

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEŞİTLİ YÜZEYLERİNDEN ISITILAN VEYA SOĞUTULAN AÇIK
DİKDÖRTGEN PRİZMATİK BOŞLUKTA LAMİNER DOĞAL TAŞINIMIN
SAYISAL VE DENEYSEL İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ
Hakan KARAKAYA

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi
Programı: Enerji

OCAK-2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ YÜZEYLERİNDEN ISITILAN VEYA SOĞUTULAN AÇIK DİKDÖRTGEN
PRİZMATİK BOŞLUKTA LAMİNER DOĞAL TAŞINIMIN SAYISAL VE
DENEYSEL İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ
Hakan KARAKAYA
(Enstitü No: 05119201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 05 OCAK 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 22 OCAK 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aydın DURMUŞ (OMÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Celal SARSILMAZ (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Fevzi GÜLÇİMEN (T.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Aydın DİKİCİ (F.Ü.)

OCAK-2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Aydın DURMUŞ' a teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden Öğretim Görevlisi Dr. Ayla DURMUŞ' a, Araştırma Görevlisi Dr. Çetin ÖZAY' a, Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Aydın DİKİCİ' ye, Yapı Eğitimi Bölümünden Öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Cevdet Emin EKİNCİ' ye, Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Fevzi GÜLÇİMEN' e ve kardeşim Gökhan KARAKAYA' ya teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca kendilerine zaman ayıramadığım, bana katlanan ve sabreden bütün güzellikleri hak eden aileme; manevi desteğini esirgemeyen hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hakan KARAKAYA
ELAZIĞ – 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XXVIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XXIX
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması.....	2
2. DENEY DÜZENEGİNİN TANITILMASI VE YÖNTEM.....	12
2.1 Deney düzeneğinin tanıtılması.....	12
2.2 Ölçümler.....	17
2.2.1 Sıcaklık ölçümü.....	17
2.2.2 Hız ölçümü.....	18
2.3 Deneylerin yapılışı.....	19
2.4 Sayısal yöntem.....	22
2.5 Sayısal hesaplamanın geçerliliği.....	26
3. BULGULAR VE İRDELEME.....	28
3.1 I. Durum.....	28
3.2 II. Durum.....	42
3.3 III. Durum.....	53
3.4 IV. Durum.....	64
3.5 V. Durum.....	77
3.6 VI. Durum.....	90
3.7 VII. Durum.....	103
4. ENGELLİ DURUMLAR.....	120
4.1 I. Durum için Engelli Durumlar.....	120
4.1.1 1. Engel.....	120
4.1.2 2. Engel.....	127
4.1.3 3. Engel.....	134
4.2 II. Durum için Engelli Durumlar.....	142
4.2.1 1. Engel.....	142
4.2.2 2. Engel.....	149
4.2.3 3. Engel.....	156
4.3 III. Durum için Engelli Durumlar.....	164
4.3.1 1. Engel.....	164
4.3.2 2. Engel.....	171
4.3.3 3. Engel.....	178
4.4 IV. Durum için Engelli Durumlar.....	186
4.4.1 1. Engel.....	186
4.4.2 2. Engel.....	193
4.4.3 3. Engel.....	200
4.5 V. Durum için Engelli Durumlar.....	208
4.5.1 1. Engel.....	208

	<u>Sayfa No</u>
4.5.2 2. Engel.....	215
4.5.3 3. Engel.....	221
4.6 VI. Durum İçin Engelli Durumlar.....	229
4.6.1 1. Engel.....	229
4.6.2 2. Engel.....	236
4.6.3 3. Engel.....	243
4.7 VII. Durum İçin Engelli Durumlar.....	251
4.7.1 1. Engel.....	251
4.7.2 2. Engel.....	258
4.7.3 3. Engel.....	265
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	273
6. ÖNERİLER.....	274
KAYNAKLAR.....	275
EKLER.....	281
EK 1.....	281
EK 2.....	284
ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

Bu çalışmada çeşitli yüzey sınır şartlarına sahip başlangıçta kapalı kübik hacim olan ön yüzeyinin ortama açılmasıyla kübik boşluk haline gelen hacimdeki doğal taşınım laminer durumda deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Ayrıca giriş yüzeyinin çeşitli tipteki engellerle kısmi açık olma halleri teorik olarak ele alınmıştır. Ön yüzeyin tamamen açık olma hali ve kısmi açık olma halleri Fluent-6.3 paket programı kullanılarak çözümlenmiş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca ön yüzeyin tamamen açık olma hali yedi farklı yüzey sınır şartı için teorik çözümleme yanında deneysel olarak da incelenmiştir.

Deneysel çalışmada doğal taşınım şartlarını sağlayabilmek için 2x2x1,8 m boyutlarında şartlandırma odası kullanılmış deney düzeneğinin giriş ağzı bu şartlandırma odasına açılmıştır. Çalışmada akım fonksiyonu, sıcaklık değişimi ve hız vektörleri grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda Nusselt sayısının zamana bağlı değişimi elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal taşınım, Kübik boşluk, Kübik kapalı hacim, Laminer akış.

SUMMARY

Heating or Cooling of Various Surface In The Open Space Prismatic Rectangular Numerical and Experimental Investigation Laminar Natural Convection

In this study, with various surface boundary conditions initially off the front surface of a cubic volume of the opening to the environment has become a cubic volume of space in the natural convection laminar case have been examined in experimental and theoretical.

In addition, various types of entry level partial obstacles remain open as a theoretical case has been taken. Preliminary and partial openness of the surface state to be fully explained by case package program using Fluent-6.3 been resolved and compared each other. Also be on the front surface of the completely different surface boundary conditions for the seven state by theoretical analysis as experimental investigated. Experimental study of natural convection conditions can provided for the 2x2x1,8 m in size for conditioning room entrance of the experimental setups used in this conditioning room was opened. In study, stream function, temperature changes and the velocity vector graphics were obtained. Separate as a result of theoretical and experimental work Nusselt number were obtained depending on the time difference.

Key words: Natural convection, Cubic space, Cubic closed volume, Laminar flow.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	12
Şekil 2.2. Kullanılan kübik boşluğun ölçüleri.....	13
Şekil 2.3. Hız probunun hareket etmesini sağlayan robot.....	13
Şekil 2.4. Şartlandırma odası içerisindeki aletlerin konumu.....	14
Şekil 2.5. Kontrol ünitesi.....	14
Şekil 2.6. Termoeleman bağlantı elemanı.....	15
Şekil 2.7. Şartlandırma odasının dış görünüşü.	17
Şekil 2.8. Termo elemanların yerleştirilme şekli.....	18
Şekil 2.9. Hız probunun konumlandırılması.....	19
Şekil 2.10. Kübik boşluğun sürgülü kapısı.....	20
Şekil 2.11. Kübik boşluktaki sıcaklık ve hız ölçüm noktaları.....	21
Şekil 2.12. Hesaplama da kullanılan ağ dağılımı.....	25
Şekil 2.13. İki boyutlu akış alanı için kontrol hacmi [54]	26
Şekil 2.14. Değişik Rayleigh sayıları için yatay hız bileşeninin yükseklik ile değişimi [49].....	27
Şekil 2.15. Fluent çözümünden elde edilen yatay hız bileşeninin yükseklik ile değişimi [45].....	27
Şekil 3.1. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	28
Şekil 3.2. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	29
Şekil 3.3. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	31
Şekil 3.4. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	32
Şekil 3.5. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	33
Şekil 3.6. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	34

Şekil 3.7. $t=45$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	35
Şekil 3.8. $t=65$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	36
Şekil 3.9. $t=65$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	37
Şekil 3.10. $t=80$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	38
Şekil 3.11. $t=80$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	39
Şekil 3.12. $x/X=0$ 'da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	39
Şekil 3.13. $x/X=0,4$ 'de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	40
Şekil 3.14. $x/X=0,8$ 'de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	41
Şekil 3.15. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	42
Şekil 3.16. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a)sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	43
Şekil 3.17. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	44
Şekil 3.18. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	45
Şekil 3.19. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	46
Şekil 3.20. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	47
Şekil 3.21. $t=45$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	48

Şekil 3.22. $t=50.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	49
Şekil 3.23. $t=50. s$ için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	50
Şekil 3.24. $x/X=0'$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk	
yüksekliğince değişimi.....	51
Şekil 3.25. $x/X=0,4$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk	
yüksekliğince değişimi.....	51
Şekil 3.26. $x/X=0,8$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk	
yüksekliğince değişimi.....	52
Şekil 3.27. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	53
Şekil 3.28. $t=5.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	54
Şekil 3.29. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	55
Şekil 3.30. $t=25.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	56
Şekil 3.31. $t=25 s$ için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	57
Şekil 3.32. $t=45.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	58
Şekil 3.33. $t=45 s$ için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	59
Şekil 3.34. $t=60.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	60
Şekil 3.35. $t=60 s$ için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	61
Şekil 3.36. $x/X=0'$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk	
yüksekliğince değişimi.....	62

Şekil 3.37. $x/X=0,4$ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	62
Şekil 3.38. $x/X=0,8$ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	63
Şekil 3.39. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	64
Şekil 3.40. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	65
Şekil 3.41. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	66
Şekil 3.42. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	67
Şekil 3.43. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	68
Şekil 3.44. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	69
Şekil 3.45. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	70
Şekil 3.46. $t=65$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	71
Şekil 3.47. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	72
Şekil 3.48. $t=80$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	73
Şekil 3.49. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	74
Şekil 3.50. $x/X=0'$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	74
Şekil 3.51. $x/X=0,4'$ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluğu yüksekliğince değişimi.....	75

Şekil 3.52. $x/X=0,8$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	76
Şekil 3.53. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	77
Şekil 3.54. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	78
Şekil 3.55. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	79
Şekil 3.56. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	80
Şekil 3.57. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	81
Şekil 3.58. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	82
Şekil 3.59. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	83
Şekil 3.60. $t=65$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	84
Şekil 3.61. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	85
Şekil 3.62. $t=80$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	86
Şekil 3.63. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	87
Şekil 3.64. $x/X=0'$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	88
Şekil 3.65. $x/X=0,4$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	88
Şekil 3.66. $x/X=0,8$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	89
Şekil 3.67. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	90

Şekil 3.68. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	91
Şekil 3.69. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	92
Şekil 3.70. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	93
Şekil 3.71. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	94
Şekil 3.72. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	95
Şekil 3.73. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	96
Şekil 3.74. $t=65$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	97
Şekil 3.75. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	98
Şekil 3.76. $t=75$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	99
Şekil 3.77. $t=75$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal	
bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	100
Şekil 3.78. $x/X=0$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk	
yüksekliğince değişimi.....	101
Şekil 3.79. $x/X=0,4$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk	
yüksekliğince değişimi.....	102
Şekil 3.80. $x/X=0,8$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk	
yüksekliğince değişimi.....	102
Şekil 3.81. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	103
Şekil 3.82. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı	
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	104

Şekil 3.83. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	105
Şekil 3.84. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	106
Şekil 3.85. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	107
Şekil 3.86. $t=220$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	108
Şekil 3.87. $t=220$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	109
Şekil 3.88. $x/X=0$ 'da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	110
Şekil 3.89. $x/X=0,4$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	110
Şekil 3.90. $x/X=0,8$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	111
Şekil 3.91. I. Durum için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi.....	113
Şekil 3.92. II. Durum için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi.....	114
Şekil 3.93. III. Durum için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi.....	115
Şekil 3.94. IV. Durum için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi.....	116
Şekil 3.95. V. Durum için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi.....	117
Şekil 3.96. VI. Durum için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi.....	118
Şekil 3.97. VII. Durum için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi.....	119
Şekil 4.1. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	120
Şekil 4.2 $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	121
Şekil 4.3. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	122
Şekil 4.4 $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	123

Şekil 4.5 $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	123
Şekil 4.6. $t=80$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrileri dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	124
Şekil 4.7. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	125
Şekil 4.8. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	125
Şekil 4.9. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	126
Şekil 4.10. $x/X=0,8$ de sayısal sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	126
Şekil 4.11. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	127
Şekil 4.12. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	128
Şekil 4.13. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	129
Şekil 4.14. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	130
Şekil 4.15. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	130
Şekil 4.16. $t=70$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	131
Şekil 4.17. $t=70$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	132
Şekil 4.18. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	132
Şekil 4.19. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	133

Şekil 4.20 $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	133
Şekil 4.21 Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	134
Şekil 4.22. $t=5.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	135
Şekil 4.23. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	135
Şekil 4.24. $t=65.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	136
Şekil 4.25. $t=65 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	137
Şekil 4.26. $t=140s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	138
Şekil 4.27. $t=140 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	138
Şekil 4.28. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	139
Şekil 4.29. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	139
Şekil 4.30. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	140
Şekil 4.31. I. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi.....	141
Şekil 4.32. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	142
Şekil 4.33. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	143
Şekil 4.34. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	144
Şekil 4.35. $t=45s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	145

Şekil 4.36. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	145
Şekil 4.37. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	146
Şekil 4.38. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	147
Şekil 4.39. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	147
Şekil 4.40. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	148
Şekil 4.41. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	148
Şekil 4.42. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	149
Şekil 4.43. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	150
Şekil 4.44. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	151
Şekil 4.45. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	152
Şekil 4.46. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	152
Şekil 4.47. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	153
Şekil 4.48. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	154
Şekil 4.49. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	154
Şekil 4.50. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	155

Şekil 4.51. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	155
Şekil 4.52. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	156
Şekil 4.53. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	157
Şekil 4.54. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	158
Şekil 4.55. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	159
Şekil 4.56. $t=25 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	159
Şekil 4.57. $t=250s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	160
Şekil 4.58. $t=250 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	161
Şekil 4.59. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	161
Şekil 4.60. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	162
Şekil 4.61. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	162
Şekil 4.62. II. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi.....	163
Şekil 4.63. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	164
Şekil 4.64. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	165
Şekil 4.65. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	166
Şekil 4.66. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	167

Şekil 4.67. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	167
Şekil 4.68. $t=70$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	168
Şekil 4.69. $t=70$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	169
Şekil 4.70 $x/X=0$ 'da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	169
Şekil 4.71. $x/X=0,4$ 'de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	170
Şekil 4.72. $x/X=0,8$ 'de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	170
Şekil 4.73. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	171
Şekil 4.74. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	172
Şekil 4.75. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	173
Şekil 4.76. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	174
Şekil 4.77. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	174
Şekil 4.78. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	175
Şekil 4.79. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	176
Şekil 4.80. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	176
Şekil 4.81. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	177

Şekil 4.82. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	177
Şekil 4.83. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	178
Şekil 4.84. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	179
Şekil 4.85. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	180
Şekil 4.86. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	181
Şekil 4.87. $t=25 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	181
Şekil 4.88. $t=160s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	182
Şekil 4.89. $t=160 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	183
Şekil 4.90. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	183
Şekil 4.91. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	184
Şekil 4.92. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	184
Şekil 4.93. III. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi.....	185
Şekil 4.94. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	186
Şekil 4.95. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	187
Şekil 4.96. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	188
Şekil 4.97. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	189

Şekil 4.98. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	189
Şekil 4.99. $t=105$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	190
Şekil 4.100. $t=105$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	191
Şekil 4.101. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	191
Şekil 4.102. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	192
Şekil 4.103. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	192
Şekil 4.104. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	193
Şekil 4.105. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	194
Şekil 4.106. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	195
Şekil 4.107. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	196
Şekil 4.108. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	196
Şekil 4.109. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	197
Şekil 4.110. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	198
Şekil 4.111. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	198
Şekil 4.112. $x/X=0,4$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	199

Şekil 4.113. $x/X=0,8$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	199
Şekil 4.114. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	200
Şekil 4.115. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	201
Şekil 4.116. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	202
Şekil 4.117. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	203
Şekil 4.118. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	203
Şekil 4.119. $t=190s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	204
Şekil 4.120. $t=190$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	205
Şekil 4.121. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	205
Şekil 4.122. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	206
Şekil 4.123. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	206
Şekil 4.124. IV. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi.....	207
Şekil 4.125. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	208
Şekil 4.126. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	209
Şekil 4.127. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	210
Şekil 4.128. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	211

Şekil 4.129. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	211
Şekil 4.130. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	212
Şekil 4.131. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	213
Şekil 4.132. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	213
Şekil 4.133 $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	214
Şekil 4.134 $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	214
Şekil 4.135. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	215
Şekil 4.136. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	216
Şekil 4.137. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	216
Şekil 4.138. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	217
Şekil 4.139. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	218
Şekil 4.140. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	219
Şekil 4.141. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	219
Şekil 4.142. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	220
Şekil 4.143. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	220

Şekil 4.144. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	221
Şekil 4.145. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	221
Şekil 4.146. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	223
Şekil 4.147. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	223
Şekil 4.148. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	224
Şekil 4.149. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	224
Şekil 4.150. $t=130s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	225
Şekil 4.151. $t=130$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	226
Şekil 4.152. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	226
Şekil 4.153. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	227
Şekil 4.154. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	227
Şekil 4.155. V. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi.....	228
Şekil 4.156. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	229
Şekil 4.157. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	230
Şekil 4.158. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	231
Şekil 4.159. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	232

Şekil 4.160. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	232
Şekil 4.161. $t=90$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	233
Şekil 4.162. $t=90$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	234
Şekil 4.163. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	234
Şekil 4.164. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	235
Şekil 4.165. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	235
Şekil 4.166. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	236
Şekil 4.167. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	237
Şekil 4.168. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	238
Şekil 4.169. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	239
Şekil 4.170. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	239
Şekil 4.171. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	240
Şekil 4.172. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	241
Şekil 4.173. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	241
Şekil 4.174. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	242

Şekil 4.175. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	242
Şekil 4.176. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	243
Şekil 4.177. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	244
Şekil 4.178. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	245
Şekil 4.179. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	246
Şekil 4.180. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	246
Şekil 4.181. $t=250s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	247
Şekil 4.182. $t=250$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	248
Şekil 4.183. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	248
Şekil 4.184. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	249
Şekil 4.185. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	249
Şekil 4.186. VI. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi.....	250
Şekil 4.187. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	251
Şekil 4.188. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	252
Şekil 4.189. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	253
Şekil 4.190. $t=25s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	254

Şekil 4.191. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	254
Şekil 4.192. $t=1250$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	255
Şekil 4.193. $t=1250$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	256
Şekil 4.194. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	256
Şekil 4.195. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	257
Şekil 4.196. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	257
Şekil 4.197. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	258
Şekil 4.198. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	259
Şekil 4.199. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	260
Şekil 4.200. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	261
Şekil 4.201. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	261
Şekil 4.202. $t=275$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	262
Şekil 4.203. $t=275$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	263
Şekil 4.204. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	263
Şekil 4.205. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	264

Şekil 4.206. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	264
Şekil 4.207. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları.....	265
Şekil 4.208. $t=5s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	266
Şekil 4.209. $t=5 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	267
Şekil 4.210. $t=45s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	268
Şekil 4.211. $t=45 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	269
Şekil 4.212. $t=260s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri.....	270
Şekil 4.213. $t=60 s$ için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	270
Şekil 4.214. $x/X=0'$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	271
Şekil 4.215. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	271
Şekil 4.216. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi.....	272
Şekil 4.217. VII. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi.....	272
Ek Şekil 1.1. Deneysel Nusselt sayısının hesabı için termoelemanların yerleştirilme şekli.....	283

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Hız probu özellikleri	16
Tablo 2.2. Monitör özellikleri.....	16
Tablo 2.3. Yan yüzeyi açık prizmatik bir boşluk için sonuçların karşılaştırılması [45].....	27

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Alan (m^2)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	: Entalpi (J/kg)
k	: Isı iletim katsayısı ($W/m.K$)
L	: Karakteristik uzunluk (m)
Nu	: Nusselt sayısı (-)
$\overline{Nu}$	: Ortalama Nusselt sayısı (-)
P	: Basınç (Pa)
Ra	: Rayleigh sayısı (-)
S	: Kaynak terimi
t	: Zaman (s)
T	: Sıcaklık (K)
ΔT	: Sıcaklık farkı (K)
u	: x doğrultusundaki hız bileşeni (m/s)
v	: y doğrultusundaki hız bileşeni (m/s)
y	: Dikey doğrultudaki koordinat (m)
Y	: Dikey doğrultudaki uzunluk (m)
x	: Yatay doğrultudaki koordinat (m)
X	: Yatay doğrultudaki uzunluk (m)

Grek Semboller

α	: Isıl yayılım katsayısı (m^2/s)
β	: Isıl genleşme katsayısı ($1/K$)
ϕ	: Bağımlı değişken
δ	: Kontrol hacmi uzunluğu
μ	: Dinamik viskozite ($kg/m.s$)
ψ	: Akım fonksiyonu (kg/s)
γ	: Kinematik viskozite (m^2/s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
Γ	: α ve μ değerlerinden biri

Üst İndisler

n : Bir önceki zaman adımına ait değer
 $n+1$: Bir sonraki zaman adımına ait değer

Alt İndisler

E : Doğu ağ noktası
e : Doğu kontrol hacmi yüzeyi
N : Kuzey ağ noktası
n : Kuzey kontrol hacmi yüzeyi
S : Güney ağ noktası
s : Güney kontrol hacmi yüzeyi
W : Batı ağ noktası
w : Batı kontrol hacmi yüzeyi
p : Grid noktası

1.GİRİŞ

Taşınímla ısı transferi iki grupta incelenir. Bunlardan birincisi olan zorlanmış taşınímda akış hareketi fan, üfleyici, rüzgar gibi bir dış etki vasıtasıyla sağlanır. Doğal taşınímda ise dış etki tarafından oluşturulmuş bir akış hareketi yoktur. Böyle durumlarda akışkan hareketinin nedeni büyük ölçüde sıcaklık farkı veya konsantrasyon farkından dolayı oluşan yoğunluk farkıdır. Doğal taşıınımdaki akış hareketinin hızı zorlanmış konveksiyona oranla düşüktür. Fakat doğal taşıınım ile ısı geçişı uygulaması gerçek yaşamda daha fazla karşımıza çıkar. Bu sebeple sistem tasarımında bu etkiyi göz önünde bulundurmak gerekir. Ayrıca ısı transferini azaltmak ve buna bağılı olarak işletme giderlerinin düşürülmesinde genelde doğal taşıınım uygulamaları tercih edilir.

Kapalı hacim, duvarlarla sınırlandırılmış sonlu boşluklar olarak tanımlanabilir. Kapalı hacimlerin bir yüzeyinin veya tüm yüzeylerinin ortama açılması durumunda boşluklar oluşur. Kapalı hacimlerde veya boşluklarda doğal taşıınımına sebep olan, yoğunluk konsantrasyonundan dolayı oluşan kaldırma kuvvetidir. Bizim çalışmamızda da yoğunluk farkları, kapalı ortam içinde bulunan akışkandaki sıcaklık değişimleri sonucu oluşmaktadır. Bilindiğı gibi ısınan akışkan yoğunluk farkından dolayı yukarı doğru, soğutulan akışkan ise aşağı doğru hareket etmek isteyecektir. Fakat kapalı hacimlerde ısıtılan veya soğutulan yüzeyin konumu önemlidir.

Kapalı hacimlerde veya boşluklardaki ısı transferi uygulamaları mühendislikte ve günlük hayatta çok sık karşımıza çıkar. Örneğın elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan kanatların arasındaki boşluklar, bina ve işyerlerinde mimari özellikten veya ihtiyaçtan dolayı oluşan boşluklar, binaların ısıtılması veya havalandırılması için gerekli olan boşluklar, tüm iş makinelerinde ve ev ihtiyacı olan buzdolabı gibi eşyalarda mevcut olan boşluklar uygulamada çok sık karşılaşılan durumlardır. Çalışmanın amacı endüstride ve günlük hayatta sıkça karşılaştığımız ısıtma, soğutma ve havalandırma problemlerine katkıda bulunmaktır.

Bu çalışmada, yan yüzeyi açık prizmatik bir boşlukta doğal taşıınım yoluyla meydana gelen geçici rejimdeki ısı geçişı incelenmiştir.

Prizmatik boşluktaki yüzeylerin soğutulması ve ısıtılması durumunda belirli zaman adımlarında prizmatik boşluk içerisindeki hız ve sıcaklık dağılımları detaylı olarak bulunacak, soğutma ve ısıtma yüzeyleri için ortalama Nusselt sayısının zamanla değişimi elde edilecektir.

Açık yüzeyde değişik konumlara yerleştirilen engellerin ısı geçişine etkisi araştırılacaktır. Ayrıca çalışma Fluent-6.3 paket programı kullanılarak iki boyutlu ve laminar doğal taşınım kabulüyle sayısal olarak da incelenecek ve sonuçlar karşılaştırılacaktır.

1.1. LİTERATÜR TARAMASI

Kapalı hacim, bir yüzeyi açık boşluk ve buzdolabında doğal taşınım olmak üzere üç ana başlıkta literatür araştırması yapılmıştır. Bunların bir bölümü, kısaca aşağıdaki gibi verilmiştir.

Sezai ve Mohamad yaptıkları çalışmada yatay konumlu ve tabanına düz bir sıra şeklinde yerleştirilmiş farklı dikdörtgen şekillerdeki ısı kaynaklarından oluşan kapalı bir hacimde meydana gelen doğal taşınımı sürekli rejimde sayısal olarak ele almışlardır. Çalışmada kapalı hacim, üst yüzeyinden soğutulmuş alt yüzeyinden ise izole edilmiştir. Dikey duvarlar için değişik sınır şartlarının ısı kaynağından meydana gelen ısı transferine etkisi araştırılmış ve bu etkinin çok az olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, Rayleigh sayısına ve ısı kaynağının görüş oranına bağlı olarak Nusselt sayısının değişimi verilmiştir [1].

Bilgen yaptığı çalışmada sayısal bir metotla, kısmi olarak bölünmüş kapalı hacimde laminar ve türbülanslı doğal taşınımı araştırmıştır. Araştırmada kapalı hacmin dikey yüzeyleri sabit sıcaklıklarda, yatay yüzeyleri ise adyabatik kabul edilmiştir. Boussinesq yaklaşımıyla iki boyutlu momentum, enerji ve kütle korunumu denklemleri Simplex metodu kullanılarak çözülmüştür. Çalışma değişik boyutlar ve değişik bölme oranları için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Rayleigh sayısı 10^4 ile 10^{11} arasında değiştirilmiştir. Nusselt sayısı, Rayleigh sayısının ve boyutsuz geometriksel parametrelerin fonksiyonu olarak incelenmiştir. Araştırmacılar tarafından; farklı geometrik şartlar ve Rayleigh sayıları için sıcaklık, hız ve akım çizgileri elde edilmiş, ayrıca uygulanabilir problemler için yararlı ısı transfer bağıntıları verilmiştir [2].

Dalal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sonsuz uzunlukta dikdörtgen kesitli bir kanalda toz içeren bir akışkan için geçici rejimde doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Düşey duvarlar farklı sıcaklıkta alınmış ve yatay yüzeyler yalıtılmıştır.

Tozsuz durum için elde edilen sonuçların daha önce yapılan çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, ısı geçişinin, Rayleigh sayısının artışı ile arttığı, kütle konsantrasyonunun azalması ile azaldığı sonucu elde edilmiştir [3].

Laguerre vd. yaptıkları çalışmada arka yüzeyinden soğutulan ve diğer yüzeylerinden ısı geçişi olan boş bir buzdolabı modelinde sınır tabaka içindeki ve merkezdeki sıcaklık profillerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada soğuk yüzeyin, sıcaklığın ve yüzey alanının etkisi araştırılmıştır. Ayrıca buzdolabı içerisine yerleştirilen blok şeklindeki engellerin sıcaklık profilleri üzerindeki etkisi incelenmiş, blok içeren modelde hemen hemen her bölgede hava sıcaklığının daha düşük olduğu görülmüştür [4].

Cuckovic-Dzodzo vd. yaptıkları çalışmada küp şeklinde olan kapalı bir hacimde, laminar doğal taşınım deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kararlı akış durumunda, iki boyutlu olarak ele alınmıştır. Çalışma Rayleigh sayısının ($38000 < Ra < 369000$) ve Prandtl sayısının ($2700 < Pr < 7000$) aralıkları için geçerlidir ve bu aralıklar için ampirik olarak yerel Nusselt sayılarında elde edilen eşitlikler verilmiştir [5].

Papanicolaou ve Belessiotis yaptıkları çalışmada su dolu dikey bir silindirde meydana gelen doğal taşınımı yüksek Rayleigh sayıları için zamana bağlı olarak incelemişlerdir. Sayısal çalışmada silindir yan yüzeyinden sabit ısı akısıyla ısıtılırken yatay yüzeyler yalıtılmıştır. Silindir yüksekliğine göre tanımlanan Rayleigh sayısı, laminar akış için $10^{10} \leq Ra \leq 10^{13}$ ve türbülanslı akış için $5 \times 10^{13} \leq Ra \leq 10^{15}$ aralığında değiştirilmiştir. Türbülanslı akış durumu için bir çok iki-eşitlikli türbülans modeli kullanılmıştır [6].

Aydın yaptığı çalışmada kare şeklindeki bir ortamda iki boyutlu ısı geçişini geçici rejimde Prandtl sayısının 0,71 ile 7,1 değerleri için geniş bir Rayleigh sayısı aralığında incelemiştir. Ortam içerisindeki akışkan başlangıçta üniform sıcaklıkta ve hareketsiz kabul edilmiştir. Daha sonra aniden üst yüzey sıcaklığı düşürülüp bir yan yüzeyin sıcaklığı artırılırken diğer yüzeylerden ısı geçişinin olmadığı kabul edilmiştir. Çalışmada zamana bağlı Navier-Stokes denklemlerinin çözümü vortisite akım fonksiyonu formülasyonu kullanılarak sonlu farklar yöntemiyle elde edilmiştir.

Yüksek Prandtl sayılarında Rayleigh sayısı artarken akış ve sıcaklık alanının daha karmaşık hale geldiği ve kararlı duruma erişmesi için daha uzun bir süre geçtiği belirtilmiştir [7].

Li vd. yaptıkları çalışmada yüzey sıcaklığı periyodik olarak değişen düşey bir yüzeyde oluşan doğal taşınımı sayısal olarak ele almışlardır. Kararlı durumda Grashof sayısının 0–625 aralığı için sonuçlar iteratif yaklaşım kullanılarak elde edilmiştir ve sonuçların geçerliliği Grashof sayısının küçük değerleri için karışım yöntemiyle doğrulanmıştır. Grashof sayısının büyük değerleri için kararsız bir sayısal yöntem geliştirilmiş ve büyük zaman diliminde elde edilen sonuçlar kararlı çözümle karşılaştırılmıştır. Büyük Grashof sayılarında kararsız çözümün kararlı çözüme yaklaştığı görülmüştür [8].

İçerisinde ısı üretimi olan küp şeklindeki bir hacimde iletim ve doğal taşınımından oluşan bileşik ısı transferi üç boyutlu ve sürekli rejimde sayısal olarak Ha ve Jung tarafından yapılan kapsamlı bir çalışma ile incelenmiştir. Üç boyutlu, sürekli rejimdeki hal denklemleri boyutsuz forma dönüştürülerek çözüm yapılmıştır. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre; boyutsuz sıcaklık farkı $\Delta T^*=2,5$ ve $Ra=10^3$ için sıcak ve soğuk duvarlardaki Nusselt sayıları, iletimle oluşan ısı transferinden dolayı, z doğrultusunda değişmektedir. Ancak $Ra=10^4$ değerine yükseldiğinde iletimin etkisi azalmakta ve taşınım etkin olmaktadır [9].

Ergin içerisinde bir ısıtıcı bulunan iki katlı kapalı bir hacimde doğal taşınımı deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada ısıtıcı yüzeyler ve diğer yüzeyler arasında ışıınım ile oluşan ısı geçişini hesaplamak için net ışıınım metoduna dayalı bir model uygulanmıştır. Çalışmada, ısı transferinin ağırlıklı olarak taşınım yolu ile olduğu vurgulanmış olmasına rağmen daha düşük duvar bölümlerinde ışıınımla ısı transferinin de etkin olduğu belirlenmiştir [10].

Deng farklı değerlerde ısı kaynaklarına sahip duvarlarla çevrili dikdörtgen prizması şeklindeki bir hacimde iki boyutlu, kararlı, laminar doğal taşınımı sayısal olarak incelemiştir. Isı ve akışkanın akış yapıları, akım çizgileri ve ısı çizgileri kullanılarak detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Çalışma sonucunda yan yüzeyde ve tabanda bulunan ısı kaynakları için uygulanan sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı sınır koşullarının ısıl kararlılık üzerindeki etkileri verilmiştir [11].

Pallares vd. yaptıkları çalışmada alt yüzeyden ısıtılan ve üst yüzeyden soğutulan küp şeklindeki bir hacimde meydana gelen üç boyutlu doğal taşınımı, Prandtl sayısının 0,71, 10 ve 130 değerleri, Rayleigh sayısının farklı değerleri için sayısal olarak ele almışlardır.

Çalışmada, yan yüzeyleri yalıtılmış boşlukta Prandtl ve Rayleigh sayısına bağlı olarak yedi farklı akış şeklinin oluştuğu belirlenmiştir [12].

Cortella vd. açık kabinli bir soğutucuda hız ve sıcaklık dağılımının analizi için sonlu eleman yöntemi uygulamışlardır. Çalışmada, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) hız-akım fonksiyonu formülasyonuna dayandırılmış ve örnek bir uygulama için çok bölmeli dikey bir dolap farklı çalışma şartlarında araştırılmıştır. Sayısal sonuçlar, EN441 standartlarına uygun olarak yapılan deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak geçerliliği gösterilmiştir.

Sonuç olarak hava jetlerinin; sıcaklık, hız dağılımı ve dolap performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu araştırmacılar tarafından görülmüş ve yapılan akış gözleme deneyi sonuçları ile sayısal sonuçların yakın değerlerde olduğu görülmüştür [13].

İçerisinde düşey iki ayırıcı bulunan kapalı bir hacimdeki doğal taşınımı Dağtekin ve Öztop yaptıkları çalışmada sayısal olarak incelemişlerdir. Kapalı hacmin bir düşey duvarı ve tabanı yalıtılmış, diğer düşey duvar ve tavan sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Tabana yerleştirilen iki ayırıcı levha aynı sıcaklıktadır ve bu sıcaklık diğer duvar sıcaklığından daha yüksek seçilmiştir. Çalışmada ayırıcıların konumlarının ve yüksekliklerinin ısı transferi ve akış alanı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar Rayleigh sayısının 10^4 ve 10^6 aralığında kontrol hacmi yaklaşımı kullanılarak sonlu fark denklemleri SIMPLEX algoritmasıyla elde edilmiştir. Ayırıcıların yüksekliklerinin artmasıyla ortalama Nusselt sayısının arttığı belirtilmiştir. Ayrıca ayırıcıların konumunun, ısı geçişinde daha çok akış üzerinde etkili olduğu ve ayırıcılar arasındaki mesafenin artmasıyla ortalama Nusselt sayısının arttığı görülmüştür [14].

Costa yaptığı çalışmada düşey duvarlarında ısı iletiminin dikkate alındığı dikdörtgensel kapalı bir hacimde doğal taşınımı incelemiştir. Sonuçlar duvar ve akışkanın ısı dirençleri oranına bağlı olarak elde edilmiştir [15].

Fukuyo vd. yaptıkları çalışmada bir ev tipi buzdolabının yiyecek bölümünün içerisinde soğutulması ve ısı kararlılığının geliştirilmesi için yeni bir hava sağlayıcı sistem geliştirmişlerdir. Bu amaca uygun olarak, kullanılan soğutulmuş hava sağlayıcı sisteme jet delikleri ve bir üfleyici eklemiştir. Hava üfleyici jetlerin sağladığı yüksek sirkülasyon hava akış hızının ve dağılımının optimizasyonunu sağlamıştır.

Araştırmacılar, jetlerin yiyeceklerin yüzeyindeki ısı transferinin iyileşmesini de sağladığını belirtmişlerdir. Böylece yeni sistem ile geleneksel dolaba göre dört kat daha fazla soğutma meydana gelmesini sağlamışlardır.

Araştırmacılar, bu amaç için yeni sistem dolap içerisindeki hava dağılımını hesaplamalı akışkan dinamiği ile elde etmişlerdir. Bununla birlikte, teorik ve deneysel bağıntıları kullanarak jet tarafından oluşturulan soğutma yönteminin matematiksel modelini elde etmişler ve hızlı soğutma için jet hızı belirlemişlerdir. Bu matematiksel model kullanılarak soğutma oranı tahmin edilebilmektedir. Yapılan çalışmadan jet hızının atması ile soğuma periyodunun kısaldığı görülmüştür [16].

Arka yüzeylerinden soğutulan buzdolaplarında, soğutulan havada görülen maksimum sıcaklık farkının dolap yüksekliği arttığında artması büyük boyutlu buzdolabı üretiminde bir problemdir. Sıcaklık farkını azaltarak daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde etmek için büyük boy bir buzdolabı sayısal ve deneysel olarak Ding vd. tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. Çalışmada buzdolabına üfleyici fan ve hava kanalları ilave edilerek daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir [17].

Lacerda vd. yaptıkları çalışmada ev tipi bir buzdolabının içerisindeki sıcaklık dağılımı ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi ele almışlardır. Sıcaklık dağılımı buzdolabı içerisinde soğutulan hava sirkülasyonuna bağlı olduğu için buzdolabının enerji tüketimi, bölmeler içerisindeki akış alanlarının optimizasyon etkinliği artırılmasıyla azaltılabilir. Yapılan bu çalışmada, üç farklı sıcaklıkta, iki dikey bölümde, ticari bir no-frost buzdolabının dondurucu bölümü içerisindeki hız alanlarını ölçmek için partikül görüntü hız metresi (PIV) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda araştırmacılar tarafından; sıcaklığın düşürülmesiyle akış alanının dağılımında olağanüstü değişimler meydana geldiği görülmüştür [18].

Laguerre ve Flick yaptıkları çalışmada üfleyicisi olmayan ev tipi buzdolabında doğal taşınım ile ısı geçişini analiz etmişlerdir. Çalışmada, tahmin edilen başlıca hava sıcaklığı ve soğutma kapasitesinin deneysel verilere yaklaştığı görülmüştür. Ayrıca buzdolabı içerisine yerleştirilen sıcak yiyeceği soğutmak için gerekli olan zamanı tahmin etmek amacıyla sayısal olarak çözüm yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından deneysel sonuçlarla sayısal verilerin son derece yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir [19].

Khalifa ve Sahib yaptıkları çalışmada dikey adyabatik bir bölme ile donatılmış olan dikey kapalı bir hacimde doğal taşınımı deneysel olarak araştırmışlardır.

Bu çalışmada en/boy oranı 0,5 olan deney hücresinin orta kısmına iki dikey sıcak ve soğuk izotermal duvar yerleştirilmiştir. Rayleigh sayısının 10^{11} ile 7×10^{11} aralığında değişen değerleri için yapılan deneylerde çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır.

Çalışmada araştırılan durumlar için deneysel bağıntılar verilmiş ve her bir durum için ısı transferindeki yüzde düşüm oranı tek bir bölme durumuyla karşılaştırılmıştır [20].

Saidur vd. yaptığı çalışmada aynı kapasiteye sahip iki ev tipi buzdolabında, değişik kullanım şartları için enerji tüketiminin hassasiyetini belirlemek amacıyla deneyler yapmışlardır. Araştırmacılar tarafından yapılan deneylerde; ortam sıcaklığı, termostatin pozisyonu ve kapının açık veya kapalı pozisyonu gibi değişkenlerin ve bunların kombinasyonunun enerji tüketimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırmacılara göre oda sıcaklığı en büyük etkiye sahip iken bunu kapının açık olması durumu izlemektedir. Termostat pozisyonu ise en düşük etkiye sahiptir. Bu çalışmada, farklı oda sıcaklıkları ve termostat pozisyonları için deneyler yapılarak matematiksel model geliştirilmiş ve her iki buzdolabı modelinde de enerji tüketiminin 976 Wh ile 1543 Wh arasında değiştiği görülmüştür [21].

Yatay yönde sıcaklık gradyanı ve düşey yönde konsantrasyon gradyanı olan kapalı bir ortamda doğal taşınım Bennacar vd. tarafından yapılan çalışmada sayısal ve analitik olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada Prandtl sayısı 7 ve Lewis sayısı 100 olarak seçilip Rayleigh sayısı 7×10^3 ila 7×10^5 aralığında değiştirilmiştir. Araştırmacılar çalışmada, konsantrasyon gradyanı ve sıcaklık gradyanı nedeniyle oluşan kaldırma kuvvetleri oranının belli bir değerinde, akışın kararsız bir duruma geldiğini belirtmişlerdir [22].

Ampofo yaptığı çalışmada yatay duvarlarından ısı iletimi olan ve düşey duvarları farklı sıcaklıklarda ısıtılan, bölünmüş ve bölünmemiş kapalı bir boşlukta türbülanslı doğal taşınımı deneysel olarak incelemiştir. Yüksekliği ve genişliği 0,75 m, derinliği 1,5 m olan boşluktaki akış iki boyutlu kabul edilmiştir. Çalışmada sıcak duvar 50 °C ve soğuk duvar 10 °C de sabit tutulmuştur. Çok sayıda ısı çift ve lazer anemometresi kullanılarak sıcaklıklar, hızlar ve türbülans büyüklükleri hassas bir şekilde ölçülmüştür [23].

Sun ve Emery yaptıkları çalışmada içerisinde belirli kısımlarda ısı üretimi olan ve ortasında ısı iletimi gerçekleştirebilen bir engel bulunan hava dolu kapalı bir ortamdaki iki boyutlu doğal taşınımı sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada sonlu hacim metodu kullanılarak sayısal çözümler; çeşitli engel yükseklikleri, katı-sıvı ısıl iletkenlik oranları ve iç-dış ısı kaynak oranları için değişik Rayleigh sayılarında elde edilmiştir. Çalışmada, iç ısı kaynakları ile engellerin iletkenliğinden kaynaklanan akış karakteristikleri ve bunların ısı transferi üzerindeki etkileri tartışılmıştır [24].

İçerisinde maksimum yoğunlukta su bulunan kapalı bir ortamda yüksek Rayleigh sayılarında meydana gelen geçici rejimdeki doğal taşınım Nishimura vd. tarafından yapılan çalışmada deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Başlangıçta kapalı hacimdeki suyun sıcaklığı üniform 4°C kabul edilmiş, daha sonra düşey duvarlardaki sıcaklıklar aniden 0°C ve 8°C olarak değiştirilmiştir. Kapalı hacimde ters akışların olduğu gözlenmiştir. Belirli bir zaman adımıdan sonra su, sıcaklık ve hızların periyodik olarak salınım yaptığı belirtilmiştir [25].

Kenar uzunluğu yüksekliğinin beş katı olan kare prizma şeklindeki kapalı bir hacimde, geçici rejimde, üç boyutlu doğal taşınım sayısal olarak Nakano vd. tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. Alt yüzeyden ısıtılan ve üst yüzeyden soğutulan kapalı hacmin, yan yüzeyleri adyabatik kabul edilmiştir ve hacim içerisinde düşük Prandtl sayılı akışkan seçilmiştir. Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri HSMAC sonlu farklar yöntemiyle ifade edilmiştir. Çalışmada $Ra=2000$ ve $Pr= 0,01$ değerleri için sayısal çözüme yaklaşık iki aylık bir zamanda ulaşılmıştır. Düşük sıcaklıktaki alt levhanın sıcaklığındaki ani artışlar, hız ve sıcaklıklarda sürekli salınımlara neden olmuştur [26].

Alt yüzey sıcaklığı zamanla sinüzoidal olarak değişen ve genişliği, yüksekliğin 4 katı olan dikdörtgen prizması şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınım Soong vd. tarafından yapılan çalışmada sayısal olarak incelenmiştir. Üst yüzey daha düşük sabit bir sıcaklıkta tutulurken yan yüzeyler yalıtılmıştır. Alt yüzeye uygulanan sinüzoidal sıcaklık değişiminin genliği arttığında ve/veya frekans azaldığında stabilize edici etki yarattığı belirtilmiştir [27].

Aydın vd. tarafından yapılan çalışmada yatay bir yüzeyden ısıtılan ve tavandan soğutulan dikdörtgen şeklindeki kapalı bir ortamda oluşan iki boyutlu doğal taşınım sürekli rejimde akım fonksiyonu ve hız formülasyonu kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Diğer yüzeylerinden ısı geçişi olmayan dikdörtgen şeklindeki ortamda doğal taşınımına değişik boyut oranlarının ve Rayleigh sayılarının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Rayleigh sayısının ısı transferi üzerindeki etkisinin kısa kanallarda daha önemli olduğu ve boyutlar oranının uzun kanalda, yüksek Rayleigh sayılarında daha etkili olduğu belirtilmiştir [28].

De Vahl Dabis yaptığı çalışmada içerisinde akışkan olarak hava bulunan kare kesitli bir boşluktaki doğal taşınımı çalışmıştır. Çalışmada, boşluğun alt ve üst yüzeyi yalıtılmıştır. Dikey plakalar arasında sıcaklık farkı bulunan kare kesitli boşluktaki, laminar akış için ($10^3 < Ra < 10^6$) iki boyutlu çözüm yapılmıştır.

Araştırmacı, Taylor serisi açılımını kullanarak enerji ve momentum denklemlerini ikinci mertebeden merkezi farklara göre çözmüştür. Ayrıca elde edilen sayısal sonuçlarla Sayısal İntegral Yöntemi karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlarla büyük ölçüde uyum içinde olduğu gözlenmiştir [29].

Fu vd. yaptıkları çalışmada düşey bir yüzeyinden ısıtılan diğer düşey yüzeyinden soğutulan dikdörtgen şeklindeki bir ortamda doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Yatay yüzeyler adyabatik kabul edilmiş, ısıtılan duvarın yarısı farklı diğer yarısı farklı sıcaklıklarda seçilmiştir. Çalışma değişik Rayleigh sayıları ve değişik boyut oranları için gerçekleştirilmiştir. Düşey yüzeydeki yüksek ve düşük sıcaklık bölgelerinin kesişim noktasında yerel Nusselt sayısı dağılımında önemli değişiklikler olduğu ve ortamdaki akışın Rayleigh sayısı ve boyut oranıyla çok etkilendiği belirtilmiştir [30].

Üçgen eleman kullanılan karmaşık geometrilerdeki doğal taşınım Volker vd. tarafından yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal olarak incelenmiştir [31].

Kılıç yaptığı çalışmada düşey bir duvarı aynı anda üst kısmından soğutulan, alt kısmından ısıtılan ve diğer yüzeyleri yalıtılmış olan kapalı prizmatik bir hacim içerisinde meydana gelen doğal taşınımı incelemiştir. Çalışmada prizmatik hacim olarak bir buzdolabı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada değişen akış koşulları altında, buzdolabı içerisindeki ve iç yüzeylerdeki sıcaklıklar ile enerji sarfıyatı ölçülmüş, sonuçlar ısıtma yapılmayan durumlar ile karşılaştırılmıştır. Beklentilere uygun olarak ısıtma yapılması durumunda buzdolabı içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilirken, enerji sarfıyatının arttığı görülmüştür [32].

Tian ve Karayiannis tarafından yapılan çalışmada kare kesitli prizmatik bir ortamda iki boyutlu doğal taşınım sayısal olarak incelemiştir. Bu çalışmada akışkan olarak hava kullanılmış, karşılıklı yan yüzeylerin biri ısıtılırken diğeri soğutulmuştur. Rayleigh sayısının $1,58 \times 10^9$ değeri için sıcaklık ve hız dağılımları elde edilmiş ve türbülans büyüklükleri ölçülmüştür [33].

Penot yaptığı çalışmada bir yüzeyi açık kare kesitli prizmatik bir boşlukta iki boyutlu doğal taşınımı sürekli rejimde sayısal olarak incelemiştir [34].

Skok vd. yaptıkları çalışmada bütün yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulan ve bir yüzeyi açık bir ortamdaki doğal taşınımı hem sayısal hem de deneysel olarak incelemişler ve bütün yüzeyler için yerel ve ortalama Nusselt sayılarını elde etmişlerdir. Rayleigh sayısının $Ra < 10^7$ değerleri için deneysel ve sayısal sonuçların uyum içinde olduklarını gözlemlemişlerdir [35].

Lin vd. tarafından yapılan çalışmada sadece arka yüzeyden ısıtılan ve diğer yüzeyleri yalıtılmış, bir yüzeyi açık ortamdaki doğal taşınımı çalışmışlardır. Sayısal çalışmada iki boyutlu doğal taşınım için k- ϵ türbülans modeli kullanılmış ve akışkan özelliklerinin sıcaklıkla değiştiği kabul edilmiştir. Boşluk için sabit akışkan özelliklerinde bulunan ortalama ısı geçişinin değişken akışkan özelliğine göre bulunandan daha büyük olduğu görülmüştür [36].

Boetcher ve Sparrow yaptıkları çalışmada yatay yönde bir ucu açık bir boşluktaki akış için benzerlik çözümünün geçerliliğini değerlendirerek buna bağlı sayısal çözüm ve elde edilen faydalar açısından incelemiştir. Parametre aralıkları, benzerlik çözümü göz önünde bulundurularak belirlenmiştir [37].

A.A. Mohamad vd. yaptıkları çalışmada bir ucu açık bir boşlukta Lattice Boltzman Yöntemi kullanarak doğal taşınımı çözmüştür. Boşluğun giriş ve çıkışında akışın ve ısı transferinin fiziksel durumu incelenmiştir. Prandtl sayısının 0.71 olduğu ve yüzeydeki boşluğun farklı ölçüleri için Ra sayıları hesaplanmıştır [38].

A. Bahlaoui vd. yaptıkları çalışmada akışın yatay bir boşlukta olduğu alt yüzeyi ısıtılan alt yüzeyi adyabatik olarak ayrılan bir ortamda doğal taşınım ve yüzeylerdeki radyasyonu sayısal olarak incelemiştir. Reynolds sayısının 200 ile 5000 arasındaki değerleri için çözüm yapılmıştır [39].

N. Kasayapanand, ve T. Kiatsiriroat tarafından yapılan çalışmada ince kanatçık eklenen kısmen açık kare boşluklarda elektriksel alanın doğal taşınım üzerindeki etkisi sayısal bir modelleme geliştirilerek araştırılmıştır [40].

S.Z. Shuja vd. yaptıkları çalışmada içerisinde akış olan kare bir boşlukta bulunan ısıtılabilir gözenekli iki blokta ısı ve akış etkilerini araştırmıştır. Boşlukta bulunan bloklardaki gözeneklerin artışının akış alanını artırdığı görülmüştür [41].

S. Sivasankaran ve C.J. Ho tarafından yapılan çalışmada yoğunluğu maksimum su yoğunluğunu geçmeyen, sıcaklığa bağlı olarak değişen manyetik bir alandaki doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Akım fonksiyonu, eş sıcaklık eğrileri ve hız vektörleri grafik şeklinde çizilerek sonuçlar değerlendirilmiştir [42].

Düşey bir yüzeyi açık ve diğer yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulan kare şeklindeki bir ortamda meydana gelen doğal taşınım Angirasa vd. tarafından yapılan çalışmada iki boyutlu ve geçici rejimde sayısal olarak incelenmiştir.

Vortisite akım formülasyonu kullanılarak elde edilen çözümlerden Rayleigh sayısının yüksek değerlerinde akışın salınım yaptığı yani kararlı olmadığı görülmüştür. Ayrıca ısıtılan düşey duvarın en etkili yüzey olduğu belirtilmiştir [43].

Chan ve Tien tarafından yapılan çalışmada düşey bir yüzeyi açık dikdörtgen şeklindeki bir ortamda meydana gelen doğal taşınım sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada akış kararlı ve iki boyutlu ele alınmıştır. Ayrıca ortamın diğer düşey yüzeyinden ısıtıldığı ve yatay yüzeylerin yalıtıldığı kabul edilmiştir. Sonuçlar dışarı doğru olan akışın ve ısı geçişinin ısıtılan ortama büyük oranda bağlı olduğunu göstermiştir. Benzer çalışma yine Chan ve Tien tarafından yine aynı yıl kare şeklindeki bir yüzeyi açık ortam için gerçekleştirilmiştir [44].

Durmuş yaptığı çalışmada, prizmatik bir boşlukta meydana gelen geçici rejimdeki doğal taşınımı incelenmiştir. Prizmatik bir boşluk olarak kabul edilen büro tipi bir buzdolabında kapının açık olması ve kapalı olması durumlarında oluşan doğal taşınım hem deneysel hem de sayısal olarak ele alınmıştır. Ayrıca kapının açık olması durumunda girişe yerleştirilen engellerin ısı geçişine etkisi araştırılmıştır. Fluent-5 paket programı kullanılarak elde edilen sayısal çözümde iki boyutlu laminar doğal taşınım kabulü yapılmıştır. Buzdolabı arka, alt ve yan yüzeyleri yalıtılmış yüzey ve üst kısmında bulunan buharlaştırıcı yüzeyi sabit sıcaklıkta soğuk yüzey olarak alınmıştır [45].

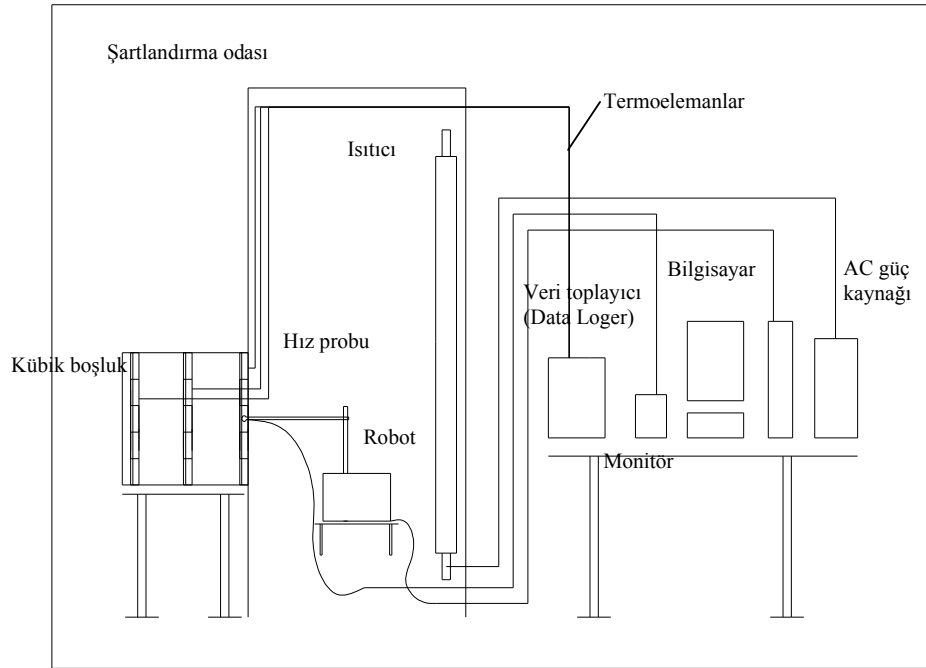
Bizim çalışmamızda ise geçici rejim durumunda, değişik yüzey sınır şartlarında, kübik hacimde doğal taşınım hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir.

2. DENEY DÜZENEGİNİN TANITILMASI VE YÖNTEM

2.1. Deney Düzeneginin Tanıtılması

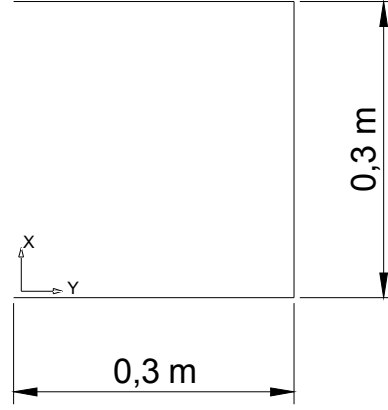
Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 2.1.'de verilmiştir. Deney düzeneği aşağıdaki dört farklı bölümden oluşmaktadır:

- 1- Kübik boşluk
- 2- Isıtıcı ve robot kolu
- 3- Kontrol ünitesi
- 4- Şartlandırma odası



Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Doğal taşınım deneylerini yapmak amacıyla kendi imal ettiğimiz özel olarak tasarlanan bir kübik hacim kullanılmıştır. Kübik boşluğun ölçüleri Şekil 2.2.'de verilmiştir. Kübik boşluğun her bir yüzeyi birbirinden bağımsız ısıtılabilir ve soğutulabilir şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.2. Kullanılan kübik boşluğun ölçüleri

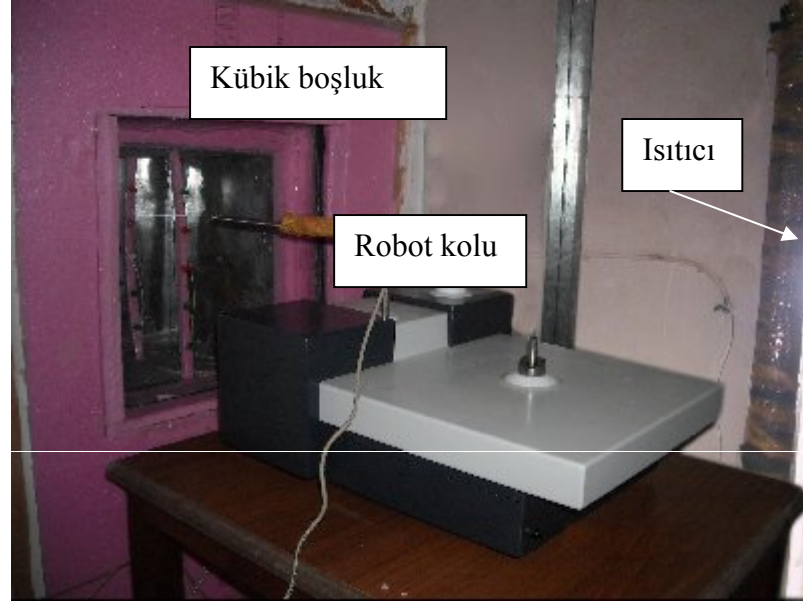


Şekil 2.3. Hız probunun hareket etmesini sağlayan robot

Robot kolu, kübik boşluğun yüksekliği ve derinliği boyunca iki boyutlu olarak hareket edebilmektedir (Şekil 2.3.).

Şekil 2.4.' de şartlandırma odası içerisindeki aletlerin konumu görülmektedir.

Şekil 2.5.' de kontrol ünitesinde bulunan aletlerin resimleri verilmiştir. Şartlandırma odası içerisinde bulunan ısıtıcı AC güç kaynağı ile kontrol edilmektedir. AC güç kaynağının maksimum çalışma sınırı 380 V ve 8 A' dır.



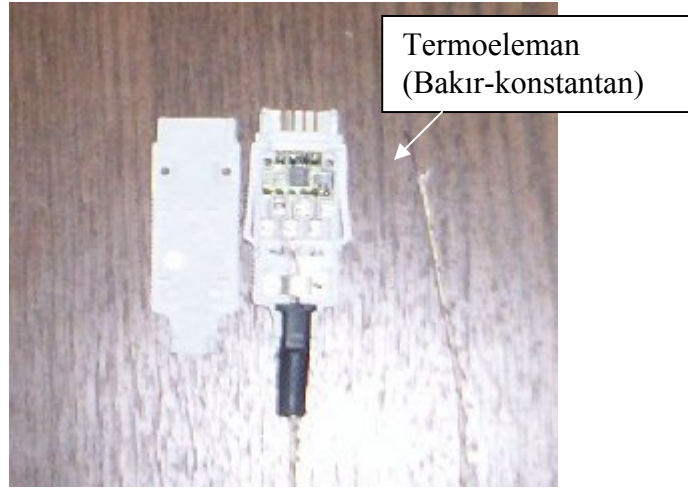
Şekil 2.4. Şartlandırma odası içerisindeki aletlerin konumu.



Şekil 2.5. Kontrol ünitesi

Deney düzeneğinde ölçülen veriler, test bölgesinde çok sayıdaki noktadan ölçüm alabilen ALMEMO 5990-0 model veri toplama ünitesi ile alınmıştır. ALMEMO 5990-0 veri toplama ünitesi aşağıda verilen ek parçalara ve özelliklere sahiptir:

- 1- Bilgisayar destekli online bağlantı elemanı
 - 2- 9x3 adet izole edilmiş giriş soketi
 - 3- 99 ölçüm kanalı
 - 4- Ara yüzey bağlantıları için 2 adet çıkış soketi
 - 5- 1 adet bilgisayar
 - 6- 12 VDA (ZB3093NA model) güç kaynağı
 - 7- Verilerin kaydedilmesini sağlayan zaman ayarlı 512 KB'lık hafıza kartı
 - 8- ZA9000FST model giriş bağlantı elemanı
- ZA9000FST bağlantı elemanının iç yapısı ve bağlantı şekli Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Termoeleman bağlantı elemanı

Sıcaklık ölçmek için T tipi bakır-konstantan (Cu-CuNi) termoelemanlar kullanılmıştır. Bu termoelemanlar, -200 °C ile +400 °C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Deneylerde kullanılan termoelemanların çapı 0,5 mm olup hassasiyeti 0,02 °C' dir. Deney düzeneğinde, sıcaklık farkından dolayı oluşan hava hızını ölçmek için TSI marka 8475 model hız probu (kızgın tel anemometresi) ve monitörü kullanılmıştır.

Doğal taşınım için uygun olan bu hız probu ve monitörün özellikleri aşağıdaki Tablo 2.1. ve Tablo 2.2.' de verilmiştir.

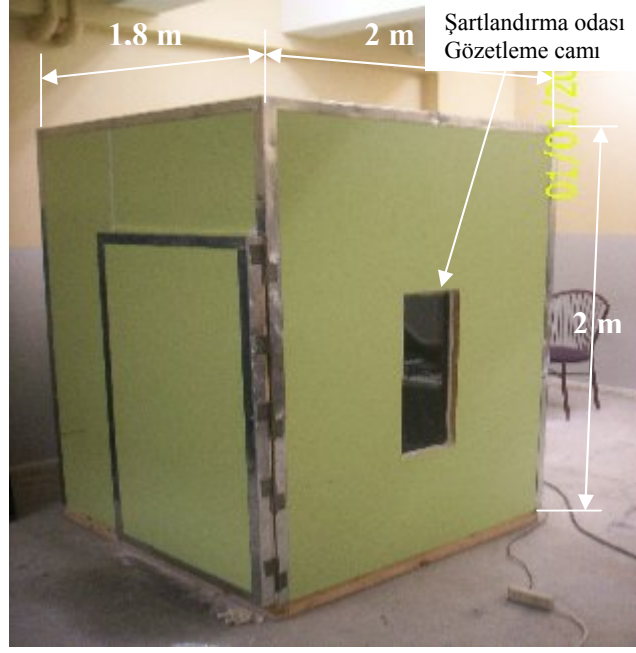
Tablo 2.1. Hız probu özellikleri

Model 8475	
Doğruluk	% $\pm$ 1-3.0
Algılama hassasiyeti	5 s
Minimum kararlılık	% 0,07
Giriş gücü	11-30 VDC ya da 18-28 VAC
Çıkış direnci	500 ohm (maksimum yük direnci)
Çıkış zaman sabiti	10 saniyeden 0,05 saniyeye
Prob uzunluğu	7,5 cm
Sıcaklık aralığı	0-60 °C
Hız aralığı	0,05-2,5 m/s

Tablo 2.2. Monitör özellikleri

Monitör	
Doğruluk	% $\pm$ 0,25
Sıcaklık kararlılığı	% 0,003 (1/°C)
Güç tüketimi	maksimum 19VA
Giriş gücü	11-30 VDC ya da 18-28 VAC
Zaman sabiti	1 s den 20 s' ye (1s aralıklarla)
Boyutları	20,3x15,8x6,5 cm
Sıcaklık ölçüm aralığı	0-50 °C

Deneylerde kullanılan kübik boşluk 2 x 1,8 x 2 m boyutlarında bir şartlandırma odasına yerleştirilmiştir. Şartlandırma odasının fotoğrafı Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Şartlandırma odasının dış görünüşü

2.2. Ölçümler

Deney düzeneğinde sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Sunulan bu çalışmada; yan yüzeyi açık, kübik bir boşluktaki doğal taşınım incelenmiştir.

Temin edilen kübik boşluk, yan yüzeyi açık bir prizmayı sağlamasından dolayı deneylerde kullanılmıştır. Başlıca amaç, yan yüzeyi boşluğa açık bir kübik boşlukta hız ve sıcaklık dağılımını incelemek olduğu için kübik boşluğun enerji sarfıyatı, depolama sıcaklığı, performans gibi parametreleri incelenmemiştir.

2.2.1. Sıcaklık Ölçümü

Deney düzeneğinde, her bir deney aşamasında farklı noktalardan sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kübik boşluk derinliğine doğru 3 farklı mesafede robot kolu yardımıyla sıcaklıklar tespit edilmiş ayrıca yüzeylere yapışık olarak her bir yüzeyde 15 nokta olmak üzere 45 noktada sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ayrıca yüzeylerden $\Delta x - \Delta y$ mesafe uzaklıklarda sıcaklık ölçülmüştür. Şartlandırma odasında ise 3 farklı noktadan sıcaklık ölçülerek şartlandırma odasının sıcaklığı sabit tutulmuştur.

Sıcaklık ölçümlerinde, T tipi bakır-konstantan termoelemanlar kullanılmıştır. Termo elemanların bir tarafındaki bakır ile konstantan nokta kaynağı ile birleştirilerek metal verniği ile izole edilmiştir.

Diğer tarafındaki açık kalan uçlar ise ZA9000FST model bağlantı elemanına (connector) uygun bir şekilde bağlanmıştır. ALMEMO 5990-0 model veri toplayıcısının kendi programında kalibrasyon olmasına rağmen termoelemanların uçları kaynayan su ve buz karışımına daldırılarak ölçüm doğruluğu kanıtlanmıştır.



Şekil 2.8. Termoelemanların yerleştirilme şekli

2.2.2. Hız Ölçümü

Hız ölçümleri, doğal taşınım için uygun olan TSI marka 8475 model hız probu (kızgın tel anemometresi) ile yapılmıştır.

0,05 – 2,5 m/s aralığında ölçüm yapabilen hız probu, her bir deney aşamasında yüzeyler hariç sıcaklık ölçülen her noktaya yerleştirilerek değerler belirlenmiştir. Tasarlamış olduğumuz bir robot koluna monte edilen hız probu, bilgisayar kontrolü ile Matlab 6.5’de yazılmış olan bir programla daha önce tanıtılmış olan noktalara gönderilerek konumlandırılmıştır. Hız probu ALMEMO firması tarafından kalibrasyonu yapılmış olarak gönderilmiştir. Hız probu o noktadaki ortalama hız değerini vermektedir.



Şekil 2.9. Hız probunun konumlandırılması

2.3. Deneylerin Yapılışı

Deneyler yapılırken kübik boşluğun şartlandırma odasına açık olan yüzeyi kapalı olarak tutulmuştur. Bu nedenle kübik boşluğun yüzeyini kapatacak şekilde sürmeli bir cam kapı yapılmıştır. Kübik boşluk bu cam ile açılıp kapatılmıştır. Kübik boşluk ile kapı arasındaki birleşme noktasından hava sızıntısını önlemek için lastik conta yapıştırılmıştır.

Kübik boşluğun giriş kısmı ön tarafı düz ve açık olacak bir ahşap malzemeyle sabitlenmiş daha sonra şartlandırma odasının giriş kısmına monte edilmiştir.

Bu durum, şartlandırma odasının kapısını hep kapalı tutulmasını sağlayarak, şartlandırma odasının içerisindeki hava hareketinin ve sıcaklıkların ani değişimlere uğramasını engellemektedir.

Kübik boşluğun kapısının açılıp kapanması, şartlandırma odasının sıcaklığını değiştirmektedir. Bu nedenle şartlandırma odası sıcaklığını 18 °C’ de sabit tutmak için AC güç kaynağı ile çalışan termostat kontrollü ısıtıcı kullanılmıştır.

Deneyler kübik boşluğun kapısının açık olduğu durum için yapılmıştır. Bunun için boşluk içerisine termoelemanlar yerleştirilerek kapı kapatılmıştır. Kübik boşluk içerisindeki sıcaklık değişimi yaklaşık sıfır oluncaya kadar beklenmiştir.



Şekil 2.10. Kübik boşluğun sürgülü kapısı

Bu bekleme süresi yaklaşık bir saat sürmüştür ve bu süre zarfında şartlandırma odası sıcaklığı 18 °C' de sabit tutulmuştur. Yüzey sıcaklığı ile kübik boşluk iç ortam sıcaklığı yaklaşık eşit olduğunda rejime geldiği kabul edilmiştir. Rejim durumunda yüzey sıcaklığı ile kübik boşluk içinde ölçülen sıcaklıklar arasındaki farkın maksimum +0,5 °C olduğu görülmüştür.

Diagram illustrating the spatial discretization of a rectangular domain. The domain is defined by $x/X = 0$, $x/X = 0.4$, $x/X = 0.8$ and $y/Y = 0$, $y/Y = 0.2$, $y/Y = 0.4$, $y/Y = 0.6$, $y/Y = 0.8$. The grid consists of 15 points arranged in 3 columns and 5 rows. The horizontal distance between columns is 0.3 m . The vertical distance between rows is 0.05 m . The origin $(0,0)$ is at the bottom-left corner.

Aynı zamanda şartlandırma odası sıcaklığı sürekli kontrol altında tutulmuştur. Probu 1. konumu için bütün sıcaklık değerleri 1 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Sıcaklık değişiminin kübik boşluk içerisindeki bütün noktalarda sıfır ya da sıfıra yakın olması durumunda sistemin rejime geldiği anlaşılarak sürmeli kapı açılmıştır. Hız probunun konumu 1. noktadan 2. noktaya değiştirildikten sonra açık konum için rejim şartları sağlanmıştır. Tekrar sürmeli kapı yavaşça kapatılarak hız değerleri belirlenmiştir. Her bir noktada hız değerleri belirlenirken başlangıç şartlarına dönmüştür. Ayrıca her bir zaman adımında tespit edilen sıcaklık değerleri, bir önceki zaman adımlarında elde edilen sıcaklık değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu deneyler yüzey sınır şartlarının yedi farklı durumu için tekrarlanmıştır. I. Durumda kübik boşluğun giriş yüzeyine paralel olan arka yüzey, II. Durumda alt yüzey, III. Durumda üst yüzey, IV. Durumda arka ve alt yüzey, V. Durumda arka ve üst yüzey, VI. Durumda alt ve üst yüzeyler soğutucu yüzey olarak tasarlanmış, 0.5 °C sıcaklıkta sabit tutularak ve diğer yüzeyler adyabatik kabul edilerek deneyler yapılmıştır. VII. Durumda ise kübik boşluğun giriş yüzeyine paralel olan arka yüzey ısıtıcı yüzey olarak tasarlanmış ve 50 °C sıcaklıkta sabit tutularak ve diğer yüzeyler adyabatik kabul edilerek deneyler yapılmıştır.

Deneysel çalışmada Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanına eşit alınarak hesaplanmaktadır. Sıcaklığın ve uzunluğun boyutsuzlaştırılmasındaki büyüklükler dikkate alınırsa deneysel Nusselt sayısının hesaplanmasında % 5,4 belirsizlik, Rayleigh sayısında ise % 3,57 belirsizlik oluşmaktadır (Ek-2).

2.4. Sayısal Yöntem

Deneysel çalışmanın yapıldığı ortamdaki hız ve sıcaklık değerleri, değişik parametreleri inceleyebilmek için sayısal olarak da bulunmuştur. Sayısal çözüm için FLUENT-6.3 paket programı kullanılmıştır. FLUENT sonlu hacimler yöntemi kullanan bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) programıdır. Bu program, sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz, laminar veya türbülanslı akış problemlerinin sayısal çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu program ile karmaşık geometriler için son derece uygun sayısal hesaplama yapılabilir.

Bu çalışmada, maksimum sıcaklık farkı için Rayleigh sayısı $0,5 \times 10^8$ olmaktadır. Rayleigh sayısının bu değeri laminar akış şartlarını ($Ra_L < 10^9$) sağlamaktadır.

Rayleigh sayısı;

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (2.1)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada g yerçekimi ivmesi, β ısı genleşme katsayısı, ΔT ortam sıcaklığı ile soğuk yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı, ν kinematik viskozite, α ısı yayılım katsayısıdır. Havanın fiziksel özellikleri ortalama sıcaklığa göre tanımlanmış ve karakteristik uzunluk L kübik boşluğun genişliği olarak alınmıştır. Ayrıca Rayleigh sayısının hesabı Ek-1’ de verilmektedir.

Sayısal yöntemde kütle, momentum ve enerji denklem takımları çözülmektedir. Süreklilik ya da kütlenin korunum denkleminin iki boyutlu gösterimi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir.

Sıkıştırılabilir akışlar için iki boyutlu, zamana bağlı momentum denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır:

x doğrultusunda

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + u \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho u)}{\partial y} = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left\{ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right\} \quad (2.3)$$

y doğrultusunda

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + u \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left\{ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right\} \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.3 ve eşitlik 2.4’ün her ikisinde de sol taraf atalet kuvvetlerini, sağ taraf ise sırasıyla yerçekimi, basınç ve viskoz kuvvetlerini göstermektedir.

Enerji denklemi için

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + u \frac{\partial(h)}{\partial x} + v \frac{\partial(h)}{\partial y} = \frac{k}{\rho} \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right\} \quad (2.5)$$

bağıntısı kullanılır. Burada h entalpidir. Entalpi ile sıcaklık arasındaki ilişki ise

$$\Delta h = \int c dT \quad (2.6)$$

şeklinde verilebilir.

Sayısal çözümlemede hesaplanan akım fonksiyonu sıkıştırılabilir akış için

$$\rho u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad \rho v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.7)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Sabit ψ çizgisi akışın akım çizgileridir. ψ 'deki değişim,

$$d\dot{m} = \rho(Vn)dA = d\psi \quad (2.8)$$

kütleli debiye eşittir [46].

Çözüm bölgesinde geçerli ısı denklemlerinin ayrıklaştırılmasında örtülü (implicit) yaklaşım kullanılmıştır. Açık (explicit) yaklaşımda $t + \Delta t$ anında herhangi bir ağ noktasındaki değer bir önceki zaman adımında (t) bilinen ağ noktasının değerinden hesaplanır. Yani o andaki düğüm noktası sıcaklığı diğer düğüm noktası sıcaklıklarından bağımsızdır. Yaklaşım yakınsama sağlasa da Δt 'nin seçiminde sınırlama vardır. Buda küçük Δt seçimini gerektirir. Hesaplama süresini kısaltmak için açık yaklaşım yerine örtülü yaklaşım kullanılır [47].

Örtülü yaklaşım

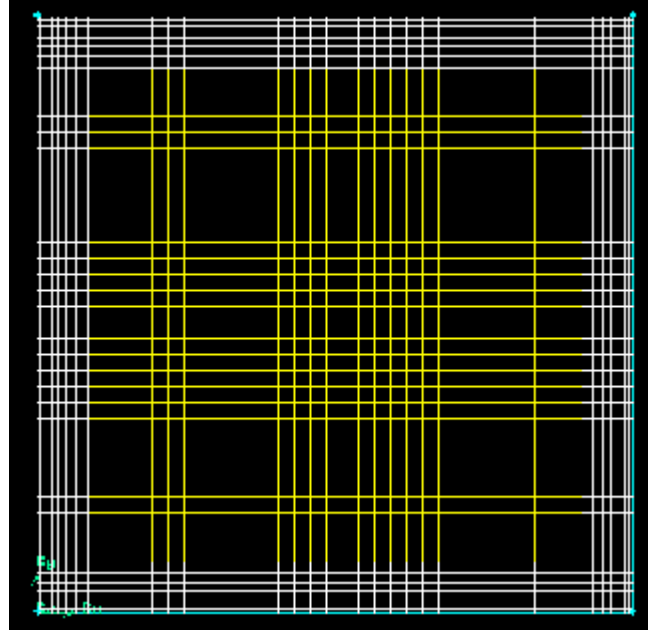
$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = F(\phi) \quad (2.9)$$

$$\frac{\phi^{n+1} - \phi^n}{\Delta t} = F(\phi^{n+1}) \quad (2.10)$$

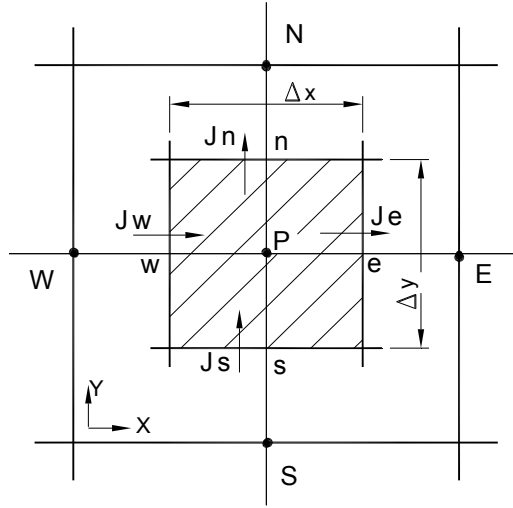
$$\phi^{n+1} = \phi^n + \Delta t F(\phi^{n+1}) \quad (2.11)$$

$$\phi^i = \phi^n + \Delta t F(\phi^i) \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir. Burada ϕ hesaplanmak istenen bağımlı değişken n , o andaki büyüklük değeri $n+1$, bir sonraki zaman adımındaki büyüklük değeridir [48]. Görüldüğü gibi örtülü yaklaşımda ağ noktasının yeni sıcaklığı komşu noktanın bilinmeyen noktasına bağımlıdır. Örtülü yaklaşım açık yaklaşıma nazaran koşulsuz yakınsama sağlar bu da tüm uzunluk ve zaman aralıklarında bir sınırlandırma olmadan çözümün yakınsak olması anlamına gelir [47].



Şekil 2.12. Hesaplama da kullanılan ağ dağılımı



Şekil 2.13. İki boyutlu akış alanı için kontrol hacmi [54]

Bu çalışmada, lineer olmayan ağ dağılımı kullanılmıştır. Yüzeylerden 0,002 m' den başlayarak 1,2 kat artımla 7 ağ oluşturulduktan sonra sabit 0,008 m ağ dağılımı uygulanmıştır (Şekil 2.12.). Kübik boşluğun içi toplam 1724 ağa bölünmüştür. Sayısal çözümlemelerde kullanılan genel diferansiyel denklem bu ağ noktalarındaki değerleri belirlemektedir ve genel diferansiyel denklem;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) + S \quad (2.13)$$

şeklinde yazılır. Bu denklem içerisindeki S kaynak terimini, Γ momentum denkleminde viskozite, enerji denkleminde ise ısıl yayılım katsayısı değerini, ϕ ise herhangi bir bağımlı değişkeni göstermektedir [45]. Herhangi bir ağ için kontrol hacmi, Şekil 2.13.'de verilmiştir.

Sayısal çözümlemeye başlarken Fluent programında iterasyon yakınsama kriterleri verilir. Bu çalışmada; süreklilik denklemi ve hız bileşenleri için 10^{-4} , enerji denkleminde 10^{-6} yakınsama kriteri kullanılmıştır.

2.5. Sayısal Hesaplamanın Geçerliliği

Bu çalışmada incelenen kübik boşluk için sayısal çözümlemeye başlamadan önce Fluent paket programı için sınır şartlarının geçerliliği ve sonuçların güvenilirliği araştırılmıştır [49,50].

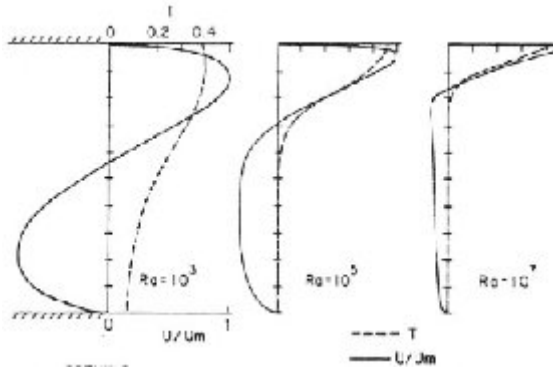
İncelenen yan yüzeyi açık prizmatik bir boşlukta sürekli rejimdeki doğal taşınım problemi aynı geometri ve aynı sınır şartlarında çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır [45].

Bu çalışmalarda açık yüzey karşısındaki düşey yüzey sabit sıcaklıkta ısıtılırken yatay duvarlar yalıtılmıştır. Rayleigh sayısının 10^3 ve 10^6 aralığında ve Prandtl sayısının 0,71 değeri için elde edilen ortalama Nusselt sayıları Tablo 2.3.' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

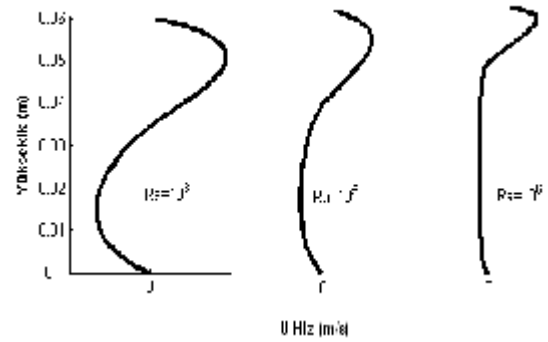
Tablo 2.3. Yan yüzeyi açık prizmatik bir boşluk için sonuçların karşılaştırılması [45]

Ra	Nu (Chan)	Nu (Bilgen)	Fluent çözümü
10^3	1,07	1,31	1,33
10^4	3,41	3,53	3,54
10^5	7,69	7,85	7,68
10^6	15	15,2	19,35

Chen vd. tarafından açık yüzeyde hesaplanan yatay hız bileşeninin yükseklikle değişimi Şekil 2.15.'de verilmiştir [49]. Şekil 2.14.'de ise bu çalışmada aynı Rayleigh sayıları için elde edilen Fluent çözümleri verilmiştir.



Şekil 2.14. Değişik Rayleigh sayıları için yatay hız bileşeninin yükseklik ile değişimi [49]

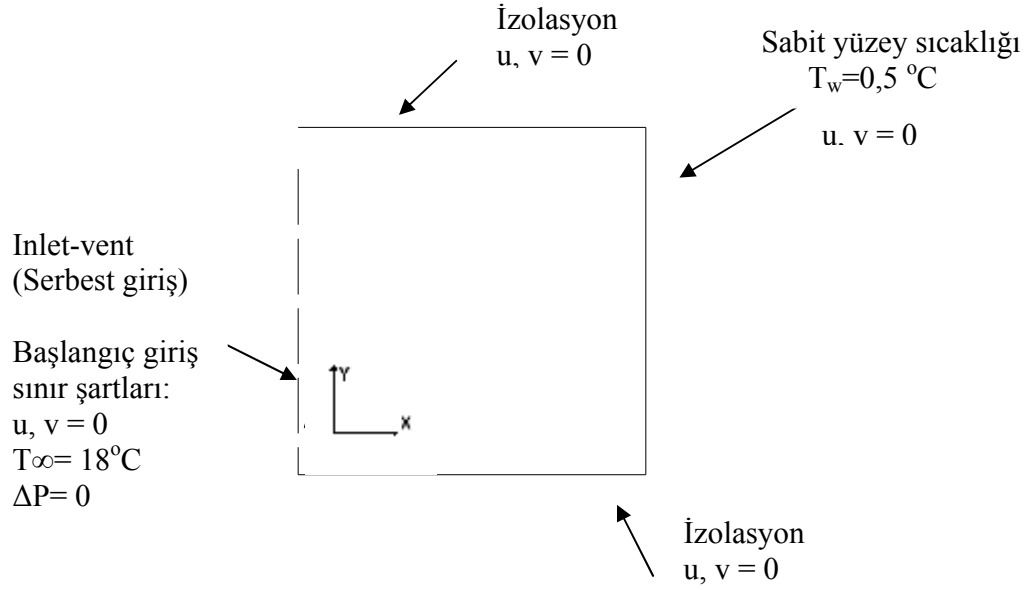


Şekil 2.15. Fluent çözümünden elde edilen yatay hız bileşeninin yükseklik ile değişimi [45]

Görüldüğü gibi Chan ve Bilgen' in çalışmaları ile Fluent çözümleri uyum göstermektedir [45]. Bizim çalışmamızda da benzer sonuçlar alındıktan sonra incelenen kübik boşluk için sayısal çözümler elde edilmiştir.

3. BULGULAR VE İRDELEME

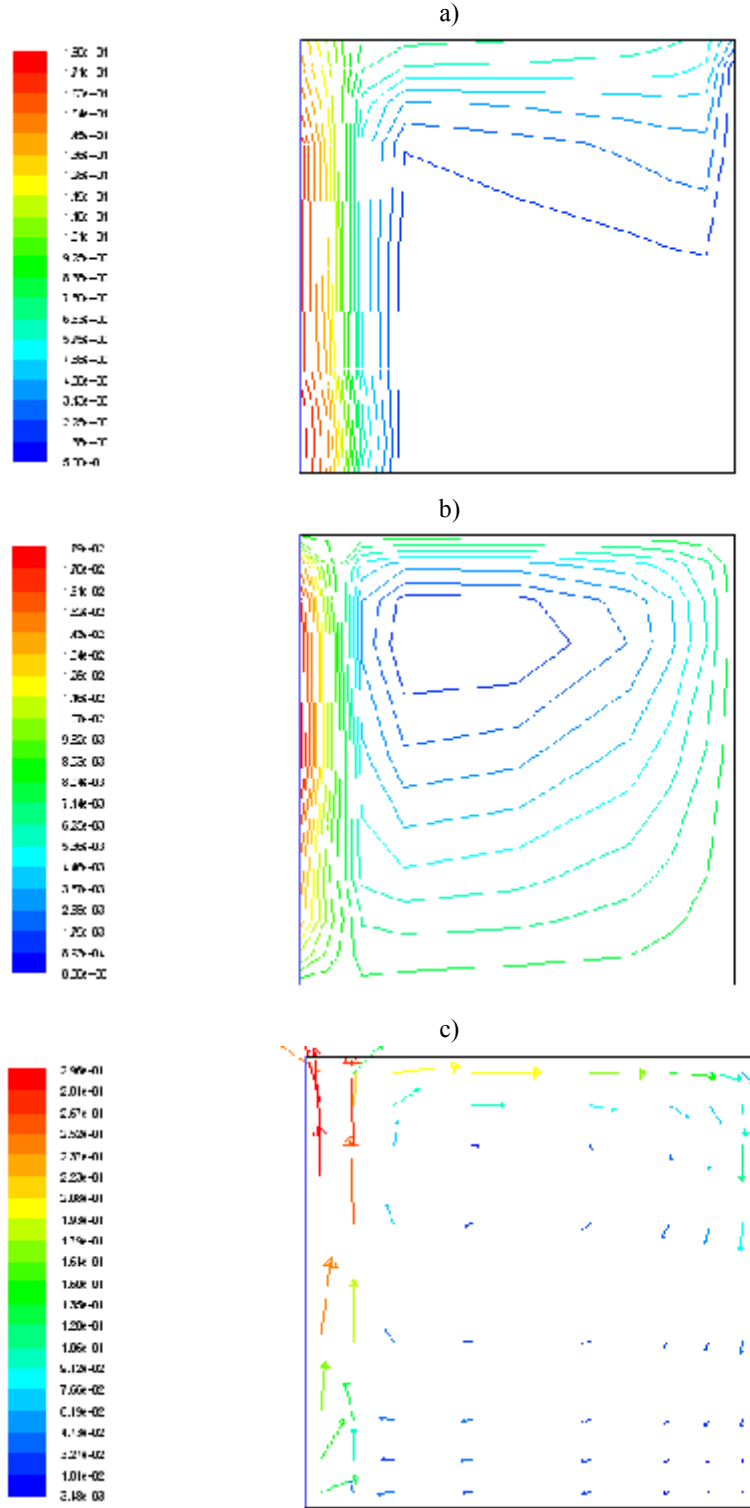
3.1. I. DURUM



Şekil 3.1. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 3.1.' de gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında ($18 \text{ } ^\circ\text{C}$) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun giriş yüzeyine paralel yüzeyde sabit sıcaklık ($0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.

Sayısal ve deneysel sonuçları değerlendirmek için daha önce bahsedildiği gibi iterasyon zaman adımı $0,5$ saniye olarak seçilmiş fakat 1 saniye aralıklarla veriler kaydedilerek eşdeğer akım çizgileri, sıcaklık eğrileri ve hız vektörleri elde edilmiştir. I. durumda yapılan deneylerde bir saniye aralıklarla elde edilen verilere göre kübik boşluğun rejime gelmesi yaklaşık 80 saniye sürmüştür. Şekil 3.2.' de kübik boşluğun kapısının açılmasından 5 saniye sonra oluşan eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ve hız vektörleri verilmiştir.



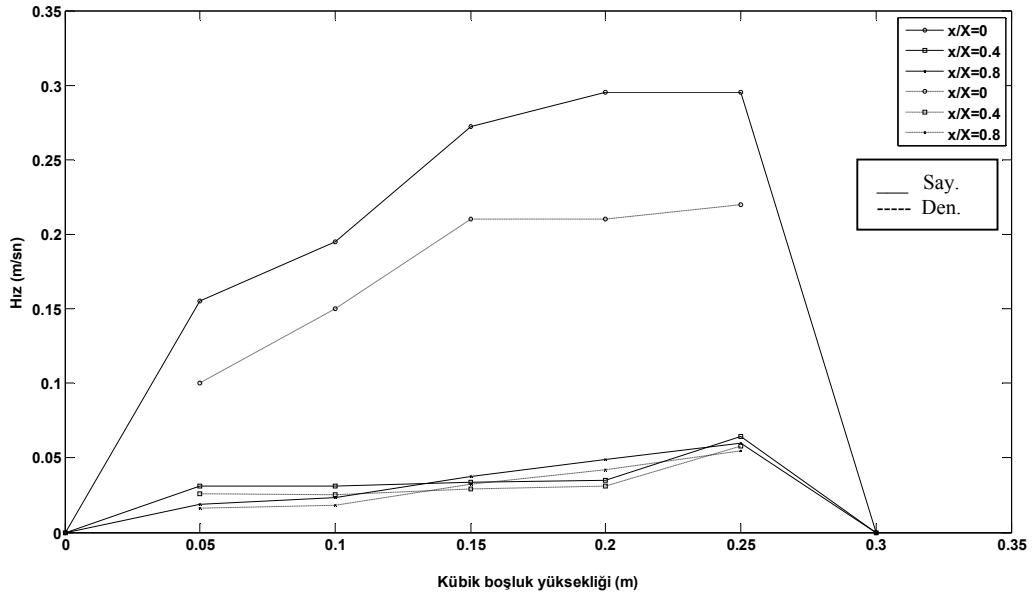
Şekil 3.2. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.2. a' da görüldüğü gibi kapı açıldıktan 5 saniye sonra kübik boşluk içerisinde sıcaklık, arka yüzeyden başlayarak açık yüzeye yakın bölgede ortam sıcaklığına (18°C - 291.15°K) erişmektedir. Kübik boşluğun girişinden maksimum 0,05 m ilerisinde hava sıcaklığının 18°C sıcaklığa eriştiği görülmüştür. Akım fonksiyonunun değeri, ağırlıklı olarak giriş kısmında artmaktadır (Şekil 3.2. b). Görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu 0,01 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir ve daha sonraki noktalarda hızlı bir şekilde azalmakta kübik boşluk derinliğinde sıfıra yaklaşmaktadır. Şekil 3.2. c' de görüldüğü gibi kübik boşluğun kapağı açıldıktan sonra kübik boşluk içerisinde dönmeli akışlar oluşmaktadır. Deneyler yapıldıktan sonra görüldü ki; kübik boşluğun alt kısmından kübik boşluk içerisine giren sıcak hava, üst tarafa yönelerek kübik boşluğu terk etmektedir.

Başlangıçta ön yüzeyinin kapalı olması nedeniyle kübik hacim içindeki akışkanın sıcaklığı rejim halindeyken soğuk yüzey sınır şartındaki sıcaklığa eşittir. Yani iç akışkan sıcaklığı başlangıçta sınır şartıyla aynıdır. Yan yüzeyi açılarak kübik hacim kübik boşluk halini alır. Bizim çalışmamızda olduğu gibi ortam sıcaklığı hacim içerisindeki havadan daha yüksek ise ortam hacim içerisini ısıtacaktır. Böylece hacim içerisindeki ısınan hava yukarı doğru hareket edecektir. Akışkanın alttan girip üstten çıkması ancak bu şekilde açıklanabilir. Tien, Bilgen ve Durmuş'un çalışmalarında da aynı akış türü gözlenmiştir [45, 49, 50].

Boşlukta 2 tür çalışma mevcut olabilir. Bunlardan birincisi yüzey sınır şartlarının altında olmasıdır ki bu pratikte karşımıza buzdolabı gibi soğutucu sistemlerde çıkar. Bu durumda ortam sıcaklığı iç hacmi ısıtır. İkinci durumda ise iç hacim sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksek olur ki (kalorifer peteklerinde olduğu gibi) bu durumda ise ortam sıcaklığı iç boşluğu soğutmaya çalışacaktır.

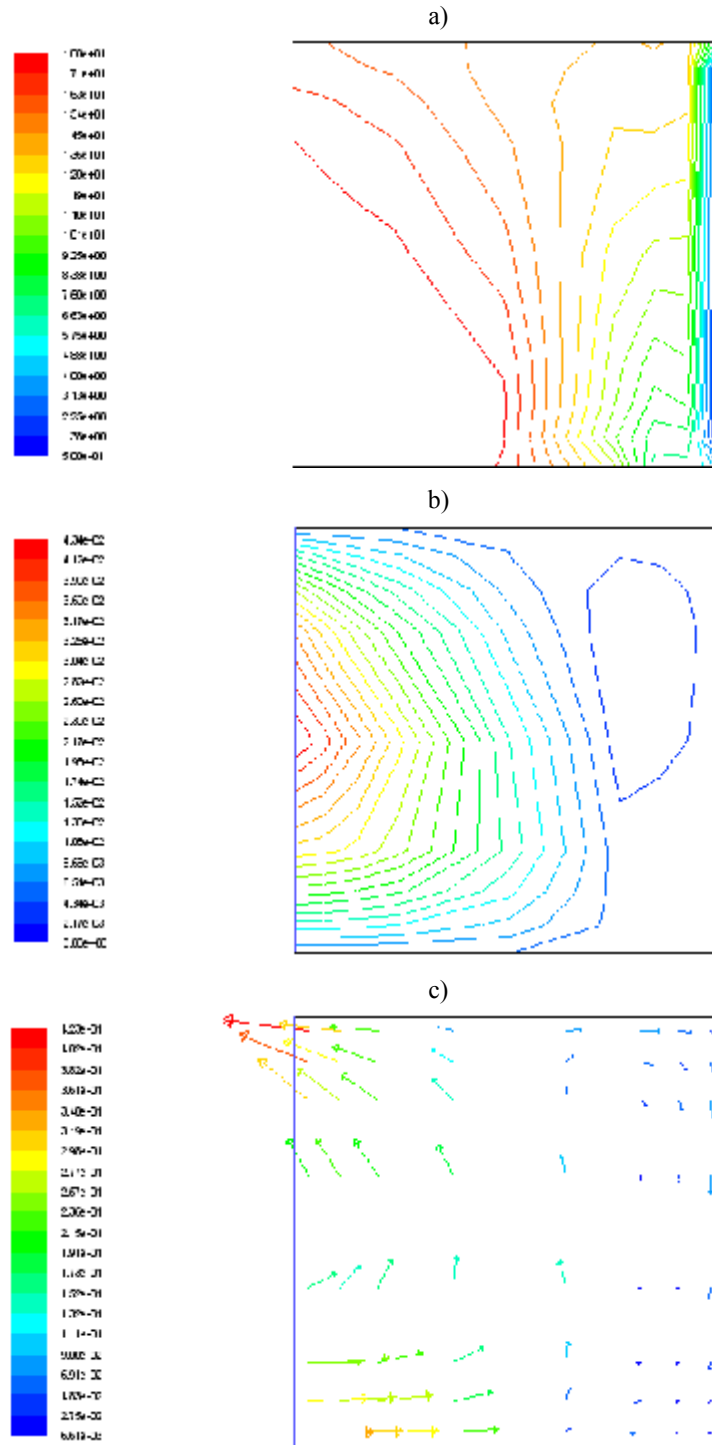
Kapak açıldıktan sonra kübik boşluk içerisinde, boşluğun iç sınırlarını takip eden bir sirkülasyon oluşmaktadır. Bu sirkülasyon, kübik boşluğun alt kısmında başlamakta ve soğuk yüzeyi takip ederek kübik boşluk içerisinde bir döngü oluşturmaktadır. Kapı açıldığı anda basınç ve sıcaklık farkından dolayı ortamda bulunan hava kübik boşluk içerisine girme eğiliminde olmaktadır. Bu hızlı hareketlenme zamana bağlı olarak kübik boşluk içerisine nüfuz etmekte ve bu ters akıştan dolayı ortam sıcaklığındaki havanın kübik boşluğun iç kısmına geçişini yavaşlatmaktadır.



Şekil 3.3. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.3.' de $x/X=0$ (giriş), $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,25$ m' ye kadar artarak yaklaşık 0,3 m/s olmakta ve $y=0,25$ m' den sonra azalmaktadır.

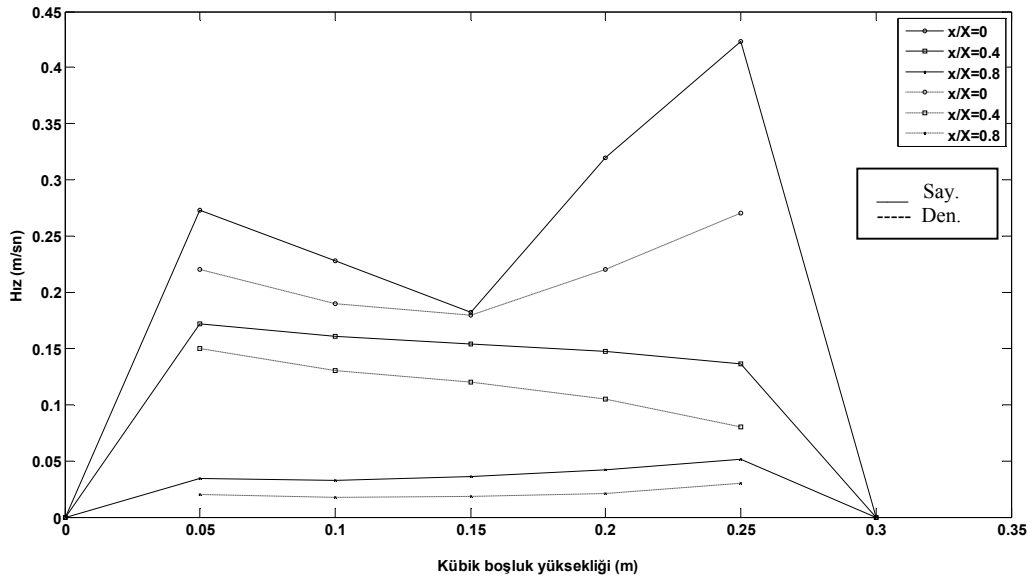
Deneysel verilere göre hava hızı, $y=0,25$ m' ye kadar artarak 0,22 m/s' ye ulaşmaktadır. Şekil 3.3.' den sayısal hız değerlerinin sırasıyla $x/X=0$, $x/X=0,4$, $x/X=0,8$ ' de daha büyük olduğu görülebilir.



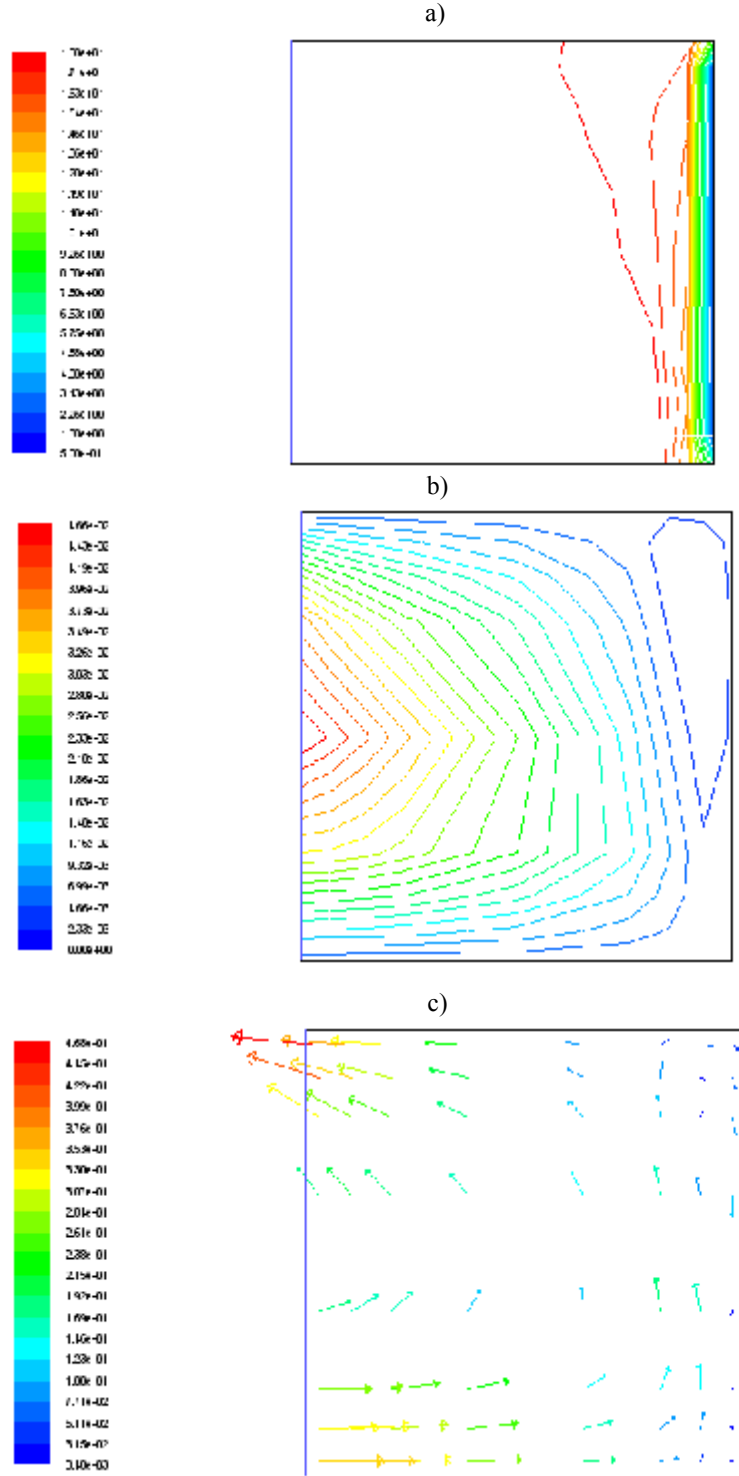
Şekil 3.4. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.4.' de 25. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.4.' de görüldüğü gibi 25. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,42 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.5.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 25. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra küçük bir düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta daha sonra 0,25 m' ye kadar küçük miktarda artış ve daha sonra düşüş olduğu gözlenmiştir.

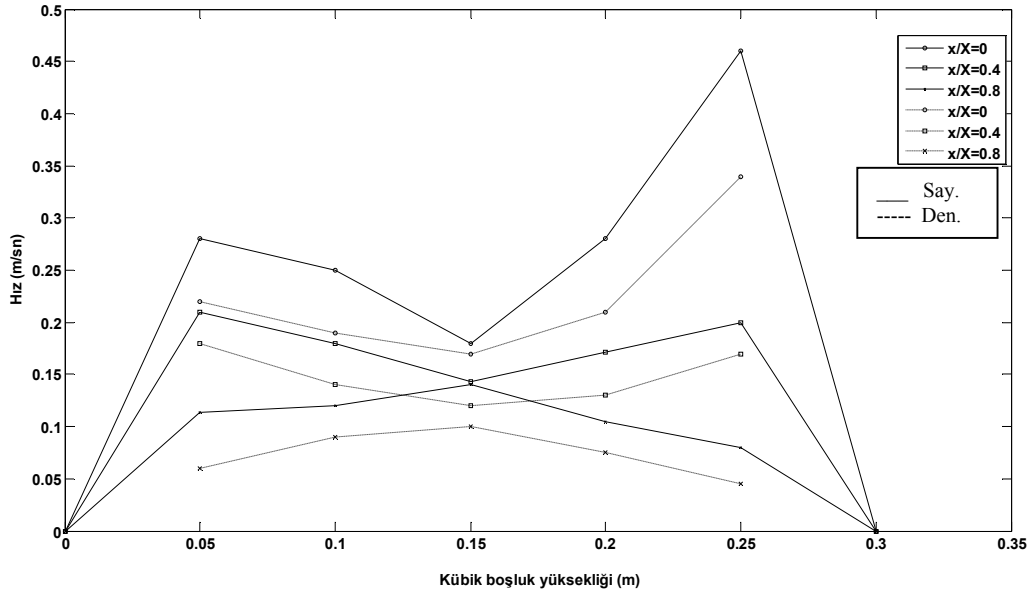


Şekil 3.5. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



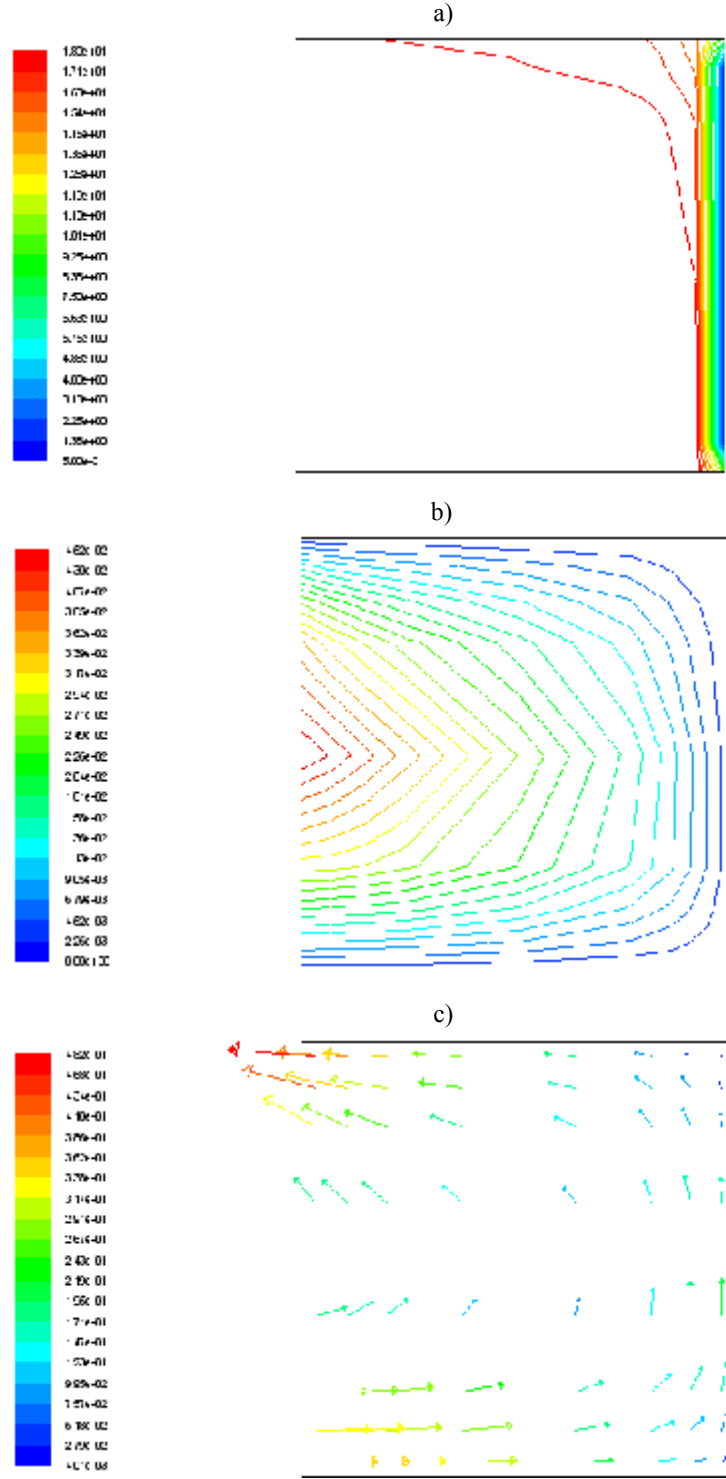
Şekil 3.6. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.6.' da 45. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.6. b' de görüldüğü gibi 45. saniyedeki akım fonksiyonu en yüksek 0,04 kg/s olmaktadır. En büyük akışkan hızı ise 0,46 m/s ile kübik boşluktan çıkarken gözlenmiştir.



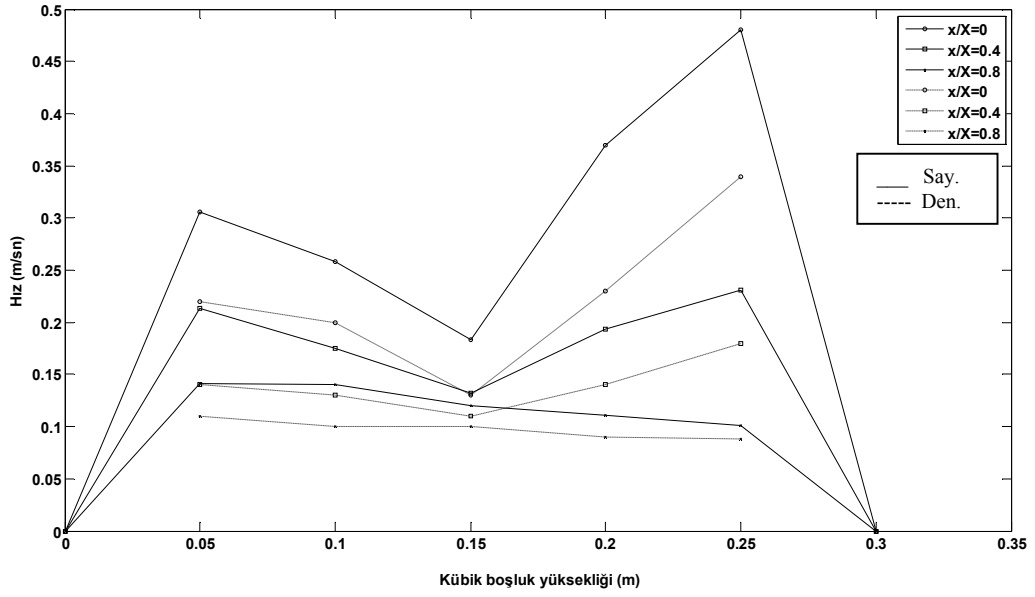
Şekil 3.7. t=45 s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.7' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızları $y=0,05$ m' ye kadar artmakta $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise 0,15 m' ye kadar akışkan hızı arttığı daha sonra düşüş olduğu gözlenmiştir. Ayrıca her üç kesitte de 25. saniyeye göre artışlar gözlenmiştir.



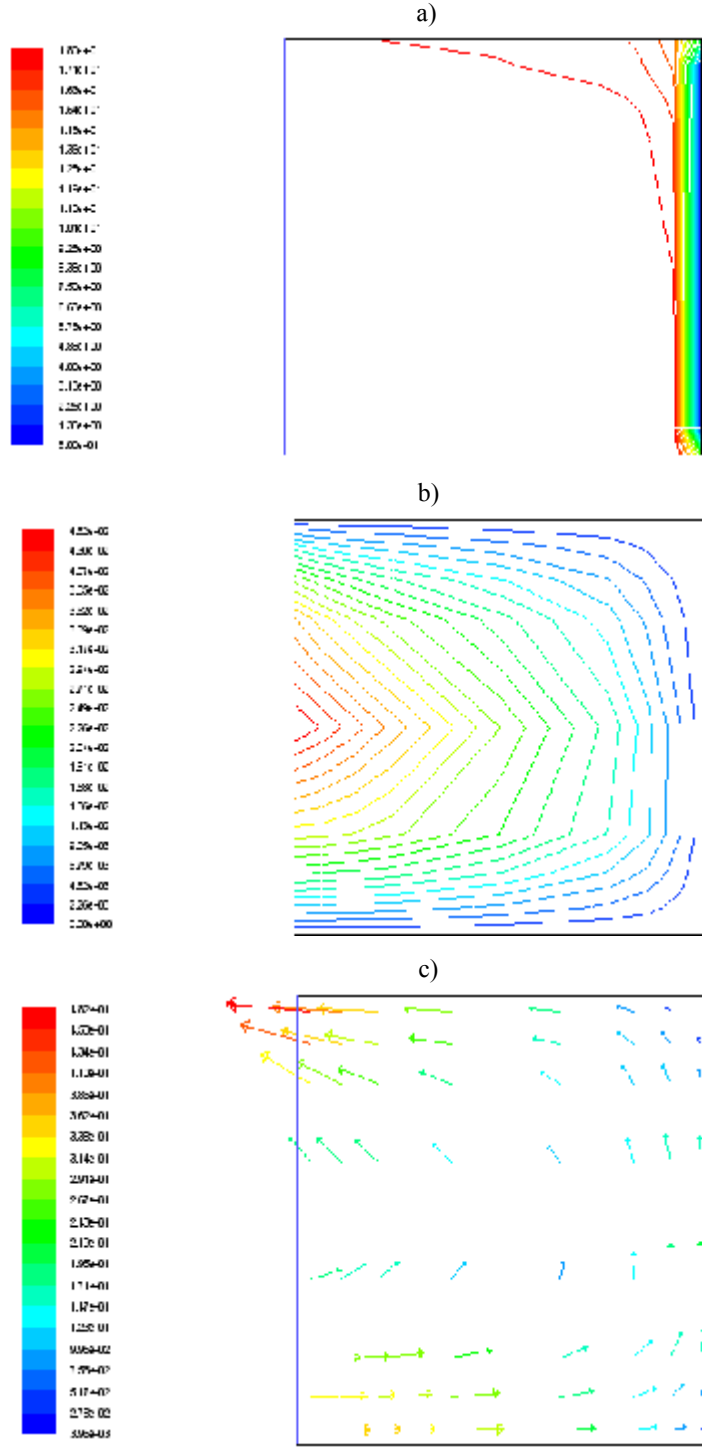
Şekil 3.8. $t=65.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.8.' de 65. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.8. b' de görüldüğü gibi 65. saniyedeki akım fonksiyonu en fazla 0,045 kg/s olmaktadır. En büyük akışkan hızı 0,48 m/s ile kübik boşluğun çıkışında olmaktadır.



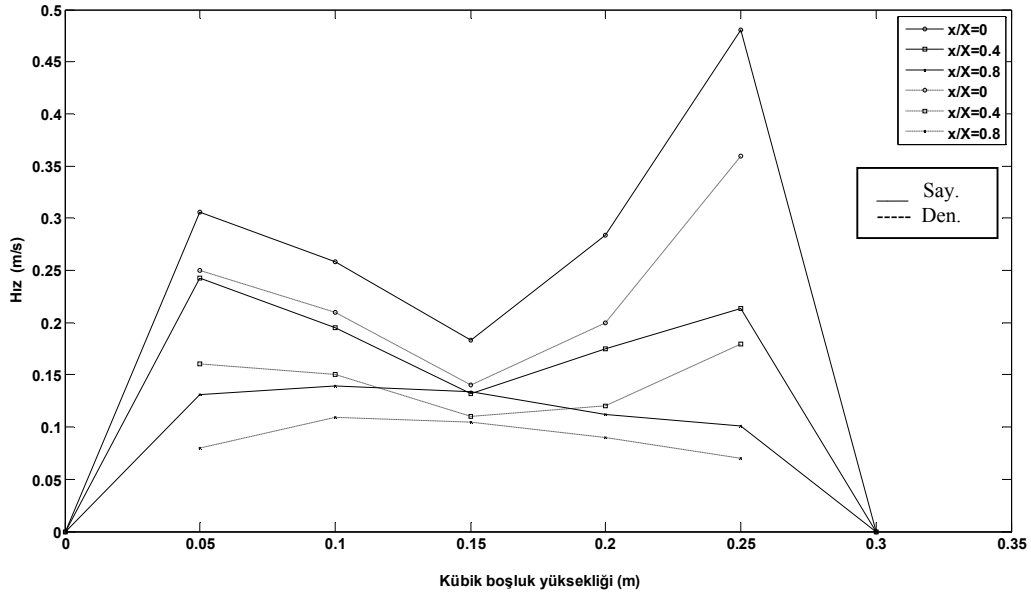
Şekil 3.9. t=65 s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.9.' da $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 65. saniyede $x/X=0$ ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızları $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızının arttığı daha sonra düşüş olduğu gözlenmiştir. Ayrıca her üç kesitte de 45. saniyeye göre artışlar gözlenmiştir.

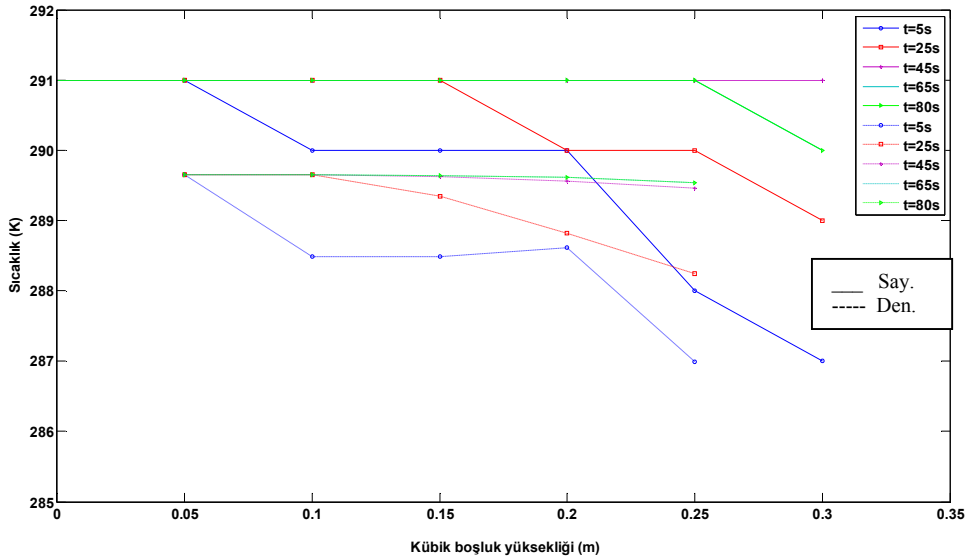


Şekil 3.10. $t=80.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.8. ve Şekil 3.10. sırasıyla 65. ve 80. saniyelerdeki sıcaklık, akım fonksiyonu ve hız vektörlerini vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu zaman adımlarında sıcaklık akım fonksiyonu değerleri birbirine çok yakındır. $x/X=0$ ' da 0,3 m/s hızla giren akışkan 0,48 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.

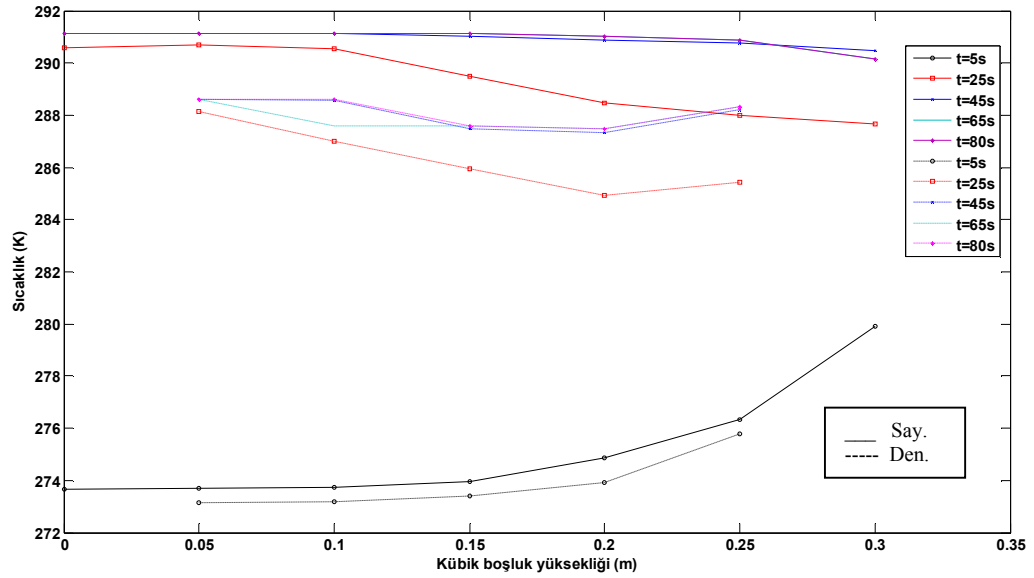


Şekil 3.11. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



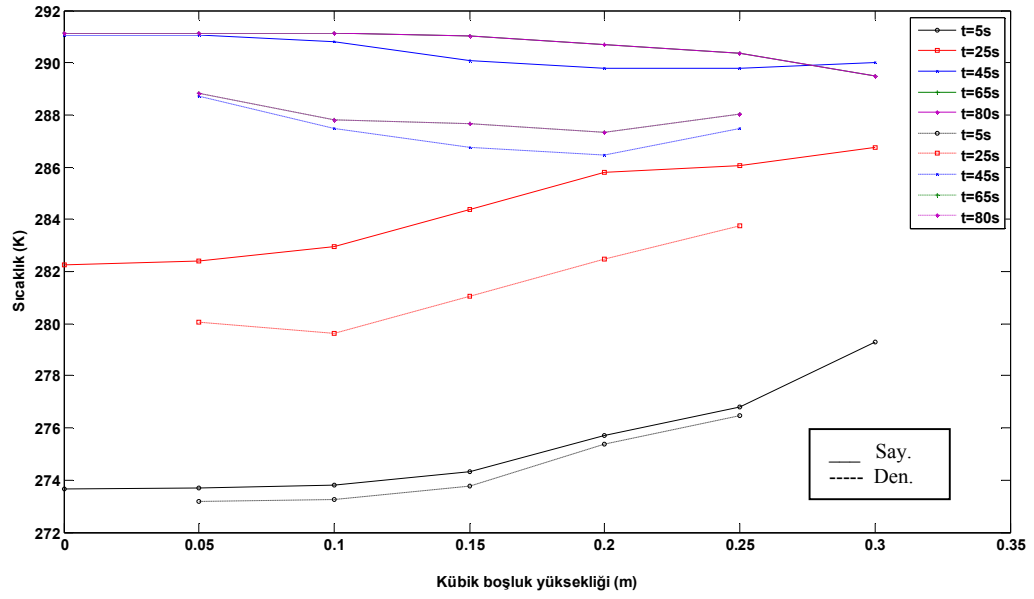
Şekil 3.12. $x/X=0$ 'da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.12.' de $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kübik boşluğun iç kısmında sıcaklık düşmeye başlamıştır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 3.12.). Beşinci saniyede ölçülen hava sıcaklığı $y=0,05$ m' de yaklaşık 289 °K' den $y=0,25$ m' de 287 °K' e düşmektedir.



Şekil 3.13. $x/X=0,4$ 'de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğine değişimi

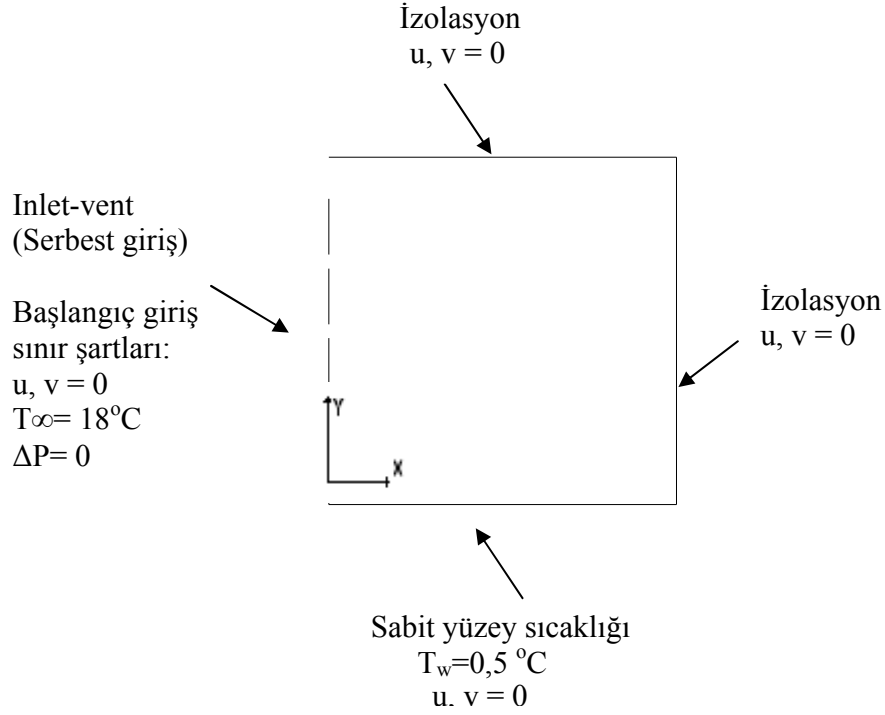
Şekil 3.13.' de $x/X=0,4$ kesitindeki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. Kırk beşinci saniyeye kadar $0,2$ m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede sıcaklık yaklaşık 273 °K ile 279 °K arasında değişmektedir. Ayrıca 65. saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



Şekil 3.14. $x/X=0,8$ 'de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

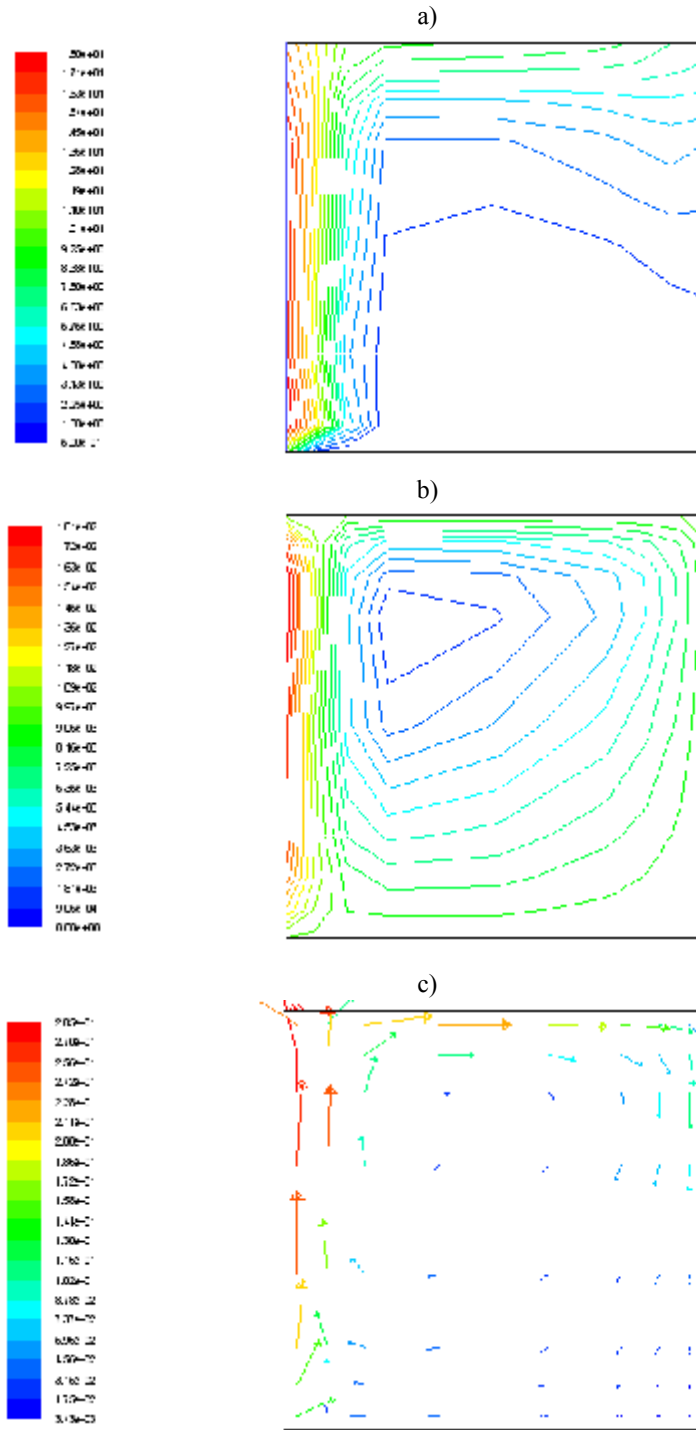
Şekil 3.14.' de, $x/X=0,8$ kesitindeki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi soğuk yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

3.2. II. DURUM

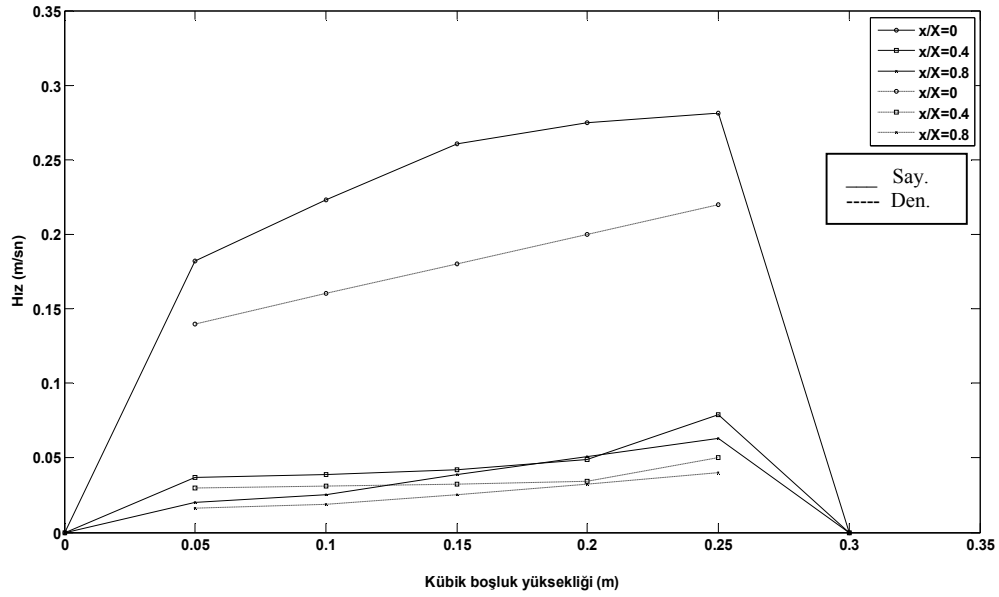


Şekil 3.15. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 3.15.' de gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında (18°C) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun alt yüzeyi için sabit sıcaklık ($0,5^{\circ}\text{C}$) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.



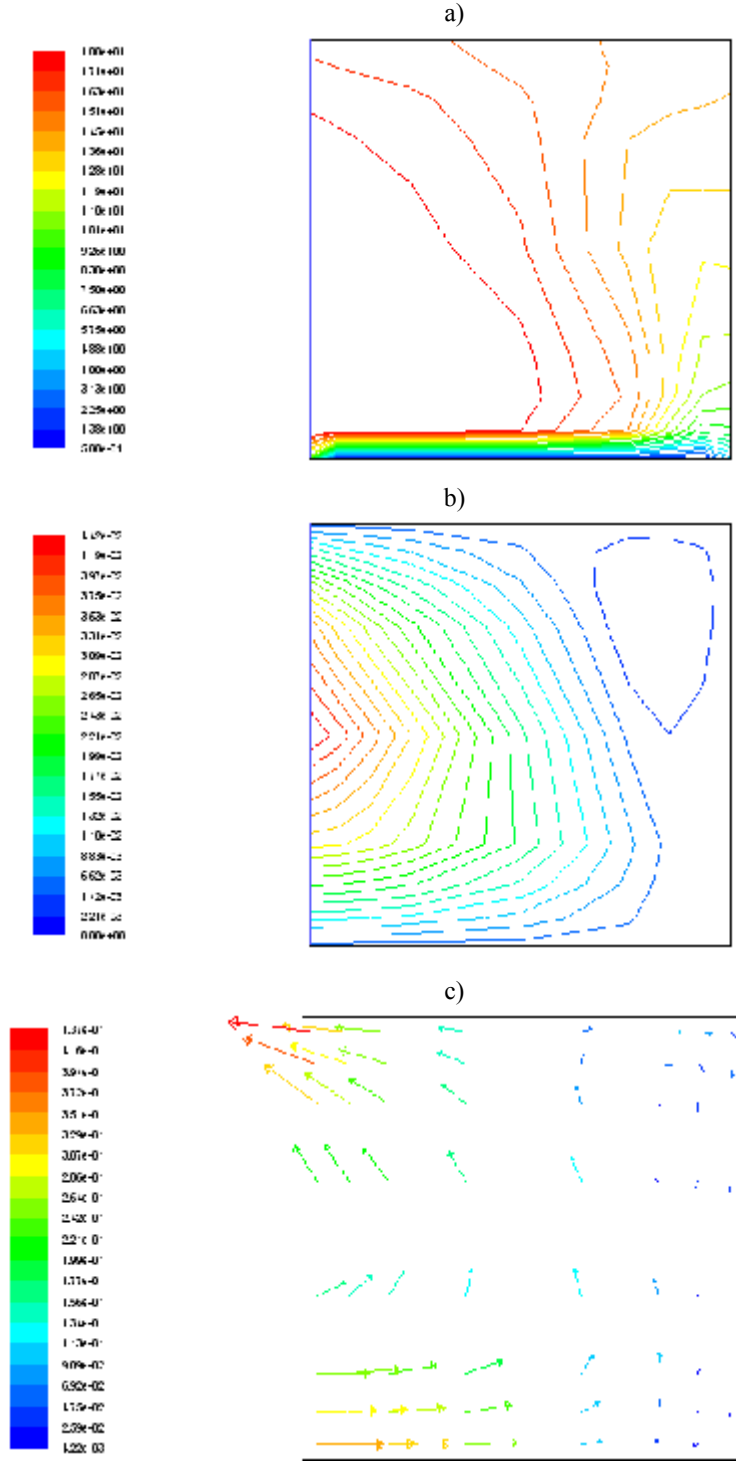
Şekil 3.16. $t=5.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



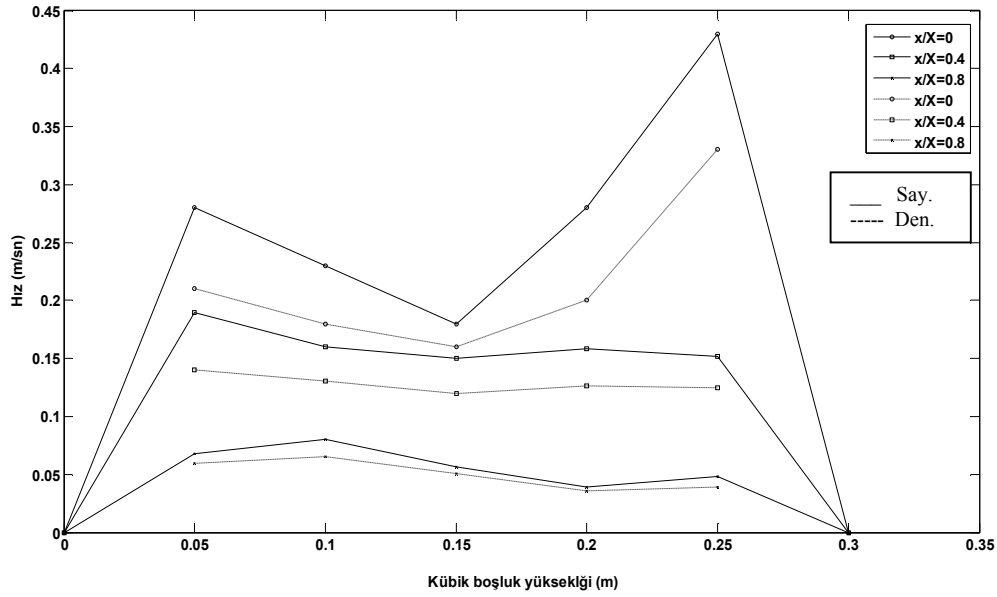
Şekil 3.17. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.16.'da 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.16. b' de görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,01 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,28 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.17.'de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kesitinde (kübik boşluk girişinde) sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı, $y=0,25$ m' ye kadar artarak 0,28 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,25 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artmakta ve yaklaşık 0,01 m/s değerine ulaştıktan sonra düşüş göstermektedir.



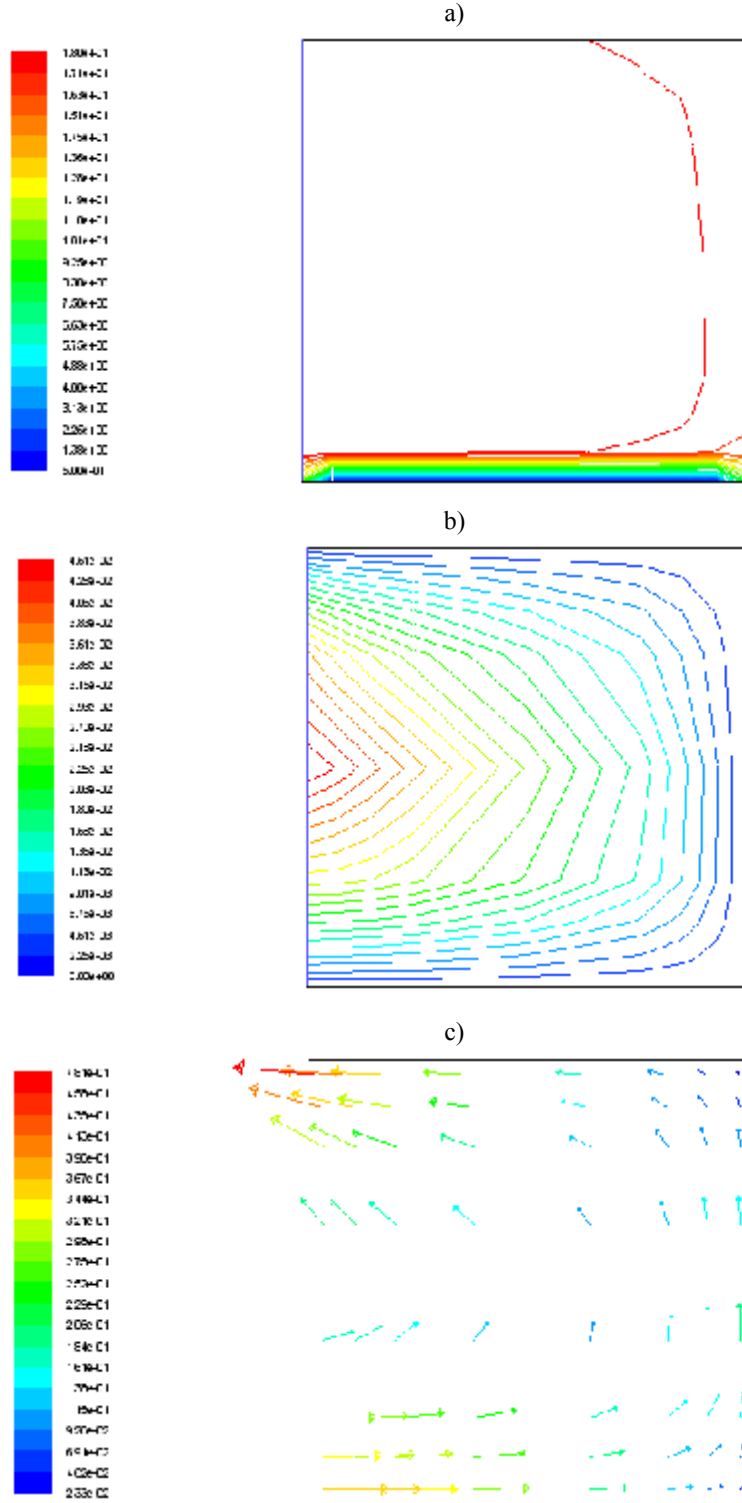
Şekil 3.18. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



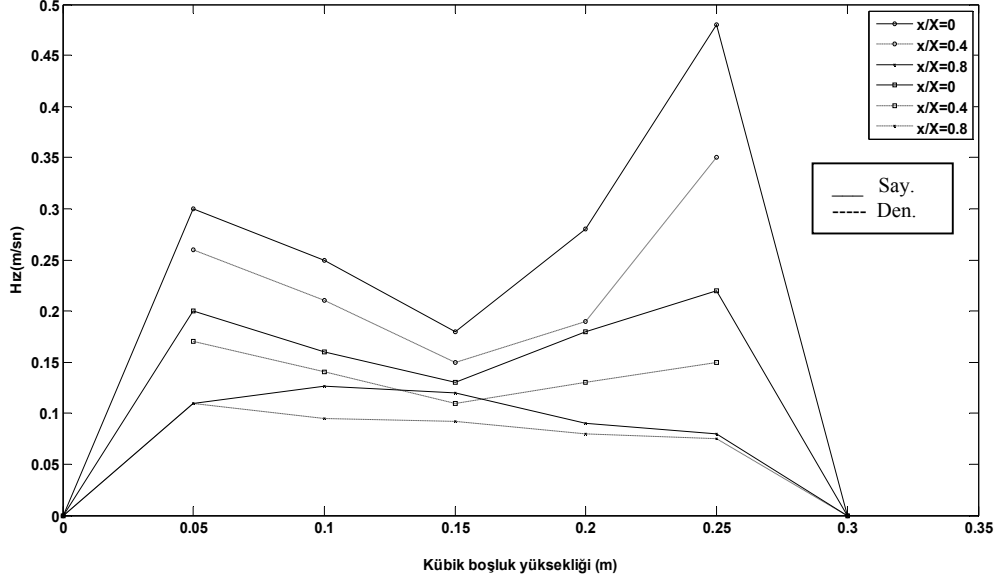
Şekil 3.19. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.18.' de 25. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Bu zaman adımında ortam sıcaklığının $y=0,05$ m' ye kadar etkin olduğu görülmektedir. Şekil 3.18. b' de görüldüğü gibi 25. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında $0,04$ kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akış hızı ise $0,43$ m/s hızla kübik boşluğun çıkışında olmaktadır.

Şekil 3.19.' da $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 25. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile $0,15$ m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise $0,05$ m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra küçük bir düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı $0,1$ m' ye kadar artarak $0,08$ m/s' ye ulaşmakta daha sonra $0,25$ m' ye kadar düşüş göstererek $0,03$ m/s olmaktadır. $0,2$ m ile $0,25$ m arasında artmakta ve daha sonra düşmektedir.



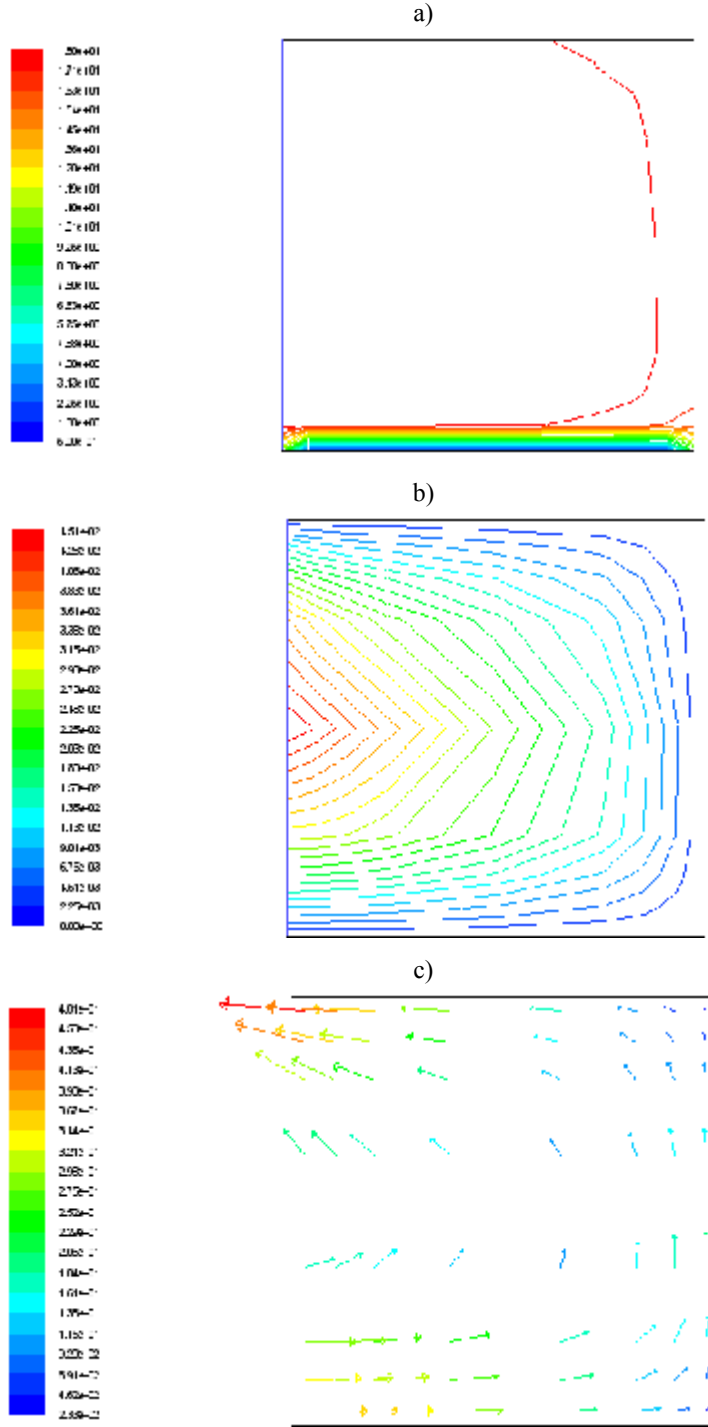
Şekil 3.20. $t=45$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 3.21. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

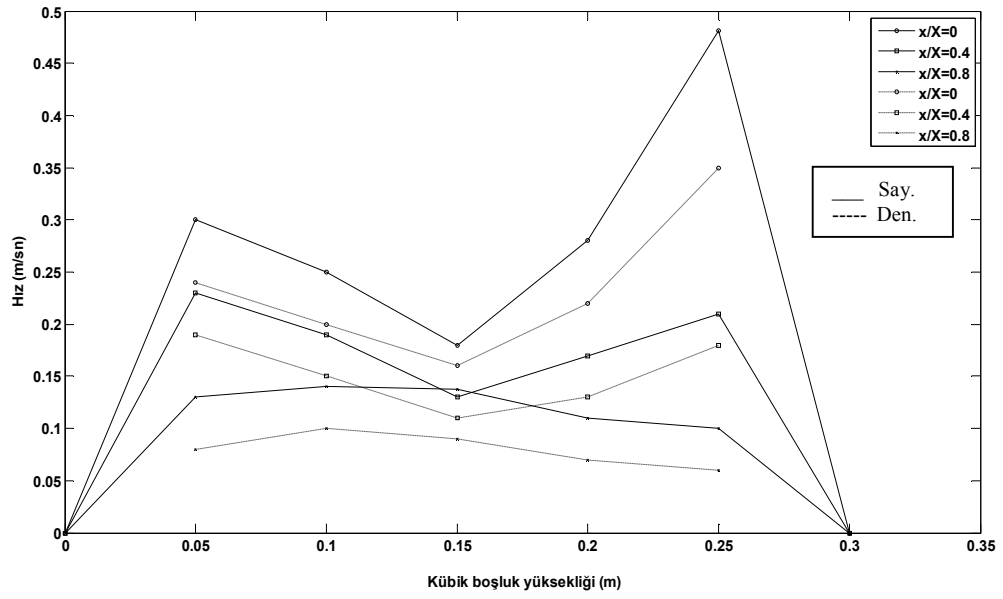
Şekil 3.20.' de 45. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.20. b' de görüldüğü gibi 45. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,48 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.21.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artarak $y=0,25$ m' de 0,48 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m ye kadar akışkan hızı artarak 0,2 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşerek 0,13 m/s değerini almaktadır. Daha sonra artarak 0,25 m' ye kadar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızının 0,15 m' ye kadar artarak 0,14 m/s' ye ulaştığı daha sonra düştüğü gözlenmiştir.



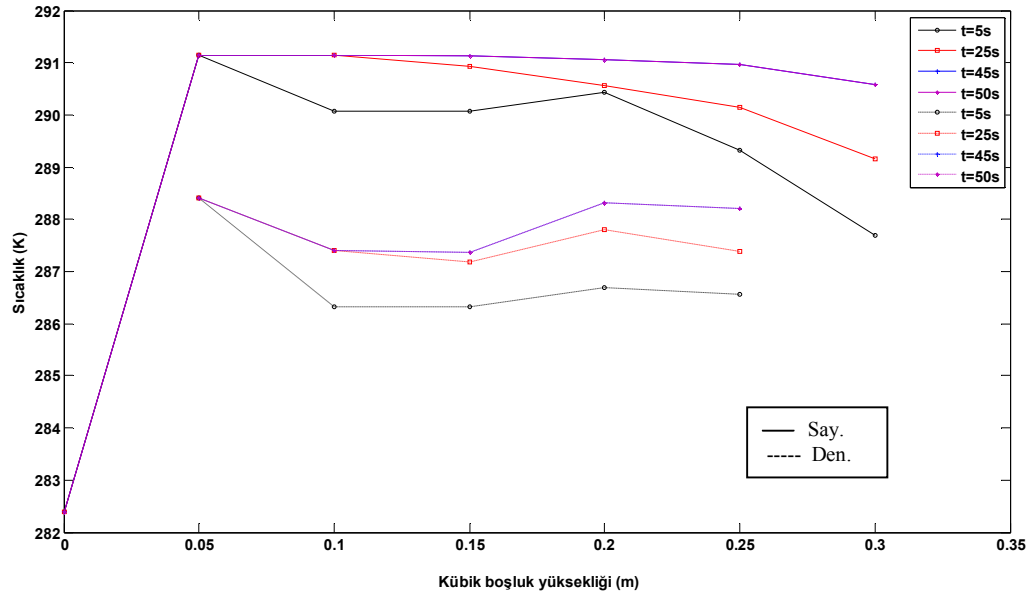
Şekil 3.22. $t=50$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.20. ve Şekil 3.22. sırasıyla 45. ve 50. saniyelerdeki sıcaklık, akım fonksiyonu ve hız vektörlerini vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu zaman adımlarında sıcaklık ve akım fonksiyonu değerleri birbirine çok yakındır. $x/X=0$ kesitinde 0,3 m/s hızla giren hava 0,48 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.

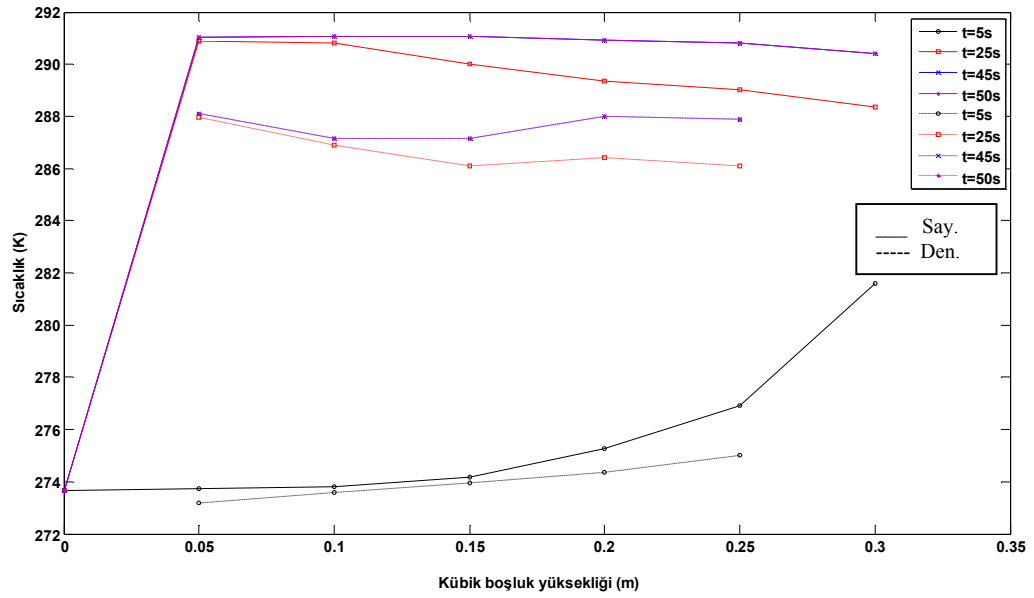


Şekil 3.23. $t=50$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.24.'de $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kübik boşluğun iç kısmında sıcaklık düşmeye başlamıştır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 3.24.).



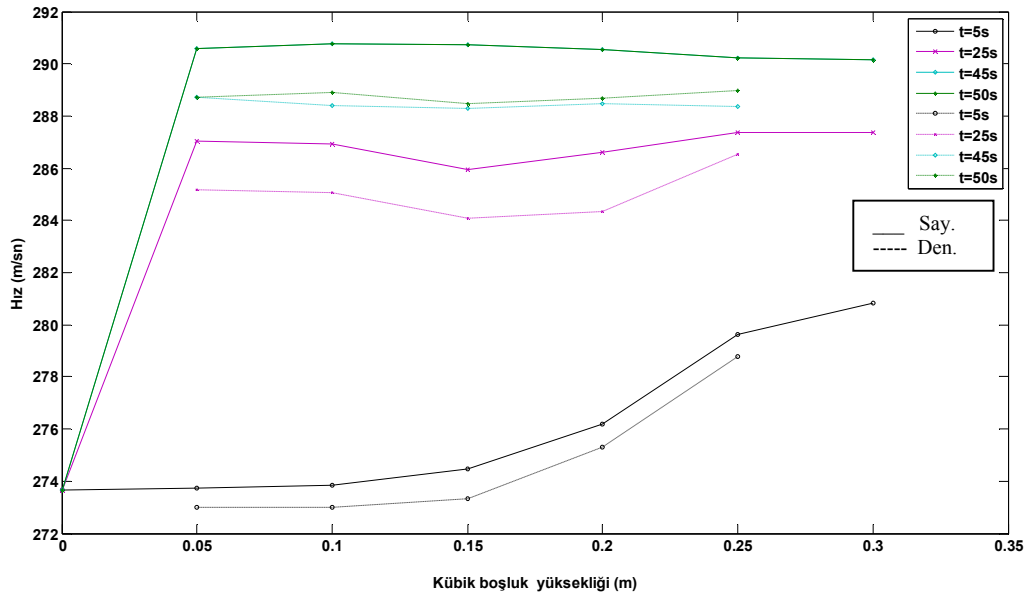
Şekil 3.24. $x/X=0'$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 3.25. $x/X=0,4'$ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.25.' de $x/X=0,4$ ' deki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. On beşinci saniyeye kadar 0,15 m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir.

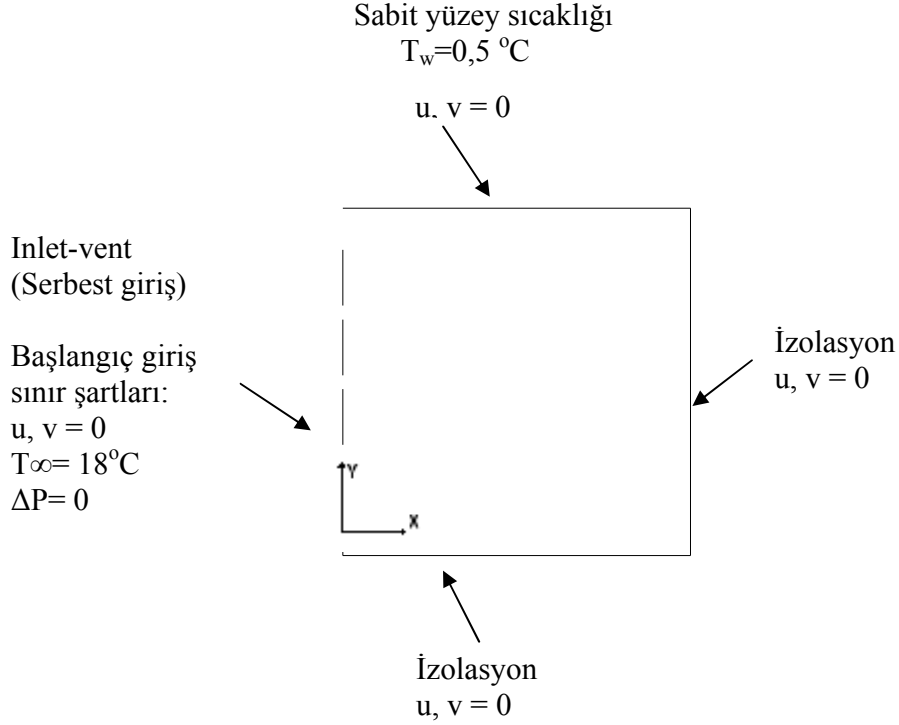
Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0,4$ ' deki sıcaklık yaklaşık 273 °K ile 281 °K arasında değişmektedir. Ayrıca 35. saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



Şekil 3.26. $x/X=0,8$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

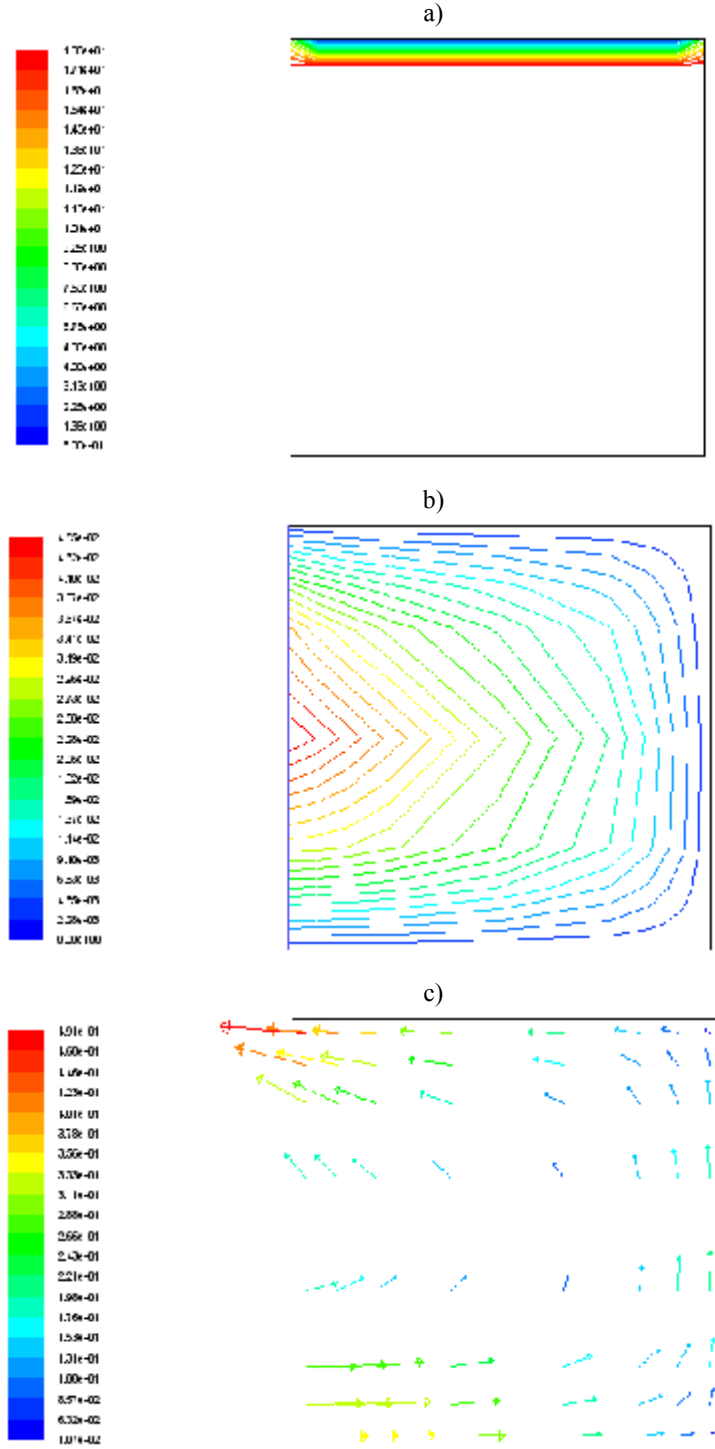
Şekil 3.26.' da $x/X=0,8$ ' deki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi soğuk yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

3.3. III. DURUM

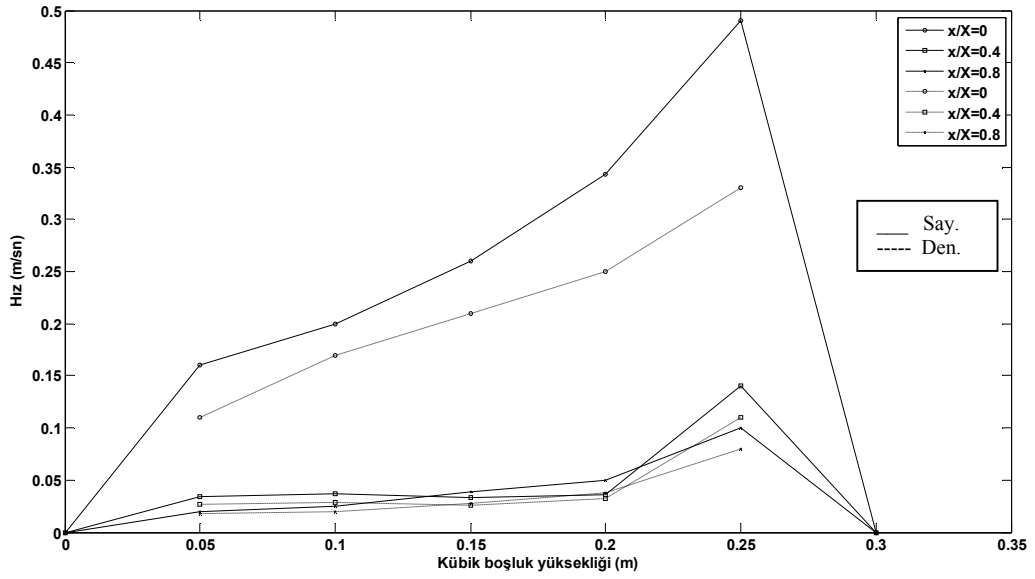


Şekil 3.27. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 3.27.' de gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun üst yüzeyi için sabit sıcaklık ($0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.



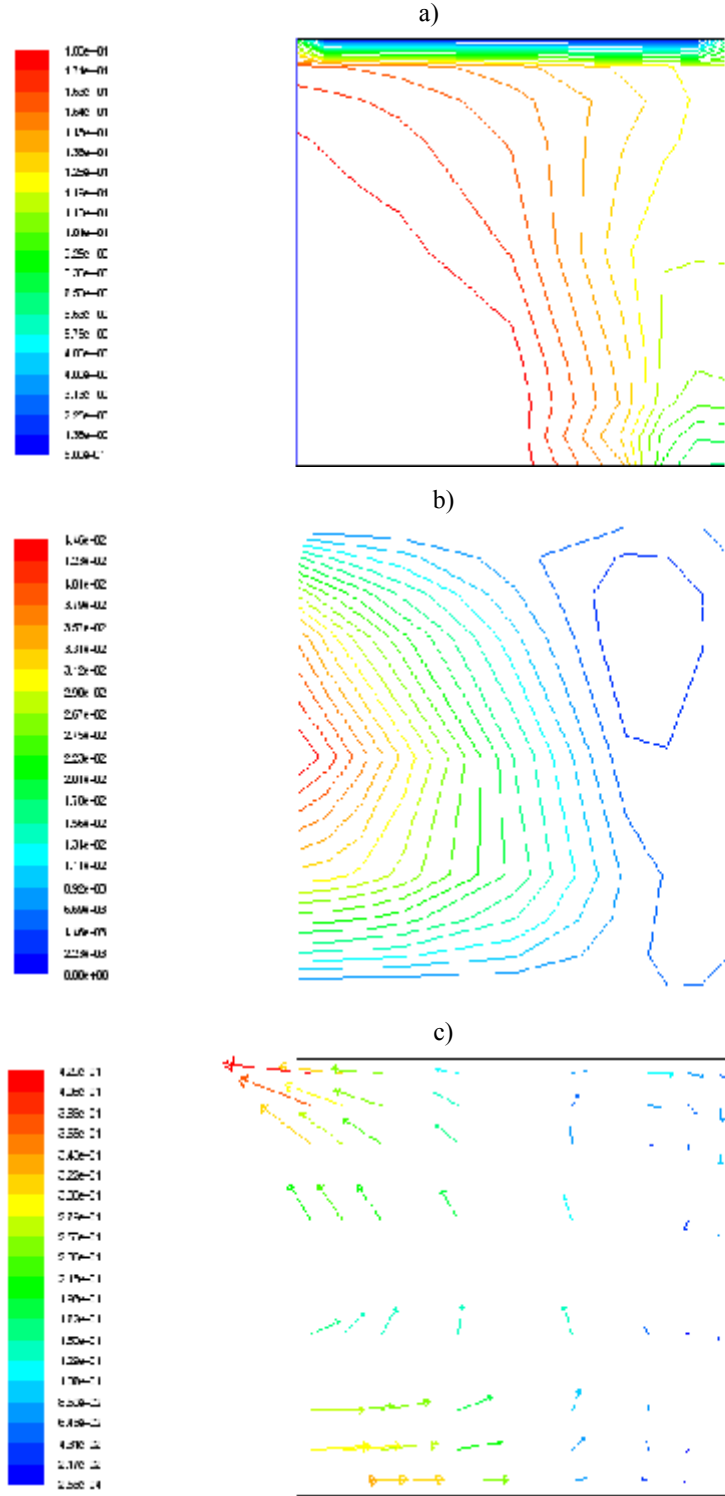
Şekil 3.28. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



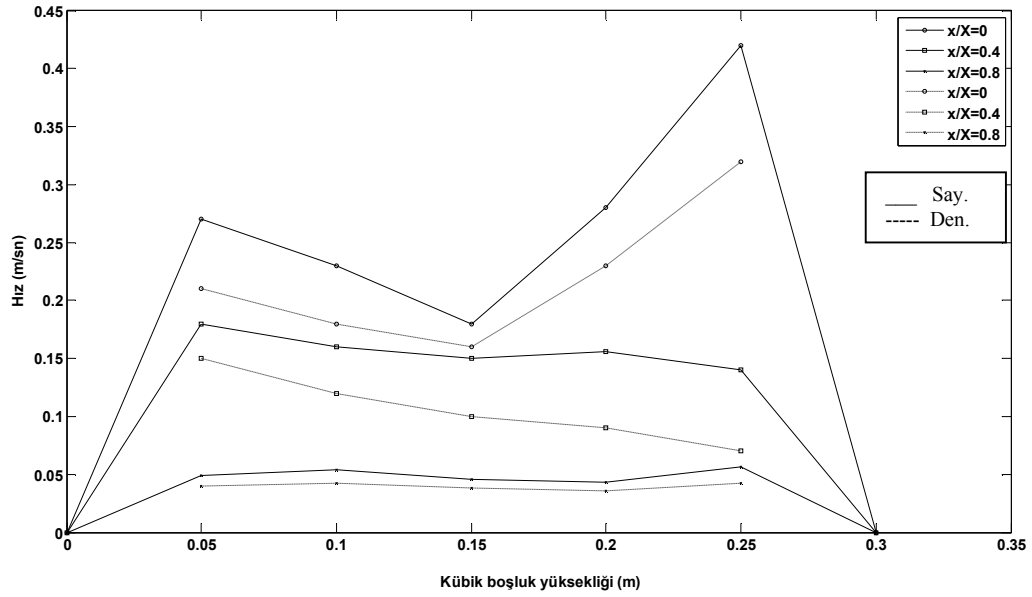
Şekil 3.29. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.28.' de 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.28. b' de görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,49 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.29.'da $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,25$ m' ye kadar artmakta daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artmakta ve 0,1 m/s değerine ulaştıktan sonra düşüş göstermektedir.



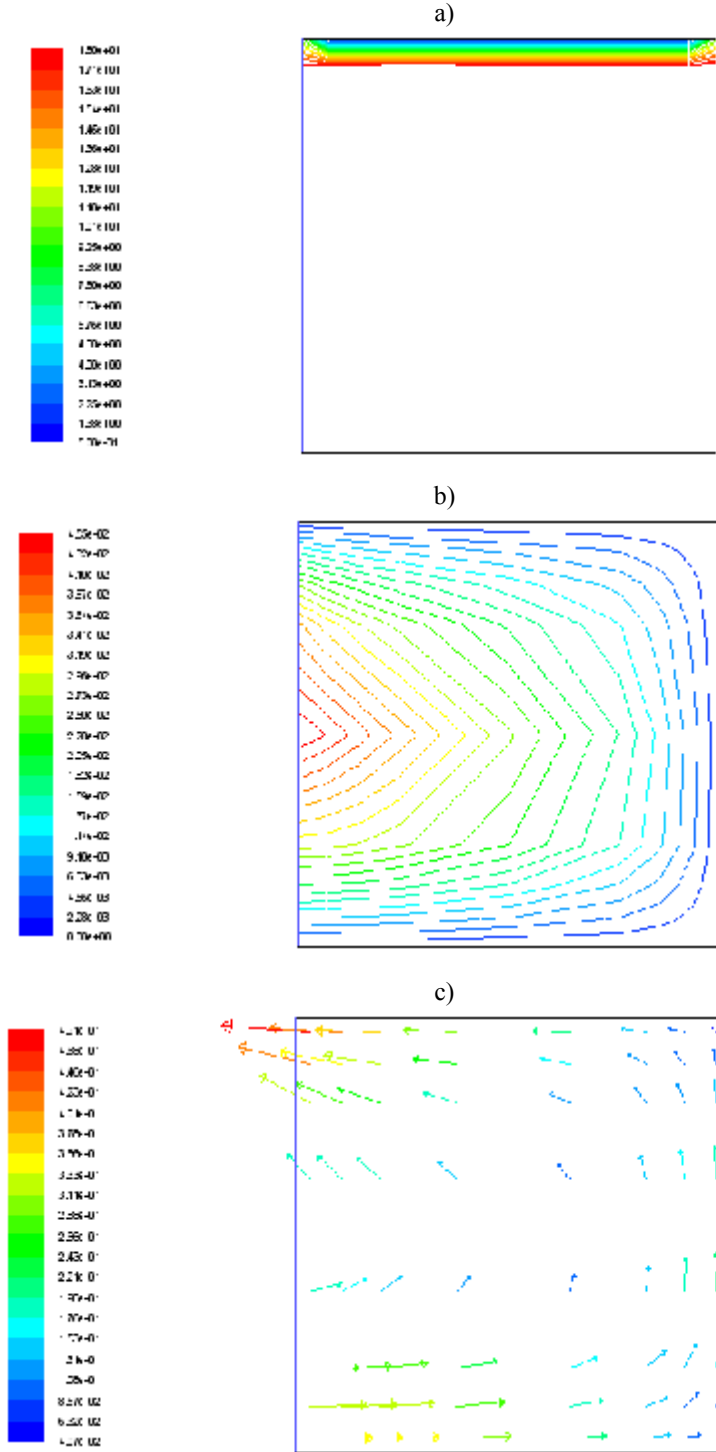
Şekil 3.30. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



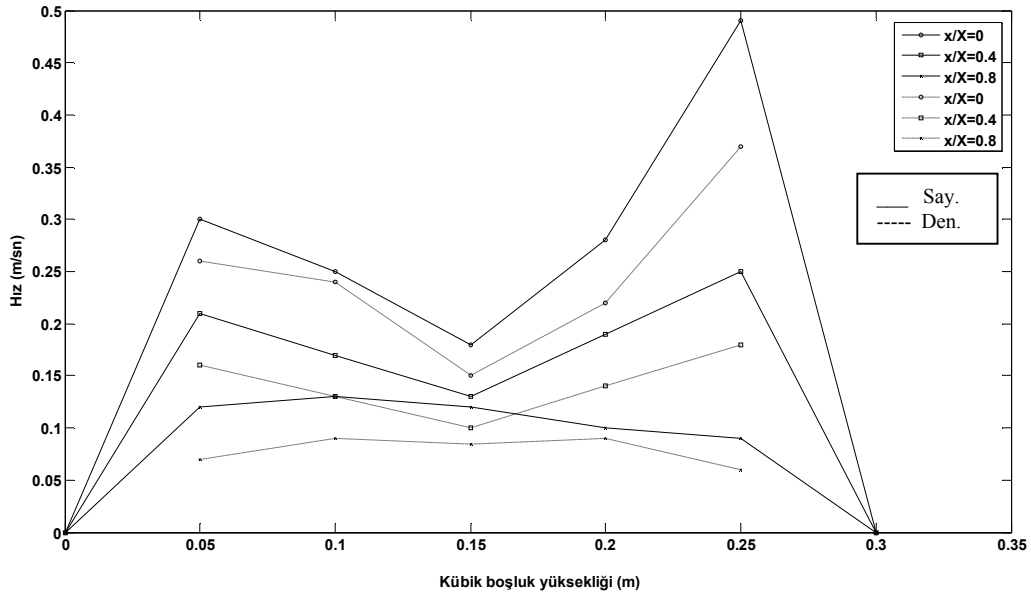
Şekil 3.31. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.30.' da 25. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.30. b' de görüldüğü gibi 25. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,42 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.31.'de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 25. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke $y=0,05$ m' ye kadar artarak 0,27 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artarak $y=0,25$ m' de 0,42 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra küçük bir düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,1 m' ye kadar artarak 0,05 m/s 'ye ulaşmakta daha sonra 0,2 m' ye kadar düşüş göstererek 0,043 m/s olmaktadır. 0,2 m ile 0,25 m arasında artarak 0,08 m/s hıza ulaşmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir.



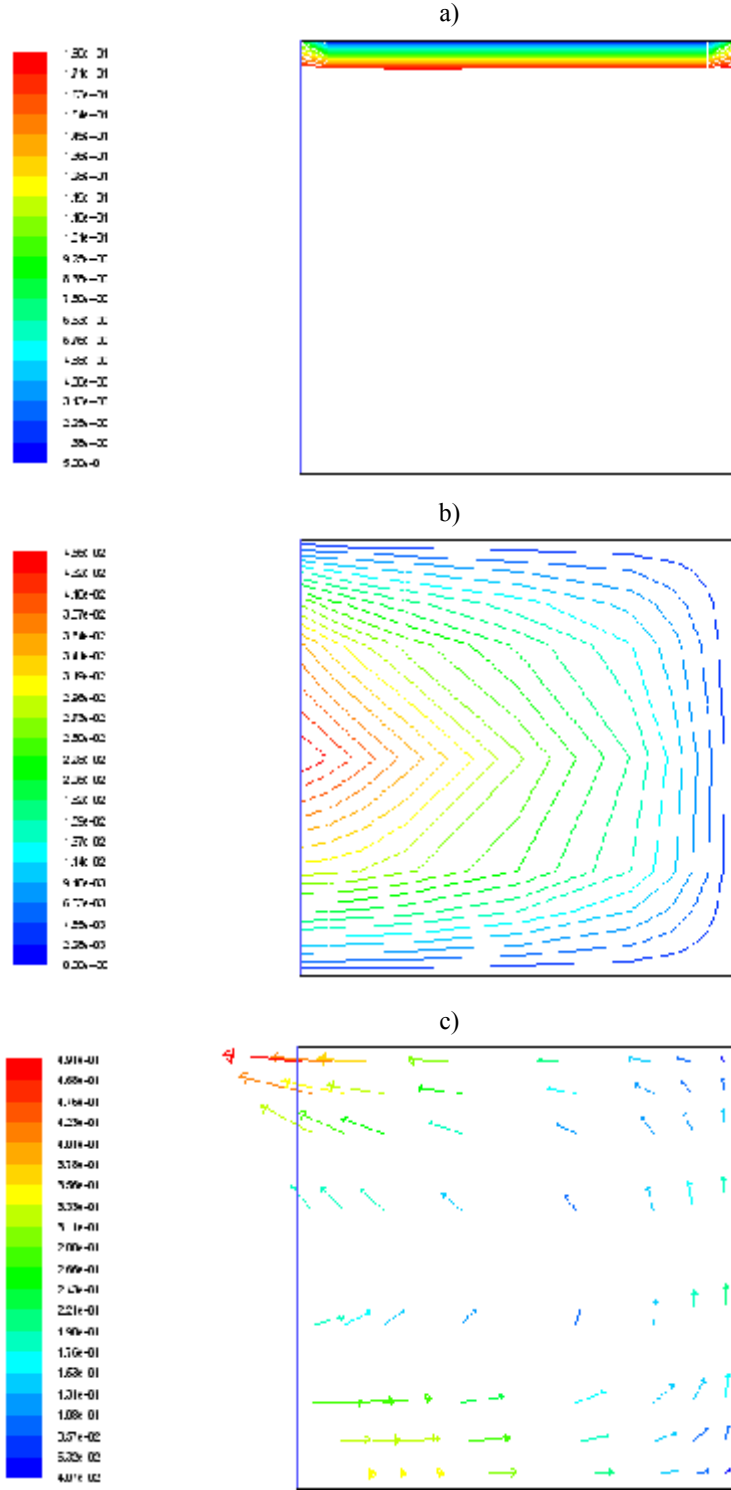
Şekil 3.32. $t=45.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 3.33. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

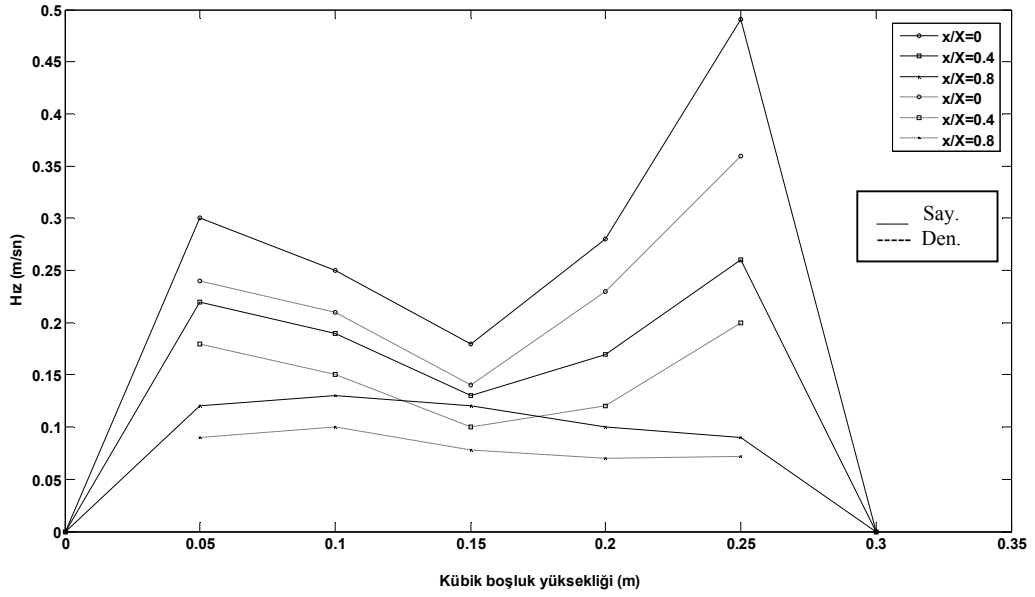
Şekil 3.32.'de 45. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.32. b' de görüldüğü gibi 45. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0.49 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.33.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hız $y=0,05$ m' ye kadar artarak 0,3 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artarak $y=0,25$ m' de 0,49 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artarak 0,21 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşerek 0,14 m/s değerini almaktadır. Daha sonra artarak 0,25 m' de 0,26 m/s değerini almaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızının 0,1 m' ye kadar artarak 0,14 m/s' ye ulaştığı daha sonra düştüğü gözlenmiştir.



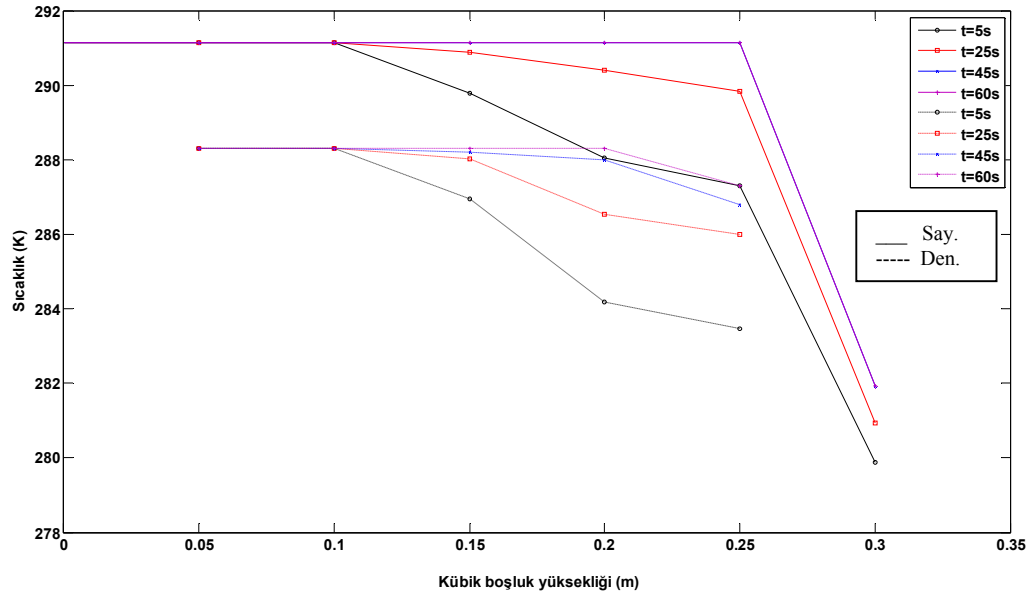
Şekil 3.34. $t=60.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.32. ve Şekil 3.34. sırasıyla 45. ve 60. saniyelerdeki sıcaklık, akım fonksiyonu ve hız vektörlerini vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu zaman adımlarında sıcaklık ve akım fonksiyonu değerleri birbirine çok yakındır. $x/X=0$ ' da 0,3 m/s hızla giren hava 0,49 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.

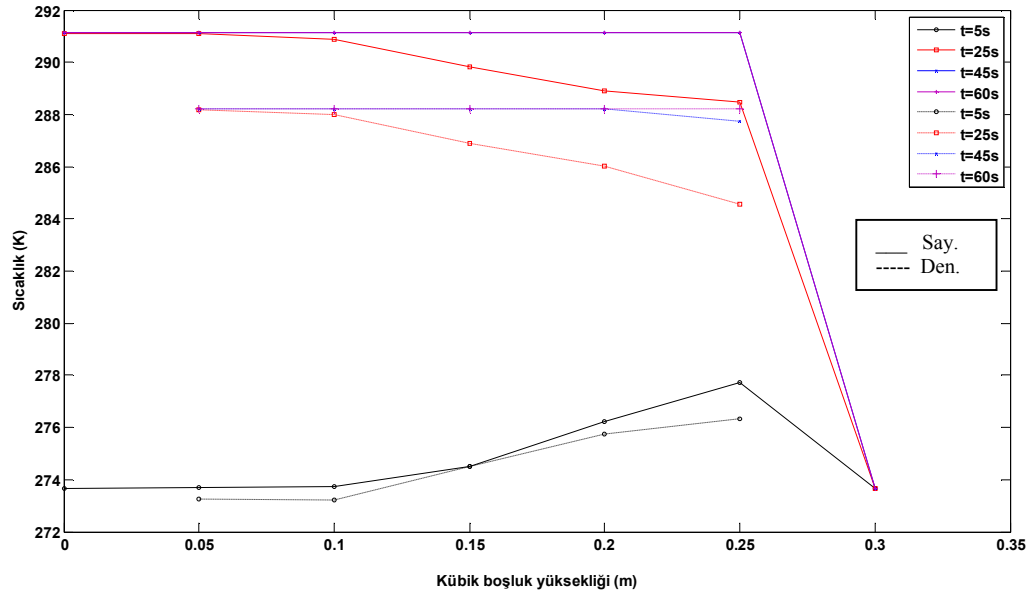


Şekil 3.35. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.36.'da $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi yaklaşık $y=0,1$ m' ye kadar ortam sıcaklığı hakimdir. Kübik boşluğun iç kısmında sıcaklık düşmeye başlamıştır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 3.36.).

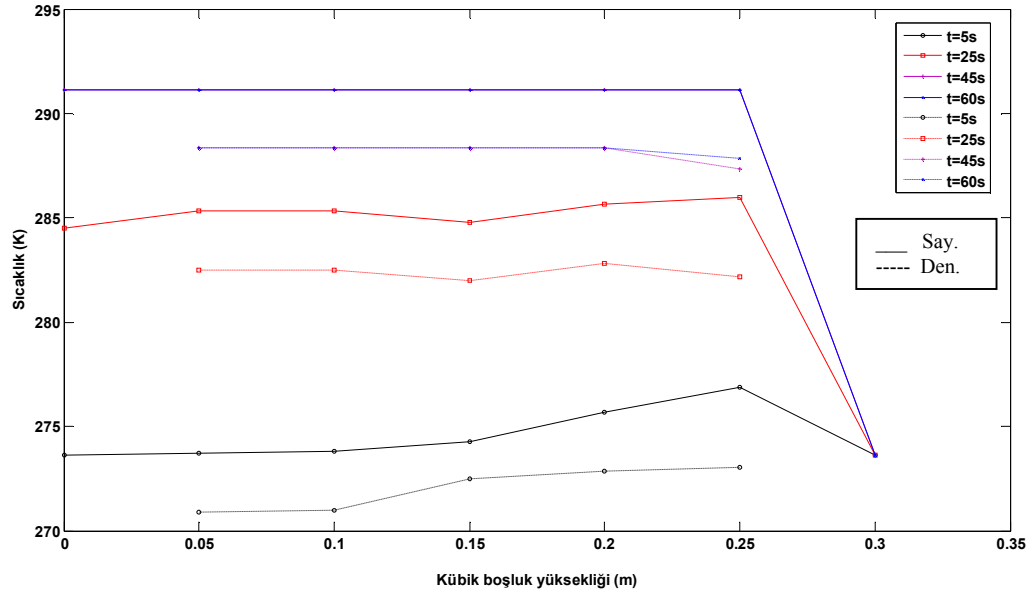


Şekil 3.36. $x/X=0$ ' da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 3.37. $x/X=0,4$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

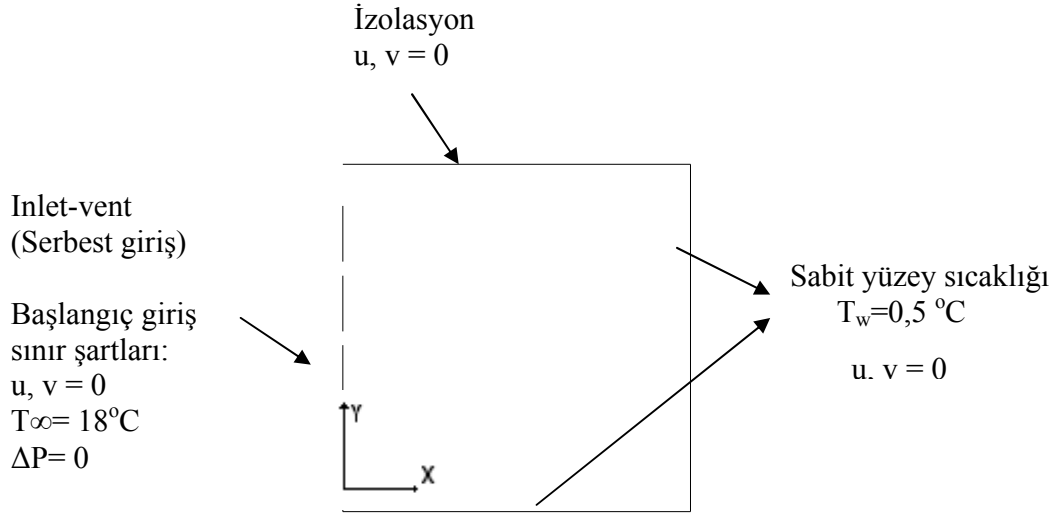
Şekil 3.37.' de $x/X=0,4$ ' deki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. Yirmi beşinci saniyeye kadar 0,15 m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Ayrıca 45. saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



Şekil 3.38. $x/X=0,8$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

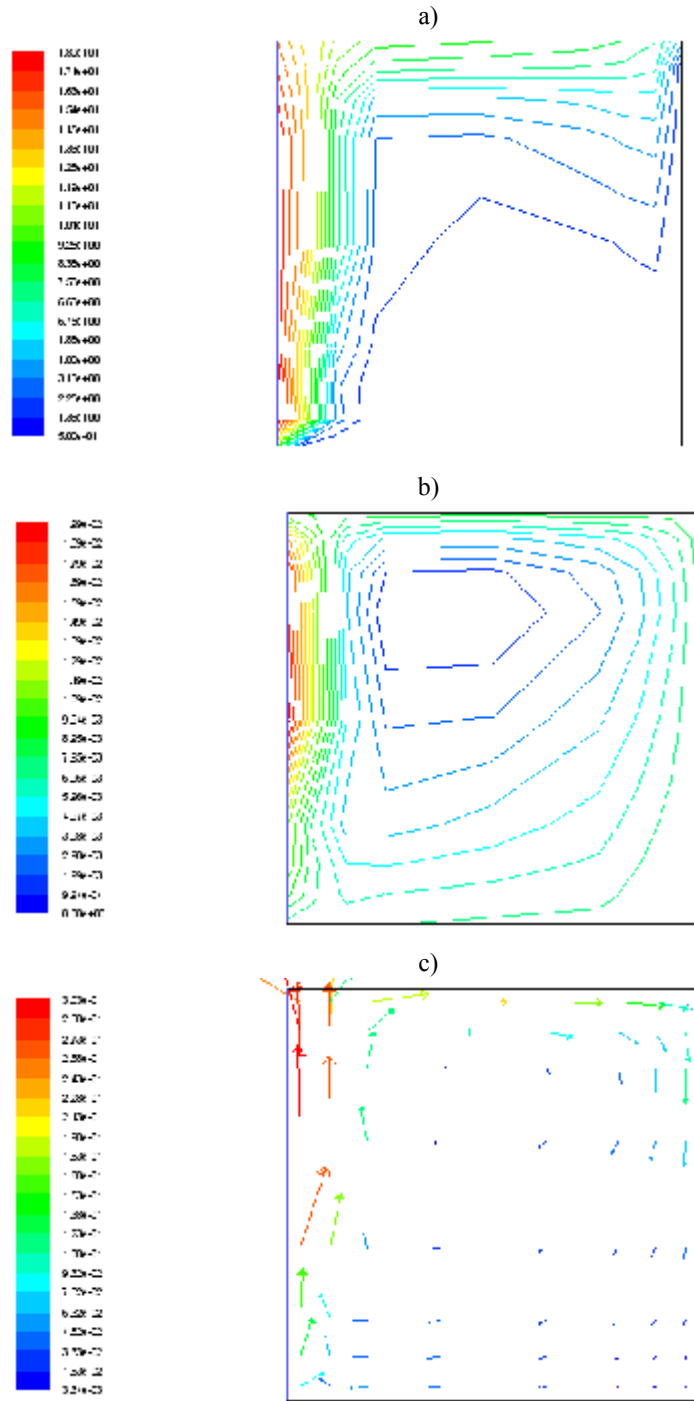
Şekil 3.38.' de, $x/X=0,8$ kesitindeki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi soğuk yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

3.4. IV. DURUM

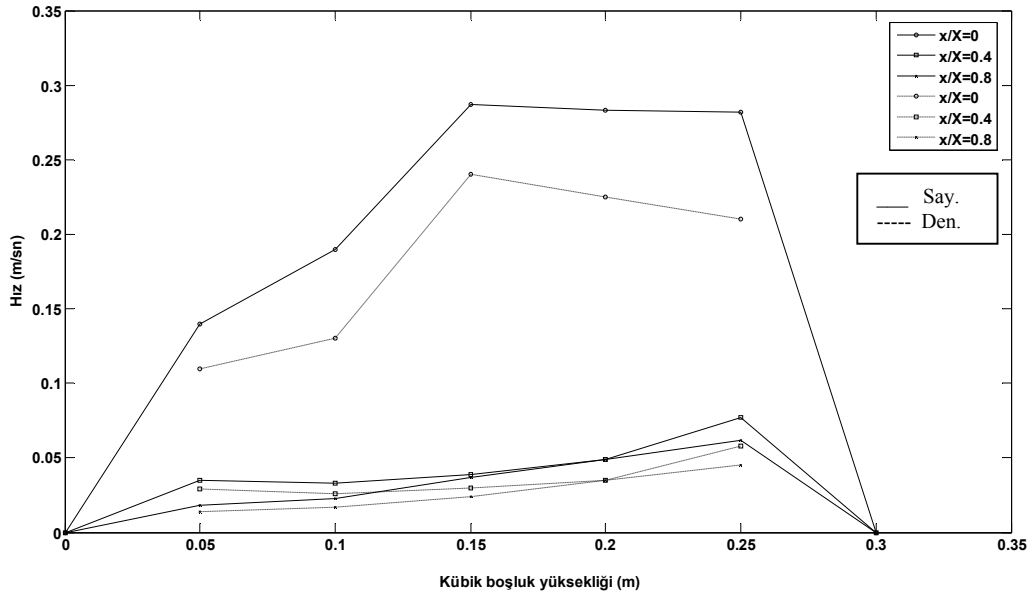


Şekil 3.39. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 3.39.' da gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında (18°C) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun alt yüzeyi ve arka yüzeyi için sabit sıcaklık ($0,5^{\circ}\text{C}$) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.



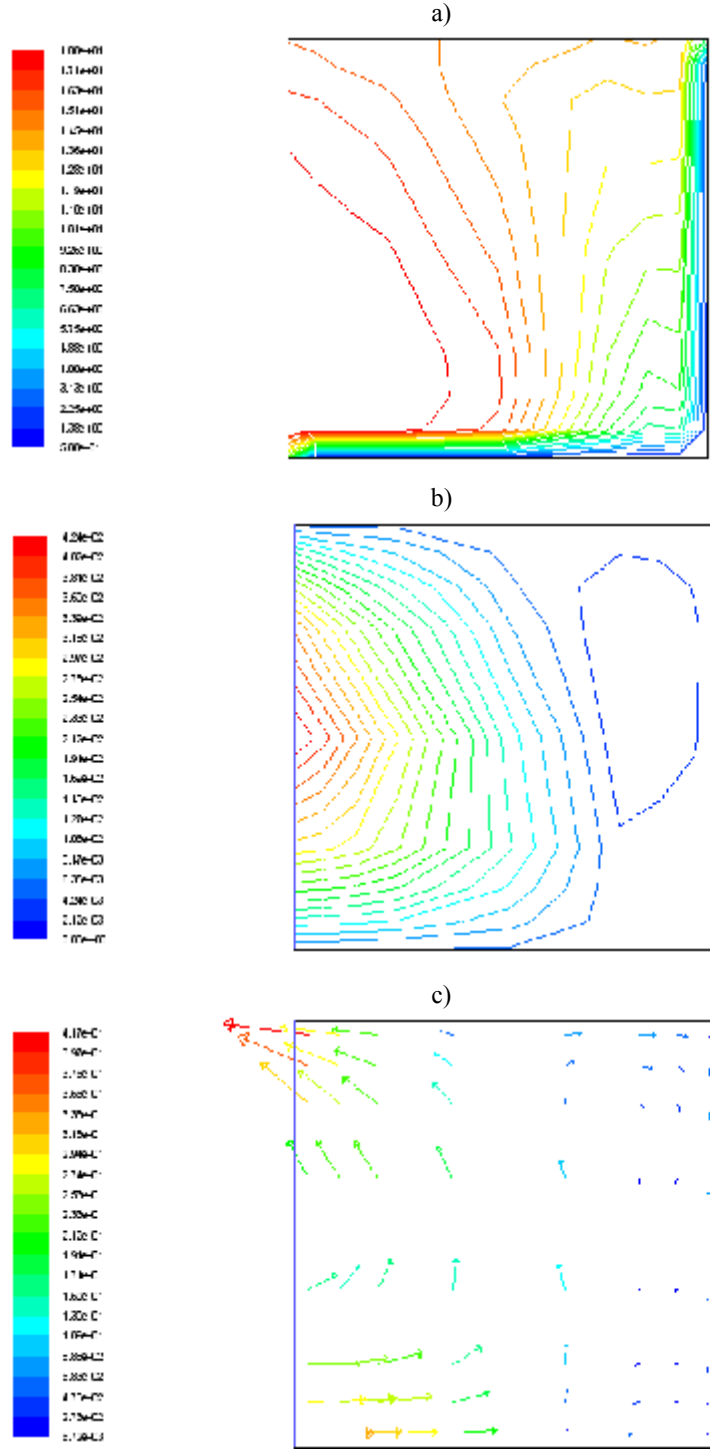
Şekil 3.40. $t=5.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



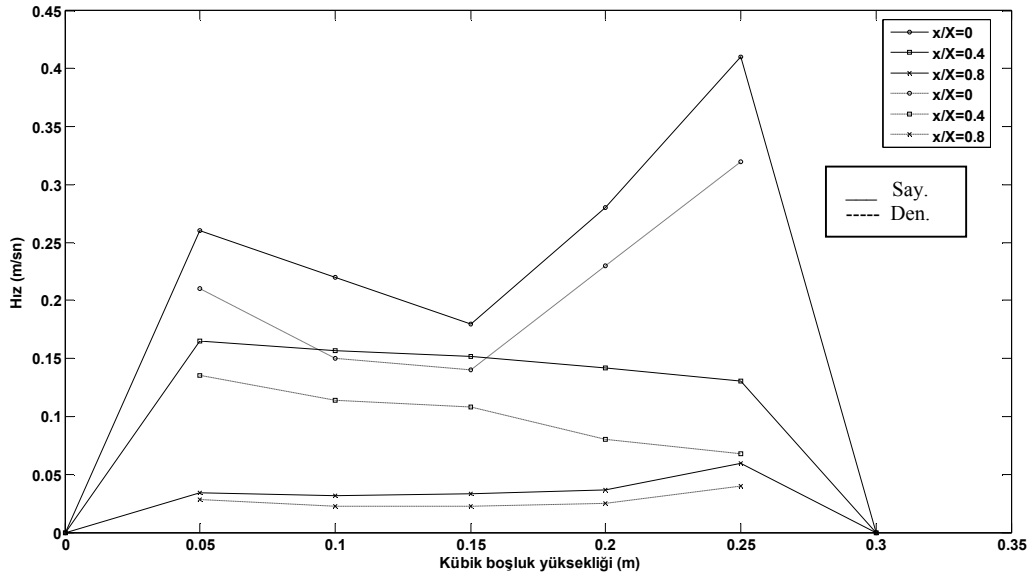
Şekil 3.41. t=5 s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.40.' da 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.40. b' de görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,01 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,3 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.41.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,15$ m' ye kadar artarak 0,3 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 0,25 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artmakta sonra düşüş göstermektedir.



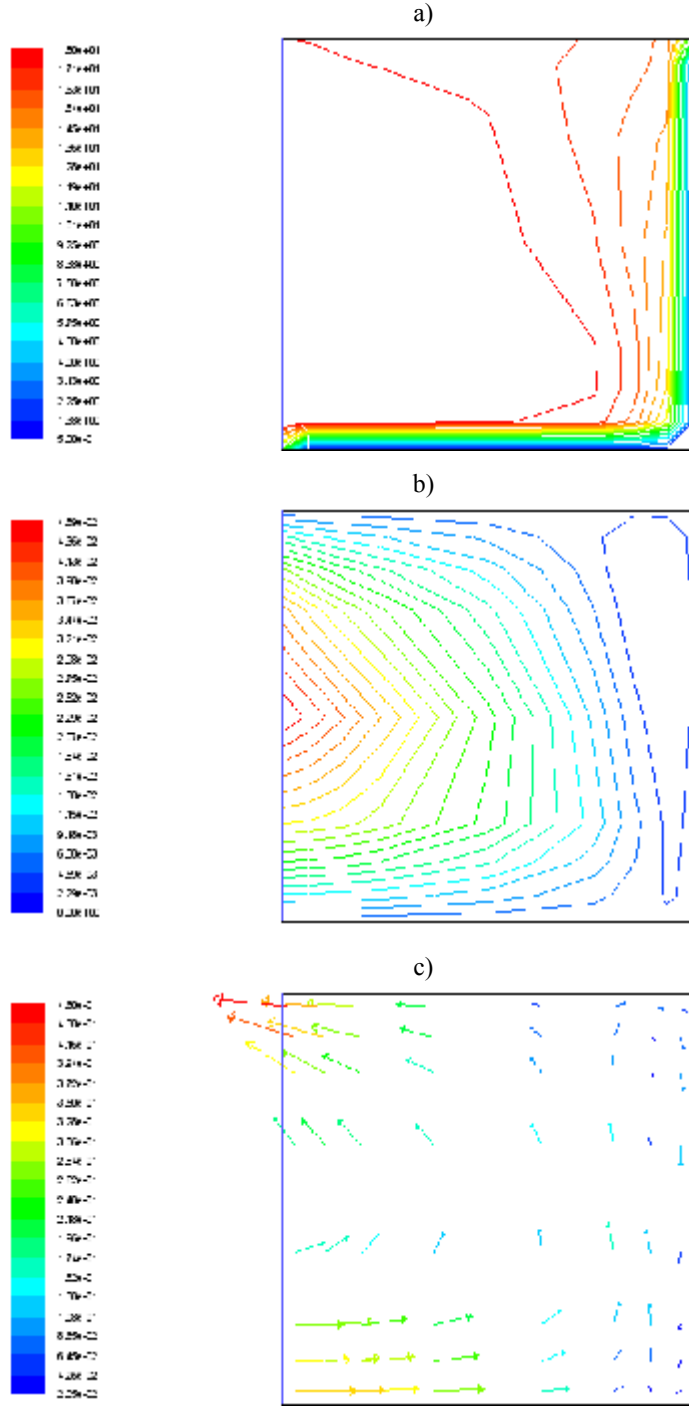
Şekil 3.42. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



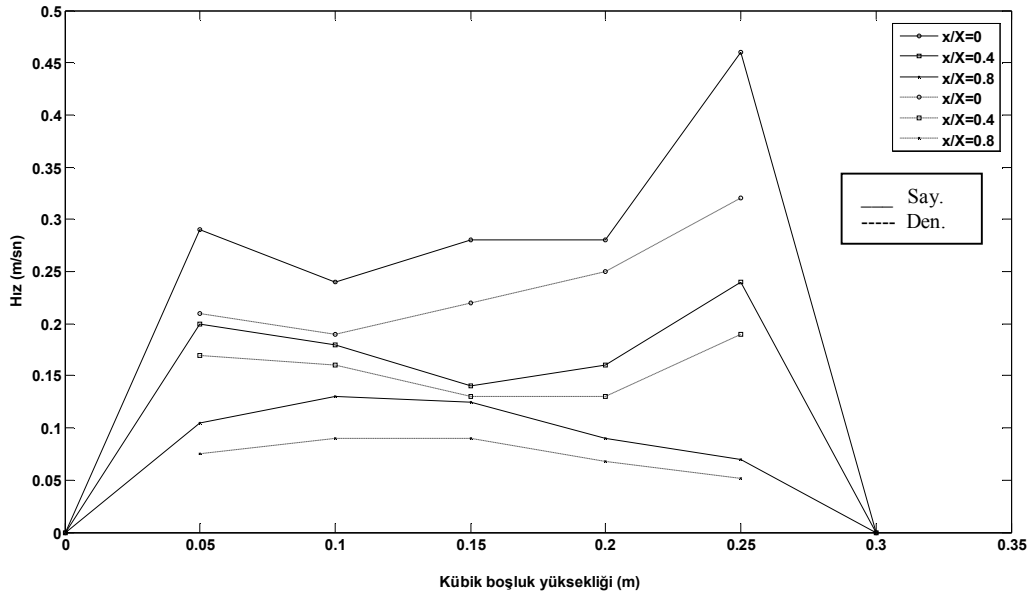
Şekil 3.43. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.42.'de 25. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.38. b de görüldüğü gibi 25. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,41 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.43.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 25. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artarak 0, 26 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra $y=0,25$ m' ye kadar artış göstermektedir. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra küçük bir düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artmakta daha sonra düşmektedir.



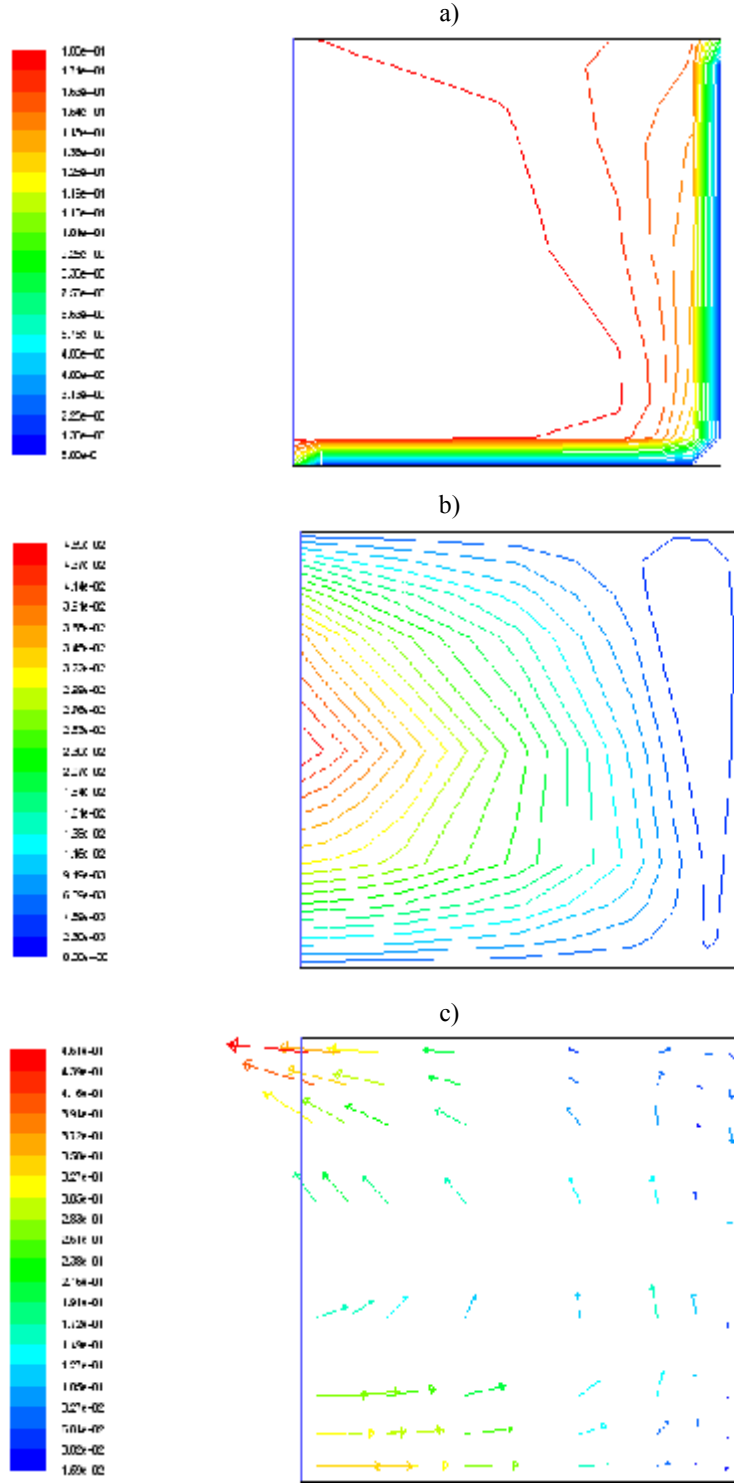
Şekil 3.44. $t=45.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



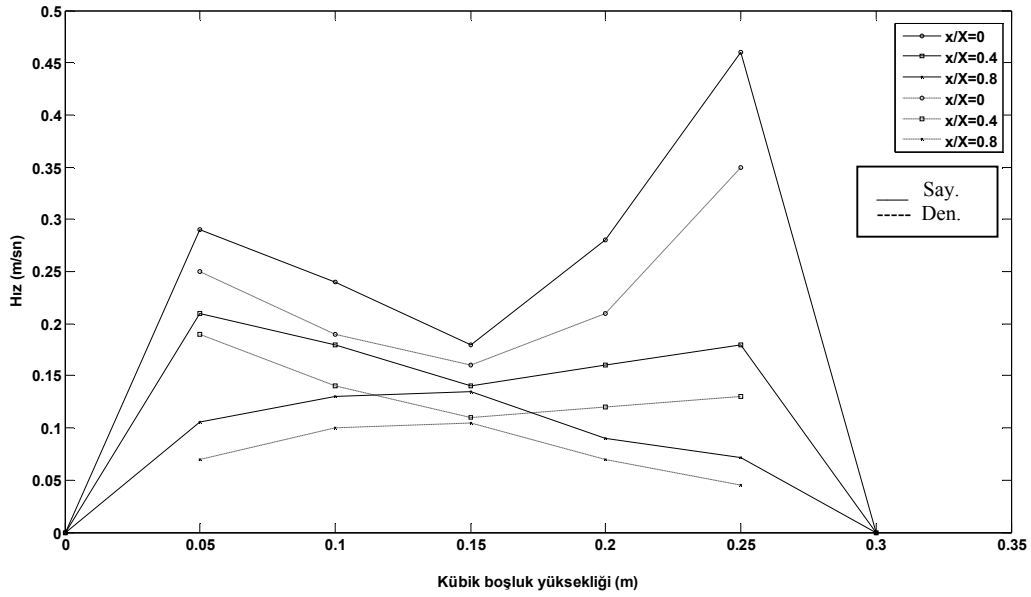
Şekil 3.45. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.44.' de 45. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.44. b' de görüldüğü gibi 45. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,46 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.45.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,1 m arasında düşmekte ve daha sonra $y=0,25$ m' ye kadar artarak 0,46 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra $y=0,25$ m' ye kadar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızının 0,15 m' ye kadar artarak 0,13 m/s' ye ulaştığı daha sonra düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 3.46. $t=65$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

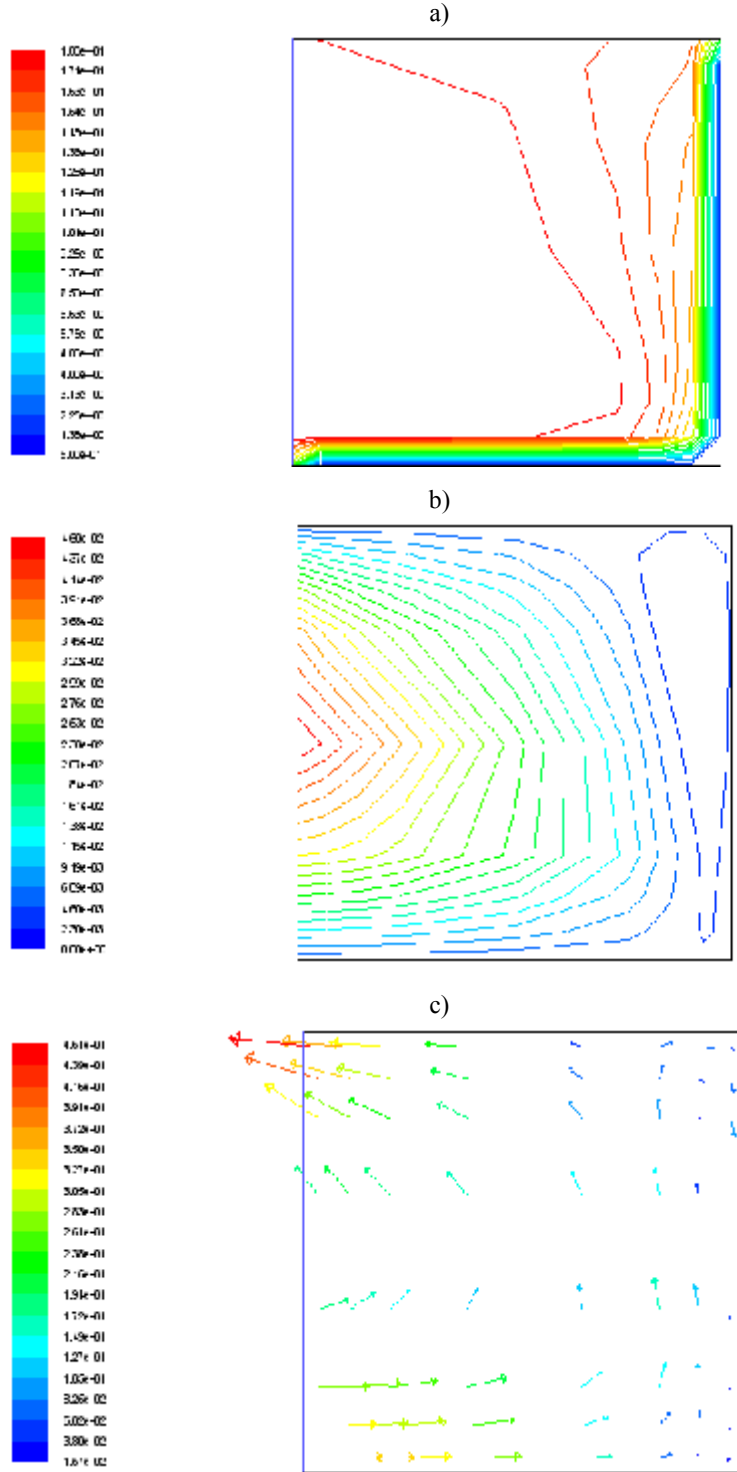


Şekil 3.47. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

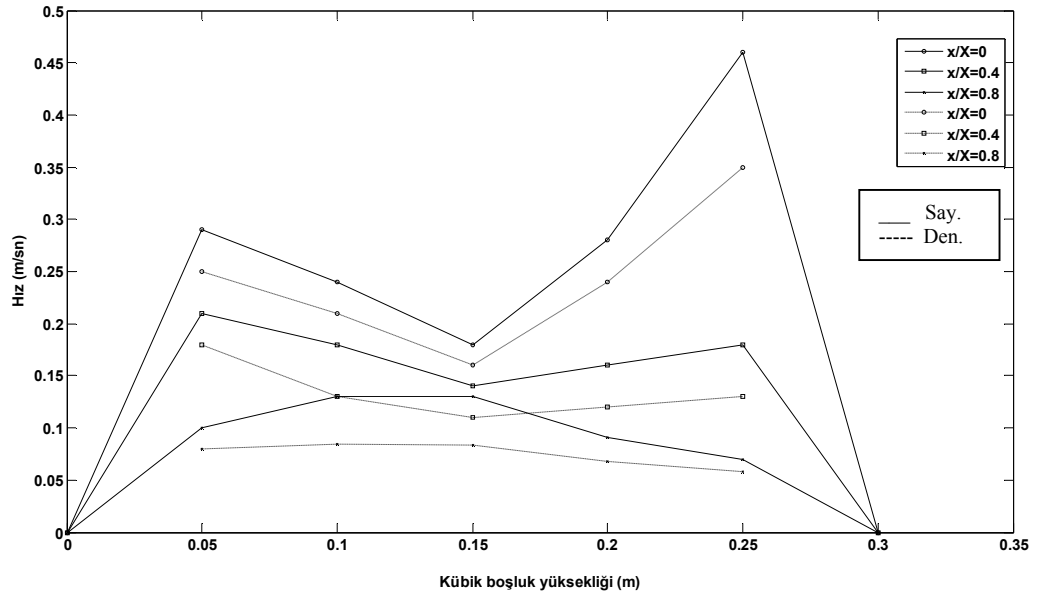
Şekil 3.46.' da 65. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.46. b' de görüldüğü gibi 65. saniyedeki akım fonksiyonu en fazla 0,04 kg/s olmaktadır. Akışkan hızı ise 0,46 m/s ile kübik boşluktan çıkarken gözlenmiştir

Şekil 3.47'de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 65. saniyede $x/X=0$ ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızları $y=0,05$ m' ye kadar artmakta $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise 0,15 m ye kadar akışkan hızı artmakta daha sonra düşmekte olduğu gözlenmiştir. Ayrıca her üç kesitte de 45.saniyeye göre artışlar gözlenmiştir.

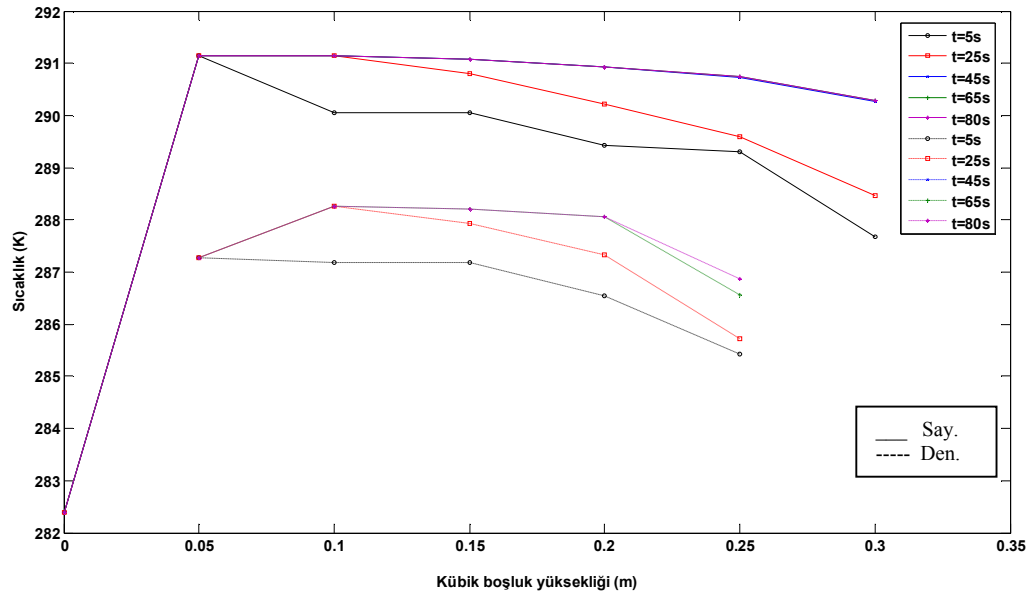
Şekil 3.46. ve Şekil 3.48. sırasıyla 65. ve 80. saniyelerdeki sıcaklık, akım fonksiyonu ve hız vektörlerini vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu zaman adımlarında sıcaklık akım fonksiyonu değerleri birbirine çok yakındır. $x/X=0$ ' da 0,3 m/s hızla giren hava 0,46 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.



Şekil 3.48. $t=80.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

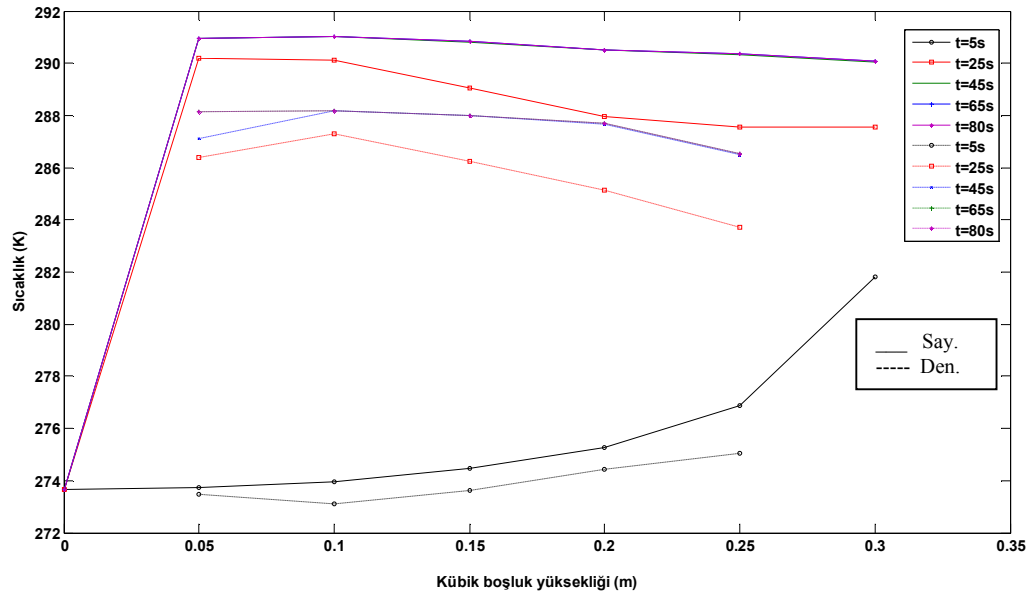


Şekil 3.49. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



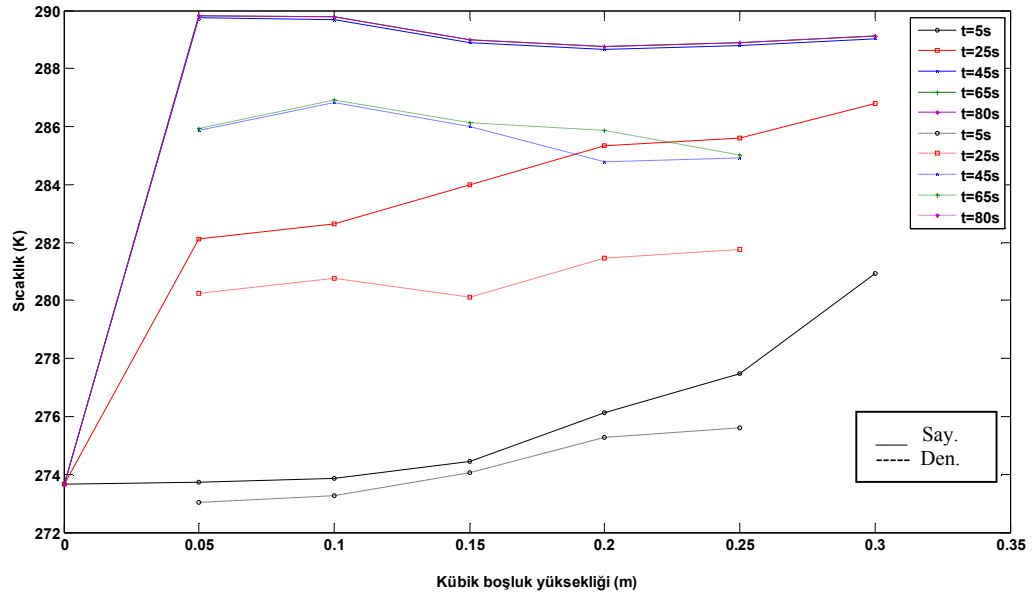
Şekil 3.50. $x/X=0$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.50.' de $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kübik boşluğun iç kısmında sıcaklık düşmeye başlamıştır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 3.50.).



Şekil 3.51. $x/X=0,4$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

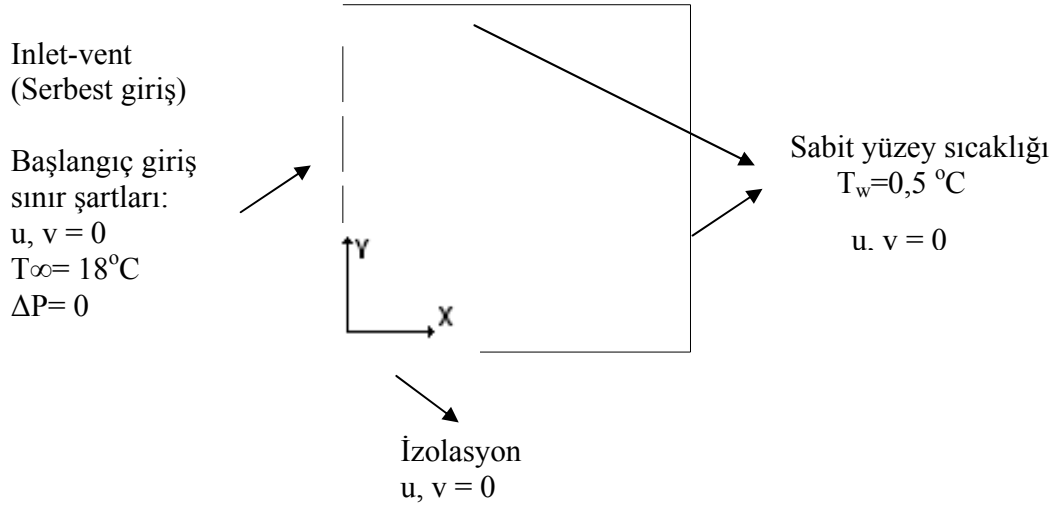
Şekil 3.51.' de $x/X=0,4$ 'deki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. On beşinci saniyeye kadar 0,25 m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Ayrıca 55. saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



Şekil 3.52. $x/X=0,8$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

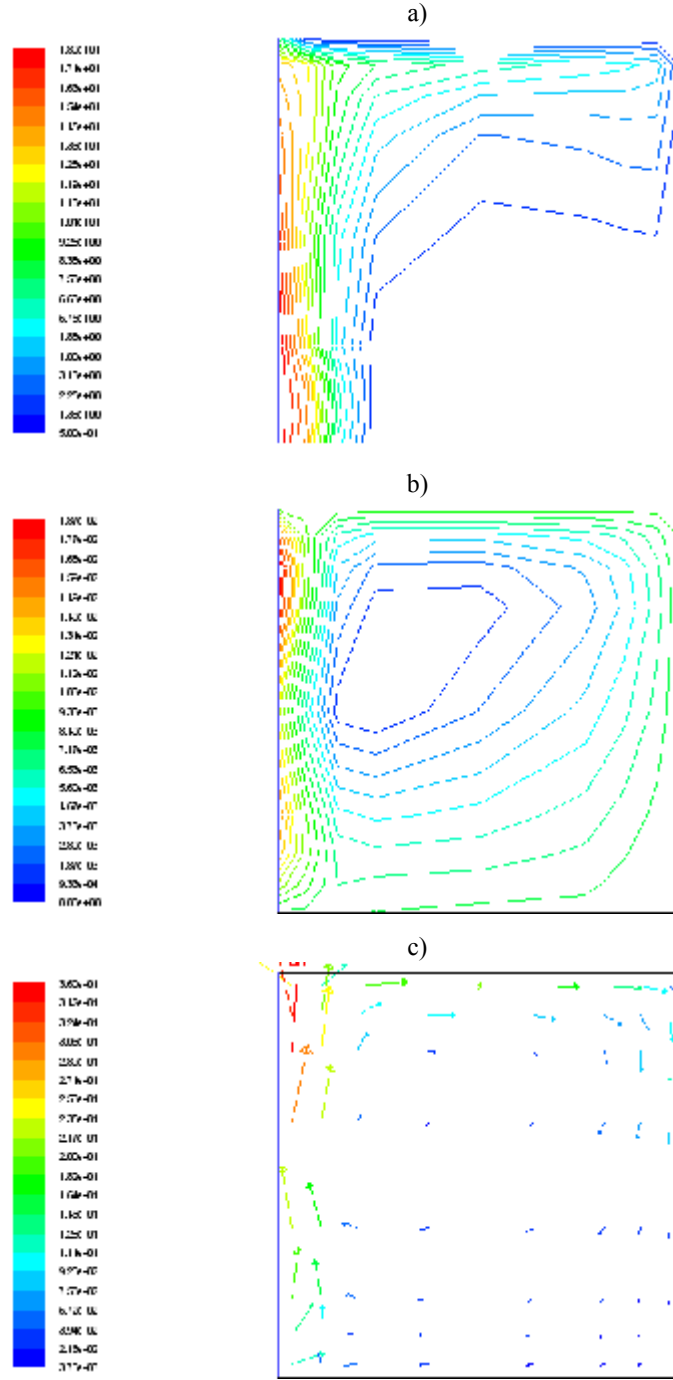
Şekil 3.52.' de, $x/X=0,8$ ' deki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi soğuk yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

3.5. V. DURUM

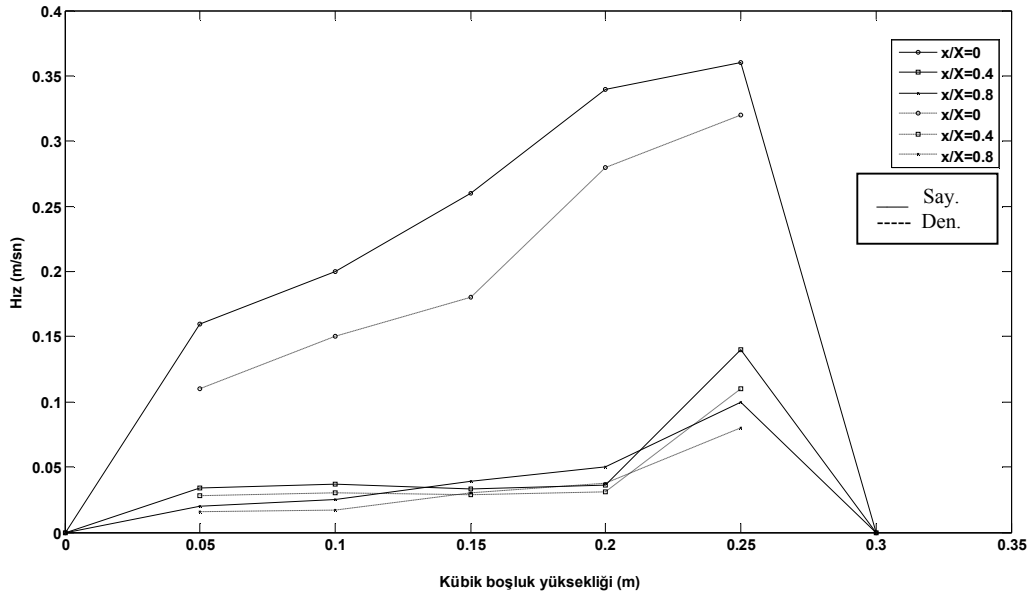


Şekil 3.53. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 3.53.'de gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında (18°C) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun arka ve üst yüzeyi için sabit sıcaklık ($0,5^{\circ}\text{C}$) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.



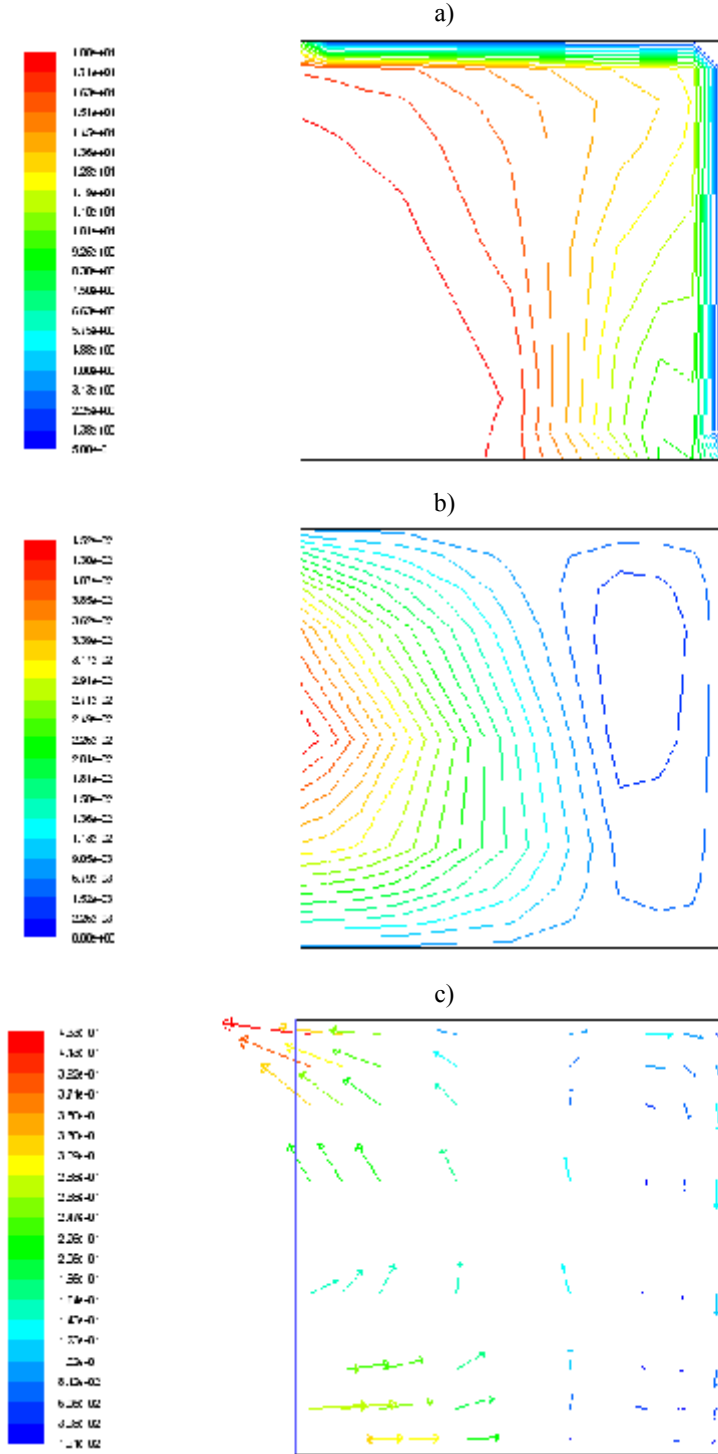
Şekil 3.54. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b)akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



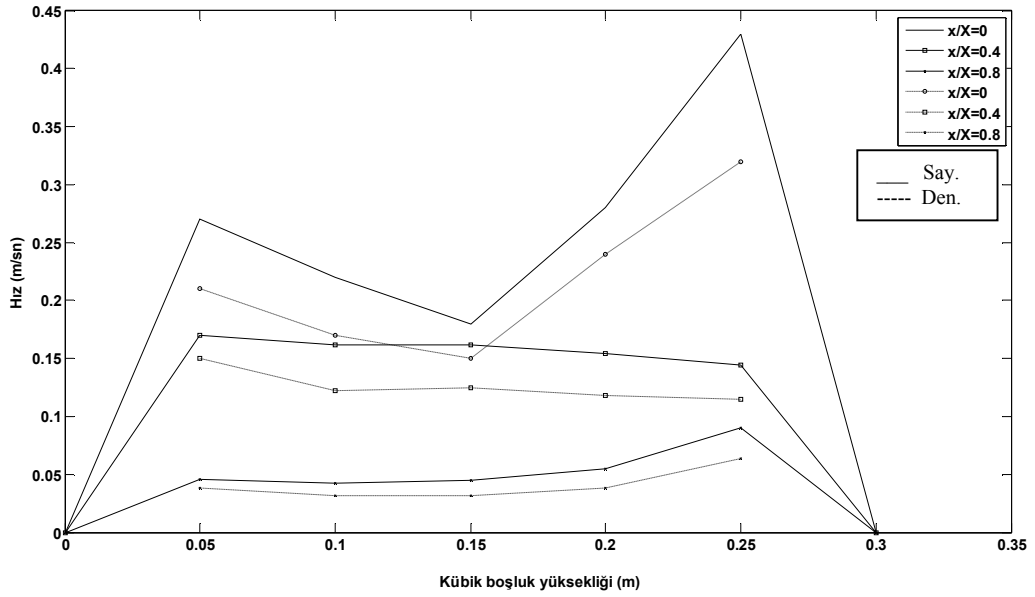
Şekil 3.55. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.54.' de 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.54. b' de görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,018 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,36 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.55.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,25$ m' ye kadar artarak 0,36 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve sonra 0,2 m' ye kadar küçük bir düşüş göstermekte ve artarak 0,25 m' de 0,14 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artmakta ve 0,08 m/s değerine ulaştıktan sonra düşüş göstermektedir.



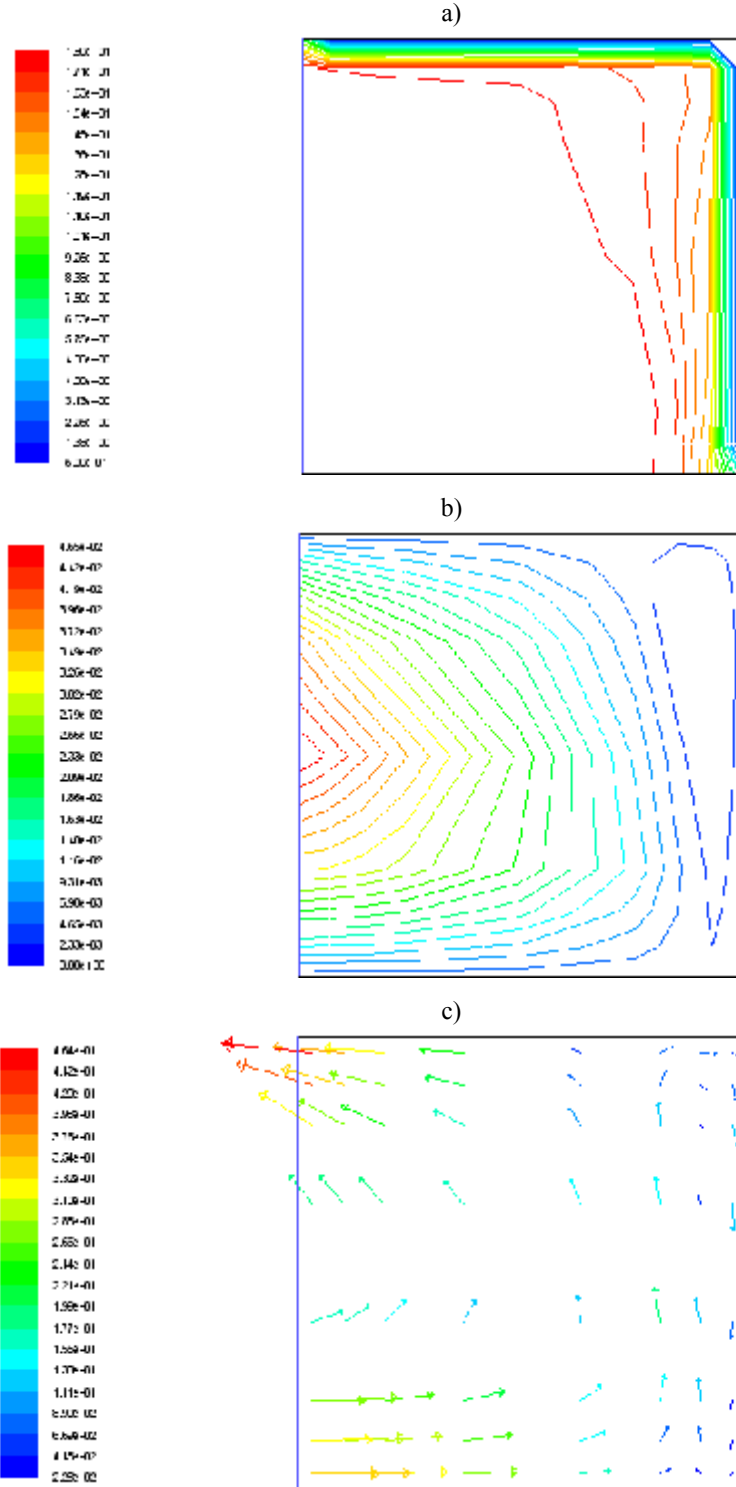
Şekil 3.56. $t=25.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



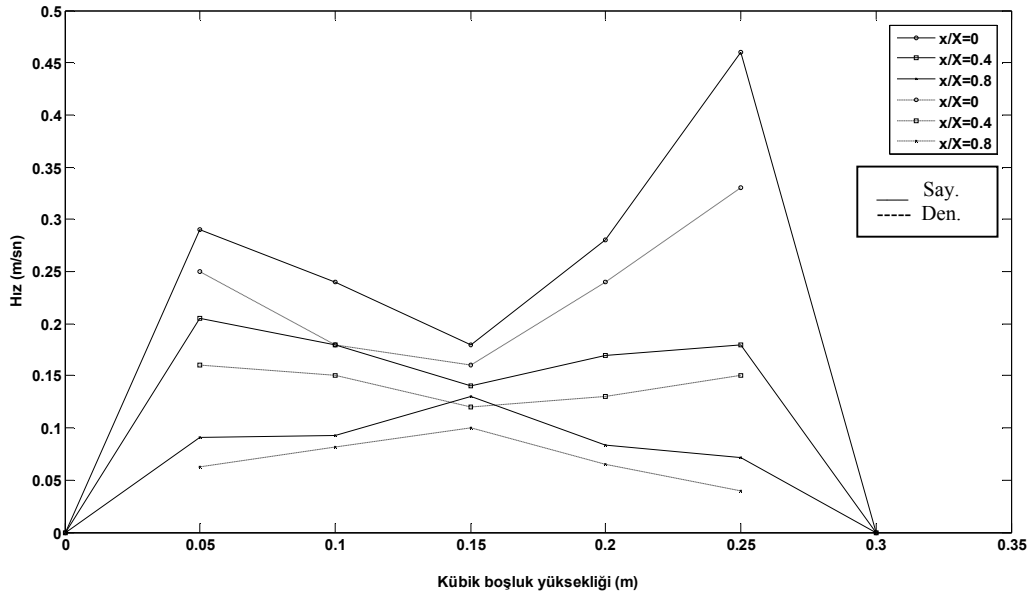
Şekil 3.57. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.56.' da 25. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.56. b' de görüldüğü gibi 25. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,045 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,43 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.57.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 25. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artarak $y=0,25$ m' de 0,43 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir.



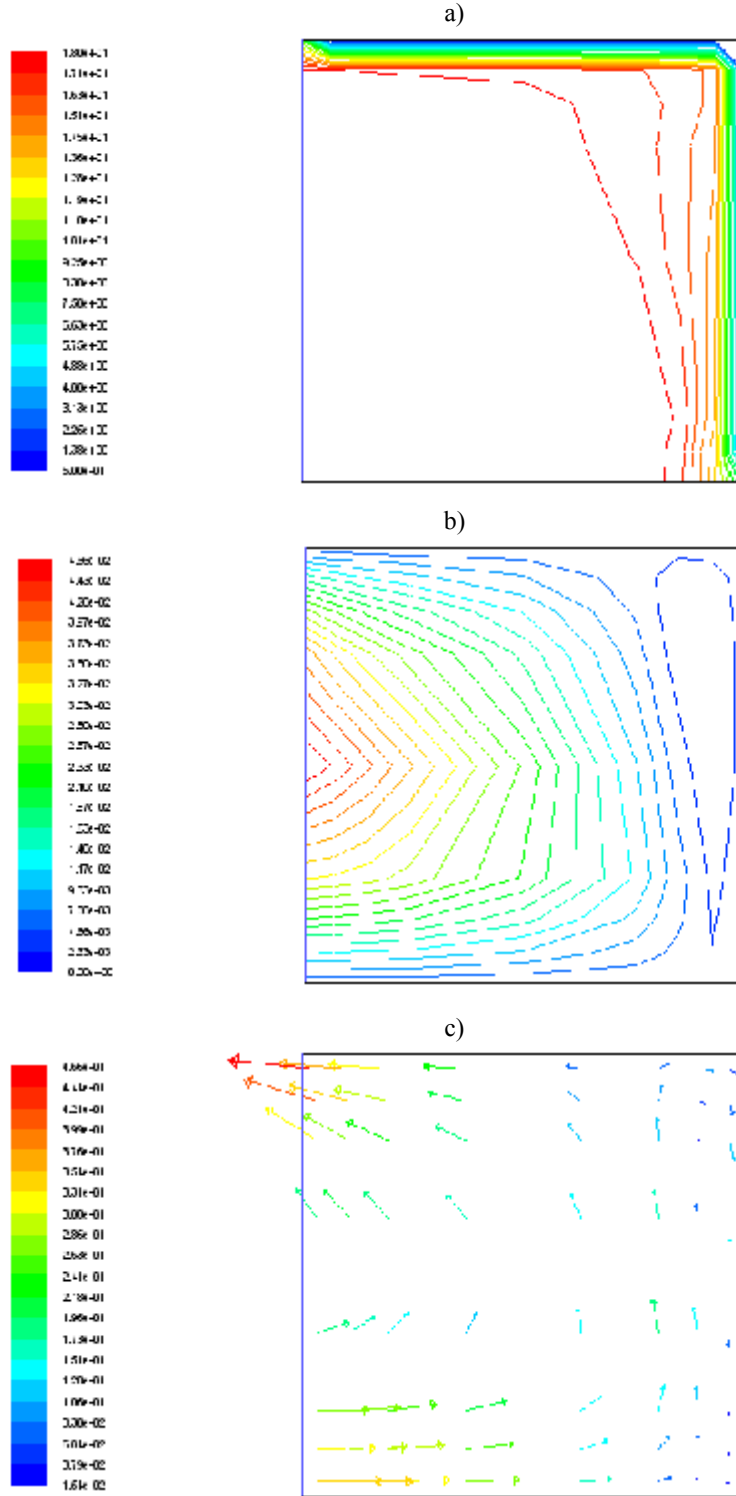
Şekil 3.58. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



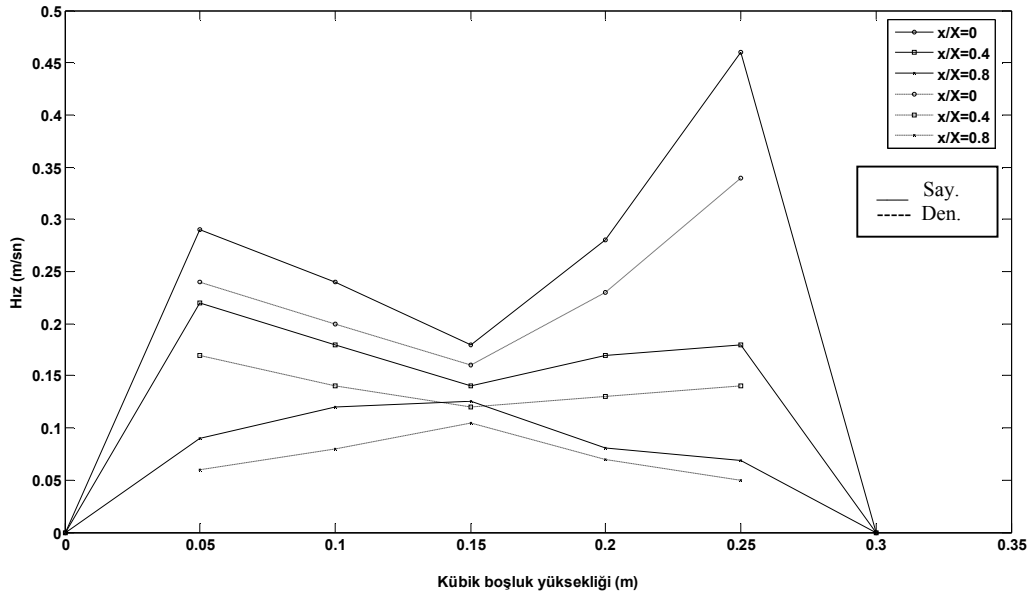
Şekil 3.59. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.58.' de 45. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.58. b' de görüldüğü gibi 45. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,046 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,46 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.59.'da $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra $y=0,25$ m' ye kadar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızının 0,15 m' ye kadar artarak 0,14 m/s' ye ulaştığı daha sonra düştüğü gözlenmiştir.



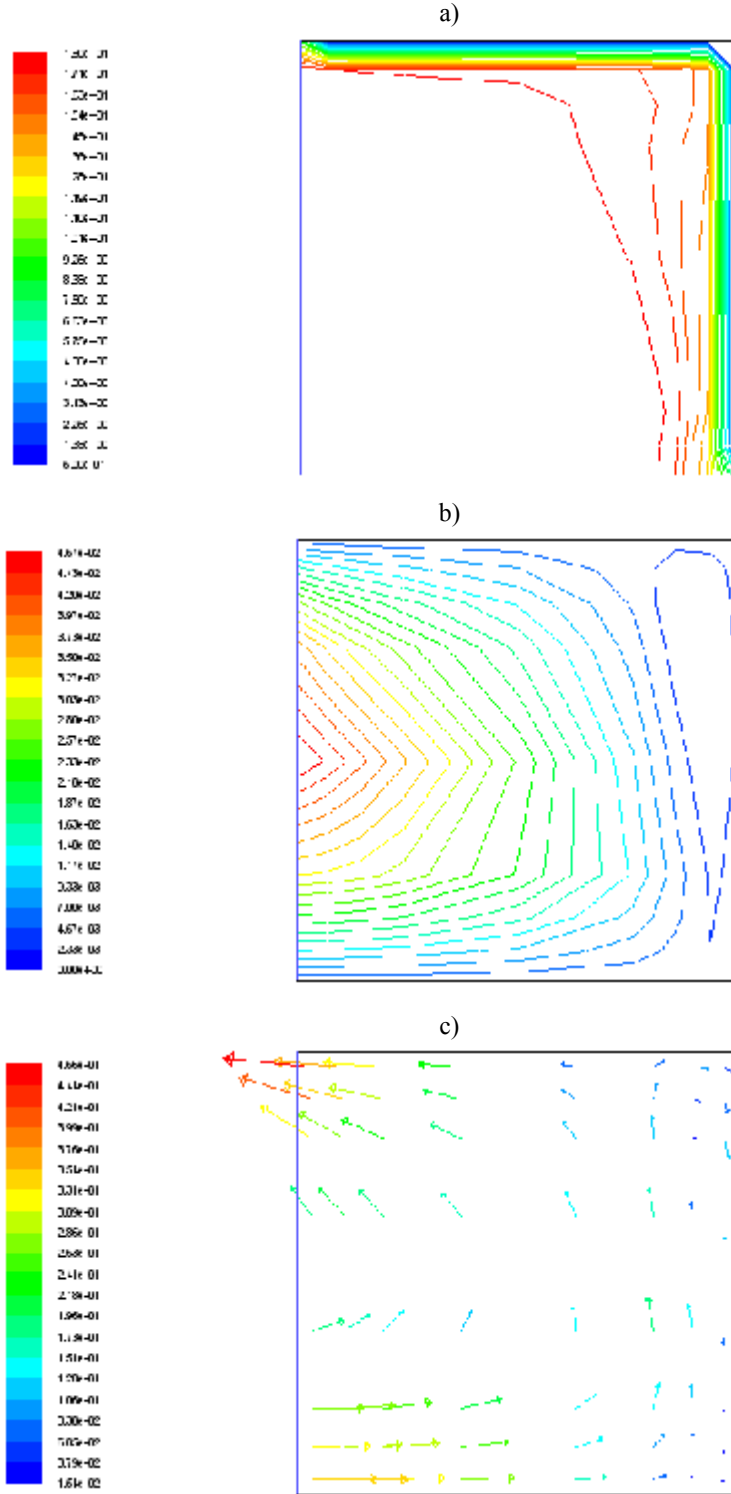
Şekil 3.60. $t=65$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 3.61. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

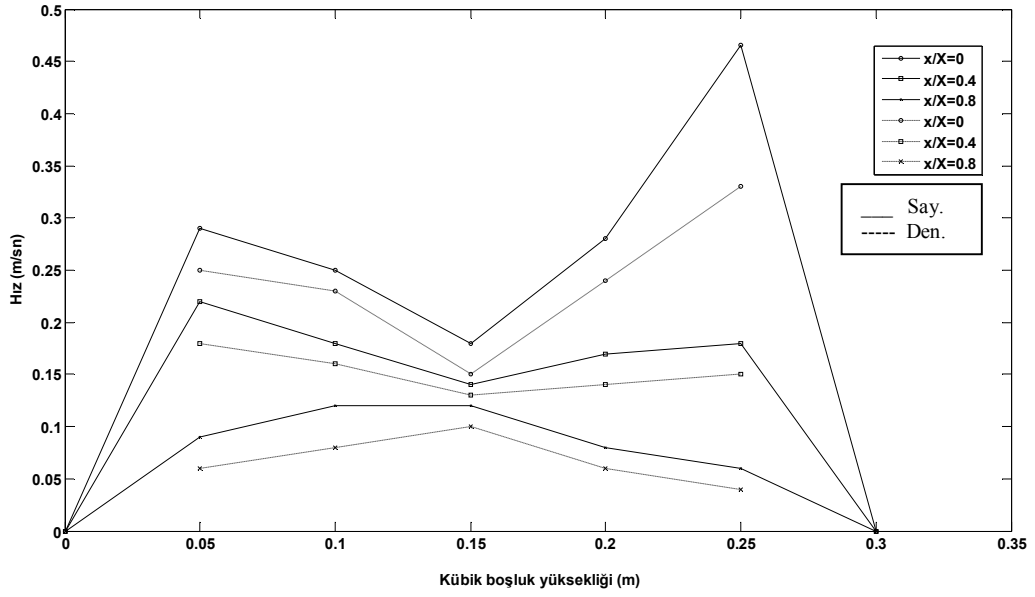
Şekil 3.60.' da 65. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.60. b' de görüldüğü gibi 65. saniyedeki akım fonksiyonu en fazla 0,046 kg/s olmaktadır. Akışkan hızı ise 0,46 m/s ile kübik boşluktan çıkarken gözlenmiştir.

Şekil 3.61.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 65. saniyede $x/X=0$ ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızları $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise 0,15 m' ye kadar akışkan hızının arttığı ve daha sonra düşüş olduğu gözlenmiştir. Ayrıca her üç kesitte de 45. saniyeye göre artışlar gözlenmiştir.



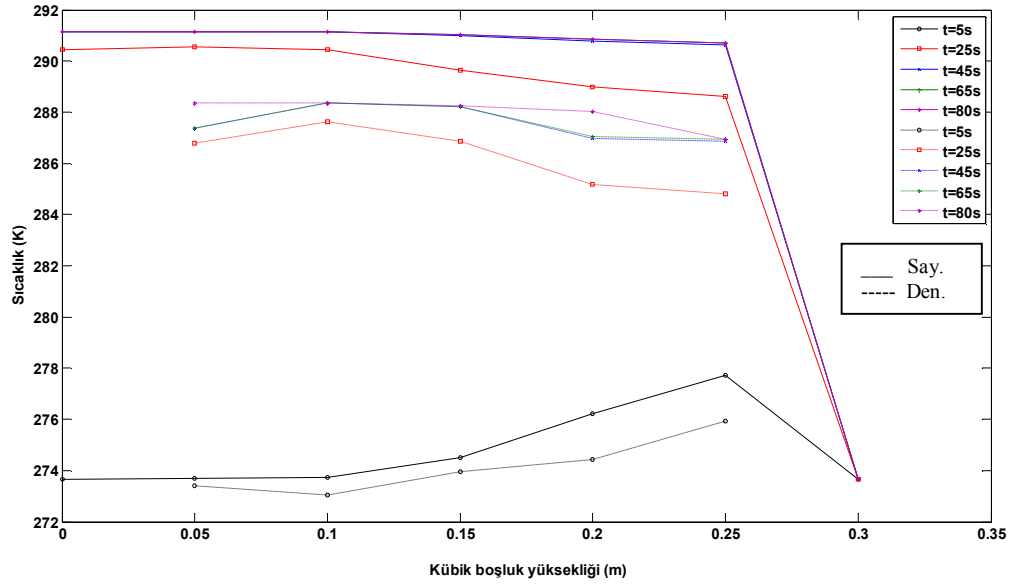
Şekil 3.62. $t=80$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

Şekil 3.60. ve Şekil 3.62. sırasıyla 65. ve 80. saniyelerdeki sıcaklık, akım fonksiyonu ve hız vektörlerini vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu zaman adımlarında sıcaklık akım fonksiyonu değerleri birbirine çok yakındır. $x/X=0$ ' da 0,3 m/s hızla giren hava 0,46 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.



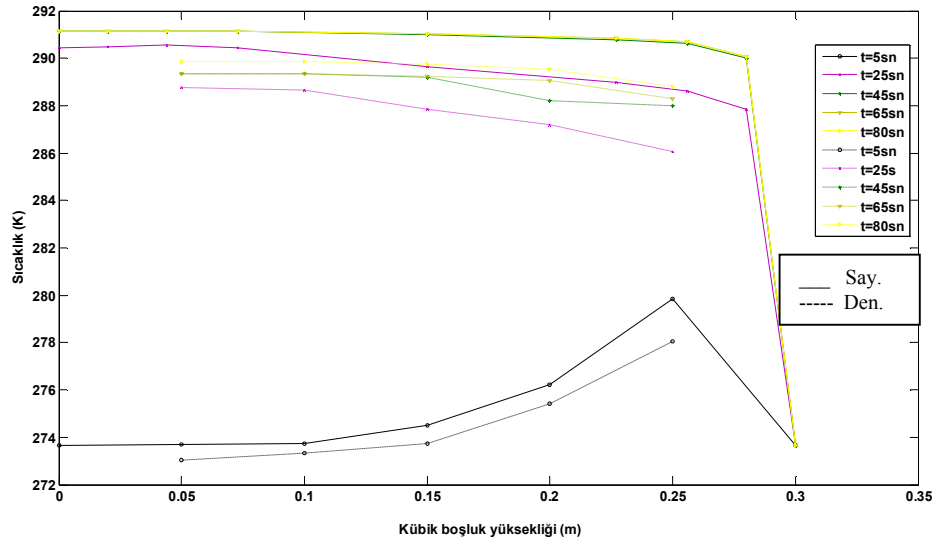
Şekil 3.63. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.64.' de $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kübik boşluğun iç kısmında sıcaklık düşmeye başlamıştır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 3.64.).

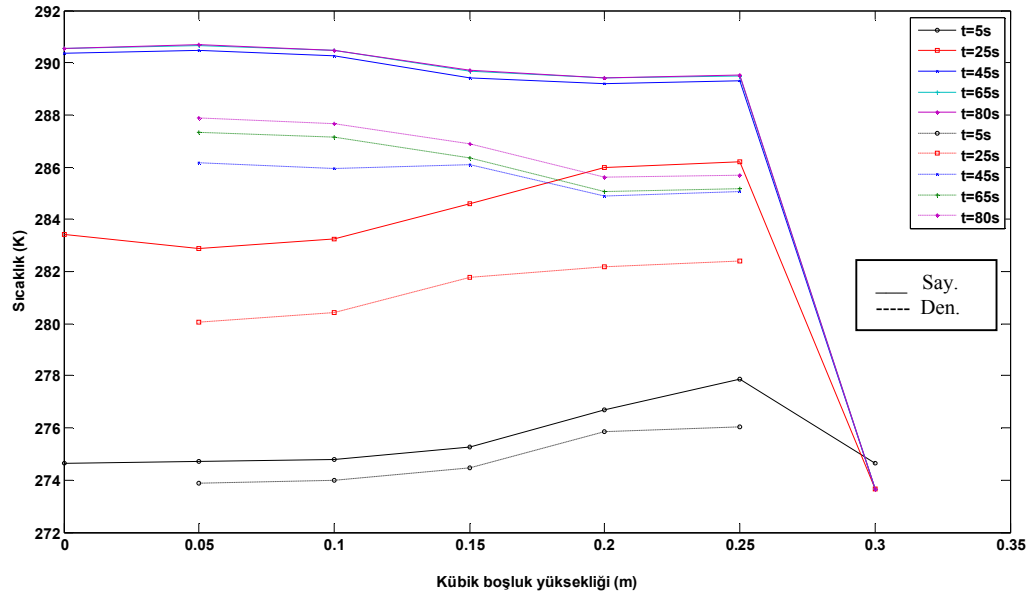


Şekil 3.64. $x/X=0'$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.65.' de $x/X=0,4'$ deki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. Yirmi beşinci saniyeye kadar 0,25 m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Ayrıca 55. saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



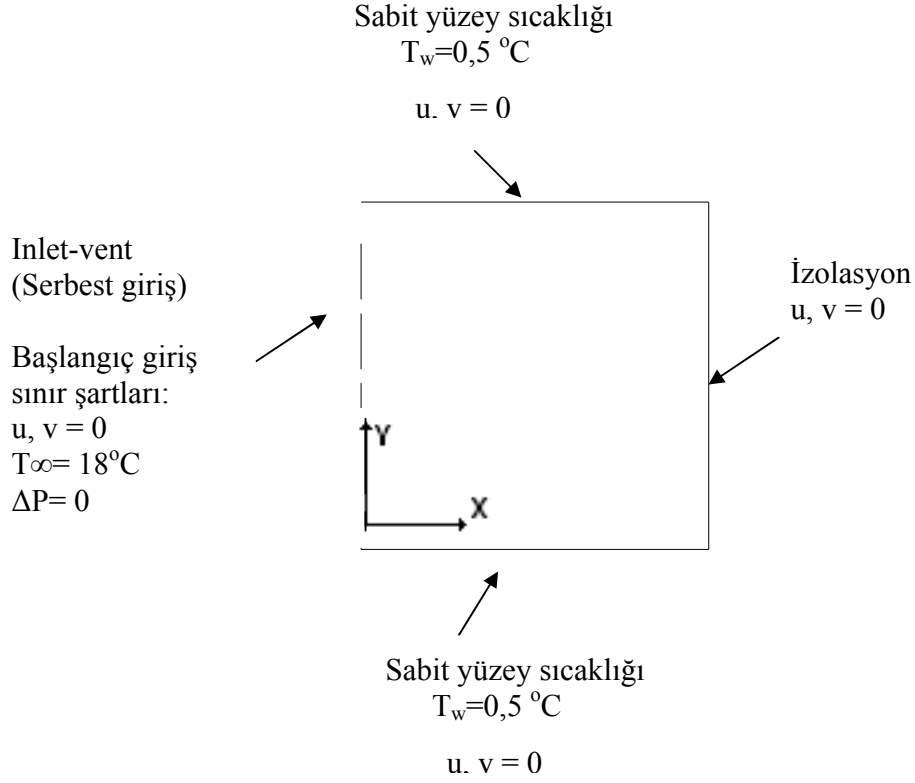
Şekil 3.65. $x/X=0,4'$ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 3.66. $x/X=0,8$ ’ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

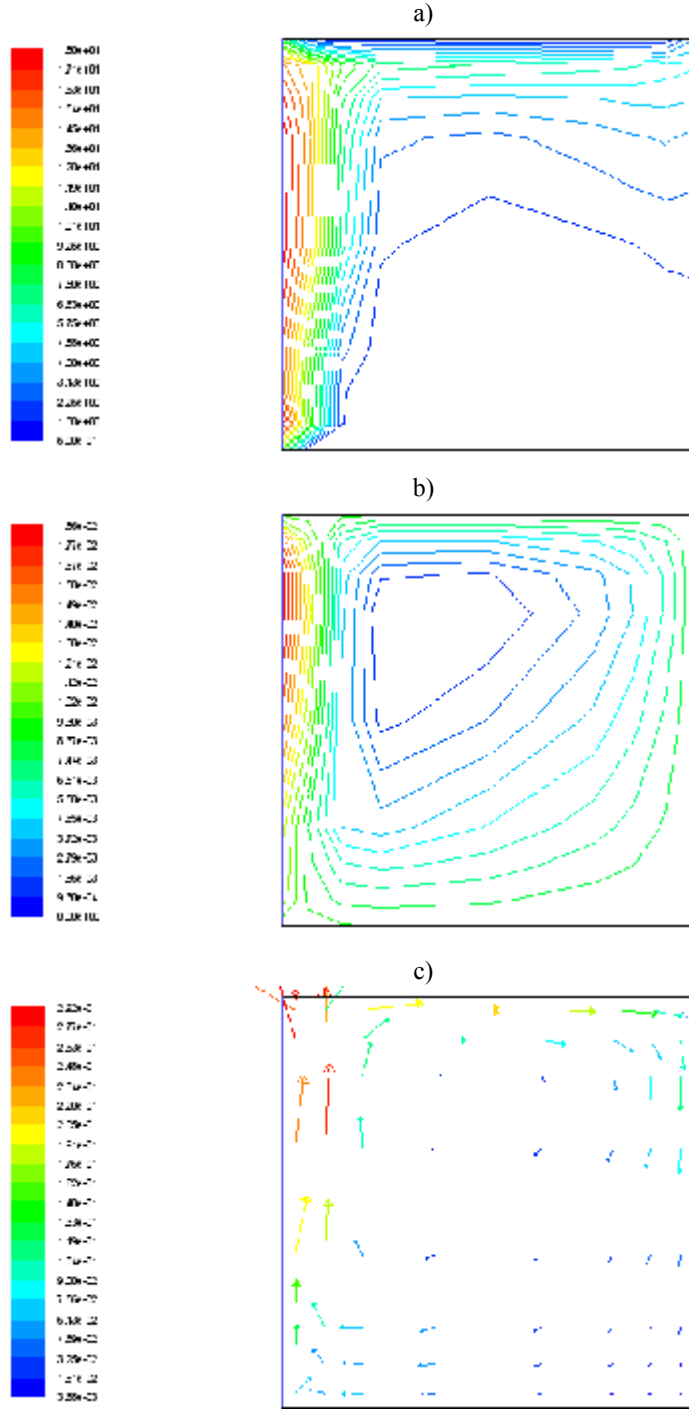
Şekil 3.66.’ da, $x/X=0,8$ kesitindeki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi soğuk yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

3.6. VI. DURUM

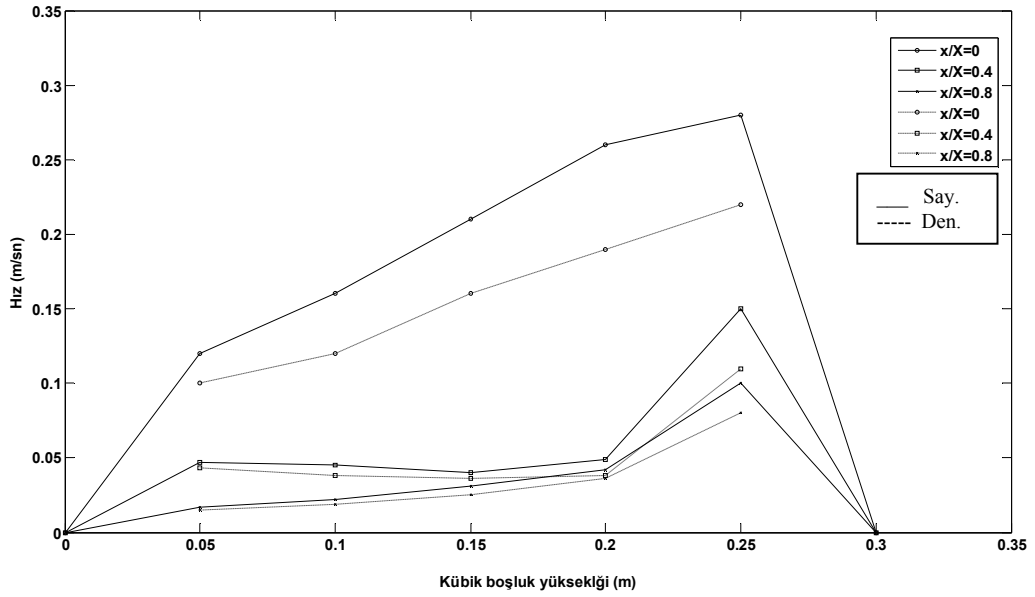


Şekil 3.67. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 3.67.'de gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun alt ve üst yüzeyi için sabit yüzey sıcaklığı ($0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.



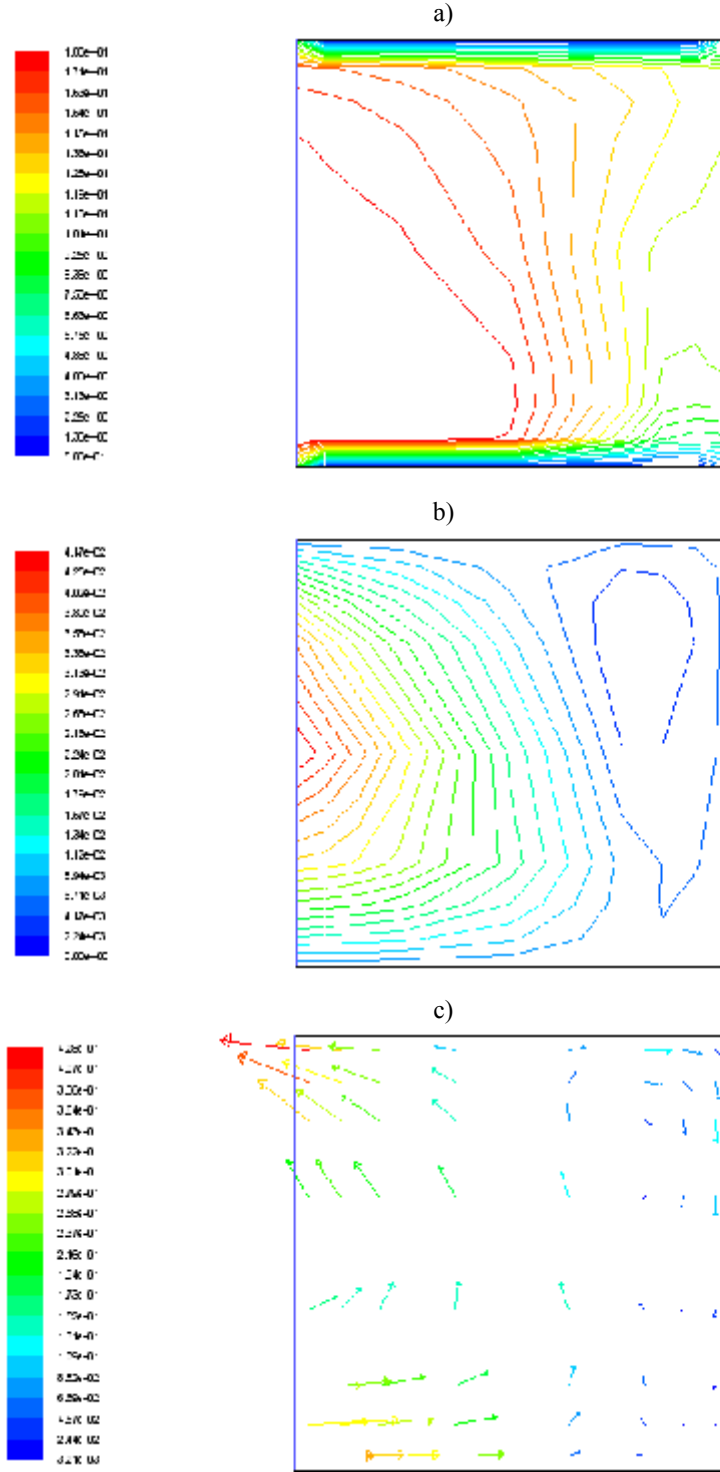
Şekil 3.68. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



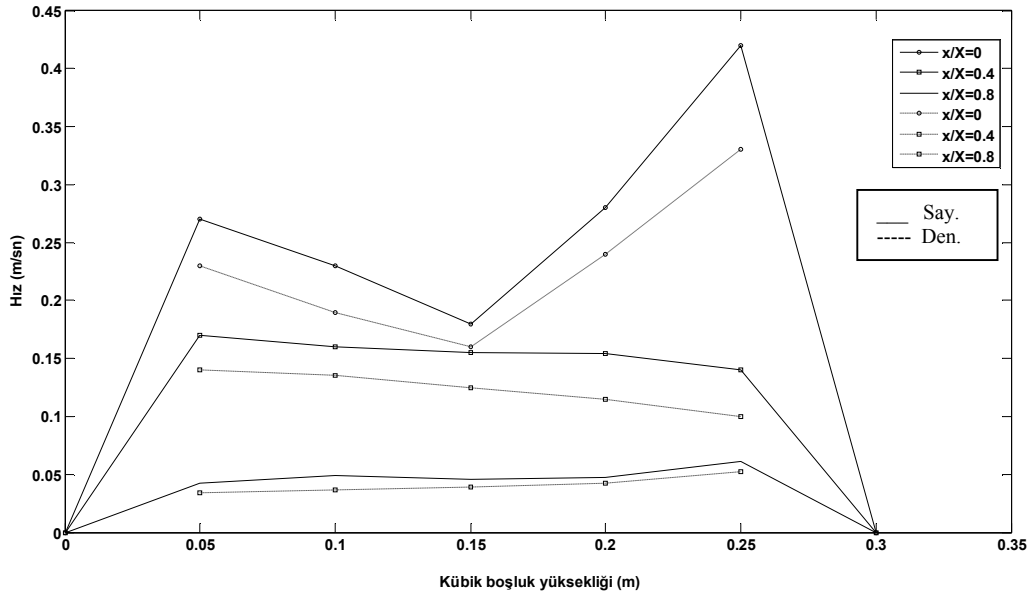
Şekil 3.69. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.68.'de 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.68. b' de görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,018 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,29 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.69.' da $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı 0,25 m' ye kadar artmakta daha sonra düşmektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artmakta ve 0,08 m/s değerine ulaştıktan sonra düşüş göstermektedir.



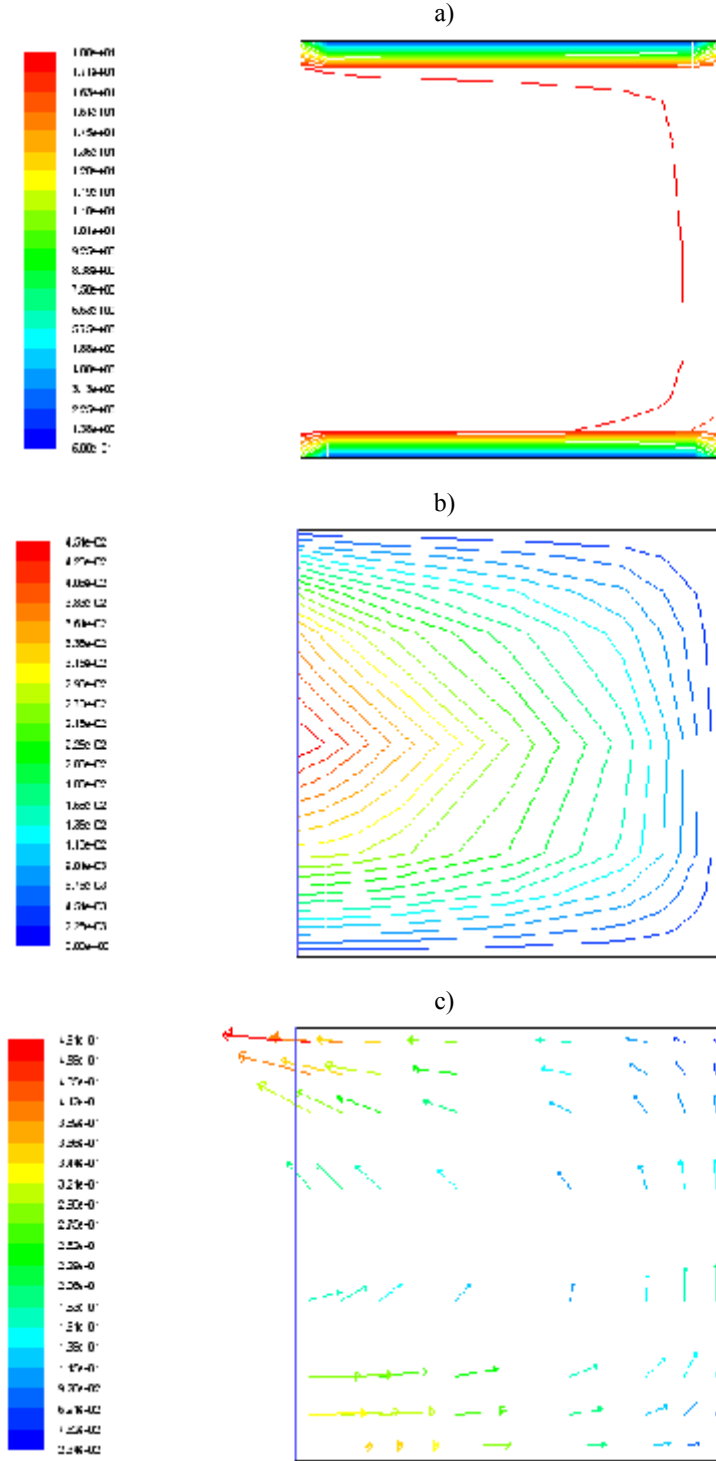
Şekil 3.70. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



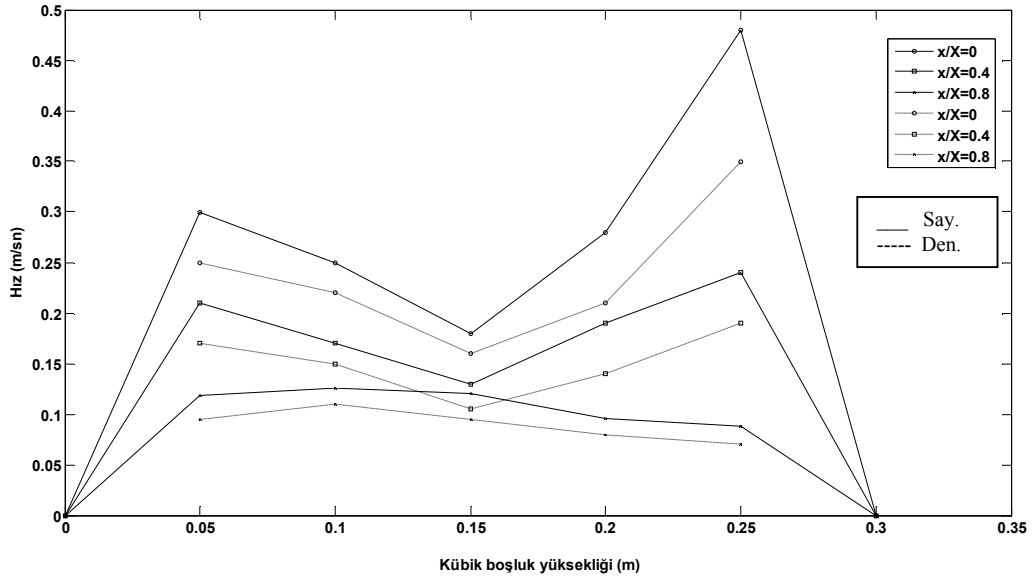
Şekil 3.71. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.70.' de 25. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.70. b' de görüldüğü gibi 25. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,044 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,42 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.71.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 25. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artarak 0,27 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artarak $y=0,25$ m' de 0,42 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artarak 0,17 m/s değerine ulaşmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,25 m' ye kadar artarak 0,077 m/s' ye ulaşmakta daha sonra düşüş göstermektedir.



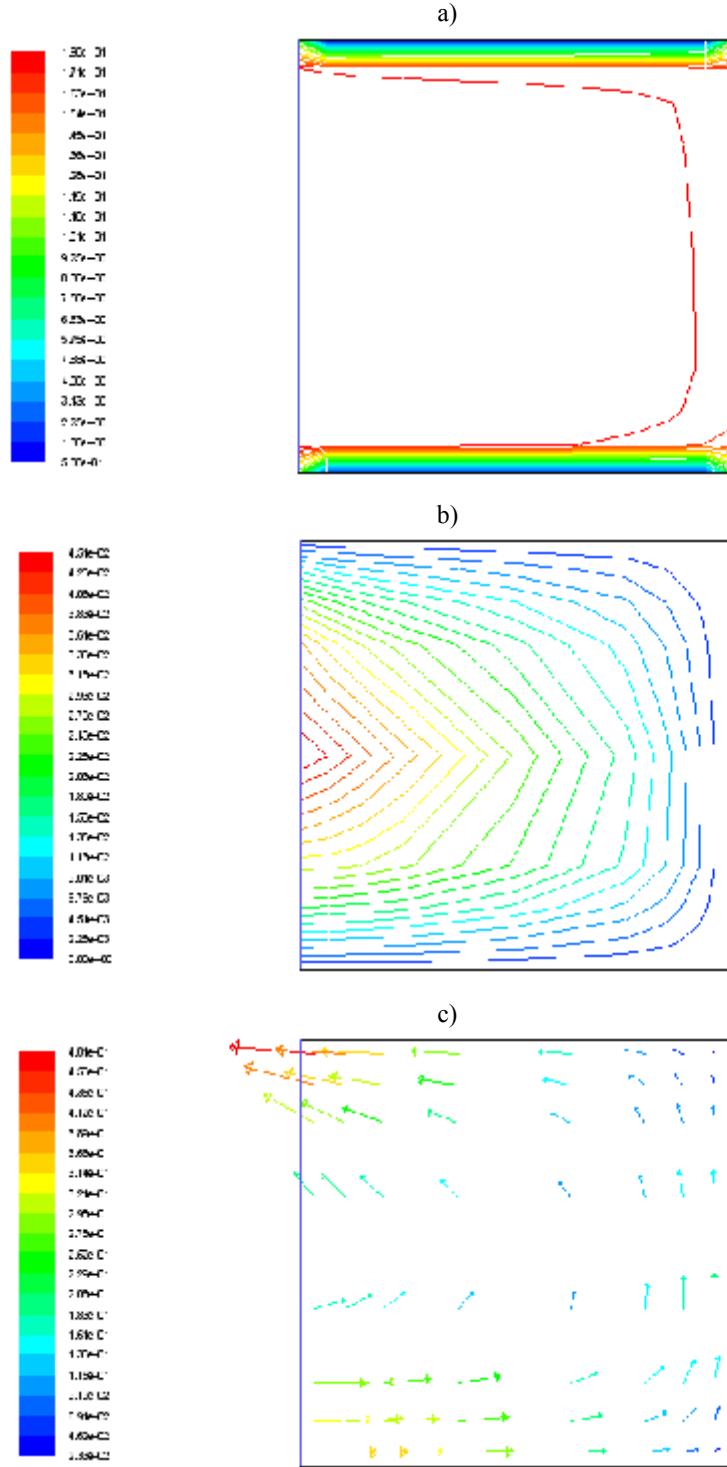
Şekil 3.72. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



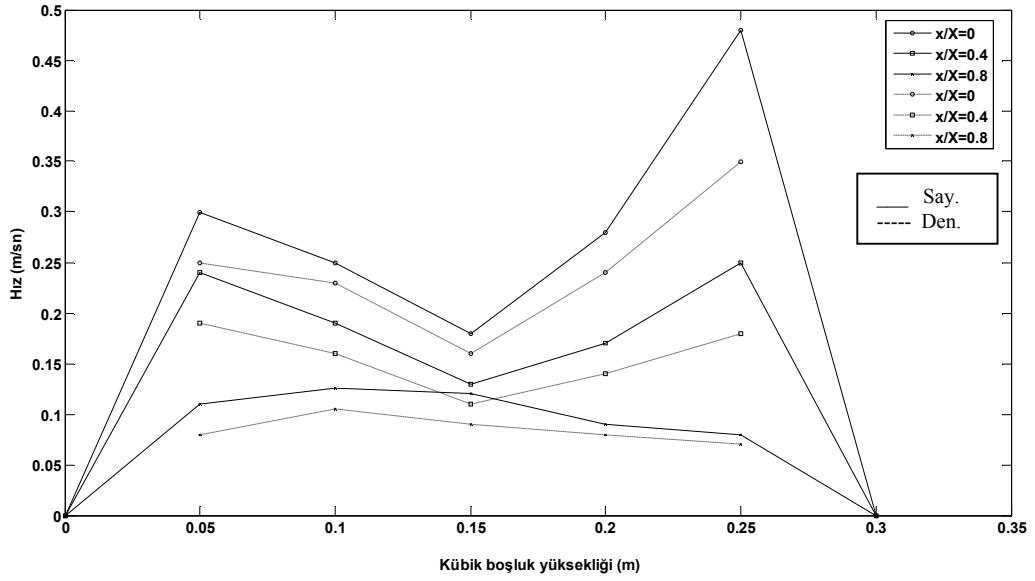
Şekil 3.73. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.72.' de 45. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.72. b' de görüldüğü gibi 45. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,48 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.73.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artarak 0,3 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artarak $y=0,25$ m' de 0,48 m/s' ye ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m ye kadar akışkan hızı artarak 0,25 m/s' ye ulaşmaktadır. $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte daha sonra artarak 0,25 m' de 0,24 m/s değerine kadar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızının 0,15 m' ye kadar arttığı daha sonra düştüğü gözlenmiştir.



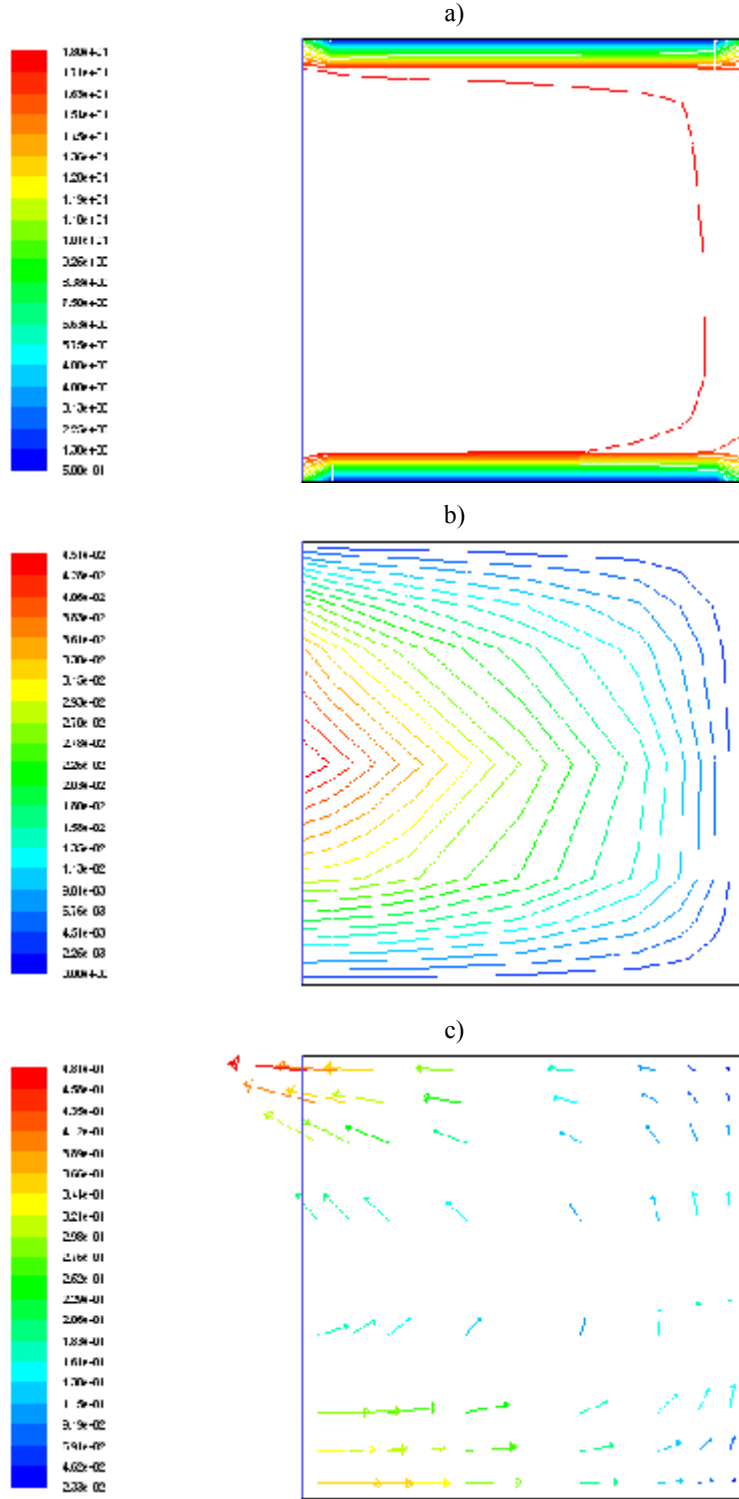
Şekil 3.74. $t=65.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



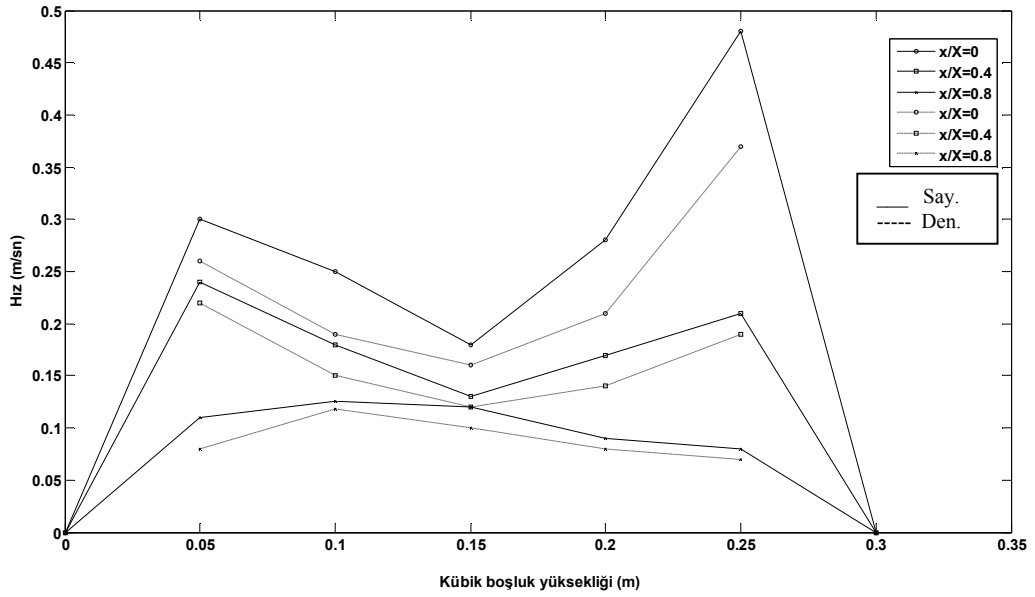
Şekil 3.75. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.74.' de 65. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.74. b' de görüldüğü gibi 65. saniyedeki akım fonksiyonu en fazla 0,045 kg/s olmaktadır. Akışkan hızı ise 0,48 m/s ile kübik boşluktan çıkarken gözlenmiştir.

Şekil 3.75.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 65. saniyede $x/X=0$ ve $x/X=0,4$ kesitinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızları, $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,8$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artarak 0,145 m/s' ye ulaşmaktadır.



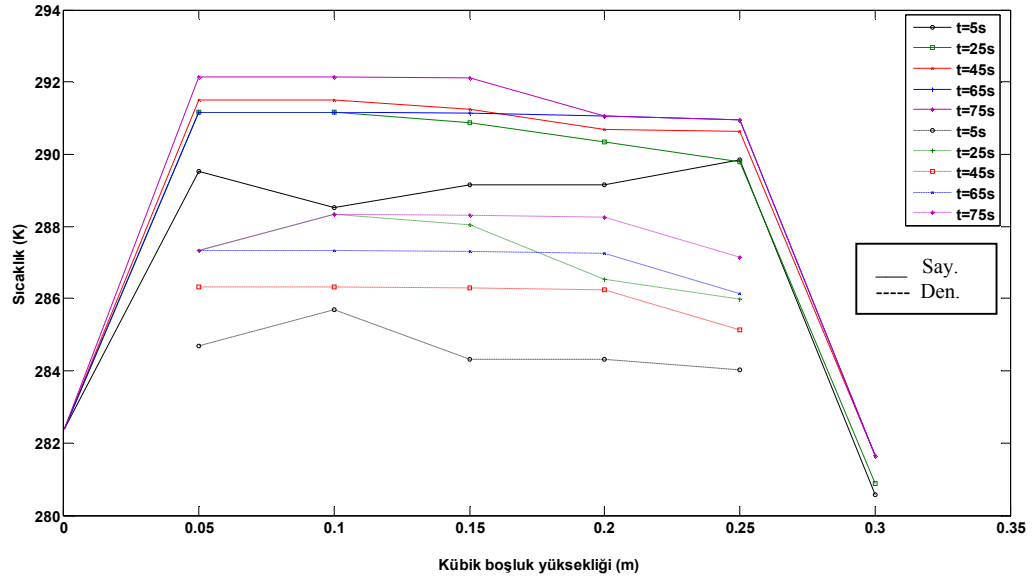
Şekil 3.76. $t=75$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 3.77. $t=75$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.74. ve Şekil 3.76. sırasıyla 65. ve 75. saniyelerdeki sıcaklık, akım fonksiyonu ve hız vektörlerini vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu zaman adımlarında sıcaklık akım fonksiyonu değerleri birbirine çok yakındır. $x/X=0$ da 0,03 m/s hızla giren hava 0,48 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.

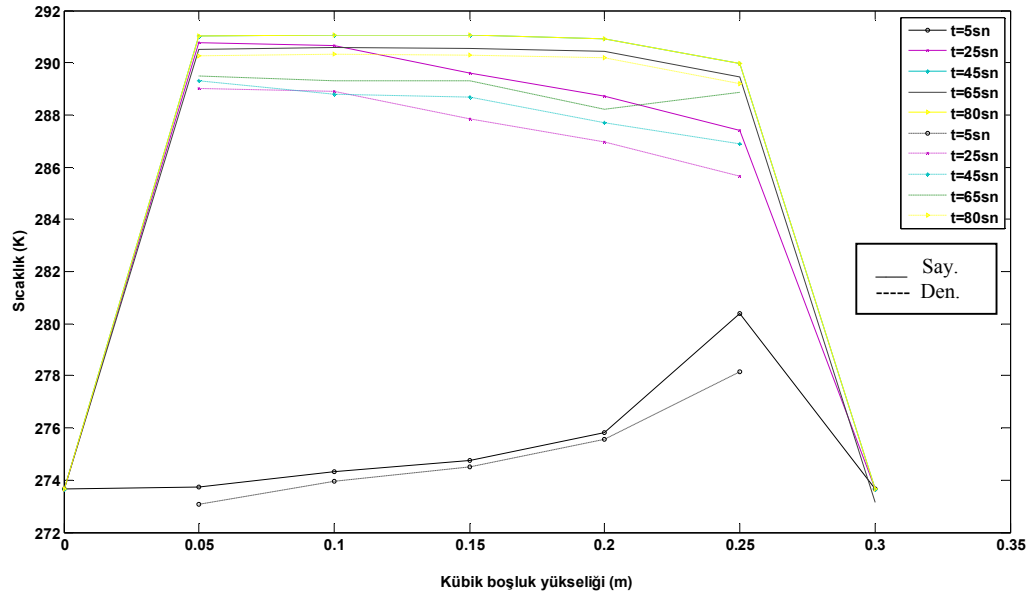
Şekil 3.78.'de $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kübik boşluğun iç kısmında sıcaklık düşmeye başlamıştır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 3.78.).



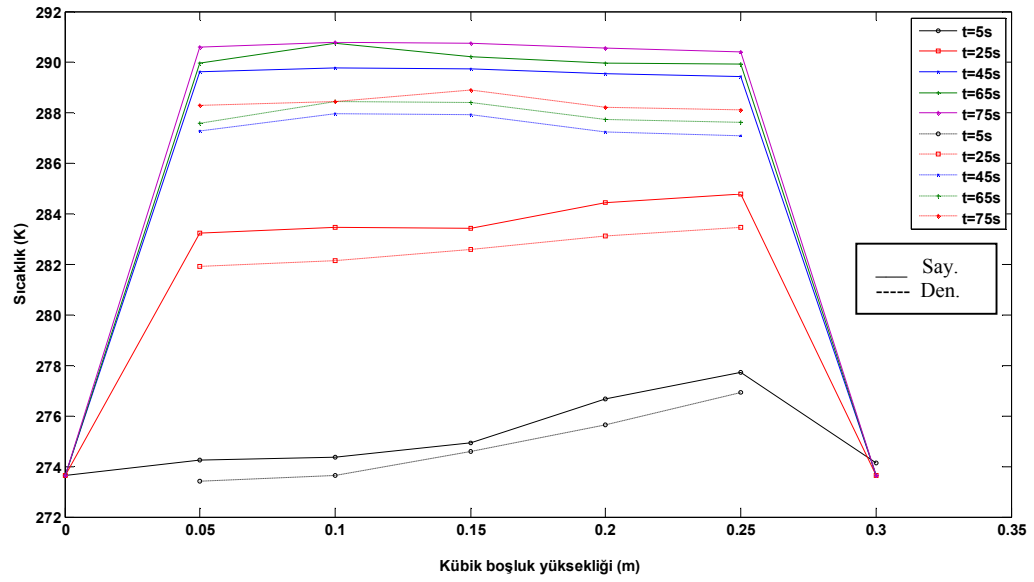
Şekil 3.78. $x/X=0'$ da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.79.' da $x/X=0,4'$ deki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. Yirmi beşinci saniyeden sonra 0,05 m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Ayrıca 55. saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.

Şekil 3.80.' de, $x/X=0,8'$ de ki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi soğuk yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

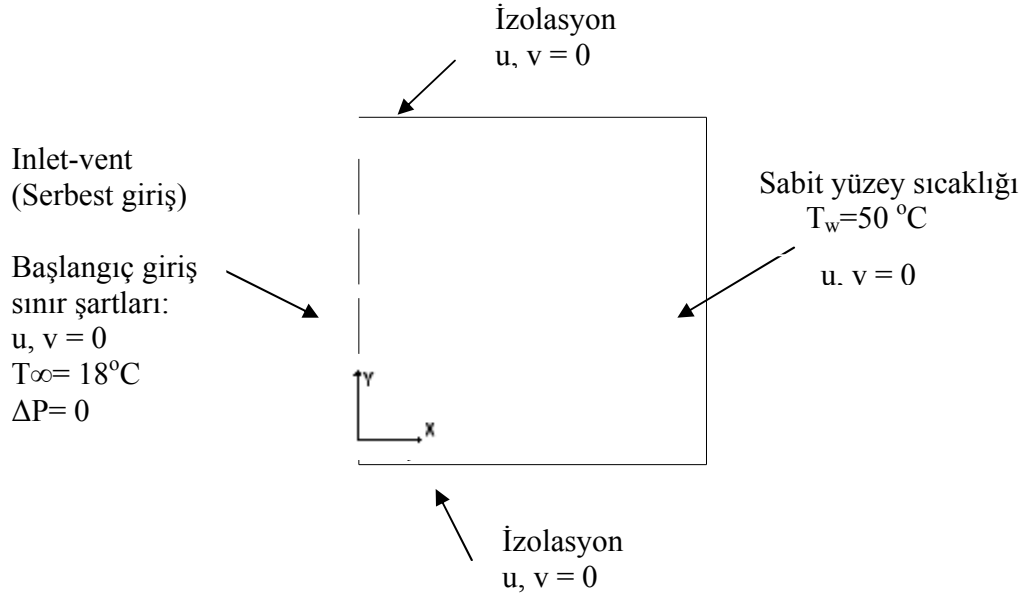


Şekil 3.79. $x/X=0,4$ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



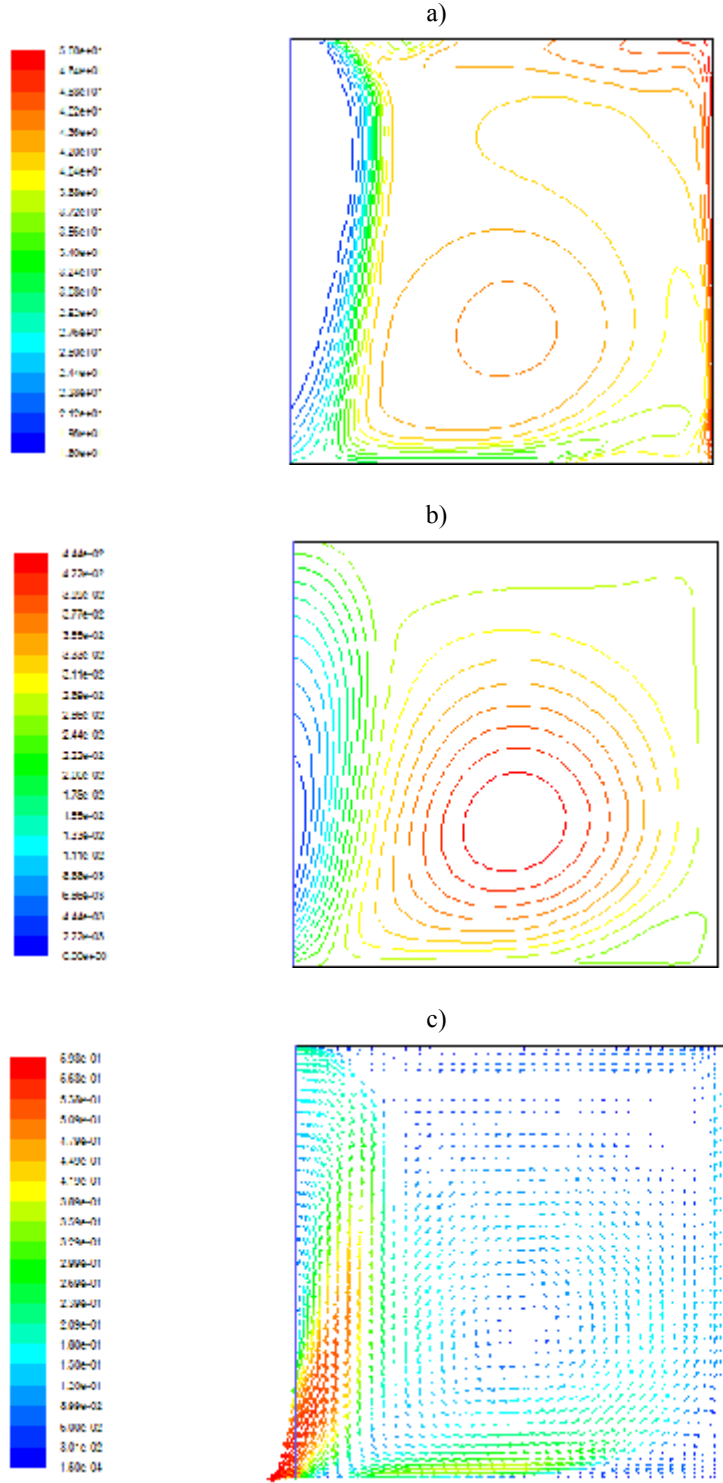
Şekil 3.80. $x/X=0,8$ de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

3.7. VII. DURUM

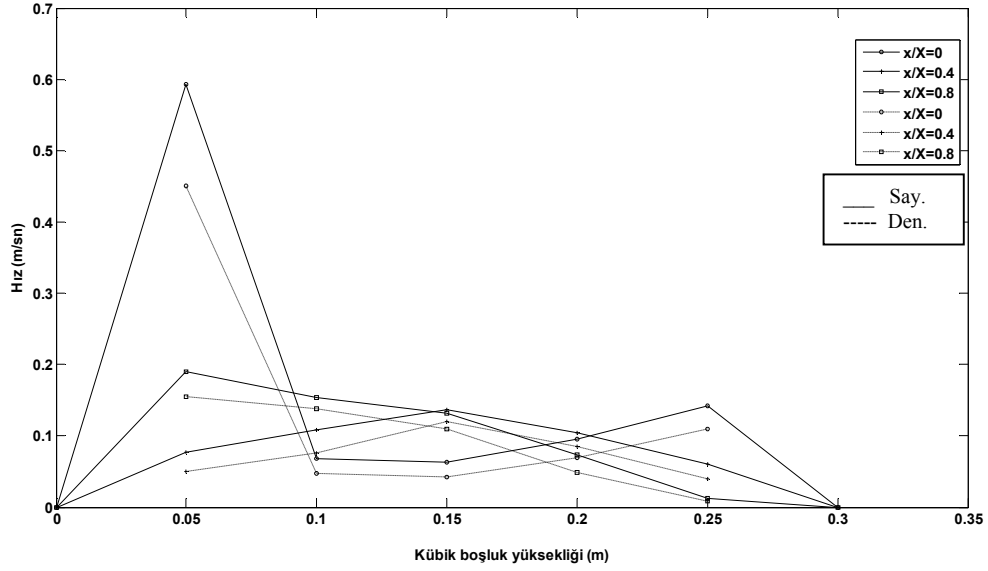


Şekil 3.81. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 3.81.' de gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında (18°C) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun giriş yüzeyine paralel olan yüzeyi için sabit sıcaklık (50°C) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.



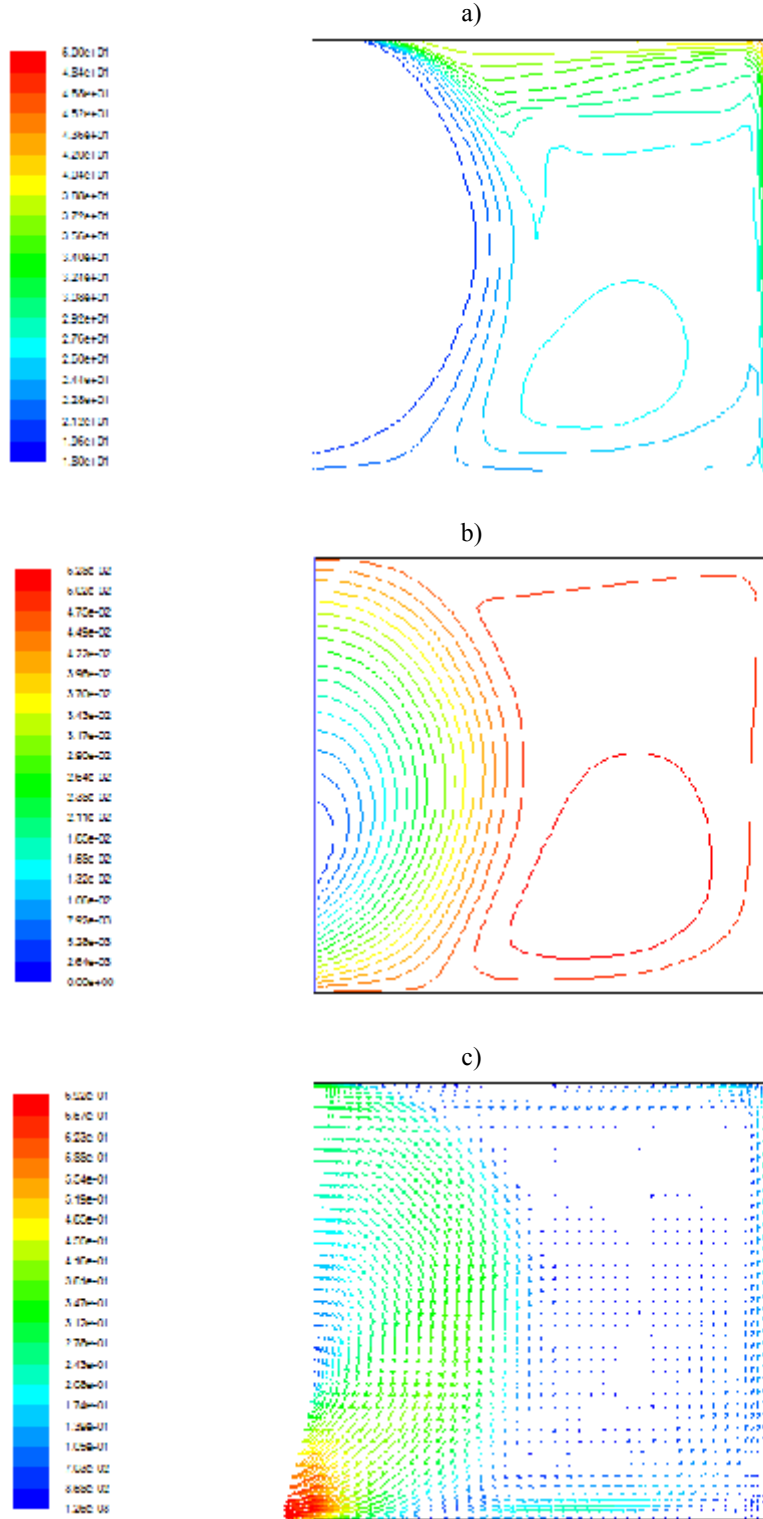
Şekil 3.82. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



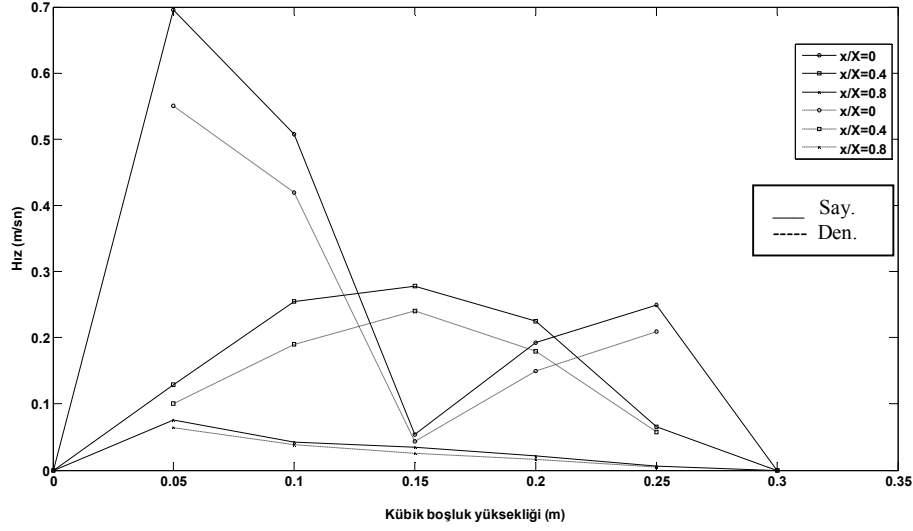
Şekil 3.83. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.82.' de 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.82. b' de görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,59 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.83.'de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kesitinde (kübik boşluk girişinde) sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı, $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,1$ m' ye kadar düşmekte ve daha sonra 0,25 m' ye kadar artmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,15 m' ye kadar artmakta ve yaklaşık 0,14 m/s değerine ulaştıktan sonra düşüş göstermektedir.



Şekil 3.84. $t=45.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

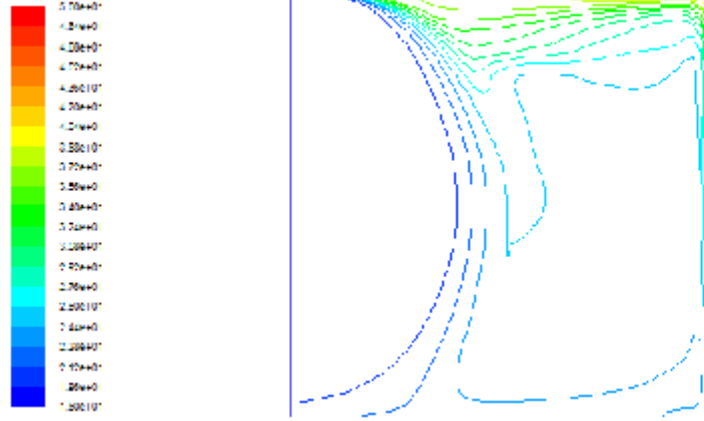


Şekil 3.85. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

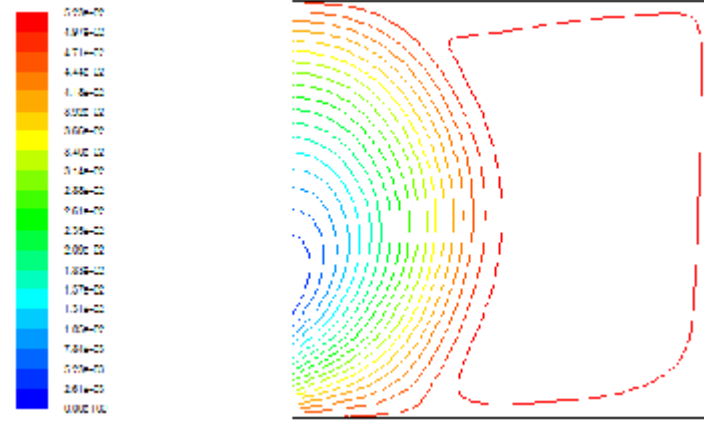
Şekil 3.84.' de 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.82. b' de görüldüğü gibi 45. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,05 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,69 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.85.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ kesitinde (kübik boşluk girişinde) sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı, $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,15$ m' ye kadar düşmekte ve daha sonra 0,25 m' ye kadar artmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,15 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,05 m' ye kadar artmakta ve yaklaşık 0,08 m/s değerine ulaşıktan sonra düşüş göstermektedir.

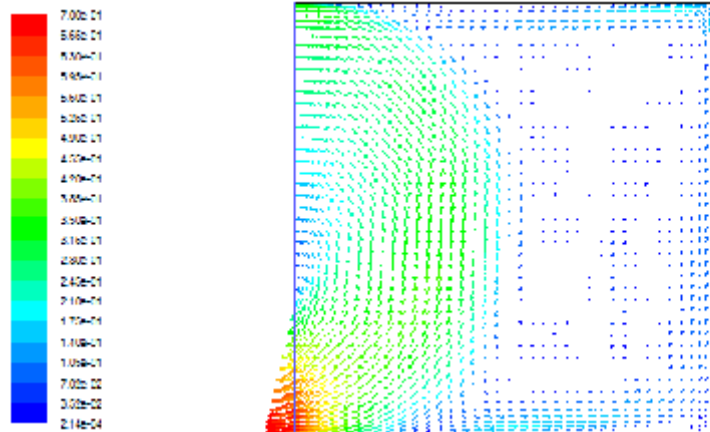
a)



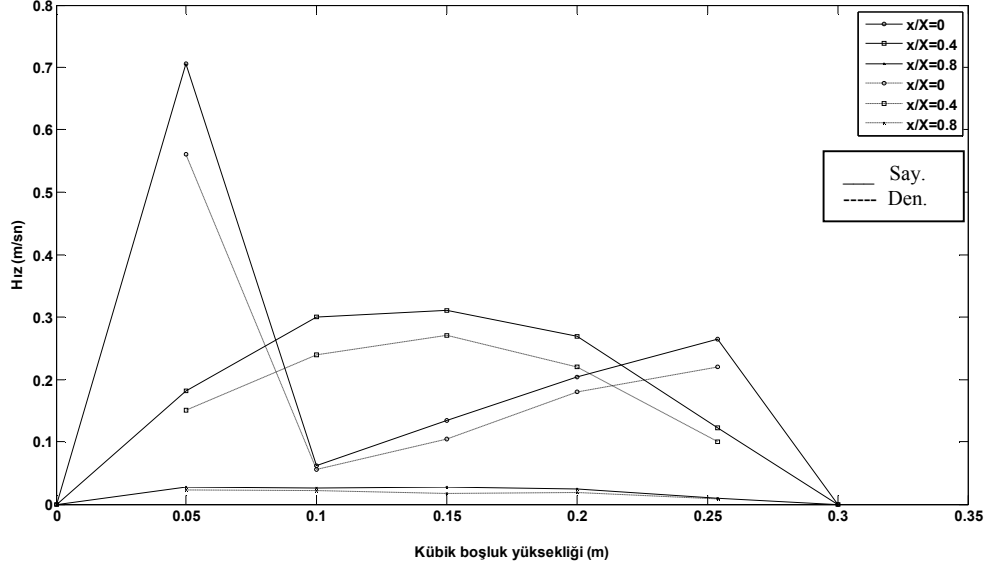
b)



c)



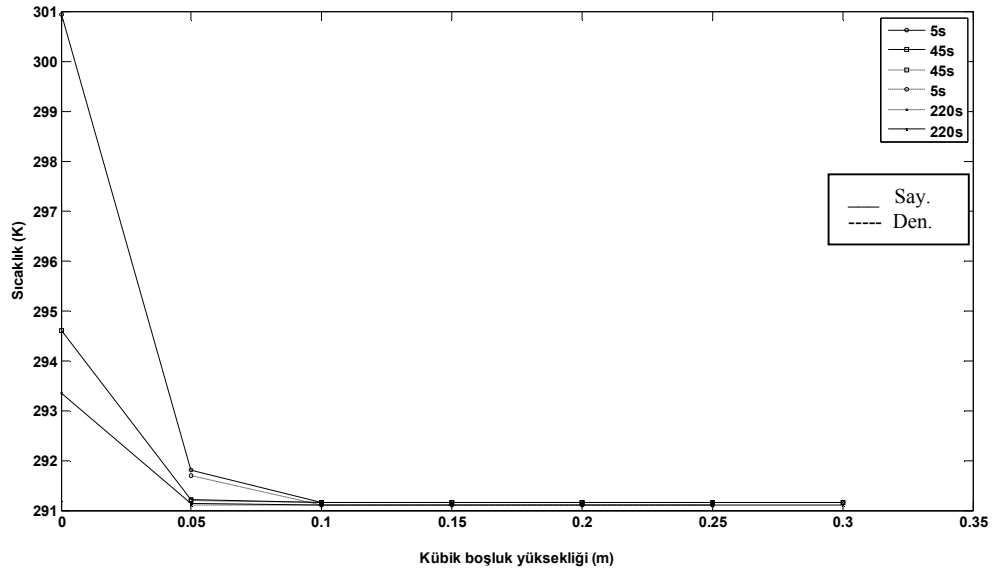
Şekil 3.86. $t=220$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 3.87. $t=220$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

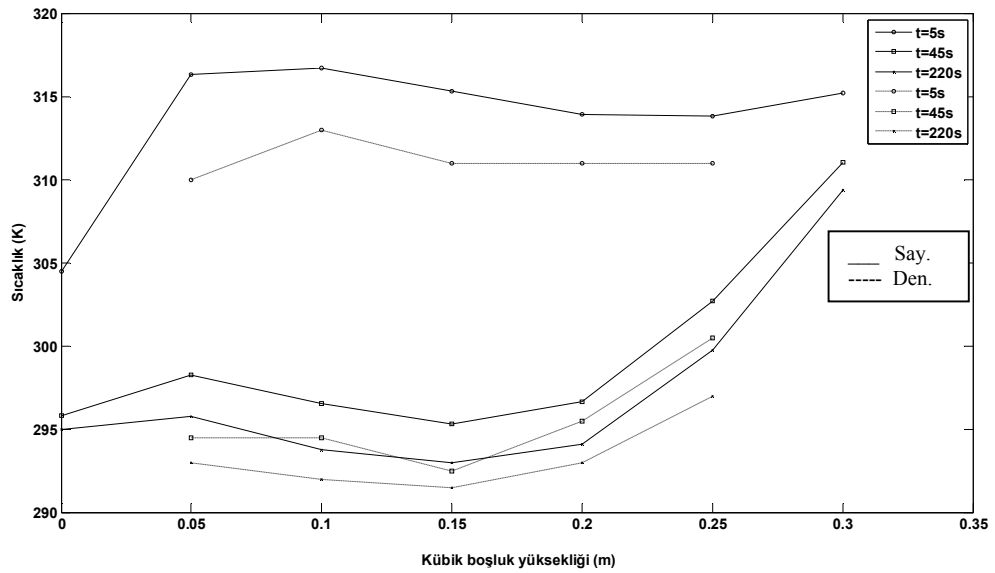
Şekil 3.86.' de 220. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 3.86. b' de görüldüğü gibi 220. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,05 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,7 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.87.' de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. $x/X=0$ kesitinde 0,3 m/s hızla giren hava 0,7 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.



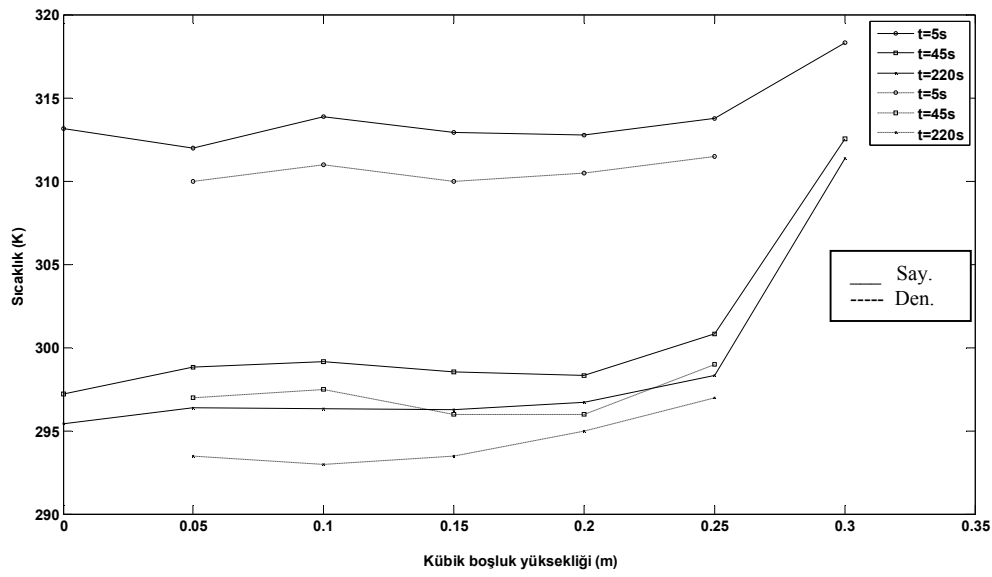
Şekil 3.88. $x/X=0$ 'da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.88.'de $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 3.88.).



Şekil 3.89. $x/X=0,4$ 'de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.89.' da $x/X=0,4$ 'deki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. 0,2 m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0,4$ ' deki sıcaklık yaklaşık 296 °K ile 311 °K arasında değişmektedir.



Şekil 3.90. $x/X=0,8$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 3.90.' da, $x/X=0,8$ kesitindeki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi sıcak yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

Sabit sıcaklıkta tutulan yüzeyle hava arasındaki ısı geçişinde yerel Nusselt sayıları hesaplanarak ortalama Nusselt sayısı elde edilmiştir [50]. Bilindiği gibi Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanına eşittir [47,51].

$$Nu_L = \frac{\partial \theta}{\partial \bar{X}} \Big|_{x=0} \quad (3.1)$$

Nusselt sayısını belirleyebilmek için deneysel ve sayısal çözümden elde edilen sıcaklıklar aşağıda verilen şekilde boyutsuzlaştırılmıştır.

$$\theta = \frac{T_{(xt)} - T_{\infty}}{T_w - T_{\infty}} \quad (3.2)$$

Burada $T_{(xt)}$ yerel sıcaklık değeri, T_{∞} ortam sıcaklığı ve T_w yüzey sıcaklığıdır. Nusselt sayısının boyutsuz olduğu hatırlanırsa, mesafelerin de boyutsuzlaştırılması gerekir.

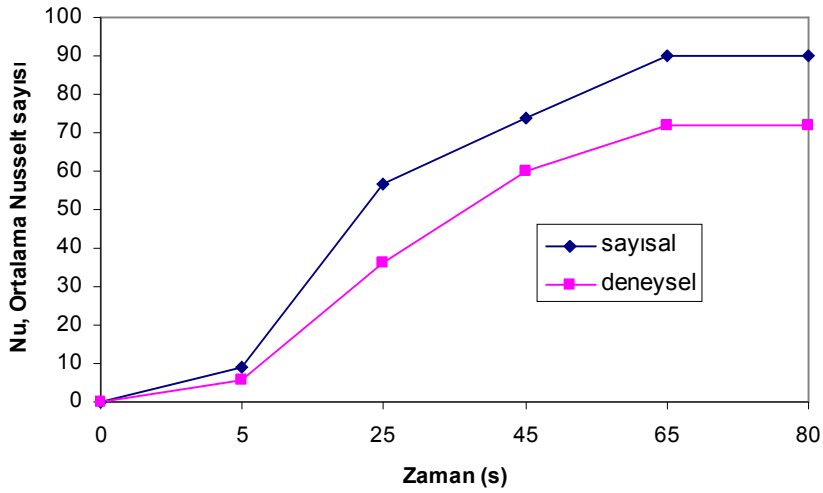
x ve y koordinatları

$$\bar{X} = \frac{x}{L} \quad \text{ve} \quad \bar{Y} = \frac{y}{L}$$

$\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ olarak boyutsuzlaştırılmıştır ve ortalama Nusselt sayısı

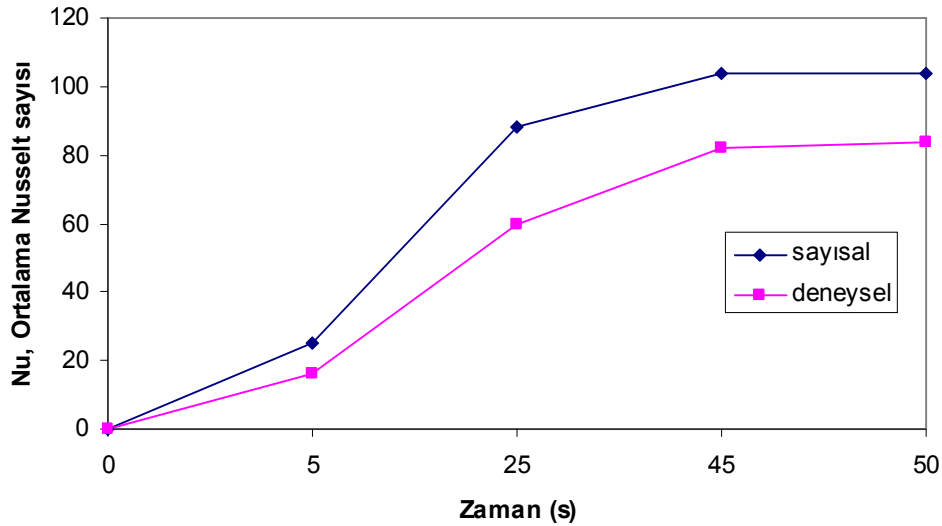
$$\overline{Nu} = \int_0^1 Nu_L d\bar{X} \quad (3.3)$$

bağıntısından hesaplanır.



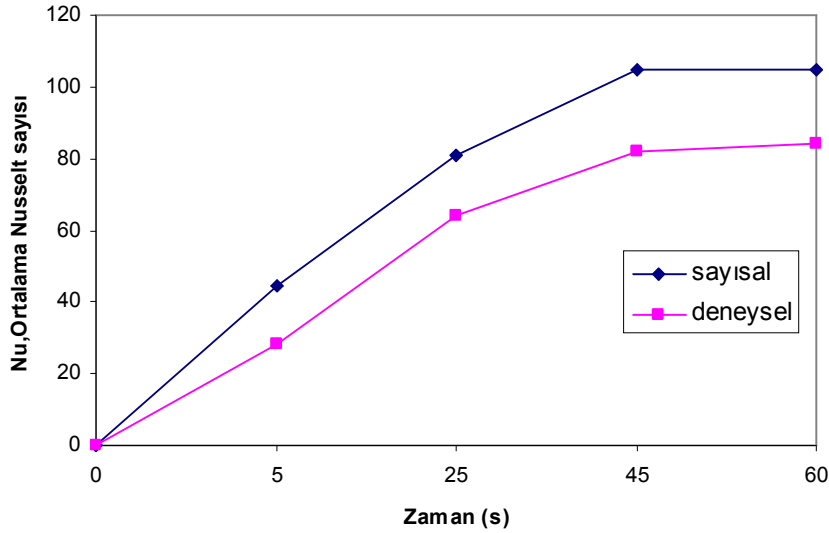
Şekil 3.91. I. Durum için soğutulan yüzeydeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

Beşinci saniyede sayısal olarak elde edilen Nusselt sayısı 8,92 dir (Şekil 3.91.). Kırk beşinci saniyeye kadar çok hızlı bir şekilde Nusselt sayısı artmakta ve yaklaşık 74,5 değerine ulaşmaktadır. Daha sonra bu hızlı artış yavaşlamakla birlikte Nusselt sayısı zamanla artarak 89,9 değerine erişmekte ve bundan sonra değişim çok az olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen Nusselt sayısı ise 5. saniyede yaklaşık 5,6 değerinde başlamakta ve 45. saniyeye kadar sayısal Nusselt sayısına paralel olarak artarak 45. saniyede yaklaşık 59,86 değerine çıkmaktadır. Deneysel Nusselt sayısı, sayısal Nusselt sayısına benzer bir değişim göstermektedir. Altmış beşinci saniyeye kadar sürekli olarak artmakta ve yaklaşık 72,26 değerine ulaşmaktadır. Bu zaman adımından sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları arasında görülen farklılıklar değişik sebeplerden kaynaklanabilir. Sıcaklık ölçümü için kübik boşluk içerisine yerleştirilen sistem azda olsa hava hareketlerini engelleyebilir ve Nusselt sayısı düşebilir. Bununla birlikte sayısal çözüm için olay iki boyutlu alınırken gerçekte üç boyutlu olması sonuçları etkileyebilir. Ayrıca ışıınım nedeniyle sıcaklık ölçümünde yapılabilecek hatalar bu farklılığa neden olabilir. Ek-2.' de Nusselt sayısı için belirsizlik analizi yapılmıştır.



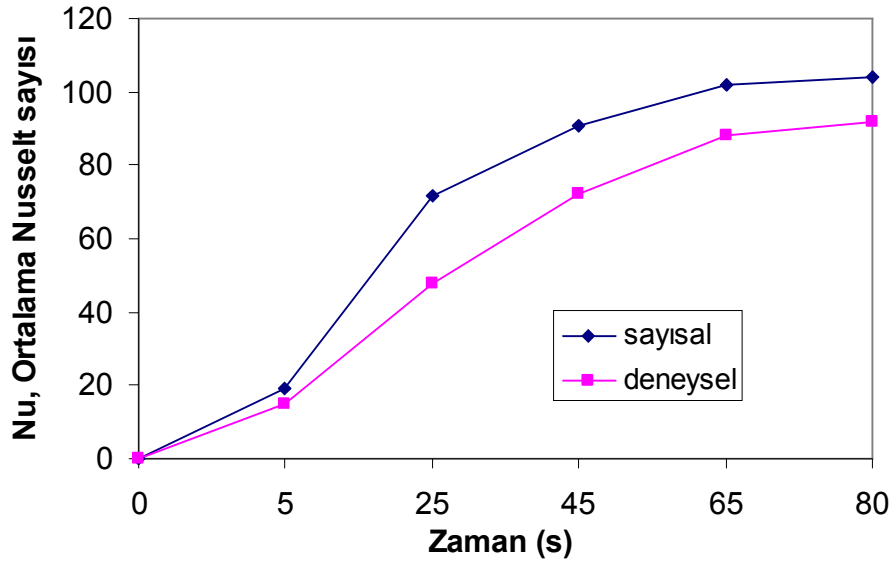
Şekil 3.92. II. Durum için soğutulan yüzeydeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

Beşinci saniyede sayısal olarak elde edilen Nusselt sayısı 24,96 dır (Şekil 3.92.). Yirmi beşinci saniyeye kadar çok hızlı bir şekilde Nusselt sayısı artmakta ve yaklaşık 88,1 değerine ulaşmaktadır. Daha sonra bu hızlı artış yavaşlamakla birlikte Nusselt sayısı zamanla artarak 104,2 değerine erişmekte ve bundan sonra değişim çok az olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen Nusselt sayısı ise 5. saniyede yaklaşık 16,14 değerinde başlamakta ve 25. saniyeye kadar sayısal Nusselt sayısına paralel olarak artarak 25. saniyede yaklaşık 60,22 değerine çıkmaktadır. Deneysel Nusselt sayısı, sayısal Nusselt sayısına benzer bir değişim göstermektedir. Kırk beşinci saniyeye kadar sürekli olarak artmakta ve yaklaşık 82,34 değerine ulaşmaktadır. Bu zaman adımımdan sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları arasında görülen farklılıklar değişik sebeplerden kaynaklanabilir. Sıcaklık ölçümü için kübik boşluk içerisine yerleştirilen sistem azda olsa hava hareketlerini engelleyebilir ve Nusselt sayısı düşebilir. Bununla birlikte sayısal çözüm için olay iki boyutlu alınırken gerçekte üç boyutlu olması sonuçları etkileyebilir. Ayrıca ışıınım nedeniyle sıcaklık ölçümünde yapılabilecek hatalar bu farklılığa neden olabilir. Ek-2.' de Nusselt sayısı için belirsizlik analizi yapılmıştır.



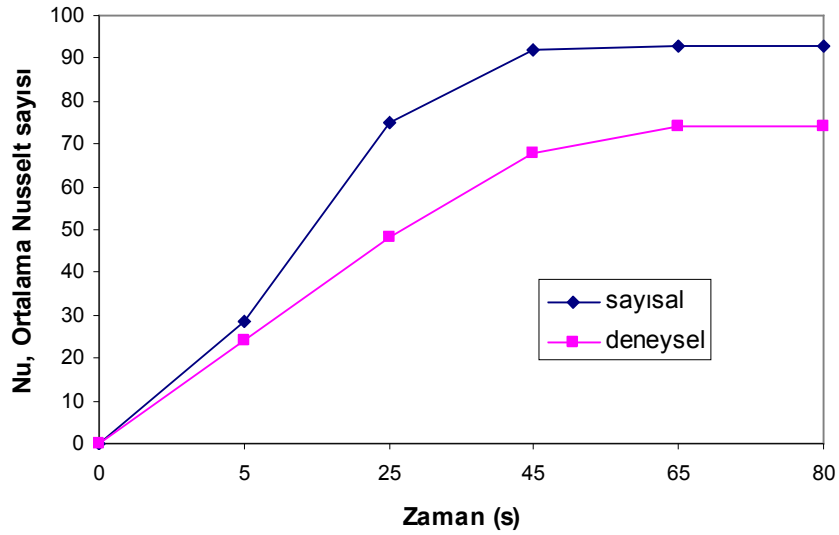
Şekil 3.93. III. Durum için soğutulan yüzeydeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

Beşinci saniyede sayısal olarak elde edilen Nusselt sayısı 44,3 dür (Şekil 3.93.). Kırk beşinci saniyeye kadar çok hızlı bir şekilde Nusselt sayısı artmakta ve yaklaşık 105,4 değerine ulaşmaktadır. Bu zaman adımından sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel olarak elde edilen Nusselt sayısı ise 5. saniyede yaklaşık 28,16 değerinde başlamakta ve 45. saniyeye kadar sayısal Nusselt sayısına paralel olarak artarak 45. saniyede yaklaşık 82 değerine çıkmaktadır. Bu zaman adımından sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları arasında görülen farklılıklar değişik sebeplerden kaynaklanabilir. Sıcaklık ölçümü için kübik boşluk içerisine yerleştirilen sistem azda olsa hava hareketlerini engelleyebilir ve Nusselt sayısı düşebilir. Bununla birlikte sayısal çözüm için olay iki boyutlu alınırken gerçekte üç boyutlu olması sonuçları etkileyebilir. Ayrıca ışıınım nedeniyle sıcaklık ölçümünde yapılabilecek hatalar bu farklılığa neden olabilir. Ek-2.' de Nusselt sayısı için belirsizlik analizi yapılmıştır.



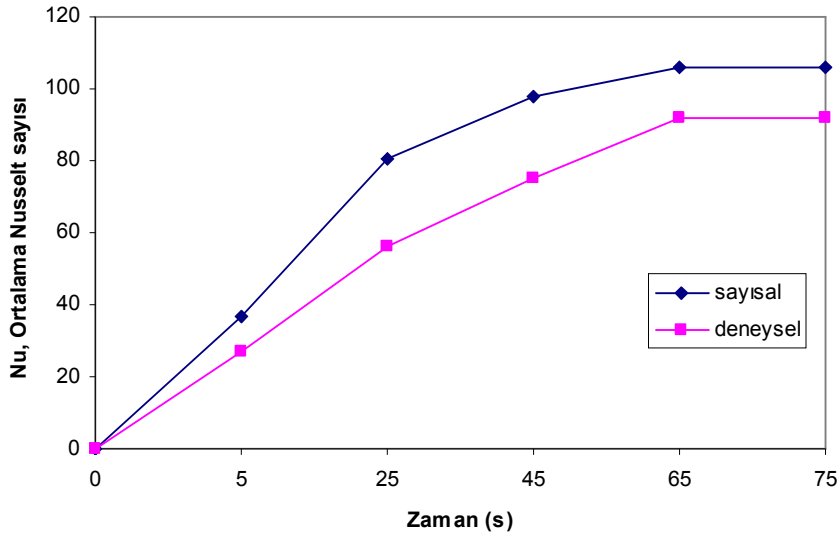
Şekil 3.94. IV. Durum için soğutulan yüzeylerdeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

Beşinci saniyede sayısal olarak elde edilen Nusselt sayısı 19,26 dır (Şekil 3.94.). Kırk beşinci saniyeye kadar çok hızlı bir şekilde Nusselt sayısı artmakta ve yaklaşık 90,88 değerine ulaşmaktadır. Daha sonra bu hızlı artış yavaşlamakla birlikte Nusselt sayısı zamanla artarak 102,34 değerine erişmekte ve bundan sonra değişim çok az olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen Nusselt sayısı ise 5. saniyede yaklaşık 15,22 değerinde başlamakta ve 45. saniyeye kadar sayısal Nusselt sayısına paralel olarak artarak 45. saniyede yaklaşık 72,39 değerine çıkmaktadır. Deneysel Nusselt sayısı, sayısal Nusselt sayısına benzer bir değişim göstermektedir. Altmış beşinci saniyeye kadar sürekli olarak artmakta ve yaklaşık 88,44 değerine ulaşmaktadır. Bu zaman adımından sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları arasında görülen farklılıklar değişik sebeplerden kaynaklanabilir. Sıcaklık ölçümü için kübik boşluk içerisine yerleştirilen sistem azda olsa hava hareketlerini engelleyebilir ve Nusselt sayısı düşebilir. Bununla birlikte sayısal çözüm için olay iki boyutlu alınırken gerçekte üç boyutlu olması sonuçları etkileyebilir. Ayrıca ışıınım nedeniyle sıcaklık ölçümünde yapılabilecek hatalar bu farklılığa neden olabilir. Ek-2.' de Nusselt sayısı için belirsizlik analizi yapılmıştır.



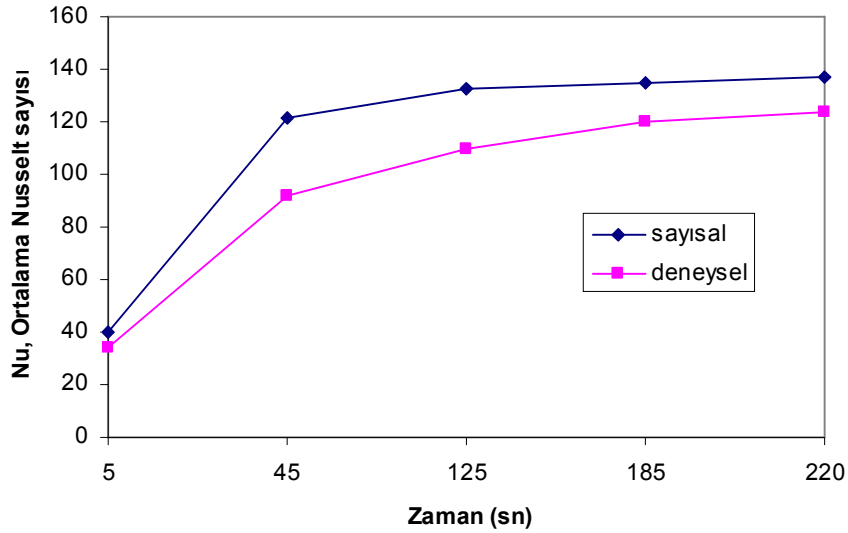
Şekil 3.95. V. Durum için soğutulan yüzeylerdeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

Beşinci saniyede sayısal olarak elde edilen Nusselt sayısı 28,6 dır (Şekil 3.95.). Kırk beşinci saniyeye kadar çok hızlı bir şekilde Nusselt sayısı artmakta ve yaklaşık 92,15 değerine ulaşmaktadır. Daha sonra bu hızlı artış yavaşlamakla birlikte Nusselt sayısı zamanla artarak 94,21 değerine erişmekte ve bundan sonra değişim çok az olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen Nusselt sayısı ise 5. saniyede yaklaşık 24,62 değerinde başlamakta ve 45. saniyeye kadar sayısal Nusselt sayısına paralel olarak artarak 45. saniyede yaklaşık 68,32 değerine çıkmaktadır. Deneysel Nusselt sayısı, sayısal Nusselt sayısına benzer bir değişim göstermektedir. Altmış beşinci saniyeye kadar sürekli olarak artmakta ve yaklaşık 74,15 değerine ulaşmaktadır. Bu zaman adımından sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları arasında görülen farklılıklar değişik sebeplerden kaynaklanabilir. Sıcaklık ölçümü için kübik boşluk içerisine yerleştirilen sistem azda olsa hava hareketlerini engelleyebilir ve Nusselt sayısı düşebilir. Bununla birlikte sayısal çözüm için olay iki boyutlu alınırken gerçekte üç boyutlu olması sonuçları etkileyebilir. Ayrıca ışıınım nedeniyle sıcaklık ölçümünde yapılabilecek hatalar bu farklılığa neden olabilir. Ek-2.' de Nusselt sayısı için belirsizlik analizi yapılmıştır.



Şekil 3.96. VI. Durum için soğutulan yüzeylerdeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

Beşinci saniyede sayısal olarak elde edilen Nusselt sayısı 37,18 dir (Şekil 3.96.). Kırk beşinci saniyeye kadar çok hızlı bir şekilde Nusselt sayısı artmakta ve yaklaşık 98,30 değerine ulaşmaktadır. Daha sonra bu hızlı artış yavaşlamakla birlikte Nusselt sayısı zamanla artarak 106,43 değerine erişmekte ve bundan sonra değişim çok az olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen Nusselt sayısı ise 5. saniyede yaklaşık 27,73 değerinde başlamakta ve 45. saniyeye kadar sayısal Nusselt sayısına paralel olarak artarak 45. saniyede yaklaşık 75,60 değerine çıkmaktadır. Deneysel Nusselt sayısı, sayısal Nusselt sayısına benzer bir değişim göstermektedir. Altmış beşinci saniyeye kadar sürekli olarak artmakta ve yaklaşık 92,24 değerine ulaşmaktadır. Bu zaman adımından sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları arasında görülen farklılıklar değişik sebeplerden kaynaklanabilir. Sıcaklık ölçümü için kübik boşluk içerisine yerleştirilen sistem azda olsa hava hareketlerini engelleyebilir ve Nusselt sayısı düşebilir. Bununla birlikte sayısal çözüm için olay iki boyutlu alınırken gerçekte üç boyutlu olması sonuçları etkileyebilir. Ayrıca ışıınım nedeniyle sıcaklık ölçümünde yapılabilecek hatalar bu farklılığa neden olabilir. Ek-2.' de Nusselt sayısı için belirsizlik analizi yapılmıştır.



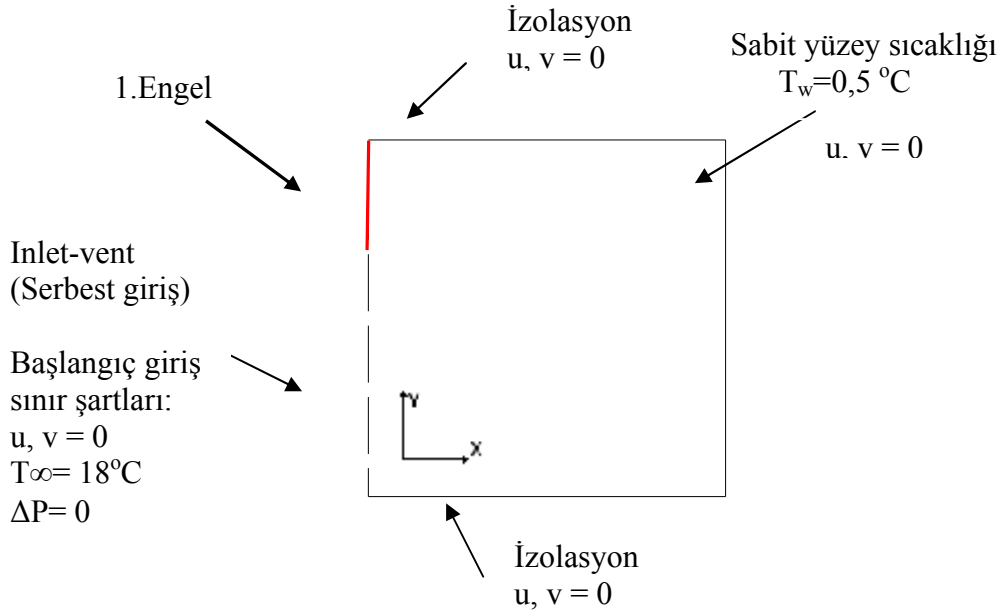
Şekil 3.97. VII. Durum için ısıtılan yüzeydeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

Beşinci saniyede sayısal olarak elde edilen Nusselt sayısı 39,72' dir (Şekil 3.97.). Yüz yirmi beşinci saniyeye kadar çok hızlı bir şekilde Nusselt sayısı artmakta ve yaklaşık 132,4 değerine ulaşmaktadır. Daha sonra bu hızlı artış yavaşlamakla birlikte Nusselt sayısı zamanla artarak 134,56 değerine erişmekte ve bundan sonra değişim çok az olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen Nusselt sayısı ise 5. saniyede yaklaşık 32,26 değerinde başlamakta ve 45. saniyeye kadar sayısal Nusselt sayısına paralel olarak artarak 45. saniyede yaklaşık 110,74 değerine çıkmaktadır. Deneysel Nusselt sayısı, sayısal Nusselt sayısına benzer bir değişim göstermektedir. Yüz yirmi beşinci saniyeye kadar sürekli olarak artmakta ve yaklaşık 121,56 değerine ulaşmaktadır. Bu zaman adımıdan sonra çok fazla bir değişim göstermemektedir. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları arasında görülen farklılıklar değişik sebeplerden kaynaklanabilir. Sıcaklık ölçümü için kübik boşluk içerisine yerleştirilen sistem azda olsa hava hareketlerini engelleyebilir ve Nusselt sayısı düşebilir. Bununla birlikte sayısal çözüm için olay iki boyutlu alınırken gerçekte üç boyutlu olması sonuçları etkileyebilir. Ayrıca ışınım nedeniyle sıcaklık ölçümünde yapılabilecek hatalar bu farklılığa neden olabilir. Ek-2.' de Nusselt sayısı için belirsizlik analizi yapılmıştır.

4. ENGELLİ DURUMLAR

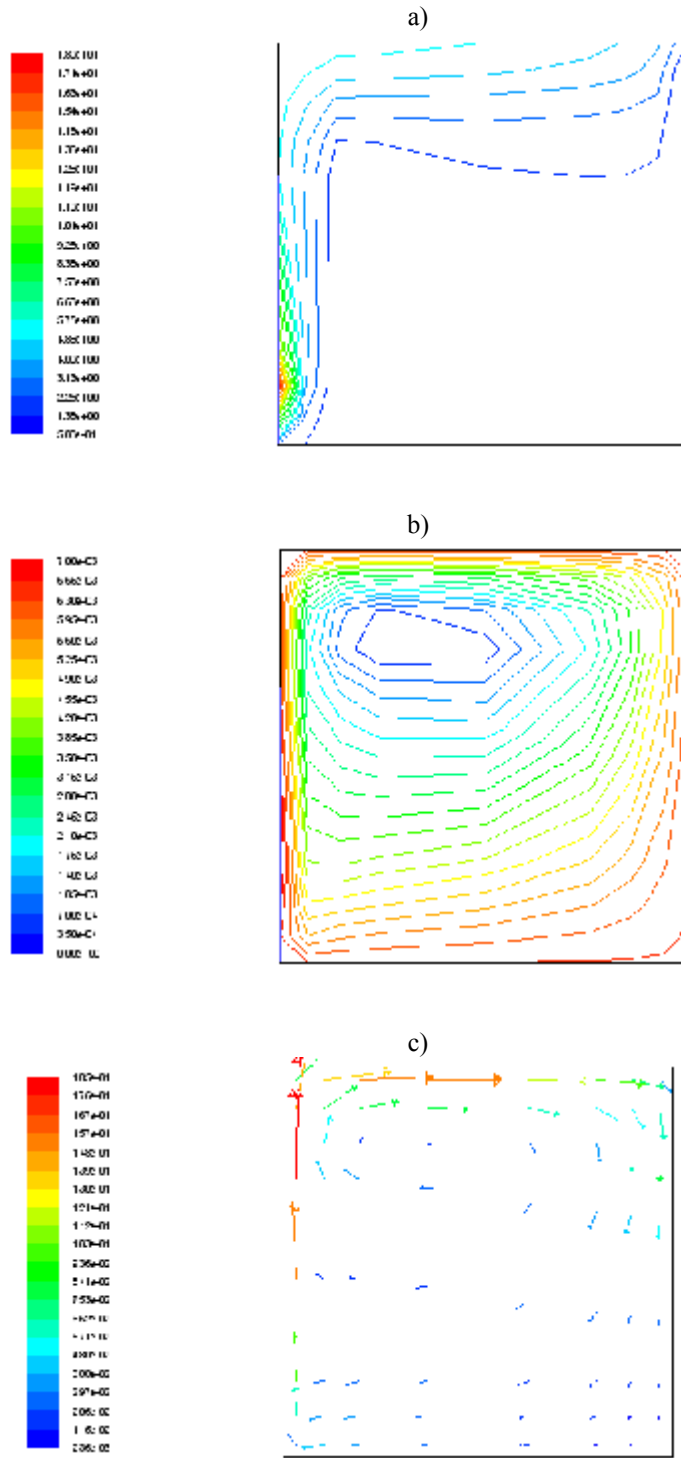
4.1. I. Durum İçin Engelli Durumlar

4.1.1. 1.Engel

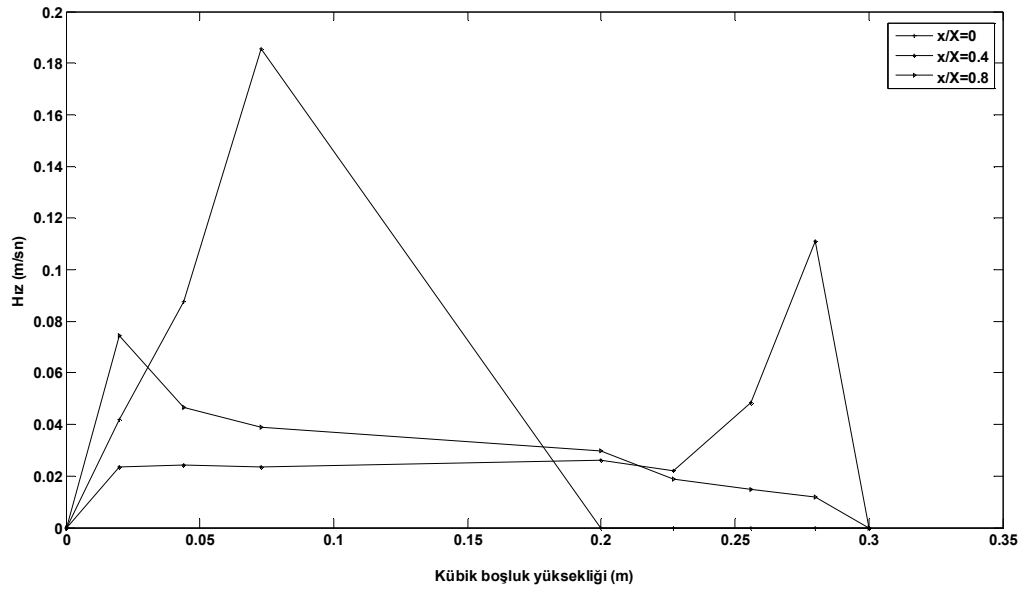


Şekil 4.1. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

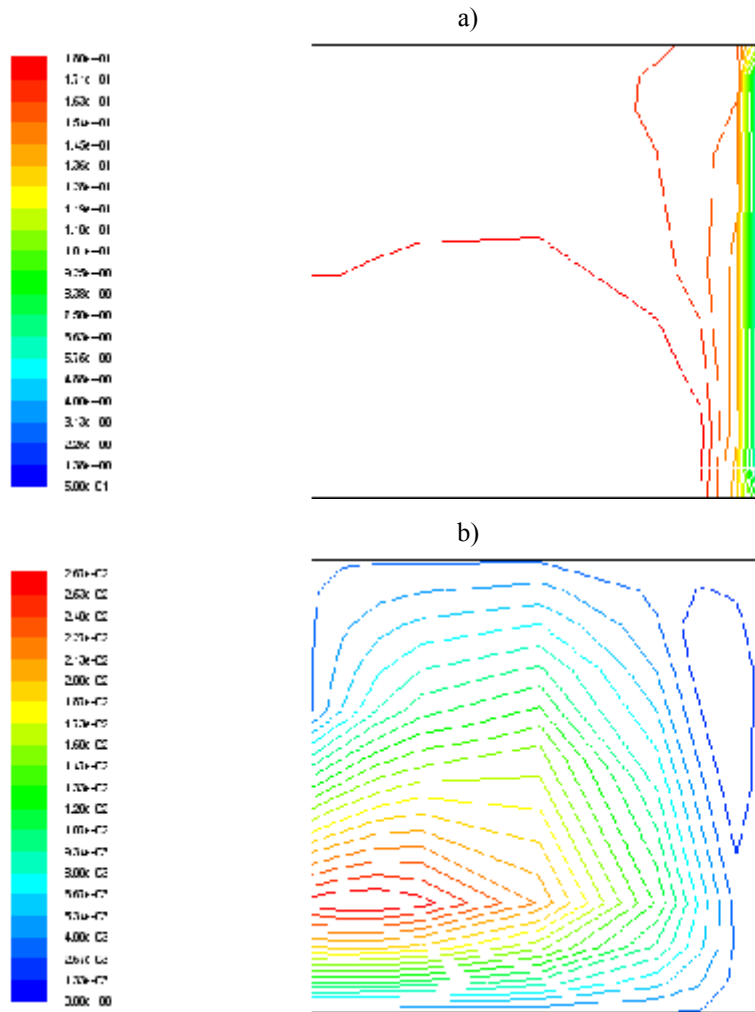
Kübik boşlukta cam kapak açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) değişik bölgelere 0,1 m yüksekliğinde engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Değişik zamanlarda çözüm bölgesinde elde edilen eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ve hız vektörleri 1.tip engel, 2. tip ve 3. tip engel için bu bölümde verilmiştir. Birinci tip engel 0,1 m yüksekliğindedir ve boşluğun girişinde en üst noktaya yerleştirilmiştir. Şekil 4.2. a, b ve c' de 1. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. Engelin arkasındaki bölgede hızlar hemen hemen sıfır olmakta ve sıcaklığın zamanla çok az değişmektedir. Birinci tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre çok fazla bir değişim oluşturmamıştır.

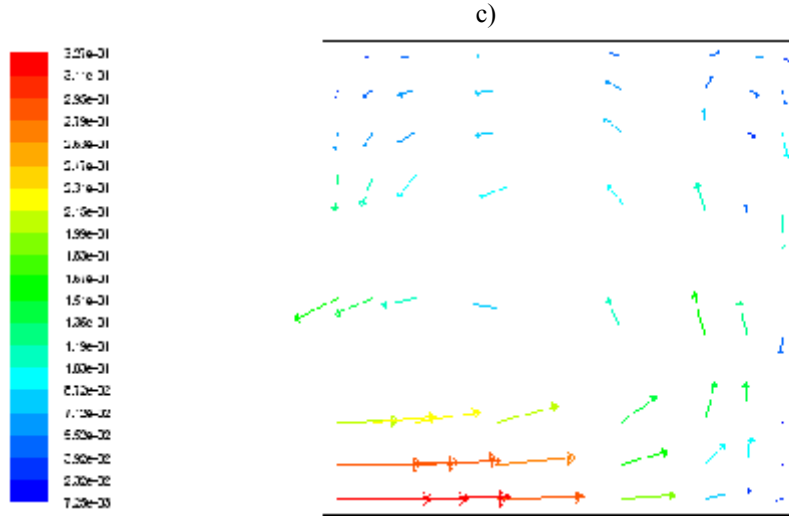


Şekil 4.2. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

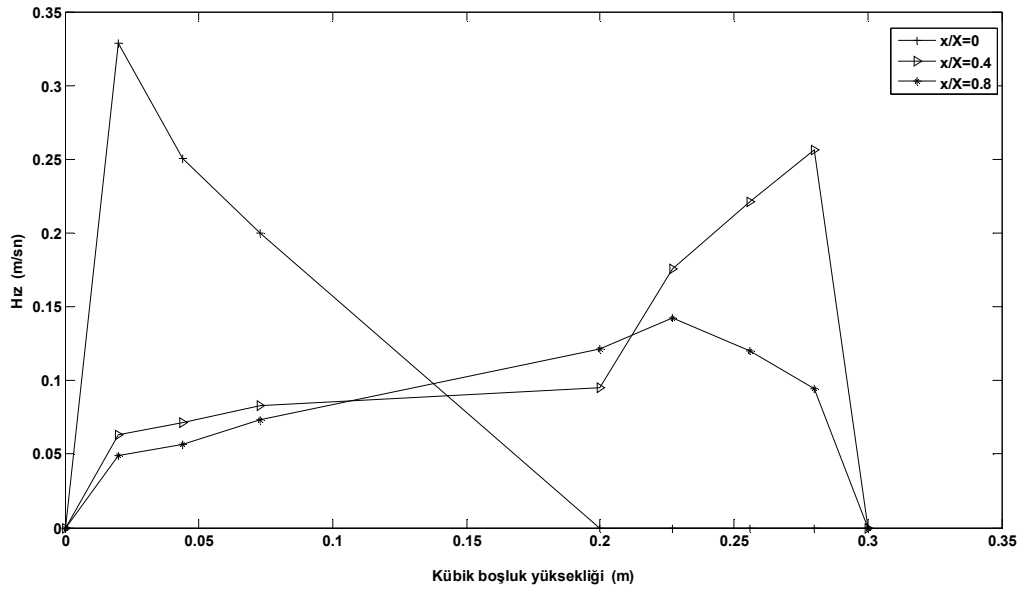


Şekil 4.3. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

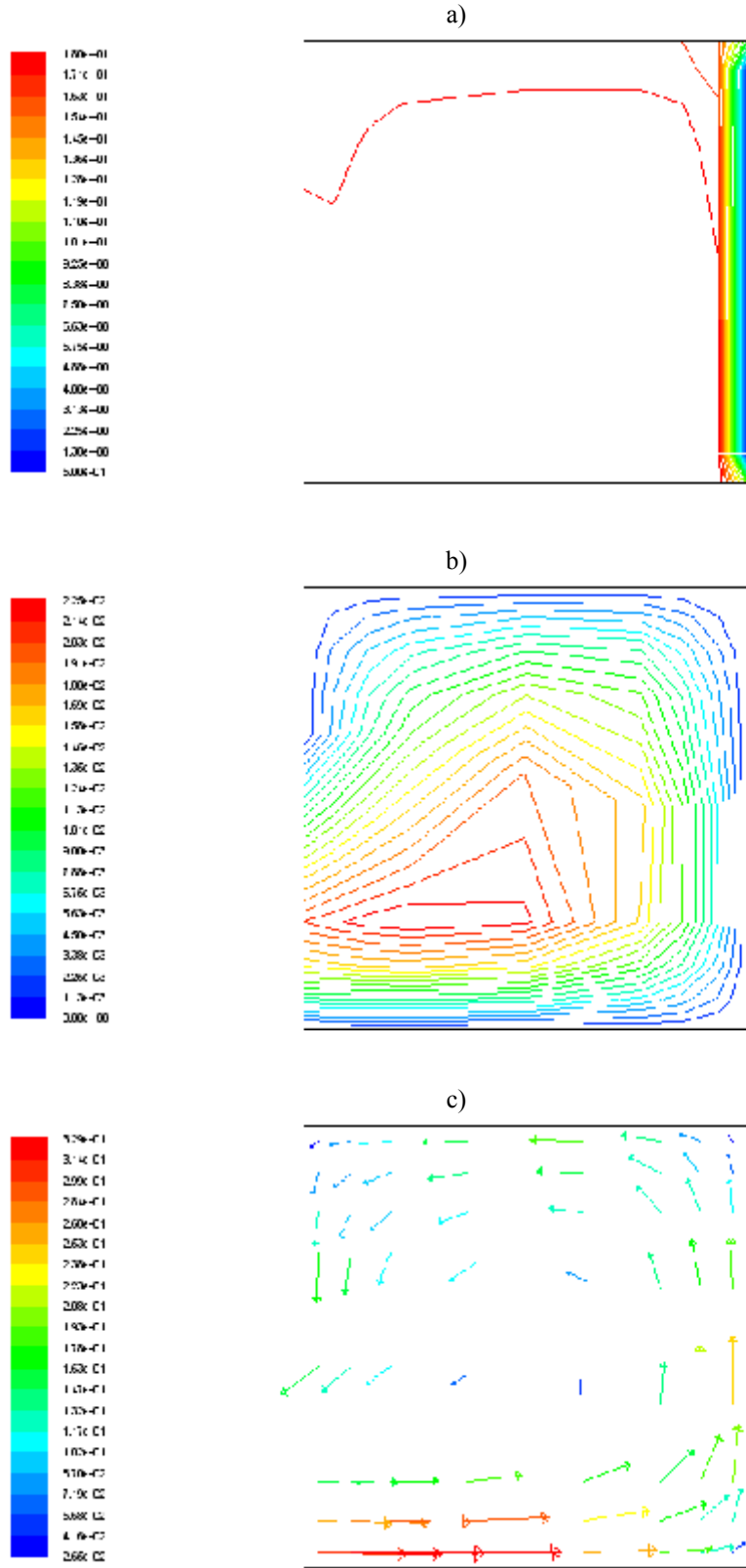




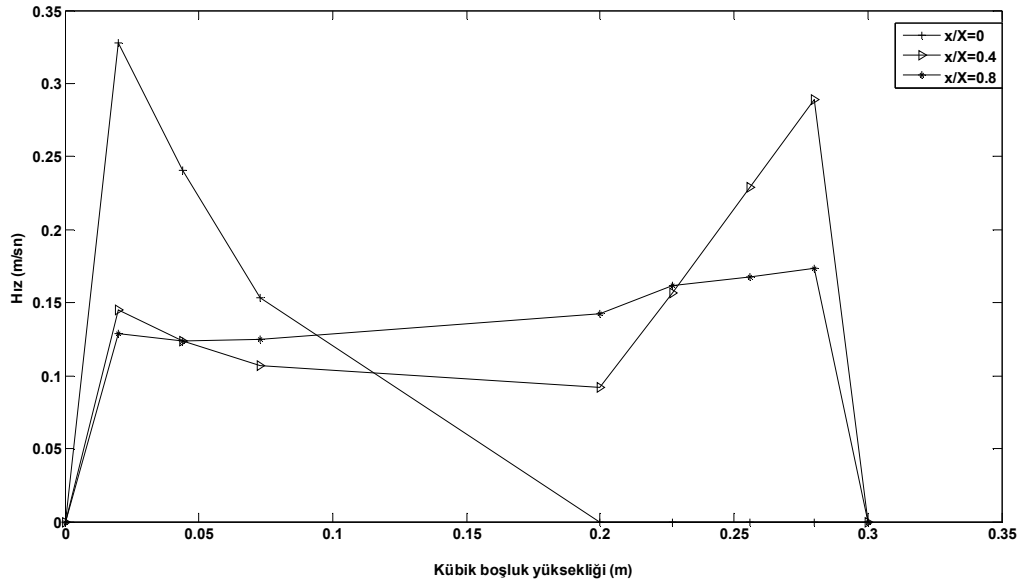
Şekil 4.4. $t=45$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.5. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

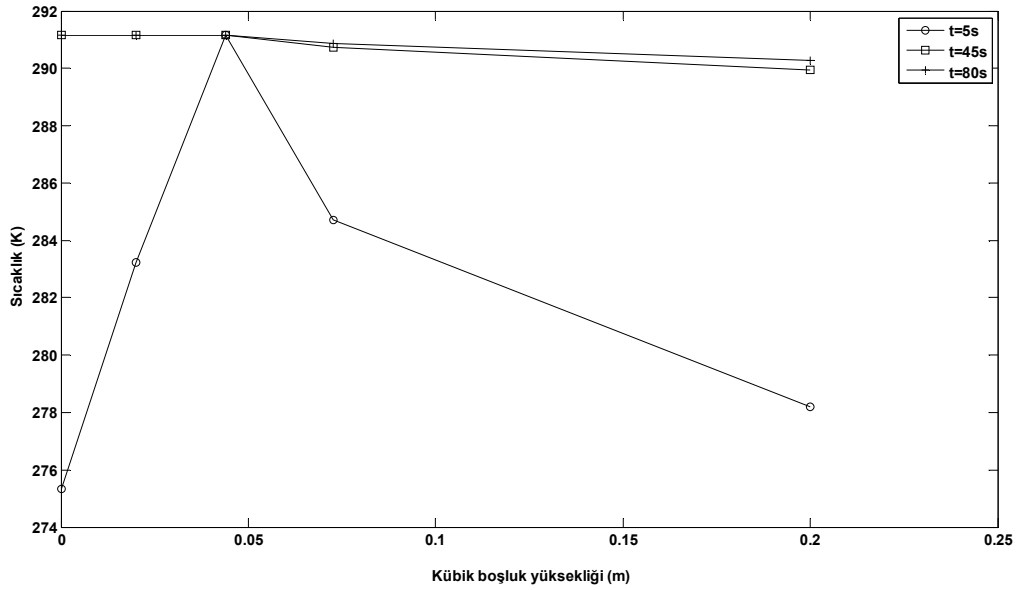


Şekil 4.6. $t=80$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrileri dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

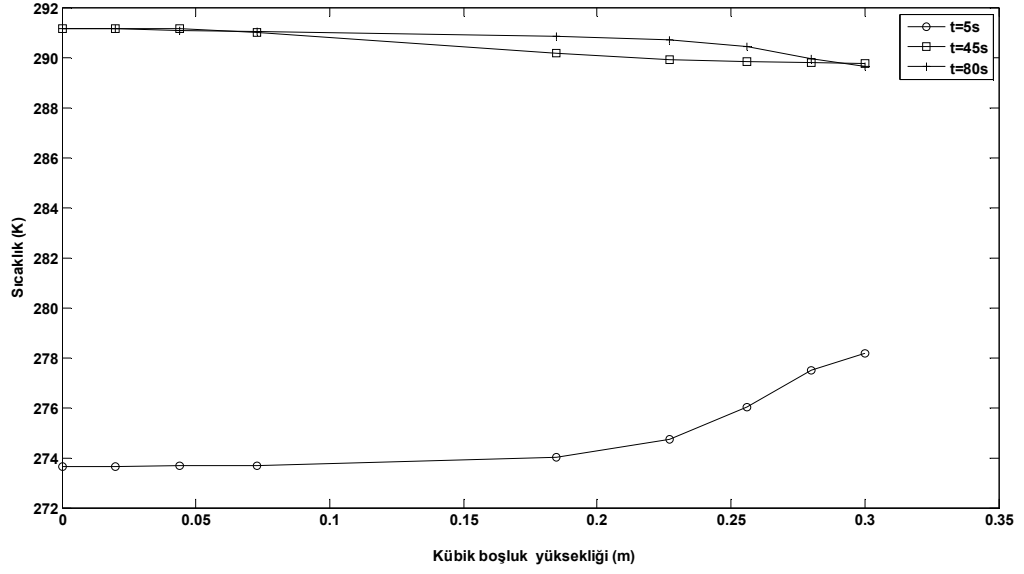


Şekil 4.7. $t=80$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

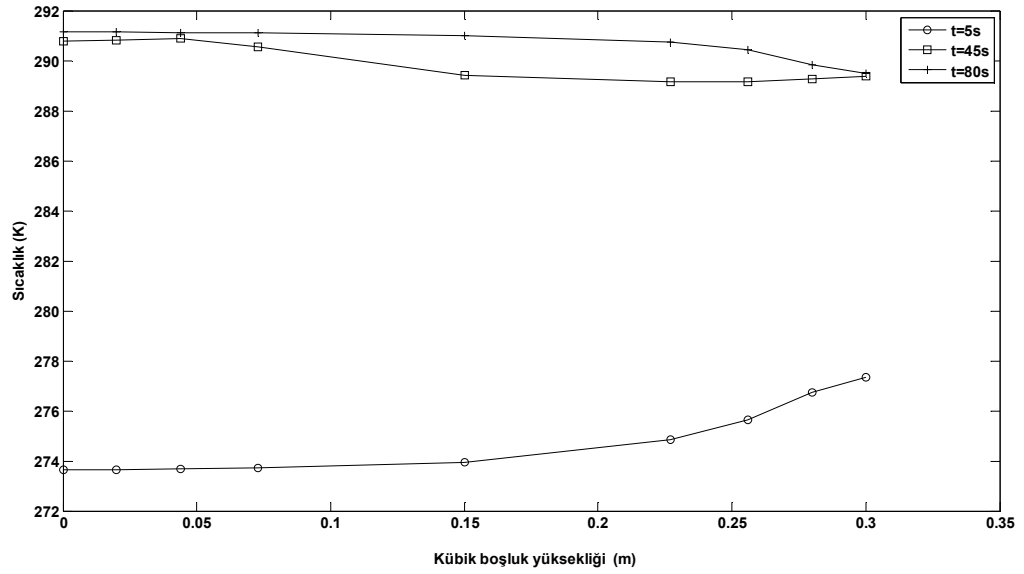
Şekil 4.8.' de $t=80$. saniyede 1. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ ' da $y=0,20$ m' ye kadar (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 278°K arasında değişmektedir. Kırk beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir.



Şekil 4.8. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

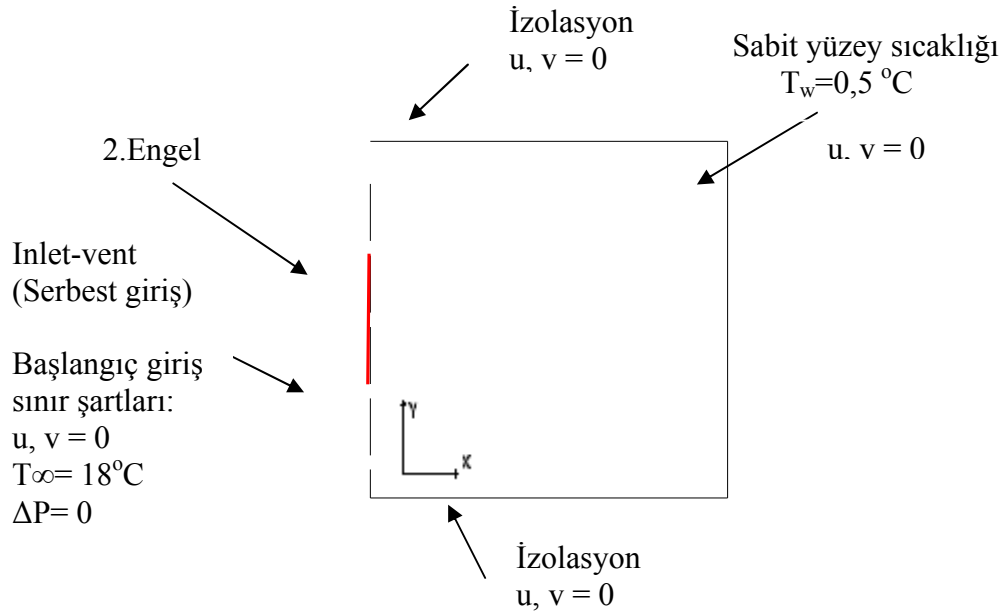


Şekil 4.9. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



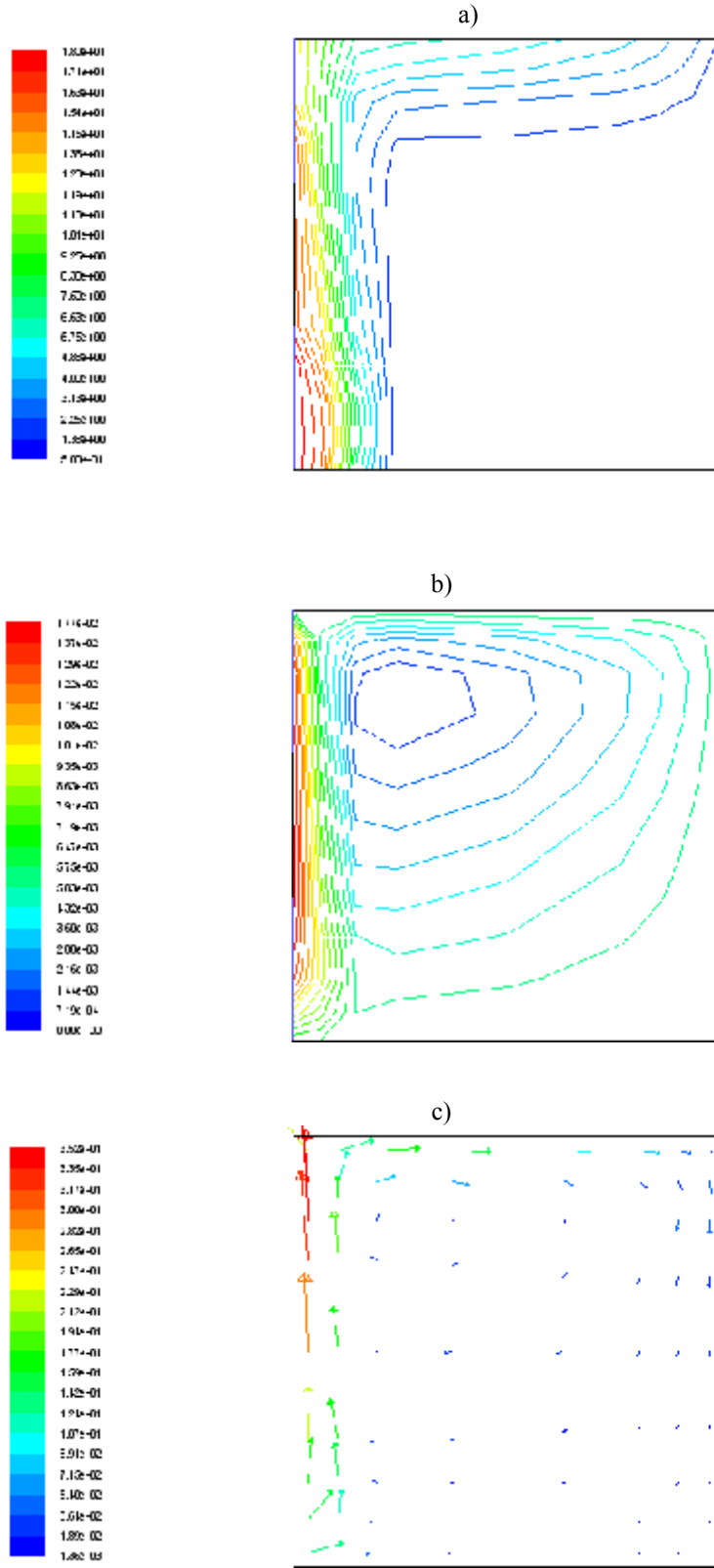
Şekil 4.10. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.1.2. 2. Engel

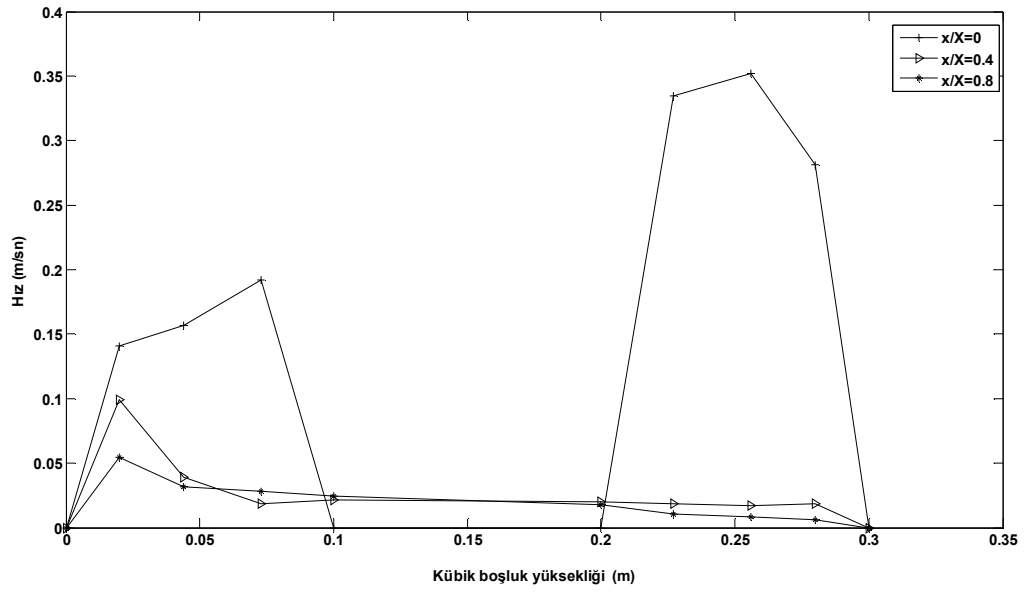


Şekil 4.11. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Kübik boşluğun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1 m ile 0,2 m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.12. a, b ve c' de 2. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 2. engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre küçük bir miktar azalmıştır.

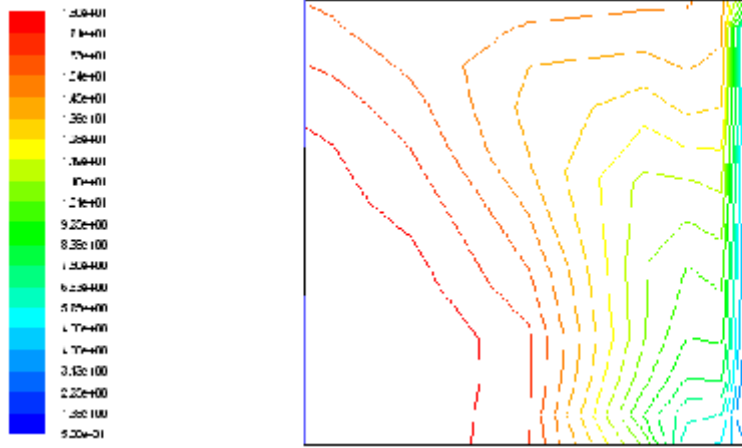


Şekil 4.12. $t=5.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

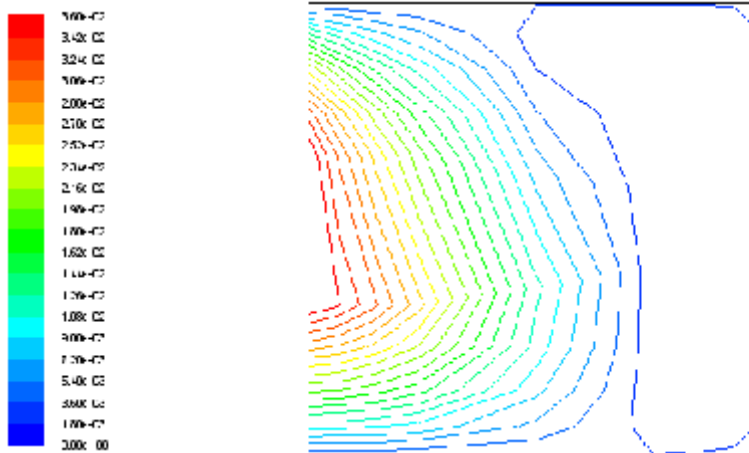


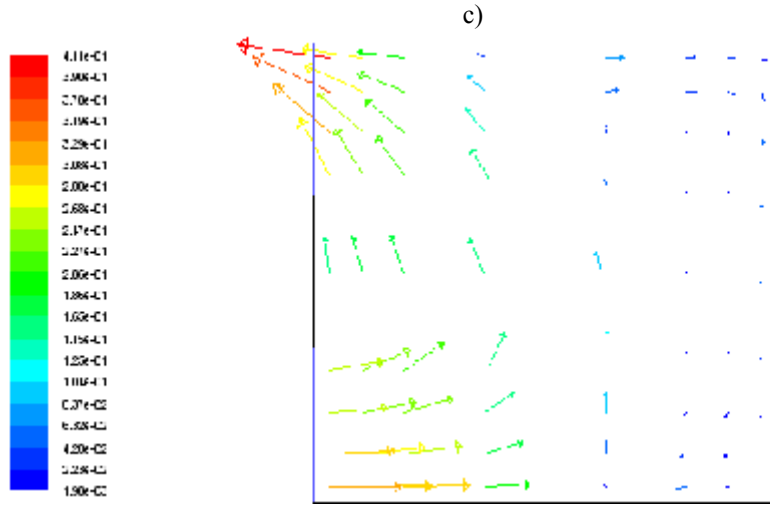
Şekil 4.13. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

a)

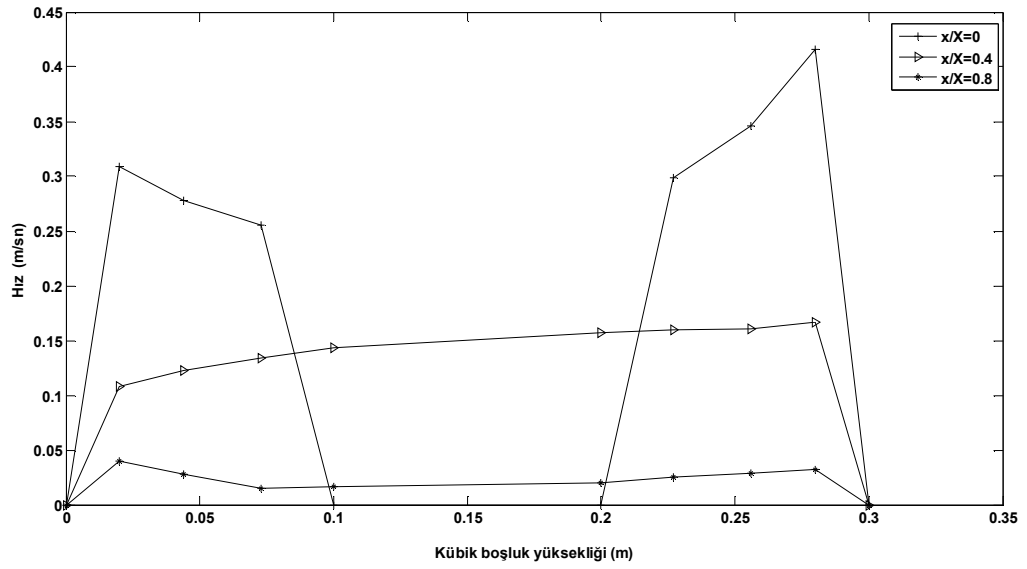


b)

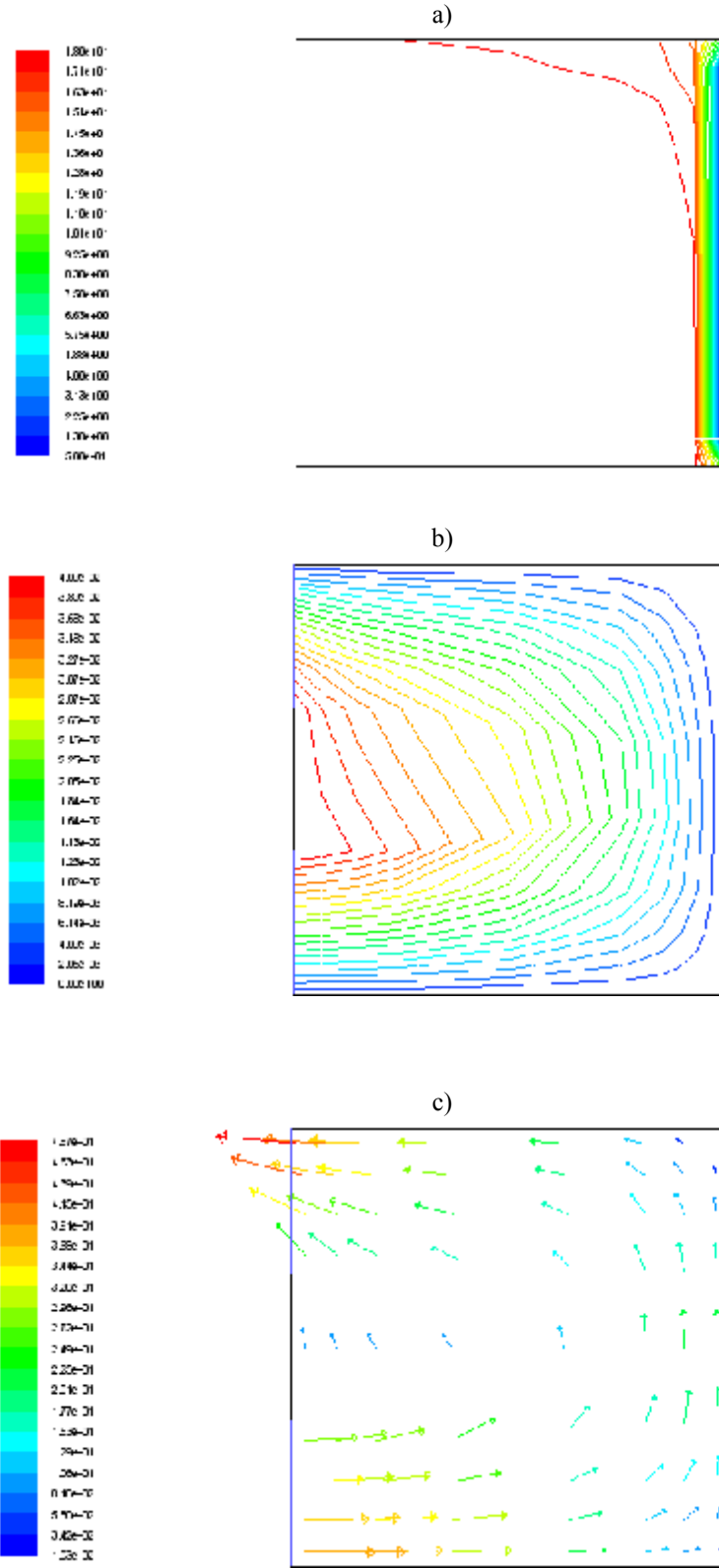




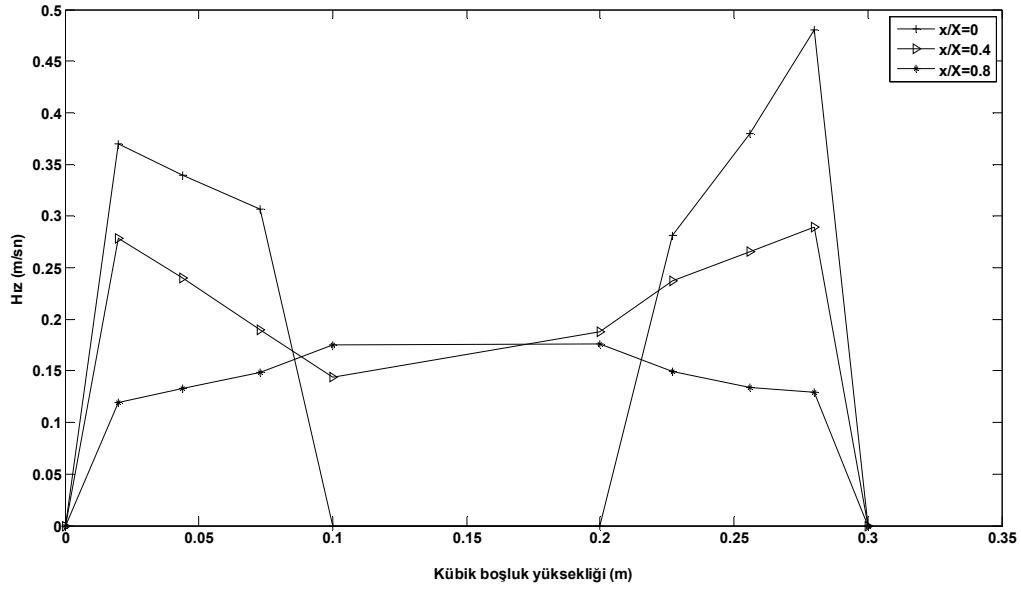
Şekil 4.14. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.15. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

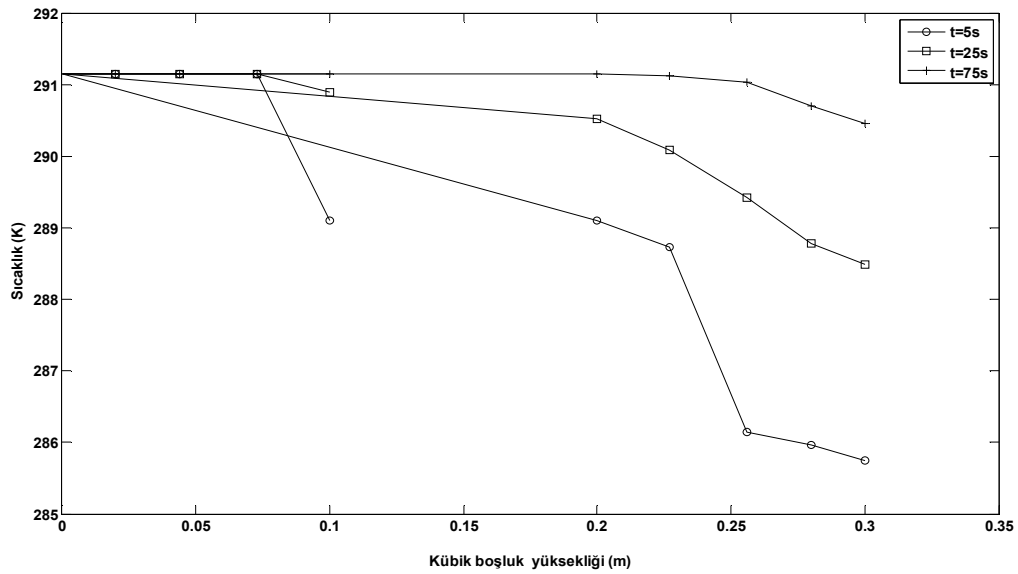


Şekil 4.16. $t=75$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

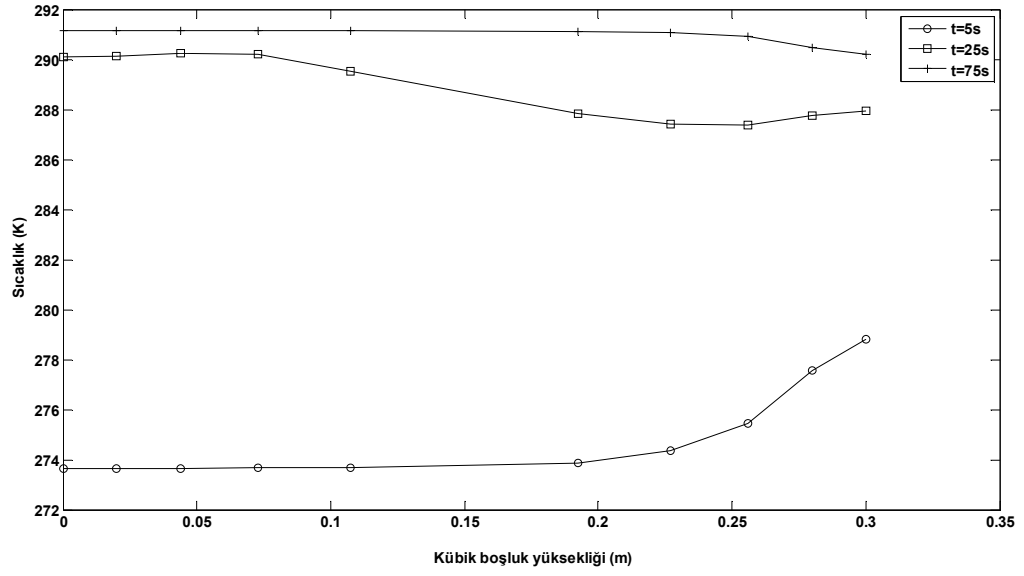


Şekil 4.17. $t=75$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

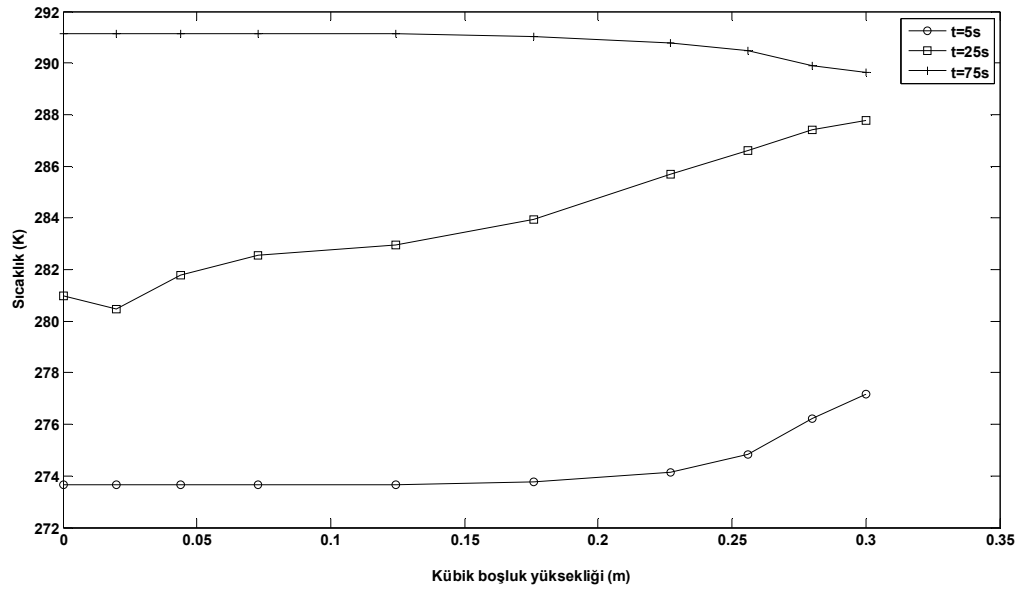
Şekil 4.18.'de $t=75$. saniyede 2. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da $y=0,20$ m' ye kadar (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Elli beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



Şekil 4.18. $x/X=0$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

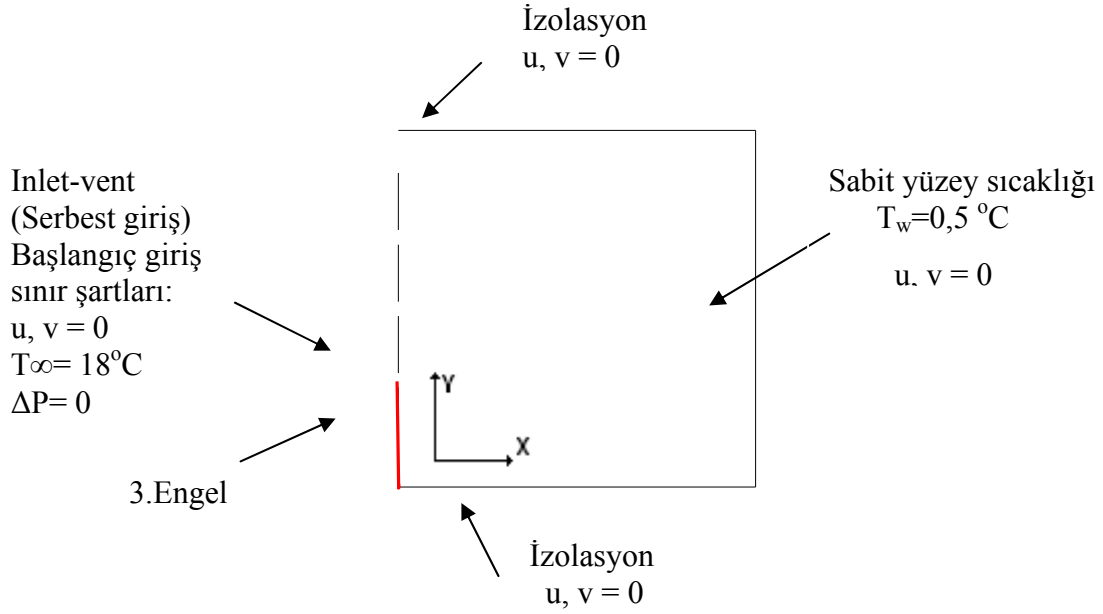


Şekil 4.19. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



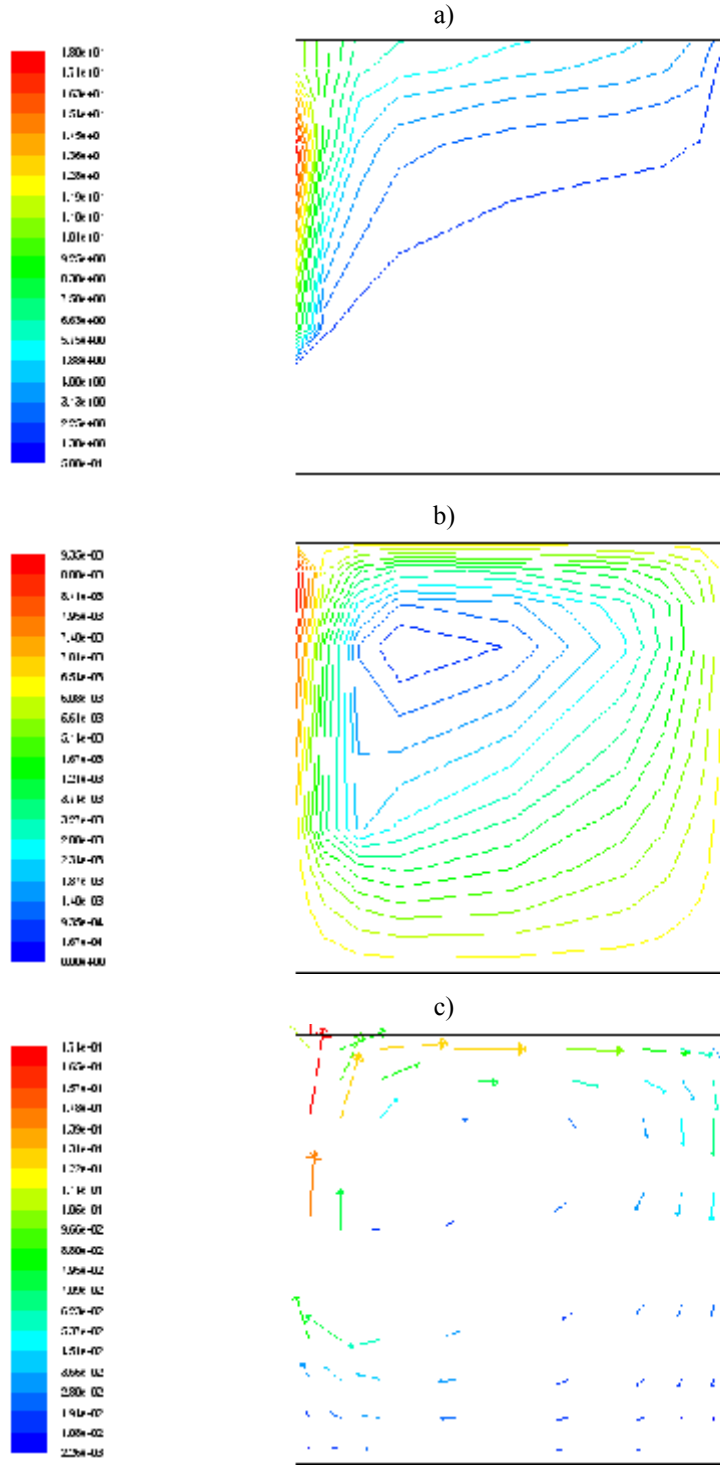
Şekil 4.20. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.1.3. 3.ENGEL

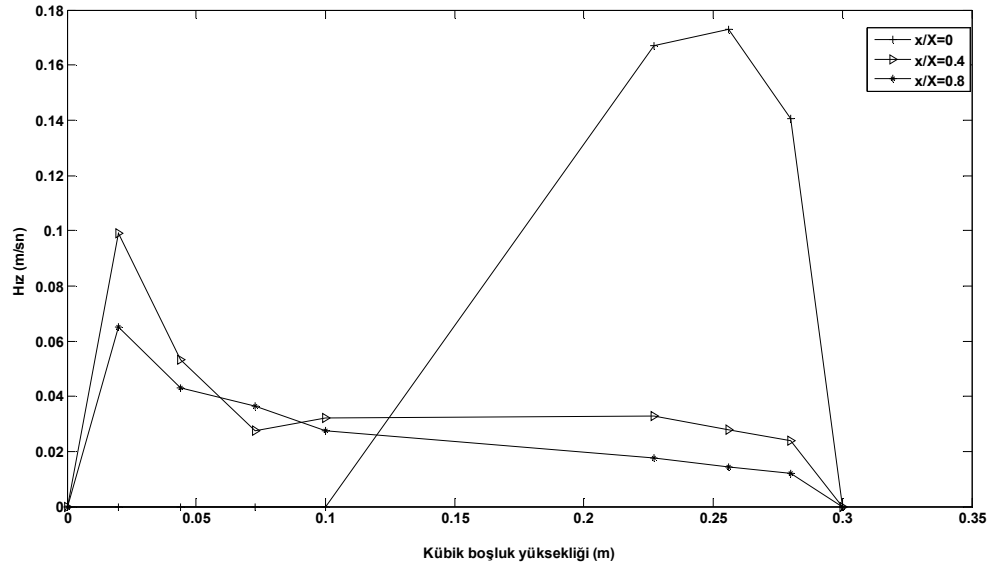


Şekil 4.21. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

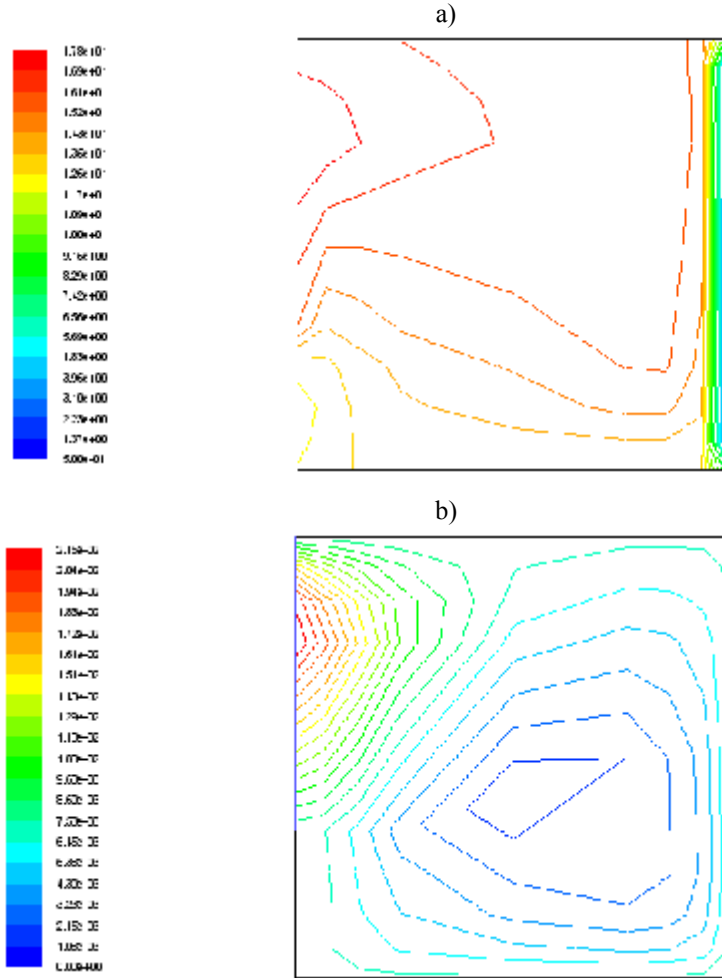
Kübik boşluğun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) alttan 0,1 m yüksekliğinde engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.22. a, b ve c' de 3. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 3. engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre yaklaşık iki kat artmıştır.

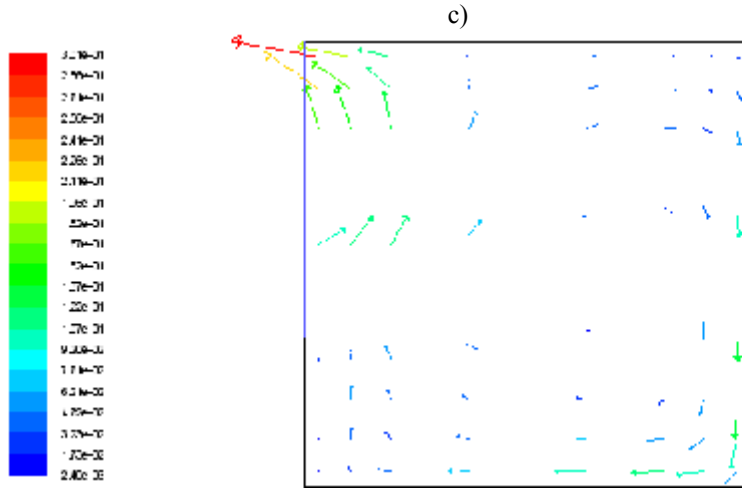


Şekil 4.22. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

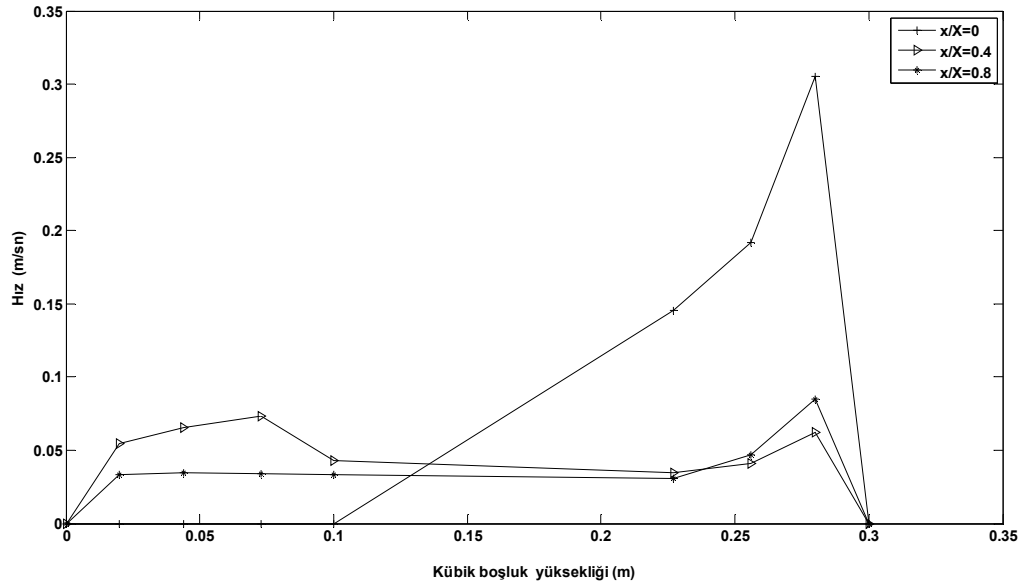


Şekil 4.23. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

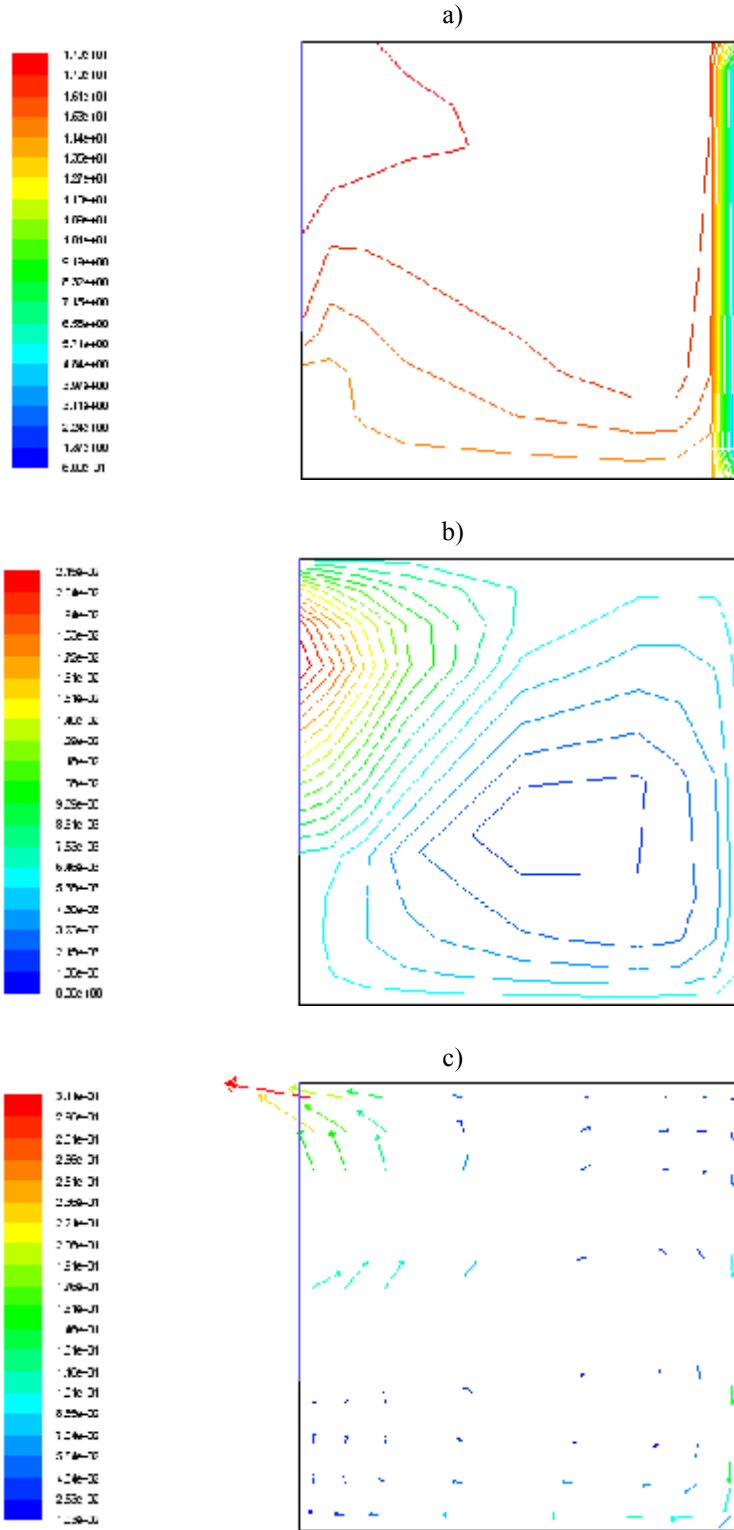




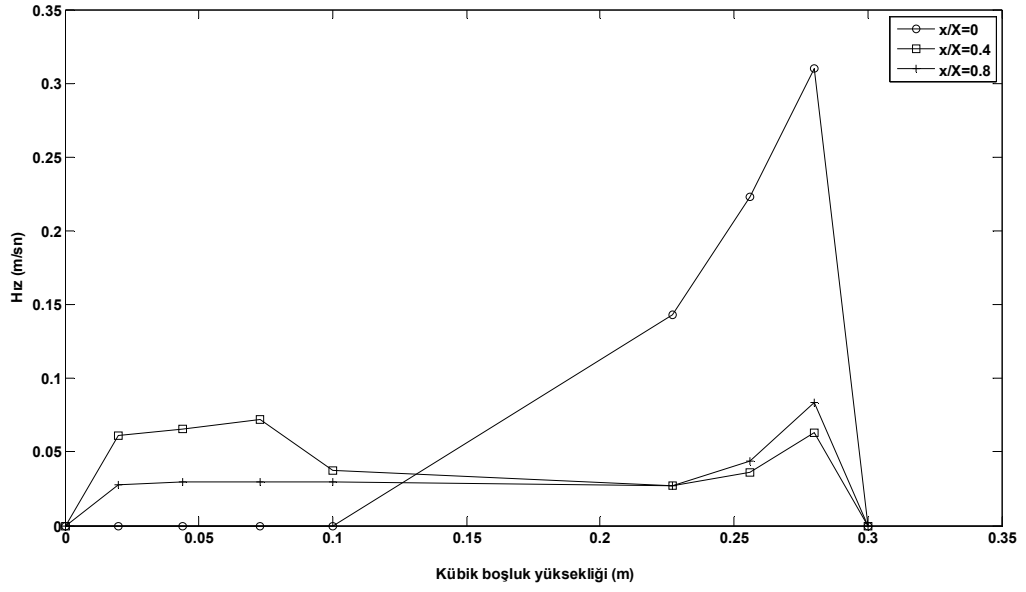
Şekil 4.24. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.25. $t=65$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



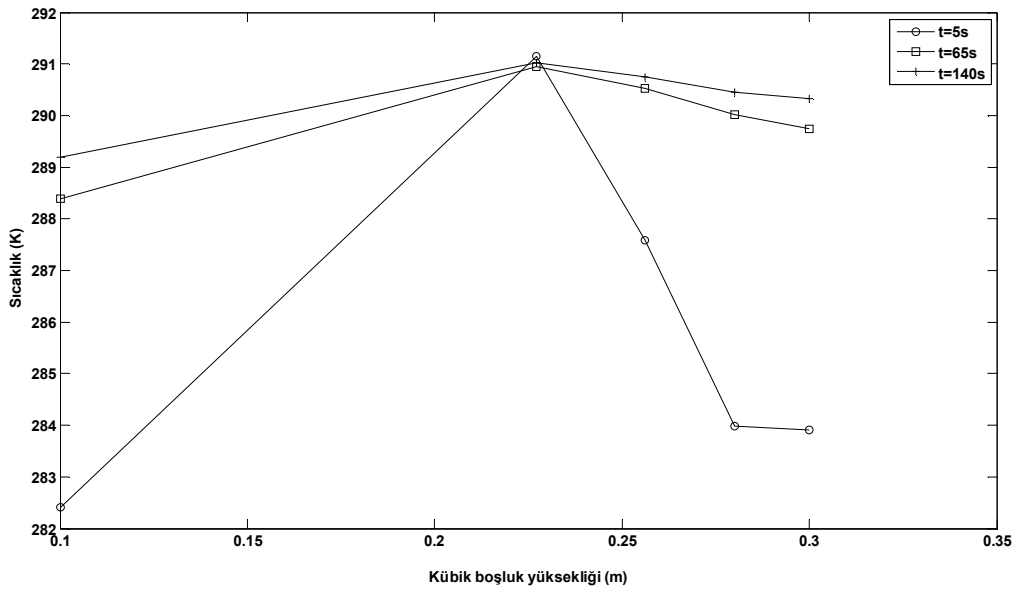
Şekil 4.26. $t=140$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



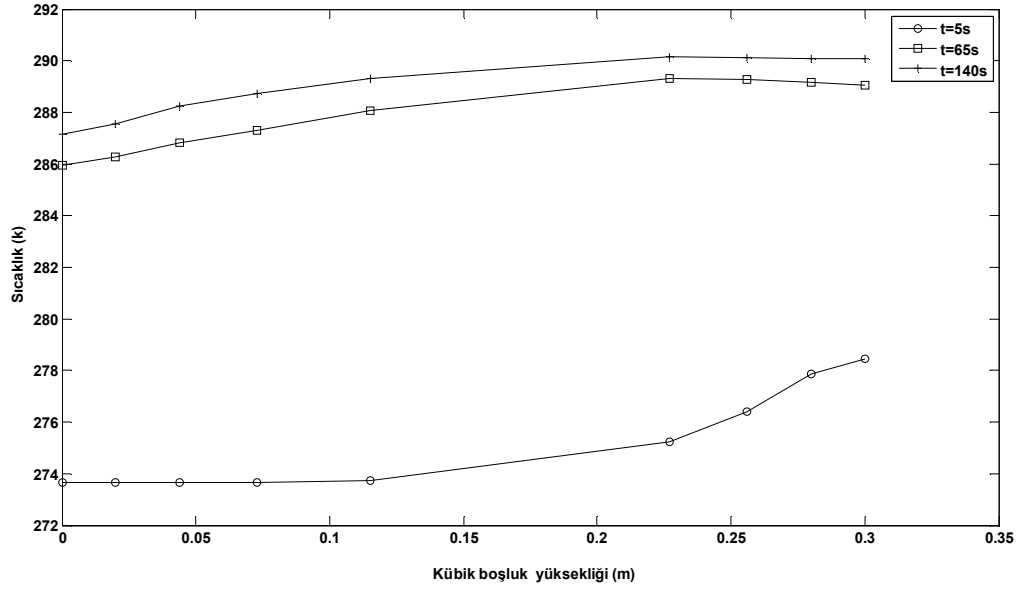
Şekil 4.27. $t=140$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişim

Şekil 4.28.'de $t=140$. saniyede 3. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da $y=0,22$ m' ye kadar (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar artarak 290°K 'e ulaşmaktadır.

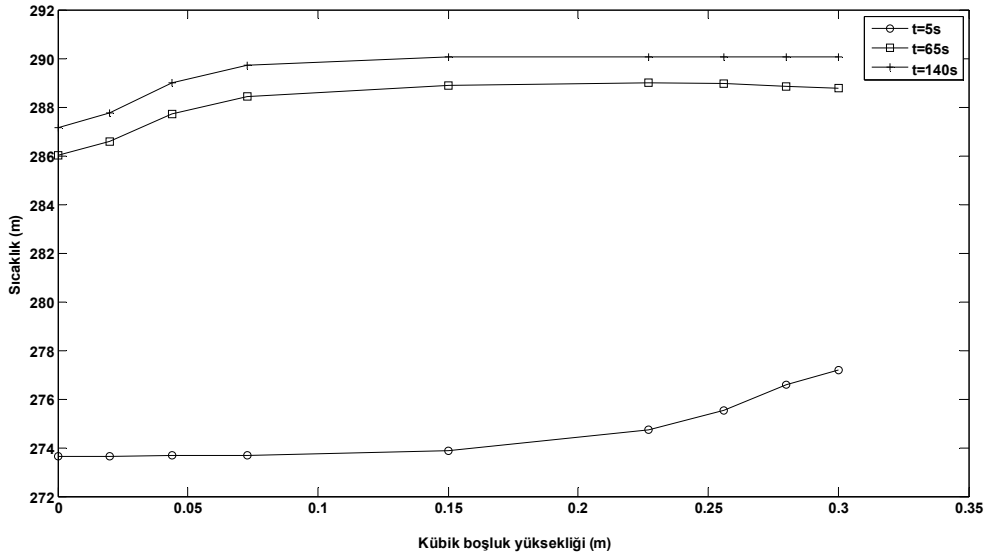
$x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 278°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Seksen beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.28. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



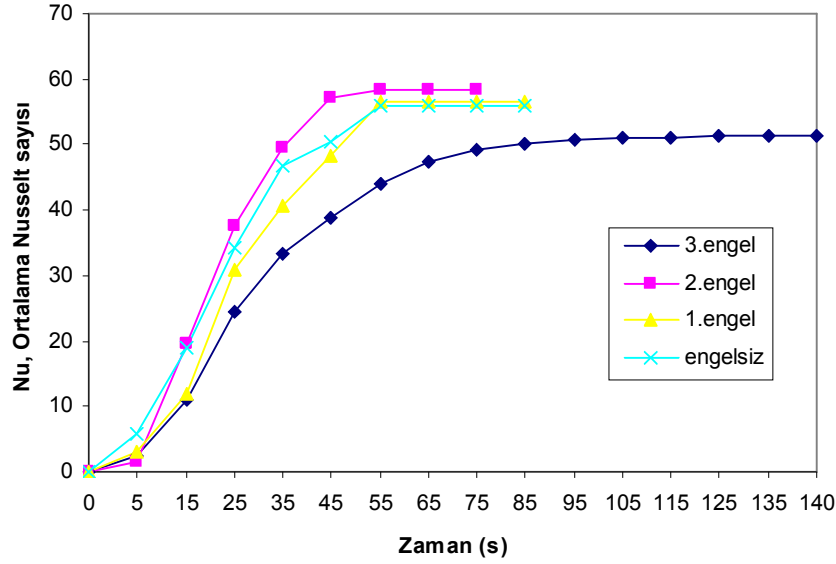
Şekil 4.29. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.30. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Sonuç olarak 3. tip engelin sıcaklık ve hız değişimi üzerinde etkisi diğer engellerden çok olmuş, kübik boşluğun daha geç rejime gelmesine sebep olmuştur. Diğer engellerin etkisi az olup kübik boşluk engelsiz durumla yaklaşık aynı zamanda rejime gelmektedir. Kübik boşluk girişine yerleştirilen engellerin ısı transferine etkisi Şekil 4.31.' de verilmiştir.

Her bir engelli durum için sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları engelsiz durumla karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi 3. engel durumunda kübik boşluk içerisindeki ısı transferi diğer engelli durumlar ve engelsiz duruma göre daha az olmaktadır. Ayrıca 3. engel durumunda kübik boşluk yaklaşık diğer durumlara göre iki kat daha uzun sürede rejime gelmektedir.

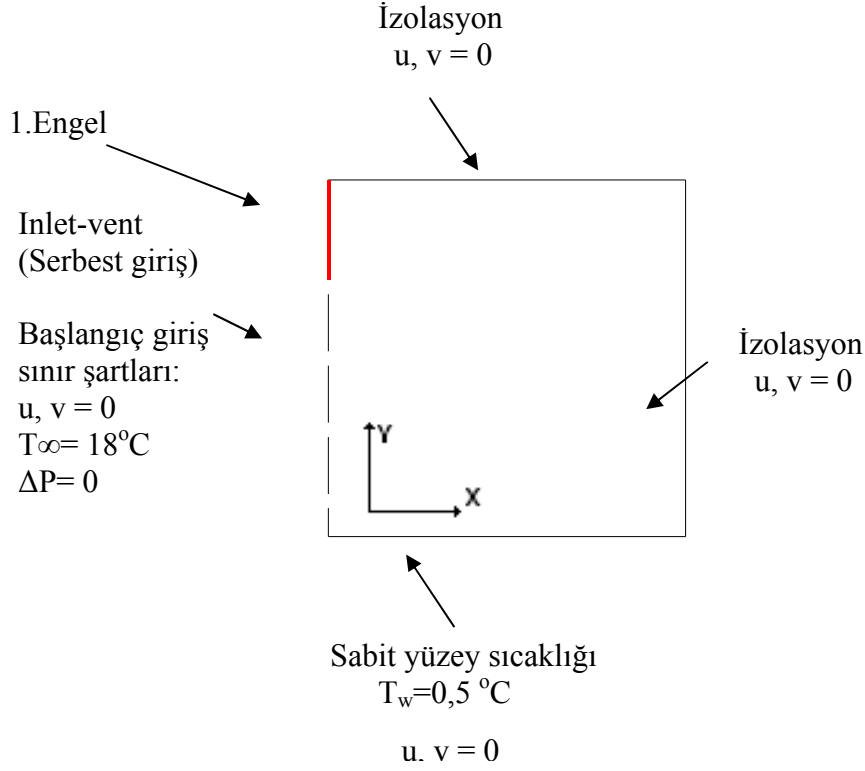


Şekil 4.31. I. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi

Bununla birlikte 1.ve 2. engel ve engelsiz durumlarda kübik boşluk içerisinde olan ısı transferi yaklaşık eşit değerlerde değişmektedir. Birinci engel durumunda 75. saniyeye kadar Nusselt sayısı hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 49 değerine çıkmaktadır. Bu zaman adımımdan sonra çok yavaş artarak maksimum 51'e ulaşmaktadır. Diğer durumlarda ise Nusselt sayısı 45. saniyeye kadar hızlı bir şekilde artarak ortalama 50'ye çıkmakta ve daha sonra yavaş bir artışla maksimum 63 olmaktadır.

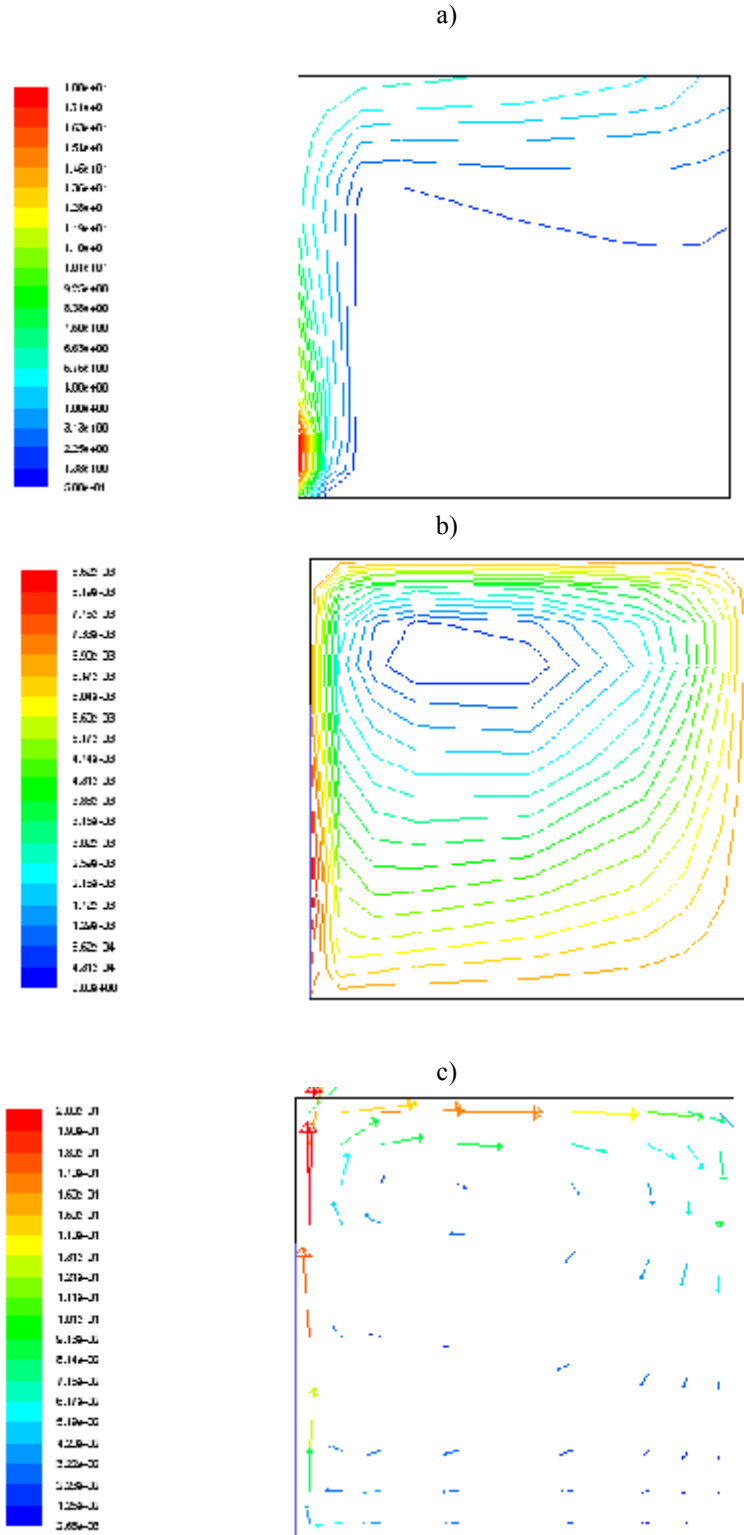
4.2. II. Durum İçin Engelli Durumlar

4.2.1. 1. Engel

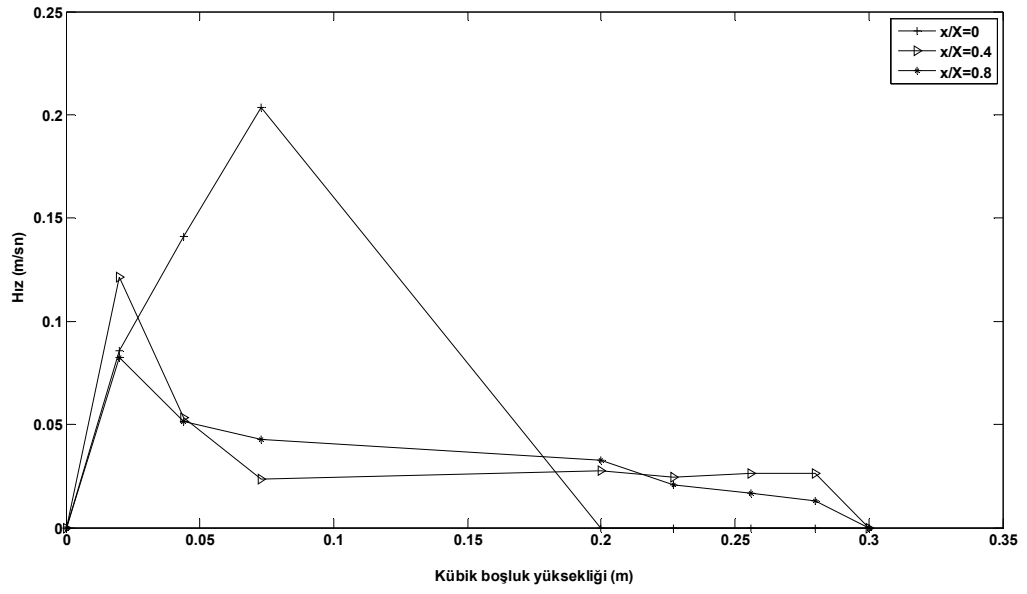


Şekil 4.32. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

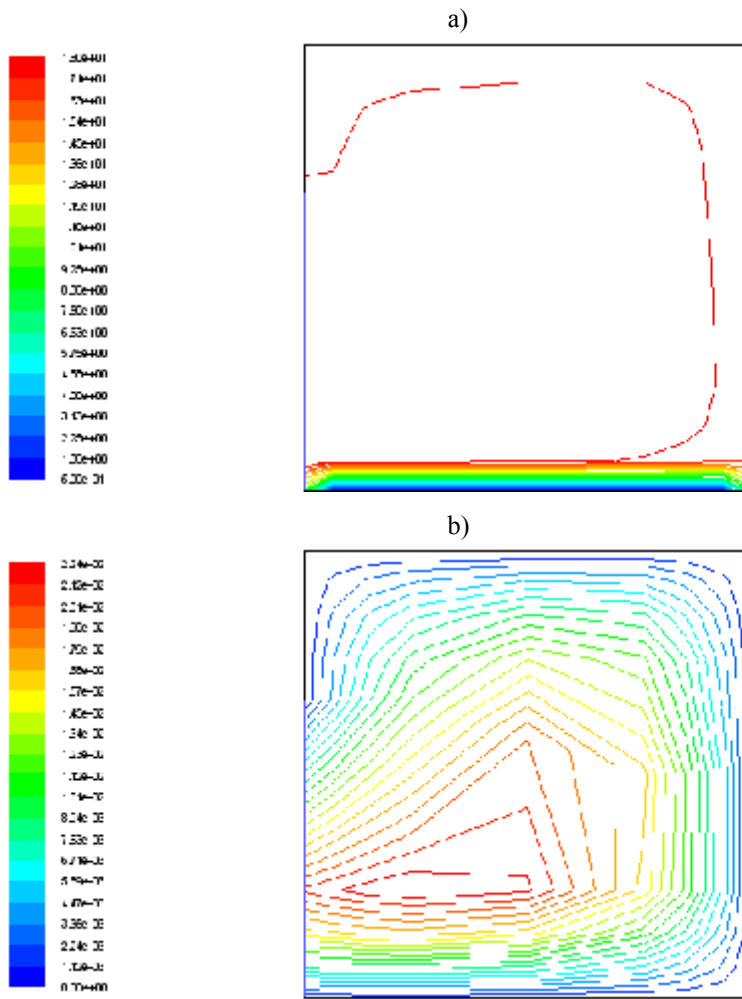
Kübik boşluğun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) üst kısma 0,1 m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.33. a, b ve c' de 1. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 1. engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre küçük bir miktar artmıştır.

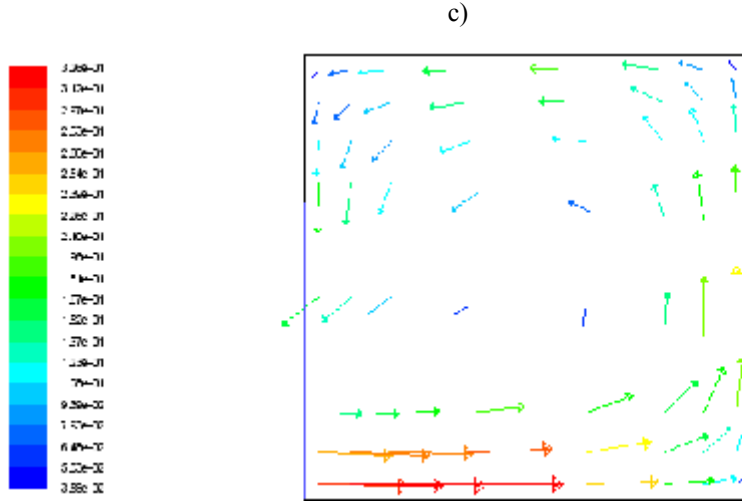


Şekil 4.33. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

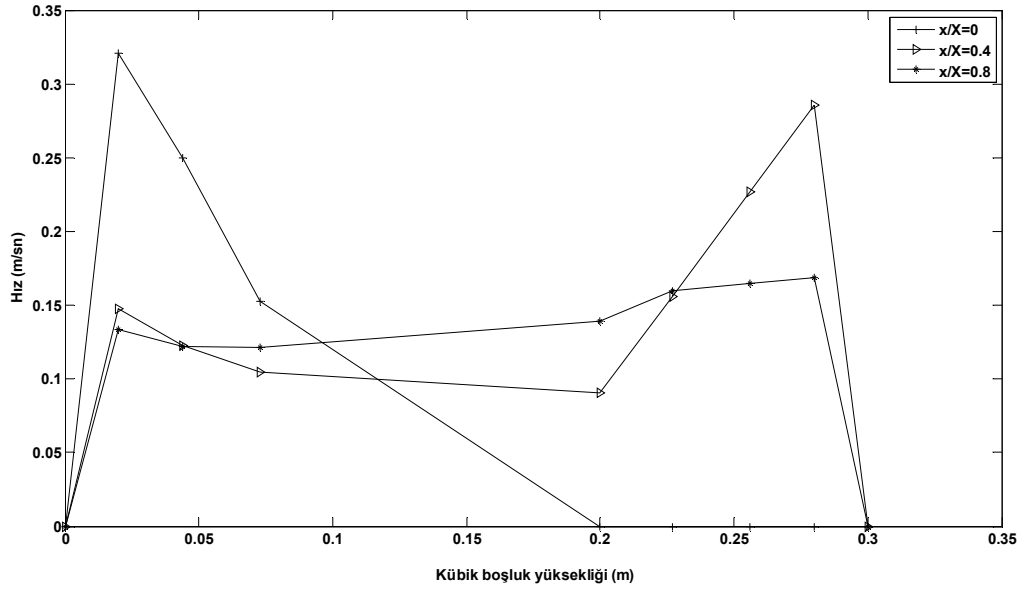


Şekil 4.34. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

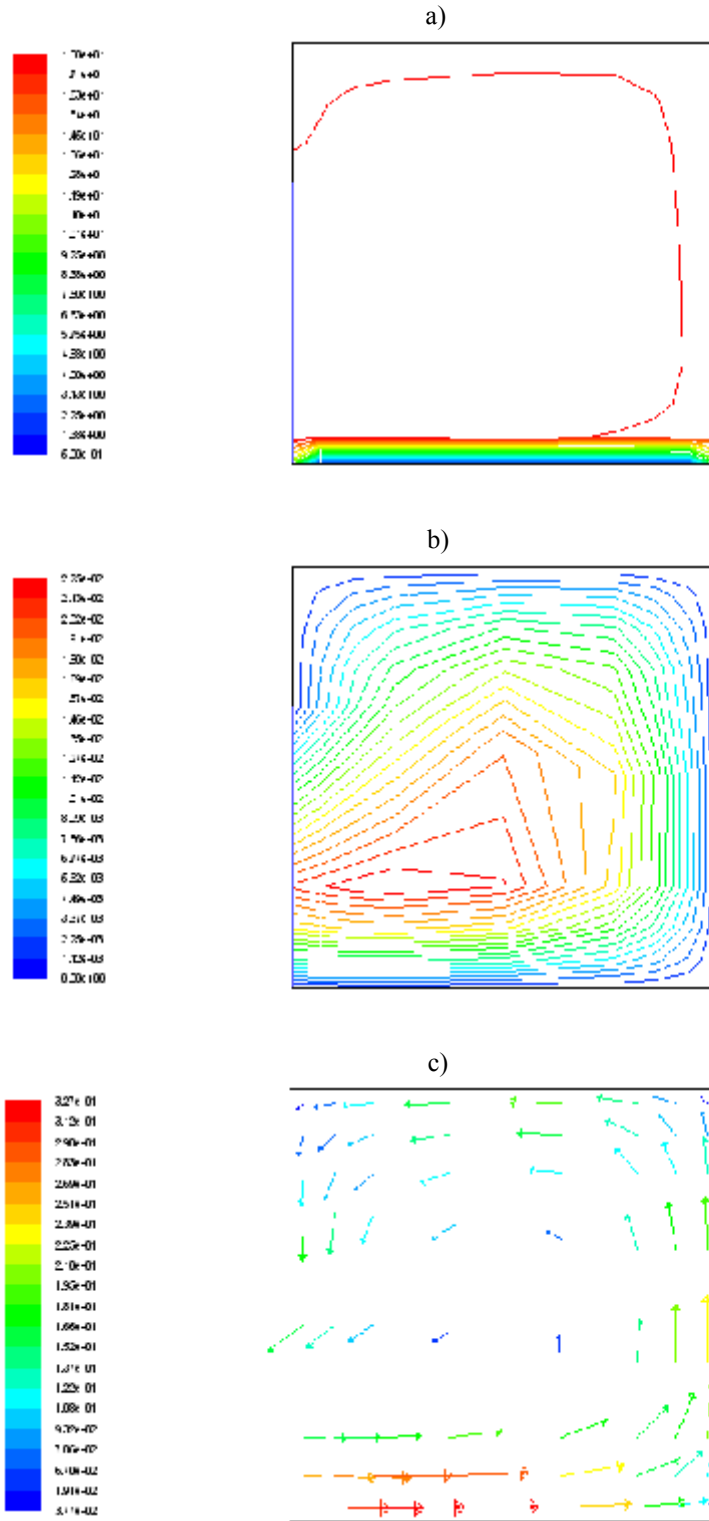




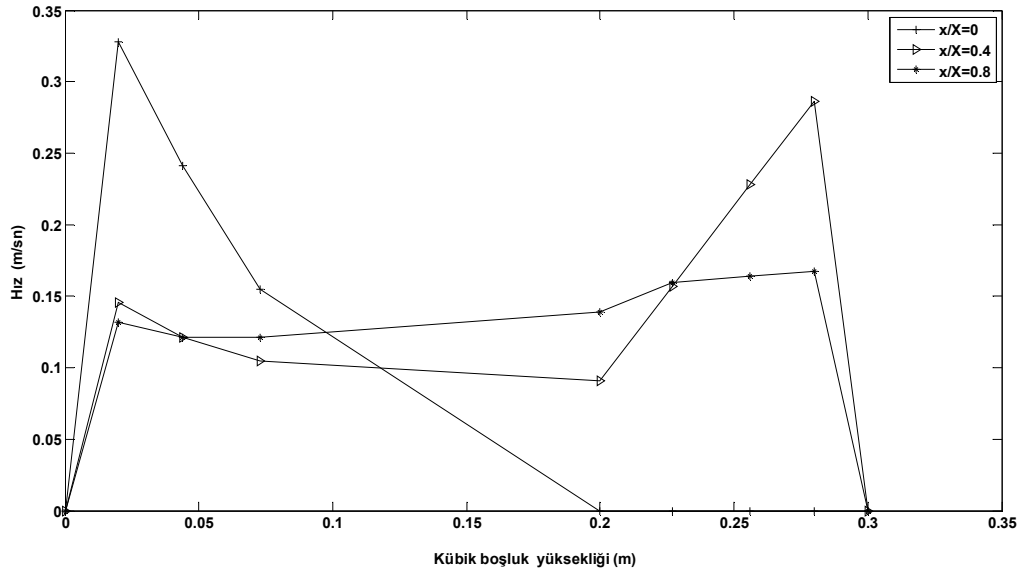
Şekil 4.35. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.36. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişim

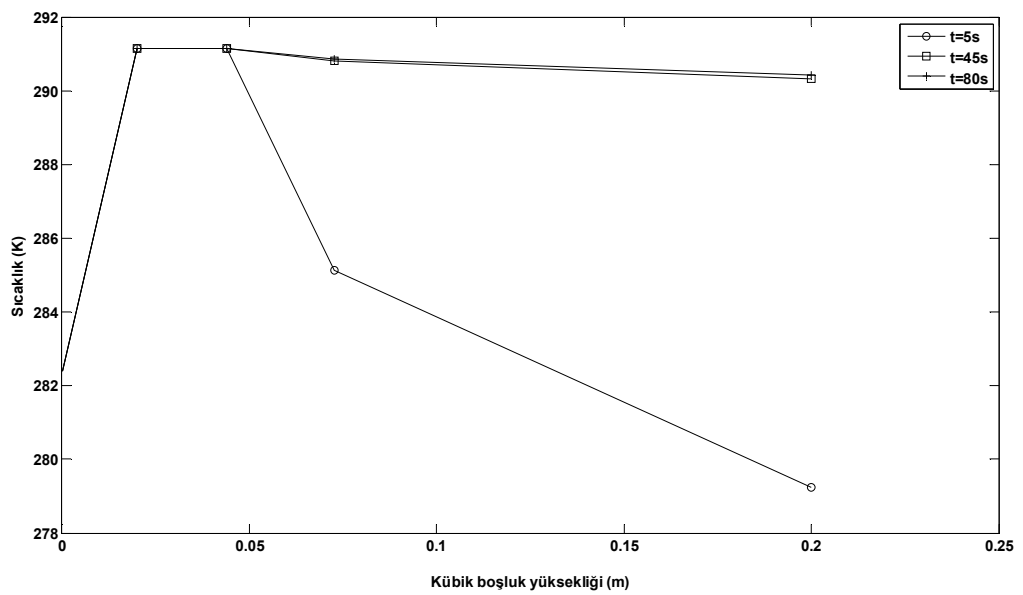


Şekil 4.37. $t=80$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

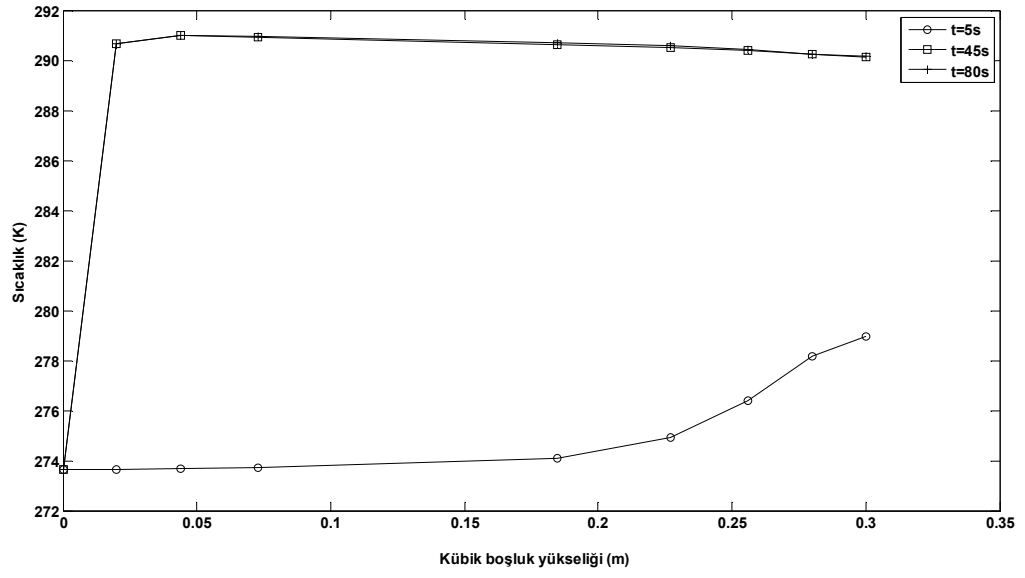


Şekil 4.38. $t=80$ s için kübik boşluk içerisinde bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

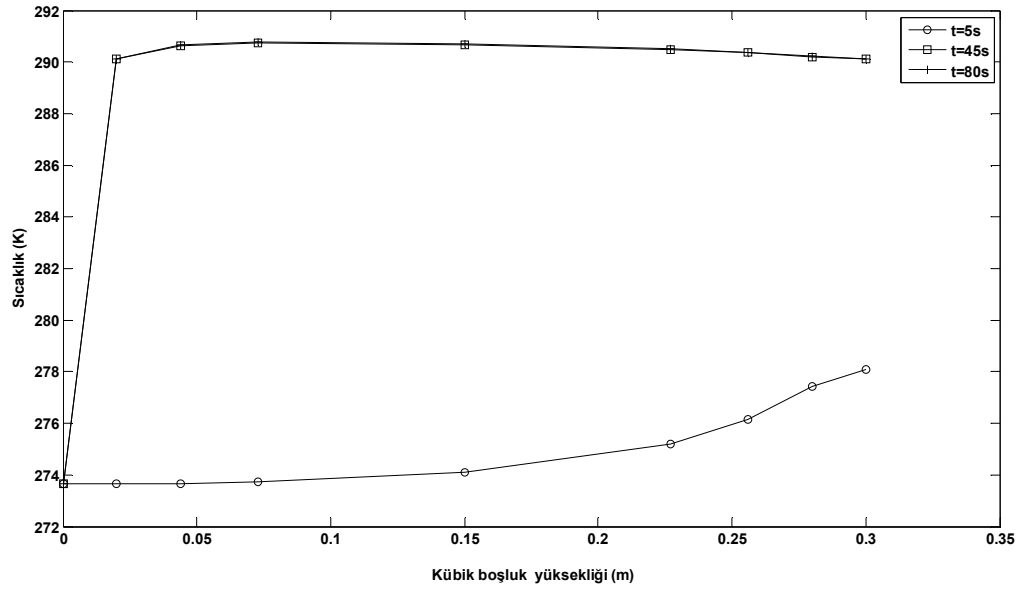
Şekil 4.39.'da $t=80$. saniyede 1. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da $y=0,02$ m' ye kadar (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar artarak 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 278°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 277°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Kırk beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.39. $x/X=0$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

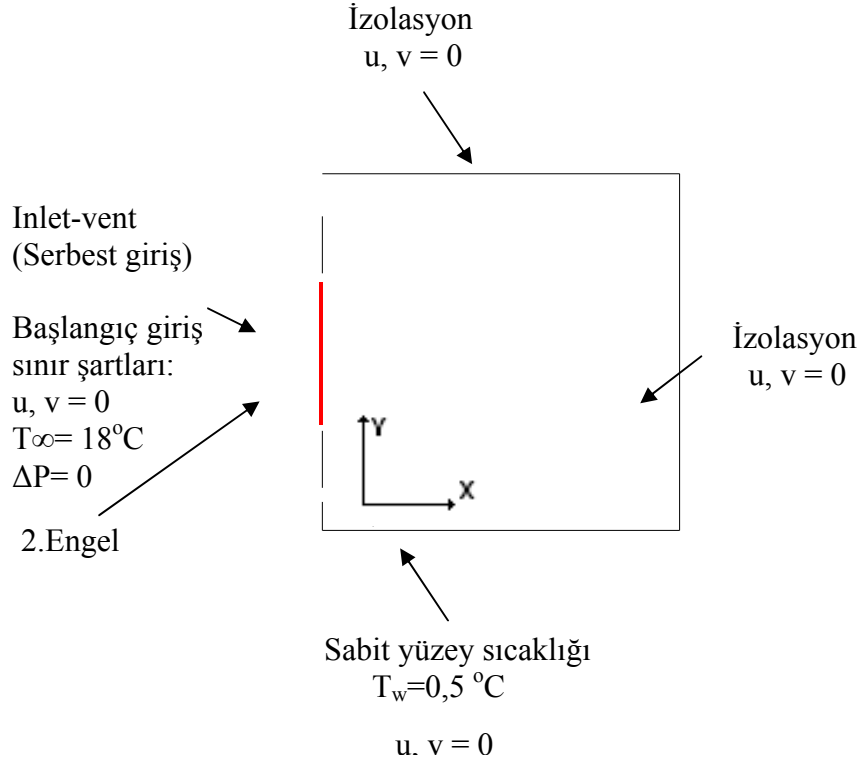


Şekil 4.40. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



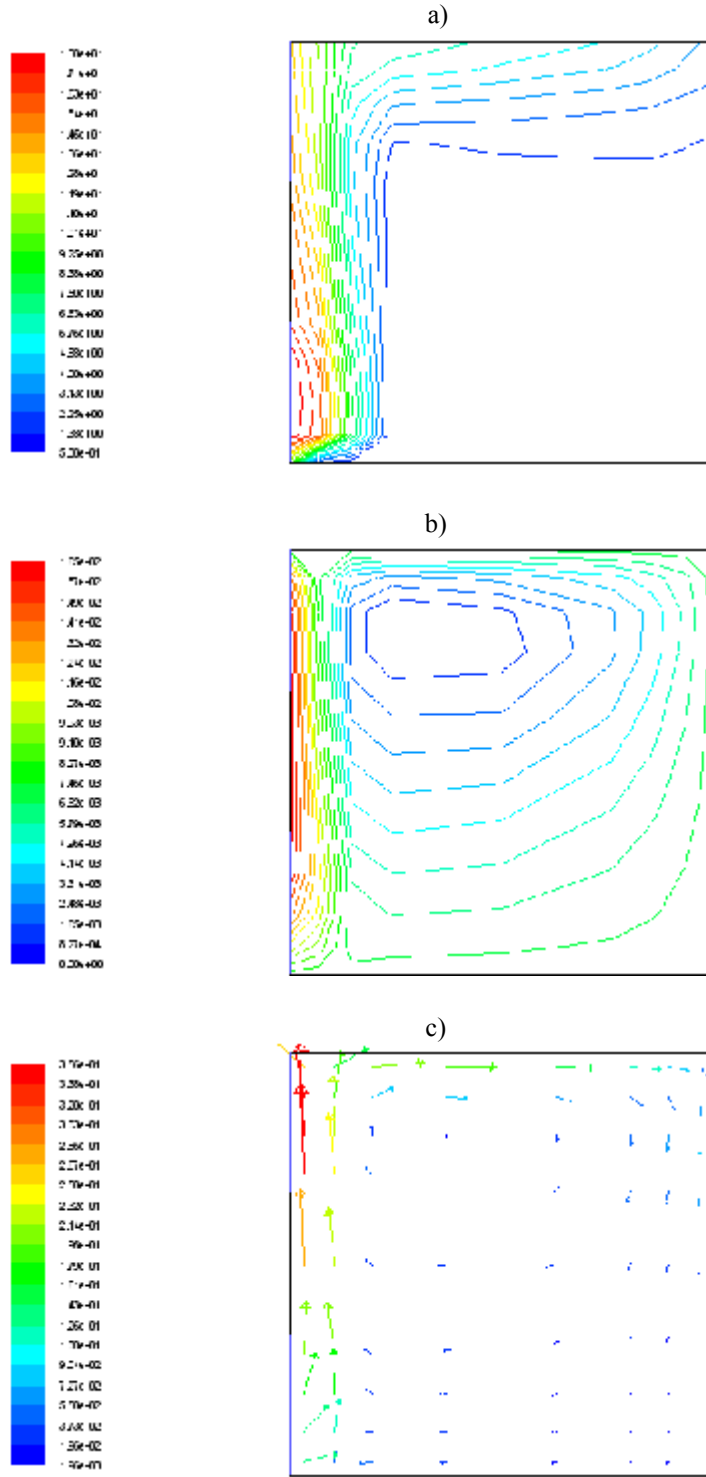
Şekil 4.41. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.2.2. 2. Engel

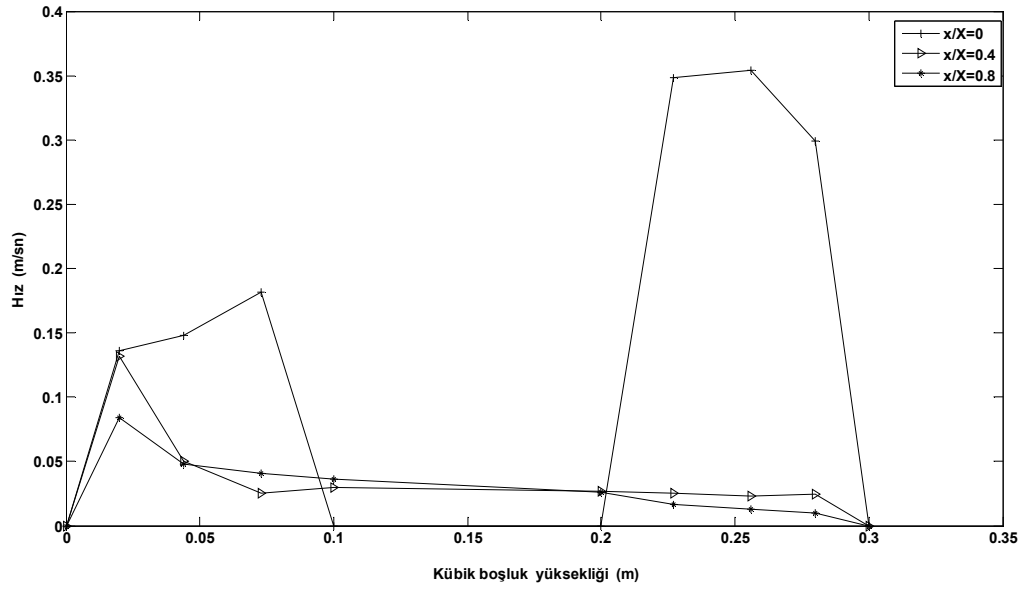


Şekil 4.42. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

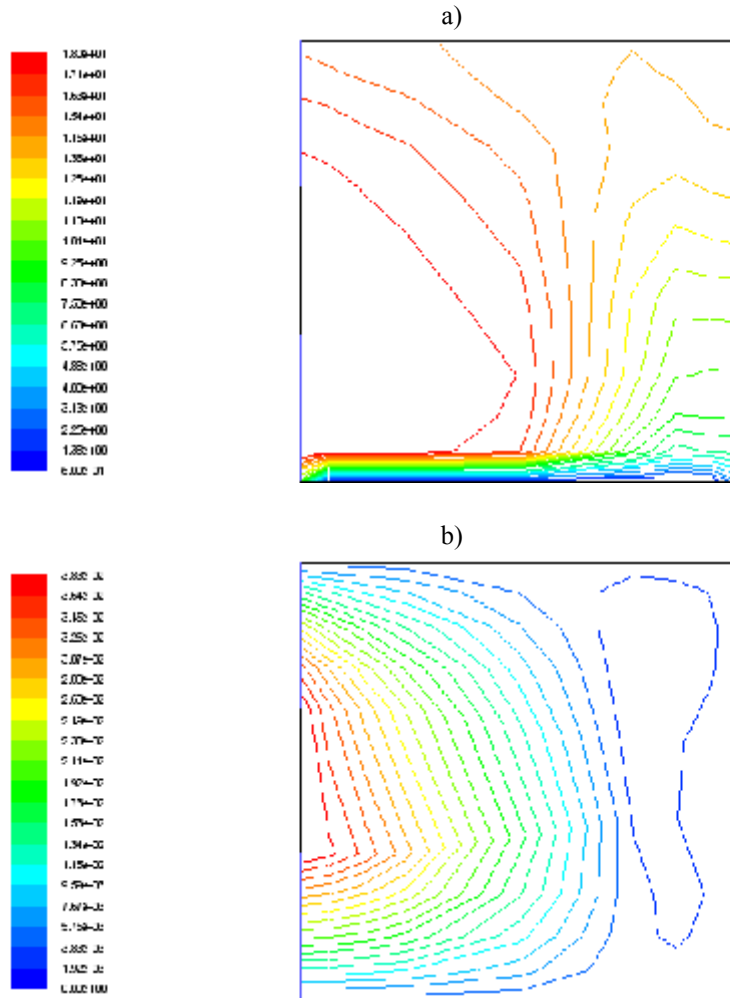
Kübik boşluğun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1m ile 0,2m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.43. a, b ve c' de 2. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 2. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre küçük bir miktar artmıştır.

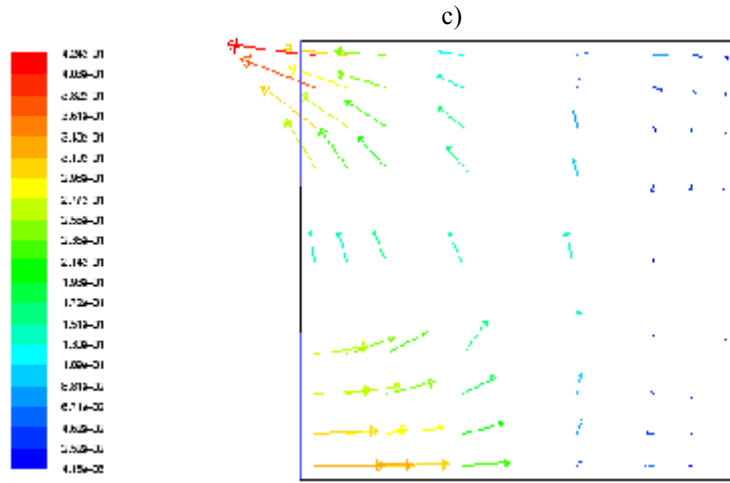


Şekil 4.43. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

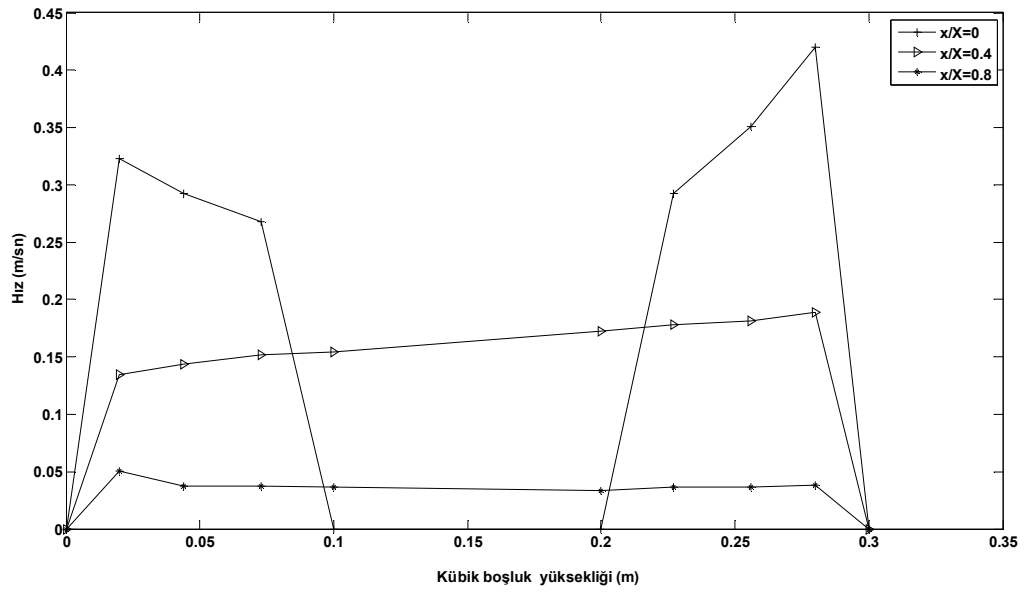


Şekil 4.44. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

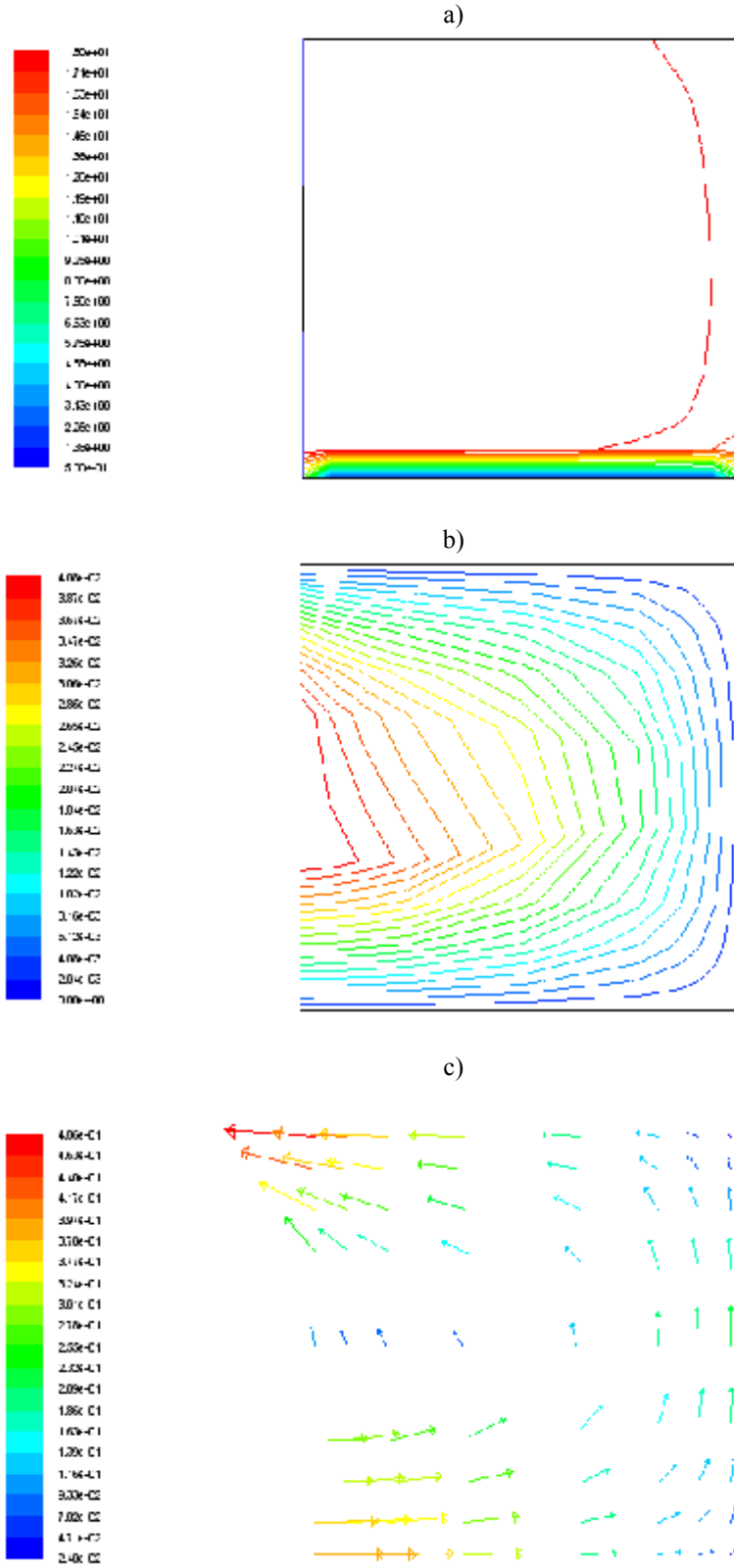




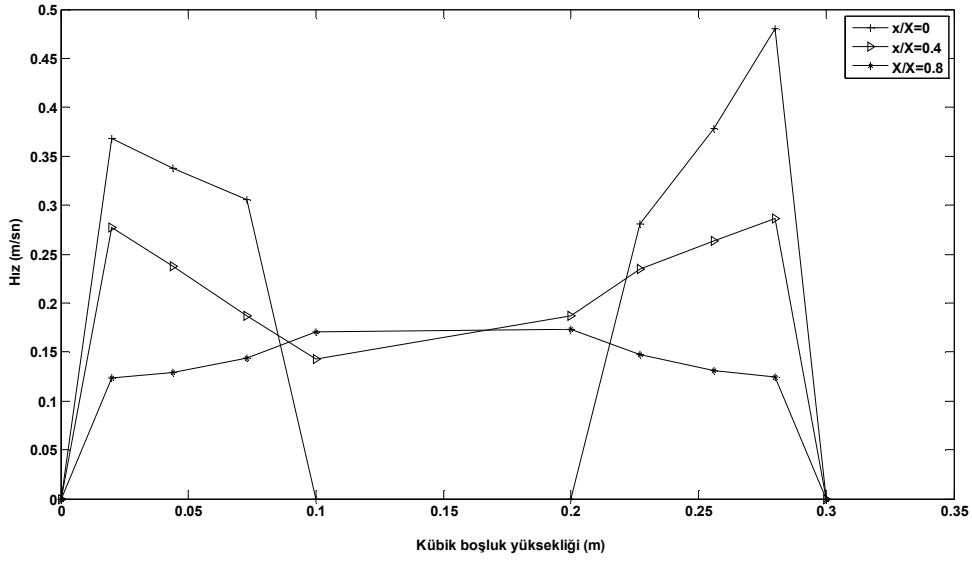
Şekil 4.45. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.46. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

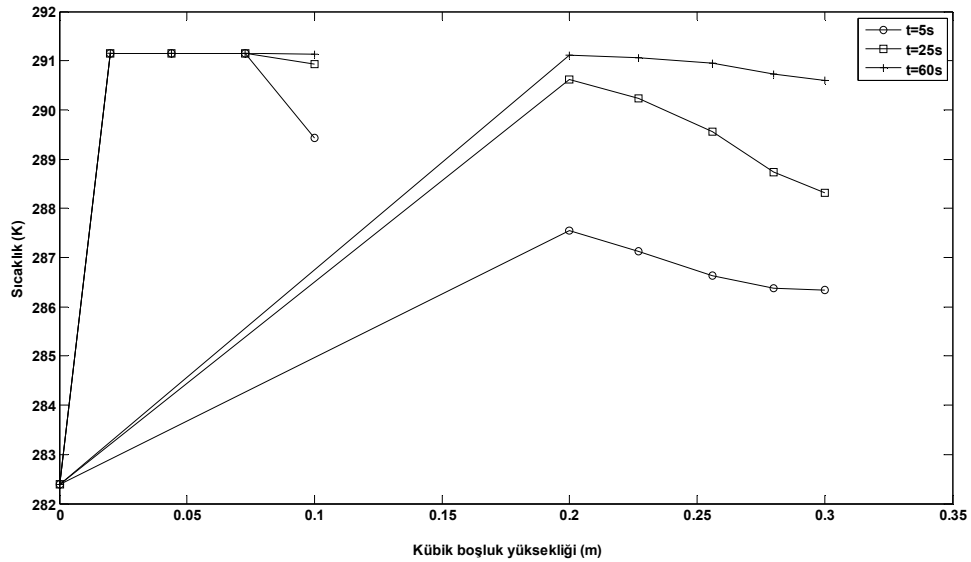


Şekil 4.47. $t=60$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

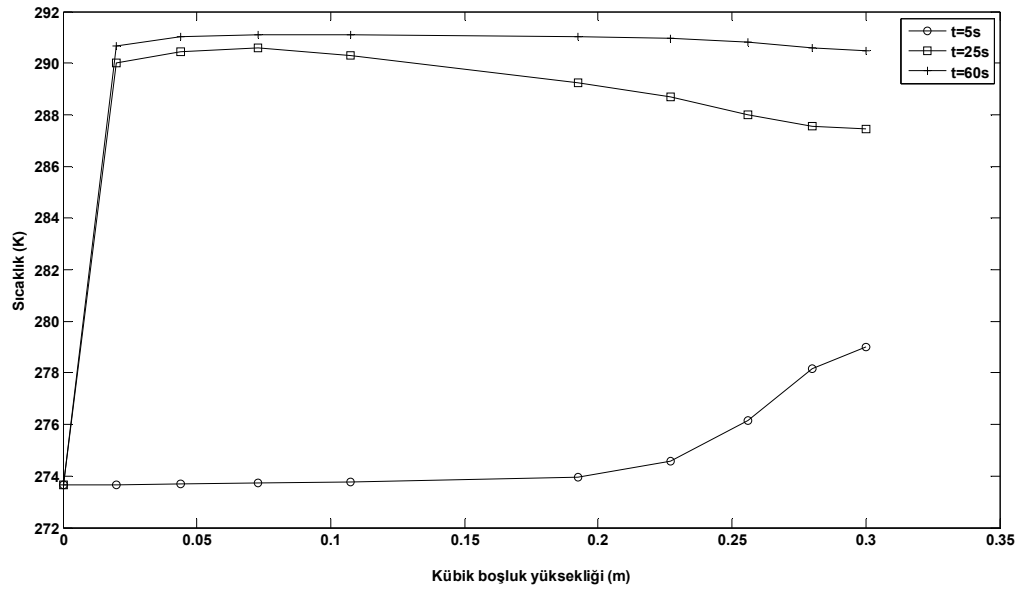


Şekil 4.48. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

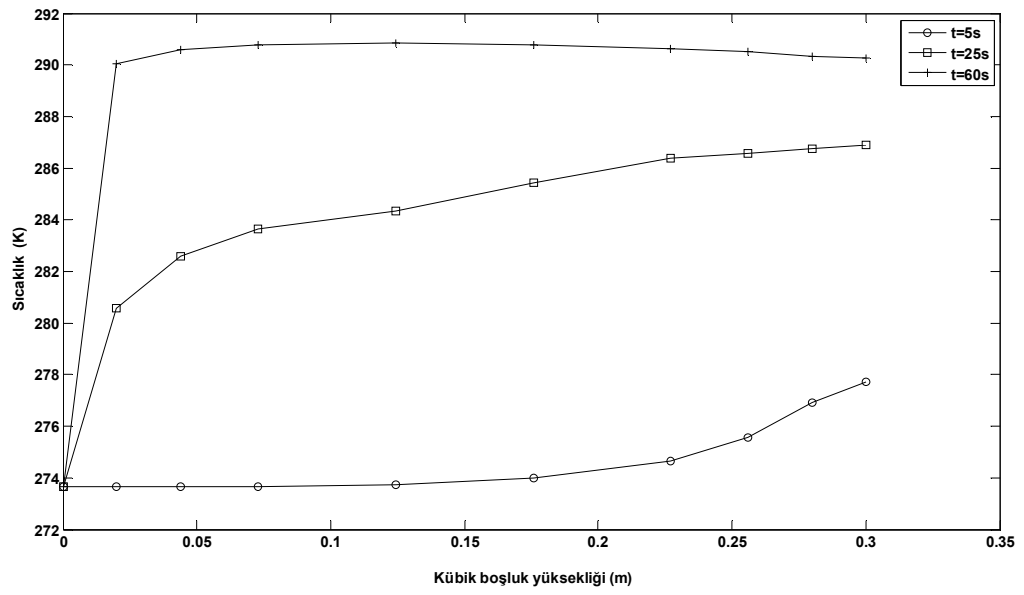
Şekil 4.149.'da $t=60$. saniyede 2. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da $y=0,20$ m' ye kadar (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Kırk beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.49. $x/X=0$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

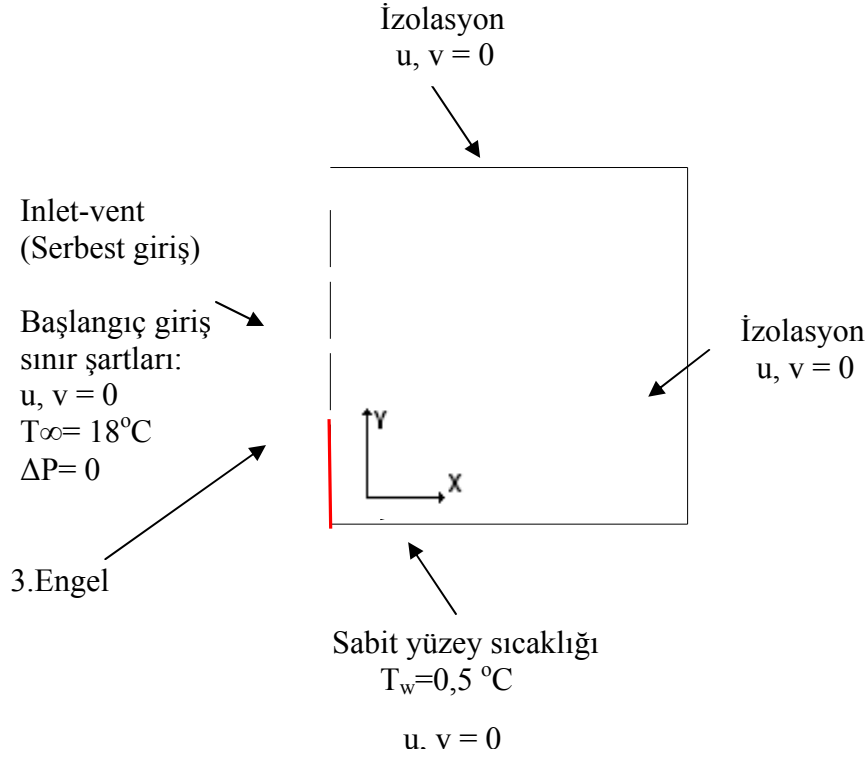


Şekil 4.50. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



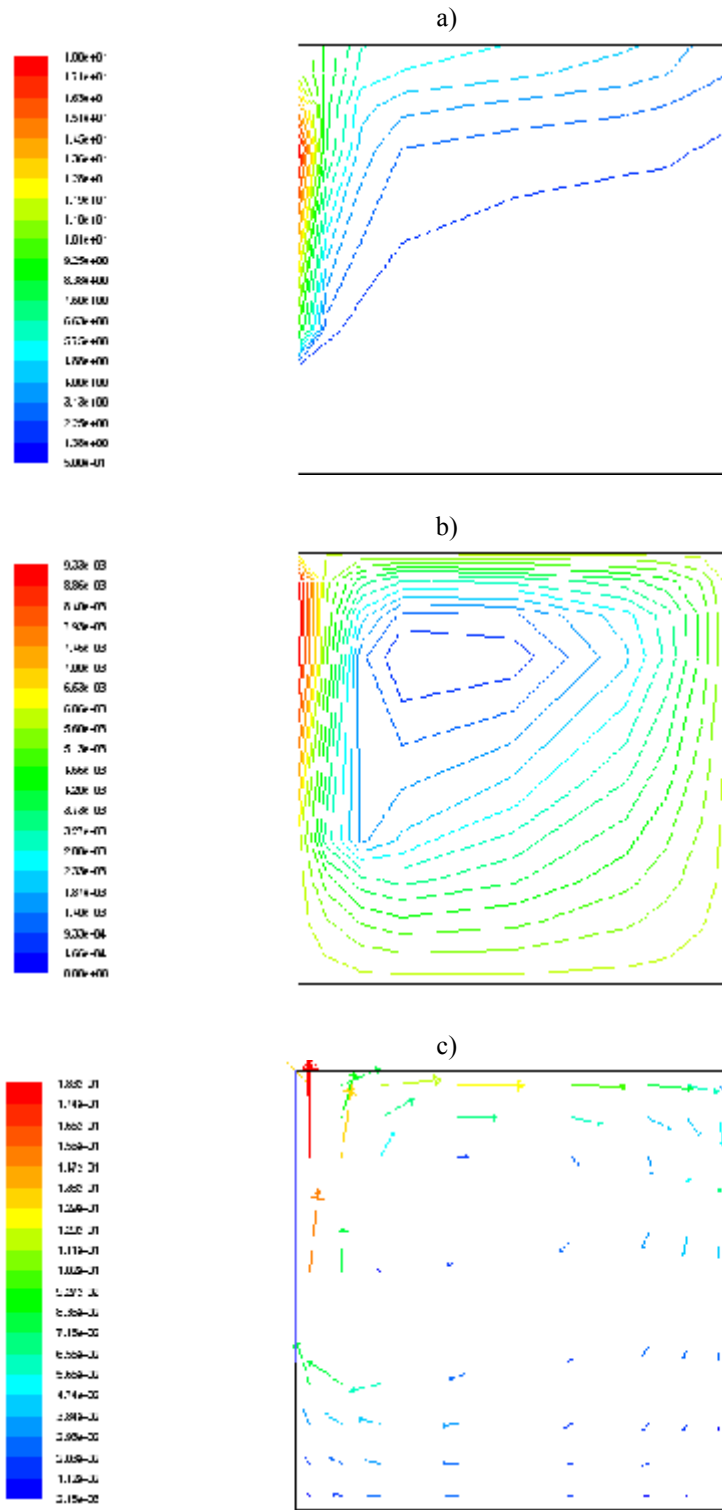
Şekil 4.51. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.2.3. 3. ENGEL

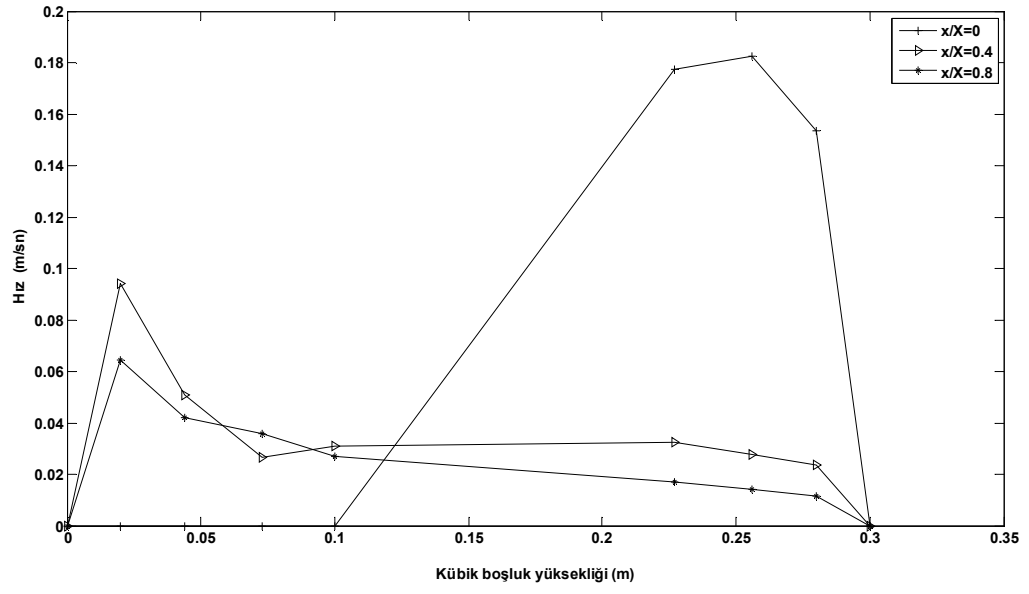


Şekil 4.52. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

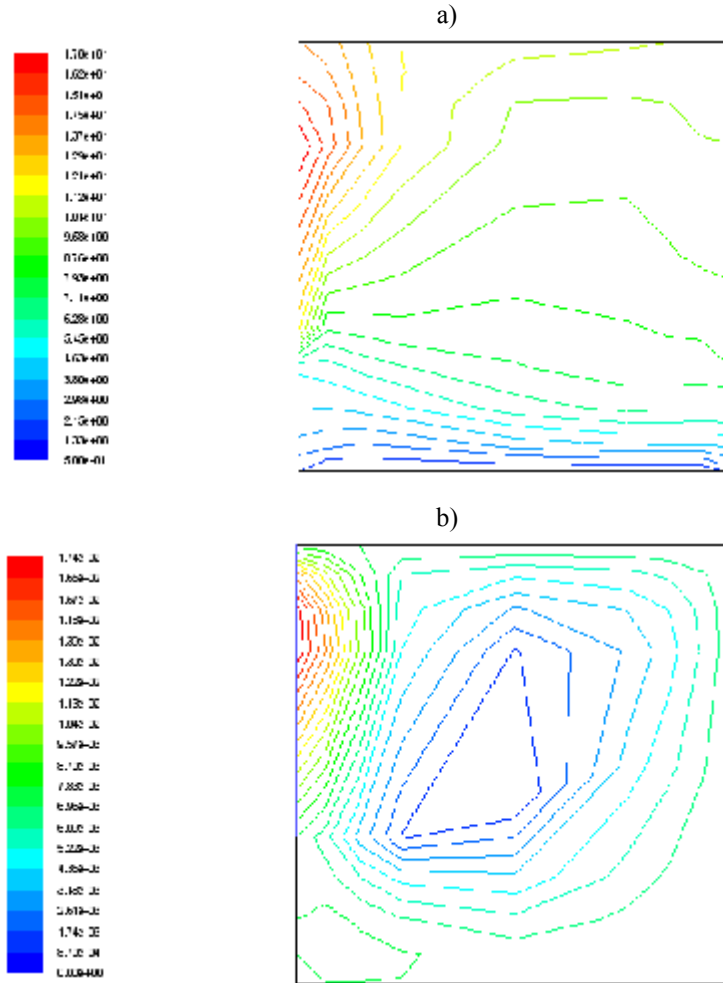
Kübik boşluğunun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1 m ile 0,2 m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.53. a, b ve c' de 3. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 3. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma yaklaşık dört katına çıkmıştır.

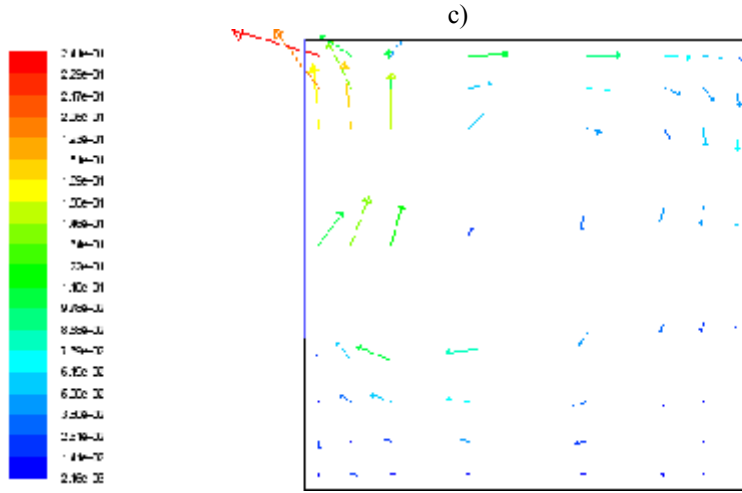


Şekil 4.53. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

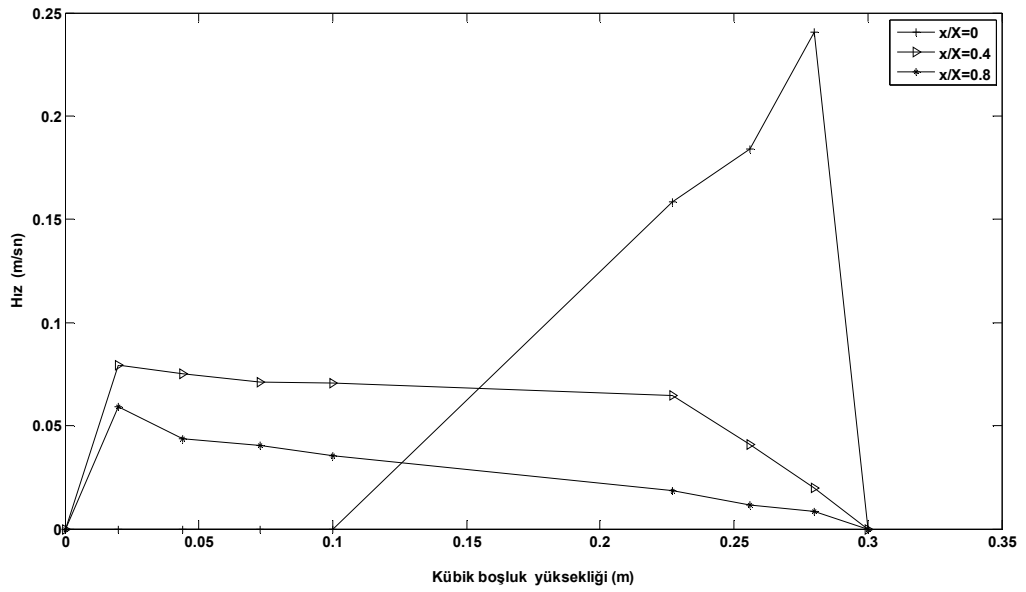


Şekil 4.54. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

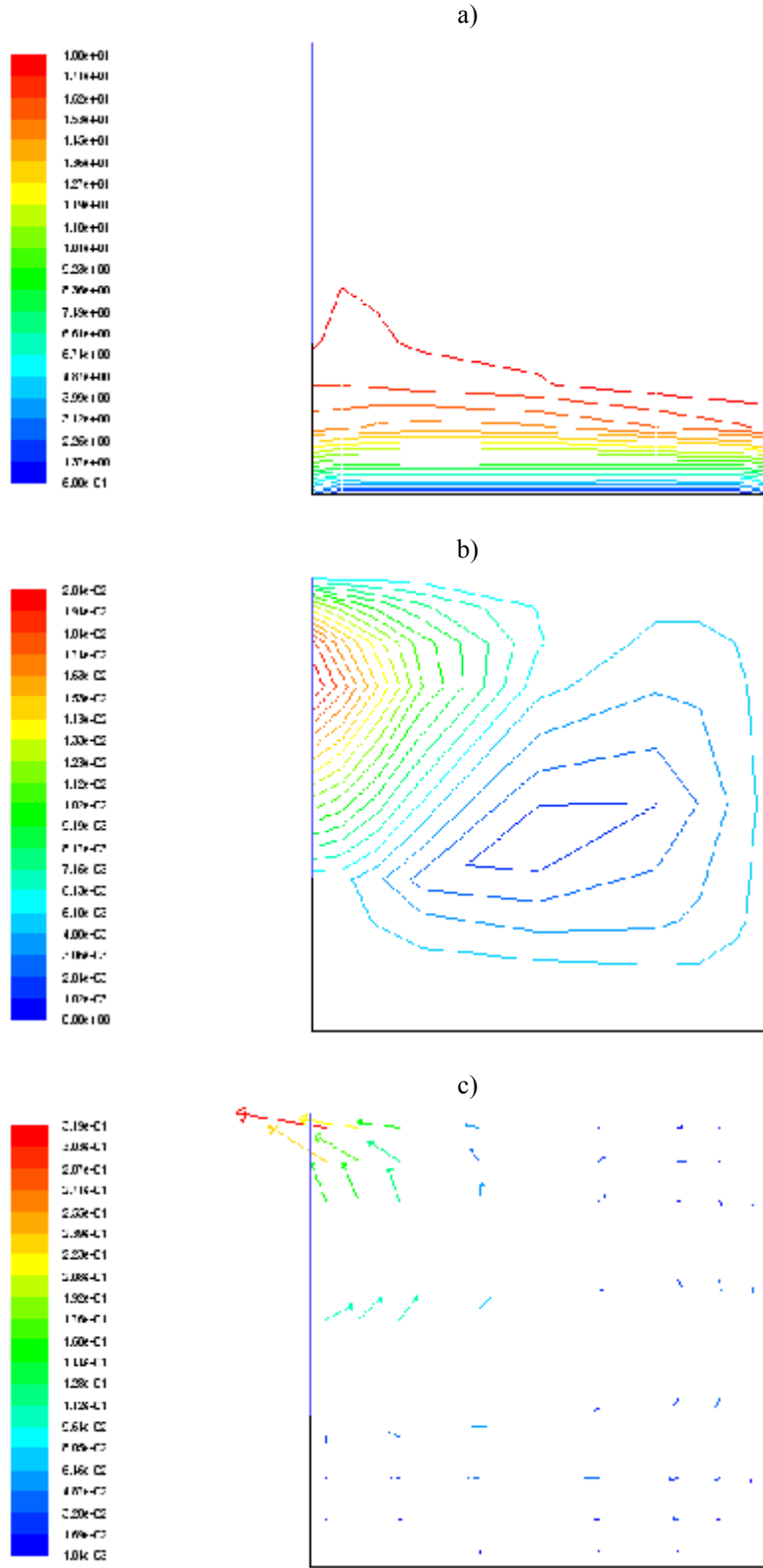




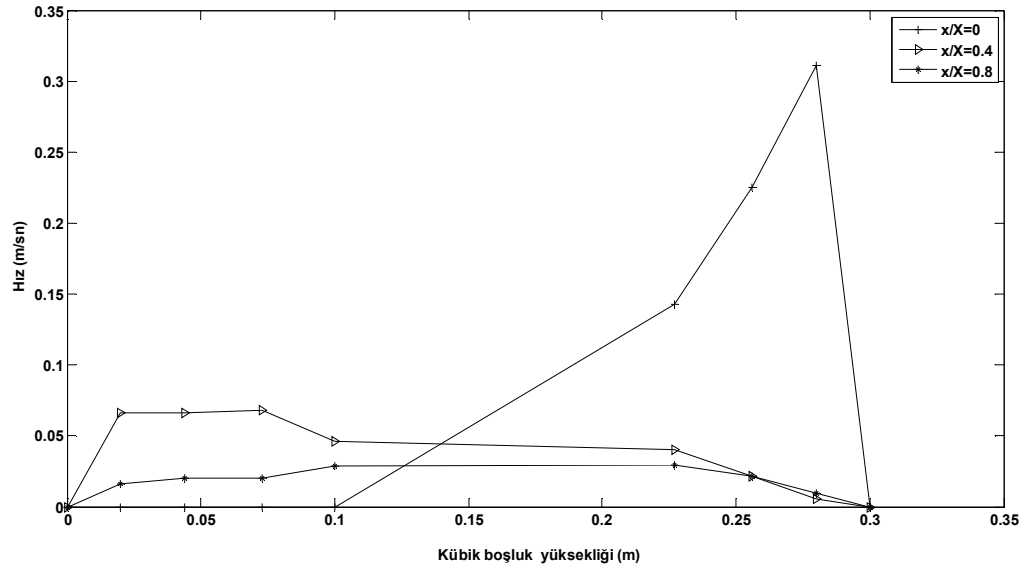
Şekil 4.55. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



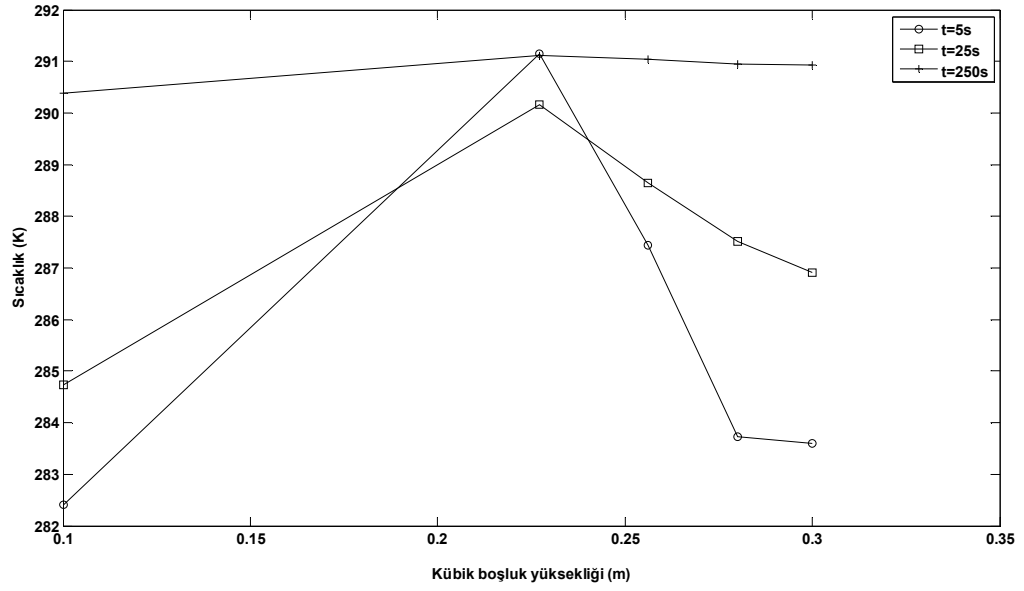
Şekil 4.56. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



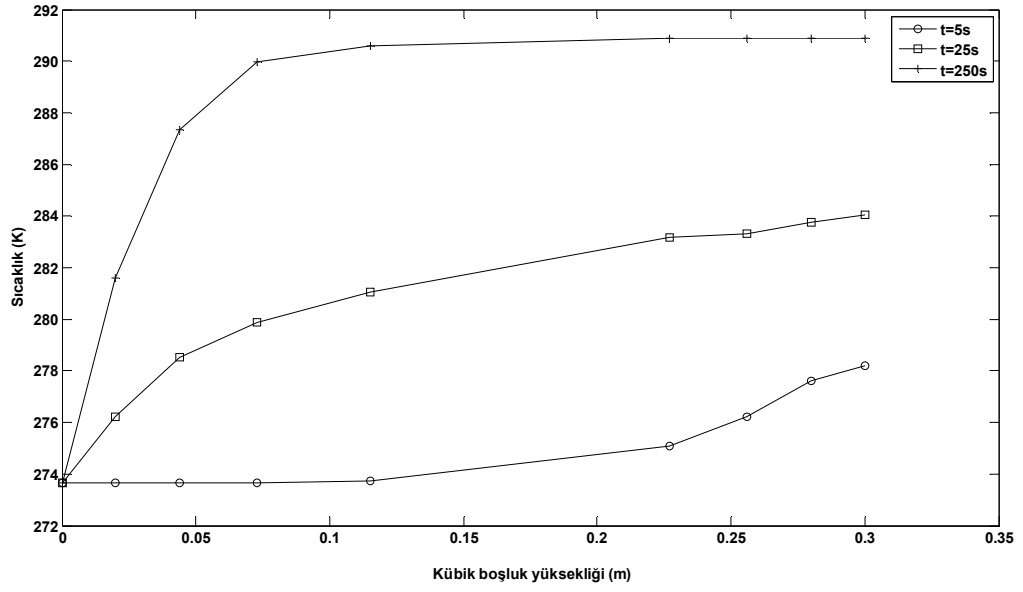
Şekil 4.57. $t=250$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



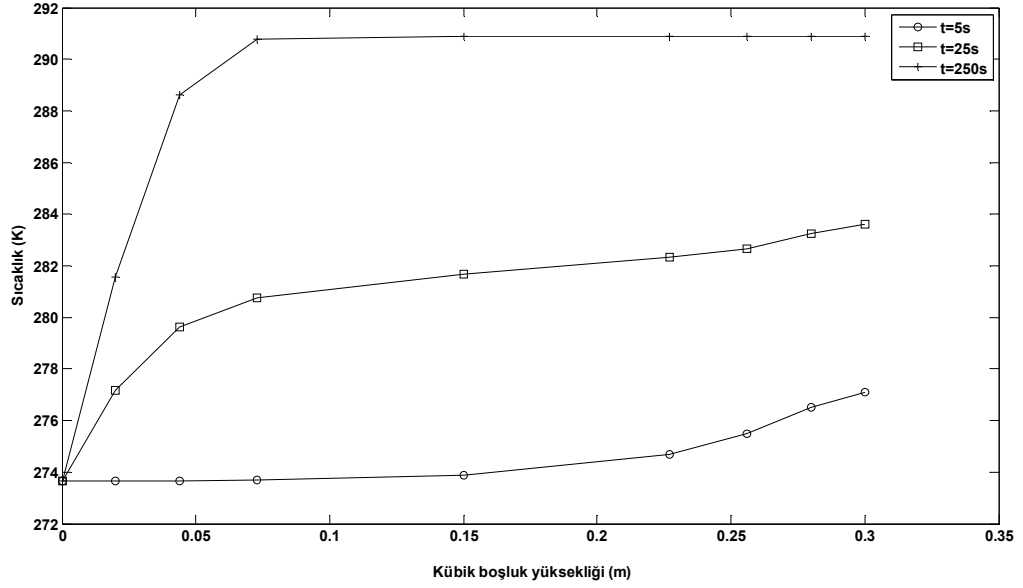
Şekil 4.58. $t=250$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.59. $x/X=0$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

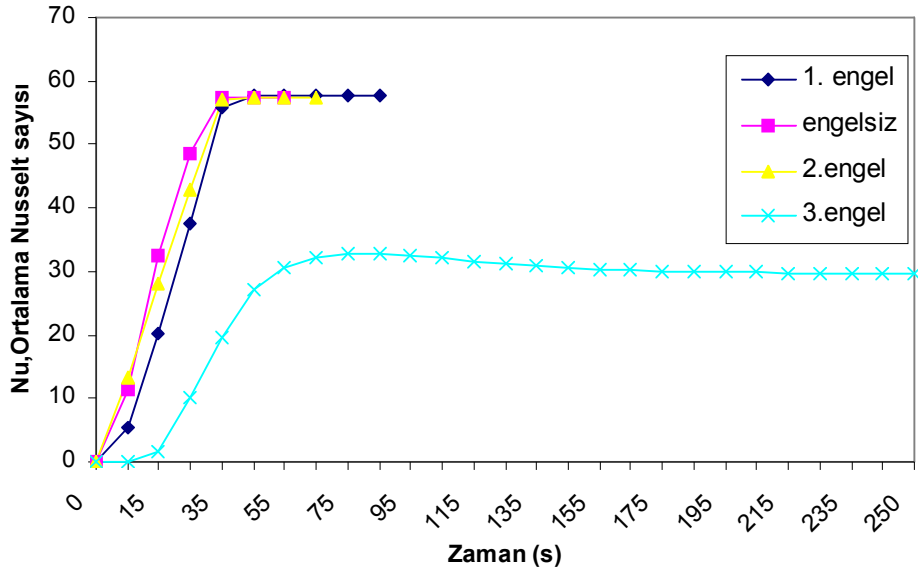


Şekil 4.60. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.61. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Şekil 4.62.'de $t=250$. saniyede 3. engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 274°K - 278°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 274°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Yüz yirmi beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



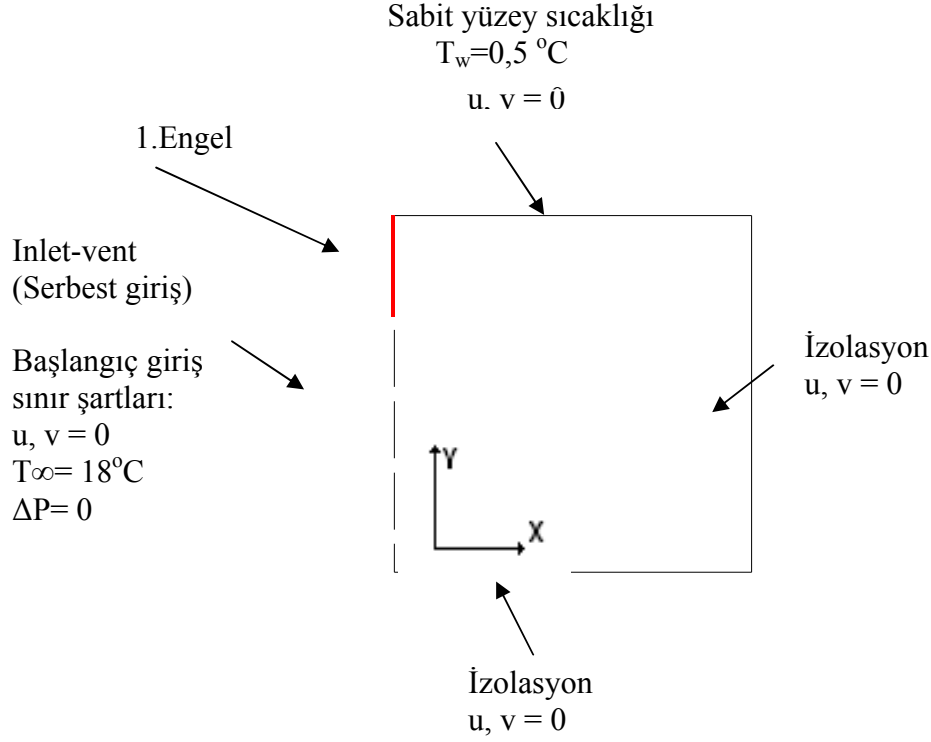
Şekil 4.62. II. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi

Sonuç olarak 3. tip engelin sıcaklık ve hız değişimi üzerinde etkisi diğer engellerden çok olmuş, kübik boşluğun daha geç rejime gelmesine sebep olmuştur. Diğer engellerin etkisi az olup kübik boşluk engelsiz durumla yaklaşık aynı zamanda rejime gelmektedir. Kübik boşluk girişine yerleştirilen engellerin ısı transferine etkisi Şekil 4.63.' de verilmiştir. Her bir engelli durum için sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları engelsiz durumla karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi 3. engel durumunda kübik boşluk içerisindeki ısı transferi diğer engelli durumlar ve engelsiz duruma göre daha az olmaktadır. Ayrıca 3. engel durumunda kübik boşluk yaklaşık diğer durumlara göre dört kat daha uzun sürede rejime gelmektedir.

Bununla birlikte 1. ve 2 engel ve engelsiz durumlarda kübik boşluk içerisinde olan ısı transferi yaklaşık eşit değerlerde değişmektedir. Üçüncü engel durumunda 65. saniyeye kadar Nusselt sayısı hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 32 değerine çıkmaktadır. Bu zaman adımıdan sonra çok yavaş düşerek maksimum 29'a ulaşmaktadır. Diğer durumlarda ise Nusselt sayısı 35. saniyeye kadar hızlı bir şekilde artarak ortalama 55'e çıkmakta ve daha sonra yavaş bir artışla maksimum 57 olmaktadır.

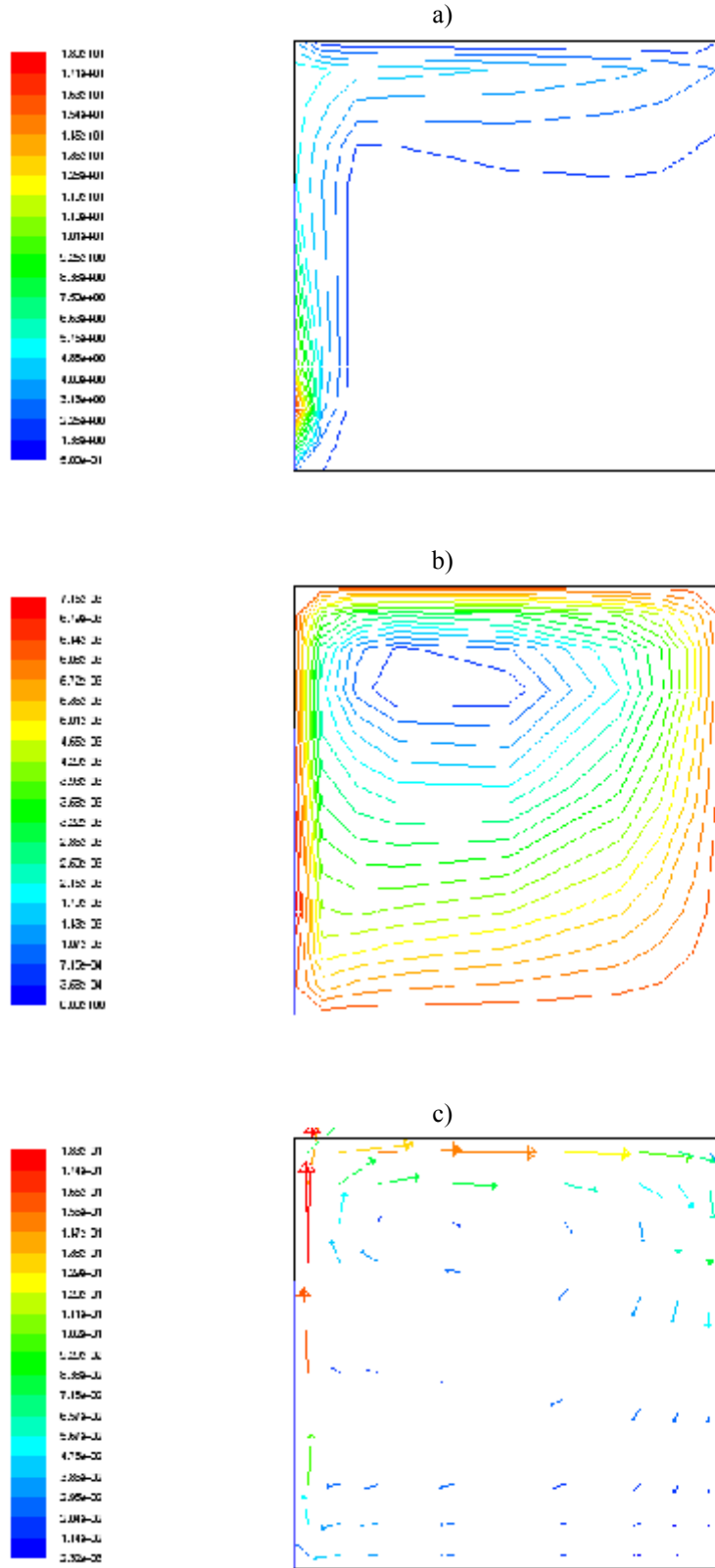
4.3. III. Durum İçin Engelli Durumlar

4.3.1. 1.Engel

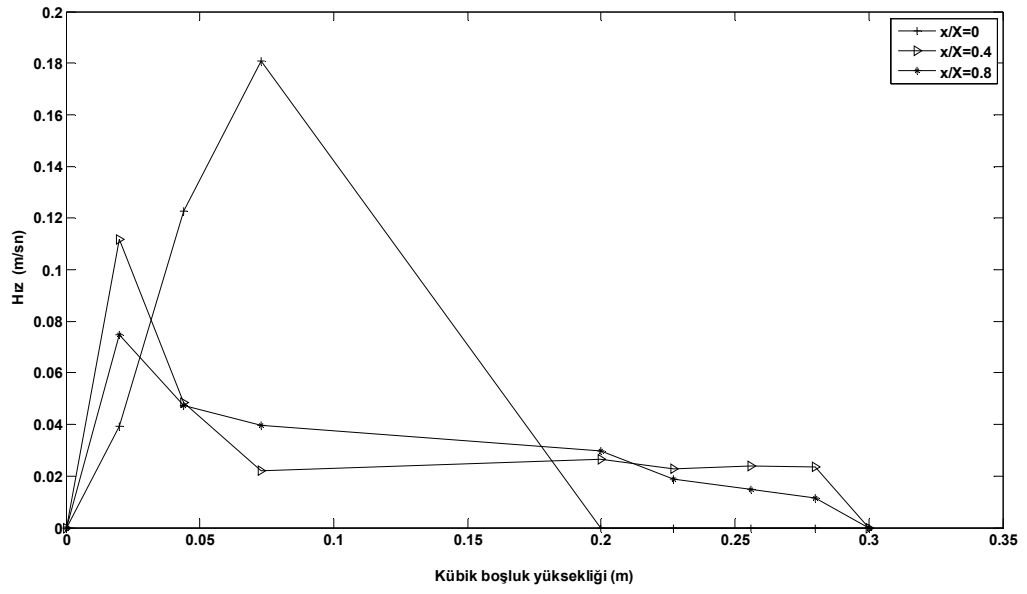


Şekil 4.63. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

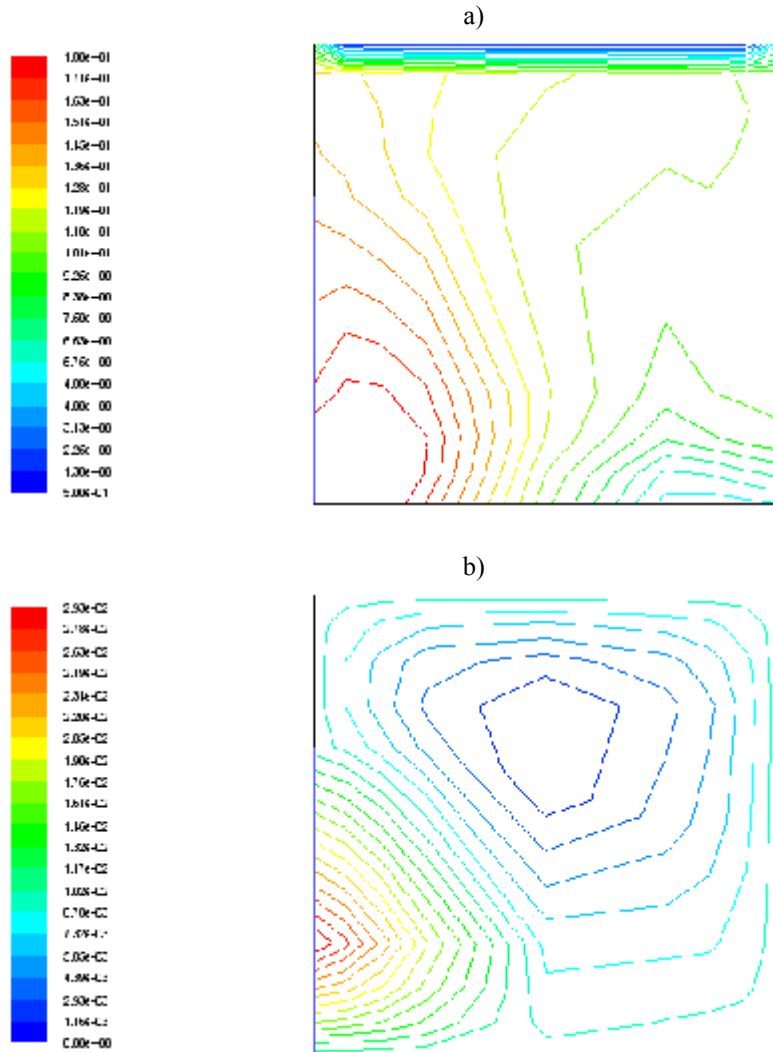
Kübik boşluğun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) üstten 0,1 m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.64. a, b ve c' de 1. engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 1. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre küçük bir miktar artmıştır.

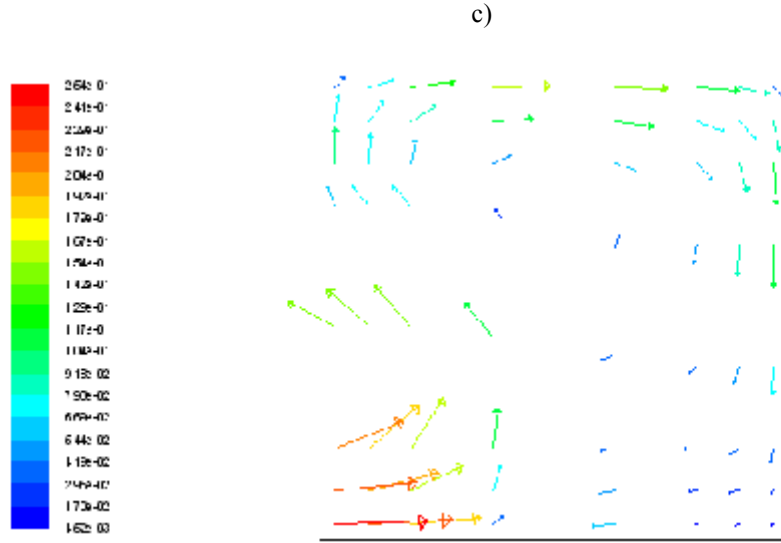


Şekil 4.64. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

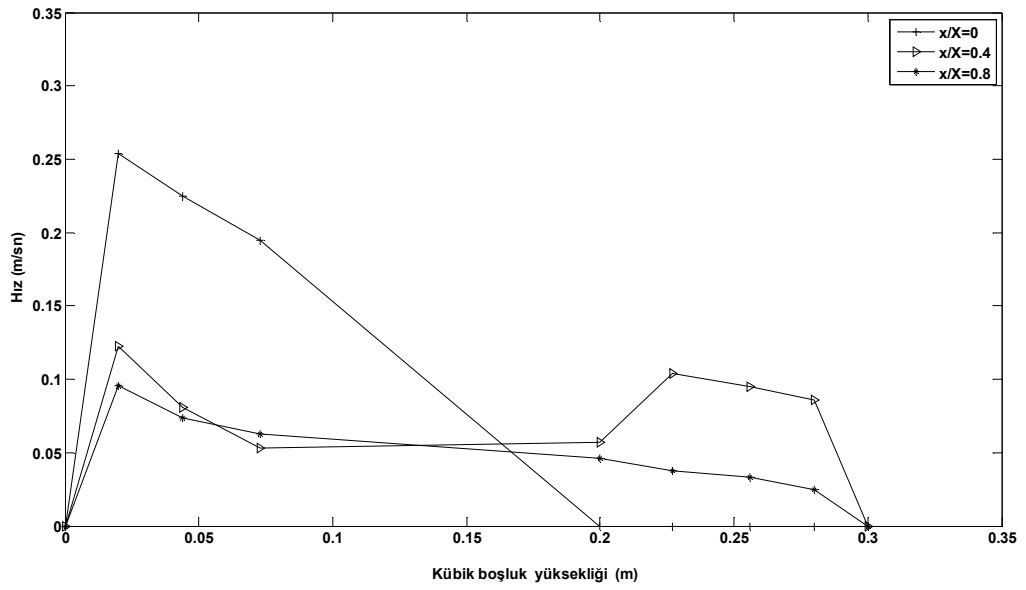


Şekil 4.65. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

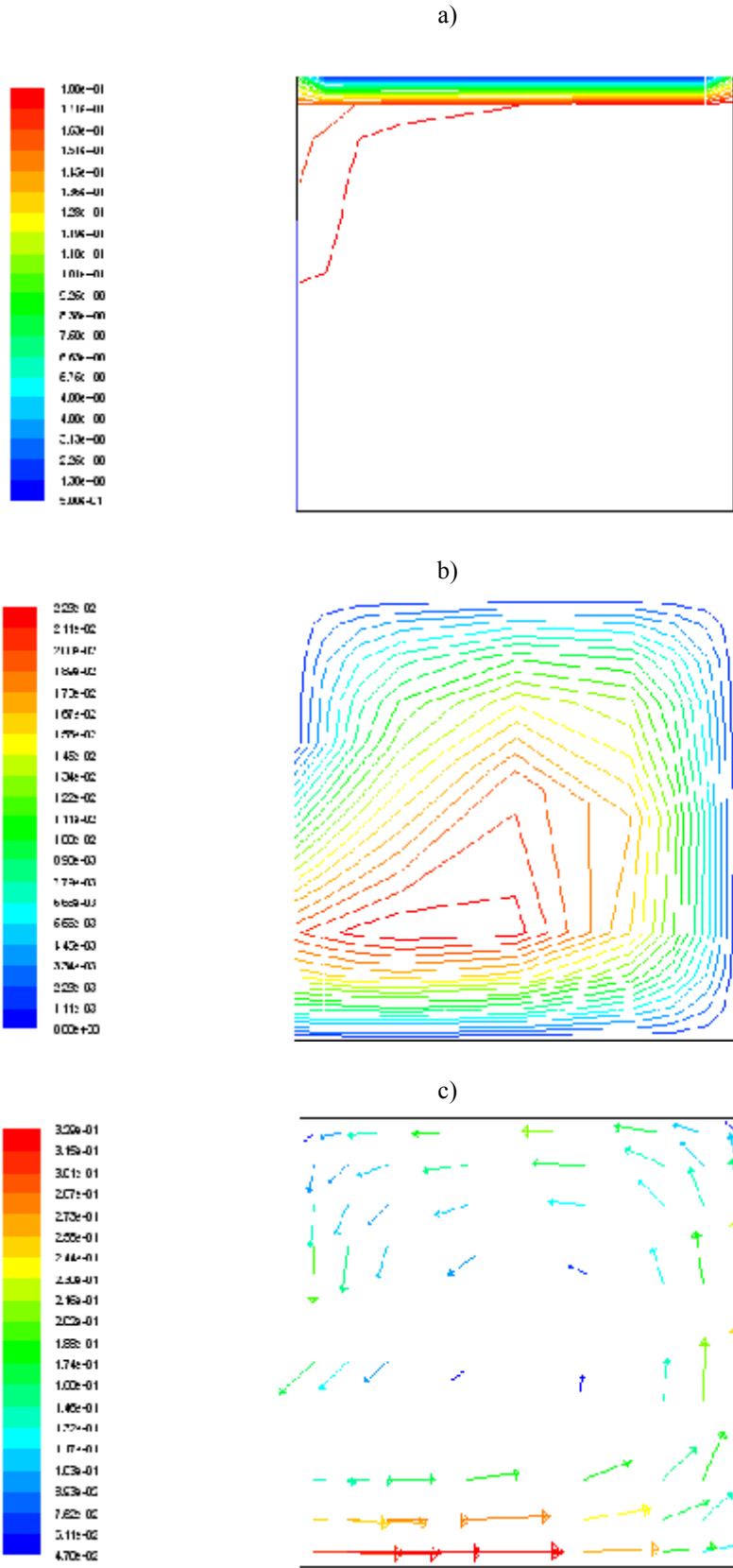




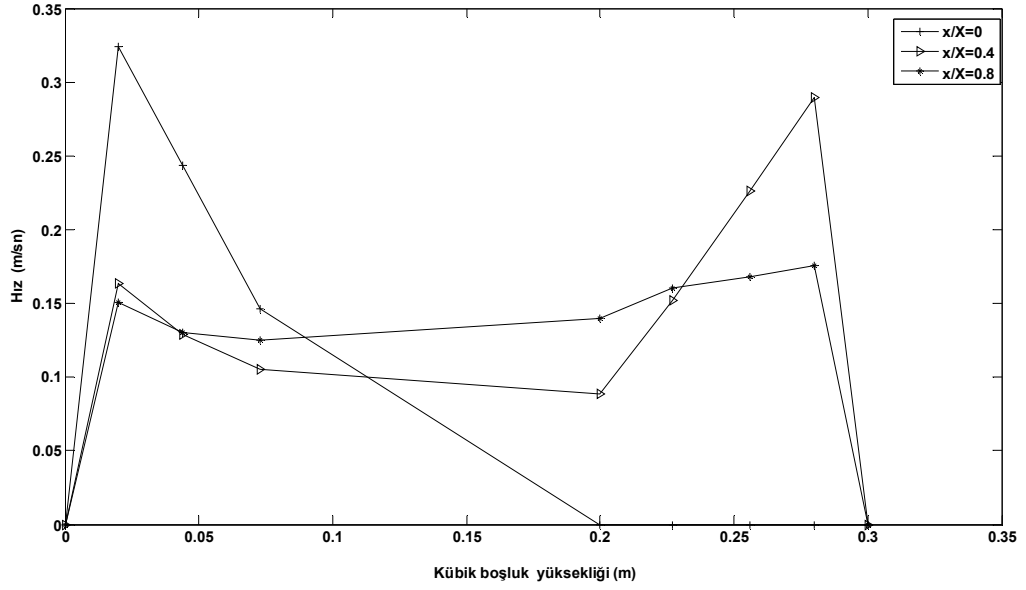
Şekil 4.66. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.67. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

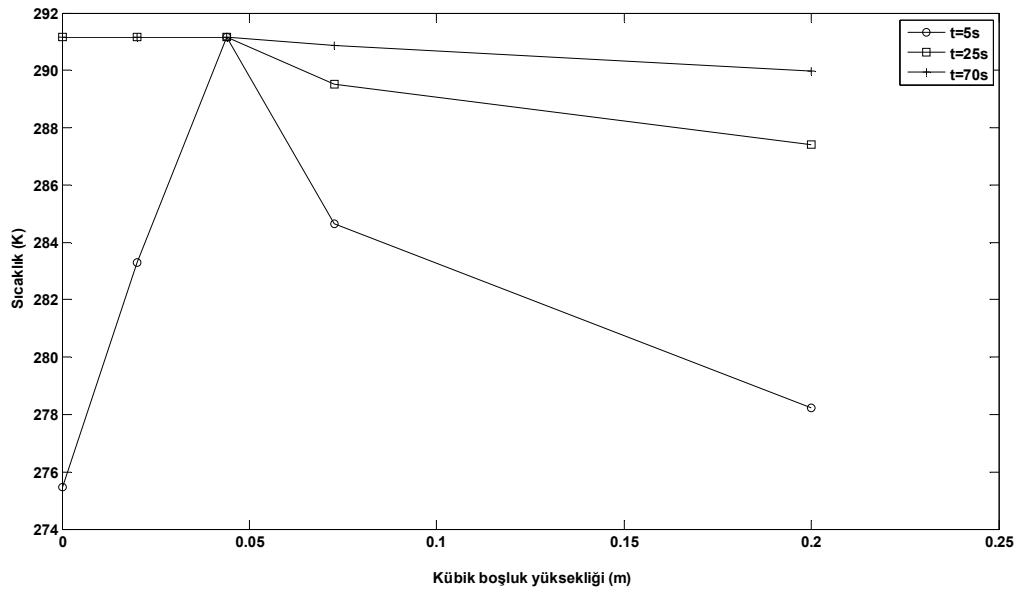


Şekil 4.68. $t=70$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

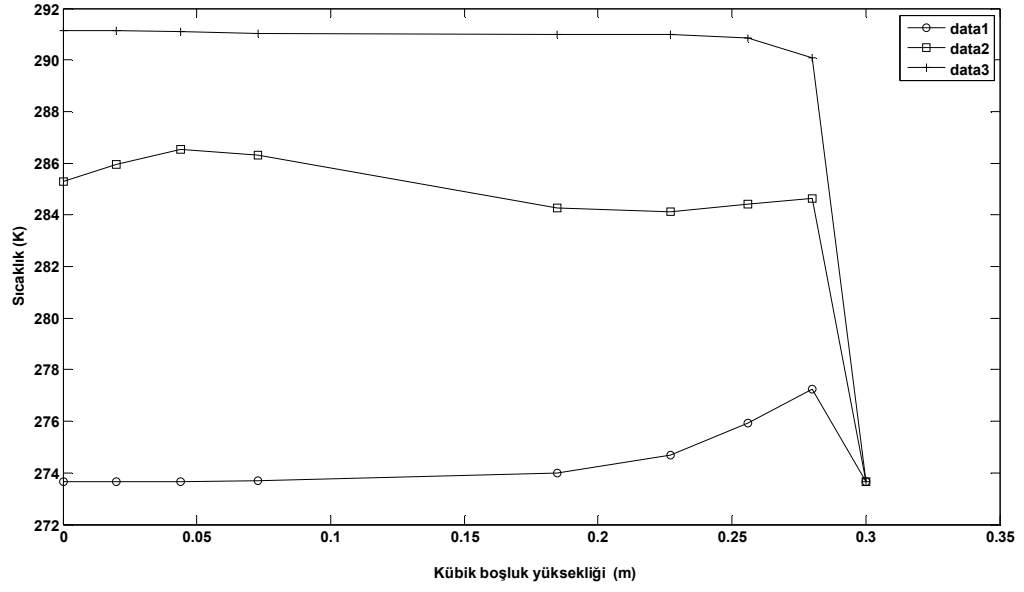


Şekil 4.69. $t=70$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

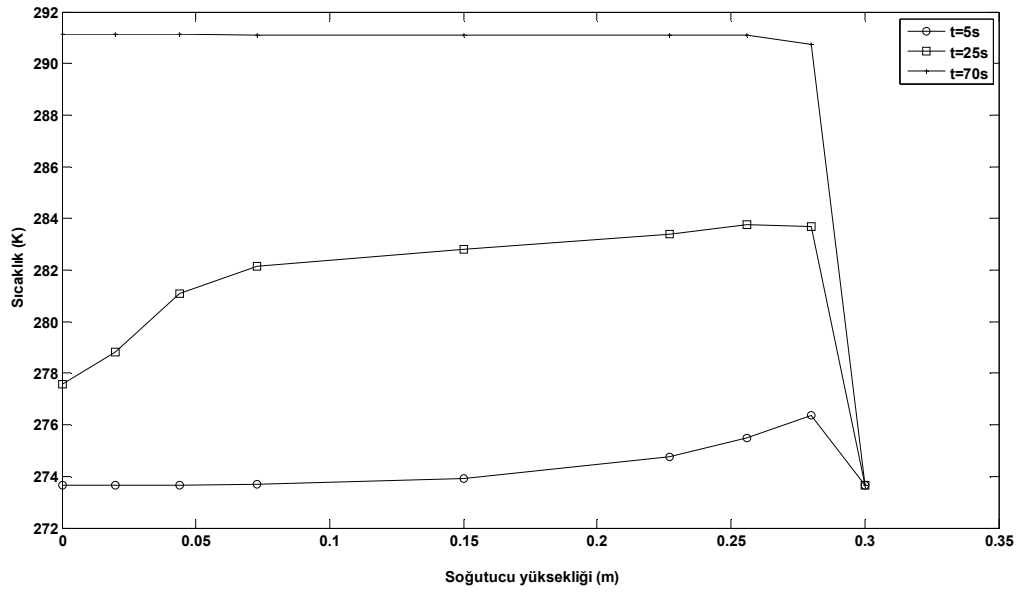
Şekil 4.70.'de $t=70$. saniyede 1. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da sıcaklık küçük bir miktar düşerek 289 K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273 °K- 277 °K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273 °K- 276 °K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Elli beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.70. $x/X=0$ 'da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

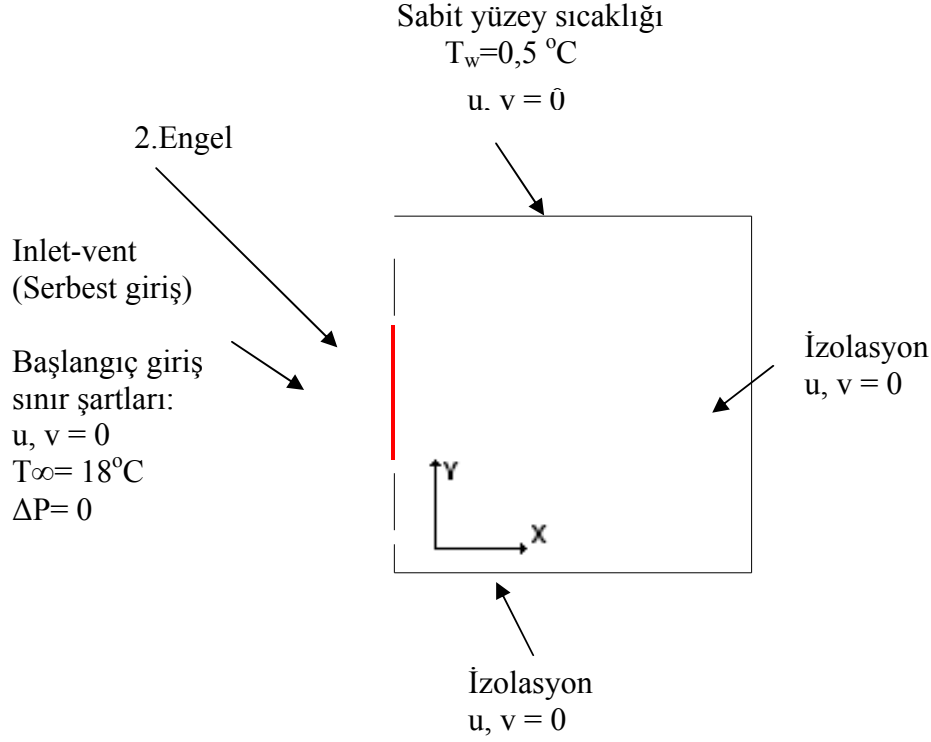


Şekil 4.71. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



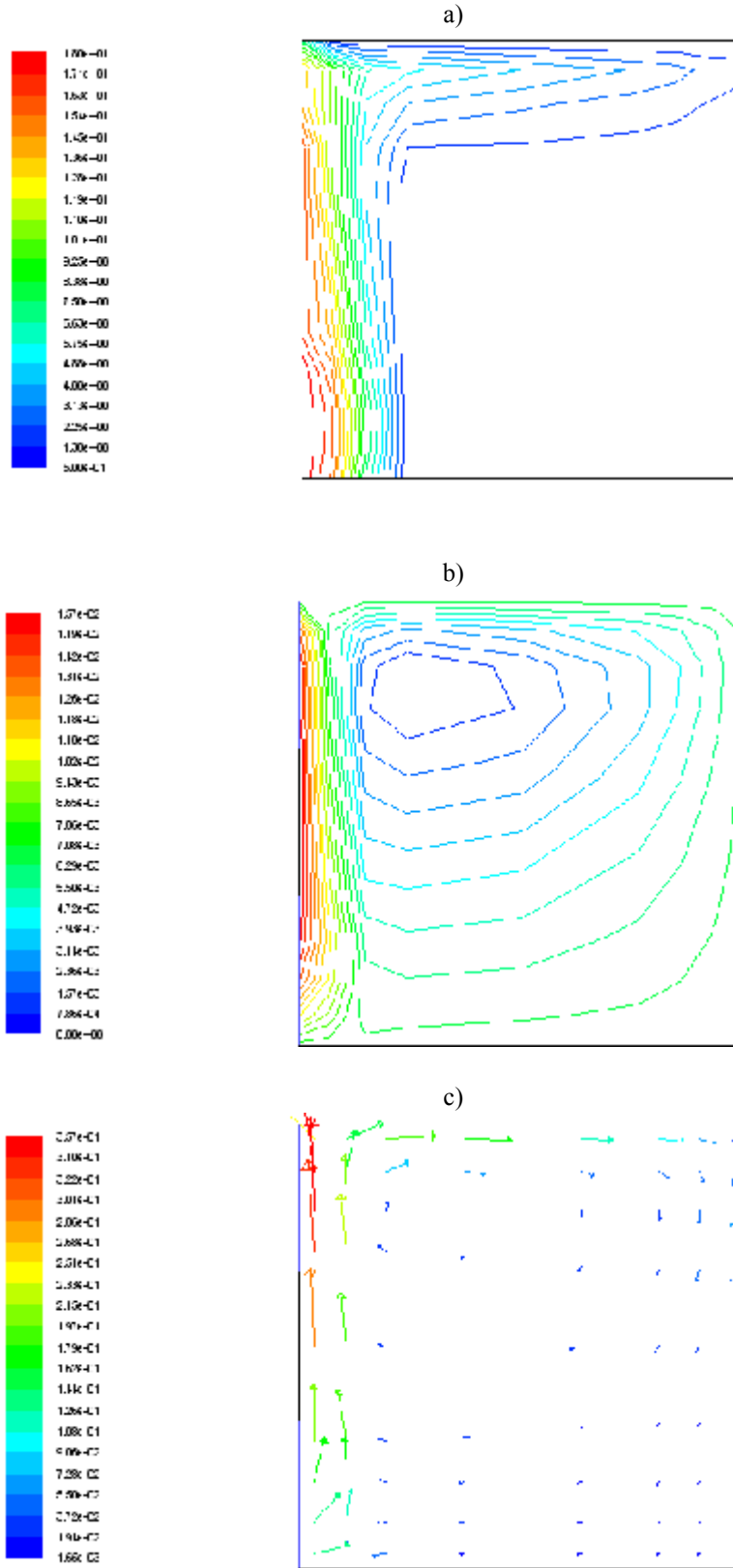
Şekil 4.72. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.3.2. 2. ENGEL

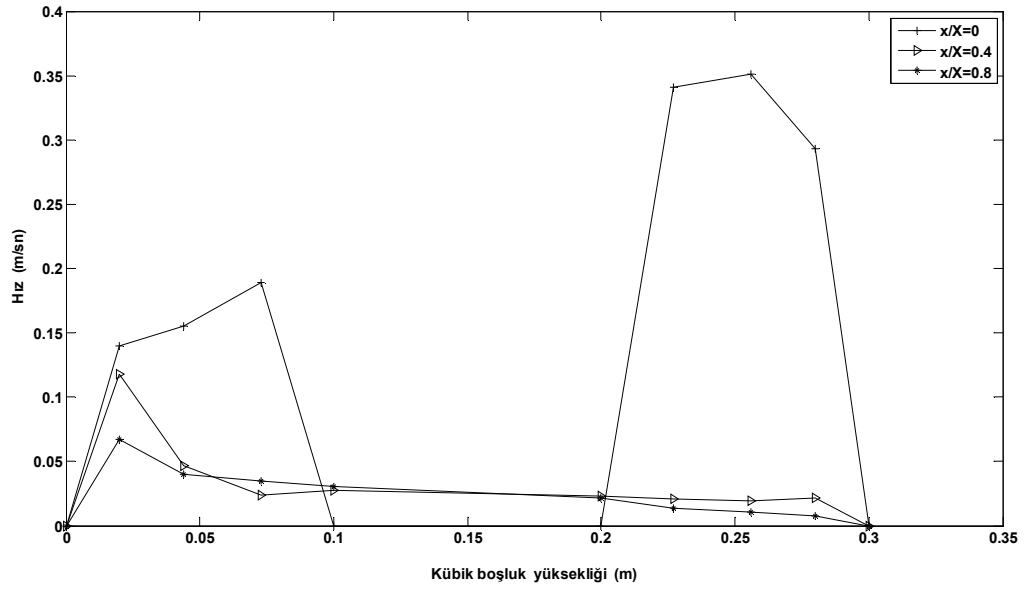


Şekil 4.73. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

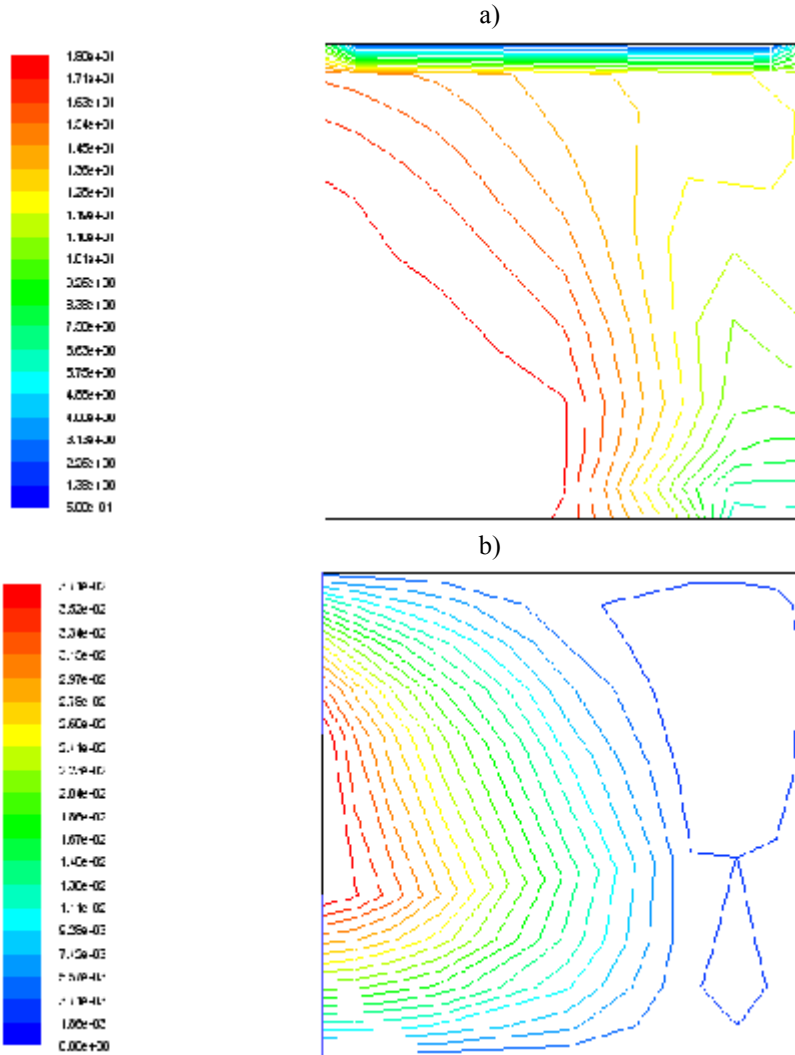
Kübik boşluğun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1 m ile 0,2 m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.74. a, b ve c' de 2. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 2. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre değişim olmamıştır.

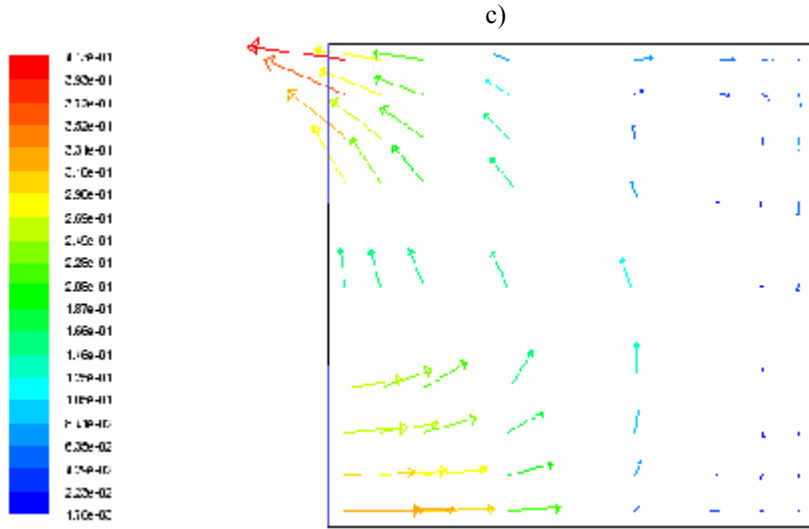


Şekil 4.74. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

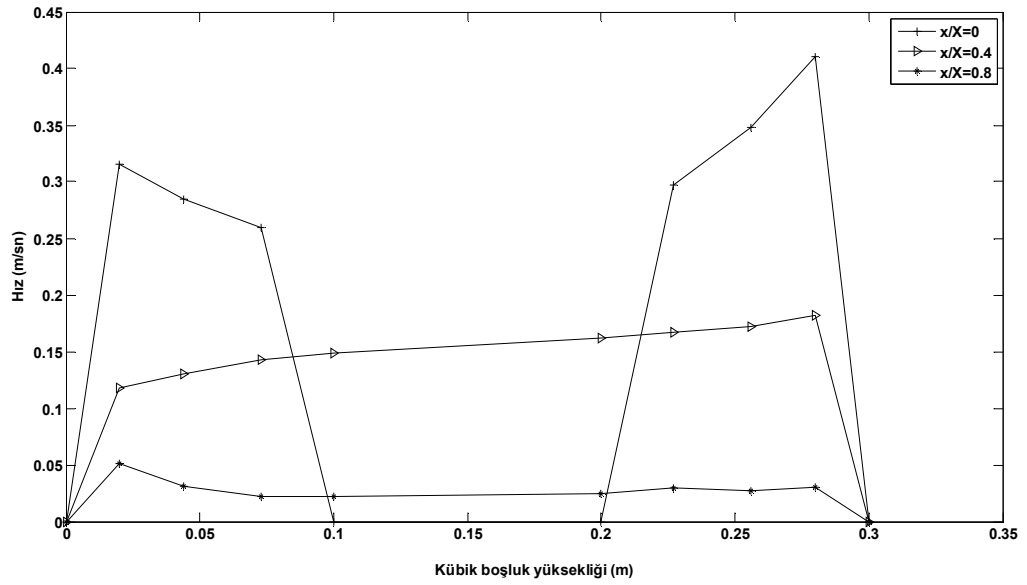


Şekil 4.75. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

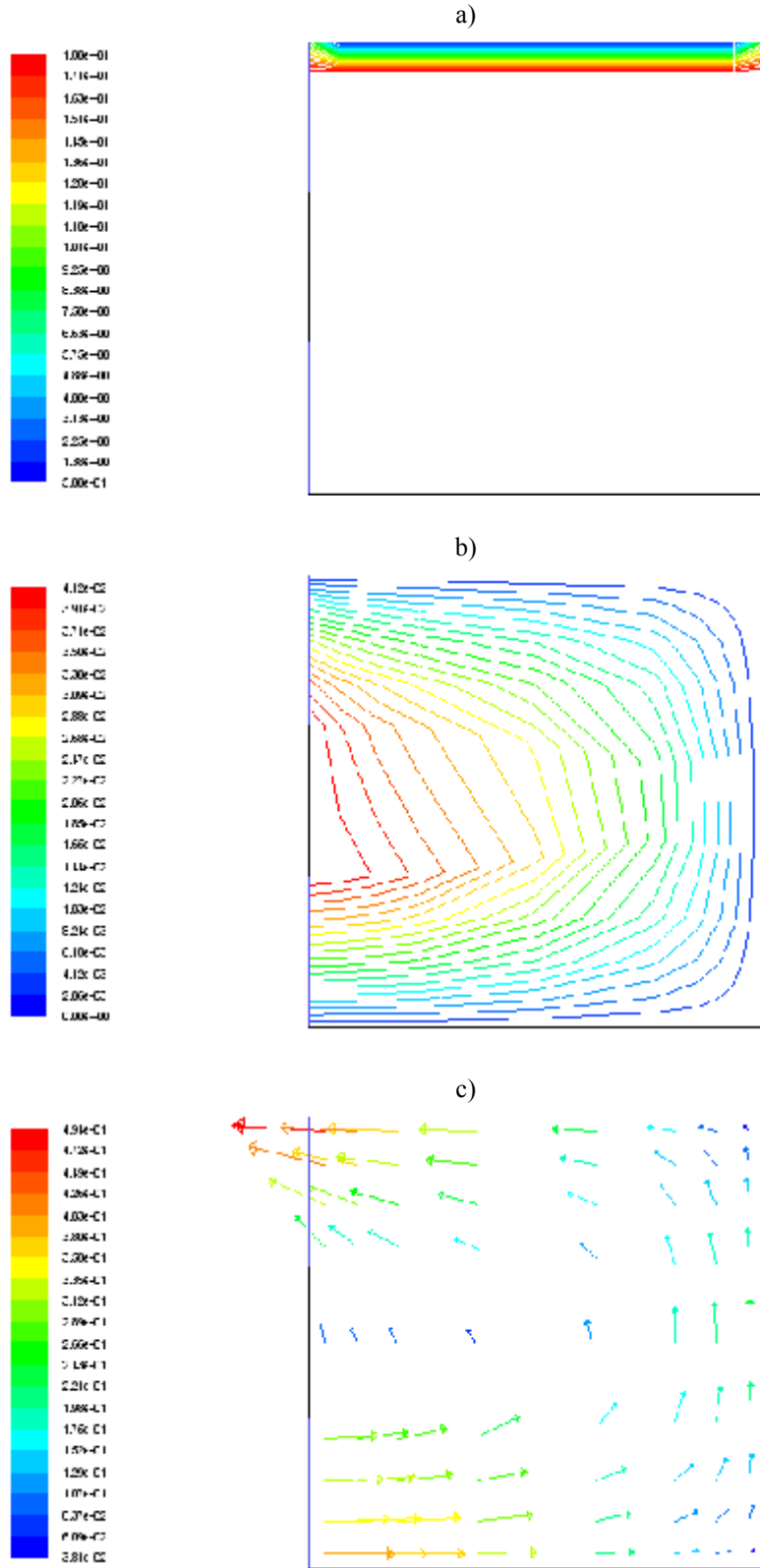




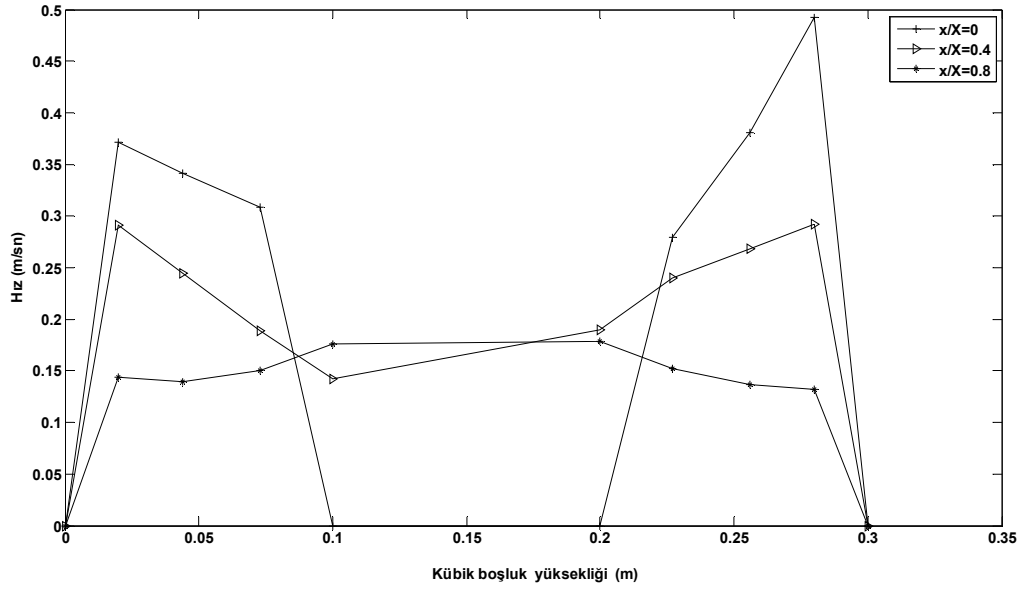
Şekil 4.76. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.77. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

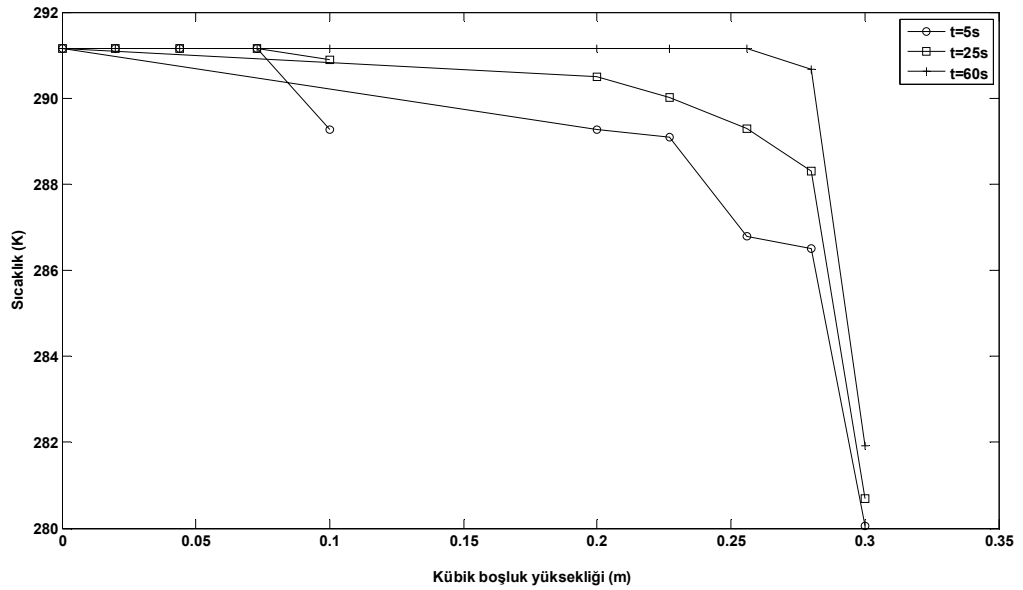


Şekil 4.78. $t=60$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

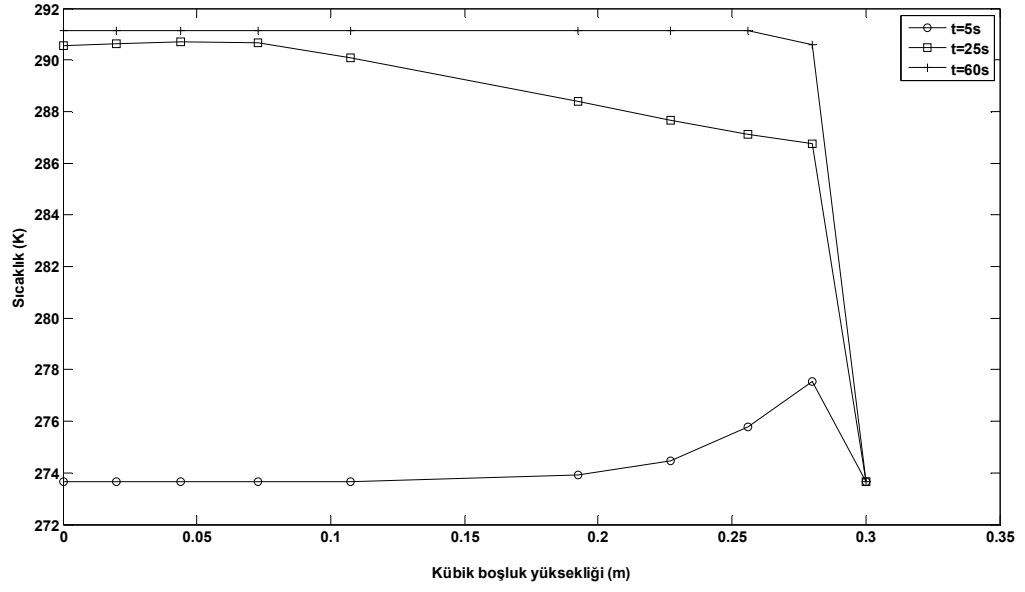


Şekil 4.79. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

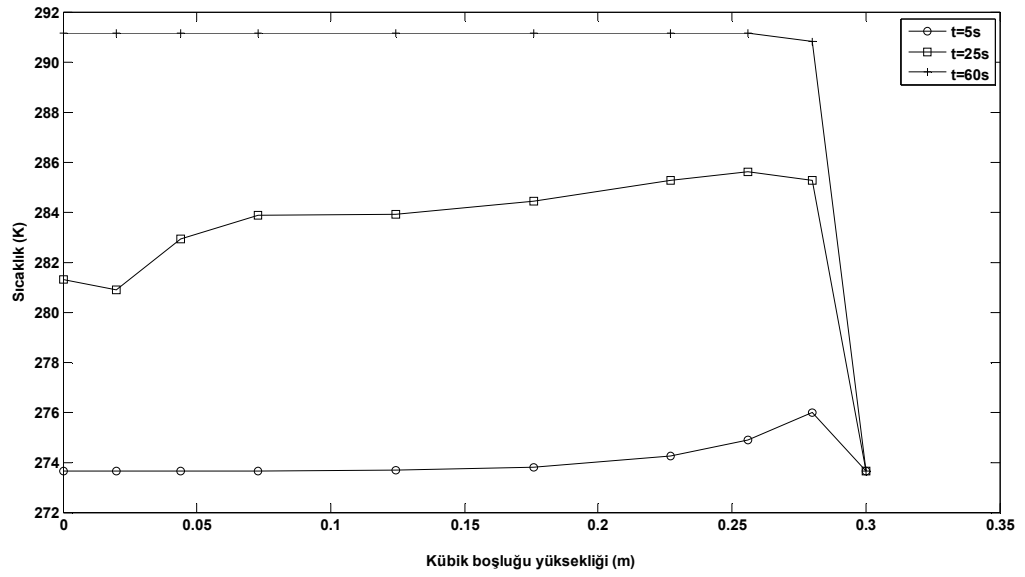
Şekil 4.80.'de $t=60$. saniyede 2. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290 K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273 °K- 277 °K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273 °K- 275 °K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Kırk beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.80. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

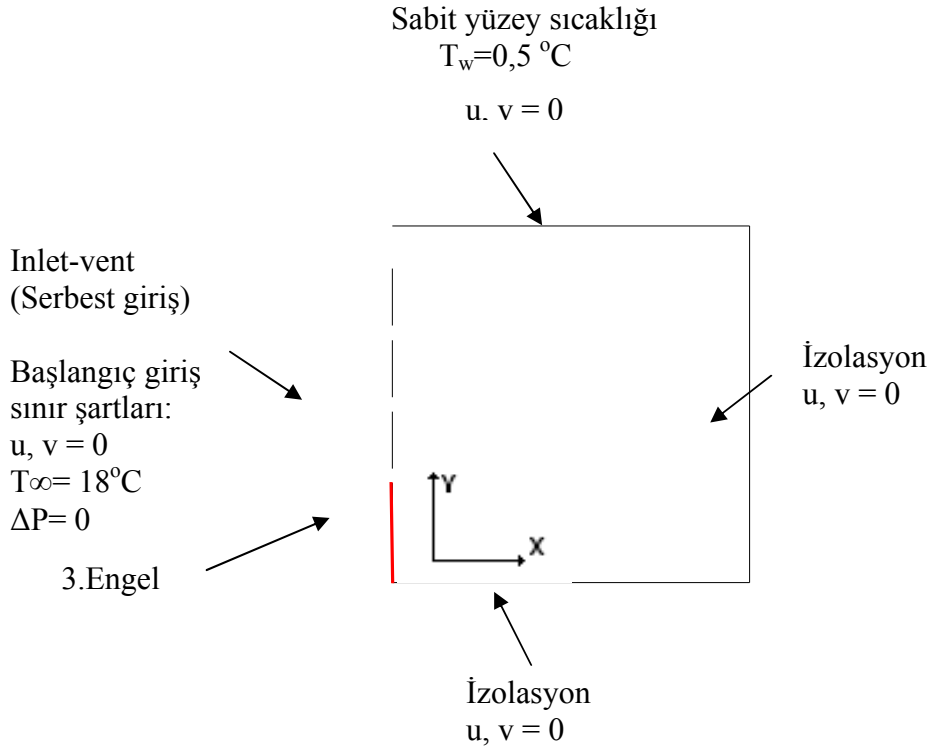


Şekil 4.81. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



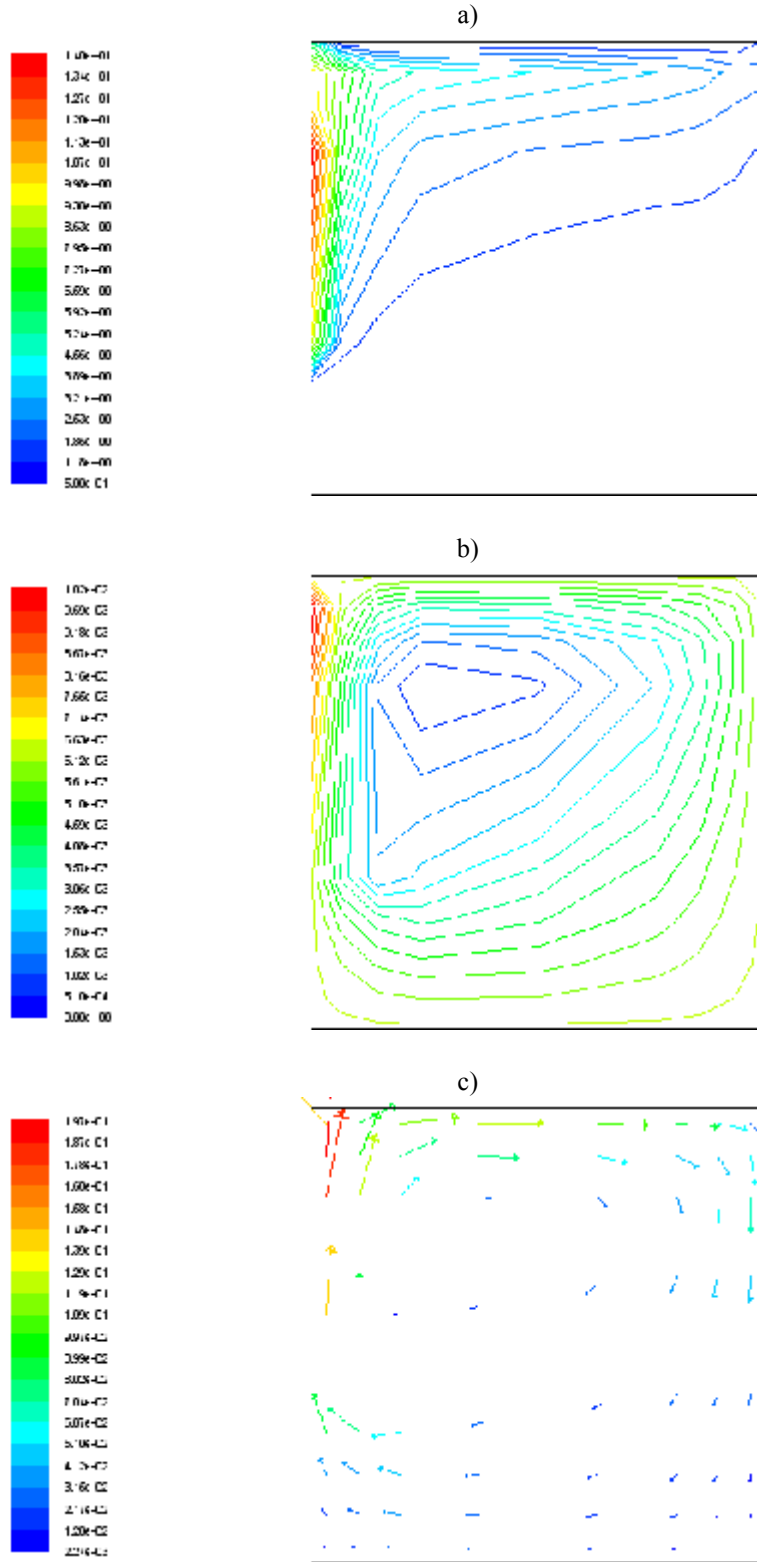
Şekil 4.82. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.3.3. 3.ENGEL

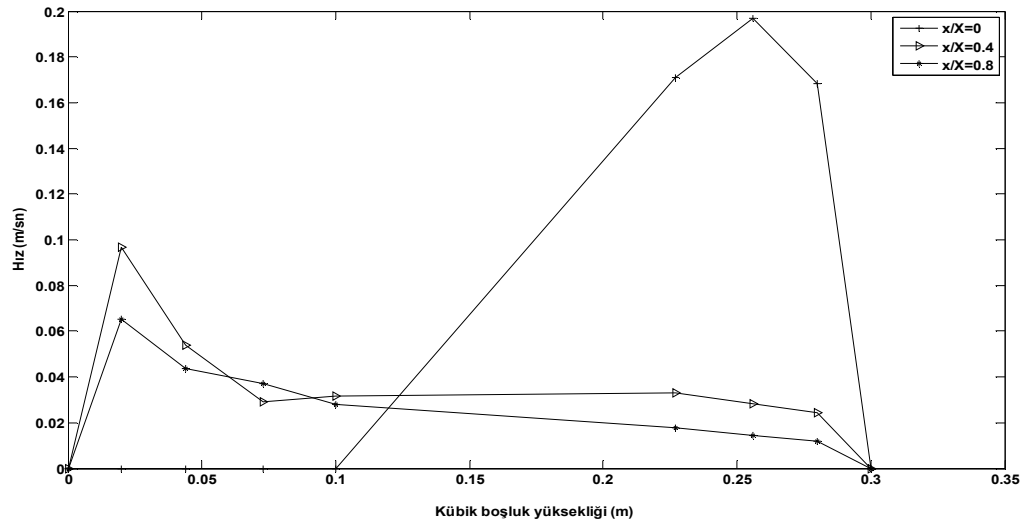


Şekil 4.83. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

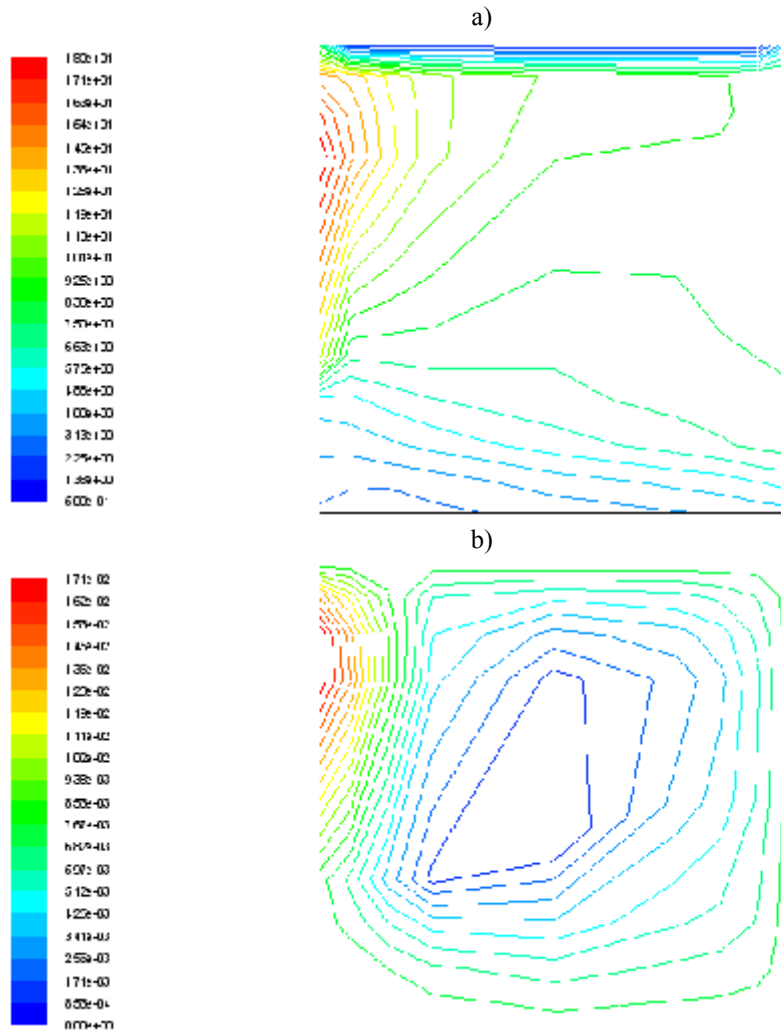
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) alttan 0,1 m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.84. a, b ve c' de 3. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 3. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre yaklaşık üç kat artmıştır.

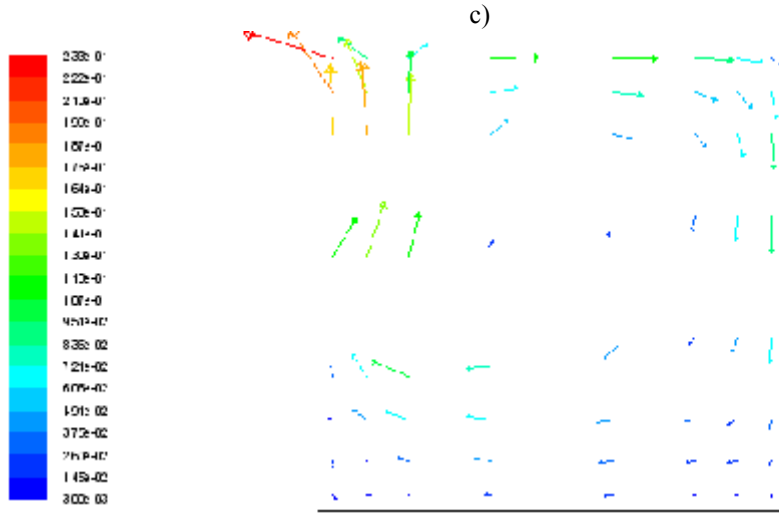


Şekil 4.84. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

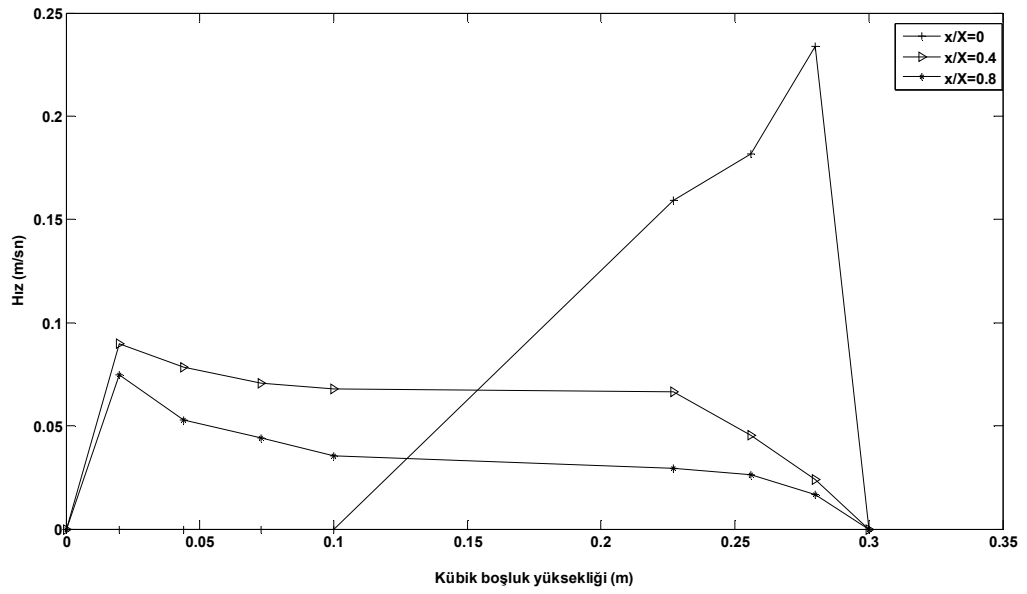


Şekil 4.85. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

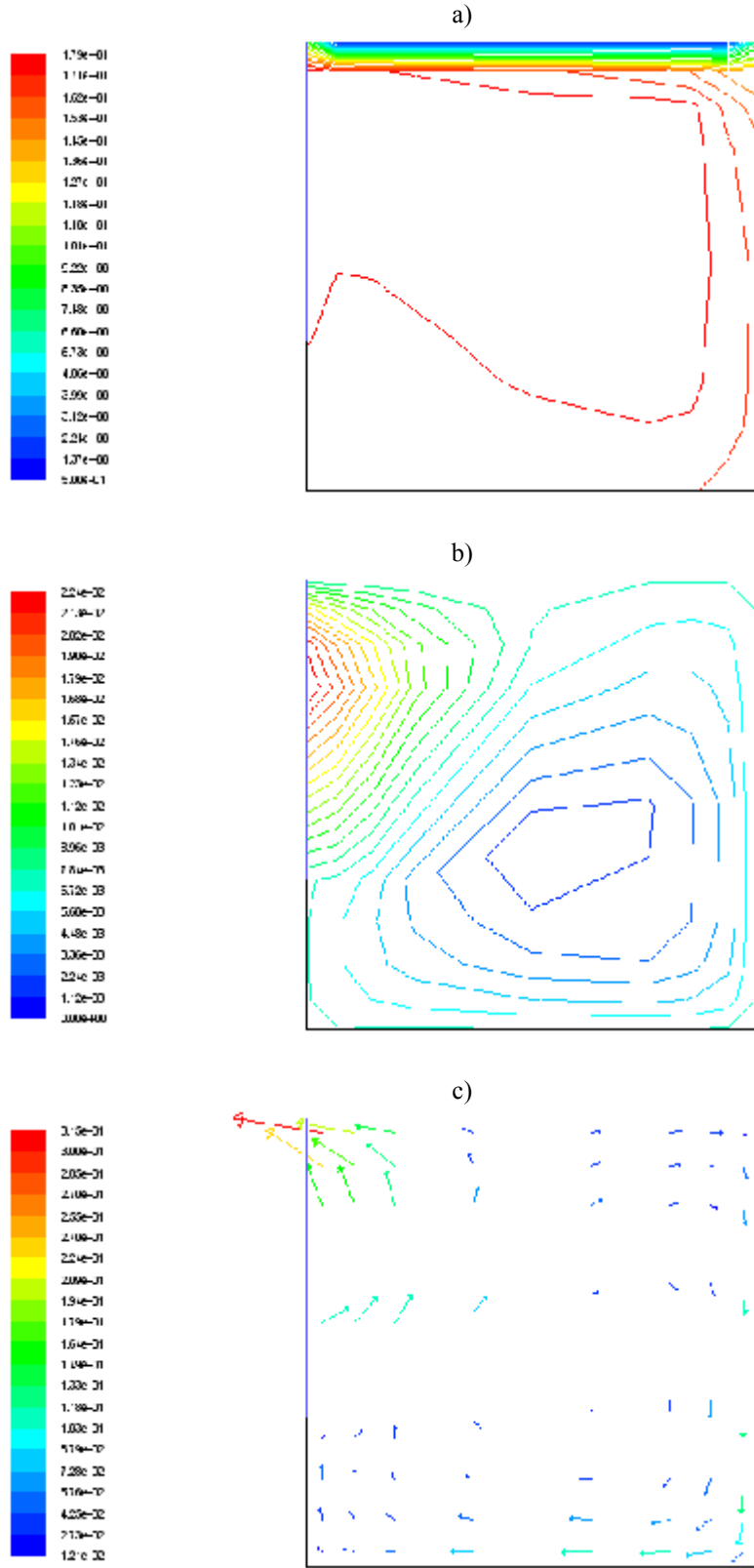




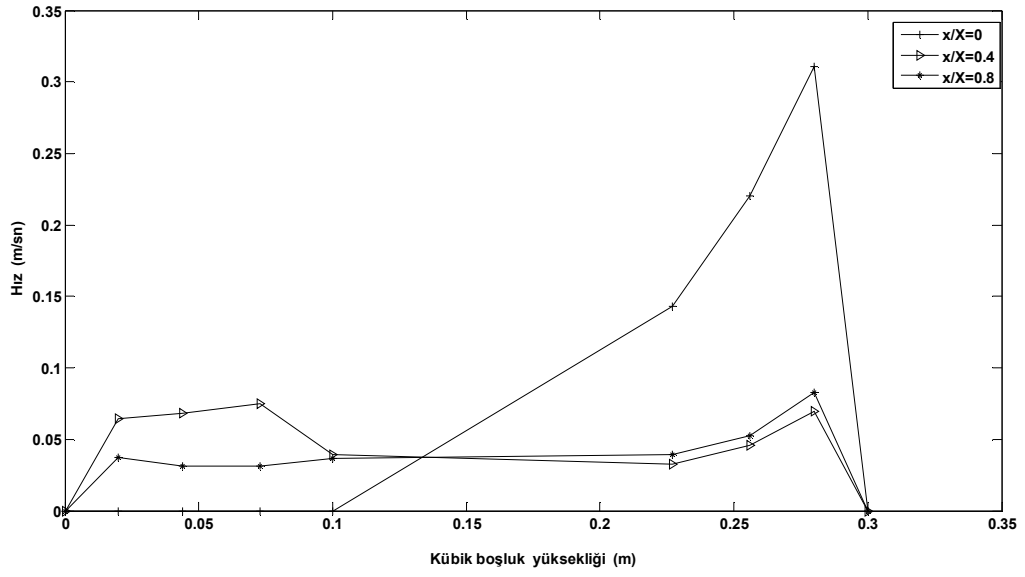
Şekil 4.86. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
 a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.87. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

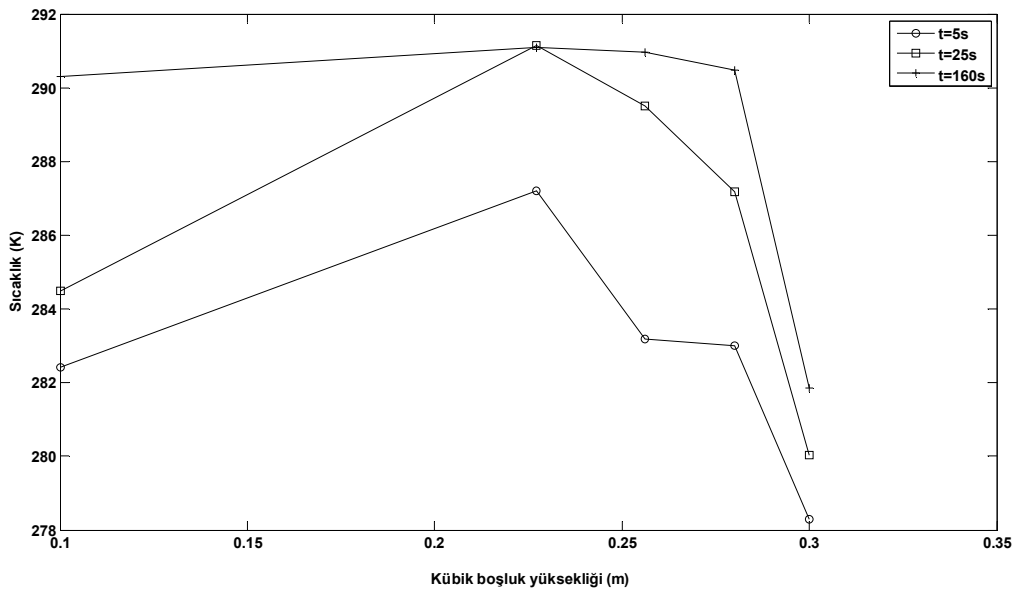


Şekil 4.88. $t=160$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

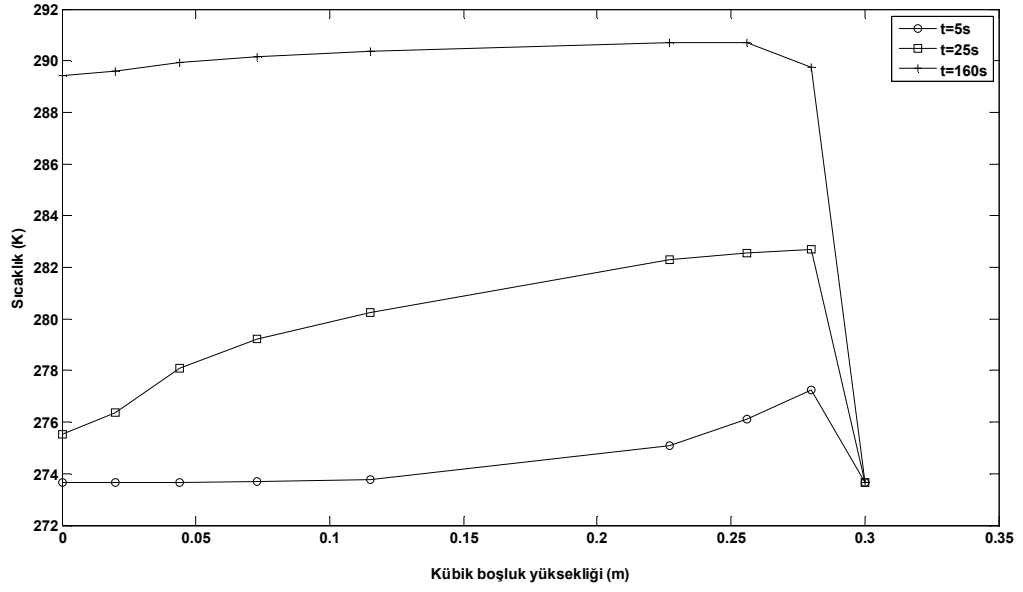


Şekil 4.89. $t=160$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

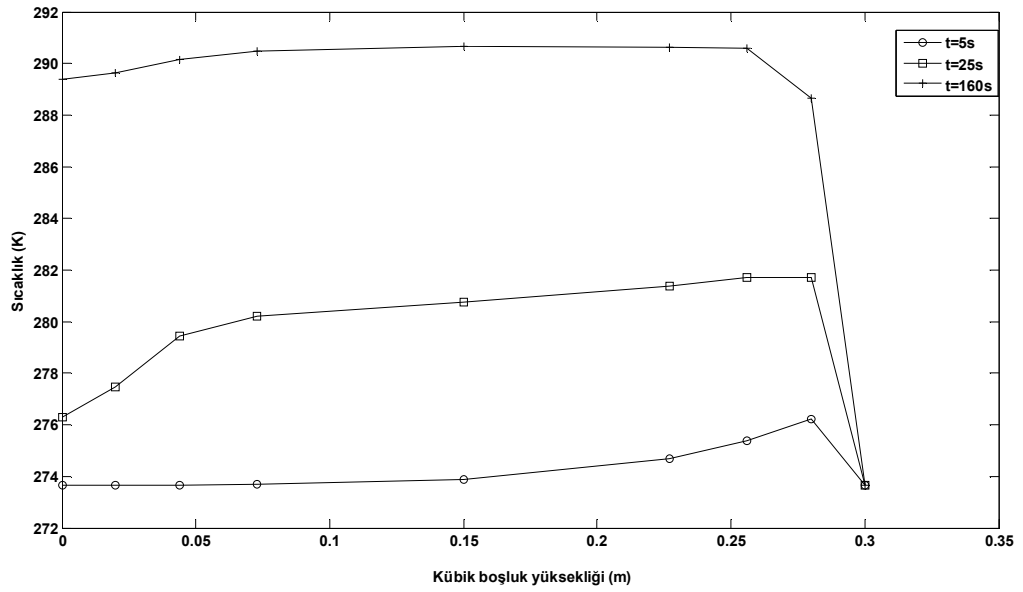
Şekil 4.90.' da $t=160$. saniyede 3. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290 K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273 °K- 277 °K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273 °K- 276 °K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Yüz beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.90. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.91. $x/X=0,4'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

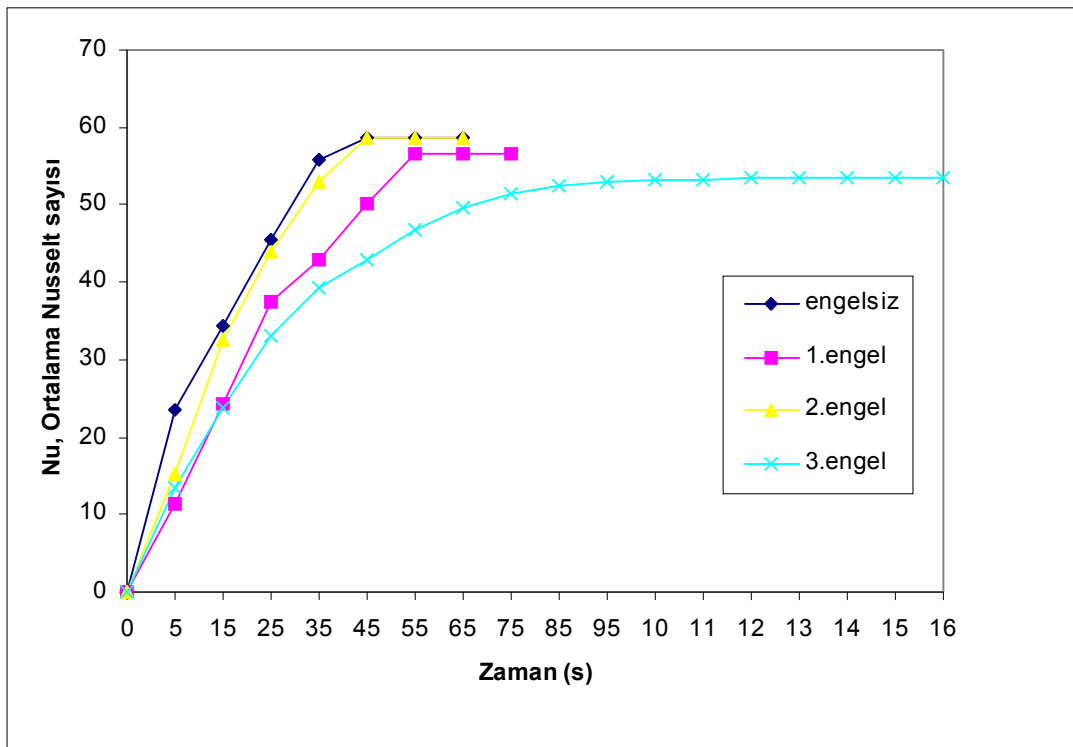


Şekil 4.92. $x/X=0,8'$ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Sonuç olarak 3. tip engelin sıcaklık ve hız değişimi üzerinde etkisi diğer engellerden çok olmuş, kübik boşluğun daha geç rejime gelmesine sebep olmuştur. Diğer engellerin etkisi az olup kübik boşluk engelsiz durumla yaklaşık aynı zamanda rejime gelmektedir.

Kübik boşluk girişine yerleştirilen engellerin ısı transferine etkisi Şekil 4.93.' de verilmiştir.

Her bir engelli durum için sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları engelsiz durumla karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi 3. engel durumunda kübik boşluk içerisindeki ısı transferi diğer engelli durumlar ve engelsiz duruma göre daha az olmaktadır. Ayrıca 3. engel durumunda kübik boşluk yaklaşık diğer durumlara göre üç kat daha uzun sürede rejime gelmektedir.

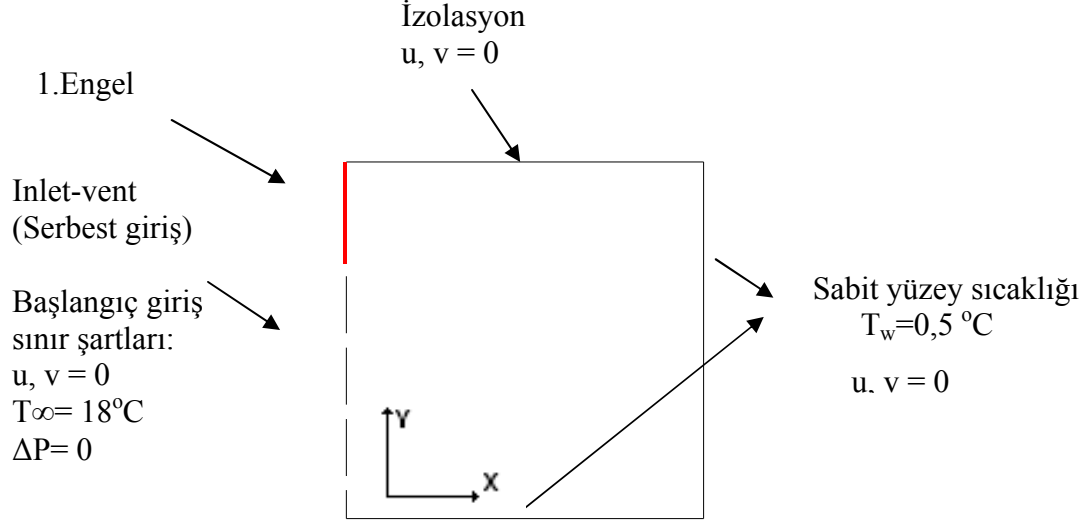


Şekil 4.93. III. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi

Bununla birlikte 1. engel, 2. engel ve engelsiz durumlarda kübik boşluk içerisinde olan ısı transferi yaklaşık eşit değerlerde değişmektedir. Üçüncü engel durumunda 65. saniyeye kadar Nusselt sayısı hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 49 değerine çıkmaktadır. Bu zaman adımı sonrasında çok yavaş artarak maksimum 53'e ulaşmaktadır. Diğer durumlarda ise Nusselt sayısı 35. saniyeye kadar hızlı bir şekilde artarak ortalama 55'e çıkmakta ve daha sonra yavaş bir artışla maksimum 58 olmaktadır.

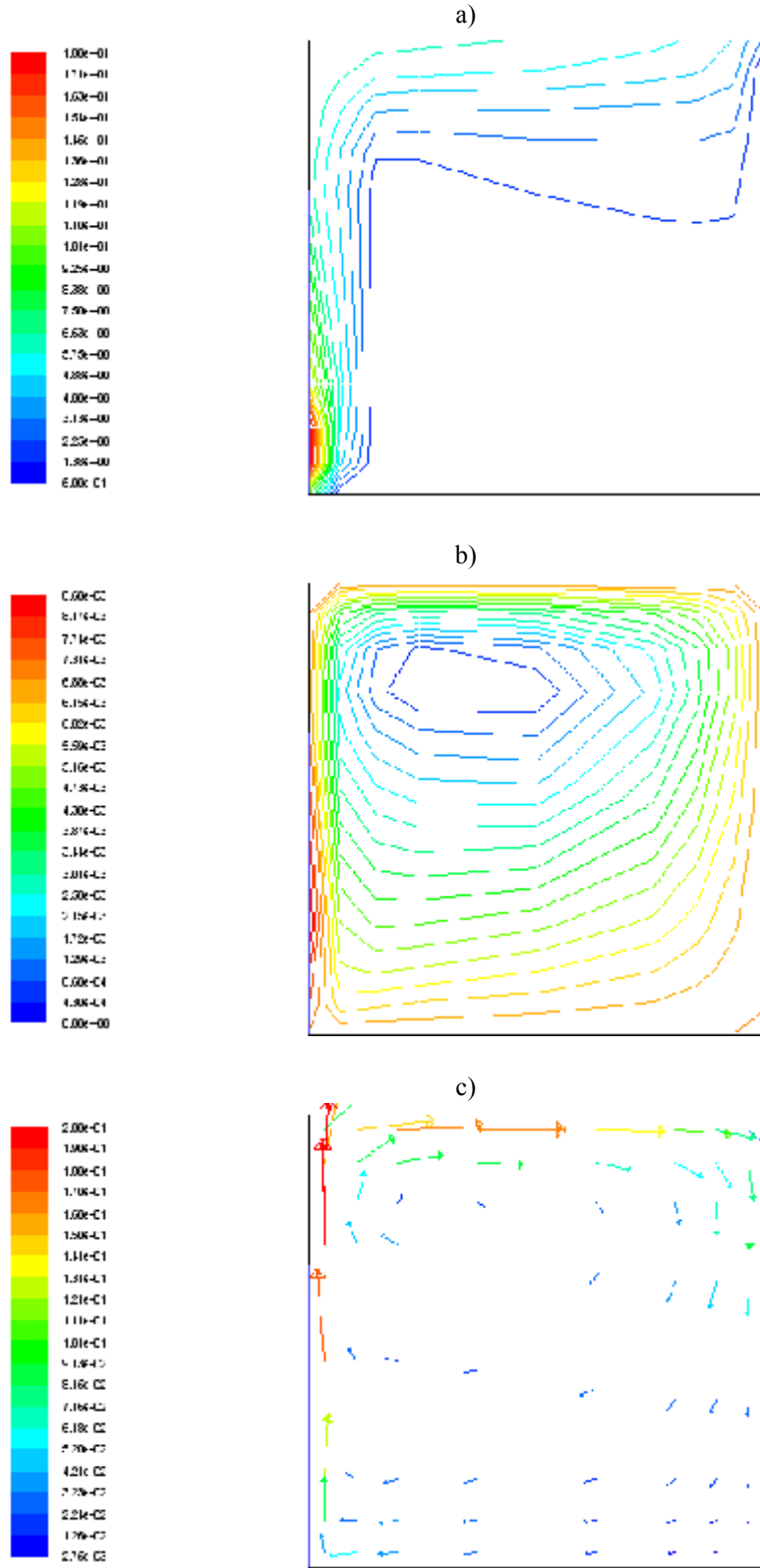
4.4. IV. Durum İçin Engelli Durumlar

4.4.1. 1.Engel

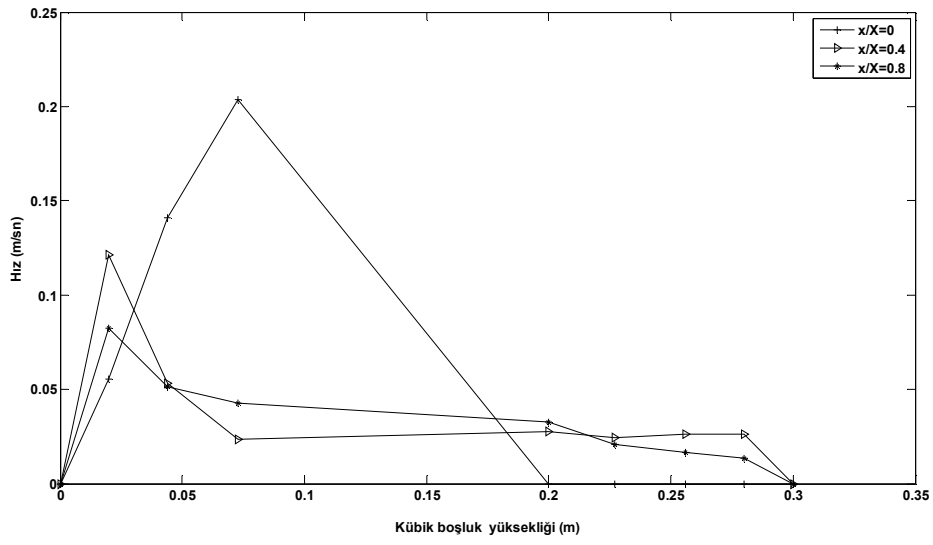


Şekil 4.94. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

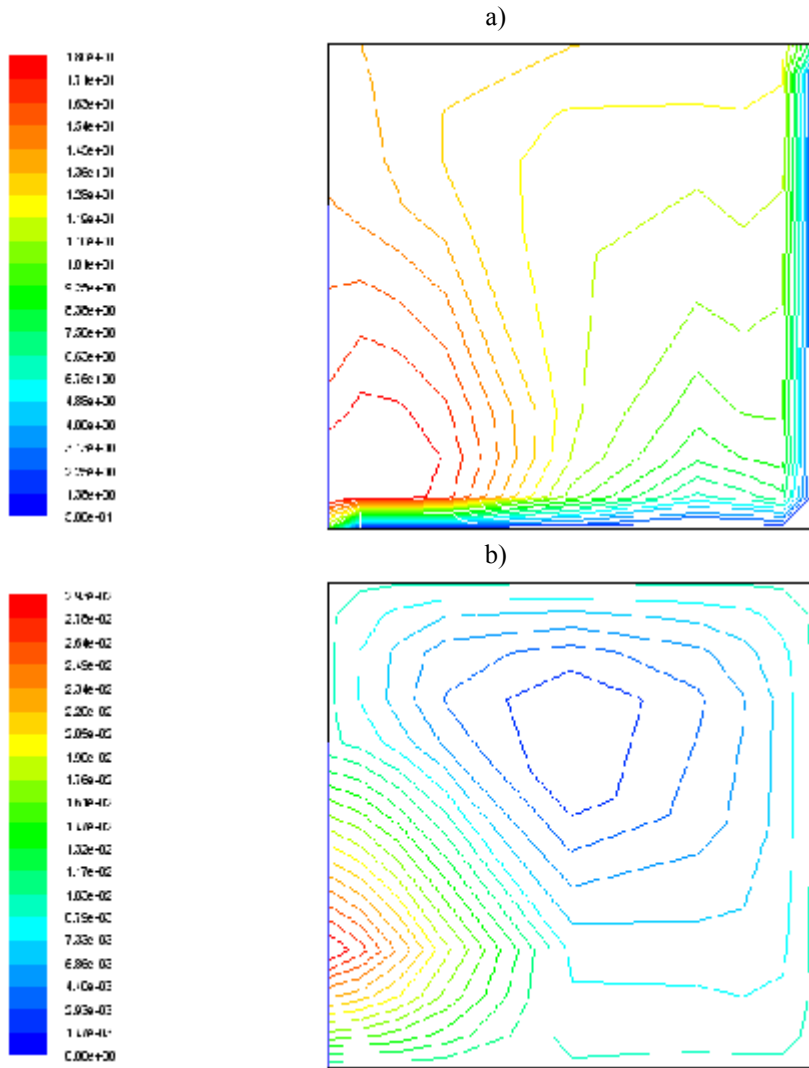
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) üstten 0,1 m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.95. a, b ve c' de 1. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 1. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre bir miktar artmıştır.

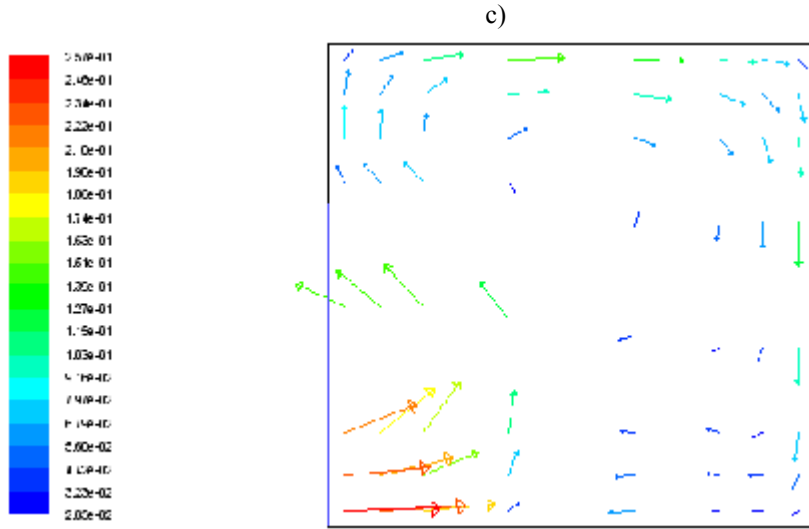


Şekil 4.95. $t=5$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

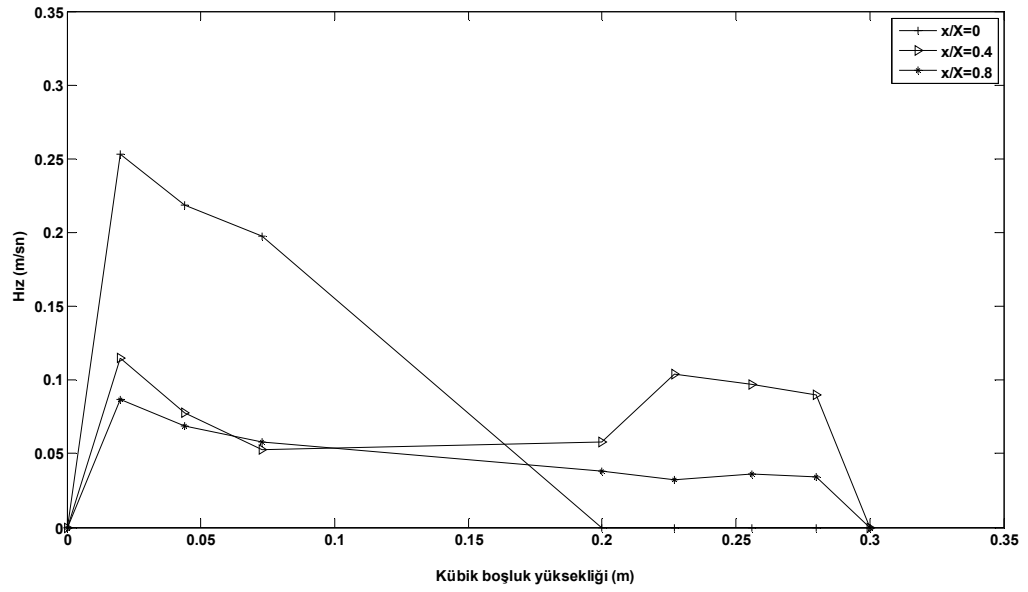


Şekil 4.96. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

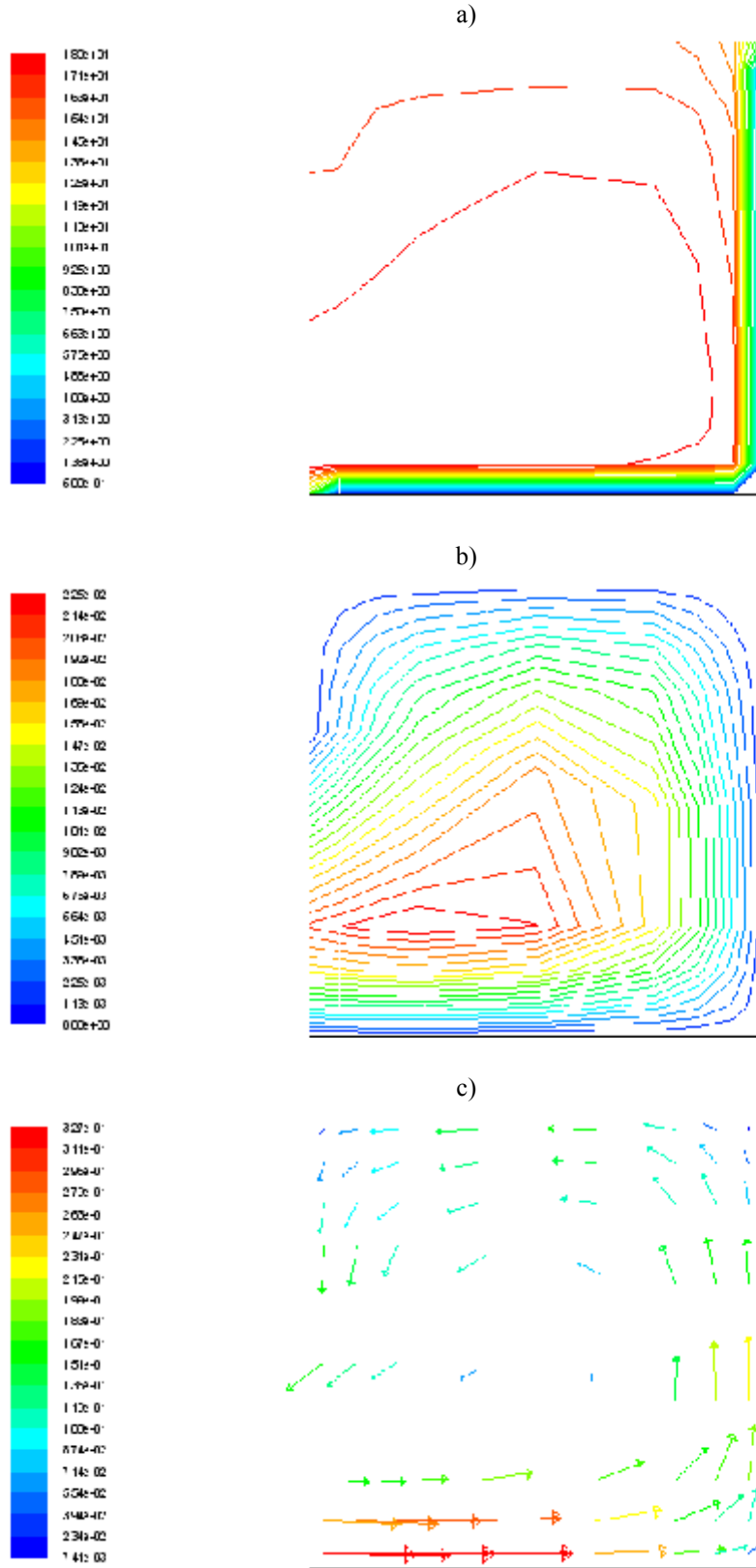




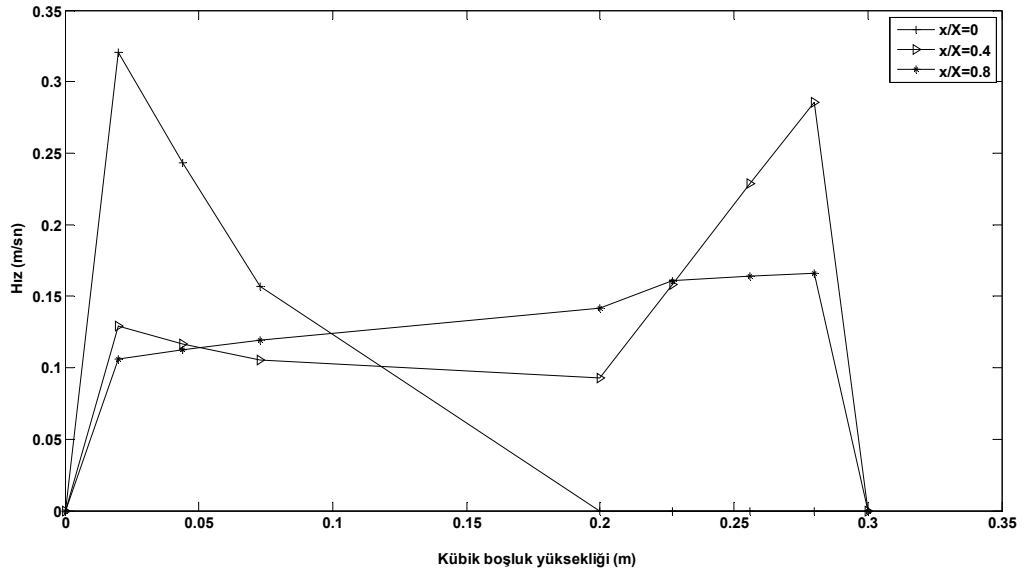
Şekil 4.97. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.98. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

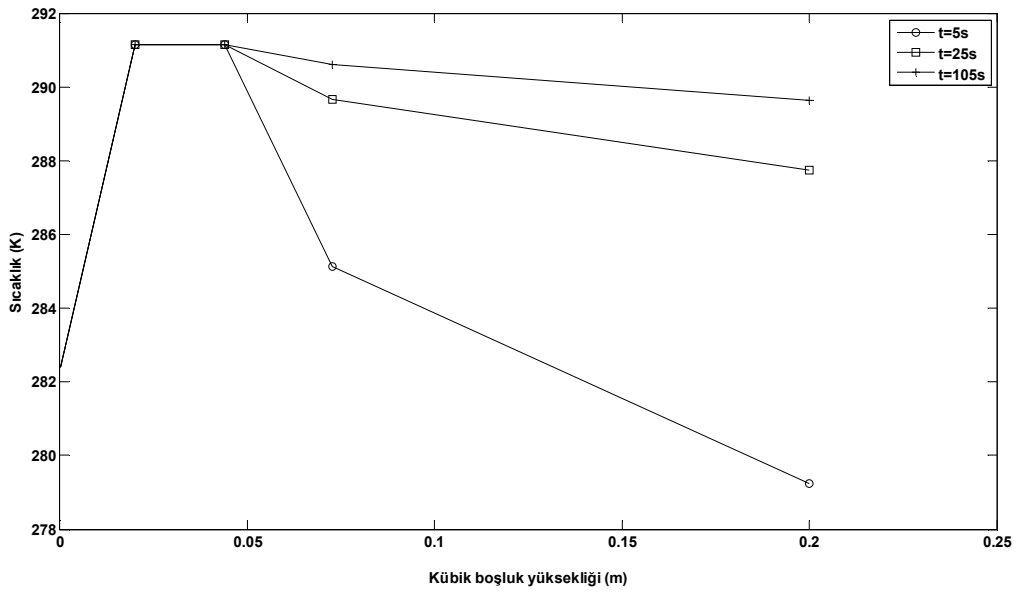


Şekil 4.99. $t=105$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

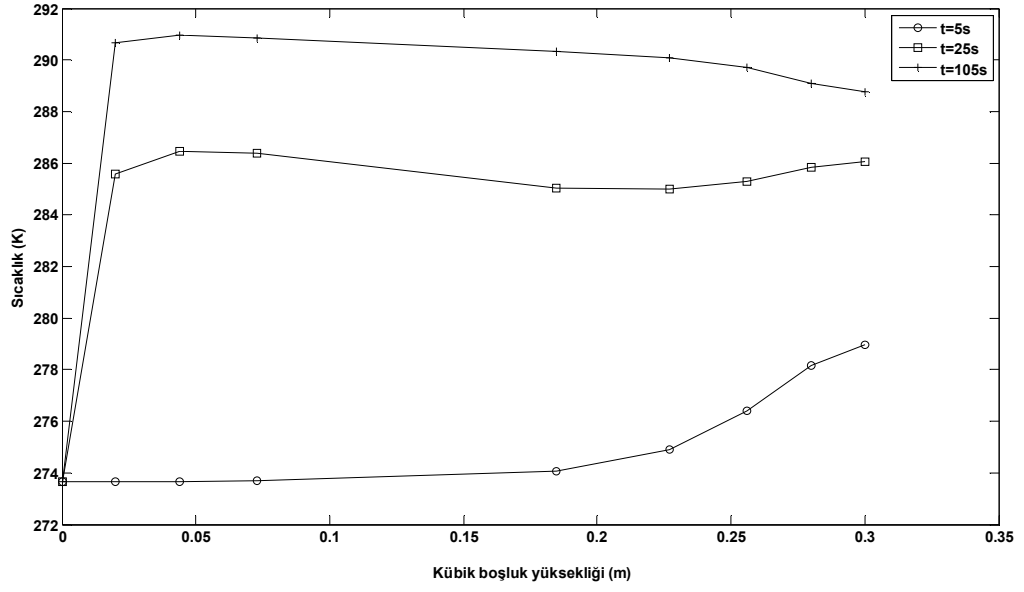


Şekil 4.100. $t=105$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

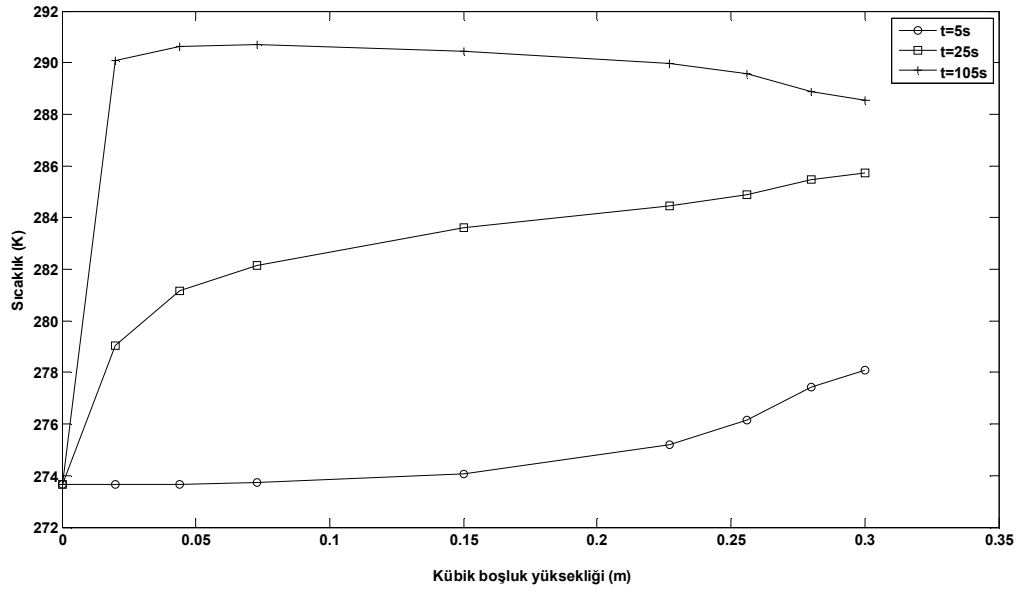
Şekil 4.101.'de $t=105$. saniyede 1. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 278°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 277°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Yetmiş beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.101. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

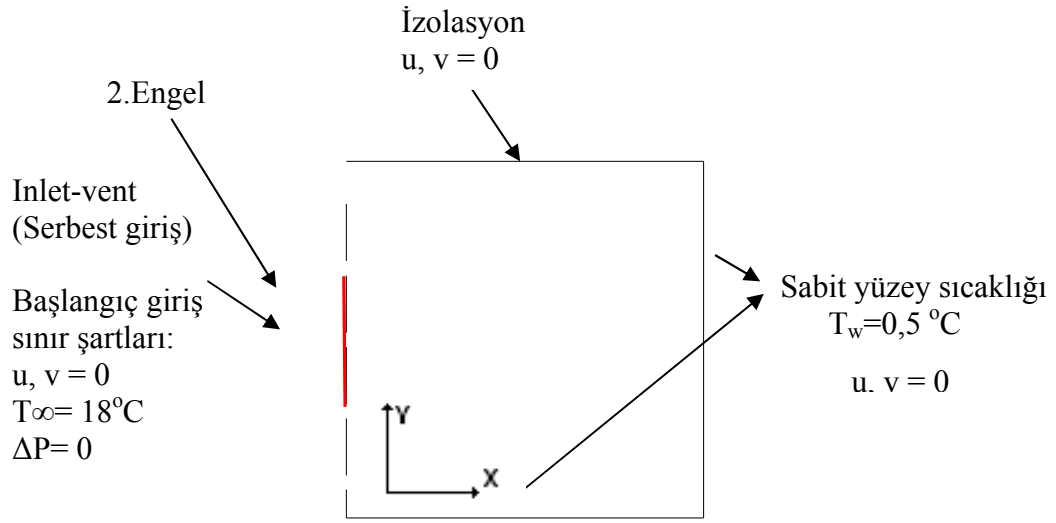


Şekil 4.102. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



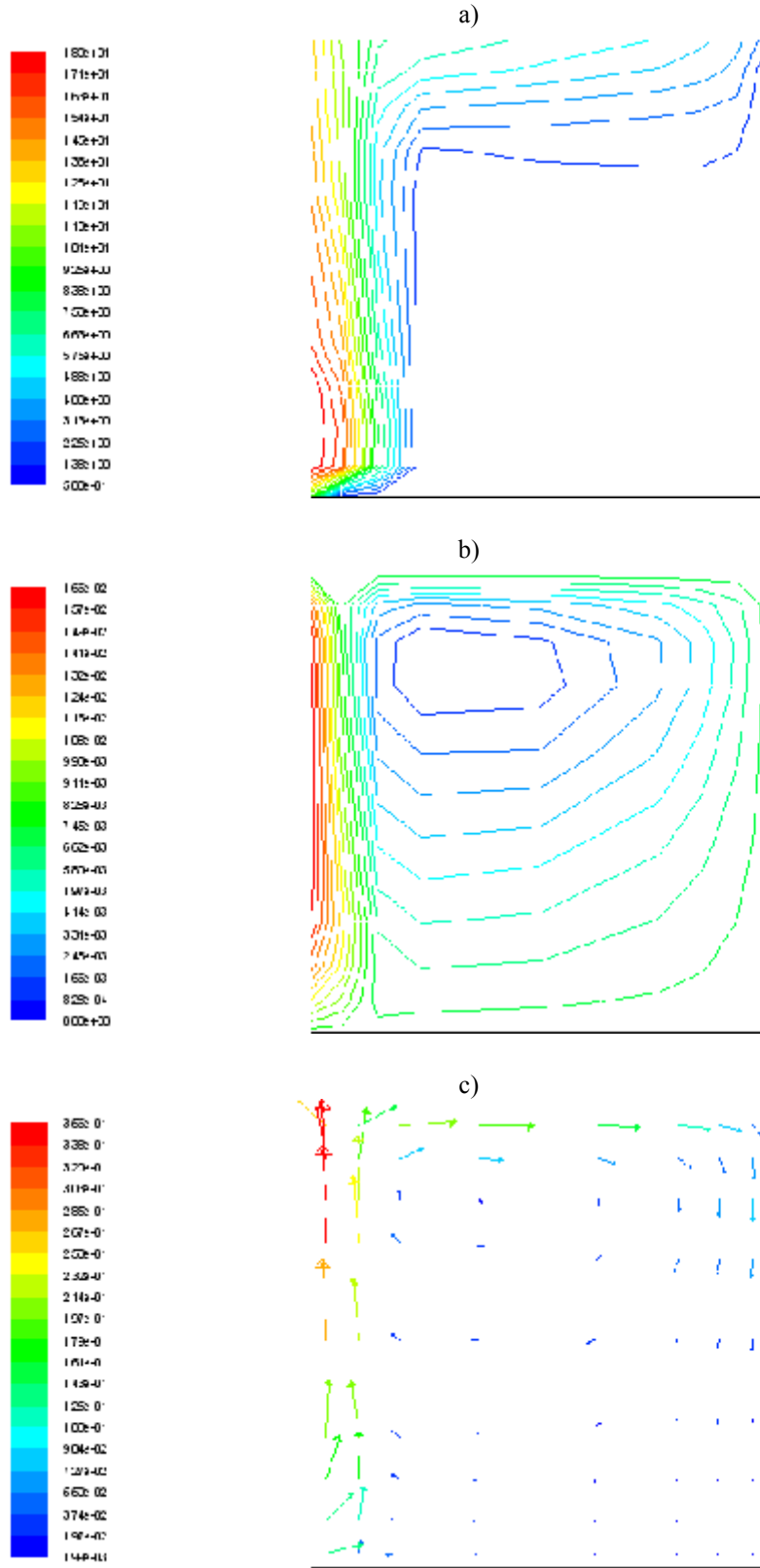
Şekil 4.103. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.4.2. 2. Engel

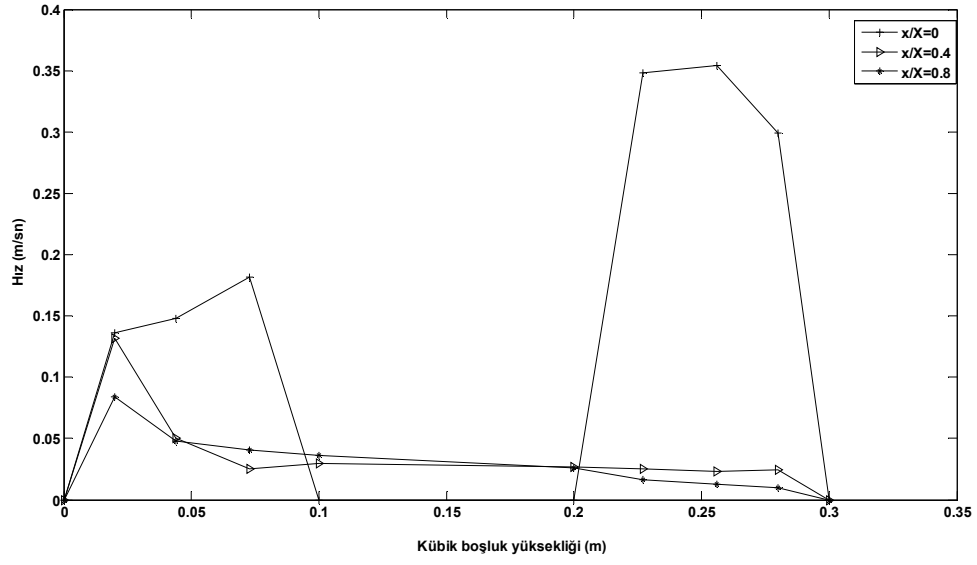


Şekil 4.104. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

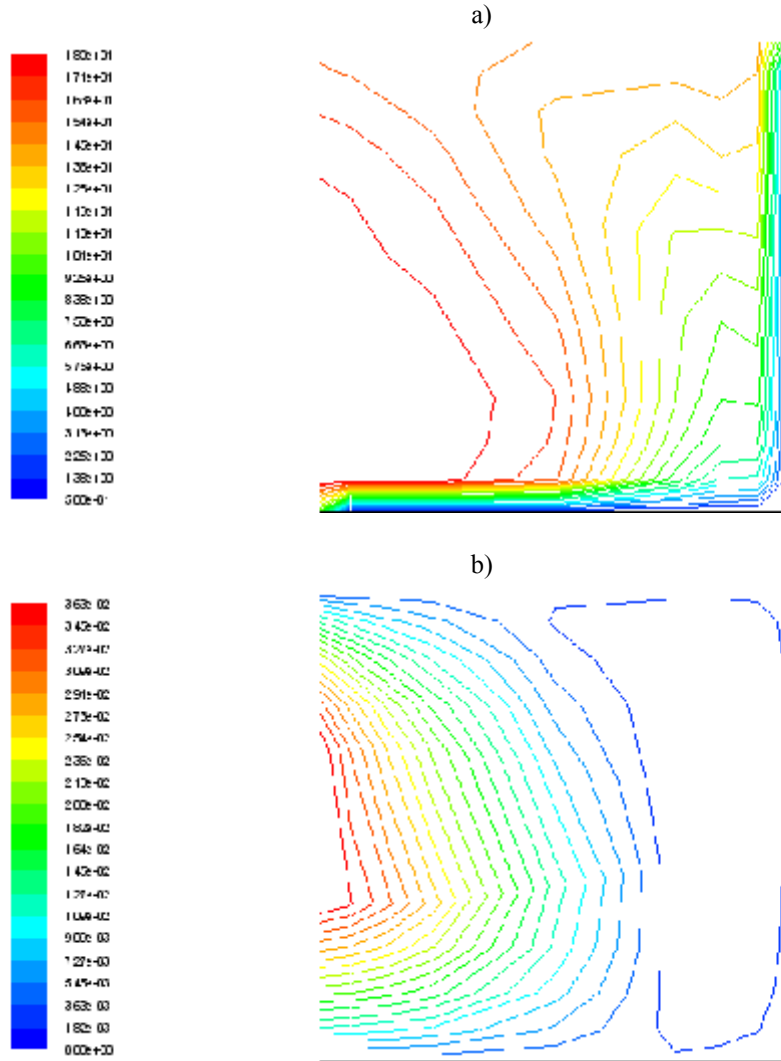
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1 m ile 0,2 m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.105. a, b ve c' de 2. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 2. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre bir miktar artmıştır.

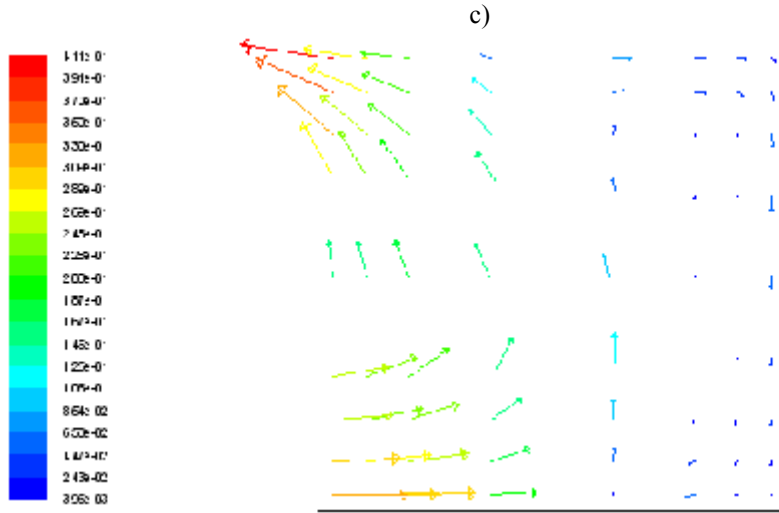


Şekil 4.105. $t=5.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

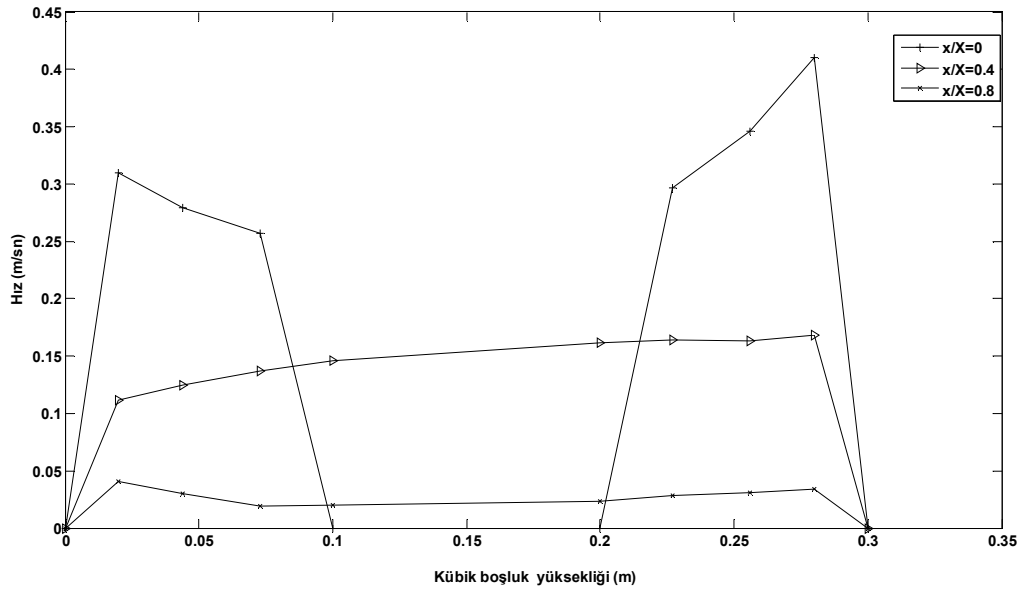


Şekil 4.106. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

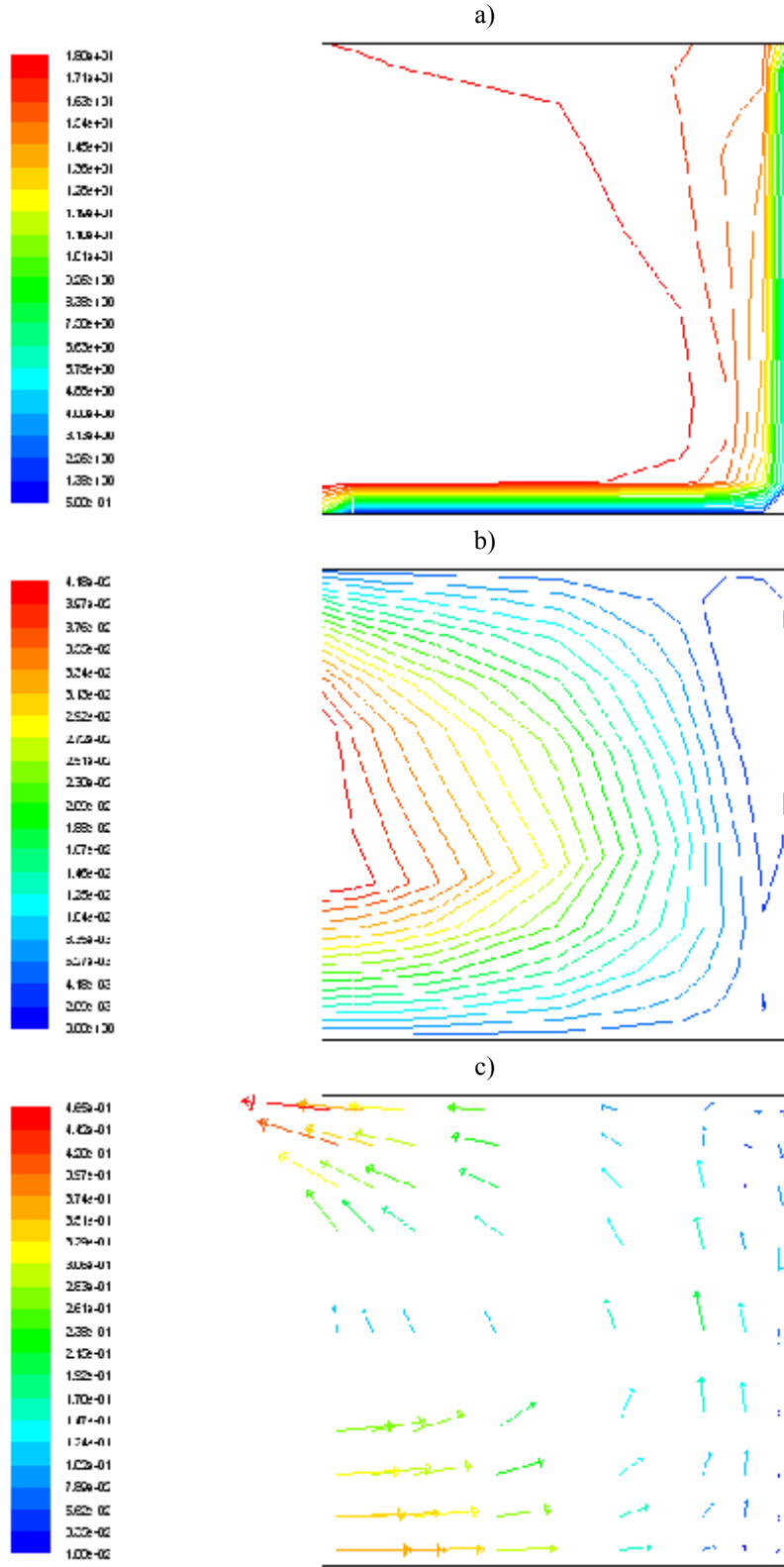




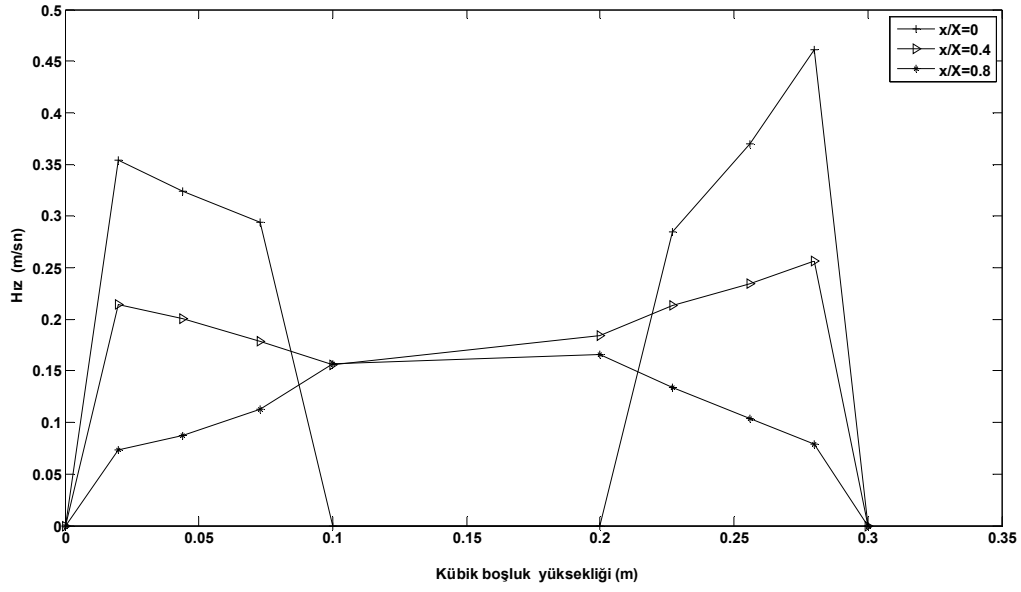
Şekil 4.107. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.108. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

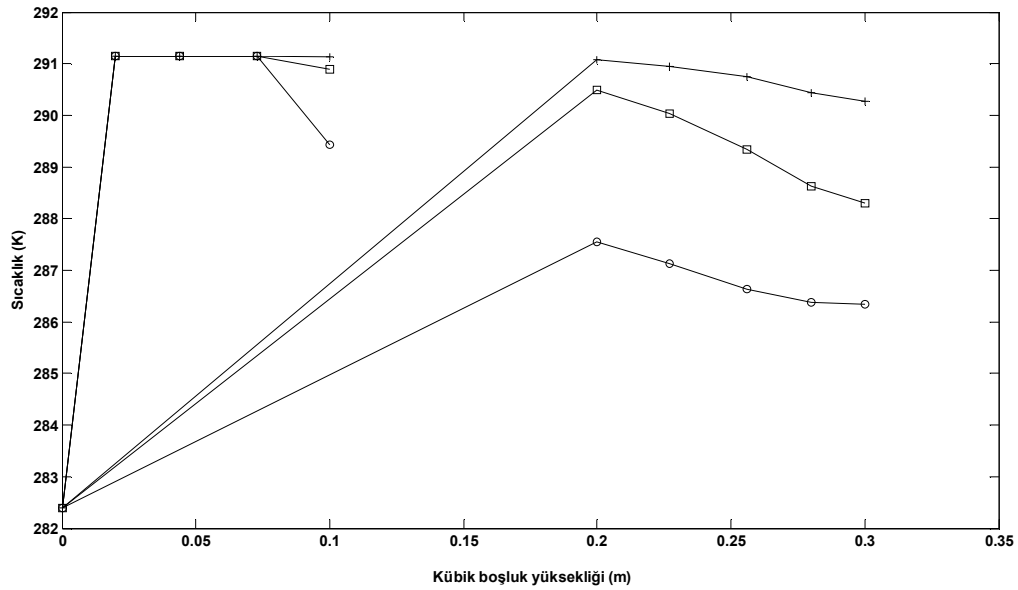


Şekil 4.109. $t=100$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

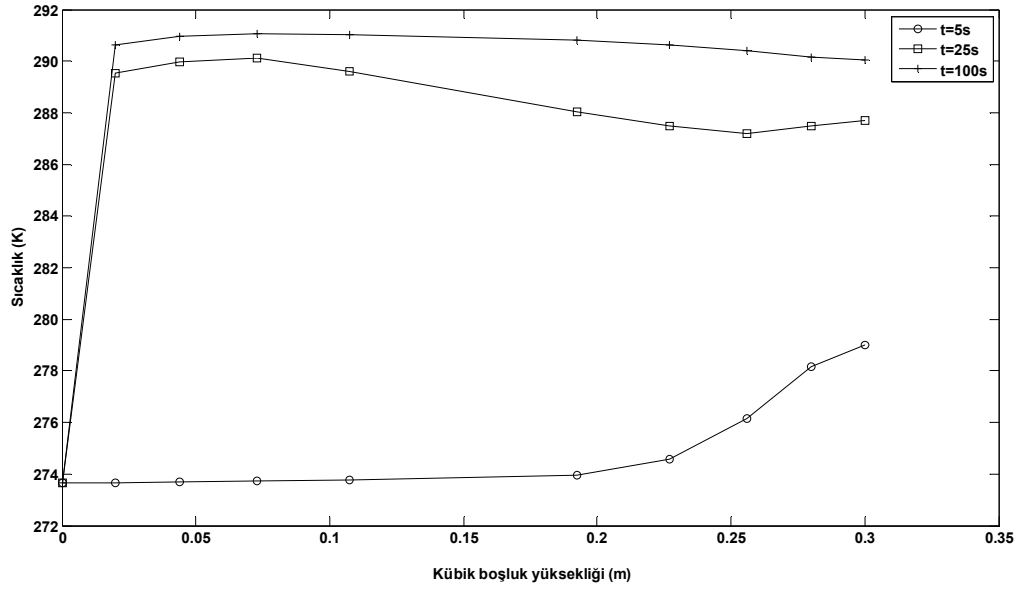


Şekil 4.110. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

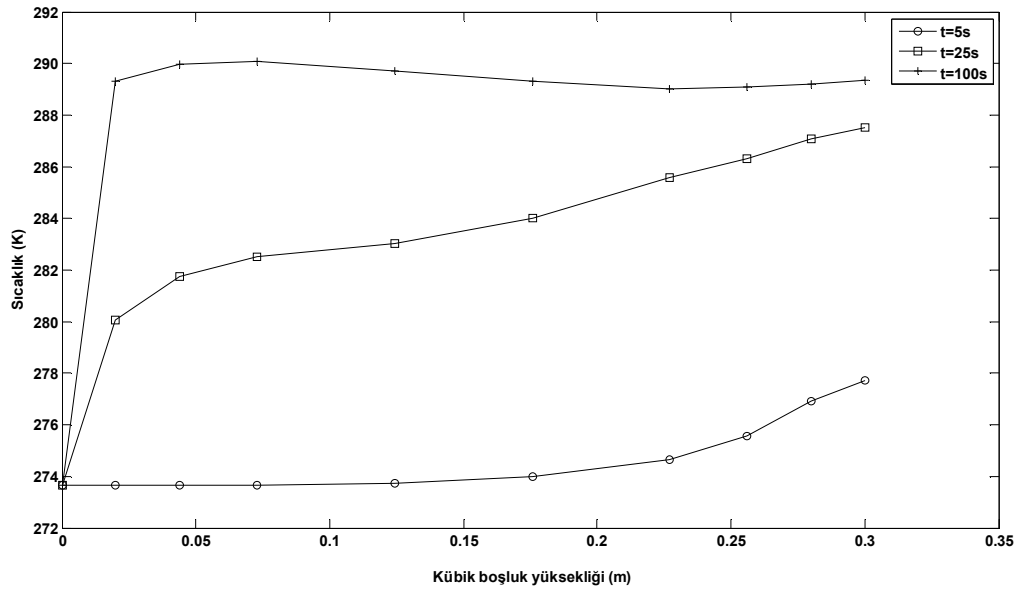
Şekil 4.111.' de $t=100$. saniyede 2. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 278°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Elli beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.111. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

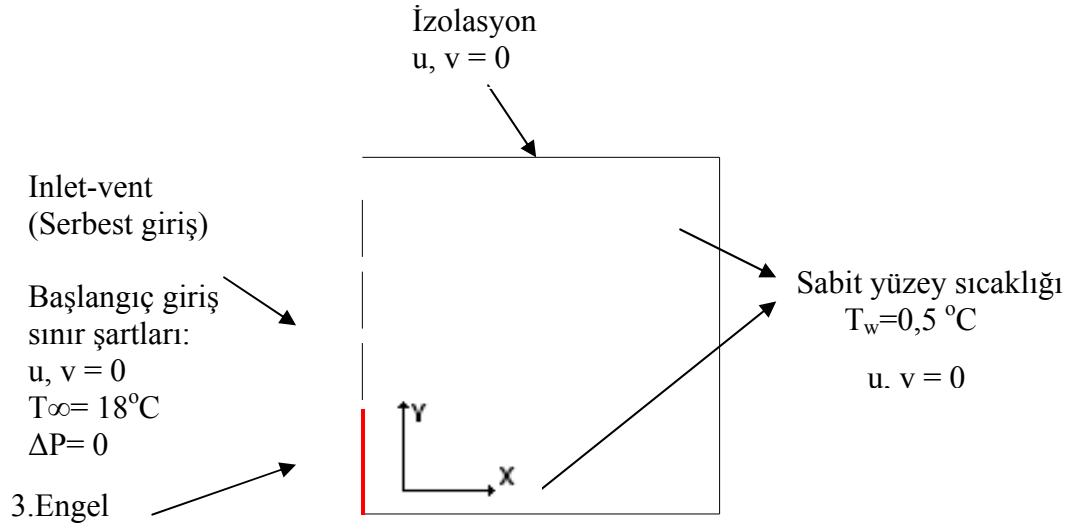


Şekil 4.112. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



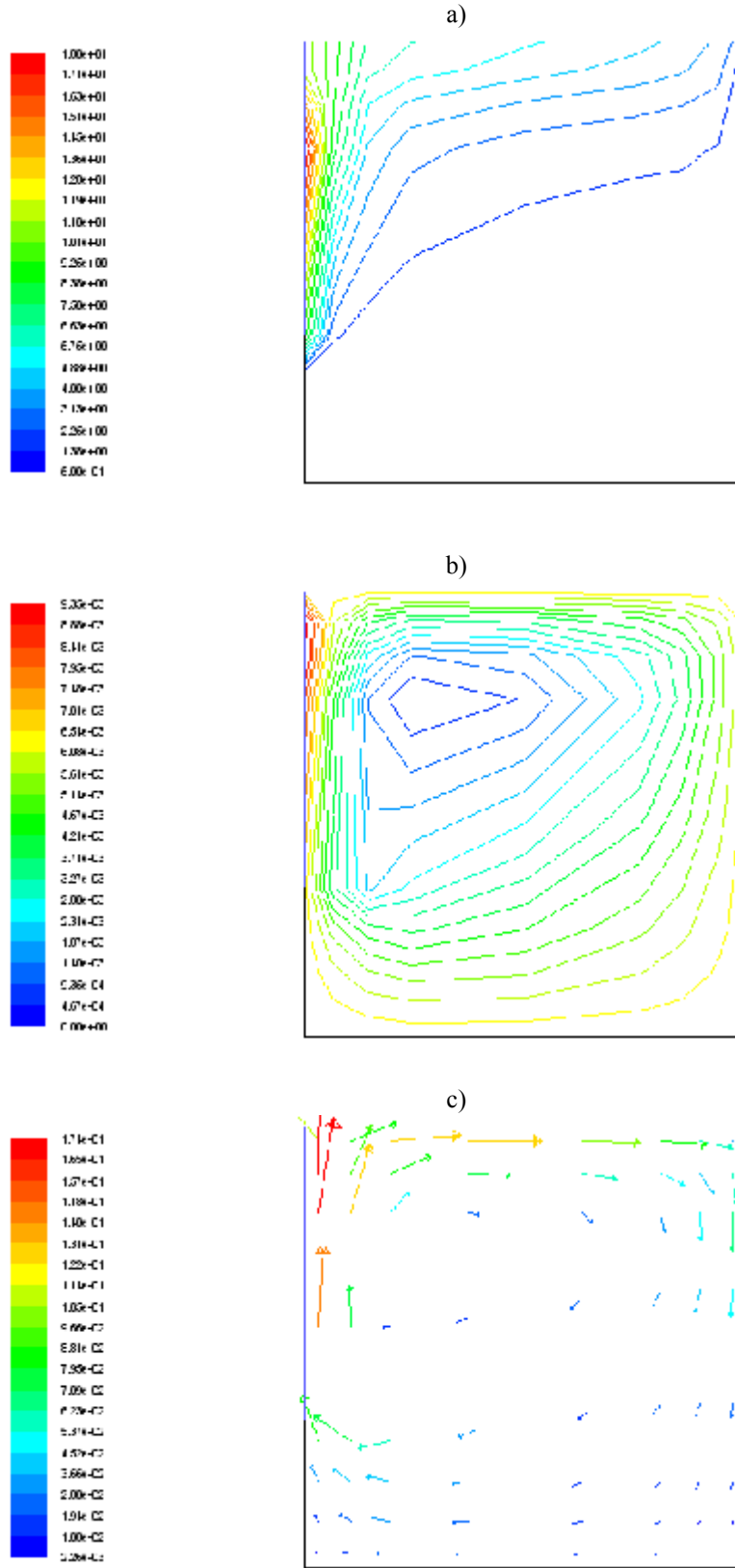
Şekil 4.113. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.4.3. 3. ENGEL

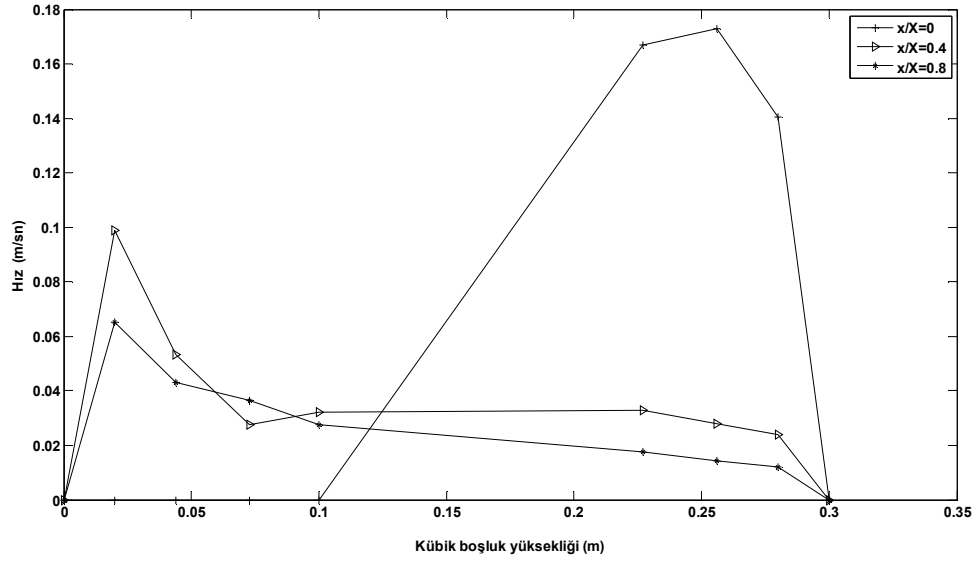


Şekil 4.114. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

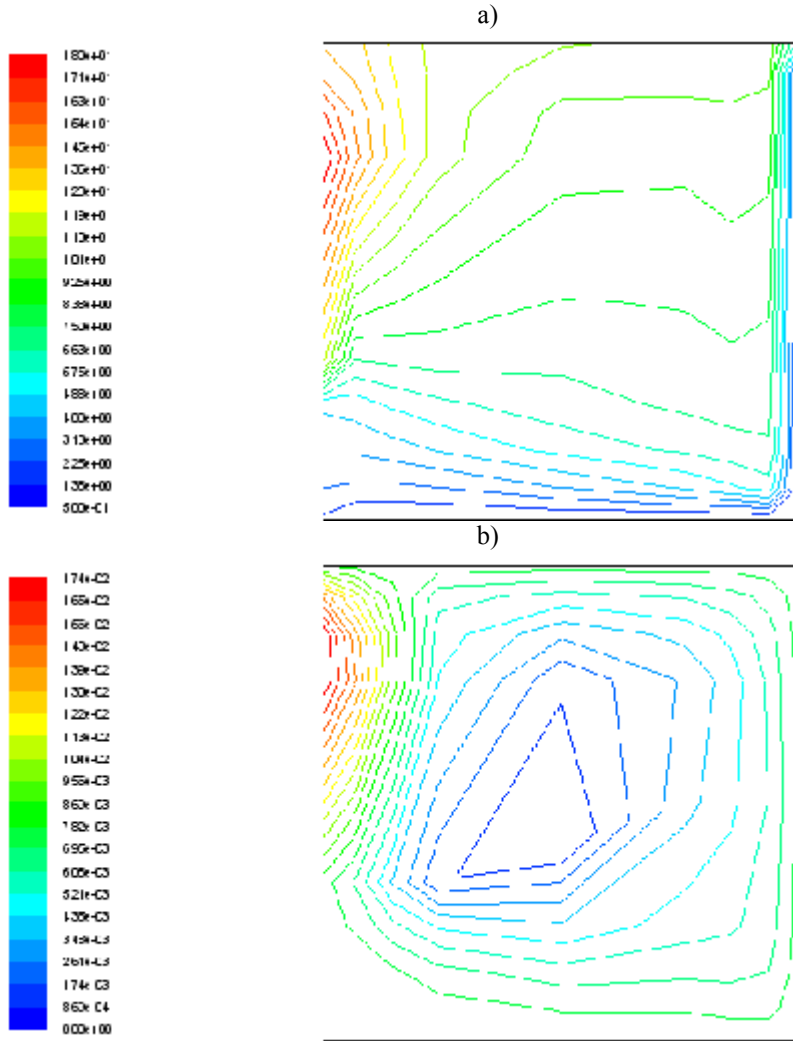
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) alttan 0,1 m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.115. a, b ve c' de 3. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 3. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre yaklaşık iki kat artmıştır.

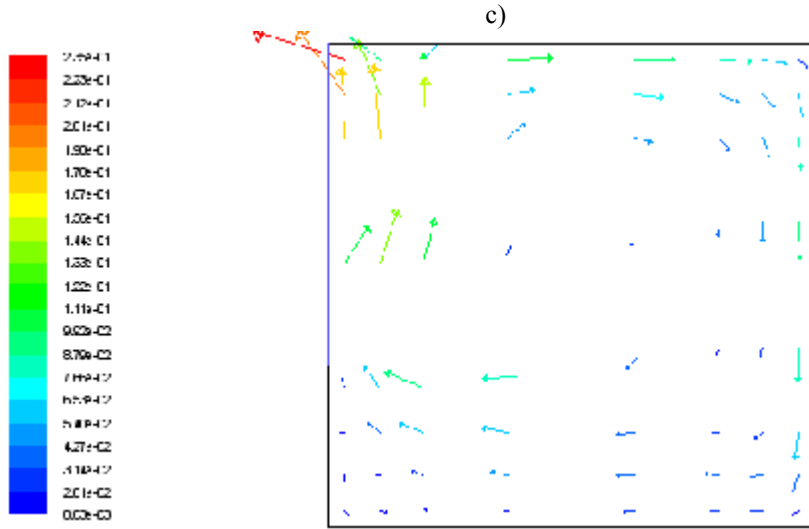


Şekil 4.115. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

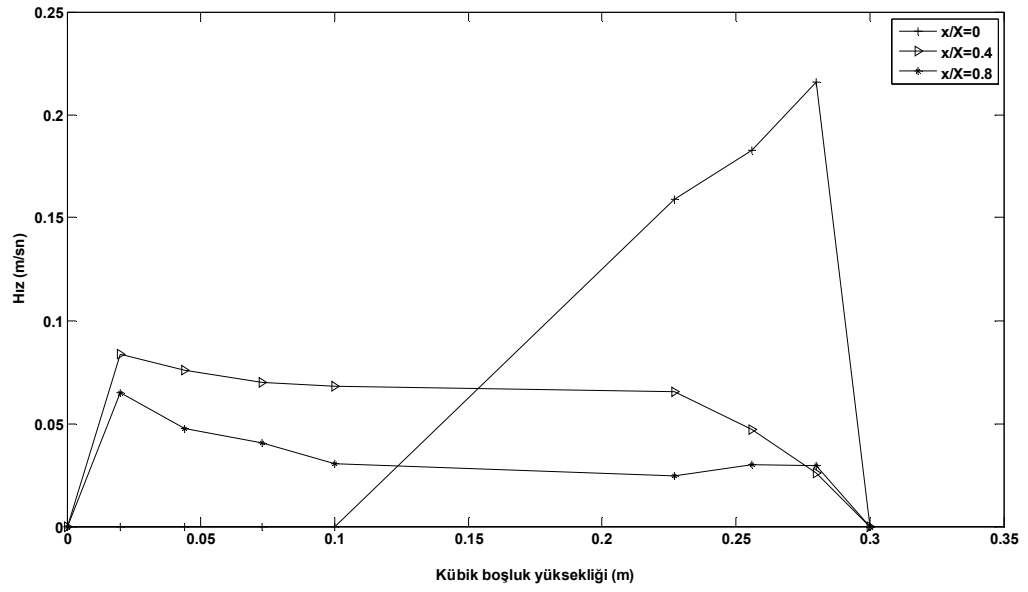


Şekil 4.116. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

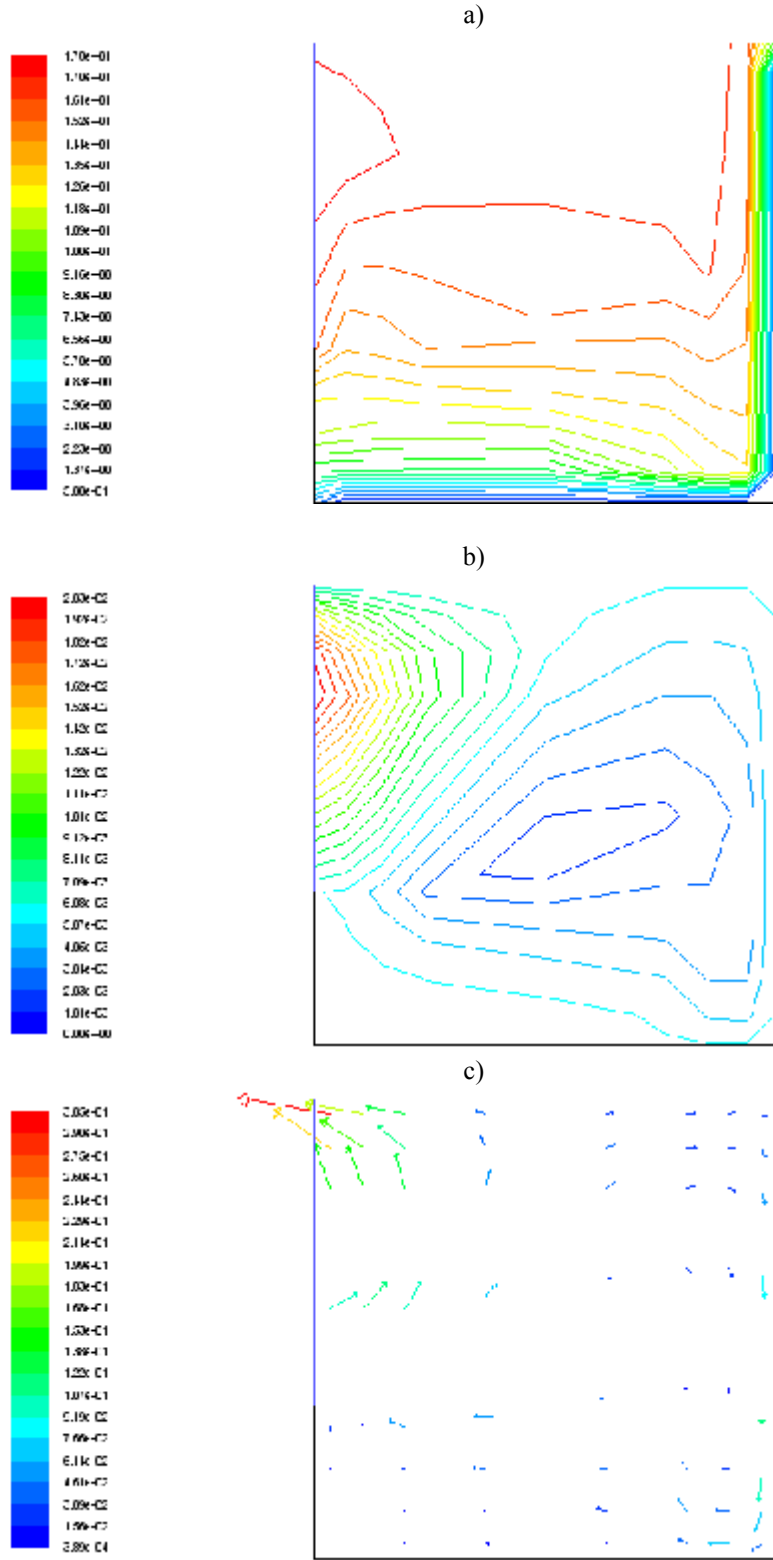




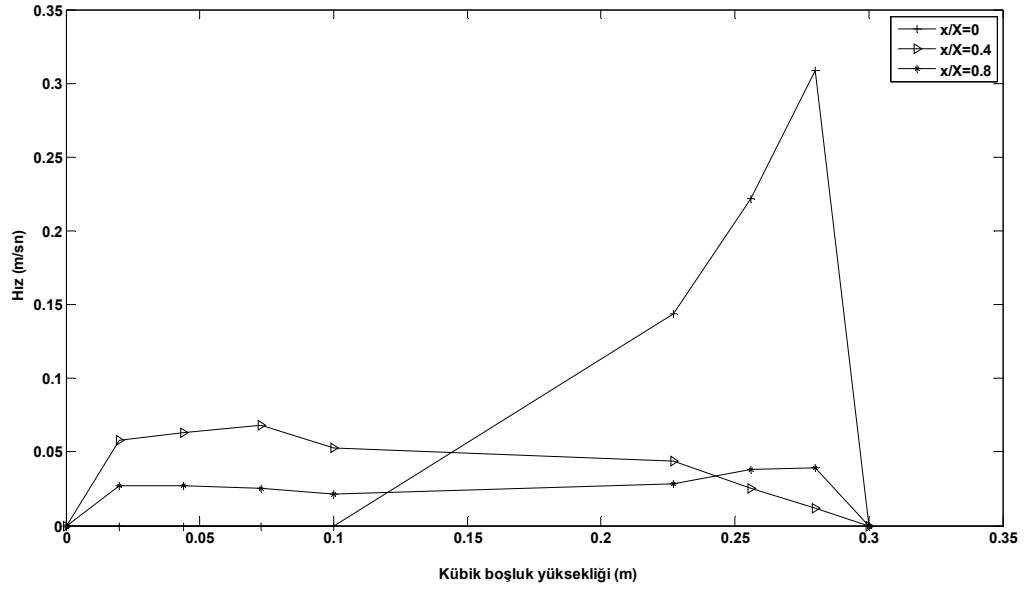
Şekil 4.117. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.118. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

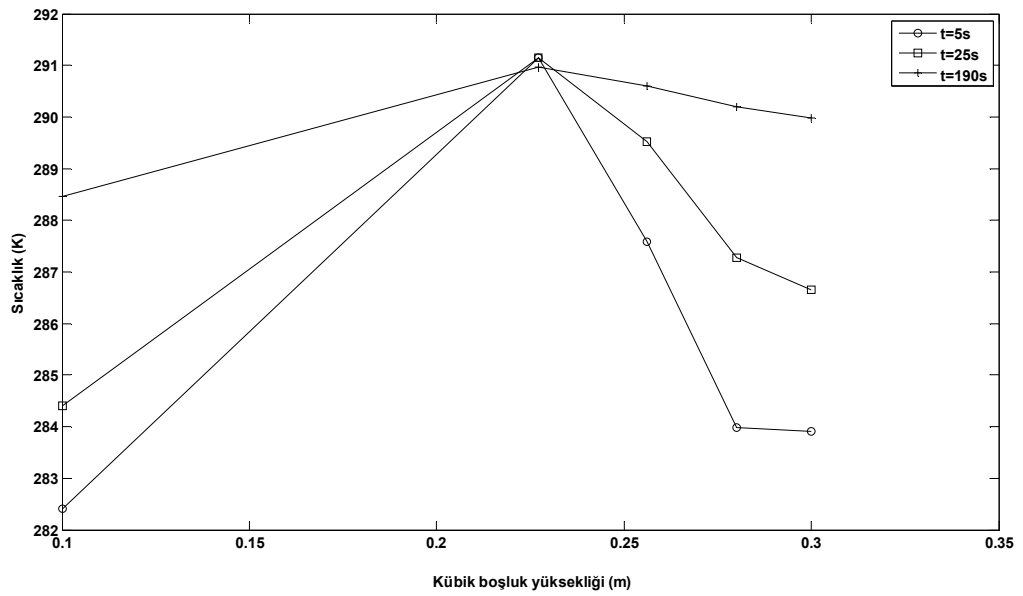


Şekil 4.119. $t=190$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

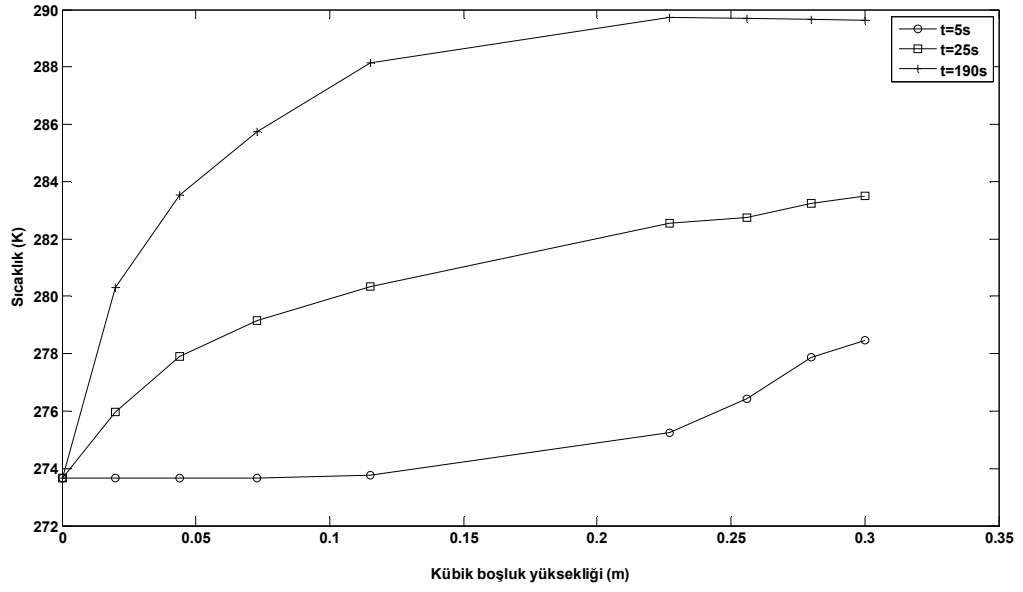


Şekil 4.120. $t=190$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

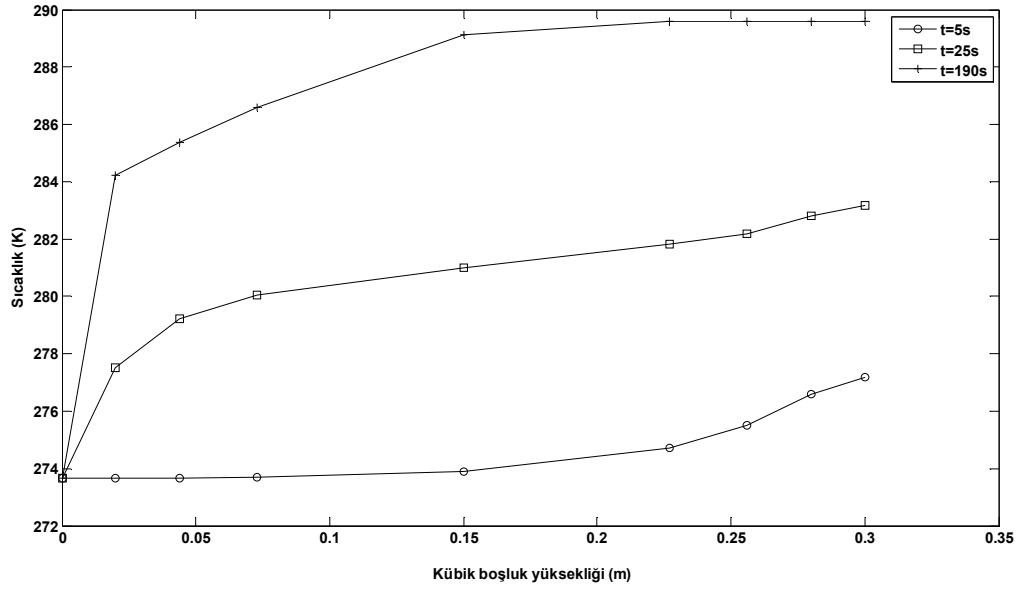
Şekil 4.121.' de $t=190$. saniyede 3. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Doksan beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.121. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



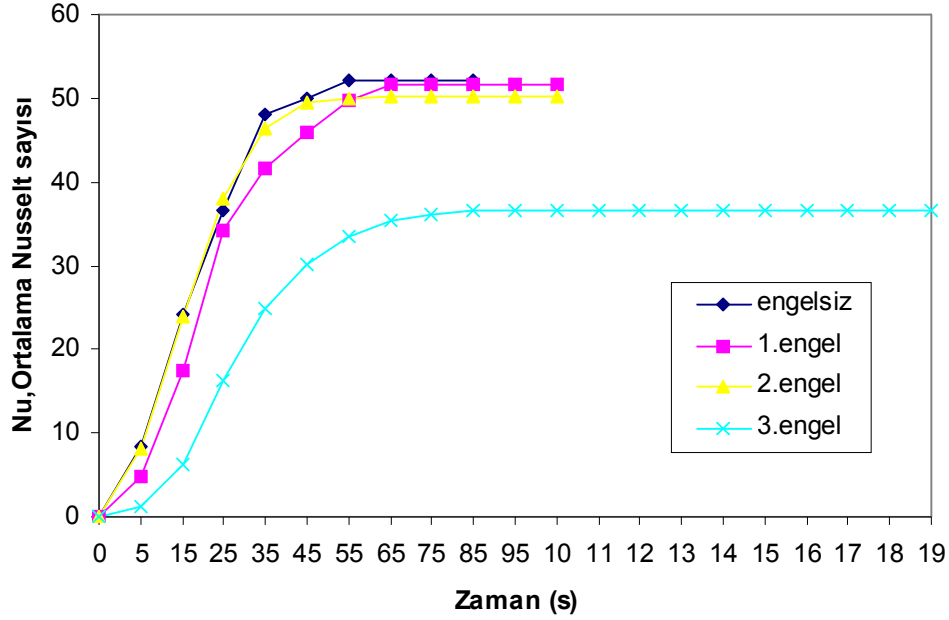
Şekil 4.122. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.123. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Sonuç olarak 3. tip engelin sıcaklık ve hız değişimi üzerinde etkisi diğer engellerden çok olmuş, kübik boşluğun daha geç rejime gelmesine sebep olmuştur. Diğer engellerin etkisi az olup kübik boşluk engelsiz durumla yaklaşık aynı zamanda rejime gelmektedir. Kübik boşluk girişine yerleştirilen engellerin ısı transferine etkisi Şekil 4.124.' de verilmiştir. Her bir engelli durum için sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları engelsiz durumla karşılaştırılmıştır.

Görüldüğü gibi 3. engel durumunda kübik boşluk içerisindeki ısı transferi diğer engelli durumlar ve engelsiz duruma göre daha az olmaktadır. Ayrıca 3. engel durumunda kübik boşluk yaklaşık diğer durumlara göre üç kat daha uzun sürede rejime gelmektedir.

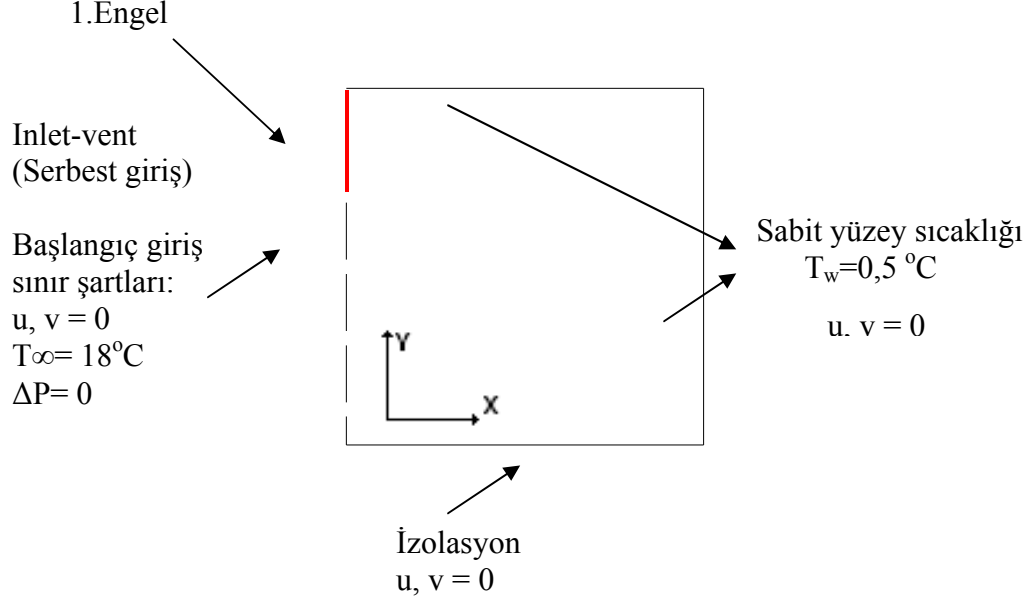


Şekil 4.124. IV. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi

Bununla birlikte 1. engel, 2. engel ve engelsiz durumlarda kübik boşluk içerisinde olan ısı transferi yaklaşık eşit değerlerde değişmektedir. Üçüncü engel durumunda 55. saniyeye kadar Nusselt sayısı hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 33 değerine çıkmaktadır. Bu zaman adımıdan sonra çok yavaş artarak maksimum 36'ya ulaşmaktadır. Diğer durumlarda ise Nusselt sayısı 35. saniyeye kadar hızlı bir şekilde artarak ortalama 46'ya çıkmakta ve daha sonra yavaş bir artışla maksimum 50 olmaktadır.

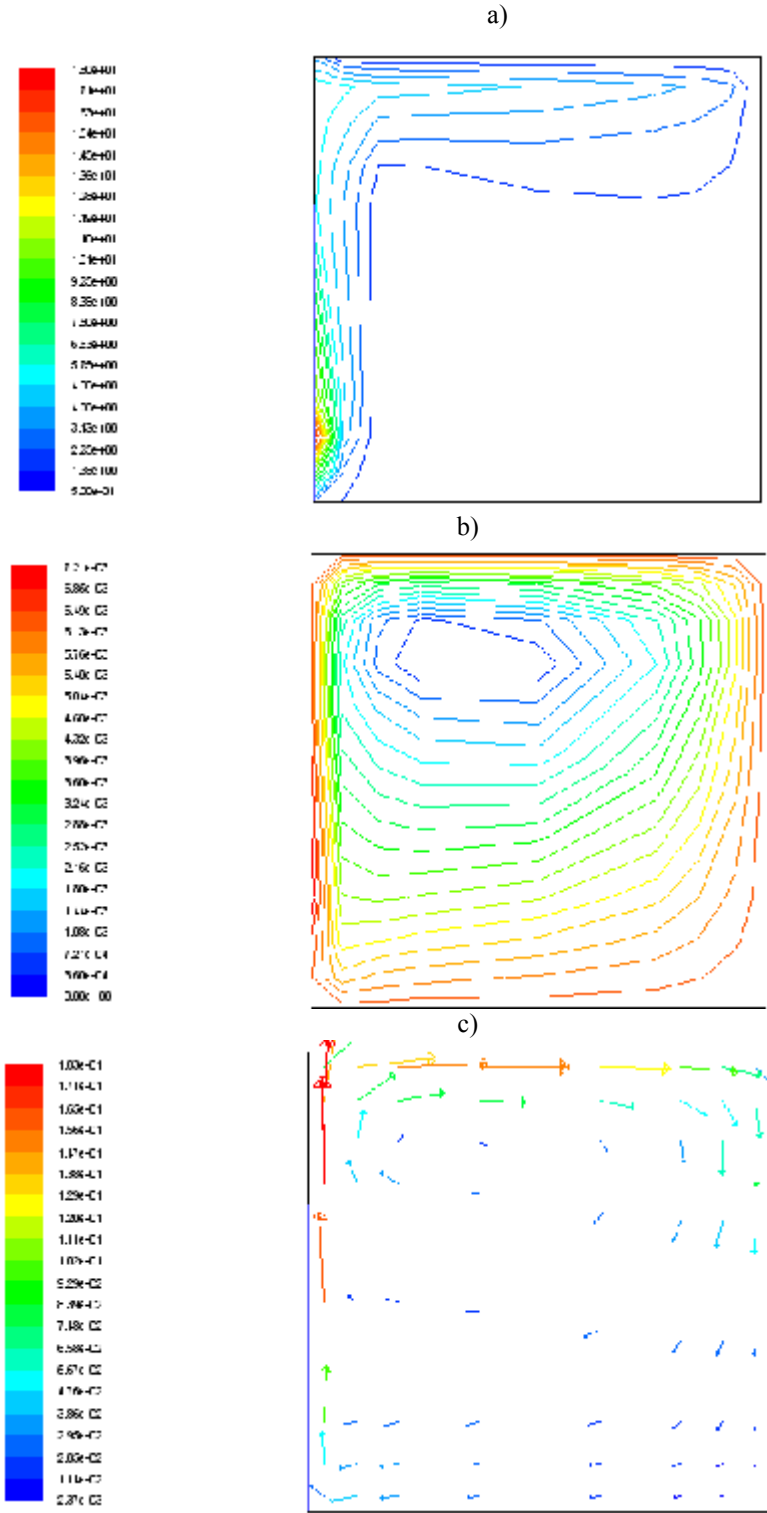
4.5. V. Durum İçin Engelli Durumlar

4.5.1. 1.Engel

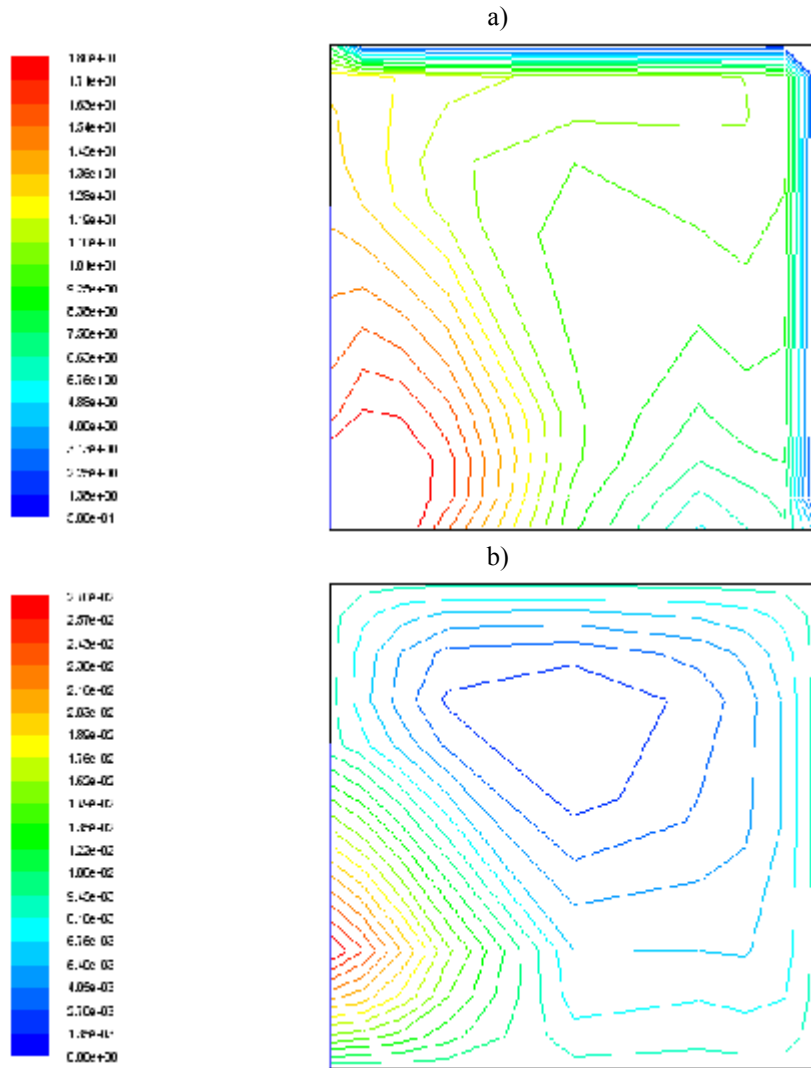
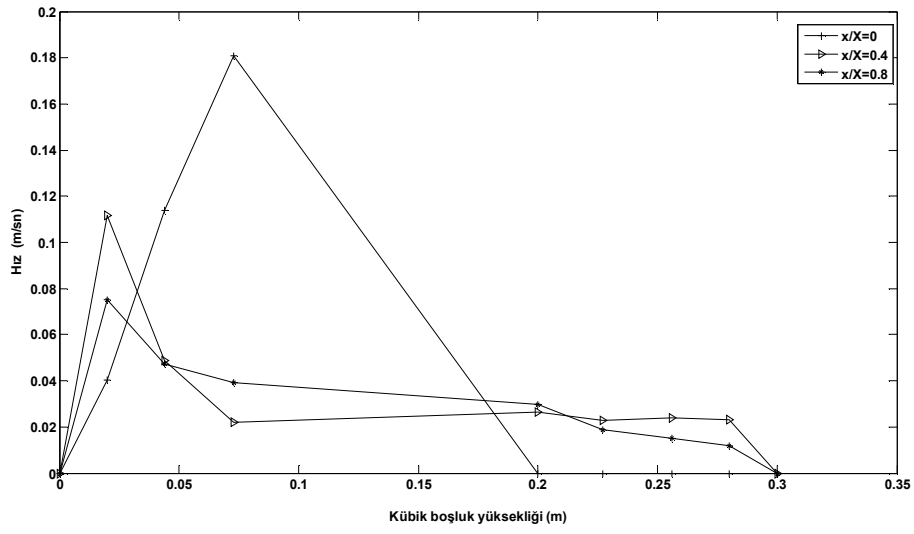


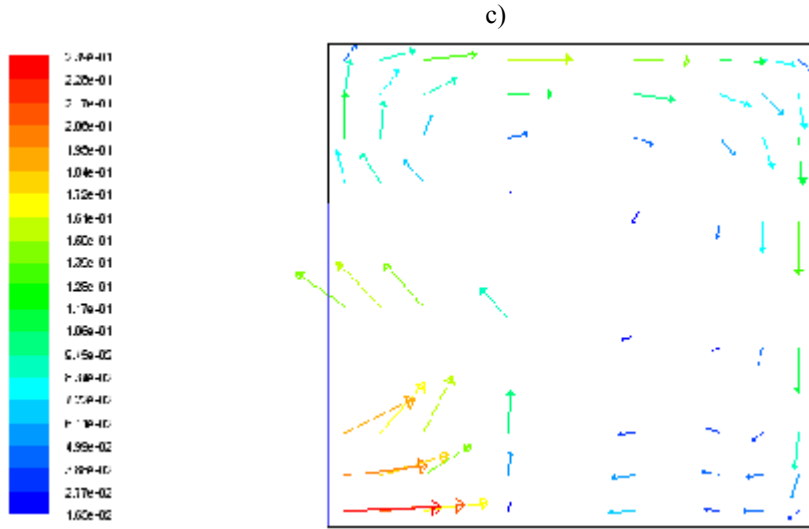
Şekil 4.125. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) üstten 0,1 m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.126. a, b ve c' de 1. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 1. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre bir miktar azalmıştır.

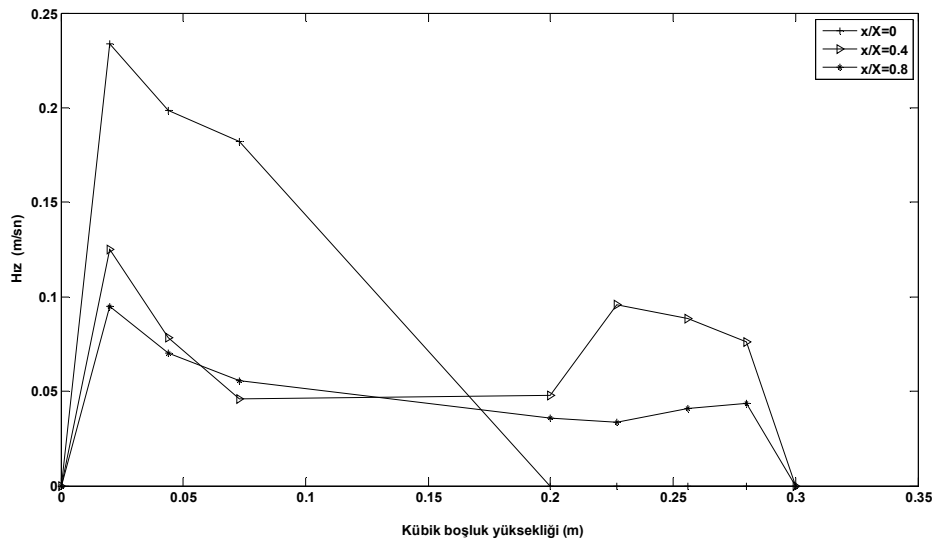


Şekil 4.126. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

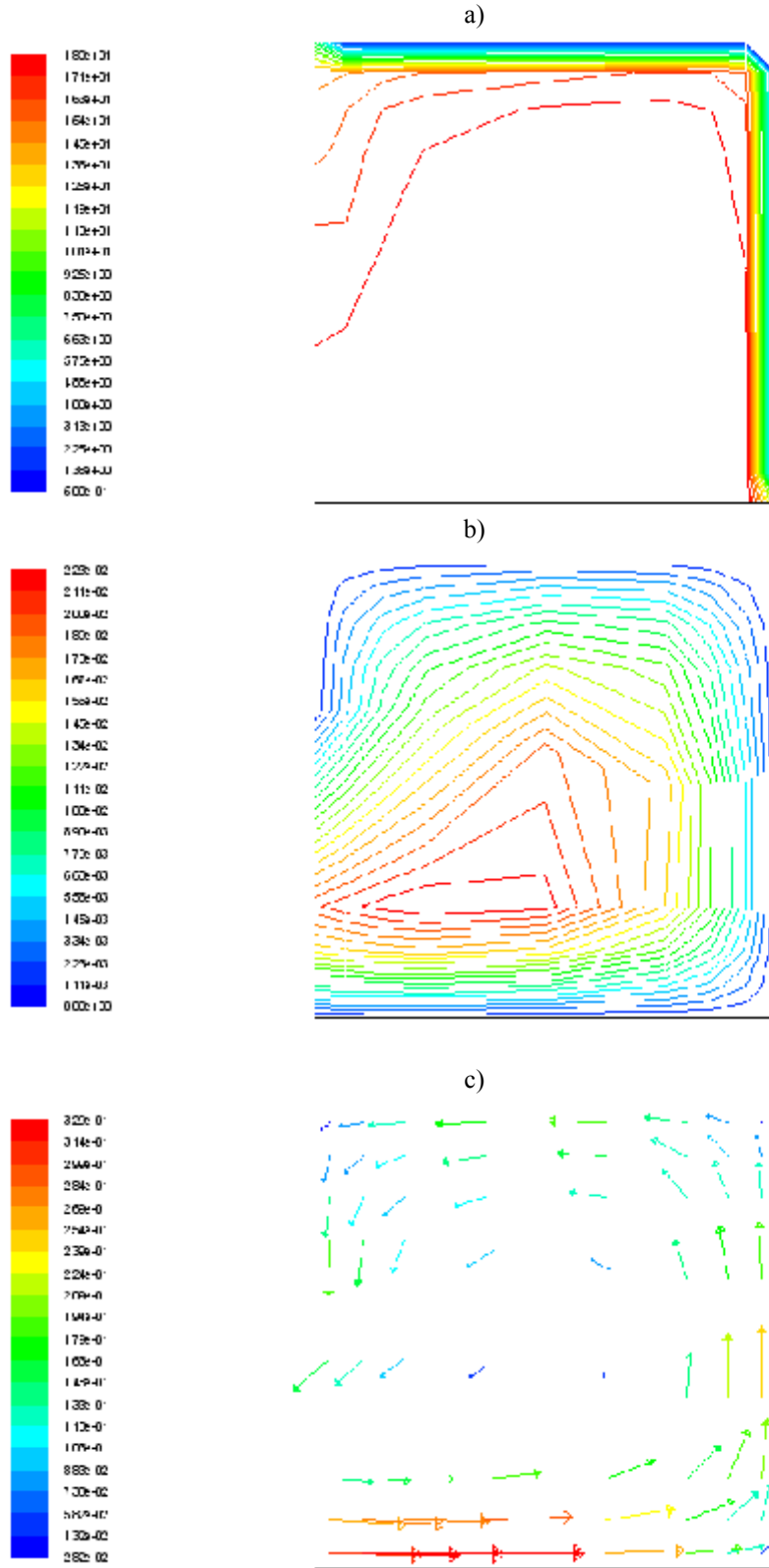




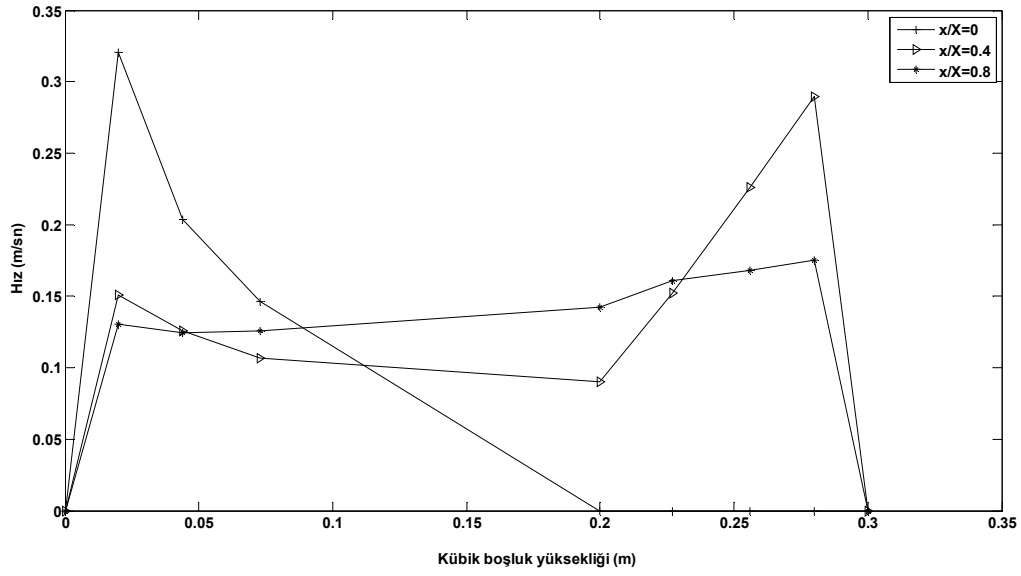
Şekil 4.128. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.129. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

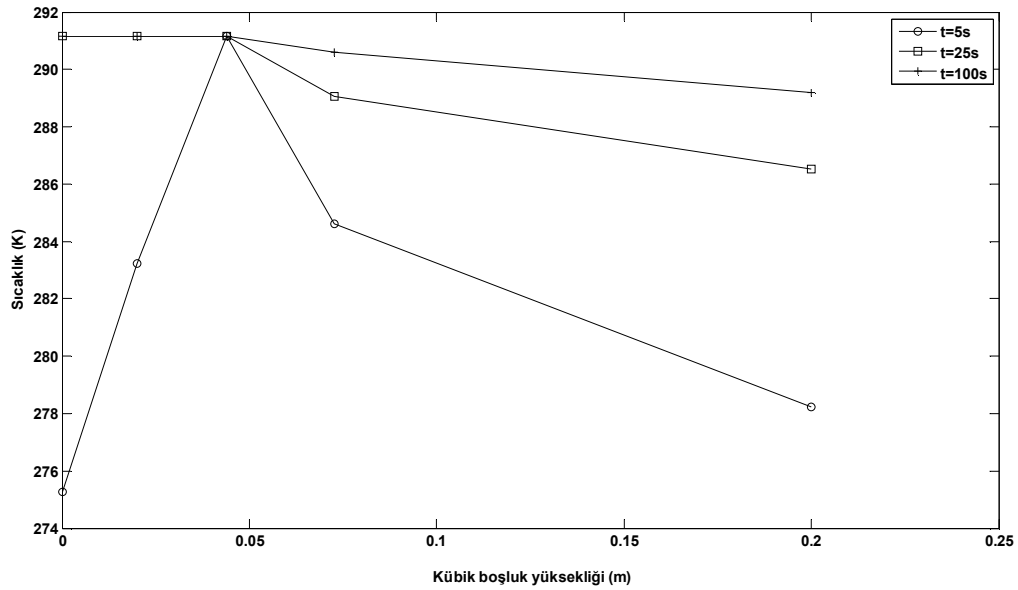


Şekil 4.130. $t=100$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

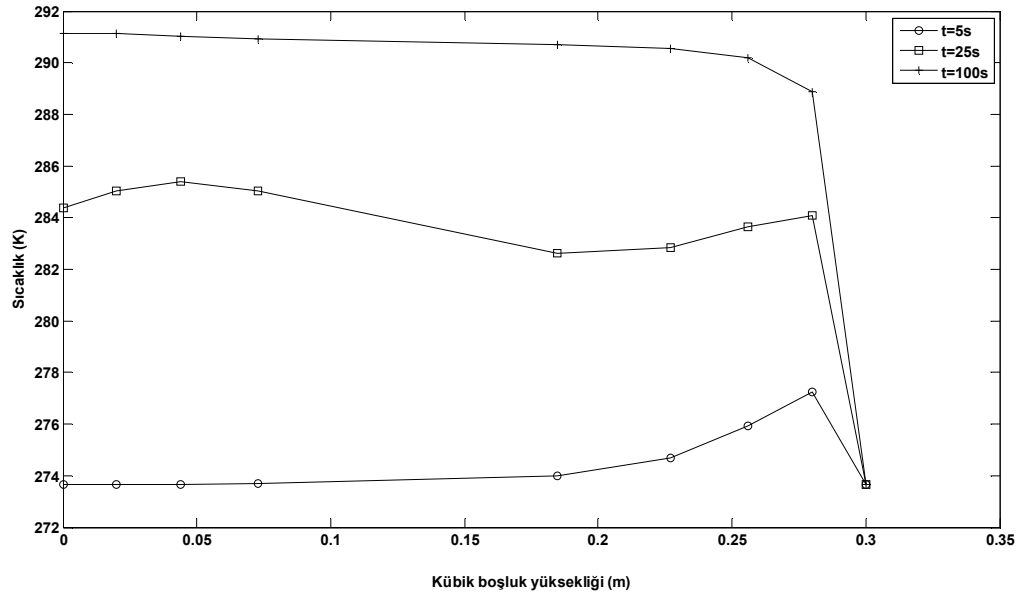


Şekil 4.131. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

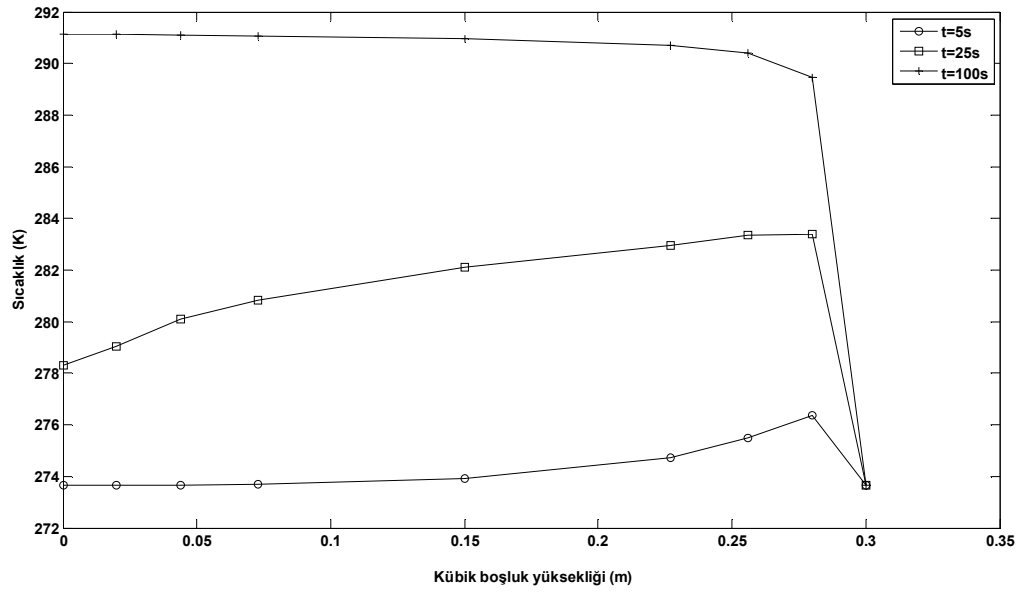
Şekil 4.132.' de $t=100$. saniyede 1. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Elli beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.132. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

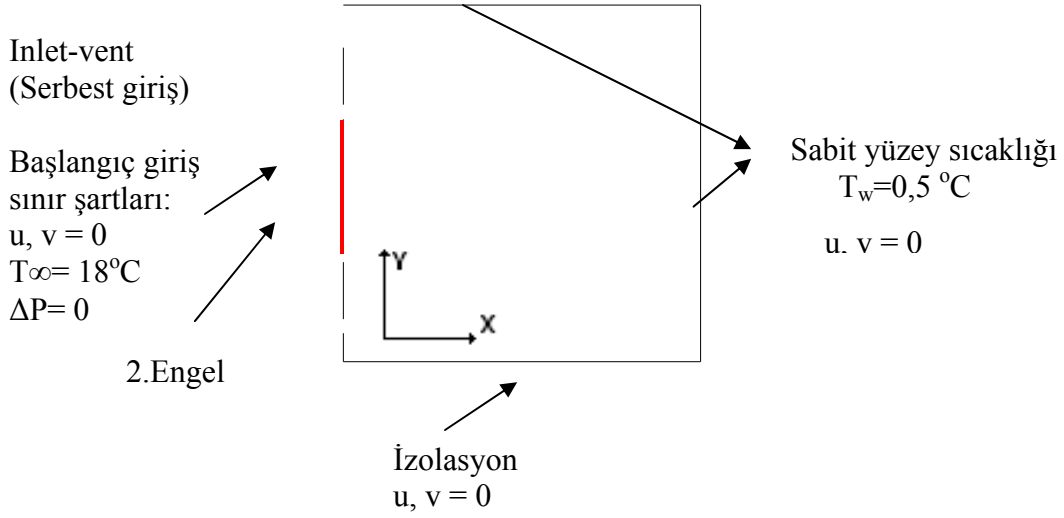


Şekil 4.133. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.134. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

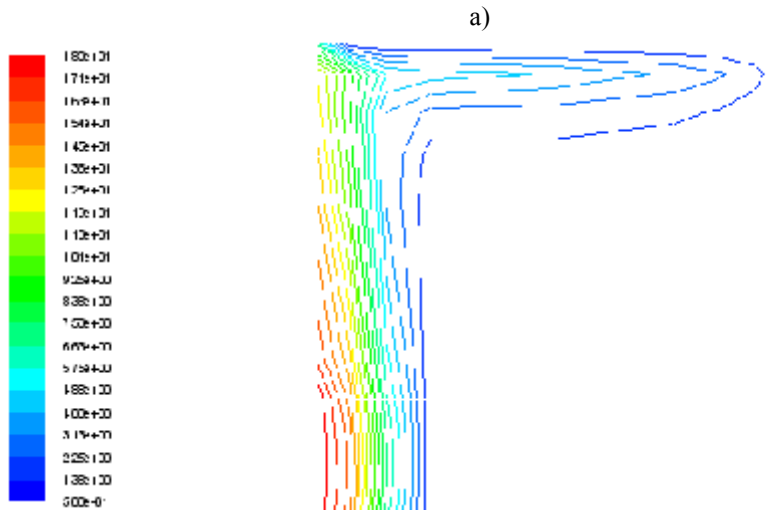
4.5.2. 2.Engel

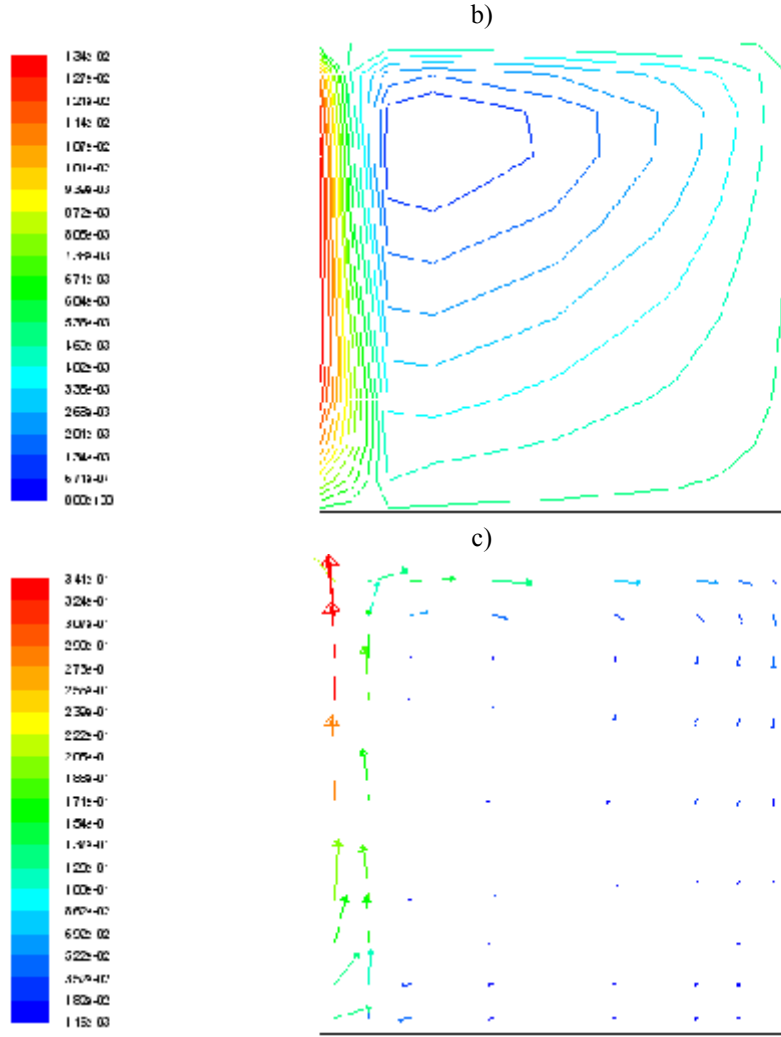


Şekil 4.135. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

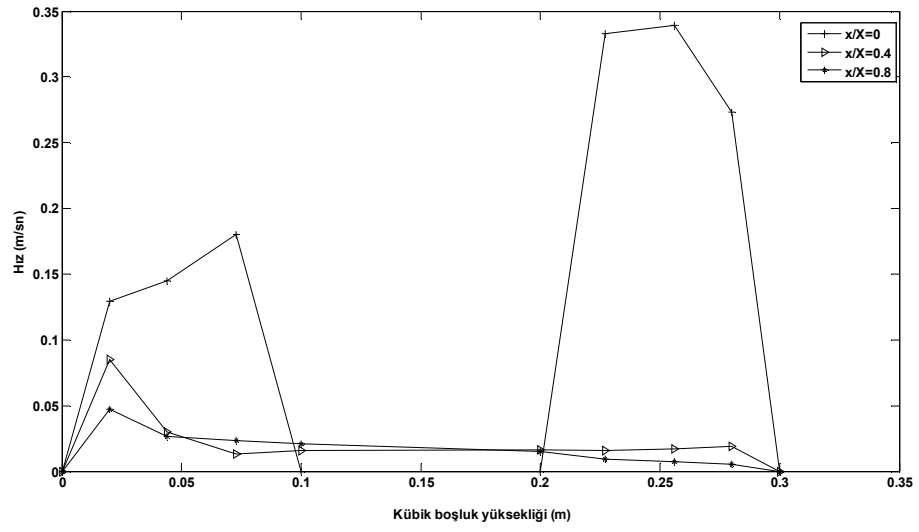
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1 m ile 0,2 m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.136. a, b ve c' de 2. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir.

Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 2. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre küçük bir miktar azalmıştır.

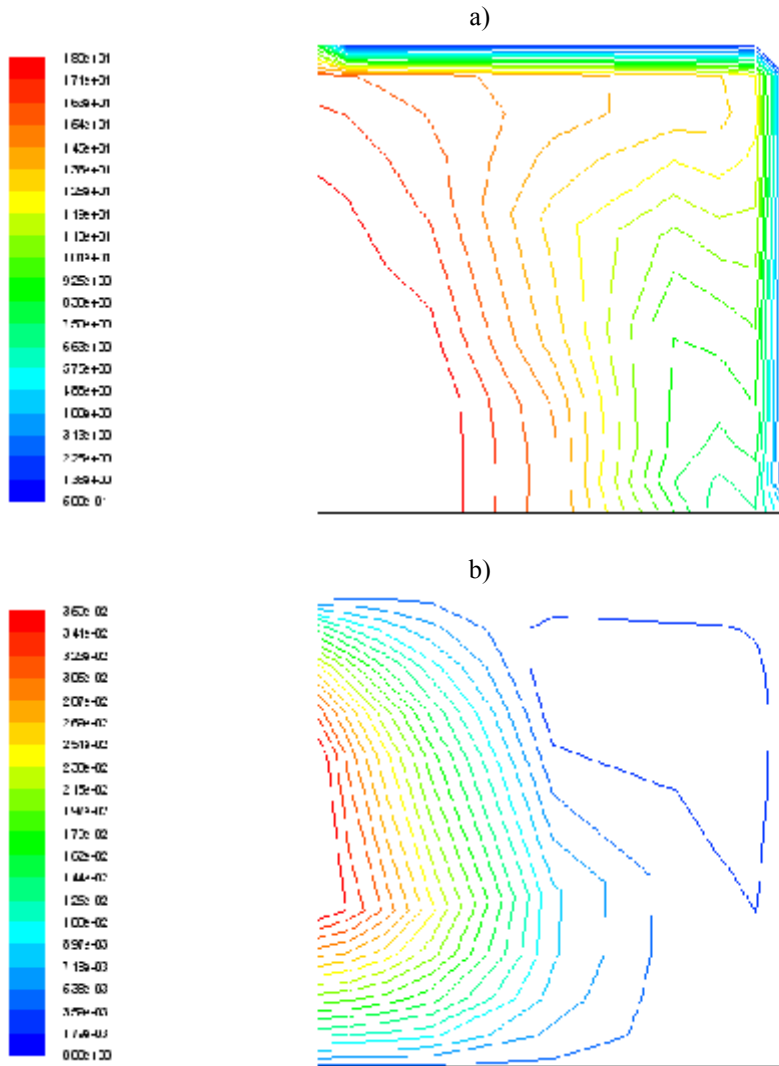


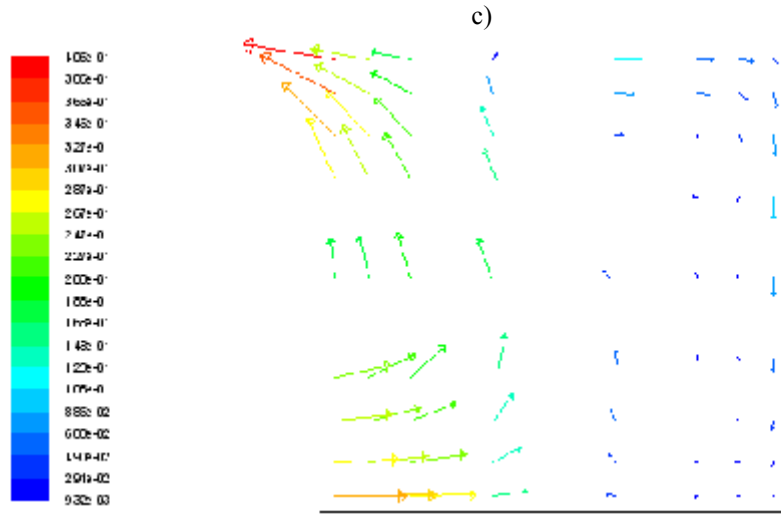


Şekil 4.136. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

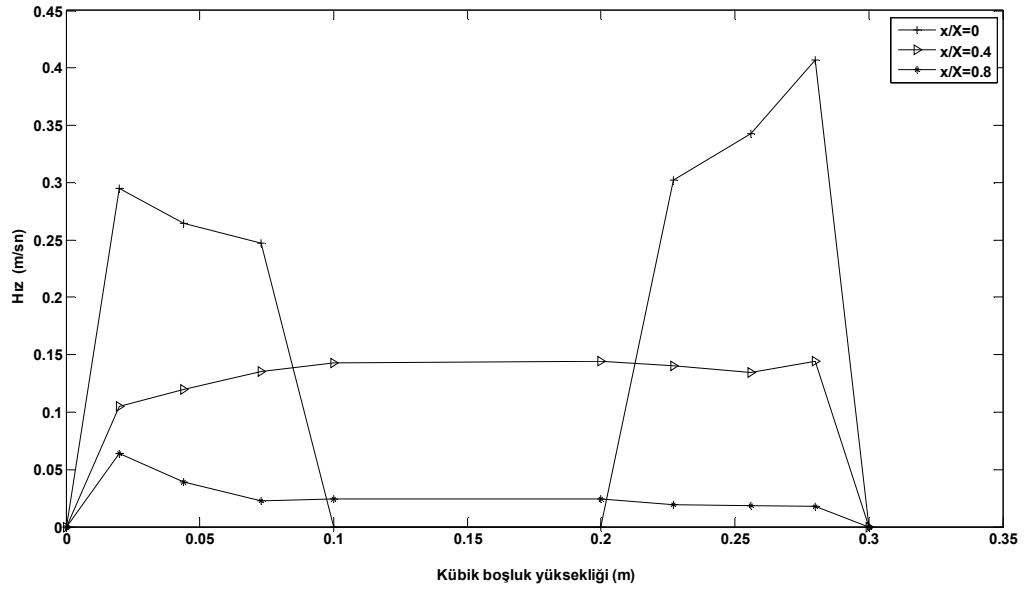


Şekil 4.137. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğine değişimi

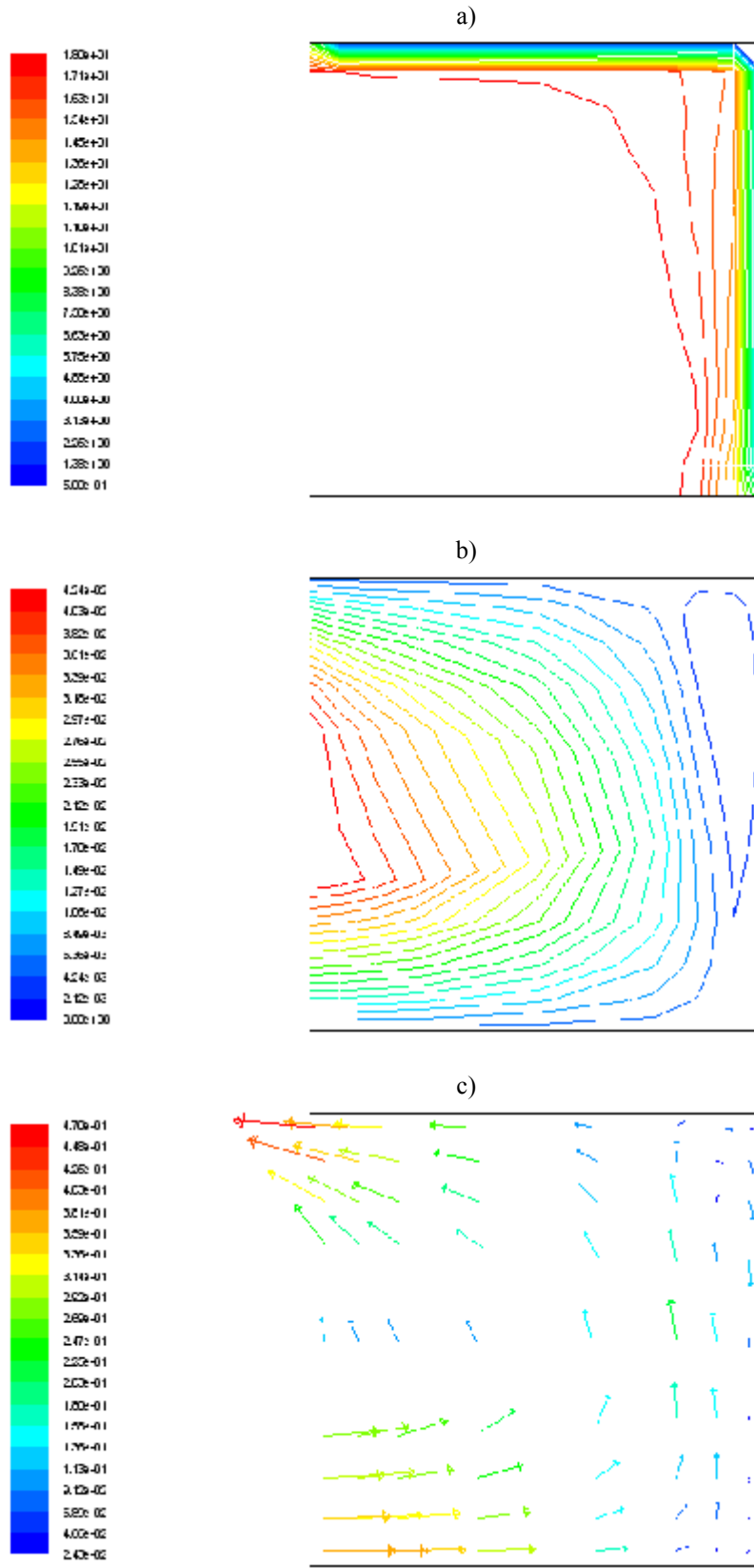




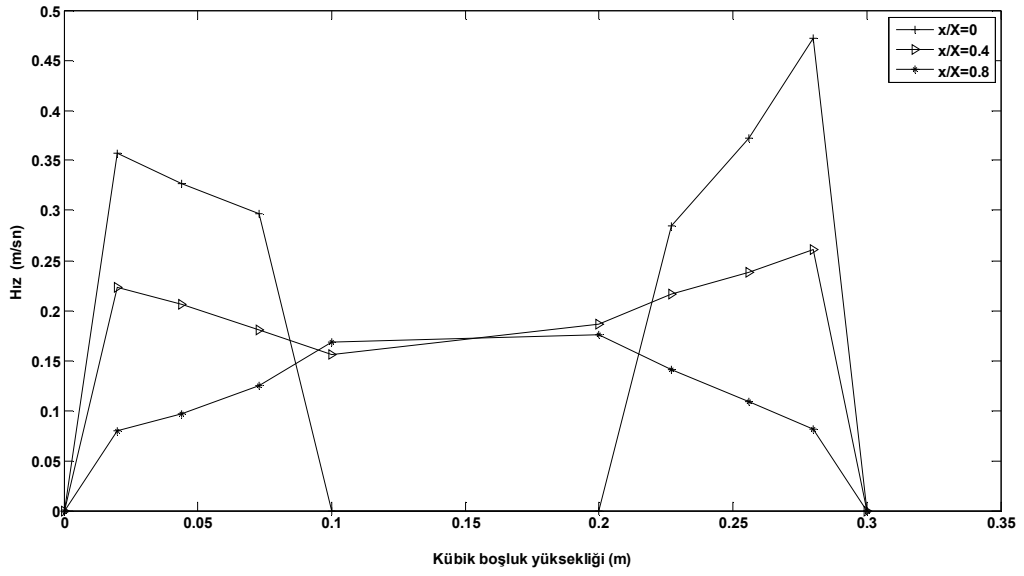
Şekil 4.138. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.139. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

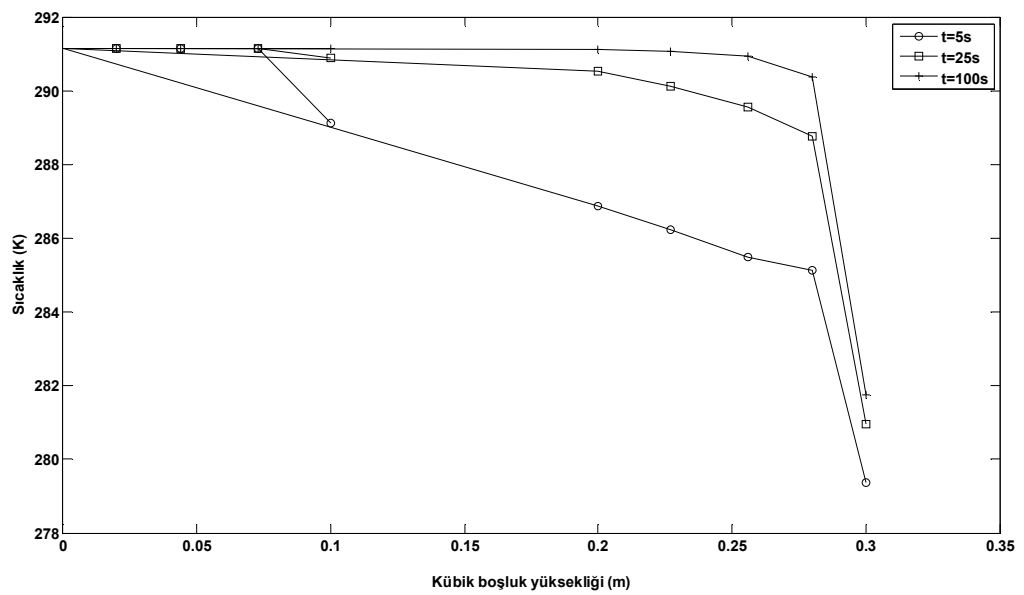


Şekil 4.140. $t=100$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

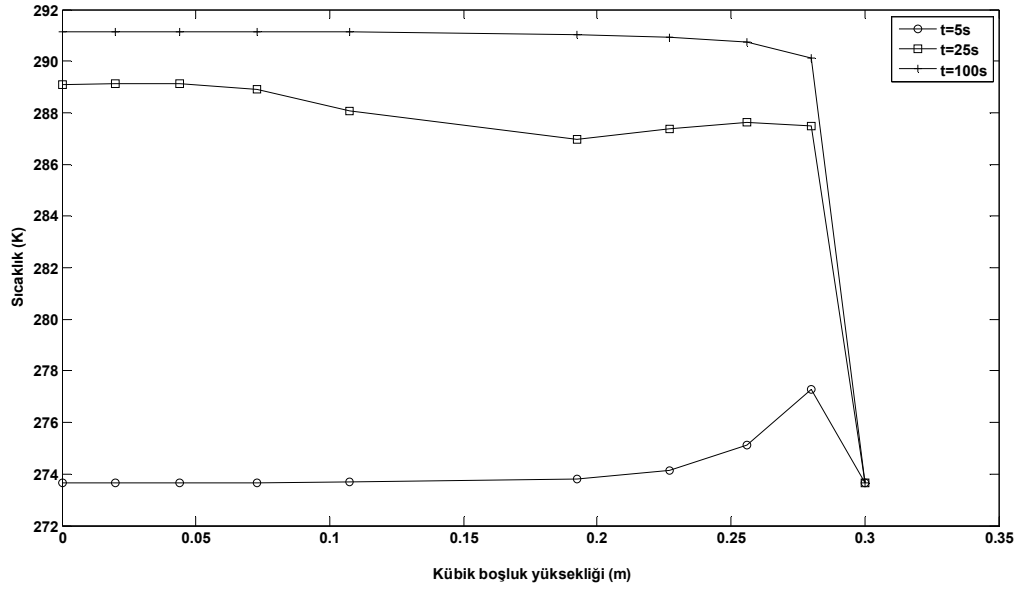


Şekil 4.141. $t=100$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

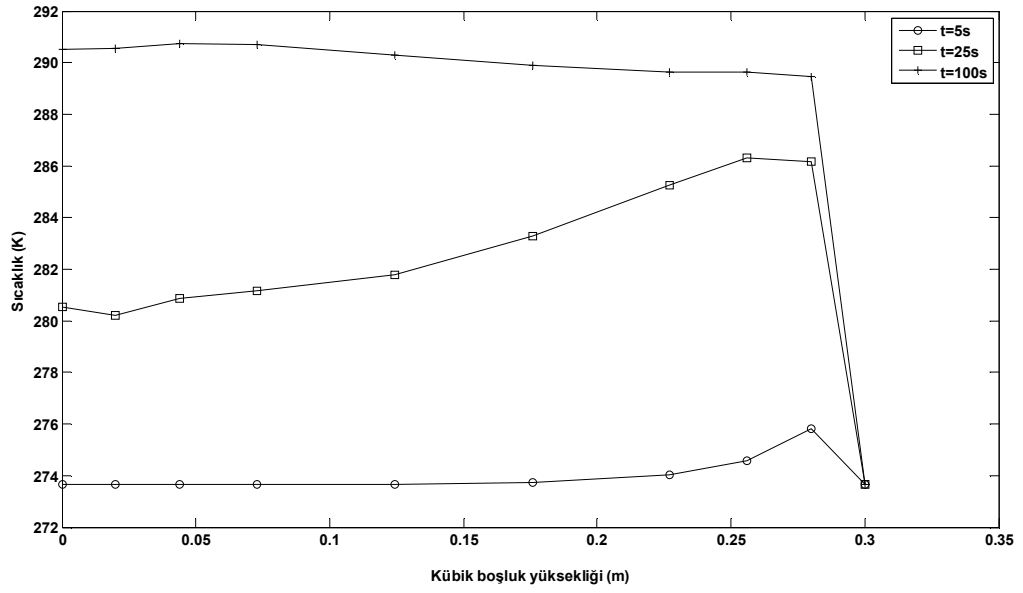
Şekil 4.142.' de $t=100$. saniyede 2. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Elli beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.142. $x/X=0$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

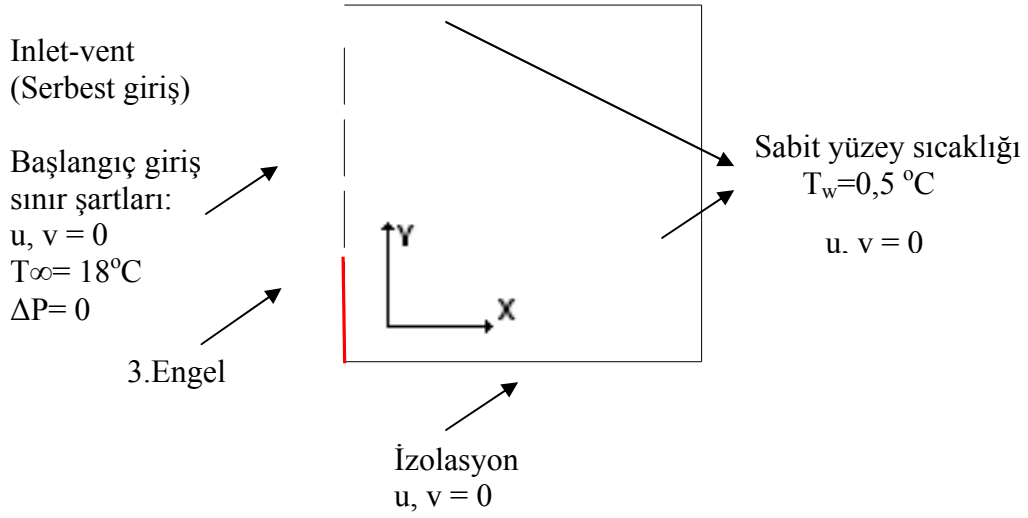


Şekil 4.143. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.144. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

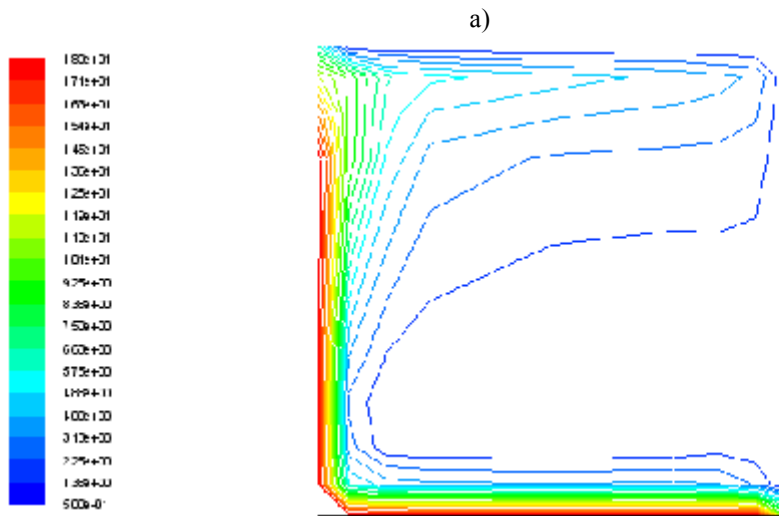
4.5.3. 3.Engel

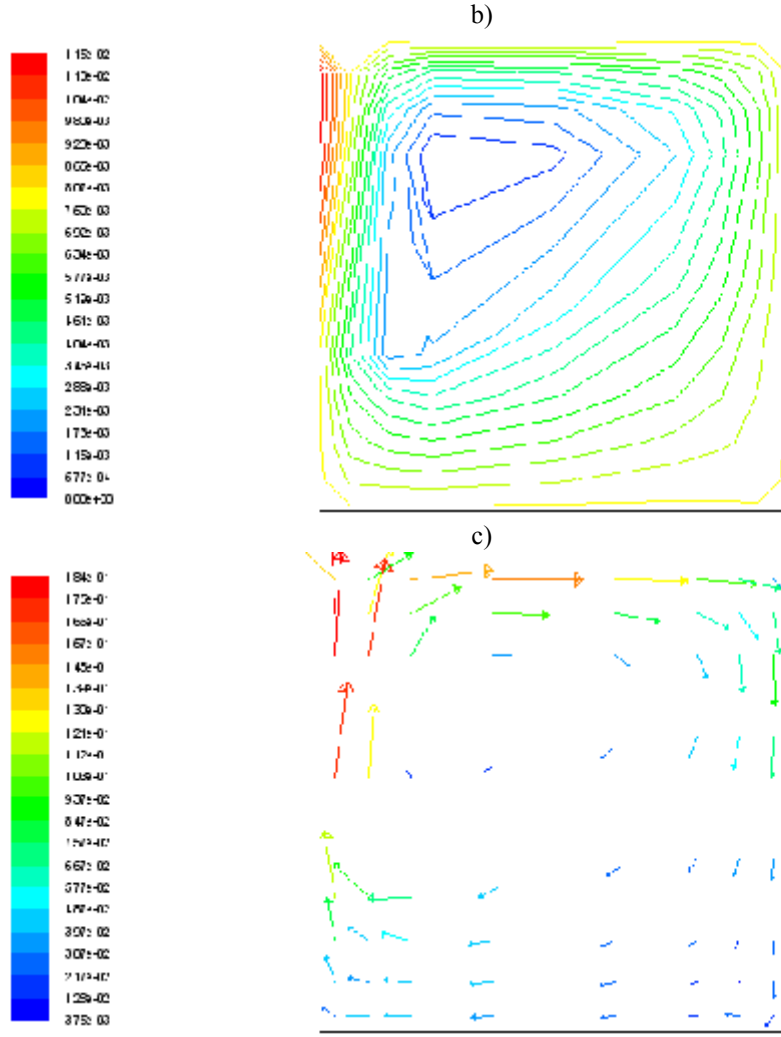


Şekil 4.145. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

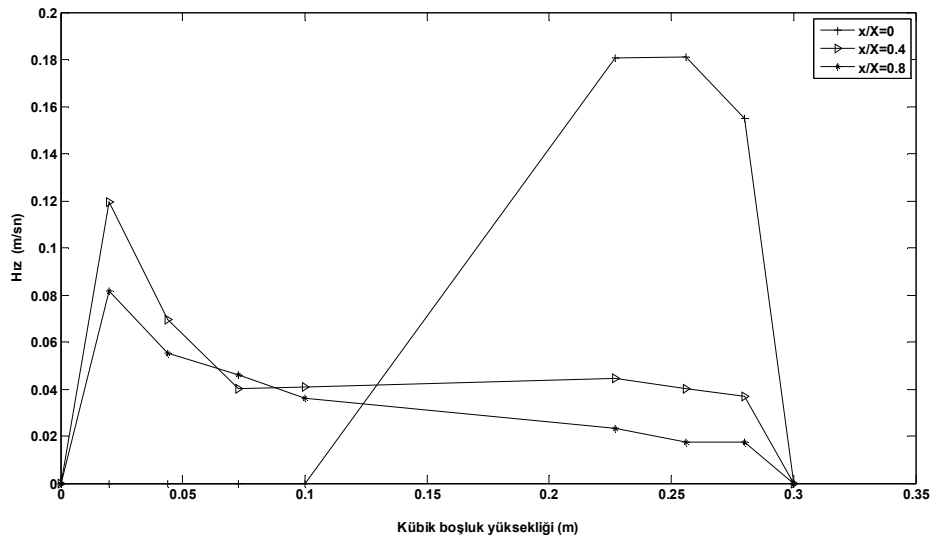
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) alttan 0,1m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.146. a, b ve c' de 3. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir.

Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 3. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre yaklaşık iki kat artmıştır.

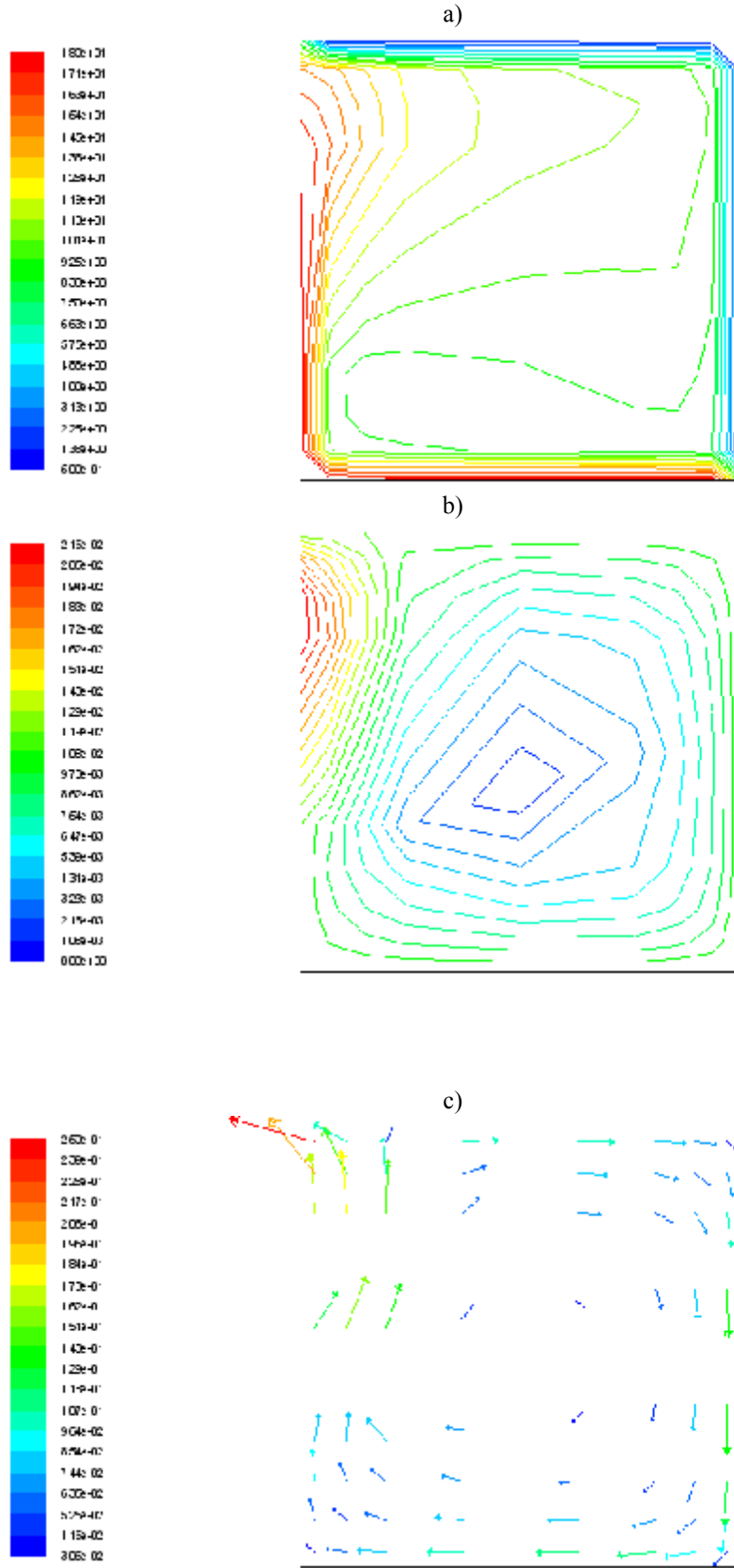




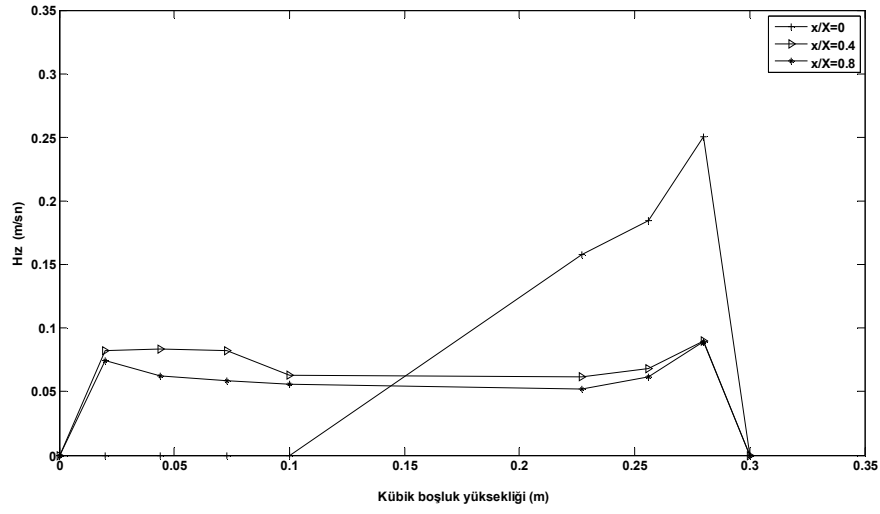
Şekil 4.146. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



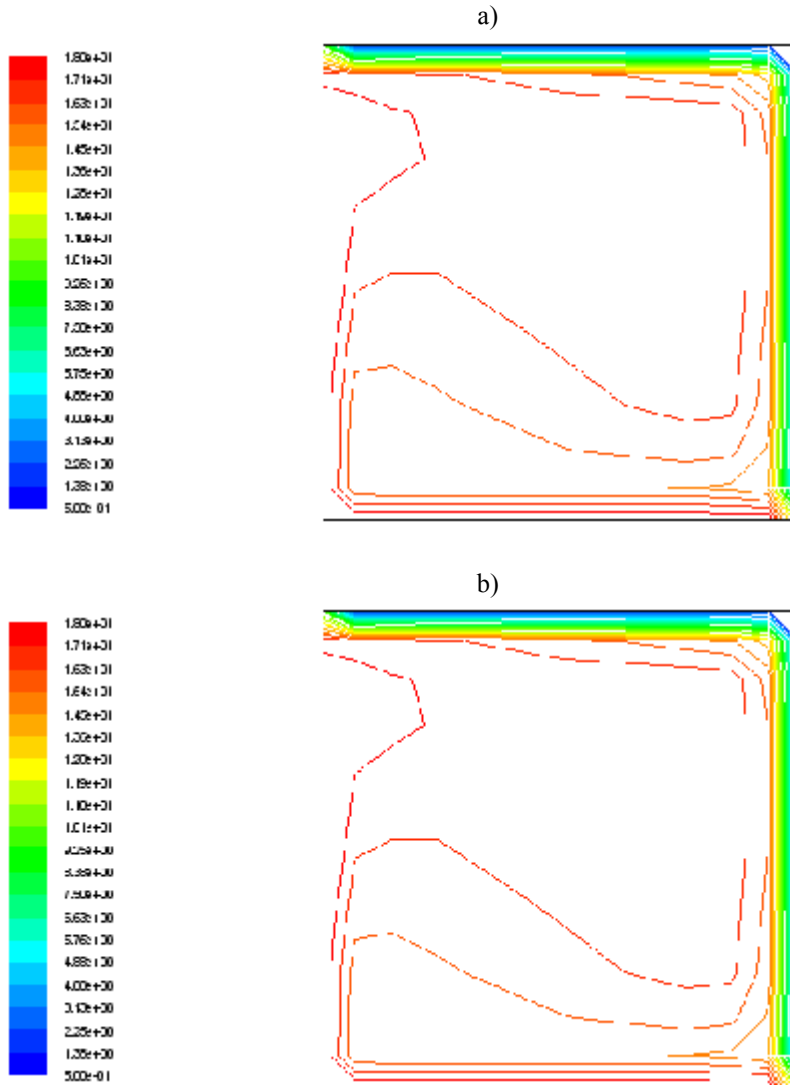
Şekil 4.147. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

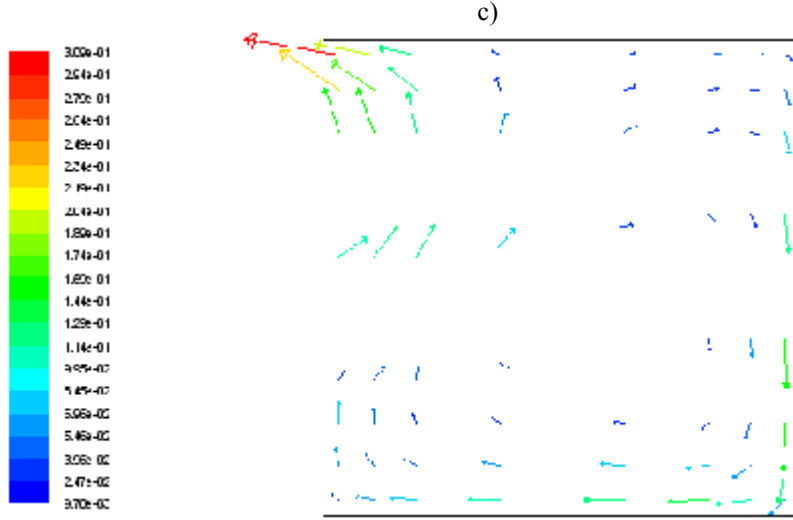


Şekil 4.148. $t=25$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

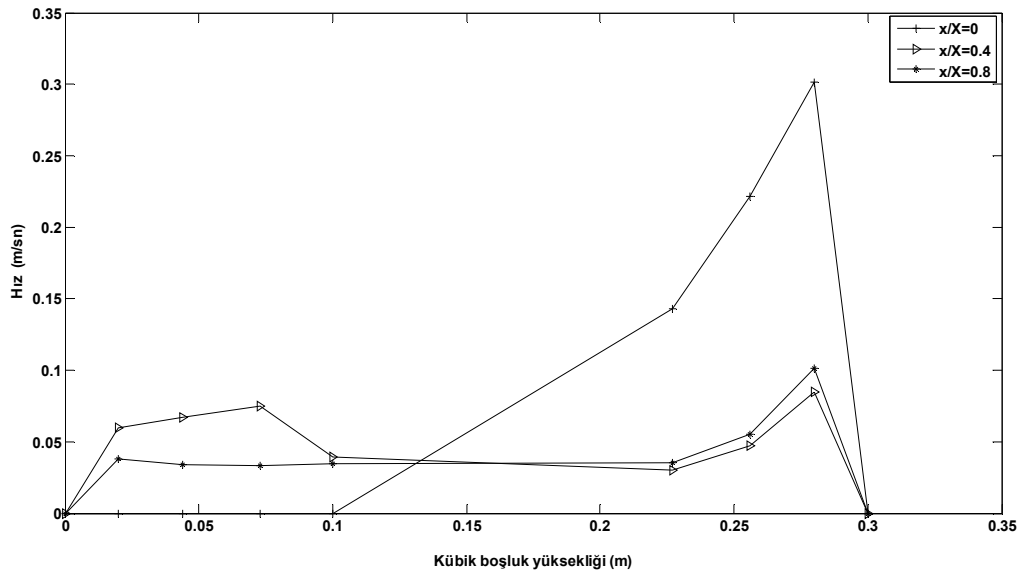


Şekil 4.149. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



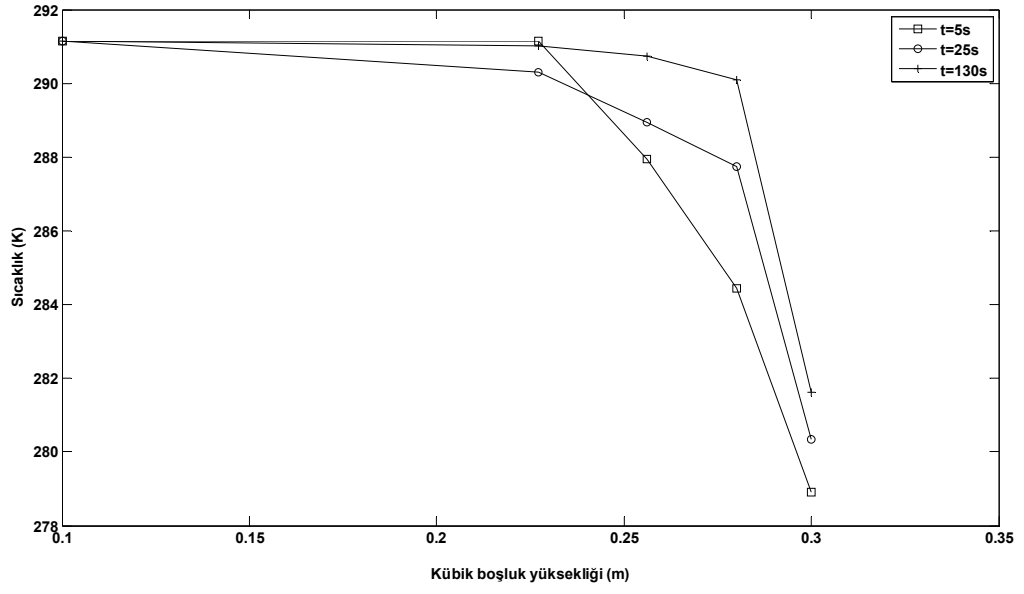


Şekil 4.150. $t=130$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

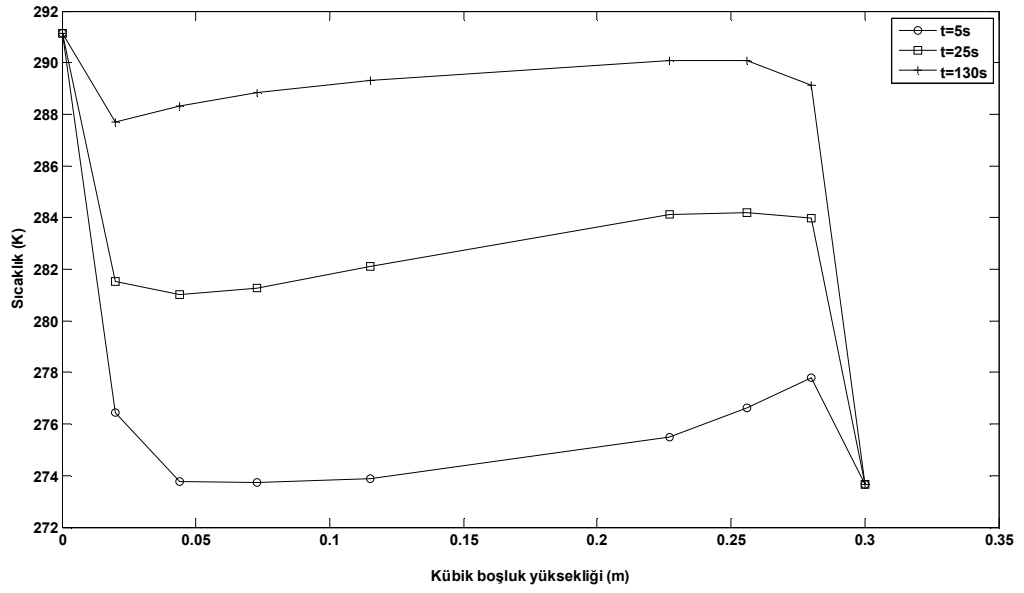


Şekil 4.151. $t=130$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

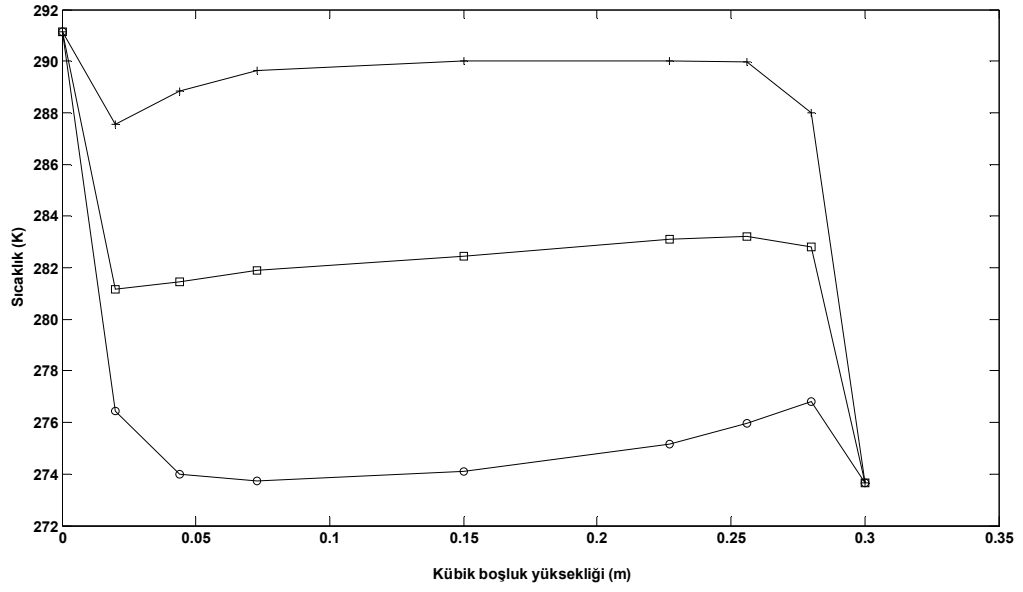
Şekil 4.152.'de $t=130$. saniyede 3. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290 K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273 °K- 277 °K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273 °K- 276 °K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Elli beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.152. $x/X=0$ ’da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

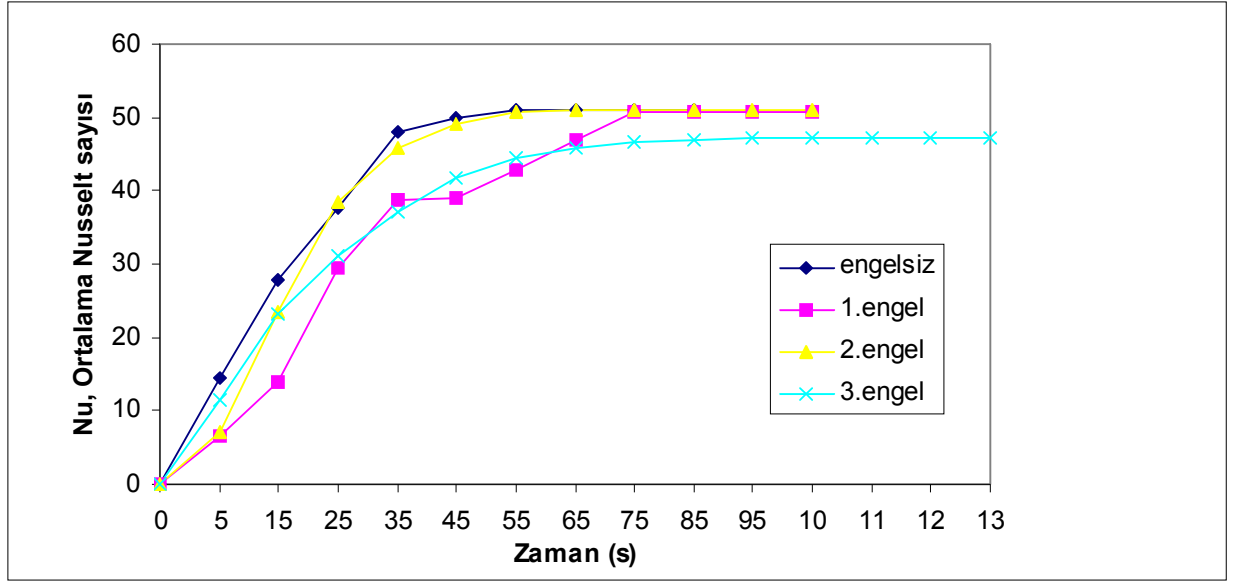


Şekil 4.153. $x/X=0,4$ ’de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.154. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Sonuç olarak 3. tip engelin sıcaklık ve hız değişimi üzerinde etkisi diğer engellerden çok olmuş, kübik boşluğun daha geç rejime gelmesine sebep olmuştur. Diğer engellerin etkisi az olup kübik boşluk engelsiz durumla yaklaşık aynı zamanda rejime gelmektedir. Kübik boşluk girişine yerleştirilen engellerin ısı transferine etkisi Şekil 4.155.' de verilmiştir. Her bir engelli durum için sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları engelsiz durumla karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi 3. engel durumunda kübik boşluk içerisindeki ısı transferi diğer engelli durumlar ve engelsiz duruma göre daha az olmaktadır. Ayrıca 3. engel durumunda kübik boşluk yaklaşık diğer durumlara göre iki kat daha uzun sürede rejime gelmektedir.

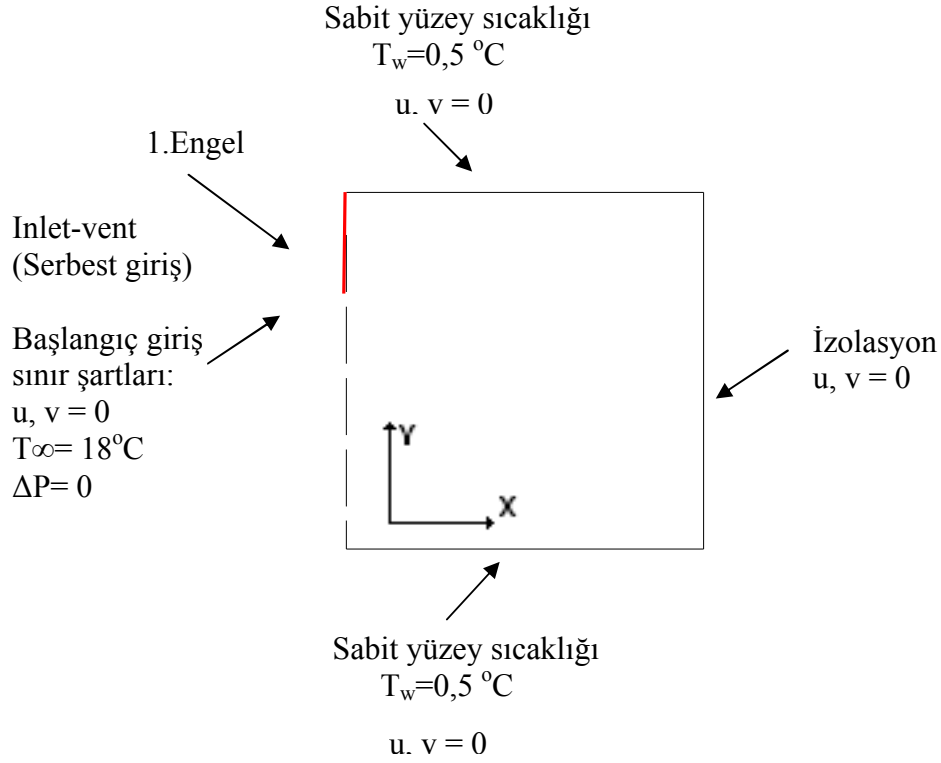


Şekil 4.155. V. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi

Bununla birlikte 1. engel, 2. engel ve engelsiz durumlarda kübik boşluk içerisinde olan ısı transferi yaklaşık eşit değerlerde değişmektedir. Üçüncü engel durumunda 55. saniyeye kadar Nusselt sayısı hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 44 değerine çıkmaktadır. Bu zaman adımıdan sonra çok yavaş artarak maksimum 47' ye ulaşmaktadır. Diğer durumlarda ise Nusselt sayısı 35. saniyeye kadar hızlı bir şekilde artarak ortalama 45' e çıkmakta ve daha sonra yavaş bir artışla maksimum 49 olmaktadır.

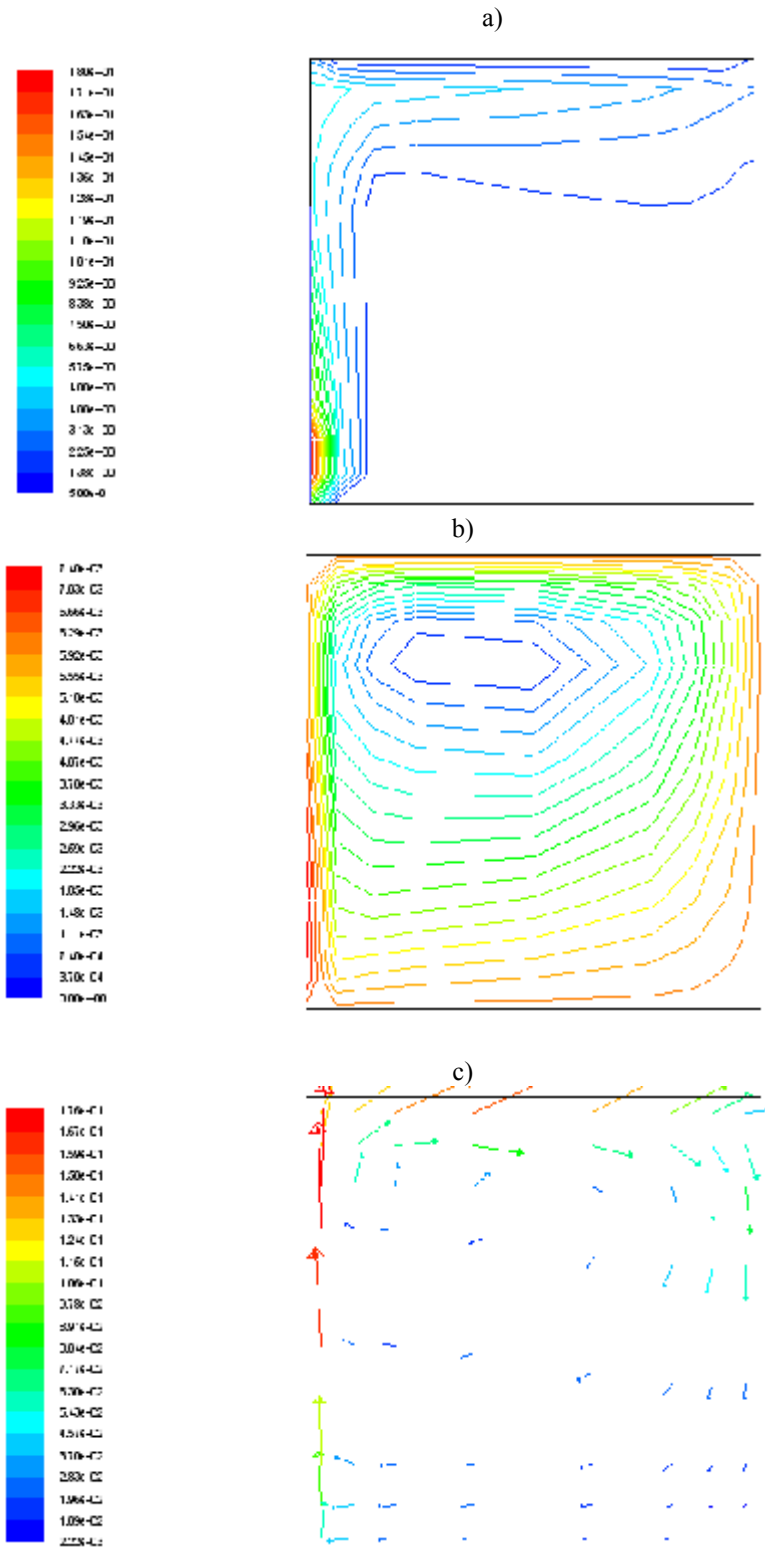
4.6. VI. DURUM İÇİN ENGELLİ DURUMLAR

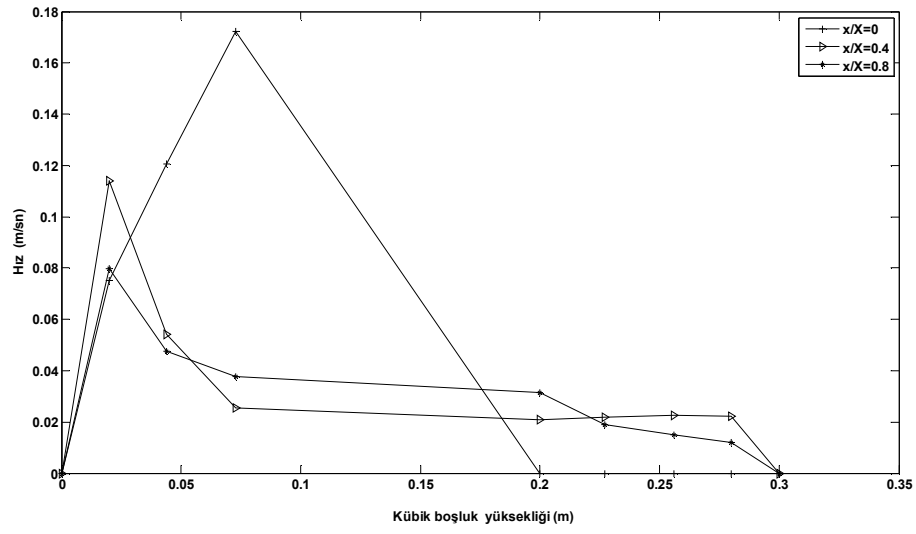
4.6.1. 1.ENGEL



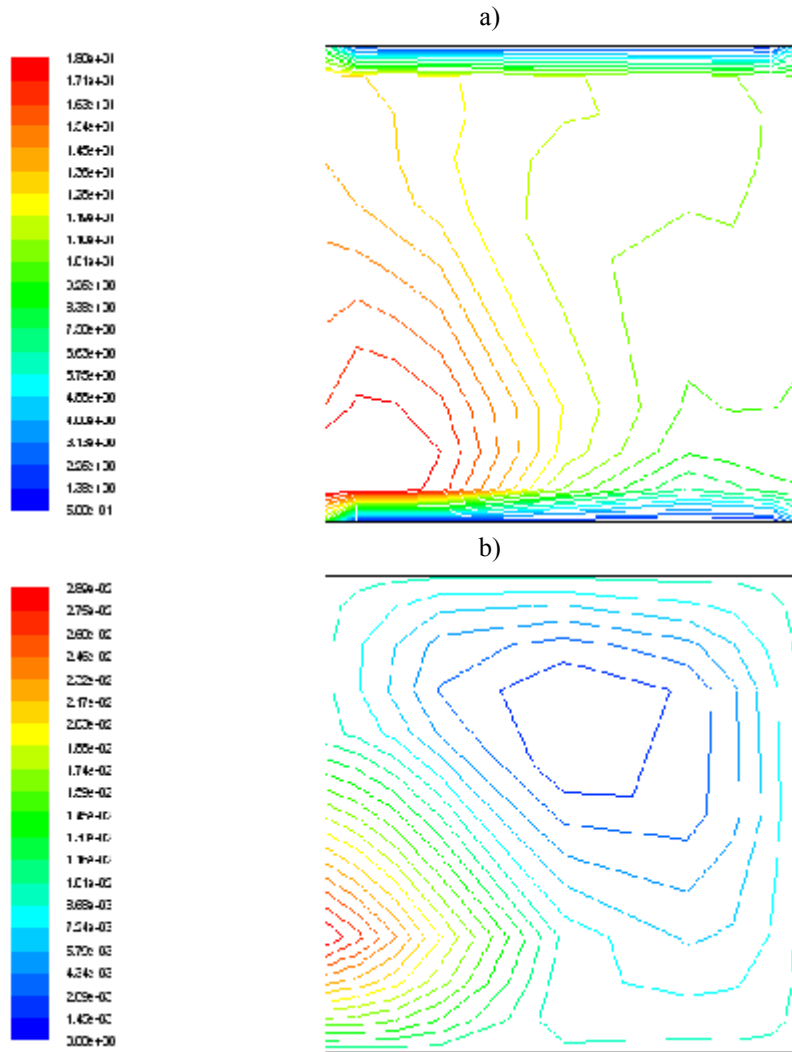
Şekil 4.156. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

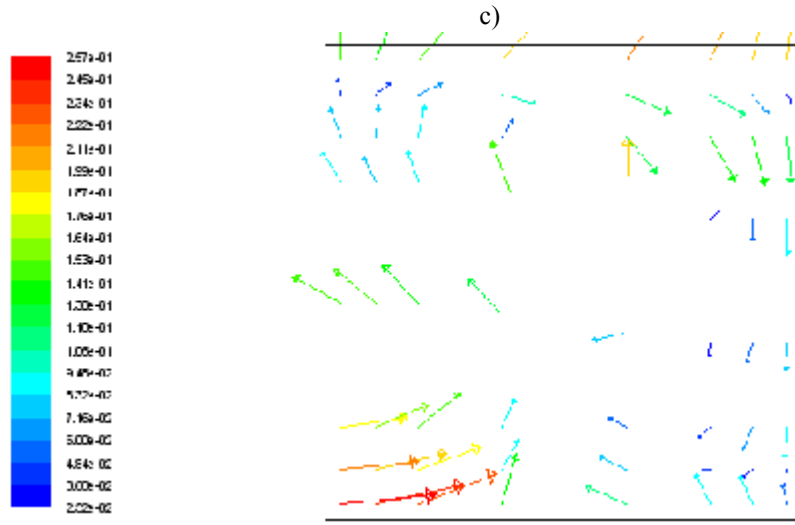
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) üstten 0,1 m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.157. a, b ve c' de 1. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 1. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre küçük bir miktar artmıştır.



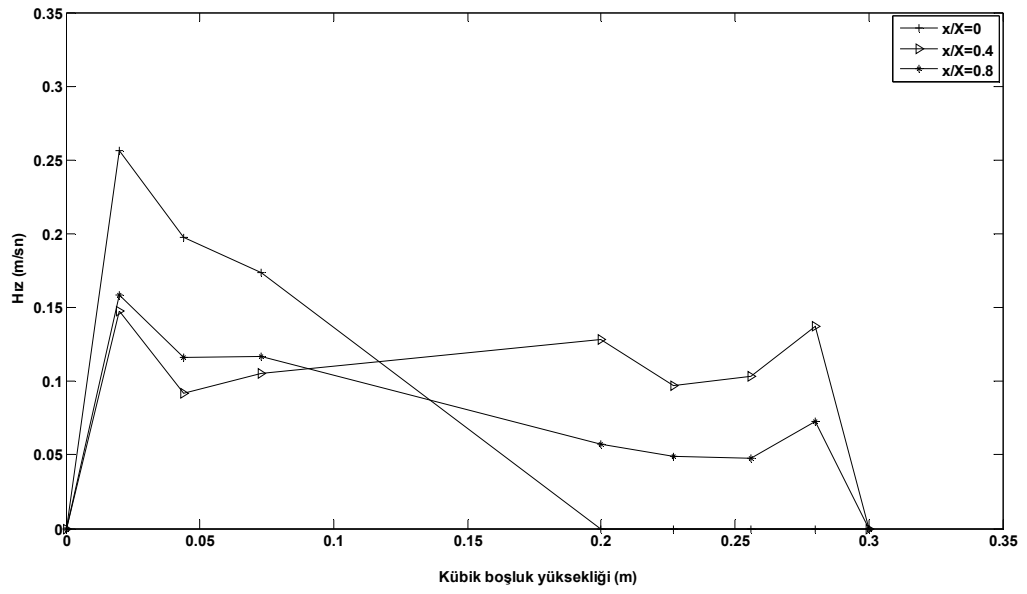


Şekil 4.158. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

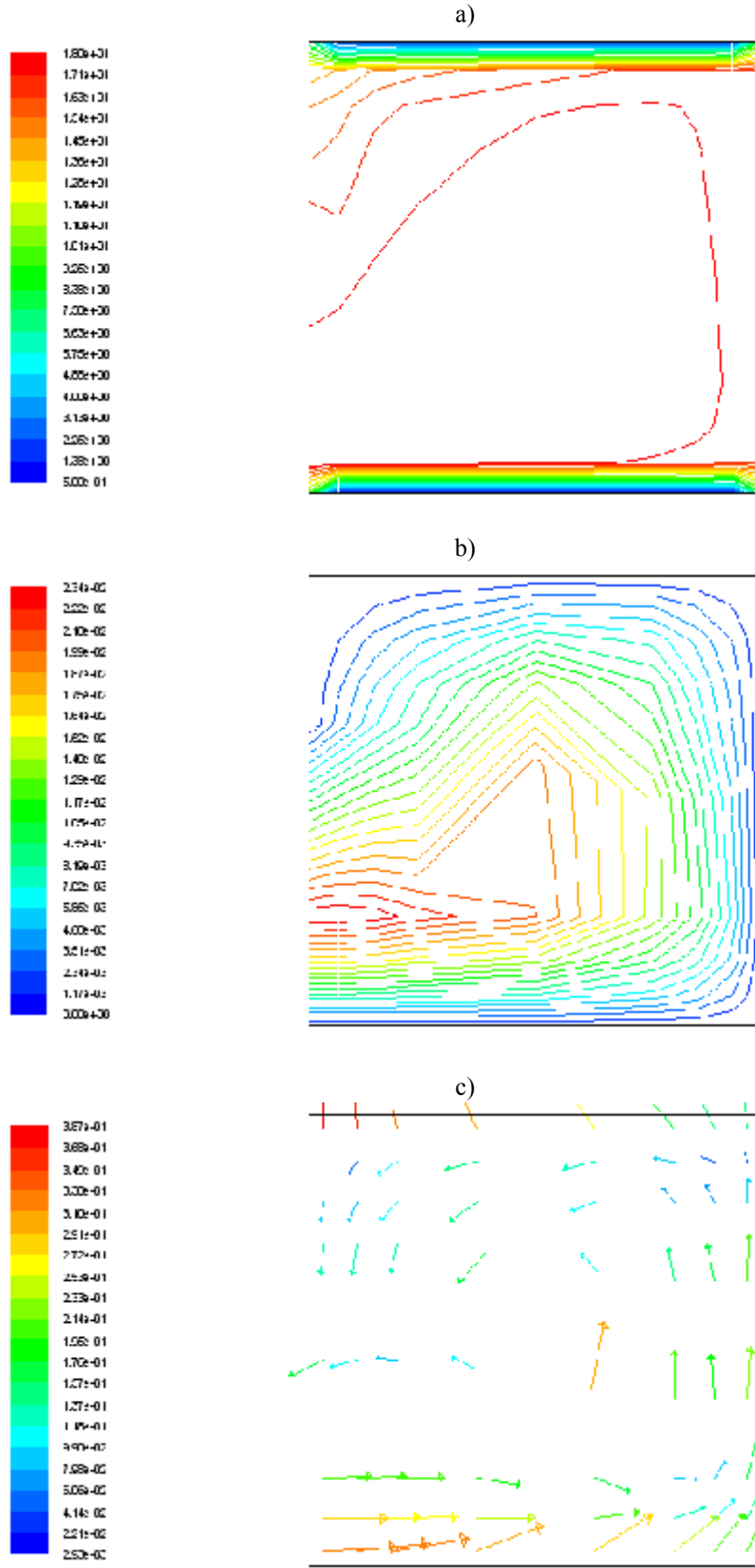




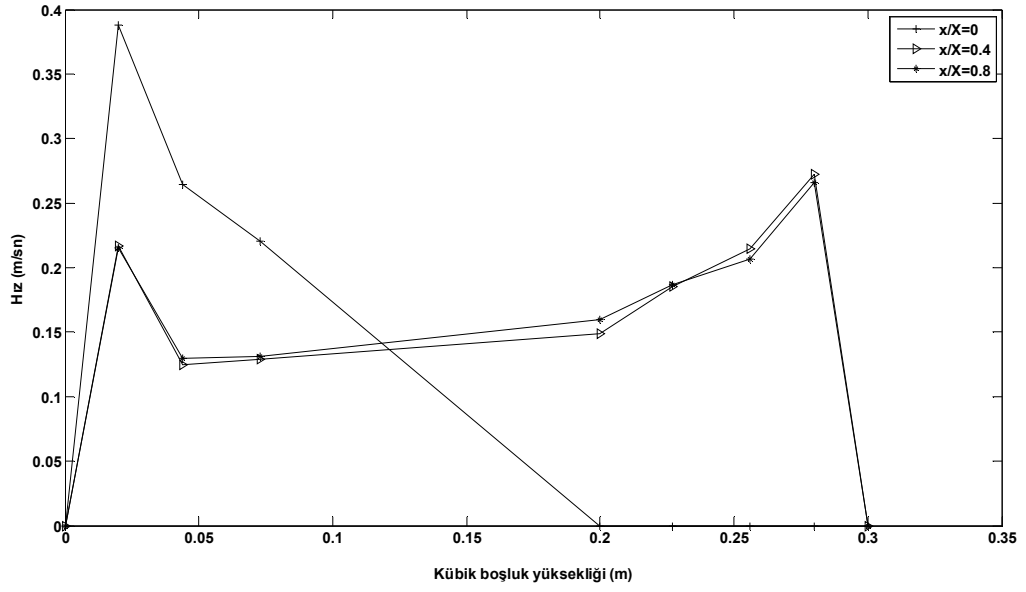
Şekil 4.159. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.160. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

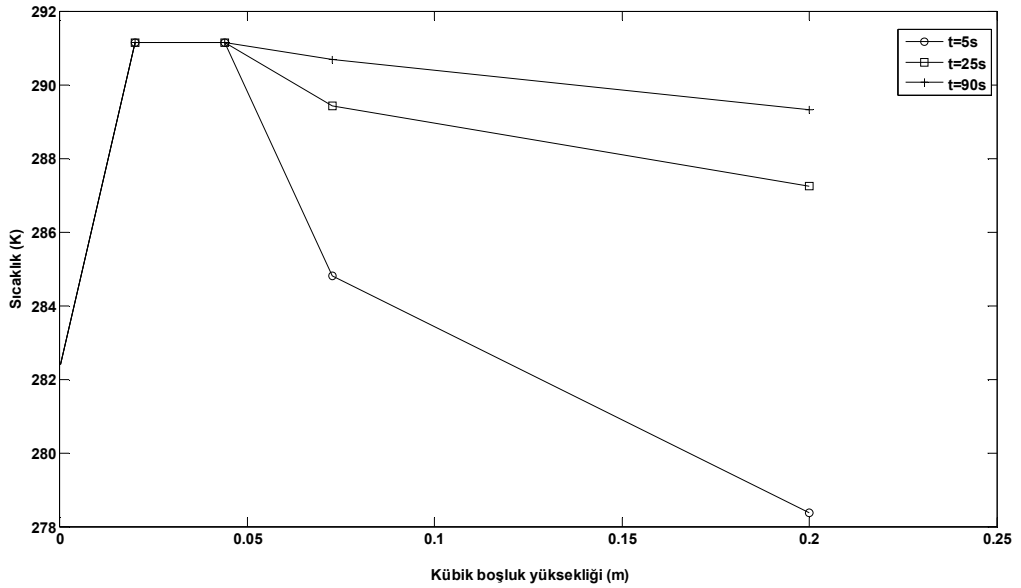


Şekil 4.161. $t=90$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

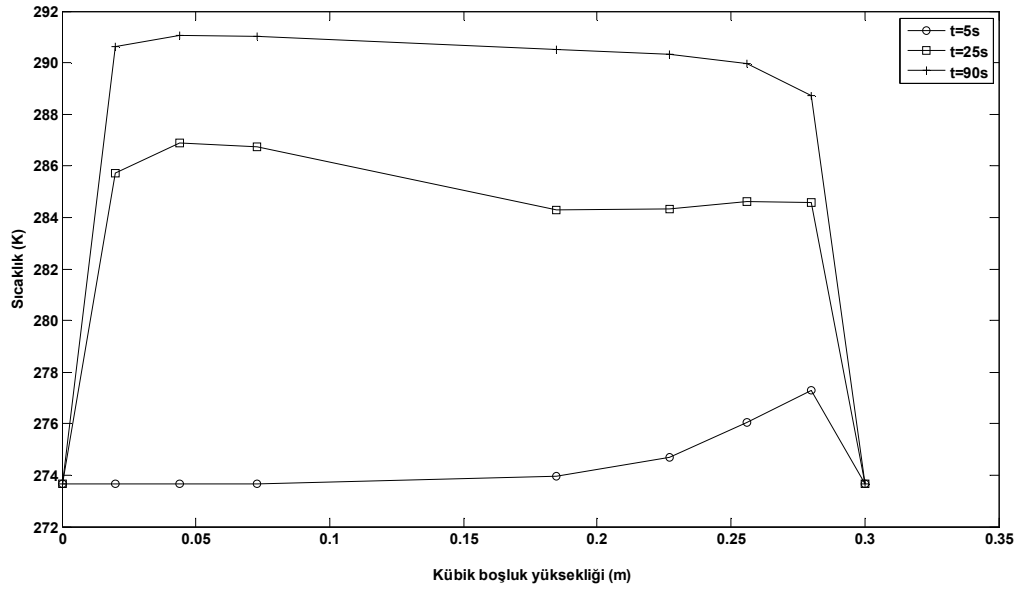


Şekil 4.162. $t=90$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

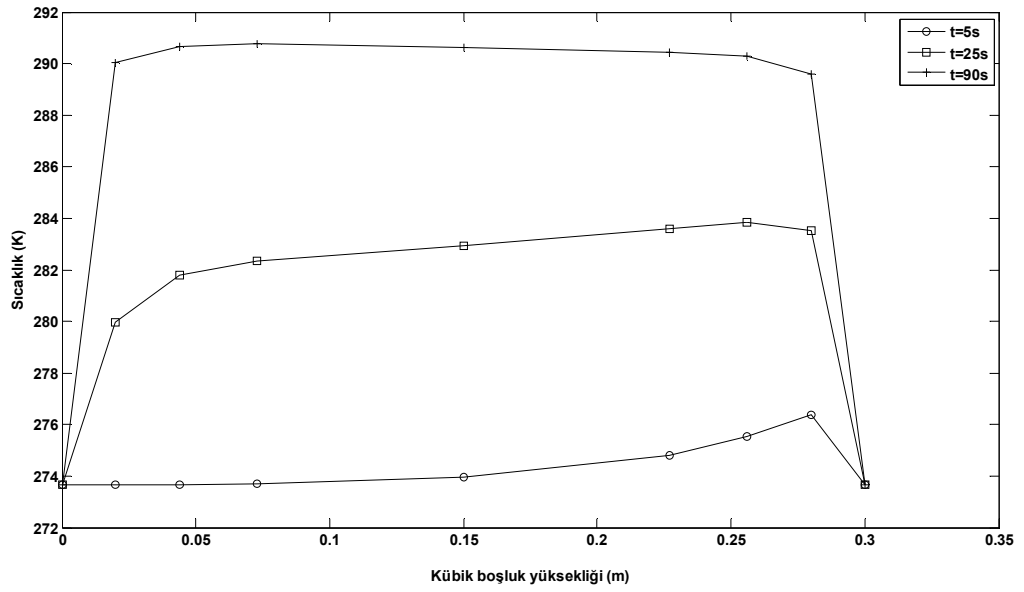
Şekil 4.163.'de $t=90$. saniyede 1. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290°K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K - 277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K - 276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Elli beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.163. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

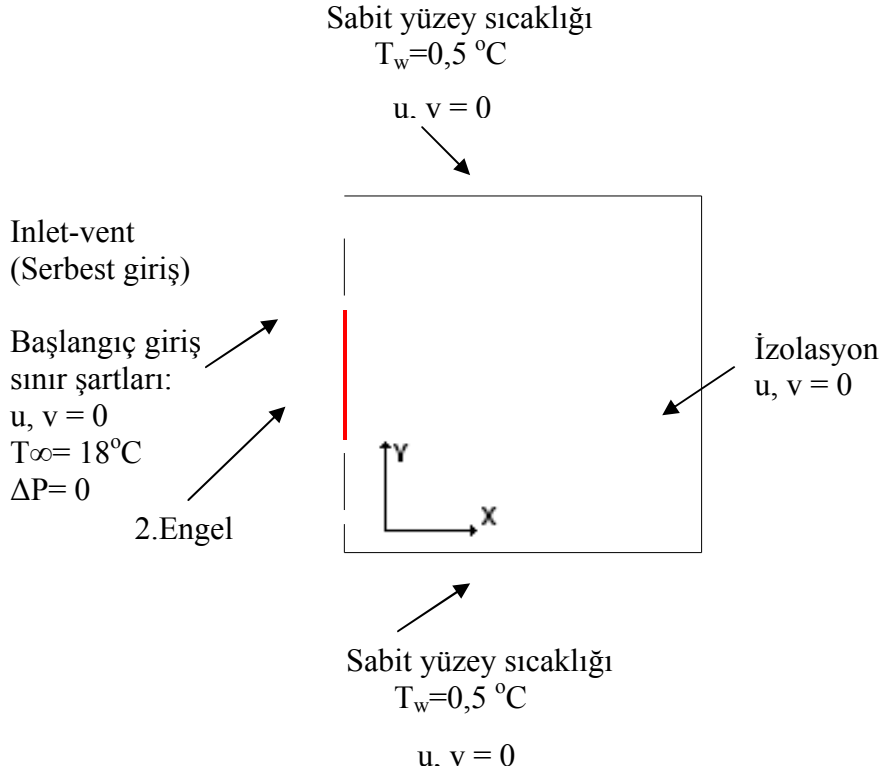


Şekil 4.164. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



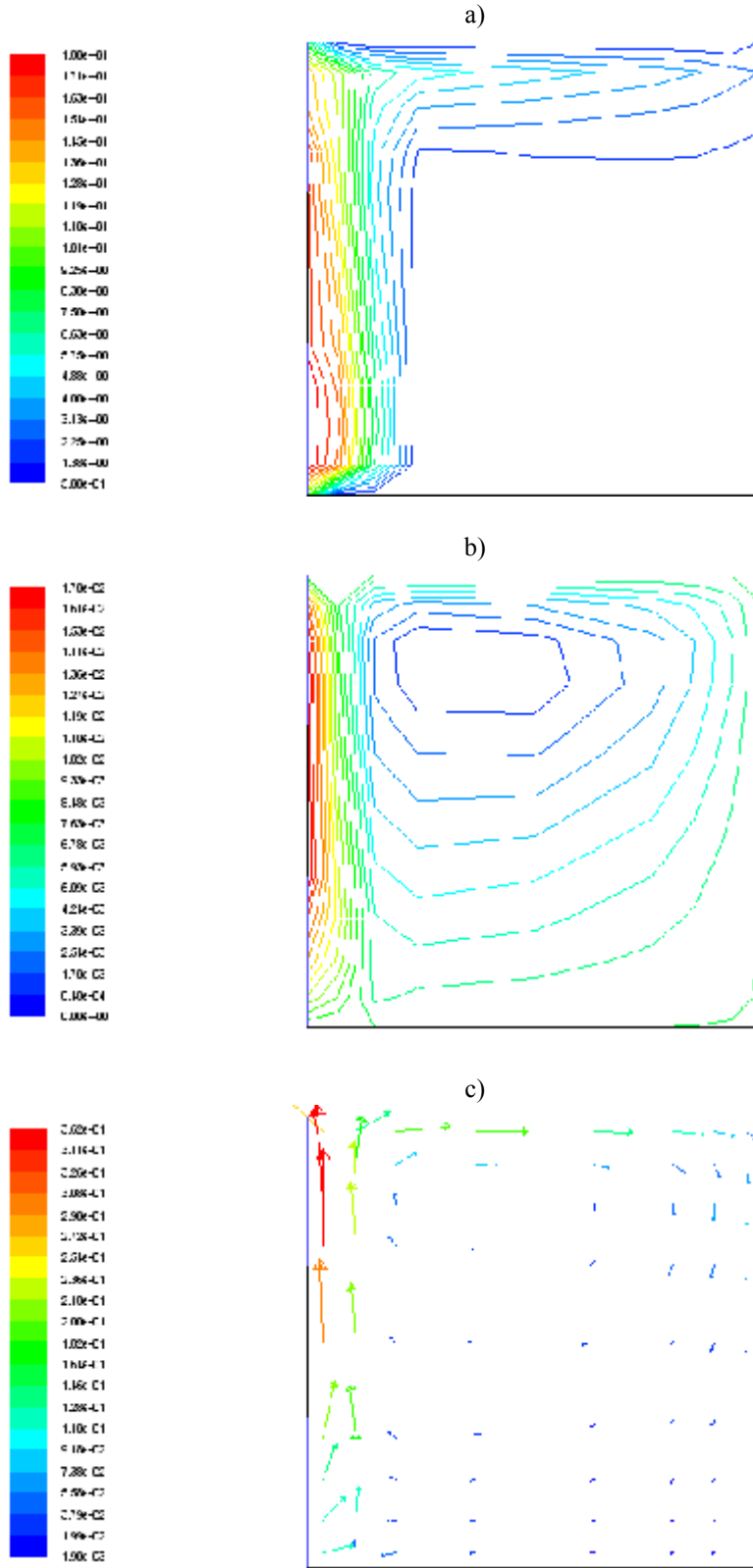
Şekil 4.165. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.6.2. 2.Engel

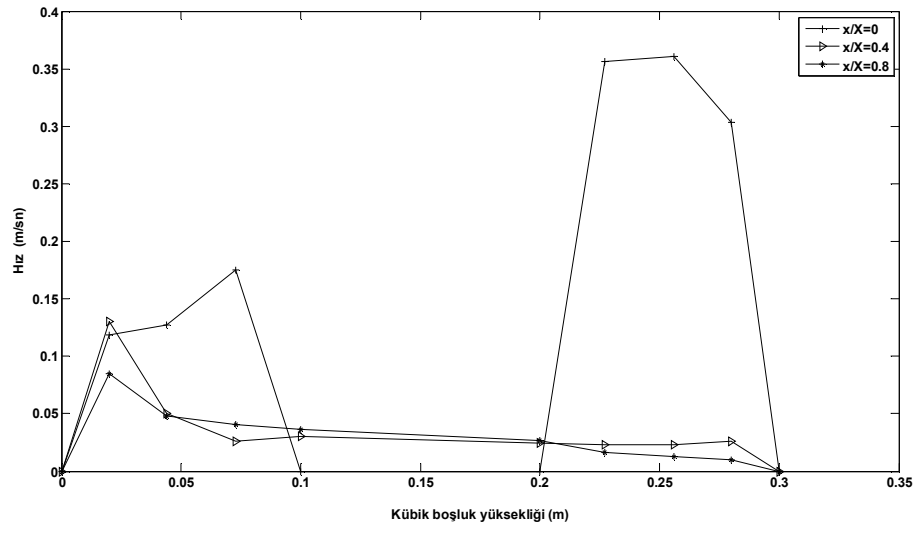


Şekil 4.166. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

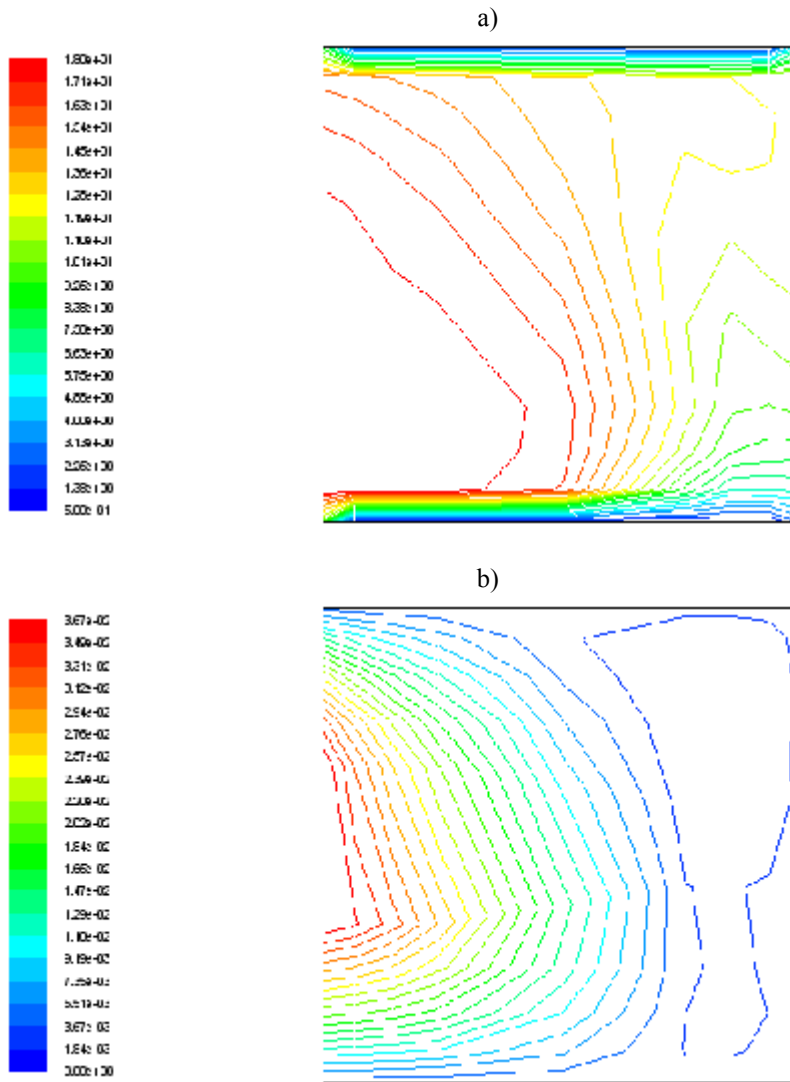
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1m ile 0,2m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.167. a, b ve c' de 2. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 2. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre bir miktar azalmıştır.

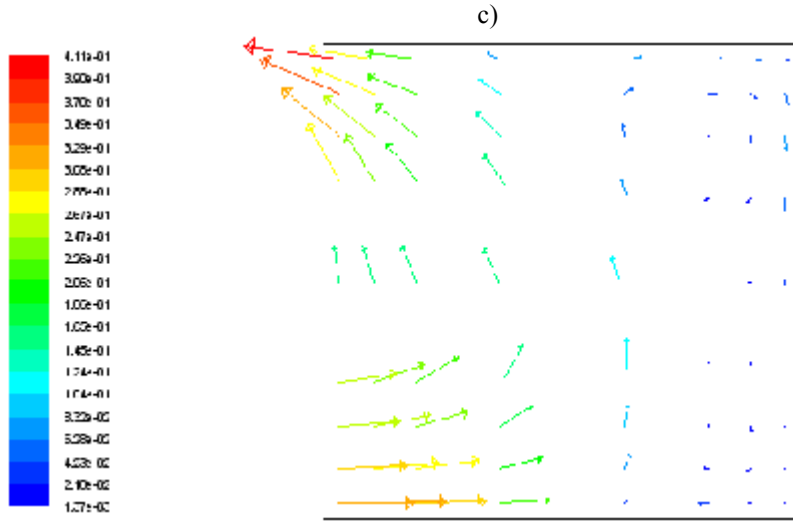


Şekil 4.167. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

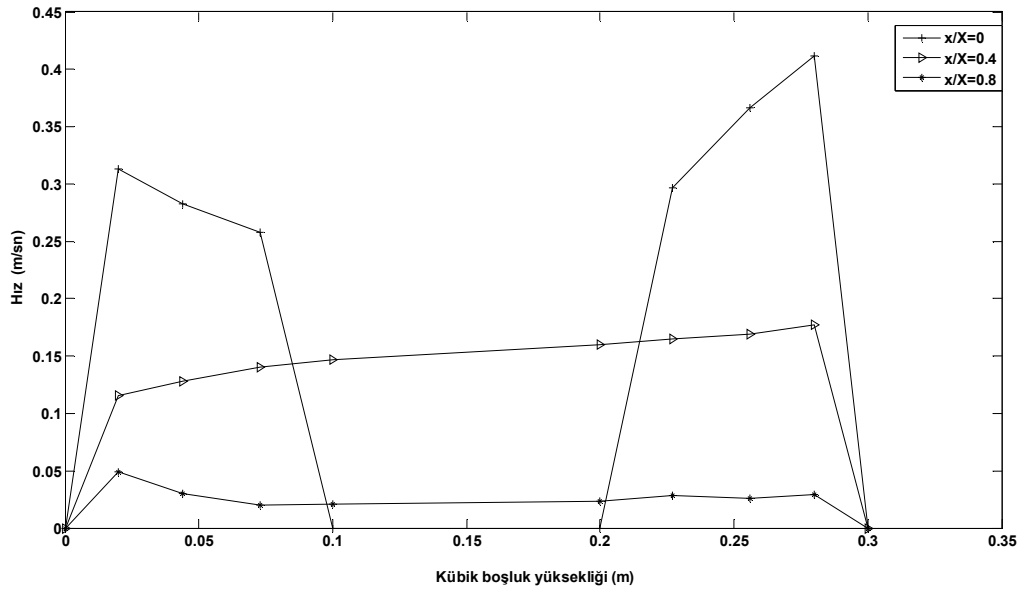


Şekil 4.168. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

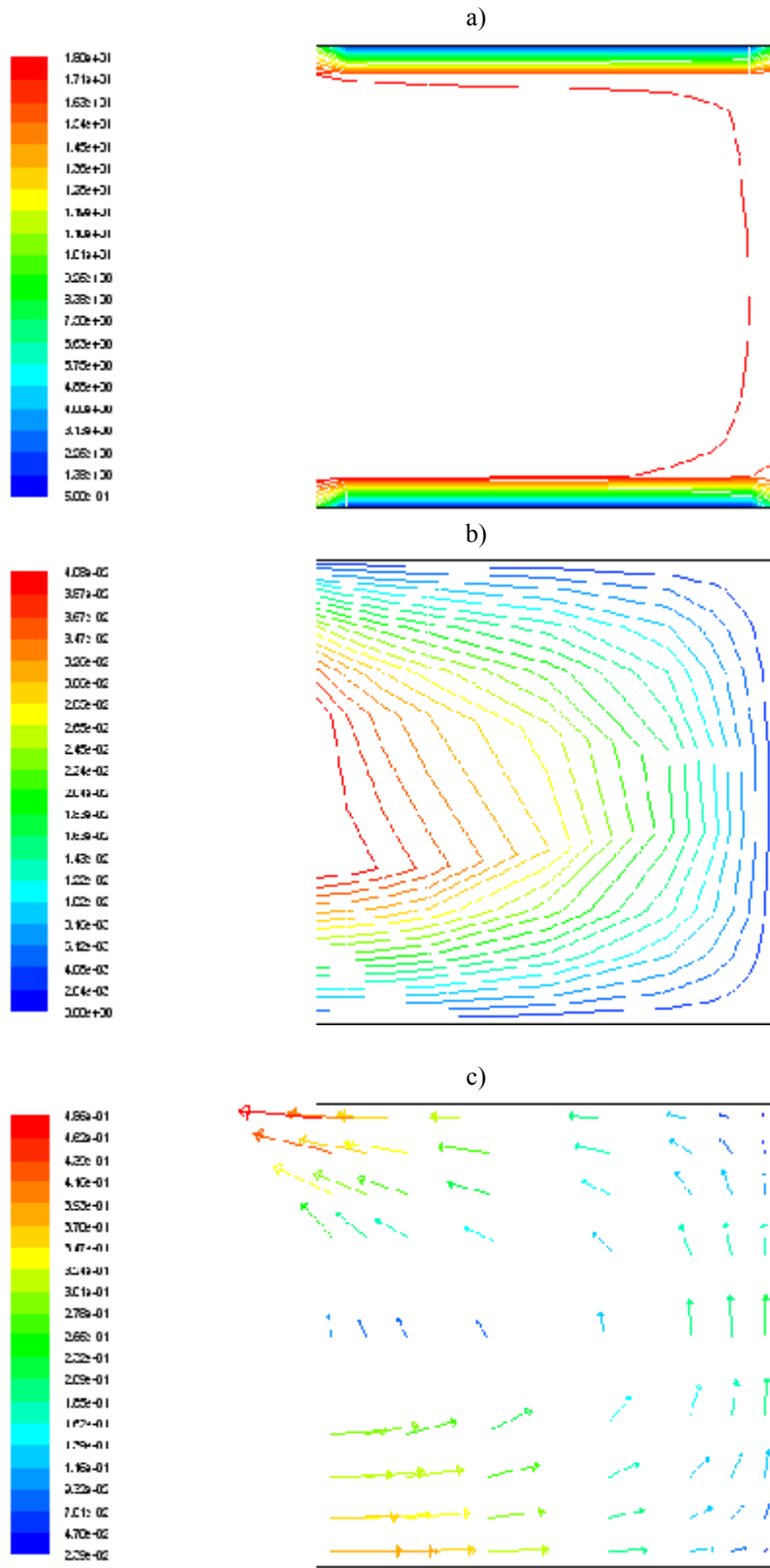




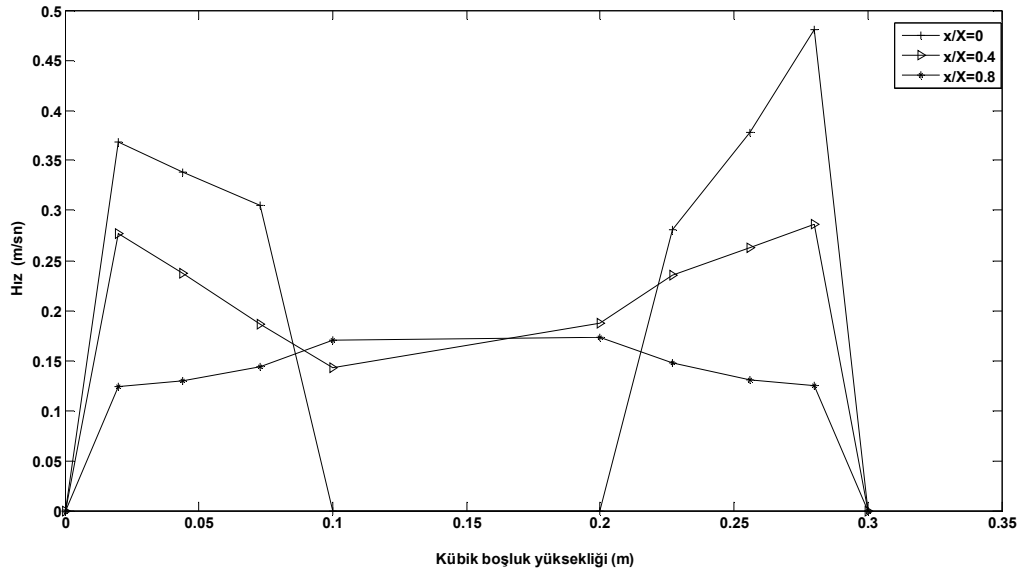
Şekil 4.169. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.170. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

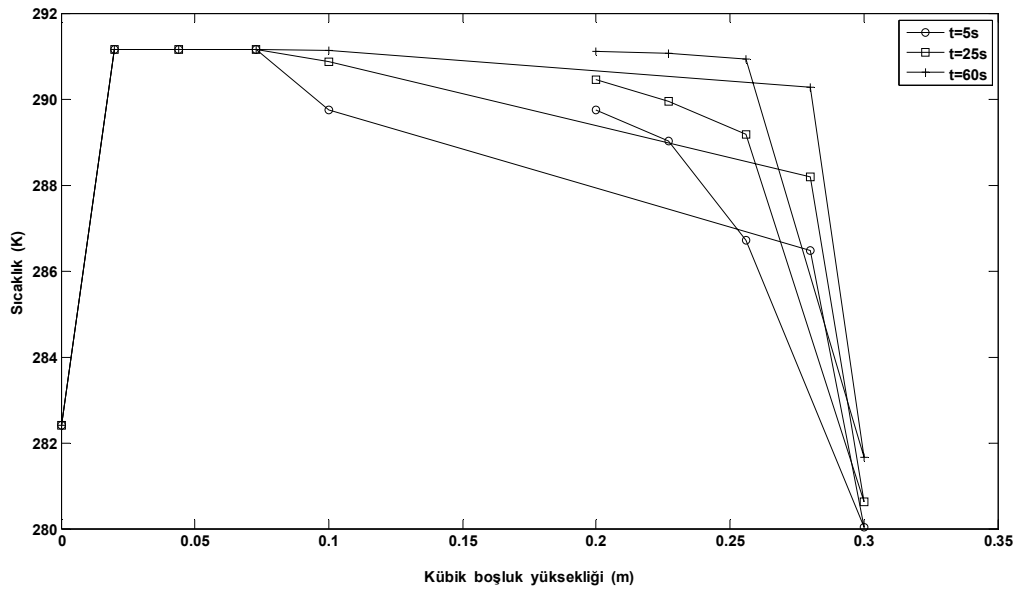


Şekil 4.171. $t=60$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

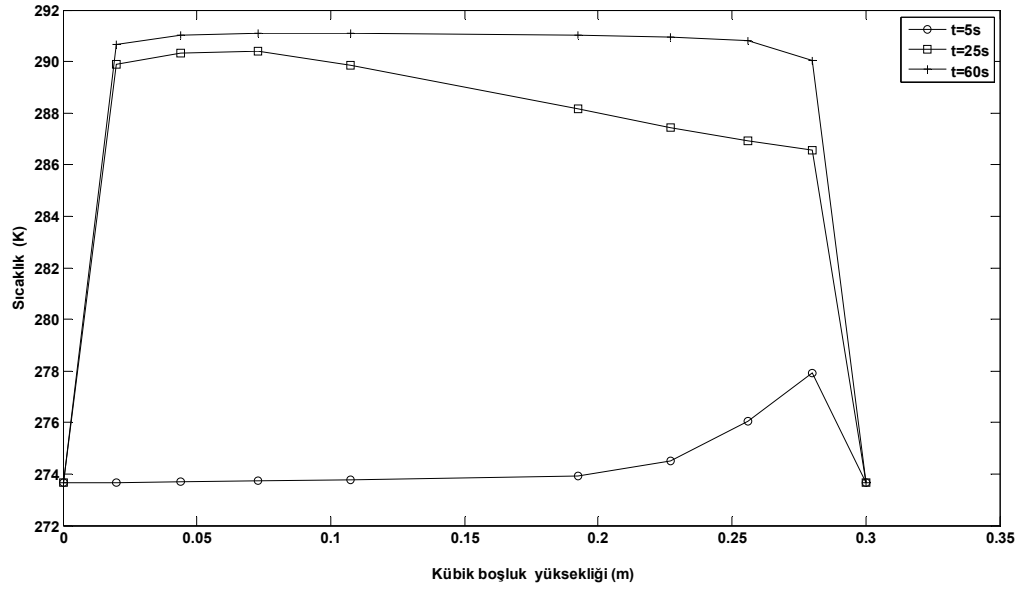


Şekil 4.172. $t=60$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

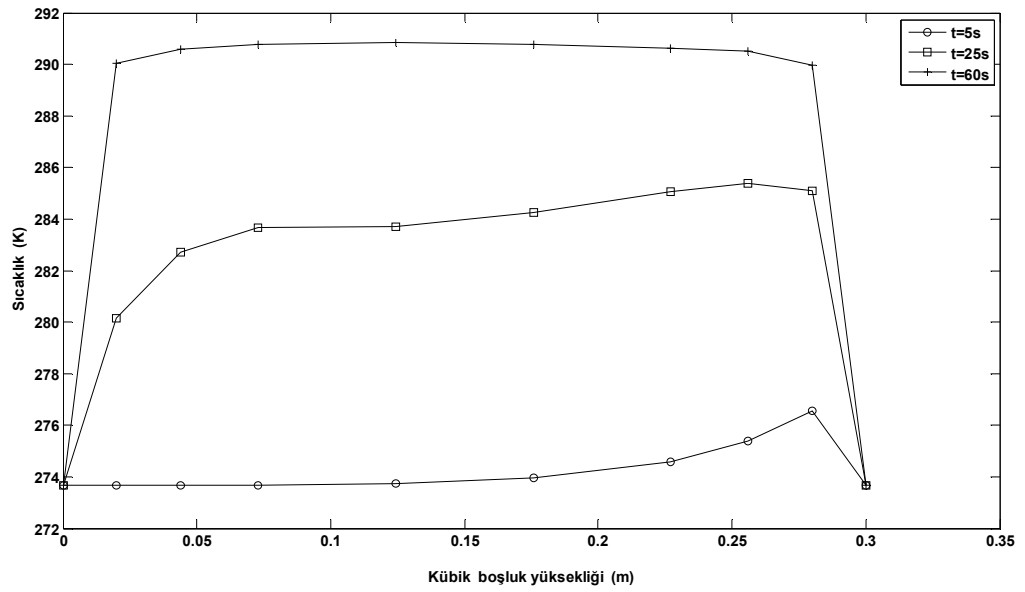
Şekil 4.173.' de $t=60$. saniyede 2. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290 K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K-277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K-276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Kırk beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.173. $x/X=0$ da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

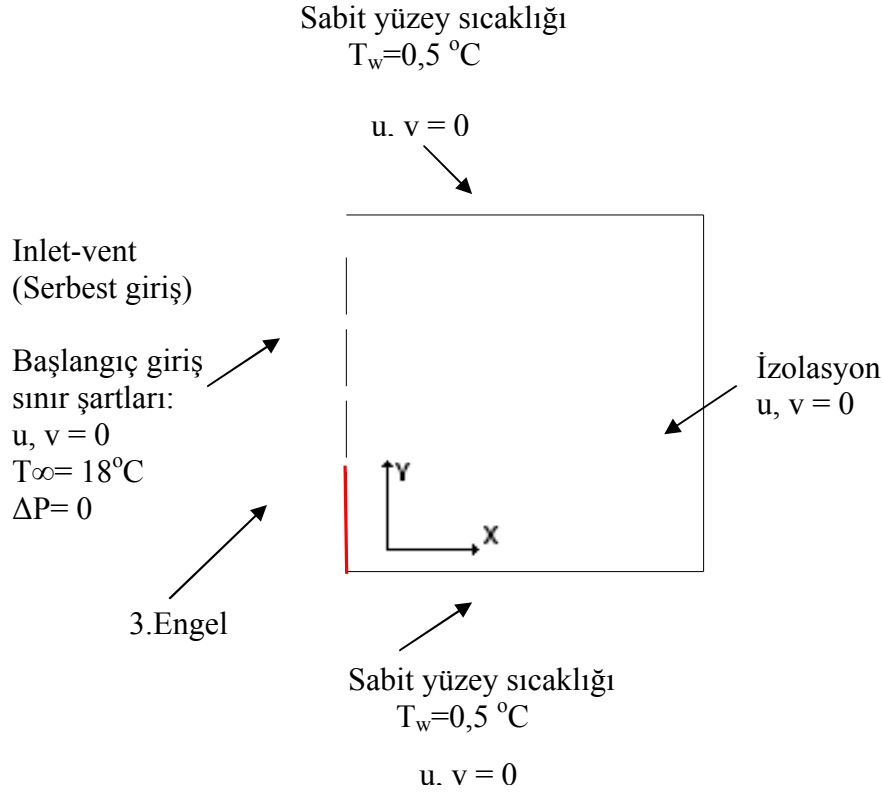


Şekil 4.174. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



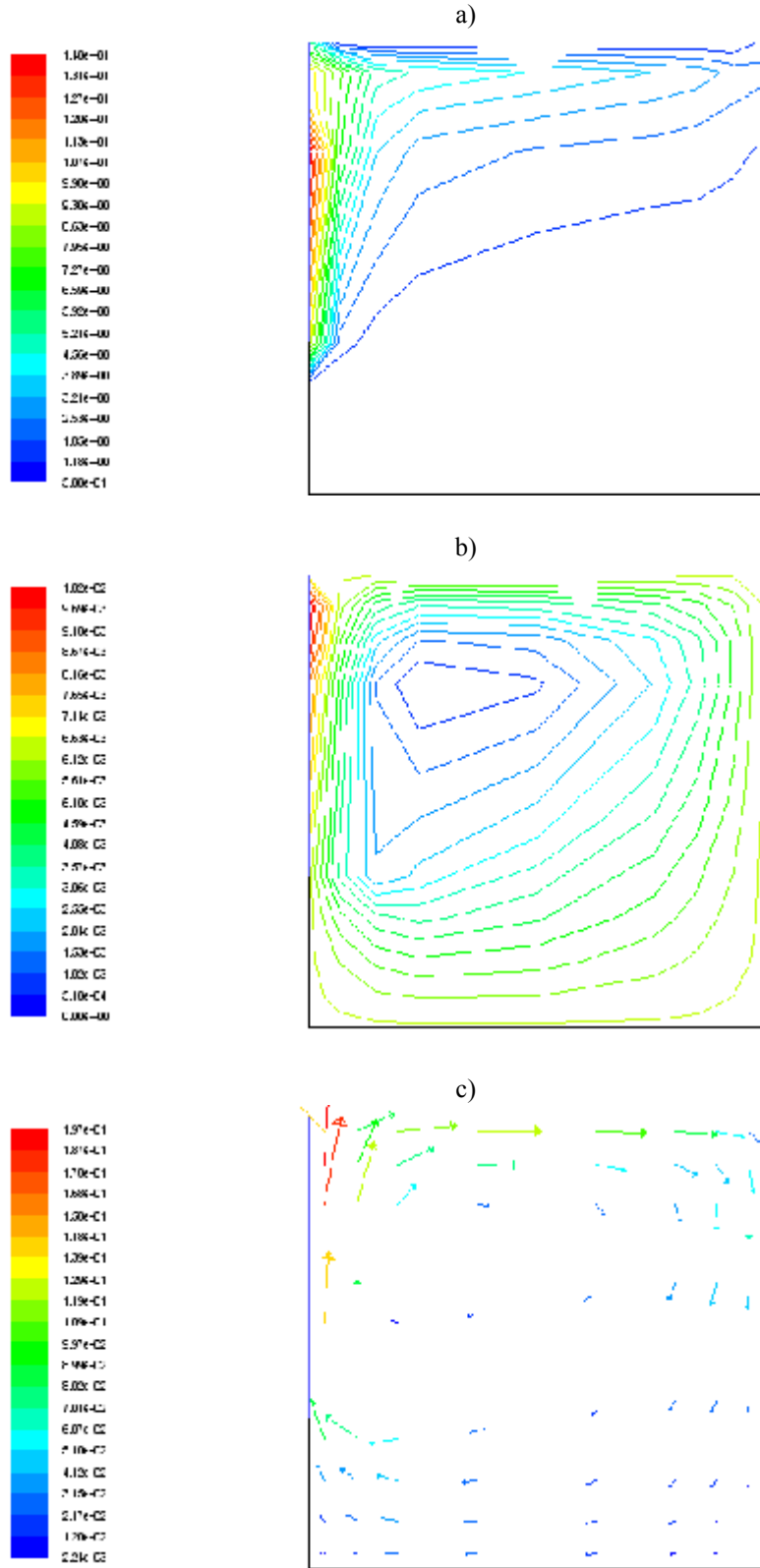
Şekil 4.175. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.6.3. 3.Engel

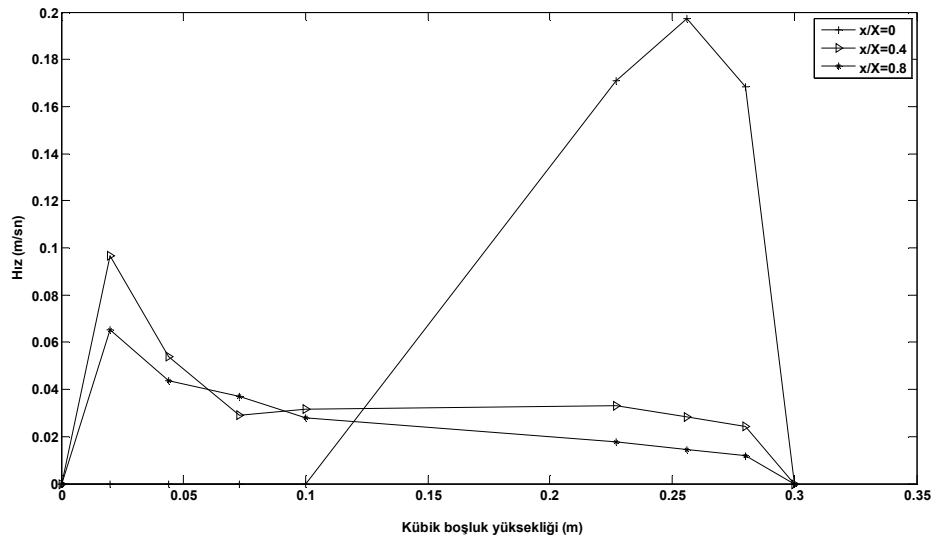


Şekil 4.176. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

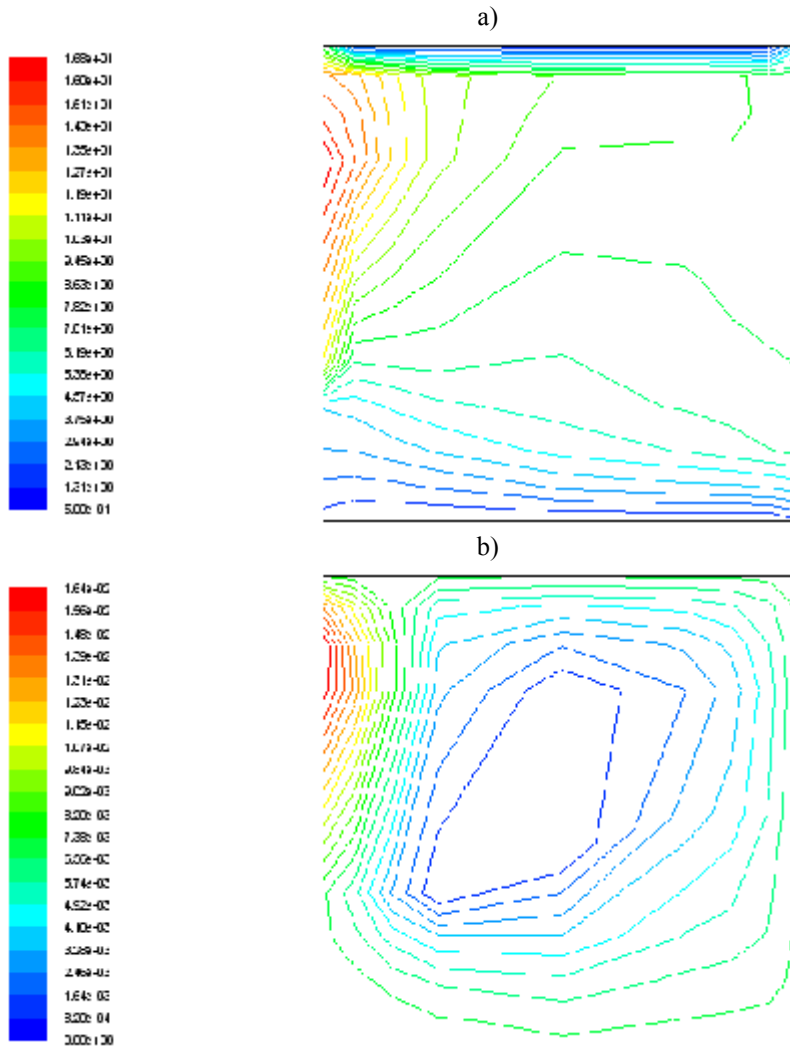
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) alttan 0,1 m engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.177. a, b ve c' de 3. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 3. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre yaklaşık üç kat artmıştır.

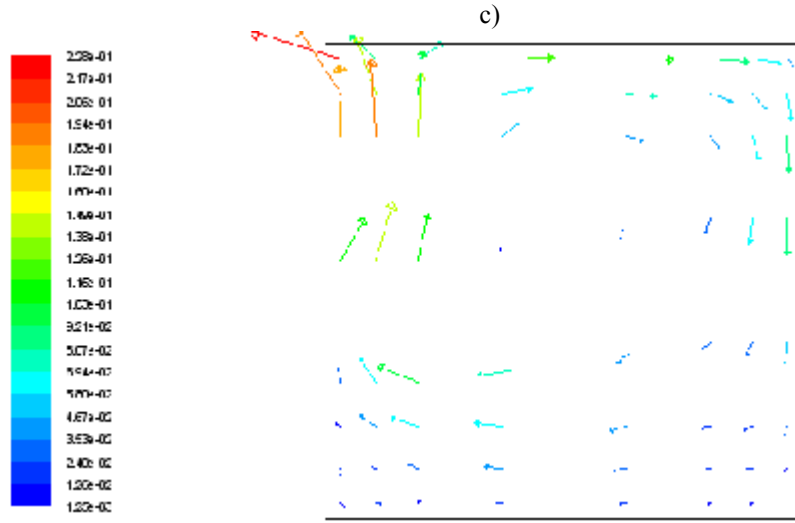


Şekil 4.177. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

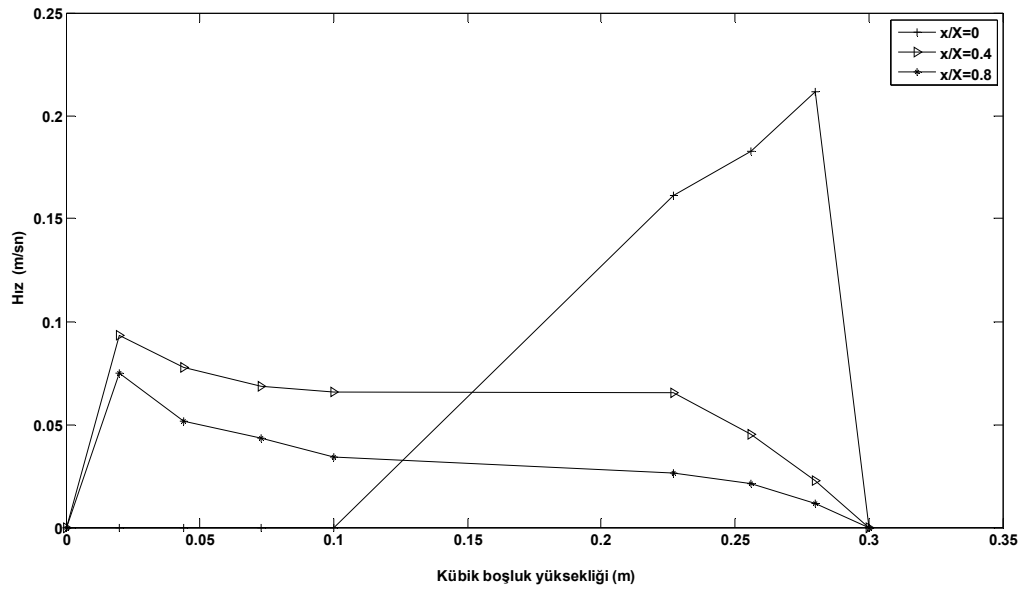


Şekil 4.178. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

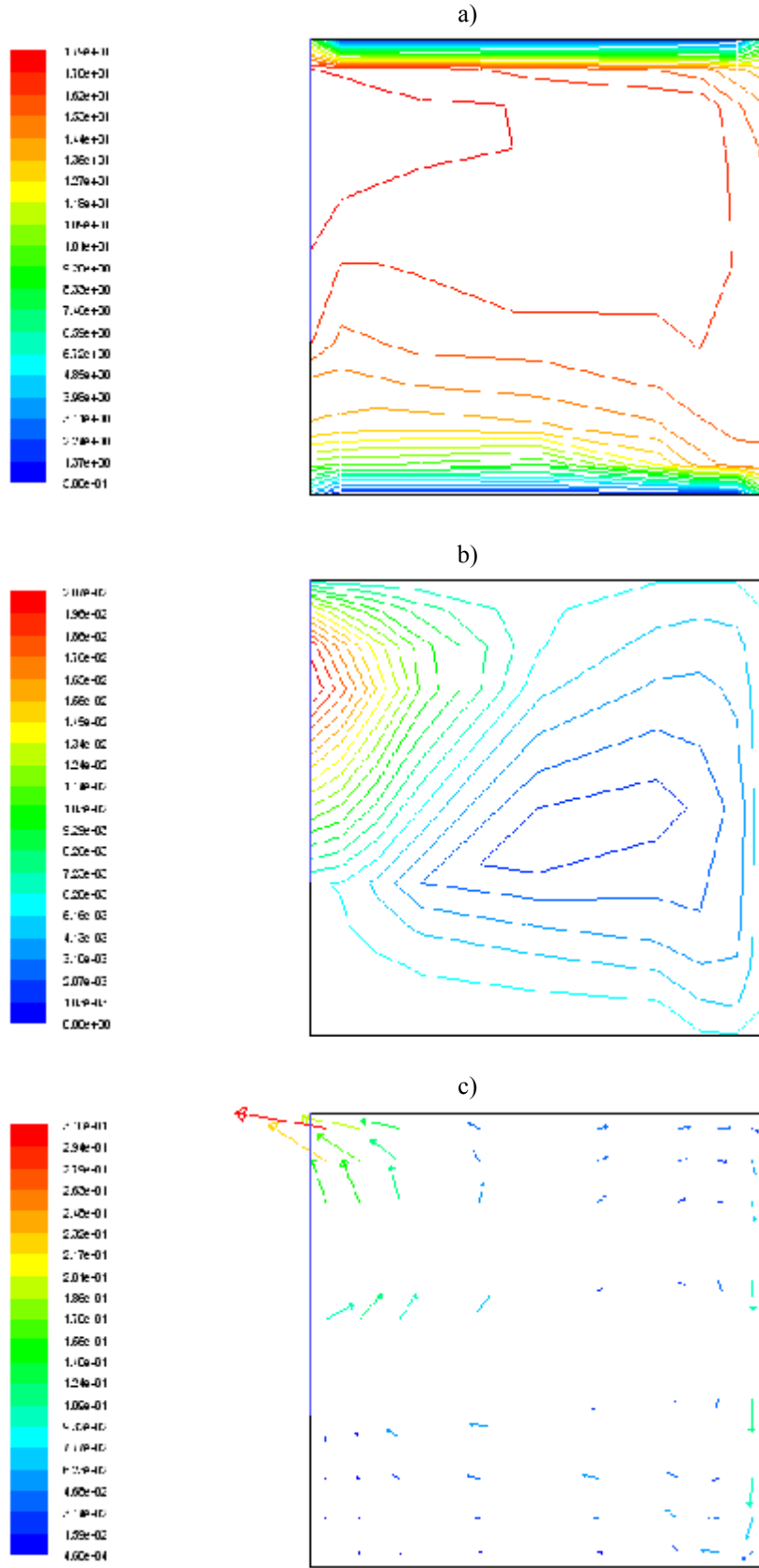




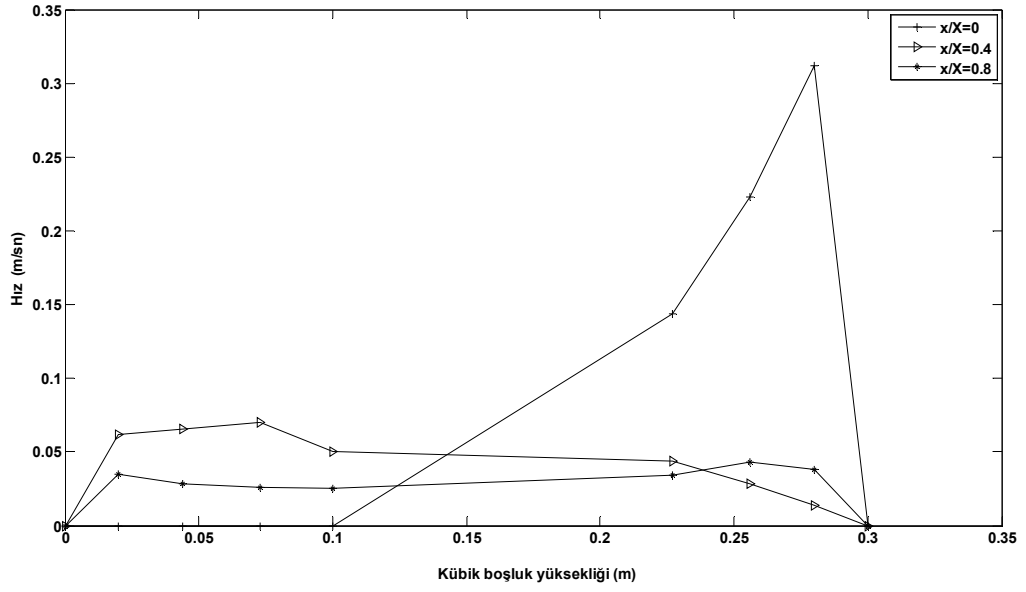
Şekil 4.179. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.180. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

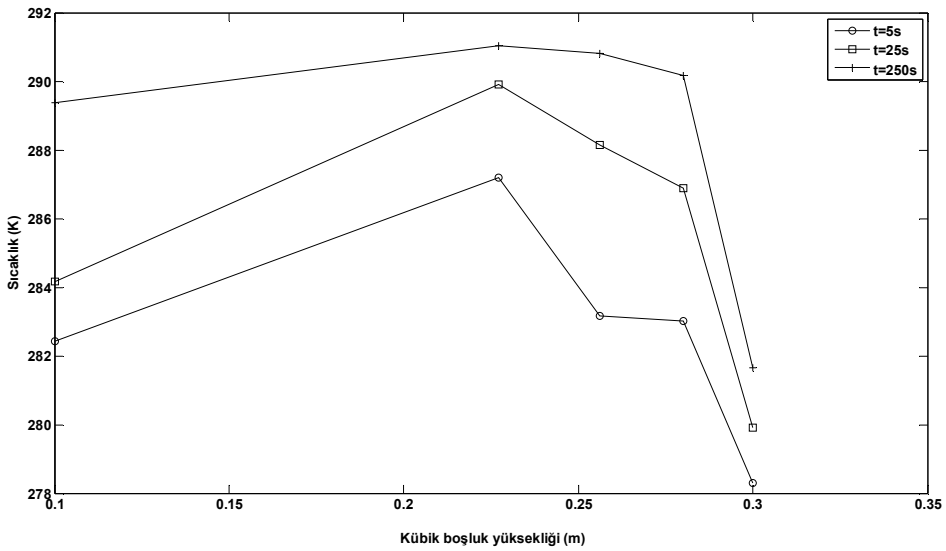


Şekil 4.181. $t=250$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

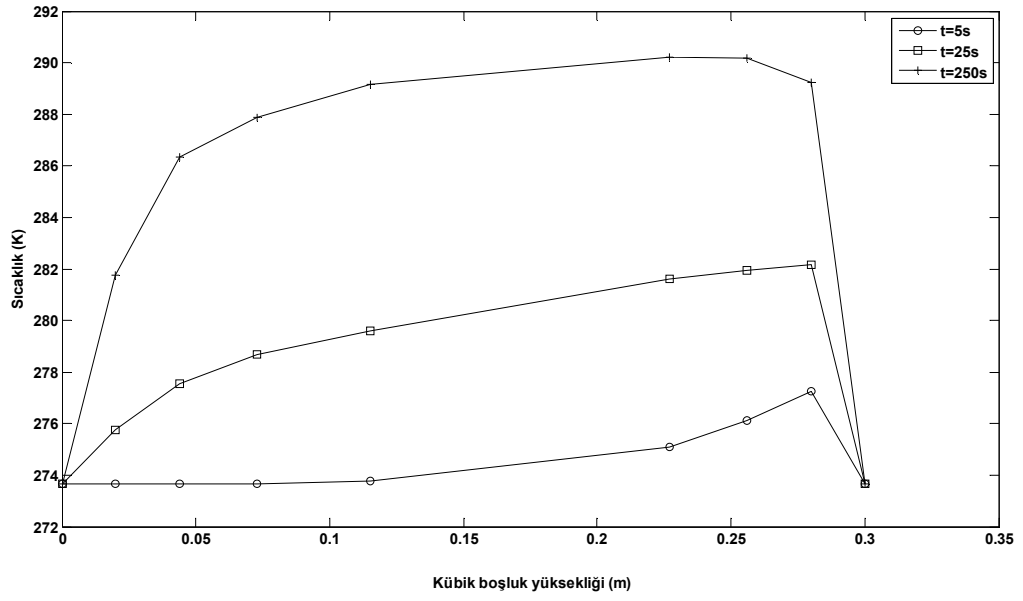


Şekil 4.182. $t=250$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

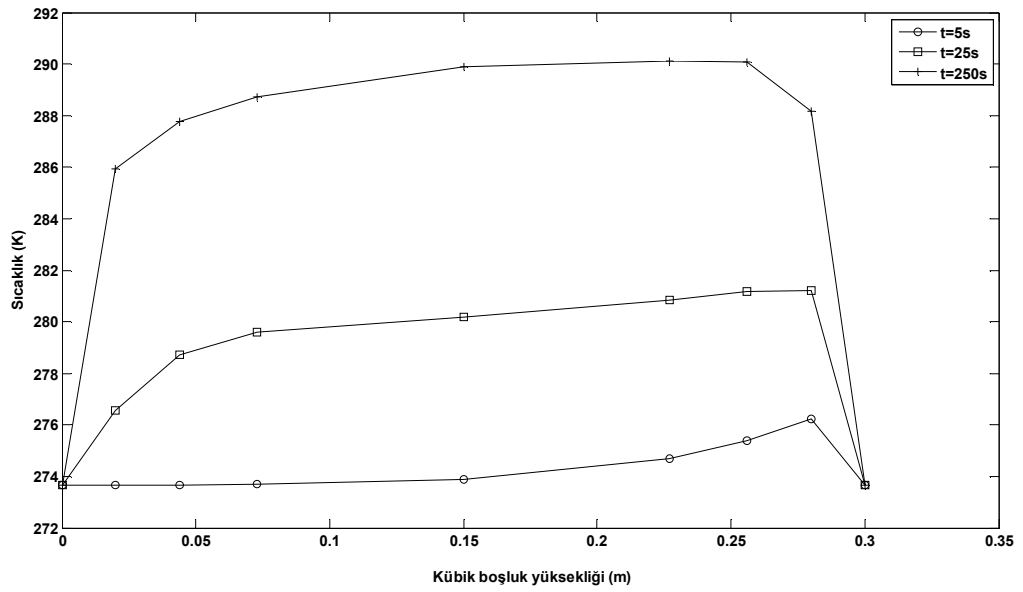
Şekil 4.183.'de $t=250$. saniyede 3. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 290 K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 273°K-277°K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 273°K-276°K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir. Doksan beşinci saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.183. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



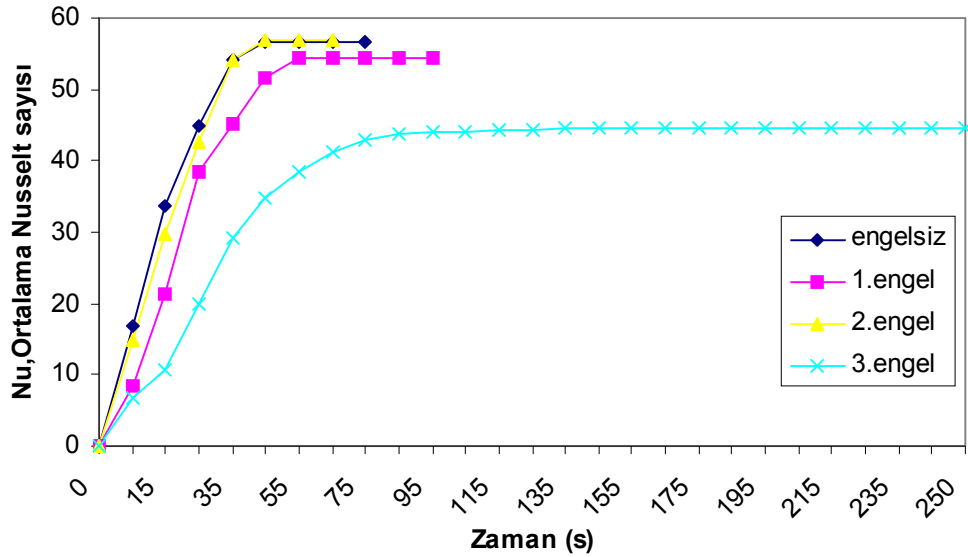
Şekil 4.184. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.185. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Sonuç olarak 3. tip engelin sıcaklık ve hız değişimi üzerinde etkisi diğer engellerden çok olmuş, kübik boşluğun daha geç rejime gelmesine sebep olmuştur. Diğer engellerin etkisi az olup kübik boşluk engelsiz durumla yaklaşık aynı zamanda rejime gelmektedir. Kübik boşluk girişine yerleştirilen engellerin ısı transferine etkisi Şekil 4.186.' da verilmiştir.

Her bir engelli durum için sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları engelsiz durumla karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi 3. engel durumunda kübik boşluk içerisindeki ısı transferi diğer engelli durumlar ve engelsiz duruma göre daha az olmaktadır. Ayrıca 3. engel durumunda kübik boşluk yaklaşık diğer durumlara göre üç kat daha uzun sürede rejime gelmektedir.

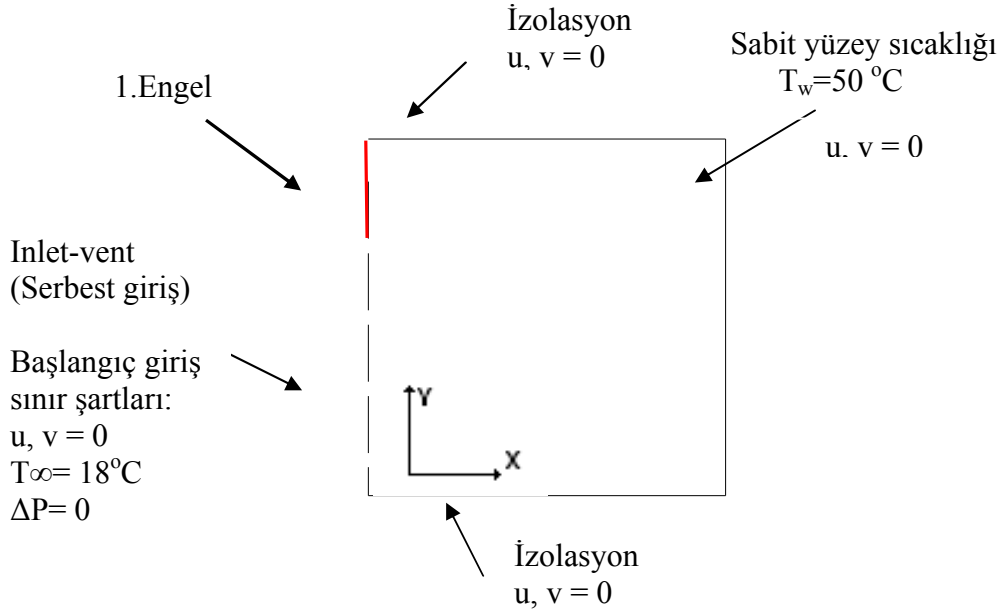


Şekil 4.186. VI. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi

Bununla birlikte 1. engel, 2. engel ve engelsiz durumlarda kübik boşluk içerisinde olan ısı transferi yaklaşık eşit değerlerde değişmektedir. Üçüncü engel durumunda 55. saniyeye kadar Nusselt sayısı hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 33 değerine çıkmaktadır. Bu zaman adımıdan sonra çok yavaş artarak maksimum 36'ya ulaşmaktadır. Diğer durumlarda ise Nusselt sayısı 45. saniyeye kadar hızlı bir şekilde artarak ortalama 51'e çıkmakta ve daha sonra yavaş bir artışla maksimum 54 olmaktadır.

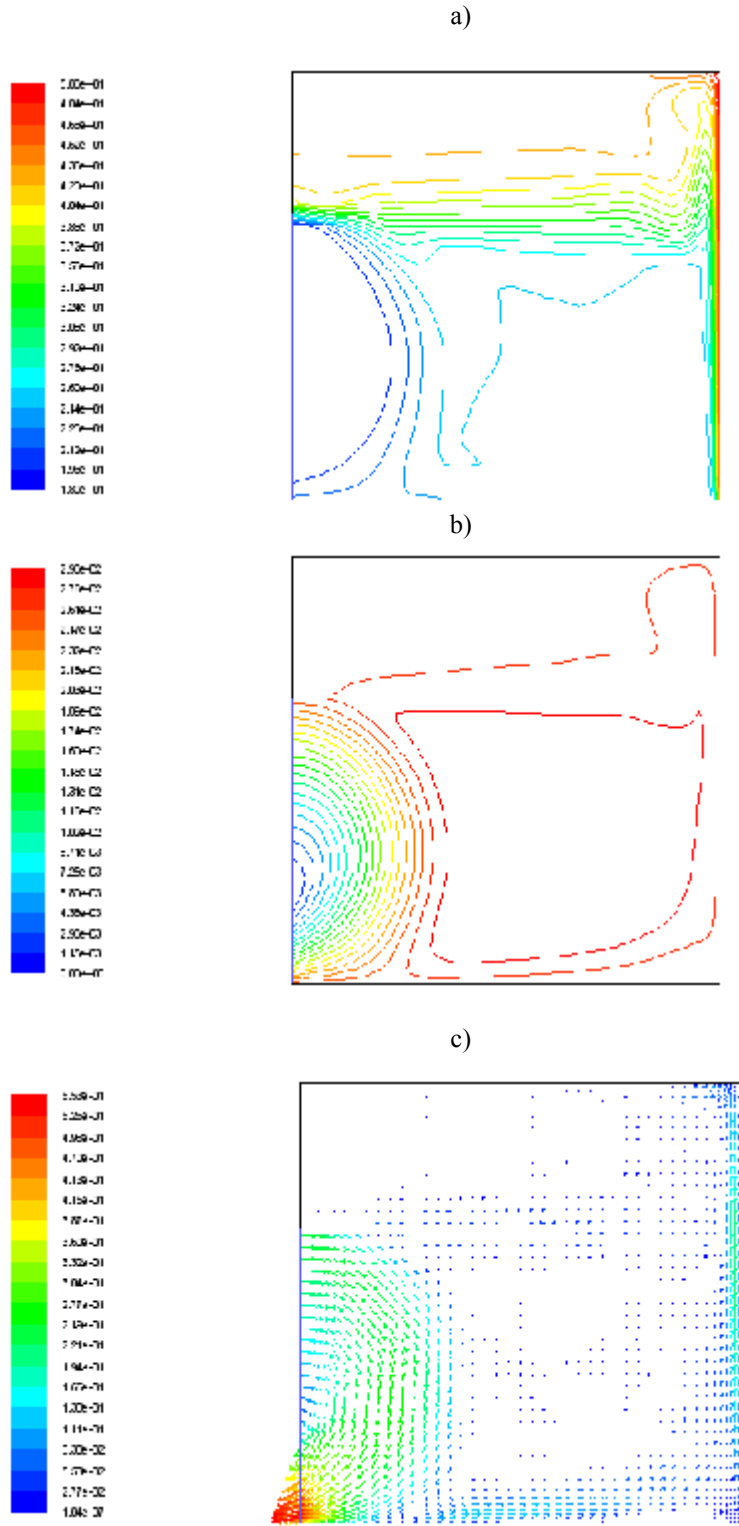
4.7. VII. DURUM İÇİN ENGELLİ DURUMLAR

4.7.1. 1.ENGEL

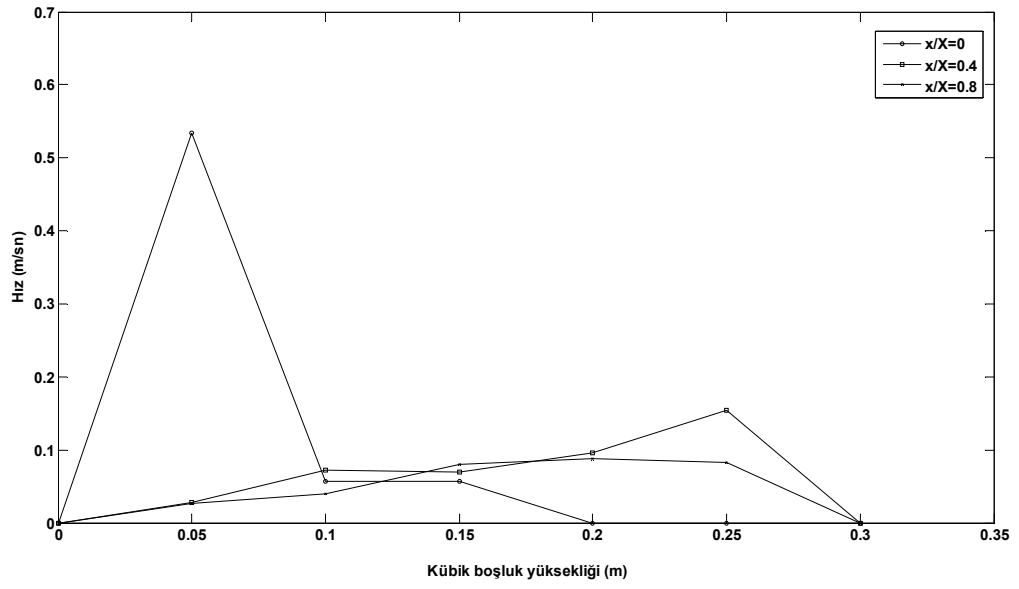


Şekil 4.187. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

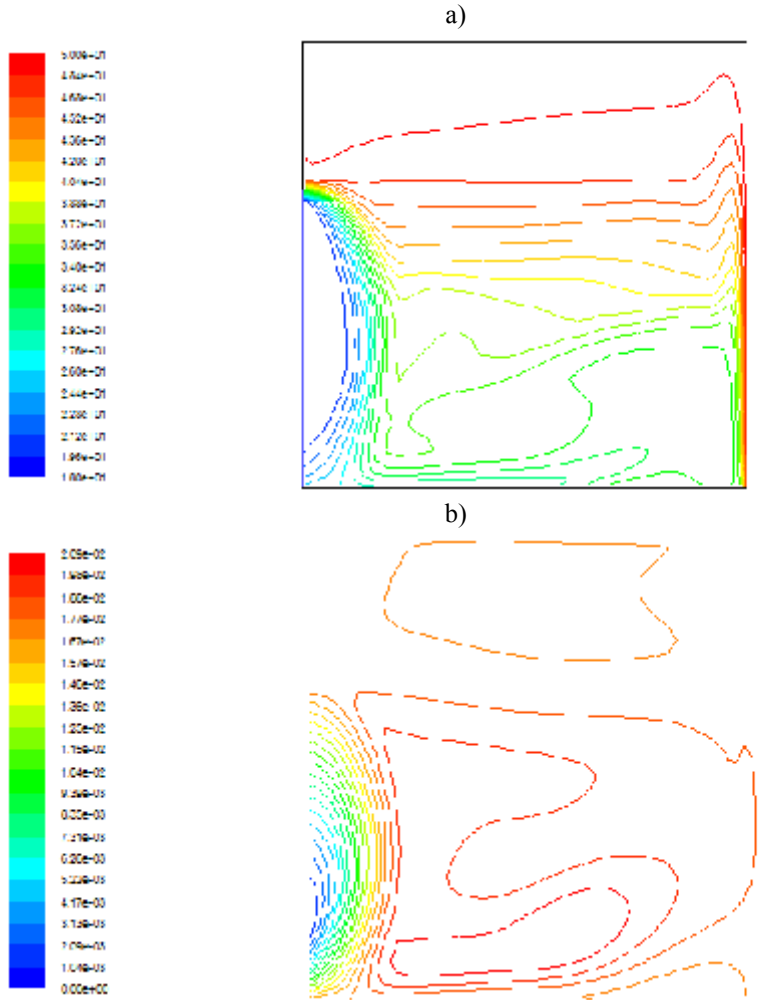
Kübik boşlukta cam kapak açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) değişik bölgelere 0,1 m yüksekliğinde engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Değişik zamanlarda çözüm bölgesinde elde edilen eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ve hız vektörleri 1.tip engel, 2. tip ve 3. tip engel için bu bölümde verilmiştir. Birinci tip engel 0,1 m yüksekliğindedir ve boşluğun girişinde en üst noktaya yerleştirilmiştir. Şekil 4.187. a, b ve c' de 1. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. Engelin arkasındaki bölgede hızlar hemen hemen sıfır olmakta ve sıcaklığın zamanla çok az değişmektedir. Birinci tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre yaklaşık altı kat artış göstermiştir.

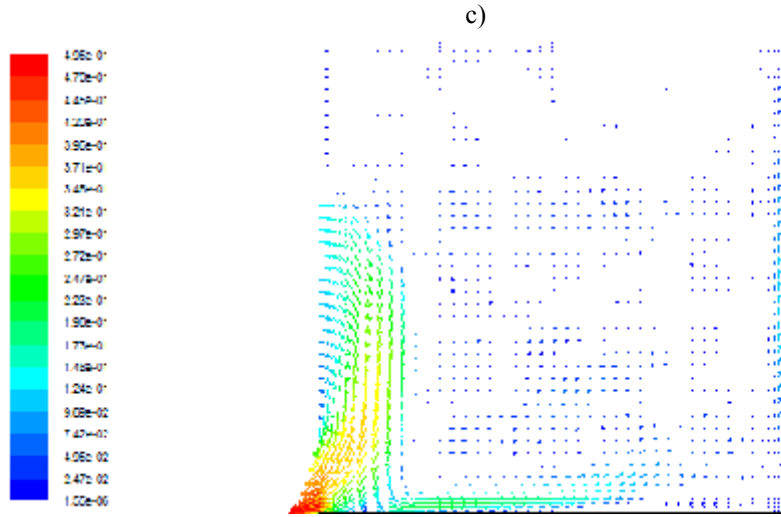


Şekil 4.188. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

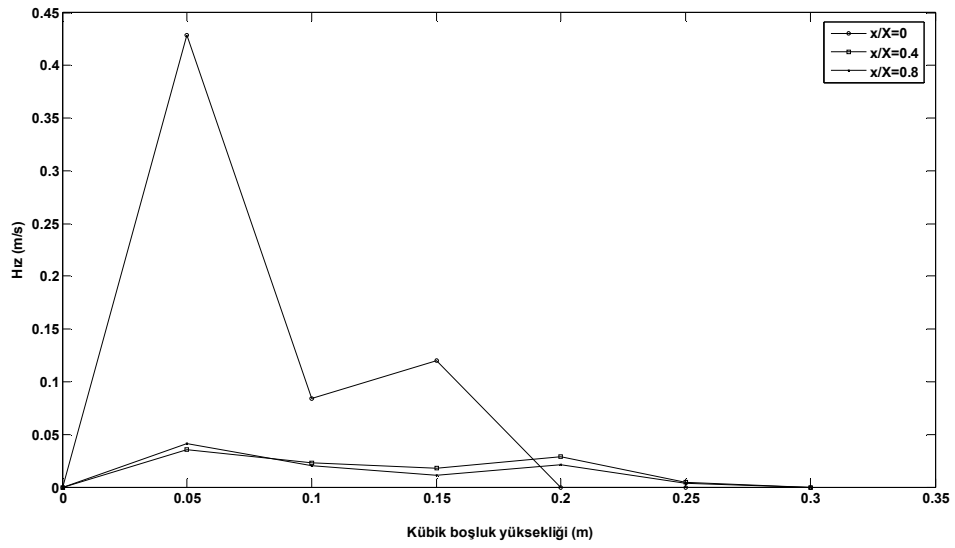


Şekil 4.189. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

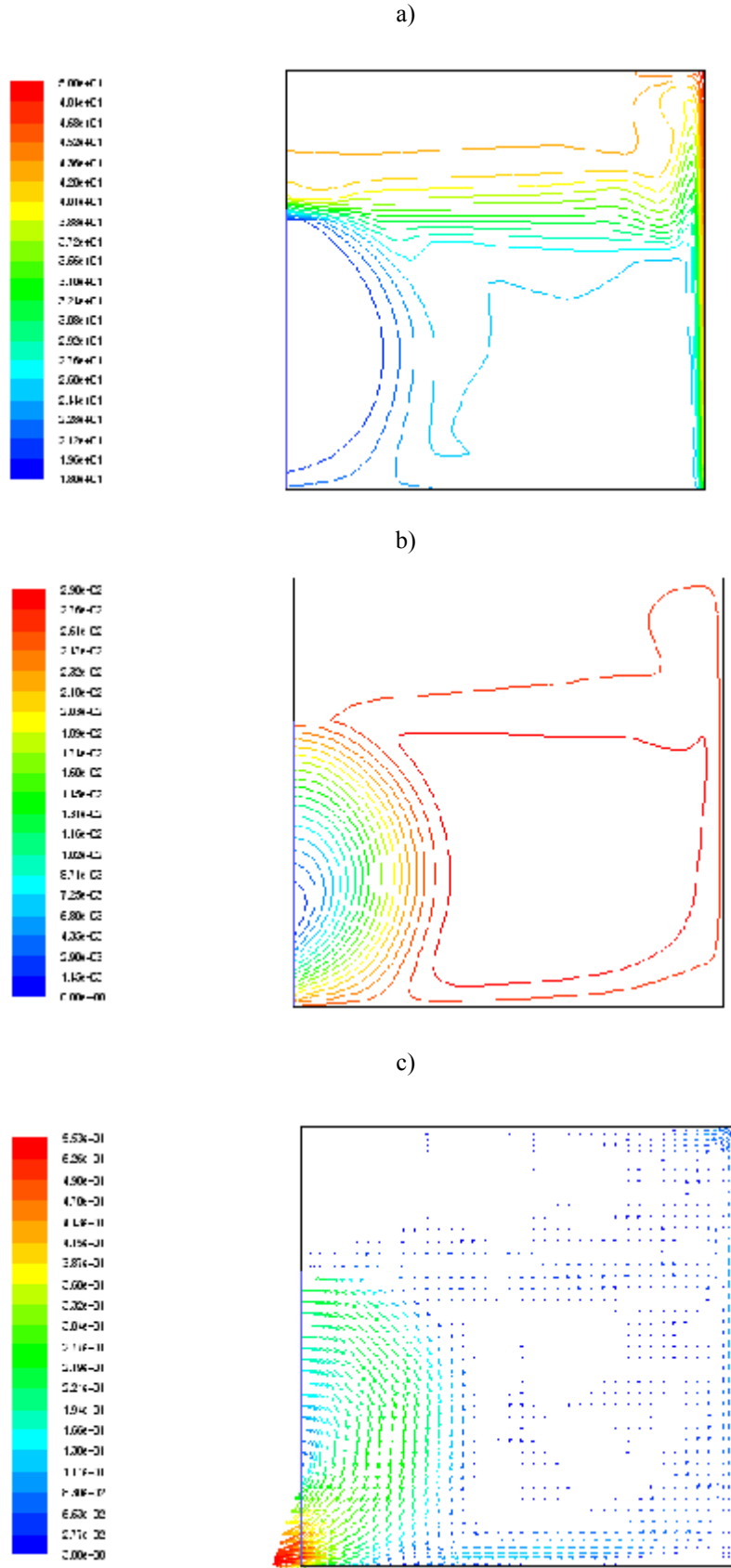




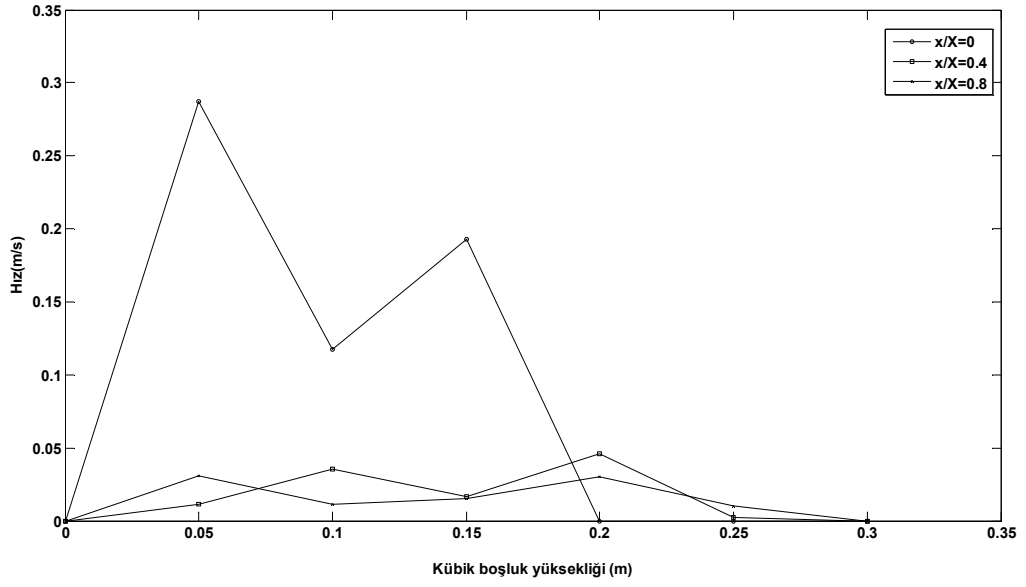
Şekil 4.190. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.191. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

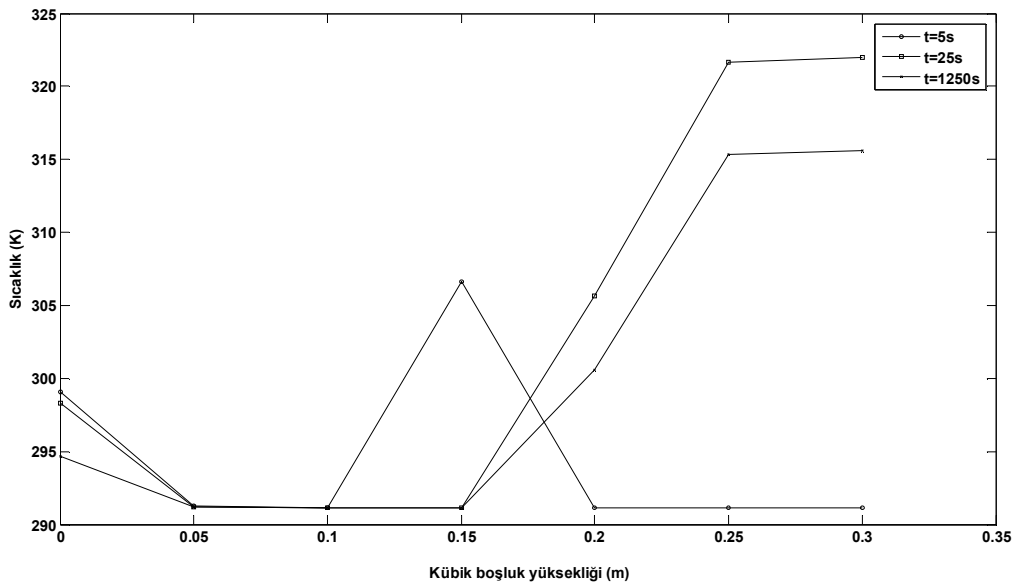


Şekil 4.192. $t=1250$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

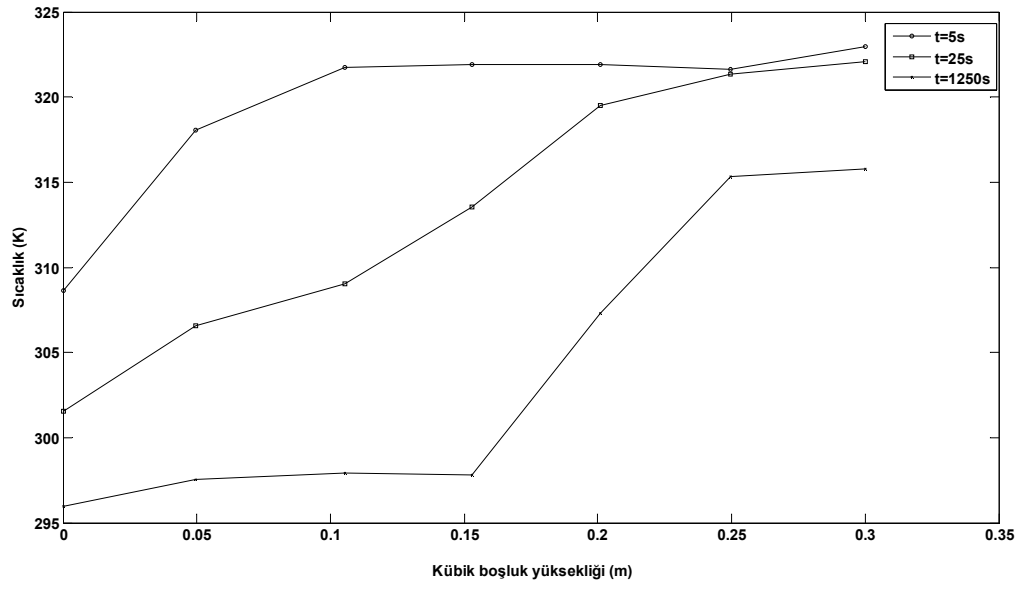


Şekil 4.193. $t=1250$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

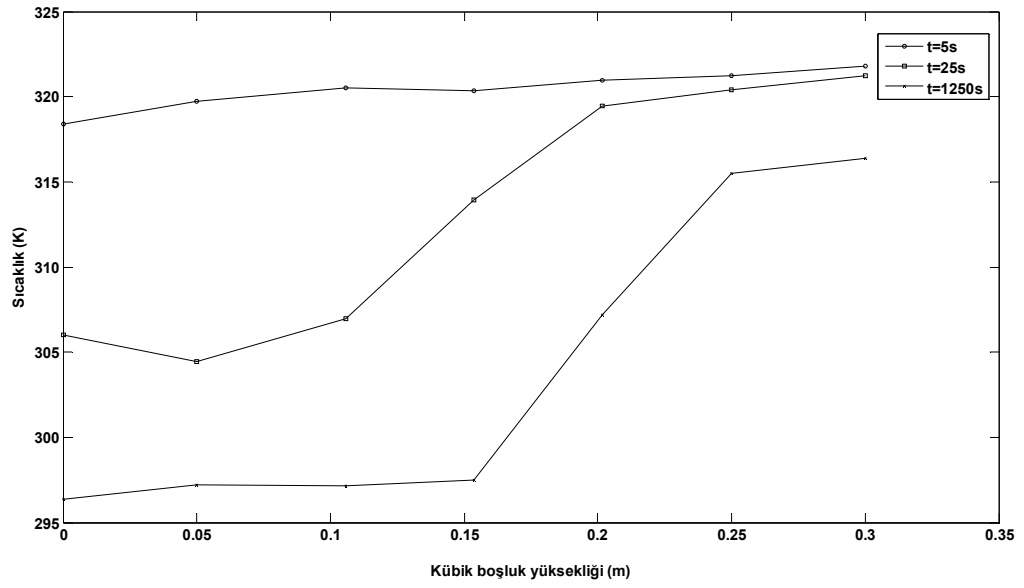
Şekil 4.193.' de $t=1250$. saniyede 1. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ ' da $y=0,15$ m' ye kadar (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 291 °K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 308 °K- 323 °K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 318 °K- 323 °K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir.



Şekil 4.194. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

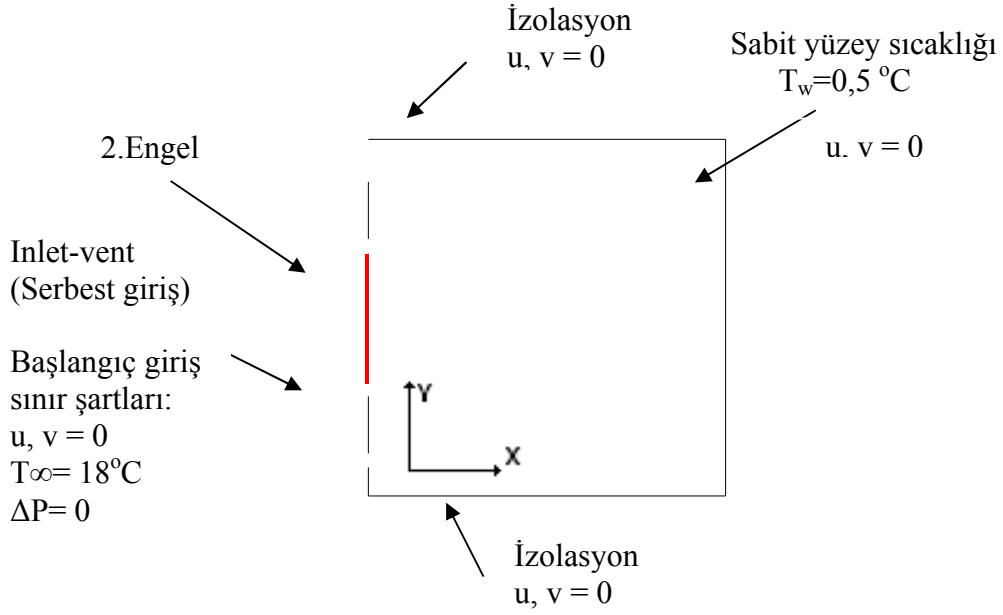


Şekil 4.195. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



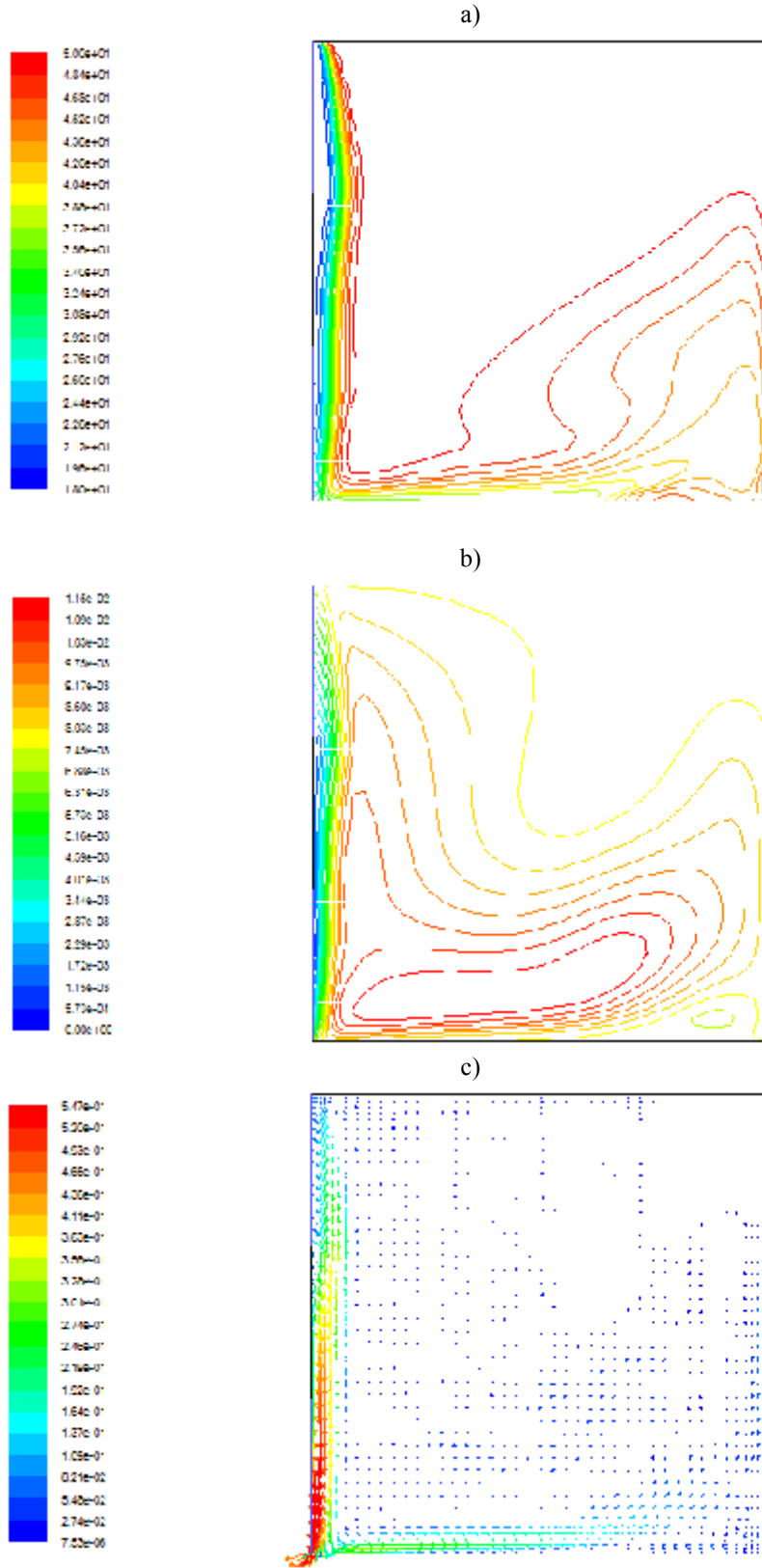
Şekil 4.196. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.7.2. 2. ENGEL

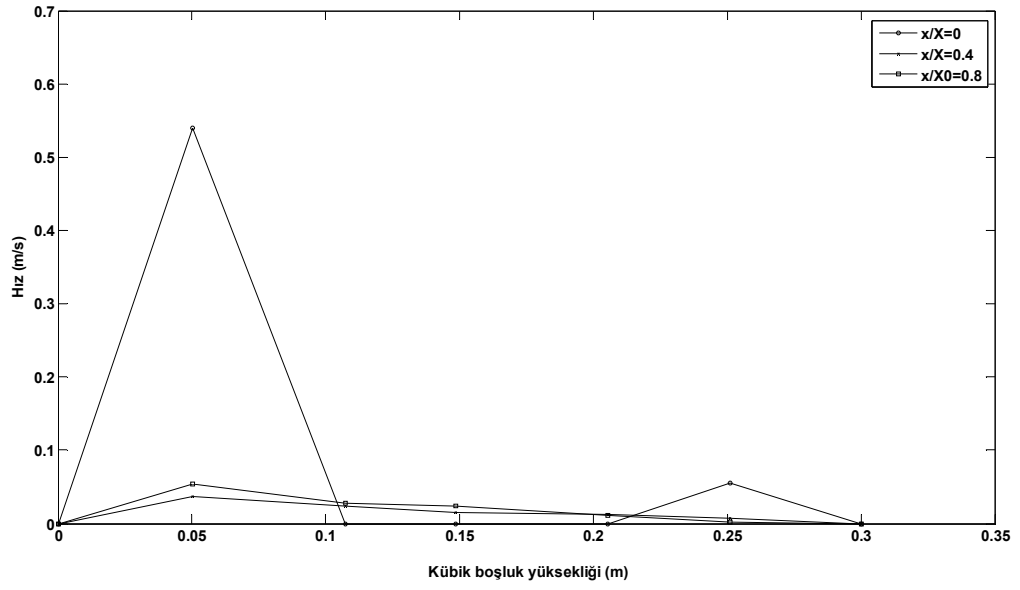


Şekil 4.197. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

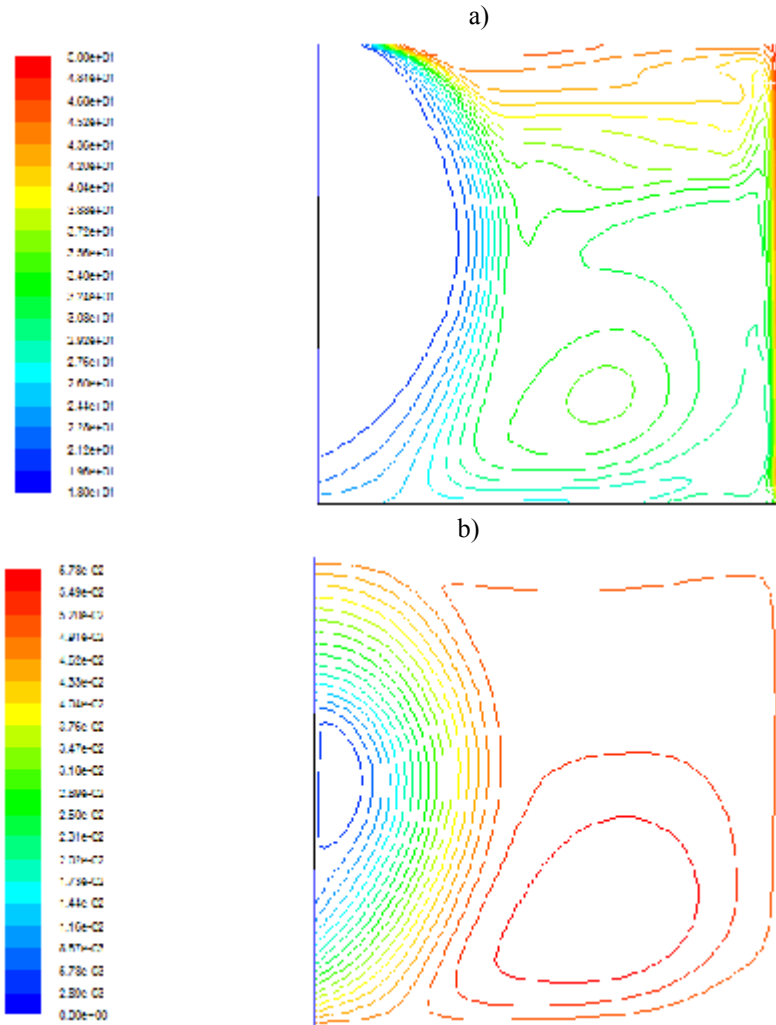
Kübik boşlukta cam kapağın açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) 0,1m ile 0,2m arasında engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.197. a, b ve c' de 2. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 2. tip engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre bir miktar artmıştır.

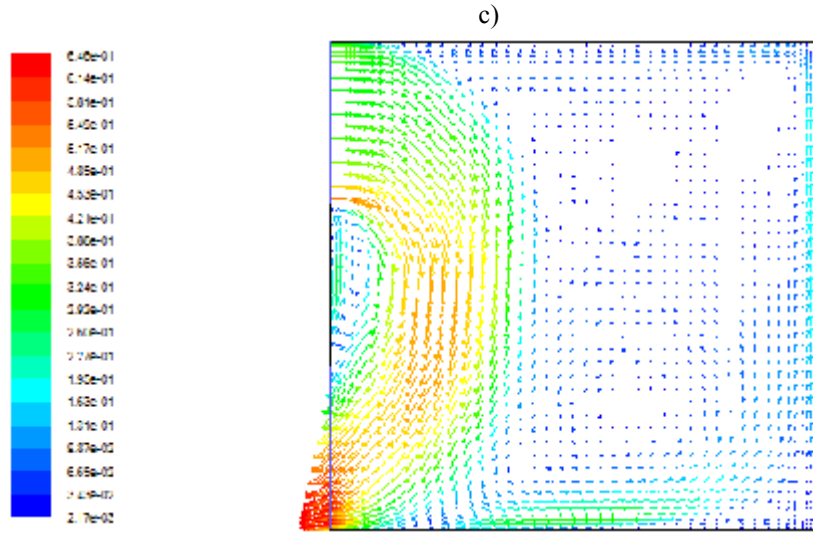


Şekil 4.198. $t=5$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

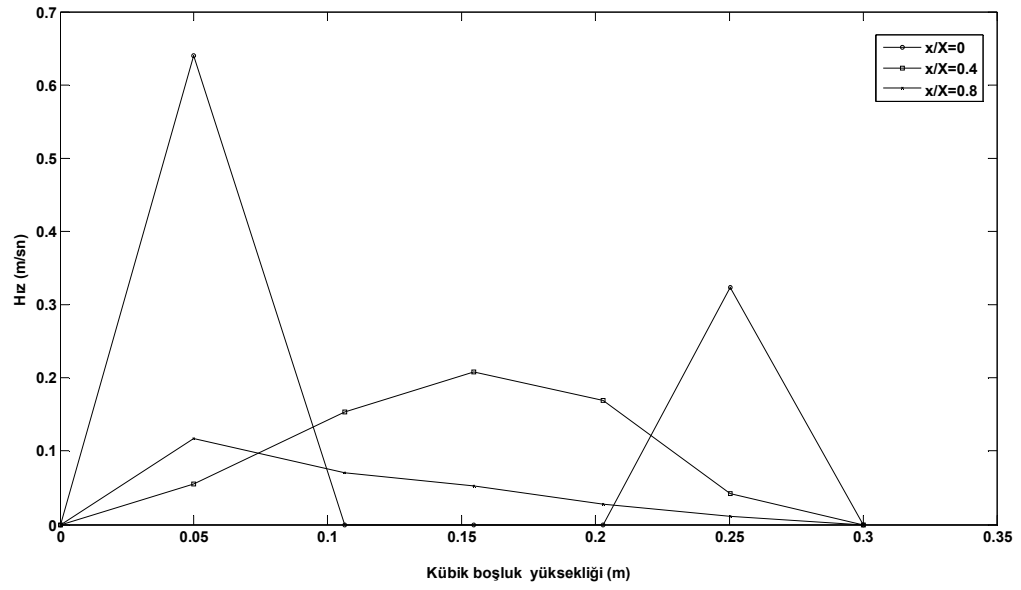


Şekil 4.199. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

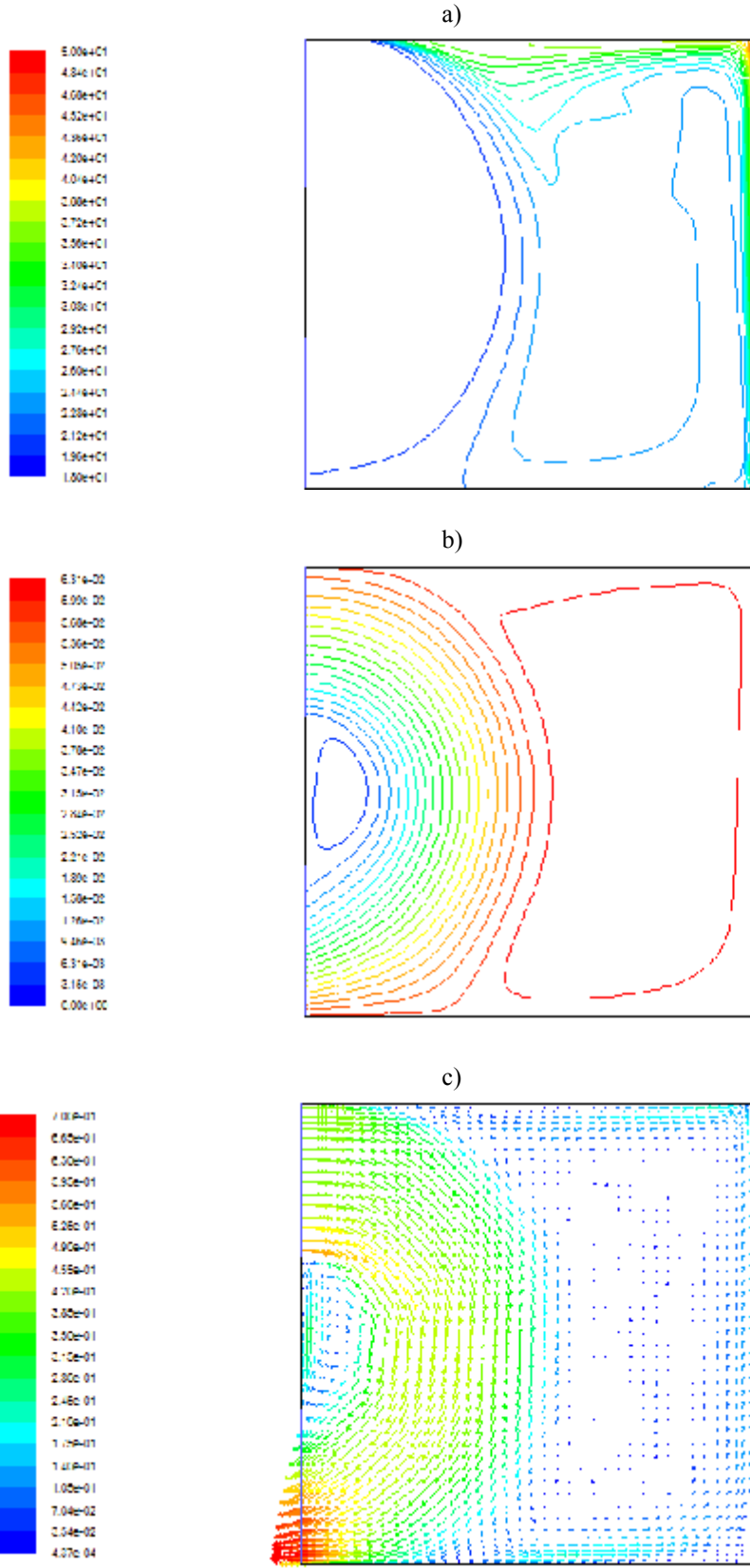




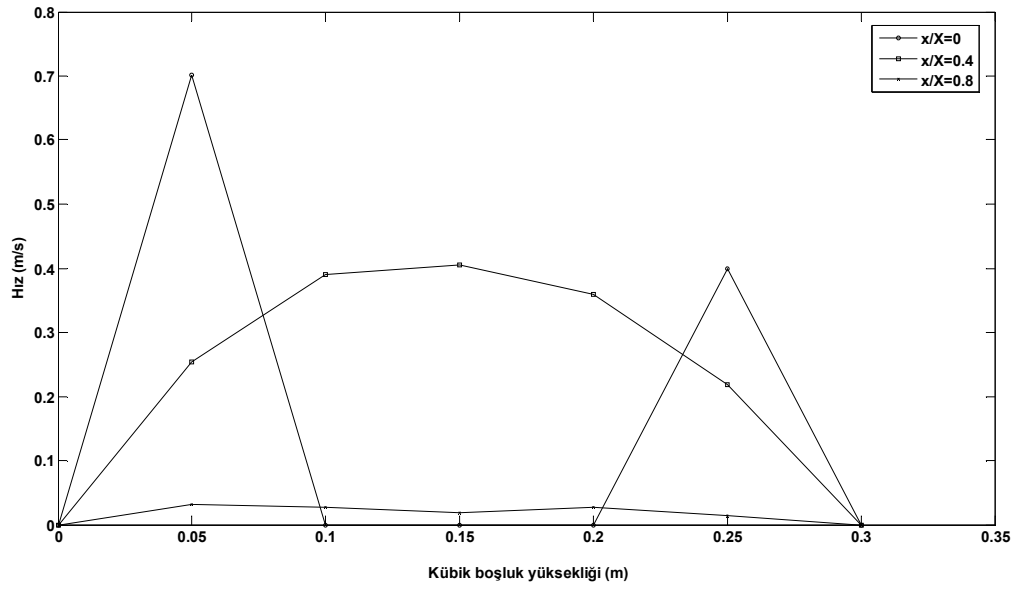
Şekil 4.200. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



Şekil 4.201. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

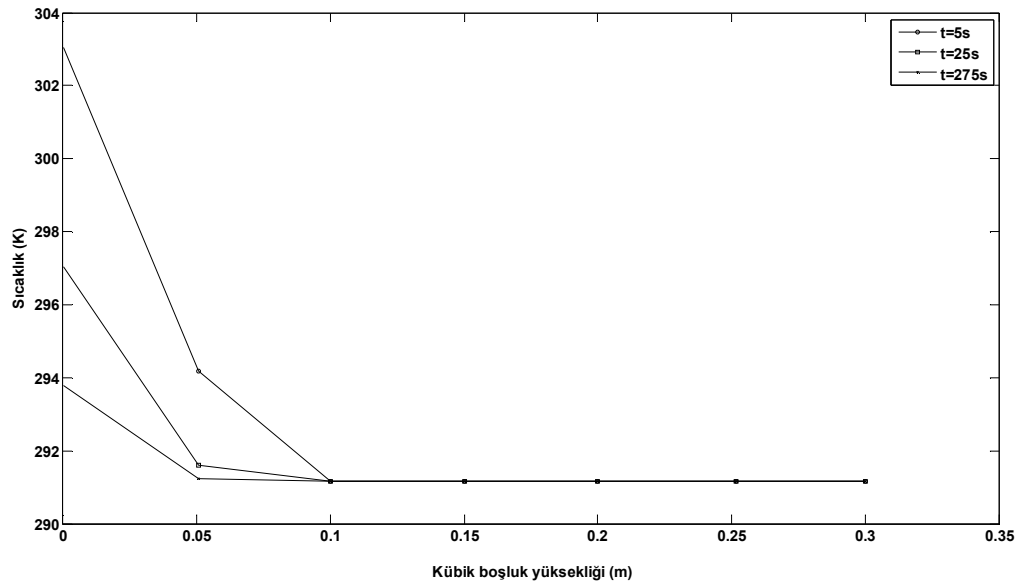


Şekil 4.202. $t=275$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

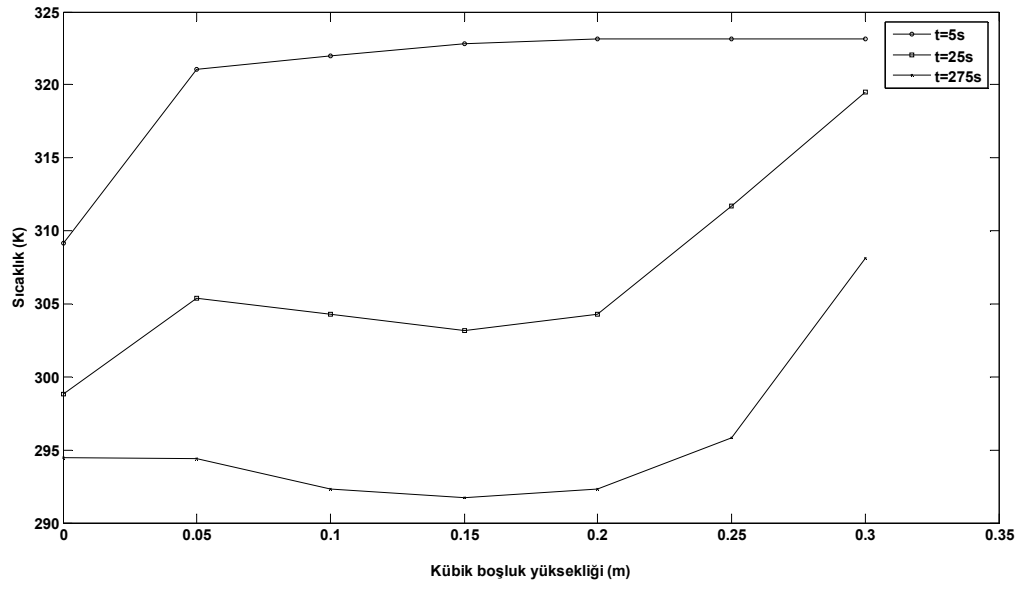


Şekil 4.203. $t=275$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

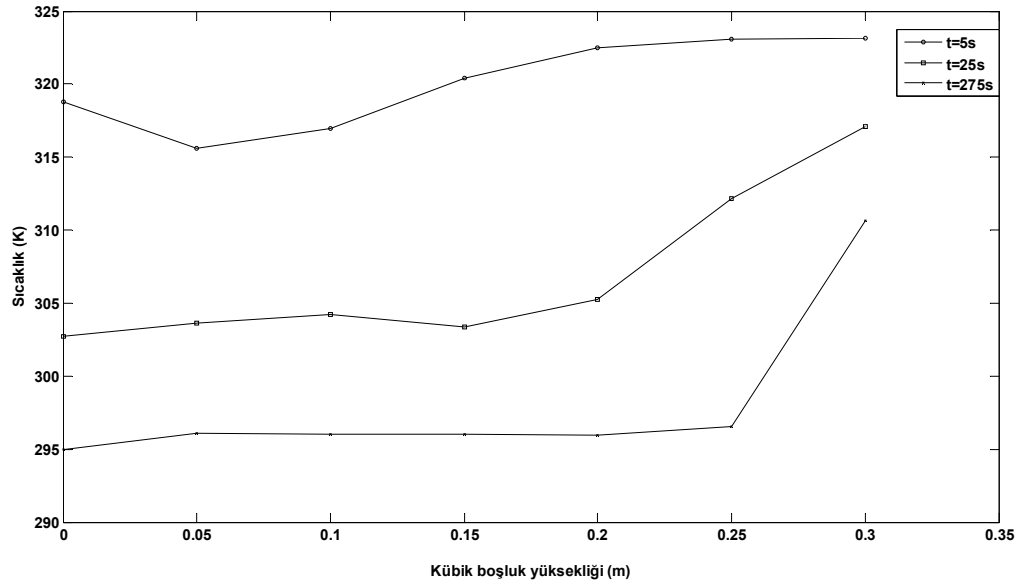
Şekil 4.203.' de $t=275$. saniyede 2. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0$ 'da (engel yüksekliğince) sıcaklık küçük bir miktar düşerek 291 K 'e ulaşmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 309 °K - 323 °K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 319 °K -323 °K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir.



Şekil 4.204. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

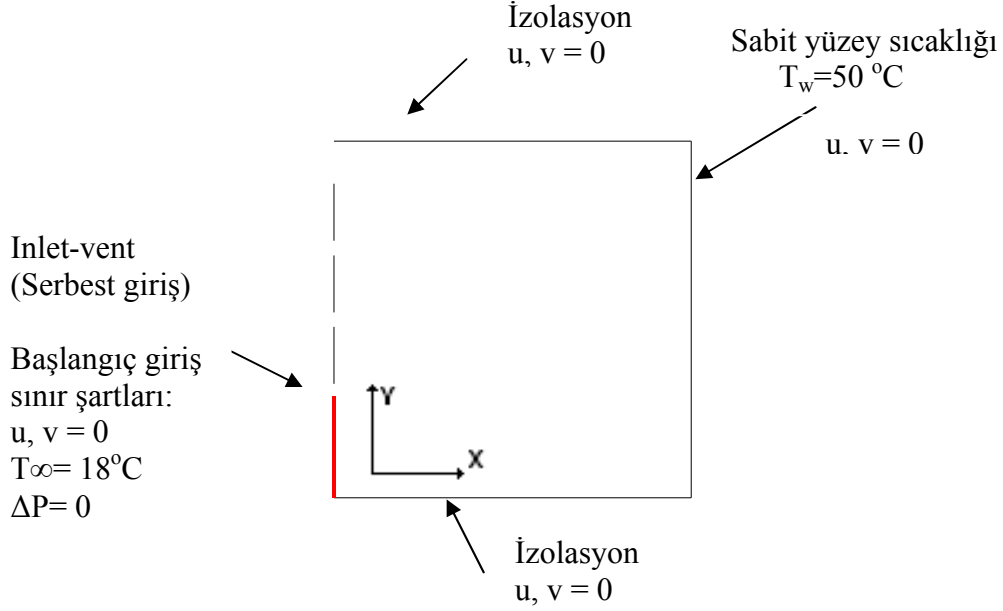


Şekil 4.205. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



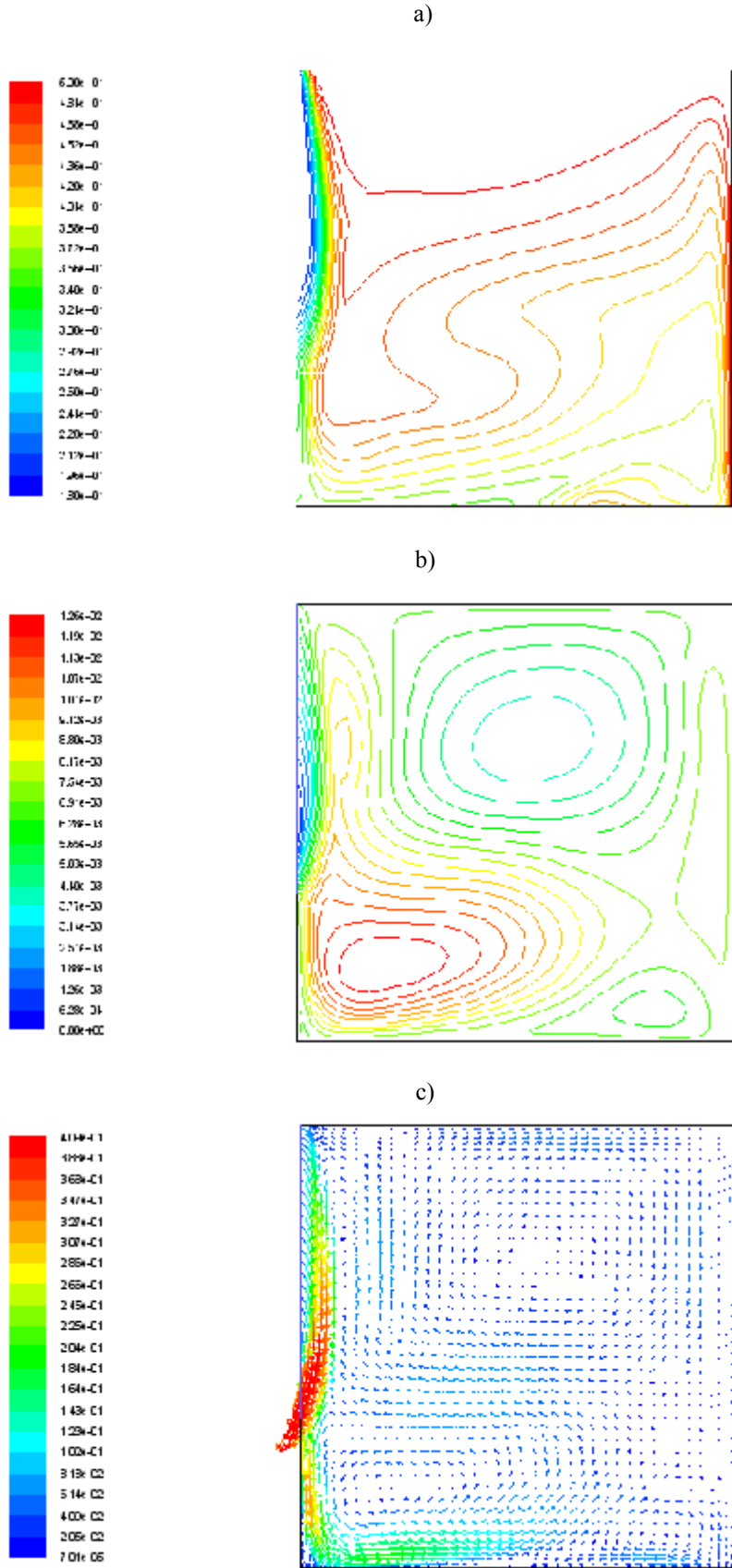
Şekil 4.206. $x/X=0,8$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

4.7.3. 3. ENGEL

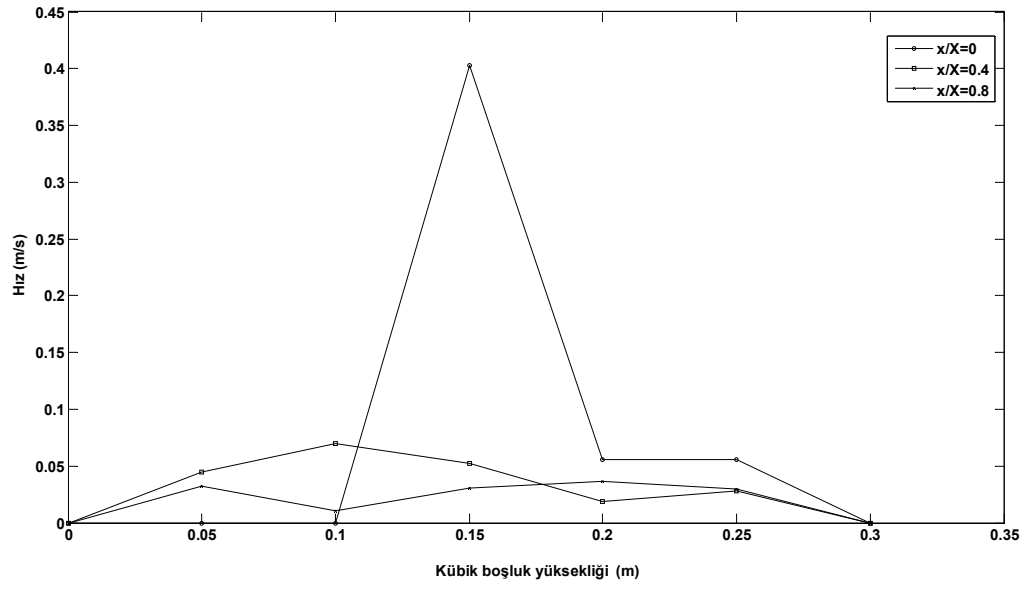


Şekil 4.207. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları

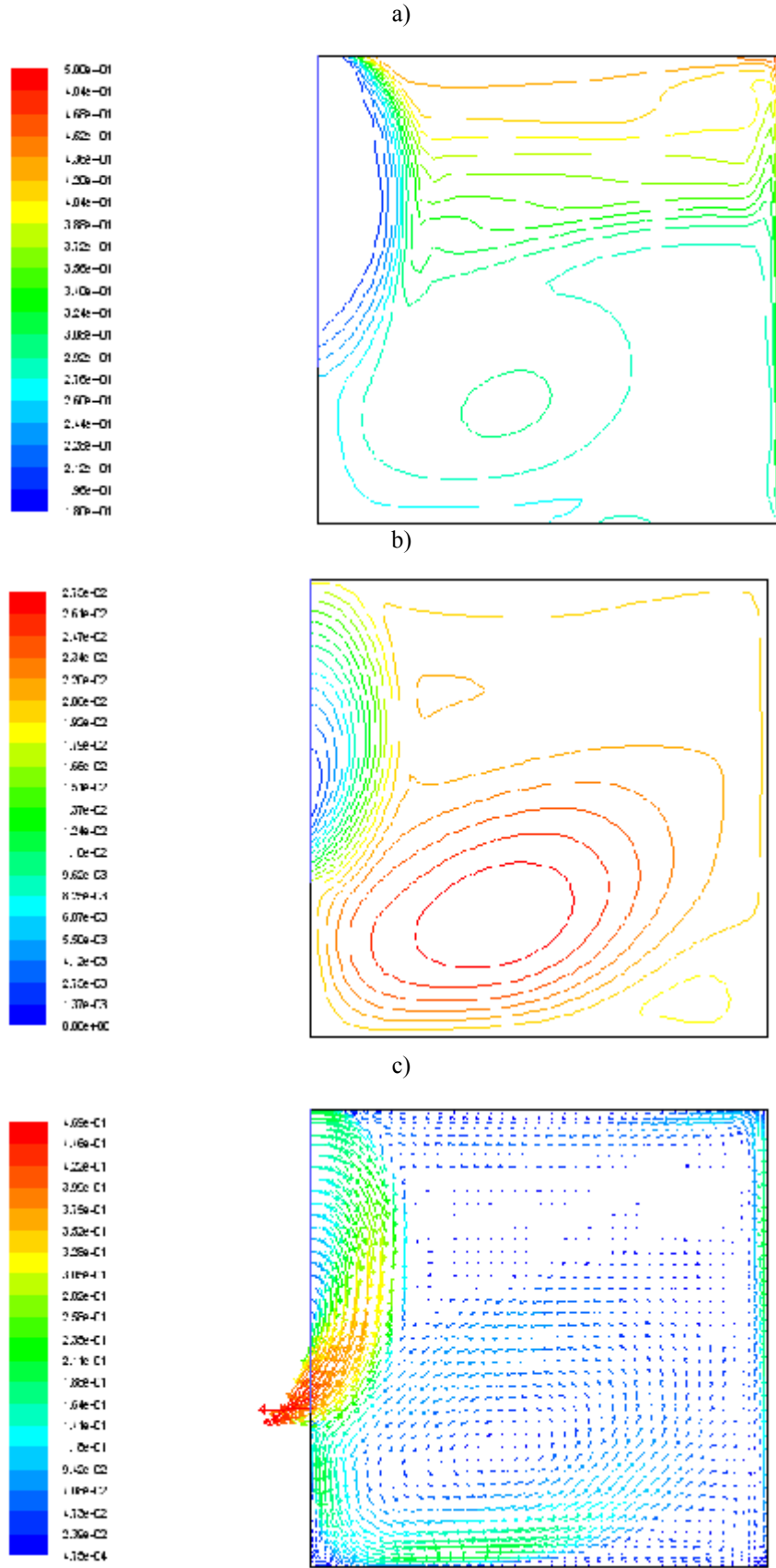
Kübik boşluğun cam kapağının açılması sırasında oluşan ısı kazancının düşürülmesi yani ısı geçişinin azaltılması için giriş kesitinde ($x/X=0$) alttan 0,1 m yüksekliğinde engel yerleştirilerek bunun etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 4.207. a, b ve c' de 3. tip engel için 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu ve hız vektörleri verilmiştir. Engelsiz durum ile karşılaştırıldığında bu değerlerde büyük farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. 3. engelde sistemin rejime gelme süresi engelsiz duruma göre bir miktar artmıştır.



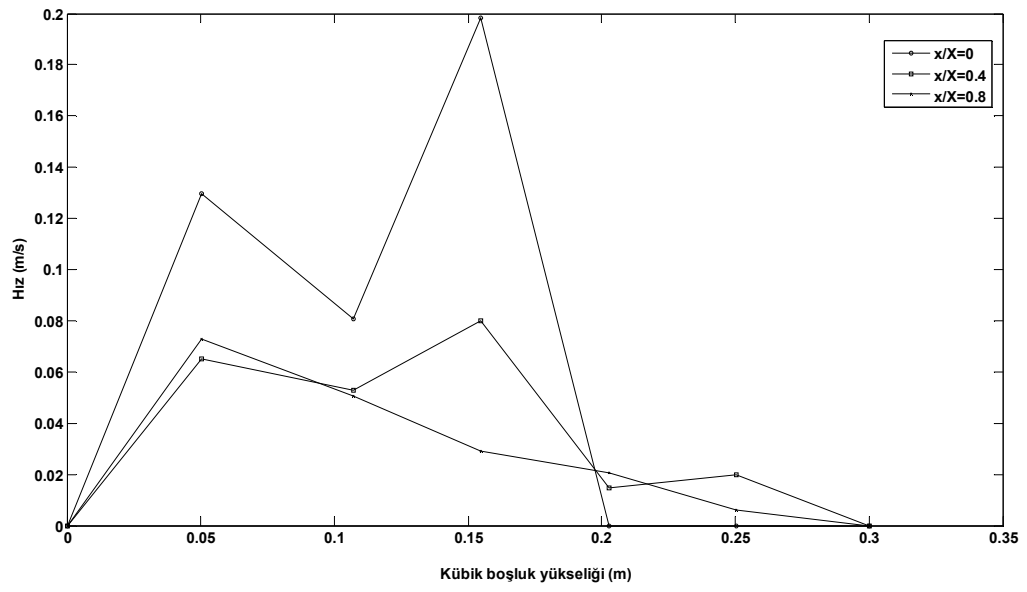
Şekil 4.208. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri



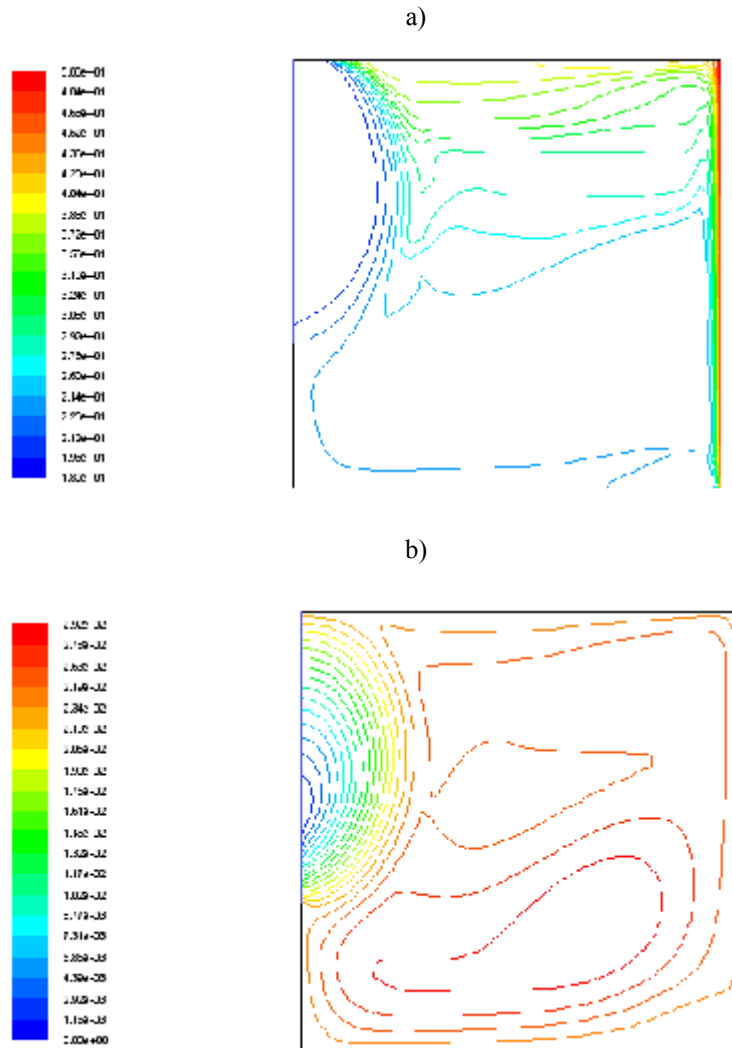
Şekil 4.209. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

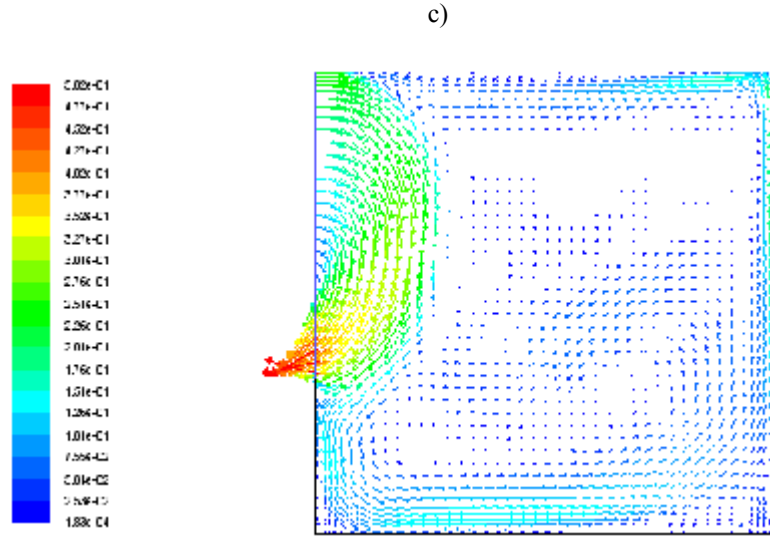


Şekil 4.210. $t=45$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

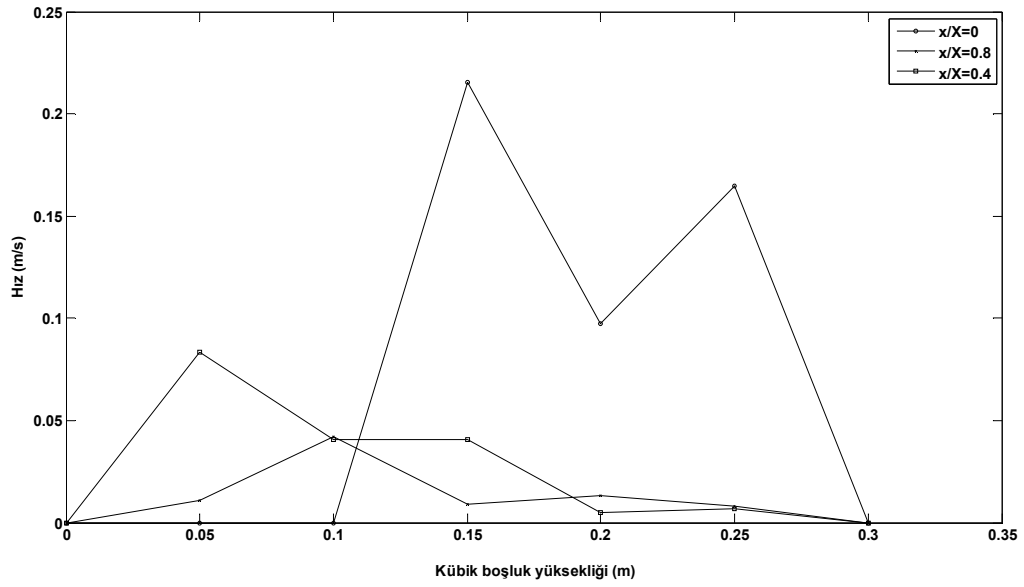


Şekil 4.211. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



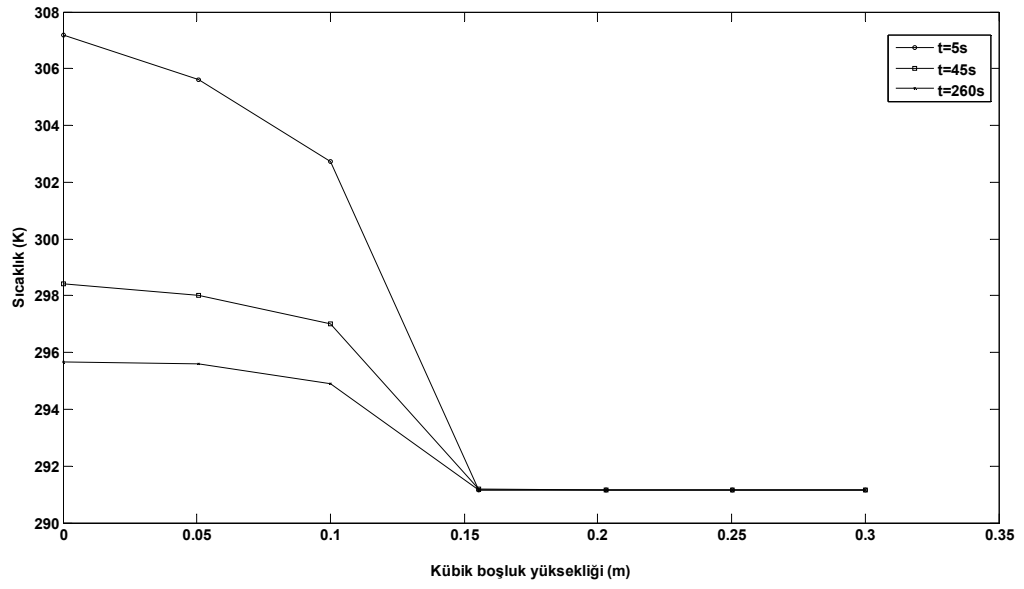


Şekil 4.212. $t=260$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri

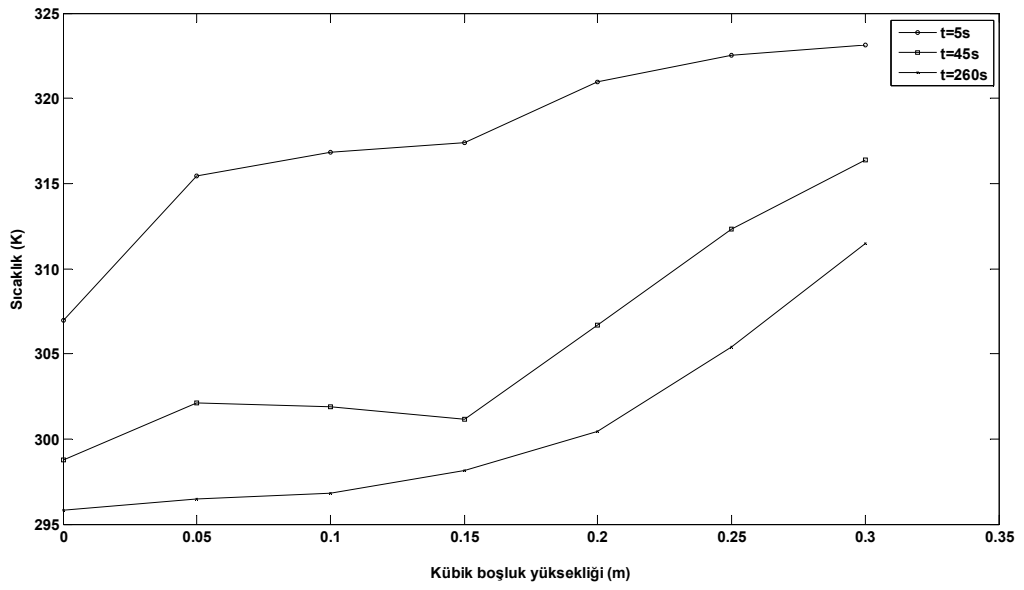


Şekil 4.213. $t=260$ s için kübik boşluk içerisindeki bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

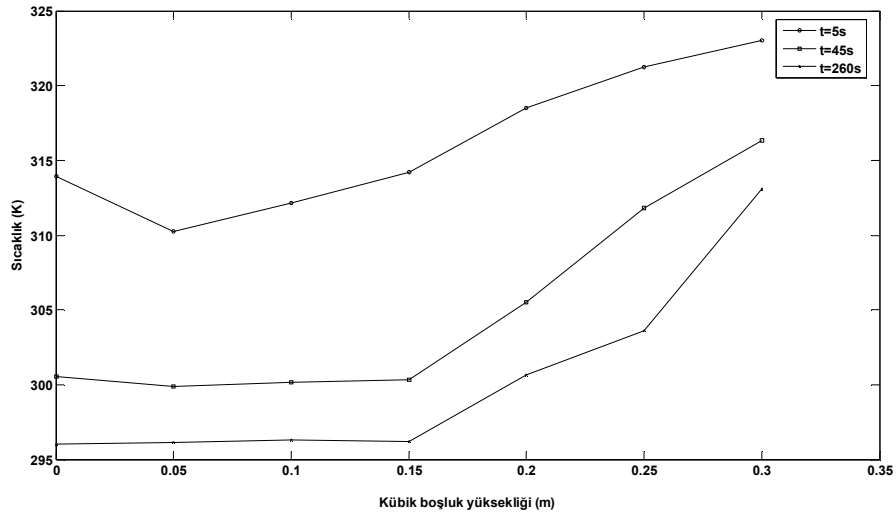
Şekil 4.213.'de $t=260$. saniyede 3. tip engel için kübik boşluk yüksekliğince sayısal sıcaklık değişimi verilmiştir. $x/X=0,4$ kesitinde 5.s' de 307 °K- 323 °K arasında değişmektedir. $x/X=0,8$ ' de 5.s' de 314 °K- 323 °K arasında sıcaklık değerleri değişmektedir.



Şekil 4.214. $x/X=0$ ' da sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

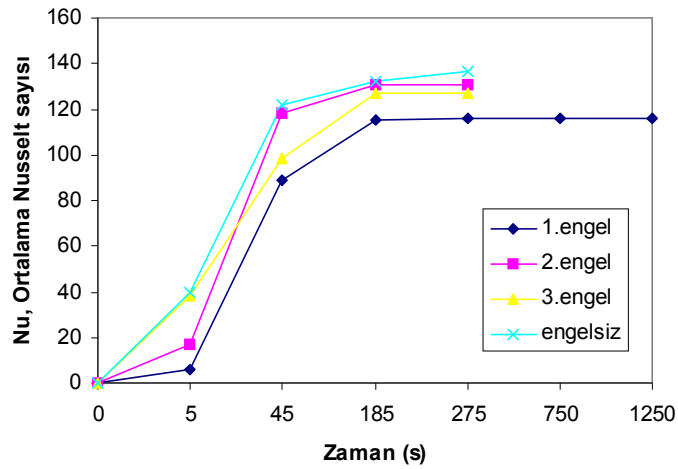


Şekil 4.215. $x/X=0,4$ ' de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi



Şekil 4.216. $x/X=0,8$ ’ de sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

Sonuç olarak 1. tip engelin sıcaklık ve hız değişimi üzerinde etkisi diğer engellerden çok olmuş, kübik boşluğun daha geç rejime gelmesine sebep olmuştur. Diğer engellerin etkisi az olup kübik boşluk engelsiz durumla yaklaşık aynı zamanda rejime gelmektedir. Kübik boşluk girişine yerleştirilen engellerin ısı transferine etkisi Şekil 4.216.’ da verilmiştir. Her bir engelli durum için sayısal olarak elde edilen ortalama Nusselt sayıları engelsiz durumla karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi 1. engel durumunda kübik boşluk içerisindeki ısı transferi diğer engelli durumlar ve engelsiz duruma göre daha az olmaktadır. Ayrıca 1. engel durumunda kübik boşluk yaklaşık diğer durumlara göre altı kat daha uzun sürede rejime gelmektedir. Bununla birlikte 2.ve 3. engel ve engelsiz durumlarda kübik boşluk içerisinde olan ısı transferi yaklaşık eşit değerlerde değişmektedir.



Şekil 4.217. VII. Durumda engelli ve engelsiz durumlar için Ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada çeşitli yüzey sınır şartlarına sahip kübik boşluğun içerisindeki akış ve durum değişimi zamana bağlı, deneysel ve teorik olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1) Ortam akımı yüzeyden soğutma sınır şartlarında kübik boşluğa giriş yüzeyinden giriş kısmının alt bölgelerinden girmekte ve akışkanın hacim içerisinde çeşitli bölgelerde ikincil ve dönmeli akışlar oluşturmakta daha sonra giriş kısmının üstünden kübik boşluğu terk etmektedir. Yüzeyden ısıtma sınır şartında ise ortam akımı kübik boşluğa giriş yüzeyinden giriş kısmının üst bölgelerinden girmekte ve akışkanın hacim içerisinde çeşitli bölgelerde ikincil ve dönmeli akışlar oluşturmakta daha sonra giriş kısmının altından kübik boşluğu terk etmektedir. Bu durumlar tüm yüzey sınır şartlarında hız vektörleri grafiklerinde açıkça görülmektedir.

2) Kübik boşluk içerisinde kısmi bölgelerde ilerleyen zamanlarda ikincil ve dönmeli akışlar olduğu görülmektedir. Örneğin arka yüzeyin soğutulması durumunda hemen bu yüzeyin önündeki boşlukta dönmeli akışlar oluşmakta dönmeli akışın dışında kalan hacimde ise akışkan alt kısımdan girip üst kısımdan boşluğu terk etmektedir. Genelde dönmeli akışlar soğutulan yüzeylerin önünde ve boşluğun en arka yüzeyinde oluşmaktadır. Boşluğun en arka yüzeyinde dönmeli akışların oluşması bu sınır şartlarının rejim durumuna geçme süresini uzatmaktadır.

3) Yüzeyden ısıtma ve çift yüzeyden soğutma sınır şartlarında Nusselt sayısında artışlar olduğu gözlenmektedir. Bu da hacim içerisinde sıcaklık gradyanının daha yüksek olduğunu göstermektedir.

4) Teorik çalışmalar sonucunda elde edilen en önemli sonuçlardan birisi üstteki ve ortadaki engellerin soğuk yüzey sınır şartı için engelsiz giriş durumuna göre fazla etkili olmadığı fakat engelin akışkanın kübik boşluğun girişinin alt kısmında olması durumunda oldukça etkili olduğu görülmüştür. Arka yüzeyden ısıtma sınır şartında ise engelin kübik boşluğun üst kısmında olması durumunda daha fazla etkili olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebi giriş yüzeyinde kısmen engel konularak giriş bölgesinin daraltılmasıdır. Dolayısıyla rejime gelme süresinin %100, hatta %100' ü aşan sürelerde arttığı açıkça görülmüştür.

6. ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda çıkartılacak öneriler aşağıdaki gibidir.

- 1) Bir boşluk içten soğutulup (buzdolabında olduğu gibi) veya içten ısıtılacak ise boşluğun C şeklinde imal edilmesi önerilir. Yani boşluğun açık olan giriş yüzeyinin alt ve üst kısımlarında engel teşkil edecek sarkıt ve dikit şeklinde yükseltilerin olması önerilir. Bu sayede akışkan iç hacimde daha fazla dönecek ve dış ortamdan daha az etkilenecektir.
- 2) Şayet bir elektronik alet vb. bir cihazdaki boşluk dıştan soğutulacak (bilgisayar çiplerinde olduğu gibi) veya ısıtılacak ise giriş yüzeylerindeki yükseltilerden ve engellerden kaçınılmalıdır. Bu nedenle oyuk U şeklinde imal edilmeleri önerilmektedir.
- 3) Bu çalışmada engelli durumlar doğal taşınım şartlarında ölçümlerin güçlüğü nedeniyle sadece teorik olarak incelenmiştir. İlerideki çalışmalarda engelli durumlarında deneysel olarak incelenmesi önerilmektedir.
- 4) Ara zamanlara ait deneysel ve teorik çıktılar, grafikler ve çözümlemeler elde edildiği halde çokluğu nedeniyle bu çalışmada hepsine yer verilememiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sezai, I. Mohamad, A.A.**, 2000. Natural Convection from a Discrete Heat Source on The Bottom of a Horizontal Enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 2257-2266.
- [2] **Bilgen, E.**, 2002. Natural Convection in Enclosures with Partial Partitions, *Renewable Energy*, 26, 257-270.
- [3] **Dalal, D.C., Datta, N. ve Mukherjea, S.K.**, 1998. Unsteady Natural Convection of a Dusty Fluid in an Infinite Rectangular Channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41, 3, 547-562.
- [4] **Laguerre, O., Ben Amara, S. ve Flick, D.**, 2005. Experimental Study of Heat Transfer by Natural Convection in a Closed Cavity: Application in a Domestic Refrigerator, *Journal of Food Engineering*, 70, 523-537.
- [5] **Cuckovic-Dzodzo, D.M., Dzodzo, M.B. ve Pavlovic, M.D.**, 1999. Laminar Natural Convection in a Fully Partitioned Enclosure Containing Fluid with Nonlinear Thermo Physical Properties, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20, 614-623.
- [6] **Papanicolaou, E. ve Belessiotis, V.**, 2002. Transient Natural Convection in a Cylindrical Enclosure at High Raleigh Numbers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, 1425-1444.
- [7] **Aydin, O., Ünal, A. ve Ayhan, T.**, 1999. Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from one Side and Cooled from the Ceiling, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, 2345-2355.
- [8] **Lin, C.X., Xin, M.D. ve Zhang, H.J.**, 1992. Numerical Study of the Turbulent Natural Convection in Compressible Fluid with Variable Properties in an Open Square Cavity, *Recent Advances in Heat Transfer*, 783-795.
- [9] **Ha, M.Y. ve Jung, J. M.**, 2000. A Numerical Study on Three-dimensional Conjugate Heat Transfer of Natural Convection and Conduction in a Differentially Heated Cubic Enclosure with a Heat-generating Cubic Conducting Body, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 4229-4248.

- [10] **Ergin, S.**, 2000. Surface Radiation with Conduction and Natural Convection in a Two-floor Enclosure, *Energy and Building*, 32, 57-70.
- [11] **Deng, Q.H., Tang, G.F. ve Li, Y.**, 2002. A Combined Temperature Scale for Analyzing Natural Convection in Rectangular Enclosures with Discrete Wall Heat Sources, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, 3437-3446.
- [12] **Pallares, J., Grau, F.X. ve Giralt, F.**, 1999. Flow Transitions in Laminar Rayleigh-Bénard Convection in a Cubical Cavity at Moderate Rayleigh Numbers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, 753-769.
- [13] **Cortella, G., Manzan, M. ve Comini, G.**, 2001. CFD Simulation of Refrigerated Display Cabinets, *International Journal of Refrigeration*, 24, 250-260.
- [14] **Dagtekin, İ. ve Oztop, H.F.**, 2001. Natural Convection Heat Transfer by Heated Partitions within Enclosure, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 28, 6, 823-834.
- [15] **Costa, V.A.F.**, 2002. Laminar Natural Convection in Differentially Heated rectangular Enclosures with Vertical Diffusive Walls, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, 4217-4225.
- [16] **Fukuyo, K., Tanaami, T. ve Ashida H.**, 2003. Thermal Uniformity and Rapid Cooling inside Refrigerator, *International Journal of Refrigeration*, 26, 249-255.
- [17] **Ding, G.L., Qiao, H.T. ve Lu, Z.L.**, 2004. Ways to Improve Thermal Uniformity Insides a Refrigerator, *Applied Thermal Engineering*, 24, 1827-1840.
- [18] **Lacerda, V.T., Melo, C., Barbosa Jr, J.R. ve Duarte, P.O.O.**, 2005. Measurements of The Air Flow Field in the Freezer Compartment of a Top-mount No-frost Refrigerator: The Effect of Temperature, *International Journal of Refrigeration*, 28, 774-783.
- [19] **Laguerre, O. ve Flick, D.**, 2004. Heat transfer by Natural Convection in Domestic Refrigerators, *Journal of Food Engineering*, 62, 79-88.
- [20] **Khalifa, A.J.N. ve Sahib, W.K.**, 2002. Turbulent Buoyancy Driven Convection in Partially Divided Enclosure, *Energy Conversion & Management*, 43, 2115-2121.

- [21] **Saidur, R., Masjuki, H.H. ve Choudhury, I. A.,** 2002. Role of Ambient Temperature, Door Opening, Thermostat Setting Position and Their Combined Effect on Refrigerator-Freezer Energy Consumption, *Energy Conversion & Management*, 43, 845-854.
- [22] **Bennacer, R., Mohamad, A.A. ve Akrou, D.,** 2001. Transient Natural Convection in an Enclosure with Horizontal Temperature and Vertical Solutal Gradients, *International Journal of Thermal Sciences*, 40, 899-910.
- [23] **Ampofo, F.,** 2005. Turbulent Natural Convection of Air in a Non-partitioned or Partitioned Cavity with Differentially Heated Vertical and Conducting Horizontal Walls, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 29, 137-157.
- [24] **Sun, Y.S., ve Emery, A.F.,** 1997. Effects of Wall Conduction, Internal Heat Sources and an Internal Baffle on Natural Convection Heat Transfer in a Rectangular Enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40, 4, 915-929.
- [25] **Nishimura, T., Hayashida, Y. ve Mineoka, M.,** 1997. Oscillatory Natural Convection of Water near The Density Extremum at High Rayleigh Numbers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40, 14, 3449-3464.
- [26] **Nakano, A., Ozoe, H. ve Churchill, S.W.,** 1998. Numerical Computation of Natural Convection for a Low-Prandtl-Number Fluid in a Shallow Rectangular Region Heated from Below, *Chemical Engineering Journal*, 71, 175-182.
- [27] **Soong, C.Y., Tzeng, P.Y. ve Hsieh, C.D.,** 2001. Numerical Study of Bottom-Wall Temperature Modulation Effects on Thermal Instability and Oscillatory Cellular Convection in a Rectangular Enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44, 3855-3868.
- [28] **Aydın, O.,** 1999. Transient Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from One Side and Cooled from Above, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 23, 1, 135-144.
- [29] **De Vahl Davis, G.,** 1983. Natural Convection of Air in a Square Cavity: A Benchmark Numerical Solution, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 3, 249-264.

- [30] **Fu, W.S., Tseng, C.C. ve Chen, Y.C.,** 1994. Natural Convection in an Enclosure with Non-uniform Wall Temperature, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 21, 6, 819-828.
- [31] **Volker, S., Burton, T. ve Vanka S.P.,** 1996. Finite-Volume Multigrid Calculation of Natural Convection Flows on Unstructured Grid, *Numerical Heat Transfer*, 30, 1-22.
- [32] **Kılıç, M.,** 1999. Bir Yüzeyinden Soğutulan ve Isıtılan Prizmatik Hacimdeki Doğal Konveksiyon, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [33] **Tian, Y.S. ve Karayiannis, T.G.,** 2000. Low Turbulence Natural Convection in Air Filled Square Cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 867-884.
- [34] **Penot, F.,** 1982. Numerical Calculation of 2D Natural Convection in Isothermal Open Cavity, *Numerical Heat Transfer*, 5, 421-437.
- [35] **Skok, H., Ramadhyani, S. ve Schoenhals, R.J.,** 1991. Natural Convection in a Side Facing Open Cavity, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 12, 36-45.
- [36] **Li, J., Ingham, D.B. ve Pop, I.,** 2001. Natural Convection from a Vertical Flat Plate with a Surface Temperature Oscillation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44, 2311-2322.
- [37] **Boetcher, S.K.S, Sparrow, E.M.,** 2009. Buoyancy-induced flow in an open-ended cavity: Assessment of a similarity solution and of numerical simulation models, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.10.035.
- [38] **Mohamad, A.A., El-Ganaoui M., Bennacer R.,** 2009. Lattice Boltzmann simulation of natural convection in an open ended cavity, *Int. J. Thermal Sciences* doi:10.1016/j.ijthermalsci.2009.02.004.
- [39] **Bahlaoui A., Raji A., Hasnaoui M., Naïmi M., Makayssi T., Lamsaadi M.,** 2009. Mixed convection cooling combined with surface radiation in a partitioned rectangular cavity, *Energy Conversion and Management*, 50, 626–635.

- [40] **Kasayapanand, N., Kiatsiriroat, T.,** 2009. Enhanced heat transfer in partially open square cavities with thin fin by using electric field, *Energy Conversion and Management*, 50, 287–296.
- [41] **Shuja S.Z., Yilbas B.S., Kassas, M.,** 2009. Flow over porous blocks in a square cavity: Influence of heat flux and porosity on heat transfer rates, *International Journal of Thermal Sciences* , doi:10.1016/j.ijthermalsci.2008.12.010.
- [42] **Sivasankaran, S., Ho, C.J.,** 2008. Effect of temperature dependent properties on MHD convection of water near its density maximum in a square cavity, *International Journal of Thermal Sciences*, 47, 1184–1194
- [43] **Angirasa, D., Eggels, J.G.M. ve Nieuwsrad, F.T.M.,** 1995. Numerical Simulation of Transient Natural Convection From an Isothermal Cavity Open a Side, *Numerical Heat Transfer*, 26, 755-768.
- [44] **Chan, Y.L. ve Tien, C.L.,** 1985. A Numerical Study of Two-dimensional Natural Convection in Square Open Cavities, *Numerical Heat Transfer*, 8, 65-80.
- [45] **Durmuş, A.,** 2006. “ Yan Yüzeyi Açık Prizmatik Bir Boşlukta Doğal Taşınım”, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- [46] **White, F.M.,** 2004. Akışkanlar Mekaniği, Kırkköprü, K., Ayder, E., Dördüncü Basımın Türkçesi, Literatür Yayınları, İstanbul
- [47] **Incropera, F. ve P., DeWitt, D.P.,** 2001. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Darbentli, T., Genceli, O., Güngör, A., Özbalta, N., Özgünç, F., Parmaksızoğlu, C., Uralcan, Y., Dördüncü Basımdan çeviri, Literatür yayınları, İstanbul.
- [48] **Fluent Incorporated,** 2006. Fluent 6.3 User’s Guide, Lebanon.
- [49] **Chan, Y.L. ve Tien, C.L.,** 1985. A Numerical Study of Two-dimensional Laminer Natural Convection in Shallow Open Cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 28, 3, 603-612
- [50] **Bilgen, E. ve Oztop, H.,** 2005. Natural Convection Heat Transfer in Partially Open Inclined Square Cavities, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 1470-1479.

- [51] **Genceli, O.F.**, 2002. Çözümlü Isı Taşınımı Problemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [52] **Fox, R.W. ve McDonald, A.T.**, 1994. Introduction to Fluid Mechanic, John Wiley and Sons, Fourth Edition, New York.
- [53] **Holman, J.P.**, 1994. Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [54] **Patankar, S.V.**, 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill Book Company, New York.

EK-1

EK- 1.1. RAYLEIGH SAYISININ HESABI

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha} \quad (E.1)$$

β ısı genleşme katsayısı:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{\rho} \frac{P}{RT^2} = \frac{1}{T_{ort}} \quad (E.2)$$

şeklinde verilmiştir [47].

$$T = T_{ort} = \frac{1}{2} (T_{\infty} + T_w) \quad (E.3)$$

Burada T_{∞} ortam sıcaklığını (18 °C) ve T_w yüzey sıcaklığını (0,5 °C) göstermektedir.

$$T_{ort} = \frac{291,15 + 273,65}{2} = 282,575 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{282,575} = 0,0035$$

$$Ra = \frac{9,81 \times 0,0035 \times (17,5) \times (0,3)^3}{14,39 \times 10^{-6} \times 20,287 \times 10^{-6}} = 0,5 \times 10^8$$

şeklinde bulunur.

EK-1.2. NUSSELT SAYISININ HESABI

Bilindiği gibi Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanına eşittir [47, 51].

$$Nu_L = \frac{\partial \theta}{\partial \bar{X}} \Big|_{x=0} \quad (E.4)$$

Nusselt sayısını belirleyebilmek için deneysel ve sayısal çözümden elde edilen sıcaklıklar aşağıda verilen şekilde boyutsuzlaştırılmıştır.

$$\theta = \frac{T_{(xt)} - T_{\infty}}{T_w - T_{\infty}} \quad (E.5)$$

Burada $T_{(xt)}$ yerel sıcaklık değeri, T_{∞} ortam sıcaklığı ve T_w yüzey sıcaklığıdır. Nusselt sayısının boyutsuz olduğu hatırlanırsa, mesafelerin de boyutsuzlaştırılması gerekir.

x koordinatı

$$\bar{X} = \frac{x}{L} \quad (E.6)$$

$\bar{X}$ olarak boyutsuzlaştırılmıştır ve ortalama Nusselt sayısı

$$\overline{Nu} = \int_0^l Nu_L . d\bar{X} \quad (E.7)$$

bağıntısından hesaplanır.

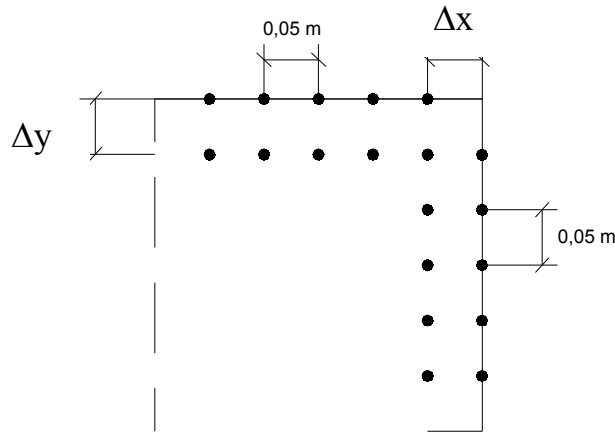
$$Nu_{y_{rel_x}} = \frac{L \left(\frac{T_1 - T_2}{T_w - T_\infty} \right)}{\Delta x} = \frac{L \frac{T_1 - T_2}{\Delta x}}{T_w - T_\infty} \quad (E.8)$$

$$X = x \setminus L$$

$$L = 0,3 \quad Nu_X = 3,72578$$

$$\overline{Nu} = Nu_X L \setminus x = 3,72578 * 0,3 / 0,02 = 55,8867$$

Deneysel Nusselt sayısı hesaplanırken soğuk yüzeye 0,01 m uzaklıkta belirli mesafelerde yerleştirilmiş termoelemanlarla belirlenen sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Termoelemanların yerleştirilme şekli ve boyutları Ek Şekil 1.1.'de verilmiştir. Burada, $\Delta x = \Delta y = 0,01$ m dir



Ek Şekil 1.1. Deneysel Nusselt sayısının hesabı için termoelemanların yerleştirilme şekli

EK-2

EK-2.1. Belirsizlik Analizi

Deneyisel olarak elde edilen sonuçların doğruluğu ve hassasiyeti oldukça önemlidir. Ölçüm cihazlarının hassasiyeti ortam şartlarının değişkenliği ve kalibrasyon işleminin doğruluğu sonuçları büyük ölçüde etkilemektedir. Bunun yanı sıra sıcaklık ölçümleri gibi ısı transferine dayanan ölçümlerde göz önüne alınan veya ihmal edilen ısı transfer mekanizmaları (iletim, taşınım, ışıyım gibi) nedeniyle hatalar meydana gelebilir. Bu hataların tahmin edilmesi ve deneyisel verilerin kullanıldığı hesaplamalara ne kadar etki ettiğinin belirlenmesi sonuçların değerlendirilmesi ve yapılan çalışmanın geçerliliği açısından önem taşımaktadır. Hata analizleri ile ölçümlerin güvenilirlik mertebesi belirlenmektedir.

Deneyisel hataları üç ana grupta toplayabiliriz. Birinci hata tipi deney tecrübesizliği ile oluşan hatalardır. Uygun olmayan ölçüm cihazının kullanılması, ölçüm probunun iyi konumlandırılmamasından kaynaklanan hatalardır.

İkinci hata tipi ise; sabit ve sistematik hatalar olarak adlandırılır. Bunlar genellikle tekrarlanan ölçümlerde aynı miktarda hataya sebep olan hatalardır. Her ölçümde aynıdır ve uygun bir kalibrasyon veya düzeltme işlemi ile ortadan kaldırılabilmektedir.

Üçüncü hata tipi ise rasgele oluşan düzensiz hatalardır ve her bir ölçüm için farklı değerlerde olmaları nedeniyle ortadan kaldırılmaları güçtür. Bu hatalar ortam şartlarının değişmesinden, elektrikli ölçüm cihazlarının çalıştığı ortamlarda gerilim değişmelerinden kaynaklanabilir.

Deneyisel çalışmalarda özellikle sistematik hataların tespiti için bazı teorik modellemeler veya yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın tercih edilenleri; akılcı yaklaşım ve belirsizlik analizidir.

Akılcı yaklaşım hata analizinde; deney setinde kullanılan tüm ölçme aletlerinin aynı anda maksimum hatayı yaptığı kabul edilir. Bu tip hata analizinde belki hiçbir zaman bu hata değerine ulaşılmayabilir. Fakat yine de bu hatanın yapıldığı varsayılır [52].

Belirsizlik analizinin esası ise deneyisel sonuçlarda muhtemel hataların belirlenmesine dayanmaktadır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha hassastır.

Bu çalışmada gerek ölçülen ve gerekse hesaplanan parametrelere ait belirsizlik değerlerini elde etmek için Holman tarafından sunulan hesaplama yöntemi kullanılmıştır.[53]. Bu yöntemle göre elde edilen büyüklük R , bu büyüklüğe etki eden bağımsız değişken sayısı n ve bağımsız değişkenler de x olsun. O halde fonksiyon olarak,

$$R = R(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots x_n) \quad (E.9)$$

şeklinde ifade edilmekte ve toplam belirsizlik,

$$\omega_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} \omega_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (E.10)$$

şeklinde belirlenmektedir. Bu bağtıda yer alan ω 'ler her bir bağımsız değişkene ait belirsizliği ifade etmektedir. R sonucuna ait toplam belirsizlik (ω_R / R) şeklinde yüzdelik olarak ifade edilir ve

$$\frac{\omega_R}{R} = \left[\left(\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left(\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \left(\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_3} \omega_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (E.11)$$

şeklinde yazılabilir. Benzer şekilde aynı ifade,

$$\frac{\partial R}{R} = \left[\left(\frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} \frac{\partial x_1}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} \frac{\partial x_n}{x_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (E.12)$$

şeklinde verilmiştir [52]. Buradaki her bir alt değişkene ait belirsizlik $(U_i = \frac{\partial x_i}{x_i})$ olarak

yazıldığında sonuca ait toplam belirsizlik,

$$U_R = \left[\left(\frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} U_1 \right)^2 + \left(\frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} U_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} U_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (E.13)$$

olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada deneysel olarak sıcaklık ve hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen sıcaklık değerlerinden gidilerek, Nusselt sayısı ve Rayleigh sayısı elde edilmiştir.

EK-2. 2. Hız ölçümünde oluşabilecek belirsizlikler:

Hız ölçümü ile ilgili hata kaynakları,

U_1 = Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %3

U_2 = Prob açısından dolayı oluşabilecek belirsizlik %0,5

U_3 = Prob için sıcaklık değişimlerinden oluşabilecek hata %0,5

U_4 = Ortam basıncı değişimiyle oluşabilecek hata %0,5

olarak göz önüne alındığında; hız ölçümündeki belirsizlik

$$U_V = \left[U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (E.14)$$

$$U_V = \left[3^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 0,5^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cong \%3,12$$

EK-2.3. Sıcaklık ölçümünden oluşabilecek belirsizlik:

Bu hatalar termoelemanların bağlantısı, kaynak edilişi, cihazların montajından, termoelemanların konumundan kaynaklanmış olan hatalardır.

U_1 = Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %0,5

U_2 = Termoeleman hatası %1

U_3 = Termoeleman konum hatası %0,5

$$U_T = \left[0,5^2 + 1,0^2 + 0,5^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cong \%1,22$$

EK-2. 4. Uzunlukların ölçümünde oluşabilecek belirsizlik:

Deneyisel Nusselt sayısının elde edilmesi için soğuk yada sıcak yüzeye yakın noktalara termoelemanlar yerleştirilmiştir. Termoelemanların Δy ve karakteristik uzunluğun, L , ölçümünden dolayı oluşabilecek hatalar Nusselt sayısını ve Rayleigh sayısını etkilemektedir.

Uzunluk ölçümündeki hassasiyet 0,5 olduğu kabul edilerek soğutucu yüzeyinden itibaren ölçülen uzaklığın ($\Delta y = 10 \text{ mm}$), uzaklığın tespitinde oluşabilecek belirsizlik;

$$U_{\Delta y} = \frac{0,5 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 0,05 = \% 5$$

Küçük boşluk karakteristik uzunluğunun ($L = 500 \text{ mm}$), tespitinde oluşabilecek hata;

$$U_L = \frac{0,5 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0,001 = \% 0,1$$

EK-2. 5. Nusselt sayısının hesaplanmasındaki belirsizlik:

Nusselt sayısı boyutsuz sıcaklık gradyanından hesaplanmaktadır. Sıcaklık ve uzunluğun boyutsuzlaştırılmasındaki büyüklükler dikkate alınır,

$$Nu = f(L, T, T_w, T_\infty, \Delta y)$$

yazılabilir ve belirsizlik için;

$$U_{Nu} = \left[\left(\frac{L}{Nu} \frac{\partial Nu}{\partial L} U_L \right)^2 + \left(\frac{T}{Nu} \frac{\partial Nu}{\partial T} U_T \right)^2 + \left(\frac{T_w}{Nu} \frac{\partial Nu}{\partial T_w} U_{T_w} \right)^2 + \left(\frac{T_\infty}{Nu} \frac{\partial Nu}{\partial T_\infty} U_{T_\infty} \right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{Nu} \frac{\partial Nu}{\partial \Delta y} U_{\Delta y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{E.15})$$

$$U_{Nu} = \left[U_L^2 + U_T^2 + U_{T_w}^2 + U_{T_\infty}^2 + U_{\Delta y}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{E.16})$$

elde edilir ve sayısal değerlerle;

$$U_{Nu} = \left[(0,1)^2 + (1,22)^2 + (1,22)^2 + (1,22)^2 + (5)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \% 5,4$$

bulunur.

EK-2. 6. Rayleigh sayısının hesaplanmasındaki belirsizlik:

Rayleigh sayısının tanımından;

$$Ra = \frac{\beta g (T_\infty - T_w) L^3}{\alpha \nu} \quad (\text{E.17})$$

$$Ra = f(\beta, \alpha, \nu, T_\infty, T_w, L)$$

yazılabilir ve belirsizlik için;

$$U_{Ra} = \left[\left(\frac{\beta}{Ra} \frac{\partial Ra}{\partial \rho} U_\rho \right)^2 + \left(\frac{\alpha}{Ra} \frac{\partial Ra}{\partial \alpha} U_\alpha \right)^2 + \left(\frac{\nu}{Ra} \frac{\partial Ra}{\partial \nu} U_{\nu_\nu} \right)^2 + \left(\frac{T_\infty}{Ra} \frac{\partial Ra}{\partial T_\infty} U_{T_\infty} \right)^2 + \left(\frac{T_w}{Ra} \frac{\partial Ra}{\partial T_w} U_{T_w} \right)^2 + \left(\frac{L}{Ra} \frac{\partial Ra}{\partial L} U_L \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$U_{Ra} = \left[U_\rho^2 + U_\alpha^2 + U_{\nu_\nu}^2 + U_{T_\infty}^2 + U_{T_w}^2 + (3U_L)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (E.18)$$

elde edilir. Isıl genleşme katsayısı β için belirsizlik sıcaklık ile aynı değerde alınmıştır.

Isıl yayılım katsayısı α , ve kinematik viskozite ν , için belirsizlik ilgili tablolardan %2 belirsizlik ile verildiği kabul edilmiştir. Böylece Ra hesaplamasındaki belirsizlik:

$$U_{Ra} = \left[(1,22)^2 + (2)^2 + (2)^2 + (1,22)^2 + (1,22)^2 + (3 \times 0,1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \% 3,57$$

olarak elde edilir [45].

ÖZGEÇMİŞ

Hakan KARAKAYA, 20.12.1979 tarihinde Adıyaman İlinin Çelikhan ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimi Elazığ' da tamamladı. 1997 yılında Gazi Anadolu Meslek Lisesinden mezun oldu. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği programına kayıt yaptırdı. 2002 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği programını başarıyla tamamladı. Aynı yıl Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2005 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamlayarak aynı yıl yine Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında Doktora öğrenimine başladı. Halen Batman Üniversitesi Meslek Yüksekokulu İklimlendirme Teknolojisi programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Hakan KARAKAYA