

57940

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALLARDA DAİMİ OLMAYAN
ZORUNLU KONVEKSİYONUN NÜMERİK MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y.Müh.Ünal UYSAL

Ana Bilim Dalı: MAKİNA

Programı: Isı - Enerji

HAZİRAN 1996

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

**DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALLARDA DAİMİ OLMAYAN
ZORUNLU KONVEKSİYONUN NÜMERİK MODELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y.Müh.Ünal UYSAL

57940

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :19 Haziran 1996

Tezin Savunulduğu Tarih :12 Temmuz 1996

Tez Danışmanı
Prof.Dr.İsmail ÇALLI
(*İsmail Çalli*)

Üye
Doç.Dr. H.Rıza GÜVEN
(*H.Rıza Güven*)

Üye
Doç.Dr. Mesut GÜR
(*Mesut Gür*)

HAZİRAN 1996

DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALLARDA DAİMİ OLMAYAN ZORUNLU KONVEKSİYONUN NÜMERİK MODELLENMESİ

Anahtar Kelimeler : Daimi olmayan zorunlu konveksiyon, Sonlu Farklar Metodu.

ÖZET

Termal gelişen ve hidrodinamik gelişmiş akış için dikdörtgen kesitli kanalda ısı girişinden dolayı daimi olmayan laminar zorunlu konveksiyon incelenmiştir. Çalışmalar Reynolds sayıları ($1120 \leq Re \leq 2220$) ve giriş frekansları ($0.02 \text{ Hz} \leq \beta \leq 0.24 \text{ Hz}$) değerleri için yapılmıştır. Daimi olmayan ısı transfer problemi termal giriş bölgeleri için çözülmüştür. Nümerik sonuçlar elde edilmiştir. İkinci derece explicit sonlu farklar şeması enerji denklemini çözümü için kullanılmıştır. (Sözbir 1995, 1995b) tarafından yapılan deneysel veriler yardımıyla beşinci çeşit sınır şart kullanarak tam gelişmiş parabolik hız profili için nümerik sonuçlar elde edilmiştir. Dikdörtgen kesitli kanal ekseni boyunca sıcaklık değişimleri elde edilmiş ve sıcaklık amplitüdünün kanal boyunca exponensiyal olarak azaldığı görülmüştür. Deneysel sonuçlarla nümerik sonuçların birbiriyle uyum sağladığı ve hata değerinin %0.5'den küçük olduğu görülmüştür.

NUMERICAL MODELLING OF FORCED CONVECTION IN RECTANGULAR DUCTS

ABSTRACT

Key words : Transient forced convection, Finite difference method

This thesis focuses on a numerical investigation of transient laminar forced convection in a rectangular duct due to a sinusoidal heat input at the inlet with hydrodynamically developed and thermally developing air flow. The studies were conducted over with range of Reynolds number ($1120 \leq Re \leq 2220$) and inlet frequencies ($0.02 \text{ Hz} \leq \beta \leq 0.24 \text{ Hz}$) of the periodic heat input. The transient heat transfer problem is solved in the thermal entrance region of the duct. Numerical results are reported. A second order accurate explicit finite difference scheme is used in the numerical solution to the energy equation. Numerical results are obtained with the fully developed parabolic velocity profile under the boundary condition of the fifth kind which was verified by the experiments. Temperature variations a long the centerline of the rectangular duct are obtained (Sözbir, 1995, 1995b) to be thermal oscillations with the same frequency as the inlet periodic heat input and amplitudes that decayed exponentially with distance along the duct. The results are compared with those from experiments. Satisfactory agreement between the numerical and experimental results are obtained.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Kanallarda laminer akış için daimi olmayan durumdaki cebri konveksiyonun çözümü için literatürde çeşitli çalışmalar vardır. Fakat bunların çoğu daimi zorunlu konveksiyonu içermektedir. Yapılan çalışmalarda akışın üniform olduğu, duvar sıcaklığının ve kanal giriş sıcaklığının zamanla değiştiği düşünülmüştür. Çoğu mühendislik problemlerinde, kanal içindeki akış türbülanslıdır. Fakat literatürde kanallarda daimi olmayan türbülanslı cebri konveksiyon çalışmaları sınırlıdır. Kanal içindeki zorunlu konveksiyon için bazı basitleştirilmiş çözümler literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmalar mühendislik problemlerinin çözümünde kolaylık sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Sözbir (1995, 1995b)'in dikdörtgen kesitli kanalda pürüzsüz yüzey için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısı ($1120 \leq Re \leq 2225$) değerleri ve ısıtıcı giriş frekans ($0.02 \text{ Hz} \leq \beta \leq 0.24 \text{ Hz}$) değerleri için yapmış olduğu deneysel çalışma sonuçları alınmıştır. Nümerik çözümü sonlu farklar metoduyla yapılmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tez danışmanlığımı üstlenen, çalışmalarımın her aşamasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli bilim adamı Sakarya Üniversitesi Rektörü Sayın **Prof.Dr. Müh. İsmail ÇALLI**'ya sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Nümerik ısı transferi konusunda çalışma yapmamı teşvik eden ve nümerik çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Kocaeli Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın **Yrd.Doç.Dr. Müh. H.İbrahim SARAC** ve Sakarya Üniversitesi Öğretim Üyesi **Yrd.Doç.Dr. Müh. Nedim SÖZBİR**'e teşekkür ederim.

Ayrıca nümerik çalışmalarımın sonuçlarını kısa sürede almam için Lisans Üstü Bilgisayar Merkezi'nde çalışma imkanı sağlayan Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yetkililerine teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xviii

BÖLÜM 1.

1. GİRİŞ	1
----------------	---

BÖLÜM 2.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
--------------------------------	---

BÖLÜM 3.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA HAKKINDA BİLGİLER	13
3.1. Deney Düzenegi	13
3.1.1. Test Akışkanı	13
3.1.2. Test Bölümü	13
3.2. Deneysel Çalışma Sonuçları	16
3.2.1. Laminer Termal Giriş Bölgesinde Sıcaklık Amplitüdü	16
3.2.2. Pürüzsüz (Blocsuz) Kanalın Deneysel Sonuçları	16
3.2.3. Test Bölümündeki Duvar Sıcaklığı Ölçümleri	17

BÖLÜM 4.

4. DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALIN NÜMERİK MODELİ	18
4.1. Kabuller	19

4.2. Problem ve Formülasyon	19
4.3. Enerji Denklemi	19
4.4. Tamamen Gelişmiş Hız Profili	19
4.5. Giriş ve Sınır Şartları	20
4.5.1. Simetri Sınır Durumu	20
4.5.2. Sabit Duvar Sıcaklığı	20
4.5.3. Sabit Duvar Isı Akısı	21
4.5.4. Daimi Olmayan Sınır Şart	21
4.4.6. Boyutsuz Formülasyonlar	21
4.4.7. Sınır Şartlarının Boyutsuzlaştırılması	23
4.7.1. Giriş Sınır Şartı	23
4.7.2. Simetri Sınır Şart	23
4.7.3. Sabit Duvar Sıcaklığı	23
4.7.4. Sabit Duvar Isı Akısı	23
4.7.5. Konveksiyon Isı Transferi	23
4.7.6. Daimi Olmayan Sınır Şart	24
4.8. Boyutsuz Hız Profili	24
4.9. Sonlu Farklar Formülasyonu	24
4.9.1. İlerleme Adımı Şeması	25
4.9.2. Sınır Şartlarının Düzenlenmesi	26
4.9.2.1. İlk Durum	26
4.9.2.2. Giriş Durumu	27
4.9.2.3. Simetri Durumu	27
4.9.2.4. Duvar Sınır Şartları	27

BÖLÜM 5.

5. NÜMERİK ÇALIŞMANIN HATA ANALİZİ	29
--	----

BÖLÜM 6.

6. NÜMERİK VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI32

BÖLÜM 7.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....90

KAYNAKLAR.....92

EKLER 103

ÖZGEÇMİŞ 109



SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

- a : akışkanın termal difüzyonu, m^2/s ; kanalın genişliği, m
- a^* : akışkandan duvara termal kapasite oranı, $(\rho c_p)_f b / (\rho c_p)_w L$
- b : kanal yüksekliğinin yarısı, m
- Bi : modife edilmiş Biot sayısı, $h_e b/k$
- c, C_p : özgül ısı, J/kg K
- D_e : dikdörtgen kesitli kanalın hidrolik çapı, m
- h : ısı transfer katsayısı, $W/m^2 K$
- h_e : eşdeğer ısı transfer katsayısı $(1/h+k_w/L)^{-1}$, $W/m^2 K$
- k : kondüksiyon katsayısı, $W/m K$
- L : duvar kalınlığı, m
- m : kütleli debi, kg/s
- Nu : Nusselt sayısı, $h b/k$
- q : boyutsuz ısı akısı, $q_w b/k\Delta T_c$
- R : boyutsuz normal koordinat, y/b
- Re : Reynolds sayısı, $U_m D_e/\nu$
- t : zaman, s
- T : sıcaklık, °C, K
- T_e : ortalama giriş sıcaklığı, K
- $u(y)$: tamamen gelişmiş hız profili, m/s
- $U(R)$: boyutsuz hız profili
- U_m : ortalama hız, m/s
- x : aksel koordinat, m
- y : kanal duvarından merkezine doğru koordinat
- Z : boyutsuz aksel uzaklık, $(x/D_e)(D_e/b)^2(RePr)$; $x/U_m(b^2/a)$; x/D_e

Semboller

- α : sıcaklık amplitüdünün eğimi
- β : giriş frekansı, Hz
- $\theta (Z,R,\tau)$: boyutsuz sıcaklık
- ρ : yoğunluk, kg/ m³
- Ω : boyutsuz giriş frekansı, $2\pi\beta b^2 / a$
- τ : boyutsuz zaman, at/b^2
- ΔT_e : kanal kesitinde giriş sıcaklık amplitüdü, K
- ΔT_c : giriş kanal merkezindeki sıcaklık amplitüdü, K
- $\Delta T(y)$: kanal kesitindeki giriş sıcaklık amplitüdü, K
- $\Delta\theta(R)$: boyutsuz giriş sıcaklık amplitüd profili, $\Delta T(y)/\Delta T_c$
- μ : akışkanın dinamik viskozitesi, Pa s
- ν : akışkanın kinematik viskozitesi, m²/s

Alt indis

- c : kanal eksenindeki değer
- f : akışkan
- w : duvar
- ∞ : çevre
- amp : amplitüd

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	14
Şekil 3.2. Test kanalının kesiti.....	15
Şekil 3.3. Kanal içindeki termokapulların yerleştirilişi.....	15
Şekil 4.1. Sonlu Farklar Şeması.....	25
Şekil 6.1. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.51$ pürüzsüz kanalda kanal ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	38
Şekil 6.2. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.52$ pürüzsüz kanalda kanal ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	38
Şekil 6.3. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.53$ pürüzsüz kanalda kanal ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	39
Şekil 6.4. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.54$ pürüzsüz kanalda kanal ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	39
Şekil 6.5. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.55$ pürüzsüz kanalda kanal ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	40
Şekil 6.6. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.28$ pürüzsüz kanalda kanal ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	40
Şekil 6.7. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.29$ pürüzsüz kanalda kanal ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	41

Şekil 6.8. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.34$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	41
Şekil 6.9. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	42
Şekil 6.10. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	42
Şekil 6.11. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.07$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	43
Şekil 6.12. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	43
Şekil 6.13. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	44
Şekil 6.14. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	44
Şekil 6.15. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	45
Şekil 6.16. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	45
Şekil 6.17. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	46

Şekil 6.18. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.90$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	46
Şekil 6.19. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	47
Şekil 6.20. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	47
Şekil 6.21. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	48
Şekil 6.22. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	48
Şekil 6.23. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	49
Şekil 6.24. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	49
Şekil 6.25. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	50
Şekil 6.26. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	51
Şekil 6.27. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi.....	52

- Şekil 6.28. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi..... 53
- Şekil 6.29. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi..... 54
- Şekil 6.30. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi. 55
- Şekil 6.31. Laminer termal giriş bölgesinde $Re\approx 2225$ sayısı, $Pr=0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta=0.02$ Hz- $\beta=0.24$ Hz) pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi. 56
- Şekil 6.32. Laminer termal giriş bölgesinde $Re\approx 2008$ sayısı, $Pr=0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta=0.02$ Hz- $\beta=0.24$ Hz) pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi. 57
- Şekil 6.33. Laminer termal giriş bölgesinde $Re\approx 1764$ sayısı, $Pr=0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta=0.02$ Hz- $\beta=0.24$ Hz) pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi. 58
- Şekil 6.34. Laminer termal giriş bölgesinde $Re\approx 1478$ sayısı, $Pr=0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta=0.02$ Hz- $\beta=0.24$ Hz) pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi. 59
- Şekil 6.35. Laminer termal giriş bölgesinde $Re\approx 1121$ sayısı, $Pr=0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta=0.02$ Hz- $\beta=0.24$ Hz) için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi..... 60
- Şekil 6.36. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.51$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi. 61
- Şekil 6.37. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.52$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi. 61

Şekil 6.38. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.53$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	62
Şekil 6.39. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.54$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	62
Şekil 6.40. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.55$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	63
Şekil 6.41. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.28$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	63
Şekil 6.42. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.29$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	64
Şekil 6.43. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.34$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	64
Şekil 6.44. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	65
Şekil 6.45. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	65
Şekil 6.46. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.07$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	66
Şekil 6.47. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	66

Şekil 6.48. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	67
Şekil 6.49. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	67
Şekil 6.50. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	68
Şekil 6.51. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	68
Şekil 6.52. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	69
Şekil 6.53. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.90$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	69
Şekil 6.54. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	70
Şekil 6.55. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	70
Şekil 6.56. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	71
Şekil 6.57. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.....	71

Şekil 6.58. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda kanal eksen boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.	72
Şekil 6.59. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda kanal eksen boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.	72
Şekil 6.60. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.25$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda kanal eksen boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.	73
Şekil 6.61. Laminer termal giriş bölgesinde $Re=2225.54$, $Pr=0.71$ ve $\beta=0.16$ Hz giriş frekansında pürüzsüz kanalda kanal giriş sıcaklığı değişimi.	74
Şekil 6.62. Laminer termal giriş bölgesinde pürüzsüz kanal için boyutsuz giriş sıcaklığı amplitüd profili ($2225 > Re > 1121$, $Pr=0.71$ $0.02 \text{ Hz} > \beta > 0.24 \text{ Hz}$)	75
Şekil 6.63. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.51$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	76
Şekil 6.64. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.52$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	76
Şekil 6.65. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.53$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	77
Şekil 6.66. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.54$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	77
Şekil 6.67. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.55$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	78
Şekil 6.68. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.28$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	78
Şekil 6.69. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.29$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	79

Şekil 6.70. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.34$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	79
Şekil 6.71. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	80
Şekil 6.72. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	80
Şekil 6.73. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.07$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	81
Şekil 6.74. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	81
Şekil 6.75. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	82
Şekil 6.76. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	82
Şekil 6.77. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	83
Şekil 6.78. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	83
Şekil 6.79. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	84
Şekil 6.80. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.90$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	84
Şekil 6.81. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	85
Şekil 6.82. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.	85

Şekil 6.83. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.86

Şekil 6.84. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.86

Şekil 6.85. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.87

Şekil 6.86. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.87

Şekil 6.87. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.25$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.88



TABLolar LİSTESİ

- Tablo 6.1. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 2225$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları34
- Tablo 6.2. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 2008$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları34
- Tablo 6.3. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 1764$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları35
- Tablo 6.4. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 1478$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları35
- Tablo 6.5. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 1121$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları36
- Tablo 6.6. Pürüzsüz (bloksuz) kanal için termal giriş bölgesinde farklı Reynolds sayıları (Re) ve giriş frekansları (β) için deneysel ve teorik sıcaklık amplitüdünün eğimi (α) ve Nümerik ve Deneysel çalışmadan elde edilen sıcaklık amplitüdünün eğimi farkı 37

BÖLÜM 1.

I. GİRİŞ

Kanal içinde ya da iki paralel plaka arasında veya bir katı yüzey üzerinde hareket eden akışkan pratikte ısıtma ya da soğutma problemlerinde, ısı transferi karakteristiklerini belirleme işi termal dizayn mühendislerinin görevidir. Çoğu zaman akışkanın yada katı elemanın sıcaklık dağılımı zamana bağlı değişim göstermektedir. Kanal içindeki ısı transferinde meydana gelen ani kararsızlıklara örnek olarak, ısı eşanjörleri elemanlarında açma kapama anında veya açma anında meydana gelen daimi olmayan (kararsız) durumlar meydana gelebilir. Bu durum giriş sıcaklıklarında veya debilerde zamanla değişiklikler meydana geldiği gibi, işletme durumlarında bu değişiklikler meydana gelebilir. Bu anlık kararsızlık durumlar, malzeme içersinde termal gerilmeler yada termal performansla azalma gibi istenmeyen etkiler meydana getirebilir. Sistemi oluşturan elemanların kararlı durumda çalışmaları hiç bir zaman mümkün değildir. Bundan dolayı normal çalışma şartlarındaki temel büyüklüklerin bilinmesi gerekmektedir. Termal eleman dizaynı için bir etkili kontrol sisteminin sağlanmasını hemde anlık kararsızlıkları bilmek önemlidir.

Kanallarda daimi olmayan laminer akış durumdaki cebri konveksiyonun çözümü için akışın üniform olduğu, duvardaki ısı akışı veya duvar sıcaklığı giriş sıcaklığının zamanla değişimi veya giriş sıcaklığının zamanla değişimi kademeli olarak değiştiği düşünülmüştür. Daimi olmayan zorunlu konveksiyonla ilgili ilk çalışmalar, ısı eşanjörlerinde hidrolik, dinamik ve termal tepkileri tanımlamak amacıyla başlanmıştır. Araştırmalar, kritik bileşenlerin ihmalini gerektiren durumlarda ve daimi olmayan çalışma durumlarında karşı karşıya gelinen problemlerde ilave edilmelidir. Çoğu mühendislik problemlerinde, kanal içindeki akış türbülanslıdır. Fakat daimi olmayan türbülanslı cebri konveksiyon çözümleri sınırlıdır. Kanal içinde değişik cebri konveksiyon problemleri için analitik çözümler vardır.

Kanallarda daimi olmayan zorunlu konveksiyon için, bazı basitleştirilmiş çözümler literatürde bulunmaktadır. Bu yüzden bu çözümler pratik uygulamalardaki çok az problemlerin anlaşılmasını sağlamaktadır.

Kanallarda daimi olmayan zorunlu konveksiyonun çözümleri laminer akış için, duvar ısı akısındaki değişim ya da duvar sıcaklığı ve giriş sıcaklığının zamanla değişimi ve üniform akışın kabulüyle yapılmakta veya giriş hızının zamanla değişimi için ayrı ayrı bulunabilir. Bazı durumlarda, termal giriş bölgesindeki laminer zorunlu konveksiyon, çözümlü duvar etkilerinin her ikisini de içermektedir.

Bu çalışmada, Sözbir (1995, 1995b)'in çalışmalarında dikdörtgen kesitli kanalda pürüzsüz (bloksuz) yüzey için termal giriş bölgesinde Reynolds ($Re \approx 1122$ - $Re \approx 2225$) değerleri ve ısıtıcı giriş frekans ($\beta = 0.02$ Hz- $\beta = 0.24$ Hz) değerleri için yapmış olduğu deneysel çalışma sonuçları alınmış, çalışmanın nümerik çözümlü sonlu farklar metoduyla yapılmıştır. Deneysel verilerle birlikte nümerik sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Teorik (nümerik) sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış, nümerik çalışmanın deneysel değerlerle uygunluğu ve elde edilen sonuçlar menun edici olduğu görülmüştür.

Bölüm 2'de daha önce yapılan tezler, makaleler ve araştırma raporları incelenerek çalışmalar hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca Sözbir (1995,1995b)'nin çalışması hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3'de Sözbir (1995,1995b)'nin çalışmasında kullandığı deney düzeneği kısaca tanıtılmıştır.

Bölüm 4'de dikdörtgen kesitli kanalın nümerik modeli yapılmıştır. Bu model için sınır şartları tespit edilmiştir. Nümerik modelin çözümünde boyutsuz parametreler kullanılarak, sonlu farklar metodu uygulanmıştır. Sonlu farklar şemasına Prediktör ve Korrektör adımları uygulanarak şemanın çözümü ikinci derece kesme hatalarınıda içine alacak şekilde yapılmıştır.

Bölüm 5'de nümerik modelin belirsizlik analizi yapılmıştır ve burada hatanın kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

Bölüm 6'da nümerik çalışma sonucunda elde edilen değerlerle deneysel veriler tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Tablolarda Reynolds sayıları (Re) ve giriş frekansları (β) için deneysel ve teorik sıcaklık amplitüdünün eğimi (α) ve nümerik ve deneysel çalışmadan elde edilen sıcaklık amplitüdünün eğiminin farkı ve termal giriş bölgesinde pürüzsüz kanalda Reynolds sayısı (Re) ve giriş frekansı (β) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farklar gösterilmiştir. Grafiklerde ise termal giriş bölgesinde Reynolds sayıları (Re) ve giriş frekansları (β) için pürüzsüz kanalda kanal

ekseni boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdü değişimi, sıcaklık amplitüdü değişimi, pürüzsüz kanalda kanalda boyunca sıcaklıklarının değişimi ve duvar sıcaklıklarının değişimi gibi grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca nümerik ve deneysel değerlerin karşılaştırılmıştır.

Bölüm 7'de kanallarda daimi olmayan zorunlu konveksiyonun çözümü için nümerik çalışmanın neticesinde elde edilen sonuçlar ve ileriye öneriler verilmiştir.



BÖLÜM 2.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Regeneratör tip ısı eşanjörlerinde daimi olmayan çalışma şartları, açma, kapama, güç dalgalanması, pompa arızası gibi problemler, değişik termal ve hidrodinamik şartlardaki daimi olmayan veya daimi iç akışların termal tepkilerini içeren araştırmalar yapılmıştır. Çoğu daimi olmayan ısı transfer analizinde, ısı transfer katsayısı daimi olmayan işlemlerde sabit olduğu kabul edilmiştir. Statik duruma yakın düşünülerek yapılmıştır. Isı eşanjörlerinin dinamik hesaplarını ilk olarak Dusenberre (1954) tarafından yapılmıştır. Genel problemin içerdiği karmaşıklık nedeniyle kesin iterasyon formülü ve nümerik hesaplama yöntemi önermiştir.

Rizika (1954), izoleli tüp veya borudan geçen akışkanın giriş sıcaklığını kademeli fonksiyon şeklinde değiştirmiştir. Çalışmada nümerik örnekler mevcuttur. Isı eşanjörlerindeki sıkıştırılabilir akışkan için daimi olmayan durumun kısmi analizi yapılmış ve problemin çözüm metodu gösterilmiştir. Daha sonra Rizika (1956), sıkıştırılmaz akış sisteminde termal faz farkından dolayı daimi olmayan çözümlerin araştırılmasını içeren bir çalışma da yapmıştır. Sıkıştırılmaz akışkan ile kademeli fonksiyon sıcaklık girişinin borulardan ve tüplerden akışı ve ısı eşanjörlerinde sıkıştırılmaz akış tamamen belirlenmiştir. Örnek olarak ısı eşanjörlerinin çıkışındaki daimi olmayan durumu gösteren bir çalışma da sunmuştur.

Sparrow and Siegel (1958), geçici ısı kondüksiyonu altında tüplerdeki termal giriş bölgesinde laminer akış için daimi olmayan cebri konveksiyonu araştırmıştır.

Referans (Clark 1958, Arpacı 1958, Arpacı 1959) da iç ısı kaynağının zamanla değişimini içeren ısı eşanjörlerinin dinamik tepkisi konusunda bir seri makaleler sunulmuştur. Bu makalelerde, hız profili üniform olarak düşünülerek teorik analiz ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

Siegel (1959), duvarları kademeli ısı akışı değişimi altındaki paralel plakalı ve tüplerdeki üniform laminer akış için konveksiyonla daimi olmayan ısı transfer analizini yapmıştır.

Seigel and Sparrow (1959), laminer akış için düz kanallardaki termal giriş bölgesinde daimi olmayan cebri konveksiyonu içeren çalışma yapmışlardır. Duvardaki ısı akısı veya duvardaki sıcaklığın kademeli olarak değişmesinde ve enerji denkleminin integral formülasyonunun birleştirilmesi ile termal tepkileri elde edilmiştir. Daha sonra enerji denkleminin lineer olarak kullanılması, kademeli fonksiyon sonuçları, sınır şartların keyfi zaman değişimi hali için genelleştirilmiştir. Sonuçlar özel uygulamalar için kolayca kullanılan integral formu ile ifade edilmiştir.

Abbrecht and Churchill (1960) tüplerin termal giriş bölgesindeki ısı transferini içeren deneysel araştırmasını tamamen geliştirmiş türbülanslı akış ve duvar sıcaklığının kademeli değişimi için sunmuştur. Isı ve momentum için radyal ve eksenel sıcaklık gradyanları, radyal ısı akısı ve eddy difüzyonları, deneysel ölçümlerden hesaplanmıştır.

Siegel (1960) de paralel plakalı kanallar ve tüplerdeki duvar sıcaklığının zamanla keyfi değişimin laminer cebri konveksiyon için araştırmışlardır. Hız dağılımı daimi ve tamamen gelişmiş kabul edilmiştir. Keyfi zaman değişimleri için genelleştirilen sonuçlardan ve duvardaki kademeli sıcaklık değişimi için ilk defa analiz yapılmıştır. Tüplerdeki akış için hesaplamalar yaklaşık olarak yapılmıştır. Yaklaşımın geçerliliği gerçek sonuçlarla test edilmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Yong et al. (1961), ısı eşanjörlerinin dinamik tepkisi konusunda çalışmışlardır. Hızı üniform kabul ederek teorik sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır.

Perlmutter and Siegel (1961), ısıtılmış veya soğutulmuş paralel plakalar arasındaki daimi olmayan laminer akış için daimi olmayan ısı transferini incelemiştir. Başka bir makale de yine Perlmutter and Siegel (1961b), duvar sıcaklığının kademeli değişimi ile iki paralel plaka arasındaki iki boyutlu daimi olmayan sıkıştırılmaz laminer akışı analiz etmişlerdir.

Siegel (1963), duvardaki ısı kapasitesi ve eksenel olarak duvardaki ısı değişimi, üniform akış için ve iki paralel plaka arasındaki laminer cebri konveksiyonu analiz etmiştir. Duvar sıcaklığının zamanla sinusoidal ve exponensiyel olarak değişimini düşünmüşlerdir.

Siegel and Perlmutter (1963), duvar ısı akısının iki paralel plakada ile sıkıştırılmaz daimi olmayan akış için laminer cebri konveksiyonu araştırmışlardır. Akışkan hızı kanalda sabit kabul edilmiştir. Fakat akışkan hızı zamanla değişmektedir. Genel analitik ifadeler kanaldaki daimi olmayan ısı transferi için türetilmiştir.

Kardas (1966), paralel düz plakalı kanalda giriş sıcaklığının zamana göre değişimini içeren ısı transferini çalışmış, analitik bir çözüm sunmuştur.

Kakaç (1968), hava için duvardaki ısı akısı ve duvar sıcaklığının kademeli değişimi için bir kanaldaki türbülanslı cebri konveksiyon için enerji denklemini daimi olmayan durum için nümerik çözümleridir. Daimi olmayan sıcaklık dağılımları Nusselt sayısı, kanal uzunluğu ve zamanın fonksiyonu olarak elde edilmiştir.

Sparrow and De Farias (1968), zaman ve yere bağlı duvar sıcaklığı ile giriş sıcaklığının periyodik değişimini paralel plakalı kanalda daimi olmayan laminer ısı transferinin analizini yapmışlardır.

Chase et al. (1969), eşanjörün girişinden difüzyon rezistansından dolayı meydana gelen rezistanlı ısı transferi modeli kullanarak paralel plakalı regenerator ısı eşanjörü üzerinde çalışmışlardır.

Namatame (1969), yüzey sıcaklığına bağlı durumu içeren daimi olmayan üniform akış için daimi duruma yakın çözümü değiştirerek sunmuştur.

Kakaç and Yener (1973), giriş sıcaklığının değişimi ile paralel plakalı kanalda sıkıştırılmaz akışkanın laminer üniform akışı için daimi olmayan enerji denklemlerinin tam çözümünü elde etmişlerdir.

Schnatz and arkadaşları (1974), tüp içinde uniform ve parabolik hız dağılımı kabulünü yaparak, giriş akışkan sıcaklığının duvar sıcaklığının ani değişimi için tüpteki tamamen gelişmiş laminer akışın sıcaklık dağılımını zamana bağlı olarak elde etmişlerdir.

Kawamura (1974), türbülanslı akış için daimi olmayan ısı transferinin nümerik analizini yapmıştır. Türbülanslı akış için basitleştirilmiş enerji denklemi ile ısı transfer katsayısı analitik bir çözüm ile elde edilmiştir.

Kakaç (1975), iki paralel plaka arasındaki sıkıştırılmaz daimi akıştaki giriş sıcaklığının dağılımı için duvar ısı akısı, sınır şartları sıfır veya sabit duvar sıcaklığı altında daimi olmayan enerji denkleminin çözümünü elde etmiştir. Çözümler kapalı formda verilmiştir. Özdeğer fonksiyonları özdeğerlere uygun olarak nümerik metot ile belirlenmiş ve tamamen çözülmüştür.

Gartner (1976), türbülanslı sıkıştırılmaz akışkanın daimi olmayan konveksiyonla ısı transferini analiz etmiştir. Analizde duvar ısı akısı zamanla değişmiştir.

Kawamura (1977), ısı transfer katsayısının daimi olmayan değişimini analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada, deney tüpünün zamanla kademeli ısıtılıp ve su ile soğutulmasını içermektedir. Akış türbülanslı ve daimidir. Isı transfer katsayısının değişimi elde edilmiştir. Bazı konfigürasyonlar için nümerik analiz yapılmıştır.

Campo and Yoshimura (1979), paralel plakalı kanallarda tamamen gelişmiş akışın ısı transfer performansını rastgele olarak değişen çevre sıcaklıklarındaki etkisini araştıran teorik bir çalışma yapmışlardır.

Acker and Fourcher (1981), termal periyodik rejimdeki laminer akışı incelemiştir. Paralel plakalar arasındaki akışkan için Laplace transformasyonları kullanarak enerji denklemini çözmüştür. Çözümde, hız profili ideal ve kanaldaki giriş akışkan sıcaklığı sinusoidal olarak alınmıştır.

Lin and Shih (1981), borularda Newton olmayan akışkanların tamamen gelişmiş laminer akış için daimi olmayan durumdaki Graetz problemleri üzerine çalışmıştır. Giriş sıcaklığının etkisini, viskoz yayılma ve Graetz sayısının ısı transferine etkisini nümerik olarak çözmüşlerdir.

Suces (1981), daimi olmayan cebri konveksiyonlu laminer akışın, akışkanın termal enerji depolama kapasitesi ve yüzey sıcaklığına bağlı olarak yaklaşık bir hesaplama yapmıştır. Daimi olmayan durumda zamanla giriş sıcaklığı sinusoidal olarak değiştirilir. Çözümler üniform akış, linear profil için verilmiş ve tam çözümler Laplace transformasyonlarının uygulanması ile daimi duruma yakın yaklaşımın düzeltilmesi ile elde edilmiştir.

Shah (1981), ısı eşanjorlerinin daimi olmayan şartlardaki tepkisini yıllar önce belirtmiştir. Giriş sıcaklıklarının ve kütleli debinin kademeli olarak değiştirilmesi ile regeneratör ısı eşanjorlerin tepkisini sunmuştur.

Mikhailov (1983), kanal içindeki hidrolik olarak gelişmiş cebri konveksiyonlu akışta periyodik ısı transferi ve daimi durumu incelemiştir. Ortogonal ifadesinin çözümünü nümerik olarak çözmüştür.

Lin et al. (1983, 1983b), sonlu fark metodunu kullanarak değişik akışlar için daimi olmayan iki boyutlu enerji denklemini çözmüştür. İlk makalesinde borudaki laminer akışta çevre sıcaklığının kademeli değişimiyle daimi olmayan termal giriş bölgesindeki ısı transferini çalışmışlardır. İkinci makalesinde giriş sıcaklığı ve basınç gradyanının akışta kademeli değişiminden çıkan sonuçla daimi olmayan termal giriş bölgesindeki ısı transferini incelemişlerdir. Yine Lin et al. (1983c), laminer akışın termal giriş bölgesinde giriş sıcaklığının kademeli değişimi ile daimi olmayan ısı transferini incelemişlerdir.

Sucec and Sawant (1984), giriş akışkan sıcaklığını zaman içinde periyodik olarak değiştirerek paralel plakalı kanaldaki daimi olmayan laminer cebri konveksiyonlu ısı transferi problemini incelemişlerdir. Periyodik olarak daimi olmayan durumu kanal duvarlarının adyabatik olduğu zaman, kanal boyunca uzaklığın ve zamanın fonksiyonu olarak duvar sıcaklığını ve akışkan sıcaklığını elde etmişlerdir.

Cotta and Özışık (1986), genelleştirilen integral transform teknik ile tamamen gelişmiş laminer akış için çalışma yapmışlardır. Sonuçlar giriş sıcaklığının boyutsuz değerleri için, kanal boyunca boyutsuz aksel uzaklığın fonksiyonu olarak grafik halinde vermişlerdir. Çalışma, teorik çalışma ile sınırlandırılmış deneysel sonuçlarla karşılaştırılmamıştır.

Cotta and arkadaşları (1987), paralel plakalı kanallar ve tüplerdeki üniform akışta, giriş sıcaklığının periyodik değişimi ile laminer cebri konveksiyonun teorik çalışmasını yapmışlardır.

Sucec (1987), paralel plakalı kanalın termal giriş bölgesinde geçici ısı transfer durumu için Laplace transformasyonunu kullanarak tam bir analitik çözüm geliştirmiştir.

Kim and Özışık (1987), borulardan veya paralel plakalı kanallarda duvar ısı akısındaki kademeli değişim ile daimi olmayan laminer cebri konveksiyon için analitik çözüm geliştirmişlerdir. Genelleştirilen integral transform tekniğini ve klasik transformasyonu kullanmışlardır.

Kakaç et al. (1987,1987b,1988,1988b,1989), laminer ve türbulanslı akış için paralel plakalı kanallarda giriş sıcaklığının periyodik değişimi ile laminer cebri konveksiyonun deneysel olarak incelemek için deney düzeneği yapmışlardır. Üniform laminer ve tamamen gelişmiş laminer akışın farklı sınır şartlarda farklı modellerin teorik analizini deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Yan et al. (1989), laminer boru akışlarında geçici ısı transferini incelemiştir. Kanallarda kondüksiyonla ısı transferi ile termal rezistansın rolünü ve daimi olmayan durumdaki ısı kapasitesini araştırmışlardır.

Kakaç et al. (1990), laminer ve türbülanslı akış için paralel plakalı kanallarda giriş sıcaklığının periyodik değişimi ile laminer cebri konveksiyonun deneysel çalışmasını yapmışlardır. Teorik sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır.

Anderson and Moffat (1990), iyi bir tasarımda yayınlamış verileri kullanmada endüstride çalışanların başarısızlıklarını işaret etmiştir. Literatürde verilen ısı transfer katsayıları değerlerinin belirlenmesindeki uyumsuzluklar, % 20-30 bir tahmin hatasına sebep olan önemli bir durum olduğunu söylemiştir. Büyük sayıdaki geometrik değişkenlere elektronik soğutmada sık sık karşılaşılır. Soğutma problemleri tanıtılmış ve bazı faydalı korelasyonlar nümerik ve deneysel sonuçlardan elde edilmiştir.

Sucec et al. (1990), bir kanalda duvar sıcaklığı aniden değiştiğinde tamamen gelişmiş laminer akış için daimi olmayan ısı transferinin analitik olarak tam çözümünü bulmuşlardır. Çözüm Laplace transformasyonları ile elde edilmiştir.

Olek et al. (1991), hidrolik ve termal olarak tamamen geliştirilen akış için borudaki laminer akışta daimi olmayan ısı transferini analiz etmişlerdir.

Travelho et al. (1991), paralel plakalı kanal içinde termal giriş bölgesinde üniform akış için daimi olmayan laminer cebri konveksiyonun analitik çözümünü yapmışlardır.

Li and Kakaç (1991), kanallarda giriş sıcaklığının periyodik değişimi ile laminer akış için termal giriş bölgesindeki daimi olmayan ısı transferini incelemiştir. Analitik çözümü genelleştirilen integral transformasyon tekniği kullanarak yapmışlardır. Mühendislik uygulamaları için bazı teorik sonuçlar bulmuşlardır.

Hatay et al. (1991) paralel plakalı kanallarda daimi olmayan laminer cebri konveksiyonun nümerik ve deneysel çalışmasını yapmışlardır. Deneysel çalışmada giriş sıcaklığı sinusoidal değiştirilmiş ve nümerik çalışmada sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Li et al. (1993), dikdörtgen kesitli kanalda barrierli ve barriersiz olarak daimi olmayan cebri konveksiyonun davranışını incelemiştir. Kanal girişine sinusoidal bir ısı girişi verilmiştir. Bir bilgisayar içindeki elektrik ısınması ve soğutulması simule edilmiştir.

Deneyler laminar ve türbülanslı akış için yapılmıştır. Deneylere termal giriş bölgesinde tamamen gelişmiş hız profili ile devam edilmiştir.

Brown et al. (1993, 1993b,1993c,1994,1994b,1994c), dairesel kesitli kanalda daimi, olmayan türbülanslı cebri konveksiyonun deneysel ve analitik çalışmasını yapmışlardır. Kanaldaki çalışma hidrodinamik gelişmiş ve termal gelişmekte olan bölge için yapılmıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Santos et al. (1994,1994b), dairesel kesitli kanalda daimi olmayan türbülanslı ve laminar cebri konveksiyonun deneysel ve analitik çalışmasını yapmışlardır. Analitik çalışmada integral transform tekniğini kullanmışlardır.

Kakaç and Li (1990), iki paralel plaka arasında giriş sıcaklığının sinusoidal olarak değişimi ile ilgili türbülanslı cebri konveksiyonun deneysel ve teorik çalışmalarını yapmışlardır. Analitik çözümü genelleştirilen integral transform tekniği ile elde etmişlerdir. Analitik çözümler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve memnun edici sonuçlar elde edilmiştir.

Çomaklı et al. (1995,1995b), dairesel kesitli bir kanalda giriş sıcaklığı sinusoidal olarak değişen daimi olmayan cebri konveksiyonu deneysel olarak incelemişlerdir.

Sözber et al. (1995), paralel plakalı kanalda termal giriş bölgesinde pürüzsüz (bloksuz) kanal ve kanal içine yerleştirilen elektronik elemanlara benzer dikdörtgen prizması şeklindeki bloklarla daimi olmayan cebri konveksiyonu deneysel olarak incelemişlerdir.

Santos et al. (1994), dairesel kesitli bir kanalda termal giriş bölgesindeki türbülanslı akış için deneysel ve teorik çalışmalar yapmışlardır.

Sözber (1995), "Kanallarda Tek Fazlı Cebri Konveksiyon ve Elektronik Soğutma" adlı doktora çalışmasında, dikdörtgen kesitli kanalda giriş sıcaklığının zamana göre değişmesinden kaynaklanan daimi olmayan cebri konveksiyonu deneysel incelemiştir. Deneyleri laminar ve türbülanslı akış için termal giriş bölgesinde giriş sıcaklığını sin fonksiyonu şeklinde kabul etmiştir. Deneyler esnasında ısıtıcıya verilen giriş frekansı ve sınır şartları sabit olan kanal geometrisine bağlı Reynolds sayısının değişimi söz konusu olmuştur. Kanal içinde blok (bariyer) kullanmadan ve elektronik elemana benzeyen dikdörtgenler prizması şeklinde bloklarla değişik konfigürasyonlar yaparak deneylerini gerçekleştirmiştir. Yapılan deneylerde, kanalın test bölümündeki

maksimum akış miktarı ve ortalama hıza bağlı olarak değişen Reynolds sayısı, kanal parametreleri gibi parametreler için kanal eksen boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimini incelemiştir. Sıcaklık amplitüdü sin fonksiyonu şeklinde değiştiğini belirtmiştir. Kanal boyunca sıcaklığın exponensiyal bir şekilde azaldığını söylemiştir. Bloklü kanallarda sıcaklık amplitüdülerinin eğiminin bloksuz duruma göre daha büyük olduğunu, bu nedeninin artırılmış yüzeyden dolayı ısı transferinin daha fazla olması şeklinde yorumlamıştır. Sıcaklık amplitüdünün değişimi yüksek frekanslarda daha fazla, düşük frekanslarda daha az olduğunu tespit etmiştir. Laminer akışta sıcaklık amplitüd değerlerinin, türbülanslı akışa göre daha büyük olduğunu deneysel sonuçlardan elde etmiştir. Kanal boyunca maksimum duvar sıcaklığının doğrusal olarak azaldığını, minimum duvar sıcaklığının ise doğrusal olarak arttığı sonucunu tespit etmiştir.

Sözbir et al (1995b)'nin sunduğu tebliğde, elektronik elemanlara benzer modüller kullanarak dikdörtgen bir kanal içine yerleştirilen bu modüllerin, giriş ısıtıcı frekansının 0.02 Hz ile 0.24 Hz arasında değişen çeşitli frekanslar ve Reynolds sayısı 1120 ile 22300 arasında değişen çeşitli Reynolds sayıları için kanal merkezi eksen boyunca sıcaklığın değişimini sunmuştur.

Sözbir et al (1995c)'nin çalışmasında, 1120 ile 22300 Reynolds sayıları aralığında, çeşitli büyüklükte elektronik elemana benzeyen modüller kullanarak, giriş ısıtıcı frekansının 0.02 Hz ile 0.24 Hz arasında değişen dikdörtgen kesitli bir kanalda türbülanslı ve laminer akışta giriş sıcaklığının faz açılarının kanal boyunca azaldığını değişik termal osilosyanlarda tespit etmiştir.

Sözbir et al (1995d)'nin çalışmasında, 1120 ile 22300 Reynolds sayıları aralığında, çeşitli büyüklükte elektronik elemana benzeyen modüller kullanarak, giriş ısıtıcı frekansının 0.02 Hz ile 0.24 Hz arasında değişen dikdörtgen kesitli bir kanalda türbülanslı ve laminer akışta giriş sıcaklığının osilosyonunun büyük kanal boyunca osilosyonun azaldığını tespit etmiştir.

Arık et al (1995)'in yaptığı çalışmada, paralel iki plaka arasında türbülanslı akışta cebri konveksiyonu teorik olarak integral transform tekniği kullanarak ve deneysel olarak çeşitli sınır durumlarında incelemiştir.

Sözbir et al (1996)'daki çalışmasında, dikdörtgen kesitli kanallardaki girişteki sinüsoidal ısı girişinden dolayı hidrodinamik gelişmiş ve termal gelişen akış için daimi

olmayan laminer zorunlu konveksiyon deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Sonuçların memnun edici olduğu görülmüştür.

Sözbir et al (1996b)'nin yapmış olduğu çalışmada dikdörtgen kesitli kanalda elektronik elemana benzeyen modüller kullanarak periyodik olarak değişen giriş sıcaklığında hidrodinamik gelişmiş ve termal gelişen akış için daimi olmayan türbülanslı zorunlu konveksiyon deneysel olarak incelenmiştir.

Literatürde görüldüğü gibi çoğu çalışmada akışta hız sabit kabul edilerek daimi olmayan cebri konveksiyon problemleri için çözümlerin çoğu sabit kondüktivitede veya sabit sıcaklıkta akış düşünülmüştür. Gerçekte hız profili üniform değil ve kanal boyunca giriş sıcaklık amplitududa sabit değildir.

Laminer termal gelişmiş akış için dikdörtgen kesitli kanallardak daimi olmayan zorunlu konveksiyon sonlu farklar metodu kullanılarak araştırması yapılmıştır. Nümerik çalışma ile literatürdeki deneysel çalışmalar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar grafikler ve tablolar halinde verilmiş olup, memnun edici olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 3.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA HAKKINDA BİLGİLER

3.1. DENEY DÜZENEGİ

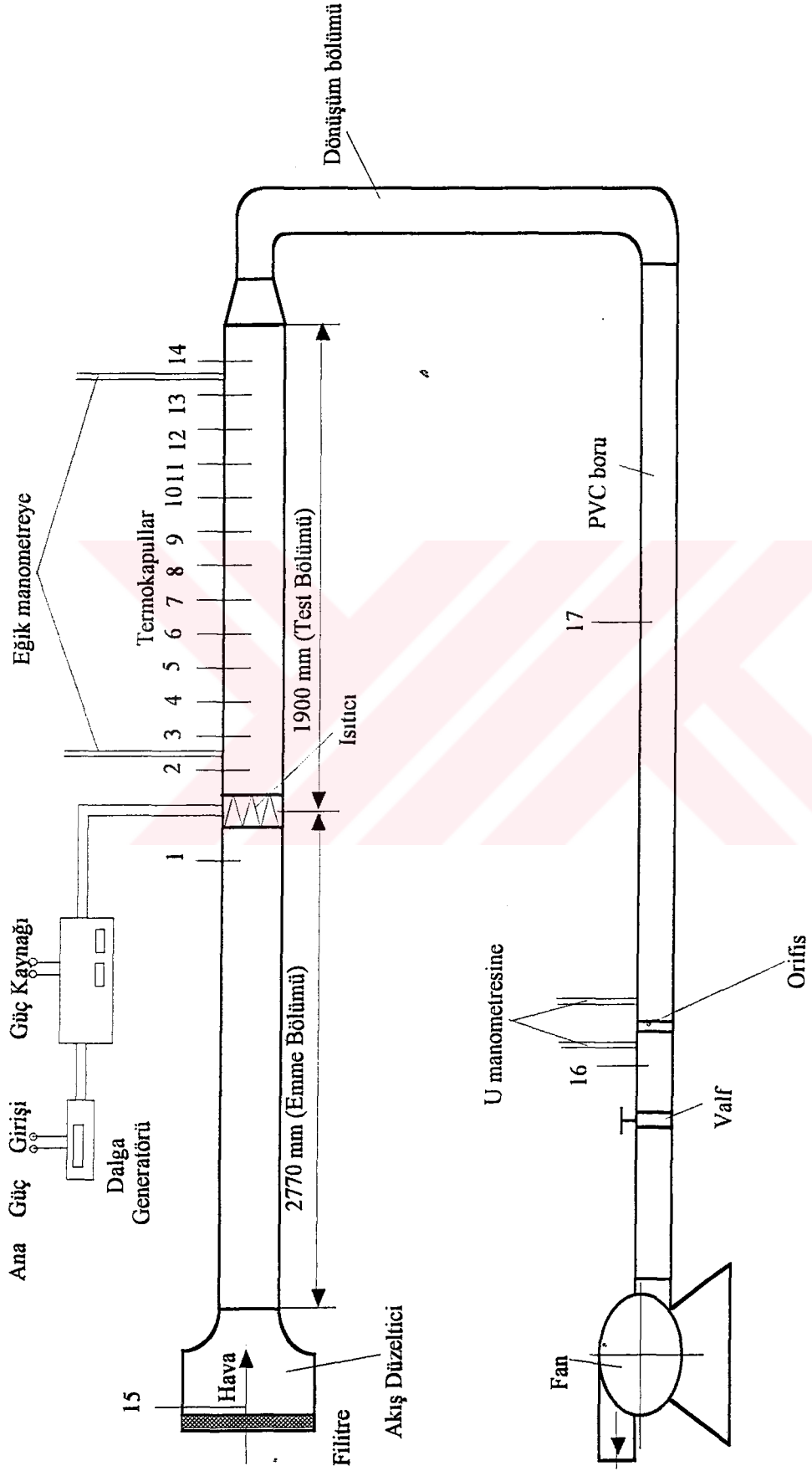
Yapılan bu nümerik çalışmada Sözbir (1995)'in yapmış olduğu "Kanallarda Tek Fazlı Cebri Konveksiyon ve Elektronik Soğutma" adlı Doktora çalışmasındaki deney düzeneği hakkında bazı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

Deney düzeneğinin amacı, özel kanal geometrisindeki laminer ve türbülanslı cebri konveksiyon için termal giriş şartlarının sinusoidal olarak çalışmasını temin eden sistemdir. Geometri olarak 254 mm×25.4 mm (10"×1") ölçülerinde dikdörtgen kesit kullanılmıştır. Bu geometri ile 0.02 Hz ile 0.24 Hz giriş frekansları, 1120 ile 2220 Reynolds sayısı arasında laminer akış ve 11240 ile 22300 arasında türbülanslı akışta çalışmak mümkündür. Şekil 3.1`de deney düzeneği ve deneyde kullanılan ana elemanlar görülmektedir.

Deney düzeneği, düzgün hava akışını temin etmek için emme modunda çalıştırılır. Ana elemanlar dikdörtgen kesitli kanal, filitre, akış düzeltici, giriş, test ve dönüşüm gibi bölümlerden oluşur. Düzenek bir fan, dalga generatörü, güç kaynağı, elektrik ısıtıcısı, düşey ve eğik manometre, iki voltmetre, termokapul, basınç ölçüm uçları ve kütleli debinin ölçüldüğü orifis ile PVC borulardan oluşur.

3.1.1. Test Akışkanı

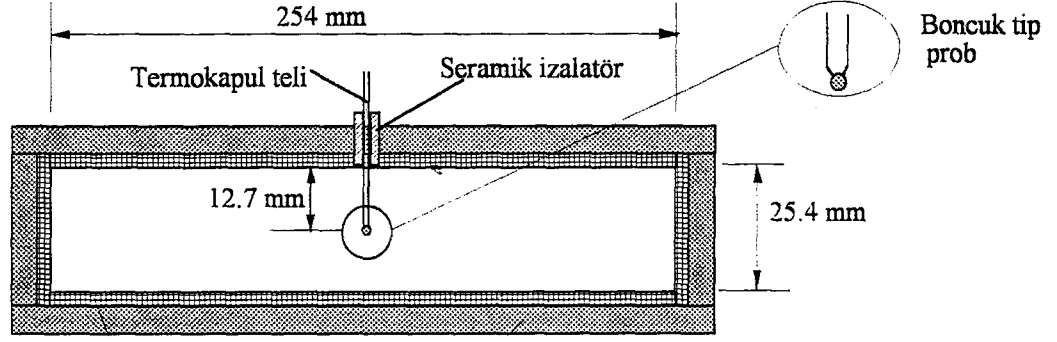
Laboratuvar havası kanalda akışkan olarak kullanılır. Laboratuvarda sıcaklık kontrollü için klima ve havalandırma ünitesi vardır. Hava sabit sıcaklıkta temin edilmiştir. Ölçümler alınırken özel dikkat gösterilerek, her hangi bir sıcaklık değişimi minimize edilmiş ve laboratuvar içinde istenmeyen hava sirkülasyonu önlenmiştir.



Şekil 4.1. Deneysel düzenek şematik görünüşü.

3.1.2. Test Bölümü

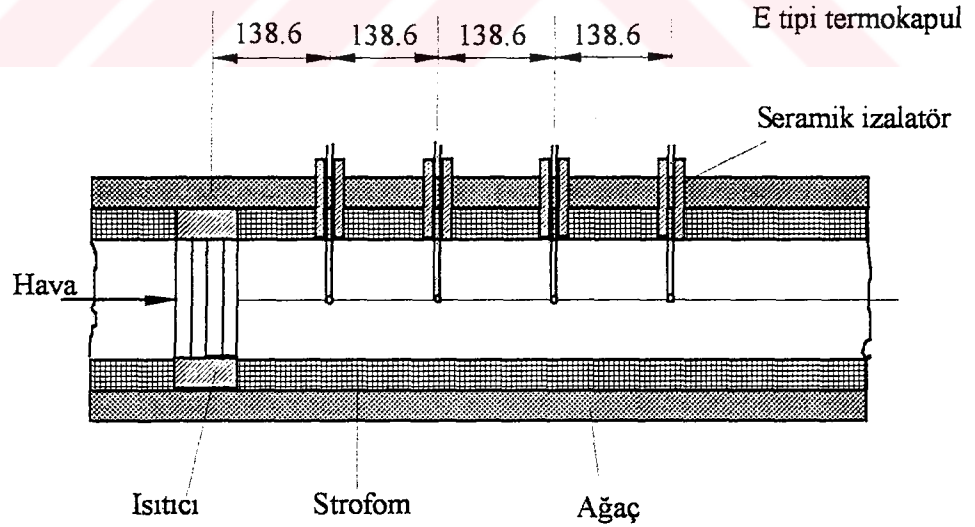
Test bölümünün kesiti giriş bölümü ve ısıtıcı gibi 254 mm×25.4 mm ölçüsündedir. Bu bölüm deney düzeninin kalbini oluşturur. Giriş bölümünde olduğu gibi test bölümünde de üst kapak açılabilir şekilde yapılmıştır. Strofom tüm iç yüzeye döşenmiştir. Yüzey oldukça düzgün ve hava kaçağına müsade etmeyecek şekilde yapılmıştır.



Strofom

Ağaç

Şekil 3.2. Test kanalının kesiti.



E tipi termokapül

Seramik izolatör

Hava

Isıtıcı

Strofom

Ağaç

Şekil 3.3. Kanal içindeki termokapulların yerleştirilişi.

Bazı deneylerden sonra yüzey pürüzlüğünü temin etmek için test bölümün stromfom yüzeyine üç kat beyaz boya sürülmüştür. Boya tabakasının uygulanması mennuniyet verici olmuştur.

Kanal içinde termokapulların yerleştirilişi ve kanalın boyuna kesiti Şekil 3.3.'de görülmektedir.

Test bölümünün üstüne termokapul yerleştirmek için delikler delinmiştir. Kanal üst duvarına termokapullar seramik izalatörle birlikte yerleştirilmiştir. Şekil 3.2.'de termokapulun yerleştirilmesi ve test bölümündeki kesiti görülmektedir.

3.2. DENEYSSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Yapılan nümerik çalışmada Sözbir (1995),in deneysel çalışmasının bloksuz (prüzsüz) çalışma sonuçları kaynak olarak nümerik çalışmada kullanılmıştır. Bu yüzden yapılan bu deneysel çalışmanın bloksuz (pürüzsüz) bölümü sonuçları aşağıdaki gibi sunulmuştur.

3.2.1. Laminer Termal Giriş Bölgesindeki Sıcaklık Amplitudu

Pürüzsüz (bloksuz) kanal için sıcaklık amplitüdünün değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde kanal boyunca kanal merkezindeki farklı yerlerdeki dinamik sıcaklık davranışı gözlenmiştir. Termokapullardan voltaj mV olarak multimetre ile ölçülmüş, hemde termokapulların çıkışı direk olarak Astro-Med 8800 rekorduru ile kayıt edilmiştir.

3.2.2. Pürüzsüz (Bloksuz) Kanalın Deneysel Sonuçları

Termokapullar kanalın merkezine yerleştirilmiştir. Termokapullardan voltaj değeri multimetre ölçülür. Daha sonra kalibrasyon eğrisi ile bu voltajlar sıcaklığa dönüştürülür.

Test kanalı boyunca onüç termokapul yerleştirilmiştir. Farklı giriş frekansı (β) ve Reynolds sayısı (Re) için sıcaklık amplitüdü boyutsuz uzaklık (x/D_e) göre çizilmiştir. Deneysel veriler yarı logaritmik olarak gösterildiğinde hemen hemen bir doğru şeklindedir. Reynolds sayısı farklı frekanslarda deneysel sonuçlar laminer termal giriş bölgesi için grafik formda çizilmiştir.

3.3. Test Bölümündeki Duvar Sıcaklığının Ölçümleri

Genel olarak bilindiği gibi sınır şartlar deneysel ve teorik çalışmalarda oldukça önemlidir. Farklı sınır şartları için giriş sıcaklığı zamanla değişen durum için sıcaklık tepkileri farklı olacaktır. Bu deneysel çalışmada kanalın iç duvar sıcaklığı sıcaklık tepkilerini belirlemek ve sınır şartların etkisini hesaplamak için ölçülmüştür.

Termal giriş bölgesinde pürüzsüz (bloksuz) kanal boyunca maksimum ve minimum sıcaklıklar ölçülmüştür.

*



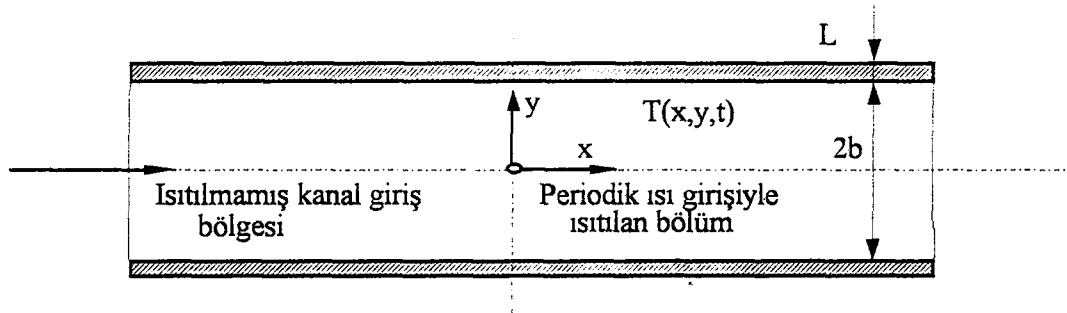
BÖLÜM 4.

4. DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALIN NÜMERİK MODELİ

Isı iletimi problemlerinin sonlu farklar yöntemi ile formülasyonunda temel prensip, sürekli sıcaklık dağılımını gösteren diferansiyel denklemi, katı cisim veya sıcaklık dağılımının araştırıldığı bölge içerisinde belirli sıcaklık dağılımını sağlayan sonlu farklar denklemi cinsinden yazmaktır. Bu denklemi sonlu farklar cinsinden yazmak için farklı yöntemler vardır. Bunlardan bir tanesi türevlerin (sıcaklık basamaklarının) ayrı ayrı ifade edilmesidir (Kakaç, 1985, Yogesh, 1986, Özışık, 1985).

Bu bölümde Sözbir (1995,1995b)'in deneysel çalışmasında kullandığı dikdörtgen kesitli kanalda termal giriş bölgesinde tamamen gelişmiş laminer akışta zamana bağlı olarak sin fonksiyonu şeklinde değişen giriş sıcaklığı, kanalın test bölümündeki maksimum akış alanı ve ortalama hıza bağlı olarak hesaplanmış beş değişik Reynolds sayılarında ($Re \approx 1121$ - $Re \approx 2225$) ve beş değişik giriş ısıtıcı frekanslarında ($\beta = 0.02$ Hz - $\beta = 0.24$ Hz) kanal boyunca daimi olmayan cebri konveksiyonun nümerik çözümü sonlu farklar metoduyla yapılmıştır. Reynolds sayısı, frekans gibi parametreler için kanal boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi araştırılmış ve nümerik metodla bulunan sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Dikdörtgen kesitli kanalda üç boyutlu akış yerine iki boyutlu tamamen gelişmiş laminer akış için çözümler yapılmıştır. Teorik analizin geometrisi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Burada b dikdörtgen kesitli kanalın (iki paralel plaka arasındaki uzaklığın yarısını) yüksekliğin yarısını, L ise duvar kalınlığını göstermektedir.



Şekil 4.1. Teorik Analizin Kanal Geometrisi

4.1. Kabuller

- 1- Akış iki boyutludur.
- 2- Akışkanın termofiziksel özellikleri sabittir.
- 3- Eksenel yönde difüzyon ihmal edilmiştir.
- 4- Viskoz kuvvetlerin meydana getirdiği ısı üretimi ihmal edilmiştir.
- 5- Sıcaklık farkından dolayı meydana gelen kaldırma kuvveti ihmal edilmiştir.
- 6- Akış tamamen gelişmiş laminer akıştır.
- 7- Yalnız normal (düşey) yönde difüzyon vardır.
- 8- Yalnız eksenel (yatay) yönde konveksiyon vardır.
- 9- Giriş sıcaklığı sinüsoidal değişmektedir.
- 10- Daimi olmayan sınır şart (Beşinci çeşit sınır şart) duvar için kabul edilmiştir.

Akışkan ısıtıcıdan geçtikten sonra ve sıcaklığın zamana bağlı olarak sinüsoidal değiştiği kabul edilerek problem tanımlanmıştır. Kanal içindeki akışta eksenel yöndeki konveksiyonu karşılaştırmak için viskoz dağılma veya difüzyon ihmal edilmiştir. Kanal içindeki hava akış hızı yavaş ve akışkanın sıcaklık farkı küçüktür.

4.2. Problem ve Formülasyon

Akışkan ısıtıcıdan geçtikten sonra tamamen gelişmiş laminer akış kabul edilmiş ve sıcaklığın zamana bağlı olarak sinü fonksiyonu şeklinde değiştiği kabul edilerek problem tanımlanmıştır.

4.3. Enerji Denklemi

Yukardaki kabullerle, dikdörtgen kesitli kanalda tamamen gelişmiş laminer akışta zamana bağlı konveksiyon enerji eşitliğini y yönünde difüzyon ve x yönünde konveksiyon şeklinde yazılabilir (Özışık, 1985, Donald, 1969).

$$\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} + U(y) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial y^2} \quad (4.1)$$

4.4. Tamamen Gelişmiş Hız Profili

Laminer akış için, hız profili slug (üniform hız) akış olarak kabul edilebilir. Kanal kesitindeki üniform hız :

$$U(y) = U_{\text{ort}}, \quad 0 \leq y \leq b \quad (4.2)$$

Daha hassas olarak, tamamen gelişmiş laminer hız profili parabolüdür ve genel olarak şu şekilde tanımlanır (Bruce et all, 1990):

$$U(y) = \frac{3}{2} U_{\text{ort}} \left[1 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right], \quad 0 \leq y \leq b \quad (4.3)$$

burada U_{ort} , kanal içindeki akışkanın ortalama hızı, $U(y)$ ise y doğrultusundaki hız profilidir. Nümerik analizde parabolik hız profili kullanılmıştır.

4.5. Giriş ve Sınır Şartları

Sinüsoidal olarak değişen giriş sıcaklığı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$T(x, y, 0) = T_i \quad (4.4)$$

$$T(0, y, t) = T_e + \Delta T_e \sin(2\pi\beta t), \quad t > 0 \quad (4.5)$$

burada T_e ortalama giriş sıcaklığı, ΔT_e kanal kesitinde giriş sıcaklık amplitudu değişimi ve β giriş ısıtıcı frekansıdır.

4.5.1. Simetri Sınır Durumu

Kanal merkezindeki, simetrik durumdan dolayı

$$\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} = 0, \quad y = 0, \quad x \geq 0, \quad t \geq 0 \quad (4.6)$$

Dört çeşit sınır şart teorik analizde ele alınmış, kanalın simetrik olmasından dolayı duvar sınır şartından biri sadeleştirilmiştir. Yani, kanal duvarının üstünde, alt duvarda olduğu gibi, aşağıdaki sınır şartlarından birinin olması yeterlidir.

4.5.2. Sabit Duvar Sıcaklığı (Birinci Çeşit Sınır Şart)

$$T(x, y, t) = T_w, \quad y = b, \quad x \geq 0, \quad t \geq 0 \quad (4.7a)$$

4.5.3. Sabit Duvar Isı Akısı (İkinci Çeşit Sınır Şart)

$$-k \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} = q_w, \quad y = b, \quad x \geq 0, \quad t \geq 0 \quad (4.7b)$$

4.5.4. Konveksiyonla Isı Transferi (Üçüncü Çeşit Sınır Şart)

$$h[T(x, y, t) - T_\infty] + k \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} = 0, \quad y = b, \quad x \geq 0, \quad t \geq 0 \quad (4.7c)$$

burada T_w sabit duvar sıcaklığını, k akışkanın kondüksiyon katsayısını, q_w duvarlardan geçen sabit ısı akısını, h duvar ve çevre arasındaki konveksiyon katsayısını T_∞ çevre sıcaklığını göstermektedir.

4.5.5. Daimi Olmayan Sınır Şart (Beşinci Çeşit Sınır Şart)

Yukarıdaki sınır şartlarının üç çeşitinde duvar kalınlığı ve duvar termal kapasitesi ihmal edilmiştir. Genel olarak duvar kalınlığı ve duvar ısı kapasitesi, hem dış konveksiyon hem de duvar ısı kapasitesi için yeni sınır şart ortaya çıkacaktır.

$$h_e[T(x, y, t) - T_\infty] + k \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} + (\rho c)_w L \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} = 0, \quad y = b \quad (4.7d)$$

burada $h_e = (1/h + k_w/L)^{-1}$ toplam ısı transfer katsayısını, k_w , ρ_w ve c_w sırası ile kondüksiyon katsayısı, yoğunluk ve duvar malzemesinin özgül ısısıdır.

4.6 Boyutsuz Formülasyonlar

Enerji denkleminde kullanılmak üzere aşağıdaki boyutsuz parametreler tanımlanmıştır.

Boyutsuz sıcaklık;

$$\theta = \frac{T - T_c}{\Delta T_c}, \quad T_c = \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2}, \quad \Delta T_c = \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{2} \quad (4.8a)$$

Boyutsuz normal (düşey) uzunluk;

$$R = \frac{y}{b} \quad (4.8b)$$

Boyutsuz aksenal uzunluk;

$$Z = \frac{\alpha x}{U_{ort} b^2} \quad \text{veya} \quad Z = \frac{(De/b)^2 (x/De)}{Re Pr} \quad \text{veya} \quad Z = \frac{x}{De} \quad (4.8c)$$

Boyutsuz zaman;

$$\tau = \frac{\alpha t}{b^2} \quad (4.8d)$$

Boyutsuz hız;

$$W = \frac{U(y)}{U_{ort}} \quad (4.8e)$$

Boyutsuz frekans;

$$\Omega = 2\pi\beta \frac{b^2}{\alpha} \quad (4.8f)$$

Akışkanın duvara kapasitans oranı;

$$a^* = \frac{(\rho C_p)_f b}{(\rho C)_w L} \quad (4.8g)$$

Boyutsuz ısı akısı;

$$q = \frac{q_w b}{k \Delta T_c} \quad (4.8h)$$

Nusselt sayısı;

$$Nu = \frac{h b}{k} \quad (4.8i)$$

Değiştirilmiş Biot sayısı;

$$Bi = \frac{h_e b}{k} \quad (4.8j)$$

Boyutsuz sıcaklık amplitüdü;

$$\Delta\theta(R) = \frac{\Delta T(y)}{\Delta T_c} \quad (4.8k)$$

Giriş sınır şartı, (4.1)-(4.7) eşitliklerine boyutsuzlaştırma parametreleri (4.8a)-(4.8k) eşitlikleri uygulanırsa, enerji denklemi (4.1) aşağıdaki şekilde boyutsuz formda yazılabilir.

$$\frac{\partial\theta(Z, R, \tau)}{\partial\tau} + W(R)\frac{\partial\theta(Z, R, \tau)}{\partial Z} = \frac{\partial^2\theta(Z, R, \tau)}{\partial R^2}, \quad Z > 0, 0 < R < 1, \tau > 0 \quad (4.9)$$

4.7.Sınır Şartlarının Boyutsuzlaştırılması

4.7.1. Giriş sınır şartı

$$\theta(Z, R, 0) = \theta_i, \quad \tau < 0, 0 \leq R \leq 1 \quad (4.10a)$$

$$\theta(Z, R, 0) = \sin \Omega\tau, \quad \tau < 0, 0 \leq R \leq 1 \quad (4.10b)$$

4.7.2. Simetri Sınır şart

$$\frac{\partial\theta(Z, R, 0)}{\partial R} = 0, \quad \tau \geq 0, Z > 0, \tau > 0 \quad (4.10c)$$

4.7.3. Sabit Duvar Sıcaklığı (Birinci Çeşit Sınır Şart)

$$\theta(Z, R, \tau) = \theta_w = \frac{T_w - T_c}{\Delta T_c}, \quad R = 1, Z > 0, \tau > 0 \quad (4.10d)$$

4.7.4. Sabit Duvar Isı Akısı (İkinci Çeşit Sınır Şart)

$$\frac{\partial\theta(Z, R, \tau)}{\partial R} = -q, \quad R = 1, Z > 0, \tau > 0 \quad (4.10e)$$

4.7.5. Konveksiyon Isı Transferi (Üçüncü Çeşit Sınır Şart)

$$Nu\theta(Z, R, \tau) + \frac{\partial\theta(Z, R, \tau)}{\partial R} = Nu\theta_w, \quad R = 1, Z > 0, \tau > 0 \quad (4.10f)$$

Nusselt sayısı (Nu) sonsuza yaklaştığı zaman, üçüncü çeşit sınır şartı (4.10d) birinci çeşit sınır şartına indirgenir.

4.7.6. Daimi Olmayan Sınır Şart (Beşinci Çeşit Sınır Şart)

(4.10d) ve (4.10f) denklemlerinden beşinci çeşit sınır şartını yazabiliriz.

$$Bi\theta(Z, R, \tau) + \frac{\partial\theta(Z, R, \tau)}{\partial R} + \frac{1}{a^*} \frac{\partial\theta(Z, R, \tau)}{\partial \tau} = Bi\theta_{\infty}, \quad R = 1 \quad (4.10g)$$

Eğer duvar ısı kapasitesi akışkanın termal kapasitesine göre ihmal edilecek kadar küçük olursa, a^* çok büyük olur, ve h_e azalır. Sonuç olarak denklem (4.10g)'deki $(1/a^*)(\partial\theta/\partial\tau)$ ifade oldukça küçüktür. Böylece beşinci çeşit sınır şart (4.10g) üçüncü çeşit sınır şartına (4.10d) indirgenmiş olur.

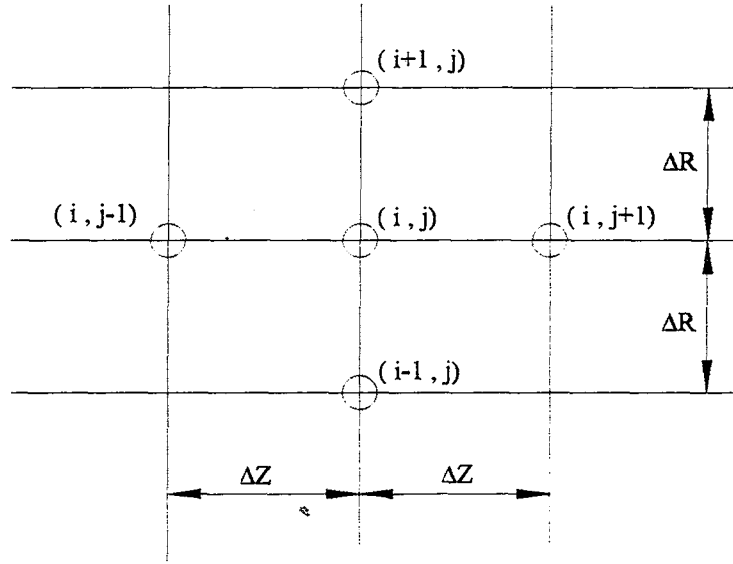
Duvar sınır şart eşitliği Bi ve a^* 'e bağlı olarak düzenlenmiştir. Burada a^* akışkanın ısı kapasitesi duvarın ısı kapasitesi oranını ifade etmektedir. $a^* \geq \infty$ durumunda duvarın ısı kapasitesi ihmal edilebilir. $Bi \geq \infty$ olursa, duvar sıcaklığı sabit olarak tanımlanmıştır. İzolasyonlu duvar için $Bi \geq 0$ tanımlandığında duvarın termal rezistansı ve ısı transfer katsayısına bağlı bir Bi değeri ortaya çıkar. a^* çok küçük değerlerinde ısı kapasitesi etkisi ihmal edilir. Deneysel çalışmanın neticesinde a^* yaklaşık olarak $8.5 \cdot 10^{-3}$ olarak, değiştirilmiş Bi sayısı 10 olarak tanımlanmıştır.

4.8. Boyutsuz Hız Profili

$$W(R) = \frac{3}{2} \left(1 - \left(\frac{y}{b}\right)^2\right), \quad y = Rb, \quad W(R) = \frac{3}{2} (1 - R^2) \quad (4.10)$$

4.9. Sonlu Farklar Formülasyonu

Enerji eşitliği, (4.9)'da kısmi türevler şeklinde tanımlanmış bir parabol denklemdir. Bu durumda bu eşitlikte aksenal (Z) koordinatı ve zaman (τ) koordinatına göre paraboliklik meydana gelmektedir. Bu denklemin sonlu farklarla çözümü için eşit dikdörtgenler şeklinde düşünülür ileri fark, geri fark ve merkez farklar (4.11) ile (4.13) eşitlikleri elde edilir. Bir düğüm noktasının konveksiyon değerini bulmak için Şekil 4.1'de gösterilen explicit şema kullanılır (Donald; 1969, Chapra and Raymond, 1988).



Şekil 4.1. Sonlu Farklar Şeması

$$\frac{\partial \theta(Z, R, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\theta_{i,j}^{n+1} - \theta_{i,j}^n}{\Delta \tau} \quad \text{İleri fark} \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial \theta(Z, R, \tau)}{\partial Z} = \frac{\theta_{i,j+1}^n - \theta_{i,j}^n}{\Delta Z} \quad \text{Geri fark} \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial^2 \theta(Z, R, \tau)}{\partial R^2} = \frac{\theta_{i-1,j}^n - 2\theta_{i,j}^n + \theta_{i+1,j}^n}{\Delta R^2} \quad \text{Merkez fark} \quad (4.13)$$

(4.11) ile (4.13) eşitlikleri kullanılarak (4.9) eşitliği ile belirtilen enerji denklemini aşağıdaki şekilde yazılabilir..

$$\frac{\theta_{i,j}^{n+1} - \theta_{i,j}^n}{\Delta \tau} + W(R) \frac{\theta_{i,j+1}^n - \theta_{i,j}^n}{\Delta Z} = \frac{\theta_{i+1,j}^n - 2\theta_{i,j}^n + \theta_{i-1,j}^n}{\Delta R^2} \quad (4.14)$$

4.9.1. İlerleme Adım Şeması

Denklem (4.14)'den i, j düğüm noktasının $n+1$ zaman adımındaki değeri aşağıdaki gibi yazılırsa bir önceki zaman adımından sıcaklık dağılımları bilinen düğüm noktaları yardımıyla ($\Delta \tau$) ilerleme adımında yeni sıcaklık dağılımları hesaplanabilir.

$$\theta_{i,j}^{n+1} = \theta_{i,j}^n - W(R) \frac{\Delta \tau}{\Delta Z} [\theta_{i,j+1}^n - \theta_{i,j}^n] + \frac{\Delta \tau}{\Delta R^2} [\theta_{i+1,j}^n - 2\theta_{i,j}^n + \theta_{i-1,j}^n] \quad (4.15)$$

Denklem (4.15)'de gösterilen sonlu farklar ifadesi τ ve Z 'de birinci derece, R 'de ise ikinci derece hassaslıkta hataları $O(\Delta\tau, \Delta Z, \Delta R^2)$ içermektedir. (4.15)'deki sonlu farklar ifadesinin çözümü için, tam explicit şema kullanılmıştır. Şemanın kararlılığı ve doğruluğu için, Prediktör (tahmin) - Korrektör (düzeltici), (Guesed and Özışık 1994, Yogesh et al, 1986)'de belirtilen metod uygulanarak çözüm yapılmıştır. Korrektör adımında, yaklaşım için Z 'ye göre birinci türevin yaklaşımı için bir üçüncü ikinci dereceden hassaslıkta sonlu fark ifadesi geliştirilmiştir. Buna göre Prediktör ve Korrektör adımları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Hatay et al, 1991, Cotta et al, 1987).

Predictor adımı,

$$\theta_{i,j}^{n+1*} = \theta_{i,j}^n - W_i \lambda [\theta_{i,j}^n - \theta_{i,j-1}^n] + r [\theta_{i+1,j}^n - 2\theta_{i,j}^n + \theta_{i-1,j}^n] \quad (4.16)$$

Correktor adımı,

$$\theta_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{2} [\theta_{i,j}^n + \theta_{i,j}^{n+1*} + r(\theta_{i+1,j}^{n+1*} - 2\theta_{i,j}^{n+1*} + \theta_{i-1,j}^{n+1*}) - \lambda W_i (\theta_{i,j}^{n+1*} - \theta_{i,j-1}^{n+1*}) - \lambda W_i (\theta_{i,j}^n - 2\theta_{i,j-1}^n + \theta_{i,j-2}^n)] \quad (4.17)$$

Burada $\lambda = \Delta\tau / \Delta z$, $r = \Delta\tau / \Delta R^2$ dir. Predictör ve Korrektör adımları ile geliştirilen şemanın kesme hataları $O(\Delta\tau^2, \Delta Z^2, \Delta R^2, \Delta\tau\Delta Z)$ ikinci derece hassaslıktadır (Cotta et al (1987), Hatay et al, 1991). Çözüm için şemanın kararlılık kriteri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{\Delta\tau W_{ort}}{\Delta Z} + 2 \frac{\Delta\tau}{\Delta R} < 0, \quad \frac{\Delta\tau W_{ort}}{\Delta Z} < 1 \quad (4.18)$$

4.9.2. Sınır Şartlarının Düzenlenmesi

Sınır şartlarının ve enerji eşitliğinin, sonlu farklar şemasına göre güncellenmesi aşağıdaki gibidir.

4.9.2.1. İlk Durum

$$\theta(Z, R, 0) = \theta_i, \quad \tau < 0, \quad 0 \leq R \leq 1 \quad (4.19)$$

$$\theta_{i,j}^0 = \theta_i \quad (4.20)$$

4.9.2.2. Giriş Durumu

$$\theta(0, R, \tau) = [1 - R(C_1 + C_2 R)] \sin(\Omega \tau) \quad (4.21)$$

$$\theta_{i,l}^n = \sin(\Omega \tau)$$

Kanal girişindeki sıcaklığın değişimi aksenal yönünde sinüs fonksiyonu şeklinde ele alınmıştır.

4.9.2.3. Simetri Durumu

$$\frac{\partial \theta(0, R, \tau)}{\partial R} = 0 \quad (4.22)$$

$$\frac{\theta_{2j}^n}{2\Delta R} = 0, \quad \text{yada} \quad \theta_{2j}^n = \theta_{0j}^n \quad (4.23)$$

sınır durumunu ileri fark şemasına uygulandığında R'nin sıfır olduğu yer kanal merkezidir ve buradaki i indisi l'dir. Bu noktada, tekrarlanan ilişkiyi yakınındaki düğüm i=0 noktasıyla yapılır. i=0 düğüm noktası çözüm sisteminin dışında kalmaktadır. Bu yüzden merkez farkta ikinci dereceden türev kullanılır ve R=0 olan merkez doğrultusunda uzunlamasına düğüm noktaları için sınır şartı aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\partial^2 \theta(Z, R, \tau)}{\partial R^2} = \frac{\theta_{2j}^n - 2\theta_{1,j}^n + \theta_{0,j}^n}{\Delta R^2} \quad (4.24)$$

4.9.2.4. Duvar Sınır Şartları

$$\theta(Z, 1, \tau) = \theta_w = \frac{T_w - T_c}{\Delta T_c}, \quad R = 1, \quad Z > 0, \quad \tau > 0 \quad (4.25)$$

$$Bi\theta(Z, 1, \tau) + \frac{\partial \theta(Z, 1, \tau)}{\partial R} + \frac{1}{a^*} \frac{\partial \theta(Z, 1, \tau)}{\partial \tau} = Bi\theta_{\infty}, \quad R = 1 \quad (4.26)$$

Enerji eşitliği ve sınır şartlarının düzenlenmesi sonucu, nümerik modeli bilgisayar programı yapıldı. Bilgisayar programında deneysel verilerin alındığı aksenal yöndeki nokta değerlerini kapsayacak şekilde zaman adımları ve ilerleme adımları seçilerek ilişkili koordinatlardaki veriler toplanır. Giriş sıcaklık dağılımından başlanarak zaman

koordinatının maksimum değerine kadar işlemler devam ettirilerek çözümler tamamlanır veya sıcaklıkların maksimum ve minimum değerlerini elde edinceye kadar hesaplamalar yapılır. Program akış şeması ve program Ek1'de verilmiştir.



BÖLÜM 5.

5. NÜMERİK ÇALIŞMANIN HATA ANALİZİ

Bölüm 4'de Predictör-Korrektör şemasının doğruluğunu tahmin etmek için Taylor serisine θ_{ij}^n ve $U_i(R)$ noktalarına göre (Cotta et al, 1987)'de gösterildiği gibi açılır ve düzenlendiğinde aşağıdaki şekilde sonuçlanır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U(R) \frac{\partial \theta}{\partial Z} - \frac{\partial^2 \theta}{\partial R^2} = & -\frac{(\Delta \tau)^2}{6} \frac{\partial^3 \theta}{\partial \tau^3} + \frac{(\Delta Z)^2}{3} U(R) \frac{\partial^3 \theta}{\partial Z^3} + \frac{(\Delta R)^2}{12} \frac{\partial^4 \theta}{\partial R^4} \\ & + \frac{(\Delta \tau \Delta R)}{2} \left[U(R) \frac{\partial^4 \theta}{\partial R^2 \partial Z^2} - U^2(R) \frac{\partial^3 \theta}{\partial Z^3} + \frac{dU}{dR} \frac{\partial^3 \theta}{\partial R \partial Z^2} + \frac{1}{2} \frac{d^2 U}{dR^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \right] + O(\Delta \tau^2) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'de göstermektedir ki ikinci derece hassaslıkta $O(\Delta \tau^2, \Delta R^2, \Delta Z^2, \Delta \tau \Delta Z)$ kesme hataları vardır. (Cotta et al, 1987)'de tarafından önerilen çözümün stabilitesi explicit şema için aşağıdaki gibi kriter elde edilmiştir.

$$\frac{\Delta \tau U_m}{\Delta Z} + 2 \frac{\Delta \tau}{\Delta R} < 0; \quad \frac{\Delta \tau U_m}{\Delta Z} < 1 \quad (5.2)$$

Nümerik çalışmalarda sonlu mesh büyüklükleri ve zaman adımı kullanılabilir. Bu çalışmada memnun edici sonuçlar alınca kadar farklı mesh büyüklükleri denenerek nümerik sonuçlar elde edilmiş ve en az hata içeren mesh ve zaman adımı büyüklükleri çözüm için ($\Delta \tau=1/7680, \Delta R=1/32, \Delta Z=1/480$) seçilerek kullanılmıştır.

Nümerik belirsizliklerin kaba bir tahmini yapmak için (Hatay, 1989), sıcaklık amplitüdünün belli bir bölge değeri $O(\Delta \tau^2, \Delta R^2, \Delta Z^2, \Delta \tau \Delta Z)$ kesme hataları için Taylor serisine açılır.

$$\Delta \theta_{TV} - \Delta \theta = a_n \Delta Z^2 + b_n \Delta R^2 + c_n \Delta \tau^2 + d_n \Delta \tau \Delta Z \quad (5.3)$$

(5.2)'de $\Delta\theta_{TV}$ o bölgedeki sıcaklık amplitüdünün gerçek değeridir. a_n, b_n, c_n ve d_n ise ikinci dereceden kısmi türevlerin katsayılarıdır. Denklemi dikkat edilirse mesh büyüklükleri ve zaman adımı katsayılarını doğrudan etkileyecek şekildedir. Bu yüzden hatalar mesh büyüklükleri ve zaman adım ile ilgilidir. Aşağıda denklemi etkileyecek olan mesh büyüklüklerinin ve zaman adımının değişik değerleri için seçilmiş olan iki düğüm noktasındaki nümerik sonuçlar tablo halinde gösterilmektedir.

Kanal merkezi boyunca uzunlamasına (Z) iki düğüm noktası için farklı mesh büyüklükleri ve zaman adımlarıyla elde edilmiş değerler tablo halinde aşağıda sunulmuştur.

Tablo 5.1. farklı mesh büyüklüklerinde ve zaman adımlarında kanal merkezi boyunca uzunlamasına elde edilen sonuçlar.

$(\Delta\tau)^{-1}$	$(\Delta Z)^{-1}$	$(\Delta R)^{-1}$	$\Delta\theta = \theta_{\max} - \theta_{\min}$	
			$Z=0.5$	$Z=0.075$
7680	480	32	0.690834	0.996105
3840	480	32	0.690820	0.994528
3840	240	32	0.691252	0.996505
3840	120	32	0.692110	0.997490
3840	480	16	0.690959	0.996408

Tablo (5.2) ve denklem (5.3)'ü kullanarak sıcaklık amplitüdü için aşağıdaki şekilde lineer denklem sistemi elde edilebilir.

$$\Delta\theta_{TV} - \Delta\theta_1 = a_n \Delta Z^2 + b_n \Delta R^2 + c_n \Delta\tau^2 + d_n \Delta\tau\Delta Z \quad (5.4a)$$

$$\Delta\theta_{TV} - \Delta\theta_2 = a_n \Delta Z^2 + b_n \Delta R^2 + 4c_n \Delta\tau^2 + 2d_n \Delta\tau\Delta Z \quad (5.4b)$$

$$\Delta\theta_{TV} - \Delta\theta_3 = 4a_n \Delta Z^2 + b_n \Delta R^2 + c_n \Delta\tau^2 + 2d_n \Delta\tau\Delta Z \quad (5.4c)$$

$$\Delta\theta_{TV} - \Delta\theta_4 = 16a_n \Delta Z^2 + b_n \Delta R^2 + c_n \Delta\tau^2 + 4d_n \Delta\tau\Delta Z \quad (5.4d)$$

$$\Delta\theta_{TV} - \Delta\theta_5 = a_n \Delta Z^2 + 2b_n \Delta R^2 + c_n \Delta\tau^2 + d_n \Delta\tau\Delta Z \quad (5.4e)$$

Denklem (5.3)'ün sağ tarafındaki terimlerin her biri için lineer denklem sistemi yardımıyla % hata değeri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\% \epsilon = \frac{\sqrt{(a_n \Delta Z^2)^2 + (b_n \Delta R^2)^2 + (c_n \Delta\tau^2)^2 + (d_n \Delta\tau\Delta Z)^2}}{\Delta\theta} \quad (5.5)$$

Tablo 5.2. Kanal merkezindeki iki düğüm noktasının sıcaklık amplitüd değerlerinin %ε hataları

Z	$a_n \Delta Z^2$	$b_n \Delta R^2$	$c_n \Delta \tau^2$	$d_n \Delta \tau \Delta Z$	% ε
0.5	1.46063 E-3	1.242995 E-3	8.668003 E-3	-2.83664 E-3	0.35
0.075	5.09060 E-4	5.812495 E-4	-3.04078 E-3	-1.020023E-2	0.19

Tablo 5.2'den de görüldüğü gibi sıcaklık amplitüdünün kanal merkezi boyunca bulunan düğüm noktalarındaki değerleri %0.5'den daha azdır. Bu durum daha küçük mesh büyüklükleri ve zaman adımları daha küçük seçilirse hata daha da azaltılabilir. Ancak bu azalma belli bir değerden sonra çok küçük değerlere ulaşmakta ve sonuçların elde edilme zamanı artmaktadır.

BÖLÜM 6.

6. NÜMERİK VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Literatürde yapılan deneysel çalışma ve yapılan nümerik çalışma sonucunda elde edilen değerler dikdörtgen kesitli kanalın laminer termal giriş bölgesinde pürüzsüz yüzey için daimi olmayan zorunlu konveksiyon tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 6.1-6.25'e kadar kanal ekseni boyunca değişik frekans ve Reynolds sayılarında boyutsuz sıcaklık amplitüdünün deneysel ve nümerik değerleri gösterilmiştir. Nümerik değerler yarı logaritmik eksende kanal ekseni boyunca sıcaklığın lineer olarak azaldığı ve nümerik değerlerin deneysel değerlerle uyum sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda Tablo 6.1-6.5'de de değerlerin uygunluğu görülmektedir.

Şekil 6.26-6.30'da pürüzsüz kanal boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün beş farklı Reynolds sayılarında belli bir frekans değerindeki deneysel ve nümerik değerleri gösterilmiştir. Yarı logaritmik eksende sıcaklık amplitüdünün lineer olarak değiştiği görülmektedir. Belli bir frekans değerinde Reynolds sayısı arttıkça sıcaklık amplitüdünün eğimi (α) azalmaktadır. Tablo 6'da deneysel ve nümerik değerlerin arasındaki sıcaklık amplitüd eğimi farkı görülmektedir.

Şekil 6.31-6.35'de pürüzsüz kanal ekseni boyunca sıcaklık amplitüdünün farklı frekanslarda ve belli Reynolds sayısındaki değişimi görülmektedir. Yarı logaritmik eksende sıcaklık amplitüd değerinin lineer olarak azaldığı görülmektedir. Belli bir Reynolds sayısında frekans arttıkça sıcaklık amplitüd eğimi artmaktadır. Aynı Reynolds sayısında frekans arttığı zaman sıcaklık amplitüdünün azaldığı görülmektedir.

Şekil 6.30-6.60'da sıcaklığın belli frekans ve Reynolds sayılarında kanal ekseni boyunca zamana göre değişimi görülmektedir. Kanal girişindeki sıcaklık osilasyonunun büyük olduğu, kanal sonuna doğru gidildikçe sıcaklık osilasyonunun azaldığı görülmektedir.

Şekil 6.61'de belli frekans ve Reynolds sayısında kanal giriş sıcaklığının kanal kesitindeki ($x/De=3$) değişimi görülmektedir. Kanal eksenindeki sıcaklık amplitüdünün büyük olduğu duvara doğru gidildikçe sıcaklık amplitüdünün azaldığı görülmektedir.

Şekil 6.62'de boyutsuz giriş sıcaklık amplitüdünün kanal kesitindeki ($x/De=3$) değişimi görülmektedir. Sıcaklık amplitüdünün kanal ekseninde büyük olduğu, duvara doğru gidildikçe sıcaklık amplitüd değerinin azaldığı ve kanal kesitindeki bu değişimin parabolik olduğu görülmektedir.

Şekil 6.63-6.87'e kadar belli frekans ve Reynolds sayılarındaki duvar sıcaklığının deneysel ve nümerik değerleri görülmektedir. Duvarın maksimum sıcaklığının kanal boyunca lineer olarak azaldığı, duvar minimum sıcaklığının kanal boyunca lineer olarak arttığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, duvar sıcaklık amplitüdünün azaldığı görülmektedir. Aynı Reynolds sayısında frekans arttıkça duvar sıcaklığı amplitüdünün azaldığı ve deneysel değerlerle nümerik değerlerin uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 6.88'de sıcaklık amplitüd eğimi (α) belli Reynolds sayısında frekans değerleri arttıkça artmakta olduğu görülmektedir. Şekil 6.89'da ise aynı frekans değerinde Reynolds sayısı arttıkça sıcaklık amplitüd eğiminin azaldığı görülmektedir.

Tablo 6.1. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 2225$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları

$Re \approx 2225, Pr=0.71, \beta=0.02$ Hz					$Re \approx 2225, Pr=0.71, \beta=0.24$ Hz				
ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N	ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N
12.8093	1.0000	12.8094	1.0000	0.0000	2.2964	1.0000	2.2964	1.0000	0.0000
12.0442	0.9403	10.4409	0.8151	1.6034	2.1367	0.9305	1.9526	0.8503	0.1841
11.2764	0.8803	10.2325	0.7988	1.0439	1.9717	0.8586	1.9006	0.8276	0.0711
10.5271	0.8218	8.5429	0.6669	1.9842	1.8078	0.7872	1.6186	0.7048	0.1892
9.8094	0.7658	7.9507	0.6207	1.8586	1.6495	0.7183	1.4205	0.6186	0.2290
9.1297	0.7127	7.9184	0.6182	1.2114	1.4993	0.6529	1.3236	0.5764	0.1756
8.4909	0.6629	7.8611	0.6137	0.6298	1.3583	0.5915	1.2908	0.5621	0.0675
7.8929	0.6162	7.4787	0.5838	0.4142	1.2270	0.5343	1.2353	0.5379	0.0083
7.3348	0.5726	7.4716	0.5833	0.1367	1.1053	0.4813	1.1552	0.5030	0.0499
6.8147	0.5320	7.1874	0.5611	0.3727	0.9931	0.4325	1.1304	0.4922	0.1373
6.3306	0.4942	6.8950	0.5383	0.5645	0.8898	0.3875	1.0108	0.4402	0.1210
5.8801	0.4590	5.9834	0.4671	0.1033	0.7950	0.3462	0.8680	0.3780	0.0730
5.4611	0.4263	5.8691	0.4582	0.4079	0.7082	0.3084	0.8759	0.3814	0.1677

Tablo 6.2. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 2008$) $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları

$Re \approx 2008, Pr=0.71, \beta=0.02$ Hz					$Re \approx 2008, Pr=0.71, \beta=0.24$ Hz				
ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N	ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N
27.1231	1.0000	27.1231	1.0000	0.0000	2.2964	1.0000	2.2964	1.0000	0.0000
25.3103	0.9332	23.2576	0.8575	2.0527	2.1367	0.9305	1.9526	0.8503	0.1841
23.5030	0.8665	21.6196	0.7971	1.8834	1.9717	0.8586	1.9006	0.8276	0.0711
21.7559	0.8021	18.7884	0.6927	2.9675	1.8078	0.7872	1.6186	0.7048	0.1892
20.0993	0.7410	17.8479	0.6580	2.2514	1.6495	0.7183	1.4205	0.6186	0.2290
18.5468	0.6838	15.2977	0.5640	3.2491	1.4993	0.6529	1.3236	0.5764	0.1756
17.1017	0.6305	14.3458	0.5289	2.7559	1.3583	0.5915	1.2908	0.5621	0.0675
15.7621	0.5811	14.2414	0.5251	1.5207	1.2270	0.5343	1.2353	0.5379	0.0083
14.5231	0.5355	13.2671	0.4891	1.2560	1.1053	0.4813	1.1552	0.5030	0.0499
13.3788	0.4933	12.9581	0.4778	0.4207	0.9931	0.4325	1.1304	0.4922	0.1373
12.3227	0.4543	12.5444	0.4625	0.2217	0.8898	0.3875	1.0108	0.4402	0.1210
11.3487	0.4184	11.7242	0.4323	0.3755	0.7950	0.3462	0.8680	0.3780	0.0730
10.4506	0.3853	10.3282	0.3808	0.1224	0.7082	0.3084	0.8759	0.3814	0.1677

Tablo 6.3. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 1764$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları

$Re \approx 1764, Pr=0.71, \beta=0.02$ Hz					$Re \approx 1764, Pr=0.71, \beta=0.24$ Hz				
ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N	ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N
11.0499	1.0000	11.0499	1.0000	0.0000	1.1855	1.0000	1.1856	1.0000	0.0001
10.2006	0.9231	9.4523	0.8554	0.7483	1.0903	0.9199	1.0777	0.9090	0.0126
9.3624	0.8473	8.4634	0.7659	0.8990	0.9927	0.8375	0.9955	0.8397	0.0028
8.5631	0.7749	7.3808	0.6680	1.1823	0.8970	0.7567	0.7485	0.6313	0.1485
7.8160	0.7073	6.0635	0.5487	1.7525	0.8059	0.6799	0.7401	0.6242	0.0658
7.1257	0.6449	5.9327	0.5369	1.1930	0.7208	0.6081	0.6906	0.5825	0.0302
6.4917	0.5875	5.8928	0.5333	0.5989	0.6421	0.5417	0.6908	0.5827	0.0487
5.9116	0.5350	5.8607	0.5304	0.0509	0.5699	0.4808	0.6660	0.5617	0.0961
5.3819	0.4871	5.7211	0.5178	0.3392	0.5040	0.4252	0.6497	0.5480	0.1457
4.8986	0.4433	5.5238	0.4999	0.6252	0.4441	0.3747	0.5838	0.4924	0.1397
4.4580	0.4034	5.0963	0.4612	0.6383	0.3898	0.3289	0.5658	0.4772	0.1760
4.0566	0.3671	4.3327	0.3921	0.2761	0.3409	0.2876	0.4191	0.3535	0.0782
3.6908	0.3340	4.2420	0.3839	0.5512	0.2968	0.2504	0.3861	0.3257	0.0893

Tablo 6.4. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 1478$) $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları

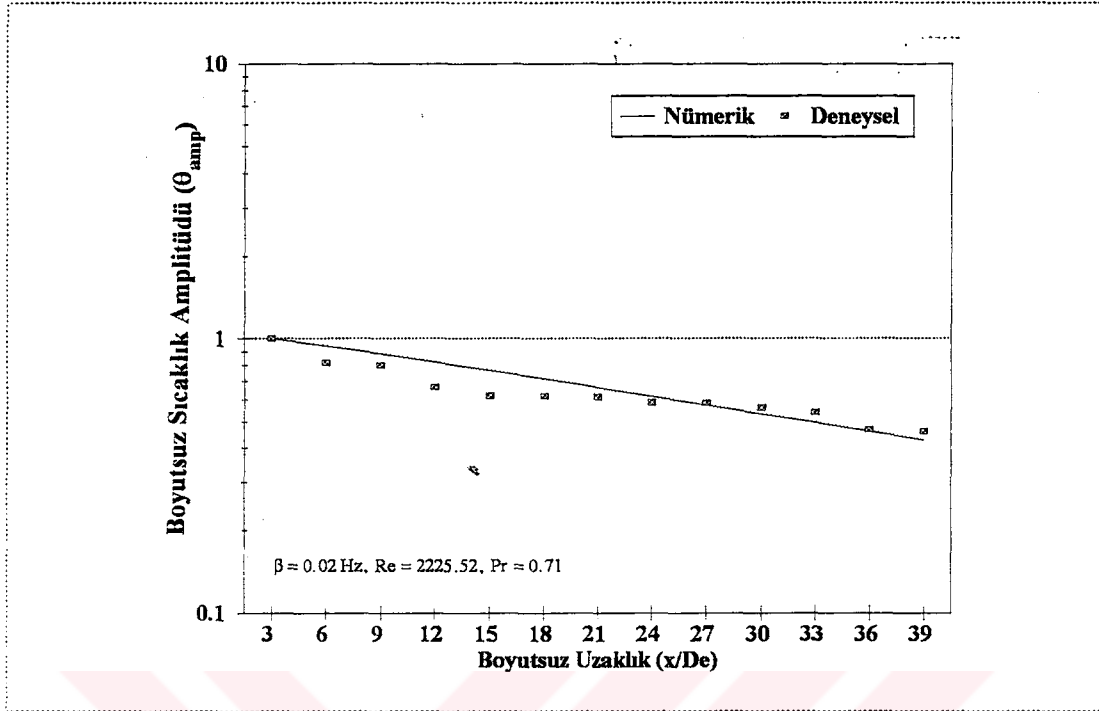
$Re \approx 1478, Pr=0.71, \beta=0.02$ Hz					$Re \approx 1478, Pr=0.71, \beta=0.24$ Hz				
ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N	ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N
9.6327	1.0000	9.6327	1.0000	0.0000	1.0879	1.0000	1.0879	1.0000	0.0000
8.7409	0.9074	8.6486	0.8978	0.0923	0.9818	0.9025	1.0547	0.9695	0.0729
7.8762	0.8177	7.6985	0.7992	0.1777	0.8745	0.8038	0.8570	0.7878	0.0175
7.0692	0.7339	6.2304	0.6468	0.8388	0.7716	0.7093	0.6673	0.6134	0.1043
6.3314	0.6573	5.7640	0.5984	0.5674	0.6760	0.6214	0.5683	0.5224	0.1077
5.6640	0.5880	5.5757	0.5788	0.0883	0.5887	0.5412	0.5436	0.4997	0.0451
5.0636	0.5257	5.4773	0.5686	0.4137	0.5100	0.4688	0.5354	0.4921	0.0254
4.5250	0.4698	5.2641	0.5465	0.7391	0.4394	0.4039	0.4860	0.4467	0.0466
4.0426	0.4197	4.8373	0.5022	0.7947	0.3766	0.3462	0.4777	0.4391	0.1011
3.6108	0.3749	4.7146	0.4894	1.1038	0.3210	0.2951	0.4199	0.3860	0.0989
3.2246	0.3348	4.4762	0.4647	1.2516	0.2719	0.2500	0.3951	0.3632	0.1232
2.8792	0.2989	4.0813	0.4237	1.2021	0.2289	0.2104	0.2552	0.2346	0.0263
2.5704	0.2668	3.4813	0.3614	0.9109	0.1912	0.1758	0.2387	0.2194	0.0475

Tablo 6.5. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde Reynolds sayısına ($Re \approx 1121$), $Pr=0.71$ ve giriş frekansı ($\beta=0.02$ Hz ve $\beta=0.24$ Hz) için deneysel değerler, nümerik sonuçlar ve mutlak farkları

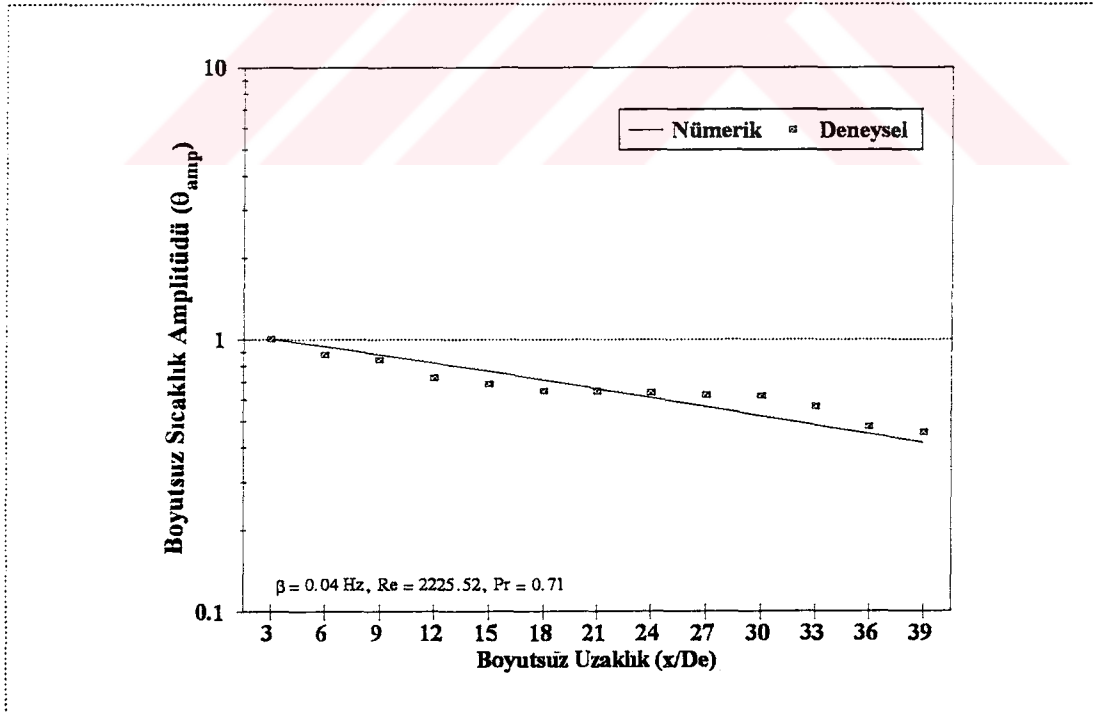
$Re \approx 1121, Pr=0.71, \beta=0.02$ Hz					$Re \approx 1121, Pr=0.71, \beta=0.24$ Hz				
ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N	ΔT Nümerik	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Nümerik	ΔT Deneysel	$\frac{\Delta T}{\Delta T_1}$ Deneysel	Mutlak Fark D-N
12.0113	1.0000	12.0113	1.0000	0.0000	1.0624	1.0000	1.0624	1.0000	0.0000
10.5389	0.8774	10.8807	0.9059	0.3418	0.9434	0.8880	1.0047	0.9457	0.0613
9.1624	0.7628	9.3634	0.7795	0.2010	0.8249	0.7764	0.8571	0.8068	0.0322
7.9301	0.6602	6.6857	0.5566	1.2444	0.7140	0.6721	0.8242	0.7758	0.1102
6.8485	0.5702	5.5839	0.4649	1.2646	0.6137	0.5777	0.6924	0.6517	0.0787
5.9079	0.4919	5.4689	0.4553	0.4390	0.5246	0.4938	0.4781	0.4500	0.0465
5.0933	0.4240	5.3378	0.4444	0.2445	0.4461	0.4199	0.4616	0.4345	0.0155
4.3891	0.3654	4.9931	0.4157	0.6040	0.3774	0.3553	0.4287	0.4035	0.0430
3.7811	0.3148	4.7148	0.3925	0.9337	0.3177	0.2990	0.4204	0.3957	0.0945
3.2564	0.2711	4.4116	0.3673	1.1552	0.2659	0.2503	0.4122	0.3880	0.0803
2.8037	0.2334	3.9194	0.3263	1.1157	0.2213	0.2083	0.3462	0.3259	0.0152
2.4133	0.2009	3.1797	0.2647	0.7664	0.1830	0.1723	0.2061	0.1940	0.0181
2.0767	0.1729	2.8588	0.2380	0.7821	0.1503	0.1415	0.1649	0.1552	0.0146

Tablo 6.6. Pürüzsüz (bloksuz) kanal için termal giriş bölgesinde farklı Reynolds sayıları (Re) ve giriş frekansları (β) için deneysel ve teorik sıcaklık amplitüdünün eğimi (α) ve Nümerik ve Deneysel çalışmadan elde edilen sıcaklık amplitüdünün eğimi farkı

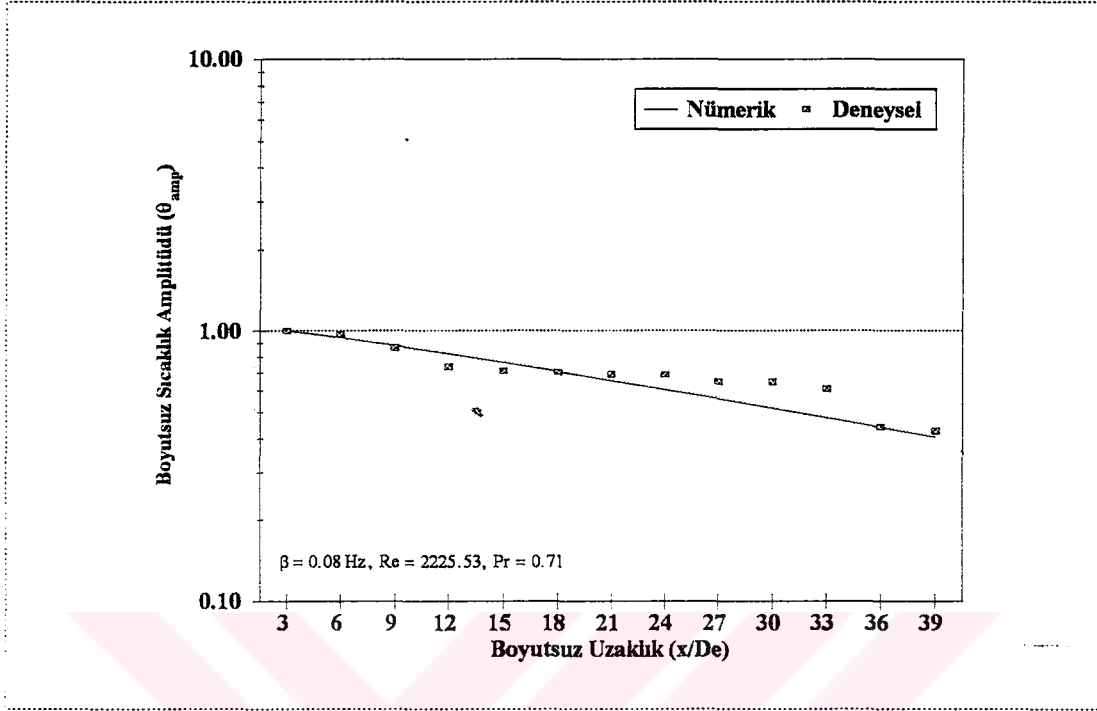
Deney No	Re	β (Hz)	$\alpha(D)$ Deneysel	$\alpha(N)$ Nümerik	$\Delta\alpha$ (D)-(N)
1	1121.61	0.02	0.0365	0.0491	0.0126
2	1121.61	0.04	0.0392	0.0511	0.0119
3	1121.61	0.08	0.0410	0.0533	0.0123
4	1121.62	0.16	0.0424	0.0590	0.0166
5	1121.62	0.24	0.0475	0.0695	0.0220
6	1478.86	0.02	0.0243	0.0370	0.0127
7	1478.86	0.04	0.0294	0.0384	0.0009
8	1478.90	0.08	0.0313	0.0398	0.0085
9	1478.86	0.16	0.0347	0.0431	0.0084
10	1478.86	0.24	0.0387	0.0485	0.0098
11	1764.07	0.02	0.0232	0.0307	0.0075
12	1764.08	0.04	0.0247	0.0319	0.0072
13	1764.08	0.08	0.0270	0.0329	0.0059
14	1764.09	0.16	0.0276	0.0351	0.0075
15	1764.09	0.24	0.0270	0.0387	0.0117
16	2008.28	0.02	0.0241	0.0267	0.0026
17	2008.29	0.04	0.0261	0.0277	0.0016
18	2008.34	0.08	0.0201	0.0285	0.0084
19	2008.33	0.16	0.0218	0.0302	0.0084
20	2008.33	0.24	0.0255	0.0329	0.0074
21	2225.51	0.02	0.0178	0.0239	0.0061
22	2225.52	0.04	0.0184	0.0247	0.0063
23	2225.53	0.08	0.0203	0.0254	0.0051
24	2225.54	0.16	0.0235	0.0268	0.0033
25	2225.55	0.24	0.0263	0.0288	0.0025



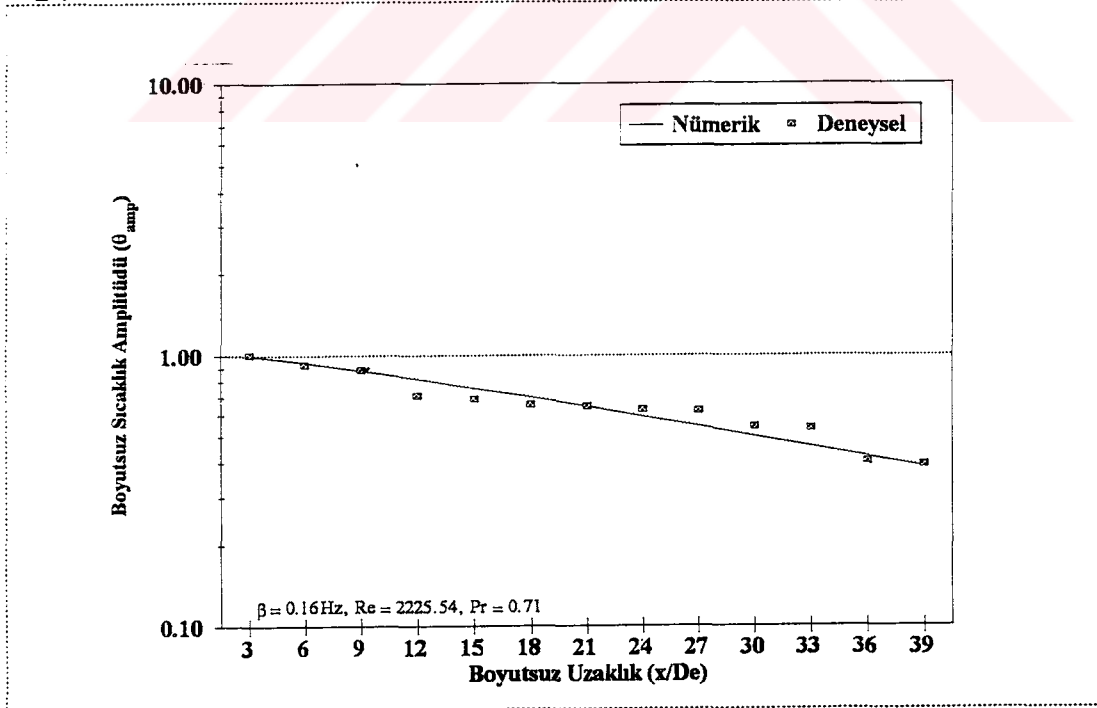
Şekil 6.1. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.51$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değışimi.



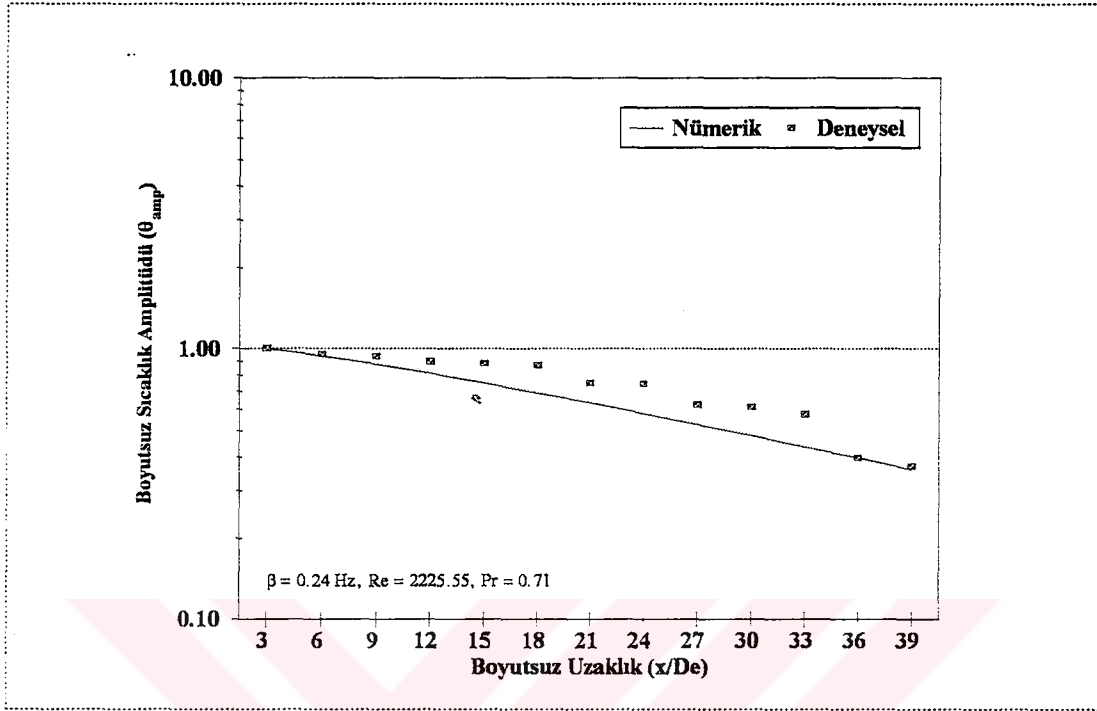
Şekil 6.2. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.52$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değışimi.



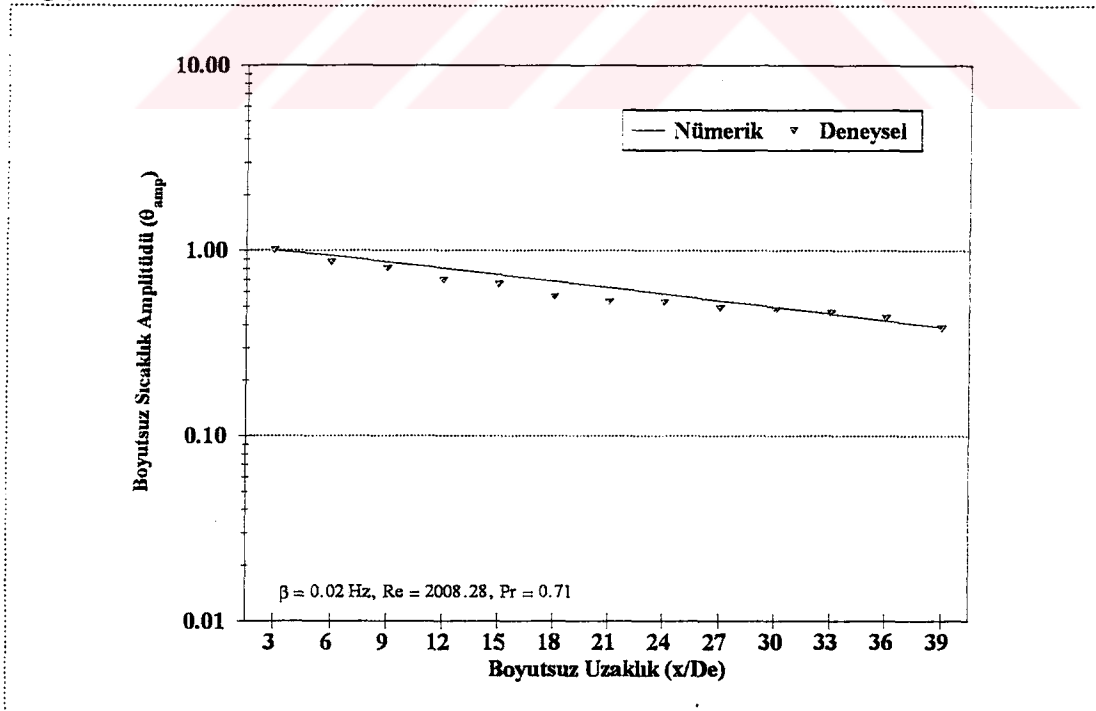
Şekil 6.3. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.53$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



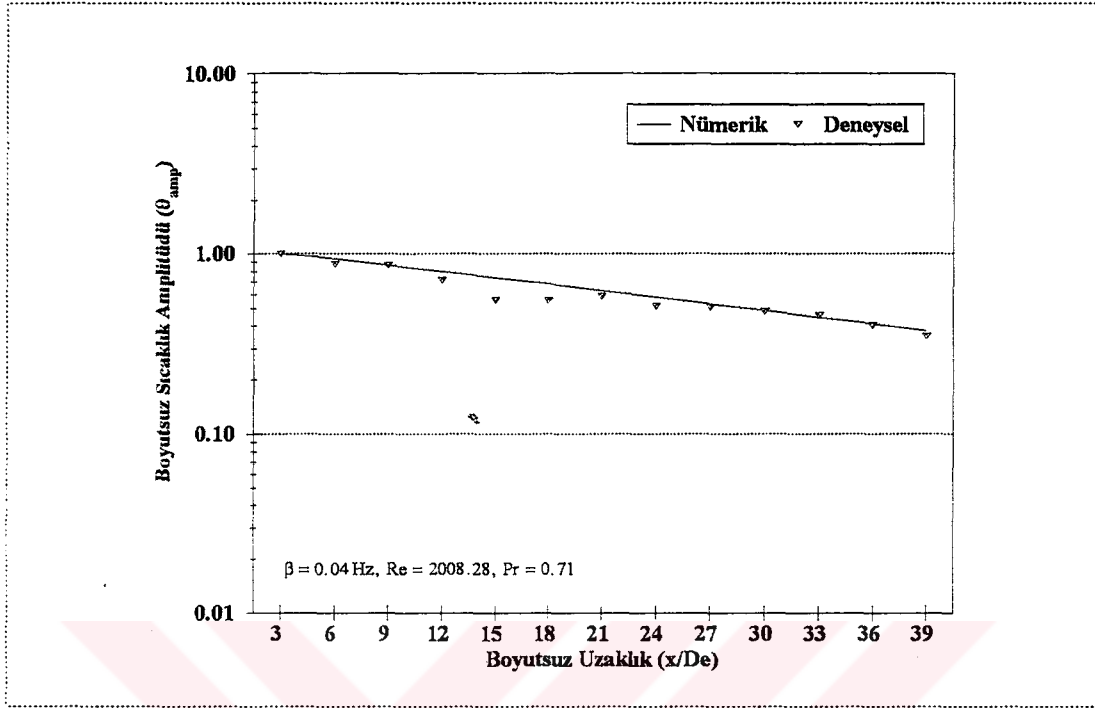
Şekil 6.4. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.54$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



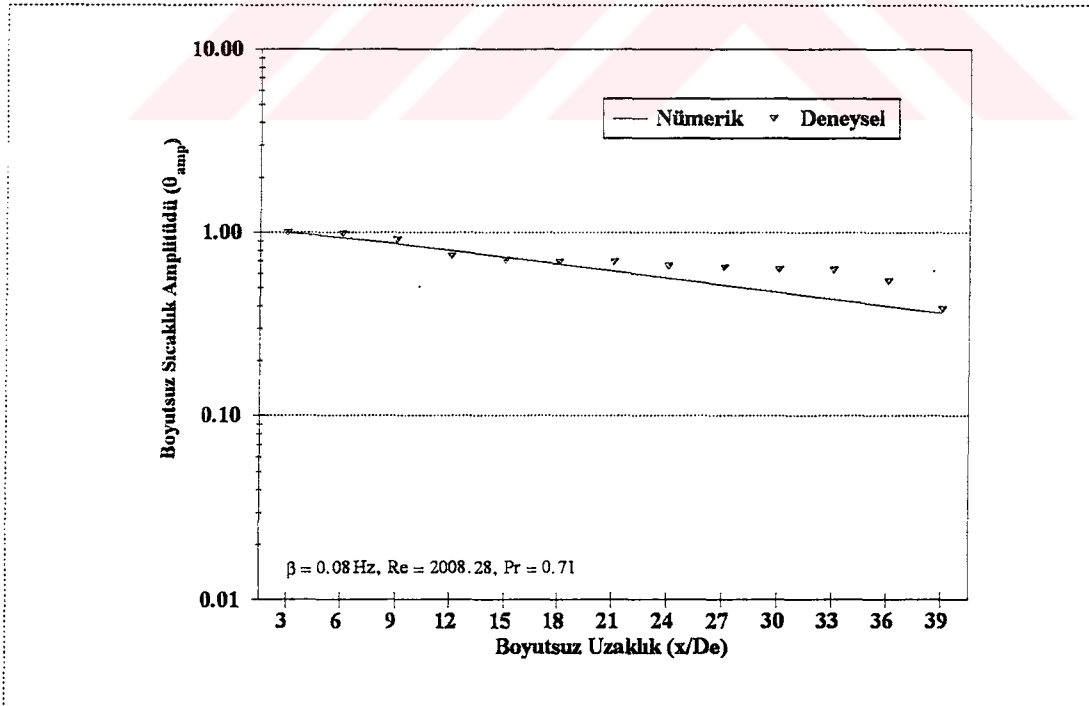
Şekil 6.5. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.55$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



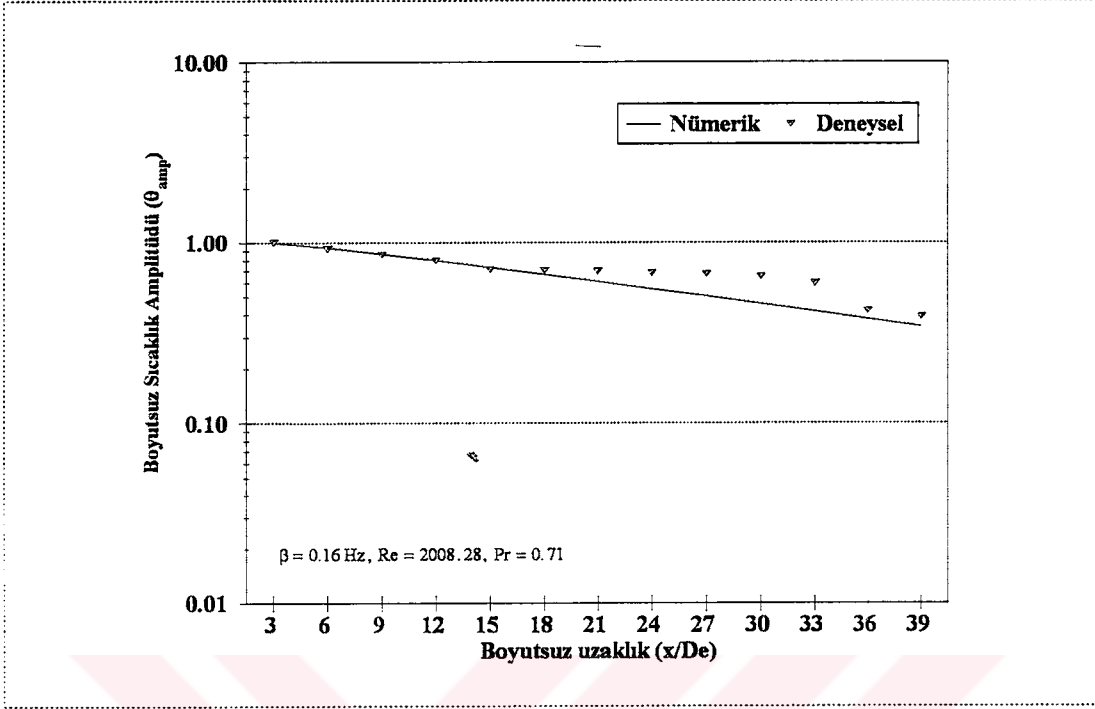
Şekil 6.6. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.28$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



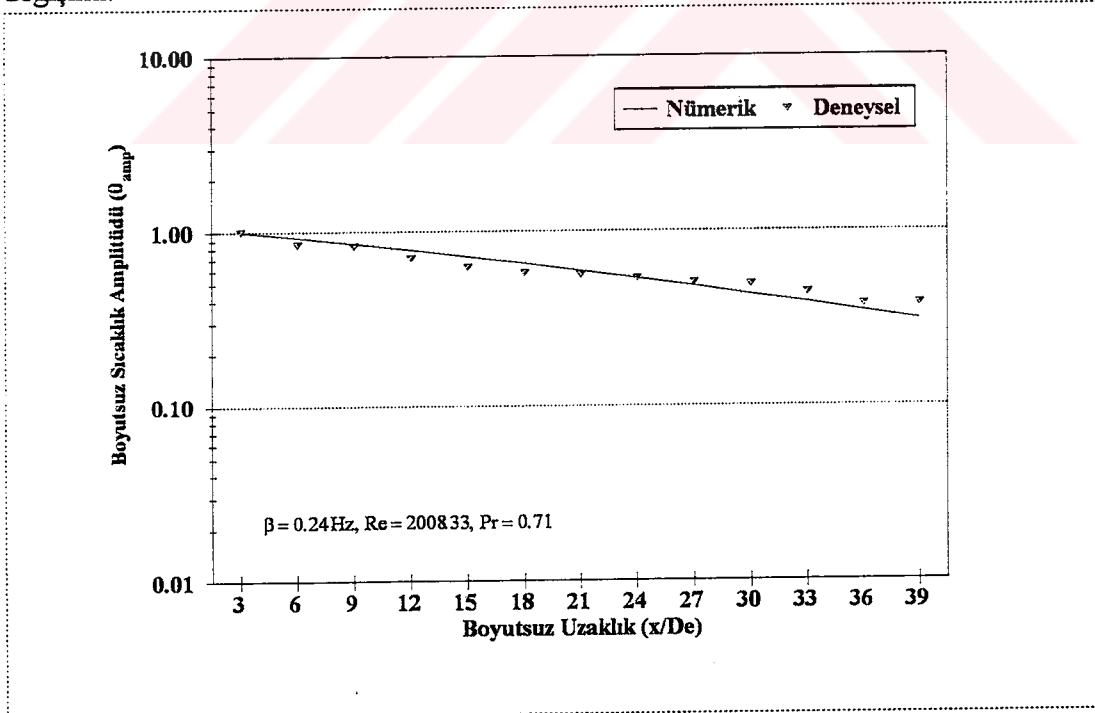
Şekil 6.7. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.29$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



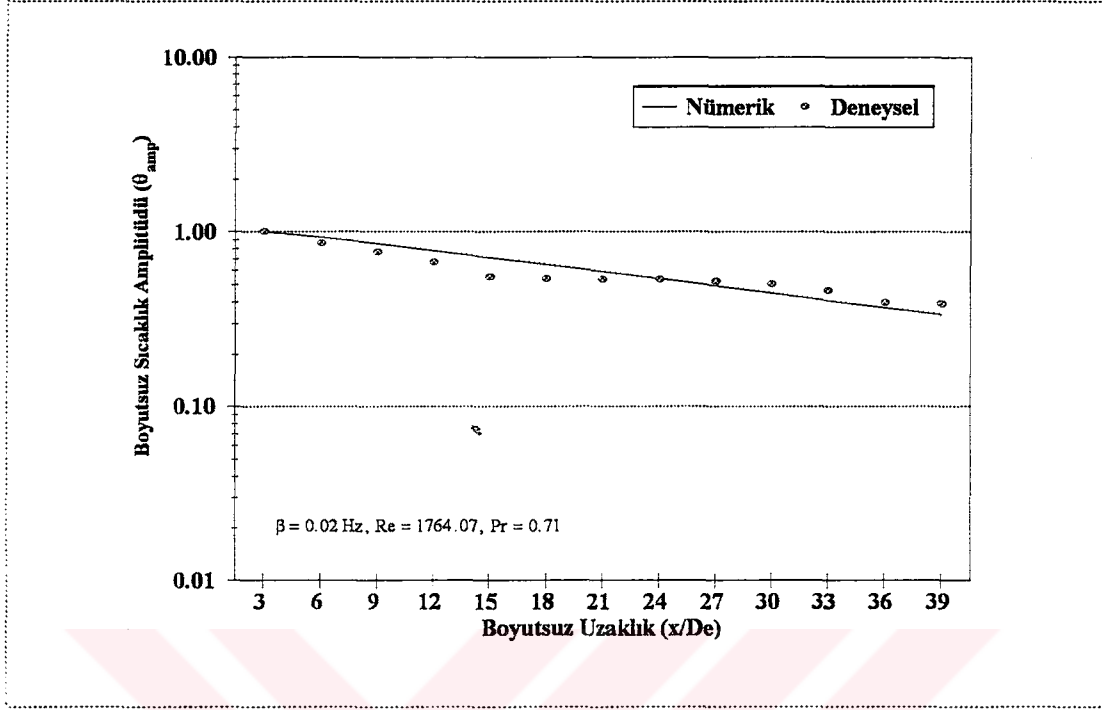
Şekil 6.8. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.34$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



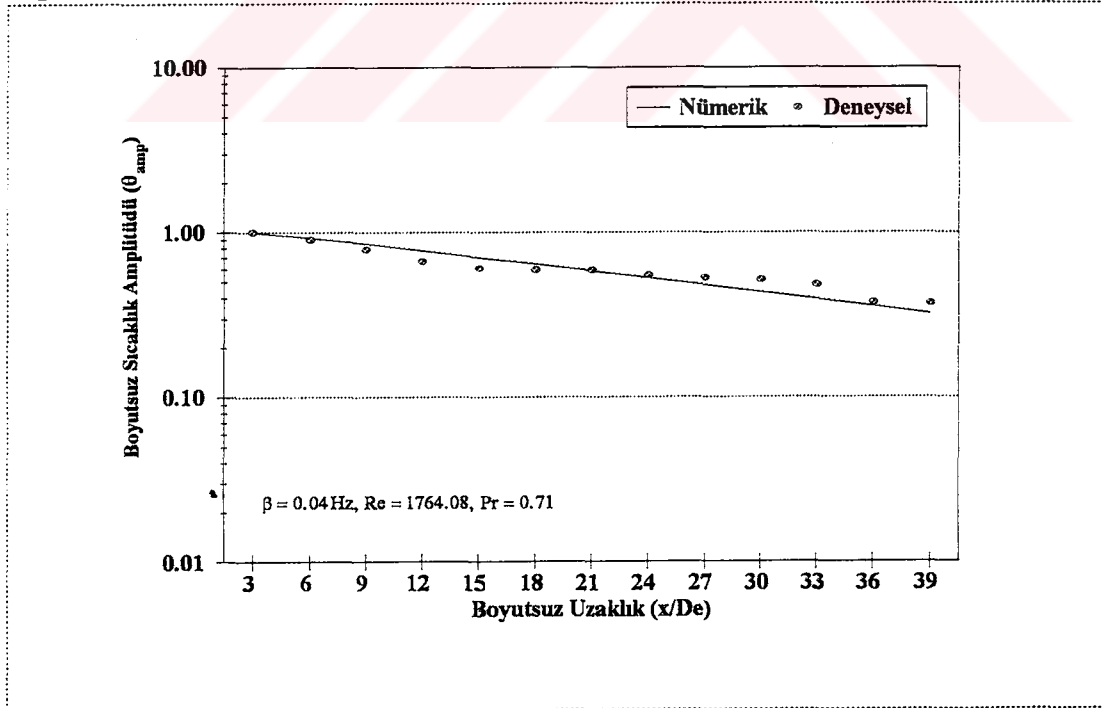
Şekil 6.9. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



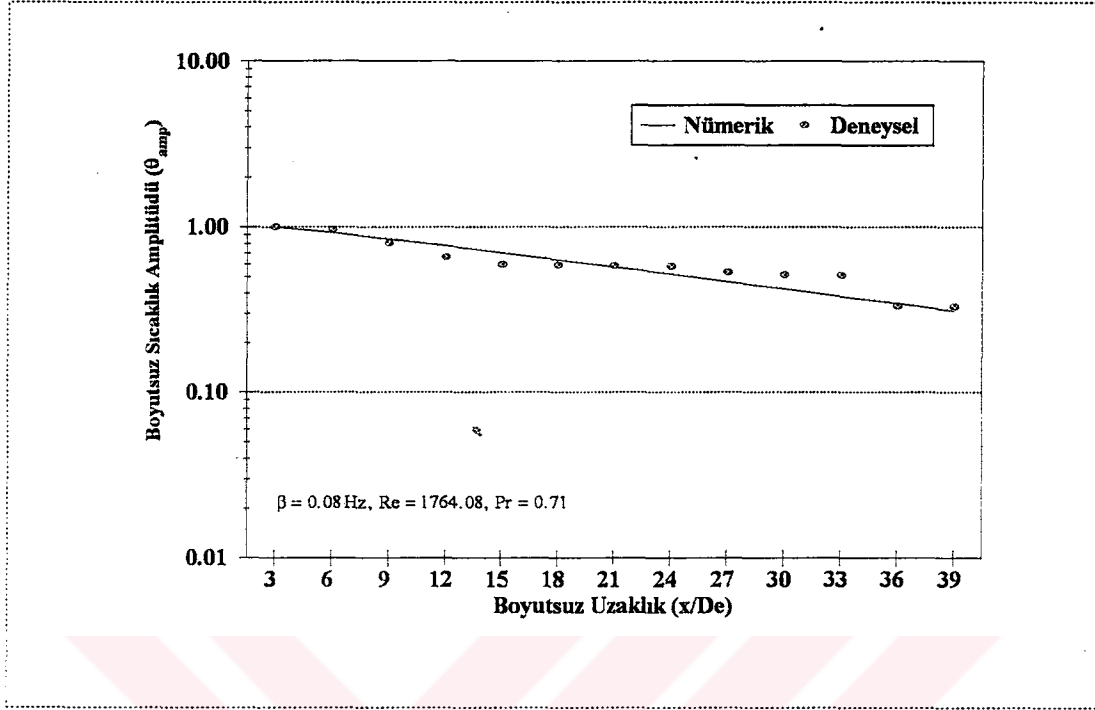
Şekil 6.10. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



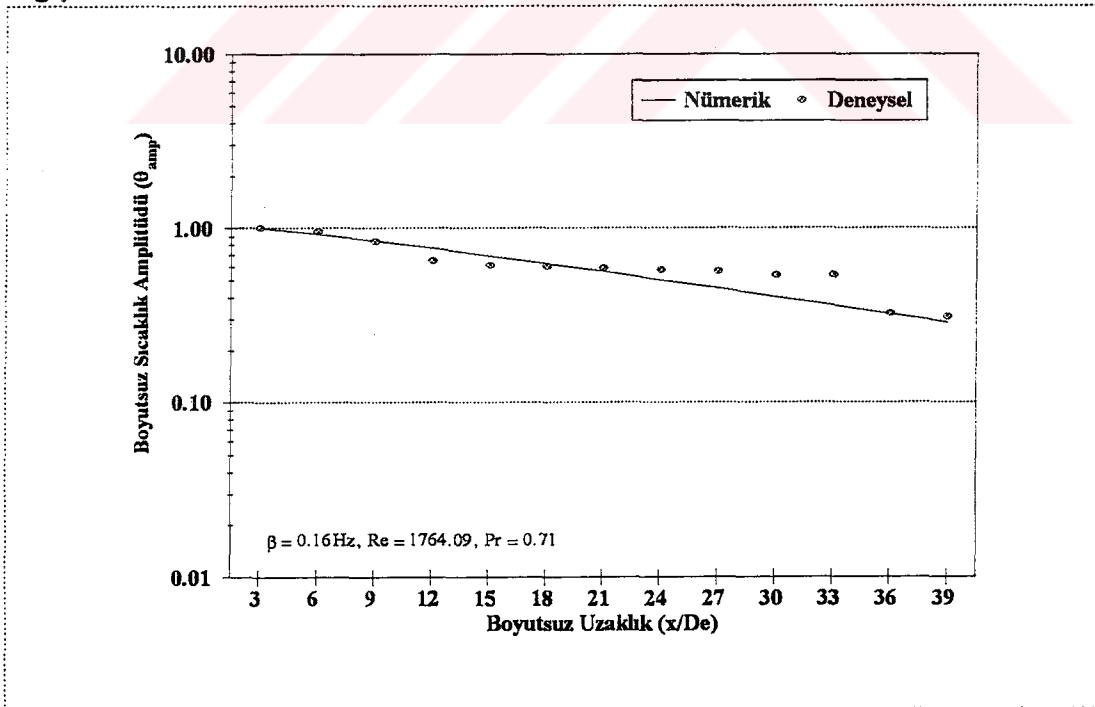
Şekil 6.11. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.07$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



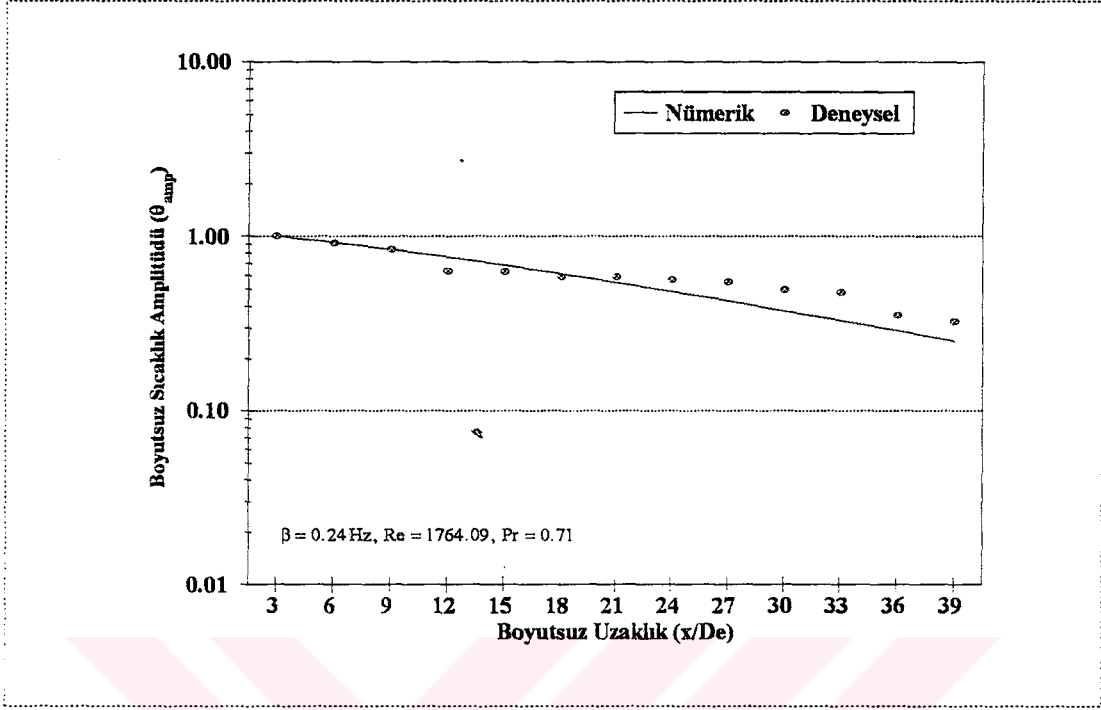
Şekil 6.12. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



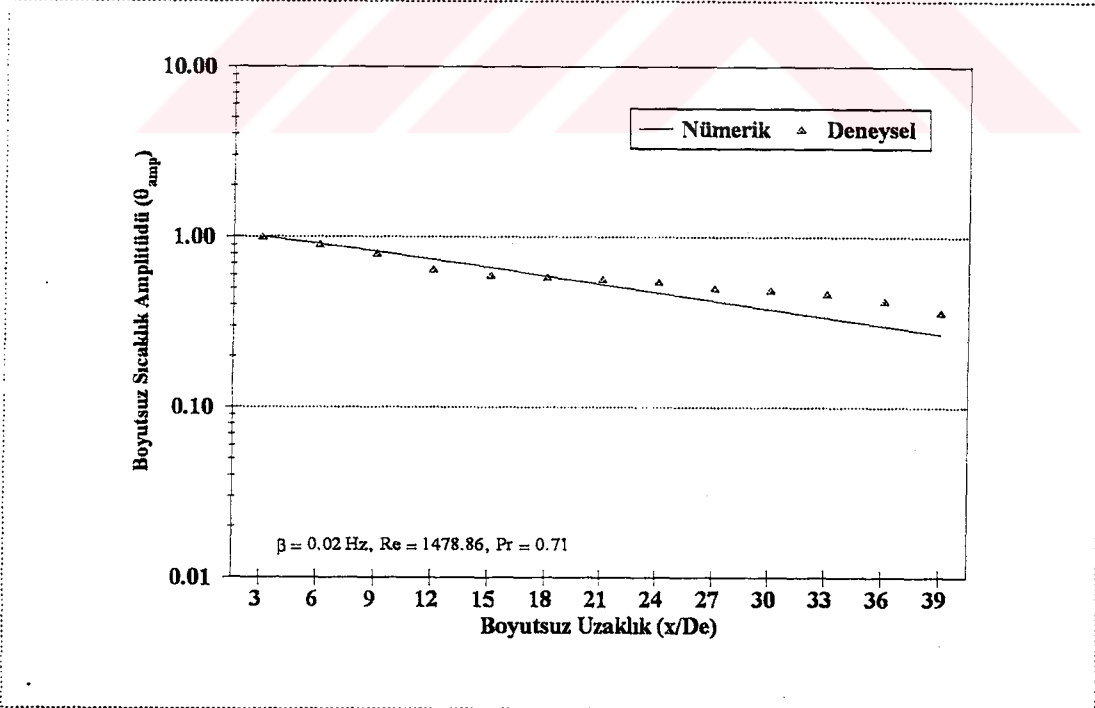
Şekil 6.13. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değışimi.



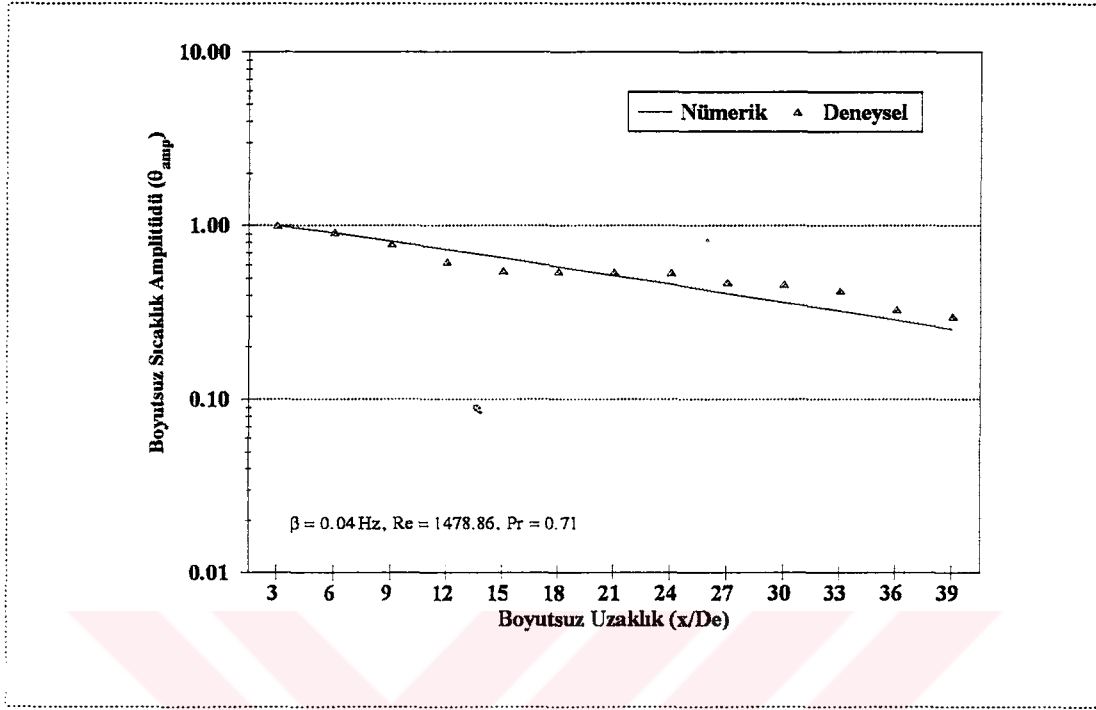
Şekil 6.14. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değışimi.



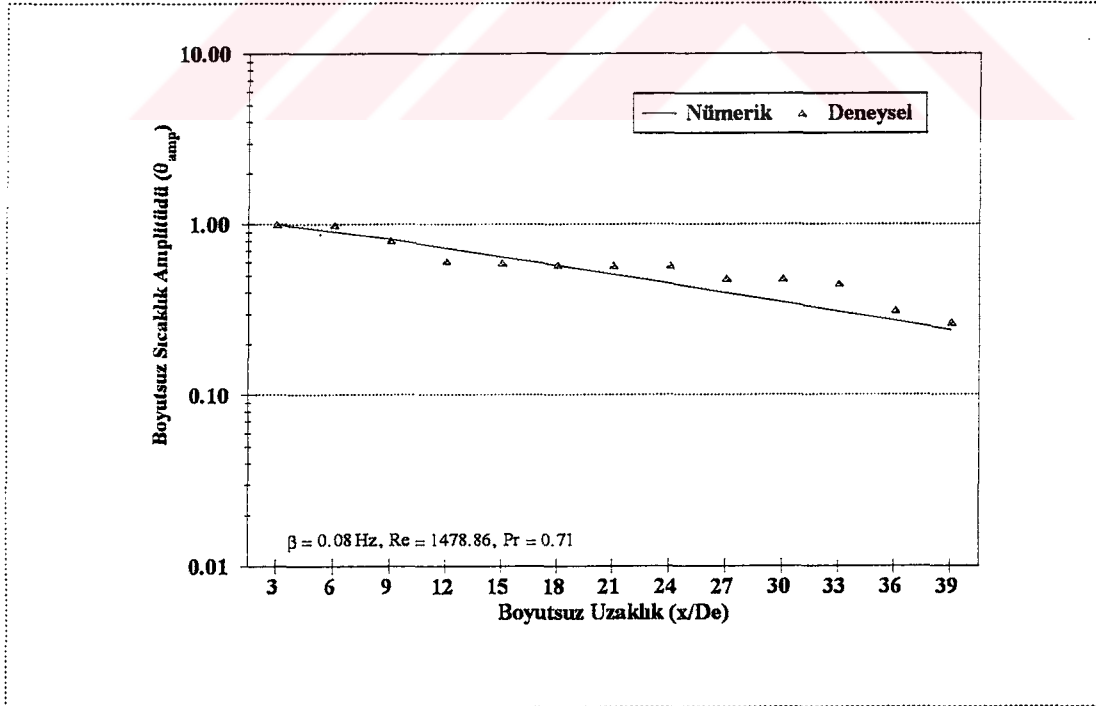
Şekil 6.15. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değışimi.



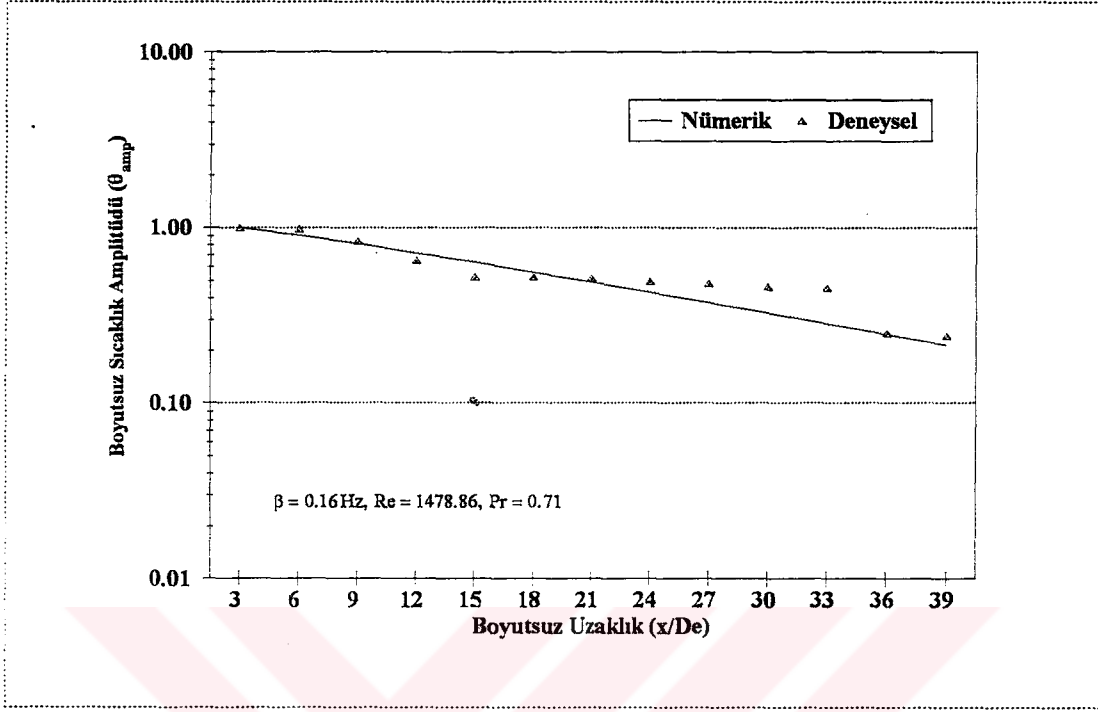
Şekil 6.16. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değışimi.



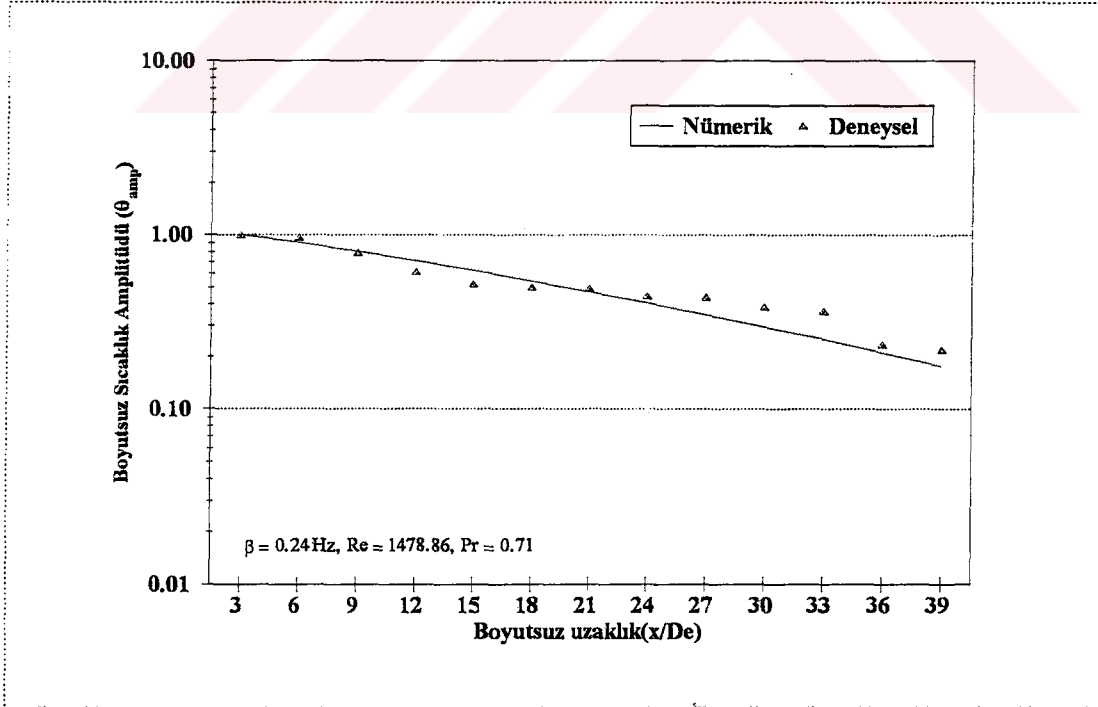
Şekil 6.17. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



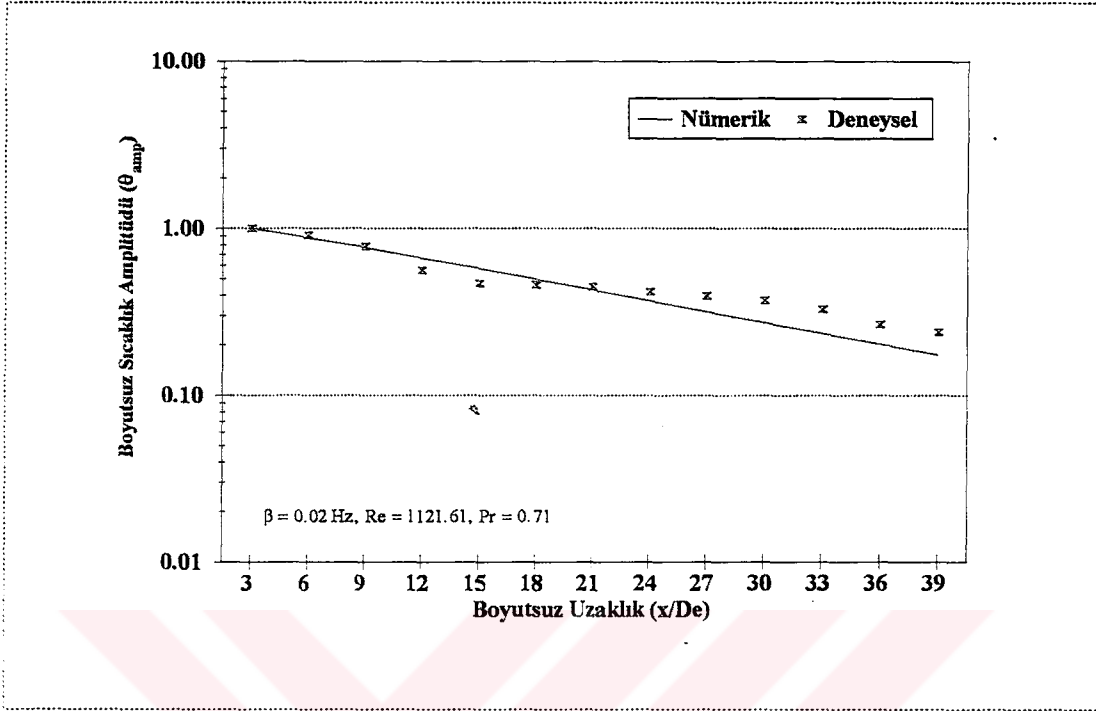
Şekil 6.18. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.90$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



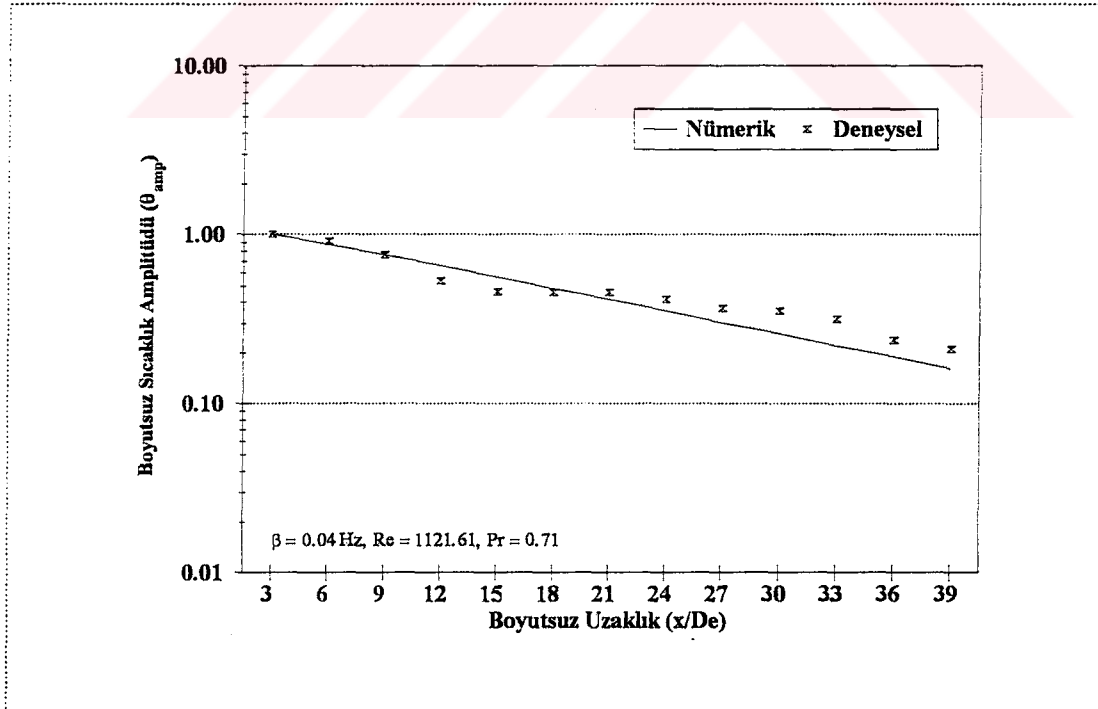
Şekil 6.19. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



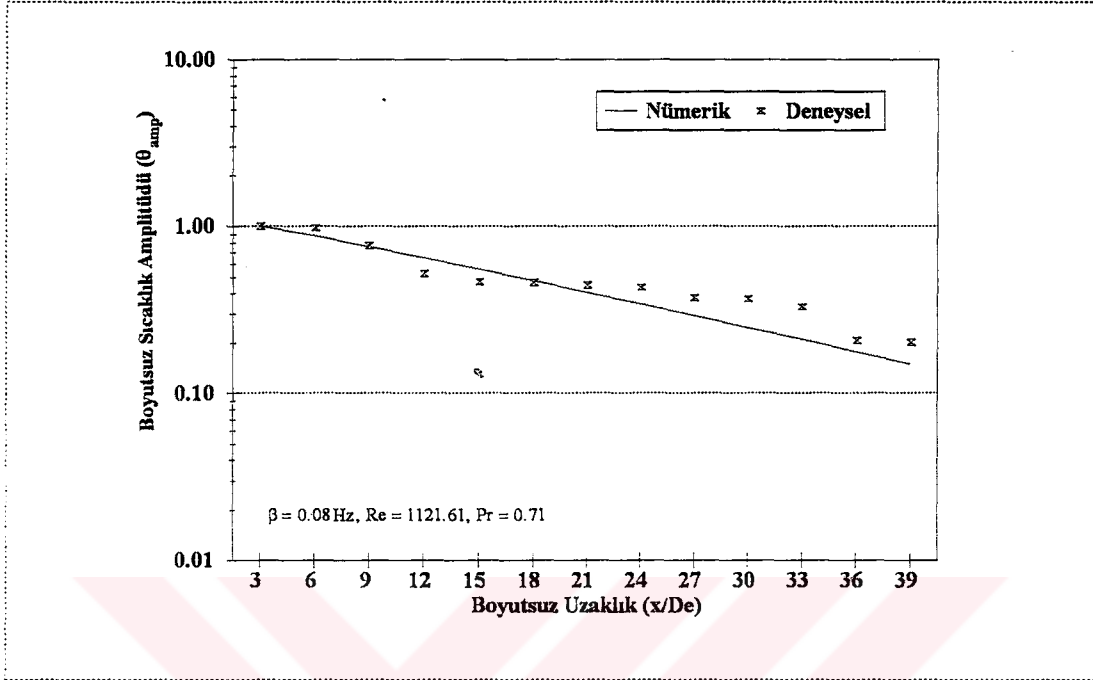
Şekil 6.20. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



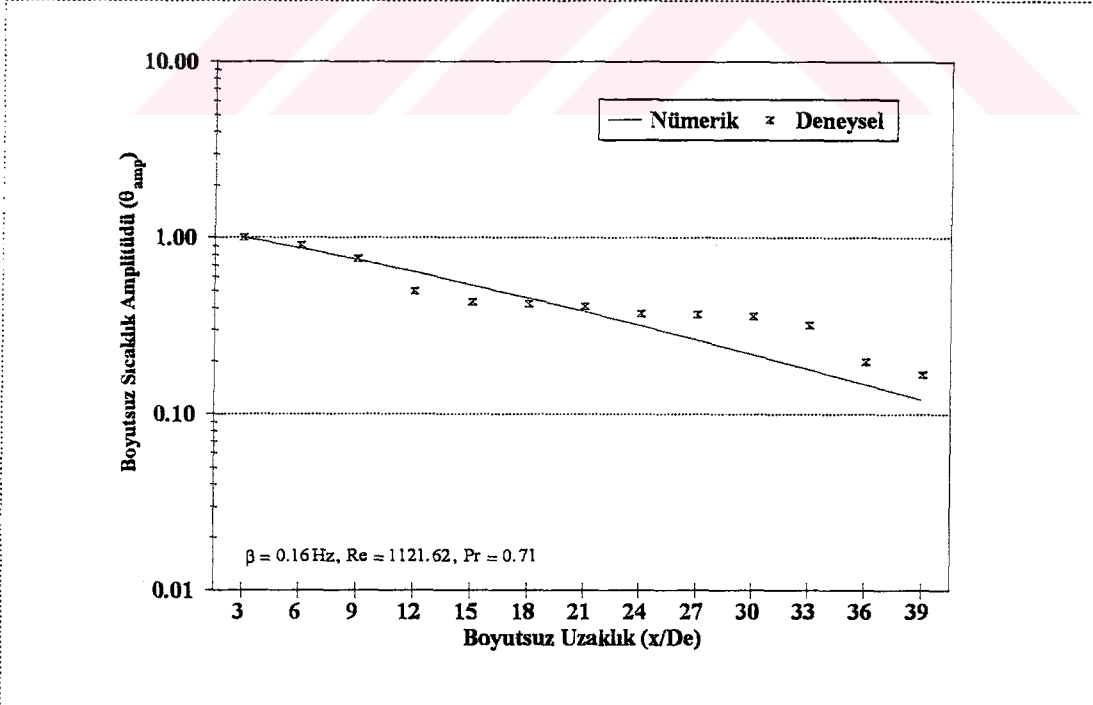
Şekil 6.21. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



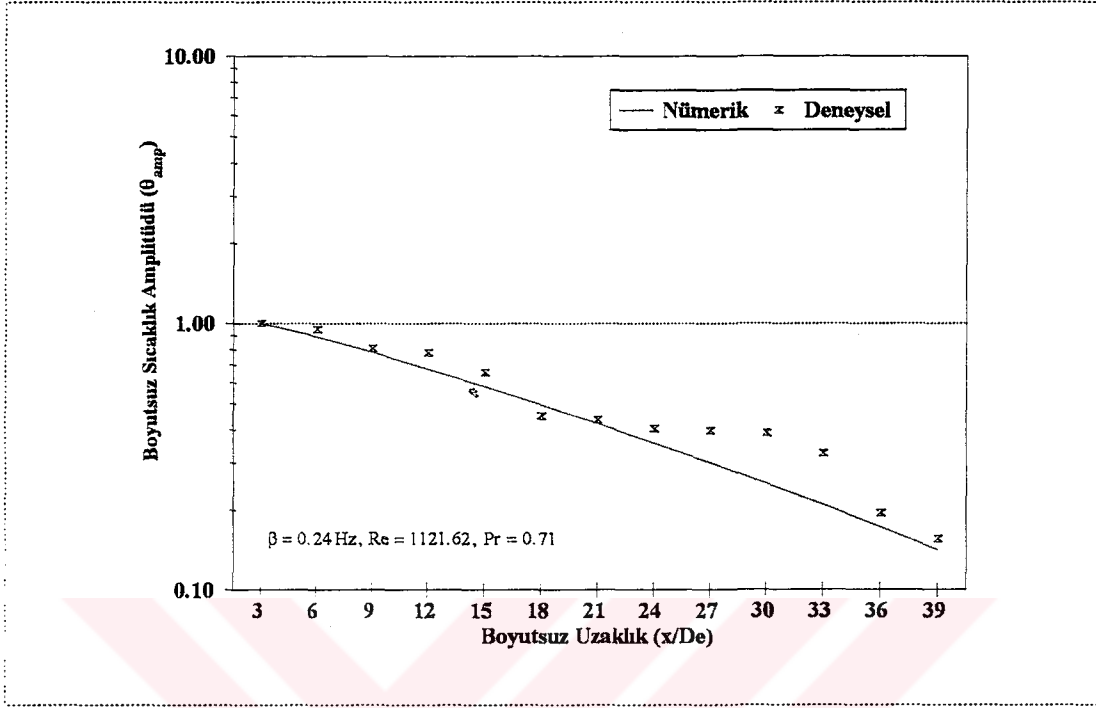
Şekil 6.22. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



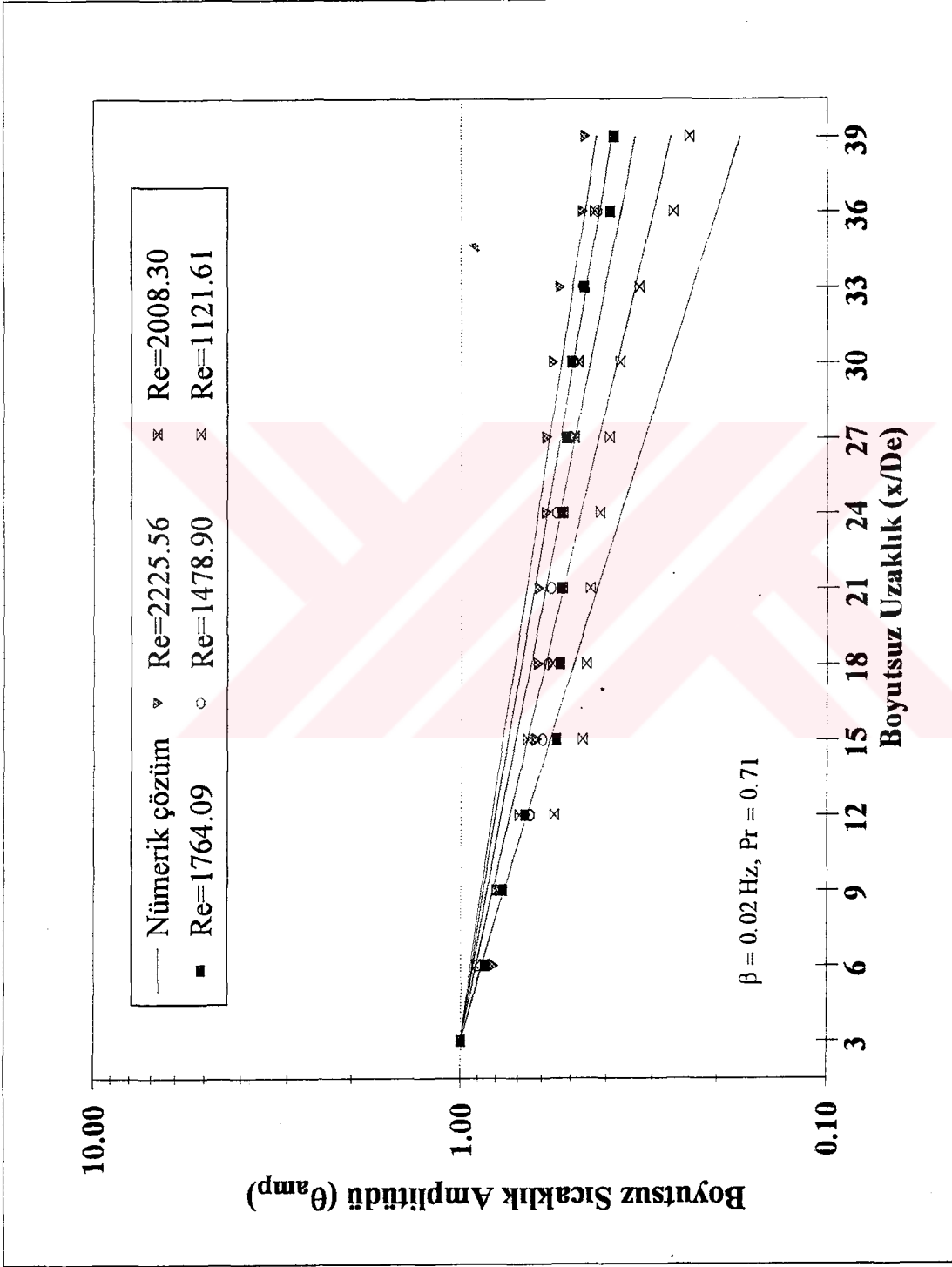
Şekil 6.23. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık boyunca amplitüdünün değişimi.



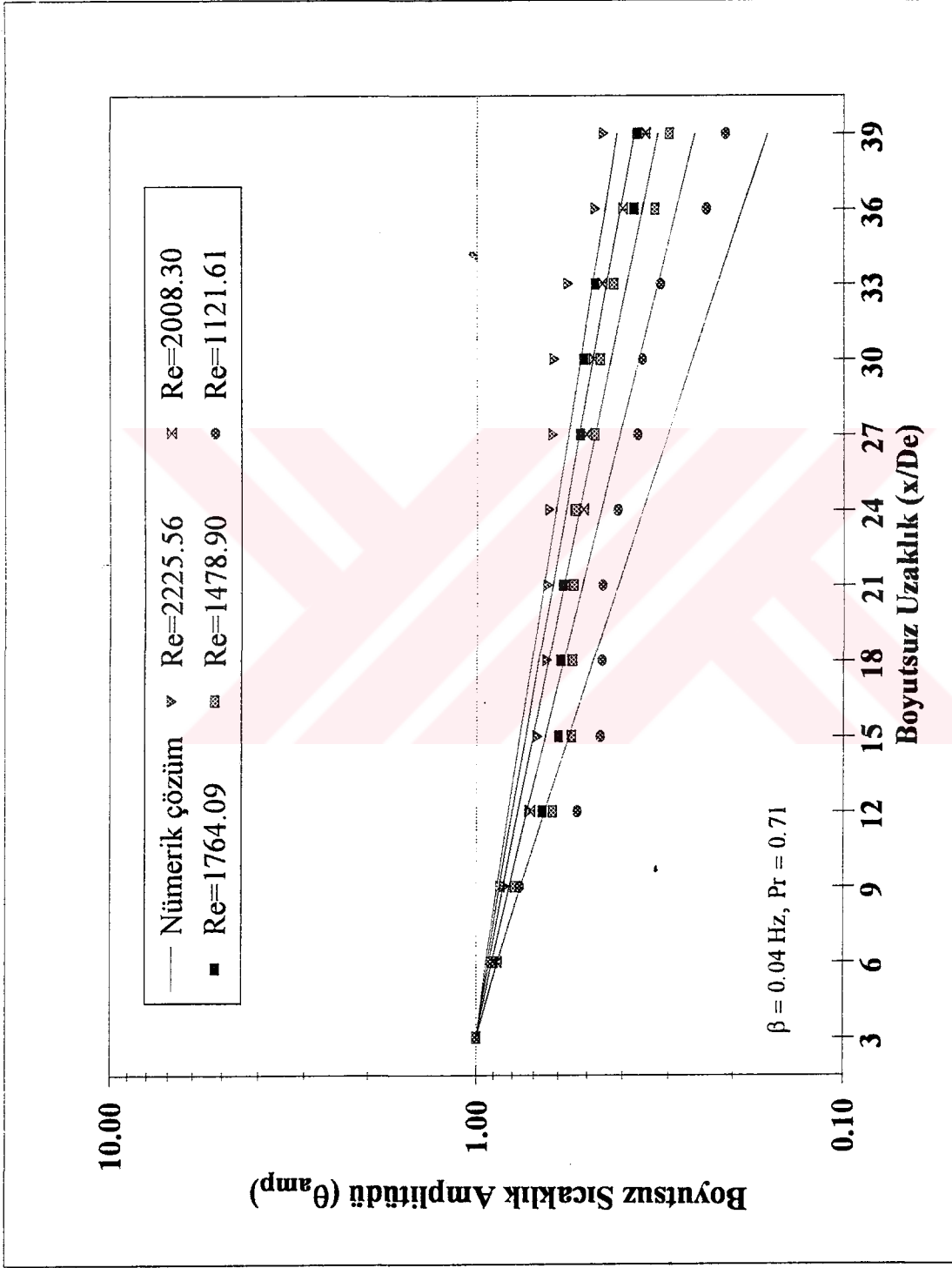
Şekil 6.24. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca boyutsuz sıcaklık boyunca amplitüdünün değişimi.



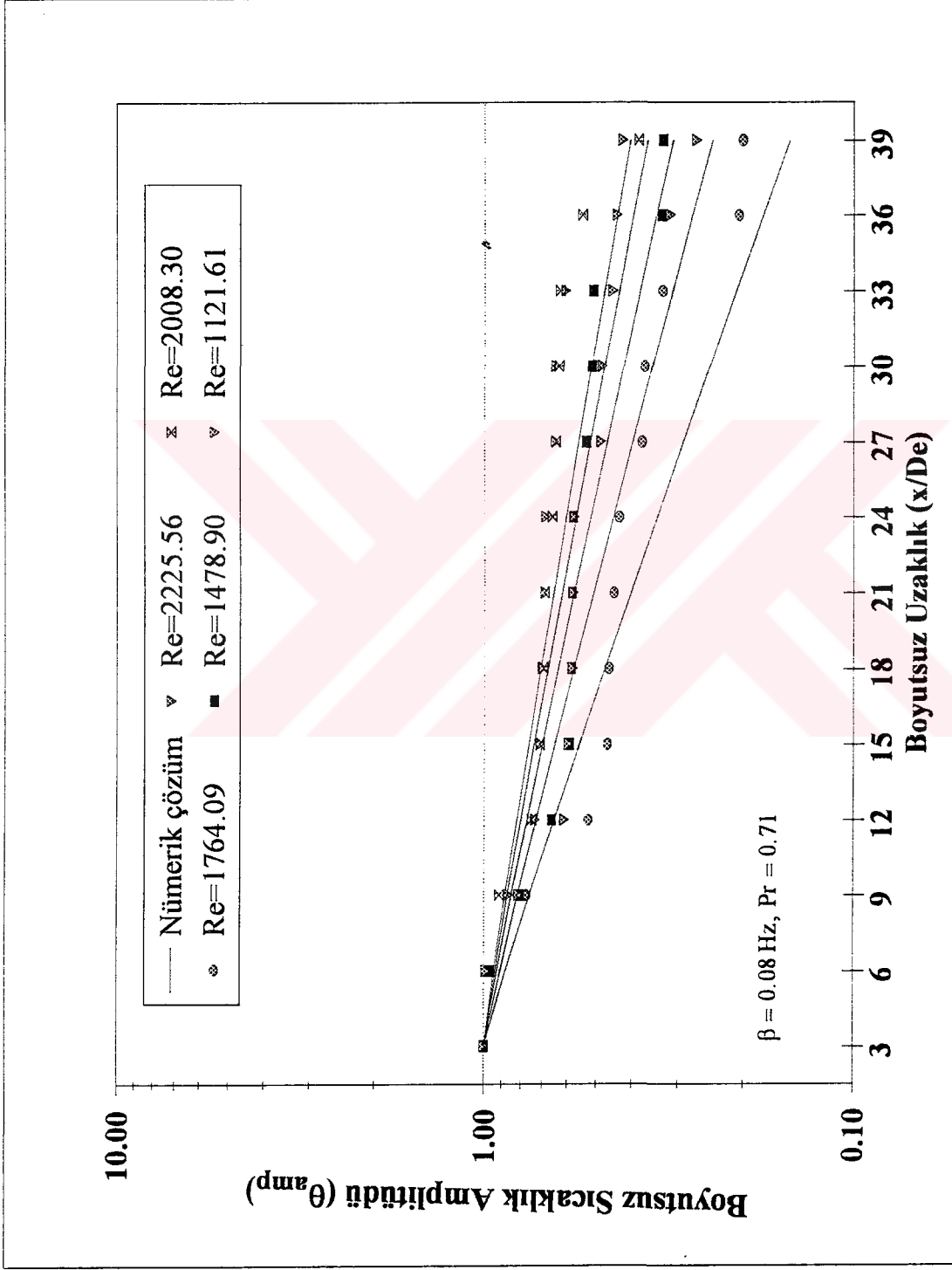
Şekil 6.25. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



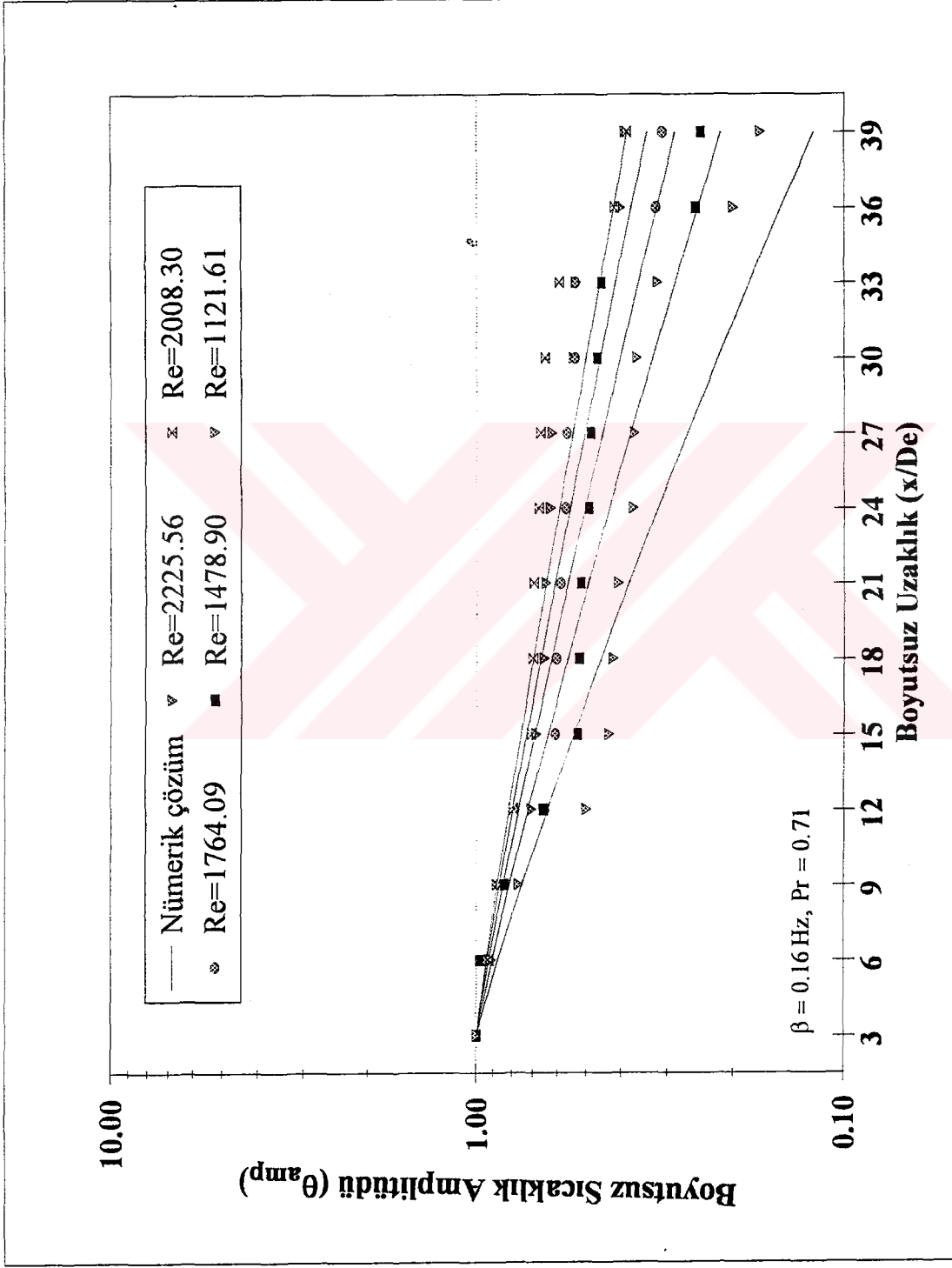
Şekil 6.26. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52$ - $Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



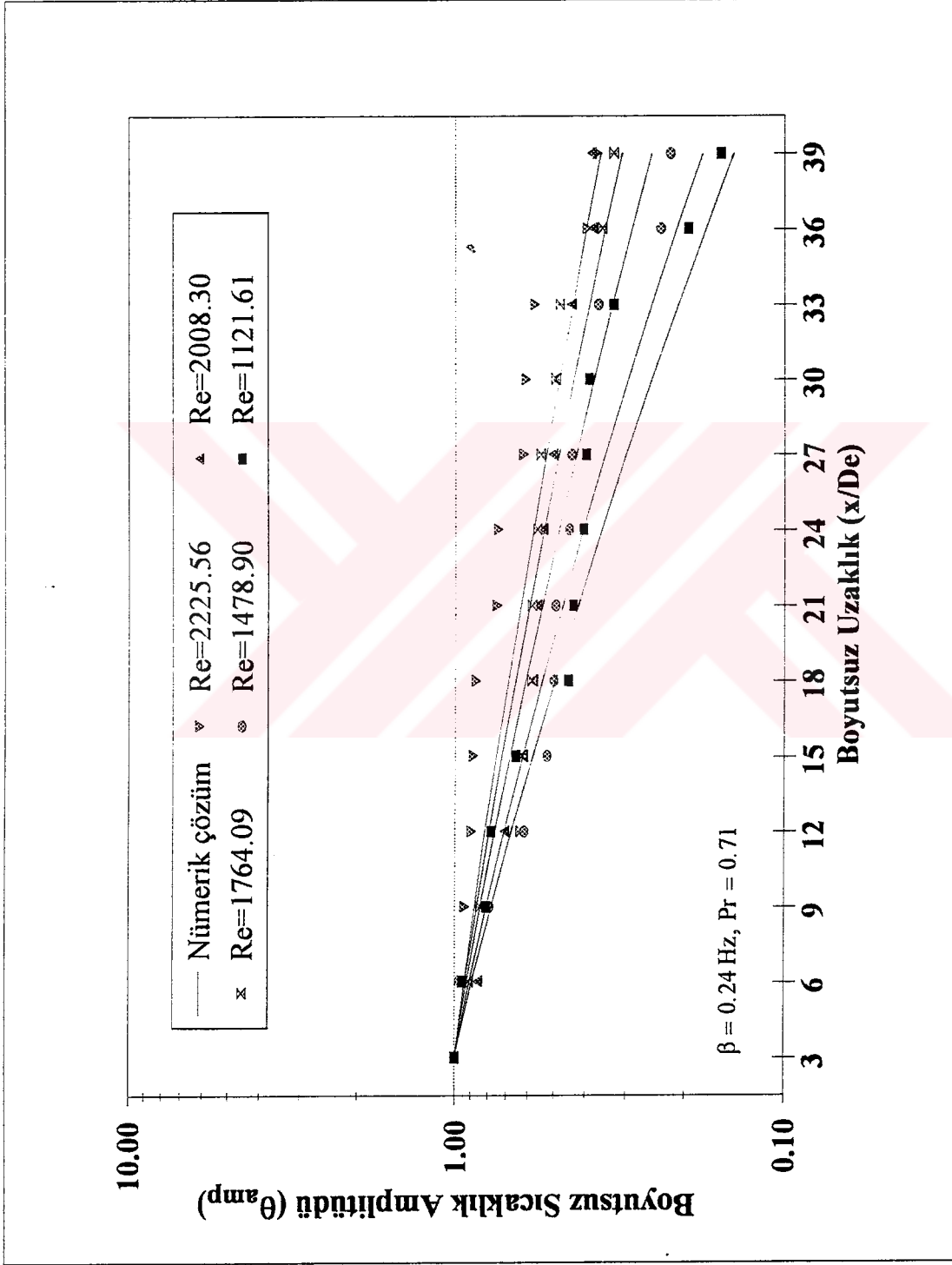
Şekil 6.27. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



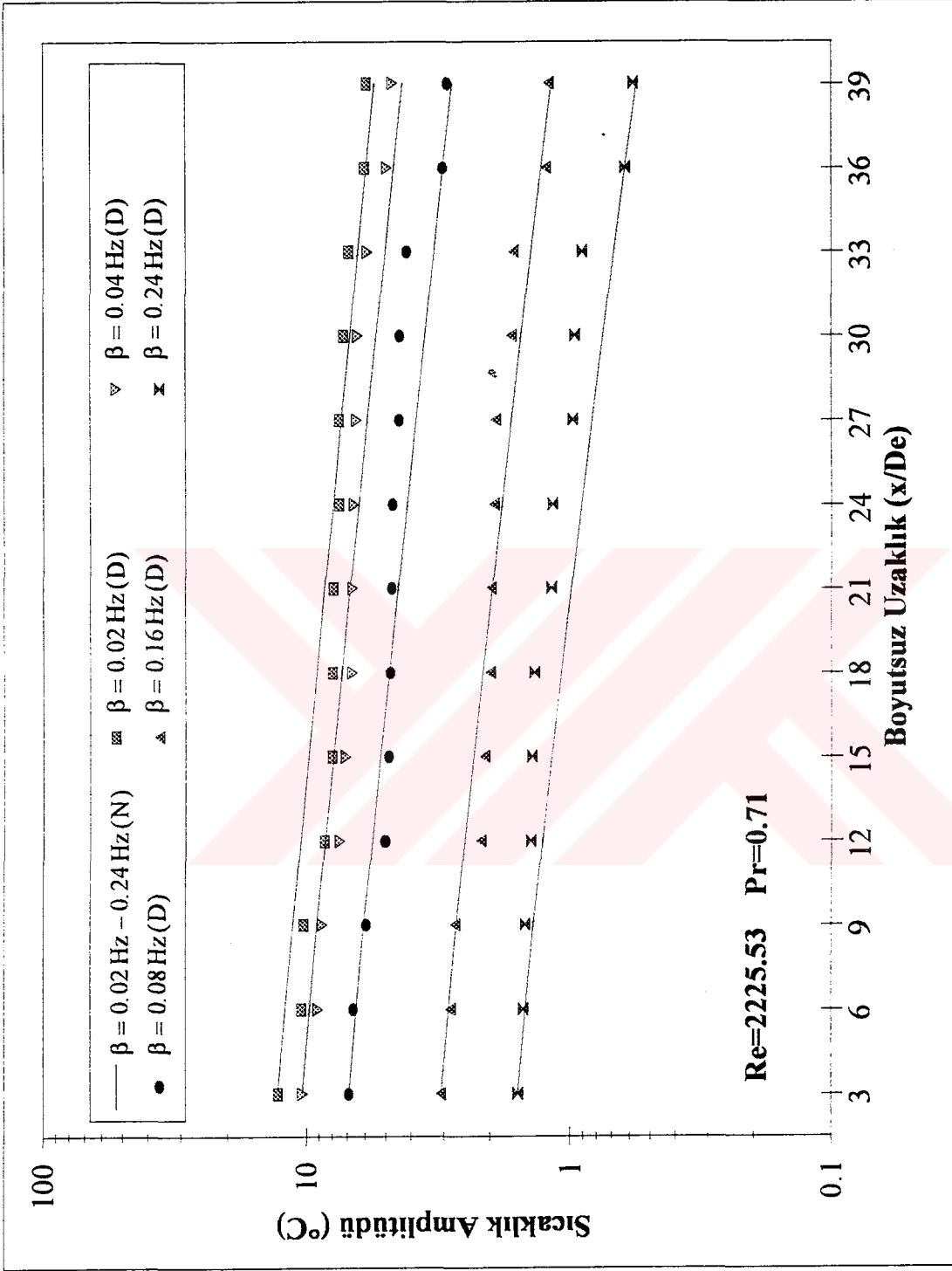
Şekil 6.28. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



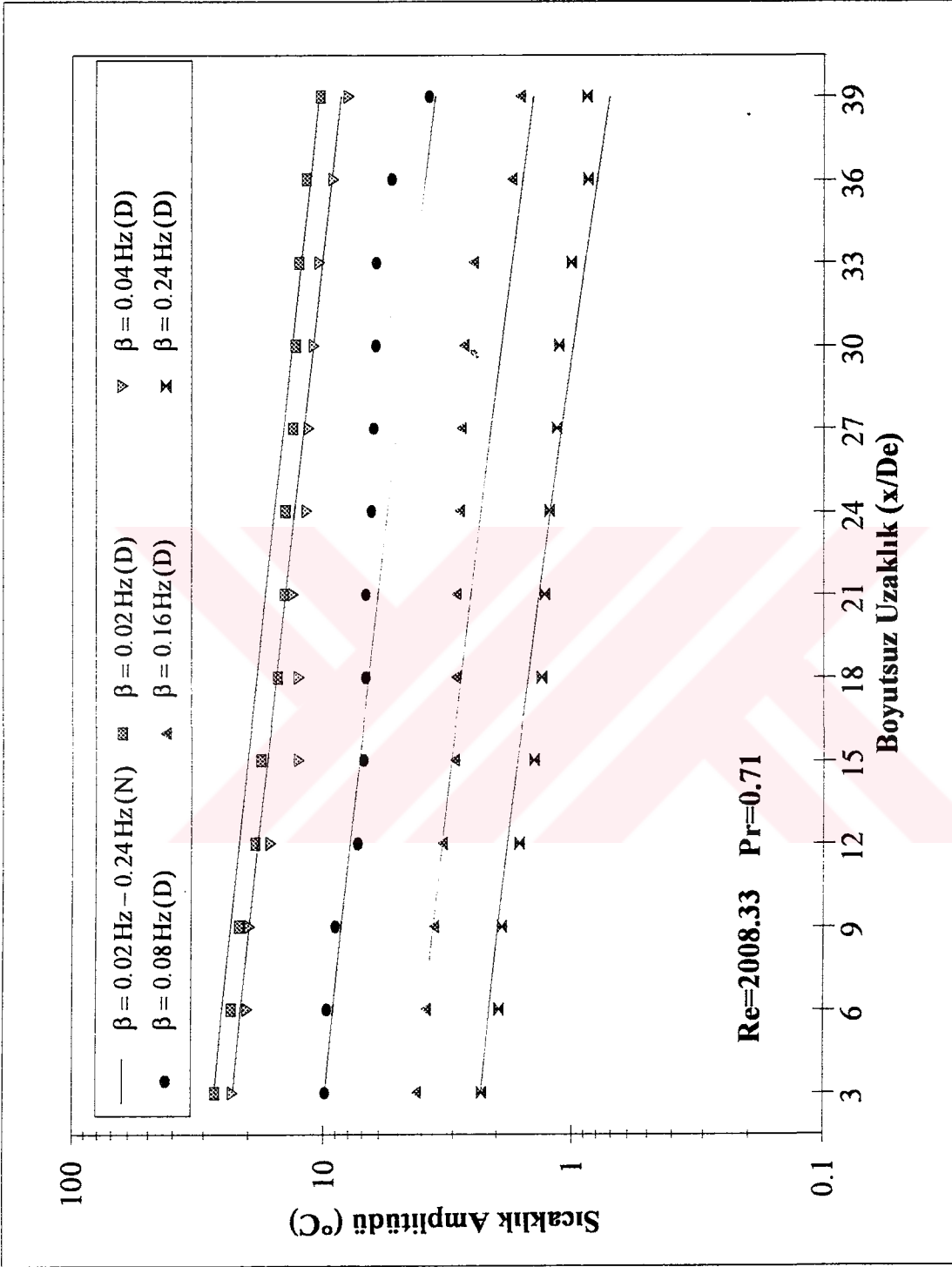
Şekil 6.29. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52$ - $Re=1121.62$) pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



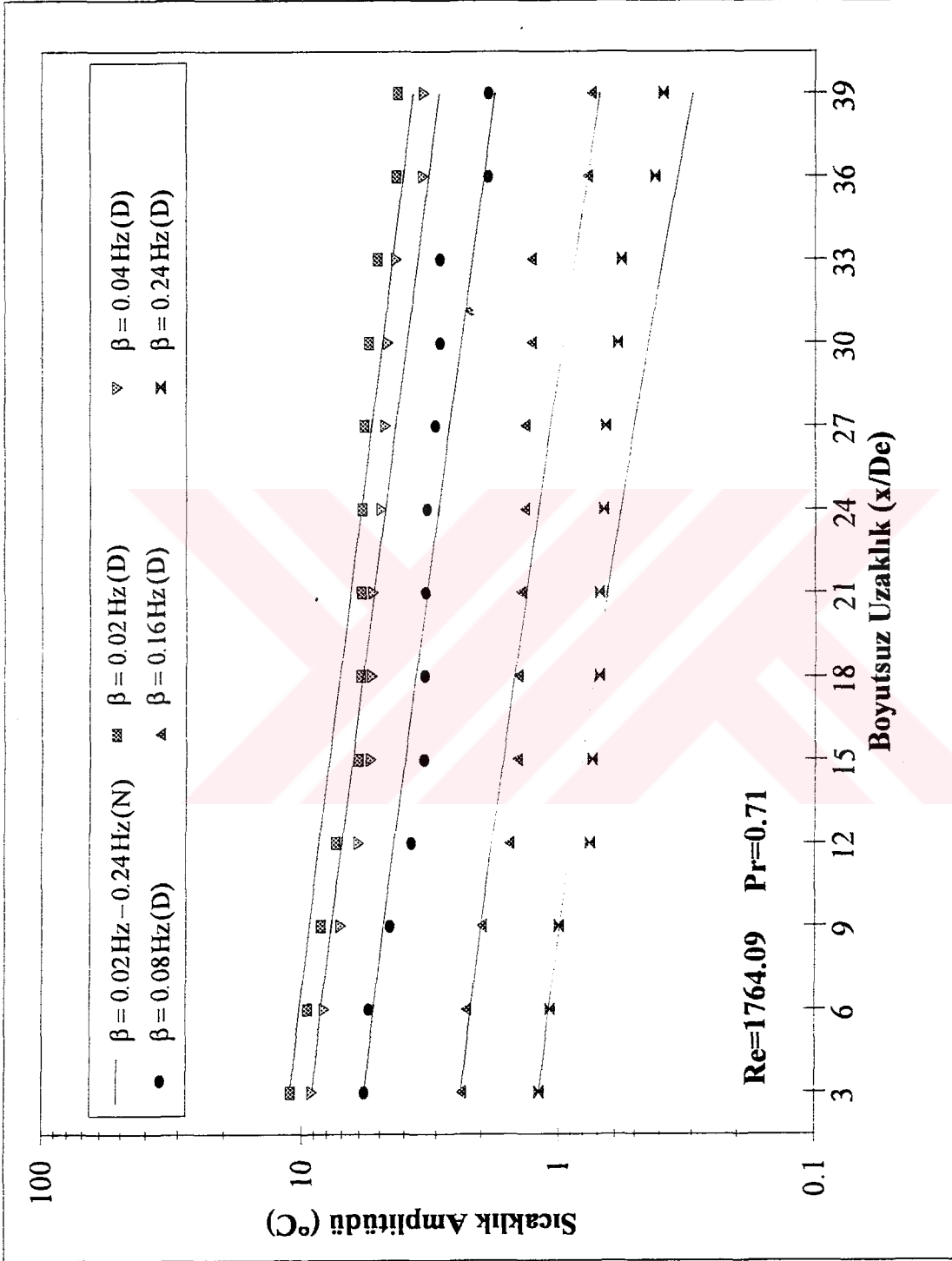
Şekil 6.30. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve farklı Reynolds sayılarında ($Re=2225.52-Re=1121.62$) için pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca boyutsuz sıcaklık amplitüdünün değişimi.



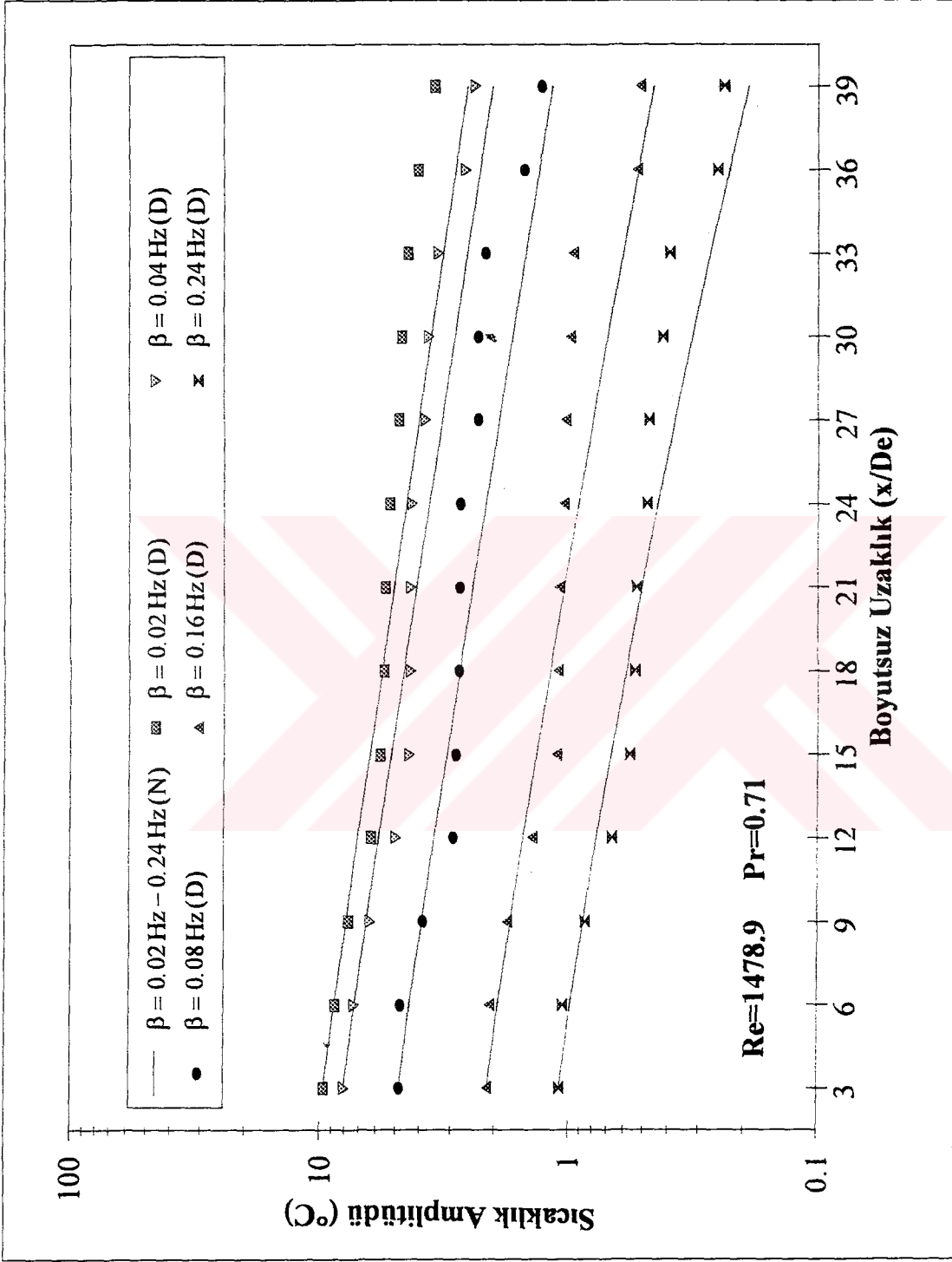
Şekil 6.31. Laminer termal giriş bölgesinde $Re \approx 2225$ sayısında, $Pr=0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta=0.02 \text{ Hz} - \beta=0.24 \text{ Hz}$) pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi.



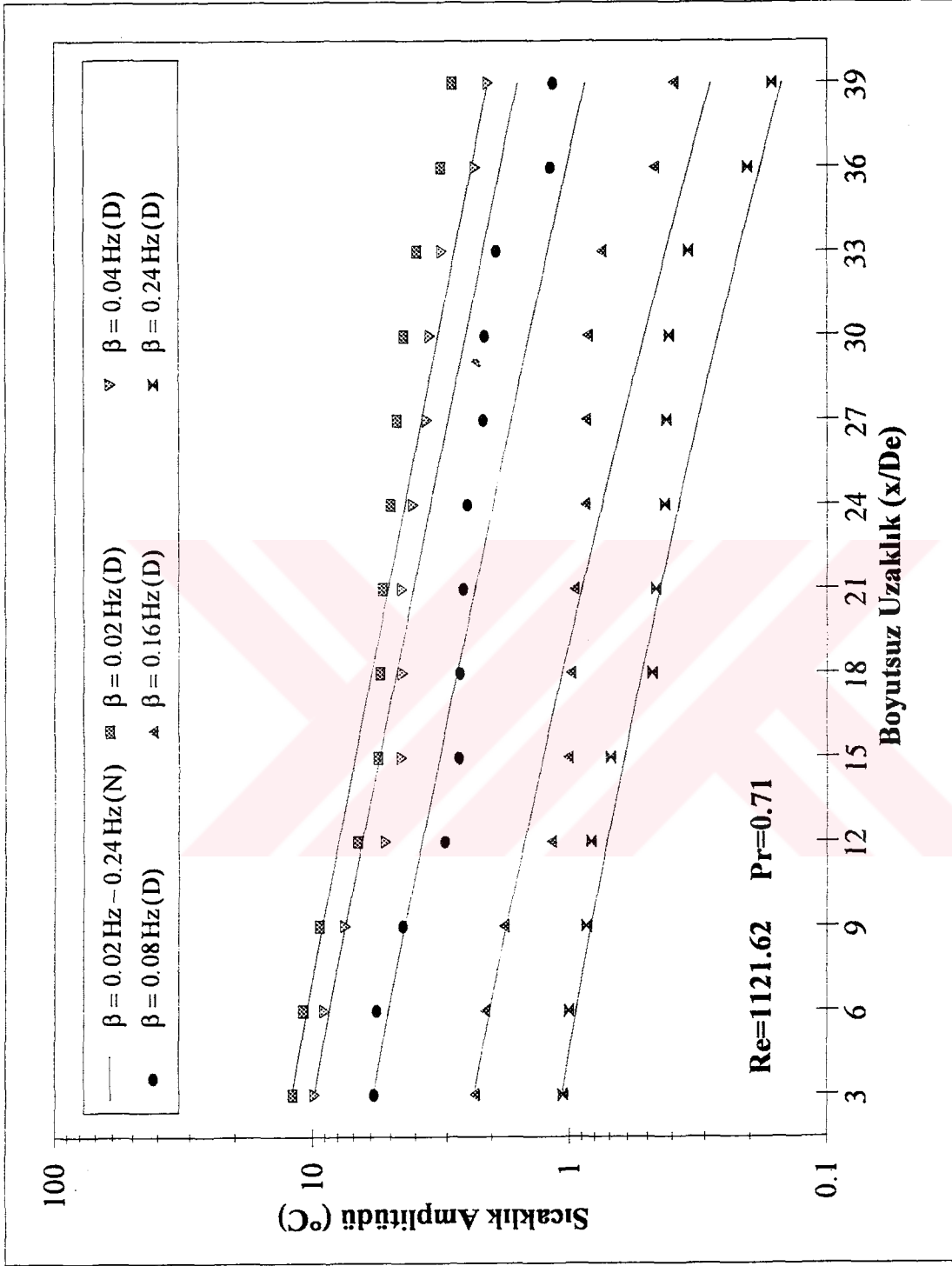
Şekil 6.32. Laminer termal giriş bölgesinde $Re \approx 2008$ sayısı, $Pr = 0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta = 0.02 \text{ Hz}$, $\beta = 0.04 \text{ Hz}$, $\beta = 0.08 \text{ Hz}$, $\beta = 0.16 \text{ Hz}$, $\beta = 0.24 \text{ Hz}$) pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi.



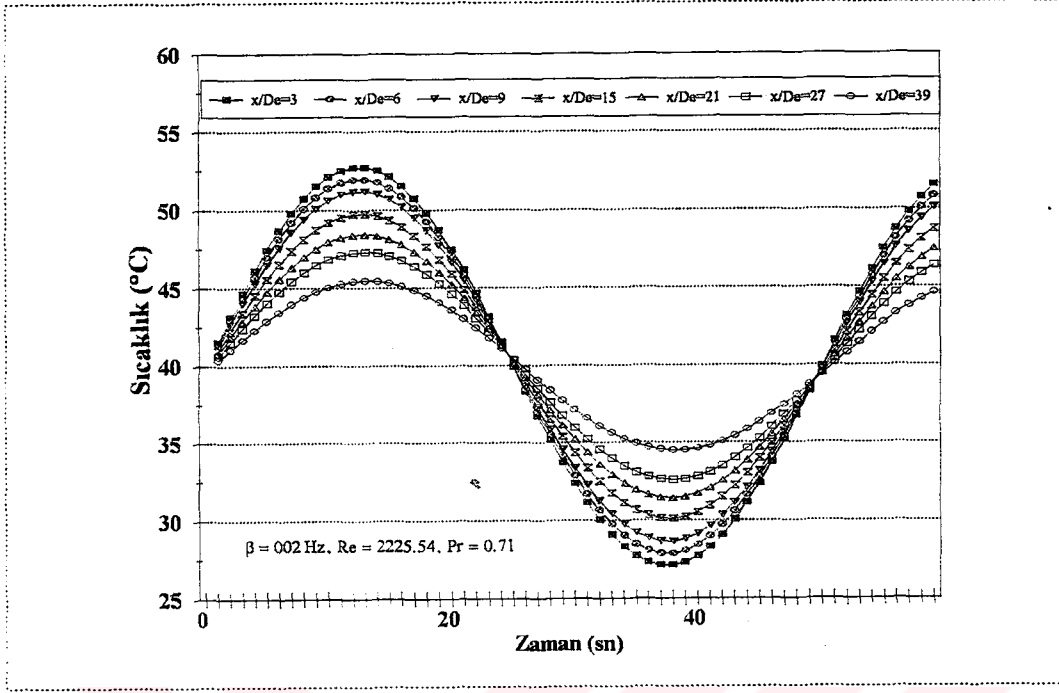
Şekil 6.33. Laminer termal giriş bölgesinde $Re \approx 1764$ sayısı, $Pr = 0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta = 0.02\text{ Hz} - 0.24\text{ Hz}$) pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi.



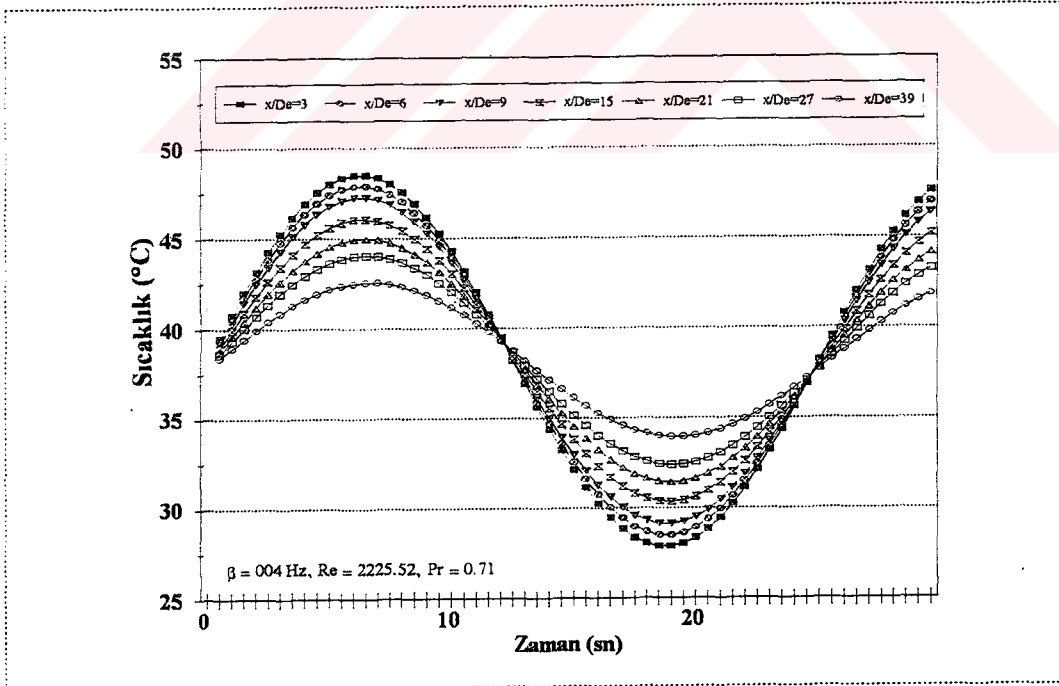
Şekil 6.34. Laminer termal giriş bölgesinde $Re \approx 1478$ sayısı, $Pr = 0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta = 0.02 \text{ Hz} - \beta = 0.24 \text{ Hz}$) pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi.



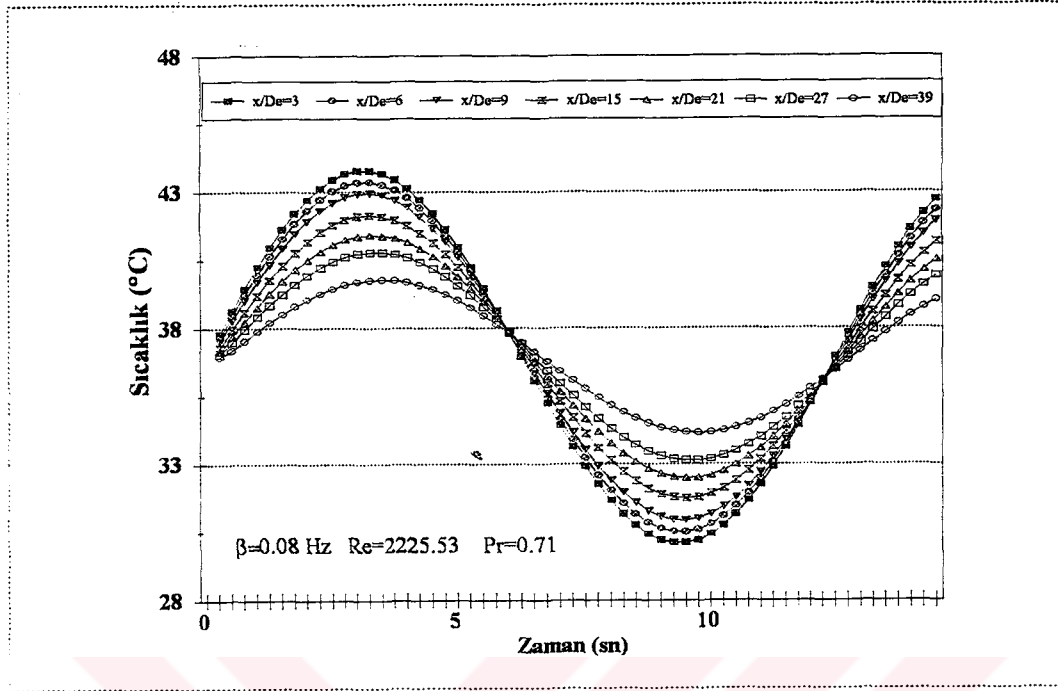
Şekil 6.35. Laminer termal giriş bölgesinde $Re \approx 1121$ sayısı, $Pr = 0.71$ ve farklı giriş frekansları ($\beta = 0.02 \text{ Hz} - \beta = 0.24 \text{ Hz}$) için pürüzsüz kanalda kanal eksenli boyunca sıcaklık amplitüdünün değişimi.



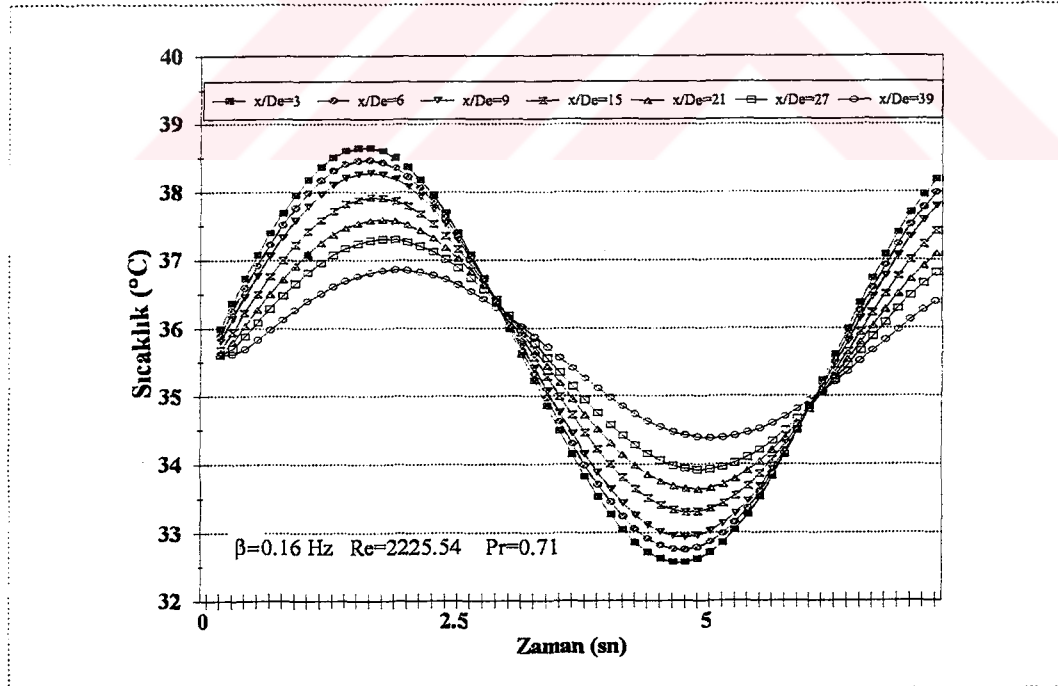
Şekil 6.36. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.51$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



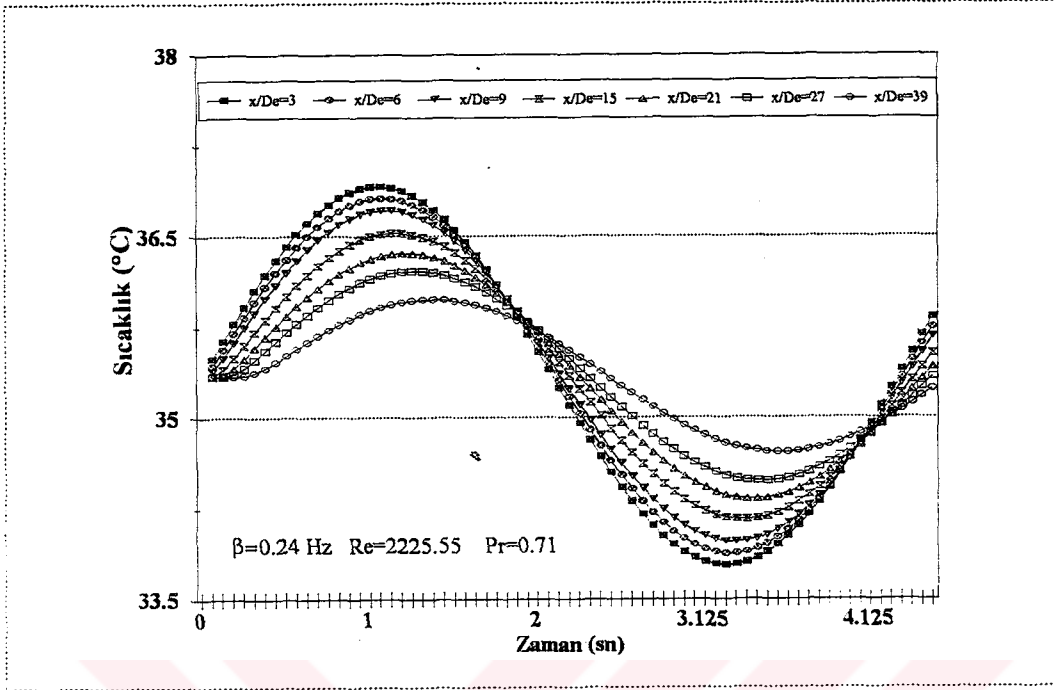
Şekil 6.36. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.52$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



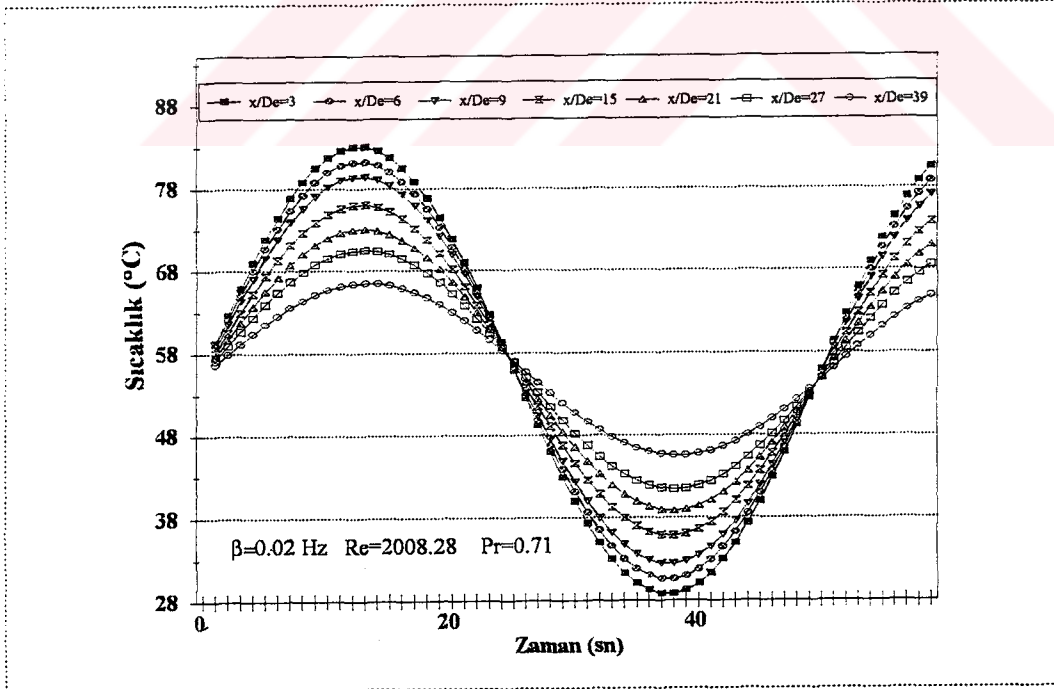
Şekil 6.38. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.53$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



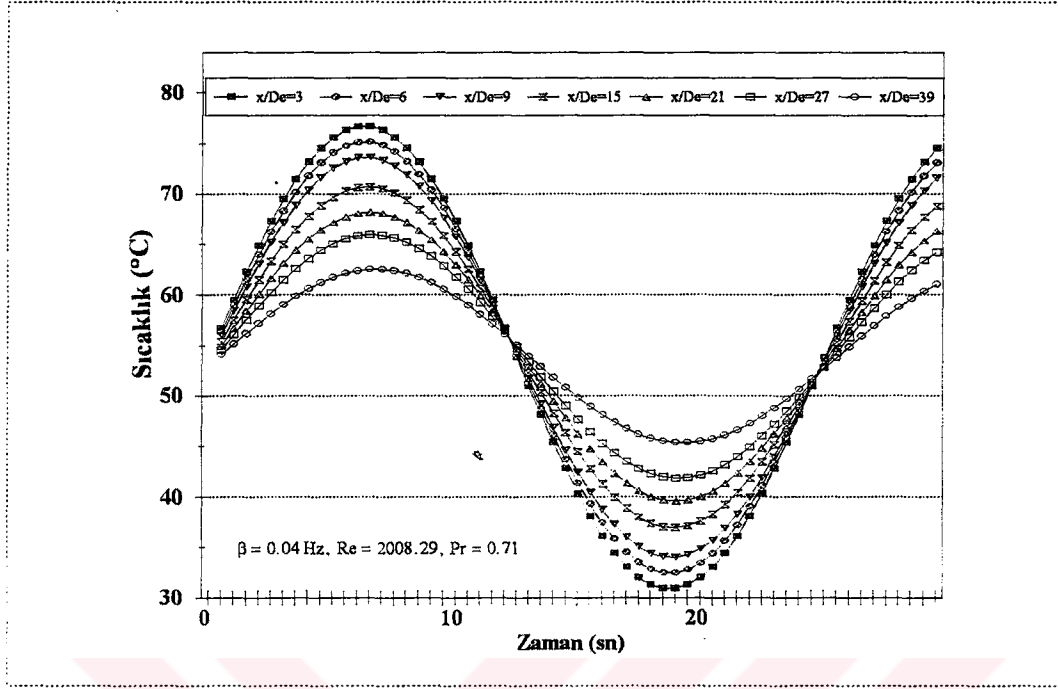
Şekil 6.39. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.54$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



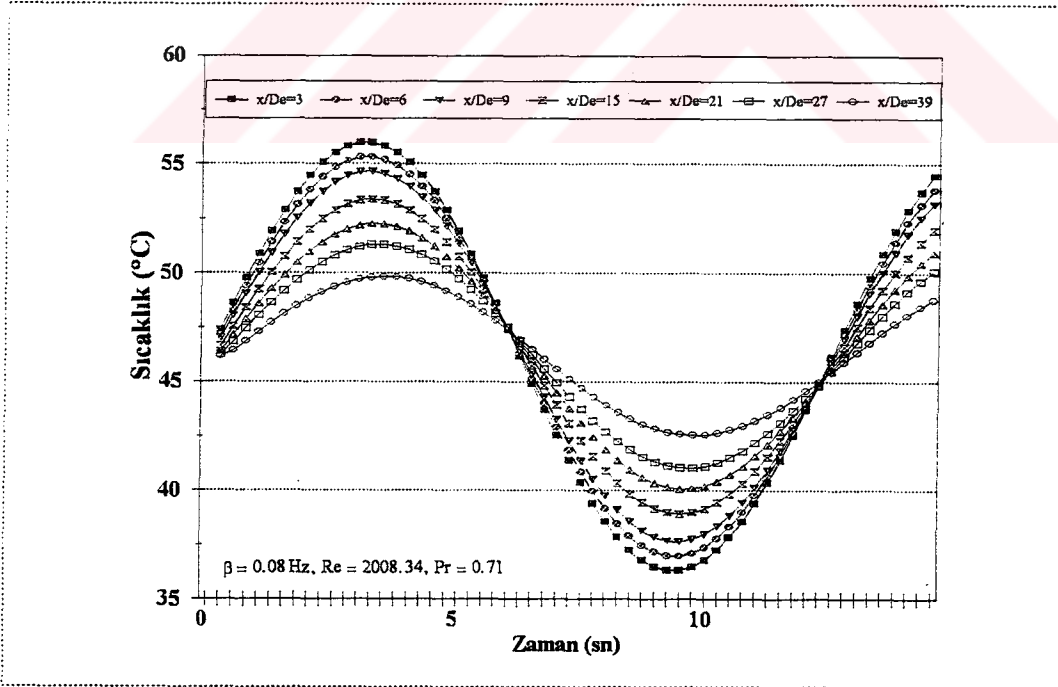
Şekil 6.40. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.55$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



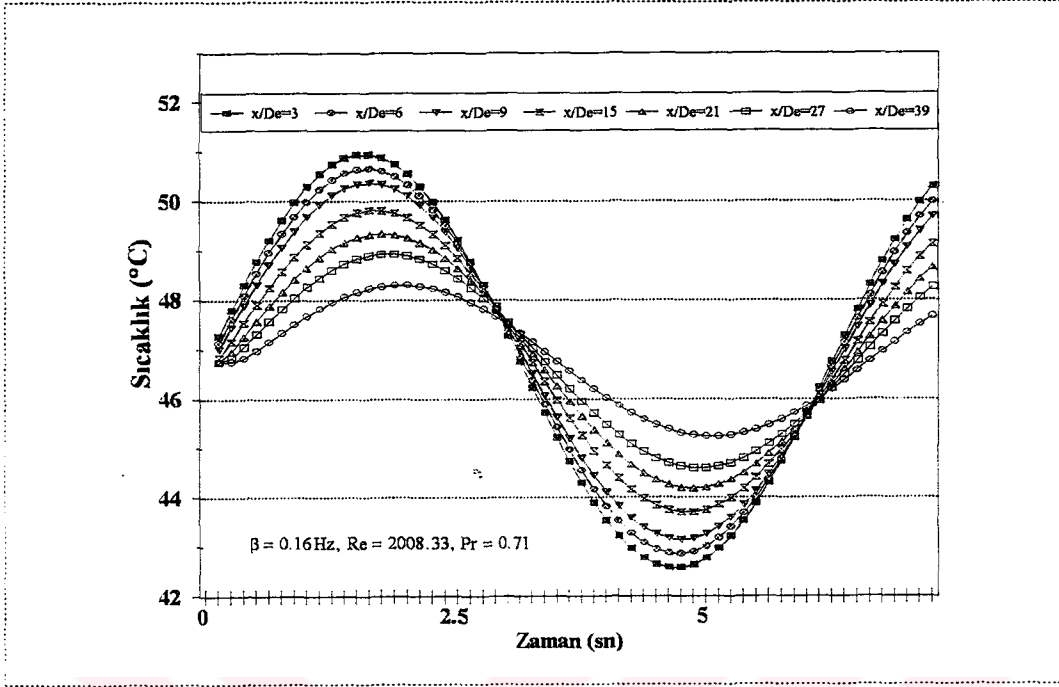
Şekil 6.41. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.28$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



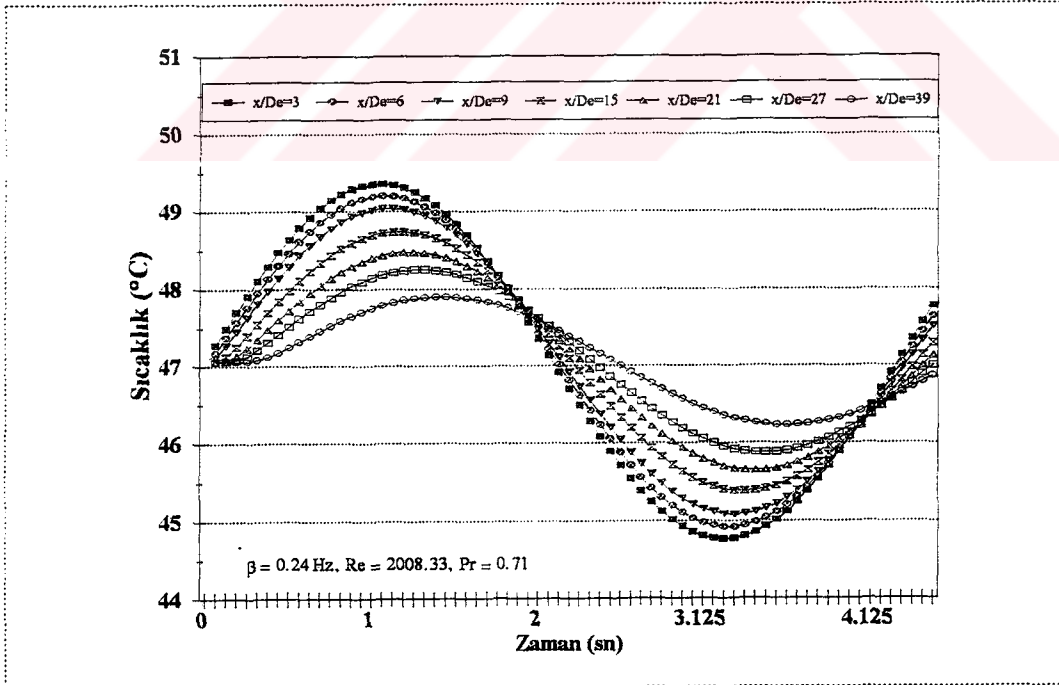
Şekil 6.42. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.29$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değışimi.



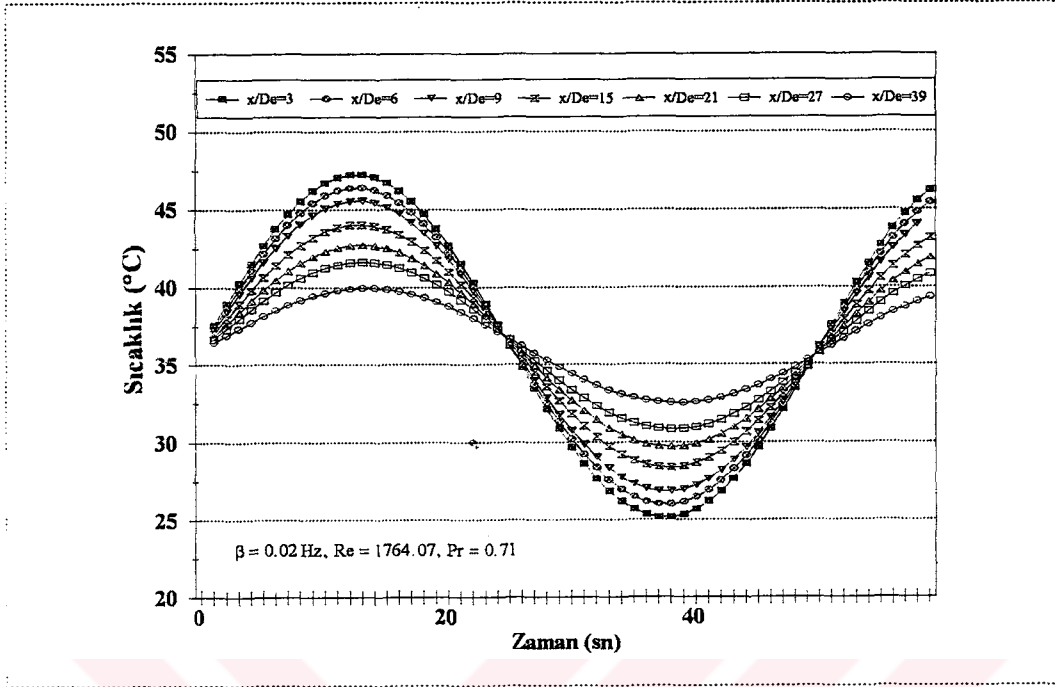
Şekil 6.43. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.34$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değışimi.



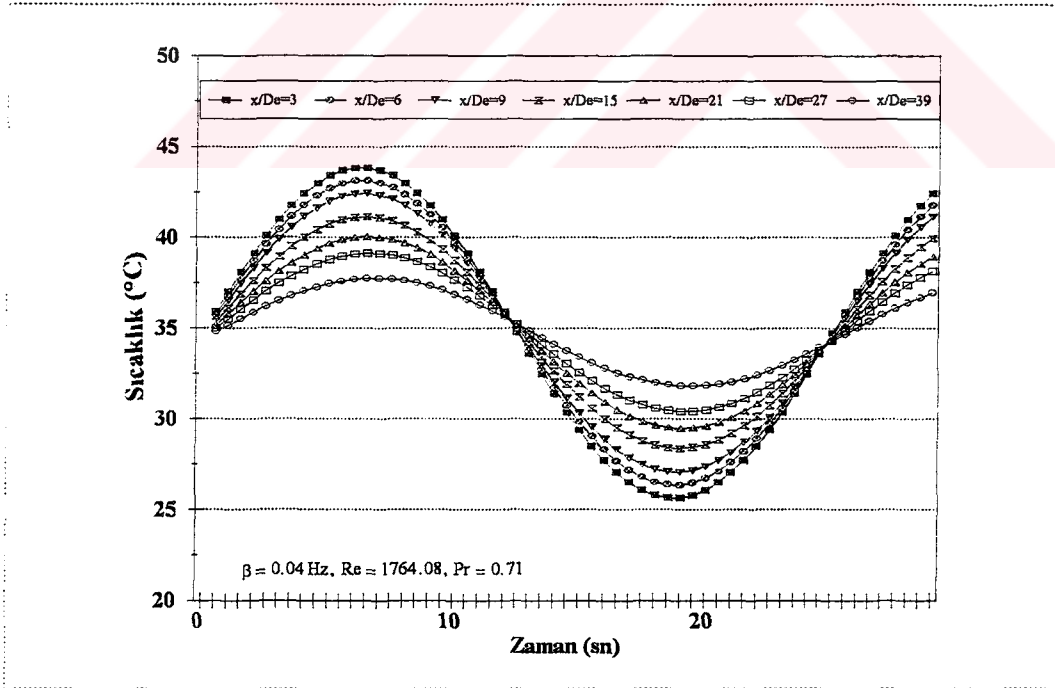
Şekil 6.44. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



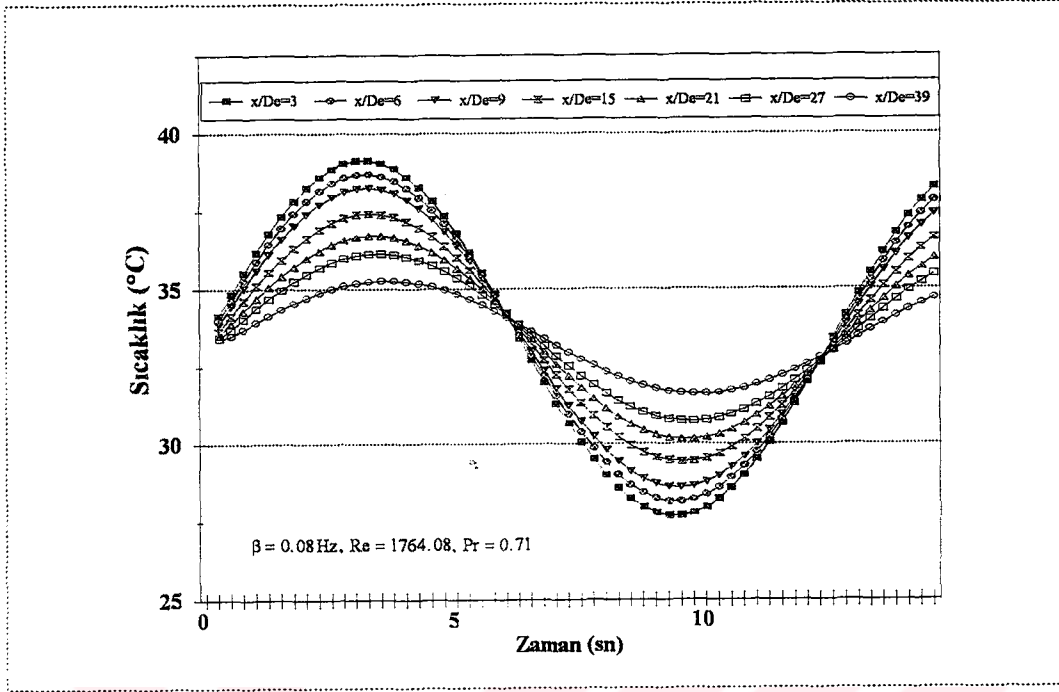
Şekil 6.45. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



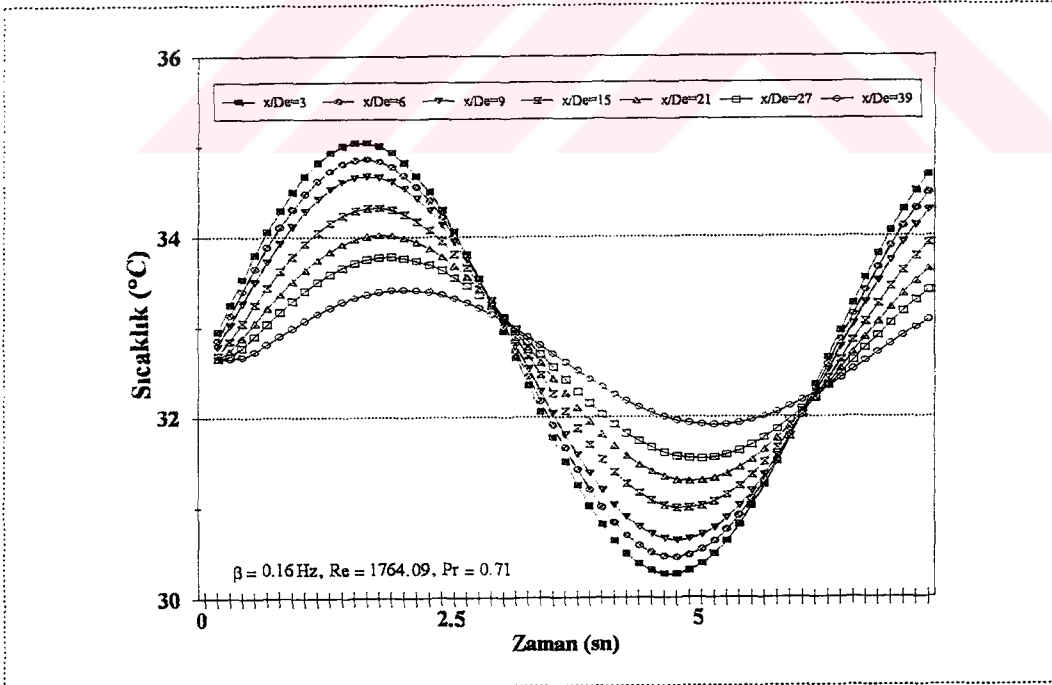
Şekil 6.46. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.07$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



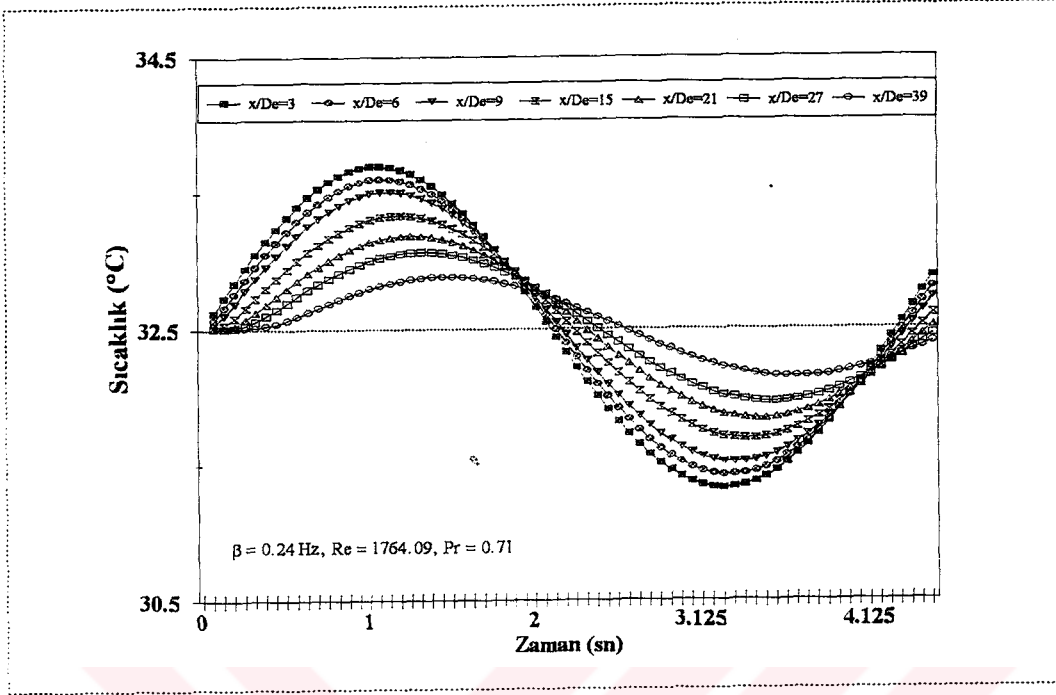
Şekil 6.47. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



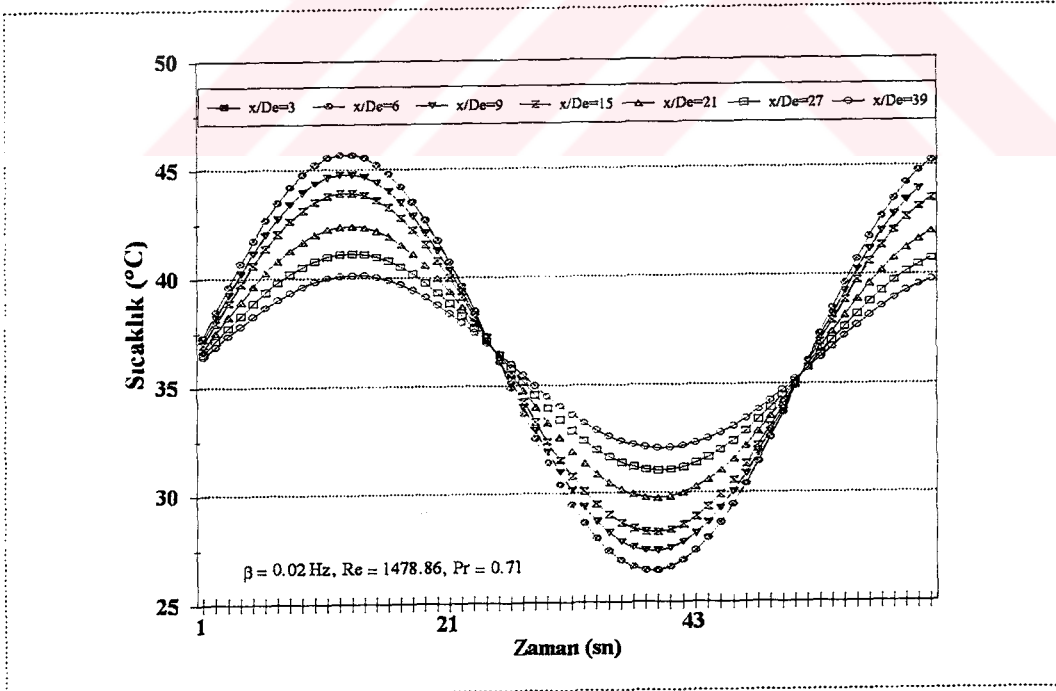
Şekil 6.48. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



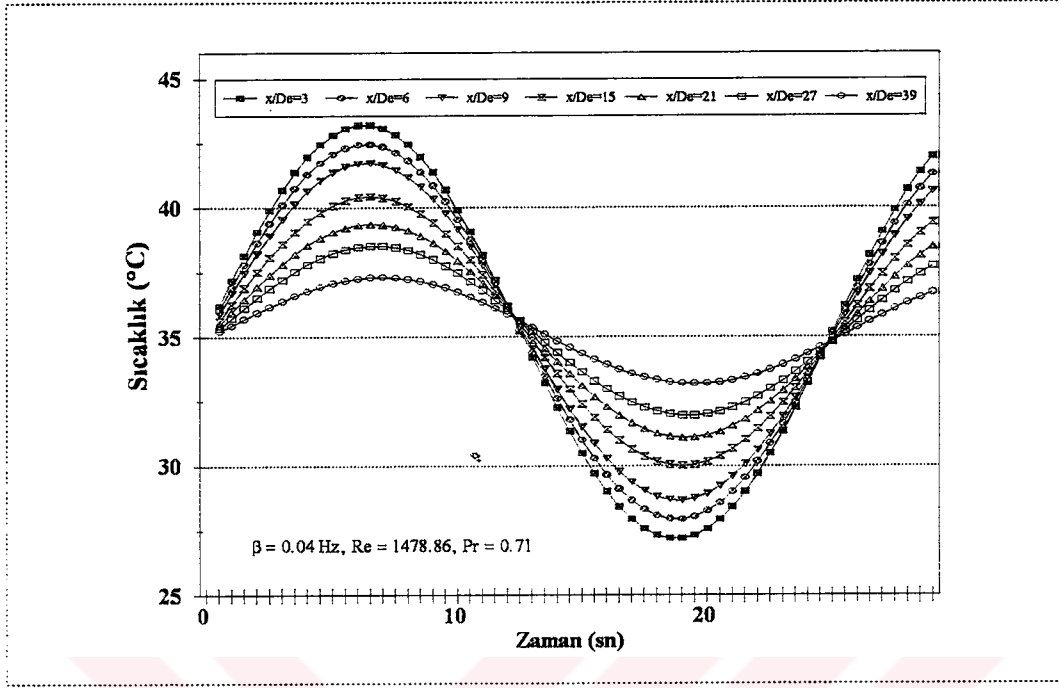
Şekil 6.49. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



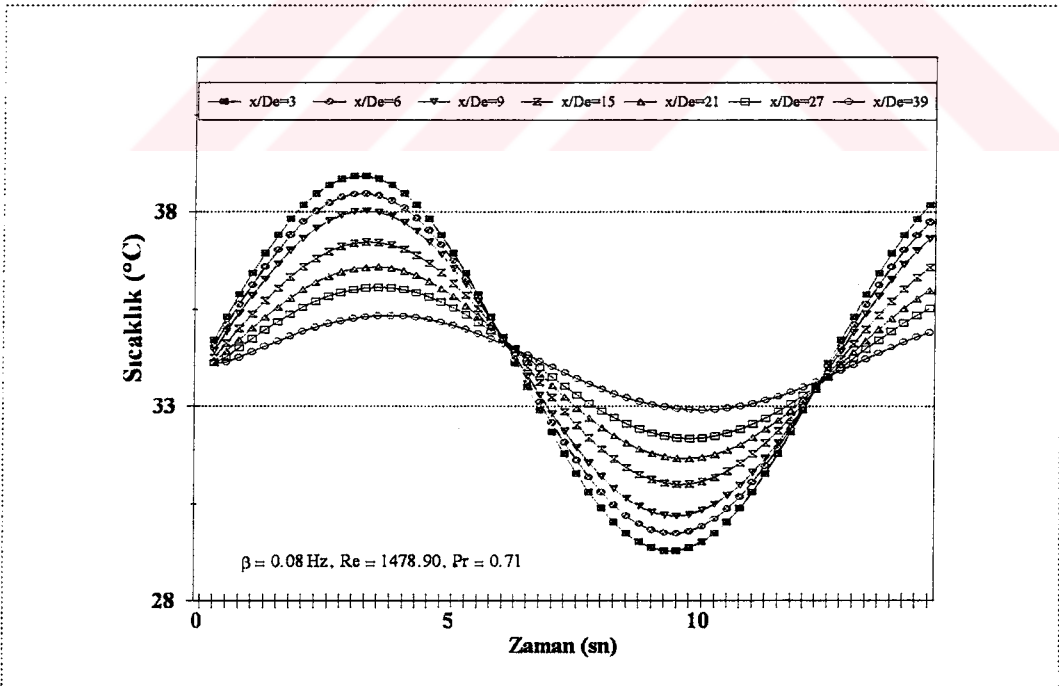
Şekil 6.50. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



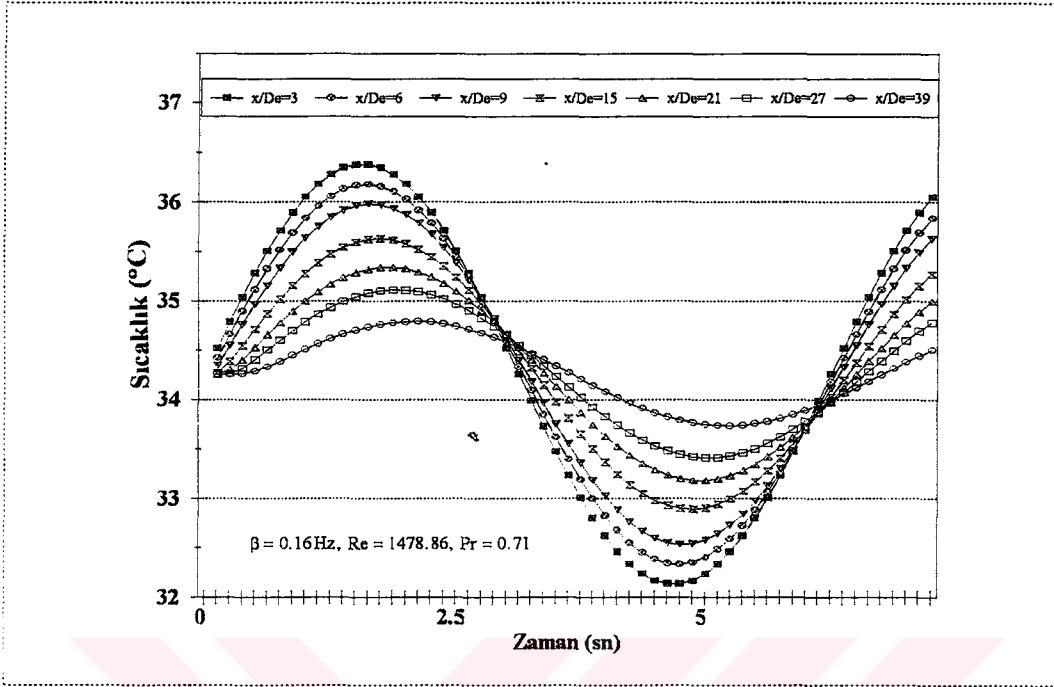
Şekil 6.51. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



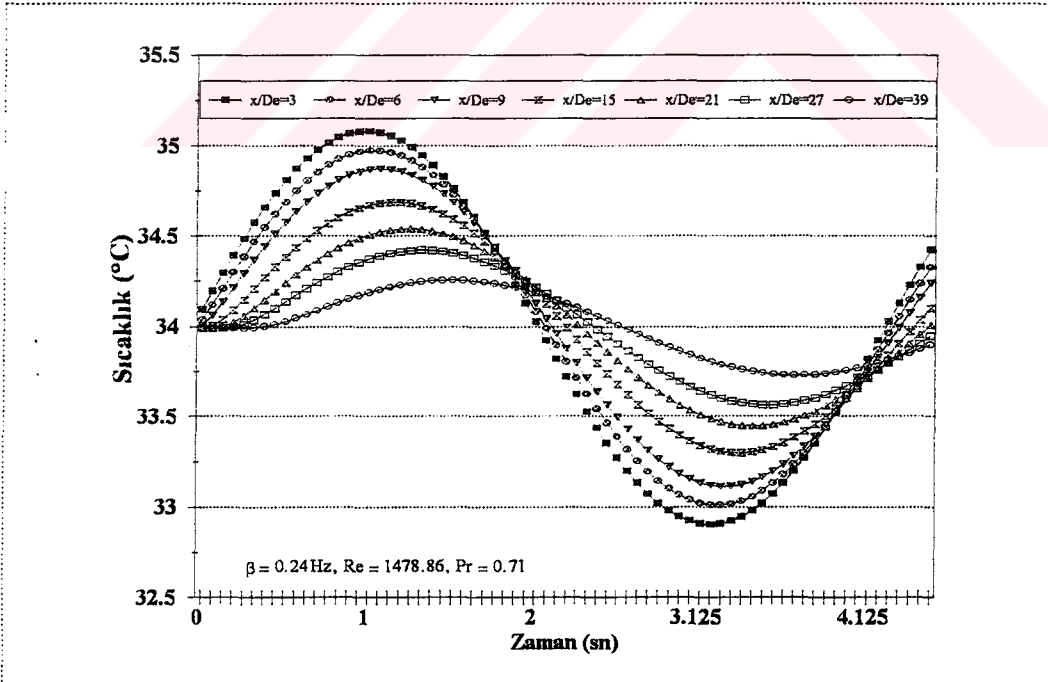
Şekil 6.52. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



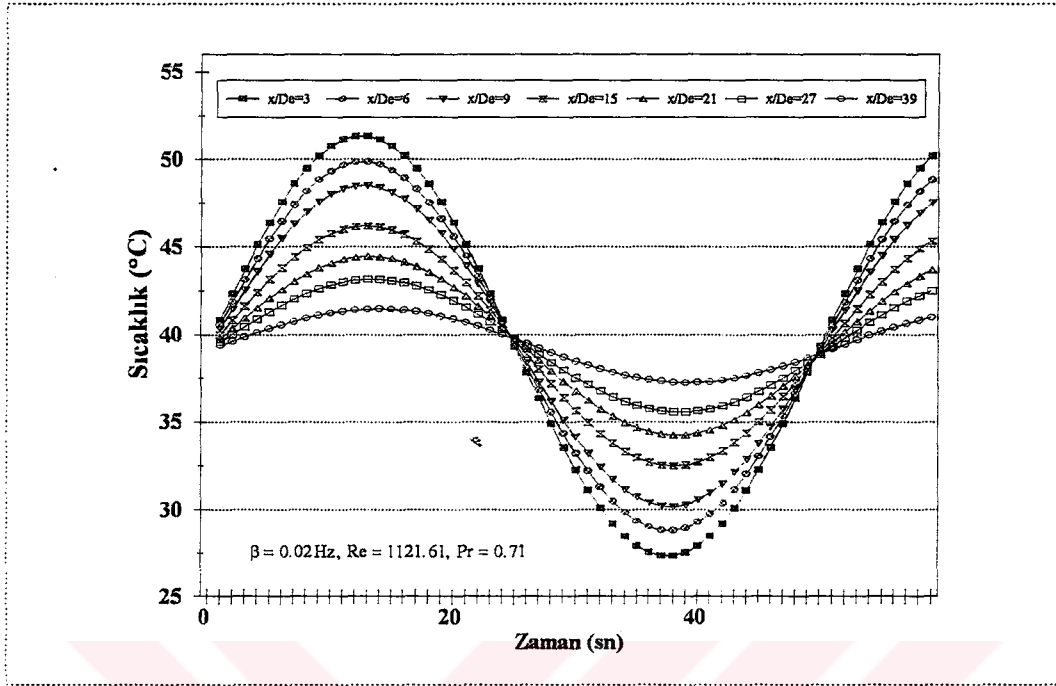
Şekil 6.53. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.90$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



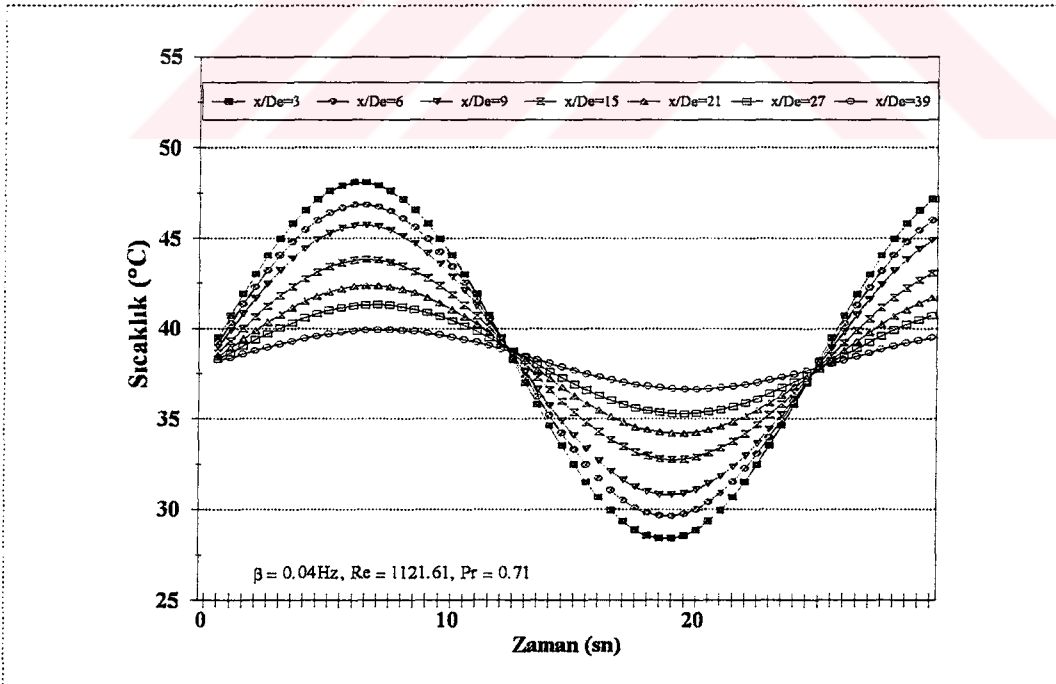
Şekil 6.54. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



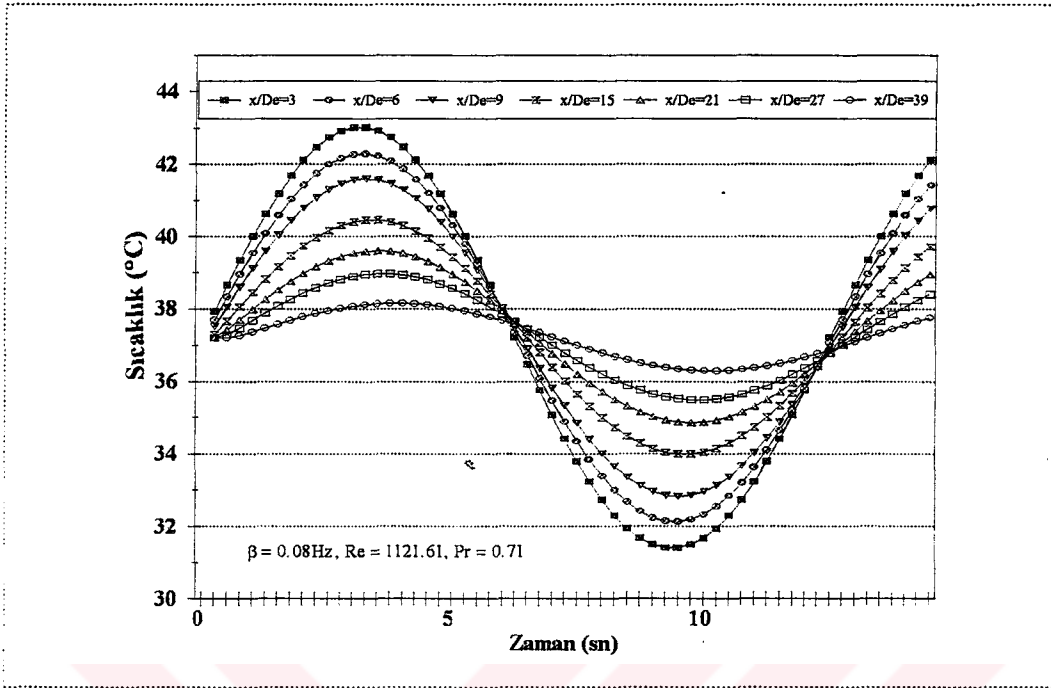
Şekil 6.55. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenine boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



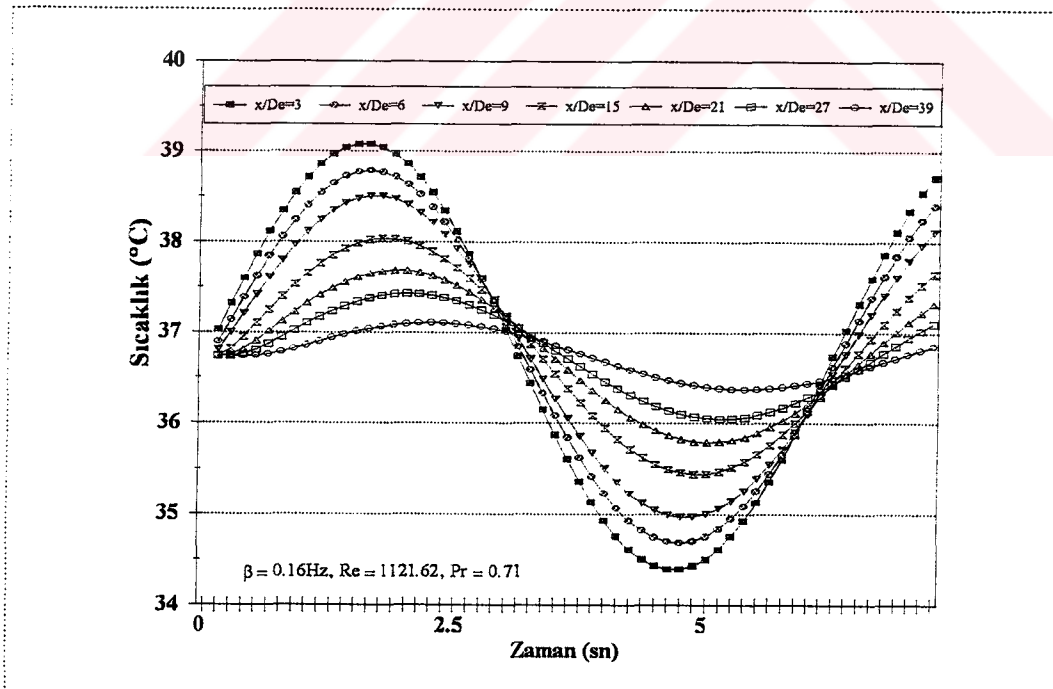
Şekil 6.56. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02 \text{ Hz}$ giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



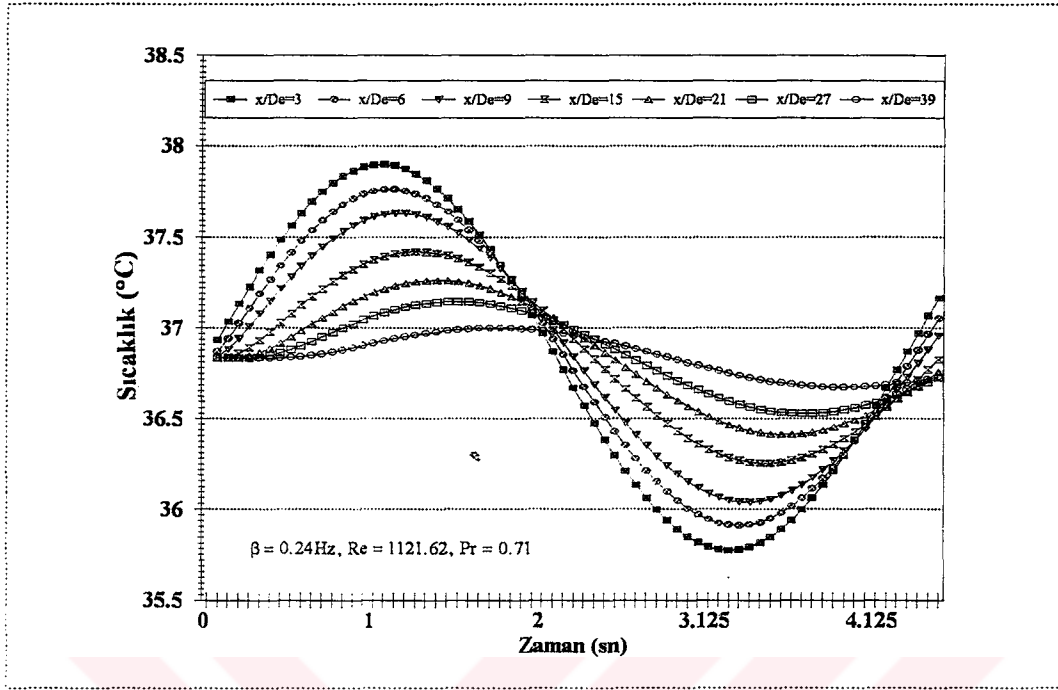
Şekil 6.57. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04 \text{ Hz}$ giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenini boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



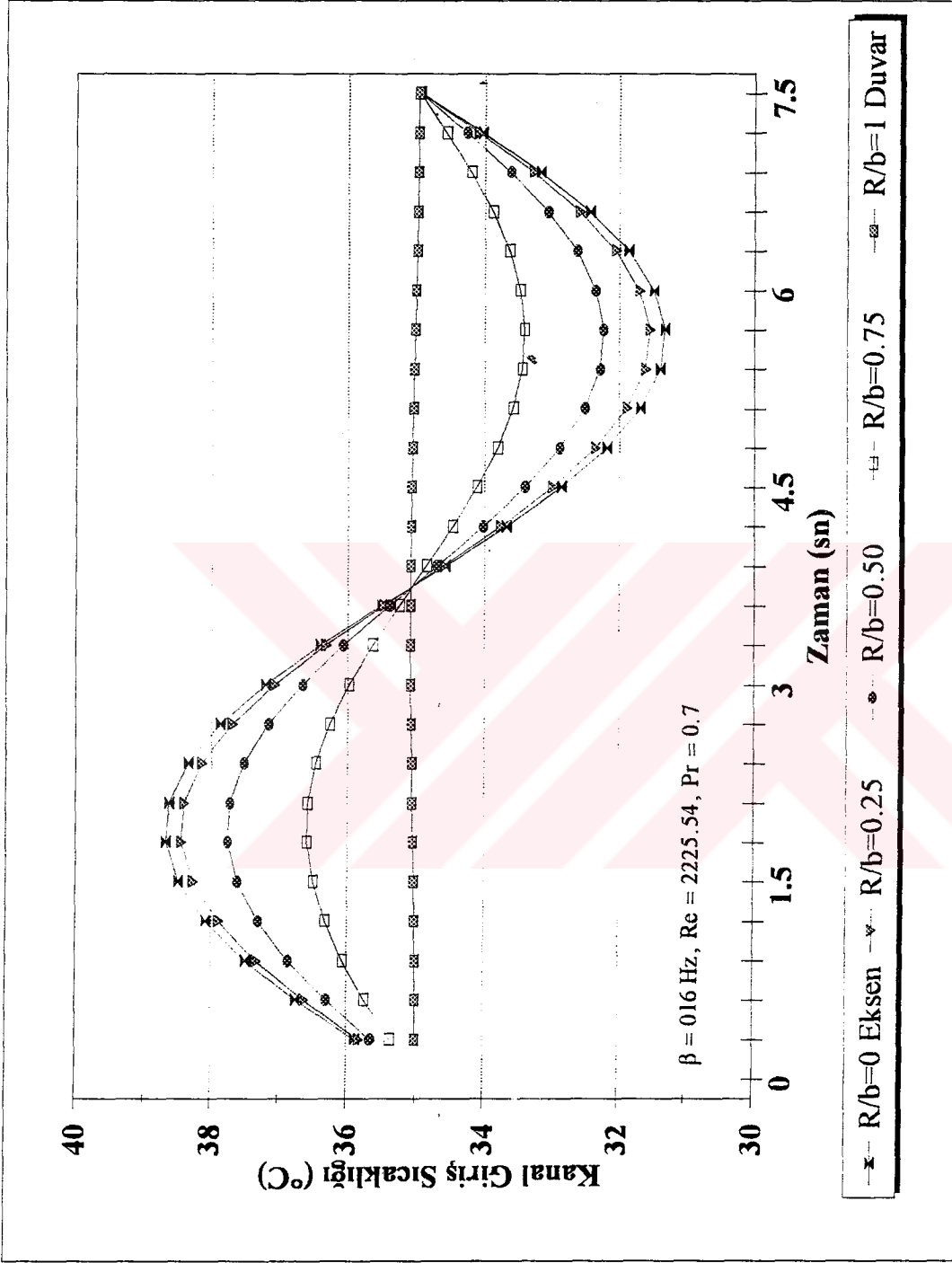
Şekil 6.58. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



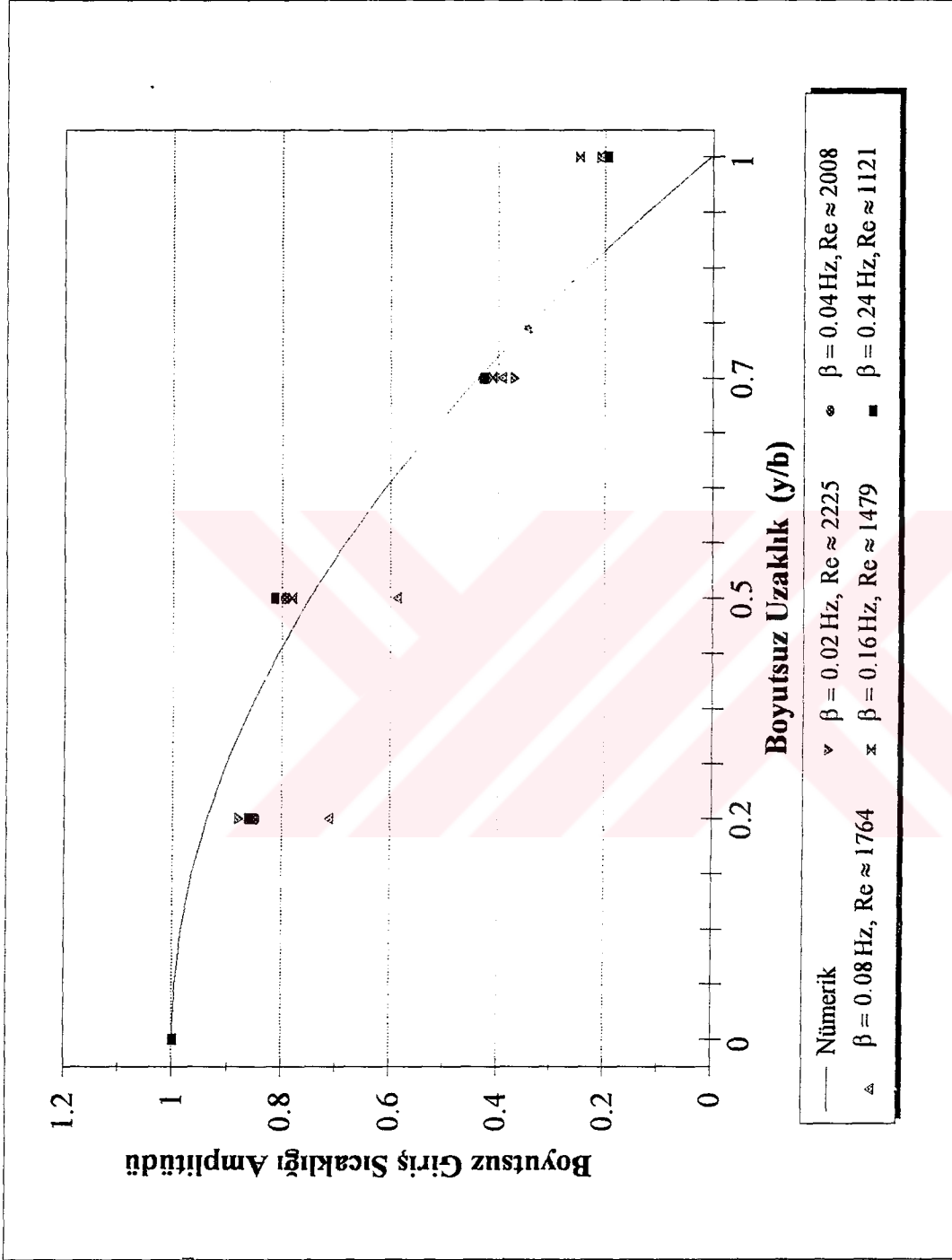
Şekil 6.59. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



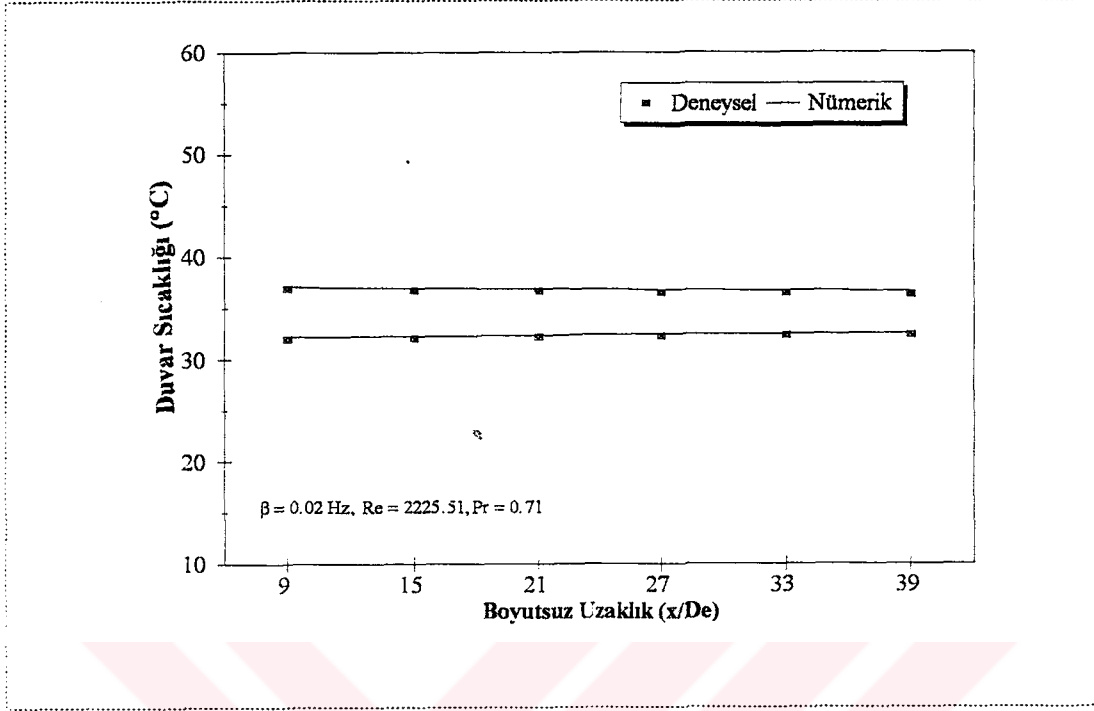
Şekil 6.60. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.25$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda kanal eksenı boyunca bazı noktalarının sıcaklık değişimi.



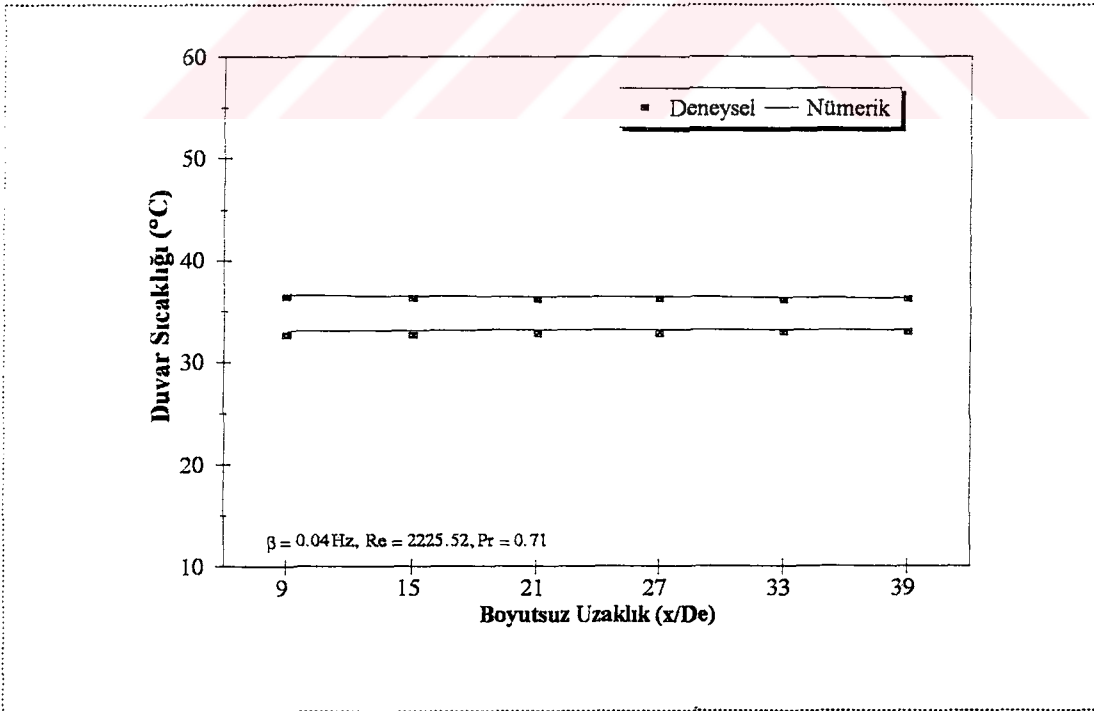
Şekil 6.61 Laminer termal giriş bölgesinde $Re=2225.54$, $Pr=0.71$ ve $\beta=0.16 \text{ Hz}$ giriş frekansında pürüzsüz kanalda kanal giriş sıcaklığı değişimi



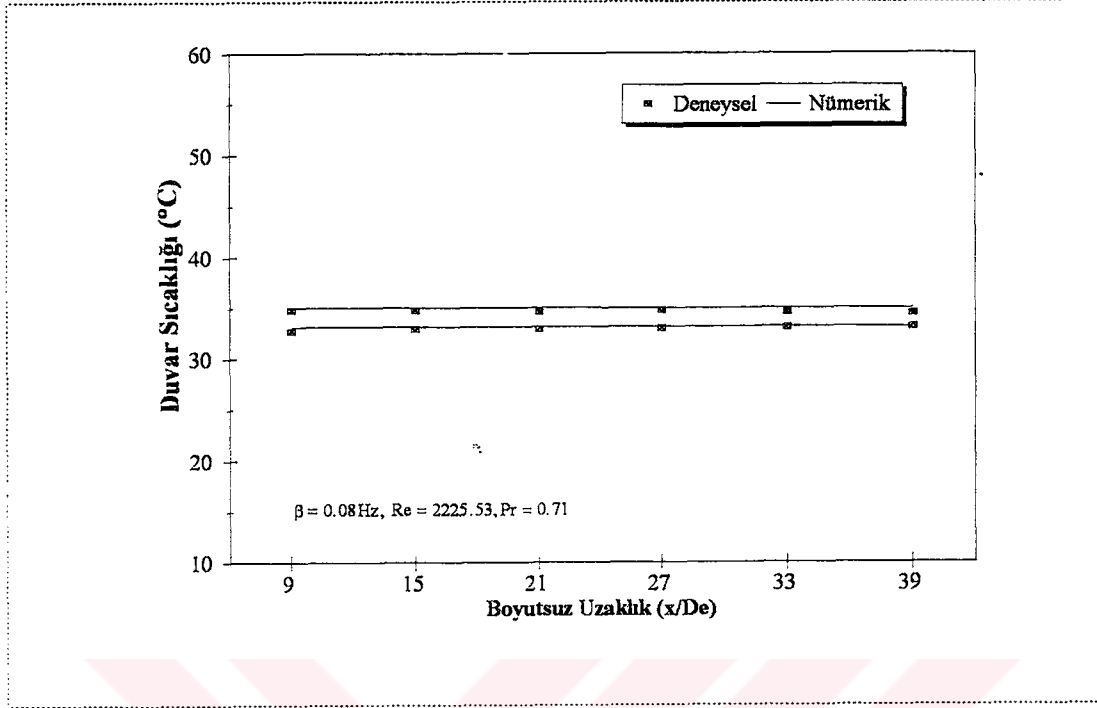
Şekil 6.62 Laminer termal giriş bölgesinde pürüzsüz kanal için boyutsuz giriş sıcaklığı amplitüd profili
 $2225 > Re > 1121$, $Pr = 0.71$ ($0.02 \text{ Hz} < \beta < 0.16 \text{ Hz}$)



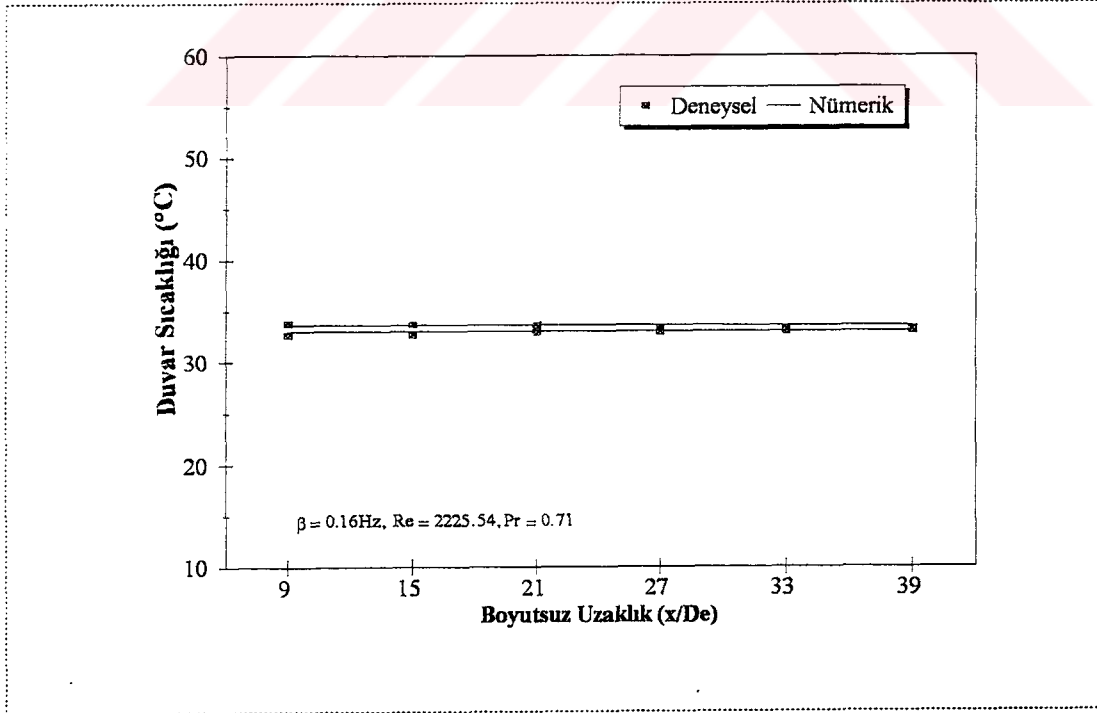
Şekil 6.63. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.51$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



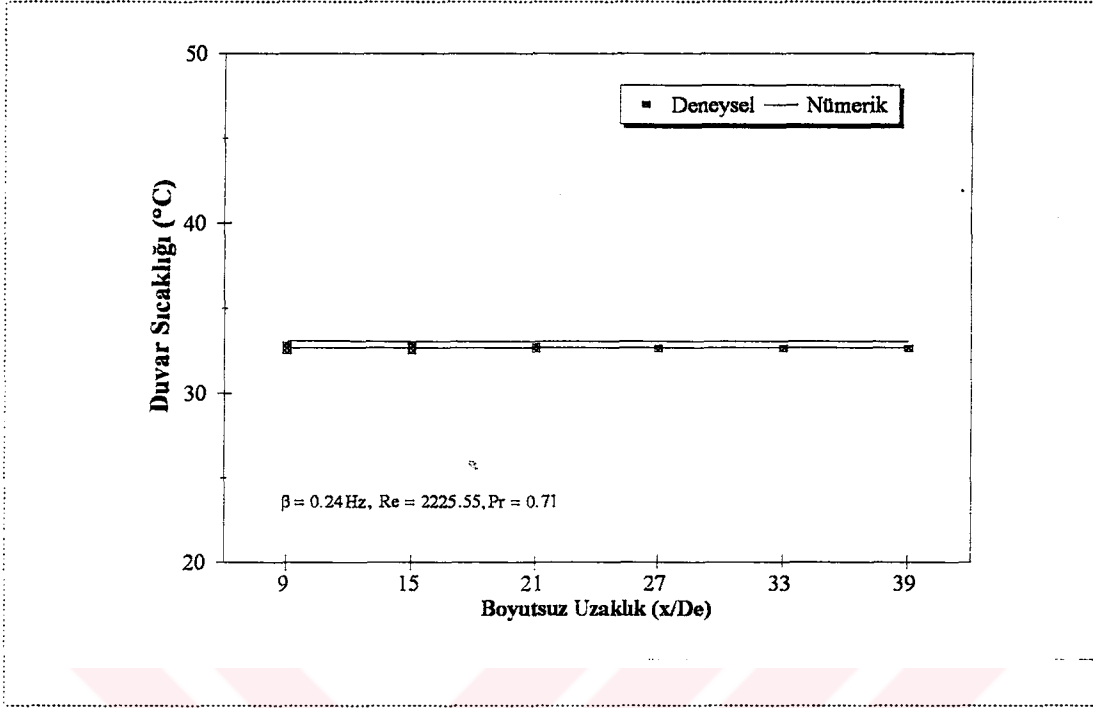
Şekil 6.64. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.52$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



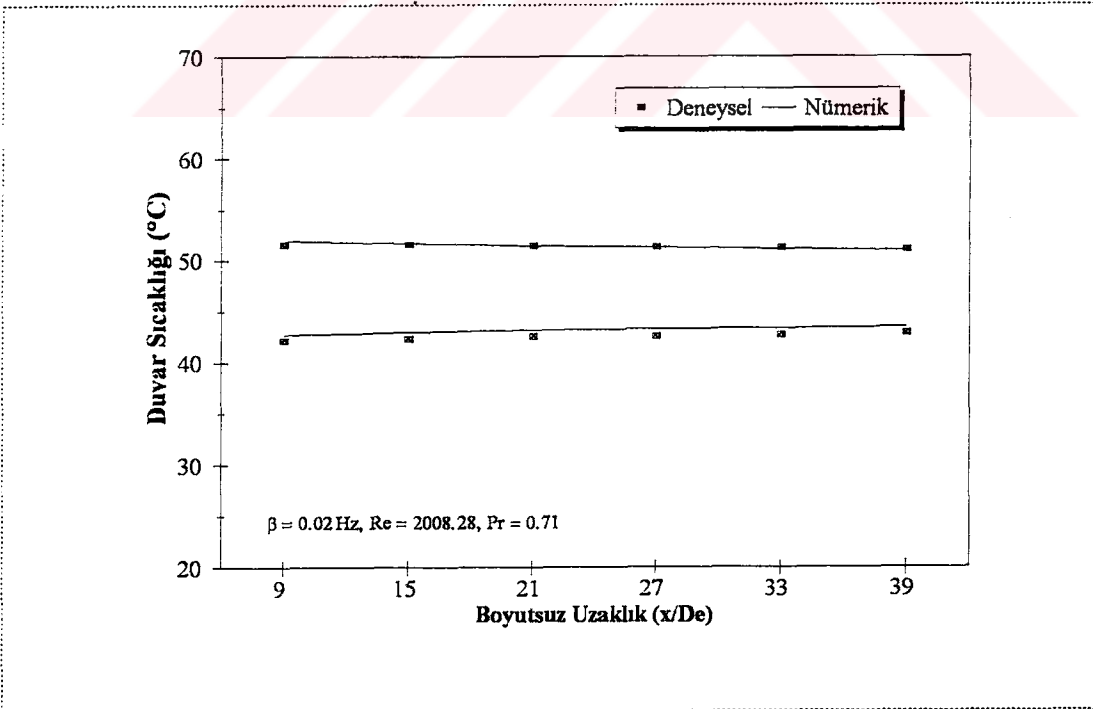
Şekil 6.65. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.53$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



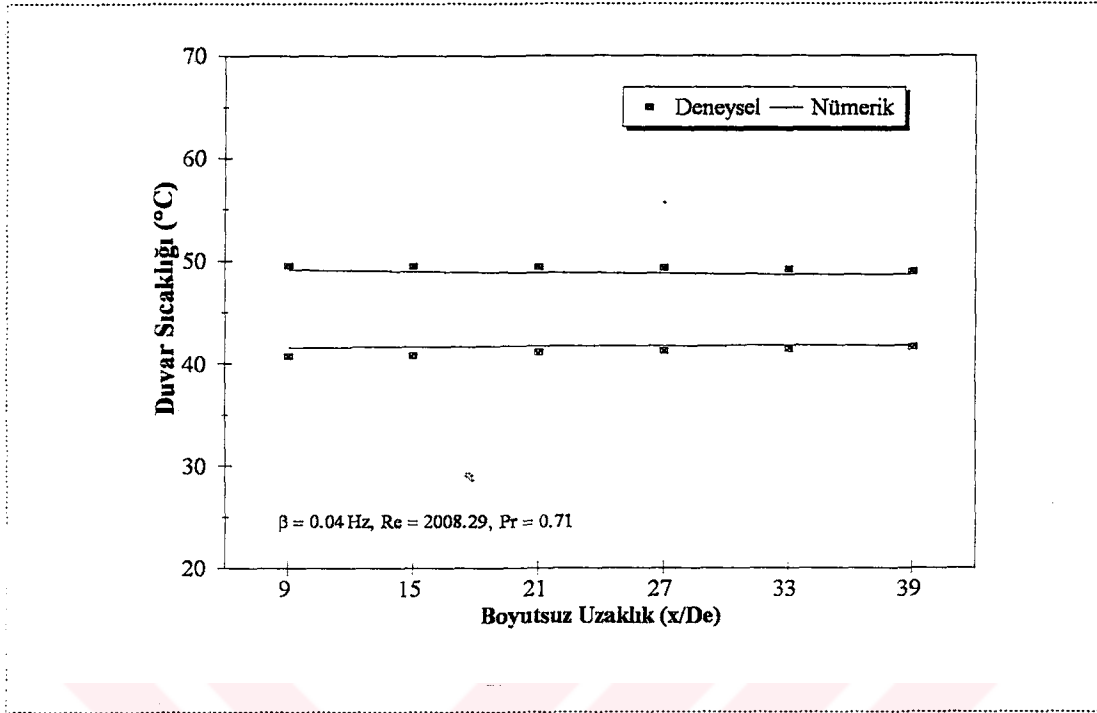
Şekil 6.66. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.54$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



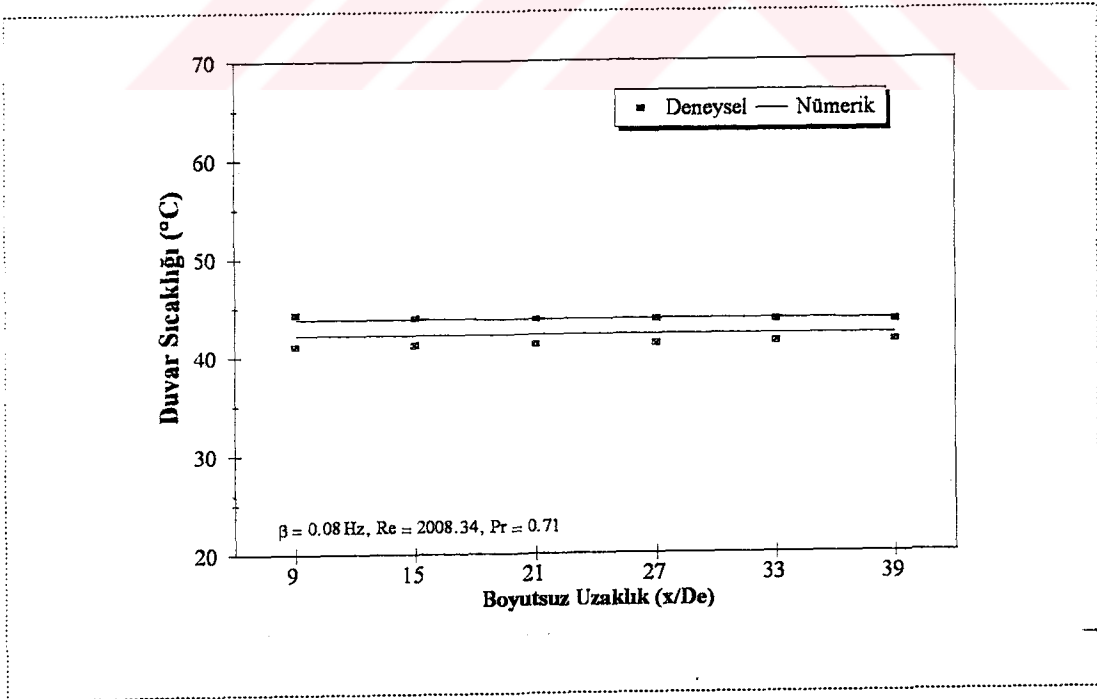
Şekil 6.67. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24 \text{ Hz}$ giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2225.55$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



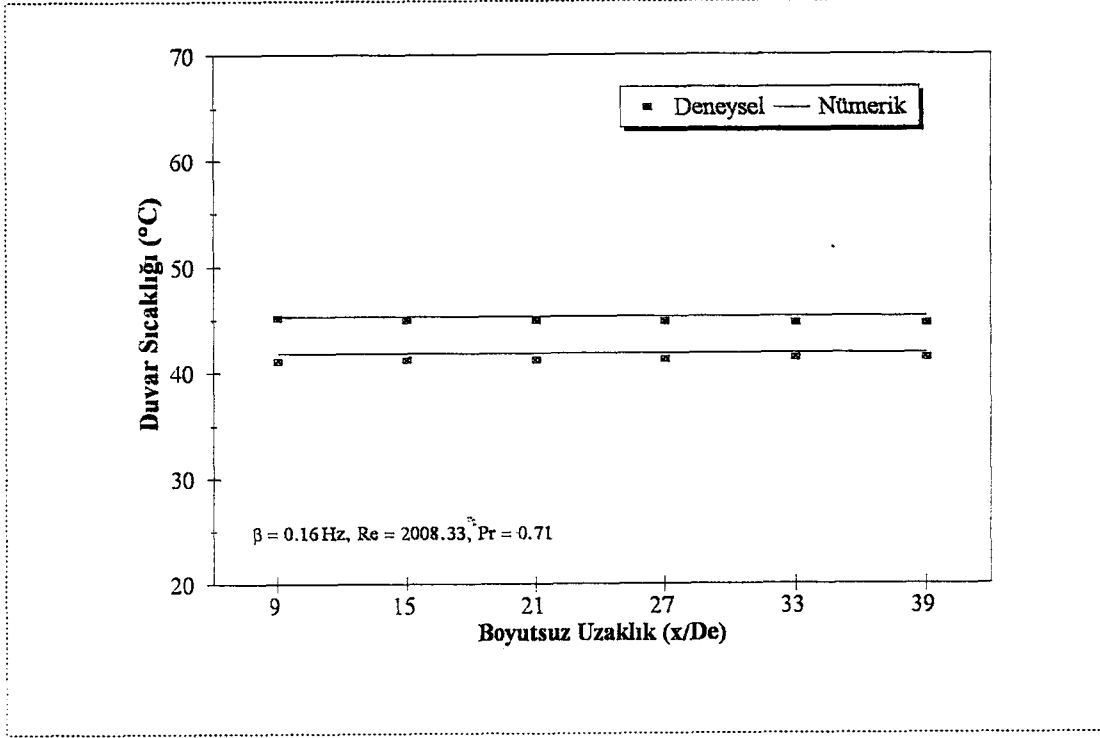
Şekil 6.68. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02 \text{ Hz}$ giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.28$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



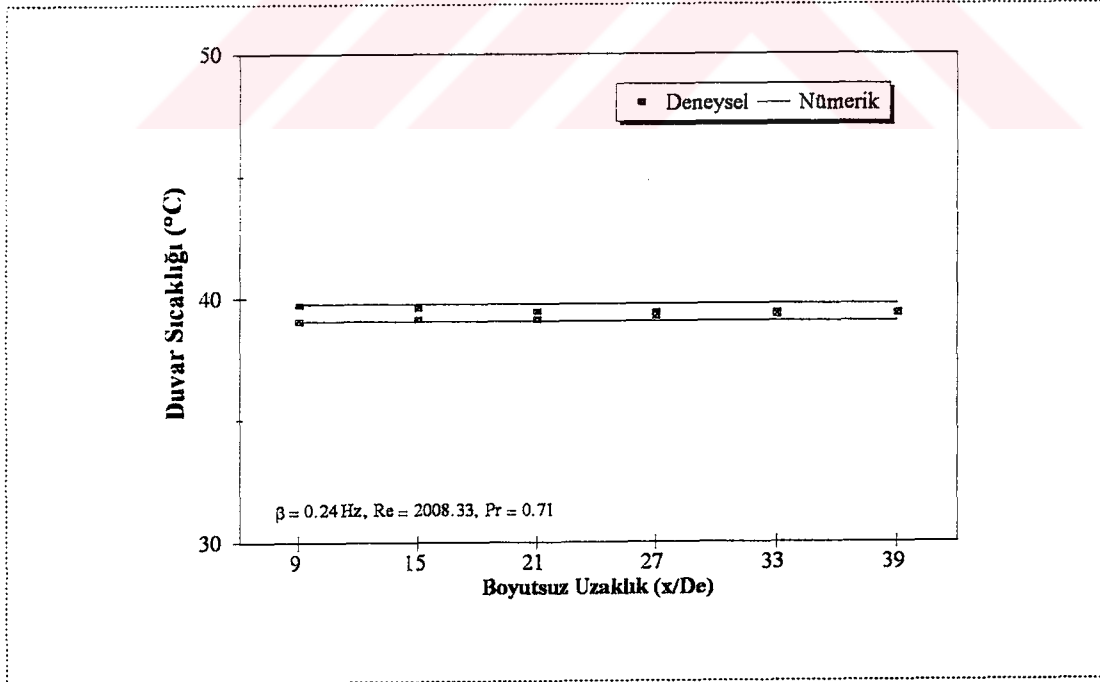
Şekil 6.69. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.29$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



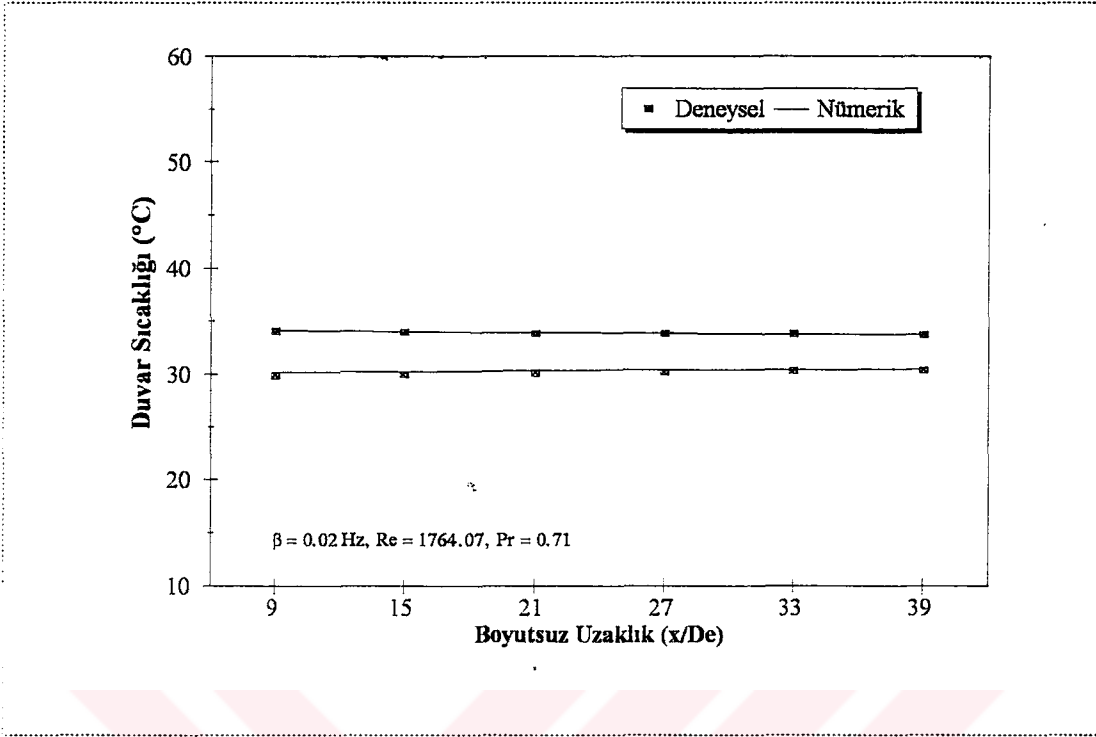
Şekil 6.70. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.34$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



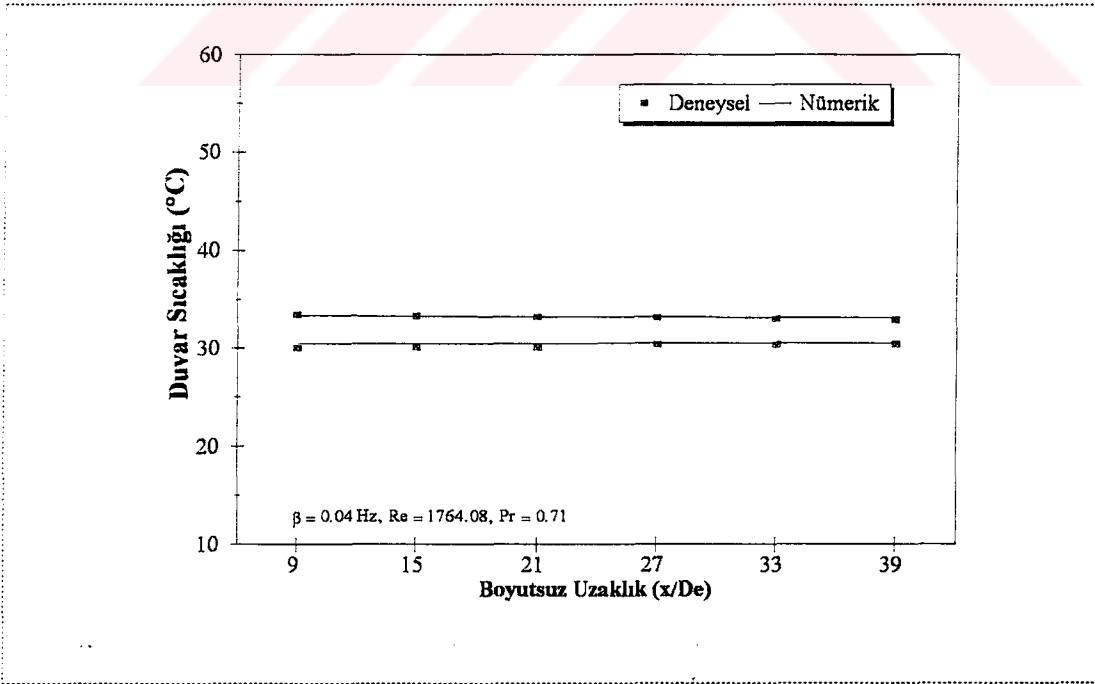
Şekil 6.71. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



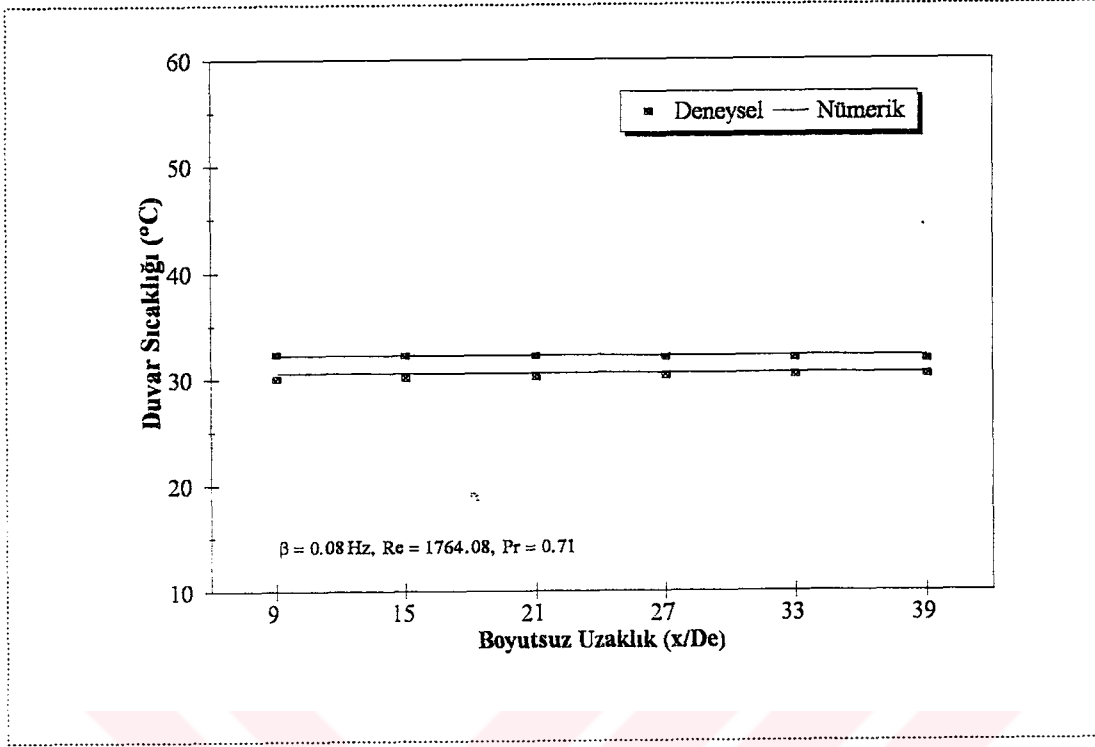
Şekil 6.72. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=2008.33$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



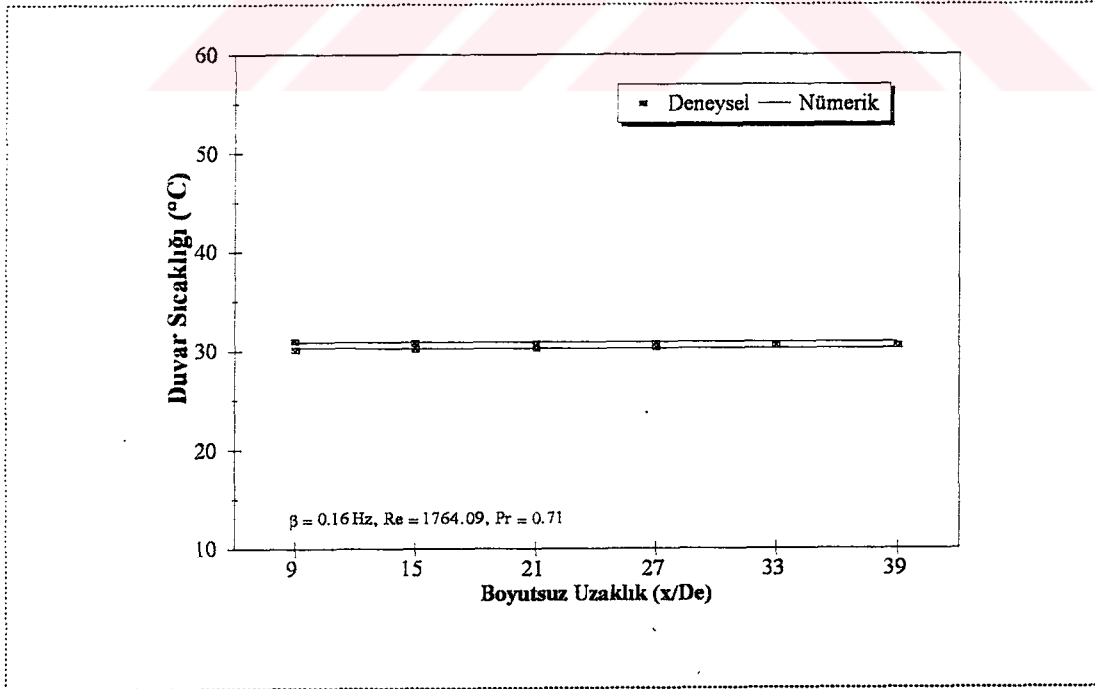
Şekil 6.73. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.07$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



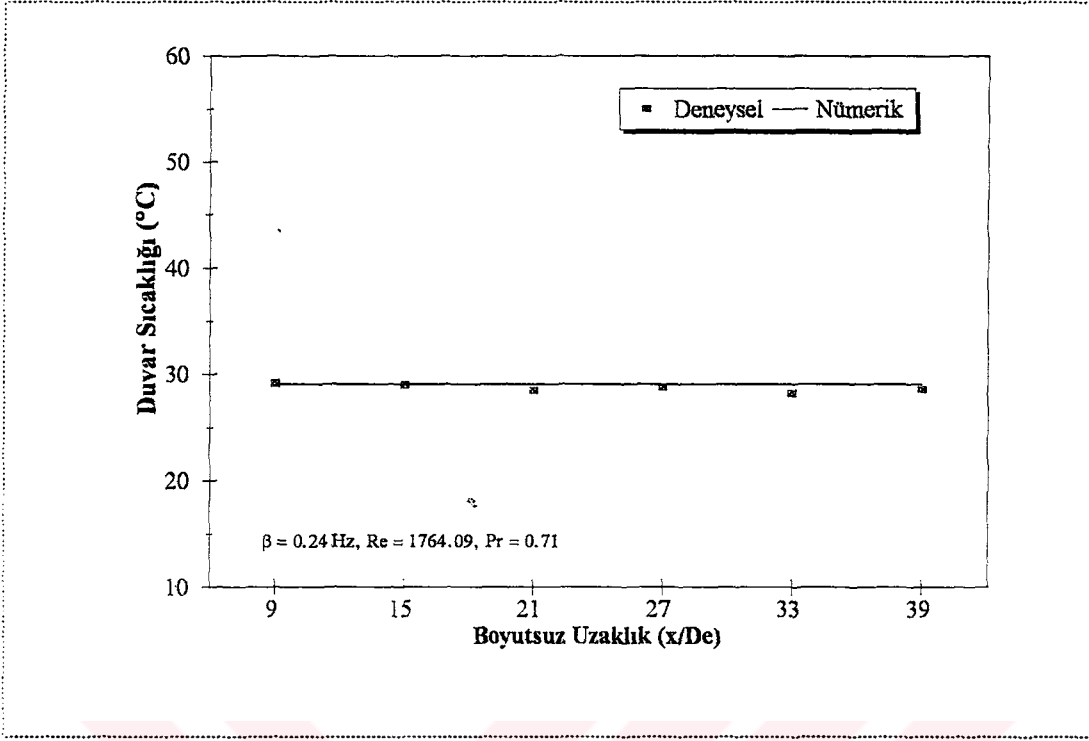
Şekil 6.74. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



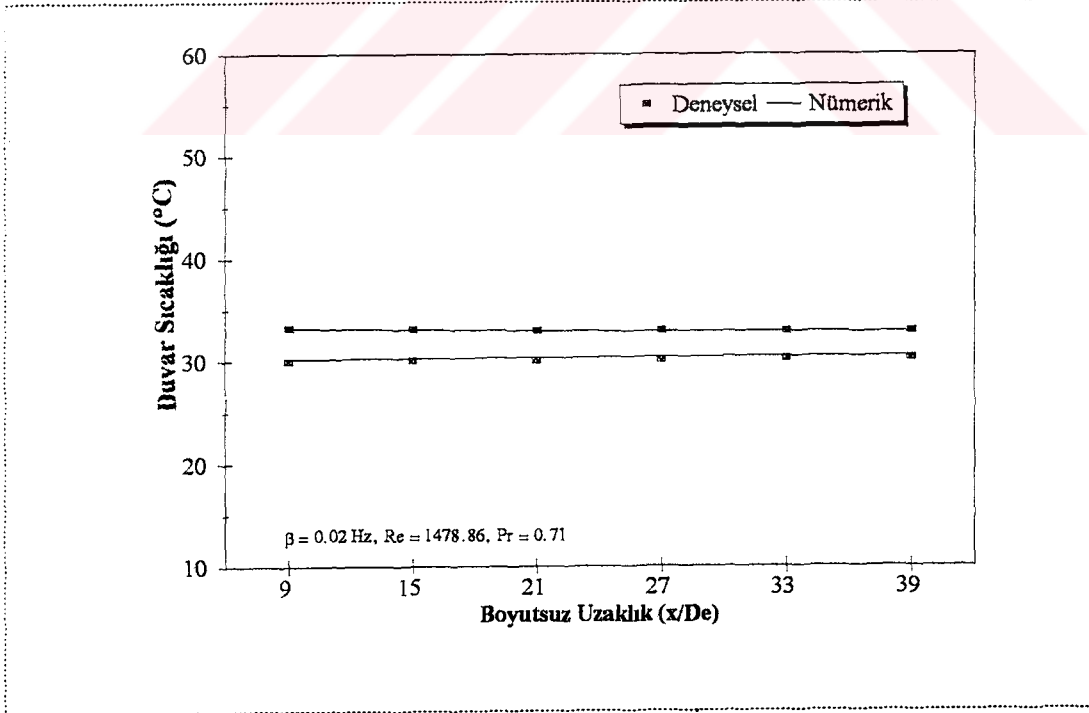
Şekil 6.75. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.08$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



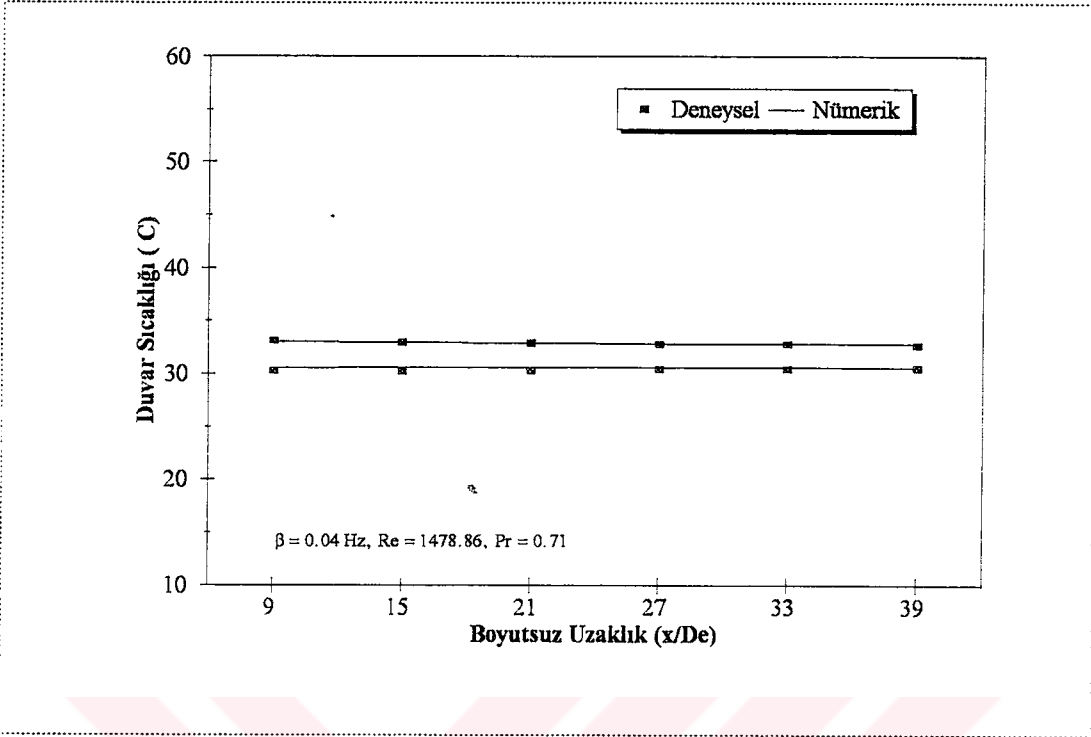
Şekil 6.76. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



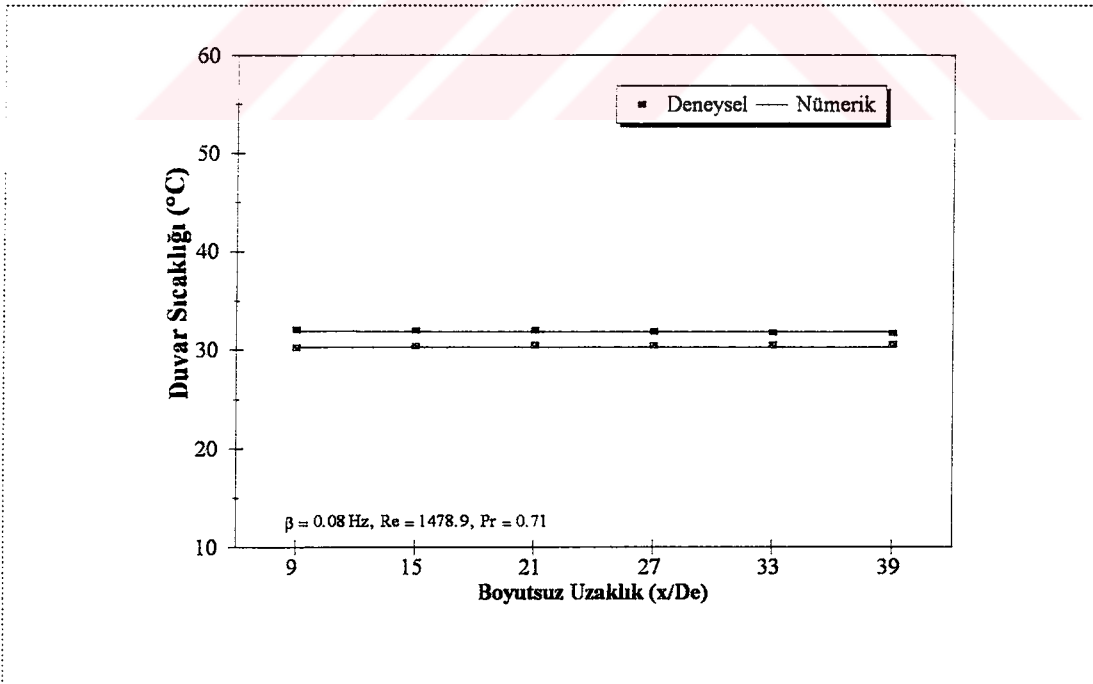
Şekil 6.77. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1764.09$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



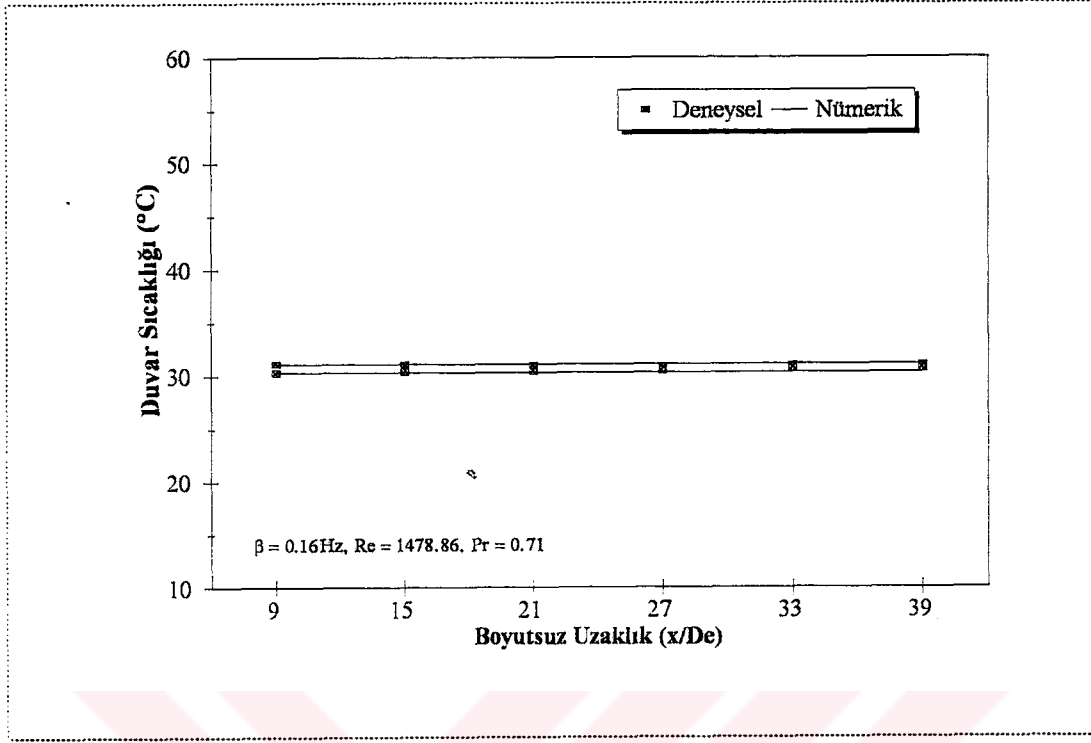
Şekil 6.78. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



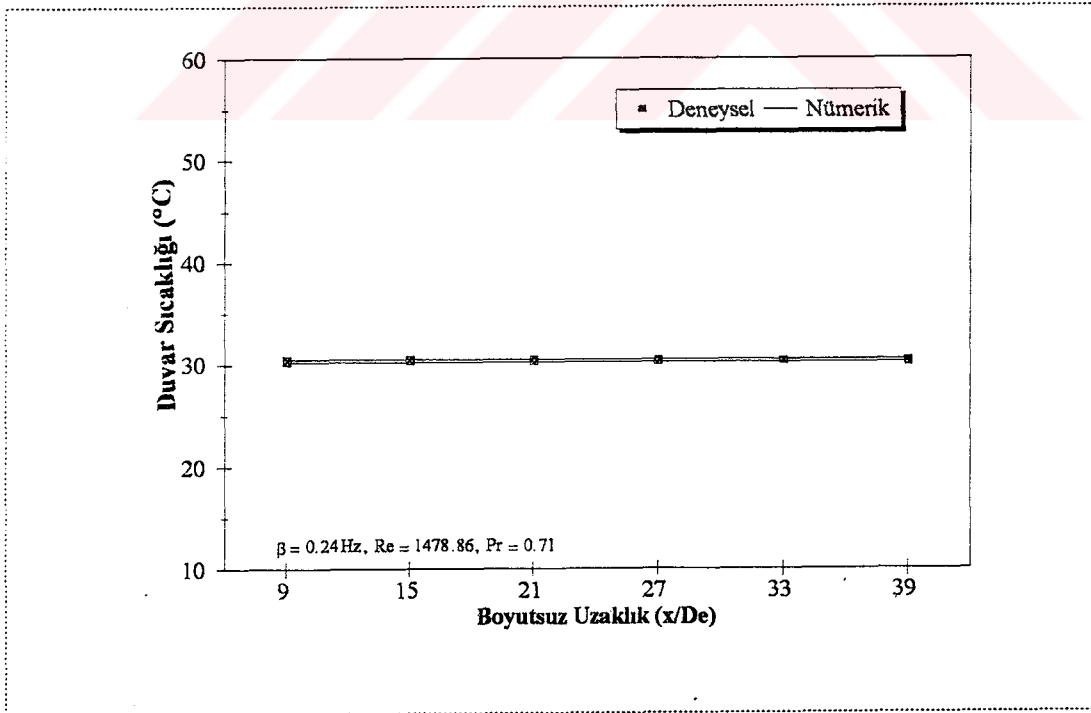
Şekil 6.79. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



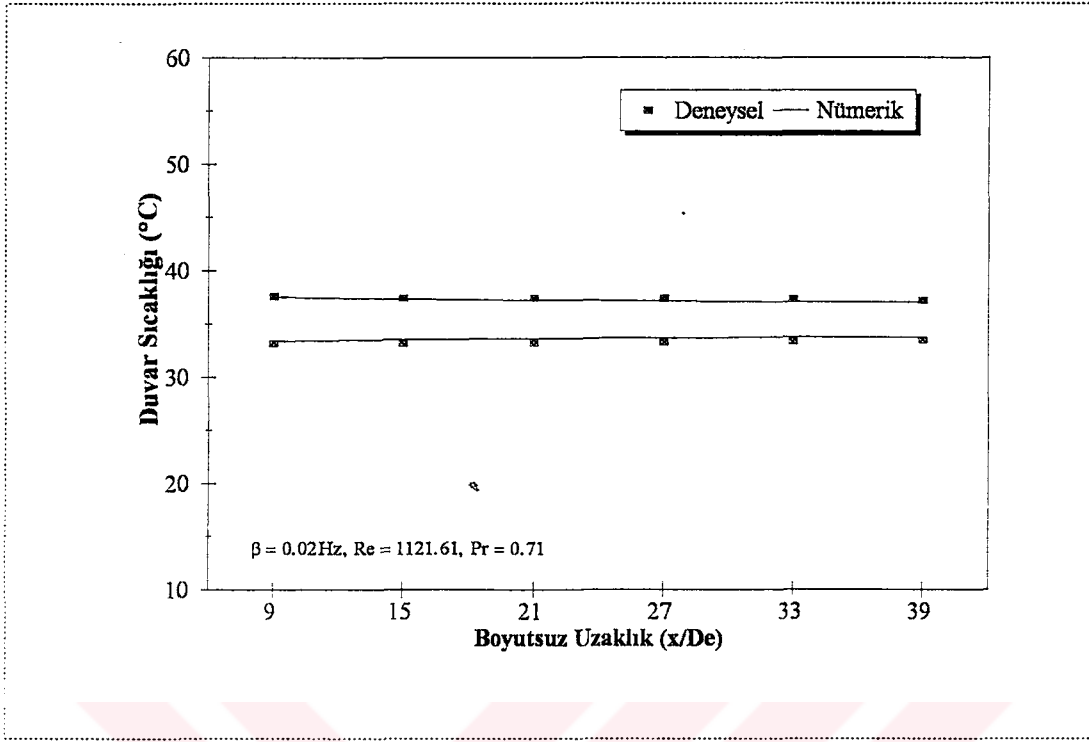
Şekil 6.80. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.90$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



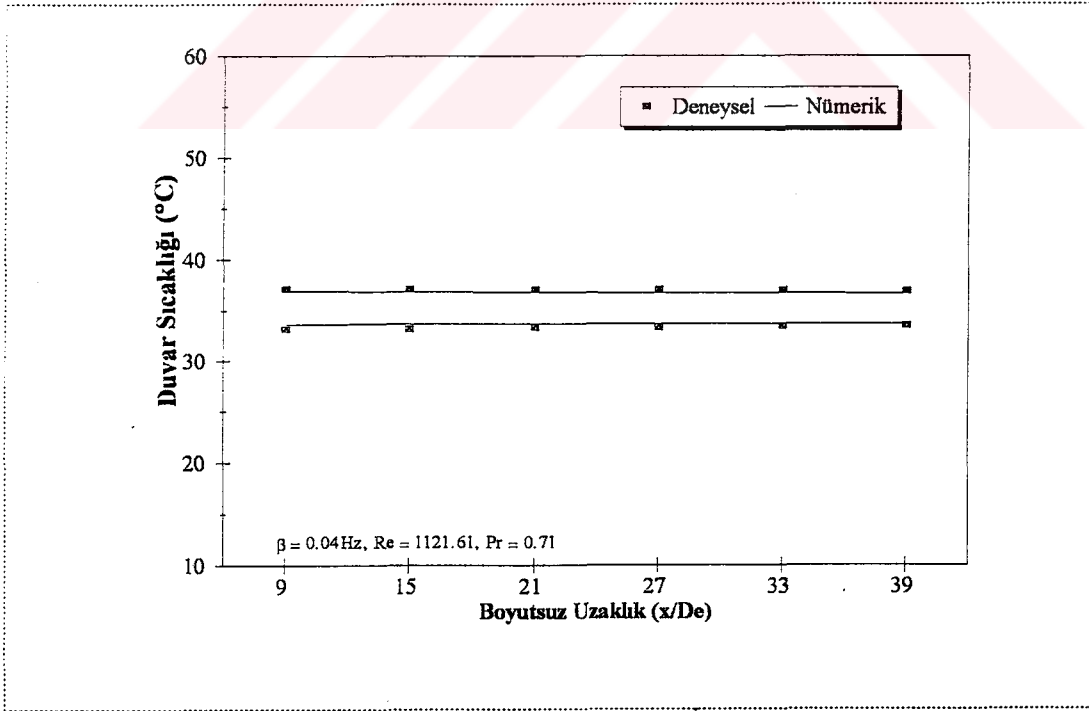
Şekil 6.81. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



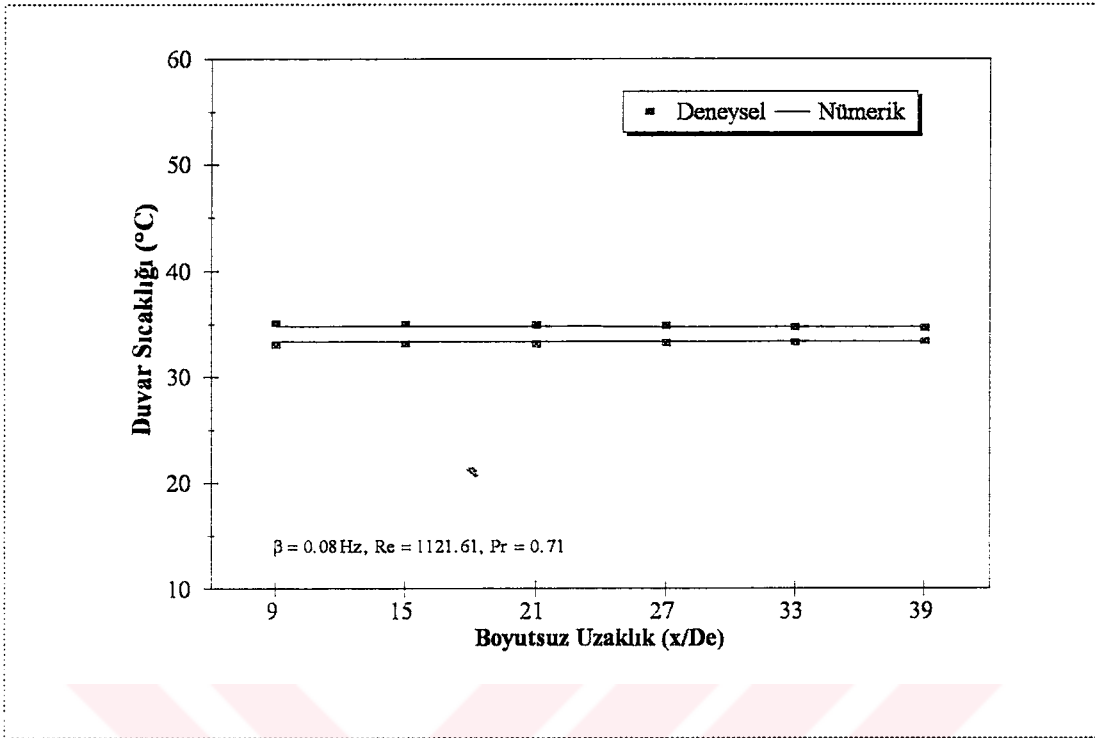
Şekil 6.82. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.24$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1478.86$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



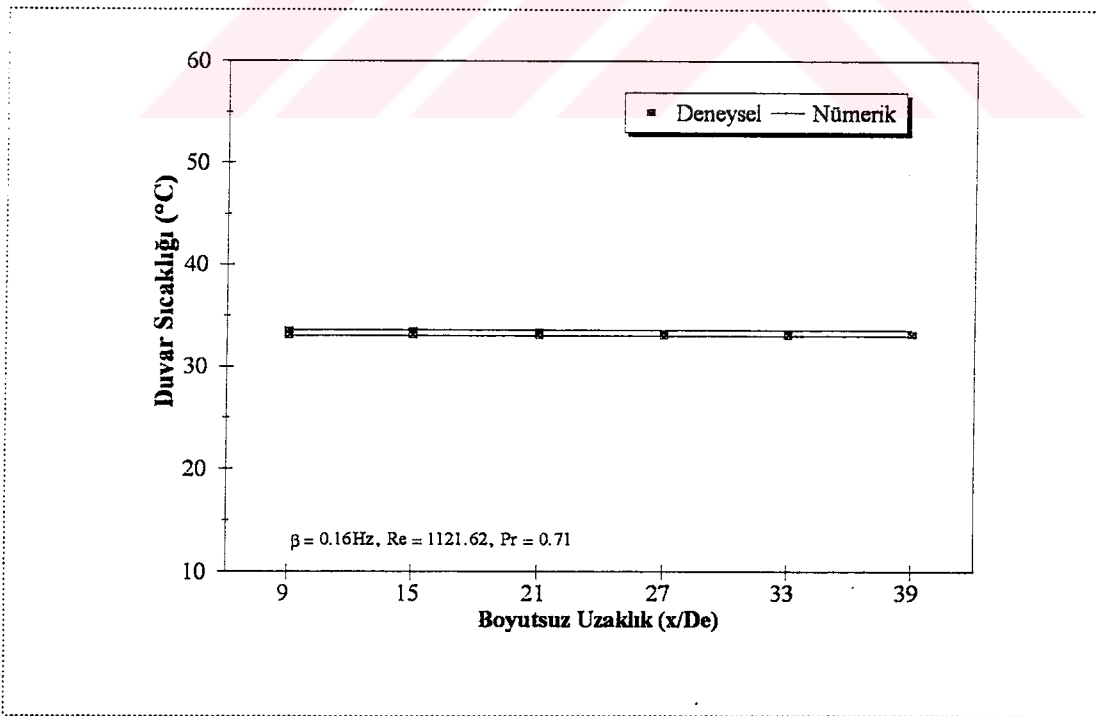
Şekil 6.83. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.02$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



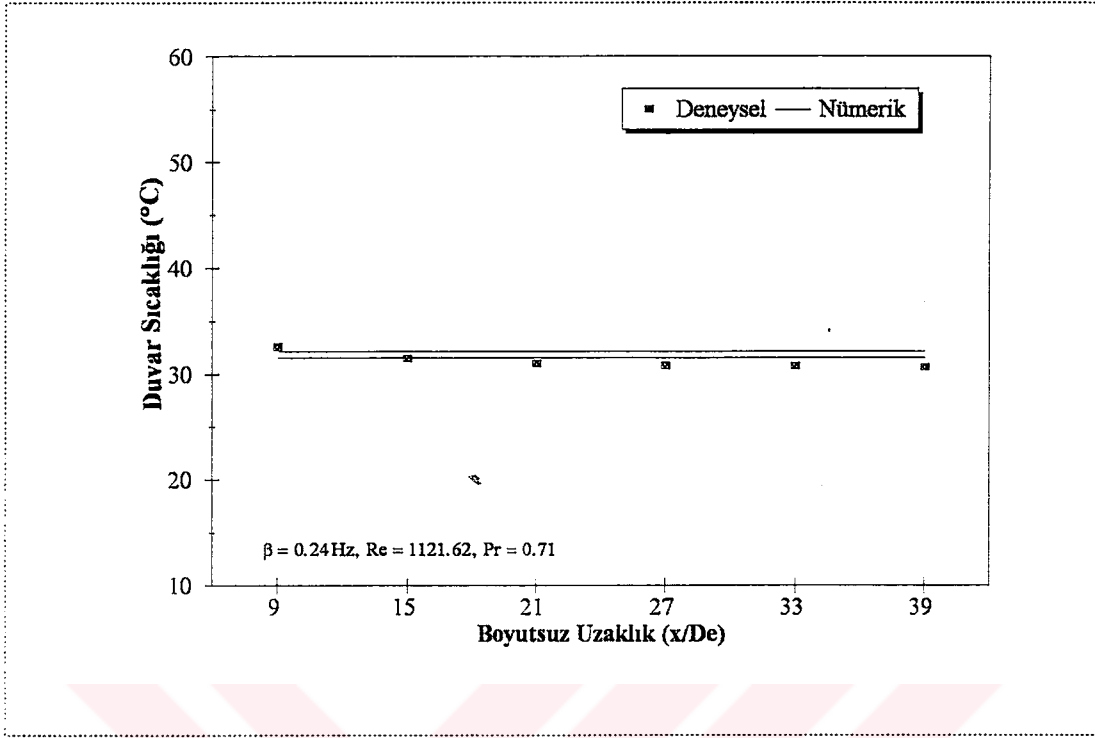
Şekil 6.84. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.04$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



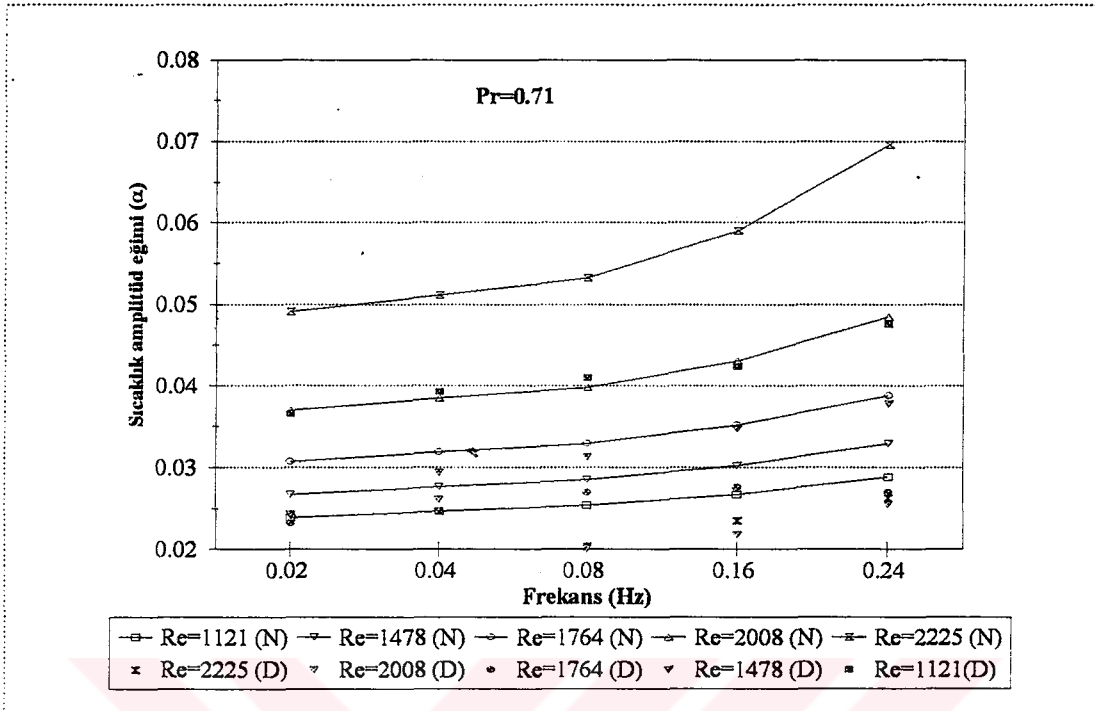
Şekil 6.85. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.08$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.61$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



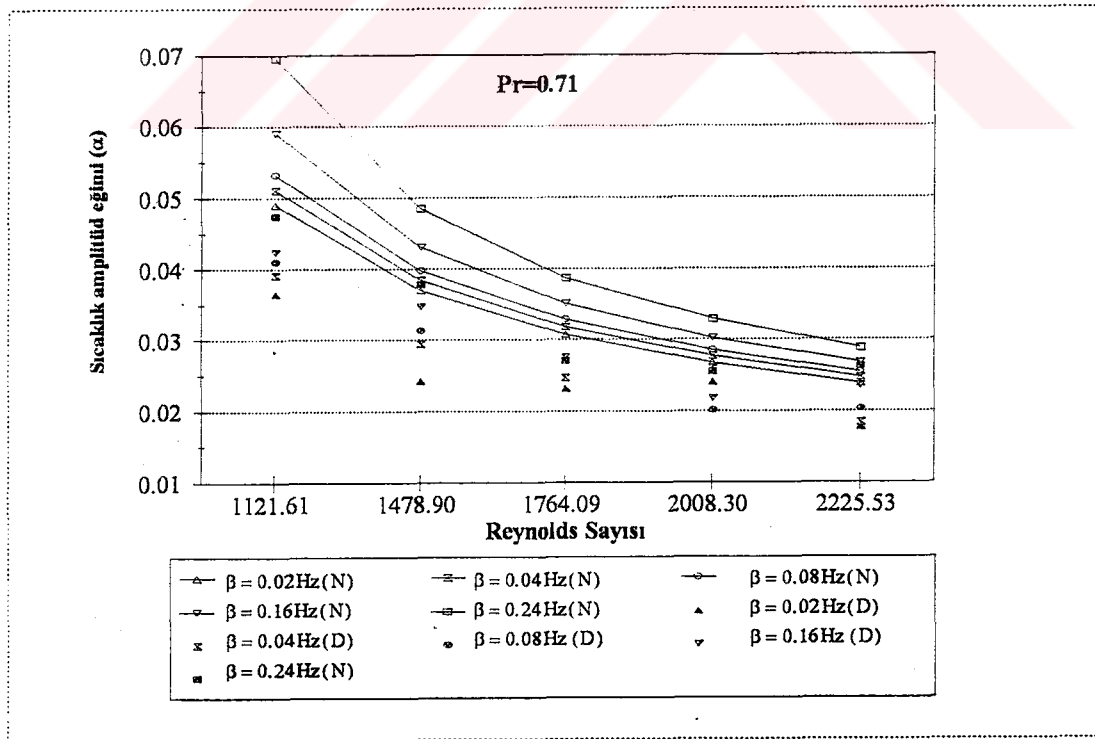
Şekil 6.86. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.16$ Hz giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



Şekil 6.87. Laminer termal giriş bölgesinde $\beta=0.25 \text{ Hz}$ giriş frekansı, $Pr=0.71$ ve $Re=1121.62$ için pürüzsüz kanalda duvar sıcaklığı değişimi.



Şekil 6.88. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde aynı Reynolds sayısı, farklı giriş frekansları ($0.02 \text{ Hz} > \beta > 0.25 \text{ Hz}$) ve $Pr=0.71$ için sıcaklık amplitüd eğimi.



Şekil 6.89. Pürüzsüz kanal için termal giriş bölgesinde aynı giriş frekansı, farklı Reynolds sayılarında ($1121 < Re < 2225$) ve $Pr=0.71$ için sıcaklık amplitüd eğimi.

BÖLÜM 7.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bölüm 6'da dikdörtgen kesitli kanalda zamanla değişen giriş sıcaklığından dolayı daimi olmayan zorunlu konveksiyon pürüzsüz kanal için literatürden alınan deneysel değerlerle ve yapılan nümerik metotla incelenmiştir. Laminer termal giriş bölgesinde şu sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Pürüzsüz kanalda giriş sıcaklık osilosyononu sinüsoidal fonksiyon şeklindedir.
- 2- Pürüzsüz kanalda giriş sıcaklık osilosyonları gibi sıcaklıklar da daimi durumda olmayıp osilosyon şeklindedir. Kanal boyunca sıcaklık amplitüdüleri eksponensiyel olarak azalmaktadır veya diğer bir deyişle, yarı logaritmik ekseninde sıcaklık amplitüdü lineer olarak azalmaktadır.
- 3- Pürüzsüz kanalda sıcaklık amplitüdünün eğimi aynı Reynolds sayısında frekans arttığı zaman artmaktadır. Aynı frekansta Reynolds sayısı arttıkça sıcaklık amplitüd eğimi azalmaktadır.
- 4- Kanal boyunca maksimum duvar sıcaklığı lineer olarak azalmakta, minimum duvar sıcaklığı ise lineer olarak artmaktadır. Diğer bir deyişle, duvar sıcaklık amplitüdü kanal boyunca azalmaktadır.
- 5- Kanal ekseni boyunca sıcaklık amplitüd değerlerinin hata değeri % 0.5'den daha az olmaktadır. Bu da yapılan nümerik çalışmanın deneysel çalışma sonuçlarına oldukça yakın olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada pürüzsüz kanal için laminer termal giriş bölgesinde daimi olmayan zorunlu konveksiyon nümerik olarak incelenmiştir. Yapılan teorik çalışmaların doğru olup olmadığının anlaşılması için deneysel çalışmalar bir gerekliliktir. Paralel plakalı kanallarda ve elektronik elemanların zorunlu konveksiyonla soğutulması ile ilgili deneysel çalışmaların literatürde oldukça az olduğu dikkat çekicidir. Elektronik elemanların soğutulması sistemlerinde kanallar pürüzsüz olmayıp elektronik elemanlar

ihtiva etmektedirler. Bu nedenle teorik çözümlerin (Nümerik-Analitik) yapılabilmesi için matematiksel modellere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada pürüzsüz kanal için nümerik sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçların deneysel değerlerle uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

İleride bu konuda yapılacak araştırmalarda pürüzsüz kanal için daha farklı nümerik metodlar kullanarak çözüm sağlanabilir. Elektronik elemanları ihtiva eden kanallardaki zorunlu konveksiyonun nümerik olarak incelenmesi bu çalışma referans alınarak yapılabilir. İleride nümerik çalışma yapacaklara bu çalışma kolaylık sağlayacaktır.



BÖLÜM 8.

8. KAYNAKLAR

- 1- ABBRECHT, P.H. and CHURCHILL, S.W. (1960): The Thermal Entrance Region in Fully Developed Turbulent Flow, *AIChE Journal*, 6(2),268.
- 2- ACKER, M.T. and FOURCHER, B. (1981): Analyse en Regime Thermique Periodique du Couplage Conduction-Convection Entre un Fluide en Ecoulement Laminaire et Une Paroi de Stockage, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 24 (7),1201-1210.
- 3- ARPACI, V.S. and CLARK, J.A. (1958): Dynamic Response of Heat Exchangers Having Internal Heat Sources-Part II, *Trans. ASME* 80,625-634.
- 4- ARPACI, V.S. and CLARK, J.A. (1959) :Dynamic Response of Heat Exchangers Having Internal Heat Sources-Part III, *Trans. ASME, Journal Heat Transfer*, 81C,253-266.
- 5- ASAKO, Y.,FAGHRI, M. (1989): Three-Dimensional Heat Transfer Analysis of Arrays of Heated Square Blocks, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 32 (2), 395-405.
- 6- AUNG,W. (1988): Modern developments in cooling technology for electronic equipment, Hemisphere, New York.
- 7- BHATTI, M.S. and SHAH, R.K. (1987): Turbulent and Transition Flow Convective Heat Transfer in Ducts, *Handbook of single-phase convective heat transfer*, Edited by KAKAÇ, S. SHAH, R.M. and AUNG, W. John Wiley, New York.
- 8- BROWN, D.M., LI,W. and KAKAÇ, S. (1993): Unsteady Laminar Forced Convection in Circular Ducts with Periodic Variation of Inlet Temperature, 29th National Heat Transfer Conference, Atlanta, Georgia, August 8-11.

- 9- BROWN, D.M., LI,W., KAKAÇ, S. and MAYINGER, F. (1993b): Numerical and Experimental Study of Unsteady Forced Convection in a Circular Duct with Periodic Variation of Inlet Temperature, International Symposium on Heat and Mass Transfer in Energy Systems and Environment Effects, Cancun, Mexico, August 22-25.
- 10- BROWN, D.M., LI,W. and KAKAÇ, S. (1993c): Numerical and Experimental Analysis of Unsteady Heat Transfer with Periodic Variation of Inlet Temperature in Circular Ducts, International Communication Heat and Mass Transfer, 20 (6), 883-899.
- 11- BROWN, D.M., LI,W. and KAKAÇ, S. (1994): Experimental Study of Fully Developed Laminar and Turbulent Transient Thermal Entrance Heat Transfer in Circular Ducts, First ISHMT-ASME Heat and Mass Transfer Conference, Bombay, India, Jan. 5-7.
- 12- BROWN, D. M., KAKAÇ, S., SANTOS, C.A.C. and COTTA, R.M. (1994b): Numerical and Experimental Investigation of Unsteady Laminar Forced Convection in Circular Ducts with Periodic Variation of Inlet Temperature, Second Biennial European-ASME Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis, University of London, July 4-7.
- 13- BROWN, D.M., LI,W. and KAKAÇ, S. (1994c): Transient Laminar Forced Convection Heat Transfer with Periodic Variation of Inlet Temperature in Circular Ducts, 10th International Heat Transfer Conference, Brighton, England, Aug. 14-18.
- 14- CAMPO, A. and YOSHIMURA, T. (1979): Random Heat Transfer in Flat Channels with Timewise Variation of Ambient Temperature, International Journal Heat Mass and Transfer, 22 (1), 5-12.
- 15- CLARK, J.A., ARPACI, V.S. and TREADWELL, K.M. (1958): Dynamic Response of Heat Exchangers Having Internal Heat Sources-Part I, Trans. ASME 80,612-624.
- 16- CHU, R.C.(1986): Heat Transfer in Electronic System. Proceeding of the 8th International Heat Transfer Conference, ed. by TIEN, C.L.,CAREY,V.P., FERRELL, J.B.,1, 293.

- 17- CHASE, C.A., GIDASPOW, Jr.D. and PECK, R.E. (1969): A Regenerator-Prediction of Nusselt Numbers, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 12(6), 727-736.
- 18- COTTA, R.M. and OZISIK, M.N. (1986): Laminar Forced Convection Inside Ducts with Periodic Variation of Inlet Temperature, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 29 (10),1495-1501.
- 19- COTTA,R.M., MIKHAILOV, M.D. and ÖZİŞİK, M.N. (1987): Transient Conjugated Forced Convection in Ducts with Periodically Varying Inlet Temperature, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 30 (10), 2073-2082.
- 20- ÇOMAKLI, O., BROWN, D.M., SÖZBİR, N. KAKAÇ, S. and SANTOS, C.A.C. (1995): Experimental study of Transient Turbulent Heat Transfer in Circular Ducts. *International Conference on Energy and Environment*, Shanghai, China, May 8-10
- 21- ÇOMAKLI, O., SÖZBİR, N., BROWN, D.M., KAKAÇ, S. and SANTOS, C.A.C. (1995b): Transient Heat Transfer in Thermally and Simultaneously Developing Circular Duct Flow, *International Conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry*, Budapest, Hungary, May 31-June 2
- 22- DUSINBERRE,G.M. (1954): Calculation of Transient Temperature in Pipes and Heat Exchangers by Numerical Methods, *Trans. ASME Vol.76*,421-426.
- 23 DONALD, L.K.(1969): *Nümerical Methods*, John Wiley & Sons Inc., 1969.
- 24- GARTNER, D. (1976): Instationärer Wärmeübergang bei Turbulenter Ringspaltströmung *Wärme-und Stoffübertragung*, 9, 179-191.
- 25- HATAY, F.F., (1991): *Unsteady Forced Convections in Ducts with or without Augmened Surfaces*, PhD Thesis, University of Miami.
- 26- HATAY, F.F., LI, W., KAKAÇ, S. and MAYINGER, F. (1991b): Numerical and Experimental Analysis of Unsteady Laminar Forced Convection in Channels, *International Communication Heat and Mass Transfer*, 18, 407-417.

- 27- JALURIA, Y. (1985): Natural Convective Cooling of Electronic Equipment, in Natural Convection, eds. KAKAÇ, S., AUNG, W., VISKANTA, R., Hemisphere, New York.
- 28- INCOPERA, F.P.(1986): Research Needs in Electronic Cooling. Proceedings of a Workshop Sponsored by NSF and Purdue University, ed. INCOPERA, F.B., June 4-6, Andover, Massachusetts.
- 29- KARDAS, A .(1966): On a Problem in the Theory of the Unidirectional Regenerator, International Journal Heat and Mass Transfer, 9 (6), 567-579.
- 30- KAKAÇ, S. (1968): Transient Forced Convection Heat Transfer in a Channel, Wärme-und Stoffübertragung, 1, 169-176.
- 31- KAKAÇ, S. and YENER, Y. (1973): Exact Solution of the Transient Forced Convection Energy Equation for Timewise Variation of Inlet Temperature, International Journal Heat Mass and Transfer, 16(12), 2205-2214.
- 32- KAKAÇ, S. (1975): A General Analytical Solution to the Equation of Transient Forced Convection with Fully Developed Flow ,International Journal Heat Mass and Transfer, 18(12), 1449-1453.
- 33- KAKAÇ, S. and YENER, Y. (1985): Heat Conduction, Hemisphere Pub. Corp. New York.
- 34- KAKAÇ, S., DING, Y. and LI, W. (1987): Experimental and Theoretical Investigation of Transient Forced Convection in Ducts, First Report, NSF Project CBT-8603397.
- 35- KAKAÇ, S., LI, W. DING, Y. and ZHANG, H.Y. (1987b): Transient Forced Convection in Ducts for a Periodic Variation of Inlet Temperature, 2nd International Heat Transfer Symposium, Beijing, Aug. 8-12, China.
- 36- KAKAÇ, S., SHAH, R.K. and AUNG, W., eds. (1987c): Handbook of single-phase convective heat transfer, John Wiley, New York.
- 37- KAKAÇ, S., DING, Y. and LI, W. (1988): Transient Fluid Flow and Heat Transfer in Ducts with a Timewise Variation of Inlet Temperature, Proceedings

3rd Int. Symposium on Transport Phenomena in Thermal Control, August 14-18, Taipei, Taiwan. Hemisphere, New York (1989).

- 38- KAKAÇ, S., DING, Y. and LI, W. (1988b): Experimental Investigation of Transient Laminar Forced Convection in Ducts, Proceeding International Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Sept. 4-9, Dubrovnik, Yugoslavia. Elsevier Science, Amsterdam (1989).
- 39- KAKAÇ, S., LI, W. and DING, Y. (1988c): Transient Forced Convection in Ducts, Interim Report, NSF Project CBT-8603997.
- 40- KAKAÇ S., LI, W. and COTTA, R.M. (1989): Theoretical and Experimental Study of Transient Laminar Forced Convection in a Duct with Timewise Variation of Inlet Temperature, Proceedings ASME Winter Annual Meeting, Dec.15-19, San Francisco, California.
- 41- KAKAÇ, S., LI, W. and COTTA, R.M. (1990): Unsteady Laminar Forced Convection with Periodic Variation of Inlet Temperature, Trans. ASME, Journal Heat Transfer, 112,913-920.
- 42- KAKAÇ, S., COTTA, R.M., HATAY, F.F. and LI, W. (1990b): Unsteady Forced Convection in Ducts for a Sinusoidal Variation of Inlet Temperature, 9th International Heat Transfer Conference, Jerusalem, Israel, Aug. 19-24.
- 43- KAKAÇ, S. and LI, W.(1990c): Unsteady Turbulent Forced Convection in a Parallel-Plate Channel with Timewise Variation of Inlet Temperature, International Journal Heat Mass and Transfer, 37 (1)Supply, 447-456.
- 44 KAWAMURA, H. (1974): Analysis of Transient Turbulent Heat Transfer in an Annulus: Part I, Heating Element with a Finite Heat Capacity and Thermal Resistance, Heat Transfer-Japan Res., 3, 45.
- 45- KAWAMURA, H. (1977): Experimental and Analytical Study of Transient Heat Transfer for Turbulent Flow in a Circular Tube, International Journal Heat Mass and Transfer, 20 (5), 443-450.

- 46- KRAUS, A.D., BAR-COHEN, A. (1983): Thermal analysis and control of electronic equipment. Hemisphere, New York.
- 47- KIM, W.S. and ÖZİŞİK, M.N. (1987): Transient Laminar Forced Convection in Ducts with Suddenly Applied Uniform Wall Heat Flux, International Journal Heat Mass and Transfer, 30 (8), 1753-1756.
- 48- LARSON, R.I. and YERAZUNIS, S. (1973): Mass Transfer in Turbulent Flow, Int. J. Heat Mass Transfer, 16, 121-130.
- 49- LI, W. and KAKAÇ, S. (1991): Unsteady Thermal Entrance Heat Transfer in Laminar Flow with a Periodic Variation of Inlet Temperature, International Journal Heat Mass and Transfer, 34 (10), 2581-2592.
- 50- LI, W., KAKAÇ, S., HATAY, F.F. and OSKAY, R. (1993): Experimental Study of Unsteady Forced Convection in a Duct with and without Arrays of Block-Like Electronic Components, Wärme-und Stoffübertragung, 28, 69-79.
- 51- LIN, H.T. and SHIH, Y.P. (1981): Unsteady Thermal Entrance Heat Transfer of Power-Law Fluids in Pipes and Plate Slits, International Journal Heat Mass and Transfer, 24 (9) 1531-1539.
- 52- LIN, T.F., HAWKS, K.H. and LEIDENFROST, W. (1983): Unsteady Thermal Entrance Heat Transfer in Laminar Pipe Flows with Step Change in Ambient Temperature, Wärme-und Stoffübertragung, 17, 125-132.
- 53- LIN, T.F., HAWKS, K.H. and LEIDENFROST, W. (1983b): Transient Thermal Entrance Heat Transfer in Laminar Pipe Flows with Step Change in Pumping Pressure, Wärme-und Stoffübertragung, 17, 201-209.
- 54- LIN, T.F., HAWKS, K.H. and LEIDENFROST, W. (1983c): Transient Conjugated Heat Transfer Between a Cooling Coil and Its Surrounding Enclosure, International Journal Heat Mass and Transfer, 26 (11), 1661-1667.
- 55- MIKHAILOV, M.D. and VULCHANOV, N.L. (1983): A Computational Procedure for Sturm-Liouville Problems, J. Comp. Phys. 50, 323-336.

- 56- MIKHAILOV, M.D. (1983b): Mathematical Modelling of Heat Transfer in Single Duct and Double-Pipe Exchangers, in Low Reynolds Number Flow Heat Exchangers, Eds., KAKAÇ, S., SHAH, R.K. and BERGLES, A.E., Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- 57-MIKHAILOV, M.D. and ÖZİŞİK, M.N. (1984): Unified analysis and solutions of heat and mass diffusion, John Wiley, New York.
- 58- NAMATAME, K. (1969): Transient Temperature Response of an Annular Flow with Step Change in Heat Generating Rod, Journal Nuclear Science Tech. 6, 591-600.
- 59- OLEK, S., ELIAS, E., WACHOLDER, E. and KAIZERMAN, S. (1991): Unsteady Conjugated Heat Transfer in Laminar Pipe Flow, International Journal Heat Mass and Transfer, 34(6), 1443-1450.
- 60 OZİŞİK M.N. (1985): Heat Transfer, McGraw Hill Inc. New York.
- 61- PERLMUTTER, M. and SIEGEL, R. (1961): Unsteady Laminar Flow in a Duct with Unsteady Heat Addition, Trans. ASME, Journal Heat Transfer, 83C, 432-440.
- 62-PERLMUTTER, M. and SIEGEL, R.(1961b): Two-Dimensional Unsteady Incompressible Laminar Duct Flow with a Step Change in Wall Temperature, International Journal Heat Mass and Transfer, 3(2), 94-107.
- 63- RIZIKA,J.W. (1954): Thermal Lags in Flowing Incompressible Fluid Systems Containing Heat Capacitors, Trans. ASME Vol.76, 411-420.
- 64- RIZIKA,J.W. (1956): Thermal Lags in Flowing Incompressible Fluid Systems Containing Heat Capacitors, Trans. ASME Vol.78, 1407-1413.
- 65- SANTOS, C.A.C., BROWN, D.M., KAKAÇ, S. and COTTA, R.M. (1994): Analytical and Experimental Study of Turbulent Forced Convection in the Thermal Entrance Region of a Circular Duct, The Japan Society of Mechanical Engineering Spring Annual Meeting Tokyo, March 29-31.

- 66- SANTOS, C.A.C., BROWN, D.M., KAKAÇ, S. and COTTA, R.M. (1994b): Analysis of Unsteady Laminar Forced Convection in a Circular Duct, III. North-Northeast Mechanical Engineering Congress, Belem, Brasil, June 21-24.
- 67- SANTOS, C.A.C., BROWN, D.M., KAKAÇ, S. and COTTA, R.M. (1994c): Analysis of Unsteady Laminar Forced Convection in Turbulent Duct Flow, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*
- 68- SCHNATZ, T.W., RUSSO, E.P. and TANNER, O. (1974): Transient Temperature Distribution for Fully Developed Laminar Flow in a Tube, *Proceeding of International Heat Transfer Conference*, 5, 160-164.
- 69- SIEGEL, R. (1959): Transient Heat Transfer for Laminar Slug Flow in Ducts, *Trans. ASME, Journal of Applied Mechanics* 81E,140-142.
- 70- SIEGEL, R. and SPARROW, E.M. (1959b): Transient Heat Transfer for Laminar Forced Convection in the Thermal Entrance Region of Flat Ducts, *Trans. ASME, Journal Heat Transfer*, 81C, 29-36.
- 71- SIEGEL, R. (1960): Heat Transfer for Laminar Flow in a Duct with Arbitrary Time Variation in Wall Temperature, *Trans. ASME, Journal of Applied Mechanics*, 27, 241-249.
- 72- SIEGEL, R. (1963): Forced Convection in a Channel with Wall Capacity and with Wall Heating Variable with Axial Position and Time, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 6(7), 607-620.
- 73- SIEGEL, R. and PERLMUTTER, M. (1963b): Laminar Heat Transfer in a Channel with Unsteady Flow and Wall Heating Varying with Position and Time, *Trans. ASME, Journal Heat Transfer*, 85C, 358-365.
- 74- SHAH, R.K. (1981): The Transient Response of Heat Exchangers, in *Heat Exchangers*, Ed., KAKAÇ, S., BERGLES, A.A. and MAYINGER, F., Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- 75- SPARROW E.M. and SIEGEL, R. (1958): Thermal Entrance Region of a Circular Tube under Transient Heat Conditions, *Proceedings of United States National Congress of Applied Mechanics*, 3, 817-826.

- 76- SPARROW, E.M. and DE FARIAS, F. N. (1968): Unsteady Heat Transfer in Ducts with Time Varying Inlet Temperature and Participating Walls, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 11(5),837-853.
- 77- SPARROW, E.M., VEMURI, S.B. and KADLE, D.S. (1983): Enhanced and Local Heat Transfer, Pressure Drop, and Flow Visualization for Arrays of Blok-Like Electronic Components, *International Journal Heat Mass and Transfer*, 26 (5),689-698.
- 78 SÖZBİR, N.(1995), Kanallarda Tek Fazlı Cebri Konveksiyonun Deneysel ve Nümerik İncelenmesi, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bil. Ens.
- 79- SÖZBİR, N.,(1995b): Experimental Investigation of Unsteady Forced Convection in a Rectengular Channel With and Without Arrays of Block-Like Electronic Componentr, Report, University of Miami, Coral Gables, Florida.
- 80- SÖZBİR, N., SARAÇ, H.İ., KAKAÇ, S., and ARIK, M. (1995c): Unsteady Forced Convection in Simultaneously Developing Rectangular Duct Flow with and Without Arrays of Block-Like Electronic Components, *Journal of Kocaeli University*,December, No.2, pp:13-22.
- 81- SÖZBİR, N., BROWN, D.M., KAKAÇ, S., ARIK, M. and SANTOS, C.A.C. (1995d): Unsteady Forced Flow in Parallel-Plates Channel with and without Arrays of Rectangular Protruding Surfaces, *International Conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry*, Budapest, Hungary, May 31-June 2
- 82- SÖZBİR, N., BROWN, D.M., SANTOS, C.A.C., KAKAÇ, S., and GÜVEN, H.R., (1995e): Experimental Investigation of Unsteady Forced Convection in Channel With and Without Arrays of Rectangular Protruding Surfaces, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt 17, No.4, Sayfa:35-49.
- 83- SÖZBİR, N., UYSAL, Ü., SARAÇ, H.İ., ÇALLI, İ., and KAKAÇ, S (1996): Nümerical and Experimental Investigation of Transient Laminar Forced Convection in A Rectangular Duct, *International Symposium on Transient Conference Heat Transfer*, August 19-23, Çeşme,TURKIYE.(Kabul yazısı ektedir.)

- 84- SÖZBİR, N., ARIK, M., KAKAÇ, S., SARAÇ, H.İ. and ÇALLI, İ., (1996b): Experimental Investigation of Unsteady Turbulent Forced Convection in a Rectangular Duct with Arrays of Block-Like Electronic Components. August 19-23, Çeşme, TURKIYE. (Kabul yazısı ektedir.)
- 85 STEVEN, C..C. and RAYMOND, P.C., (1988):, Nümerical Methods for Engineer, McGraw Hill Inc.,
- 86- SUCEC, J. (1981): An Improved Quasi-Steady Approach for Transient Conjugated Forced Convection Problems, International Journal Heat Mass and Transfer, 24 (10), 1711-1722.
- 87- SUCES, J. and SAWANT, A.M. (1984): Unsteady, Conjugated, Forced Convection Heat Transfer in a Parallel Plate duct, International Journal Heat Mass and Transfer, 27 (1), 95-101.
- 88- SUCEC, J. (1987): Exact Solution Unsteady Conjugated Heat Transfer in The Thermal Entrance Region of Duct, ASME, Trans. Journal of Heat Transfer, 109, 295-299.
- 89- SUCEC, J. and RADLEY, D. (1990): Unsteady Forced Convection Heat Transfer in a Channel, International Journal Heat Mass and Transfer, 33(4), 683-690.
- 90- TRAVELHO, J.S. and SANTOS, W.F.N. (1991): Solution for Transient Conjugated Forced Convection in the Thermal Entrance Region of a Duct with Periodically Varying Inlet Temperature, ASME Trans. Journal of Heat Transfer, 113, 558-562.
- 91- YONG, J.W., CLARK, J.A. and ARPACI, V.S. (1961): Dynamic Response of Heat Exchangers Having Internal Heat Sources-Part IV, Trans. ASME, Journal Heat Transfer, 83C, 321-338.
- 92- YAN, M.W., TSAY, Y.L. and LIN, T.F. (1989): Transient Conjugated Heat Transfer in Laminar Pipe Flows, International Journal Heat Mass and Transfer, 32 (4), 775-777.

- 93- YOGESH, J and KENNETH E.T., (1986): Computational Heat Transfer, Hemisphere Pub. Corp. New York.



EK1.

BİLGİSAYAR PROGRAMI

REM BU PROGRAM DIKDÖRTGEN KESİTLİ KANALDA DAİMİ OLMAYAN
REM ZORUNLU KONVEKSİYONUN ARAŞTIRILMASI KONUSUNDA SONLU
REM FARKLAR METODU KULLANARAK SICAKLIK DAĞILIMININ
REM ARAŞTIRILMASI İÇİN YAZILMIŞTIR.

DIM SHARED TOLD(16, 480), TNEW(16, 480), T(16, 480)
DIM SHARED R(16), W(16), T1(16, 480), T2(16, 480)
CLS

REM BAZI SABİT BÜYÜKLÜKLERİN GİRİLMESİ

CONST PI = 3.141593
CONST B = .5 * .0254 m
CONST X = 1.61 m
CONST PR = .71
CONST ALFA = .0000225 m²/s
CONST BI = 10
CONST ASTAR = .0085
INPUT "BETA=";BETA
INPUT "RE = "; REYNOLDS SAYISI
OMEGA = 2 * PI * BETA

REM DELTA Z HESAPLANMASI

DE = ((4 * 25.4 * 254) / (2 * (25.4 + 254))) * .001
ZMAX = (((DE / B) ^ 2) * (X / DE)) / (RE * PR)
NZ = 480
NZ1 = NZ + 1
DZ = ZMAX / NZ

REM ZAMAN ADIMININ HESAPLANMASI

TIME = 1
NTIME = 7680

DT = TIME / NTIME

REM GIRIS SICAKLIGININ BOYUTSUZLASTIRILMASI

INPUT "DENEYNO =" DENEYNO

INPUT "TMAX =" TMAX

INPUT "TMIN =" TMIN

INPUT "TDMAX =" TDMAX

INPUT "TDMIN =" TDMIN

TE = (TMAX + TMIN) / 2

TED = (TDMAX + TDMIN) / 2

INPUT "TSONSUZ =" TSONSUZ

DELTAT = (TMAX - TMIN) / 2

DTDUVAR= (TDMAX - TDMIN) / 2

TINIT = 0

REM DELTA R HESAPLANMASI

NR = 16

NR1 = NR + 1

DR = 1 / NR

REM HIZ PROFILININ GIRILMESI

FOR I = 1 TO NR1

R(I) = (I - 1) * DR

W(I) = 1 - (R(I) ^ 2)

W(I) = W(I) * 3 / 2

NEXT I

REM ILK SICAKLIK DEGERLERININ ATANMASI

FOR I = 1 TO NR1

FOR J = 1 TO NZ1

TOLD(I, J) = TINIT

TNEW(I, J) = TINIT

T(I, J) = TINIT

NEXT J

NEXT I

ITERA = 0

ITERA1 = 0

TOR = DT / DR ^ 2

TOZ = DT / DZ

IPLOT = 1

ICOUNT = 0

REM SICAKLIK HESAPLANMASININ YAPILMASI

```

11  ITERA = ITERA + 1
    ITERA1 = ITERA1 + 1
    ICOUNT = ICOUNT + 1
    FOR J = 2 TO NZ1
    TIME = ITERA * DT
    IF ITERA > NTIME THEN 999
    FOR I = 1 TO NR1
    T(I, 1) = (1 - R(I) ^ 2) * SIN(OMEGA * TIME)
    TNEW(I, 1) = T(I, 1)
    NEXT I

```

REM PREDICTOR ADIMI HESAPLAMASI

```

FOR I = 1 TO NR
TNEW(I, J) = TOLD(I, J) - TOZ * W(I) * (TOLD(I, J) - TOLD(I, J - 1))
TEMP = TOLD(I + 1, J)
IF I <> 1 THEN TEMP = TOLD(I - 1, J)
TNEW(I, J) = TNEW(I, J) + TOR * (TOLD(I + 1, J) - 2 * TOLD(I, J) +
TEMP)
NEXT I

```

REM CORRECTOR ADIMI

```

IF J < 2 THEN 111
FOR I = NR TO 1 STEP -1
SUM = TOLD(I, J) + TNEW(I, J)
TEMP = TNEW(I + 1, J)
IF I <> 1 THEN TEMP = TNEW(I - 1, J)
TEMP1 = TOLD(I, 1)
IF J <> 2 THEN TEMP1 = TOLD(I, J-2)
SUM = SUM + TOR * (TNEW(I + 1, J) - 2 * TNEW(I, J) + TEMP)
SUM = SUM - TOZ * W(I) * (TNEW(I, J) - TNEW(I, J - 1))
T(I, J) = SUM - TOZ * W(I) * (TOLD(I, J) - 2 * TOLD(I, J-1) + TEMP1)
T(I, J) = T(I, J) / 2
NEXT I

```

REM DUVAR SICAKLIGI HESAPLANMASI

$T(NR1, J) = TSONSUZ * DR * ASTAR * DT * BI$

$T(NR1, J) = DT * T(NR, J) * ASTAR$

$T(NR1, J) = T(NR1, J) + DR * TOLD(NR1, J)$

$T(NR1, J) = T(NR1, J) / ((BI * DT * DR * ASTAR) + (DT * ASTAR) + DR)$

111 NEXT J

REM YENİ SICAKLIKLARIN ATANMASI ADIMI

FOR I = 1 TO NR1

FOR J = 1 TO NZ1

TOLD(I, J) = T(I, J)

NEXT J

NEXT I

IF ICOUNT = IPLOT THEN

ICOUNT = 0

S = 1

FOR I = 1 TO NR STEP 4

FOR J = 1 TO NZ STEP 40

$T2(NR1, J) = (T(NR1, J) * DTDUVAR) + TED$

$T2(I, J) = (T(I, J) * DELTAT) + TE$

SAY = SAY + 1

LOCATE 3 + SAY, S: PRINT "T("; S; ")="; USING "##.####"; T2(I, J)

NEXT J

SAY = 0

S = S + 16

NEXT I

LOCATE 20, 5: PRINT "ITERASYON SAYISI="; ITERA

END IF

REM MAKSİMUM VE MİNİMUM SICAKLIKLARIN KAYDI ADIMI

110 LOCATE 22, 5: PRINT " MINUMUM SICAKLIKLARIN DOSYASININ
KAYDI YAPILIYOR"

SUTUN = 1

OPEN "O", #1, "MINS**.PRN"

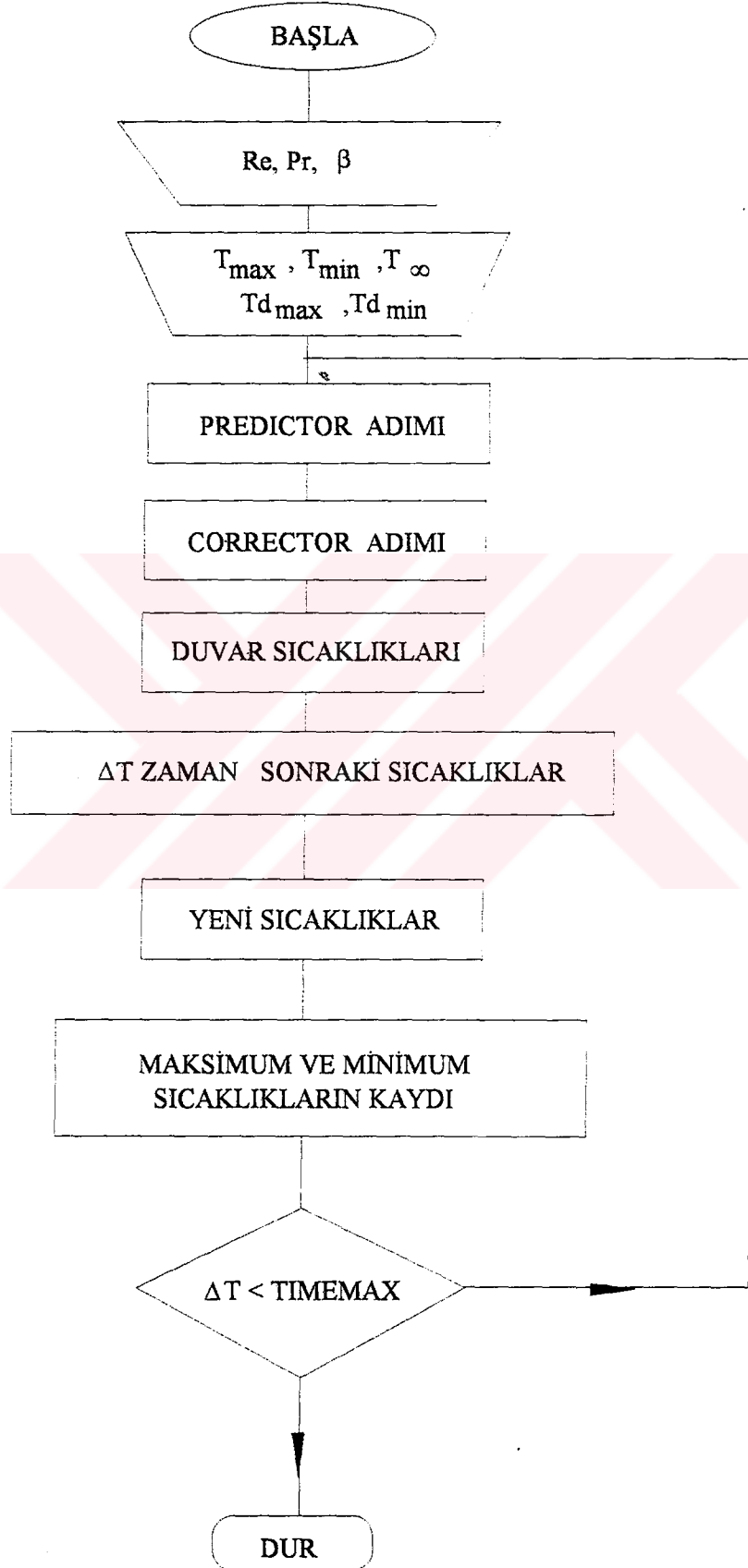
WRITE #1, RE, BETA, TMAX, TMIN, ITERA

FOR J = 1 TO NZ1 STEP 40

I = 1

```
WRITE #1, SUTUN, T2(I, J), T2(I + 5, J), T2(I + 9, J), T2(I + 13, J), T2(I +  
17,J)  
SUTUN = SUTUN + 1  
NEXT J  
CLOSE #1  
END  
GOTO 11  
120 LOCATE 22, 5: PRINT " MAKSIMUM SICAKLIKLARIN DOSYASININ  
KAYDI YAPILIYOR  
SUTUN = 1  
OPEN "O", #1, "MAKS**.PRN"  
WRITE #1, RE, BETA, TMAX, TMIN, ITERA  
FOR J = 1 TO NZ1 STEP 40  
I = 1  
WRITE #1, SUTUN, T2(I, J), T2(I + 5, J), T2(I + 9, J), T2(I + 13, J), T2(I +  
17,J)  
SUTUN = SUTUN + 1  
NEXT J  
CLOSE #1  
GOTO 11  
999 END
```

PROĞRAM AKIŞ ŞEMASI



ÖZGEÇMİŞ

Ünal Uysal, 1965 yılında Ilgaz'da doğdu. İlkokul, orta okul ve liseyi Ankara'da tamamladı. Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünün 1988 yılında mezun oldu. 1989 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1993 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansını tamamladı. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makina Mühendisliği A.B.D Isı-Enerji programında doktora öğrenimine başladı. 1995 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne Araştırma görevlisi olarak göreve başladı.

Halen Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Adres:

Sakarya Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü

54040 Esentepe/SAKARYA