ix) Venturimetre öncesi akıştaki hız karakteristiği
- x) Venturimetre temizliği
- xi) Venturimetre geçiş noktalarının düzgünlüğü

3.3. Lüle

Lüle, genel olarak, dairesel düz bir boğaz ve dikey kesitli yuvarlatılmış bir kesimden meydana gelir. Farklı ve ayrı ayrı tanımlanmış iki tip lüle vardır. Bunların ilki ISA standartındaki lüle, diğeri, geniş yarıçaplı lüledir. Lüle, genel olarak daralan bir boğazdan oluşmaktadır. Şekil 3.9 'da verilen geometriye göre lüle ölçüleri aşağıdaki gibidir.

$$r_1=d$$

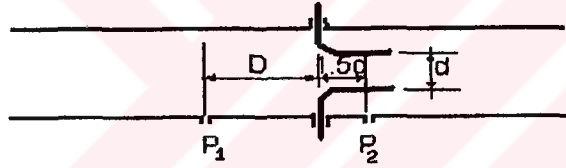
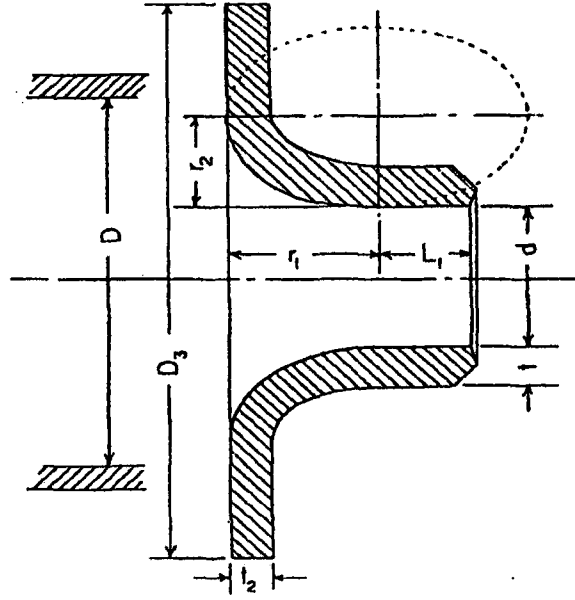
$$0.6d \leq L_1 \leq 3/4d$$

$$1/8'' \leq t_2 \leq 0.15D$$

$$5/8d \leq r_2 \leq 2/3d$$

$$1/8'' \leq t \leq 1/2''$$

Yukarıdaki ölçülerle birlikte, lüle çıkışında içeriye doğru 10° ve dışarıya doğru 45° derece pah açılır. Mevcut çalışmada lüle için basınç dağılımını hesaplamada şekil 3.9 'da gösterildiği gibi lüle öncesi flanştan boru boyu D kadar ve lüle sonrası flanştan 1.5d kadar mesafede iki basınç prizi kullanılmıştır.



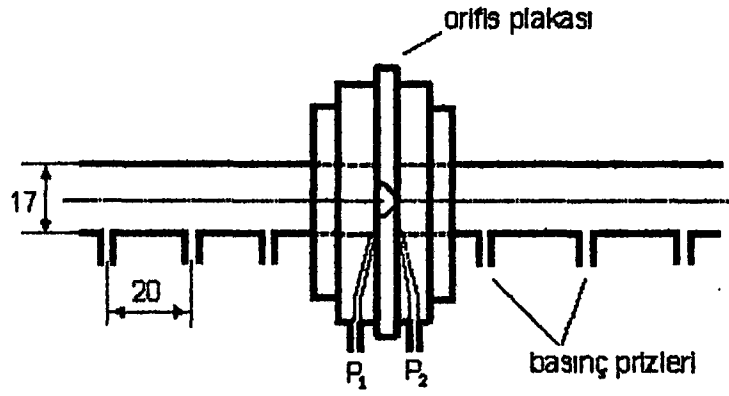
Şekil 3.9. Lülenin geometrik yapısı ve basınç prizlerinin konumu

7, 8 ve 10 no 'lu denklemler gözönüne alındığında debi katsayısı, C_d ;

$$C_d = \frac{Q}{A_t} \frac{\sqrt{1-\beta^4}}{\sqrt{2(P_1 - P_2)/\rho_{yağ}}} \quad (14)$$

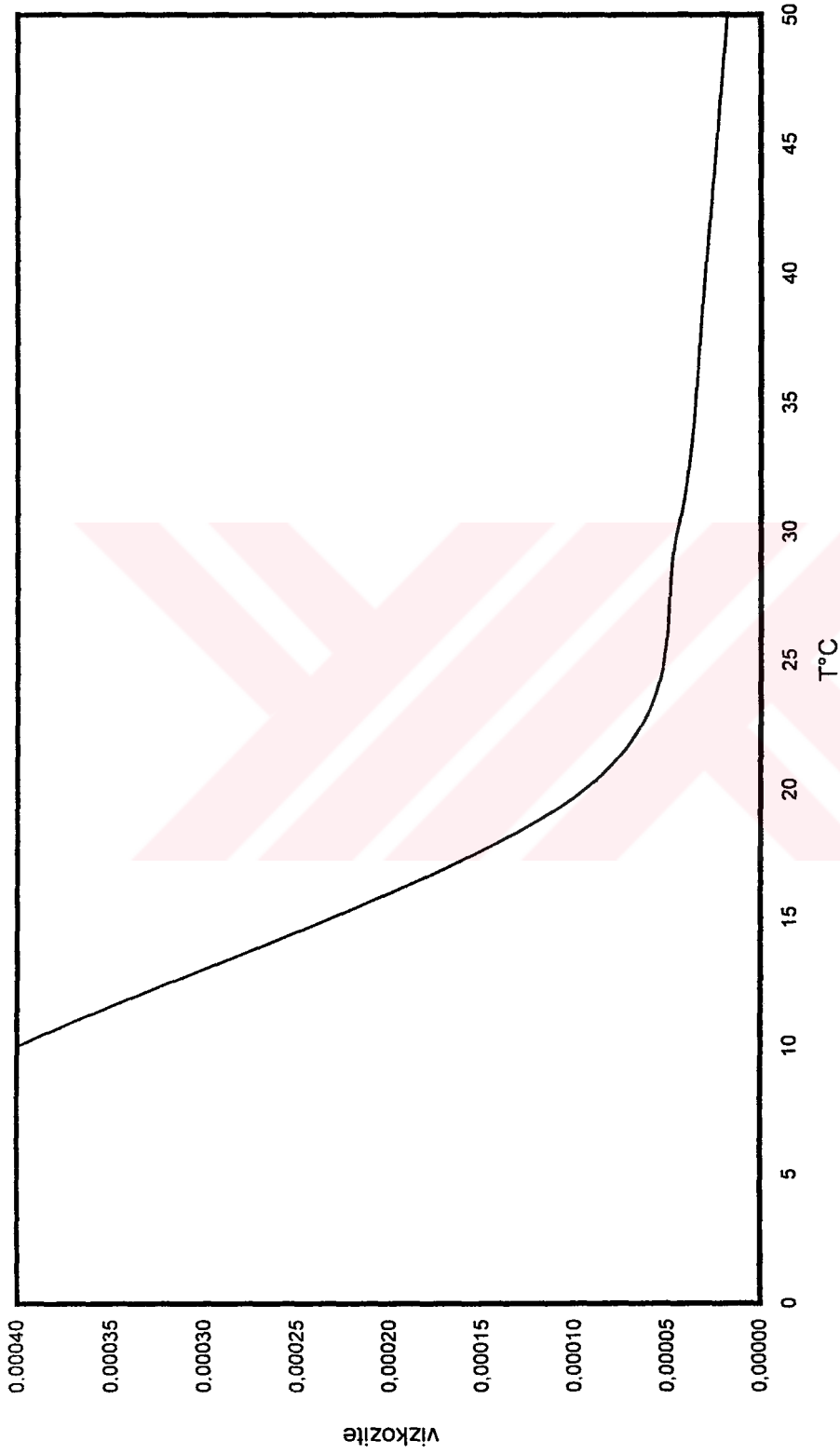
Şekil 3.9 'da lülenin geometrik şekli ve boyutları ve basınç prizlerinin konumu görülmektedir.

Aynı zamanda şekil 3.10 'da görüldüğü gibi boru içine yerleştirilmiş lüledeki basınç dağılımını hesaplamak için toplam 24 adet basınç prizi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Boru içine yerleştirilmiş lüledeki basınç prizlerinin konumu

Mevcut çalışmada, sıcaklık ile değişen yağın viskozitesini hesaplamak için şekil 3.11 'de yağın viskozite-sıcaklık eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.11. Yağın vizkozite sıcaklık eğrisi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Boru içine yerleştirilmiş orifis, venturi ve lülenin giriş ve çıkışındaki akış karakteristikleri, Reynolds sayısının, Re_D , 200-6000 değerleri arasında değişik geometriler için deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada Reynolds sayısı $Re_D=6000$ 'e kadar çıkarılabilmektedir. Deney setinde akışkan olarak makina yağı kullanıldığı için yüksek viskoziteden dolayı laminar akış ortamında basınç değerleri basit bir U manometresi ile kolaylıkla ölçülebilmektedir. Ancak, türbülans akış ortamında deney düzeneğinin kapasitesinden dolayı yüksek Reynolds sayılarında ölçüm yapılamamıştır. Burada, yüksek Reynolds, Re , sayılarında ölçümlerin yapılabilmesi için su ile çalışan benzer bir deney düzeneğinin kurulması gerekmektedir. Bilindiği gibi Reynolds sayısının $Re_D=10^4$ değerinden sonra debi katsayısı Reynolds sayısına göre değişmediği, yani debi katsayısının, C_d , Reynolds sayısının $Re_D=10^4$ değerinden sabit kaldığı bilinmektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmada Reynolds sayısının $0 < Re_D \leq 10^4$ aralığına kadar çıkarak genişletmenin yararlı olacağı görülmektedir.

Orifisin geometrisi için açıklık oranı aralığı $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ ve kalınlık oranı aralığı $1/12 \leq t^* \leq 1$ için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Orifis metredeki debi katsayısının bulunması için kullanılan basınç prizlerinin yeri şekil 3.3 'te de görüldüğü gibi köşe prizleri adı verilen orifis plakasının kenarındadır. Mevcut çalışmadaki venturimetre için alınan geometrilerde, açıklık oranı $0.6 \leq \beta \leq 0.8$ için koniklik açısı değerleri $2\theta_1 = 21^\circ$ ve $2\theta_2 = 10^\circ$; lüle için alınan geometrilerde açıklık oranı $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ olarak belirlenmiştir.

Mevcut çalışmada, bütün prizlerdeki basınç değerleri hesaplanmış ve bu değerler akış yönündeki ilk priz basınç değerinden çıkarılıp ρU^2 değeriyle çarpılması ile boyutsuz basınç, ΔP^* , bulunmuştur. Tüm basınç değerlerinin ilk prizdeki basınç değerinden çıkarılmasının nedeni, basınç dağılımının aynı yerden başlamasını göstermek içindir. Aynı zamanda grafiklerdeki boyutsuz basıncın $\Delta P^* \cdot Re \cdot 10^{-2}$ olarak gösterilmesinin nedeni, aynı Reynolds sayılarında dağılımın gösterilmesi içindir.

Bütün deneysel sonuçlar, önceki deneysel ve teorik çalışmalar ile şekiller üzerinde ayrı ayrı karşılaştırılmış ve aralarındaki uyumla ilgili gerekli irdelemeler yapılmıştır. Burada Reynolds sayısı, Re , orifis, lüle ve venturi çapına göre $Re_c = \rho u d / \mu$ olarak belirlenmiştir.

4.1. Orifis metre ile İlgili Deneysel Bulgular

Mevcut çalışmada, orifis açıklık oranı $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ ve kalınlık oranı $1/12 \leq t^* \leq 1$ için deneyler yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler ile debi katsayısının Reynolds sayısı, Re_c , ve basınç farkının, ΔP , boru mesafesi, L^* , tablosu oluşturulmuş ve herbir değişik geometrik değerden alınan sonuçlar ayrı ayrı ve toplu halde tek bir grafik üzerinde gösterilerek karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı zamanda debi katsayısının, C_d , açıklık oranı, β , ve kalınlık oranı, t^* ile değişimi de incelenmiştir.

4.1.1. Orifis Yerleştirilmiş Borularda Eksenel Yönde Basınç Dağılımı

Orifis etki alanında meydana gelen basınç dağılımını belirlemek için, boru boyunca 24 basınç prizi yerleştirilerek cidar statik basınç değerleri ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar şekil 4.1-16 'da verilmiştir. Şekillerdeki basınç dağılımından anlaşılacağı gibi, orifisin açıklık değeri, β , küçüldükçe basınç farkı artmaktadır. Benzer basınç farkı değişimi Reynolds sayısının, Re , artmasıyla da meydana gelmektedir. Orifisin açıklık oranının, β , küçülmesi ile beraber, orifisin çıkışında meydana gelen hüzme (jet) uzunluğu artmaktadır. Bu çıkış hüzmesini çevreleyen ölü akış bölgesinin alanı da artmaktadır.

Sonuç olarak; şekil 4.2 ile şekil 4.9 arasında mukayese yapıldığında, orifis sonrasında oluşan ayrılmış akış bölgesinin akış yönündeki mesafesinin orifis çapına göre değişim gösterdiği gözlenmektedir. Orifis sonrası tam gelişmiş akış bölgesi, orifis açıklık oranının $\beta=0.4$ değerinde orifis çıkışından daha uzak mesafelerde oluşmaktadır. Orifisin bütün geometrileri için orifis girişinde cidar statik basıncında düşük düzeyde artış görülmektedir. Orifis içinde statik basınç hızla düşmekte ve sonra cidar statik basıncı yeniden yükselmektedir. Akış yönünde belirli mesafeden

sonra basınç yeniden lineer olarak boru boyunca akış yönünde düşmektedir. Akış, orifisin etki alanına girmesi ile beraber, orifisin ön yüzeyine yakın mesafede boru cidarından ayrılmaya başlamaktadır. Akışın kesiti akış yönünde daralmaya başlamakta ve sonuçta statik basıncın artmasına neden olmaktadır. Bu basınç artışı, orifisin ön yüzeyine kadar devam etmektedir. Orifisin çıkışında ise oluşan akış hüzmelerinin kesiti, aksel yönde gittikçe artmaktadır. Bu da basıncın artmasına sebep olmaktadır. Bu basınç artışı, akışın boru cidarına birleşmesi ile son bulmaktadır. Daha sonra viskozitenin etkisi ile meydana gelen basınç kaybından dolayı, basınç lineer olarak düşmektedir. Bu da akışın yeniden tam gelişmiş duruma geldiğini göstermektedir.

Şekil 4.13-4.16 'te boyutsuz basınç dağılımının boyutsuz boru boyuna göre değişimi gösterilmiştir. Orifis açıklık oranının $\beta=0.4$ değerinde ise, orifis kalınlık oranı arttıkça basınç farkı azalmakta; açıklık oranının $\beta=0.8$ değerinde, orifis kalınlık oranı, t^* , arttıkça basınç farkı da artmaktadır. Buradaki basınç dağılımı, orifis geometrisinin akış hüzmelerine ve ölü akış bölgesine yaptığı etkiden meydana gelmektedir.

4.1.2. Debi Katsayısının Değişimi

Şekil 4.17-28 'de orifis açıklık oranı $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ ve orifis kalınlık oranı $1/12 \leq t^* \leq 1$ için debi katsayısının, C_d , Reynolds sayısına, Re , göre değişimi gösterilmiştir.

Orifis açıklık oranı $\beta=0.4$ 'te, orifis kalınlık oranı, t^* , arttıkça debi katsayısı da artmaktadır. Şekil 4.17 'de görüleceği üzere, kalınlık oranı $t^*=1/12$ için, debi katsayısı değeri, Reynolds sayısının $Re_o=200\sim 750$ aralığında azalmakta ve $C_d=0.68$ değerine düşmektedir. Reynolds sayısının $Re_o \geq 750$ değerlerinde ise debi katsayısı değerinde fazla bir değişim görülmemektedir. Orifis kalınlık oranı $t^*=1/8$ için, debi katsayısının Reynolds sayısına göre $Re_o=250\sim 4000$ aralığında fazla değişmediği, Reynolds sayısının $Re_o=250\sim 600$ değerleri arasında debi katsayısı değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. $Re_o \geq 600$ değerlerinde debi katsayısında çok az bir dalgalanma görülmekte ve değeri ortalama 0.70 olarak gözlenmektedir. Orifis

kalınlık oranı $t^*=1/2$ için, Reynolds sayısının, Re , 250 olduğu bölgede debi katsayısının aldığı değer $C_d=0.66$ 'dır. Reynolds sayısının $Re_o=250\sim1500$ değerleri arasında debi katsayısındaki artış, Reynolds sayısının daha büyük değerlerine göre daha fazladır. Debi katsayısı, C_d , Reynolds sayısının $Re_o=250\sim3000$ değerleri arasında yükselmekte ve daha sonra $C_d=0.8$ civarında değerler almaktadır. Debi katsayısındaki artış sadece Reynolds sayısının $Re_o=250\sim1500$ değerleri arasında daha fazla olmaktadır. Orifis kalınlık oranı $t^*=1$ için, Reynolds sayısının, $Re_o=3000$ değerine kadar debi katsayısı artmakta ve daha büyük Reynolds sayısı değerlerinde ise debi katsayısı, C_d , değişimi azalmaktadır. Reynolds sayısının 2500~3000 değerlerinde debi katsayısı en yüksek değerlerine ulaşmakta ve bundan sonraki Reynolds sayısı değerlerinde fazla bir artış göstermemektedir. Bu aralıkta debi katsayısının, C_d , aldığı değerler $C_d=0.82\sim0.84$ aralığındadır. Orifis geometrisinin $\beta=0.4$, $1/12\leq t^*\leq 1/8$ ve $1/2\leq t^*\leq 1$ değerlerine ait debi katsayısı, C_d , değerleri benzerlik arz etmektedir. Burada ince orifis diye adlandırılabilir olan orifis kalınlık oranı $1/12\leq t^*\leq 1/8$ aralığında, orifis etki alanındaki akış karakteristiği benzerlik arzettiği için debi katsayıları benzer sayısal değerlere sahiptir. Diğer taraftan, orifis kalınlık oranı $1/2\leq t^*\leq 1$ aralığına çıkartıldığında, debi katsayısı ince orifis debi katsayısına göre daha yüksek değerler almaktadır. Ancak, $t^*=1/2$ ve $t^*=1$ orifis geometrilerine ait olan debi katsayıları, C_d , arasındaki fark %3 seviyelerindedir.

Şahin ve Ceyhan (1996), yapmış oldukları çalışmada, $t^*=1/2$ değerinden başlamak üzere, orifisin giriş köşesinde cidardan ayrılmış olan akış hüzmesi orifis içerisinde tekrar orifis cidarıyla birleştiği ve en düşük basınç, orifis içerisinde oluşan akış hüzmesinde dar (vena contracta) kesitinin olduğu pozisyonda meydana geldiğini bulmuşlardır.

Sonuç olarak, orifis kalınlık oranının, $t^*=1/2$, ve daha büyük değerleri için orifis çıkışındaki akış hüzmesi, hüzmenin kesit alanı, hüzmeyi çevreleyen ayrılmış akış bölgesinin boyutları değişmemektedir. Böylece akış karakteristikleri değişmediği için debi katsayısı da değişmemektedir.

Şekil 4.18 'de görüleceği üzere, Reynolds sayısının $Re_o\geq 1250$ değerinden sonra, orifis kalınlık oranının $\beta=0.6$ değerinde, orifis kalınlık oranı, t^* , arttıkça debi

katsayısında da artış olmaktadır. Orifis kalınlık oranı $t^*=1/12$ için, Reynolds sayısının $200 \leq Re_o \leq 500$ değerleri arasında, Reynolds sayısının artmasıyla debi katsayısı, C_d , artmaktadır. Reynolds sayısının $500 \leq Re_o \leq 1500$ aralığında ise azalma, daha büyük Reynolds sayı aralığında azalmaya nazaran daha fazladır. $Re_o \geq 1500$ değerlerinde debi katsayısında fazla bir değişim gözlenmemektedir. Bu durumda debi katsayısının aldığı değer yaklaşık olarak $C_d=0.71$ 'dir. $t^*=1/8$ için, Reynolds sayısının $200 \leq Re_o \leq 1500$ değerleri arasında debi katsayısı artışı büyük Reynolds sayıları değer aralığına göre daha fazladır. Reynolds sayısı $Re_o=200$ civarında debi katsayısı değeri $C_d=0.78$ 'dir. $Re_o=1500$ civarında ise debi katsayısı $C_d=0.75$ 'e düşmektedir. Daha yüksek Reynolds sayılarına doğru gidildiğinde debi katsayısı ortalama $C_d=0.7$ civarında olmaktadır. $t^*=1/2$ için, Reynolds sayısının $200 \leq Re_o \leq 1500$ değer aralığında debi katsayısındaki artış, daha yüksek Reynolds sayılarındaki aralığa göre daha fazladır. $Re_o \geq 1500$ değerinden sonra debi katsayısı, $C_d=0.77$ civarında değer almaktadır. $t^*=1$ için, Reynolds sayısının $Re_o=200$ değerinde debi katsayısı 0.6 değerindedir. Reynolds sayısının, Re_o artmasıyla debi katsayısı da C_d , artmakta ve $Re_o \geq 1500$ değerlerinden sonra fazla bir değişim görülmemektedir. $Re_o \geq 1500$ değerlerinde debi katsayısının aldığı değer ortalama $C_d=0.78$ 'dir..

Şekil 4.19 'da, orifis açıklık oranı $\beta=0.8$ değeri için debi katsayısının, C_d , Reynolds sayısına göre değişimi, orifis kalınlık oranı $1/12 \leq t^* \leq 1$ aralığı için gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi orifis çapının büyümesiyle beraber debi katsayısı, C_d , orifis kalınlığı t^* karşısında ince orifislerinin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında daha fazla değişim gösterdiği gözlenmektedir. En fazla değişim Reynolds sayısının $3000 < Re_o < 4000$ değerleri arasında gerçekleşmektedir. Reynolds sayısının $Re_o \leq 1000$ değerlerinde en yüksek debi katsayısı değeri, orifis kalınlık oranı $t^*=1/12$ değerinde meydana gelmektedir. Genel olarak Reynolds sayısının $Re_o=1000$ değerine kadar debi katsayısı yükselmekte ve daha büyük Reynolds sayılarında debi katsayısı, C_d , azalmaktadır. $t^*=1/12$ için, Reynolds sayısının $Re_o \leq 800$ değerleri için Reynolds sayısının artması ile debi katsayısı artmakta ve $Re_o=800$ değerinde $C_d=0.95$ olarak en yüksek değerine ulaşmaktadır. Reynolds sayısının $Re_o \geq 800$ değerinden

sonra debi katsayısı düşmektedir. $t^*=1/8$ için, Reynolds sayısının $200 \leq Re_o \leq 750$ değerleri arasında, debi katsayısı artmakta ve sonraki Reynolds sayısı değerlerinde azalmaktadır. Debi katsayısının en yüksek değeri $Cd=0.94$ olarak Reynolds sayısının $Re_o=600$ değerinde görülmektedir. $t^*=1/2$ için, Reynolds sayısı $Re_o \leq 1250$ değerine kadar debi katsayısı artmakta ve sonraki Reynolds sayılarında azalmaktadır. Bu kalınlık oranında debi katsayısının en yüksek değeri $Cd=0.775$ 'dir. Reynolds sayısının $Re_o \geq 1250$ değerlerinde debi katsayısı azalmakta ve $Re \geq 3000$ değerlerinde bu fark fazla olmamaktadır. $t^*=1$ için Reynolds sayısının $Re_o \leq 3000$ değerlerine kadar debi katsayısında çok az miktarda yükselme görülmektedir. Bundan sonraki Reynolds sayılarında fazla bir değişim olmamaktadır. Reynolds sayısının $Re_o=200$ değerinde debi katsayısı $Cd=0.58$ iken Reynolds sayısının $Re_o=3000$ değerinde debi katsayısı $Cd=0.675$ değerini almaktadır.

Şekil 4.20-4.22 'de mevcut çalışma sonuçlarının önceki çalışmalarla mukayesesi gösterilmiştir. Literatürde alınan değerlerin ortalaması alınarak mevcut sonuçlarla muakayesesi yapılmıştır. Mevcut sonuçlar ise deney esnasında ölçüldüğü şekliyle burada gösterilmiştir. Bu nedenle mevcut sonuçlar düzgün bir eğriyi göstermemekle beraber ortalama değere göre değişimi yaklaşık $\pm\%1$ civarındadır. Şekil 4.22 deki mevcut sonuçlardaki ortalamaya göre değişim yaklaşık $\pm\%2$ civarındadır. Bu da deneysel çalışmalarda makul bir sonuç olarak kabul edilebilir. Burada mevcut dataların önceki çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmektedir. Şekil 4.23 'te, Reynolds sayısının $Re_o \leq 2250$ değerlerine kadar en büyük debi katsayısı, Cd , değerlerinin, açıklık oranı $\beta=0.8$ ve kalınlık oranı $t^*=1/12$ 'de olduğu görülmektedir. En düşük debi katsayısı, Cd , değerleri ise açıklık oranı $\beta=0.4$ ve kalınlık oranı $t^*=1/12$ 'de oluşmaktadır. Şekil 4.23 den anlaşıldığı gibi debi katsayısındaki, Cd , en büyük değişim açıklık oranının $\beta=0.8$ değerindeki orifis kalınlığının değişmesiyle meydana gelmektedir. En büyük Cd farkı $Re=750$ de gerçekleşmektedir. Bu fark Reynolds sayısının büyümesiyle azalmaktadır. Orifis açıklık oranının $\beta=0.4$ değeri için debi katsayısı, Cd , arasındaki fark Reynolds sayısı arasında sabit kalmaktadır.

Şekil 4.24-28 'de, açıklık oranı $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ aralığında farklı kalınlık oranları, t^* , için debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi gösterilmiştir. Açıklık oranı $t^*=1-1/2$ değerlerinde, açıklık oranı arttıkça debi katsayısı azalmaktadır. Açıklık oranı $t^*=1/8-1/12$ 'de ise açıklık oranı arttıkça debi katsayısı da artmaktadır. Şekil 4.28 'de, açıklık oranı $0.4 \leq \beta \leq 0.8$ aralığında kalınlık oranı $t^*=1-1/12$ için debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi gösterilmiştir. Debi katsayısındaki maksimum değişim ise orifis açıklık oranının $\beta=0.8$ değerinde meydana gelmektedir. Buda daha önce anlatıldığı gibi akış yapısının geometrisi karşısındaki değişimden meydana gelmektedir.

Şekil 4.29-4.33 'de görüleceği üzere, kalınlık oranının, $t^*=1$ değeri için orifis açıklık oranının, β , ve Reynolds sayısının artması ile debi katsayısı da artmaktadır. Orifis kalınlık oranı $t^*=1$ için Reynolds sayısı, Re , arttıkça debi katsayısı da artmaktadır. Aynı zamanda, açıklık oranı, β , arttıkça debi katsayısı azalmaktadır. Kalınlık oranı $t^*=1/2$ 'de, Düşük Reynolds sayılarında, açıklık oranı arttıkça debi katsayısı artmaktadır. Açıklık oranının $\beta \geq 0.65$ değerinden sonra Reynolds sayısı, Re , arttıkça debi katsayısı da azalmaktadır. Açıklık oranı $t^*=1/8$ 'de, küçük Reynolds sayılarında, Re , debi katsayısı daha yüksek görülmektedir. Açıklık oranı arttıkça, debi katsayısı da artmaktadır. Aynı durum kalınlık oranı $t^*=1/12$ için de sözkonusu olmaktadır. Düşük Reynolds sayılarında, Re , debi katsayısı en yüksek değerini almaktadır. Reynolds sayısının, Re , ve açıklık oranının, β , artması ile debi katsayısındaki artış oranı azalmaktadır. Şekil 4.33 'te farklı kalınlık oranlarında Reynolds sayısının 3000 değeri için debi katsayısının, C_d , açıklık oranına göre değişimi gösterilmiştir. Büyük kalınlık oranlarında açıklık oranının artması ile debi katsayısı düşmektedir. Açıklık oranının $\beta \geq 0.65$ değerlerinde kalınlık oranı arttıkça debi katsayısı genel olarak düşmektedir.

Şekil 4.34-4.37 'de t^* 'ın C_d üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi, açıklık oranı, β , ve Reynolds sayısı, Re , arttıkça debi katsayısı artmaktadır. Fakat, açıklık oranı, β , ve Reynolds sayısının artması ile birlikte, debi katsayısındaki artış oranı azalmaktadır. Açıklık oranı, $\beta=0.4$ 'te kalınlık oranı arttıkça debi katsayısı da artmaktadır. Buna mukabil Reynolds sayısının artması ile debi

katsayısı azalmaktadır. Açıklık oranının $\beta=0.6$ değerinde, kalınlık oranının $t^*=1/12$ 'den $1/8$ 'e kadar olan aralığında debi katsayısı artmaktadır. Yine küçük Reynolds sayılarında, kalınlık oranının $t^*\geq 1/8$ değerinden sonra debi katsayısında azalma oluşmaktadır. Açıklık oranının $\beta=0.8$ değerinde, büyük Reynolds sayılarında, Re , debi katsayısı kalınlık oranının küçük olduğu bölgede yükselmekte, sonrasında ise azalmaktadır.

Şekil 4.37 'de farklı açıklık oranlarında, β , Reynolds sayısının $Re_0=3000$ değeri için debi katsayısının, C_d , kalınlık oranına göre değişimi gösterilmiştir. Kalınlık oranının $t^*\leq 0.37$ değerlerinde, açıklık oranı arttıkça debi katsayısı da artmaktadır. $t^*\geq 0.37$ değerlerinde ise debi katsayısı açıklık oranının artması ile azalmaktadır. Şekil 4.36 da görüldüğü gibi büyük orifis çaplarında debi katsayısına, C_d , orifis kalınlığı en büyük etkiyi göstermektedir. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi orifis sonrası oluşan akış hüzmesi ve ayrılmış akış bölgesi orifis geometrisinin değişimiyle etkilenmektedir.

4.1.3. Basınç Kayıp Katsayısının Değişimi

Mevcut çalışmada dikkate alınan orifis ölçerler akış kesitinde basınç farkı meydana getirerek akış debisini belirlemektedirler. Bu debi ölçerler geometrilerinden dolayı akış kesitinde engel oluşturarak basınç kaybına ve dolayısıyla sistemin enerji kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, debi ölçerlerde basınç kaybı önemli bir parametredir. Orifis çıkışında oluşan akış hüzmesi (jet) ayrılmış akış bölgesiyle çevrelenmektedir. Ayrılmış akış bölgesinin boyutlarının değişimi akış hüzmesinin kesitini etkileyerek basıncın kaybına neden olmaktadır. Benzer basınç kayıplarına diğer akış ölçerlerde neden olmaktadır.

Şekil 4.38-4.39 'da, orifis açıklık oranları için basınç kaybının Reynolds sayısı ile değişimi görülmektedir. Kalınlık oranı $t^*=1$ için, Reynolds sayısının $Re_0=2500$ değerine kadar basınç kayıp katsayısı, K , azalmaktadır. Daha büyük Reynolds sayılarında ise basınç kayıp katsayısı, K , artmaktadır. Kalınlık oranı $t^*=1/12$ 'de en yüksek basınç katsayısı değerleri, açıklık oranının $\beta=0.4$ değerinde görülmektedir.

Orifis çapının küçülmesi sonucu akış yönünde oluşan engelin boyutları büyümektedir ve basınç kaybı da böylece artmaktadır.

Şekil 4.40-41 'de, orifis açıklık oranı, β , arttıkça basınç kayıp katsayısı, K , azalmaktadır. Boru içine yerleştirilmiş orifis çapının küçültülmesi sonucu akış önündeki engelin boyutları artmakta bu da basınç kaybının büyümesine neden olmaktadır.

Kalınlık oranı $t^*=1$ değerinde, Reynolds sayısı arttıkça, basınç katsayısı değerleri birbirine yakınlaşmaktadır. Küçük açıklık oranlarında basınç kayıp katsayısı, K , azalması daha büyük iken açıklık oranının $\beta=0.55$ değerinden sonra bu artış azalmaktadır. Kalınlık oranı, t^* , küçüldükçe, basınç kayıp katsayısının, K , farklı Reynolds sayılarında birbirine yakınlaştığı görülmektedir.

Şekil 4.42-44 'de Basınç kayıp katsayısının, K , orifis kalınlık oranına, t^* , göre değişimi gösterilmiştir. Orifis kalınlığının boyutlarının değişmesi akış hüzmesinin boyutlarını büyük oranda etkilemektedir. Bu da akış karakteristiğini etkilemekte, basınç kayıp katsayısının, K , farklı boyutta değişmesine sebep olmaktadır. Açıklık oranının $\beta=0.4$ olduğu durumda, küçük kalınlık oranlarında Reynolds sayısının artması ile basınç kayıp katsayısı da, K , artmaktadır. Reynolds sayısının $Re_o=250$ olduğu durumda, basınç kayıp katsayısı, K , kalınlık oranının $t^*=1/8$ değerine kadar azalmakta, $t^*=1/2$ değerine kadar yükselmekte ve sonrasında düşük oranda azalmaktadır. Aynı durum Reynolds sayısının $Re_o=1000$ değeri içinde geçerlidir. Buna göre düşük Reynolds sayılarında, kalınlık oranının küçük olduğu durumda basınç kayıp katsayısı, K , küçülmekte, sonrasında yükselerek belli noktadan sonra azalmaktadır. Reynolds sayısı arttıkça, basınç kayıp katsayısında, K , sürekli bir azalma görülmektedir.

Orifis açıklık oranının $\beta=0.6$ olduğu durumda, küçük Reynolds sayılarında, kalınlık oranının $t^*=1/8$ değerine kadar basınç kayıp katsayısı, K , ani olarak düşmekte, sonrasında ise artmaktadır. Reynolds sayısı arttıkça, kalınlık oranının, t^* , artması ile, basınç kayıp katsayısı, K , önce artmakta ve sonrasında azalarak belli noktadan sonra yükselmektedir. $\beta=0.8$ değerinde, küçük Reynolds sayılarında, kalınlık değerinin, t^* , çok küçük olduğu durumlarda basınç kayıp katsayısı da, K , en az olmaktadır.

Reynolds sayısının küçük olduğu durumlarda, kalınlık oranının $t^*=1/12$ değerinden hemen sonra basınç kayıp katsayısı, K , aniden yükselme ve sonrasında azalmaktadır.

4.2. Venturimetre ile İlgili Deneysel Sonuçlar

Şekil 4.45-4.51 'de venturimetre ile yapılan deneysel sonuçlar gösterilmektedir. Mevcut çalışmada venturimetrede basınç kaybının araştırılması için 26 basınç prizi kullanılmıştır. Venturimetrenin geometrisi gereği orifimetrenin etki alanında akışın yapısında oluşan değişiklik venturimetrelerde oluşmamaktadır. Bilhassa orifis çıkışında akış hızını etki alanına alan ayrılmış akış bölgesi venturimetrelerde oluşmamaktadır.

Venturimetrelerin girişindeki kesit daralmasından dolayı meydana gelen statik basınç düşmekte, kesit alanı akış yönünde değişen venturimetrenin çıkışında bu basınç yeniden artmaktadır. Sonuç olarak venturimetrelerde meydana gelen basınç kaybı orifimetrelerin neden olduğu basınç kaybından daha küçük olmaktadır.

4.2.1. Venturi Yerleştirilmiş Borularda Eksenel Yönde Basınç Dağılımı

Şekil 4.45-4.47 'de de görüleceği üzere, Reynolds sayısının, Re , artması ile basınç farkı artmaktadır. Aynı zamanda, açıklık oranının, β , azalması ile de basınç farkı artmaktadır. Venturi öncesi kesitin azalması ile statik cidar basıncı düşmekte ve daha sonra artmaktadır. Buradaki basınç dağılımının değişimi bu çalışmada dikkate alınan diğer basınç ölçerlerin boru boyunca neden oldukları basınç değişimine benzetilmektedir.

Şekil 4.6 ile Şekil 4.45 'in karşılaştırılmasına göre, aynı açıklık oranında orifimetreler venturimetrelerden daha yüksek düzeyde basınç kaybına neden olmaktadır.

4.2.2. Debi Katsayısının Değişimi

Debi katsayısının, C_d , Reynolds sayısında, Re , göre değişimi şekil 4.48 'de gösterilmiştir. Açıklık oranının, β , artması ile debi katsayısı, C_d , artmaktadır. Reynolds sayısının $Re_0=3000$ değerine kadar artış gösteren debi katsayısındaki büyüme oranı, Reynolds sayısının $Re_0=3000$ değerinden sonra azalmaktadır. Aynı şekilde açıklık oranının $\beta=0.6$ değeri için mevcut datalar ile önceki çalışmalar karşılaştırılmış ve birbirleri ile uyum içinde oldukları görülmüştür. Şekil 4.49 'da görüleceği üzere Reynolds sayısının, Re , artması ile debi katsayısı da artmaktadır. Aynı zamanda, açıklık oranının, β , artması ile de debi katsayısı, C_d , çok az düzeyde artmaktadır.

4.2.3. Basınç Kayıp Katsayısı Değişimi

Şekil 4.50 'de basınç kayıp katsayısının, K , Reynolds sayısına göre değişimi gösterilmektedir. Reynolds sayısının $Re_0=500\sim 1000$ arasında, açıklık oranının $\beta=0.6$ olduğu durumda basınç kayıp katsayısı, K , azalmakta ve daha büyük Reynolds sayılarında artmaktadır.

Açıklık oranının $\beta=0.8$ olduğu durumda , basınç kayıp katsayısı, K , Reynolds sayısının $Re_0=2250$ değerine kadar azalmakta ve sonrasında çok az miktarda yükselmektedir. Genel olarak, açıklık oranının, β , azalması ile basınç kayıp katsayısı, K , artmaktadır. Şekil 4.51 'de, Reynolds sayısının artması ile basınç kayıp katsayısındaki, K , azalma oranı artmaktadır. En yüksek basınç katsayısı değeri, Reynolds sayısının küçük olduğu durumlarda görülmektedir.

4.3. Lüle ile İlgili Deneysel Sonuçlar

Şekil 4.52-4.61 'de lüle ile ilgili deneysel sonuçların grafikleri gösterilmiştir. Mevcut çalışmada, lülede basınç dağılımını hesaplamak için 26 basınç prizi kullanılmıştır.

4.3.1. Lüle Yerleştirilmiş Borularda Eksenel Yönde Basınç Dağılımı

Şekil 4.52-55 'te boyutsuz basınç farkının, ΔP^* , boyutsuz boru boyuna, L^* , göre değişimi farklı Reynolds, Re , ve açıklık oranları, β , için verilmiştir.

Reynolds sayısı, Re , arttıkça basınç farkı da artmaktadır. Aynı zamanda şekil 4.55 'te de görüleceği üzere açıklık oranı, β , arttıkça basınç farkı düşmektedir. Şekil 4.3, 45 ve 52'nin karşılaştırılması sonucu bu çalışmada dikkate alınan akış ölçerlerin neden olduğu basınç değişimi benzerlik arz etmektedir. Ancak en büyük basınç kaybı orifislerde meydana gelmektedir. Lüleler ve venturiler akış yönünde akış yönüne dikey yüzeyler oluşturmamaktadır. Bu da orifisetrele göre daha az basınç kaybına neden olmaktadır.

4.3.2. Debi Katsayısının Değişimi

Şekil 4.56-4.59 'da da görüleceği gibi, Reynolds sayısının artması ile debi katsayısı, C_d , artmaktadır. Genel olarak açıklık oranının, β , artması ile debi katsayısı da artmaktadır. Mevcut deneysel çalışma literatürden alınan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür. Şekil 4.59 da üç ayrı lüle geometrisi için yapılan deney sonuçları gösterilmiştir. Burada $\beta=0.6$ ya ait iki deneysel sonucun genel değişime uymadığı görülmektedir. Burada ölçme sırasında hata yapıldığı düşünülmektedir.

4.3.3. Basınç Kayıp Katsayısının Değişimi

Şekil 4.60 'ta, Basınç katsayısının açıklık oranına, β , göre değişimi farklı Reynolds, Re , sayılarında incelenmiştir. Reynolds sayısı arttıkça, basınç kayıp katsayısı, K , azalmaktadır. aynı zamanda açıklık oranının, β , artması ile de basınç kayıp katsayısı, K , azalma göstermektedir.

Basınç katsayısının, C_d , Reynolds sayısına, Re , göre değişimini gösteren şekil 4.61 'de, açıklık oranının artması ile basınç katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı $Re_0=1000$ değerine kadar basınç katsayısı daha hızlı düşmektedir.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mevcut çalışmada, laminar ve türbülanslı akışta orifis, lüle ve venturimetrenin neden olduğu basınç kaybı, K , basınç dağılımı, ΔP^* , ve debi katsayısı, C_d , değişimi farklı açıklık oranları, β , için deneysel olarak araştırılmıştır. Aynı zamanda, boru içine yerleştirilmiş orifisetrelerin neden olduğu basınç kaybı, K , basınç dağılımı, ΔP^* , ve basınç kayıp katsayısı değişimi farklı orifis kalınlık oranları, t^* , için deneysel olarak araştırılmıştır.

Yapılan literatür taraması sonucunda, farklı köşe geometriler ve açıklık oranları, β , için çalışmalar yapıldığı, orifis kalınlığının, t^* , akışa etkisinin yeterince incelenmediği görülmüştür. Orifis öncesi ve sonrasındaki basınç dağılımını incelemek için debi ölçerlerin her iki tarafa yeterli sayıda basınç prizleri konulmuştur. Orifis öncesine yerleştirilen 10 adet ve sonrasına yerleştirilen 14 adet basınç prizleri ile cidardaki statik basınç dağılımı incelenmiş ve basınç kayıplarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Daimi, tam gelişmiş ve sıkıştırılmaz akışta debi katsayısı, C_d , Reynolds sayısının, Re , orifis açıklık oranı, β , ve orifis kalınlık oranına, t^* , bağlı olduğu $C_d=f(Re,\beta,t^*)$ görülmüştür.

Şekil 4.1 ile şekil 4.44 arasında, orifis açıklık oranının $\beta=0.4 \sim 0.8$ aralığındaki sonuçları, kalınlık oranı $t^*=1, 1/2, 1/8, 1/12$ için Reynolds sayısına, Re , göre değişimi gösterilmiştir. Düşük Reynolds sayılarında, Re , debi katsayısının açıklık oranının, β , artması ile azaldığı, Reynolds sayısının 750 değerinden sonra ise bu durumun tam tersi olduğu görülmüştür. Açıklık oranı $0.4 \leq \beta \leq 0.6$ değerlerine kadar, kalınlık oranı, t^* , arttıkça debi katsayısının arttığı, açıklık oranı $\beta > 0.6$ değerinden sonra kalınlık oranı, t^* , arttıkça debi katsayısı azalmıştır. Açıklık oranı, β , arttıkça, orifisin neden olduğu basınç farkında azalma meydana gelmiştir. Aynı Reynolds sayılarında, Re , açıklık oranı, β , arttıkça aynı fark yine azalmıştır. Kalınlık oranının $1 \geq t^* \geq 1/8$ aralığında, Reynolds sayısının artması ile basınç kayıp katsayısı, K , da artmış, aynı sonuçlara göre açıklık oranı, β , arttıkça basınç kayıp katsayısı, K , azalmıştır. Kalınlık oranının $t^*=1/12$

olduğu durumda açıklık oranının $\beta \leq 0.6$ değerlerinde Reynolds sayısının artması ile basınç kayıp katsayısı, K , artmış ve açıklık oranı $\beta > 0.6$ değerlerinde Reynolds sayısının artması ile basınç kayıp katsayısı, K , azalmıştır.

Venturimetrede basınç dağılımını daha iyi inceleyebilmek için boru boyunca ve venturimetre üzerinde basınç prizleri kullanılmıştır. Mevcut çalışmada, açıklık oranı $\beta = 0.6$ ve $\beta = 0.8$ için $2\theta_2 = 10^\circ$ geometrilerinde deneysel çalışma yapılmış ve diğer çalışmalardaki sonuçlarla karşılaştırılarak mukayesesi yapılmıştır. Yapılan iki çalışmada, Reynolds sayısının artmasıyla debi katsayısının da, C_d , yükseldiği görülmüştür. Daralan kesit bölgesinde ise basınç farkı düşmüştür. Venturimetre açıklık oranı, β , arttıkça debi katsayısı da artmıştır. Aynı zamanda Reynolds sayısının artması ile de debi katsayısında artış görülmüştür. Açıklık oranı $\beta = 0.6$ değerindeki basınç katsayısı değeri, K , $\beta = 0.8$ değerine göre daha fazla olmuştur.

Lüle için yapılan çalışmaların grafik sonuçları şekil 4.52 'den şekil 4.61 'e kadar olan kısımda gösterilmiştir. Reynolds sayısının $Re_o \geq 2000$ değerlerinden sonra açıklık oranının artması ile debi katsayısı da artmıştır. Reynolds sayısının artması ile basınç kayıp katsayısı, K , azalmış ve aynı zamanda açıklık oranının, β , artması ile basınç kayıp katsayısı, K , azalmıştır.

Mevcut çalışmalar neticesinde, açıklık oranının, β , yüksek olduğu değerlerde basınç kayıp katsayısının, K , azaldığı görülmüştür. Orifis metre ile yapılan deneyler sonucunda, açıklık oranı $\beta = 0.4$ ve açıklık oranı $t^* = 1$ için Reynolds sayısının artması ile debi katsayısında fazla bir değişim sözkonusu olmamıştır. Kalınlık oranı $t^* = 1/8, 1/12$ değerlerinde debi katsayısı daha yüksek olmasına rağmen, düşük Reynolds sayılarındaki değişim daha fazla olmaktadır. Venturimetre geometrileri ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar, orifisin sonuçlarına göre debi katsayısı, C_d , daha fazla ve basınç kayıp katsayısı, K , daha düşük olduğu görülmüştür. Basınç kayıp katsayısının, K , daha düşük olduğu bir diğer geometri, lüle geometrisidir. Mevcut çalışmalar neticesinde en az basınç katsayısı yüksek açıklık oranlarında görülmüştür. Düşük açıklık oranlarında, β , basınç kaybı daha fazla ve aynı zamanda Reynolds sayısının artmasıyla göstermiş oldukları değişim de daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Düşük Reynolds sayılarında, Re , orifis debi katsayısının, C_d , fazla değişmediği geometri $\beta=0.8$ ve $t^*=1$ olarak belirlenmiştir. Bu orifis geometrisi, standard orifis geometrilerinden daha az basınç kaybına neden olmaktadır.



KAYNAKLAR

- ASME, 1971. Fluid Meters (H. S. BEAN editör). Newyork,273s.
- AKILLI, H., 1994. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Orifis Etrafındaki Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi.Balcalı/Adana,139s.
- ALVI, S.H., SRIDHARAN, K., RAO, N.S.L., 1978. Loss Characteristics of Orifices. Jornal of Fluids Engineering, 100: 299-307.
- CEYHAN, H., 1993. Laminar Akışta Boru İçerisine Yerleştirilmiş Kare Köşeli Orifis Etrafında Akış Karakteristiklerinin Teorik İncelenmesi. Balcalı/Adana,110s.
- CODER, W.D., BUCKLEY, F.T.,1974.Implicit Solutions of the Unsteady Navier-Stokes Equation for Laminar Flow Through an Orifice Within Pipe, Computers and Fluids,2:295-315.
- GROSE, R.D.,1983. Orifice Flow at Low Reynolds Number. Journal of Pipelines, 3:207-214.
- GROSE, R.D., 1983. Orifice Flow at Low Reynolds Number. Journal of Pipelines, 3:207-214.
- GROSE, R.D., 1985. Orifice Contraction Coefficient for Inviscid Incompressible Flow. Journal of Fluids Engineering, 107:36-43.
- ISO, 1980. Measument of Fluid Flow by Means of Orifis Plates, Nozzles and Venturi Tubes inserted in Circular Cross-Section Conduits Running Full, Ref no:ISO 5167-1980 (E).
- JOHANSON, F.C., 1968. The Measurements and Effects of Edge Sharpnesson the Flow Coefficient of Standart Orifices.Journal of Fluids Engineering,2:271-275.
- LICHTAROWICZ, A., DUGGINS, R.K., MARKLAND, E., 1965. Discharge Coefficients for Incompressible Non-Cavitating Flow Throug Long Orifices. Jornal Mechanical Engineering, 7(2):210-219.

- MITTAL, R.C., SHARMA, P.K.,1987. Numerical Solution of a Viscous Incompressible Flow Problem Through an Orifice. *Applied Scientific Research*, 44:361-375.
- NIGRO, F.E.B., STRONG, A.B.,ALPAY, S.A.,1978.A Numerical Study of the Laminar Viscous Incompressible Flow Through a Pipe Orifice. *Journal of Fluids Engineering*, 100:467-472.
- ŞAHİN, İ., 1996.Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Venturimetredeki Akış Karakteristiklerinin Hesaplanması. *Balcılı/Adana*, 95s.
- TEYSSANDIER, R.G., HUSAIN, Z.D., 1987. Experimental Investigation of an Orifice Meter PressureGradient. *Journal of Fluids Engineering*, 109:144-158.
- YAMAGUCHI, A., 1976. Non-Steady Characteristics of Orifices. *Bulletih of the JSME*, 19:no:131.

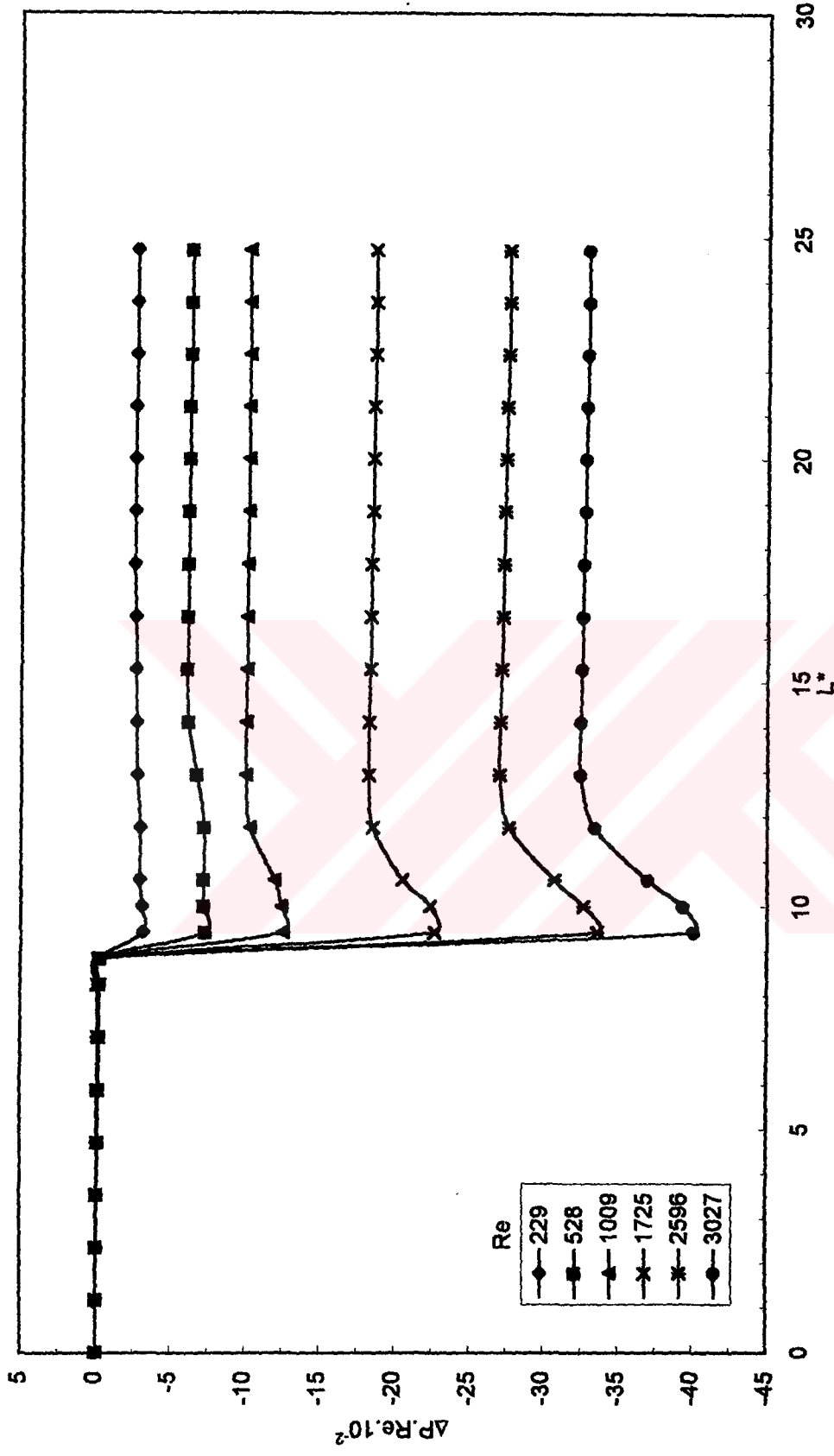
ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Ceyhan 'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana 'da tamamladı. Adana Merkez Teknik Lise Elektronik Bölümünü bitirerek 1988 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliğinde lisans eğitime başladı. 1993 yılında makina mühendisi olarak mezun oldu ve aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Bir süre aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalıştıktan sonra askerlik hizmeti için görevinden istifa etti. Halen Borusan Oto Adana-Mersin Şubesinde servis danışmanı olarak görev yapmaktadır.

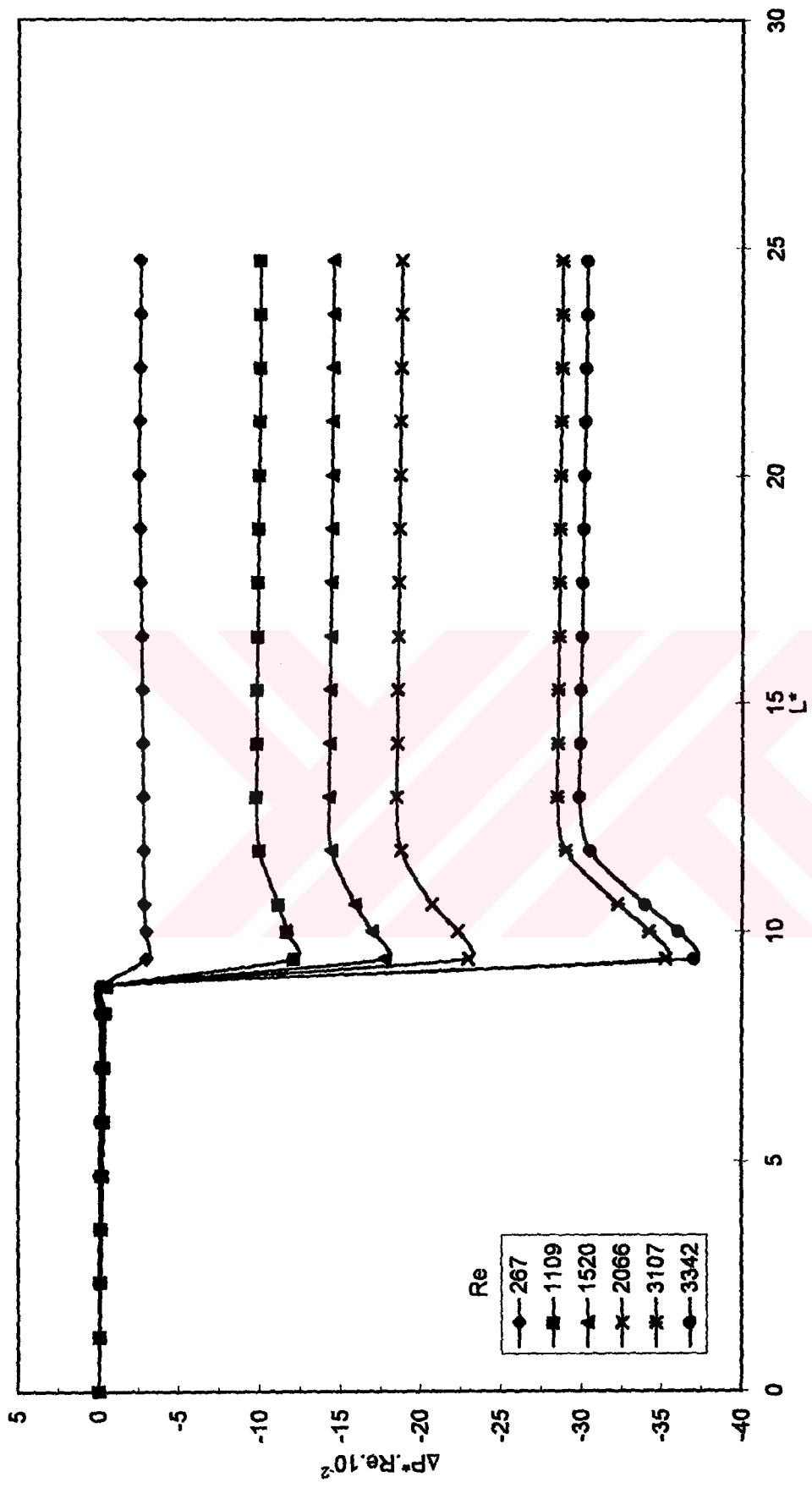
EK 1

Bu kısımda mevcut çalışmadaki deneysel sonuçların tablo halinde çıkarılmış şekilleri sunulmuştur.

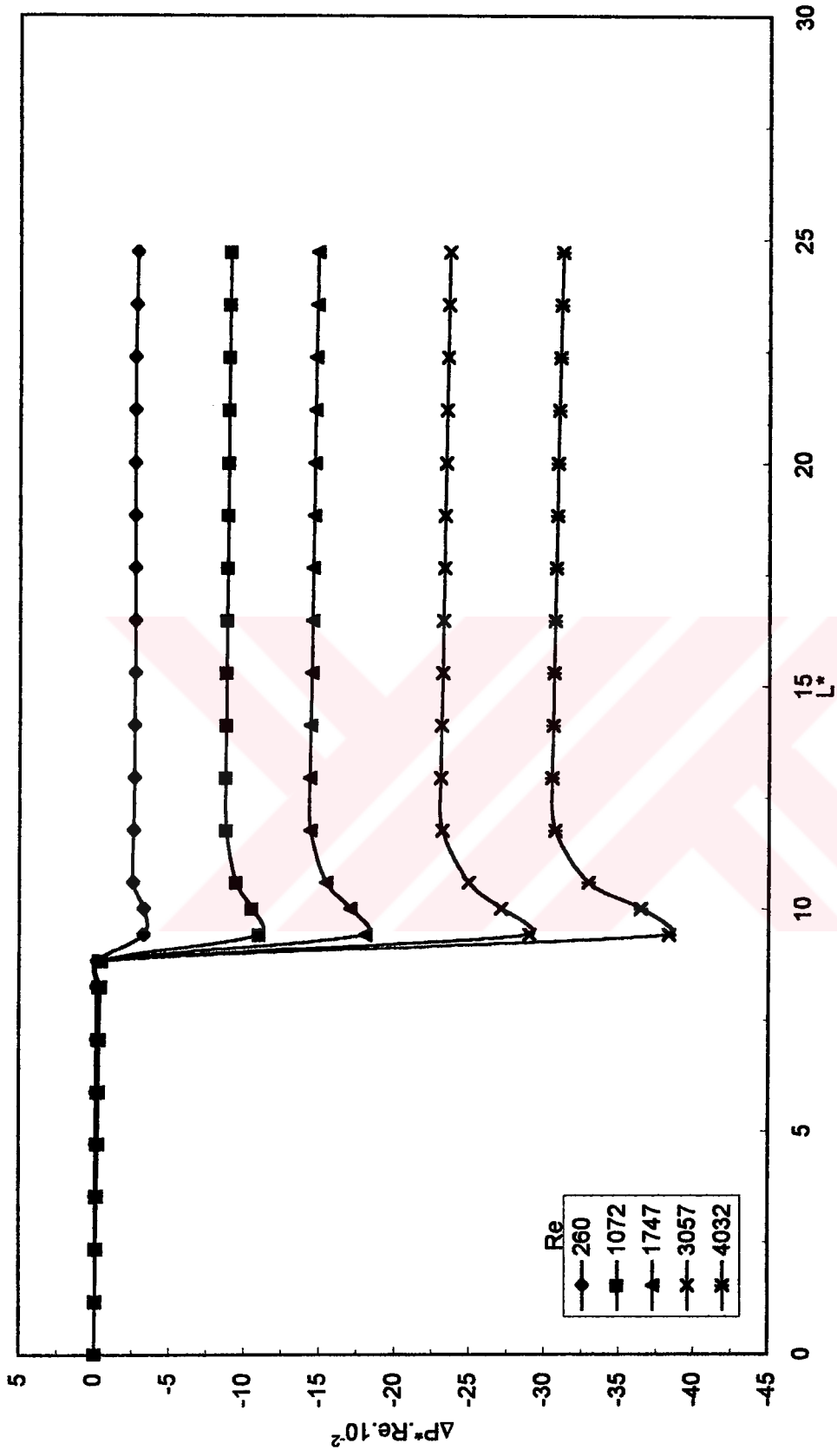




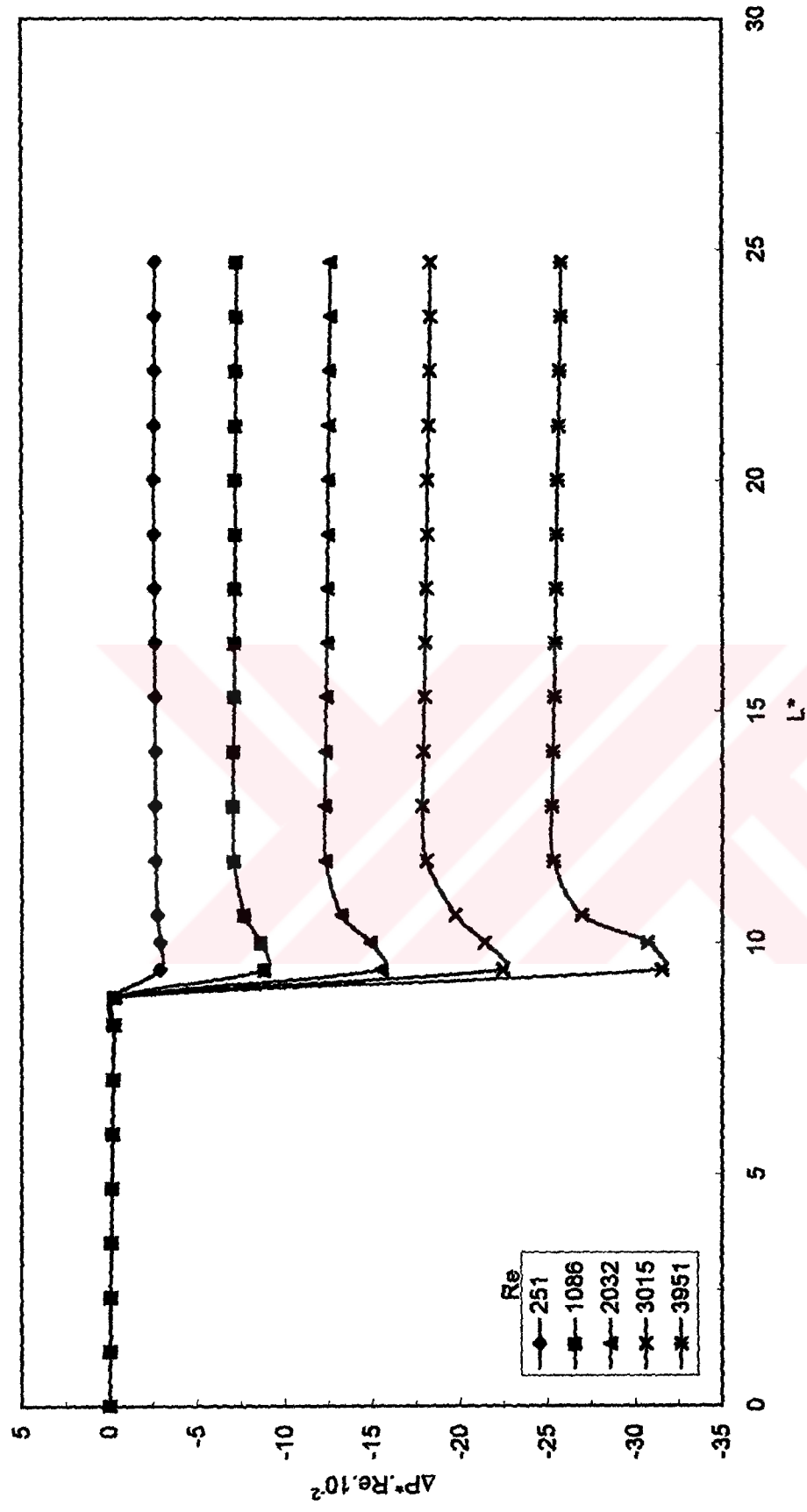
Şekil 4.1. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, (orifis), $\beta=0.4$, $t^*=1/12$



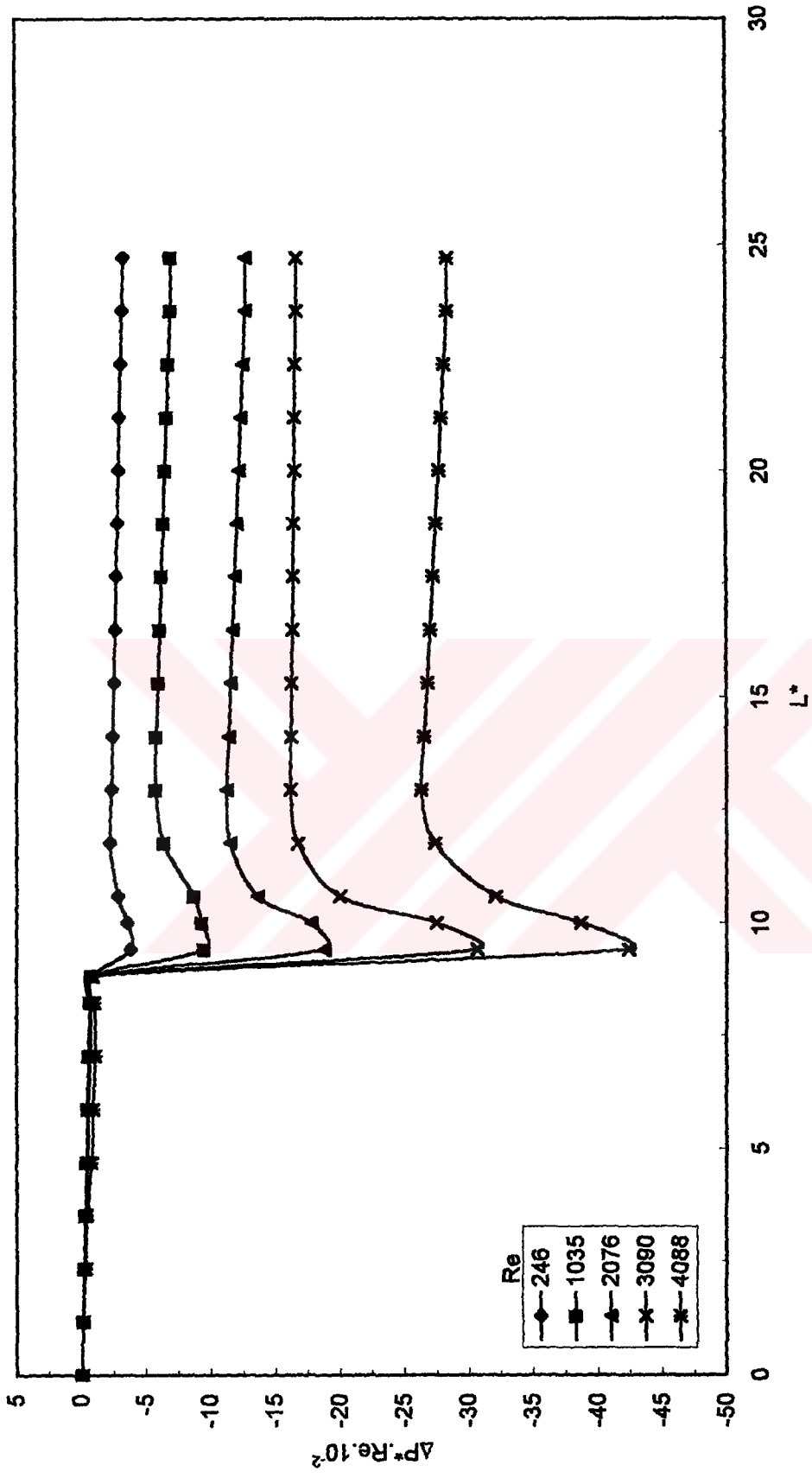
Şekil 4.2. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.4$, $t^*=1/8$



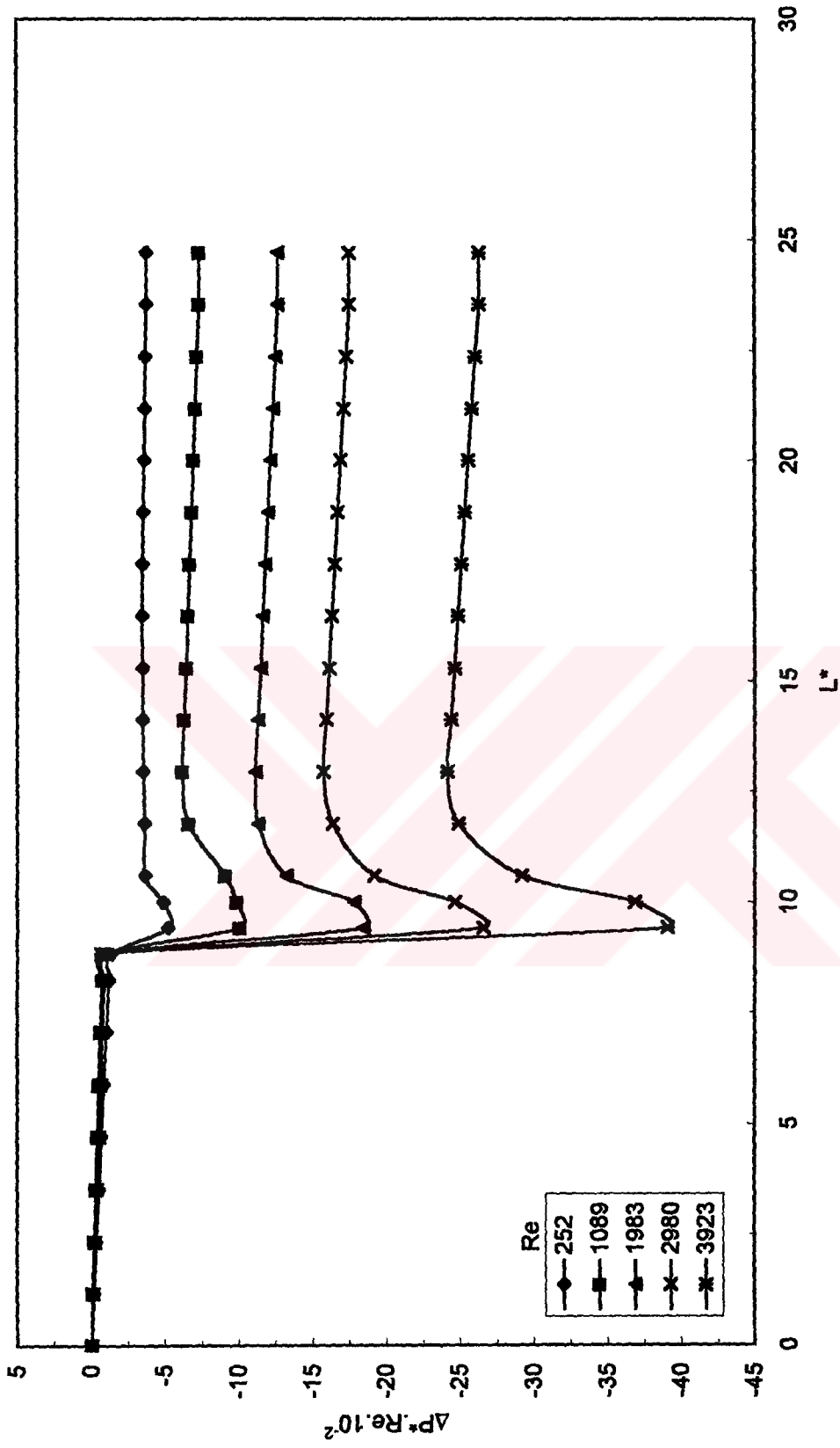
Şekil 4.3. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.4$, $t^*=1/2$



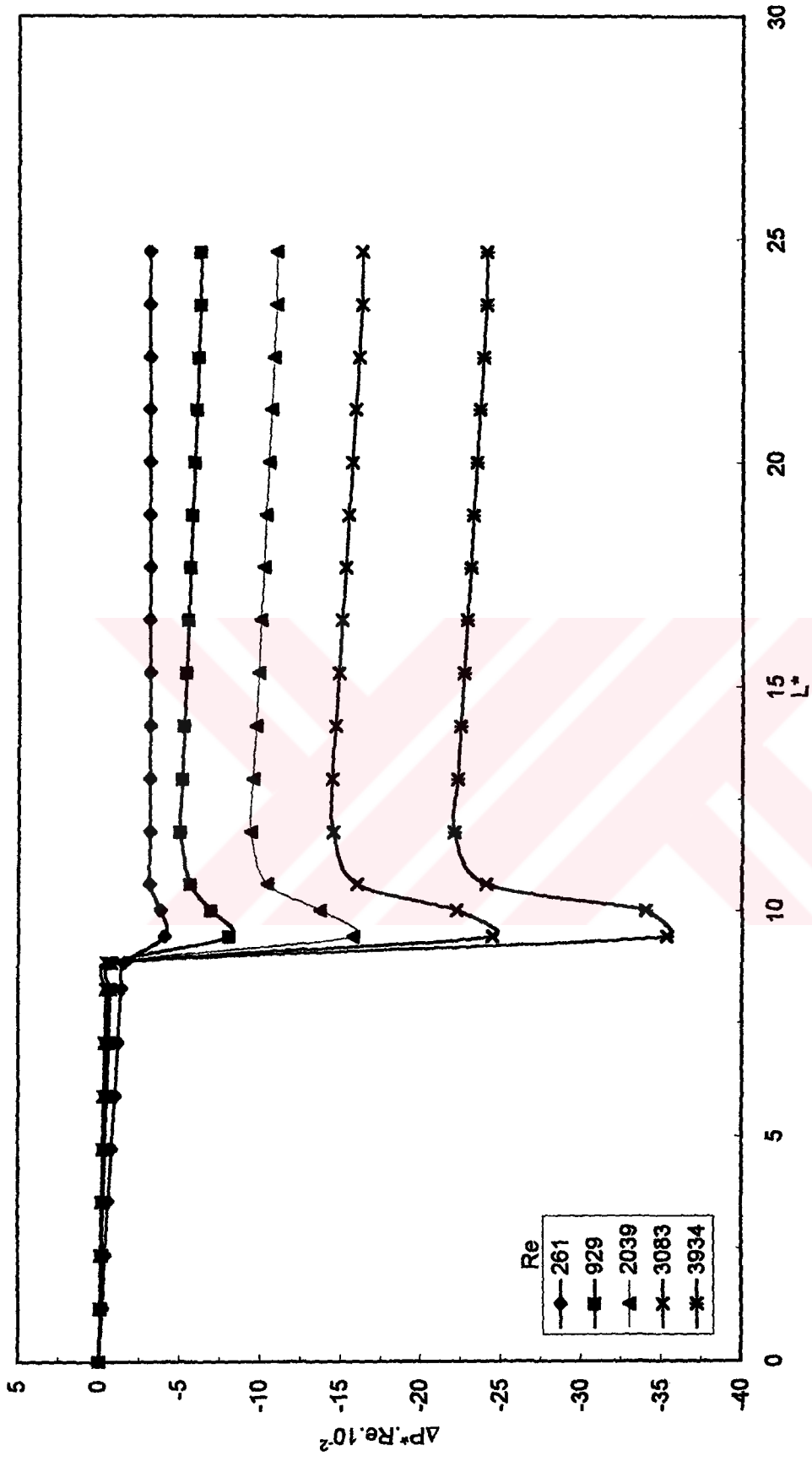
Şekil 4.4. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.4$, $t^*=1$



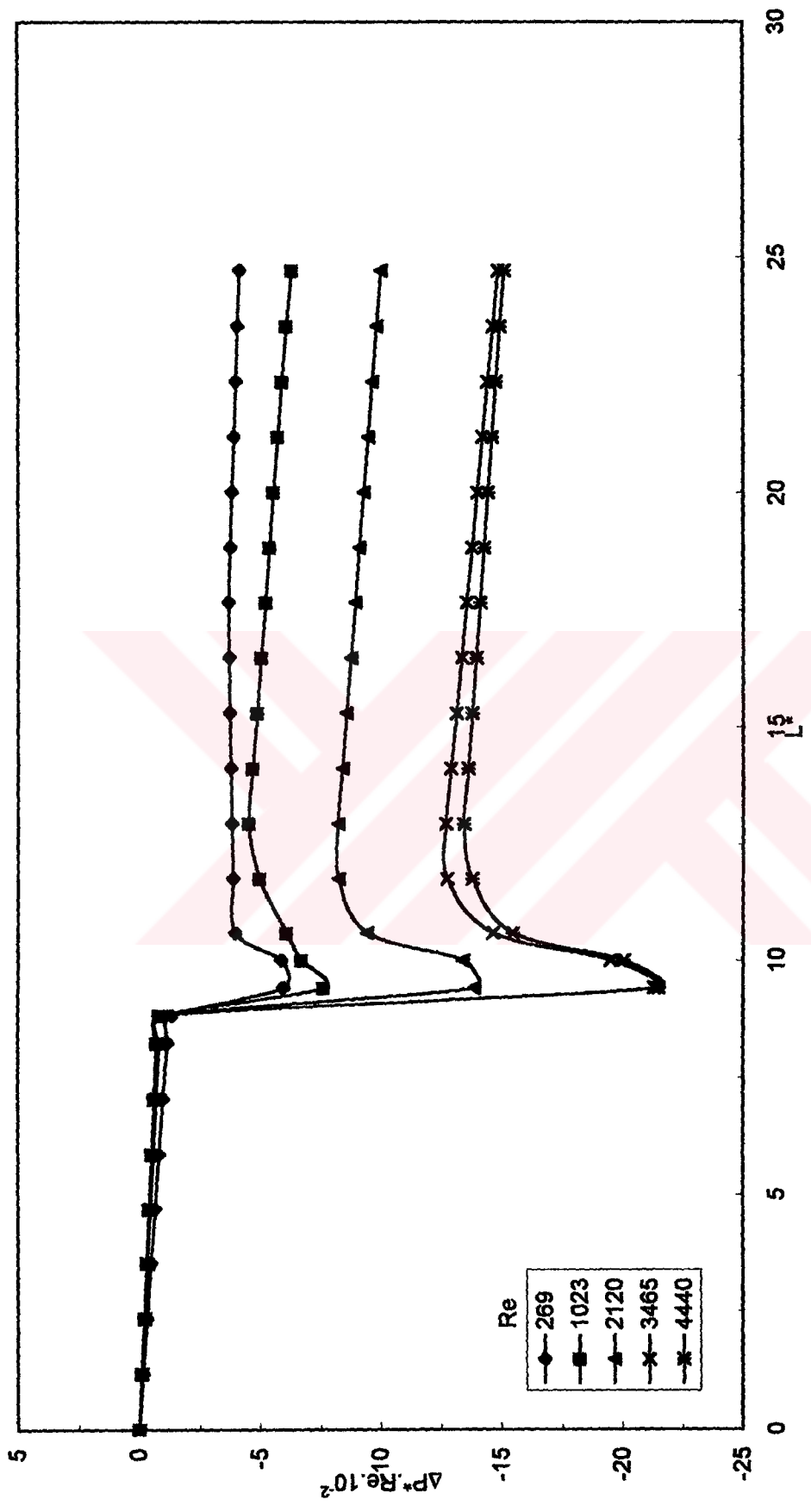
Şekil 4.5. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.6$, $t^*=1/12$



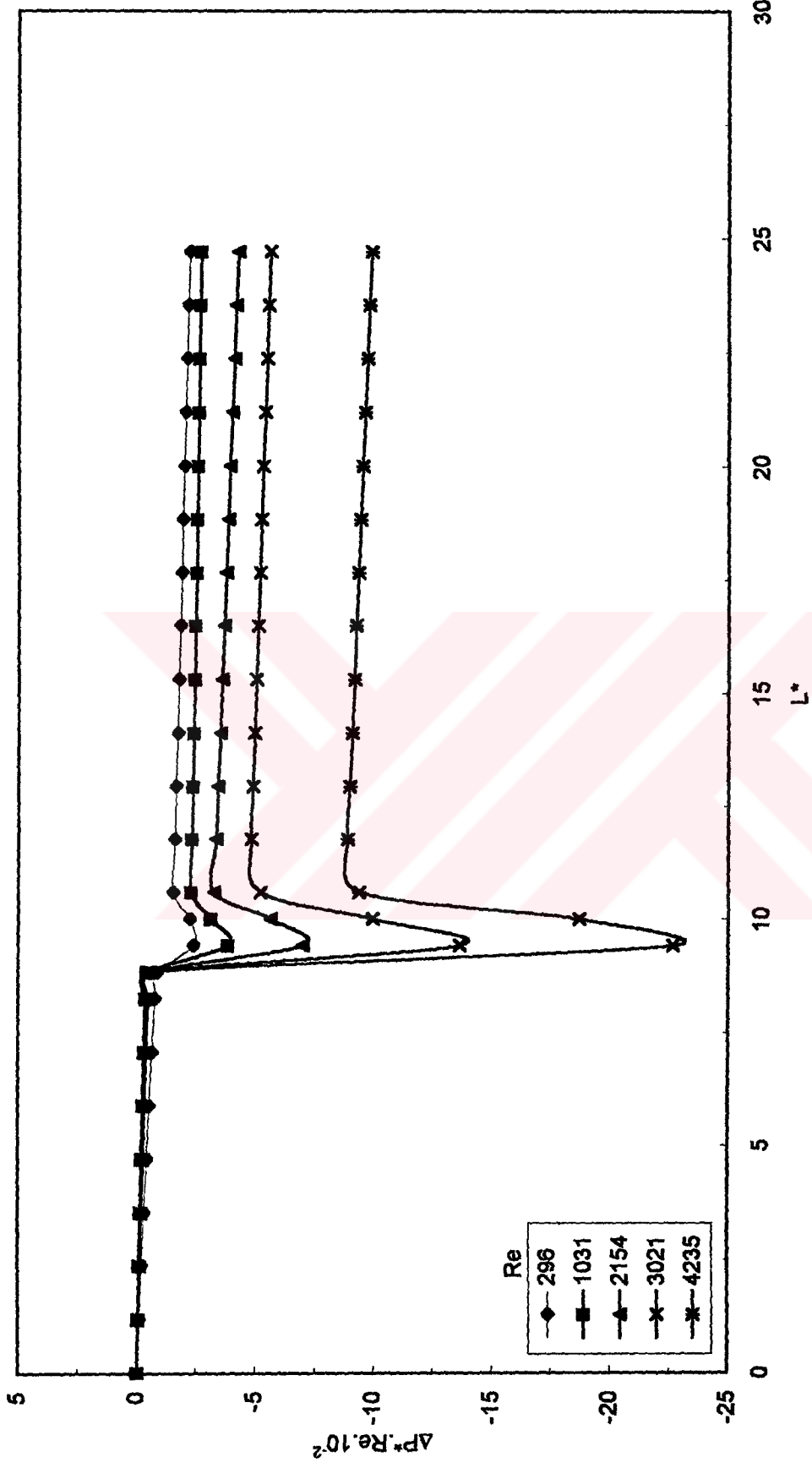
Şekil 4.6. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.6$, $t^*=1/8$



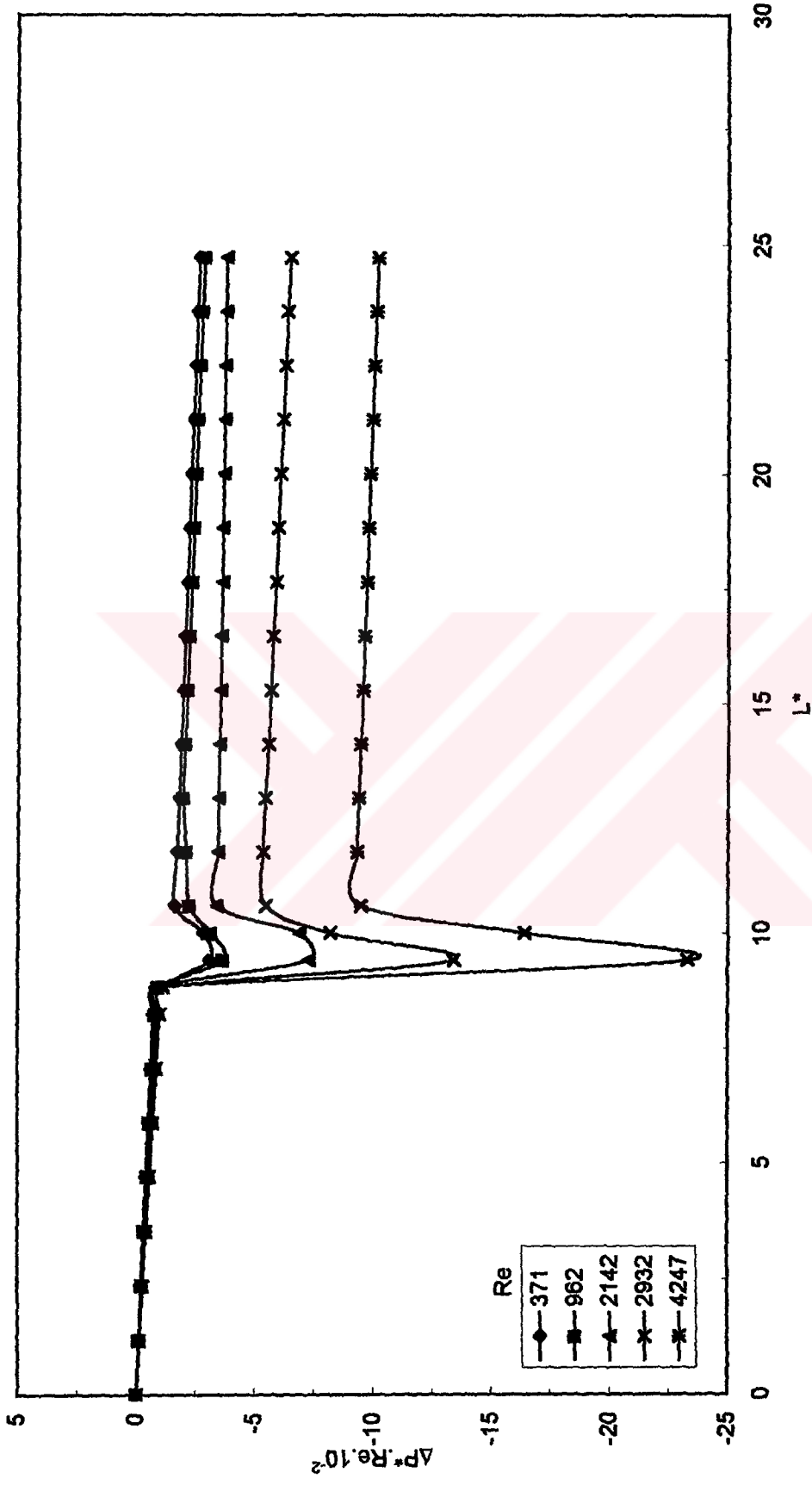
Şekil 4.7. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, (orifis), $\beta=0.6$, $t^*=1/2$



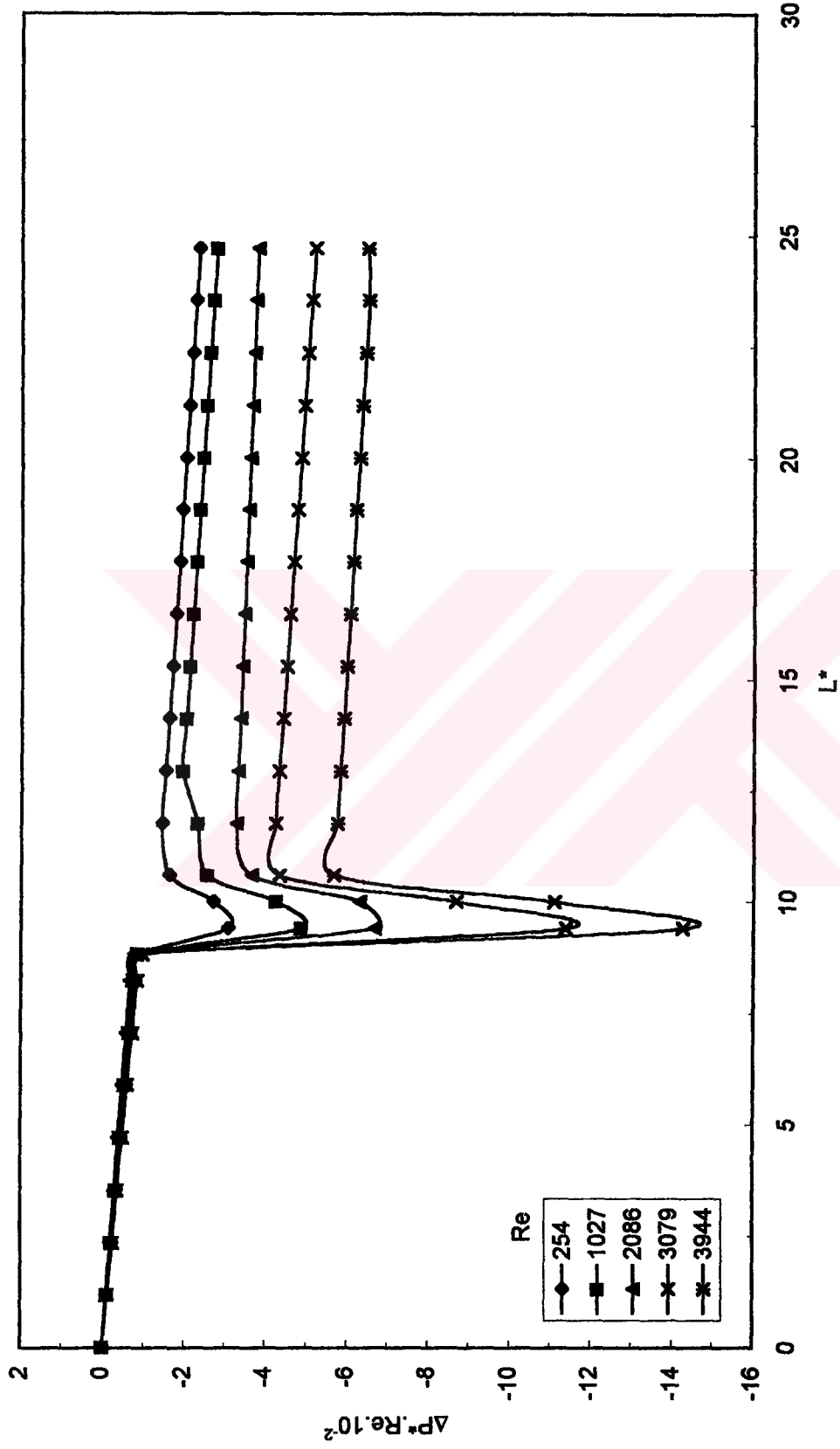
Şekil 4.8. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, (orifis), $\beta=0.6$, $t^*=1$



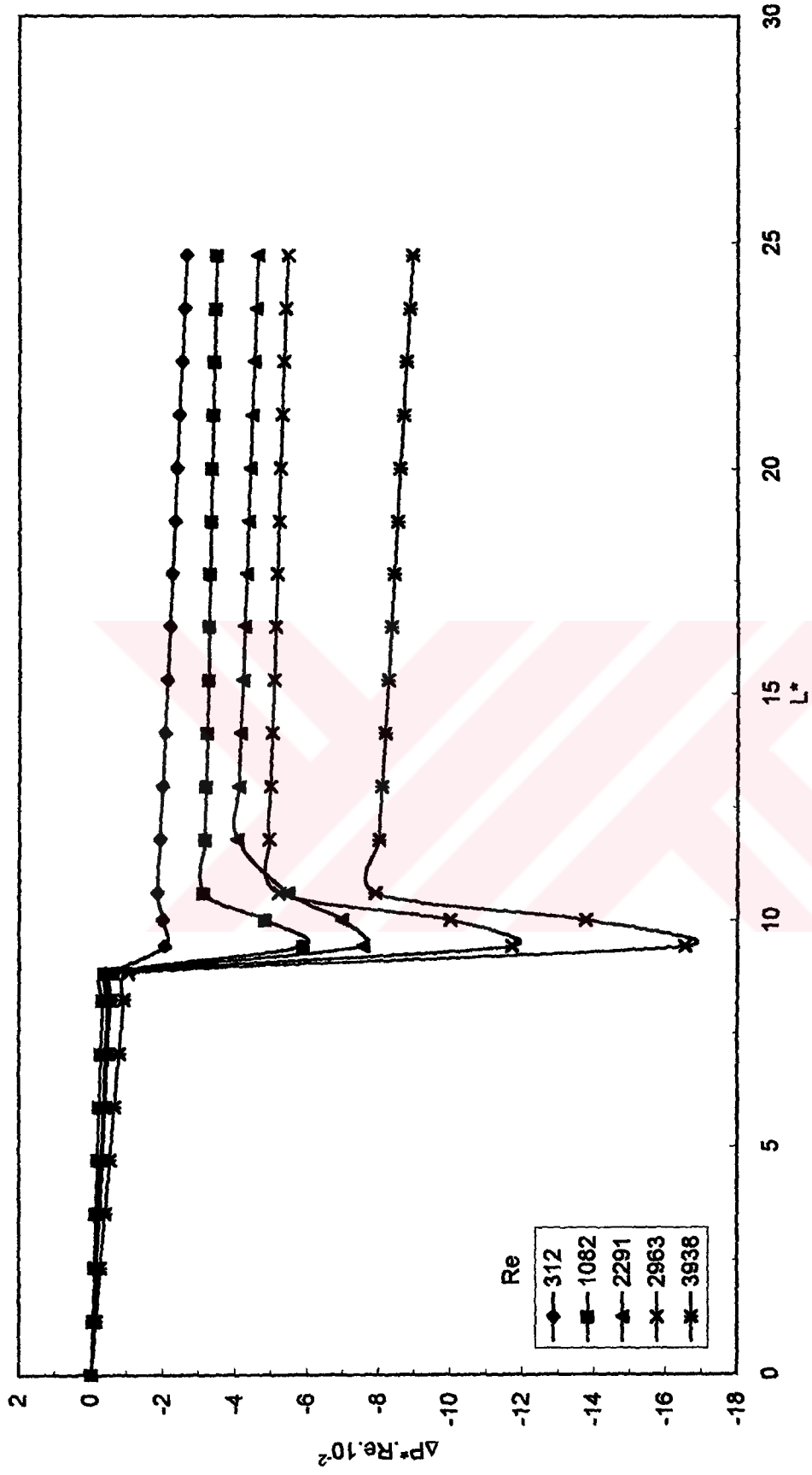
Şekil 4.9. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.8$, $t^*=1/12$



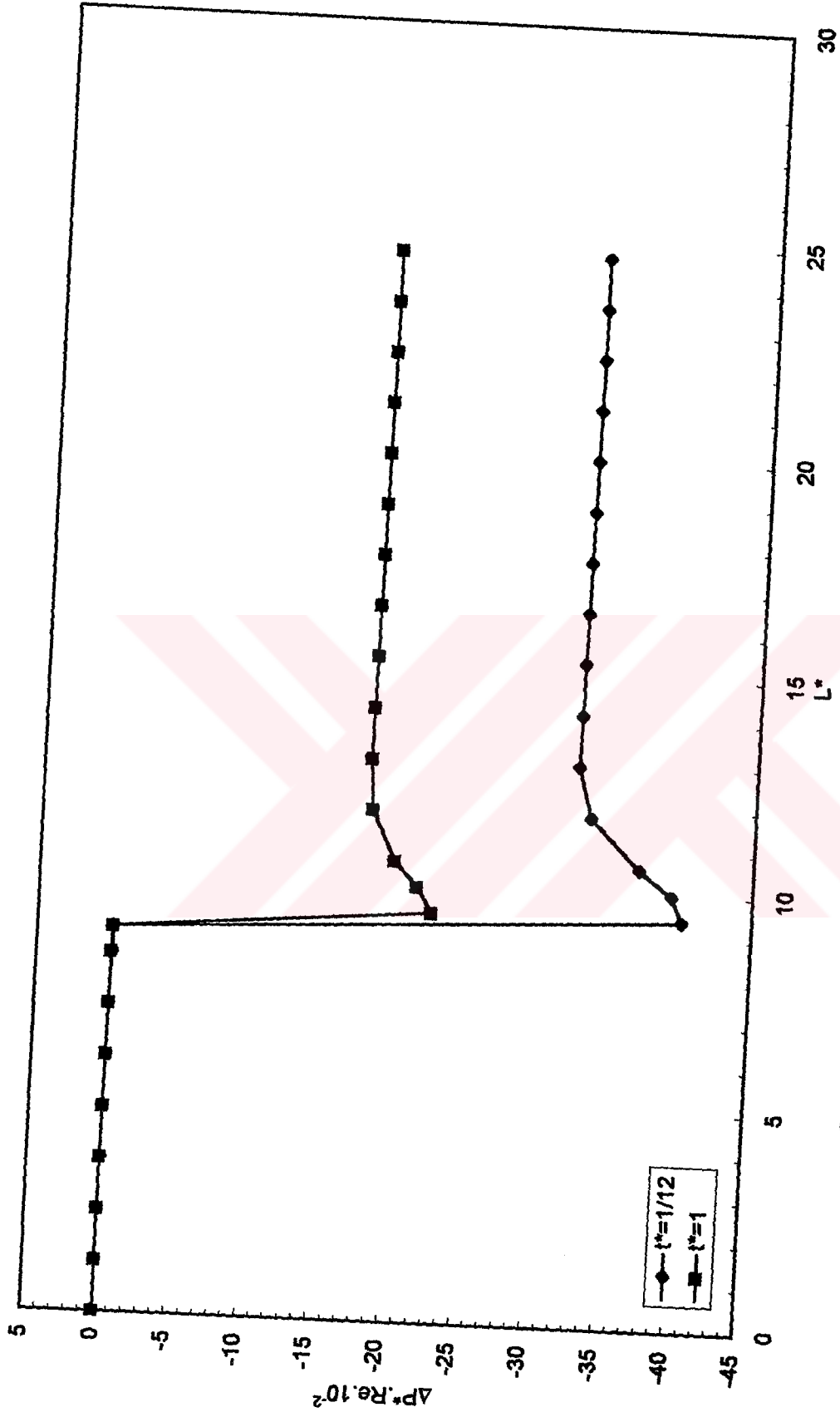
Şekil 4.10. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.8$, $t^*=1/8$



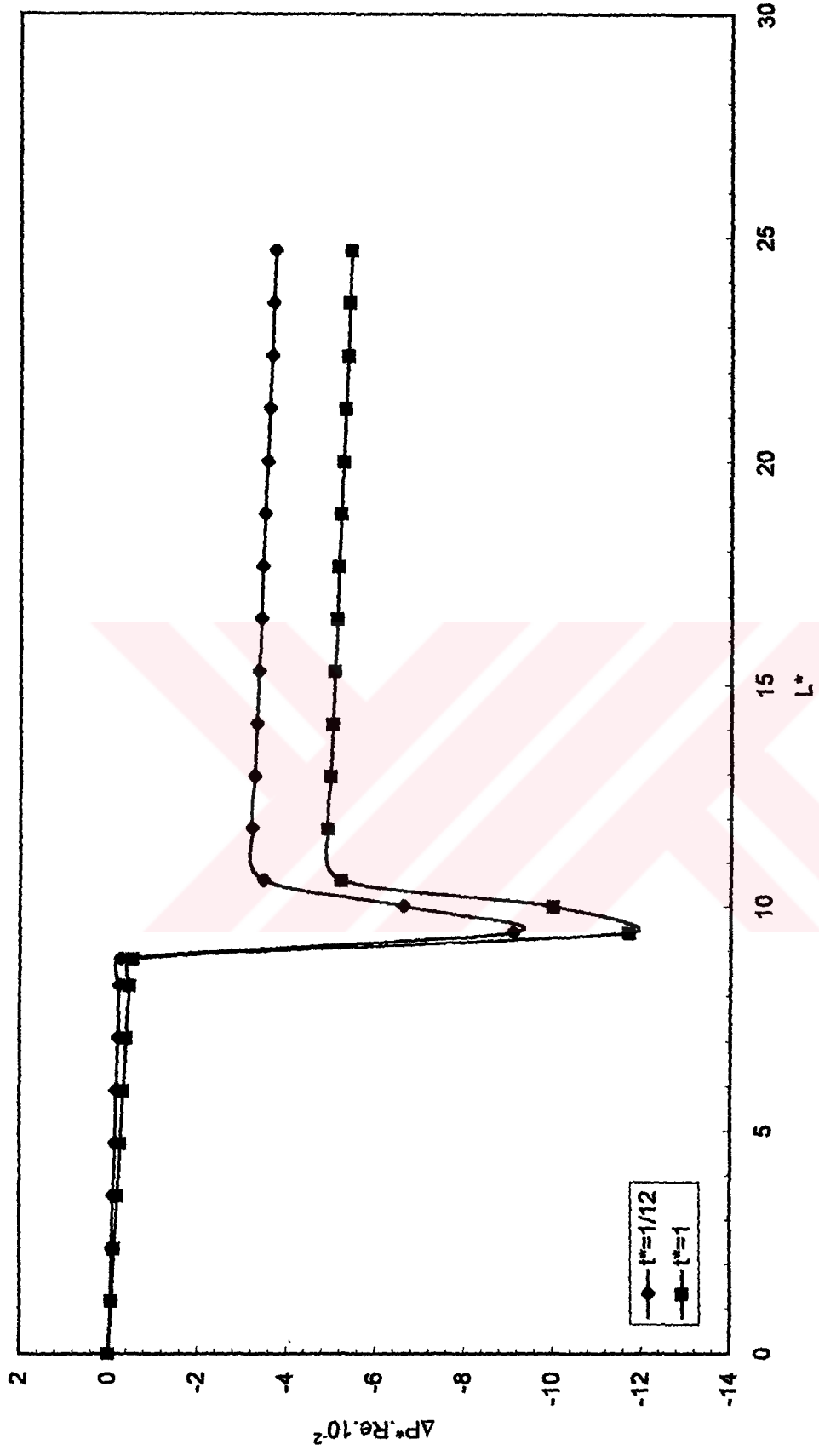
Şekil 4.11. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.8$, $t^*=1/2$



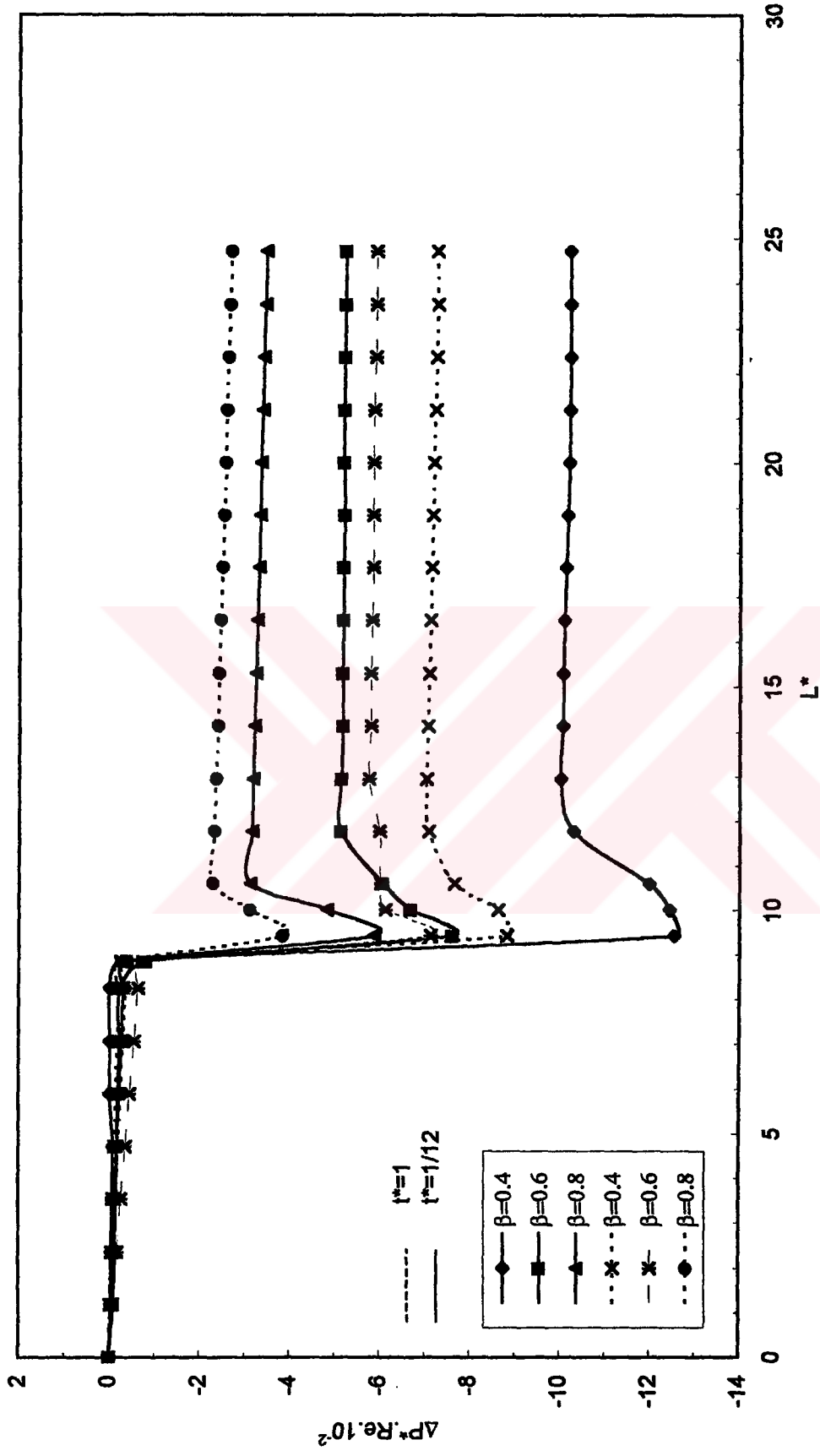
Şekil 4.12. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, ($\beta=0.8$, $t^*=1$)



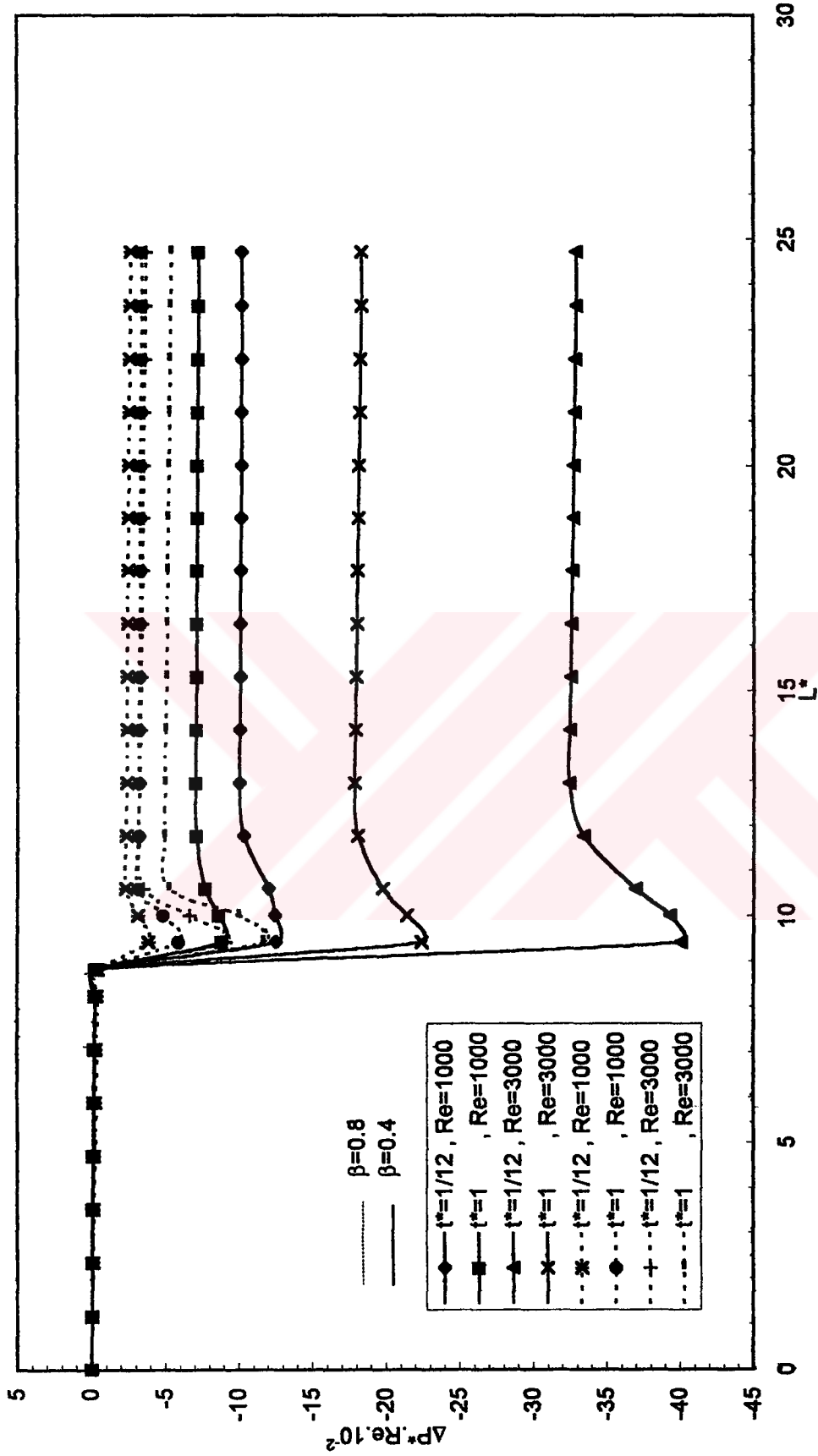
Şekil 4.13. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, (orifis), $\beta=0.4$, $Re=3000$



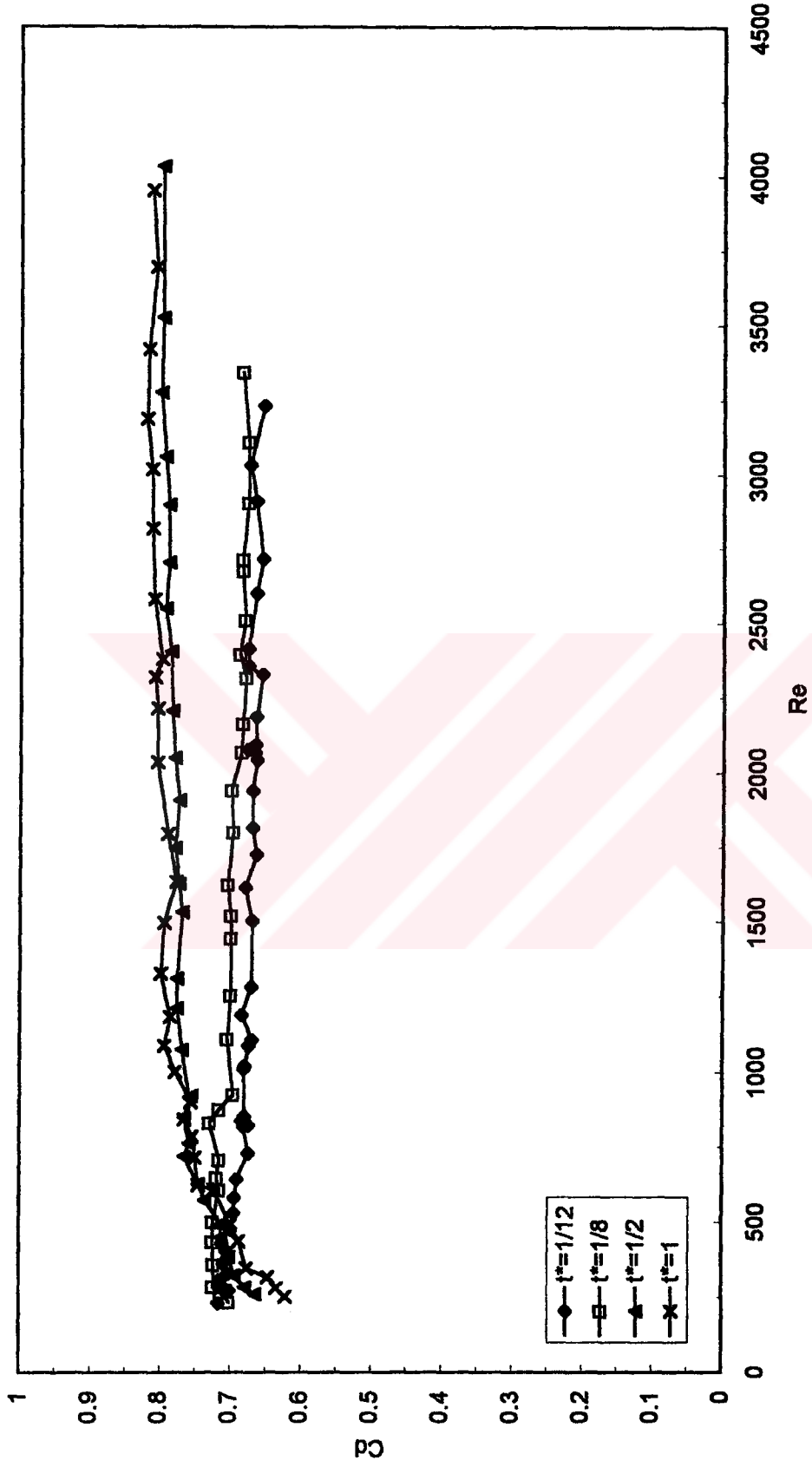
Şekil 4.14. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.8$, $Re=3000$



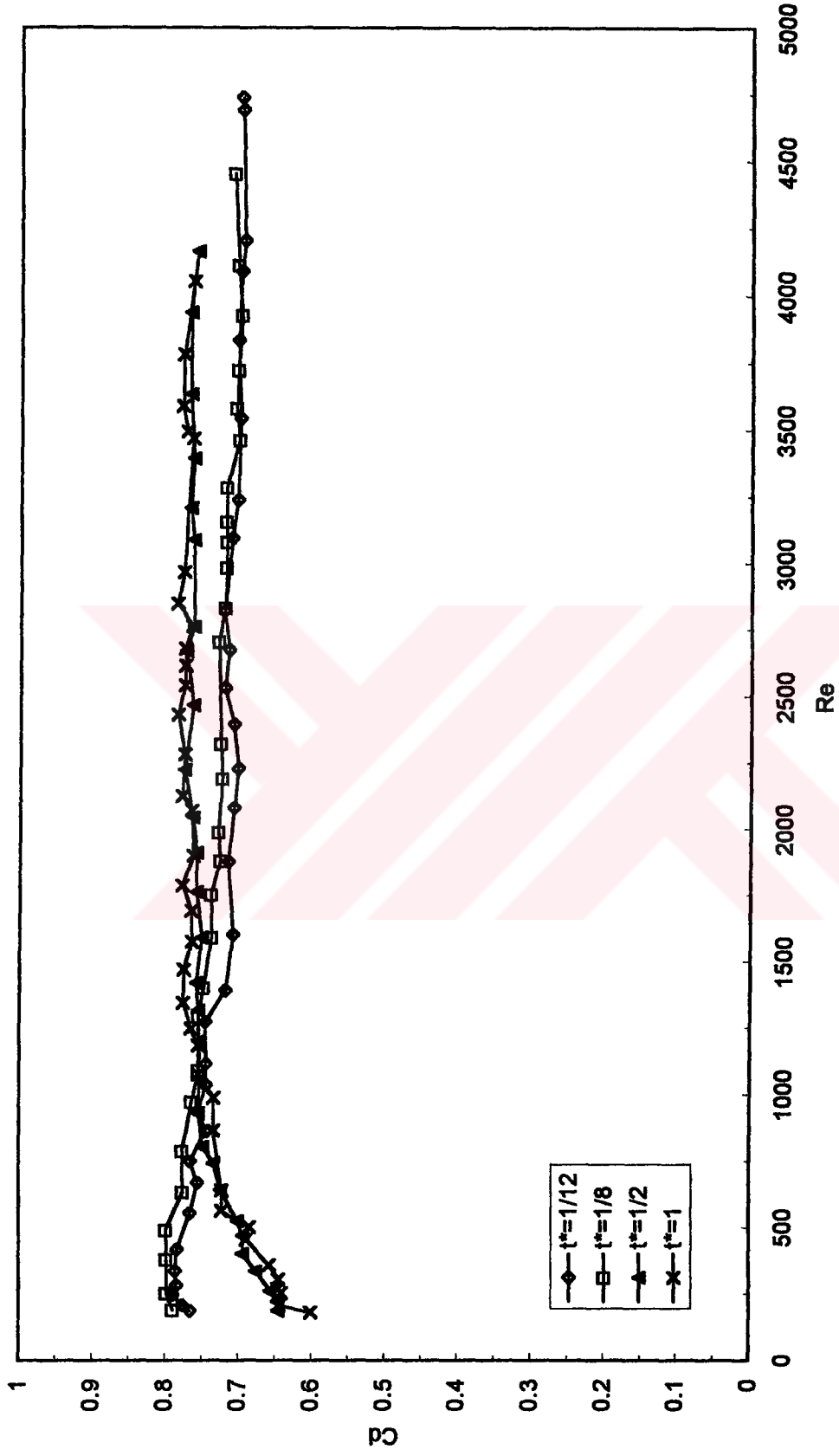
Şekil 4.15. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, (orifis), $Re=1000$



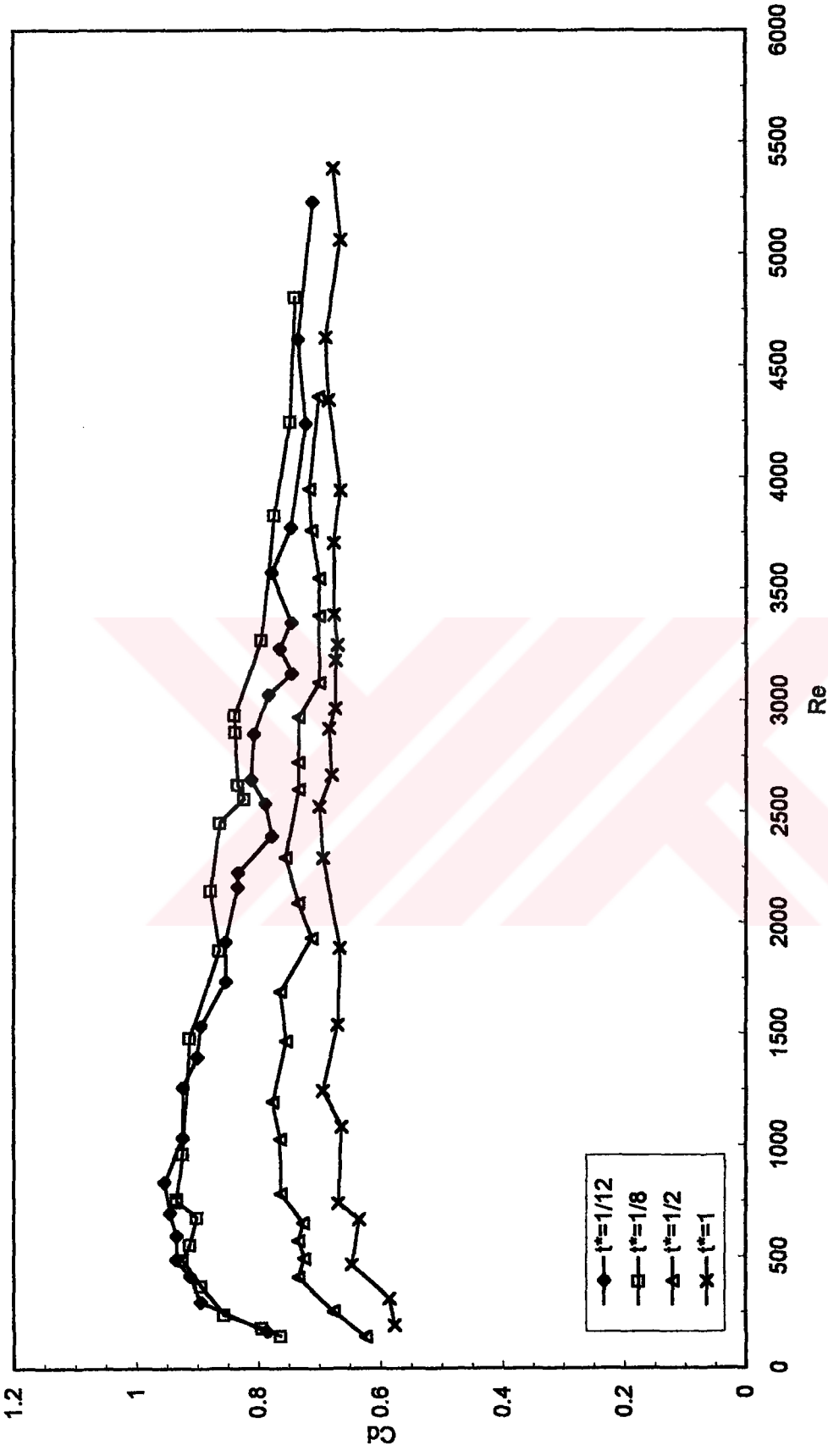
Şekil 4.16. Basınç dağılımının boru boyunca değişimi, $\beta=0.4$, $\beta=0.8$



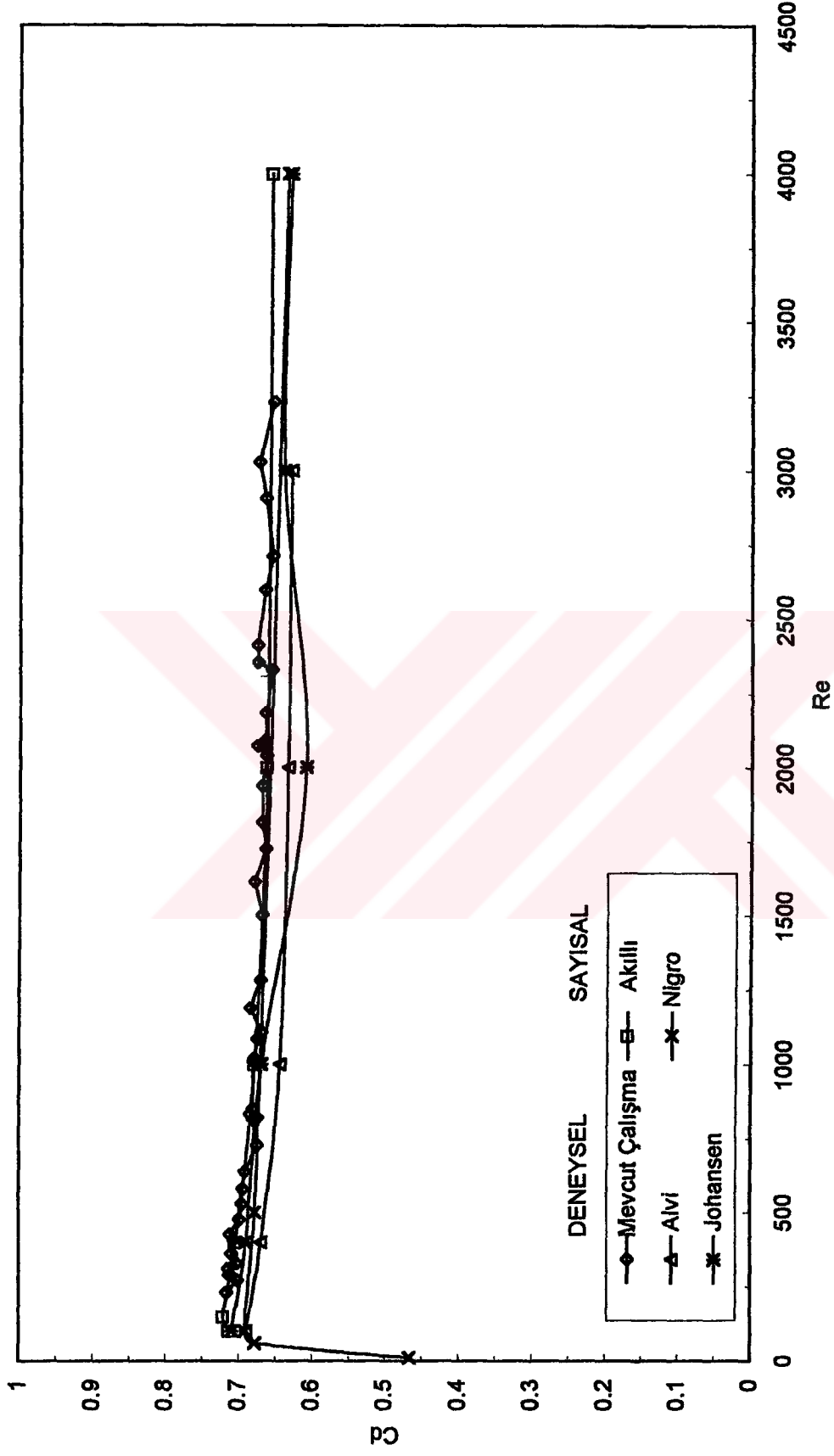
Şekil 4.17. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $\beta=0.4$



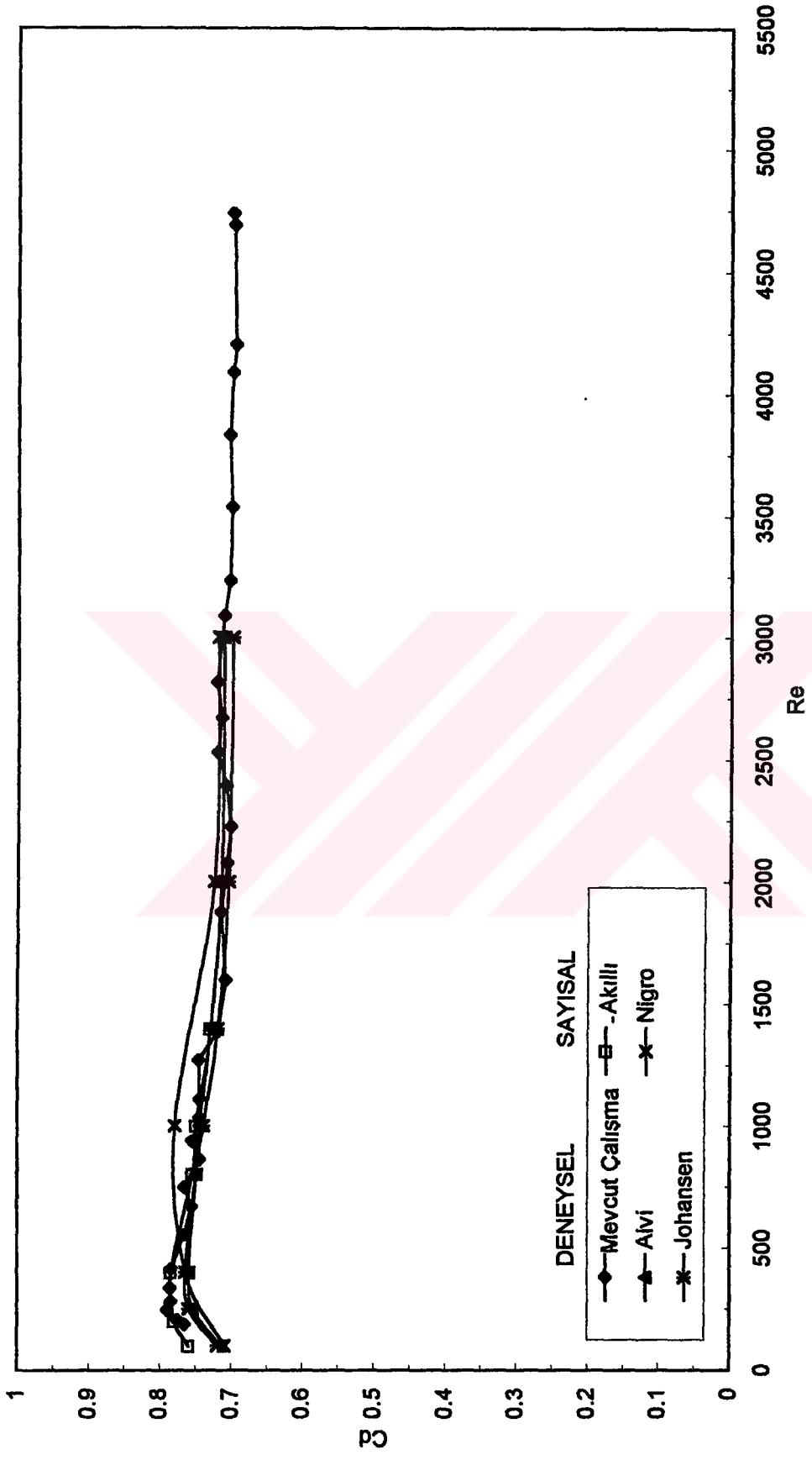
Şekil 4.18. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $\beta=0.6$



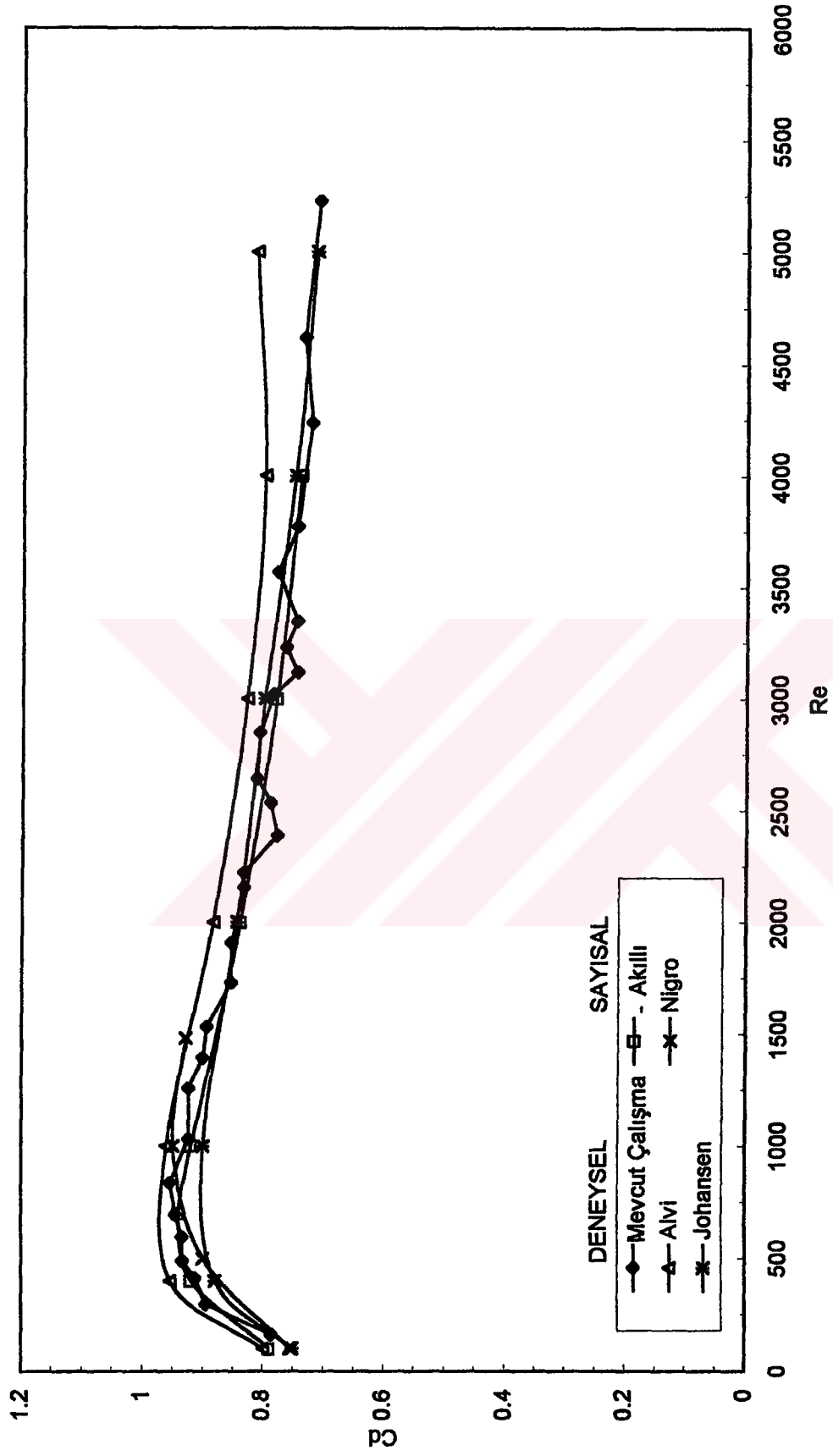
Şekil 4.19. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $\beta=0.8$



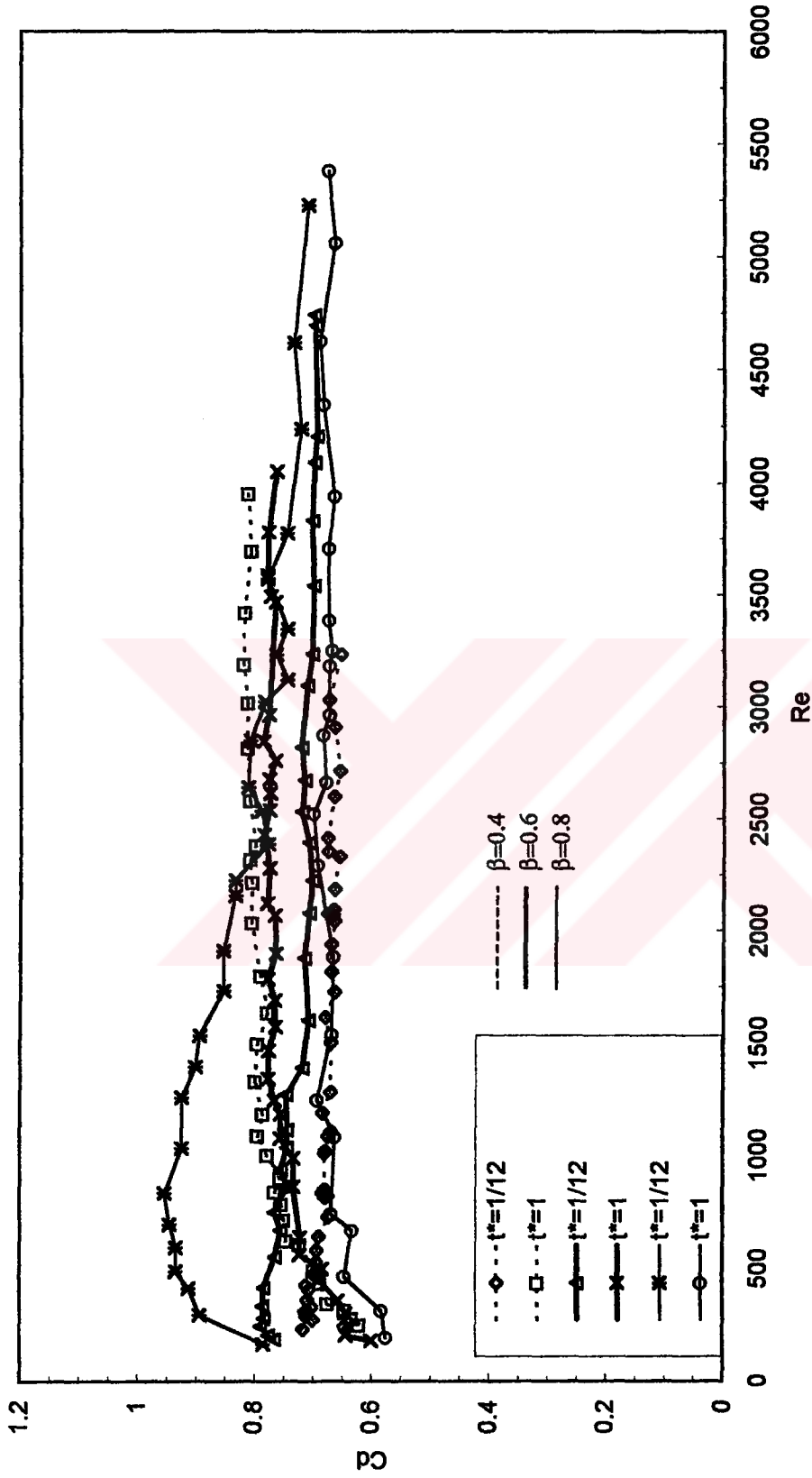
Şekil 4.20. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $\beta=0.4$, $t^*=1/12$



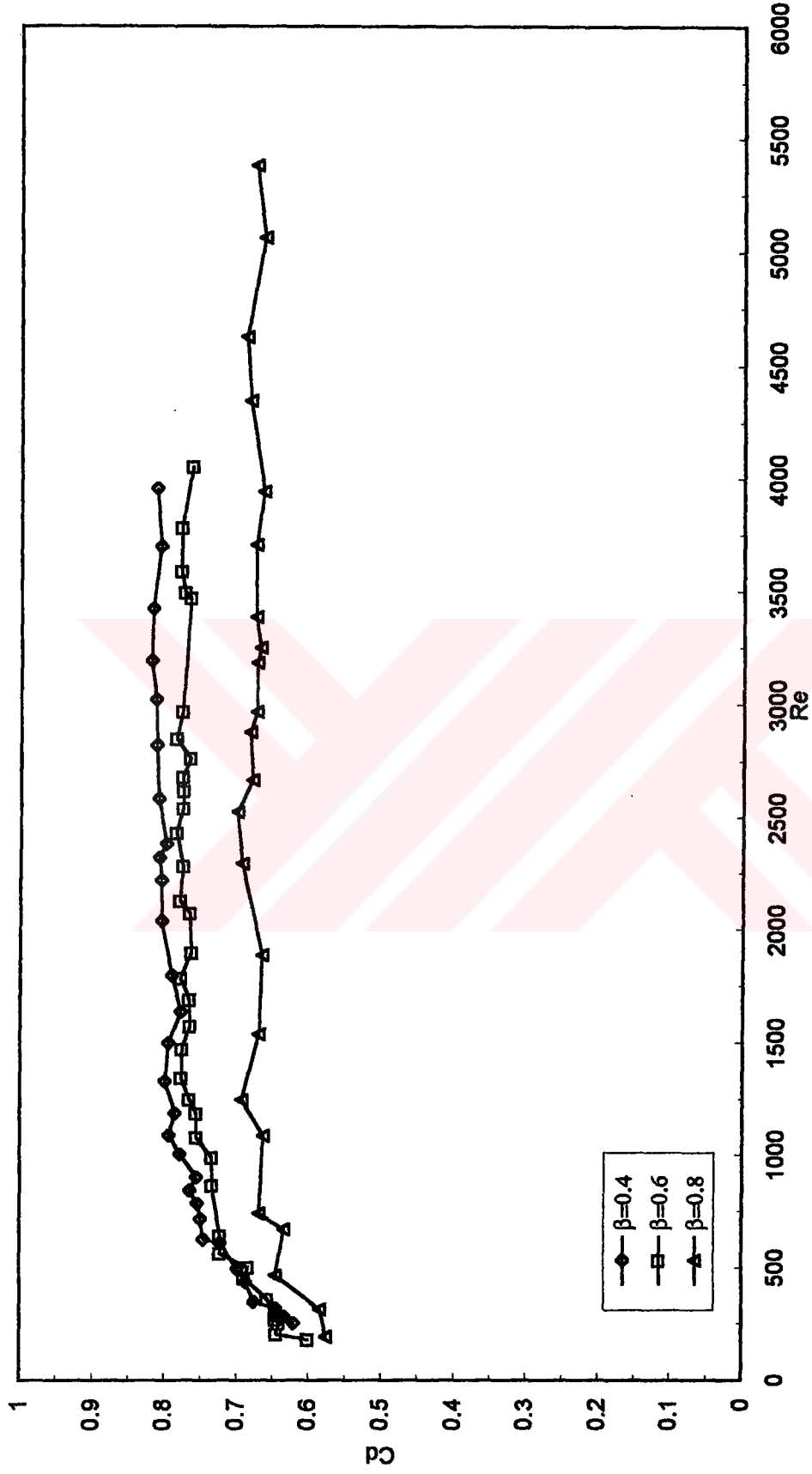
Şekil 4.21. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $\beta=0.6$, $t^*=1/12$



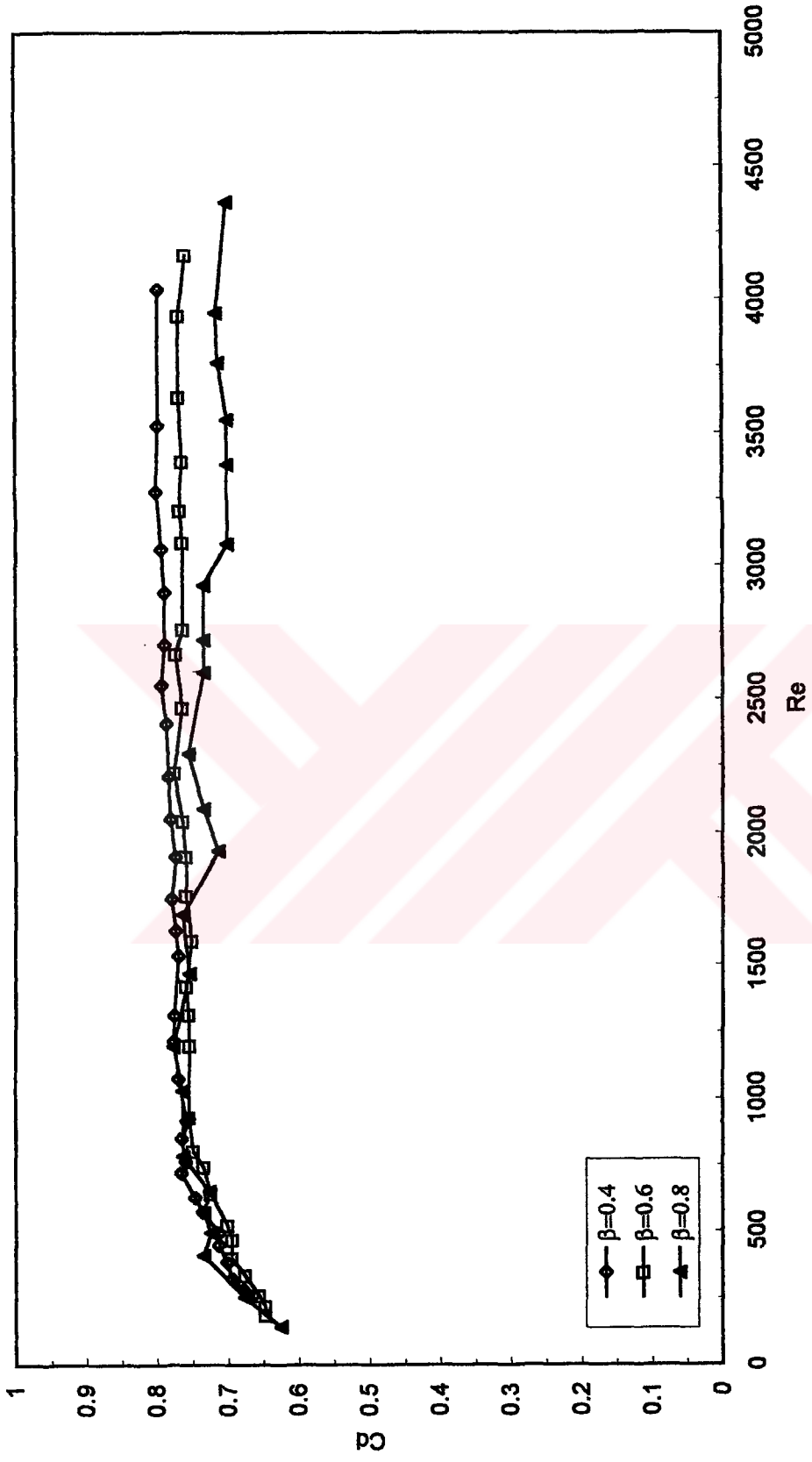
Şekil 4.22. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $\beta=0.8$, $t^*=1/12$



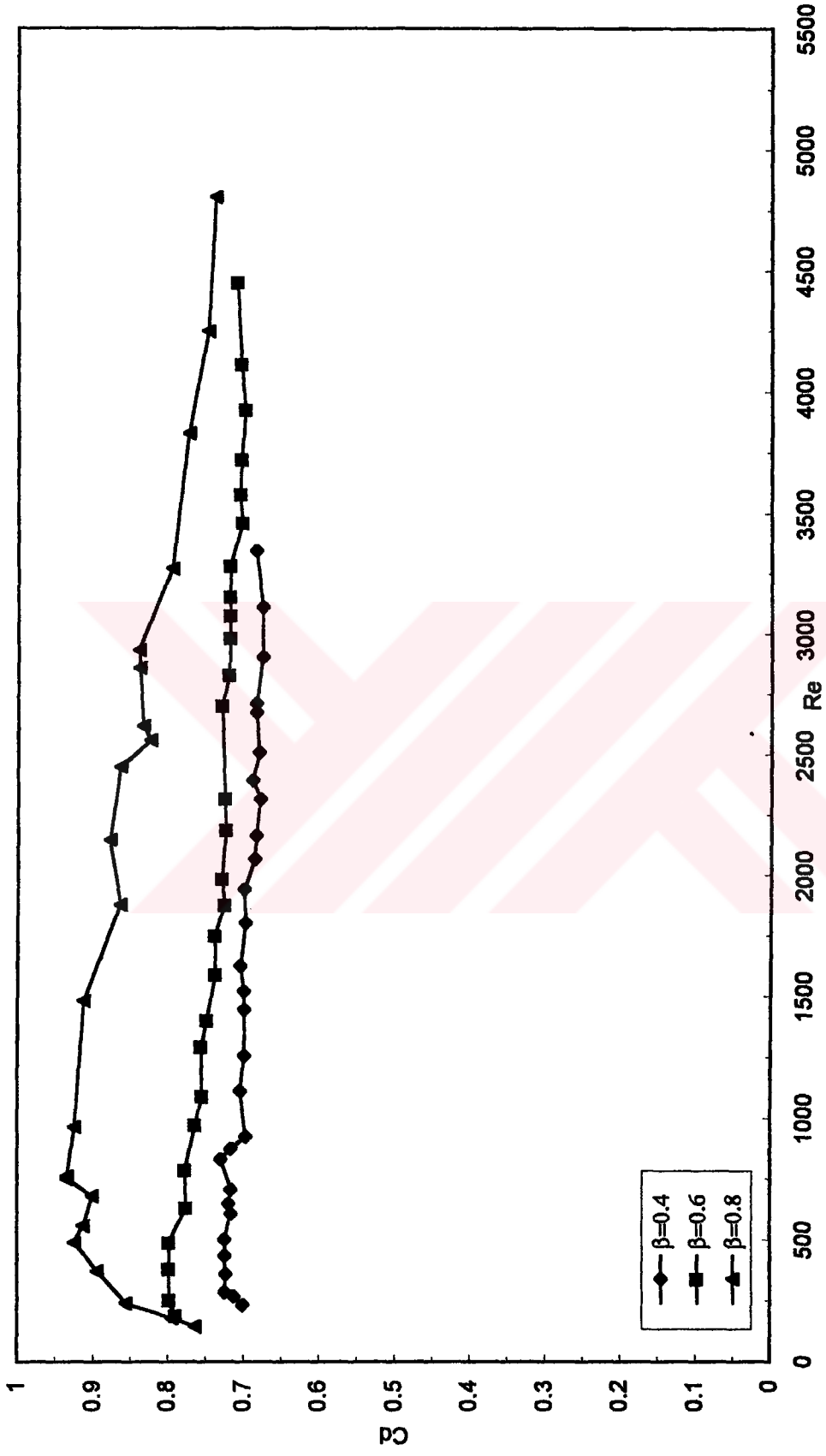
Şekil 4.23. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $b=0.4$, $\beta=0.6$, $\beta=0.8$, $t^*=1/12$, $t^*=1$



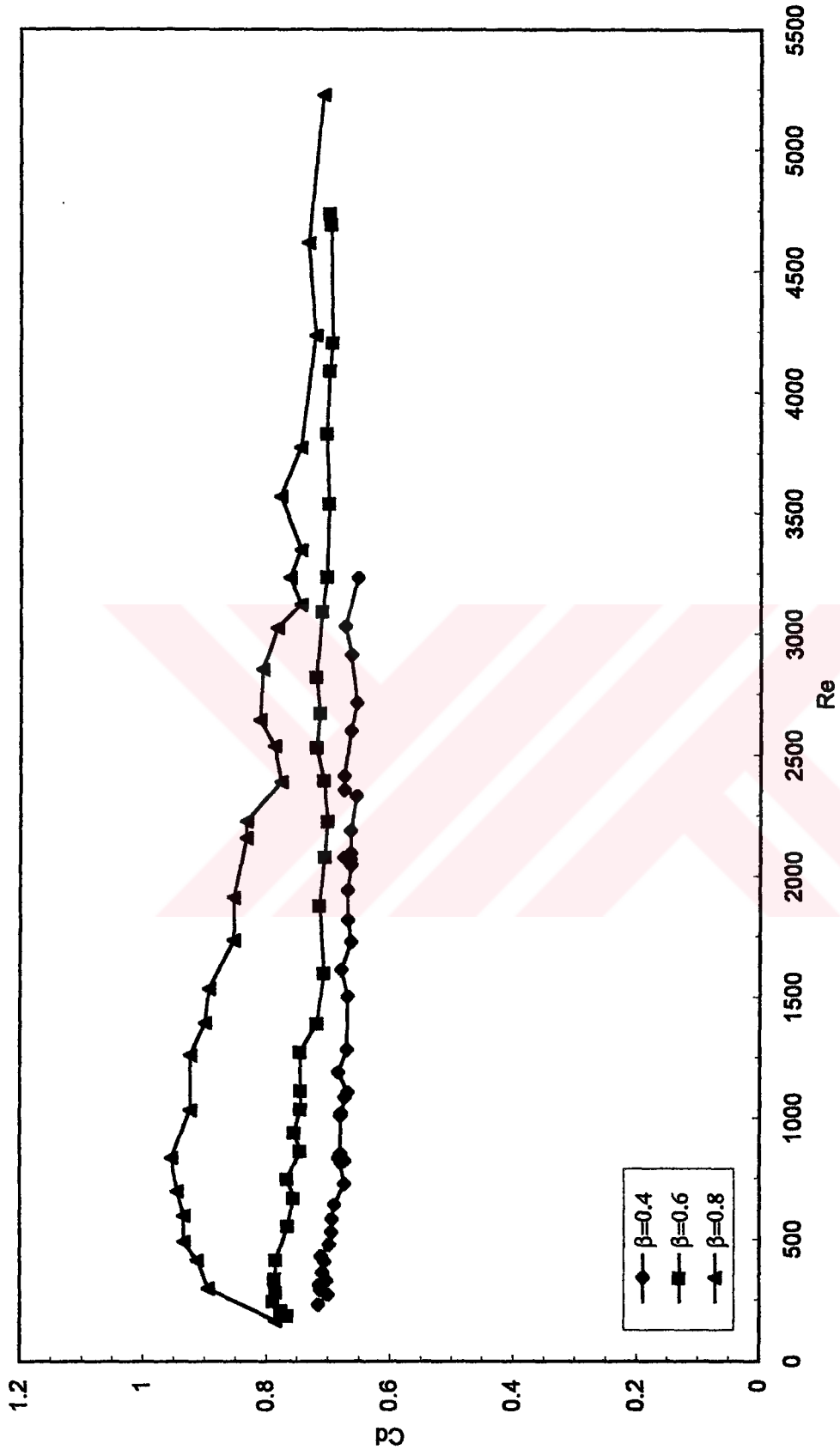
Şekil 4.24. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $t^*=1$



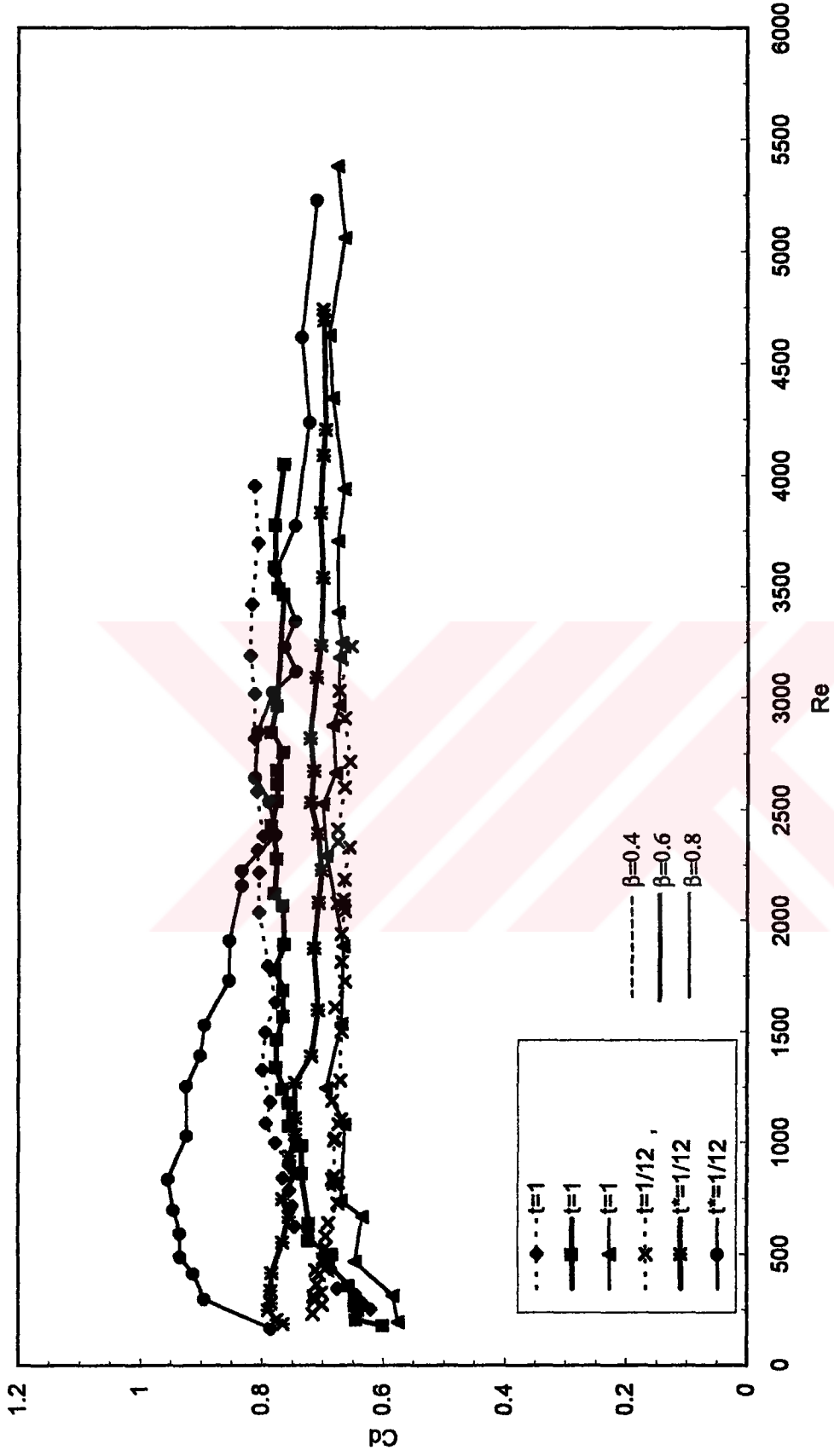
Şekil 4.25. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $t^*=1/2$



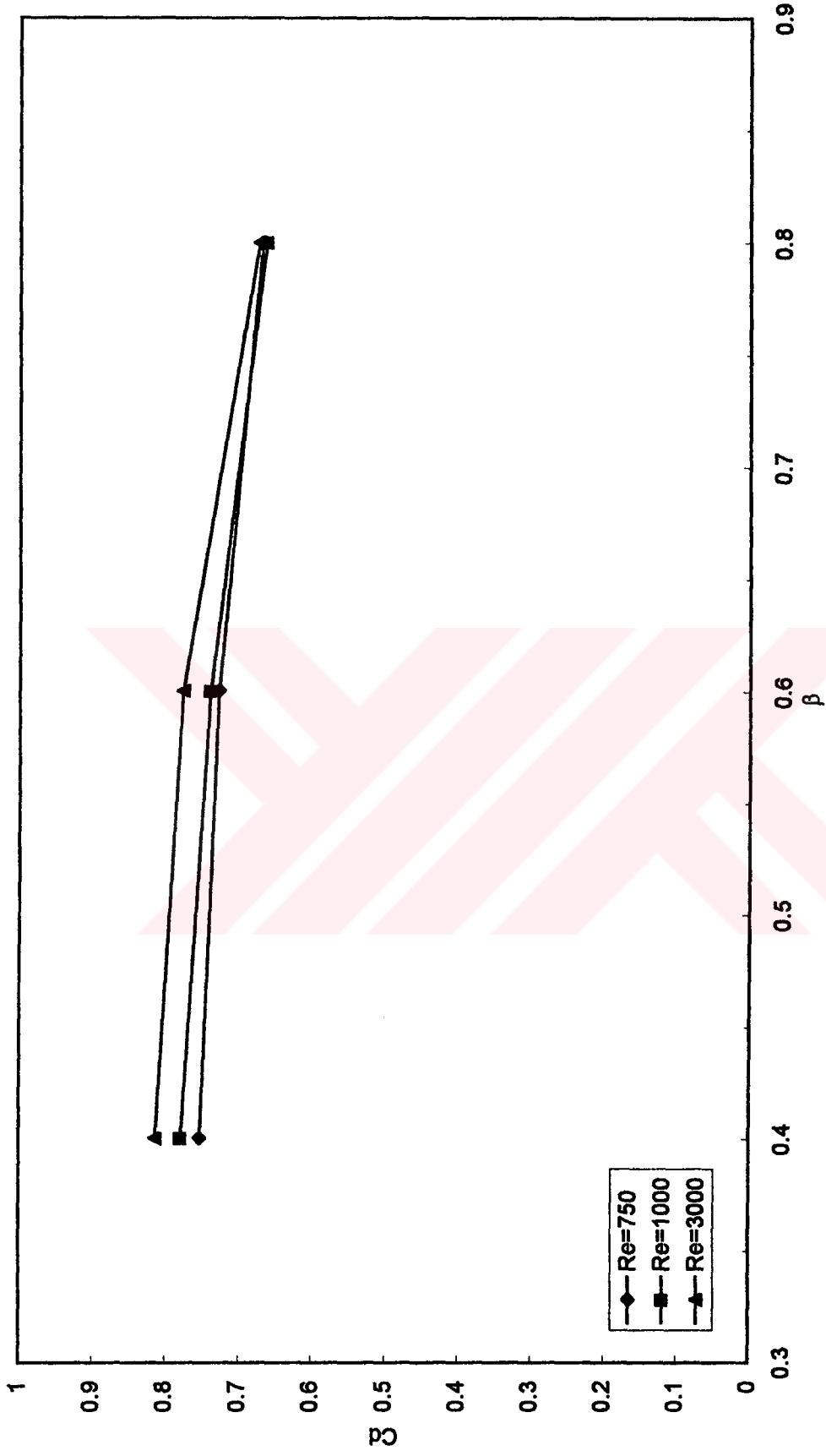
Şekil 4.26. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $t^*=1/8$



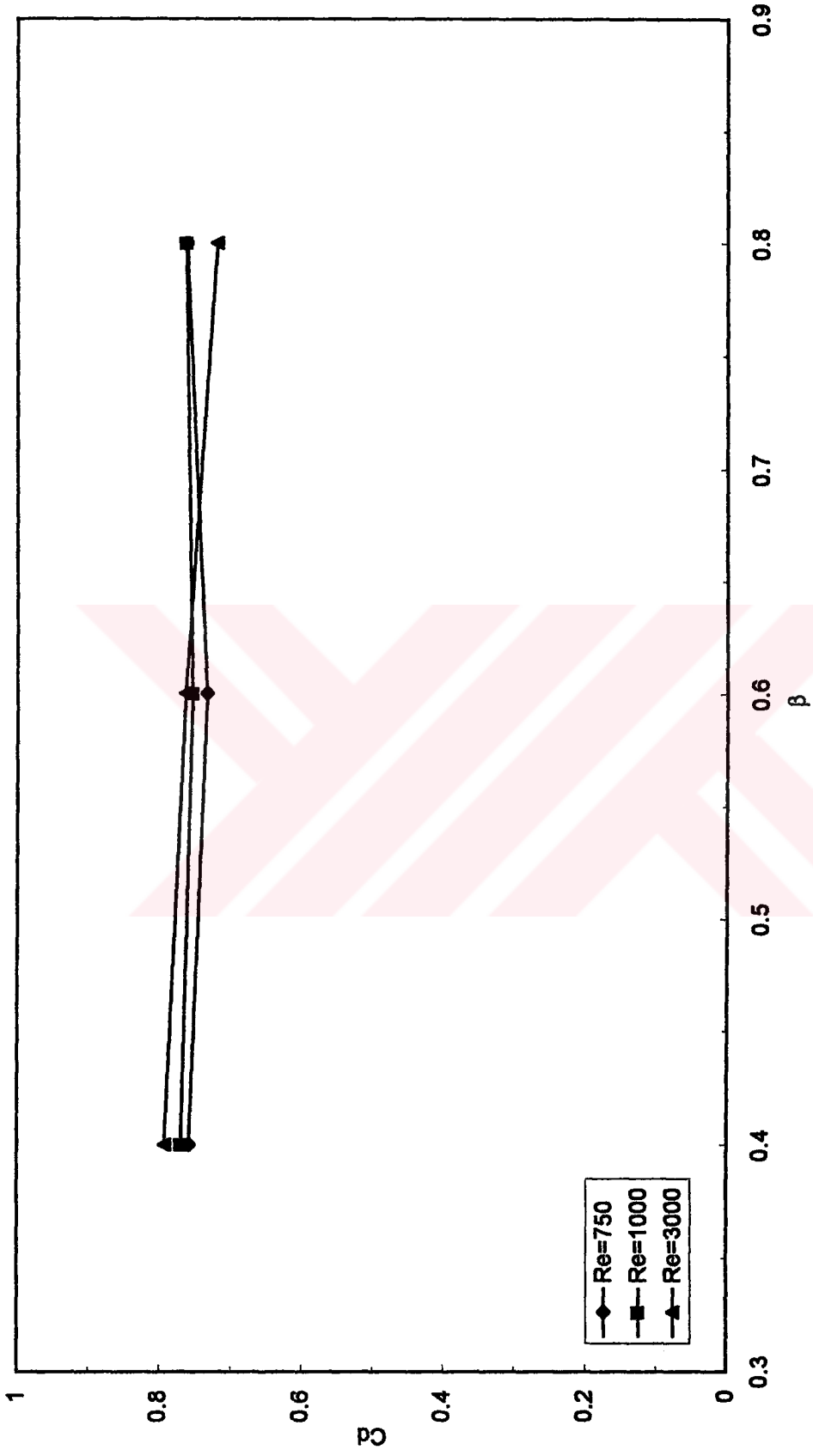
Şekil 4.27. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $t^*=1/12$



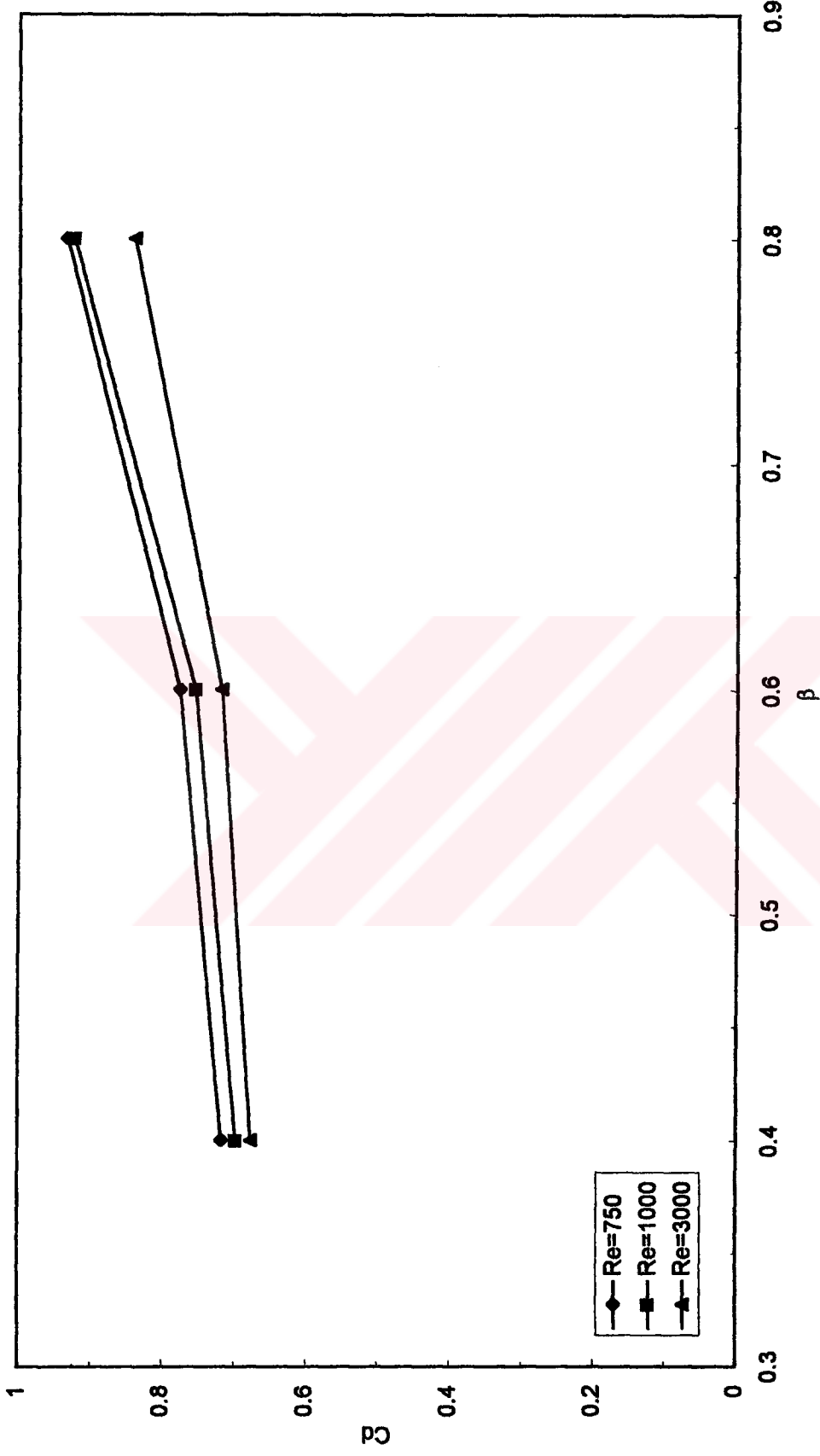
Şekil 4.28. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, $t^*=1/12$, $t^*=1$



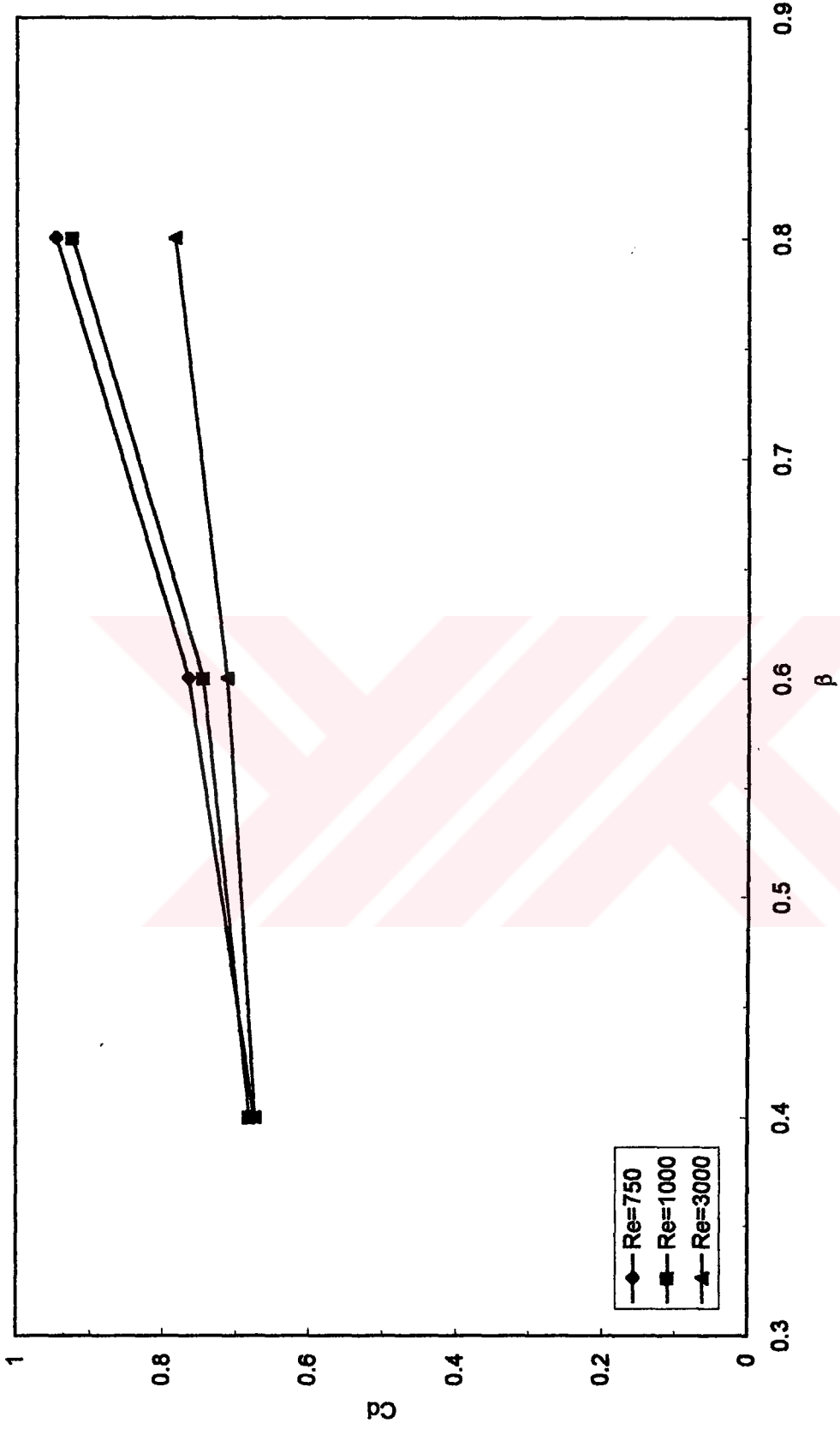
Şekil 4.29. Debi katsayısının orifis açıklıklarına göre değişimi, $t^*=1$



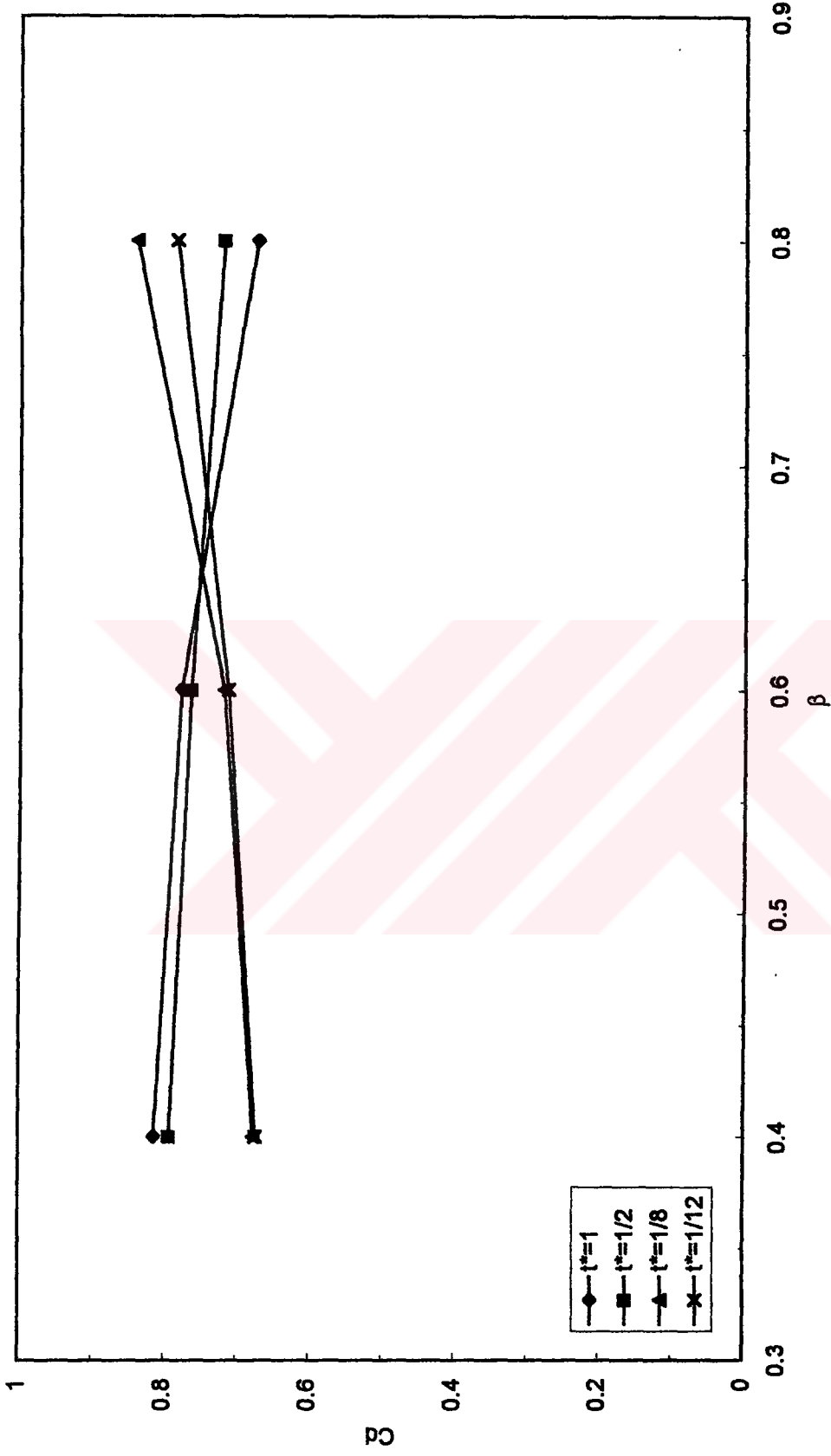
Şekil 4.30. Debi katsayısının orifis açıklıklarına göre değişimi, $t^*=1/2$



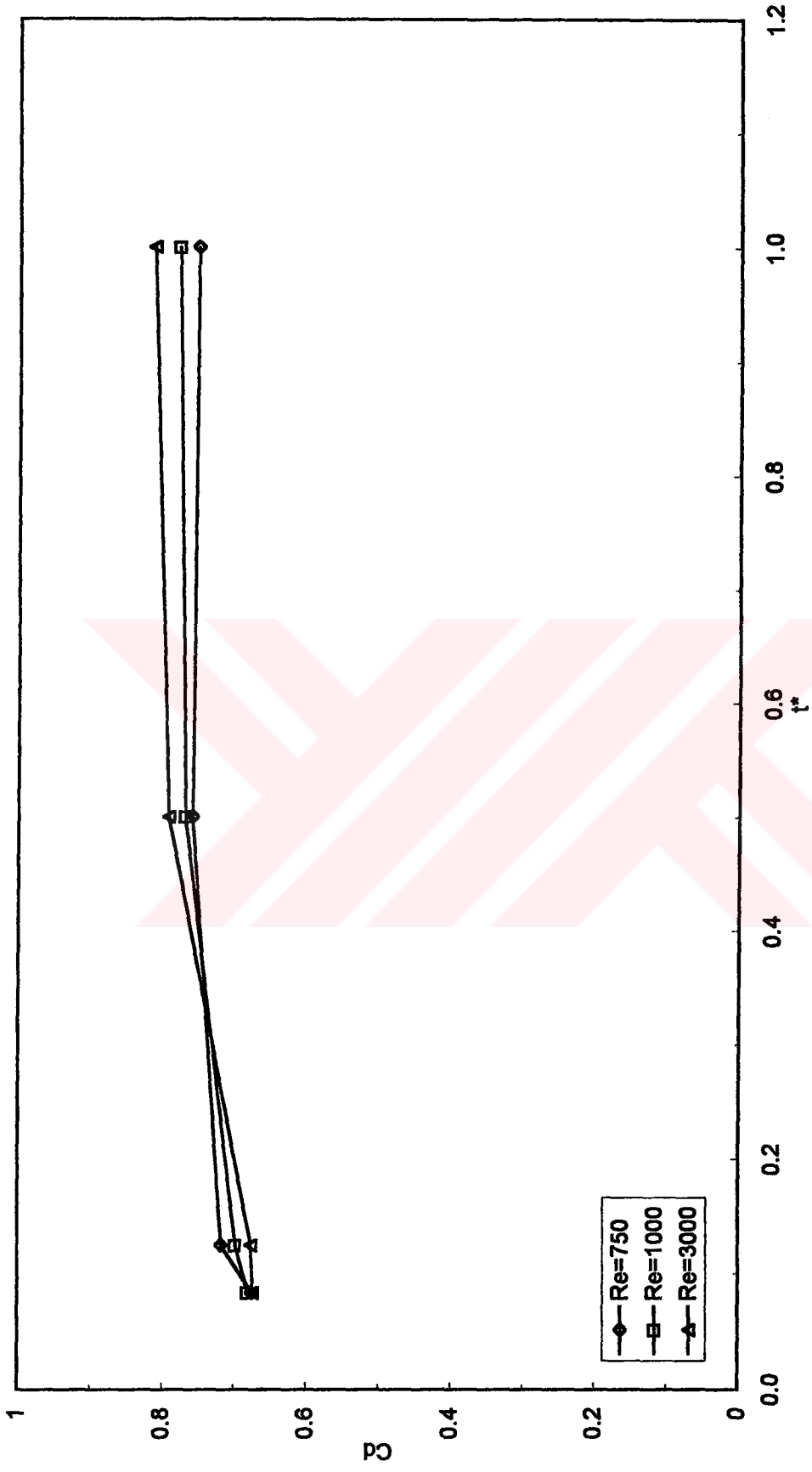
Şekil 4.31. Debi katsayısının orifis açıklıklarına göre değişimi, $t^*=1/8$



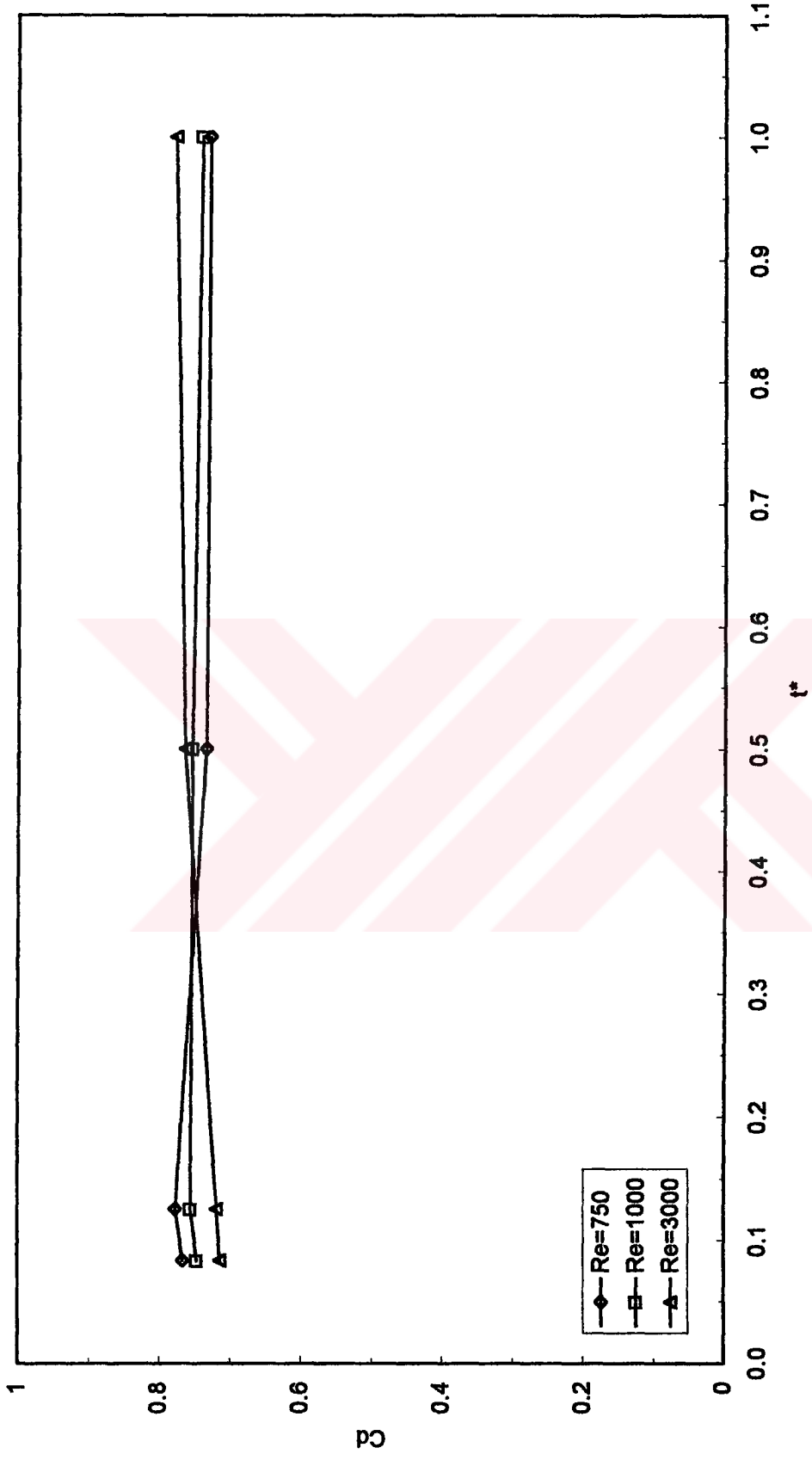
Şekil 4.32. Debi katsayısının orifis açıklıklarına göre değişimi, $t^*=1/12$



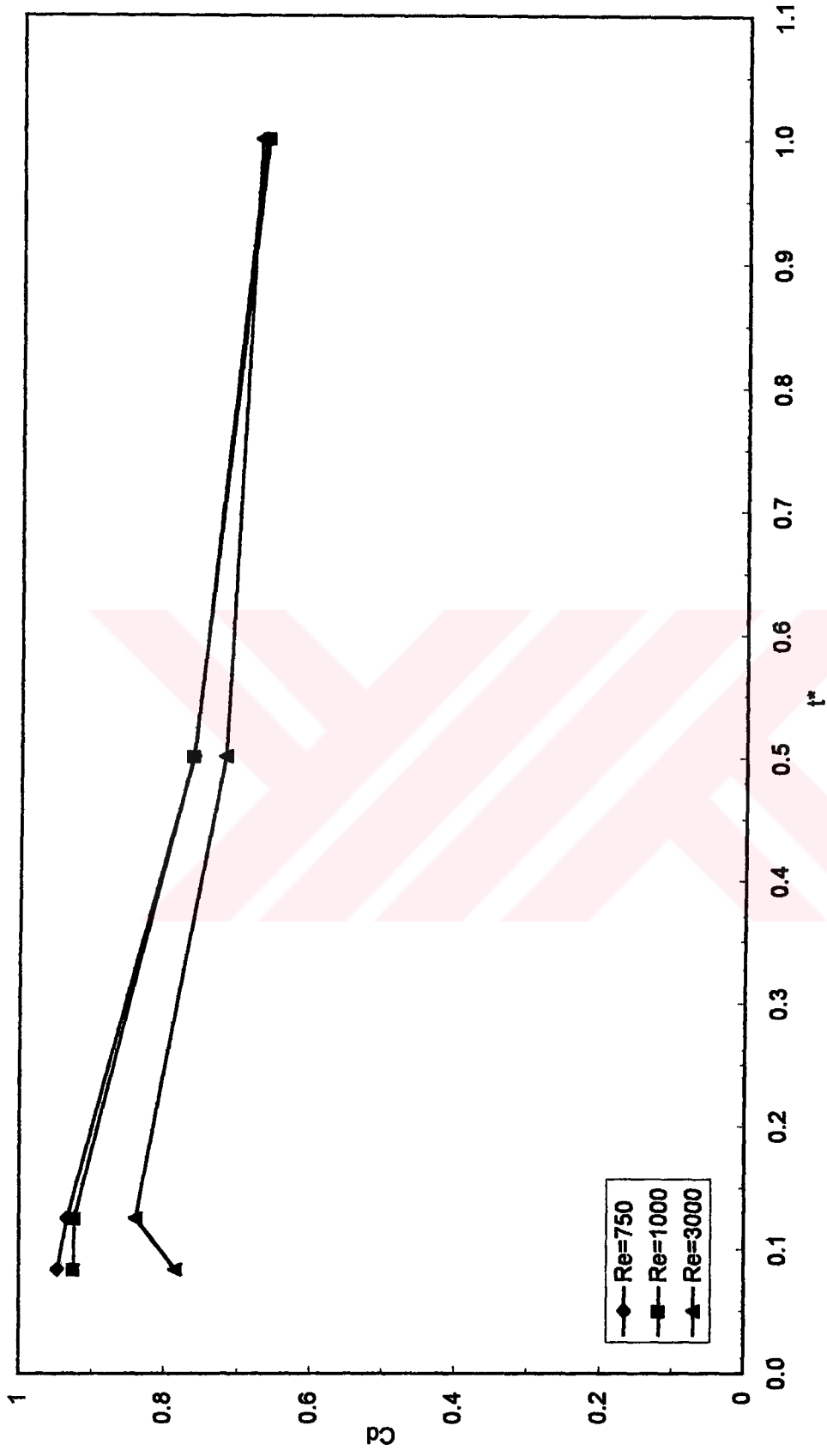
Şekil 4.33. Debi katsayısının orifis açıklıklarına göre değişimi, $Re=3000$



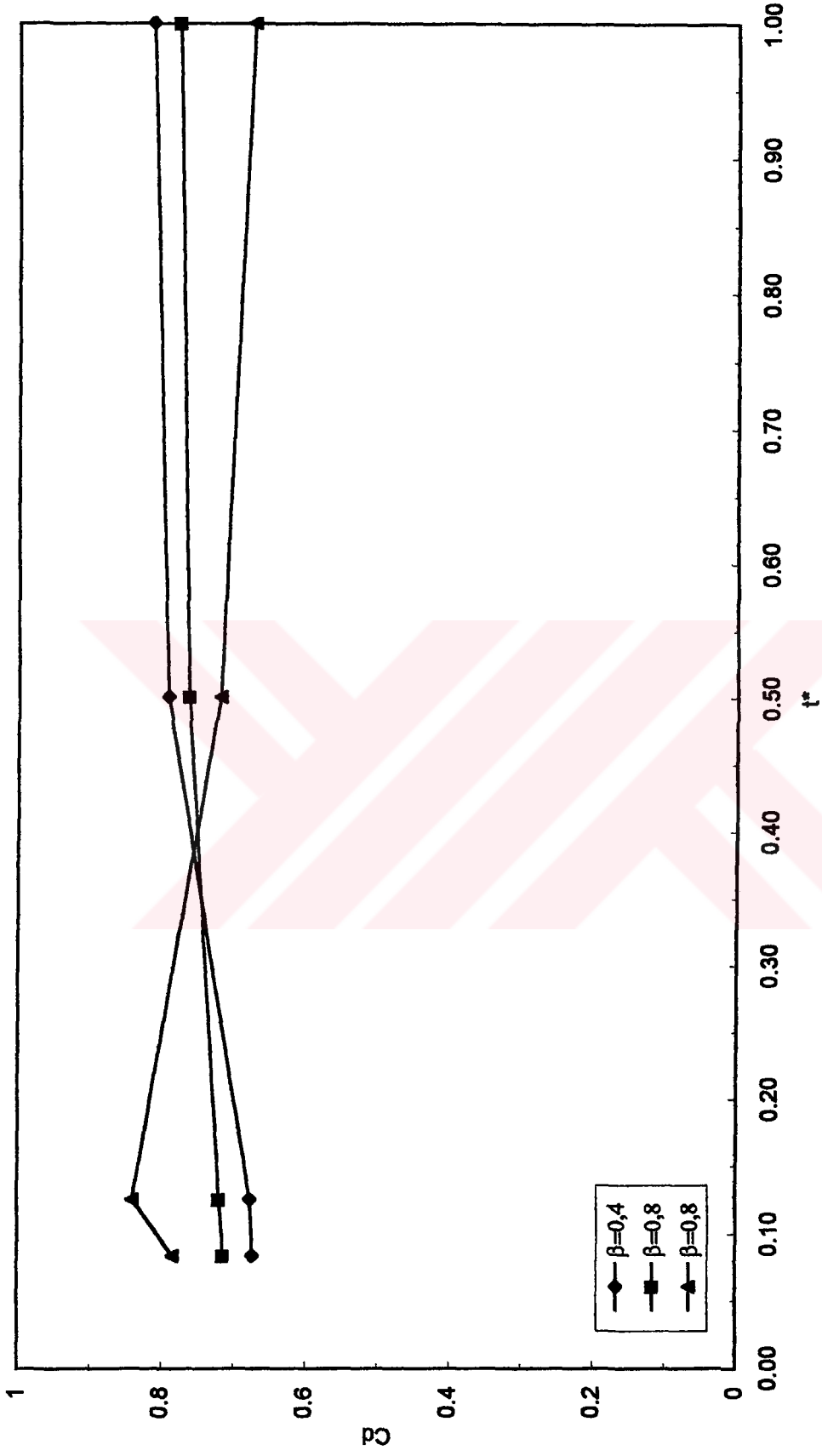
Şekil 4.34. Debi katsayısının orifis kalınlık oranına göre değişimi, $\beta=0.4$



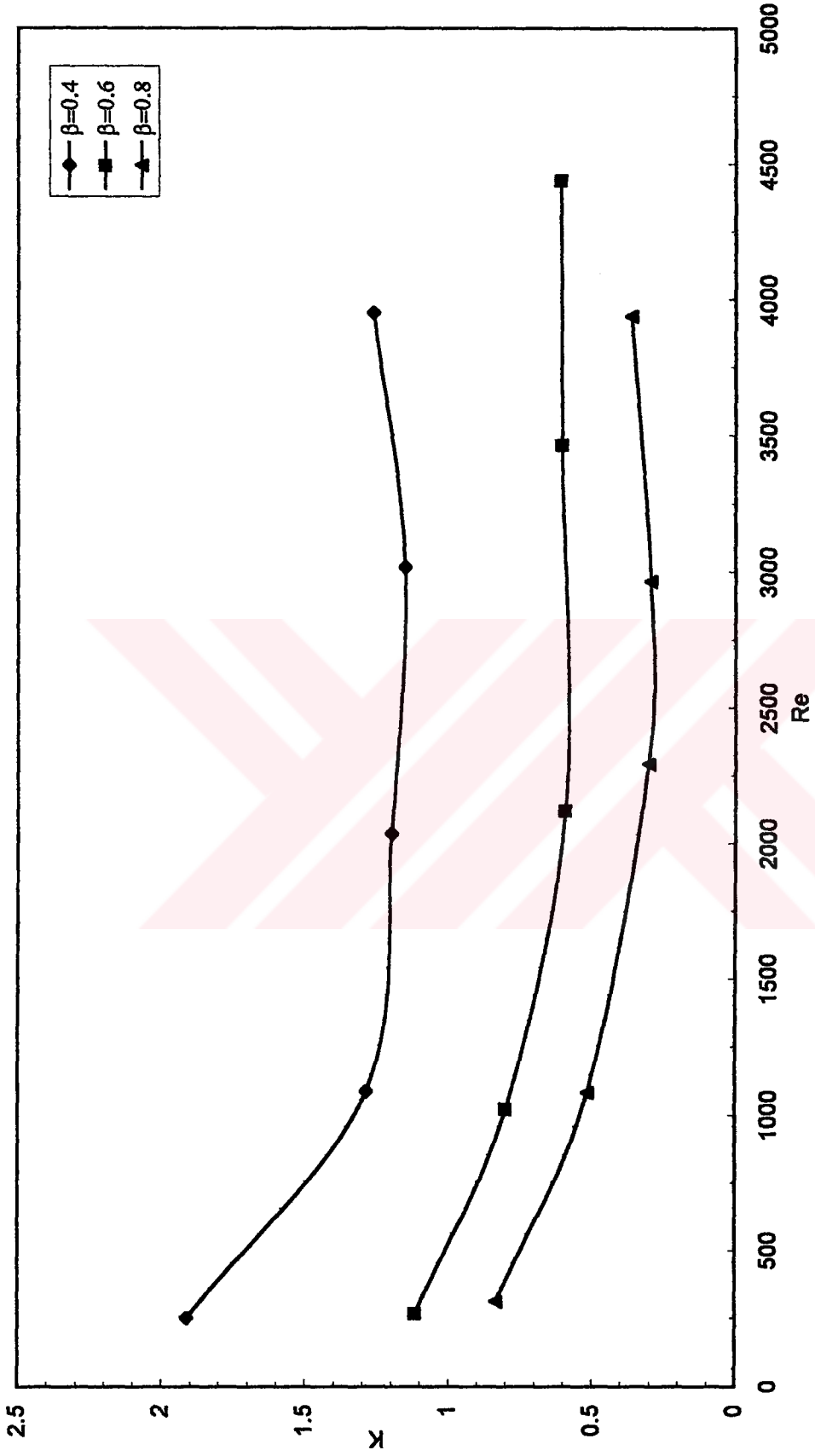
Şekil 4.35. Debi katsayısının orifis kalınlık oranına göre değişimi, $\beta=0.6$



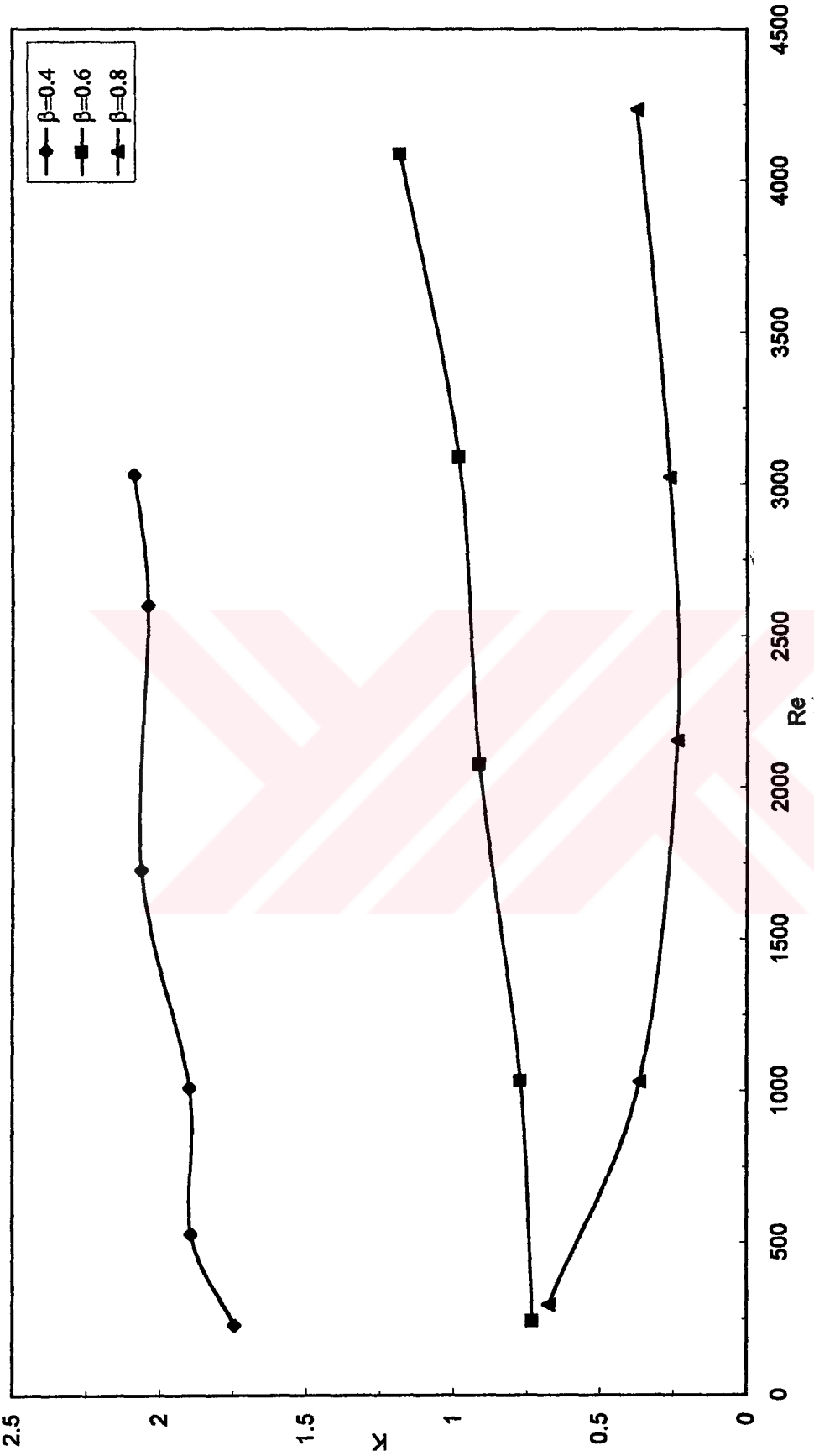
Şekil 4.36. Debi katsayısının orifis kalınlık oranına göre değişimi, $\beta=0.8$



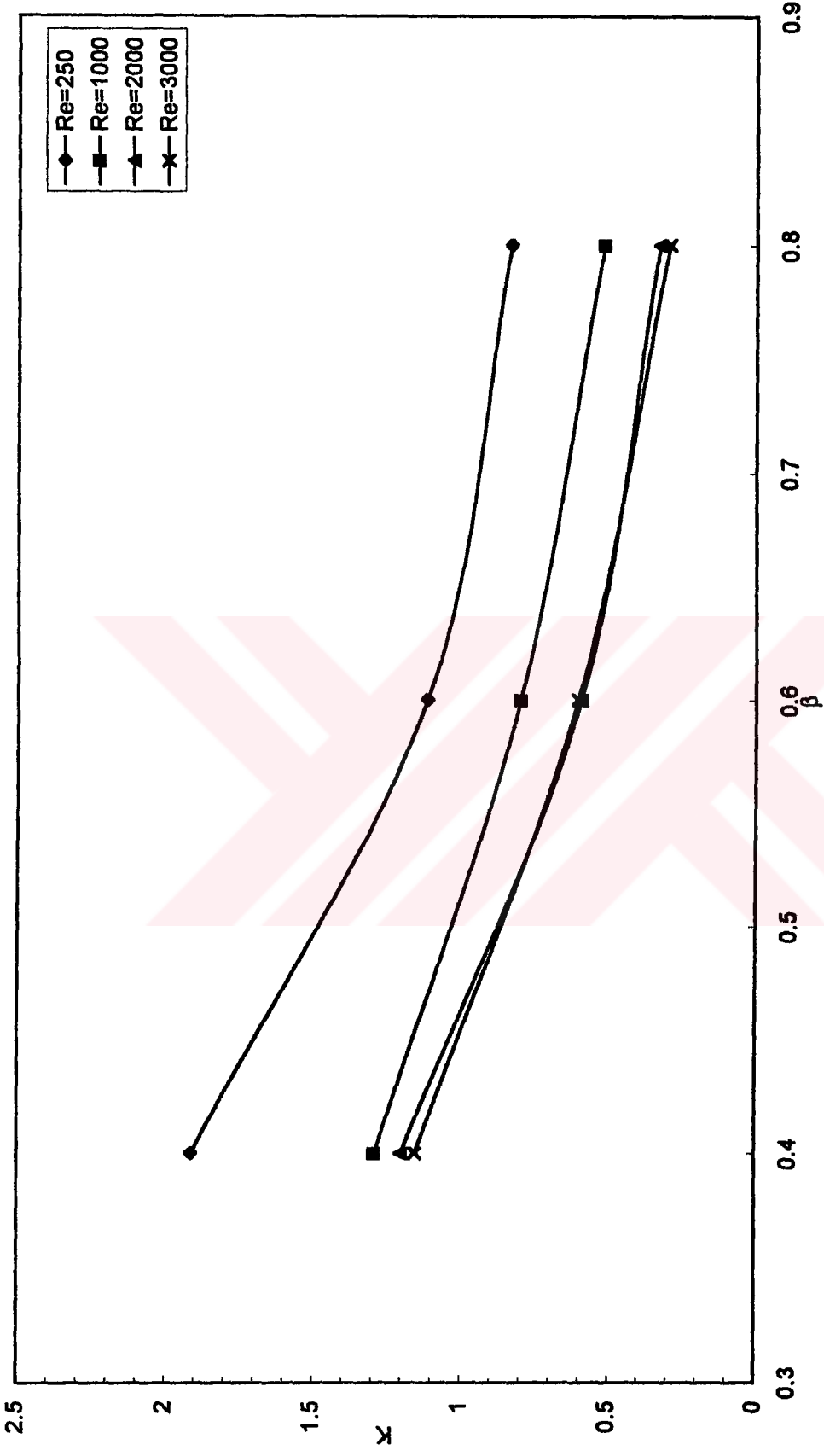
Şekil 4.37. Debi katsayısının orifis kalınlık oranına göre değişimi, $Pe=3000$



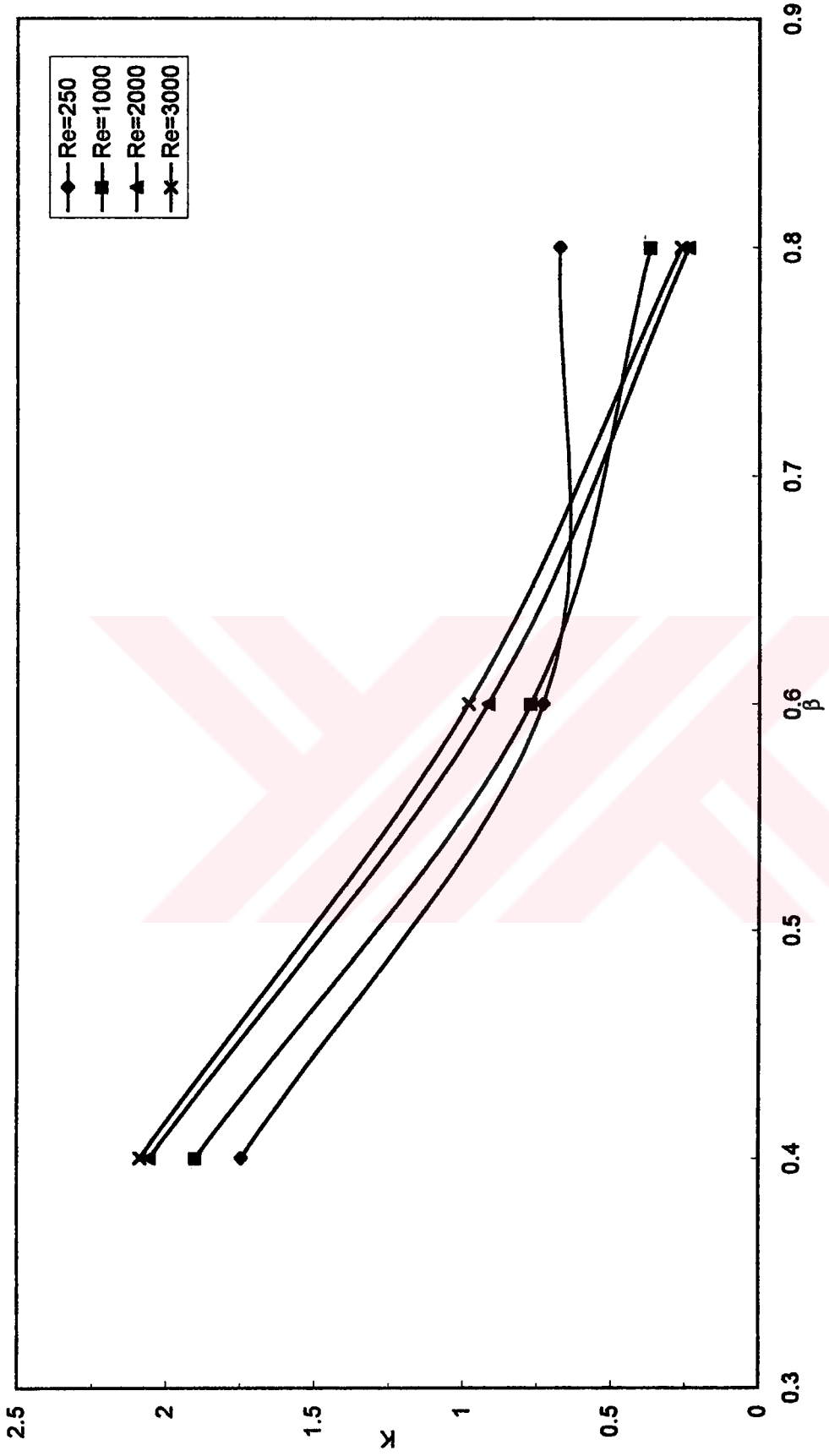
Şekil 4.38. Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (orifis), $t^*=1$



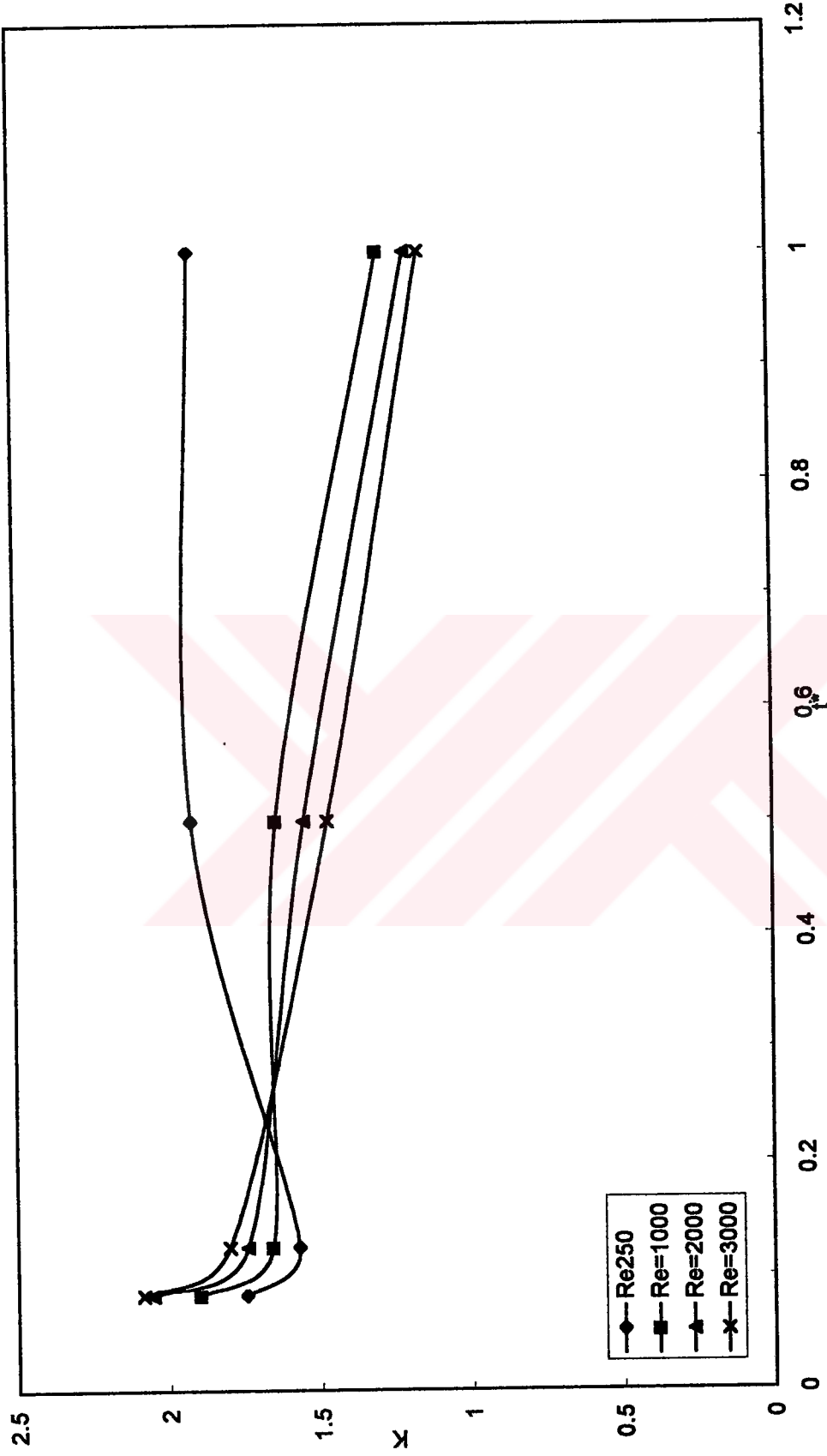
Şekil 4.39. Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, $t^*=1/12$



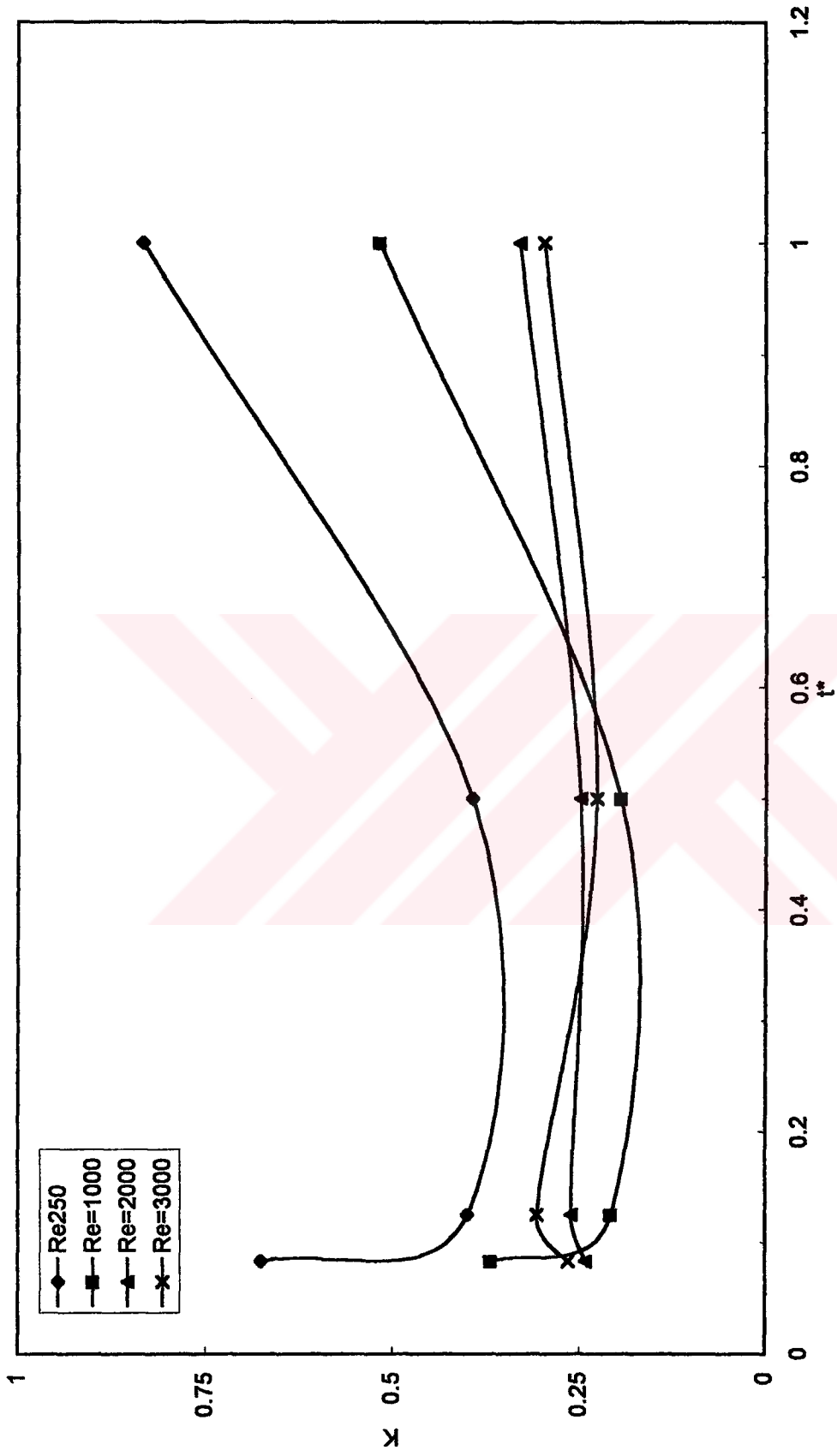
Şekil 4.40. Basınç kaybı katsayısının orifis açıklık oranına göre değişimi, $t^*=1$



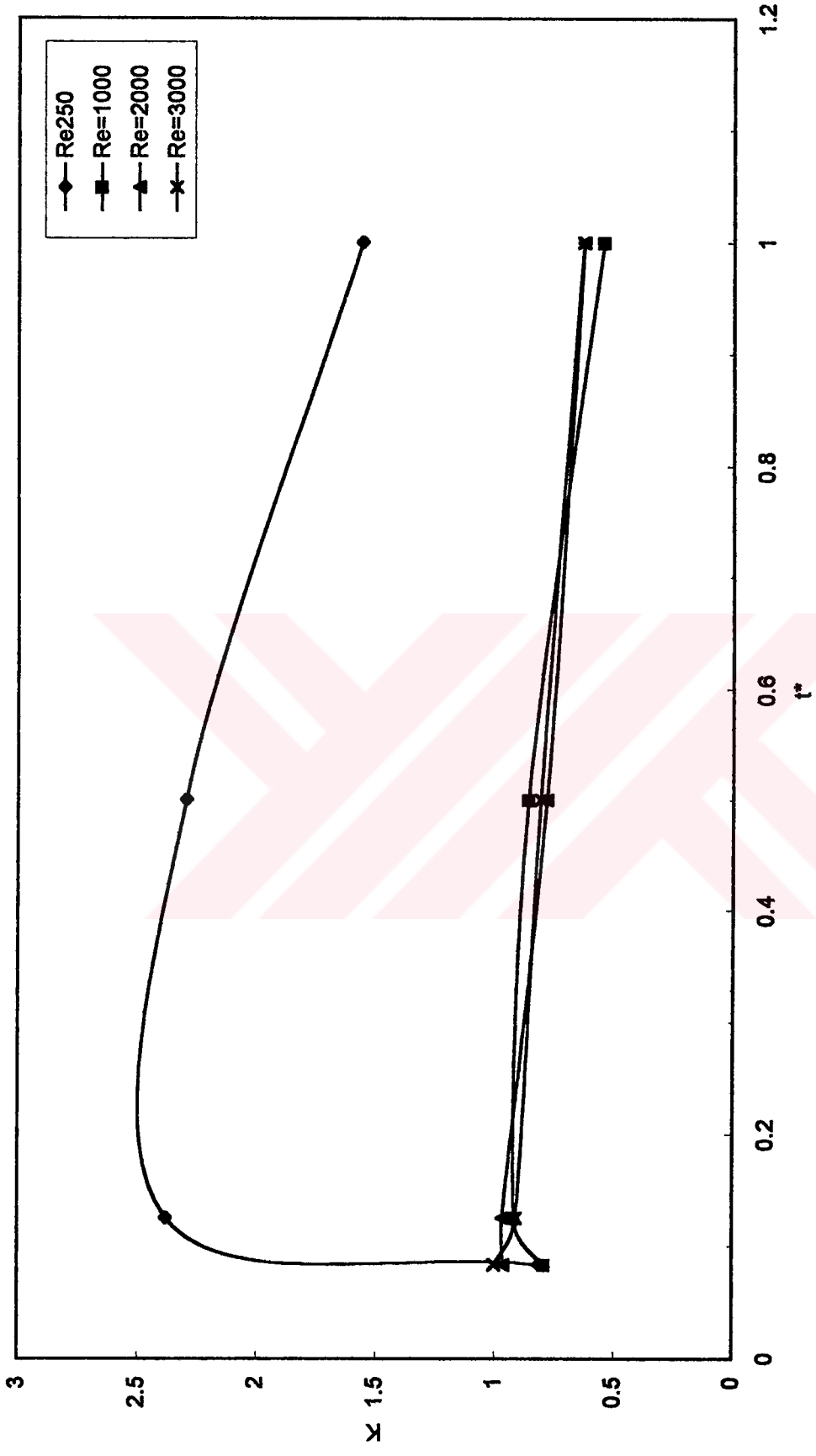
Şekil 4.41. Basınç kaybı katsayısının orifis açıklık oranına göre değişimi, $t^*=1/12$



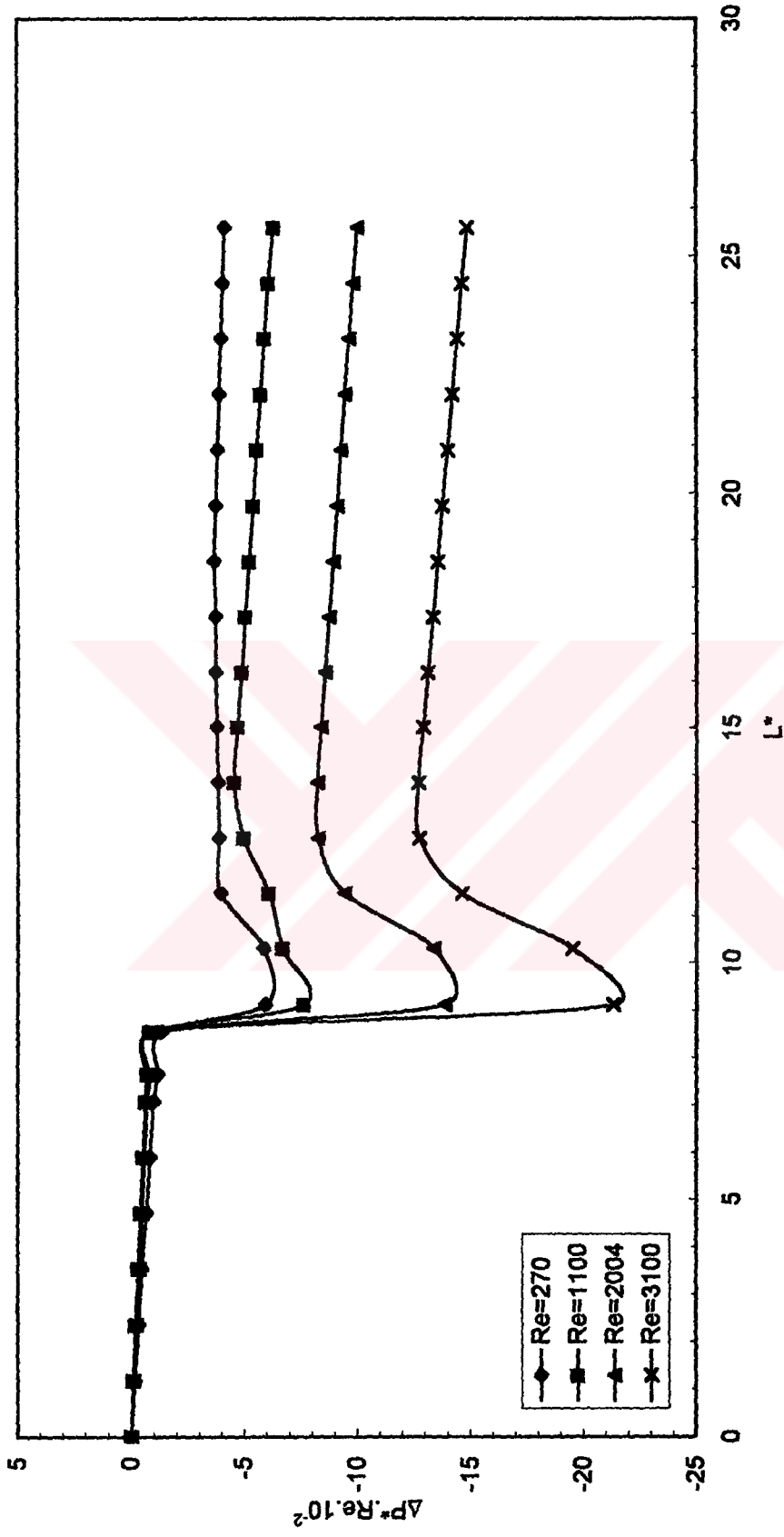
Şekil 4.42. Basınç kaybı katsayısının orifis kalınlık oranına göre değişimi, $\beta=0.4$



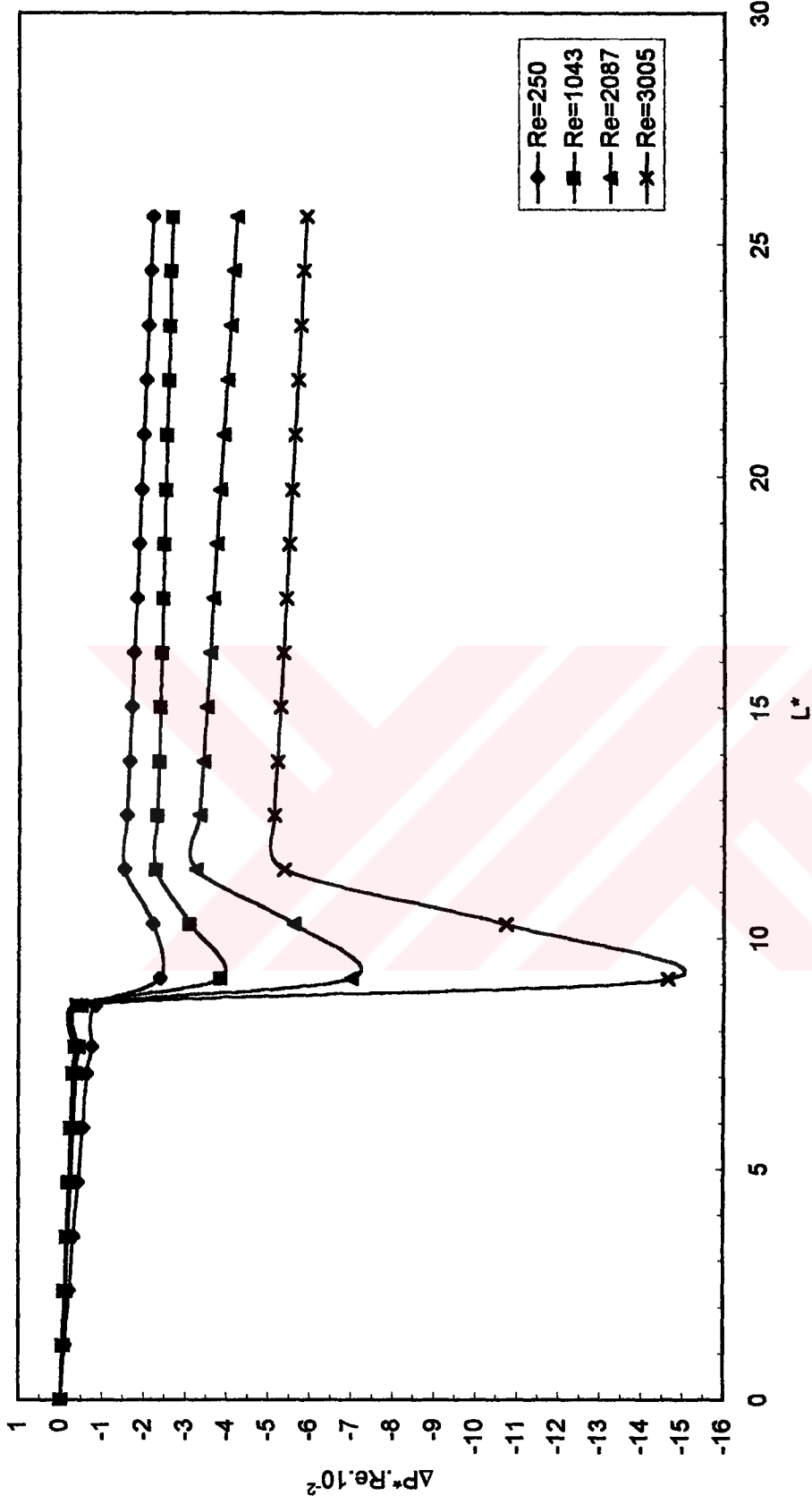
Şekil 4.43 . Basınç kayıp katsayısının orifis kalınlık oranına göre değişimi, $\beta=0.6$



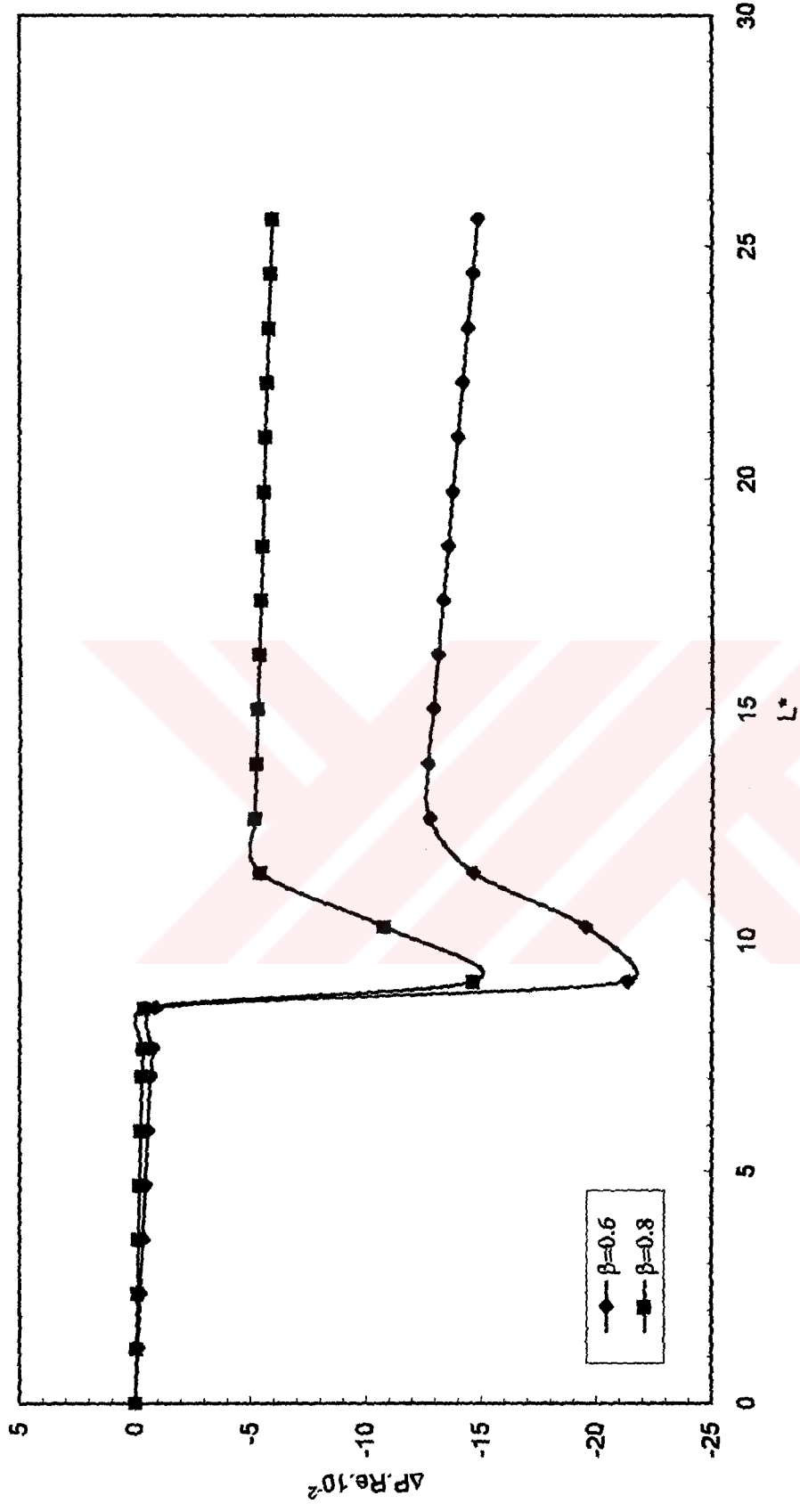
Şekil 4.44. Basınç kayıp katsayısının orifis kalınlık oranına göre değişimi, $\beta=0.8$



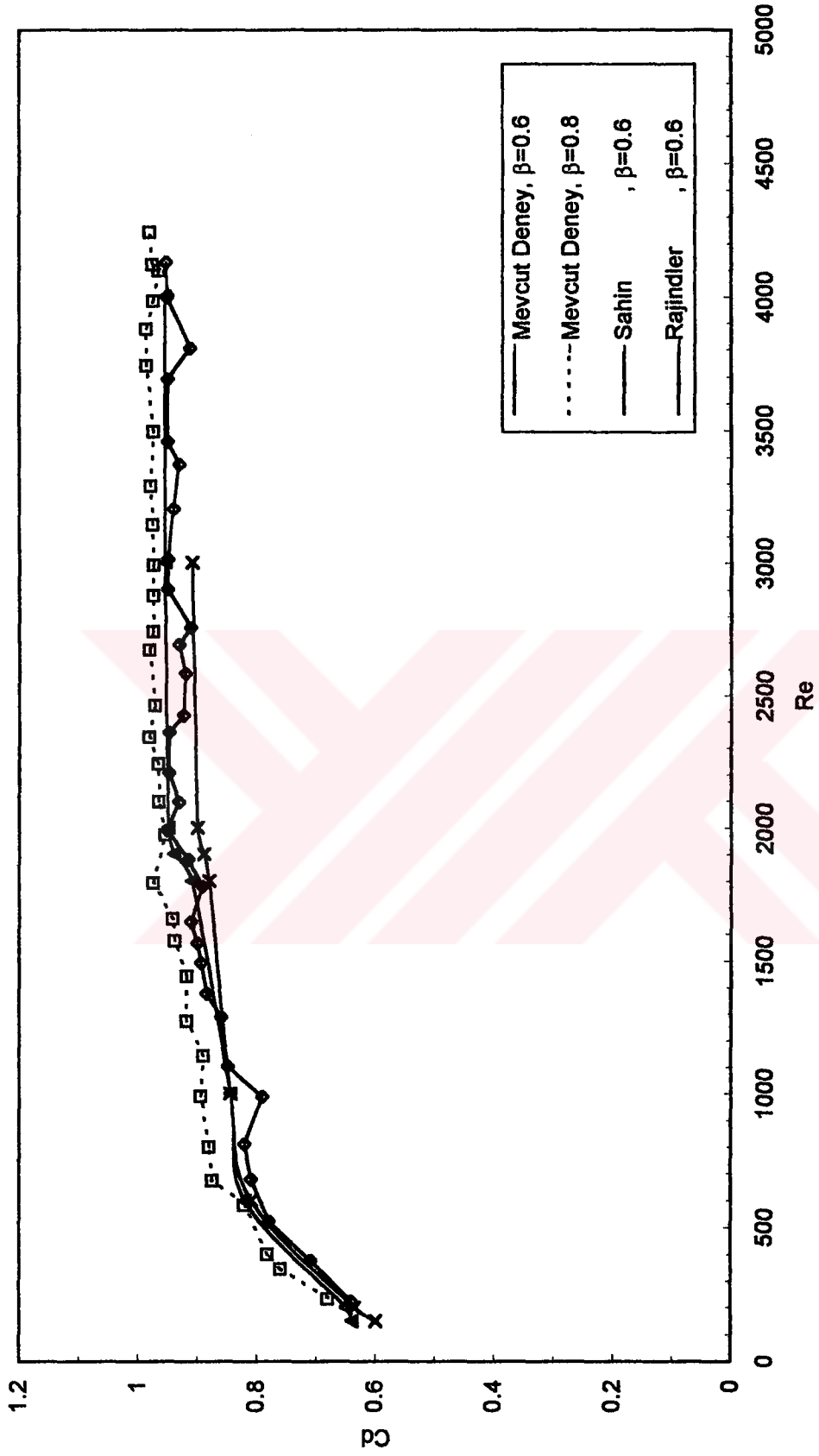
Şekil 4.45. Venturimetre yerleştirilmiş boruda akış yönünde basınç dağılımı, ($\beta=0.6, 2\theta_1=21^\circ, 2\theta_2=10^\circ$)



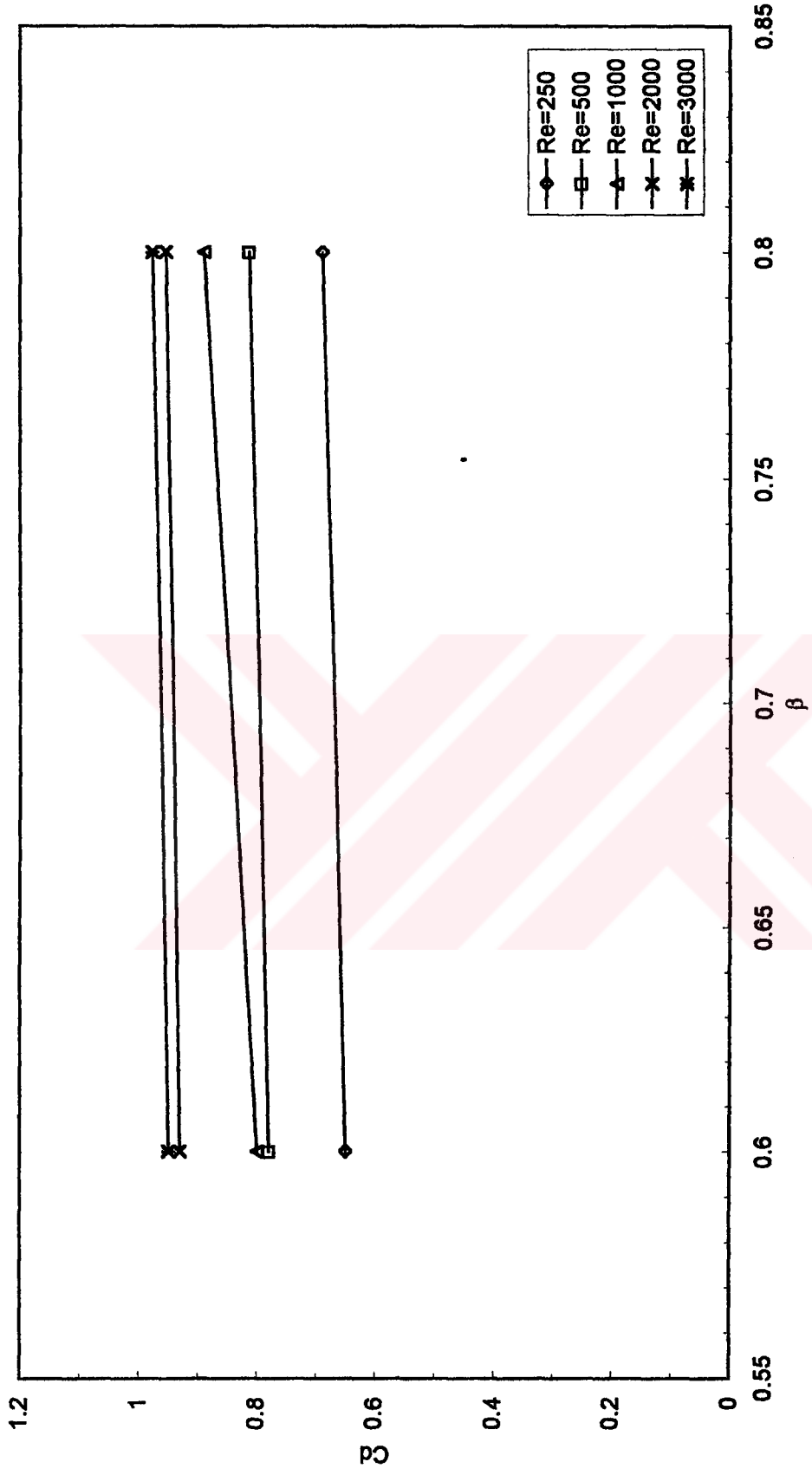
Şekil 4.46. Venturimetre yerleştilmiş boruda akış yönünde basınç dağılımı, $\beta=0.8, 2\theta_1=21^\circ, 2\theta_2=10^\circ$



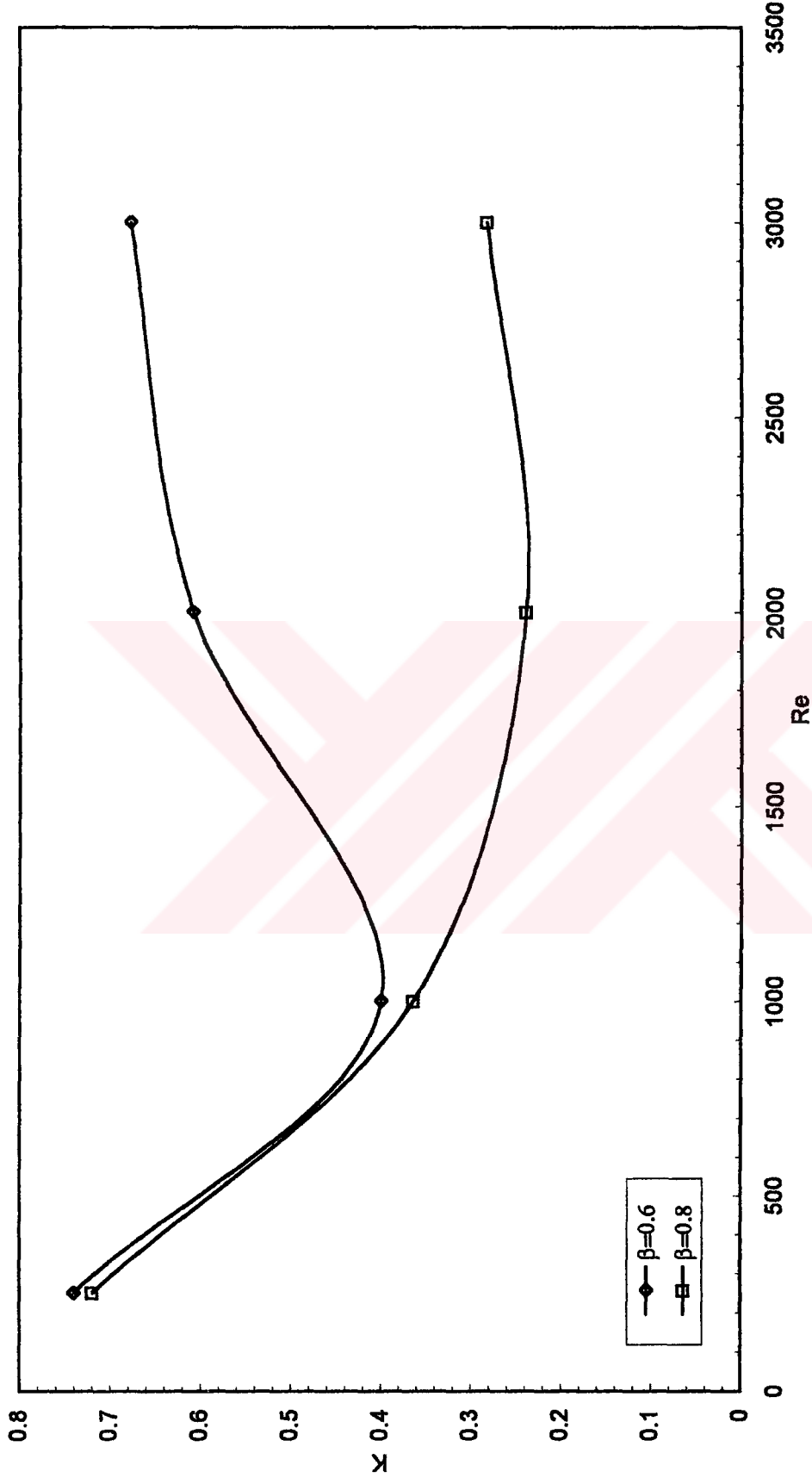
Şekil 4.47. Venturimetre yerleştirilmiş boruda akış yönünde basınç dağılımı, $\beta=0.8, 2\theta_1=21^\circ, 2\theta_2=10^\circ$



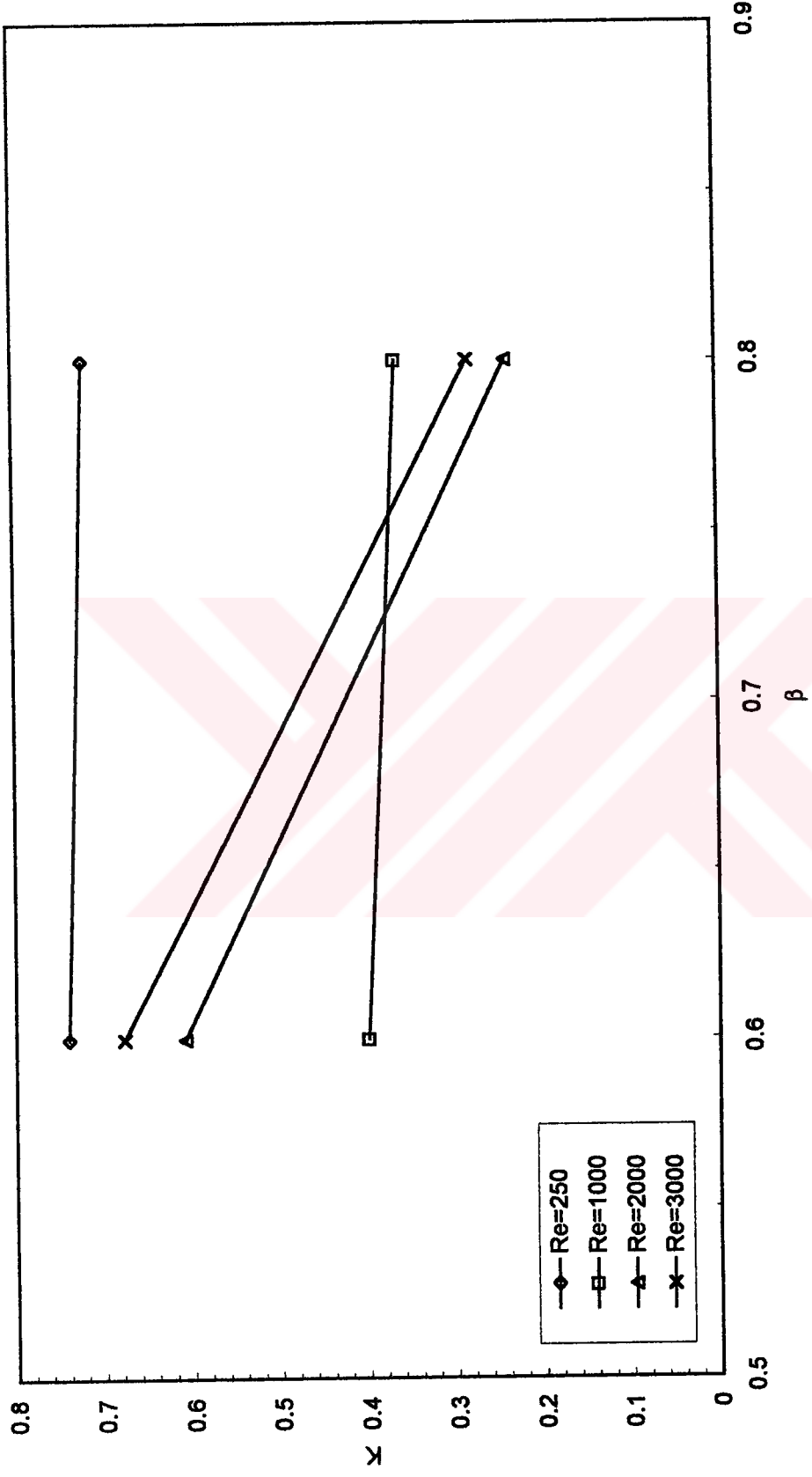
Şekil 4.48. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (venturi), $2\theta_1=21^\circ$, $2\theta_2=10^\circ$



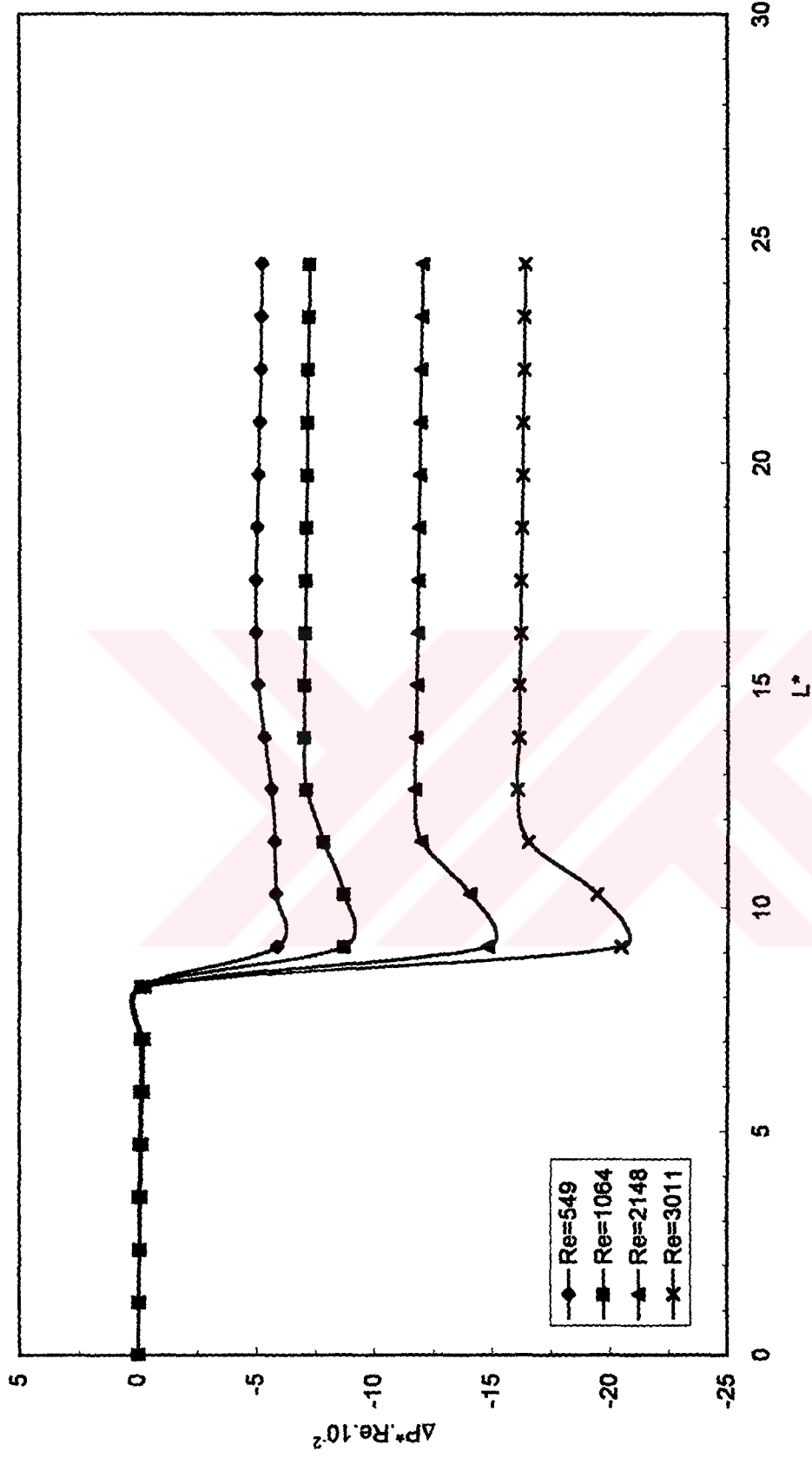
Şekil 4.49. Debi katsayısının açıklık oranına göre değişimi, (venturi)



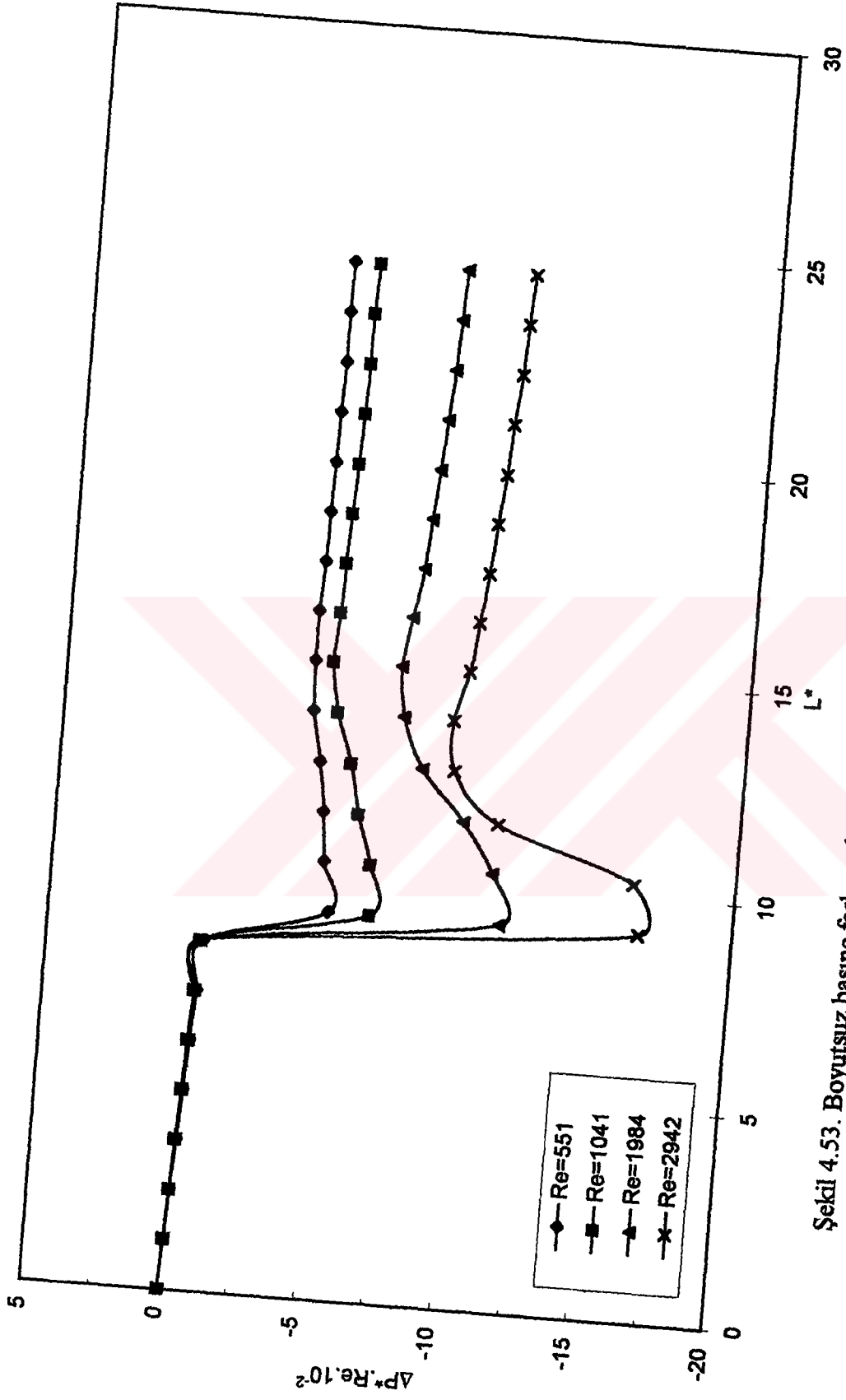
Şekil 4.50. Basınç katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (venturi)



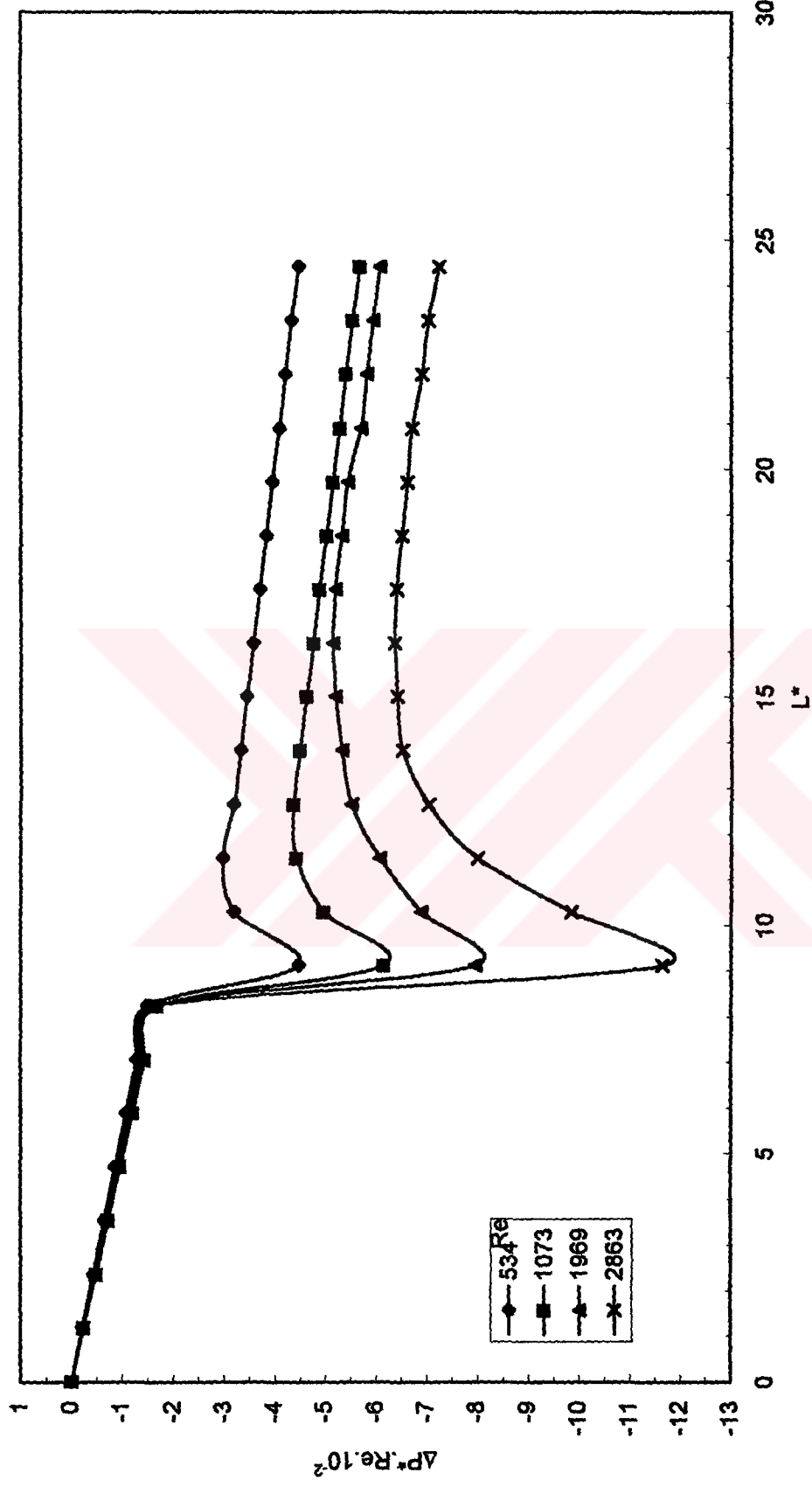
Şekil 4.51. Basınç katsayısının açıklık oranına göre değişimi, (venturi), $2\theta_1=21^\circ$, $2\theta_2=10^\circ$



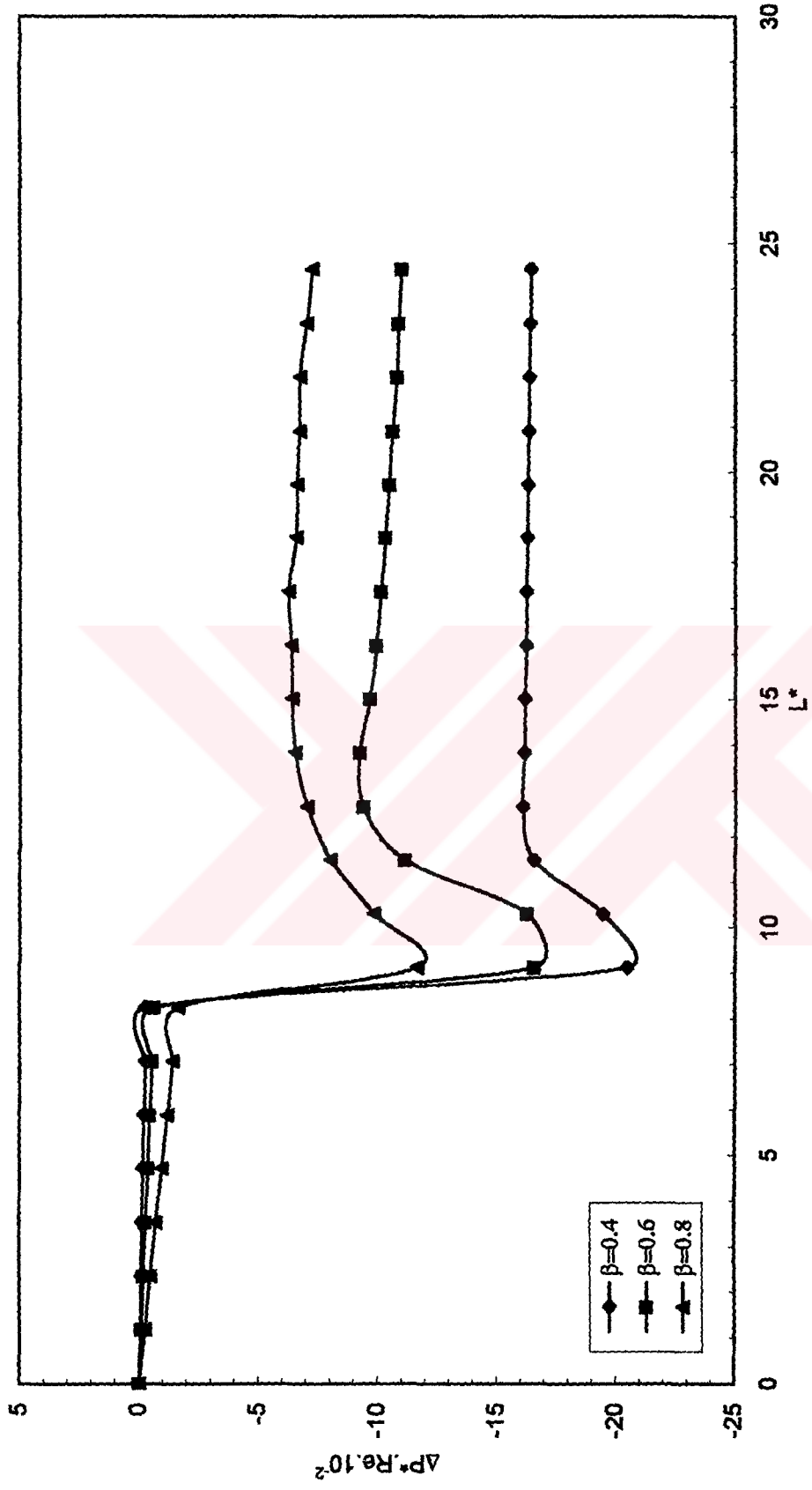
Şekil 4.52. Boyutsuz basınç farkının boyutsuz boru boyuna göre değişimi, $\beta=0.4$



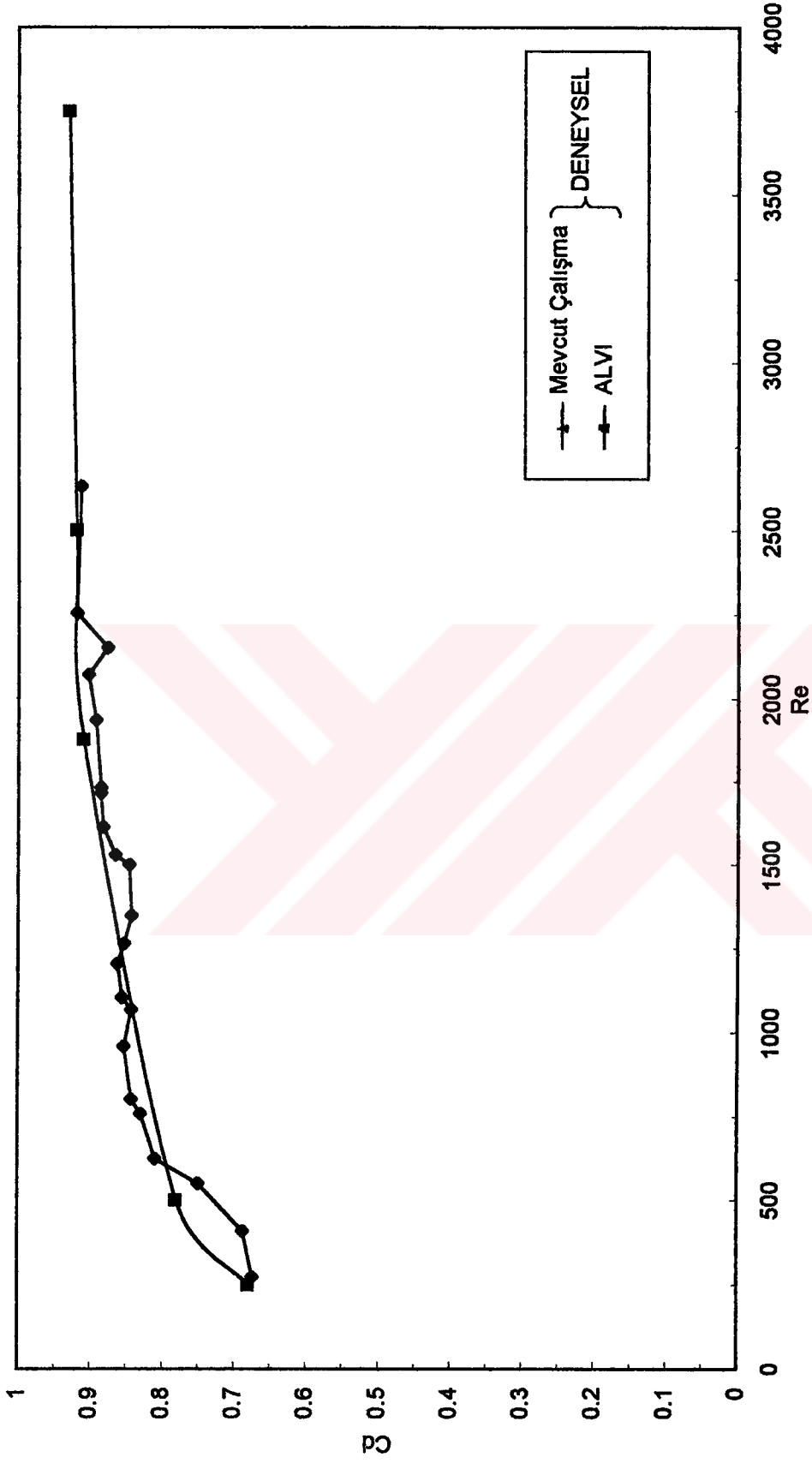
Şekil 4.53. Boyutsuz basınç farkının boyutsuz boru boyuna göre değişimi, ($\beta=0.6$)



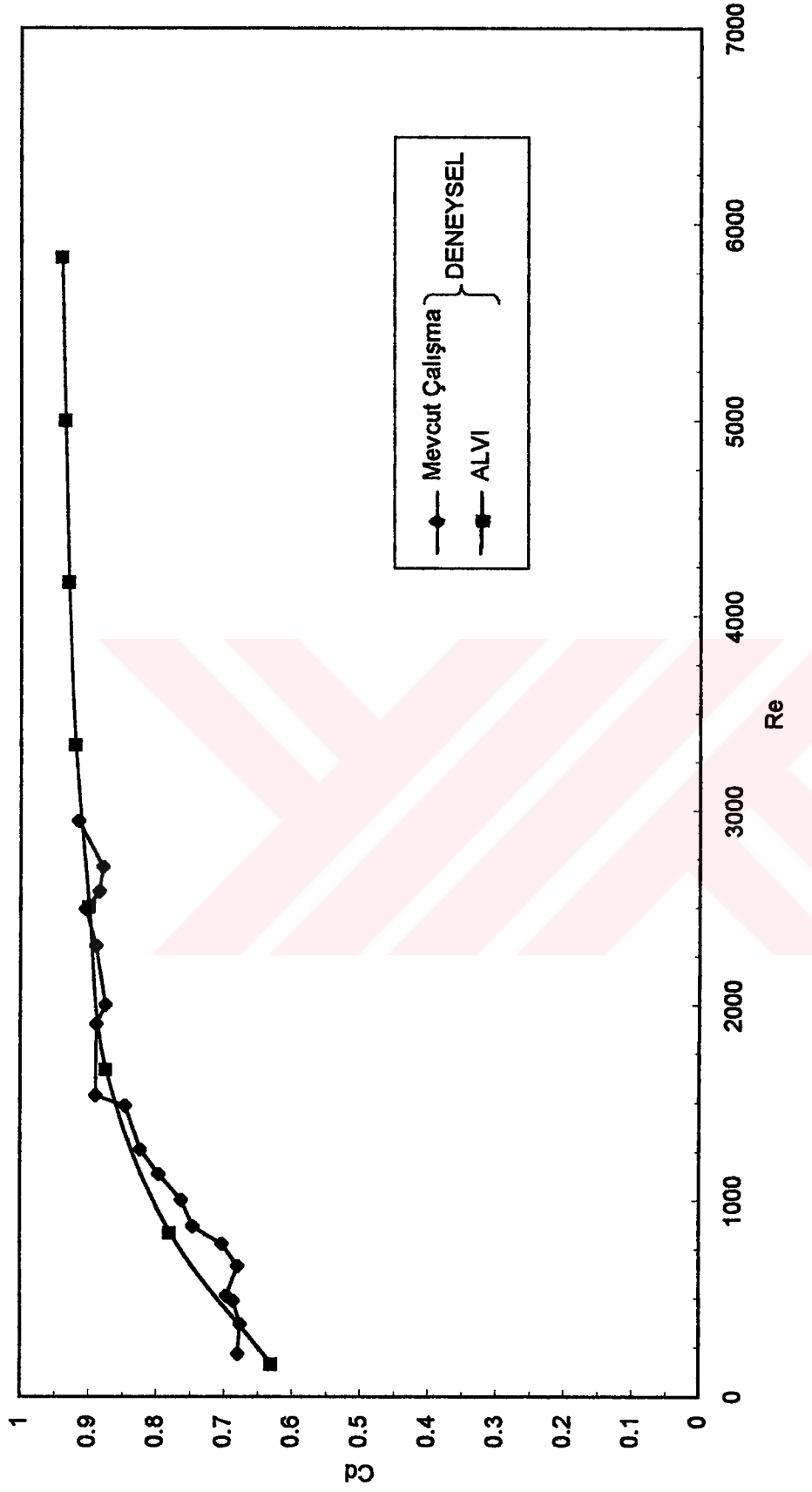
Şekil 4.54. Boyutsuz basınç farkının boyutsuz boru boyuna göre değişimi, ($\beta=0.8$)



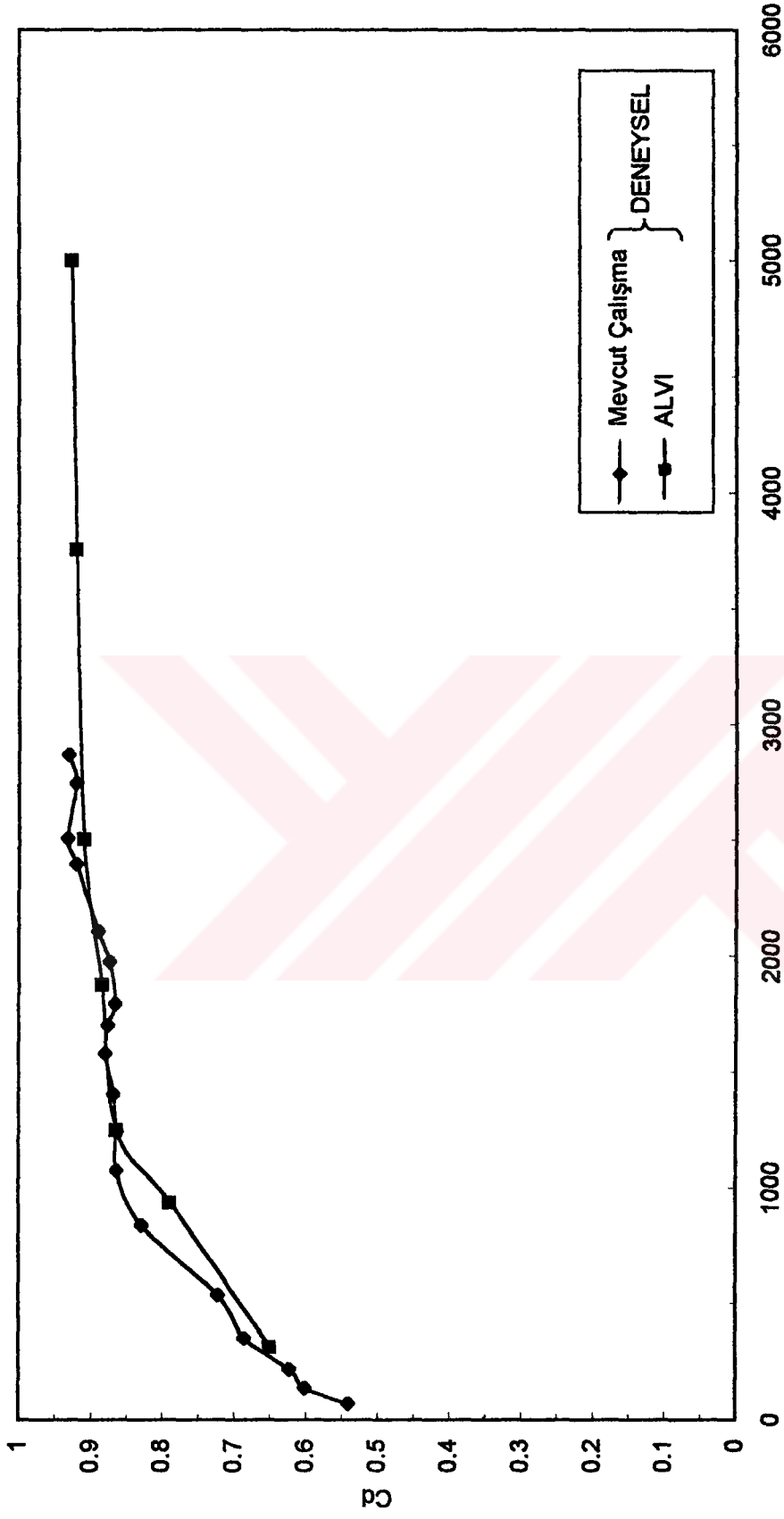
Şekil 4.55. Boyutsuz basınç farkının boyutsuz boru boyuna göre değişimi, (İtule)



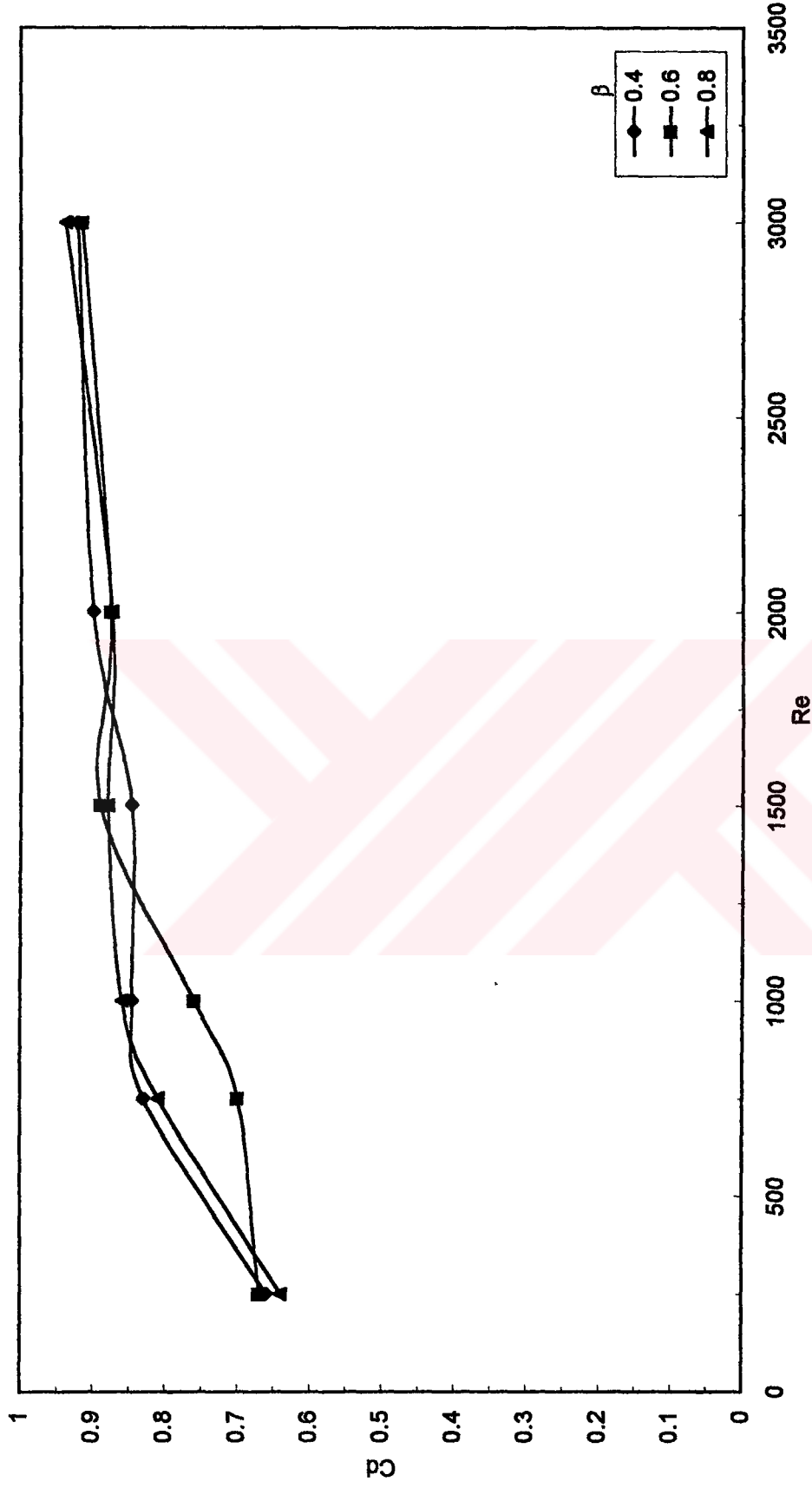
Şekil 4.56. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, $\beta=0.4$



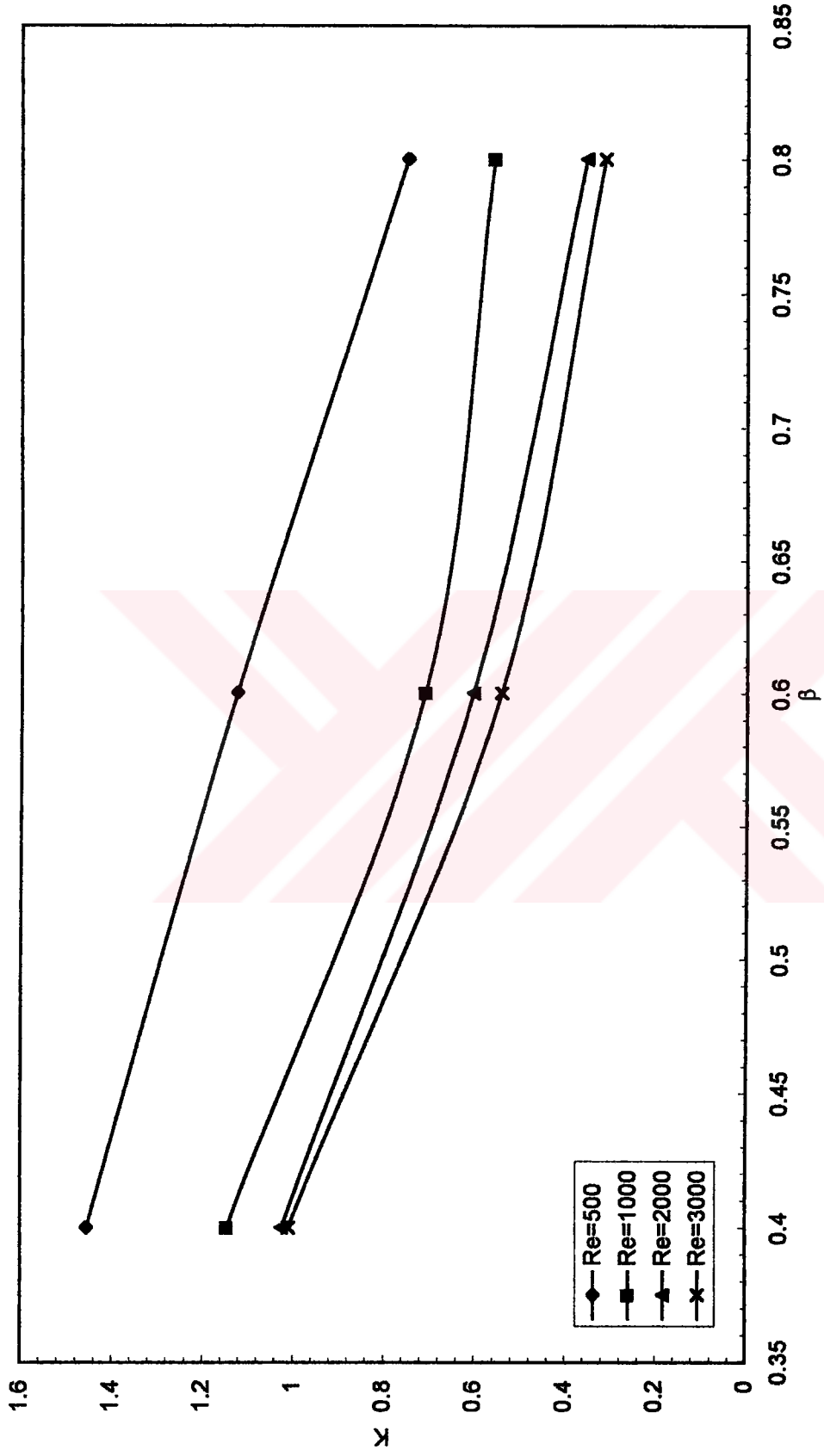
Şekil 4.57. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, $(\text{lüle}), \beta=0.6$



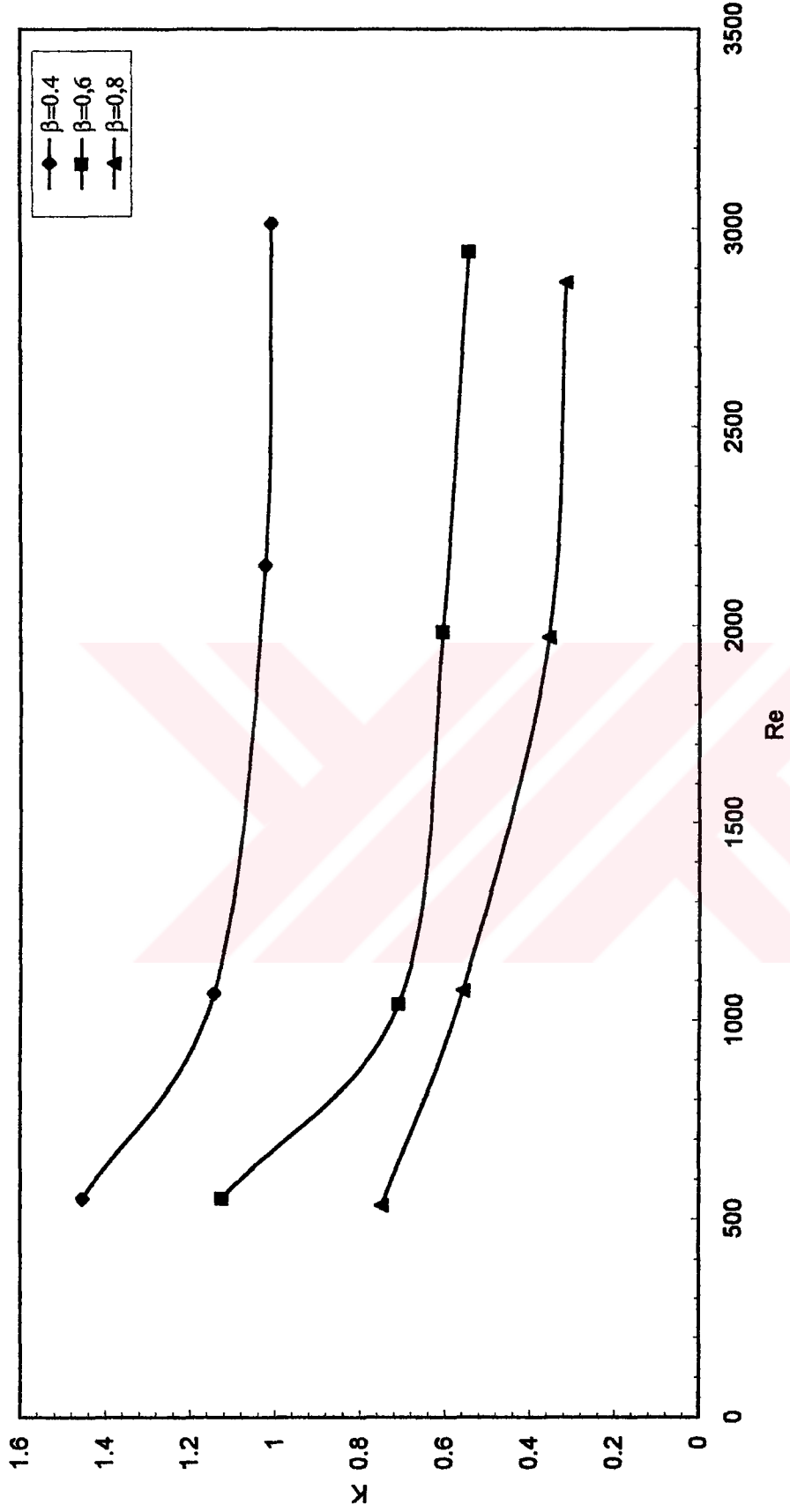
Şekil 4.58. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (lüle), $\beta=0.8$



Şekil 4.59. Debi katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi, (tüle)



Şekil 4.60. Basınç kaybı katsayısının açılış oranına göre değişimi



Şekil 4.61. Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi