

ÖNSÖZ

Çalışmaları m süresince bana yön gösteren, destek ve cesaret veren, deney düzeneğini tasarımı mda ve kurulmasında maddi-manevi hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP'a ve hocaları m Prof. Dr. Abdurrahman KILIÇ'a, Yrd. Doç. Dr. İ. Necmi KAPTAN'a bilgi ve birikimlerini tez çalışması m boyunca esirgeyerek beni yönlendirdikleri için en içten teşekkürleri m sunarım

Tezin sayısal kısmı ile ilgili Fluent paket programını öğrenme aşamasında bilgi ve birikimini esirgeyerek beni yönlendiren değerli hocaları m Yrd. Doç. Dr. Erhan BÖKE ve Prof. Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU'na; tezin deneysel çalışması mda gerekli maddi desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Recep KILIÇ'a; tezin yazılması ve düzenlenmesinde sürekli destek veren Mehmet UĞURLU'ya; tez çalışması m süresince, desteklerini esirgemeyen Mak. Yük. Müh. Abdullah DOĞAN'a ve tezi m ile ilgili deney düzeneğinin kurulmasında başta Teknisyen Fikret AKYOL olmak üzere, Ramazan AKCELEP, FİDAN KAZAN AŞ ve OMAD ISI YAPI AŞ'ye teşekkür ederim

Beni yetiştirip butopluma kazandıran ve sabırla maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme ve babama en içten şükranları m sunarım

Mart 2006

Mevlüt ARSLAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBO L LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışması nın Amacı	2
1.2. Sıcaklık Tabakalaşması	3
1.3. Hs sedilir Isı Depolanması	4
1.4. Su ile Isıl Enerji Depolanması	5
1.5. Sıcak Su Depolama Tankı nın Seçimi ve İzolasyonu	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
2.1. Kaynak Araştırması nın Sonuçları ve Yapılan Çalışma	23
3. SAYISAL ÇALIŞMA	26
3.1. Fiziksel Modelin Tanımlanması	26
3.1.1. Temel denklemler	28
3.1.2. Sınır şartları	30
3.1.3. Boyut analizi	31
3.2. Sayısal Çözüm Yöntemi	34
3.2.1. FLUENT paket program	35
3.2.1.1. Ayırıştırma işle mi	35
3.2.2. FLUENT işletimsistemi	40
3.2.2.1. Problemin çözüm aşamaları	41
3.2.2.2. Yakınsama kriterleri	42
3.3. Sayısal Yöntemle Yapılan Çalışmada Kullanılan Şartların Belirlenmesi	42
3.3.1. Sınır şartlarının belirlenmesi	43
3.3.3. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi	44
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	45
4.1. Deney Dizeneği	45
4.1.1. Sıcak su depolama tankı	47
4.1.2. Isıtma tankı	48
4.1.3. Elektrik hattı paneli	49
4.1.4. Su seviyesi kontrol sistemi	49
4.1.5. Sıcaklık kontrol sistemi	50

4.1.6. Yardımcı elemanların sisteme bağlanması ve fonksiyonları	51
4.1.7. Veri toplama ünitesi	52
5. SAYISAL VE DENEYSEL SONUÇLARI NİRDELENMESİ	54
5.1. Sayısal Sonuçların Kaynaktan Gelen Sonuçlar İle karşılaştırılması	55
5.2. Farklı Richardson Sayılarında H de Edilen Sonuçlar	56
5.3. Engelsiz Tank İçin Elde Edilen Sonuçlar	60
5.4. Engelli Tank İçin H de Edilen Sonuçlar	61
5.4.1. $g/D=0.1$ için elde edilen sonuçlar	62
5.4.2. $g/D=0.2$ için elde edilen sonuçlar	65
5.4.3. $g/D=0.3$ için elde edilen sonuçlar	69
5.4.4. $g/D=0.4$ için elde edilen sonuçlar	72
5.4.5. $g/D=0.5$ için elde edilen sonuçlar	75
5.5. Engelli ve Engelsiz Tank İçin H de Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	79
5.6. Farklı Eksenel noktalar İçin H de Edilen Sonuçlar	82
5.6.1. Engelsiz tank için elde edilen sonuçlar	82
5.6.2. $g/D=0.1$ için elde edilen sonuçlar	82
5.6.3. $g/D=0.2$ için elde edilen sonuçlar	84
5.6.4. $g/D=0.3$ için elde edilen sonuçlar	85
5.6.5. $g/D=0.4$ için elde edilen sonuçlar	86
5.6.6. $g/D=0.5$ için elde edilen sonuçlar	87
5.7. Farklı Eksenel noktalar İçin H de Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	88
6. SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR	94
EKLER	98
EK A	99
EK B	130
EK C	138
EK D	146
EK E	157
EK F	167
EK G	178
EK H	188
EK I:	192
EK J:	205
ÖZGEÇMİŞ	210

KI SALT MALAR

ADI	: Alternative Direction Implicit
DMM	: Displacement Mixing Model
FCTR	: Fixed Collector Temperature Rise
M X	: Mixture
PROTANK	: Prototyp Tank
SCOT	: Specified Collector Outlet Temperature
SIMPLE	: Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations
THESTA	: Thermal Storage Tank Computer Programme
TMM	: Turbulent Mixing Model
TRNSYS	: Programme Name Use Plume and The Plug Flow Model

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 : Sıcak su tankının kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri	27
Şekil 3.2 : Çalışmada kullanılan çözüm alanının şematik görünüşü	30
Şekil 3.3 Ağ sıklığının T_3 ve T_1 sıcaklıklarına etkisi	36
Şekil 3.4 Çözüm bölgesi için üretilmiş homojen d mayan ağ yapısı	37
Şekil 3.5 : Koşu hücreler ve tek hücre	38
Şekil 4.1 : Deney düzeneğinin perspektif görünüşü 1	46
Şekil 4.2 : Deney düzeneğinin perspektif görünüşü 2	46
Şekil 5.1 : Silindirik tank içerisinde dikey sıcaklık dağılımı	56
Şekil 5.2 : $t^*=720$ ' de sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımı	58
Şekil 5.3 : $R = 0.96$ ' da sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımı	58
Şekil 5.4 : Eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerlerinin richarson sayılarına göre grafik bar üzerinde dağılımı	60
Şekil 5.5 : Engelsiz tank içerisinde sıcaklık dağılımı	61
Şekil 5.6 : Engelsiz tank içerisinde sıcaklık farkı dağılımı	61
Şekil 5.7 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık dağılımı	62
Şekil 5.8 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	62
Şekil 5.9 : $t^*=720$ ve $g/D=0.1$ oranlarında sıcaklık dağılımı	64
Şekil 5.10 : $t^*=720$ ve $g/D=0.1$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	64
Şekil 5.11 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık dağılımı	66
Şekil 5.12 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	66
Şekil 5.13 : $t^*=720$ ve $g/D=0.2$ oranlarında sıcaklık dağılımı	67
Şekil 5.14 : $t^*=720$ ve $g/D=0.2$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	67
Şekil 5.15 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık dağılımı	69
Şekil 5.16 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	70
Şekil 5.17 : $t^*=720$ ve $g/D=0.3$ oranlarında sıcaklık dağılımı	71
Şekil 5.18 : $t^*=720$ ve $g/D=0.3$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	71
Şekil 5.19 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık dağılımı	73
Şekil 5.20 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	73
Şekil 5.21 : $t^*=720$ ve $g/D=0.4$ oranlarında sıcaklık dağılımı	74
Şekil 5.22 : $t^*=720$ ve $g/D=0.4$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	74
Şekil 5.23 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık dağılımı	76
Şekil 5.24 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	77
Şekil 5.25 : $t^*=720$ ve $g/D=0.5$ oranlarında sıcaklık dağılımı	77
Şekil 5.26 : $t^*=720$ ve $g/D=0.5$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	78
Şekil 5.27 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	81
Şekil 5.28 : Engelsiz tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	82
Şekil 5.29 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	83

Şekil 5 30	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	84
Şekil 5 31	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	85
Şekil 5 32	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	87
Şekil 5 33	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	88
Şekil A 1	: z-r düzleminde engelsiz tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	100
Şekil A 2	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	101
Şekil A 3	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	102
Şekil A 4	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	103
Şekil A 5	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	104
Şekil A 6	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	105
Şekil A 7	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	106
Şekil A 8	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	107
Şekil A 9	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	108
Şekil A 10	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	109
Şekil A 11	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	110
Şekil A 12	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	111
Şekil A 13	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	112
Şekil A 14	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	113
Şekil A 15	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	114
Şekil A 16	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	115
Şekil A 17	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	116
Şekil A 18	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	117
Şekil A 19	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	118
Şekil A 20	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	119
Şekil A 21	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü	120

Şekil A 22	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.067$ oranları nda tank i çerisindeki sıcaklık değ erleri ni n gör ünü mü	121
Şekil A 23	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ oranları nda tank i çerisindeki sıcaklık değ erleri ni n gör ünü mü	122
Şekil A 24	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.2$ oranları nda tank i çerisindeki sıcaklık değ erleri ni n gör ünü mü	123
Şekil A 25	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.27$ oranları nda tank i çerisindeki sıcaklık değ erleri ni n gör ünü mü	124
Şekil A 26	: $Ri=0.35'$ deki sıcaklık değ erleri ni n $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranları ndaki tank i çerisindeki gör ünü mü	125
Şekil A 27	: $Ri=0.54'$ deki sıcaklık değ erleri ni n $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranları ndaki tank i çerisindeki gör ünü mü	126
Şekil A 28	: $Ri=0.96'$ deki sıcaklık değ erleri ni n $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranları ndaki tank i çerisindeki gör ünü mü	127
Şekil A 29	: $Ri=2.16'$ deki sıcaklık değ erleri ni n $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranları ndaki tank i çerisindeki gör ünü mü	128
Şekil A 30	: $Ri=8.65'$ deki sıcaklık değ erleri ni n $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranları ndaki tank i çerisindeki gör ünü mü	129
Şekil B 1	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	131
Şekil B 2	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	131
Şekil B 3	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	131
Şekil B 4	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	132
Şekil B 5	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	132
Şekil B 6	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	132
Şekil B 7	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	133
Şekil B 8	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	133
Şekil B 9	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	133
Şekil B 10	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	134
Şekil B 11	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	134
Şekil B 12	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	134
Şekil B 13	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	135
Şekil B 14	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	135
Şekil B 15	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	135
Şekil B 16	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	136
Şekil B 17	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	136
Şekil B 18	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	136
Şekil B 19	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	137
Şekil B 20	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık dağı lı mı	137
Şekil C 1	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	139
Şekil C 2	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	139
Şekil C 3	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	139
Şekil C 4	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	140
Şekil C 5	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	140
Şekil C 6	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	140
Şekil C 7	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	141
Şekil C 8	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	141
Şekil C 9	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.067$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	141
Şekil C 10	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.2$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	142
Şekil C 11	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.27$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	142
Şekil C 12	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.33$ oranları nda sıcaklık fark ı dağı lı mı	142

Şekil C13	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.067$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	143
Şekil C14	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.2$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	143
Şekil C15	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.27$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	143
Şekil C16	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.33$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	144
Şekil C17	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.067$ oranlarında sıcaklık dağılımı ..	144
Şekil C18	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.2$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	144
Şekil C19	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.27$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	145
Şekil C20	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.33$ oranlarında sıcaklık farkı dağılımı	145
Şekil D1	: $t^*=720$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık dağılımı ..	147
Şekil D2	: $t^*=720$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık dağılımı	147
Şekil D3	: $t^*=720$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık dağılımı	147
Şekil D4	: $t^*=720$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık dağılımı ..	148
Şekil D5	: $t^*=720$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık dağılımı .	148
Şekil D6	: $t^*=600$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık dağılımı	148
Şekil D7	: $t^*=600$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık dağılımı	149
Şekil D8	: $t^*=600$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık dağılımı	149
Şekil D9	: $t^*=600$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık dağılımı ..	149
Şekil D10	: $t^*=600$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık dağılımı ..	150
Şekil D11	: $t^*=480$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık dağılımı	150
Şekil D12	: $t^*=480$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık dağılımı	150
Şekil D13	: $t^*=480$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık dağılımı	151
Şekil D14	: $t^*=480$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık dağılımı ..	151
Şekil D15	: $t^*=480$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık dağılımı ..	151
Şekil D16	: $t^*=360$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık dağılımı	152
Şekil D17	: $t^*=360$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık dağılımı	152
Şekil D18	: $t^*=360$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık dağılımı	152
Şekil D19	: $t^*=360$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık dağılımı ..	153
Şekil D20	: $t^*=360$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık dağılımı ..	153
Şekil D21	: $t^*=240$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık dağılımı	153
Şekil D22	: $t^*=240$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık dağılımı	154
Şekil D23	: $t^*=240$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık dağılımı	154
Şekil D24	: $t^*=240$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık dağılımı ..	154
Şekil D25	: $t^*=240$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık dağılımı ..	155
Şekil D26	: $t^*=120$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık dağılımı ..	155
Şekil D27	: $t^*=120$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık dağılımı ..	155
Şekil D28	: $t^*=120$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık dağılımı ..	156
Şekil D29	: $t^*=120$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık dağılımı	156
Şekil D30	: $t^*=120$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık dağılımı	156
Şekil E1	: $t^*=600$ ve $g/D=0.1$ oranında sıcaklık dağılımı ...	158
Şekil E2	: $t^*=600$ ve $g/D=0.2$ oranında sıcaklık dağılımı	158
Şekil E3	: $t^*=600$ ve $g/D=0.3$ oranında sıcaklık dağılımı	158
Şekil E4	: $t^*=600$ ve $g/D=0.4$ oranında sıcaklık dağılımı	159
Şekil E5	: $t^*=600$ ve $g/D=0.5$ oranında sıcaklık dağılımı	159
Şekil E6	: $t^*=480$ ve $g/D=0.1$ oranında sıcaklık dağılımı	159

Şekil E 7	: $t^*=480$ ve $g/D=0.2$ oranında sıcaklık dağılımları	160
Şekil E 8	: $t^*=480$ ve $g/D=0.3$ oranında sıcaklık dağılımları	160
Şekil E 9	: $t^*=480$ ve $g/D=0.4$ oranında sıcaklık dağılımları	160
Şekil E 10	: $t^*=480$ ve $g/D=0.5$ oranında sıcaklık dağılımları	161
Şekil E 11	: $t^*=360$ ve $g/D=0.1$ oranında sıcaklık dağılımları	161
Şekil E 12	: $t^*=360$ ve $g/D=0.2$ oranında sıcaklık dağılımları	161
Şekil E 13	: $t^*=360$ ve $g/D=0.3$ oranında sıcaklık dağılımları	162
Şekil E 14	: $t^*=360$ ve $g/D=0.4$ oranında sıcaklık dağılımları	162
Şekil E 15	: $t^*=360$ ve $g/D=0.5$ oranında sıcaklık dağılımları	162
Şekil E 16	: $t^*=240$ ve $g/D=0.1$ oranında sıcaklık dağılımları	163
Şekil E 17	: $t^*=240$ ve $g/D=0.2$ oranında sıcaklık dağılımları	163
Şekil E 18	: $t^*=240$ ve $g/D=0.3$ oranında sıcaklık dağılımları	163
Şekil E 19	: $t^*=240$ ve $g/D=0.4$ oranında sıcaklık dağılımları	164
Şekil E 20	: $t^*=240$ ve $g/D=0.5$ oranında sıcaklık dağılımları	164
Şekil E 21	: $t^*=120$ ve $g/D=0.1$ oranında sıcaklık dağılımları	164
Şekil E 22	: $t^*=120$ ve $g/D=0.2$ oranında sıcaklık dağılımları	165
Şekil E 23	: $t^*=120$ ve $g/D=0.3$ oranında sıcaklık dağılımları	165
Şekil E 24	: $t^*=120$ ve $g/D=0.4$ oranında sıcaklık dağılımları	165
Şekil E 25	: $t^*=120$ ve $g/D=0.5$ oranında sıcaklık dağılımları	166
Şekil E 1	: $t^*=720$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	168
Şekil E 2	: $t^*=720$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	168
Şekil E 3	: $t^*=720$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	168
Şekil E 4	: $t^*=720$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	169
Şekil E 5	: $t^*=720$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	169
Şekil E 6	: $t^*=600$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	169
Şekil E 7	: $t^*=600$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	170
Şekil E 8	: $t^*=600$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	170
Şekil E 9	: $t^*=600$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	170
Şekil E 10	: $t^*=600$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	171
Şekil E 11	: $t^*=480$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	171
Şekil E 12	: $t^*=480$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	171
Şekil E 13	: $t^*=480$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	172
Şekil E 14	: $t^*=480$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	172
Şekil E 15	: $t^*=480$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	172
Şekil E 16	: $t^*=360$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	173
Şekil E 17	: $t^*=360$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	173
Şekil E 18	: $t^*=360$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	173
Şekil E 19	: $t^*=360$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	174
Şekil E 20	: $t^*=360$ ve $f/H=0.33$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	174
Şekil E 21	: $t^*=240$ ve $f/H=0.067$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	174
Şekil E 22	: $t^*=240$ ve $f/H=0.133$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	175
Şekil E 23	: $t^*=240$ ve $f/H=0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	175
Şekil E 24	: $t^*=240$ ve $f/H=0.27$ oranında sıcaklık farkı dağılımları	175

Şekil E 25	: $t^* = 240$ ve $f/H = 0.33$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 176
Şekil E 26	: $t^* = 120$ ve $f/H = 0.067$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 176
Şekil E 27	: $t^* = 120$ ve $f/H = 0.133$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 176
Şekil E 28	: $t^* = 120$ ve $f/H = 0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 177
Şekil E 29	: $t^* = 120$ ve $f/H = 0.27$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 177
Şekil E 30	: $t^* = 120$ ve $f/H = 0.33$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 177
Şekil G 1	: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.1$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 179
Şekil G 2	: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 179
Şekil G 3	: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.3$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 179
Şekil G 4	: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.4$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 180
Şekil G 5	: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.5$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 180
Şekil G 6	: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.1$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 180
Şekil G 7	: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 181
Şekil G 8	: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.3$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 181
Şekil G 9	: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.4$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 181
Şekil G 10	: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.5$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 182
Şekil G 11	: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.1$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 182
Şekil G 12	: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 182
Şekil G 13	: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.3$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 183
Şekil G 14	: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.4$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 183
Şekil G 15	: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.5$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 183
Şekil G 16	: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.1$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 184
Şekil G 17	: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 184
Şekil G 18	: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.3$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 184
Şekil G 19	: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.4$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 185
Şekil G 20	: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.5$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 185
Şekil G 21	: $t^* = 120$ ve $g/D = 0.1$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 185
Şekil G 22	: $t^* = 120$ ve $g/D = 0.2$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 186
Şekil G 23	: $t^* = 120$ ve $g/D = 0.3$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 186
Şekil G 24	: $t^* = 120$ ve $g/D = 0.4$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 186
Şekil G 25	: $t^* = 120$ ve $g/D = 0.5$ oranında sıcaklık farkı dağılımı 187
Şekil H 1	: $t^* = 600'$ de sıcaklık ve sıcaklık farkı Dağılımı 189
Şekil H 2	: $t^* = 480'$ de sıcaklık ve sıcaklık farkı Dağılımı 189
Şekil H 3	: $t^* = 360'$ da sıcaklık ve sıcaklık farkı Dağılımı 189
Şekil H 4	: $t^* = 240'$ da sıcaklık ve sıcaklık farkı Dağılımı 190
Şekil H 5	: $t^* = 120'$ de sıcaklık ve sıcaklık farkı Dağılımı 190
Şekil H 6	: $R = 8.65'$ de sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımı 190
Şekil H 7	: $R = 2.16'$ da sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımı 191
Şekil H 8	: $R = 0.54'$ de sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımı 191
Şekil H 9	: $R = 0.35'$ de sıcaklık ve sıcaklık farkı dağılımı 191
Şekil I. 1	: $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı 193
Şekil I. 2	: $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı 193
Şekil I. 3	: $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık

	değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	194
Şekil I.4	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	194
Şekil I.5	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	195
Şekil I.6	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	195
Şekil I.7	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	196
Şekil I.8	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	196
Şekil I.9	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	197
Şekil I.10	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	197
Şekil I.11	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	198
Şekil I.12	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	198
Şekil I.13	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	199
Şekil I.14	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	199
Şekil I.15	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	200
Şekil I.16	: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	200
Şekil I.17	: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	201
Şekil I.18	: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	201
Şekil I.19	: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	202
Şekil I.20	: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	202
Şekil I.21	: $R_1=8.65'$ de ve $g/D=0.2$, $f/H=0.067$ oranlarındaki tank içerisinde sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	203
Şekil I.22	: $R_1=2.16'$ da ve $g/D=0.2$, $f/H=0.067$ oranlarındaki tank içerisinde sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	203
Şekil I.23	: $R_1=0.54'$ de ve $g/D=0.2$, $f/H=0.067$ oranlarındaki tank içerisinde sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	204
Şekil I.24	: $R_1=0.35'$ de ve $g/D=0.2$, $f/H=0.067$ oranlarındaki tank içerisinde sıcaklık değerlerinin grafik bar üzerinde dağılımı	204
Şekil J.1	: Deney düzeneğinin perspektif görünüşü 3	206
Şekil J.2	: Deney düzeneğinin perspektif görünüşü 4	206
Şekil J.3	: Deney düzeneği resim 1	207
Şekil J.4	: Deney düzeneği resim 2	207
Şekil J.5	: Deney düzeneği resim 3	208
Şekil J.6	: Deney düzeneği resim 4	208
Şekil J.7	: Deney düzeneği resim 5	209

SEMBOL LİSTESİ

a	: Katsayı
A	: Alan, m^2
C_p	: Sabit basınçta özgül ısı, J/kg- K
d	: Depolama tankının giriş-çıkış kanalları çapı, m
D	: Depolama tankının çapı, m
f	: Dairesel plakanın tankın içine eksenel yönde yerleştirilme mesafesi
g	: Dairesel plakaya açılan deliğin çapı, m
G	: Grashoff sayısı
h	: Taşınım iletkenlik katsayısı, W /m ² . K
H	: Depo yüksekliği, m
I	: Ortalama anlık ısı iletkenliği, W /m ²
k	: Isı iletkenlik katsayısı, W /m K
m	: Kütleli debi, kg/s
P	: Basınç, kPa
Pe	: Peclet sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
P_0	: Atmosfer basıncı
Q	: Taşınım iletkenliği, W
r, θ, z	: Silindirik koordinatlar
r_i	: İfazenin hacimsel kesri,
R	: Depolama tankının yarıçapı, m
Re	: Reynolds sayısı
Ri	: Richardson sayısı
S	: Genel kaynak termi
t	: Zaman, s
T	: Sıcaklık, °C
T_0	: Şehir şebeke suyu giriş sıcaklığı
T_b	: Tankın içindeki suyun kullanıma hazır haldeki sıcaklığı
ΔT	: Sıcaklık farkı
U_0	: Şehir şebekesinden gelen soğuk suyun hızı
U_2	: Isıtılma tankından depolama tankına gelen suyun hızı
V	: Hız, m/s
V_r	: r - yönündeki hız
V_θ	: θ - yönündeki hız
V_z	: z - yönündeki hız
α	: Isıl yayılım katsayısı, m ² /s
β	: Isıl genişleme katsayısı, 1/ K
δ_1	: Sıcak su giriş kanalıının tankın üzerine olan yükseklik mesafesi
δ_2	: Kullanımsuyu çıkış kanalıının tankın üzerine olan mesafesi
δ_3	: Soğuk su giriş-çıkış kanallarıının tankın altına olan mesafesi
μ	: Dinamik viskozite, kg/m s

ν	: Kine matik viskozite, m^2/s
ρ	: Yoğunluk, kg/m^3
φ	: θ yönündeki açısal değışi m miktarı, rad
ϕ	: Genel bağı mlı değışken
Φ	: Viskoz difüzyon katsayısı
Γ	: Genel difüzyon katsayısı

Alt İndisler

d	: Deneysel veriler
E	: Doğu
H	: Yüksek
i	: Faz sayısı
L	: Düşük
n	: İntegral alınan yön
N	: Kuzey
P	: Merkez
s	: Sayısal veriler
S	: Güney
T	: Önceki zaman
W	: Batı
ϕ	: Genel bağı mlı değışken
ϕ_i	: i fazındaki genel bağı mlı değışken
0	: Griş şartı
1	: Depolama tankındaki suyun ısıtma tankına gi diş böl gesi
2	: Isıtma tankından gelen sıcak suyun depolama tankına giriş böl gesi
3	: Depolama tankından kullanı msuyu alma böl gesi
4	: Depolama tankına şebeke suyu girişi böl gesi
5	: Kullanı ma başlama dan önce depolama tankındaki sıcak su böl gesi

Üst İndisler

$\rightarrow$	: Hz vektörü
*	: Boyutsuz değeri

SU İLE ISIL ENERJİ DEPOLANMASINDA SICAKLIK TABAKALAŞMASININ SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada; güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinde ısı enerjisi depolamak için kullanılan silindirik sıcak su depolama tankı içerisine dairesel plakamın f/H ve g/D oranlarında yerleştirilmesi'nin ısı tabakalaşması üzerine etkisi sayısal ve deneysel olarak araştırıldı. Burada H ve D sırası ile tankın yüksekliği ve çapı iken, f , tankın taban yüzeyinden dairesel plakaya olan mesafedir. g ise dairesel plaka üzerine açılan deliğin çapıdır.

Tank modeli, ortasına delik açılmış dairesel plakamın değişik f/H ve g/D oranlarında tank içerisine yerleştirilmesi ile dizayn edildi. Depolama tankının içerisine dairesel plaka yerleştirilme sureti ile tankın üst kısmındaki sıcak su ile alt kısmındaki soğuk suyun birbirleri ile karışması önlenerek, ısı tabakalaşmasının korunması sağlandı. Çalışmada, süreklilik, momentum ve enerji eşitlikleri üç boyutlu zamana bağlı çözüldü. Sayısal çalışmanın geçerliliği deneysel olarak da ispatlandı. Tank içerisindeki sıcaklık dağılımı, tanktan sağlanan kullanım suyunun sıcaklığı, kollektöre giden suyun sıcaklığı ve tank giriş-çıkışları arasındaki su sıcaklığı farkları; çeşitli g/D ve f/H oranlarında şekiller ve grafikler üzerinde zamana bağlı olarak gösterildi.

Sonuçlar; tank içerisine yerleştirilen dairesel plakamın ısı tabakalaşmayı iyileştirdiğini ve engelsiz tank durumuna göre, tanktan sağlanan kullanım suyu sıcaklığını arttırdığını göstermektedir. En iyi ısı tabakalaşma, dairesel plakamın tank içerisine $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarında yerleştirilmesi durumunda elde edildi.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TEMPERATURE STRATIFICATION IN THE THERMAL ENERGY STORAGE WITH WATER

SUMMARY

In this study, effect of f/H and g/D Ratios of circular plate placed in a cylindrical hot water storage tank, used for thermal energy storage in water heating system with solar energy, on thermal stratification is investigated numerically and experimentally. Here H and D are the height and diameter of the tank, respectively while f is the distance from the bottom surface of the tank to the circular plate and g is also the diameter of the hole on the plate.

The tank model is designed by placing a circular plate in the tank with a hole in the center at various f/H and g/D Ratios. The circular plate placed in the storage tank provides preserving thermal stratification by preventing to mix cold water at the bottom with hot water at the top of the tank. This analysis is based on unsteady, three dimensional continuity, momentum and energy equations. The numerical study is verified experimentally. Temperature distribution in the tank, water temperature supplied by the tank, water temperature going to collector and water temperature differences between tank outlet and inlet are shown on the graphics and figures for various f/H and g/D Ratios and according to time.

The results show that placing circular plate in the tank improves thermal stratification. It increases the temperature of water supplied by the tank compared to no plate case. As a result, The best thermal stratification is obtained for circular plate placed in the tank at g/D Ratio of 0.2 and an f/H Ratio of 0.133.

1. GİRİŞ

Enerjinin depolanması mühendisliğin önemli konularından birisidir. Depolama konusunda bir çok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri de güneş enerjisinin depolanmasıdır. Güneş enerjisinin su ısıtma, kurutma, damıtma ve hacim ısıtma uygulamalarında kullanılması için, bu enerjinin bir kısmı depolanarak, güneş olmadı günlerde bu depolanan enerji kullanılır.

Güneş enerjisi zamana bağlı enerji dir. Güneş ışını sürekli gelmez. Geceleri hiç gelmediği gibi gündüzleri saatlere göre farklılık gösterir. Havanın kapalı olduğu zamanlarda ise güneş enerjisi çoğu zaman yeterli değildir. Bununla beraber enerji tüketimi sürekli dir. Tüketilen enerji miktarının günün saatlerine ve aylara göre değişimi azdır. Hatta, güneş ışını olmadı veya az olduğu zamanlarda enerji tüketimi daha da fazladır. Depolama yapıldı takdirde, güneş enerjisinden sadece güneş ışını olmadı saatlerde faydalanılır ve fazla enerji atılırken, güneş ışını olmadı zamanlarda yardımcı enerji kaynağından faydalanılır. Fazla enerjinin depolanması durumunda yardımcı kaynaklardan çekilen enerji miktarı azalır.

Son senelerde, gelişmiş ülkelerde (Amerika Birleşik Devletleri, İsrail, Japonya ve Avustralya) ve hatta Avrupa Ülkelerinde, konutlar için gerekli sıcak suyun bir kısmı, güneş enerjisi ile temin edilmektedir. Birçok Ülkede, sıcak suyun güneş enerjisinden yararlanılarak hazırlanması için teşvikler verilmiştir.

Güneş enerjili sistemler içerisinde en yaygın kullanılan ve en ekonomik olanı sıcak su depolama sistemleridir. Güneş enerjili sistemlerde sıcak suyun depolanması; güneş kolektörleri, depolama ünitesi, sirkülasyon pompaları ve kontrol sisteminden v.b. oluşan, bir güneş enerjisi depolama sistemi vasıtası ile yapılır[1]. Bu sistemde depolanan sıcak su, endüstri ve konutların sıcak su ihtiyacının karşılanması da kullanılır.

Konutlarda sıcak su temini için tüketilen enerji, konut için gerekli enerjinin yüzde 12 si mertebesinde dir[1]. Sıcak su temini için daha ziyade fuel-oil, gaz, odun, kömür

veya elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Bazı binalarda, sıcak su temini için ayrı bir kazan (kömürlü veya fuel-oil'li) kullanılmakta, bazı binalarda ise indirekt sistem olarak kazandan alınan kızgın su veya buhar bir ısı değiştiricili depodan (boyler) geçirilerek depodaki su ısıtılmaktadır. Bu sistemlerin kesintili olarak kullanılması (yaz aylarında) sistemlerin verimini çok düşürmektedir[1]. Bu sebeplede apartmanların bir çoğunda, her daire için müstakil su ısıtıcıları tercih edilmektedir. Bunlar, depolu tip denilebilen, gazyağı ve elektrikle ısıtılan termostifonlar ve anında ısıtıcı denilen deposu bulunmayan şofben ve elektrikli ısıtıcılardır.

Bu çalışmada su ısıtılabilir enerji depolama ünitelerinde sıcaklık tabakalaşması, sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada; çalışmanın amacı, sıcaklık tabakalaşması, hissedilir ısı depolanması, su ile ısıtılabilir enerji depolanması, su depolama tankının seçimi ve izolasyonu, kaynak araştırması, sayısal ve deneysel çalışmaya gibi konularda bilgi verilmiştir.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Bu çalışmada, suya ısıtılabilir enerji depolanmasında sıcaklık tabakalaşması sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi Enerji Laboratuvarında kurulmuş olan deney düzeneğindeki sıcak su depolama tankında tank içindeki suda oluşan sıcaklık tabakası bozulmadan, uzun süre yüksek sıcaklıkta sıcak su temini edilmesi araştırılmıştır.

Bu amacın gerçekleştirilmesi için, sıcak su deposunun içinde iyi bir sıcaklık tabakalaşmasının oluşturulması gerekir. Bunun için ilk olarak Bölüm 1.6'da verilen nedenlerden dolayı, sıcak su depolama tankı olarak silindirik tank seçilmiştir. Daha sonra sıcak su depolama tankı içerisine giren soğuk suyun tank içindeki sıcak su kütlesi ile karışmasını engellemek ve dolayısıyla, bu su kütlesine ait tabakaların sıcaklıklarındaki düşmeyi ortadan kaldırmak için tank içerisine f/H ve g/D oranlarında dairesel plakalar yerleştirilmiştir. Burada H ve D sırası ile tankın yüksekliği ve çapı iken, f , tankın taban yüzeyinden dairesel plakaya olan mesafedir. g ise dairesel plakada bulunan deliğin çapıdır. İçerisine f/H ve g/D oranlarında dairesel plakalar yerleştirilerek oluşturulmuş tank modelleri üzerinde bilgisayarda sayısal çalışma yapılmıştır. Daha sonra bu tank modelleri laboratuvarda kurularak, depolama tankında oluşan sıcaklık tabakalaşması deneysel olarak da araştırılmıştır.

Silindirik sıcak su depolama tankı içerisindeki akışkanın sıcaklığı artırıldığında, akışkanın hacminde genişleme yoğunluğunda azalma meydana gelir. Dolayısı ile yoğunluğu düşük olan akışkan tankın üst kısmında, yoğunluğu yüksek olan akışkan ise tankın alt tarafında yer alır. Bu durumsunucunda tankın alt tarafından üst tarafına doğru akışkan tabakalarının sıcaklıklarında bir artış olur. Bu olaya sıcaklık tabakalaşması denir[2]. Kısaca sıcaklık tabakalaşması yoğunluk farkına dayanır.

Sıcak su depolama tanklarındaki suyun ısıtılması genellikle güneş enerjisi ile yapılmaktadır. Bunun yanında, katı ve sıvı yakıtların yakılması ile elde edilen enerji ve elektrik enerjisi ile de ısıtma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan sıcak su depolama tankındaki suyun ısıtılması, deney düzeneğindeki ısıtma tankı üzerinde bulunan elektrikli ısıtıcı tarafından yapılmaktadır. Sıcak su depolama tanklarının kullanımları çok geniştir. Konutlara sıcak su sağlanması yanında, bina ısıtma, ürün kurutma ve su damıtma gibi amaçlar için de kullanılmaktadır.

1.2 Sıcaklık Tabakalaşması

Akışkan sıcaklığı arttığında, akışkanın hacminde genişleme yoğunluğunda azalma meydana gelir. Bu ifadeden yola çıkılarak sıcak akışkanın bir tankda depolandığı düşünülrse; yoğunluğu düşük olan akışkan tankın üst tarafında, yoğunluğu yüksek olan akışkan ise tankın alt tarafında toplanır. Bunun sonucunda tank içerisinde sıcaklık tabakalaşması ortaya çıkar. Bu durumda sıcaklık tabakalaşması diye tarif edilir. Isıl tabakalaşma durumunda depolanan akışkanın sıcaklığı, deponun tavanından tabanına kadar değişikli gösterir. Tabanda düşük tavanda ise yüksektir. Bu durum akışkan sıcaklığı her bölgede düzgün dağılım gösteren iyi karıştırılmış tankta elde edilen durum ile aynı değildir.

Sıcak su tankındaki sıcaklık tabakalaşmasının ısı kazanç açısından avantajları vardır. Tankın üst kısmındaki çıkışta akışkan sıcaklığı yüksek, tankın alt tarafındaki girişinde akışkan sıcaklığı düşük olmaktadır. Tankın üst kısmındaki akışkan sıcaklığının, tankın alt tarafındaki akışkan sıcaklığından yüksek olması da ısıl tabakalaşma açısından önemli bir avantaj teşkil eder. Tank içinde alt bölgelerdeki durgun akışkan sıcaklığı ise, tankın üst kısmındaki akışkan sıcaklığından düşük olmaktadır. Şehir şebekesinden gelen akışkanın tanka giriş sıcaklığının ise, tankın bütün bölgelerindeki akışkan sıcaklıklarından düşük olması istenir. İkinci avantaj ise;

ısıt tabakalaşma nedeni ile tankın alt tarafında yani kolektöre giren kanalı bölgesinde düşük sıcaklıkta ısıtılma ya hazır akışkan bulunacağından ve dolayısı ile kolektöre düşük sıcaklıkta akışkan gideceğinden, yüksek kolektör verimliliğinde kolektörler çalışmaya devam edecektir. Birim zamanda kolektöre giren akışkan sıcaklığı ne kadar düşük olursa, birim zamanda kolektörden alınan ısı kazanı da o kadar fazla olacaktır.

Doğal ve zorlanmış taşıma bütün sıcak su depolama sistemlerinde ısıt tabakalaşma oluşmaktadır. Doğal dolaşım sistemlerinde akışkan debileri düşük olduğundan, oluşan sıcaklık tabakalaşması korunmakta ve süreklilik göstermektedir. Zorlanmış dolaşım sistemlerinde ise, sıcaklık tabakalaşmasının sağlanması ve korunması için akışkanın tanka giriş ve çıkış kanalları uygun olarak düzenlenmeli ve tank uygun şekillendirilmelidir.[3] Dolaşım pompasının gücünün uygun seçilmesi ile tankın girişi ve çıkışındaki akışkan hızları; ısıt tabakayı bozmayacak düzeyde tutularak, tanka giren akışkan ile tankın içindeki akışkanın birbirleri ile karışması da engellenebilir. Bazı durumlarda tanktaki tabakalaşmanın bozulmasını önlemek için akışkanın tanka giriş kısmı geniş yapılabilir.

Tanktaki ısıt tabakalaşma analizi çok karmaşıktır. Sıcaklık zamanına bağımlı olarak çözülür. Sıcaklık tabakalaşması analizi çok boyutlu olarak düşünülür. Çözümler, tankın duvarlarına doğru ısı iletimini de içerir. Basitleştirilmiş analiz, akışkanın tankın içerisinde iyi karıştırıldığı varsayılarak yapılır. Fakat, tankın bütün bölümlerinde akışkan sıcaklıklarının aynı olmadığı düşünülerek, sıcaklık tabakalaşması analizi yapılacaktır. Bu çalışmadaki esas amaç; güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemlerinde, ısıt enerji depolamada kullanılan silindirik sıcak su depolama tankı içerisine yerleştirilen g/D ve f/H oranlarındaki silindirik plaka geometrisinin ısıt tabakalaşma üzerine etkisini, sayısal ve deneysel olarak araştırmak ve uzun süre sıcaklık tabakalaşması bozulmadan ve yüksek sıcaklıkta kullanım suyu temin edilmesini sağlamaktır.

1.3 Hissedilir Isı Depolanması

Suya ısıt enerji depolanması, hissedilir ısı depolamanın bir türüdür. Hissedilir ısı depolama sistemlerinde enerji, tam olarak ısıtma ve soğutma sıvıları veya işlem sırasında faz değişimine uğramayan maddeler tarafından depolanır. Bu uygulamalarda genelde sıvı akışkanlar, örneğin sıvı olarak su, ısı transfer yağları,

bazı i norganik çözülmüş tuzlar, katı olarak, kayalar ısı depolayan maddelerdir. Katı durumdaki ısı depolama maddeleri gözenekli yapıdadır. Sıvı veya gaz akışkanın bu gözeneklere doğru akması nedeni ile ısı enerjisi katı maddelerde depolanmış olur [4]. Kullanılan maddelerin seçimi genellikle uygulamanın sıcaklık seviyesine bağlıdır. Örneğin su, hissedilir ısı depolamada 100 °C'nin altındaki şartlar için kullanılır. Tuğlalar 1000 °C sıcaklık şartının olduğu durumlarda kullanılırlar [4]. Hissedilir ısı depolama sistemlerinin mantığı diğer ısı depolama sistemlerine göre kolay ve basittir. Fakat, daha büyük ölçülerde ısı depolama sistemi kurmanın dezavantajlarından kaçınılmaz. Bu nedenle hissedilir ısı depolama için kullanılan madde ve bu maddenin özgül ısı değeri seçilmesinde, önemli kriterlere dikkat edilmesi gerekir. Hissedilir ısı depolama sistemlerinde ikinci bir dezavantaj ise, hissedilir ısıdan yararlanmada hissedilir ısı depolama sisteminin verimini artırmak için sistemin yalıtılmasında çok miktarda yalıtım malzemesinin kullanılması gerekir. Bu da maliyeti artırdığından dolayı bir dezavantaj teşkil eder. Kütleli olan bir maddenin sıcaklığı T_1 'den T_2 'ye yükseltirirse, maddenin ısı depolama kapasitesi dolayısıyla depolanan hissedilir ısı miktarı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Q = m C_p (T_2 - T_1) = m C_p \Delta T \quad (1.1)$$

Burada, m maddenin kütle debisi, ρ , yoğunluğu ve C_p ; sabit basınçtaki özgül ısıdır. Burada görüldüğü gibi, belli bir hacimde depolanan ısı enerjisinin yüksek olması için maddenin sabit basınçtaki özgül ısı (C_p) büyük olmalıdır. Suyun sabit basınçtaki özgül ısı, diğer maddelere göre daha yüksektir.

Hissedilir ısı depolamasında faydalanan maddenin hacimsel özgül ısısının yanında, yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, maddenin uzun süre özelliklerini muhafaza etmesi, zehirli ve korozyon oluşturmaması istenir [4]. Tabii ki her şeyden önce kolay temin edilebilir ve ucuz olması gerekir. Pratikte temin edilebilir kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle daha çok su ve çakıl taşı tercih edilmektedir. Sıvı ısı depolama sistemlerinde su, havalı ısı depolama sistemlerinde ise çakıl taşları daha uygundur.

1.4 Su ile Isıl Enerji Depolanması

Su, birçok hissedilir ısı enerjisi depolama sistemlerinde kullanılan ideal bir maddedir. Enerji, bu madde tarafından sistemden alınarak depolama ünitelerine aktarılır. Enerji, depolama sisteminde de yine bu akışkan tarafından depolanır. Bu nedenle su, çoğu

güneş enerjili ısıtma sistemlerinde binaların içine ve dışına veya yeraltına yerleştirilen su depolama tanklarında, ısı depolayıcı akışkan olarak kullanılır. Su; eğer atmosferik basınçta ise, 100 °C ve altındaki sıcaklıklarda depolanır. Fakat basınç tankları kullanılarak su 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda da depolanabilir.

Hissedilir ısı depolamasında en yaygın kullanılan maddelerden birisi olan suyun çok sayıda avantajları vardır. Su; ucuz ve kolay temin edilebilir bir maddedir ve zehirli değildir. Fiziksel, kimyasal ve termodinamik özellikleri iyi bilinmektedir. Enerji depolayıcı olarak faydalανılırken aynı zamanda enerji taşıyıcı akışkan olarak ta kullanılabilir. Isı depolama özelliğı iyidir, yani hacimsel özgül ısısı yüksektir. Isıtma ve soğutma sistemleri için gerekli sıcaklık aralığında kararlı bir sıvı-buhar dengesi ne sahiptir. Isı geçiş özelliğı ve akışkan dinamiğı iyi bilinmektedir[2].

Suyun, hissedilir ısı depolamasındaki bu avantajları yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Donduğı zaman genişlediğınden, donmaya karşı tedbir alınmalıdır. Korozyon yapıcı özelliğinden dolayı depo içerisine inhibitör ilave edilmeli veya duruma göre korozyon önleyici tedbirler alınmalıdır. Ayrıca, erime ve kaynama sıcaklıkları arasındaki fark küçük olduğundan, yüksek sıcaklıklarda enerji depolamak zordur[2].

1.5 Sıcak Su Depolama Tankının Seçimi ve İzolasyonu

Sıcak su tanklarının geometrisinin seçiminde, inşaat kolaylığı ve birim hacimdeki ısı geçiş yüzeyi göz önüne alınır. Aynı hacimdeki küresel bir tankın ısı geçiş yüzeyi, kübik ve silindirik tanklara göre daha düşüktür. Bununla beraber, küresel tankların inşaatı zordur. Yüksekliğı çapına eşit olan silindirik bir tankın dış yüzey alanı, aynı hacimdeki küresel tankın yüzey alanından yüzde 17 daha büyük ve kübik tankın yüzey alanından yüzde 3 daha küçüktür[3]. Bu sebeple de genellikle silindirik tanklar kullanılır. Diğer taraftan yüksekliğı büyük olan silindirik tanklarda, dış çevre ile ısı geçiş yüzeyi artarken, tankın alt ve üst yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı da artar. Güneş enerjili sıcak su depolama sistemlerinde bu farkın büyük olması önemli avantajlardandır.

Piyasada birkaç yüz litreden birkaç bin metreküpe kadar değışik su kapasiteli sıcak su depolama tankları mevcuttur. Sıcak su tanklarının büyüklüğü, tankın kullanıldığı sisteme ve iklim durumuna bağılıdır. Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde ve ısıtma

sistemlerinde genellikle toplayıcı (kollektör) özelliklerine ve suyun ısıtılacağı sıcaklığa göre 1 metrekare toplayıcı yüzey alanı için 40 ile 100 litre hacminde tanklar seçilir[3]. Depo büyüdükçe akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı düştüğünden, toplayıcı verimi, dolayısıyla faydalı ısı miktarı artar. Bununla beraber, depo sıcaklığının belli bir değerin üstünde (sıcak su sistemleri için en az 40 °C'nin üstünde) olması istenir[3]. Bunun için deponun uygun büyüklükte seçilmesi gerekir. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı yapılan çalışmada; 4 m²'lik bir kollektör alanı için 1 mçap ve 1.5 m yüksekliğinde silindirik tank seçilmiştir.

Depolama tankları, çelik, galvanizli sac, alüminyum, beton ve fiber glas gibi malzemelerden yapılır. Yalıtım işlemi cam yünü, mineral yünü ve poliüretan veya eşdeğer kalınlıktaki uygun diğer ısı yalıtım malzemeleri ile yapılarak, çevreye olan ısı geçişi azaltılır. Yalıtım kalınlığı, ısı enerjisi kayıplarını minimum seviyede tutacak şekilde ayarlanmalıdır. Yalıtım maliyeti toplam maliyetin önemli bir bölümünü oluşturur. Bu maliyeti azaltmak ekonomik açıdan önemlidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Güneş enerjisi uygulamaları üzerine dünyada çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu uygulamaların he men he men tümünde güneş enerjisi, bir depolama sisteminde depolandıktan sonra kullanıma sunulmuştur. Bu depolama sistemlerinden biri de sıcak su depolama sistemidir. Sıcak su depolama sisteminde esas amaç; sıcak su deposundan uzun süre yüksek sıcaklıkta sıcak kullanımsuyu almaktır. Bu işlemi çinde sıcak su deposunun içinde sıcaklık tabakalaşmasının oluşturulması ve muhafaza edilmesi gerekir. Bu sebeple sıcak su depolarındaki ısı tabakalaşma üzerine geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları da aşağıda sunulmuştur.

Alizadeh [5], silindirik paralel depolama tankının ısı davranışını sayısal ve deneysel olarak çalışmıştır. Üç farklı ısı alanı olan tankın alt kısmından soğuk su püskürtülme katedir. Deney dört ayrı aşamada yapılmıştır. Deneyin ilk aşaması; tankın tabanındaki akışkan ile tanka giren akışkan sıcaklığının eşit olduğu durumda, tankdaki ilk ısı sınır tabakalaşmasının oluşumu. İkincisi ise, tankın tabanındaki akışkan sıcaklığının tanka giren akışkan sıcaklığından düşük olduğu durumda tankdaki ilk ısı sınır tabakalaşmasının oluşumu. Üçüncüsü ise, yalıtılmış tankın ısıtılması ile oluşan ısı tabakalaşma. Dördüncüsü ise, ilk deney aşamasından farkı, genleşme tüpünün olmasıdır. Genleşme tüpü giriş nozulu, difüzyon etkisinden dolayı daha iyi ısı tabakalaşmayı sağlayacağı için, konik yapıdadır. Bu tüp 30°'lik açı ile girişe yerleştirilmiştir. Tankdaki sıcaklık tabakalaşmasının en iyi şekilde oluşturulması, ikinci deney aşamasında gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmada iki tane bir boyutlu model kullanılmıştır. Bu modeller TMM ‘Turbulent Mixing Model’ ve DMM ‘Displacement Mixing Model’dir. Deney sonuçları sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

Al-Nimer [6] yaptığı çalışmasında, içinde elektrikli ısıtıcı bulunan sıcak su depolama tanklarında oluşan sıcaklık dağılımını analitik olarak araştırılmıştır. Araştırmada kullandığı matematiksel model, sıcaklık dağılımına karar vermek için analitik olarak

özöl müştür. Analitik özölnde ilk önce, tankda oluşarı ısı tabakalaşma üzerindeki değışken di zayn parametrelerinin etkisi, sonra da suyun tankdan istenilen sıcaklıkta çıkması için gereken zaman belirlenmiştir.

Brunger, Hollands ve Lightstone [7] yaptıkları araştırmalarında, değışik akış oranlı kontrol stratejilerinin uygulandı ğ güneşli böl gesel su ısıtma sistemlerinde ısı tabaka bozulması(plume entrainment) konusunda çalışmışlardır. Sıcak su tanklarında mükemmel ısı tabakalaşma oluşumu sağlanarak, böl gesel güneşli su ısıtma sisteminin yüksek verimlilikte çalışması sağlanmıştır. Mükemmel tabakalaşmanın olmadığı gerçek tankta tabakalaşmayı bozan en önemli etkenin, suyun tanka çalkantılı girişi ve tanka giren suyun tankındaki su kütlesinde büyük frekanslı dalgalarla yayılmasıdır. Isı tabakanın bozulması genellikle, daha yüksek sıcaklıkta su içeren tankı ne daha düşük sıcaklıkta su girdi ği zaman meydana gelir. Soğuk suyun dalgalı ve çalkantılı düşmesi tankta karışma neden olur. Isı tabakanın bozulması kolektör debisinin kontrol edilmesi ile minimize edilir. Bu çalışmada suyun dalgalı ve çalkantılı akmasının karşılaştırmalı olarak bilgisayar simülasyonunun yapılması, iki yöntem kullanılması ile mümkün göröl müştür. Birinci yöntem(SCOT), kolektör çıkış sıcaklığını sabit tutma ile oluşturulur. İkinci yöntem (FCTR) ise, kolektör giriş ve çıkış arasındaki ΔT sıcaklık farkının sabit tutulmasıdır. Birinci stratejinin performans açısından sabit debili sistemlere göre daha zayıf bir sistemi oluşturduğu, ikinci stratejinin ise sabit debili sistemle bir kaç yüzde sapma ile aynı performansı gösterdiği, araştırma sonuçlarında da göröl müştür. FCTR yöntemi kullanıldığı zaman optimum ΔT sıcaklık farkı, simülasyonu yapılmış böl gesel güneşli sıcak su sistemler için 20°C dir.

Chan, Smereka ve Gusti [8], ısı depolama tankında zamana bağımlı karışık konveksiyon akışı üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Zamana bağımlı iki boyutlu karışık taşınım akışlarını, geliştirdikleri sayısal teknikleri kullanılarak çözmüşlerdir. Momentum eşitlikleri, Boussinesq yaklaşımı kullanılarak doğal ve zorlanmış taşınım akışı için düzenlenmiştir. Zorlanmış taşınım akışı, giriş ve çıkış sınır şartları yardımı ile özöl müş ve daha anlaşılır hale getirilmiştir. Zamana bağımlı ısı transferi ve akış karakteristikleri değışik sınır şartlarında çalışmıştır. Zamana bağımlı olarak hız ve sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Akışkanın giriş ve çıkış konfigürasyonlarının depolama tankının ısıl performansı üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Aynı anda hem boşaltmanın hem de doldurmanın olduğu durumda,

tankta daha hızlı ısı depolama gerçekleştirilmiştir. Akışkanın tanka giriş ve çıkış yönlerinin yatay ve dikey olmasının tankın ısı depolama verimi üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

Consul, Rodriguez ve diğerleri [9] yaptıkları çalışmalarında, prototip ısı depolama tanklarında üç boyutlu bilgisayarlı akışkanlar dinamiği simülasyonlarını kullanarak, sıcaklık tabakalaşması analizini incelemişlerdir. Bu çalışmada, termosifon etkili güneşli ısıtma sistemindeki depolama tankında oluşan zamana bağlı ısı davranışlar, sayısal olarak araştırılmıştır. Boşaltma işlemi sırasında tanka giren kütleli debi miktarının tabakalaşma derecesi üzerine etkisi de gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, üzerinde çalışılan matematik model içerisindeki değişiklikler, çözümlerin sınıflandırılması ve tabakalaşma seviyesinin araştırılması açısından dikkatle ele alınmıştır. Gerçek çözüme yaklaşmak için, üzerinde çalışılan sayısal metod ve modellerin beraberinde getirdiği sınırlama ve kısıtlamalara da, bu çalışmada değinilmiştir.

Davidson, Adams ve Miller [10], güneşli su depolama tanklarında karışım karakterize eden boyutsuz katsayının geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. MX sayısı enerji momentine ve yüksek enerji kapasitesine bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişim göstermektedir. Sıfır değeri tanktaki nükleer tabakalaşmayı, bir değeri de tanktaki akışkanın tamamının karışım durumunda olduğunu temsil etmektedir. Sırası ile tam karışımı tank ile tam tabakalaşmanın olduğu tanktaki enerji momentunun minimum ve maksimum değerlerinin teorik tayininde, MX değerleri önem taşımaktadır. Yeni MX sayısının tayini, hem alışılagelmiş giriş tüpü hem de, gözenekli tabakalaşma manifoldu olan 372 litre hacimindeki depolama tankından elde edilen deneysel veriler ile gerçekleştirilmiştir. İltank sıcaklık profili, suyun tanka giriş sıcaklığı ve test süresi değişimleri üç ayrı test şeklinde gösterilmiştir. Tanktaki akışkanın karışım derecesi, boyutsuz MX sayısı ve tanktaki akışkanın dikey konumlarına göre ölçülen sıcaklık profilleri vasıtası ile belirlenmiştir.

Eames ve Norton [11] yaptıkları çalışmada, düşük Reynolds sayısındaki akışlar için hissedilir ısı depolama işlemi esnasında oluşan ısı tabakalaşma üzerinde tank geometrisinin etkisini araştırmışlardır. Tabakalaşmış sıcak su depolarının ısı performansına üzerine deneyler ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Üç boyutlu zamana bağlı sonlu hacimli bir model üzerinde yapılan 32 deneyden ölçülen sıcaklıkların karşılaştırılması yapılmıştır. Çeşitli giriş hızları ve sıcaklıklarda yapılan deneylerde

ilk depo tabakalaşması profilleri çıkarılmıştır. Çeşitli oranlar için bulunan depolama performansları üzerindeki akışkanın giriş ve çıkış etkilerini, parametrik analiz ortaya koymuştur. Giriş bölgesindeki difüzyonun ve sonlu hacim ölçülerinin etkisi bu çalışmada rapor edilmiştir.

Ghajar ve Zurigat [12], ısı enerjisi deposunda giriş geometrisinin tabakalaşma üzerindeki etkisini sayısal olarak çalışmışlardır. Kütlelenin korunumu eşitliklerini sonlu farklar metodu kullanarak Upwind metodu ile ayrılaştırmışlar ve kullanılan akışkan için bu eşitlikleri bilgisayarda çözmüşlerdir. Sıcaklık profillerinin deneysel ve sayısal çözümlerdeki dağılımlarının birbiri ile iyi uyum sağladığını görmüşlerdir. Isı enerjisi deposundaki sıcaklık tabakalaşmasına etki eden giriş geometrisinin araştırılması, ikinci derece Upwind sonlu farklar metodu kullanılarak yapılmıştır. Richardson sayısının 10'un üzerindeki değerlerinde giriş geometrisinin etkisi ihmal edilmiştir. Sonuç olarak, değişik giriş geometrilerindeki ısı enerjisi depolarında performans kriterleri tartışılmıştır.

Guo ve Wu [13], sıvılı ısı depolama tankında sıcaklık ve akış tabakalaşmasını sayısal olarak çalışmışlardır. Bu çalışmada iki boyutlu zamana bağımlı model kullanılmıştır. Bu model, zorlanmış ve doğal taşınımın ısı transferi prensipleri üzerine bir çalışmayı içerir. Bu çalışma için sayısal sonuçları elde etmede ADI algoritması kullanılmış ve çalışma yüksek Grashof ve Reynolds sayılarında yapılmıştır. Bu analizin sonunda, nümerik modeli yapılmış sıvılı depolama tankında, çeşitli Reynolds ve Grashof sayılarında, sıcaklık dağılımı ve akış alanı için elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuştur.

Hahne ve Chen [14], sıcak su depolarında akışkan ve ısı transferi karakteristikleri üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarını depolama işlemi sırasında adyabatik ısı sınırlar koşullarında yapmışlardır. Bu çalışmada depolama verimini, ısı tabakayı elde etmekte için kullanmışlardır. Depolama sırasında ki dolma akış hızları ve dolma verimliliği üzerine etki eden d/D ve H/D oranları değiştirilerek, depoda değişik sıcaklık tabakalaşması sağlanmıştır. Sonuçlar, değişen Richardson ve Peclet sayılarına bağlı olarak dolma verimliliğini açıklar. Peclet sayısı ise, dolma verimi üzerine etki eden dolma hızı ve dolma sıcaklığı farklarının birleşik etkilerini tanımlar. Eğer Richardson sayısı 0.25'den büyük ise dolma verimi 0.97'nin üzerindedir. Verilen bir Richardson sayısında Peclet sayısındaki artış, daha yüksek dolma verimliliğine neden olur. H/D oranı 4'den az değerler için H/D oranı artışı

mümkün olduğunca dolma verimliliğini iyileştirir. Fourier sayısının dolma verimliliği üzerindeki etkisi göreceli olarak küçüktür. Sonuçlar, boyutlu ve boyutsuz formlarda verilmiştir. Sayısal sonuçlardaki düzeltmeler efektif sıcak su depolama dizaynı için yapılmıştır.

Hamdan, Zuri gat ve Ghajar [15], değişik giriş dizaynları için değişik giriş sıcaklık şartlarında depodaki ısıl tabakalaşma üzerine, deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yeni giriş dizaynlarında elde edilmiş tabakalaşma dağılımı ile alışlagelmiş giriş dizaynlarında elde edilen tabakalaşma dağılımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Davis ve Bartera tarafından kullanılan çeşitli pasif depolama tanklarının kullanımı da bu çalışmada sunulmuştur. Değişken giriş sıcaklık şartları, pasif depolama tanklarında alışlagelmiş girişler üzerinde bir avantaj teşkil etmez. Bu çalışmada elde edilen deneysel veriler, çeşitli bilgisayar modellerinin geliştirilmesinde geçerli olmayabilir. Fakat, ısıl tabakalaşma sağlanmış tanklar için bu çalışmada kullanılan değişik giriş dizaynların çeşitli bilgisayar modellerinin geliştirilmesine yardımcı olacağı kanaatine varmışlardır.

Hariharan ve diğerleri [16] yaptıkları çalışmalarında, sıcak su depolama tanklarında oluşan sıcaklık tabakalaşması üzerine sayısal ve deneysel araştırma yapmışlardır. Deneyler; sıcak su depolama tanklarında sıcaklık tabakalaşmasının oluşumunu görmek için, bir skala model düşünülerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sistem üzerindeki işletme durum etkileri, ısı hattı etkisi ve çevresel etkiler dikkate alınmıştır. Soğuk su sıcaklığı $30 - 80^{\circ}\text{C}$, sıcak su sıcaklığı $40 - 90^{\circ}\text{C}$, su debisi $6 - 60\text{ lt/saat}$, H/D (tank yüksekliğinin çapına) oranı (1.56, 2.06, 3.54, 4.00) deney şartlarında çalışılmıştır. Bütün tanklar için toplam hacim ve d/D (akışkan giriş kanalı çapının tankın çapına) oranları aynı alınmıştır. Su akış debisinin azaltılmasıyla oluşan sıcaklık farkının artması ile tabakalaşmanın iyileştiği ve sistem için H/D 'nin optimum değeri 3 ve 4 olduğu gözlemlenmiştir.

Hegazy ve Dab [17], elektrikli su ısıtıcılı sıcak su depolama ünitesi olarak geliştirilen depolama tankının dizayn performansını, enerjinin korunumunu dikkate alarak deneysel olarak araştırmışlardır. Geliştirilen bu dizayn için elde edilen sonuçlar, aynı debi değerleri ve aynı tank ölçüsünde, kullanılan alışlagelmiş depolama tankı ile karşılaştırılmıştır. Her iki depolama tankı için yapılan karşılaştırma işlemi, benzerlik oranı 1 ve 2 durumunda da ele alınmıştır. Geliştirilen bu sistem 5 ve 10 lt/dak değerlerinde iki farklı kütleli debi girişi durumunda ve

ısıtıcı gücü farklı üç ayrı ısıtıcı kullanılarak teste tabi tutulmuştur. Yukarıdaki şartlarda elde edilen sonuçlara göre, depolama tankı içinde daha iyi tabakalaşmanın olması için tanktan temin edilen kullanımsuyu alma zamanının daha kısaltulması gerektiği vurgulanmıştır. Çünkü tanktan ilk alınan kullanımsuyu sıcaklığı yüksek olmakta, zaman ilerledikçe bu su sıcaklığı düşmektedir. Sıcaklık tabakalaşmasının korunması için ve sıcak kullanımsuyu elde etmek için kullanımsuyu debisinin azaltılmasının ve benzerlik oranının değiştirilmesinin yani, tankın yüksekliğinin artırılmasının gerekliliğine de dikkat çekilmiştir.

Helwa, Mbarak ve diğerleri [18] yaptıkları çalışmalarında, güneş enerjili su depolama tankı nda oluşan sıcaklık dağılımı üzerindeki sıcak su tüketiminin etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, sıvılı ısı değiştirgeçleri de denilen, depolama tanklarında oluşan sıcaklık tabakalaşmasının oluşumu incelenmiştir. Üzerinde çalışılan sistemin performansı; Mısır toplumunda güneşli günlerde günlük su tüketimi dikkate alınarak belirlenmiştir. Güneş olmayan günlerde özellikle kış aylarında gerekli ısı yükünü sağlamak için elektrikli su ısıtıcıları kullanmışlardır.

Hess ve Miller [19], kapalı silindirik hacimde oluşan ısı hattına silindirik duvarının etkisi üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Kapalı silindirik hacimdeki doğal konveksiyonla olan ısı transferi güneş enerjili birçok uygulamalarda vardır. Kapalı hacimdeki bu iç akış problemlerinin çözümünde integral metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada kapalı hacimdeki ısı hattı durumu ve sabit duvar sıcaklıklarında olan kapalı silindirik hacim için doğal konveksiyonla ısı transferi problemi örnek olarak çözülmüştür. Değişik Rayleigh sayıları için Nusselt sayısındaki düzeltmeler yapılmış ve değişik duvar malzemeleri laminar rejimi için sunulmuştur. Akışkan karışım oranları değişik sınır şartları için tahmin edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile çözülmüş sayısal sonuçların yapılan deneysel sonuçlar ile iyi uyum gösterdiği görülmüştür.

Hess ve Miller [20]'ın yaptıkları ikinci çalışma ise, kapalı silindirik hacimde oluşan ısı hattının, silindirik duvarının etkisi üzerine yapılmış deneysel bir çalışmadır. Çalışmada silindirik kapalı hacim için aksi metrik doğal konveksiyon akışlarının ısı hattına etkisi, laser droplet metresi kullanarak deneysel olarak belirlenmiştir. Güneş enerjili enerji sistemlerinde depolama sistemi olarak, uygulamada silindirik kapalı hacim seçmişlerdir. Depo duvarlarının ısı hattının yok olmasına büyük etkisi vardır. Depo iyi yalıtılmış ve tankın altındaki soğuk akışkan ile üstündeki sıcak akışkanın

aralarında oluşturduğu ısı hattı etkisi, belirlenmeye çalışılmıştır. Hızların eksenel ve radyal yöndeki bileşenleri, başlangıç şartlarının ve zamanın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Çalışma, sıcaklık farkına dayanan 3.7×10^8 ve 7.5×10^8 Rayleigh sayıları ve 0.0001 ve 0.0045 m/s değer aralıklarında yapılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlarda sadece duvar kenarına yakın hızlar için hatalar, yüzde olarak artı ve eksi 10 değerlerinde farklılık göstermektedir.

Hollands ve Lightstone [21], güneşli su ısıtma sistemlerinde tank tabakalaşmasına etki eden düşük akışkan hızlarının etkisini gözden geçirmişlerdir. Zorlanmış akışlı güneşli ısıtma sisteminde enerjinin kademeli artışına gidilmiştir. Bu şartlarda depolama tankından alınan ölçümler, düşük debili kolektörlerin kullanılmasının gerekli olduğunu göstermiştir. Düşük debili kolektörlerin kullanılması, aynı zamanda maliyetin azaltılması açısından da önemli bir avantaj teşkil etmiştir. Bu çalışmada genel olarak, tam skalalı sistem deneyleri, sistemin bilgisayar simülasyonu, netot analizi, tank tabakalaşmasındaki genel bilgi, sistem maliyeti kazanımları ve sistemin performansındaki iyileştirmeyi tahmin etmek için gerekli nedenler tartışılmaktadır.

Issa ve Al-Nimer [22], güneş kolektörlü sıcak su depolama tankı içerisinde oluşan sıcaklık dağılımı üzerine analitik ve deneysel bir çalışma yapmışlardır. Zamana ve alana bağlı, iki boyutlu bir model üzerinde çalışmışlardır. Radyal ve eksenel yönde iletim ve taşınım olan ısı transferlerini ihmal etmişlerdir. Çünkü bu ısı transferi miktarları, enerji depolamadaki iletim taşınım ve difüzyonla olan ısı transferi miktarlarına göre çok küçüktür. Teorik ve deneysel sonuçlar arasında tam uyum gözle çarpmaz. Radyal yöndeki sıcaklık dağılımının eksenel yönde oluşan sıcaklık dağılımına etkisi olmaktadır. Çünkü yapılan çalışma, düşük giriş hızları ve düşük giriş ve çıkış akışkan sıcaklık farklarının olduğu işletme şartlarında yapılmıştır. Momentum eşitliğindeki eksenel yöndeki iletim terimini, kritik giriş hızından yüksek giriş akışkan hızları için ihmal edilmiştir. Silindirik depolama tanklarında eksenel yönde elde edilen sıcaklık profillerinin, depolama tankında oluşan düşük giriş ve çıkış sıcaklık farkları ve yüksek giriş hızlarında lineer olduğu kabul edilmiştir.

Jaluria ve Gupta [23], güneşli enerji depolama tanklarındaki su kütlesinde ısı tabakalaşmasının bozulması (yok olması) ve su kütlesinin sıcaklığının azalması üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Tabakalaşma işlemi, kapalı hacimdeki su kütlesine, hem kolektörlerden gelen sıcak suyun, hem de kaynaktan gelen soğuk

suyun boşaltılması ve kullanma hazır sıcak suyun, bu su kütlesinden alınması ile gerçekleşen bir sirkülasyon olayıdır. Tabakalaşma su kütlesindeki sıcaklık profilleri, zamana bağlı olarak ortam şartları için deneysel olarak belirlenmiştir. Basit analitik modeller bir boyutlu olarak elde edilmiştir. Bu deneysel çalışma önceden yapılan sayısal ve deneysel çalışmaların sonuçları ile uyumludur. Tabakalaşma kütledeki sıcaklığın azalması veya yok olması olayı, üzerinde çalışılan bu çalışma ile tartışılır hale gelmiştir. Enerji depolanması ile ilgili değişik bir kaç özellik, sıcaklık tabakalaşması için geliştirilmiştir.

Jeong ve Heung Park [24], dışından elektrikli ısıtıcı ile ısı verilen paralel silindirik haciminde meydana gelen ısı tabakalaşma üzerine çalışmışlardır. Dışardan elektrikli ısıtıcı ile ısı olarak tabakalaşma sağlanmış silindir için iki boyutlu sürekli model geliştirilmiştir. Silindirik hacimdeki akış için oluşturulan boyutsuz momentum eşitlikleri, sonlu kontrol hacmi teknikleri ve SIMPLE algoritması kullanılarak çözülmüştür. Silindirik duvarlarında ve silindir içindeki akışkanda meydana gelen ısı transferi, akım profilleri ve sıcaklık dağılımları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, silindirik iç duvarının alt ve üst bölümleri arasındaki sıcaklık farkı ve ısı tabakalaşmanın etkisini azaltan etkenin dış çevreden verilen ısı olduğunu açıklar.

Jesch ve Braun [25], su ısıtıcı performansının iyileştirilmesi için değişik depolama hacmi ve depolamadaki tabakalaşma üzerine çalışmışlardır. Alışlagelmiş güneşli su ısıtma sistemlerinde sabit depolama hacmi ve kolektörlere gönderilen yüksek dolaşım debileri, toplam kolektör veriminin yüksek olduğu durumlarda uygulanmıştır. Sistem üzerinde yapılan çalışma, tahmini iyileşmeyi sağlayan simülasyon çalışmalarını ve sistemin nasıl çalışacağını izah etmektedir.

Kleinbach, Beckman ve Klein [26], ısı depolama tanklarındaki tabakalaşma için bir boyutlu modellerin performansının belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Bölgesel güneşli su ısıtma sistemlerinde su ısıtma için ısı depolama tanklarındaki sıcaklık dağılımını oluşturulmasında iki temel yaklaşımdan yararlanılmışlardır. Çok noktalı yaklaşımda, tankın kontrol hacmi N_t ane noktaya bölünmüştür ve her bir nokta için enerji eşitliği yazılmıştır. Zamanın fonksiyonu olarak noktaların sıcaklıkları, N_t ane enerji eşitliği çözülerek bulunmuştur. Plug akışı yaklaşımında ise, değişik hız ve sıcaklıktaki akışkan parçacıklarının tanka doğru hareket ettikleri düşünülmüştür. Akışkan parçacığının simülasyonu, akış debisi ve zaman göz önüne alınarak yapılmıştır. Isı kaynağından tanka giren akışkanın sıcaklığı tankın üst kısmındaki

akışkandan düşük olduğu zaman, tankın içindeki akışkanda sıcaklığın dalgalı yayılım söz konusu olduğundan, tanktaki tabakalaşmanın bozulması da hesaba katılarak çalışmaya devam edilmiştir. Akışkanın dalgalı yayılımı, hem Plug akışı hem de çok noktalı akış modeli içinde incelenmiştir. Çok noktalı ve Plug akışı yaklaşımının birlikte çalışılması TRNSYS programında mevcuttur. TRNSYS tank modellerinin performansı üzerindeki araştırmalar, iki farklı deneysel kaynaktan elde edilen deneysel veriler ile yapılmıştır. Farklı kaynaklardan elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırılan modellerin doğruluğunu garanti etmek için, üç tane performans sayısı tanımlanmıştır. Bu şartlar altında kullanılması gereken tank modeli için de tavsiyelerde bulunulmuştur.

Misra [27], güneşli su ısıtma sistemlerinde termosifon etkili sıcak su tanklarındaki ısı tabakalaşma üzerine teorik ve deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmasının ilk aşamasında, deneyde kullanacağı tank modelini tanımlamış ve tankdaki sıcaklık dağılımını veren analitik ifadeler çıkarılmıştır. Çalışmasının sonunda ise, yaptığı sayısal ve deneysel araştırmasının sonuçlarını karşılaştırmalı olarak sunmuştur.

Mohab ve Miyatake [28], ısı tabakalaşma oluşmuş ısı su depolama tanklarında türbülans akış alanı üzerine sayısal çalışma yapmışlardır. Çalışma, sıcak akışkan ile soğuk akışkanın yer değiştirmesi ile oluşan türbülans akış alanının, tankdaki ısı tabakalaşmaya etkisini içerir. Türbülans akış alanını QUICKEST metodu ile çözmek için iki boyutlu enerji eşitlikleri kullanılmıştır. Enerji eşitliklerinin çözümünde kullanılan QUICKEST ve UPWIND metodlarının, zamana bağlı akış ve sıcaklık alanlarının üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Deneysel sonuçlar ile birlikte sunulan sayısal yaklaşım sonuçlarının karşılaştırılması, ısı depolama tanklarındaki ısı tabakalaşma karakteristiklerinin tayinini sağlamıştır.

Morrison ve Tran [29], güneşli termosifon etkili su ısıtıcılarının uzun dönem performansının simülasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sistemin performansının tayini için altı farklı su yükünde sistem modellenmiş ve sistemin sayısal simülasyonu yapılmıştır. Paralel tanklar için iki dakika zaman aralığı ve 30 tane grid noktası, dikey tanklar için ise beş dakika zaman aralığı ve 20 tane grid noktası kullanılarak depolama tanklarında sıcaklık tabakalaşması simülasyonu yapılmıştır. Tanktaki sıcaklık tabakalaşması modelinin doğruluğunun tayininde, kollektöre giden geri dönüşüm akışkanının karışımı için dağıtıcılı geri dönüşüm modeli düşünülmüştür. Günlük kollektöre giden akışkanın hacminde, bir tank hacmi

kadar azalmanın olduğu durumda, tek tanklı termosifon etekli sistemin performansında iyileşme görülmüştür. Termosifon etekli sistemin veriminin, pompalı dolaşım sistemine göre biraz daha iyi olduğu görülmüştür.

Murthy, Nelson ve Rao [30], ısı tabakalaşma üzerindeki duvar iletkenliğinin etkisini çalışmışlardır. İnsanlığın enerji taleplerindeki artışla karşı karşıya kaldığı sırada, ortaya çıkan alternatif enerji kaynaklarındaki gözle görülen büyümeye, güneş enerjisi alanındaki araştırmalara neden olmuştur. Güneş enerjisi ile çalışan enerji santralleri, güneş radyasyonu varlığı ile alt enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Soğuk ve sıcak sulu ısı enerji depolama sistemlerinde düşük ve orta sıcaklıklarda bile, ısı tabakalaşmanın oluşturulması ile enerji depolanabilmektedir. Çeşitli metallerden ve farklı duvar kalınlıklarında yapılmış tank modelleri için tabakalaşma üzerine deneysel araştırmalar yapılmıştır. Düşük ısı iletkenliğindeki duvarları olan tanklar için ısı hattının etkisinin düşük olduğu görülmüştür.

Parrini, Vitale ve Castellano [31], sıvılı depolama tanklarında gerçek işletme şartlarındaki kütle, momentum ve ısı transferi olayının rasyonel analizi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarının ilk bölümünde, modelin temel formülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Çalışma akışkanı olarak su seçilen depolama tanklarının analizi için kullanılan bir bilgisayar programı oluşturmuşlardır. Yapılan bu çalışma aşağıda sunulan aşamalarda gerçekleştirilmiştir.

a) - Zamanla bağlı Navier – Stokes eşitlikleri, Boussinesq yaklaşımı altında silindirik ve kartezyen koordinatlarda iki boyutlu olarak ifade edilmiştir.

b) - Efektif sürtünme ve ısı yayılımı Deardorff basitleştirilmiş türbülans modeli kullanılarak elde edilmiştir.

c) - Enerji eşitliği tankı çevreleyen toprak da düşünülerek, büyük bir kontrol hacmi çerçevesinde çözülmüştür.

d) - Tankın giriş ve çıkışlarını ifade edildiği momentum eşitliklerinde uygun tanımlamaları yapılmış ve bazı kaynak terimleri ve lokalize edilmiş sürtünme kayıpları da gösterilmiştir.

e) - Isı pompası ve güneş kolektörleri ile tank arasındaki günlük ısı değişimlerini doğru tanımlayan sınır şartları, zamanla bağımlıdır.

DF tekniği ve MAC metodunun geliştirilmiş formülasyonu, momentum ve korunum eşitliklerini çözmede kullanılmıştır. Literatür çalışmaları ile karşılaştırmalar yüzde 0.5 ile 0.02 arasında bir hassasiyet göstermektedir. Gerçek işlem durumları için

si mülasyonu yapılan değişik bir kaç test çalışmaları, çalışmanın ikinci bölümünde gösterilmiştir.

Parrini, Vitale ve Castellano [32] yaptıkları çalışmanın ikinci bölümünde, ısı pompalı sistemlerle donatılmış güneşli sıcak su depolama tanklarının ısı performansının modellenmesi ile uğraşmışlardır. Birinci bölümde tarif edilen THESTA bilgisayar programı, akışkanın tank içine dağıtılması ve bir diğerinden farklı olan çeşitli konfigürasyonların ve yalıtım panellerinin karşılaştırılması için uygulanmıştır. Gerçek işlem şartlarının benzerini için yapılan sayısal deneyler, bu programın geçerliliğini göstermiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, pilot tesisin depolama bölümünün özelliklerinin ideal tarifini destekleyen ve teorik olarak güvenilirliğini ortaya koyan bir çalışma olduğunu göstermektedir.

Phillips ve Dave [33], sıvılı güneşli ısıtma sistemlerinin performansı üzerinde tabakalaşmanın etkilerini teorik olarak araştırmışlardır. Sonuçlar tabakalaşma katsayısı cinsinden sunulmuştur. Tabakalaşma katsayısı ise, gerçek kullanışlı enerjinin tanktan alınan enerjiye oranı olarak tarif edilir. Bu tabakalaşma katsayısı, boyutsuz iki tane sistem parametresine bağlı olarak sabit sistem durumu için elde edilmiştir. Güneşli ısıtıcıdan alınan deneysel verilerle detaylı yapılmış sayısal simülasyonun karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyon verileri hem deneysel sonuçlarla hem de teorik modelle iyi bir uyum göstermektedir.

Prapas, Tsiamiris ve diğerleri [34], geniş bölgesel güneşli sıcak su sistemlerinin işletme modeli ve birbirine bağlantılı depolama tankları üzerine, sayısal bir çalışma yapmışlardır. Bu sistemde hissedilir ısının depolanması için birden çok depolama tankları gereklidir. Bu çalışma, tankların birbirlerine bağlanma etkilerini, işlem modelleri ve bütün sistem üzerindeki çalışmaları içerir. Sonuçları elde etmede; tipik bölgesel güneşli sıcak su sistemlerinin alt konfigürasyonlarının alternatif depolama şekilleri düşünülerek ve PROTANK-3 matematik modeli kullanılarak formülize edilen bağlantılar kullanılmıştır. Optimal performans için bütün sistem konfigürasyonu, aşağıdaki kriterler ile birlikte düşünülmüştür.

a - Depolama tankları ile yüksek sıcaklık tabakalaşması arasındaki ilişki.

b - Kullanıcıya yüksek derecede çabuk ısı enerji transferi.

Sistem modeli tahminleri, bu iki kriter göz önüne alınarak ve sistemden elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak sağlanmıştır.

Shah ve Furbo [35], güneş enerjili depolama tankına giren su jetlerinin teorik ve deneysel analizi üzerinde çalışmışlardır. Çeşitli su giriş debilerinde ve farklı girişli üç değişik tank dizaynları durumunda gerçekleştirilen Sayısal Akışkanlar Dinamiği hesaplamaları, sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan ısı davranışları görmek için yapılmıştır. Farklı girişli tank dizaynlarının, tank içinde oluşan akı çizgileri ve enerji kalitesi üzerinde nasıl bir etki yaptığını bakılmıştır. Su depolama tankına benzer olarak sayısal modellenmesi yapılan prototip tank içerisinde su giriş jetlerinden dolayı oluşan akış yapılarının görülmesi için şeffaf malzeden yapılmış olan bir silindirik tanktır. Farklı girişli üç değişik tank dizaynlarında farklı değerlerde giriş debileri kullanılarak, sistemin çalışır durumu sağlanmış ve bu durumda sıcaklık tabakalaşması ölçümleri yapılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçlar, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu kullanılarak analiz edilmiştir. Sistem çalışır durumda iken, sistemde nasıl bir entropi ve ekserji değişiminin olduğu gözlenmiştir.

Shin, Kim ve Jang [36] sıcak su depolama tanklarında ısı tabakalaşma üzerine bir çalışma yaparak, optimum tank dizaynı ve optimum çalışma şartlarına karar vermişlerdir. SIMPLE algoritmasını kullanarak depolama tankı içindeki akışkanın hareketini incelemek için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Sistematiği araştırma; giriş hızı veya Froud sayısı, türbülans model, dağıtıcının şekli, tankı doldurma zamanı, depolama tankı ölçüsü gibi, dizayn ve işletme parametreleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Depolama sisteminin performansını iyileştirmek için tank içindeki soğuk su ile tanka giren sıcak su arasındaki minimum karışımın dikkat çekilmiştir. Tank içinde oluşan türbülans karışımı ve akış sirkülasyonu, tankın ısı verimini dikkate değer bir şekilde etkilemiştir. Sıcaklık için enerji denklemi, taşınım ısı karışımının olmadığı ve sabit eksenel hız kabulü ışığında çözülmüştür. Sayısal çözümden elde edilen değerler ile ölçülen deneysel veriler arasında iyi bir uyumu yakalamışlardır.

Shyu, Lin ve Fang [37], tabakalaşmış depolama tanklarının ısı analizi üzerine çalışmışlardır. Tabakalaşmış depolama tanklarında tabakalaşmanın yok olması, deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Tank duvarlarının kalınlığı ve ısı yalıtımının tabakalaşma üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Tabakalaşmayı yok eden tank duvarındaki eksenel ısı iletimini azaltan yalıtımın etkisi, deneysel sonuçlarda da görülmektedir. Yalıtımsız tanka göre yalıtım yapılmış tanktaki eksenel ısı iletiminin azaltılması, tanktaki sıcaklık tabakalaşmasını artırmıştır. Sonuç olarak yalıtım ve

duvar kalınlıklarının eksenel yöndeki ısı iletimini etkilediği görülmüştür. Fakat tanımlanmış duvar kalınlığı için eksenel ısı iletimindeki artış, yalıtımlı kalınlığa tambağına değildir. Tankın içine izolasyon yapılması, tabakalaşmanın korunması için faydalı görülmüştür. İki boyutlu tank modeli, depolama tankı içinde sıcaklık ve akış alanı oluşturmak için geliştirilmiştir. Bunun yanında sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması da yapılmıştır.

Waldin ve Truman [38] çalışmalarının birinci bölümünde, skala tank modeli seçilerek dikey silindirik ısı depolama tanklarında ısı tabakalaşma performansı'nın tayini üzerine çalışmışlardır. İçinde ısıtılmış veya soğutulmuş su içeren dağıtıcı dikey silindirik tanklardaki sıcaklık tabakalaşması olayı ile ilgilenilmiştir. Radyal dağıtıcı ilk testler, ısı performans ölçümleri yapılan skala model tankları üzerinde yapılmıştır. Betondan yapılan bu skala tanklar, radyal dağıtıcı ve oktagonallineer difüzer plakalar ile donatılmıştır. Bu tank modeli üzerinde yapılan bütün testler, 133 m³ prototip tank üzerinde yapılan testlerin aynısı olarak tekrarlanmıştır. Data ve sonuçlar, dağıtıcı tanklarda giriş Froude sayısının 2 ve daha az olduğu değerlerinde tabakalaşmayı temsil ettiği gibi, tatminkar deney yapıldığını da göstermiştir. Hem skala model hem de prototip tank testleri, giriş Reynolds sayısı azaltıldığı zaman sadece dağıtıcı girişinde karışım olduğunu göstermektedir. Sadece prototip tank modelinden alınan sonuçlar bu çalışma için tatmin edici sonucu sağlamaz. Skala model tank testleri, radyal giriş dağıtıcılarındaki hız dağılımlarını, iyi tank performansı elde etmek için ortaya koymaktadır. Giriş suyu sıcaklığı 4 °C'nin altına düşerse, skala model tankta iyi tabakalaşmanın olmadığı gösterir. Bu çalışma, önceden yapılmış olan test sonuçları ile skala model üzerinde elde edilen test sonuçlarını karşılaştırmalı olarak tartışmaktadır. Bu çalışmanın devam olan ikinci bölümünde de prototip tank modeli üzerinde çalışılacaktır.

Waldin [39] çalışmasının ikinci bölümünde, prototip tank modeli seçilerek dikey silindirik ısı depolama tanklarında ısı tabakalaşma performansı'nın tayini üzerine çalışmıştır. İçinde ısıtılmış veya soğutulmuş su içeren dağıtıcı dikey silindirik tanklardaki sıcaklık tabakalaşması olayı ile ilgilenilmiştir. Lineer dağıtıcı oktagonallineer plakalar kullanılarak, radyal dağıtıcı bulunan 133 m³ prototip beton tank üzerinde ve radyal dağıtıcı bulunan skala model tank üzerinde ilk testler yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümü, hem prototip hem de skala model tank üzerinde yapılan çalışmaların sonuçlarını içerir. Testler, 4.4 °C ile 15.6 °C nominal sıcaklık derecesi aralığı için,

oktagonall plakall lineer dağıtıcı ve radyal dağıtıcı kullanan prototipt tank modeli üzerinde yapılmıştır. Aynı zamanda, bu testler 38 °C ile 49 °C nominal sıcaklık derecesi aralığında alan ısıtması için, daha küçük radyal dağıtıcılar kullanılarak tekrarlanmıştır. Kullanılan bu üç dağıtıcı da tabakalaşmayı iyileştirmek ve ısıll performansını artırmak için birlikte kullanılırlar. Yapılan ölçümler Froud sayısına bağlı olarak analiz edilmiştir. Tabakalaşmada ve sistemin ısıll performansında, daha küçük radyal dağıtıcıdan daha büyüğe doğru iyileşme görülmüştür. Bunun yanında daha büyük dağıtıcıdan oktagonall dağıtıcıya doğru, ısıll performans ve tabakalaşma daha iyileşmektedir. Soğuk tankın boşaltılması ve sıcak tankın doldurulması sırasında çıkış sıcaklığındaki değişim daha küçük radyal dağıtıcı da gözlenmiştir. Çıkış sıcaklığındaki değişimin daha büyük radyal dağıtıcıya doğru azaldığı da gözlenmiştir. Bunun yanında, oktagonall dağıtıcılı tanktaki çıkış sıcaklığında değişime rastlanılmamıştır. Daha küçük radyal dağıtıcılı ısıtılan tankın ısıll performansının, aynı dağıtıcılı soğutulan tankın performansı ile aynı olduğu saptanmıştır.

Yoo, Junk-Kim ve diğlerleri [40] yaptıkları çalışmalarımda, değişken giriş sıcaklıklarında depolama tanklarımda oluşan ısıll tabakalaşma üzerine analitik çözümler yapmışlardır. Depolama tankındaki dolma işlemini; bir boyutlu ve iki bölgele düşünülerek ve karışımındaki momentum etkisi de göz önüne alınarak, analitik çözümler üretilmiştir. Tankın üstündeki sıcaklığa eşit veya daha yüksek derecedeki su giriş sıcaklığı, belirli aralıklarla kademem kademem azaltılarak sürekli değiştirilmiştir. Sıcaklığın belirli aralıklarla kademem kademem azaltılarak sürekli değişimi, lineer fonksiyon parçalarını sonsuz sayısı olarak kabul edilmiştir. Mükemmel karışımı için analitik çözümler yapılmıştır. Süper pozisyon prensibi kullanılarak, plug akış bölgesindeki sıcaklık profilleri, başarılı bir şekilde formüle edilmiştir. Giriş sıcaklığındaki quadratik değişiklikler için modelize edilen yaklaşık tam çözüm kapalı form çözümleri ile iyi bir uyum göstermiştir.

Yoo ve Pak [41], ısıll depolama tanklarımdaki sıcaklık tabakalaşması için bir boyutlu sonlu hacim modelinin analitik simülasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. İyitamlananmış fonksiyonlarla kompakt olarak ifade edilmiş kısa süre çözümünün analitik olarak yaklaşık kabul edilir olması, matematiksel olarak uzun süre çözüm için referans alınmıştır. Çözüm serileri üzerindeki miktar analizi derecesinden dolayı, bütün yüksek derecedeki terimler sıfırıncı ve birinci dereceye indirgenmiştir. Pratik

olarak dolma zamanı değişimi için analitik çözümün yaklaşık tamamı, sonuç çözümleri olarak onaylanmıştır. Adyabatik uç durumun ihmal edildiği çözümlerdeki alt çözüm serilerinin oluşturulmasında, yarı sonsuz hacim mantığına dayanan Cabelli'nin ilk çözümlerinden yararlanılmıştır. Sunulan analitik çalışma nümerik çalışmalarla da iyi bir uyum göstermektedir.

Yoo ve Pak [42], sıcak su depolama tanklarındaki ısıl tabakalaşmanın oluşturulması için dolma işleminin teorik modellenmesi konusunda çalışmışlardır. Tank akışkanla dolurduğu zaman, tanktaki tabakalaşmanın üst limit performansı nın belirlenmesine çalışılmıştır. Uygun kabuller yapılarak, ideal model ve piston akışı geliştirilmiştir. Sadece Peclett sayısı ile karakterize edilen model kullanılarak, momentum eşitlikleri bu akış için formülize edilmiştir. Zamana bağlı sıcaklık dağılımının elde edilmesi için basit kapalı form çözümleri, Laplace transforasyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. İki yarı sonsuz bölgenin hareket eden yüzeyleri arası temasında ısı iletiminin olduğu düşünülerek, bu basit model için çalışmanın geliştirilmesi ne devam edilmiştir. Peclett sayısına bağlı olarak sıcaklık dağılımları oluşturulmuştur. Bununla birlikte depolama verimi analitik olarak Peclett sayısı cinsinden ifade edilmiştir. Bu sayede, üzerinde çalışılan modelin verimi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu verim yarı sonsuz modelin veriminden daha küçüktür. Sunulan modeldeki depolama veriminin alt ve üst sınırlar arasındaki değişimi, özel anlam taşır. Sistemin kullanıma uygunluğu için verimdeki basit düzeltmeler, Peclett sayısının fonksiyonu olarak düşünülmüştür.

Zachar, Farkas ve Szlivka [43] yaptıkları çalışmalarında, üstten ve alttan soğuk su girişi gibi çeşitli sınır şartları altında, güneş enerjili su ısıtma sisteminde kullanılan sıcak su depolama tankı içindeki hız ve sıcaklık dağılımlarını, sayısal olarak araştırmışlardır. Bu çalışmanın amacı; tankın soğuk su giriş kanalının karşısına konulan farklı ölçülerdeki plakaların, ısıl tabakalaşma üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu çalışma için sayısal model geliştirilerek, elde edilen deneysel sonuçlarla sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır. Depolama tankı içindeki suyun sıcaklığı 41 ve 44 °C alınarak, iki durumu için çalışma yapılmıştır. İki farklı bölgede sıcaklık tabakalaşması çizgileri oluşmuştur. İlki, plakanın hemen üzerinde oluşan ısıl tabaka çizgileri, diğeri ise tankın ortasındaki ısıl tabaka çizgileridir. Bu ısıl tabaka çizgilerinin oluşmasında, plaka çaplarının değiştirilmesi nın etkisi çok büyüktür. Daha geniş çaplı plakaların kullanılması durumunda, alışlagelmiş düşük akışlı

sistemlere göre daha büyük akışlı sistemlerin kullanılması, tabakalaşmayı iyi yönde etkilemektedir. Tankın üzerinden soğuk su girişi olduğu durumda, plaka çapının ve bu plakanın tankın üzerine olan mesafesinin, sıcaklık tabakalaşması üzerinde büyük bir etki yaptığını tespit etmişlerdir.

Zuri gat, Maloney ve Ghajar [44], tabakalaşması ısıl depolama tankları için bir boyutlu modellerin karşılaştırılması üzerine çalışmışlardır. Bu modellerden altı tanesi test edilmiş ve literatürden ve deneylerden elde edilen verilerle karşılaştırılması yapılmıştır. Depolama tankının performansını etkileyen çeşitli faktörler (iki ve üç boyutlu modeller için olmasına rağmen), bir boyutlu model için karışım parametrelerinin tanımlanması ve ısı depolama tankları olarak işlev yapan enerji sistemlerinin simülasyonu için kabul edilebilir ve pratik bir yolu göstermektedir.

2.1. Kaynak Araştırmasının Sonuçları ve Yapılan Çalışma

Yukarıda kaynak araştırmasında görüldüğü gibi güneş enerjili veya elektrik ısıtıcılı sıcak su depolama sistemlerindeki sıcaklık tabakalaşması üzerine geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar temel olarak aşağıdaki ana başlıklar altında toplanabilir.

1. Depolama tanklarında sıcak su tüketim miktarının ve zamanının sıcaklık tabakalaşmasına etkisi
2. Depolama tanklarının çeşitli dizayn parametrelerinin (değişik tank hacimleri, su giriş ve çıkış kanallarının geometrisi ve konfigürasyonları, , geometrik oranlar, d/D ve H/D yatay ve dikey konumu olmaları, tanka giren suyun dağıtıcı ile tanka girmesi ve dağıtıcının geometrisi vb. gibi) dolma verimine ve buna bağlı olarak ısıl tabakalaşmaya etkisi
3. Termosifon etkili sıcak su depolama sistemlerinde sıcak su kullanım zamanının, depo dolma zamanının, kütleli debi miktarının ve değişik tank modelinin tabakalaşma üzerine etkisi.
4. Sıcak su depolama tanklarının işletme parametrelerinin (tanka giren sıcak ve soğuk su debileri, hızları ve sıcaklıkları, farklı depolama suyu sıcaklıkları vb. gibi) değiştirilmesinin zamanla bağlı olarak tabakalaşmaya etkisi

5. Sabit depolama tankı duvar sıcaklıklarının, duvar kalınlıklarının, duvarların ısı yalıtımının ve farklı malzemelerden yapılmış tankların ısı iletkenlik etkilerinin ısı tabakalaşmaya etkisi
6. Tabakalaşma katsayısının(Mx sayısı: gerçek kullanışlı enerjinin tamamen karıştırılmış tanktan alınan enerjiye oranı) ısı tabakalaşmaya etkisi
7. Depolama tankındaki sıcak akışkan ile soğuk akışkanın yer değiştirmesi ile oluşan geçici türbülans alanının tanktaki tabakalaşmaya etkisi
8. Depolama tankı içerisindeki su sıcaklığına eşit veya daha yüksek sıcaklıktaki tanka su girişi nin sıcaklık tabakalaşması üzerine etkisi
9. Depolama tankına üstten veya alttan soğuk su girişi olduğu durumlarda, tankın içindeki plakaların çapının ve bu plakaların tankın üzerine ve altına olan mesafelerinin tabakalaşmaya etkisi araştırılmıştır. Çalışma yapılırken, tank içerisindeki farklı sıcaklıklardaki su miktarlarının ısı tabakalaşmaya etkisi de araştırılmıştır.

Kaynaklar bölümünde görüldüğü gibi güneş enerjili veya elektrik ısıtıcılı sıcak su depolama sistemleri üzerine günümüzde bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar ısı tabakalaşma konusunda çok zayıf kalmıştır. Yapılan bu çalışmalarda ya bir veya iki boyutlu modeller kullanılmıştır yada sadece zamana bağlı çözümler çeşitli dizayn ve işletme parametrelerinde yapılmıştır. Bununla birlikte hem deneysel ve hem de sayısal olarak yapılan çalışmalara da az rastlanılmıştır. Bu çalışmaların hepsinde, silindirik sıcak su depolama tanklarında sıcaklık tabakalaşmasının oluşturulması ve korunması için tankın içerisine silindirik plakaların belirli f/H ve g/D oranlarında yerleştirilmesi ile ilgili yapılan bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Ancak kaynak 23’de görüldüğü gibi Jalura ve Gupta bu tezde yapılan çalışmaya benzer bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ise hem kollektörden gelen sıcak su, hem de şebekeden gelen soğuk su aynı anda depolama tankına girmektedirler. Bu durum gerçekleşirken de tanktan kullanım suyu alınmaktadır. Bu olayın tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşmasını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu çalışmada da tankın içerisinde sıcaklık tabakalaşmasını oluşturmak için bir engel kullanılmamıştır. Bu konuda yapılan çalışmalardaki görülen bu eksikliği gidermek için, sıcak su depolama tanklarında yüksek sıcaklıkta belirli sürede kullanım suyu sağlamak için silindirik tank içerisine f/H ve g/D oranlarında dairesel plakalar yerleştirilerek

sıcaklık tabakalaşması nın korunması ve oluşturulması sağlanmıştır. Sabit işletme ve dizayn parametrelerinde bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışma üç boyutlu ve zamana bağlı durum dikkate alınarak, hem deneysel hem de sayısal olarak gerçekleştirilmiştir.

3. SAYISAL ÇALIŞMA

Teknik problemlerin çözümünde analitik, deneysel ve sayısal çalışma yöntemlerinden biri kullanılır. Bu yöntemler ayrı ayrı uygulanabildiği gibi, birlikte de kullanılabilir. Bu çalışmaya uygulanan sayısal çalışma yönteminde, uluslararası kabul görmüş ve sayısal akışkanlar dinamiği problemlerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan FLUENT paket programından yararlanılmıştır.

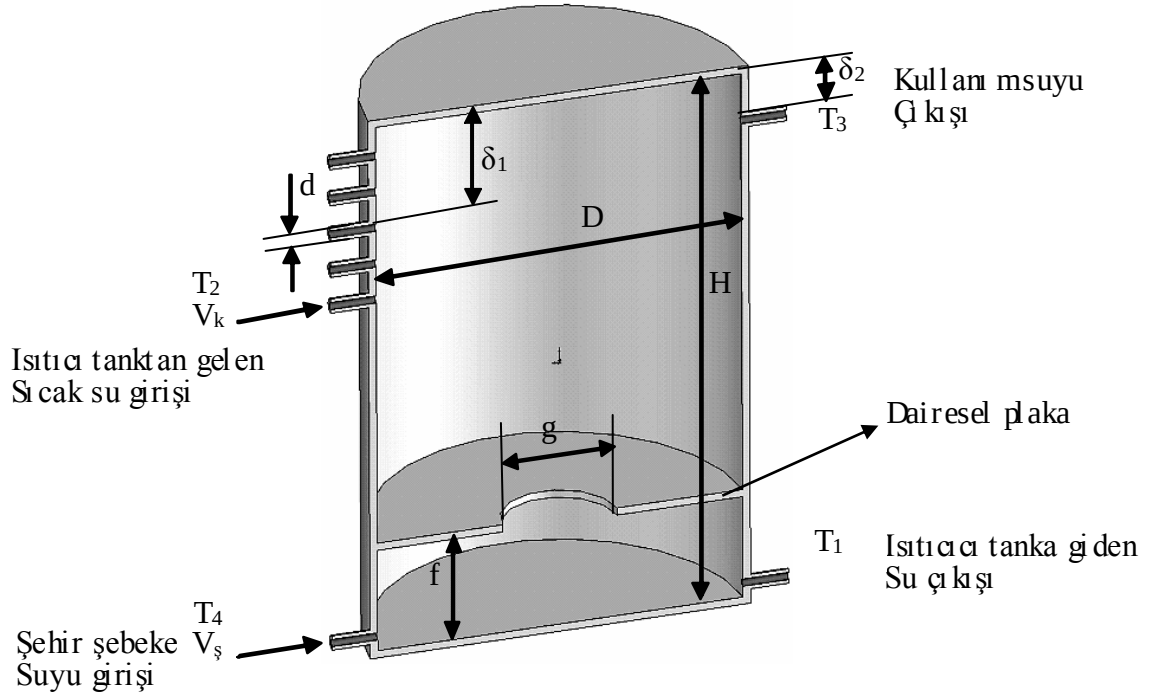
Sayısal çalışma ile ilgili ayrıntılar ve bu çalışmada dikkate alınan parametrelerin değerleri aşağıda sunulmuştur. Sıcak su depolama tanklarında sıcaklık tabakalaşmasının sayısal incelenmesinde, problemin tanımlanmasında kullanılan denklemler ile fiziksel model ve özellikleri, uygulanan sınır şartları ve yapılan varsayımlar burada verilmiştir.

3.1. Fiziksel Modelin Tanımlanması

Fiziksel model olarak silindirik koordinatlarda sıcak su depolama tankı ele alınmıştır ve geometri gereği akış üç boyutludur. Sayısal çalışmada problemi tanımlayan temel denklemleri çözebilmek için bazı kabuller yapılır. Bu kabüllerden biri de akışkanın yoğunluğunun zamanla değişmediği ve sıcaklık değişimlerinde yoğunluğun da değişken olduğu kabulüdür. Bu çalışmada akışın laminar ve zamana bağımlı olduğu varsayılmıştır.

Üzerinde çalışılan silindirik sıcak su depolama tankı Şekil 3.1 de görüldüğü gibi, 1 m çap ve 1.5 m boyunda dikey olarak modellenmiştir. Bu tankın üst kısmına yakın silindirik yüzeyde ve radyal doğrultuda sıcak su kullanım kanalı (T_3), sıcak su kullanım kanalına tamsimetrik ve aynı eksen üzerinde radyal doğrultuda silindirik yüzeye yerleştirilmiş ısıtma tankından gelen sıcak su giriş kanalı (T_2), Tankın alt kısmına yakın silindirik yüzeyde ve radyal doğrultuda şehir şebekesinden gelen soğuk su giriş kanalı (T_4), soğuk su giriş kanalına tamsimetrik ve aynı eksen üzerinde radyal doğrultuda silindirik yüzeye yerleştirilmiş ısıtıcı tankı giden su çıkış kanalı (T_1) bulunmaktadır.

Sıcak ve soğuk su giriş-çıkış kanallarının çapları 0.02 m, boyları ise 0.1 m'dir. Soğuk su giriş ve çıkış kanallarının tankın alt kısmına olan mesafesi 0.06 m ve sabittir. Sıcak su giriş kanalı tankın üzerine olan yükseklik mesafesi $\delta_1 = 0.2$ m'dir. Sıcak su giriş kanalına göre tam simetrik olarak yerleştirilmiş sıcak su (kullanım suyu) çıkış kanalı tankın üzerine mesafesi ise $\delta_2 = 0.15$ m'dir. Bu tank sıcak su depolama tankı olarak kullanılmaktadır. Bu tankın üst kısmında yani sıcak su kullanım kanalı bulduğu bölgede kullanım mesnasında yüksek sıcaklıkta



Şekil 3.1: Sıcak Su Tankının Kesit Görünüşü ve Fiziksel Büyüklükleri

uzun süre sıcak su bulundurulması istenmektedir. Bu nedenle bu bölgede sıcaklık tabakalaşması oluşturmak için tankın içerisine g çapında ortasına delik açılmış dairesel plaka f yüksekliğinde aksel olarak yerleştirilmiştir.

Sıcak su depolama tankı geometrisi göz önünde bulundurularak, problemleri inceleyebilmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin uygun sınır şartlarında çözülmesi gerekmektedir.

3.1.1 Temel denklemler

Kanal veya boru içinden akan akışkanın hareketini inceleyen Momentum, Süreklilik ve Enerji denklemleri akışkanlar mekaniğinde temel denklemler olarak adlandırılır. Bu denklemlerin genel formdaki hali akışkanlar mekaniğini kapsayan bütün kitaplarda mevcuttur.

Sulu ısıtma enerji depolama ünitelerinde sıcaklık tabakalaşması üzerine yapılan bu çalışmada çözüm alanı olarak sonlu hacimdeki bir tank geometrisi belirlenmiştir. Belirlenen bu çözüm alanı için sıcaklık tabakalaşması çözümlerinde kullanılan süreklilik, momentum ve enerji denklemleri laminar akış durumu için oluşturulmuştur. Oluşturulan denklemlerin çözümlerinde çözümü kolaylaştırmak için bazı yaklaşımlardan faydalanılmıştır. Bunlardan biri de Boussinesq yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda kütle kuvvetindeki yoğunluk değişimi hariç, diğer bütün akışkan transport özellikleri sabit kabul edilir.

Sıkıştırılamayan ($\rho=\text{sabit}$) ve zamana bağımlı akış için kütle, momentum ve enerji denklemleri üç boyutlu silindirik koordinatlardaki laminar akış için aşağıdaki gibi yazılabilirler.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left[\frac{1}{r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right] = 0 \quad (3.1)$$

r - yönündeki momentum denklemi:

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial V_r}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r \rho V_r V_r)}{\partial r} + \frac{\rho}{r} \frac{\partial (V_\theta V_r)}{\partial \theta} + \rho \frac{\partial (V_z V_r)}{\partial z} \\ &= - \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} \right) \right] + \mu \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \right] + \mu \left[- \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} \right] \\ &+ \frac{\rho V_\theta^2}{r} + \rho g_r \beta (T - T_0) \end{aligned} \quad (3.2)$$

θ - yönündeki momentum denklemi:

$$\rho \frac{\partial V_\theta}{\partial t} + \frac{\rho}{r} \frac{\partial (r V_r V_\theta)}{\partial r} + \frac{\rho}{r} \frac{\partial (V_\theta V_\theta)}{\partial \theta} + \rho \frac{\partial (V_z V_\theta)}{\partial z}$$

$$= -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (r V_\theta)}{\partial r} \right) \right] + \mu \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_\theta}{\partial z^2} \right] + \mu \left[\frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} \right] - \frac{\rho V_r V_\theta}{r} + \rho g_\theta \beta (T - T_0) \quad (3.3)$$

z - yönündeki momentum denklemi:

$$\rho \frac{\partial V_z}{\partial t} + \frac{\rho}{r} \frac{\partial (r V_r V_z)}{\partial r} + \frac{\rho}{r} \frac{\partial (V_\theta V_z)}{\partial \theta} + \rho \frac{\partial (V_z V_z)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (r V_z)}{\partial r} \right) \right] + \mu \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z \beta (T - T_0) \quad (3.4)$$

Enerji denklemi ise:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + V_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\} + \mu \Phi \quad (3.5)$$

V_r , V_θ , V_z ; r , θ ve z yönlerindeki hızlar, P_r , P_θ , P_z ; r , θ ve z yönlerindeki basınçlar, T ; sıcaklık, μ dinamik viskozite, ρ akışkan yoğunluğu, β ısı genleşme katsayısı, k ısı iletim katsayısı, $g = g \cos \phi$, $g_\theta = g \sin \phi$, $g_z = g$ 'ler ise; r , θ ve z yönlerindeki yerçekimi ivmeleri, C_p ise; akışkanın sabit basınçtaki özgül ısısıdır. Viskoz disipasyon ihmal edilmiştir. Akışkana ait transport özellikleri sabit kabul edilmiştir. Bu varsayımlar, ister istemez bazı hataları da beraberinde getirir. Fakat sıcaklık değişimlerinin fazla olması bu hataların büyük olmasını engeller. Yukarıdaki momentum denklemlerinde bulunan $\rho g \beta (T - T_0)$ ifadesi fiziksel olarak kaldırma kuvveti (buoyancy force) ile ilgili terim olarak tanımlanır ve akışkanın doğal taşınım nedeniyle ivmelenmesini gösterir. T_0 ise giriş sıcaklığını göstermektedir.

Duvar sınır şartları:

Tankın alt ve üst duvarlarında ve silindirik duvarda kaymanın olmadığı (no slip condition) ve ısı olarak yalıtıldığı varsayılarak hızlar ve sıcaklık gradyanları için sınır şartları bu yüzeylerde,

$$\begin{aligned}
 \text{Silindirik duvar:} \quad & \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = 0 & (0 < \varphi < 2\pi, 0 < z < H) \\
 & V_r = 0, \quad V_\theta = 0, \quad V_z = 0 & (r = R, 0 < \varphi < 2\pi, 0 < z < H) \\
 \text{Üst duvar:} \quad & \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=H} = 0 & (0 < r < R, 0 < \varphi < 2\pi) \\
 & V_r = 0, \quad V_\theta = 0, \quad V_z = 0 & (0 < r < R, 0 < \varphi < 2\pi, z = H) \\
 \text{Alt duvar:} \quad & \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 & (0 < r < R, 0 < \varphi < 2\pi) \\
 & V_r = 0, \quad V_\theta = 0, \quad V_z = 0 & (0 < r < R, 0 < \varphi < 2\pi, z = 0)
 \end{aligned}$$

olarak yazılmışlardır.

3.1.3 Boyut analizi

Problemleri tanımlayan temel denklemlerin boyutsuz hale getirilmesi niki faydası vardır. Bunlardan birincisi, parametrik çalışma sonuçlarının, bir çok boyutlu değer yerine, birkaç boyutsuz karakteristik parametreye göre incelenerek sonuçların diğer çalışmalarla karşılaştırılması imkanı sağlamasıdır. İkincisi ise, kullanılan değişkenlerin değerlerinin normalize edilmesi ne yardımcı olmaktadır [3].

Boyutsuzlaştırma işleminde karşılaşılan temel güçlük uygun karakteristik büyüklüklerin seçilmesidir. Böylece, boyutsuz değişkenler kabaca aynı mertebeye getirilmiş olur. Geçerli boyutsuzlaştırma parametreleri bir çok değişkenler için mevcuttur. Mesela silindirik koordinatlardaki bir silindriktankın r ve z uzunlukları, tank için seçilen karakteristik uzunluk ile boyutsuzlaştırılabilir. Bu karakteristik uzunluk tankın yüksekliği veya bu tankın hidrolik çapı olarak alınabilir. Hidrolik çap daha çok tankın içinde radyal yöndeki etkileri içeren bir karakteristik uzunluk ölçüsüdür. Tank yüksekliği, tank içerisinde eksenel yöndeki sıcaklık tabakalaşması etkilerini içeren bir büyüklük olduğu için, bu çalışmada karakteristik uzunluk olarak tercih edilmiştir.

Buna göre;

$$r^* = \frac{r}{H}, \quad Z^* = \frac{z}{H}, \quad \phi^* = \frac{\phi}{2\pi}$$

$$V_r^* = \frac{V_r}{U_0}, \quad V_\theta^* = \frac{V_\theta}{U_0}, \quad V_z^* = \frac{V_z}{U_0}$$

$$T^* = \frac{T - T_0}{T_b - T_0}, \quad P^* = \frac{P - P_0}{\rho \cdot U_0^2}, \quad t^* = \frac{U_0 \cdot t}{H},$$

Boyutsuz sayılar:

$$Re = \frac{U_0 H}{\nu}, \quad Gr = \frac{g \beta (T_b - T_0) H^3}{\nu^2}, \quad Ri = \frac{Gr}{Re^2}, \quad Pe = \frac{U_0 H}{\alpha} = Re Pr, \quad \alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

şeklinde yazılabilir. Burada T_0 ; şehir şebeke suyunun tanka giriş sıcaklığı, T_b ; depolama tankında ilk anda bulunan kullanma başlamadan önceki ısıtılmış suyun sıcaklığı, P_0 ; Atmosfer basıncı, H Karakteristik uzunluk(tankın yüksekliği) ve U_0 ise r yönündeki tanka giren soğuk suyun üniform giriş hızıdır. Boyutsuz hale getirilmiş denklemler ise;

Süreklilik denklemi:

$$\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^*)}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial V_\theta^*}{\partial \theta^*} + \frac{\partial V_z^*}{\partial z^*} = 0 \quad (36)$$

r- momentum denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_r^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^* V_r^*)}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (V_\theta^* V_r^*)}{\partial \theta^*} + \frac{\partial (V_z^* V_r^*)}{\partial z^*} \\ &= -\frac{\partial P^*}{\partial r^*} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^*)}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 V_r^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 V_r^*}{\partial z^{*2}} - \frac{2}{r^{*2}} \frac{\partial V_\theta^*}{\partial \theta^*} \right] \\ &+ \frac{V_\theta^{*2}}{r^*} + \frac{Gr}{Re^2} T^* \cos \theta \end{aligned} \quad (37)$$

θ - momentum denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_\theta^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^* V_\theta^*)}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (V_\theta^* V_\theta^*)}{\partial \theta^*} + \frac{\partial (V_z^* V_\theta^*)}{\partial z^*} \\ &= -\frac{1}{r^*} \frac{\partial P^*}{\partial \theta^*} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_\theta^*)}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 V_\theta^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 V_\theta^*}{\partial z^{*2}} + \frac{2}{r^{*2}} \frac{\partial V_r^*}{\partial \theta^*} \right] \end{aligned}$$

$$-\frac{V_r^* V_\theta^*}{r^*} + \frac{Gr}{Re^2} T^* \sin \theta \quad (3.8)$$

z- momentum denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_z^*}{\partial t^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_r^* V_z^*)}{\partial r^*} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial (V_\theta^* V_z^*)}{\partial \theta^*} + \frac{\partial (V_z^* V_z^*)}{\partial z^*} \\ &= -\frac{\partial P^*}{\partial z^*} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial r^*} \left(\frac{1}{r^*} \frac{\partial (r^* V_z^*)}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 V_z^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 V_z^*}{\partial z^{*2}} \right] + \frac{Gr}{Re^2} T^* \end{aligned} \quad (3.9)$$

Enerji denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T^*}{\partial t^*} + V_r^* \frac{\partial T^*}{\partial r^*} + \frac{V_\theta^*}{r^*} \frac{\partial T^*}{\partial \theta^*} + V_z^* \frac{\partial T^*}{\partial z^*} \\ &= \frac{1}{Pr Re} \left[\frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* \frac{\partial T^*}{\partial r^*} \right) + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial^2 T^*}{\partial \theta^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial z^{*2}} \right] \end{aligned} \quad (3.10)$$

şeklinde. Yukarıdaki denklemlerde de görüldüğü gibi probleme etkiyen boyutsuz parametreler Re , $R = Gr/Re^2$, $Pe = Pr Re$ ’dir. Dolayısı ile problemin incelenmesinde bu parametreler dikkate alınmalıdır. Bu denklemlerle ilgili başlangıç ve sınır şartları boyutsuz olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

Başlangıç şartları:

$$\begin{aligned} t^* = 0 \text{ da ; } \quad V_r^* = 0, \quad V_\theta^* = 0, \quad V_z^* = 0 \quad (0 < r^* < R/H, \quad 0 < \varphi^* < 1, \quad 0 < z^* < 1) \\ T_1^* = T_2^* = T_3^* = T_4^* = T_5^* = 1 \end{aligned}$$

Giriş sınır şartları:

$$\begin{aligned} V_{r,4}^* = 1, \quad V_{\theta,4}^* = 0, \quad V_{z,4}^* = 0, \quad T_4^* = 0 \quad (r^* = R/H, \quad \varphi^* = 0.5, \quad z^* = \delta_3/H) \\ V_{r,2}^* = \frac{U_2}{U_0}, \quad V_{\theta,2}^* = 0, \quad V_{z,2}^* = 0 \\ T_2^* = 1 - 0.02025 t^* \quad (g/D = 0.1 \text{ için}) \quad (r^* = R/H, \quad \varphi^* = 0.5, \quad z^* = 1 - \delta_1/H) \\ T_2^* = 1 - 0.01925 t^* \quad (g/D = 0.2 \text{ için}) \quad (r^* = R/H, \quad \varphi^* = 0.5, \quad z^* = 1 - \delta_1/H) \\ T_2^* = 1 - 0.01875 t^* \quad (g/D = 0.3 \text{ için}) \quad (r^* = R/H, \quad \varphi^* = 0.5, \quad z^* = 1 - \delta_1/H) \end{aligned}$$

$$T_2^* = 1 - 0.01750 \cdot t^* \quad (g/D = 0.4 \text{ için}) \quad (r^* = R/H, \varphi^* = 0.5, z^* = 1 - \delta_1/H)$$

$$T_2^* = 1 - 0.01350 \cdot t^* \quad (g/D = 0.5 \text{ için}) \quad (r^* = R/H, \varphi^* = 0.5, z^* = 1 - \delta_1/H)$$

Duvar sınır şartları:

Tankın alt ve üst duvarlarında ve silindirik duvarda kaymanın olmadığı (no slip condition) ve ısı olarak yalıtıldığı varsayılarak hızlar ve sıcaklık gradyanları için sınır şartları bu yüzeylerde,

$$\begin{aligned} \text{Silindirik duvar:} \quad \left. \frac{\partial T^*}{\partial r^*} \right|_{r^*=R/H} &= 0 & (0 < \varphi^* < 1, 0 < z^* < 1) \\ \\ \\ \text{Üst duvar:} \quad \left. \frac{\partial T^*}{\partial z^*} \right|_{z^*=1} &= 0 & (r^* = R/H, 0 < \varphi^* < 1, 0 < z^* < 1) \\ & & (0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1) \\ \\ & & (0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1, z^* = 1) \\ \\ \text{Alt duvar:} \quad \left. \frac{\partial T^*}{\partial z^*} \right|_{z^*=0} &= 0 & (0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1) \\ \\ & & (0 < r^* < R/H, 0 < \varphi^* < 1, z^* = 0) \end{aligned}$$

olarak yazılmışlardır.

3.2 Sayısal Çözüm Yöntemi

Isı ve kütle transferi, akışkanlar mekaniği, kimyasal reaksiyonlar gibi uygulamalarda sayısal Akışkanlar dinamiği'nin önemi büyüktür. Günümüzde Sayısal Akışkanlar Dinamiği'nde modellenen problemlerin çözümü, bu konuda yazılmış paket programlar ile yapılmaktadır. Bu paket programlar ise FLUENT, ANSYS, PHOENICS v.b. gibi paket programlardır. Yapılan çalışmada FLUENT paket programı kullanılmıştır. FLUENT ile korunum denklemleri, verilen sınır şartları altında boyutlu formda çözülmüştür. Program hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

3.2.1. FLUENT paket program

FLUENT 5.3 paket program, çeşitli geometrilerde cereyan eden ısı ve kütle transferi, akışkanlar mekaniği, kimyasal reaksiyonlar ve bunun gibi olayların simülasyonunu yapan, süreklilik momentum ve enerji denklemlerini sayısal olarak çözmek için tasarlanmış genel amaçlı bir bilgisayar programıdır. Denklemleri çözerken SIMPLE algoritmasını kullanır[45]. Probleme ait modelin geometrisinin oluşturulması, bu geometriye ait sınır şartlarının tanımlanması ve grid üretiminin gerçekleştirilmesi vb. gibi işlemler FUEENT paket programının ön işlemcisi olan GAMBIT alt programında yapılarak FLUENT programına aktarılır. Aktarılan gridler, Fluent 5.3 programında düzeltilme ve iyileştirme gibi adaptasyon işlemine tabi tutulur. Bu grid adaptasyonu ise istenilen grid üretimi için gereken zamanı azaltır. Fluent 5.3 paket program, C bilgisayar dilinde yazılmıştır ve geniş kullanım kolaylığı sağlar. Doğru dinamik hafıza merkezi, yeterli veri yapıları ve geniş çözüm kontrolü gibi özellikleri içerir[45].

3.2.1.1. Ayırıştırma işlemi

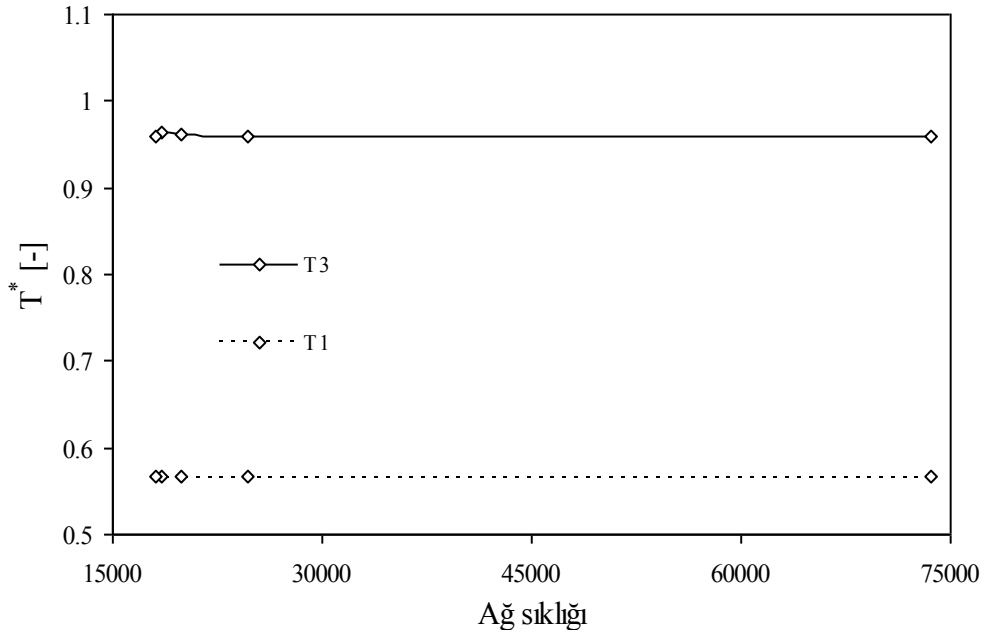
FLUENT paket program lineer olmayan kısmi diferansiyel denklem setlerinin çözümüne iteratif sayısal yaklaşımlar getirir. Diferansiyel denklemlerin ayrıştırılmasında sonlu hacim metodunu kullanır. Bu metod uygulanırken problem alanı çok küçük kontrol hacimlerine bölünür ve denklem bu kontrol hacimlerinde integre edilir.

Kullanılan grid sistemi ve ağ sıklığının belirlenmesi:

Problemin diferansiyel denklemlerini sayısal olarak çözebilmek için ilk yapılması gereken işlem çözüm alanını kontrol hacimlerine bölerek bir grid (kafes) sistemi oluşturmaktır. Teorik olarak çözüm alanının içerisindeki her noktada, diferansiyel denklemler cebirsel olarak ifade edilebilirler. Bu ise sonsuz sayıda denklem demektir. Bu kadar cebirsel denklemleri çözmek mümkün olmadığından, diferansiyel denklemler, çözüm alanı içerisinde belirli sayıda noktada cebirsel olarak ifade edilir. Bu noktalara grid noktası ve bu noktaların oluşturduğu sisteme de grid sistemi adı verilmektedir. Çözüm alanı içerisinde, diferansiyel denklemlerin belli sayıda noktada ayrıştırılması ile elde edilen cebirsel denklemler çözülerek, bağımlı değişkenlerin değerleri sadece bu noktalar için bulunur. Sonuçların hassasiyeti için uygun grid sayısını belirlemek gerekir. Bu da ancak sayısal deneyle mümkün olmaktadır.

Ayrıklaştırılmış cebirsel eşitliklerin çözümü ile kafes sistemindeki her düğüm noktasında bağımlı değişkene ait bilinmeyenler hesaplanır ve seçilen bölgeye ait bir çözüm alanı elde edilir. Eğer sık bir kafes sistemi seçilmişse çözüm alanındaki düğüm sayısı artacak ve böylece daha iyi ve hassas bir dağılım elde edilecektir. Buna karşın sık ağ seçmek artan düğüm noktası sayısına bağlı olarak çözülecek cebirsel eşitliklerin sayısını da artıracak, bu da hesaplama süresini artıracaktır. Bu durumda çözüm bölgesine ait seçilecek ağ sıklığı (grid sayısı), hesaplama süresini artırma malı fakat, yeterince iyi hassas çözüm verecek şekilde olmalıdır.

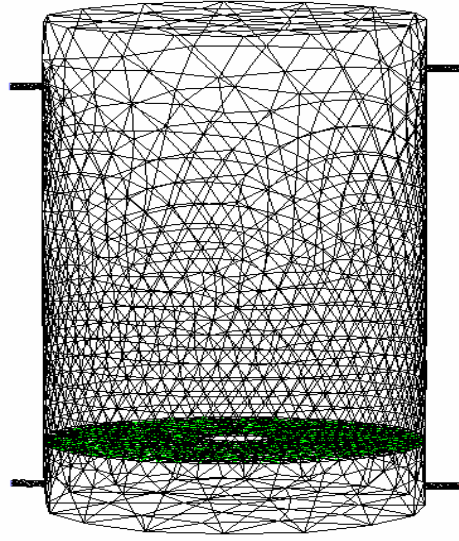
Bu çalışmada önce çözüm bölgesine ait uygun bir ağ sıklığı (grid sayısı) tesbit edilmiş ve sonraki hesaplamalar bu ağ sıklığında yapılmıştır. Bunun için Fluent 5.3 programında, üzerinde çalışılan model için diğer bütün parametreler sabit tutularak 73568, 24677, 19954, 18483, 18133 ağ (grid) sayıları için çözümler üretilmiş, T_3 ve T_1 sıcaklıklarının zamana bağlı grafikleri bu ağ sıklıklarında Şekil 3.3 de gösterilmiştir. Bu grafikten yararlanarak 18483 ağ sıklığından (grid sayısından) sonra çözümün ağ sıklığından bağımsız olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.3: Ağ Sıklığının T_3 ve T_1 Sıcaklıklarına Etkisi

Akış ve ısı transferi problemlerinde, çözüm alanı içerisinde belirli bölgelerdeki akış ve sıcaklıkla ilgili gradyanlar büyük ise, yapılan çözümün doğruluğu için homojen sık bir ağ kullanılmıyorsa, sadece büyük akış ve sıcaklık gradyanlarının olduğu bölgelerde sıklaşan bir ağ yapısının kullanılması gerekir. Bu şekilde homojen olmayan ağ kullanılması, çözüm alanı içerisindeki eşitliklerin çözüleceği düğüm

noktalarının azaltılmasını sağlamış olur ve bu da çözüm zamanını azaltacağı gibi çözümün doğruluğunu da artırır[3]. Bunun için yapılan çalışmada çözüm alanı içerisindeki akış ve ısı transferi büyüklüklerine ait gradyanların büyük olduğu akışkan giriş-çıkış kanallarına ait bölgelerde sık, silindirik plaka ve buna açılan delik için biraz daha sekrek, silindirik plakanın altında ve üzerinde kalan bölgelerde ise daha seyrek homojen olmayan bir ağ yapısı kullanılmıştır. Şekil 3.2’deki gibi bir çözüm bölgesi için üretilmiş homojen olmayan bir ağ yapısı Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

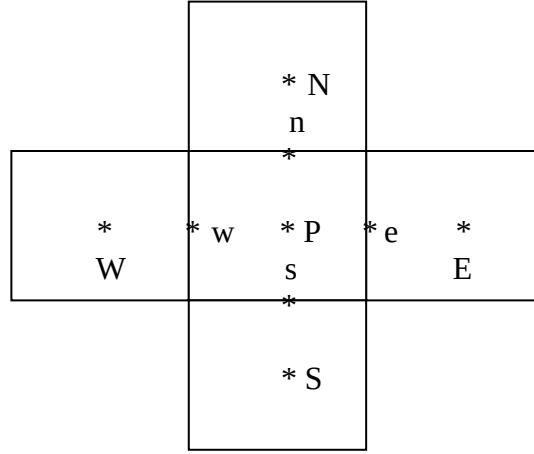


Şekil 3.4: Çözüm Bölgesi İçin Üretilmiş Homojen Olmayan Ağ Yapısı

Hücre tanımlaması:

Sayısal problemlerin çözümünde kullanılan bilgisayar programları, kısmi diferansiyel denklemleri doğrudan çözmezler. Sayısal akışkanlar dinamiği ile kısmi diferansiyel denklemler ayrıştırılarak lineer cebirsel denklemlere dönüştürülür. Bu denklemler bilgisayar programları yardımı ile çözülerek sonuca gidilir. Lineer cebirsel denklemlerin oluşturulmasında bir çok yöntem vardır. Bunlar; sonlu farklar (finite difference), sonlu hacimler (finite volume), sonlu elemanlar (finite elements) vb. gibidir. Bu çalışmada kullanılan FLUENT bilgisayar programında sonlu hacimler metodu kullanılmaktadır.

Şekil 3.5’de tek bir hücre dört komşu hücre ile birlikte görülmektedir. Sıcaklık, basınç ve yoğunluklar P, N, S, E hücre merkezlerinde, hızlar ise w, e, s, n hücre duvarlarında hesaplanır.



Şekil 3.5: Komşu Hücreler ve Tek Hücre

Ayrıklaştırma işleminin akışkanlar mekaniğine uygulanması:

FLUENT, kütle momentum ve enerji denklemleri ile ilgili, bir, iki, üç boyutlu geometriler, sürekli ve süreksiz problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan programlardan biridir.

Sıkça karşılaşılan bu problemler kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilirler.

Korunum yasalarının genel ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_i \rho_i \phi_i) + \text{div}(r_i \rho_i \vec{V} \phi_i - r_i \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = r_i S_{\phi_i} \quad (3.11)$$

↓	↓	↓	↓
zaman	konveksiyon	difüzyon	kaynak
bağlı terim	terim	terim	terim

Burada

t zaman

r_i i fazının hacimsel kesri,

ρ i fazının yoğunluğu,

ϕ_i i fazının entalpi, birim kütle başına momentum vb özelliği

Γ_{ϕ_i} i fazındaki ϕ 'nin değışi mkat sayısı

$\vec{V}_i$ i fazının hız vektörü

S_{ϕ_i} ϕ_i 'nin kaynak oranı

olarak ifade edilmektedir.

İ fazı için kütlelenin korunumu şu şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_i \rho_i) + \text{div}(r_i \rho_i \vec{V}_i) = r_i S_i \quad (3.12)$$

S_i , birim kütle başına faza giren kütledir.

Tek fazlı durumda hacimsel kesir sadeleştirilirse denklem (3.12) şu hale gelir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \text{div}(\rho \phi \vec{V}) - \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad} \phi) = S \quad (3.13)$$

ve kütlelenin korunumu ise,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.14)$$

durur. İkinci faz yoksa, sonlu kütle kaynağı olmayacağından denklem (3.14)'ün sağ tarafı görüldüğü gibi sıfırdur.

Sonlu hacimler ayrıklaştırma metodu:

Sayısal Akışkanlar Dinamiği'nde kısmi diferansiyel denklemler, lineer cebirsel denklemlere dönüştürülür. Bu cebirsel denklemleri oluşturmak için bir çok yöntem mevcuttur. FLUENT'te sonlu hacim metodu kullanılmaktadır. Denklemleri çözmek için ayrıca sınır şartlarında bilinmesi gerekir.

Gerekli sınır şartlarının belirlenebilmesi için, korunum denklemlerinin genel hali olan denklem (3.11) A yüzey alanı, V hacimli bir hesaplama bölgesinde integre edilip, diverjans (divergence) teoremi uygulanırsa,

$$\iint_A dA (r_i \rho_i V \phi_i - r_i \Gamma_i \text{grad} \phi_i)_n = \iiint_V dv [r_i S_i - \frac{\partial}{\partial t}(r_i \rho_i \phi_i)] \quad (3.15)$$

bulunur. Görüldüğü gibi konvektif ve difüzyif akıların yüzey normallerinin

$(r_i \rho_i \vec{V} \phi_i - r_i \Gamma_i \text{grad} \phi_i)_n$ sınırlarında verilmesi gerekir.

Diferansiyel denklemler takımı olan denklem(3.13) ve (3.14)'ün, bir hücrenin sonlu hacmi üzerinden ve zamana bağlı problemlerde sonlu zaman aralığına göre integrali alınırsa, denklem(3.16) verilen cebirsel denkleme elde edilir[45].

Şekil 3.2 deki hücreye dikkate alındığında, P noktasında ϕ_p değeri komşu ϕ değerleri ile ilişkilidir. Ayrıca problem zamana bağlı ise, bir önceki zaman dilimi ile de ilişkilidir. Bu açıklamalar ışığında lineer cebirsel denklemi şu şekilde yazmak mümkündür.

$$a_p \phi_p = a_N \phi_N + a_S \phi_S + a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_H \phi_H + a_L \phi_L + a_T \phi_T + S \quad (3.16)$$

Yukarıdaki cebirsel denklemde ' ϕ ' bağımlı değişkeni, E, W, N, S, H ve L doğu, batı, kuzey, güney, yüksek ve düşük olmak üzere bu değişkenin hesap edildiği pozisyonları, alt indis T, önceki zamandaki değeri, 'a' terimlerin katsayılarını, 'S' kaynağı, temsil etmektedir.

Denklem(3.16)'ya dikkat edilirse, her komşu hücrenin ayrı bir katsayısı mevcuttur. Bu katsayıların aldığı değerler; hücre geometrisi, akışkanın bir hücreden diğerine akış hızı ve akışkanın yerel özellikleri gibi faktörlere bağlıdır. Bütün katsayıların biliniyor olarak kabul edilmesi, her bir değişken, hücre ve zaman dilimi için katsayıların bilinmesi demektir. Bu ise $NR * N\theta * NZ * N\phi * NT$ çarpım kadar katsayının bilinmesi demektir. Buradaki NR, N θ , NZ sırası ile r, θ ve z- yönündeki hücre sayısı, N ϕ değişken sayısı, NT ise çözümün süreksiz olması durumu için zaman dilimi sayısıdır. Skalar büyüklükler olan basınç, entalpi ve konsantrasyonun çözümünde hücre merkezinden yararlanılır.

Ayrıklaştırma işlemi yapılırken kaynak terimi 'S' nin de lineer bir forma getirilmesi gerekmektedir. Sonlu hacimdenklemlerine, lineer cebirsel denklemlerin çözümünde kullanılan teknikleri uygulamak için, kaynak teriminin de lineer olması gerekir. Ayrıca yukarıda açıklandığı gibi, akışkanlar mekaniği problemlerinin çözümünde, çözüm bölgesinin sınırları da konvektif ve difüzyif akıların da bilinmesi gerekir. FLUENT programının bunun için esnek bir yapıya sahiptir.

3.2.2 FLUENT işletim sistemi

Fluent işletim sistemi başlıca üç ana işlemden oluşmaktadır. Bunlar, problemin modellenmesi, çözümlerin hesaplanması ve sonuçların ekrandan görülmesi gibi işlemlerdir. Bütün işlemler, programdaki menüler vasıtası ile yapılır. Bu işlemleri

gerçekleştirilmek için programda çözülecek problemin önceden planlanması gerekir. Bu planlama işlemi dört aşamada yapılır [45]. Bunlar aşağıdaki gibidirler.

1. Model amacının tanımlanması: Hangi problem modellenmesinin yapılacağı, bu problemin Fluent 5.3’de nasıl çözüleceği ve çözümün doğruluk derecesinin ne olacağı belirlenmelidir.
2. Bilgisayar modelin seçimi: Modellenen fiziksel sistemin çözümünün hangi bilgisayar modelde nasıl yapılacağı, problemin bilgisayar çözümü için ilk verilerin hangi noktada başlayıp hangi noktada biteceği, fiziksel modelde hangi sınır şartlarının kullanılacağı, modellenen problemin iki mi veya üç boyutlu mu olacağı, modellenen probleme ne çeşit grid topolojisinin en iyi uyuşması sağlayacağı belirlenmelidir.
3. Fiziksel modelin seçilmesi: Akışın sürtünmesiz, laminar veya türbülans akış modeli mi olacağı, modellenen problemde ısı transferinin önemi nedir, akışkanın sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akışkan mı olacağı, modellenen problemin çözümü için tavsiye edilen başka fiziksel modeller var mı, gibi soruların cevabı belirlenmelidir.
4. Çözüm prosedürünün kararlaştırılması: Problemin basit olarak mı, programın kabul ettiği çözücü formülasyon veya çözüm parametreleri kullanarak mı çözüleceği, temel denklemlerin yakınsama kriterlerinin hangi değerde seçileceği, kullanılan bilgisayarın hafızasının çözülecek problemi için yeterli olup olmayacağı, problemin çözümünün yakınsaması için kullanılan bilgisayarda ne kadar zamanın geçeceği gibi kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2.2.1. Problemin çözüm aşamaları

1. Geometrik modelin ve grid üretiminin oluşturulması
2. İki veya üç boyutlu model için uygun çözücü ile başlanması
3. Model için oluşturulan gridlerin programa gönderilmesi
4. Programda model gridlerinin doğruluğunun kontrol edilmesi
5. Çözümü için temel denklemlerin seçimi (laminar, türbülans ve sürtünmesiz akış modeli vb.)
6. Akışkan ve akışkan özelliklerinin programa girilmesi
7. Sınır şartlarının programa girilmesi
8. Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması

9. Akış alanının ilk değerlerini tanımlanması
10. Problemin çözülmesi
11. Sonuçların monitörden incelenmesi (sıcaklık dağılımı, hız vektörleri vb.)
12. Sonuçların bilgisayar ortamında kaydedilmesi

3.2.2.2 Yakınsama kriterleri

Yapılan sayısal bir çalışmada çözünün yakınsama kriterlerine uyması, Bilgisayarlı Akışkanlar Dinamiği modellenmesinde çok önemlidir. Paket programda temel denklemlere ait cebirsel eşitliklerin her birinin sayısal çözümü, bir kalıntı (sayısal hata) içerir. Bu hata ise kontrol hacmi içindeki bütün hücreler için hesaplanan eşitliklerdeki kalıntıların toplamıdır. Paket program iterasyona devam ederken her bir iterasyondaki bu sayısal hatalar paket programın ekranından da izlenir.

Yapılan bu simülasyon çalışmasında; basınç denkleminin underrelaxation faktörü 0.3, momentum denklemlerinin underrelaxation faktörü 0.7, enerji denkleminin underrelaxation faktörü 0.5, gövde kuvveti ve yoğunluğun underrelaxation faktörleri ise 1 değerleri seçilmiştir. Süreklilik ve momentum denklemlerinin yakınsama kriterleri için 0.001 ve enerji denkleminin yakınsama kriteri için ise 0.000001 değerleri alınmıştır. Süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin yakınsama değerleri yukarıda ifade edilen değerlerin altında olduğu zaman, programın temel denklemlere ait cebirsel denklemleri, sayısal olarak doğru çözdüğü kabul edilir.

3.3 Sayısal Yöntemle Yapılan Çalışmada Kullanılan Şartların Belirlenmesi

Yukarıda bahsedilen Sayısal Akışkanlar Dinamiği paket programında, belirlenen modelin akışkan girişleri ve duvarlarına ait sınır şartları Bölüm 3.1.2'de tanımlanmıştır. Giriş sınır şartları olarak, giriş hızı, akışkanın giriş kompozisyonu (karışım) ve akışkan sıcaklığı birlikte giriş şartları olarak verilebilir. Duvar sınır şartları olarak ise duvarın hareketli veya durgun olması belirlenir ve duvarın ısı sınır şartı (adyabatik, sabit sıcaklık vb.) verilebilir[45]. Yapılan bu çalışmada duvar statik (durgun) olarak kabul edilmiştir ve duvardaki hızlar sıfır alınmıştır. Sıcak su depolama tankının duvar sınır şartı adyabatik olarak, yani tanktan dışarı ısı alışverişi yoktur diye tanımlanmıştır.

FLUENT paket program uygulanarak yapılan bu sayısal çalışmada, deneysel metodla yapılan çalışmalarda dikkate alınan sınır şartları kullanılmıştır. Sıcak su

depolama tankı içerisine, tank içerisinde sıcaklık tabakalaşmasına yardımcı olması amacıyla ile, g çapında ortasına delik açılmış dairesel plaka f yüksekliğinde eksenel olarak yerleştirilmiştir. Dolayısı ile bu durum çözüm için bir sınır şartı oluşturmaktadır. Bu nedenle sayısal çalışmada $f/H = 0.067, 0.133, 0.2, 0.27, 0.33$ ve $g/D = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ sınır şartları dikkate alınarak çözümler üretilmiştir.

3.3.1. Sınır şartlarının belirlenmesi

Deney anında sıcak su depolama tankındaki suyun ısıtılması işlemi, ısıtma tankında elektrikli ısıtıcı kullanılarak yapılmaktadır. Isıtma tankından depolama tankına gelen suyun sıcaklığı 335 K'dir. Bu sıcaklık Yozgat ilinde Haziran ayı içerisinde eğik düzlemüzerine gelen ortalama $I = 920 \text{ W m}^{-2}$ [46] anlıkışın miktarına göre, $A = 4 \text{ m}^2$ lik Güneş kolektörü alanı için güneş kolektörü çıkış sıcaklığı olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sıcaklığın sağlanması için ısıtma tankında gücü 10 kW olan bir elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır.

Depolama tankındaki suyun sıcaklığı kullanıma başlamadan önce ($t = 0$ dak) 335 K'dir. Daha sonra kullanımsuyu alınmaya başlanmaktadır. Bu esnada her g/D oranı ve engelsiz tank durumu için, 5 dakika aralıklarla ısıtıcı tanktan depolama tankına giden suyun sıcaklığı T_2 ölçülmüştür. Örneğin 5. dakikada suyun sıcaklığı yüksek, 30. dakikada suyun sıcaklığı yaklaşık 320 K civarlarına kadar düşmektedir. Ölçülen bu sıcaklık değerleri ışığında, $g/D = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ oranlarında ve engelsiz tank durumunda altı adet zamanla bağlı lineer fonksiyon elde edilmiştir. Bu fonksiyonlar: $g/D = 0.1$ için $T_2 = 335 - 0.0081 \cdot t$, $g/D = 0.2$ için $T_2 = 335 - 0.0077 \cdot t$, $g/D = 0.3$ için $T_2 = 335 - 0.0075 \cdot t$, $g/D = 0.4$ için $T_2 = 335 - 0.0070 \cdot t$, $g/D = 0.5$ için $T_2 = 335 - 0.0054 \cdot t$ ve engelsiz tank için $T_2 = 335 - 0.0048 \cdot t$ 'dir. Zamanın fonksiyonu olarak tanımlanan bu sıcaklık sınır şartları; her bir g/D oranı ve engelsiz tank durumu için Fluent 5.3 paket programında tanımlanan modelde, ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun sıcaklığı (T_2) olarak verilmiştir. Bu sınır şartında ısıtma tankından depolama tankına giren suyun hızı debi ölçer ile ölçülmüş ve $U_2 = 0.8 \text{ m/s}$ değerinde olduğu tesbit edilmiştir.

Şehir şebekesinden tanka giren soğuk suyun sıcaklığının 290 K ve hızının ise $U_0 = 0.6 \text{ m/s}$ olduğu belirlenmiştir. Tankın içerisindeki akışkanın ilk andaki hızları sıfır, tanktan kullanımı için sıcak su alınmaya başlandığı andaki suyun sıcaklığı 335 K ve sistemin çalışma basıncı ise atmosfer basıncı olan 101.325 kPa alınmıştır. Sıcak su depolama tankından sıcak kullanımsuyunun alınmaya başlandığı ve bittiği an,

çözüm aralığı olarak kabul edilmiştir ve bu çözüm aralığı 30 dakikadır. Bu nedenle tanka giren ve çıkan akışkanlar zamanla bağımlıdır ve problem zamanla bağımlı olarak çözülmüştür. Tankı ni ideal olarak yalıtıldığı kabul edilerek tanktan dışarıya ısı kaybının olmadığı düşünülmüştür.

3.3.3 Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Akışkan problemlerini çözmede akışkanın fiziksel özellikleri gereklidir. Fluent 5.3 paket programında akışkanın fiziksel özellikleri (yoğunluğu, özgül ısısı, dinamik viskozitesi gibi v.b.) ya sabit değer olarak veya sıcaklığın fonksiyonu olarak programa verilir[45]. Yapılan bu sayısal çalışmada fiziksel özellikler sabit değer olarak programa verilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında taşıyıcı ve ısı depolayıcı akışkan olarak su kullanılmıştır. Su sıkıştırılmaz akışkan kabul edilip yoğunluğu $\rho=998.2 \text{ kg/m}^3$, özgül ısısı $C_p=4182 \text{ J/kg-K}$, ısıl genleşme katsayısı $\beta=0.523 \times 10^{-3} \text{ 1/K}$, dinamik viskozitesi $\mu=0.001003 \text{ kg/ms}$ ve ısı iletim katsayısı $k=0.6 \text{ W/mK}$ dir. Sıcak su depolama tankı ve içerisine yerleştirilen dairesel plakalar, ısı iletim katsayısı $k=58 \text{ W/mK}$, yoğunluğu $\rho=8030 \text{ kg/m}^3$, özgül ısısı $C_p=502.48 \text{ J/kg-K}$ olan çelik sac malzemesinden yapılmışlardır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

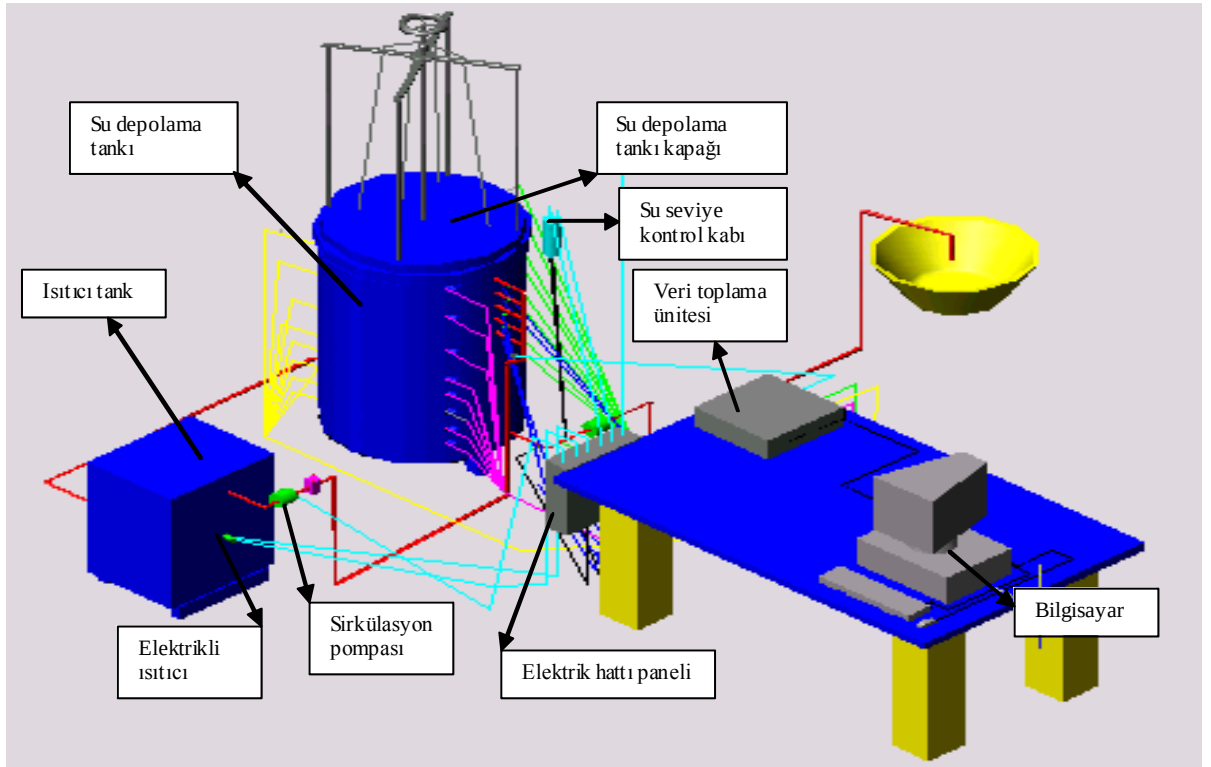
Mühendislik alanlarında önemli bir şekilde uygulama alanı bulan Sulu ısı enerjisi depolama ünitelerinde sıcaklık tabakalaşmasının fiziksel mekanizmasını daha iyi anlayabilmek ve bu konuda yapılan sayısal çalışmanın deneysel çalışma ile doğrulandığını göstermek için Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi laboratuvar binasına bir deney düzeneği kurulmuştur. Günümüzde ısı tabakalaşma ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların azlığı nedeniyle bu çalışmanın ileride ısı tabakalaşma konusunda yapılacak olan çalışmalara yol göstereceği düşünülmektedir. Bu bölümde deneysel çalışmanın nasıl yapıldığı ile ilgili bilgiler ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

Laboratuvarda güneş kolektörleri olmadığı için güneş kolektörlerinden sağlanan sıcak su, ısıtma tankından sağlanmaktadır. Laboratuvar binasında kurulan sıcak su depolama sisteminde uzun süre sıcaklık tabakalaşması bozulmadan yüksek sıcaklıkta su teminini sağlamak için sıcaklık tabakalaşmasının belirlenmesi deneyleri yapılmıştır.

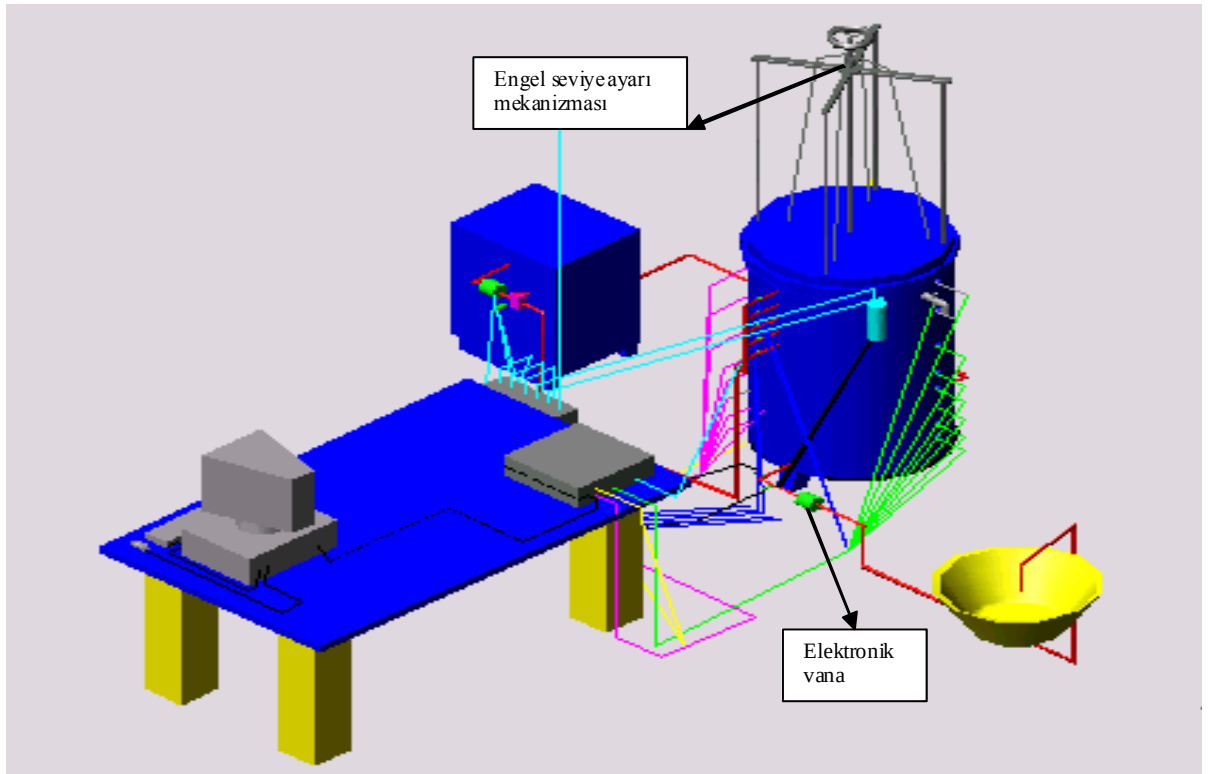
Deney düzeneğinde kullanılan silindirik sıcak su depolama tankının kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri Bölüm 3.1’de verilmiştir. Laboratuvar binasına kurulmuş olan deney düzeneğine ait perspektif çizimleri ve fotoğraf resimleri aşağıdaki bölümlerde ve EKI’da verilmiştir.

4.1. Deney Düzeneği

Su ile ısı enerjisi depolama ünitelerindeki sıcak su depolama tanklarında oluşan sıcaklık tabakalaşmasının deneysel olarak incelenmesi için laboratuvarda kurulan deney düzeneği Şekil 4.1’de görülmektedir. Bu deney düzeneği, sıcak su depolama tankı, su ısıtma tankı, sirkülasyon pompası (3 debi ayarlı), debi ölçer, selenoid vana, elektrikli rezistans (ısıtıcı 10 kW), sıcaklık kontrol sistemi, 36 adet termocouple, su seviye göstergesi kabı ve düzeneği, elektrik hattı paneli, bilgisayar ve veri toplama ünitesi’den oluşmaktadır.



Şekil 41: Deney Düzenek'i ni n Perspektif Görünüşü 1



Şekil 42: Deney Düzenek'i ni n Perspektif Görünüşü 2

4.1.1. Sıcak su depolama tankı

Bölüm 1.6'da 'Sıcak Su Depolama Tankının Seçimi ve İzolasyonu' kısmında izah edilen nedenlerden dolayı sıcak su depolama tankı olarak silindirik tank seçilmiştir. Bölüm 3.1'de kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri verilen sıcak su depolama tankı; çelik sacdan yapılmış 1 m çapı ve 1.5 m yüksekliği olan silindirik bir depodur. Bu tankın sıcak ve soğuk su giriş-çıkış kanallarının çapları 0.02 m, boyları ise 0.1 m'dir. Soğuk su giriş ve çıkış kanallarının tankın alt kısmına olan mesafesi 0.06 m'dir. Tankın üst kısmına yakın silindirik yüzeyde ve radyal doğrultuda sıcak su kullanımlı kanalı vardır ve bu kanalı tankın üzerine olan mesafesi $\delta_2=0.15$ m'dir. Bu sıcak su depolama tankındaki su sıcaklıkları, tankın silindirik yüzeyine eksenel ve radyal yönde çeşitli basamak ve mesafelerde yerleştirilen J tipi termoelemanlar (hassasiyeti ± 0.5) ile ölçülmektedir.

Sıcak su depolama tankının alt yüzeyinin ortasına bir kanal konmuştur. Bu kanal, tankı temizlemek ve aynı zamanda tankiçindeki suyun seviyesini kontrol etmede de kullanılmaktadır. Bu silindirik sıcak su depolama tankının silindirik yüzeyi ve alt yüzeylerine 0.08 m kalınlığında cam yünü sarılarak izolasyonu yapılmıştır. Bu izolasyonu yapılan yüzeylerin üzeri ince sac kaplama ile kapatılmıştır.

Sıcak su depolama tankı üzerinde beş adet sıcak su giriş kanalı vardır ve her bir δ_1/H oranları için yapılan deneylerde bu sıcak su giriş kanalları kullanılmaktadır. Sıcak su giriş kanallarının yukarıdan aşağıya tankın üzerine olan mesafeleri $\delta_1=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ m değerlerindedir. Bu kanalların her biri üzerine açma-kapama vanası vardır. Soğuk su giriş ve çıkış kanalları ve sıcak su kullanımlı kanalı üzerinde de açma-kapama vanası bulunmaktadır. Beş adet bu sıcak su giriş kanallarının tek kanal üzerinde birleştirilmesi ile beş kanallı bir kolektör oluşturulmuştur. Bu tek kanaldan ısıtma tankından gönderilen sıcak su alınmaktadır. Beş adet bu sıcak su giriş kanallarının, soğuk su giriş ve çıkış kanallarının ve kullanımsuyu kanalı üzerinde termoeleman yuvaları vardır. Kolektör kanalları üzerine takılan termoelemanların (Pt 100 termocouple) diğer uçları dijital gösterge cihazına bağlıdır. Bu kanallarda akan suyun sıcaklıkları gösterge cihazından ayarlanmaktadır. Diğer kanallara takılan termoelemanlar veri toplama ünitesiindeki Dat Logger'lara bağlanmıştır.

Sıcak su depolama tankının üst kısmında kullanımlı mesnasında yüksek sıcaklıkta uzun süre su bulundurulması istenmektedir. Bu nedenle bu bölgede sıcaklık tabakalaşmasını oluşturmak için tankın içine çeşitli çaplarda ($g=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$

0.5 m) ortasına delik açılmış dairesel plakalar, eksenel yönde çeşitli mesafelerde ($f=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5m$) konumlandırılabilir.

Silindirik deponun üzerine, açılıp kapanabilen 1 m çapında silindirik bir kapak mevcuttur. Silindirik kapağın üzerinde sıcak su depolama tankı içerisine yerleştirilen silindirik plakaların değiştirilmesi olanak sağlayan ve bu engellerin eksenel yönde istenilen konumda ayarlanıp sabitlenmesine yardımcı olan bir mekanizma vardır. Silindirik engeller bu mekanizmada bulunan metal çubuklara monte edilmiştir. Silindirik kapağın kazan üzerinden indirilmesi için ikişerli dört adet kol birbirine simetrik şekilde silindirik kapağın üzerine kaynatılmıştır.

Silindirik engellerin çıkarıp takılma işlemi; silindirik kapak kazan üzerinden alınıp aşağı indirilerek ve silindirik metal çubukların silindirik engelle bağlanan uçları vidalı bağlantı ile sökülüp takılarak yapılır. Silindirik engellerin silindirik kapak üzerindeki mekanizmaya bağlantısı yapılarak silindirik kapağın kazan üzerine yerleştirilmesinden sonra, mekanizma vasıtasıyla silindirik engel de kazan içerisinde aşağı yukarı konumlandırılabilir. Dairesel plakaların tankın tabanından 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 m uzaklıklarda konumlandırılması için, bu mesafeler ayarlanarak, denk gelen yerler metal çubuklar üzerine işaretlenmiştir.

4.1.2 Isıtma tankı

Isıtma tankı, sıcak su depolama tankına gelen sıcak suyun sağlanması için kullanılmaktadır. Bu tank 0.5 m çapında ve 0.62 m boyunda çelik sacdan yapılmış yatay konumlu bir ısıtma kazanıdır. Deneyde kullanılan suyunun ısıtılması için bu tank içerisine 10 kW'lık bir elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir. Isıtma işlemi tanka yerleştirilen bu ısıtıcı ile yapılır.

Isıtıcı kazanın düzensiz yüzeyinin birinin alt kısmında 0.02 m çapında soğuk su giriş kanalı vardır. Isıtma kazanı bu kanaldan, depolama kazanından suyu ısıtmak için almaktadır. Bu yatay silindirik kazanın diğer düzensiz yüzeyinin üst kısmında ise, yine 0.02 m çapında sıcak su çıkış kanalı bulunmaktadır. Düzensiz yüzeye açılan bu kanaldan ise, ısıtılmış su, sıcak su depolama tankına gönderilmektedir. Bu kanalın, düzensiz yüzeyinin üst kısmına açılmasının nedeni ise, ısıtma tankında ısıtılmış su kütlesinin kazanın üst kısmında toplanıyor olmasıdır. Bu nedenle depolama tankına daha sıcak su gönderilmektedir. Isıtma tankında bulunan su giriş-çıkış

kanalları, 0.02 m iç çapındaki çelik borular ile sıcak su depolama tankına bağlanmıştır.

Isıtma tankının düzensel yüzeyini tırtırmaya 0.032 m çapında delik açılmış ve bu deliğe de 0.1 m boyunda ve 0.032 m çapında içine vida dişi açılmış manşon kaynatılmıştır. Bu manşona 10 kW değerindeki elektrikli ısıtıcı takılmıştır. Isıtma tankının silindirik yüzeyinin üst kısmına, tankın içerisini temizlemek için 0.25 m çapında delik açılarak buraya kapak yapılmıştır. Ayrıca ısıtıcı tankın soğuk su giriş kanalının üzerine bir vana konmuştur. Bu vananın ucuna, kazanlardaki suyu boşaltmak için bir hortum bağlanarak bu hortumun diğer ucu da röğara verilmiştir.

Bu yatay konumdaki silindirik ısıtma tankının silindirik ve düzensel yüzeylerine 0.08 m et kalınlığında cam yünü sarılarak izolasyonu yapılmıştır. Bu izolasyonu yapılan yüzeylerin üzeri, ince sac kaplama ile kapatılmıştır. Isıtma tankını sıcak su depolama tankına bağlayan bağlantı borularının üzerine de, 0.02 m iç çapında ve 0.032 m dış çapında camyününden yapılmış izolasyon malzemesi geçirilmiştir.

4.1.3 Elektrik hattı paneli

Elektrik hattı panelindeki elemanların hepsi bir elektrik panosuna monte edilmişlerdir. Elektrik panosu, içerisinde bulunan elemanları muhafaza etmek ve kontrol sistemlerinin bir arada bulunmasını sağlamak için kullanılmıştır.

Su seviye kontrol cihazı ve şalteri, sıcaklık kontrol sistemi, sirkülasyon pompasının şalteri, dijital gösterge ve kanal değiştirici komutator elektrik panosu üzerindedir. Sıcaklık kontrol sistemini, su seviyesi kontrol sistemini ve sirkülasyon pompasını panodan açıp kapamak için panonun içine iki adet sigorta bulunmaktadır. Ana şebeke elektrik hattı ise bu sigortalara bağlanmıştır.

4.1.4 Su seviyesi kontrol sistemi

Su seviyesi kontrol sistemi deney düzeneğindeki kontrol sistemlerinden bir tanesidir. Bu sistem temel olarak, selenoid (elektronik) vana, su seviyesi kontrol cihazı ve su seviyesi kontrol kabı gibi elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanların birbiri ile bağlantısının kurulumu, bu elemanların görevleri ve sistemin işlevi aşağıda anlatılmaktadır.

Kullanım suyu kanalından sıcak suyun alınmasından dolayı sıcak su depolama tankından eksilen suyun belirlenen seviyede tamamlanması için şehir şebekesinden

gel en soğuk su giriş kanalı üzerinde bir selenoid (elektronik) vana bulunmaktadır. Bu selenoid (elektronik) vana da bir kablo ile elektrik panosu içindeki su seviyesi kontrol cihazına bağlıdır. Su seviyesi kontrol cihazının depolama tankı içerisindeki su seviyesini kontrol etmesi için, deponun üst kısmındaki silindirik yüzeyde bir su seviyesi kontrol kabı bulunmaktadır. Bu su seviyesi kontrol kabının kapağında iki adet sensör vardır. Birinci sensörün ucu ikinci sensörün ucundan 0.01 metre yukarıda olacak şekilde konumlandırılmışlardır. Bu iki sensör ise kablolarla elektrik panosu içindeki su seviyesi kontrol cihazına bağlıdır. Bu bağlantı yardımı ile su seviyesi kontrol kabı içindeki su seviyesinin birinci sensörün ucuna teması gerçekleştiği anda (su seviyesi yükseldiğinde), su seviyesi kontrol cihazı sinyal göndererek selenoid vanayı kapamakta, su seviyesinin ikinci sensörün ucundan teması kesildiği anda (su seviyesi düştüğünde) ise sinyal göndererek selenoid vanayı açmaktadır.

Depolama tankının taban yüzeyinin ortasında iki çıkışlı bir kanal vardır. Tankı temizlemek için bu kanalın birinci çıkışı ucuna hortum takılarak röğara bağlantı yapılmıştır. Bu kanalın ikinci ucu ise, su seviyesi kontrol kabını besleyen hortuma bağlanmıştır. Bu hortum hem depolama tankı içindeki su seviyesini göstermekte, hem de tank dolurduğunda su seviyesi kontrol kabını su ile doldurmaktadır.

4.1.5 Sıcaklık kontrol sistemi

Sıcaklık kontrol sistemi, ısı transferi deneylerinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Deney sırasında ısı ve sıcaklık büyüklüklerinin belirli değerlere ayarlanması ve belirli sınırlarda kontrol edilmesi için sıcaklık kontrol sistemine ihtiyaç vardır. Sıcaklık kontrol sistemini oluşturan elemanlar, bu elemanların birbirleri ile bağlantıları, elemanların fonksiyonları ve sistemin çalışması ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

Sıcaklık kontrol sistemi; 10 kW değerinde ısıtma tankına monte edilmiş bir elektrikli ısıtıcı, beş adet termoeleman (Pt 100 termocouple, hassasiyet $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$), beş adet elektrik sinyal rölesi (saniyede 60 kez açıp kapama yapabilir), bu rölelere gelen elektriğin voltajını kontrol etmek için kullanılan adaptör (20 volt), röleler üzerinden gelen kanalları dijital göstergede seçmek için kullanılan beş kanallı komut atör, elektrik panosu üzerine monte edilen dijital gösterge, elektrikli ısıcının direkt bağlandığı elektrik panosu içine konmuş trafo (3 adet, 40 amper) gibi kontrol sistemi elemanlarından oluşmaktadır.

Sıcaklık kontrol sistemi, aşağıdaki şekilde yardımcı elemanların bağlanması ile oluşturulmuştur. Depolama tankındaki beş kanallı kollektör kanalları üzerinde bulunan termoeleman yuvalarına, her bir kanala bağlanmak üzere beş adet termoeleman (Pt 100) takılmıştır. Bu beş adet termoelemanların diğer uçları, elektrik panosu içerisinde bulunan beş adet elektrik sinyal rölesine bağlanmıştır. Elektrik sinyal rölesi üzerinden geçen termoelemanların uçları birleştirilerek, dijital gösterge (hassasiyet $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) soketine takılmıştır. Beş adet sinyal rölesine ise, kollektördeki beş kanal içerisinde bulunan termoelemanları ayrı ayrı aktif hale getirmek için, beş kanallı komutator bağlanmıştır. Diğer taraftan elektrikli ısıtıcıdan gelen kablo elektrik panosundaki trafoya bağlanmıştır. Bu trafoya ise dijital göstergeden gelen ikinci bir kablo bağlıdır.

Panodaki sıcaklık kontrol sisteminin bağlı olduğu sigorta açıldıktan sonra, elektrikli ısıtıcı çalışmaktadır. Beş kanallı kollektör kanalından birinin vanası açılarak, ısıtıcı tanktan gönderilen sıcak su depolama tankına akmaya başlamaktadır. Vanası açılan kanal komutatörden seçilerek, kanalda akan akışkanın sıcaklığı dijital göstergeden bir değere sabitlenir (62°C). Kanaldaki akan akışkanın sıcaklığı sabitlenen bu değere geldiğinde, dijital gösterge trafoya sinyal gönderir. Trafo da elektrikli ısıtıcının elektrikliğini keser. Kanaldaki akan akışkanın sıcaklığı sabitlenen bu değerin altına düştüğünde, dijital gösterge trafoya tekrar sinyal gönderir. Trafoda elektrikli ısıtıcının elektrikliğini tekrar açar. Elektrikli ısıtıcının yukarıda ifade edildiği şekilde sık sık devreye girip çıkması ile sıcak su depolama tankına, dijital göstergede sabitlenen sıcaklık değerinde sürekli sıcak su verilmiş olur.

4.1.6 Yardımcı elemanların sisteme bağlanması ve fonksiyonları

Debi ölçer: Isıtma tankından beş kanallı kollektör üzerine bağlanan kanal üzerine monte edilmiştir. Bu cihazın görevi, üç kademeli sirkülasyon pompasından depolama tankına gelen sıcak suyun her kademedeki debisini ölçmektir. Bu debi ölçer (20 mA), kanaldan su geçtikçe elektrik sinyali üretmektedir. Debi ölçerin sinyal uçları bir voltaj düşürücü ile Data Logger'a bağlıdır. Bilgisayardaki Hiko Data Logger programından her pompa kademesi için debi değeri okunabilmektedir. Debi ölçerin ölçtüğü debi değerlerinin kalibrasyonu için, debi ölçerin bulunduğu kanal üzerinde ve debi ölçerden hemen sonra, bir vana bulunmaktadır. Bu vana kullanılarak debi ölçerin kalibrasyonu yapılmaktadır.

Sirkülasyon pompası ve çekvalf: Isıtma tankında ısıtılan sıcak suyun depolama tankına gönderilmesi için bir sirkülasyon pompası (üç debi ayarlı), ısıtma tankından depolama tankına giden kanal üzerine bağlanmıştır. Bu sirkülasyon pompasının hemen ilerisine de, sıcak su depolama tankına basılan sıcak suyun kanaldan geri dönüşünü engellemek için bir çekvalf konmuştur.

Elektrikli ısıtıcı: 10 kW yükünde elektriksel direnç tellerinden oluşmaktadır. Bu ısıtıcı, ısıtma tankından depolama tankına giden sıcak su kanalının bulunduğu düzlemsel yüzeye kaynatılmış 0.032 m iç çapındaki manşona monte edilmiştir. Elektrikli ısıtıcıya elektrik akımı ise, elektrik hattı panelinde bulunan sigortanın açılması ile verilmektedir.

4.1.7. Veri toplama ünitesi

Bilgisayar ve veri toplama ünitesi, deneysel verilerin toplanarak kaydedildiği en son biridir. Veri alma ünitesinde, termoelemanların bağlandığı iki adet Data Logger vardır. Bu Data Logger'lar birleştirici cihazla (Hab) bilgisayara bağlanmıştır. Bu birim kanallar üzerine ve sıcak su depolama tankının çevresine çeşitli konumlarda yerleştirilen J tipi termoelemanların Data Logger'lar ve birleştirici cihaz (Hab) vasıtası ile bilgisayara bağlanması ile oluşturulmuştur.

Data Logger'ların program menüsü dört programdan oluşmaktadır. Bunlar; KONFIGÜRASYON programı, HABERLEŞME programı, ARŞİV programı ve GENEL programıdır. HABERLEŞME programı; cihazların konfigürasyonu, iletişimi ayarları ve kayıt ayarlarını yapmak amacıyla kullanılır. Bununla birlikte, bu program cihazlarla iletişim kurar ve bu bilgileri diğer programlara dağıtır. KONFIGÜRASYON programı, HABERLEŞME programı ile iletişime girerek cihaz konfigürasyonunu sağlar. ARŞİV programı, HABERLEŞME programından aldığı verileri kaydeder ve GENEL programın kullanım için hazırlar. Bu programların arayüzleri yoktur, gizli çalışırlar.

GENEL program ana izleme programıdır. Bu program ile veriler ve grafikler, bilgisayar ekranından izlenmekte ve yine bu program sayesinde veriler bilgisayara excel.xls. dosyası olarak kaydedilmektedir. GENEL izleme programı, Menüler ve Ana ekran olmak üzere iki kısımdan oluşur. Menüler kısmından; sayfa konfigürasyonu ayarı yapılır ve haberleşme kontrol opsiyonu seçilir. Ana ekran kısmı ise, bar grafik

izleme sayfası, grafik izleme sayfası, çoklu grafik izleme sayfası ve alarm sayfasından oluşur.

5. SAYISAL VE DENEYSEL SONUÇLARI NİRDELENMESİ

Bu bölümde, tez çalışmasında yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların değerlendirilmesi birlikte yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, sıcak su depolama tankından uzun süre sıcaklık tabakalaşması bozulmadan yüksek sıcaklıkta su temini (kullanım suyu) sağlamaktır. Bu durumun gerçekleşmesi için sıcak su kullanım esnasında tankın içindeki sıcak suyun ısı tabakasının, sıcak su depolama tankına giren soğuk şehir şebeke suyu tarafından bozulmaması istenmektedir. Bu nedenle sıcak su depolama tankını içerisine $g/D=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ ve $f/H=0.067, 0.133, 0.2, 0.27, 0.33$ oranlarında dairesel plakalar yerleştirilmiştir.

g/D oranlarındaki bu dairesel plakalar; tanka giren soğuk suyun, tankı içindeki sıcak su ile minimum (optimum) alanda temasının sağlanmasına ve bunun sonucunda da sıcak su tabakasının korunmasına neden olmaktadır. Tankı giren soğuk ve sıcak akışkanların tank içindeki çeperlere ve konulan engellere çarpması sonucu, akım çizgilerinde geri dönüşler ve vorteksler oluşmaktadır. Bu akım çizgilerinde geri dönüşler ve vorteksler, tankın üst bölümünde bulunan ısı olarak tabakalaşmış su kütlesine zarar vermektedirler. Bu durumun ortadan kaldırılması için, soğuk ve sıcak su temas alanı, tank içine yerleştirilen silindirik engelin g/D oranı artırılarak veya azaltılarak yani optimum temas alanı değerine getirilerek sağlanmıştır. Bununla birlikte g/D oranlarındaki dairesel plakalar, f/H oranlarında eksenel yönde depolama tankının içine yerleştirilerek tabakalaşmış sıcak su hacmi küçültülmüş veya büyütülmüş ve istenilen sıcaklık değerinde sıcak su elde edilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla uygun olarak optimum f/H ve g/D oranları seçimi işlemi deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir. Geliştirilen bu sıcak su depolama tankı modelindeki sıcaklık tabakalaşmasının oluşumunu daha iyi gözlemlemek için, engelsiz tank modelinde de deneysel ve sayısal çözümler elde edilmiştir.

Sayısal çalışmada ise sıcak su depolama tankının dış yüzeylerinin ideal yalıtıldığı kabul edilmiştir. Depolama tankının içine konan dairesel plaka üzerinden, tank içerisindeki sıcak akışkandan yine tank içerisinde bulunan soğuk akışkana doğru iletilen ısı transferi gerçekleşmektedir.

Isıl tabakalaşmayı yok eden etkileri ortadan kaldırmak için uygun tank konfigürasyonu ve di zayn parametreleri seçilmiştir. Bu nedenle sıcak su depolama tankının radyal yöndeki şehir şebeke suyu giriş ve ısıtma tankına giden çıkış kanalları, aynı eksen üzerinde ve simetrik konumda yapılmıştır. Bu model seçimi nedeniyle, tanka giren soğuk şehir şebeke suyunun büyük bir kısmı ısıtma tankına gidiş kanalına yönlendirilmektedir. Bu durum sonucunda depolama tankına giren soğuk suyun, tank içerisinde vorteks ve türbülans oluşturmasına fazla neden olmamaktadır. Sonuç olarak, sıcak su depolama tankı içerisinde sağlanan sıcaklık tabakalaşmasını bozucu etkiler azaltılmıştır.

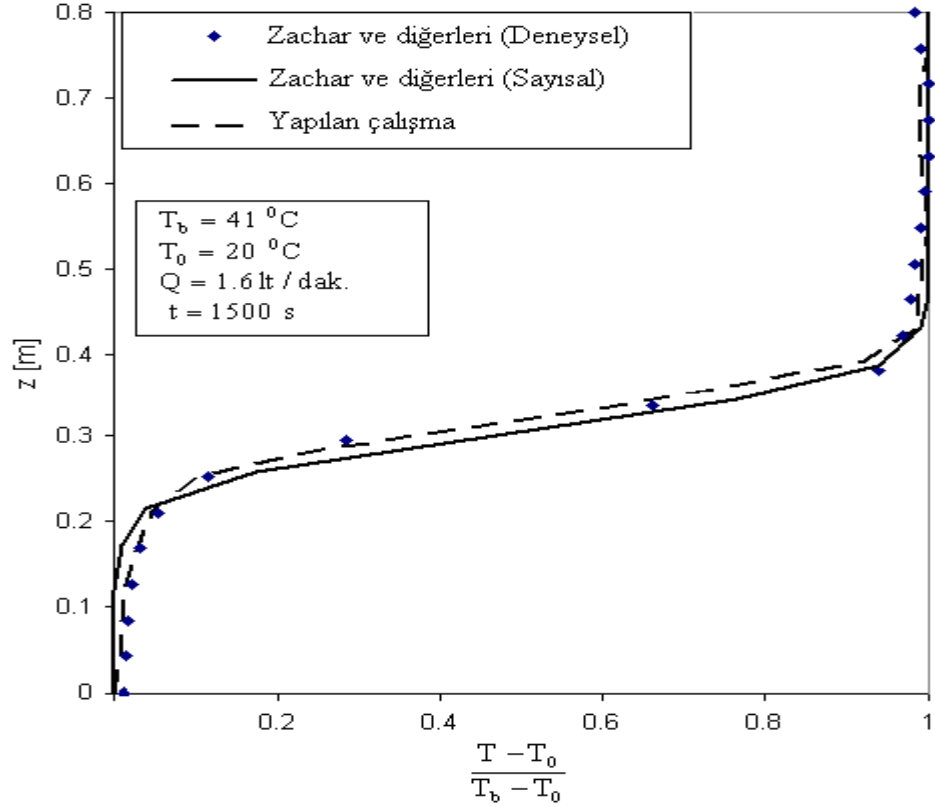
Depolama tankı içerisine dairesel plakaların g/D ve f/H oranlarında yerleştirilmesi ile oluşturulmuş tank modelleri için 120, 240, 360, 480, 600 ve 720 boyutsuz zaman dilimlerinde hem sayısal çözümler üretilmiş hem de deneysel sonuçlar elde edilmiştir. $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranındaki tank modeli için farklı richardson sayılarında sayısal çözümler yapılmış ve richardson sayısındaki değişimlerin ısı tabakalaşmaya etkisi araştırılmıştır. Bütün sayısal ve deneysel sonuçlar boyutsuz büyüklükler cinsinden irdelenmeye alınmıştır. Fakat bu bölümde sadece 720 boyutsuz zaman diliminde elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Tank içindeki eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık dağılımlarının bar grafikleri üzerinde gösterilmesi ni n nedeni ise, normal x-y grafikleri üzerindeki dağılımların fark edilemiyor olmasıdır. Grafikler üzerinde s: sayısal verileri, d ise deneysel verileri göstermektedir. Bu tez çalışmasındaki sayısal sonuçların doğruluğu, hem deneysel sonuçlarla hem de literatürden gelen sonuçlarla karşılaştırılması ni n yapılmış ile ispatlanmıştır.

5.1. Sayısal Sonuçların Kaynakta n Gelen Sonuçlar İle karşılaştırılması

Bu çalışmada verilen matematik modele ait çözümler bilgisayarda Fluent 5.3 programı kullanılarak sayısal olarak çözüldü. Aynı modele ait deneysel sonuçlar da elde edildi. Deneysel ve sayısal sonuçlar için elde edilmiş grafikler birlikte verildi. Dolayısı ile sayısal sonuçların deneysel olarak da grafikler üzerinde doğrulanabildiği görüldü.

Yapılan bu tez çalışmasının doğruluğunun sayısal olarak ispatlanabilmesi için Zachar ve diğerleri'nin yaptığı çalışmadan faydalanıldı. Zachar ve diğerleri'nin sıcaklık tabakalaşmasını elde etmek için seçtikleri fiziksel model üzerine tezde kullanılan matematik model uygulandı. Zachar ve diğerleri'nin kullandığı bu fiziksel model için

aynı işletme ve dizayn şartlarında tank içerisinde eksenel noktadaki sıcaklık dağılımı elde edildi. Tezde kullanılan matematik modelin sonuçları ile kaynak [43] de verilen sayısal ve deneysel çalışma sonuçlarının karşılaştırılması aşağıda Şekil 5.1'deki grafik üzerinde verildi. Bu grafikten de anlaşıldığı gibi sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırma, tez için elde edilen sayısal ve deneysel sonuçların Zachar ve diğerleri'nin yaptığı çalışma ile doğrulandığını göstermektedir.



Şekil 5.1: Silindirik Tank İçerisinde Dikey Sıcaklık Dağılımı

5.2 Farklı Richardson Sayılarında Elde Edilen Sonuçlar

Sıcaklık tabakalaşmasının araştırılmasında silindirik depolama tankının içerisinde (çözüm bölgesi) cereyan eden taşınım ısı transferi türünün bilinmesi gereklidir. Bu ısı transferi türünün belirlenmesinde Richardson sayısı büyük önem taşımaktadır. Richardson sayısı değerine göre çözüm bölgesi içinde cereyan eden taşınım ısı transferi olayının doğal taşınım, zorlanmış taşınım veya karışık taşınım olduğu belirlenebilir.

Taşınım olan ısı transferi problemleri her ne kadar doğal ve zorlanmış olarak incelenmiş olsa da, araştırmacılar bir çok durumlarda her iki özelliğinden de incelenmesi

gerektiği durumları fark etmiş ve çalışmalarda bu yönde ağırlık vermişlerdir. Doğal ve zorlanmış taşınım etkilerinin bir arada görüldüğü bu durum karışık (doğal ve zorlanmış taşınım) olarak adlandırılmaktadır. Bu etkilerden hangisinin daha baskın olduğu ölçüsü Richardson sayısı (G/R^2) ile belirlenir[3].

$R \ll 1$ olduğunda, zorlanmış taşınım etkisi daha baskındır ve doğal taşınım etkisi ihmal edilebilir[3].

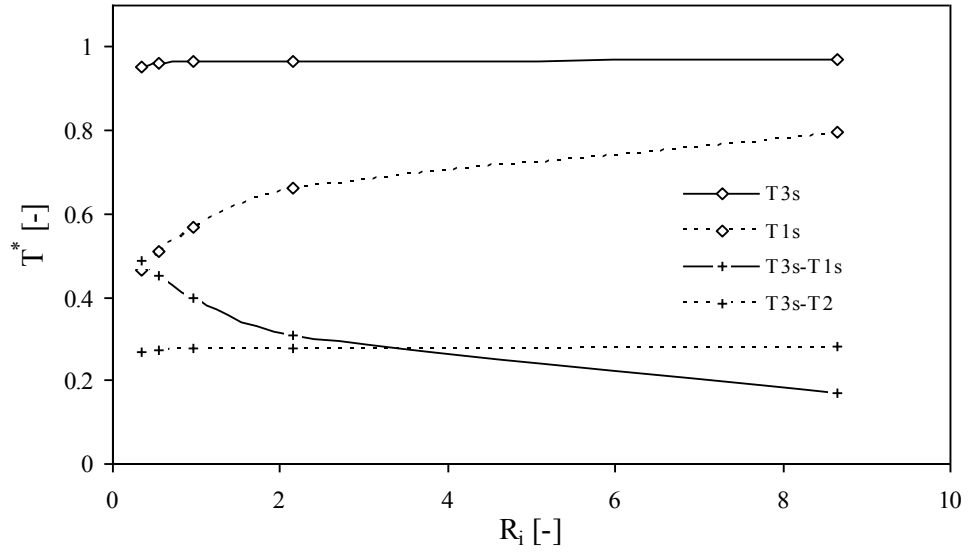
$R \gg 1$ olduğunda, doğal taşınım etkisi daha baskındır ve zorlanmış taşınım etkisi ihmal edilebilir[3].

$R = 1$ doğal ve zorlanmış taşınım etkileri yakın şiddette olduğu için karışık taşınım söz konusudur[3].

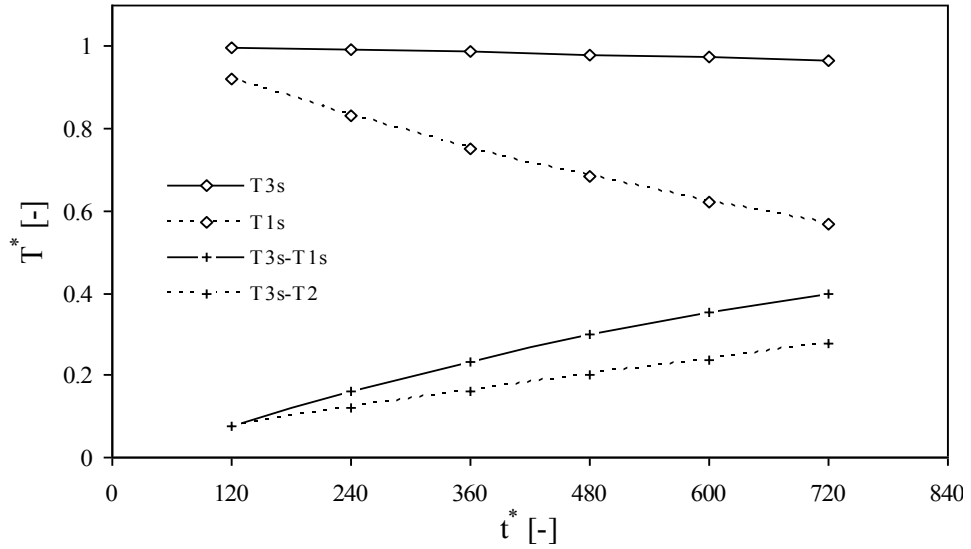
Zorlanmış taşınım da akım yönü ile kaldırma kuvvetleri aynı yönde olduğunda, doğal taşınım etkisi şiddet kazanır. Bu akımlara desteklenmiş akımlar denir. Zorlanmış taşınımındaki akımların yönü ile kaldırma kuvvetleri ters yönde ise doğal taşınımın akımları yavaşlar. Bu tür akımlara ters akımlar denir.

$g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranındaki sıcak su depolama tankı için $R=8.65$, 2.16 , 0.96 , 0.54 , 0.35 değerlerinde çözümler üretilmiştir. R sayısının sıcaklık tabakalaşması üzerine etkisi araştırılmıştır. T_{3s}^* , T_{1s}^* boyutsuz sıcaklık değerlerinin ve $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3s}^* - T_2^*$ boyutsuz sıcaklık farklarının R sayısına ve zamana bağlı dağılımları Ek: H'da verilmiştir. Yukarıdaki Richardson sayılarında tank içerisinde çeşitli eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerlerinin zamana bağlı dağılımları Ek: I'daki bar-grafikleri üzerinde verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan R sayısı 0.96 'dır. Richardson sayısının bu değeri göz önüne alınarak yukarıda anlatılan kriterlere göre, çözüm bölgesinde cereyan eden ısı transferi olayında zorlanmış taşınım etkisi baskındır. Fakat bu değer 1 'e yakın bir değer olduğundan, çözüm bölgesinde oluşan ısı transferi olayı azda olsa doğal taşınım yolu ile gerçekleşmektedir.

$R=0.35$ değerinde yapılan çözümü için Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{3s}^* = 0.95$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{1s}^* = 0.47$, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.49$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.27$ 'dir.



Şekil 5.2: $t^* = 720$ 'de Sıcaklık ve Sıcaklık Farkı Dağılımları



Şekil 5.3: $R = 0.96$ 'da Sıcaklık ve Sıcaklık farkı Dağılımları

$Ri = 0.54$ değerinde yapılan çözüm için yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{3s}^* = 0.96$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{1s}^* = 0.51$, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.45$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.27$ dir.

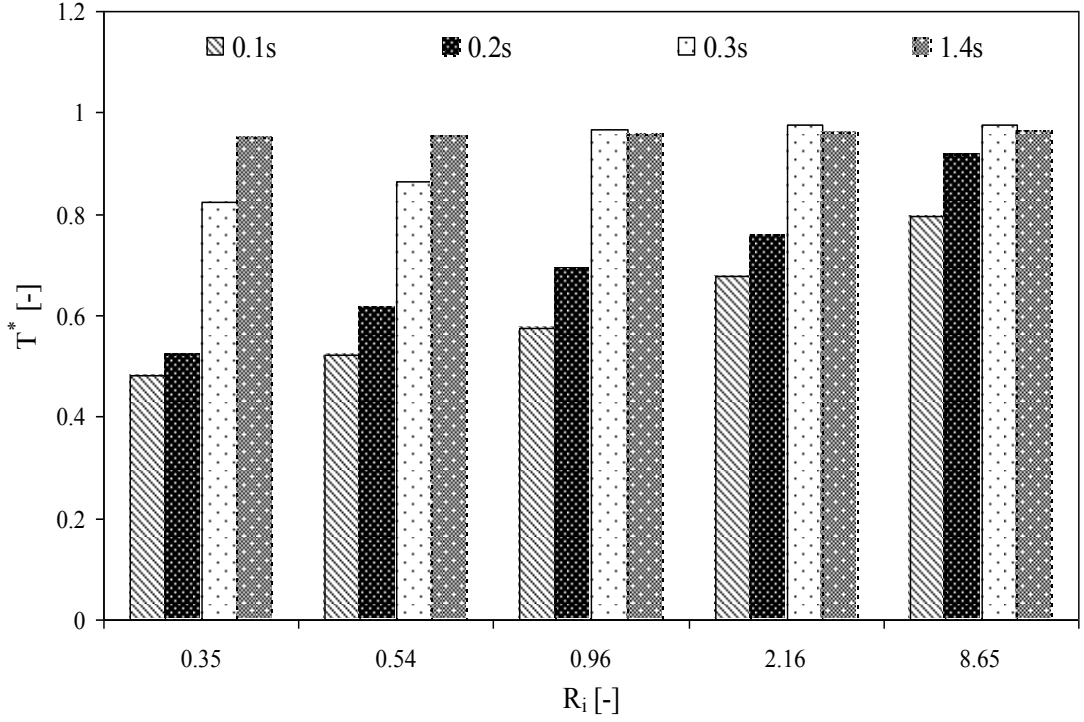
$Ri = 0.96$ değerinde yapılan çözüm için yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{3s}^* = 0.96$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{1s}^* = 0.57$, kullanımsuyu ile depolama

tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.40$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$ dir.

$Ri = 2.16$ değerinde yapılan çözüm için yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{3s}^* = 0.97$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{1s}^* = 0.66$, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.31$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$ dir.

$Ri = 8.65$ değerinde yapılan çözüm için yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{3s}^* = 0.97$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değeri, $T_{1s}^* = 0.80$, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.17$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değeri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$ dir.

$R = 0.35$ değerinde $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.133$ oranlarındaki tankı içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Şekil 5.4' de görüldüğü, 0.1s mesafesinde 0.48, 0.2s' de 0.52, 0.3s' de 0.82, 1.4s' de 0.95' dirler. $R = 0.54$ değerinde silindirik sıcak su depolama tankı içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri, 0.1s mesafesinde 0.52, 0.2s' de 0.61, 0.3s' de 0.86, 1.4s' de 0.95' dirler. $R = 0.96$ değerinde silindirik sıcak su depolama tankı içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri, 0.1s mesafesinde 0.57, 0.2s' de 0.69, 0.3s' de 0.96, 1.4s' de 0.96' dirler. $R = 2.16$ değerinde silindirik sıcak su depolama tankı içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri, 0.1s mesafesinde 0.68, 0.2s' de 0.76, 0.3s' de 0.98, 1.4s' de 0.96' dirler. $R = 8.65$ değerinde silindirik sıcak su depolama tankı içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri, 0.1s mesafesinde 0.80, 0.2s' de 0.92, 0.3s' de 0.98, 1.4s' de 0.96' dirler.

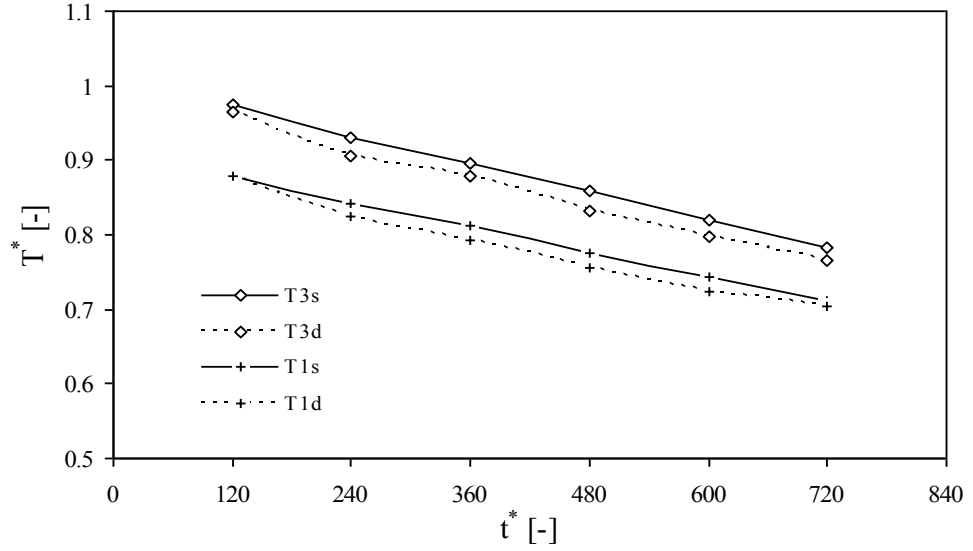


Şekil 5.4: Tank İçerisinde Eksenel Noktalarındaki Boyutsuz Sıcaklık Değerlerinin Richardson Sayılarına Göre Grafik Bar Üzerinde Dağılımı

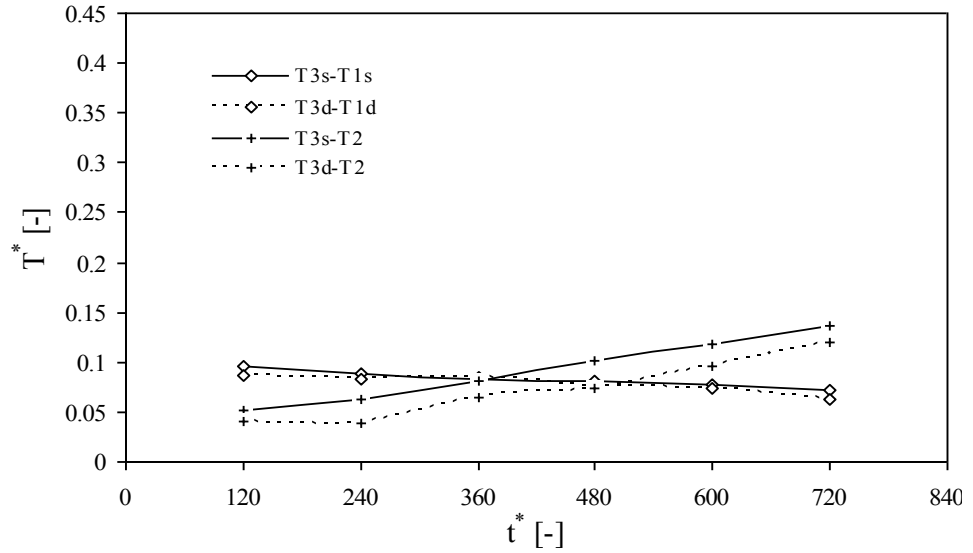
5.3 Engelsiz Tank İçin Elde Edilen Sonuçlar

Engelsiz tank içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.785 m^2 'dir. Sıcak su depolama tankının içinde engel olmadığı için, yukarıdaki alan silindirik tankın eksenel yöndeki kesit alanına eşittir. Depolama tankından kullanımsuyu alınmaya başlandığı andan itibaren, tankın içerisindeki depolanmış suyun sıcaklığı engel olmadığından düşmekte ve giderek soğumaktadır. Bu nedenle depolama tankının içinde oluşmuş sıcaklık tabakası da giderek bozulmaktadır. Bunun sonucunda depolama tankından yüksek sıcaklıkta kullanımsuyu alınmaktadır.

Aşağıdaki Şekil 5.5'deki grafikte görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.78$, $T_{3d}^* = 0.77$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.71$, $T_{1d}^* = 0.70$ 'dir. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.07$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.06$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.14$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.12$ dir.



Şekil. 5.5: Engelsiz Tank İçerisinde Sıcaklık Dağılımları



Şekil. 5.6: Engelsiz Tank İçerisinde Sıcaklık Farkı Dağılımları

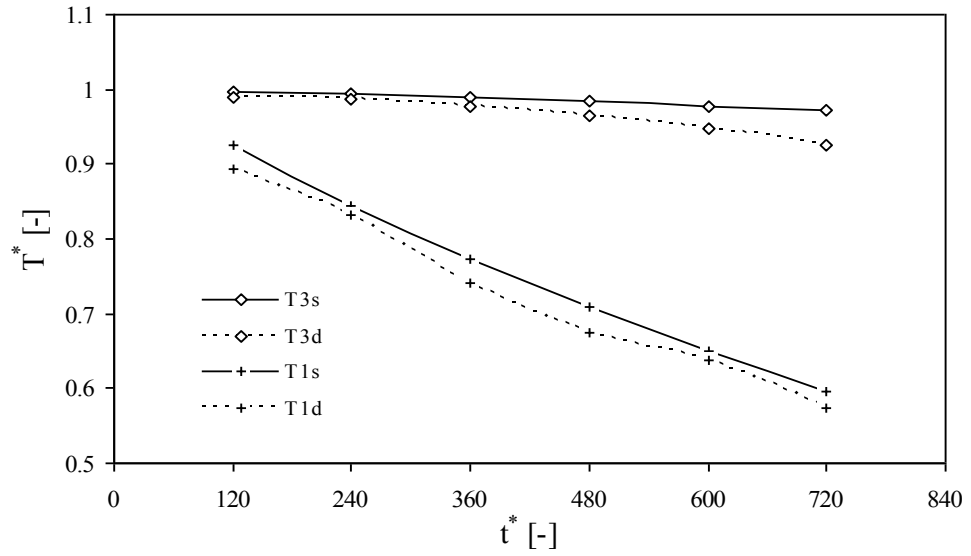
5.4 Engelli Tank İçin Elde Edilen Sonuçlar

Tank içindeki tabakalaşmayı görmek için değişik f/H ve g/D oranlarında ve engelli tank modelinde çözümler üretilmiştir. Bu şartlar altında üretilen çözümlerde tank içinde oluşturulan sıcaklık dağılımlarına bakılarak en iyi tabakalaşmanın hangi çözümde olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanım suyu alınmaya başlandığı andan itibaren $t^*=720$ boyutsuz zaman değeri sonundaki ısıtıcı tanka gelen ve kullanımı için alınan suyun deneysel ve sayısal boyutsuz sıcaklık değerleri T_{1s}^* , T_{1d}^* , T_{3s}^* , T_{3d}^* , kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun sıcaklıkları arasındaki boyutsuz sıcaklık farkları $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ ve kullanım suyu sıcaklığı

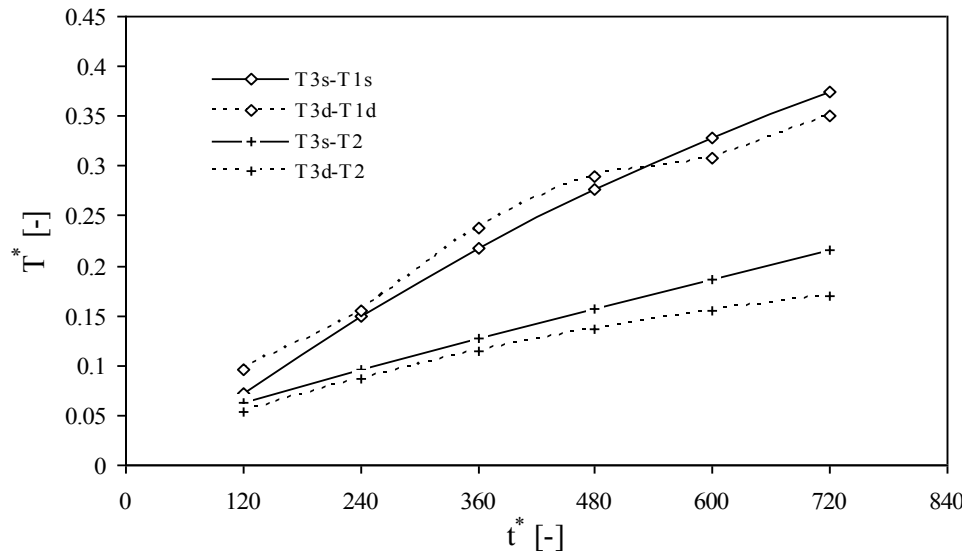
ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklık değerleri arasındaki farklar $T_{3s}^* - T_2^*$, $T_{3d}^* - T_2^*$, her bir g/D ve f/H oranlarında aşağıda yorumlanmalı olarak verilmiştir.

5.4.1. $g/D=0.1$ içinde edilen sonuçlar

$f/H=0.067$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı $7.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.099 m^3 'dür. Bu durumda hem tabakalaşmış sıcak su hacmi fazladır hem de tank içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı azdır.



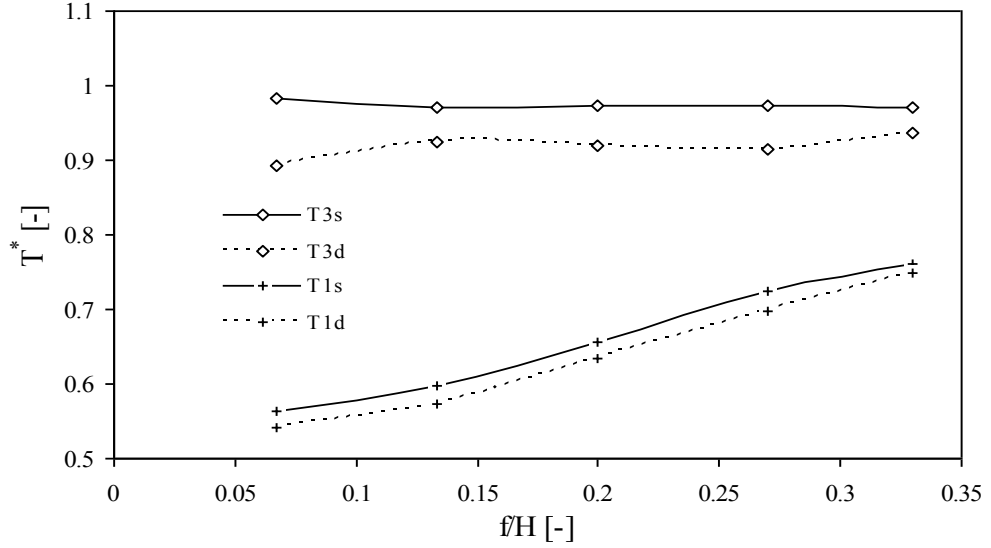
Şekil 5.7: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Dağılımı



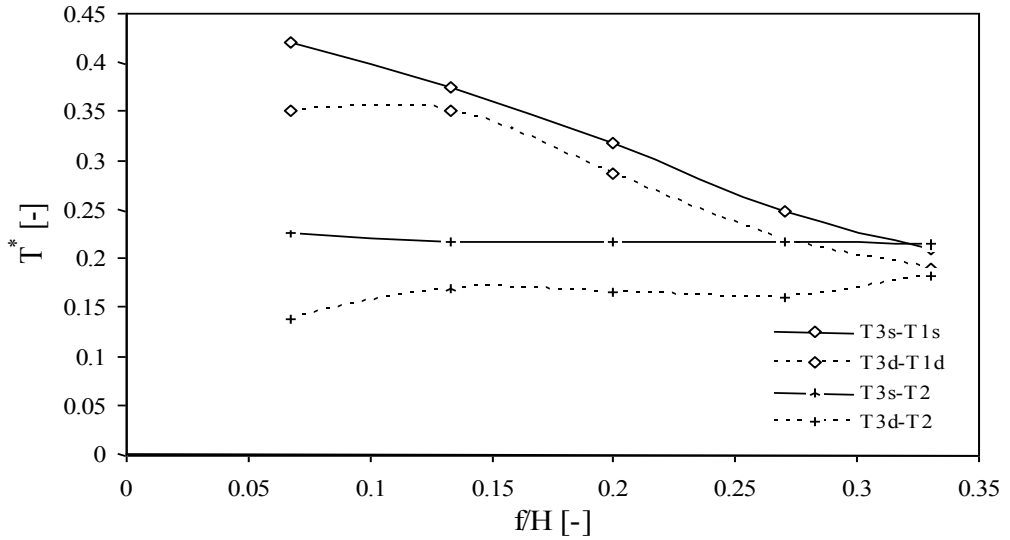
Şekil 5.8: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımı

Ekler bölümünde verilen Şekil B 1, Şekil D 1 ve Şekil 5.9’da görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri sayısal olarak $T_{3s}^* = 0.98$, deneysel olarak $T_{3d}^* = 0.89$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.56$, $T_{1d}^* = 0.54$ ’dür. Ekler bölümünde verilen Şekil C 1, Şekil F. 1 ve Şekil 5.10’da görüldüğü gibi, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.42$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.35$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.23$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.14$ ’dür.

f/ H=0.133 oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı $7.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ’dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.0205 m^3 ’dür. Bu durumda tabakalaşmış sıcak su hacmi f/ H=0.067 oranındaki tanka göre azdır. Şekil 5.7, Şekil 5.9 ve Ekler bölümünde verilen Şekil D 2’de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.97$, $T_{3d}^* = 0.92$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.60$, $T_{1d}^* = 0.57$ ’dir. Şekil 5.8, Şekil 5.10 ve Ekler bölümünde verilen Şekil F. 2’de görüldüğü gibi, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.37$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.35$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.22$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.17$ ’dir.



Şekil 5.9: $t^* = 720$ ve $g/D = 0.1$ Oranında Sıcaklık Dağılımı



Şekil 5.10: $t^* = 720$ ve $g/D = 0.1$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımı

$f/H = 0.2$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı $7.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.942 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B.2, Şekil D.3 ve Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.97$, $T_{3d}^* = 0.92$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.66$, $T_{1d}^* = 0.63$ 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil C.2, Şekil F.3 ve Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.32$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.29$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz

sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.22$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.16$ 'dır. Bu durumda tabakalaşmış sıcak su hacmi $f/H=0.133$ oranındaki tanka göre azdır.

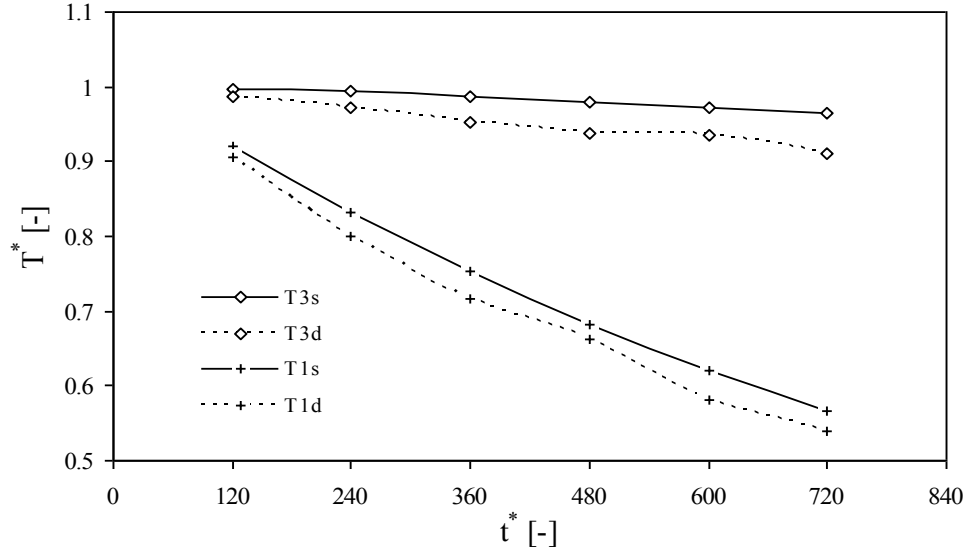
$f/H=0.27$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı $7.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.8635 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 3, Şekil D 4 ve Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.97$, $T_{3d}^* = 0.92$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.72$, $T_{1d}^* = 0.70$ 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil C 3, Şekil F.4 ve Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.25$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.22$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.22$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.16$ 'dır. Bu durumda tabakalaşmış sıcak su hacmi $f/H=0.2$ oranındaki tanka göre azdır

$f/H=0.33$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı $7.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.785 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 4, Şekil D 5 ve Şekil 5.9'da görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.97$, $T_{3d}^* = 0.94$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.76$, $T_{1d}^* = 0.75$ 'dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C 4, Şekil F.5 ve Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.21$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.19$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.21$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.18$ 'dir. Bu durumda tabakalaşmış sıcak su hacmi $f/H=0.27$ oranındaki tanka göre azdır.

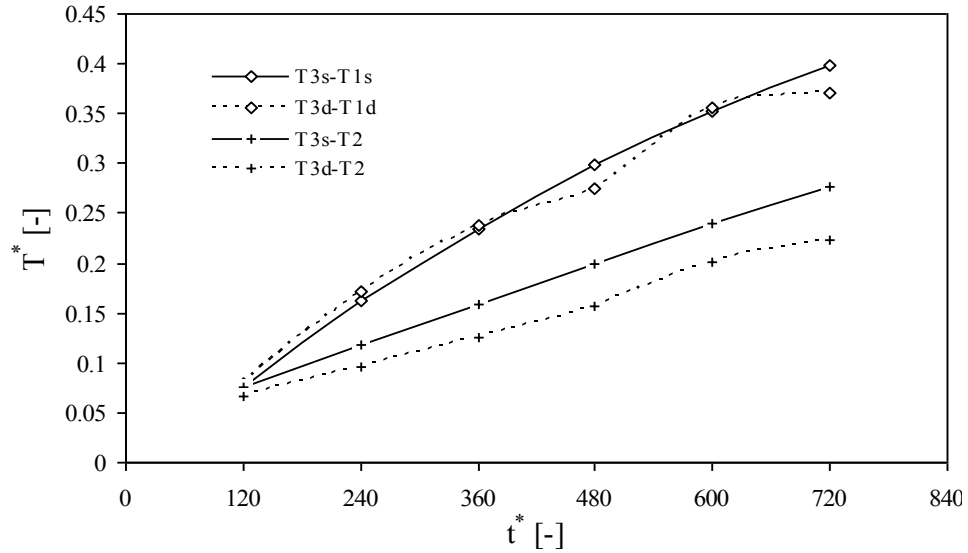
5.4.2 g/ D=0.2 için elde edilen sonuçlar

$f/H=0.067$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.0314 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.099 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 5, Şekil D 1 ve Şekil 5.13'de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.98$, $T_{3d}^* = 0.92$,

depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.59$, $T_{1d}^* = 0.56$ 'dır. Ekler bölümünde verilen Şekil C 5, Şekil F.1 ve Şekil 5.14'de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.38$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.36$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.29$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.23$ 'dür.



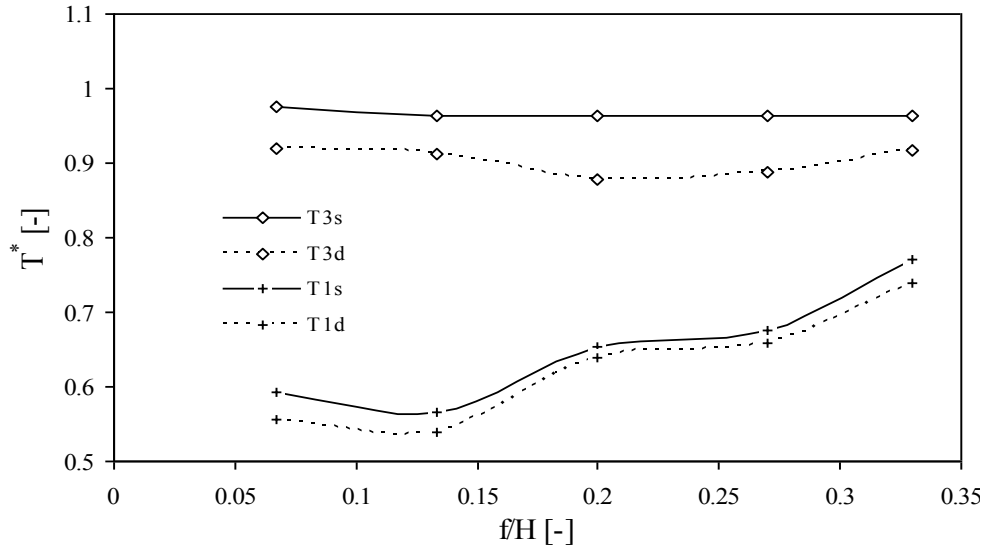
Şekil 5.11 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Dağılımları



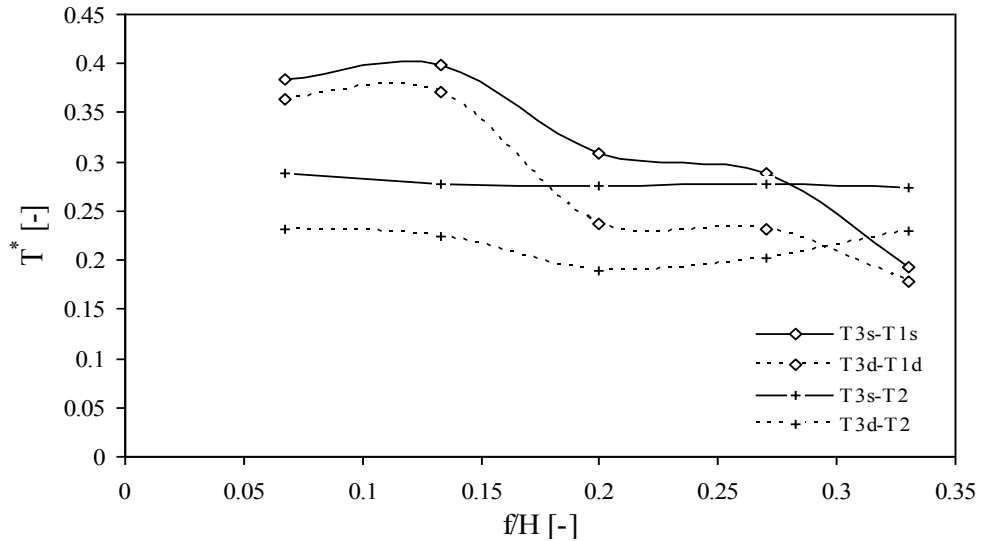
Şekil 5.12 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları

$f/H=0.133$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.0314 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.0205 m^3 'dür. Şekil 5.11, Şekil 5.13 ve Ekler bölümünde verilen Şekil D 2'

de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.91$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.57$, $T_{1d}^* = 0.54$ 'dir. Şekil 5.12, Şekil 5.14 ve Ekl er bölümünde verilen Şekil F.2' de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.40$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.37$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.22$ 'dir.



Şekil 5.13: $t^* = 720$ ve $g/D = 0.2$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



Şekil 5.14: $t^* = 720$ ve $g/D = 0.2$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları

$f/H = 0.2$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.0314 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi

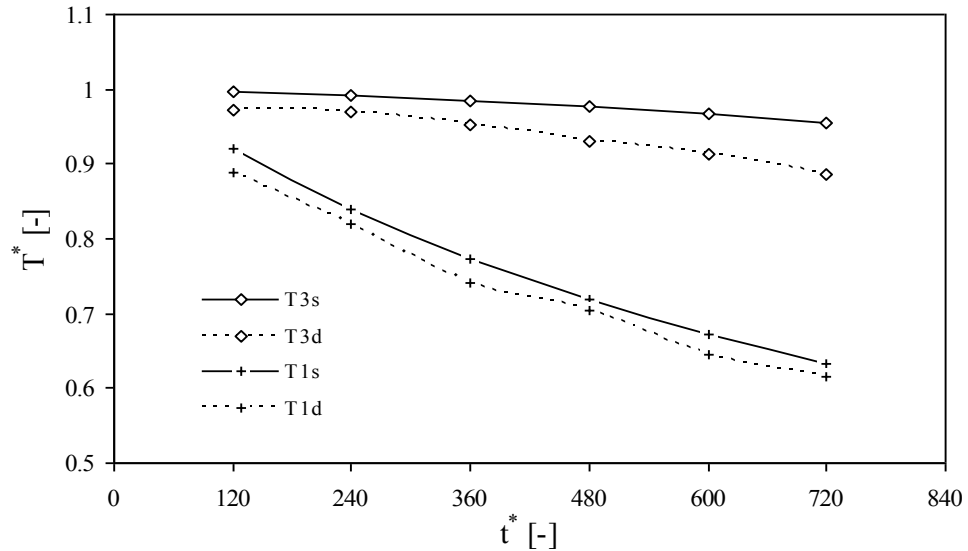
0.942 m³'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 6, Şekil D 3 ve Şekil 5.13'de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.88$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.65$, $T_{1d}^* = 0.64$ 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil C 6, Şekil F.3 ve Şekil 5.14'de görüldüğü gibi, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.31$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.24$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.27$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.19$ 'dur.

f/H=0.27 oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.0314 m²'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.8635 m³'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 7, Şekil D 4 ve Şekil 5.13'de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.89$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.67$, $T_{1d}^* = 0.66$ 'dır. Ekler bölümünde verilen Şekil C 7, Şekil F.4 ve Şekil 5.14'de görüldüğü gibi, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.29$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.23$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.20$ 'dir.

f/H=0.33 oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.0314 m²'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.785 m³'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 8, Şekil D 5 ve Şekil 5.13'de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.92$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.77$, $T_{1d}^* = 0.74$ 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil C 8, Şekil F.5 ve Şekil 5.14'de görüldüğü gibi, kullanımsuyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.19$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.18$ ve kullanımsuyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.27$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.23$ 'dür.

5.4.3 g/ D=0.3 için elde edilen sonuçlar

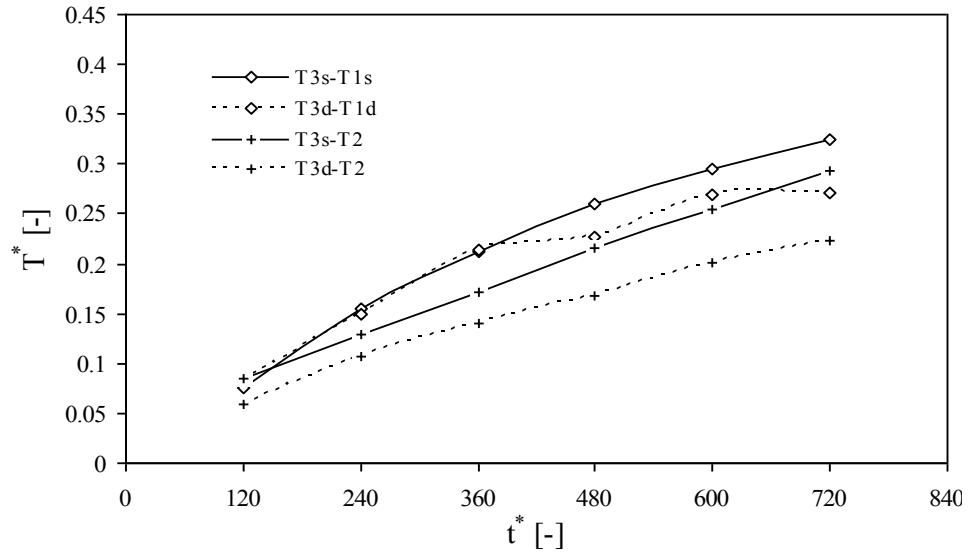
f/ H=0.067 oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.07065 m²' dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.099 m³' dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B.9, Şekil D.1 ve Şekil 5.17' de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.97$, $T_{3d}^* = 0.89$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.61$, $T_{1d}^* = 0.59$ ' dur. Ekler bölümünde verilen Şekil C.9, Şekil F.1 ve Şekil 5.18' de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.36$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.29$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.31$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.22$ ' dir.



Şekil 5.15 : g/ D=0.3 ve f/ H=0.133 Oranlarında Sıcaklık Dağılımları

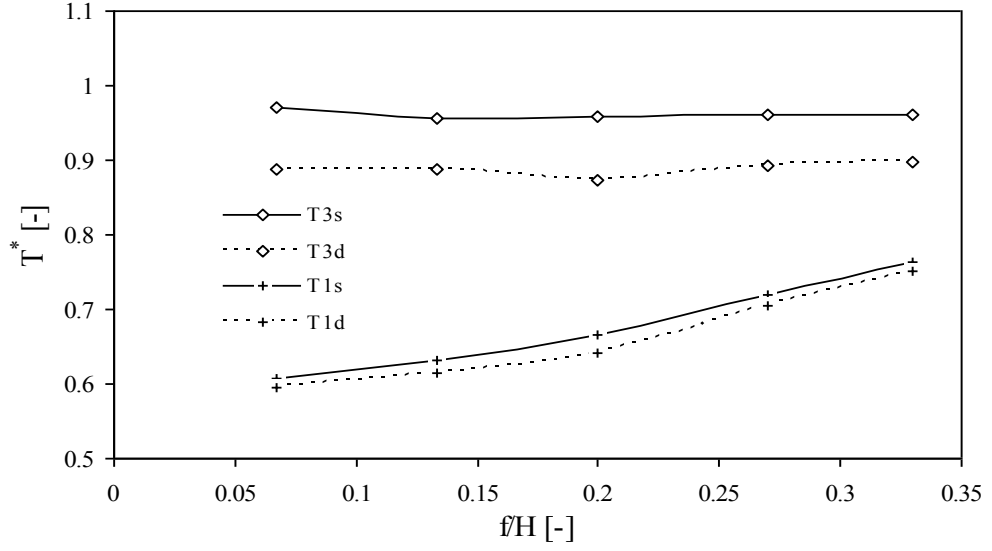
f/ H=0.133 oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.07065 m²' dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.0205 m³' dür. Şekil 5.15, Şekil 5.17 ve Ekler bölümünde verilen Şekil D.2' de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.89$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.63$, $T_{1d}^* = 0.61$ ' dir. Şekil 5.16, Şekil 5.18 ve Ekler bölümünde verilen Şekil F.2' de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.32$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.27$ ve

kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.29$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.22$ dir.

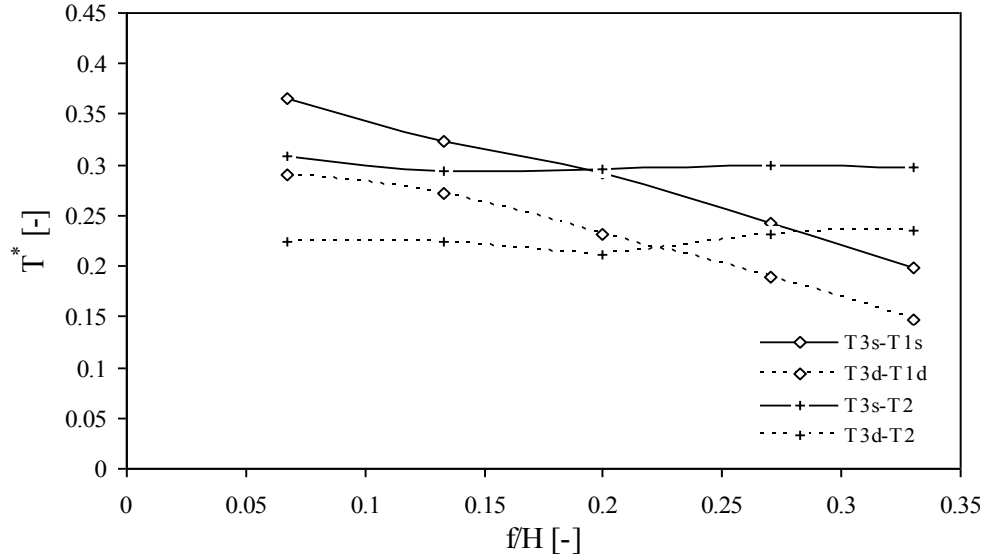


Şekil 5.16 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımı

$f/H=0.2$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.07065 m^2 dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabaka aşımını sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.942 m^3 dir. Ekler bölümünde verilen Şekil B.10, Şekil D.3 ve Şekil 5.17'de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.87$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.67$, $T_{1d}^* = 0.64$ dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C.10, Şekil F.3 ve Şekil 5.18'de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.29$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.23$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.29$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.21$ dir.



Şekil 5.17: $t^* = 720$ ve $g/D = 0.3$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



Şekil 5.18: $t^* = 720$ ve $g/D = 0.3$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları

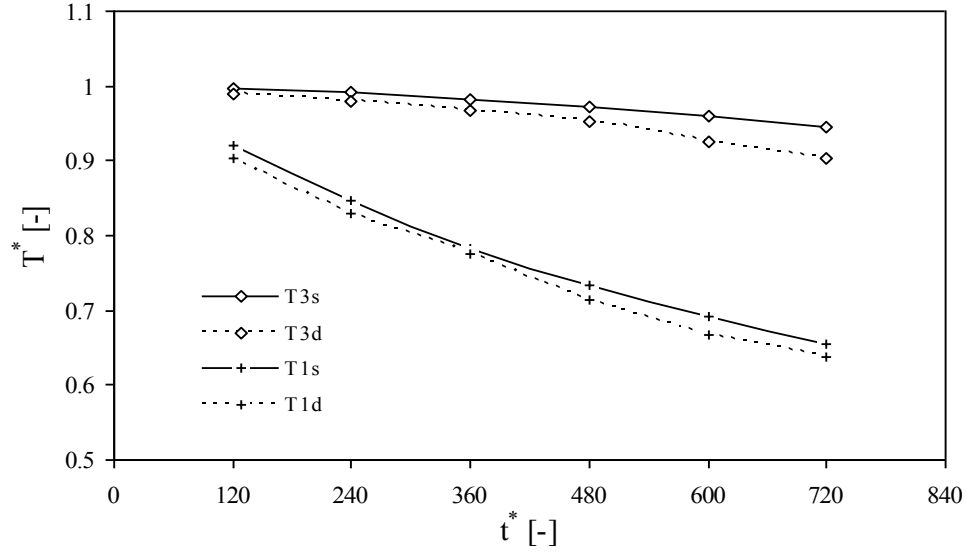
$f/H = 0.27$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.07065 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.8635 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B.11, Şekil D.4 ve Şekil 5.17' de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.89$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.72$, $T_{1d}^* = 0.70$ 'dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C.11, Şekil F.4 ve Şekil 5.18' de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.24$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.19$ ve

kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.30$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.23$ 'dür.

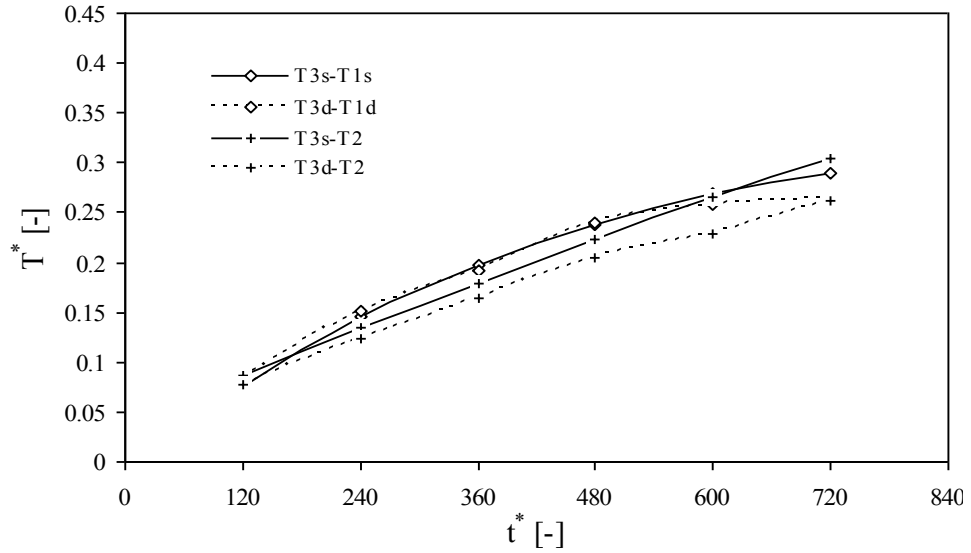
f/ $H=0.33$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.07065 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.785 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 12, Şekil D 5 ve Şekil 5.17'de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.90$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.76$, $T_{1d}^* = 0.75$ 'dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C 12, Şekil F.5 ve Şekil 5.18'de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.20$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.15$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.30$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.23$ 'dür.

5.4.4 g/ $D=0.4$ içinde edilen sonuçlar

f/ $H=0.067$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.1256 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.099 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 13, Şekil D 1 ve Şekil 5.21'de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.97$, $T_{3d}^* = 0.89$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.61$, $T_{1d}^* = 0.58$ 'dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C 13, Şekil F.1 ve Şekil 5.22'de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.35$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.31$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.33$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.25$ 'dir.

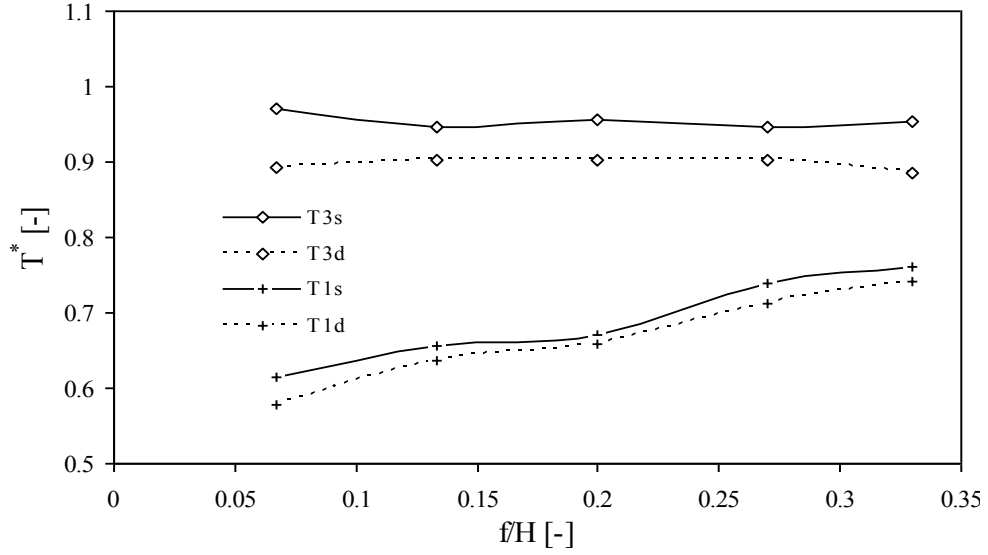


Şekil 5 19 : $g/ D=0.4$ ve $f/ H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Dağılımları

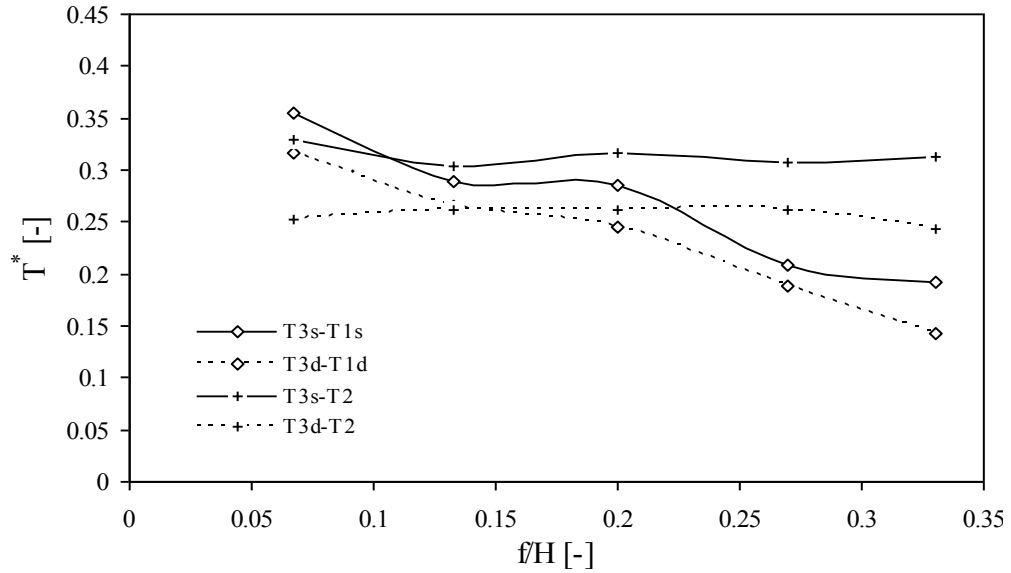


Şekil 5 20 : $g/ D=0.4$ ve $f/ H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları

$f/ H=0.133$ oranında tankını içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.1256 m^2 dir. Silindirik engelden üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.0205 m^3 dir. Şekil 5.19, Şekil 5.21 ve Ekler bölümünde verilen Şekil D.2' de görüldüğü gibi, kullanımsuyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.94$, $T_{3d}^* = 0.90$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.66$, $T_{1d}^* = 0.64$ dir. Şekil 5.20, Şekil 5.22 ve Ekler bölümünde verilen Şekil F.2' de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.29$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.26$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.30$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.26$ dir.



Şekil 5.21 : $t^* = 720$ ve $g/D = 0.4$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



Şekil 5.22 : $t^* = 720$ ve $g/D = 0.4$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları

$f/H = 0.2$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.1256 m^2 'dir. Silindirik engelden üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.942 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B.14, Şekil D.3 ve Şekil 5.21'de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.90$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.67$, $T_{1d}^* = 0.66$ 'dır. Ekler bölümünde verilen Şekil C.14, Şekil F.3 ve Şekil 5.22'de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.28$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.24$ ve

kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.32$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.26$ ’dır.

$f/H=0.27$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.1256 m^2 ’dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.8635 m^3 ’dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 15, Şekil D 4 ve Şekil 5.21’de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.95$, $T_{3d}^* = 0.90$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.74$, $T_{1d}^* = 0.71$ ’dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C 15, Şekil F.4 ve Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.21$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.19$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.31$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.26$ ’dır.

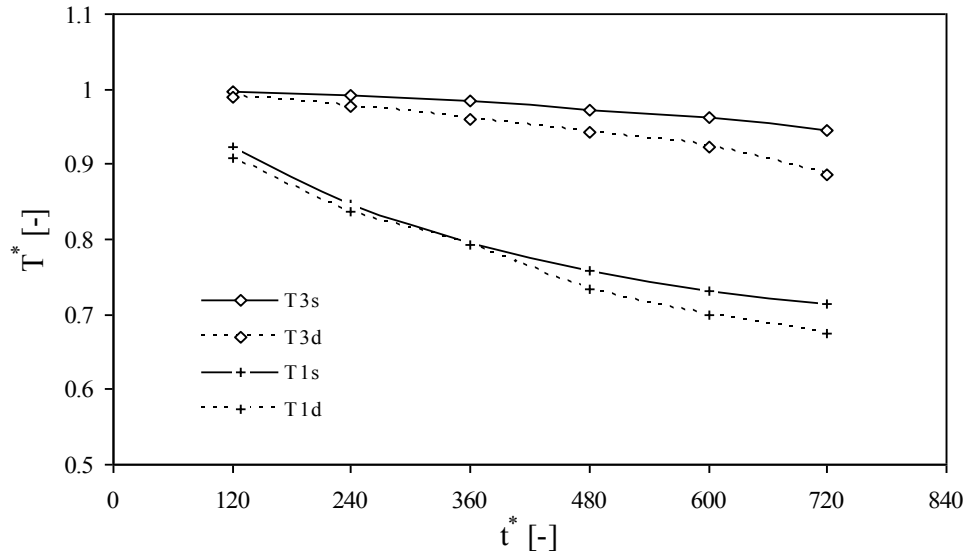
$f/H=0.33$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.1256 m^2 ’dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.785 m^3 ’dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 16, Şekil D 5 ve Şekil 5.21’de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.95$, $T_{3d}^* = 0.88$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.76$, $T_{1d}^* = 0.74$ ’dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C 16, Şekil F.5 ve Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.19$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.14$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.31$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.24$ ’dür.

5.4.5 g) $D=0.5$ için elde edilen sonuçlar

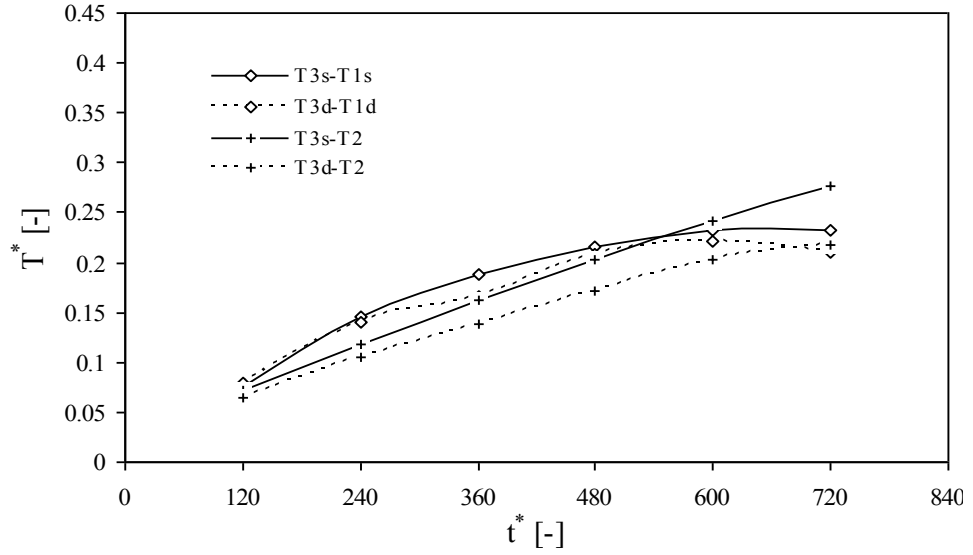
$f/H=0.067$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.19625 m^2 ’dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.099 m^3 ’dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 17, Şekil D 1 ve Şekil 5.25’de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.97$, $T_{3d}^* = 0.87$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.69$, $T_{1d}^* = 0.65$ ’dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C 17, Şekil F.1 ve Şekil 5.26’da

görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.28$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.21$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.30$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.20$ 'dır. Yukarıdaki irdelenen sonuçlarına göre denilebilir ki, tabakalaşmış sıcak su hacmi aynı kalnak şartı ile sıcak su ile soğuk suyun temas alanını artırarak; $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ sıcaklık farklarını azaltmakta, aynı zamanda ısıtıcı tankı(kolektör) veriminin düşmesine neden olmaktadır.

$f/H=0.133$ oranında tankının içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.19625 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 1.0205 m^3 'dür. Şekil 5.23, Şekil 5.25 ve Ekler bölümünde verilen Şekil D.2' de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.94$, $T_{3d}^* = 0.89$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.71$, $T_{1d}^* = 0.67$ 'dir. Şekil 5.24, Şekil 5.26 ve Ekler bölümünde verilen Şekil F.2' de görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.23$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.21$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.22$ 'dir.

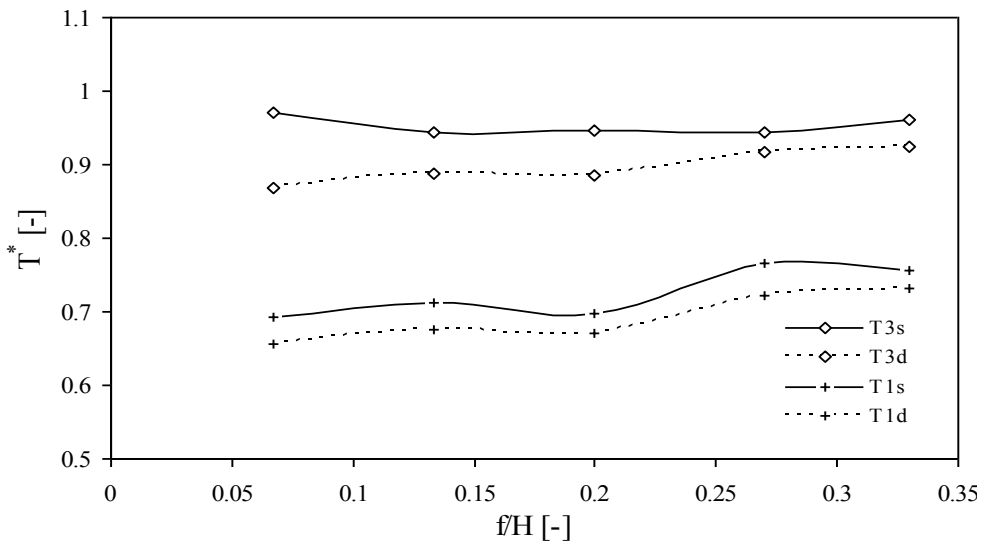


Şekil 5.23 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Dağılımları

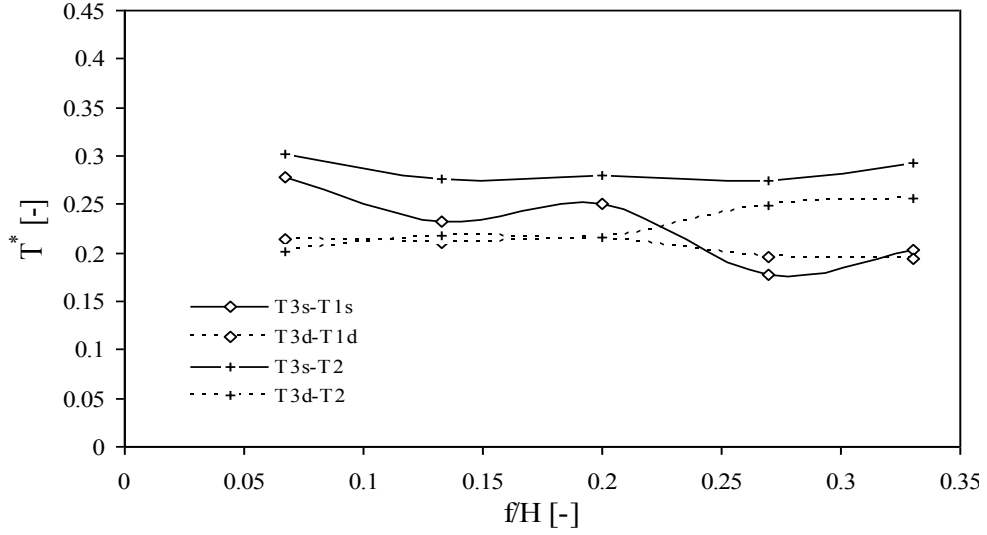


Şekil 5 24: $g/ D=0.5$ ve $f/ H=0.133$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları

$f/ H=0.2$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.19625 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.942 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B 18, Şekil D 3 ve Şekil 5.25'de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.95$, $T_{3d}^* = 0.88$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.70$, $T_{1d}^* = 0.67$ 'dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C 18, Şekil F.3 ve Şekil 5.26'da görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.25$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.21$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.28$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.22$ 'dir.



Şekil 5 25: $t^*=720$ ve $g/ D=0.5$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



Şekil 5.26 : $t^* = 720$ ve $g/D = 0.5$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları

$f/H = 0.27$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.19625 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.8635 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B.19, Şekil D.4 ve Şekil 5.25' de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.94$, $T_{3d}^* = 0.92$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.77$, $T_{1d}^* = 0.72$ 'dir. Ekler bölümünde verilen Şekil C.19, Şekil F.4 ve Şekil 5.26' da görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.18$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.19$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.27$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.25$ 'dir.

$f/H = 0.33$ oranında tankın içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı 0.19625 m^2 'dir. Silindirik engel den üst kısmında kalan tabakalaşmanın sağlandığı sıcak suyun hacmi 0.785 m^3 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil B.20, Şekil D.5 ve Şekil 5.25' de görüldüğü gibi, kullanım suyunun boyutsuz sıcaklık değerleri $T_{3s}^* = 0.96$, $T_{3d}^* = 0.92$, depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklık değerleri, $T_{1s}^* = 0.76$, $T_{1d}^* = 0.73$ 'dür. Ekler bölümünde verilen Şekil C.20, Şekil F.5 ve Şekil 5.26' da görüldüğü gibi, kullanım suyu ile depolama tankından ısıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_{1s}^* = 0.20$, $T_{3d}^* - T_{1d}^* = 0.19$ ve kullanım suyu sıcaklığı ile ısıtıcı tanktan depolama tankına gelen suyun boyutsuz sıcaklıkları arasındaki fark değerleri, $T_{3s}^* - T_2^* = 0.29$, $T_{3d}^* - T_2^* = 0.26$ 'dır.

5.5 Engelli ve Engelsiz Tank İçin H de Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

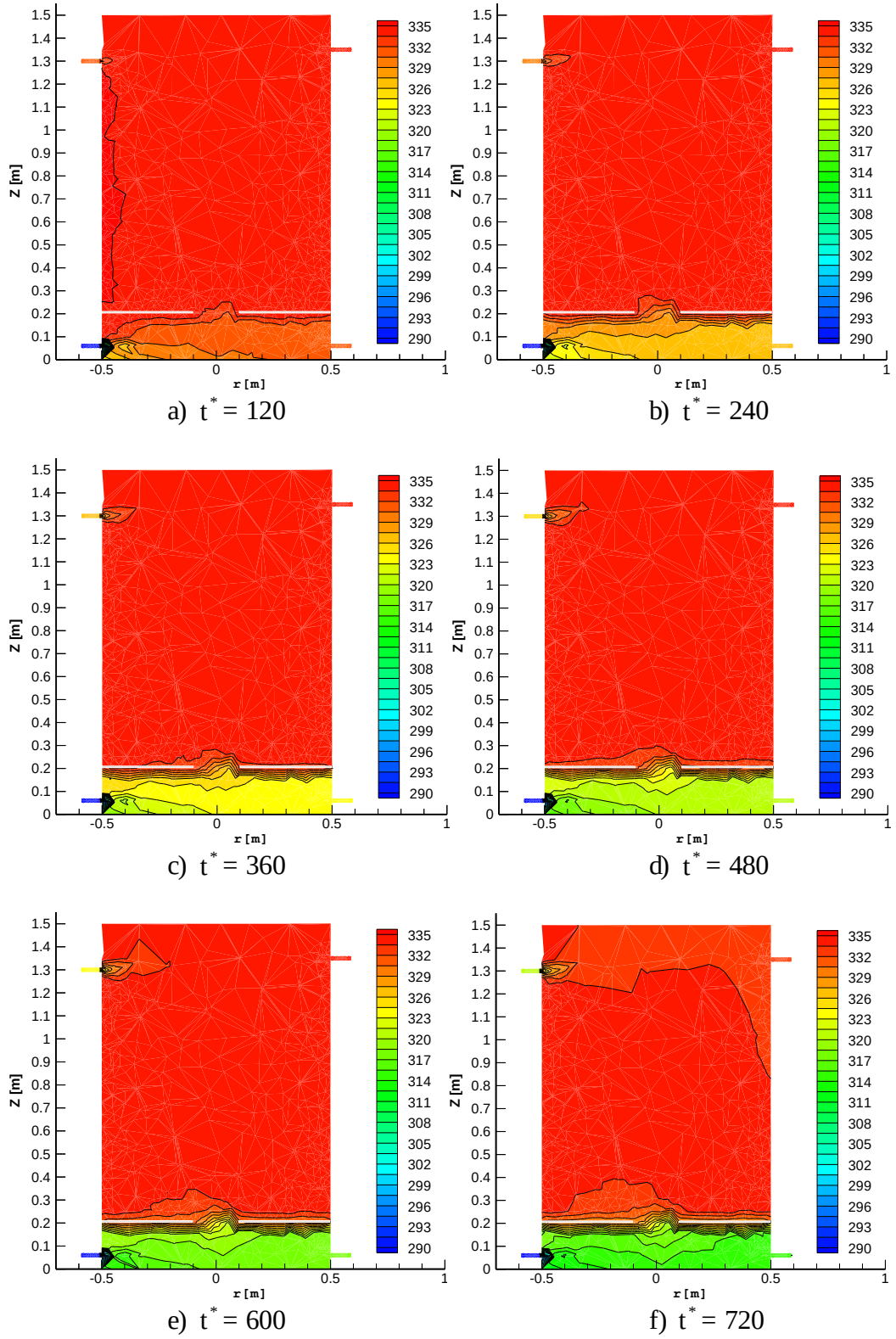
Boyutsuz sıcaklık değerleri ve farklara bakıldığında, deneysel değerler sayısal değerlerden her zaman küçük çıkmaktadır. Sebebi ise sayısal çözümde depolama tankının ideal yalıtıldığı düşünül müştür. Fakat deney sırasında depolama tankının ne kadar yalıtılırsa yalıtılınsın çevreye ısı kaybı olmaktadır. Sıcak su alınmaya başlandığı zamandan, $t^* = 720$ boyutsuz zamana kadar, her bir 120 boyutsuz zaman aralığında alınan deneysel ve sayısal verilere bakıldığında; zaman ilerledikçe T_{3s}^* , T_{3d}^* değerlerinde çok az düşüş, T_{1s}^* , T_{1d}^* değerlerinde ise sıcak su kullanımı zamanı arttıkça hızla düşüş gözlenmektedir. Bunun sonucunda $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerleri de, kullanım mesnasında tanka giren soğuk su nedeni ile zaman ilerledikçe artmaktadır.

g/D oranı arttıkça T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde düşme olmasına rağmen, T_{1s}^* ve T_{1d}^* değerlerinde artma gözlenmektedir. Çünkü tankın içerisindeki engelin üzerinde kalan sıcak su hacmi ile, engelin altında kalan ve şehir şebekesinden gelen soğuk su ile doldurulan hacmin temas alanı artmaktadır. Bunun sonucunda engel altında kalan soğuk su kütlesinin, engel üzerinde kalan sıcak su kütlesi ile temas alanı vasıtasıyla karışımı gerçekleşmekte ve dolayısı ile sıcak sudan soğuk suya taşınan ısı transferi gerçekleşmektedir. Kısaca g/D oranının artmasına bağlı olarak, temas alanında artma olmakta ve bu artışa bağlı olarak, temas alanından sıcak sudan soğuk suya olan taşınan ısı transferinde artış gözlenmektedir. Bu nedenle engelin üzerinde kalan sıcak su hacminin sıcaklığında gözle görülür düşme olmaktadır. Yukarıda izah edilen sebeplerden dolayı g/D oranının artmasına bağlı olarak T_{3s}^* , T_{3d}^* değerlerinde düşüş, fakat T_{1s}^* ve T_{1d}^* değerlerinde de artış gözlenmektedir. Buna bağlı olarak $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerlerinde de düşüş gerçekleşmektedir.

f/H oranı arttıkça T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde düşme olmasına rağmen, T_{1s}^* ve T_{1d}^* değerlerinde artma olmaktadır. Çünkü depolama tankının içerisindeki engelin yukarısında kalan tabakalaşmış sıcak su hacmi, f/H oranının artmasına bağlı olarak azalmaktadır. Bu durumda tanktan sürekli sıcak kullanımı suyu alındığı düşünülürse; $t^* = 720$ boyutsuz zaman boyunca sürekli kullanımı için bu azalan hacimden sıcak su alındığından ve bu azalan sıcak su hacmine ısıtma tankından sürekli 1 boyutsuz sıcaklık değerinde su geldiğinden, depolama tankının üst kısmından alınan

kullanım suyu sıcaklığı T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde az da olsa düşme gözlenmektedir. Fakat f/H oranı arttıkça ise engel altında kalan tankın içindeki hacimde artmaktadır. Çünkü kullanıma başlamadan önce tankın içerisinde tamamen sıcak su bulunmaktadır. Kullanım sırasında şehir şebekesinden tank içindeki engel altında kalan hacme soğuk su girişi olmaktadır. Bu hacimdeki soğuk su ile sıcak su birbirleri ile karıştığından, taşınım ile sıcağın soğuğa ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu nedenlerden dolayı, engel altında kalan hacimdeki suyun boyutsuz sıcaklığında, şehir şebekesi suyunun sıcaklığına göre daha fazla artış olmaktadır. Bunun sonucunda ısıtıcı tanka giden suyun T_{1s}^* ve T_{1d}^* sıcaklık değerlerinde f/H oranının artışına bağlı olarak artış gözlenmesine rağmen, $T_{3s}^* - T_{1s}^*$ ve $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ sıcaklık farkı değerlerinde de düşüş gözlenmektedir. Bununla birlikte Kullanım suyu zamanının artmasına ve g/D ve f/H oranlarındaki artışa bağlı olarak $T_{3s}^* - T_2^*$ ve $T_{3d}^* - T_2^*$ değerlerinde gözle görülen düşüş gerçekleşmektedir.

Engelli ve engelsiz tanklar içerisindeki sıcaklık değerlerinin z-r düzlemindeki görünüşleri, Ekler bölümünde Şekil A 1 - Şekil A 29 da gösterilmiştir. Depolama tankı içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümü, engelsiz ve engelli tanklarda 120., 240., 360., 480., 600., 720. boyutsuz zamanlarında ve g/D ve f/H oranlarında verilmiştir. Engelsiz tank içerisindeki tabakalaşmadan fazla söz edilemez. Çünkü depolama tankı içerisindeki ısı olarak tabakalaşmış kullanıma hazır sıcak su kütlesi, kullanım sırasında şehir şebekesinden tanka dolan soğuk su tarafından karışma uğramakta ve sıcaklık tabakalaşması bozulmaktadır. Fakat, g/D ve f/H oranlarındaki tank modellerinde bu sıcaklık değerleri görünümüne Ek A da bakılırsa, bu oranların değişiminin ısı tabakalaşmaya etkisi görülmektedir. Bu görüş; Ek B, Ek C, Ek D, Ek E, Ek F, Ek G, Ek H, Ek I lar da görüldüğü gibi, g/D f/H ve zamana bağlı olarak T_{3s}^* , T_{1s}^* , T_{3d}^* , T_{1d}^* , $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$, $T_{3s}^* - T_2^*$ ve $T_{3d}^* - T_2^*$ değerleri değerlendirilmeyle alınarak da desteklenmiştir. Ek A da engelli tank içerisindeki sıcaklık değerlerinin z-r düzleminde görünüşüne bakılarak $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarındaki tank modeli seçilmiş ve sıcaklık değerlerinin görünümü de aşağıda Şekil 5 27 de görüldüğü gibi verilmiştir.



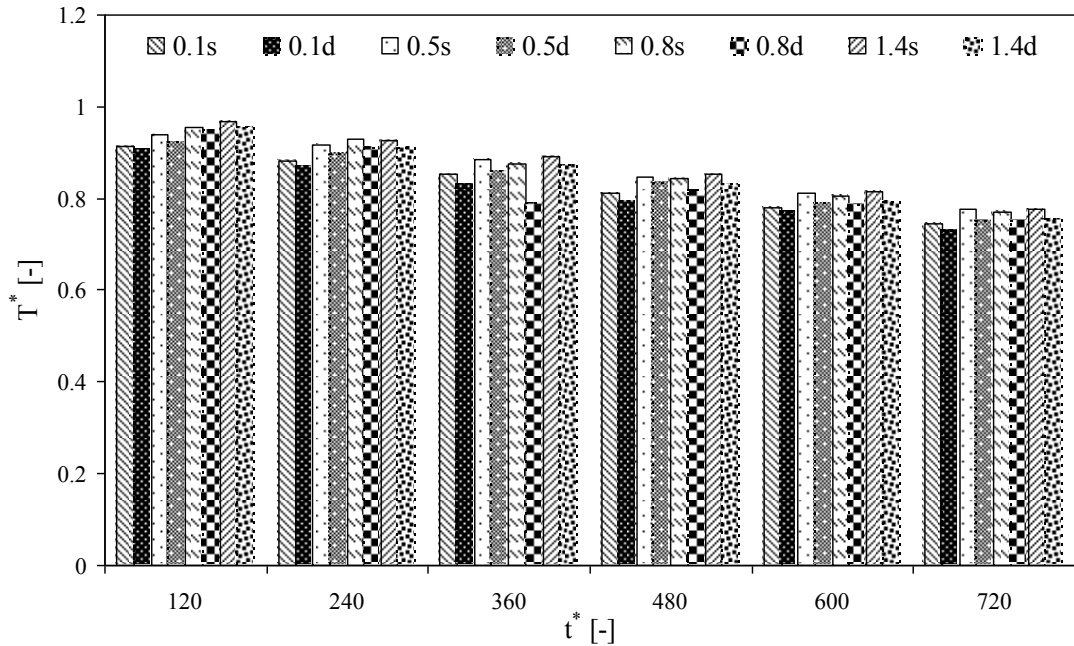
Şekil 5.27 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü

5.6 Farklı Eksenel noktalar için H de Edilen Sonuçlar

Aşağıdaki ve Eklerdeki Şekil H 1- H 20 deki şekillerdeki zamana bağlı bar-grafikler üzerinde, engelli ve engelsiz tankın tabanından yukarıya doğru farklı eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerleri görülmektedir. Eksenel noktalardaki her bir noktanın yükseklik değeri metre cinsinden olup, bu noktaların boyutsuz sıcaklık değerleri hem deneysel hem de sayısal olarak verilmiştir. İrdelenen kısımda sadece $t^* = 720$ boyutsuz zamanda oluşturulmuş değerler verilmiştir.

5.6.1. Engelsiz tank için elde edilen sonuçlar

Aşağıdaki Şekil 5.28’de görüldüğü gibi, engelsiz tank içerisindeki çeşitli eksenel noktalardaki sayısal ve deneysel olarak boyutsuz sıcaklık değerleri; 0.1s mesafesinde; 0.74, 0.1d’de 0.73, 0.5s’de 0.78, 0.5d’de 0.75, 0.8s’de 0.77, 0.8d’de 0.75, 1.4s’de 0.78 ve 1.4d’de 0.75’dir.



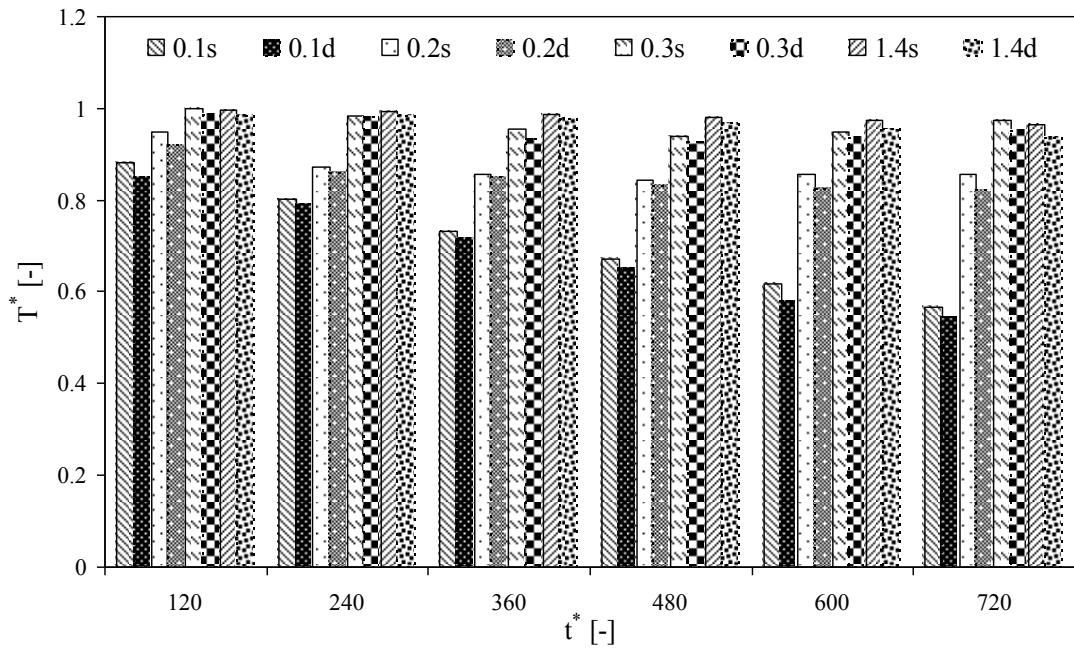
Şekil. 5.28 : Engelsiz Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı

5.6.2. $g/D=0.1$ için elde edilen sonuçlar

$g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerleri Eklere bölümünde verilen Şekil I.1’de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.75, 0.1d’de 0.73, 0.2s’de 0.99, 0.2d’de 0.93, 0.5s’de 0.99, 0.5d’de 0.92, 1.4s’de 0.98 ve 1.4d’de 0.91 değerlerindedir.

$g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Şekil 5.29'da görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.57, 0.1d' de 0.54, 0.2s' de 0.86, 0.2d' de 0.82, 0.3s' de 0.97, 0.3d' de 0.95, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.93 değerlerindedir.

$g/D=0.1$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Eklер bölümünde verilen Şekil I.6'da görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.63, 0.1d' de 0.61, 0.3s' de 0.88, 0.3d' de 0.85, 0.4s' de 0.98, 0.4d' de 0.96, 1.4s' de 0.97 ve 1.4d' de 0.95 değerlerindedir.



Şekil 5.29 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı

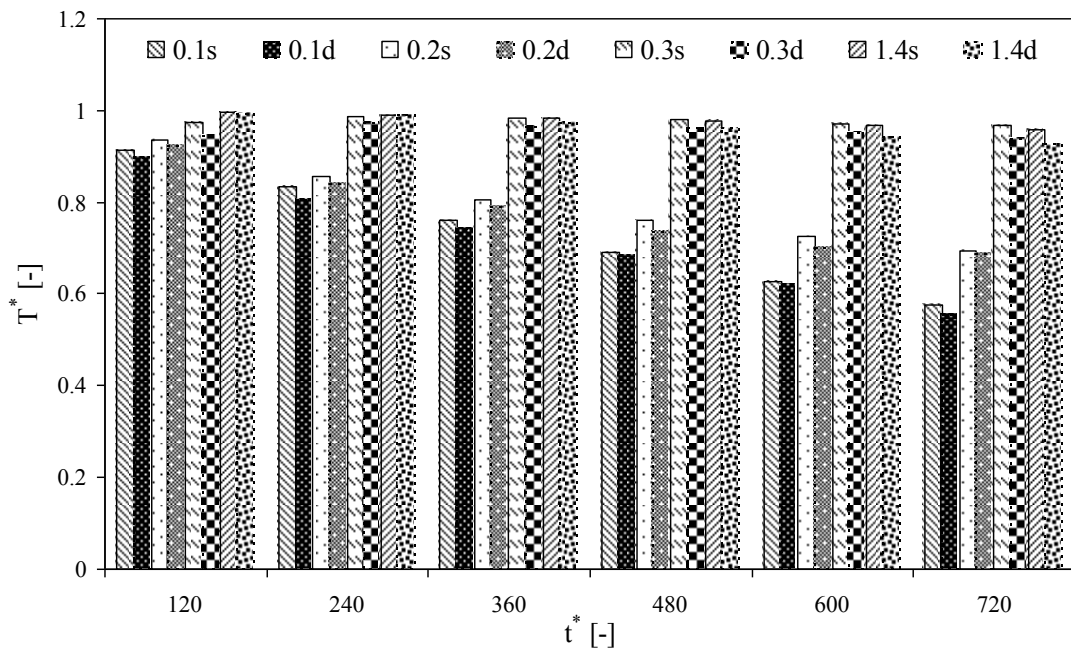
$g/D=0.1$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Eklер bölümünde verilen Şekil I.11'de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.71, 0.1d' de 0.69, 0.4s' de 0.93, 0.4d' de 0.92, 0.5s' de 0.98, 0.5d' de 0.96, 1.4s' de 0.97 ve 1.4d' de 0.96 değerlerindedir.

$g/D=0.1$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Eklер bölümünde verilen Şekil I.16'da görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.75, 0.1d' de 0.75, 0.5s' de 0.77, 0.5d' de 0.74, 0.8s' de 0.98, 0.8d' de 0.96, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.94 değerlerindedir.

5.6.3 g/ D=0.2 için elde edilen sonuçlar

g/ D=0.2 ve f/ H=0.067 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er böl ümünde verilen Şekil I.2' de gör üldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.71, 0.1d' de 0.70, 0.2s' de 0.95, 0.2d' de 0.93, 0.5s' de 0.99, 0.5d' de 0.96, 1.4s' de 0.97 ve 1.4d' de 0.94 değerlerindedir.

g/ D=0.2 ve f/ H=0.133 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri aşağıdaki Şekil 5.30' da gör üldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.57, 0.1d' de 0.55, 0.2s' de 0.69, 0.2d' de 0.68, 0.3s' de 0.97, 0.3d' de 0.94, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.93 değerlerindedir.



Şekil 5.30 : g/ D=0.2 ve f/ H=0.133 Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı

g/ D=0.2 ve f/ H=0.2 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er böl ümünde verilen Şekil I.7' de gör üldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.66, 0.1d' de 0.63, 0.3s' de 0.93, 0.3d' de 0.92, 0.4s' de 0.98, 0.4d' de 0.97, 1.4s' de 0.97 ve 1.4d' de 0.94 değerlerindedir.

g/ D=0.2 ve f/ H=0.27 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er böl ümünde verilen Şekil I.12' de gör üldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.67, 0.1d' de 0.65, 0.4s' de 0.79, 0.4d' de 0.76, 0.5s' de 0.97, 0.5d' de 0.93, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.

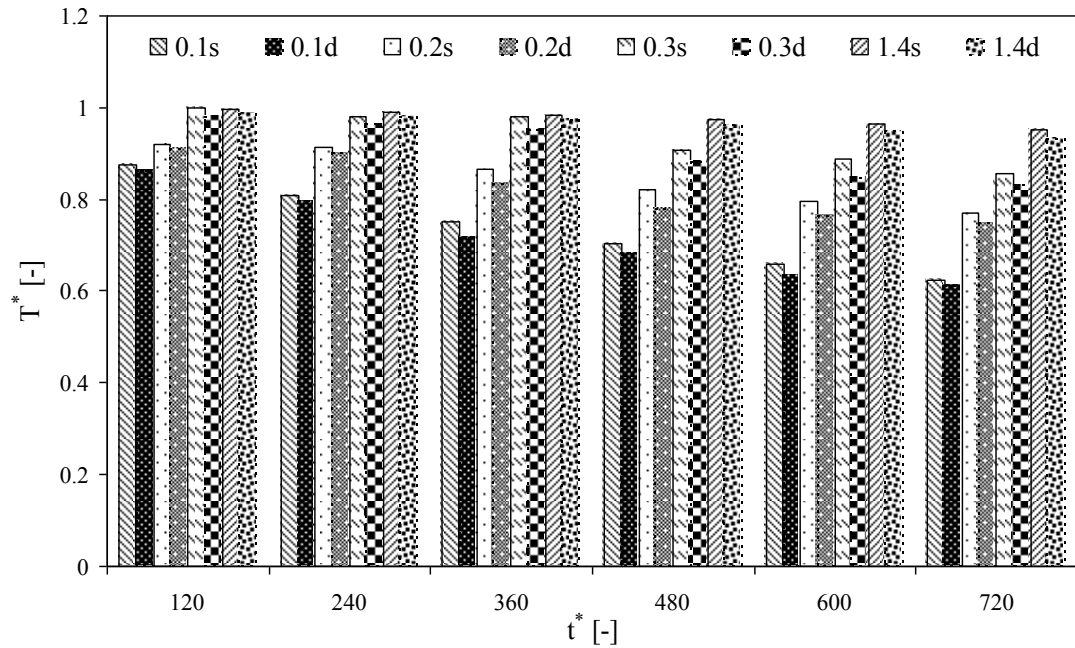
g/ D=0.2 ve f/ H=0.33 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er böl ümünde verilen Şekil I.17' de gör üldüğü gi bi,

0.1s mesafesinde 0.76, 0.1d' de 0.75, 0.5s' de 0.78, 0.5d' de 0.76, 0.8s' de 0.98, 0.8d' de 0.93, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.

5.6.4 g/ D=0.3 için elde edilen sonuçlar

g/ D=0.3 ve f/ H=0.067 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er bölümünde verilen Şekil I.3' de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.97, 0.1d' de 0.90, 0.2s' de 0.97, 0.2d' de 0.91, 0.5s' de 0.99, 0.5d' de 0.92, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.

g/ D=0.3 ve f/ H=0.133 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Şekil 5.31' de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.62, 0.1d' de 0.61, 0.2s' de 0.77, 0.2d' de 0.75, 0.3s' de 0.86, 0.3d' de 0.83, 1.4s' de 0.95 ve 1.4d' de 0.93 değerlerindedir.



Şekil 5.31 : g/ D=0.3 ve f/ H=0.133 Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı

g/ D=0.3 ve f/ H=0.2 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er bölümünde verilen Şekil I.8' de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.65, 0.1d' de 0.64, 0.3s' de 0.76, 0.3d' de 0.74, 0.4s' de 0.97, 0.4d' de 0.93, 1.4s' de 0.95 ve 1.4d' de 0.93 değerlerindedir.

g/ D=0.3 ve f/ H=0.27 oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er bölümünde verilen Şekil I.13' de görüldüğü gibi,

0.1s mesafesinde 0.71, 0.1d' de 0.70, 0.4s' de 0.87, 0.4d' de 0.84, 0.5s' de 0.97, 0.5d' de 0.92, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.

$g/D=0.3$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er bölümünde verilen Şekil I.18' de görüldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.75, 0.1d' de 0.74, 0.5s' de 0.77, 0.5d' de 0.74, 0.8s' de 0.97, 0.8d' de 0.93, 1.4s' de 0.95 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.

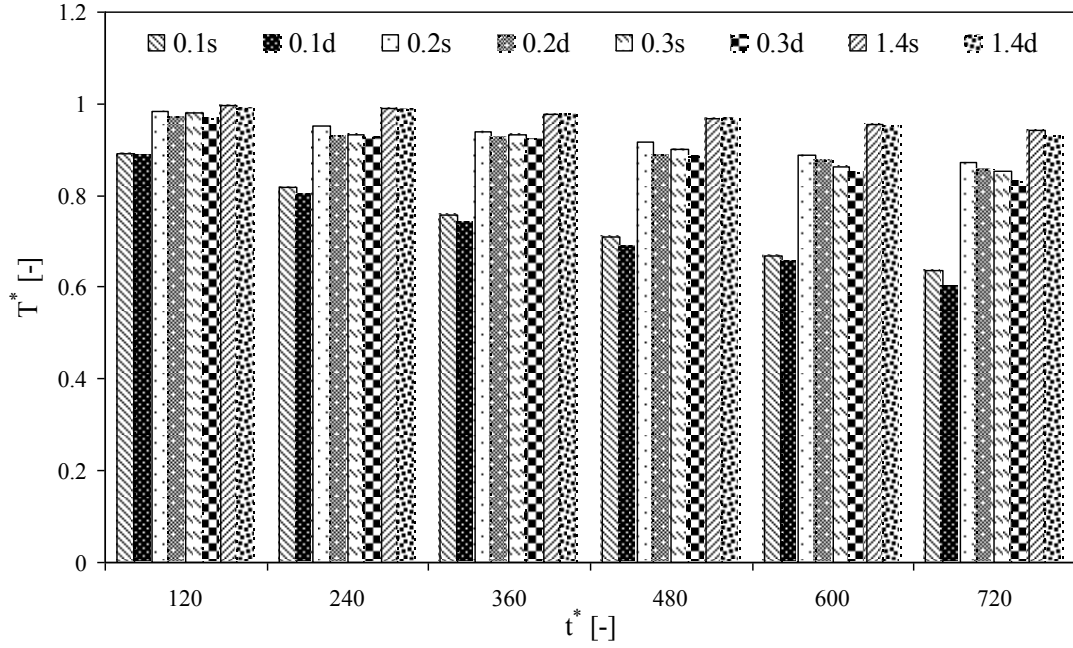
5.6.5 $g/D=0.4$ i ç i n d e e d i l e n s o n u ç l a r

$g/D=0.4$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er bölümünde verilen Şekil I.4' de görüldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.95, 0.1d' de 0.92, 0.2s' de 0.92, 0.2d' de 0.91, 0.5s' de 0.99, 0.5d' de 0.93, 1.4s' de 0.96 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.

$g/D=0.4$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerleri Şekil 5.32' de görüldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.64, 0.1d' de 0.60, 0.2s' de 0.87, 0.2d' de 0.86, 0.3s' de 0.85, 0.3d' de 0.83, 1.4s' de 0.94 ve 1.4d' de 0.93 değerlerindedir.

$g/D=0.4$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er bölümünde verilen Şekil I.9' da görüldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.65, 0.1d' de 0.63, 0.3s' de 0.70, 0.3d' de 0.68, 0.4s' de 0.97, 0.4d' de 0.92, 1.4s' de 0.95 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.

$g/D=0.4$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktalardaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl er bölümünde verilen Şekil I.14' de görüldüğü gi bi, 0.1s mesafesinde 0.73, 0.1d' de 0.71, 0.4s' de 0.77, 0.4d' de 0.75, 0.5s' de 0.96, 0.5d' de 0.93, 1.4s' de 0.94 ve 1.4d' de 0.92 değerlerindedir.



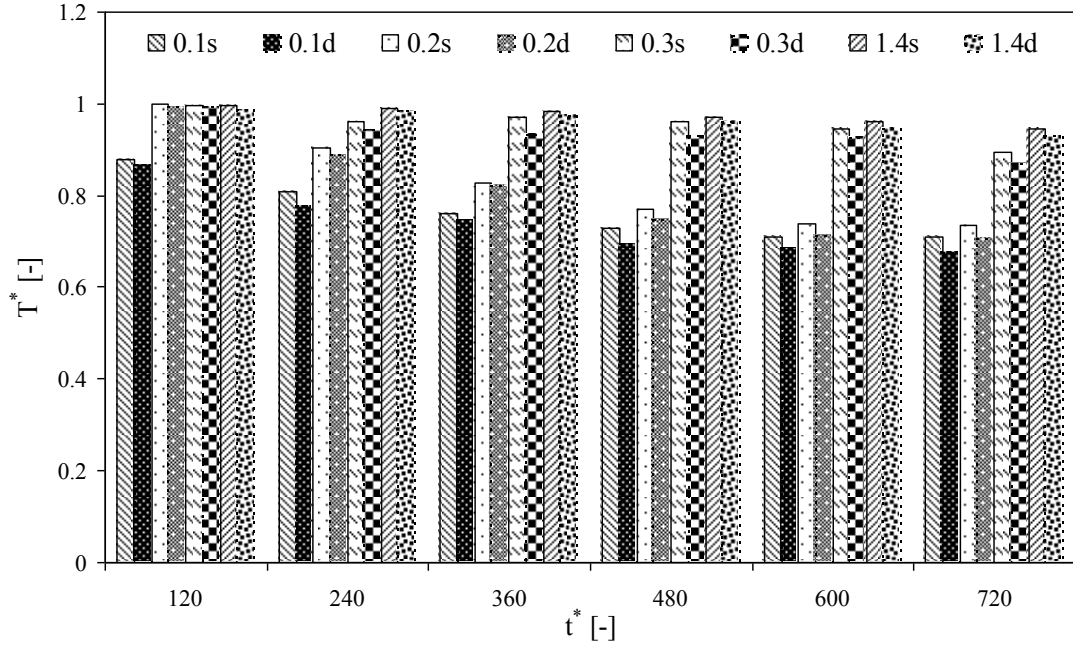
Şekil 5.32 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı

$g/D=0.4$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekler bölümünde verilen Şekil I. 19'da görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.74, 0.1d'de 0.73, 0.5s'de 0.78, 0.5d'de 0.77, 0.8s'de 0.97, 0.8d'de 0.91, 1.4s'de 0.94 ve 1.4d'de 0.91 değerlerindedir.

5.6.6 $g/D=0.5$ için elde edilen sonuçlar

$g/D=0.5$ ve $f/H=0.067$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekler bölümünde verilen Şekil I. 5'de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.80, 0.1d'de 0.79, 0.2s'de 0.93, 0.2d'de 0.89, 0.5s'de 0.94, 0.5d'de 0.89, 1.4s'de 0.96 ve 1.4d'de 0.90 değerlerindedir.

$g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Şekil 5.33'de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.71, 0.1d'de 0.67, 0.2s'de 0.73, 0.2d'de 0.71, 0.3s'de 0.89, 0.3d'de 0.87, 1.4s'de 0.94 ve 1.4d'de 0.93 değerlerindedir.



Şekil 5.33 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı

$g/D=0.5$ ve $f/H=0.2$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl. bölümünde verilen Şekil I.10'da görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.68, 0.1d'de 0.66, 0.3s'de 0.87, 0.3d'de 0.86, 0.4s'de 0.85, 0.4d'de 0.85, 1.4s'de 0.94 ve 1.4d'de 0.92 değerlerindedir.

$g/D=0.5$ ve $f/H=0.27$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl. bölümünde verilen Şekil I.15'de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.77, 0.1d'de 0.74, 0.4s'de 0.83, 0.4d'de 0.82, 0.5s'de 0.90, 0.5d'de 0.88, 1.4s'de 0.93 ve 1.4d'de 0.92 değerlerindedir.

$g/D=0.5$ ve $f/H=0.33$ oranlarında tankın içindeki çeşitli eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri Ekl. bölümünde verilen Şekil I.20'de görüldüğü gibi, 0.1s mesafesinde 0.74, 0.1d'de 0.72, 0.5s'de 0.78, 0.5d'de 0.76, 0.8s'de 0.97, 0.8d'de 0.93, 1.4s'de 0.95 ve 1.4d'de 0.93 değerlerindedir.

5.7. Farklı Eksenel noktalar İçin Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

g/D oranı arttıkça engellerin altındaki eksenel noktadaki hem deneysel hem de sayısal boyutsuz sıcaklık değerleri artmaktadır. Çünkü engelin altındaki şehir şebekesinden gelen soğuk su ile engelin üzerinde kalan hacimdeki sıcak suyun birbiri ile temas alanı artmaktadır. Bu nedenden dolayı sıcak sudan soğuk suya karışım olmakta ve sıcaktan soğuğa taşınım ısı transferi gerçekleşmektedir. Aynı zamanda

depolama tankından ısıtıcı tanka giden T_{1s}^* ve T_{1d}^* sıcaklık değerlerinde artış olmaktadır. Fakat engeller üzerinde kalan eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerlerinde yukarıdaki bölümlerde bahsedilen nedenlerden dolayı biraz azalma gözlemlenmektedir.

f/H oranı arttıkça ise, engel altında kalan tankın içindeki hacimde artmaktadır. Çünkü kullanıma başlamadan önce tankın içerisinde tamamen sıcak su bulunmaktadır. Kullanım sırasında şehir şebekesinden, tank içindeki engel altında kalan hacme soğuk su girişi olmaktadır. Bu hacimdeki soğuk su ile tankın içindeki sıcak su birbirleri ile karıştığından, taşınım ile sıcaktan soğuğa ısı transferi gerçekleşmektedir. Bununla birlikte engel altında kalan eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerleri de artmaktadır. Fakat f/H oranının artışına bağlı olarak engel üzerinde kalan sıcak su hacmi de azalmaktadır. Bu hacimden $t^* = 720$ boyutsuz zaman boyunca sürekli kullanımı için sıcak su alındığından ve bu daralan sıcak su hacmine ısıtma tankından sürekli 1 boyutsuz sıcaklık değerinde su gelmediğinden, engelin üzerinde kalan eksenel noktadaki boyutsuz sıcaklık değerlerinde düşme gözlenmektedir.

Richardson sayısı arttığında engel altında kalan eksenel noktaların boyutsuz sıcaklık değerlerinde hızlı artış, engel üzerinde kalan eksenel noktaların boyutsuz sıcaklıklarında ise normal artış gözlenmektedir. Bu gözlemlerin sonucunda richardson sayısının artışına bağlı olarak sıcak su depolama tankı içerisindeki eksenel noktaların boyutsuz sıcaklık değerleri de artmaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada üzerinde çalışılan sıcak su depolama tankında engelsiz ve f/H g/D oranlarındaki engelli tank modellerine ait sıcaklık değerleri, zanaana bağılı olarak hem deneysel hem de sayısal olarak oluşturulmuştur. Bu değerlerin z-r düzleminde, grafikler ve bar-grafikler üzerinde dağılımları da ekler bölümünde; Ek A, Ek B, Ek C, Ek D, Ek E, Ek F, Ek G, Ek H’de verilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar $R_f=0.96$ değerinde gerçekleştirilmiştir. Richardson sayısıının bu değerinde Bölüm 5.1. de bahsedilen kriterlere göre, çözüm bölgesinde cereyan eden ısı transferi olayında zorlanmış taşınım etkisinin baskın olduğu söylenebilir. Fakat bu değer 1’e yakın bir değer olduğundan, çözüm bölgesinde oluşan ısı transferi olayı azda olsa doğal taşınım yolu ile gerçekleşmektedir.

Uygun tank konfigürasyonu ve di zayn parametreleri seçilerek, sıcak su depolama tankının radyal yöndeki şehir şebeke suyu giriş ve ısıtma tankına giden çıkış kanalları, aynı eksen üzerinde ve simetrik konumda yapılmıştır. Bu model seçimi nedeniyle, tanka giren soğuk şehir şebeke suyunun büyük bir kısmı ısıtma tankına gidiş kanalına yönlendirilmiştir. Bu durum sonucunda depolama tankına giren soğuk su, tankiçerisinde vorteks ve türbülanslara fazla neden olmamaktadır. Sonuç olarak, sıcak su depolama tankı içerisindeki sıcaklık tabakalaşmasını bozucu etkiler azaltılmış olur.

Depolama tankı içindeki çeperlere ve konulan dairesel plakaya soğuk ve sıcak akışkanların çarpması sonucu akım çizgilerinde geri dönmeler ve vorteksler oluşmaktadır. Bu akım çizgilerinde geri dönmelerin ve vortekslerin tankın üst bölümünde bulunan ısı olarak tabakalaşmış su kütleline zarar vermemesi istenmektedir. Bu durumun gerçekleştirilmesi için soğuk ve sıcak su temas alanı, tankiçine yerleştirilen dairesel plakaların g/D oranlarının azaltılması veya artırılması yolu ile optimum temas alanı oluşturularak sağlanmıştır. Bunun yanında g/D oranlarındaki dairesel plakalar, f/H oranlarında eksenel yönde depolama tankının

içine yerleştirilerek tabakalaşmış sıcak su hacmi küçültülmiş veya büyültülüş ve istenilen değerde (62°C) sıcak su elde edilmiştir. Engelli tank modellerinde sıcaklık tabakalaşmasını daha iyi gözlenmeye bilerek için engelsiz tank modeli için de çözümler verilmiştir.

Depolama tankı içerisindeki sıcaklık değerlerinin görünümünü Ekler bölümünde, engelsiz ve engelli tanklarda 120, 240, 360, 480, 600, 720 boyutsuz zaman dilimlerinde g/D ve f/H oranlarında verilmiştir. Engelsiz tank içerisindeki tabakalaşmadan fazla söz edilemez. Çünkü depolama tankı içerisindeki ısı olarak tabakalaşmış kullanıma hazır sıcak su kütlesi, kullanımı sırasında şehir şebekesinden tanka dolan soğuk su tarafından karışma uğramakta ve sıcaklık tabakalaşması bozulmaktadır. Depolama tankından kullanımı suyu alınmaya başlandığı andan itibaren tankın içerisindeki depolanmış suyun sıcaklığı engel olmadığından düşmekte ve giderek soğumaktadır. Isıtıcı tanka giden suyun boyutsuz sıcaklığında (T_{1s}^* , T_{1d}^*) istenmeyen artış, kullanımı suyunun boyutsuz sıcaklığında (T_{3s}^* , T_{3d}^*) ise istenmeyen düşüş olmaktadır. Bunun sonucunda $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ boyutsuz sıcaklık farkları da çok küçük olduğundan, kolektör dolayısı ile ısıtma tankı verimi de düşmektedir. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta uzun süre kullanımı suyu almak mümkün olmaktadır.

İrdeleme kısmında verilen nedenlerden dolayı f/H oranı arttıkça T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerinde düşme olmasına rağmen, T_{1s}^* ve T_{1d}^* değerlerinde artma olmaktadır. Buna bağlı olarak $T_{3s}^* - T_{1s}^*$ ve $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerlerinde de düşüş gözlenmektedir. g/D oranının artmasına bağlı olarak da; T_{3s}^* , T_{3d}^* değerlerinde düşüş, fakat T_{1s}^* , T_{1d}^* değerlerinde artış gözlenmektedir. Buna bağlı olarak aynı şekilde $T_{3s}^* - T_{1s}^*$ ve $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerlerinde de düşüş gözlenmektedir.

Sıcak su alınmaya başlandığı zamandan, 720 boyutsuz zaman dilimine kadar her bir 120 boyutsuz zaman aralıklarında alınan deneysel ve sayısal verilere bakıldığında, T_{3s}^* , T_{3d}^* , T_{1s}^* , T_{1d}^* değerleri sıcak su kullanımı zamanı arttıkça düşmektedir. Fakat $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ değerleri de kullanımı mesnasında tanka giren soğuk nedeni ile zaman ilerledikçe artmaktadır.

Yukarıdaki irdelenen sonuçlarına göre denilebilir ki, tabakalaşmış sıcak su hacmini aynı kalınak şartı ile sıcak su ile soğuk suyun temas alanını artırarak, $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ boyutsuz sıcaklık farklarını azaltmakta, aynı zamanda ısıtma tankının (kollektör) veriminin düşmesine neden olmaktadır. Sıcak su ile soğuk suyun temas alanı aynı kalınak şartı ile, tabakalaşmış sıcak su hacmini azaltarak $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ boyutsuz sıcaklık farkları değerini düşürmekte, aynı zamanda kollektör veriminin dolayısı ile ısıtma tankı veriminin düşmesine neden olmaktadır. $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$ boyutsuz sıcaklık farklarının çok büyük olması Isıtma tankı (kollektör) verimini artırır, fakat tankiçerisine konan dairesel plakalar sanki bir ısı eşanjörü etkisi yapar. Bu da istenmeyen sonuçtur.

g/D ve f/H oranları arttıkça dairesel plakaların altında kalan hacimdeki eksenel noktaların hem deneysel hem de sayısal boyutsuz sıcaklık değerleri artmaktadır. Fakat dairesel plaka üzerinde kalan hacimdeki eksenel noktalarındaki boyutsuz sıcaklık değerlerinde, az da olsa azalma göze çarpmaktadır. Kullanım suyu alma zamanı arttıkça, hem engel altında hem de engelin üzerinde kalan hacimlerdeki eksenel noktaların deneysel ve sayısal boyutsuz sıcaklık değerlerinde düşüş gözlenmektedir.

T_2^* boyutsuz sıcaklıklarının her bir 120 boyutsuz zaman dilimindeki değerleri ölçüldüğünde, zaman ilerledikçe bu ölçülen değerlerde düşüş olmaktadır. Fakat bu düşüş aynı boyutsuz zaman dilimindeki ölçülen T_{3s}^* ve T_{3d}^* değerlerindeki düşüşe göre daha az olmaktadır. Bu gözlemlerin sonucunda $T_{3s}^* - T_2^*$ ve $T_{3d}^* - T_2^*$ değerlerinde, kullanım suyu alma zamanı ilerledikçe, artış olmaktadır. Bununla birlikte g/D ve f/H oranları arttıkça da $T_{3s}^* - T_2^*$ ve $T_{3d}^* - T_2^*$ değerlerinde gözle görülür düşüş gerçekleşebilmektedir.

Yukarıda irdelenen bölümlerinde belirtilmiş gibi, hem g/D hem de f/H oranlarının en düşük olduğu tank modelinin, yani hem tank içinde sıcak su ile soğuk suyun temas alanının en düşük olduğu hem de tank içindeki tabakalaşmış sıcak su hacminin en büyük olduğu tank modelinin seçilmesi gerekmektedir. Buna göre bu sıcak su depolama tank modeli de $g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ oranlarındaki modeldir. Fakat bu oranlarda tasarlanmış sıcak su depolama tankı içindeki sıcak su ile soğuk suyun temas alanı olağandan küçük olduğundan; bu durumu dairesel plaka üzerinde kalan

haci mdeki sı cak su ile dairesel pl aka altında kalan so ğuk su arasında ol uş an eş anj ör (ısı de ğ işt irgeci) et ki si ni daha da fazla artır na kt adı r. Bu da ist en meyen sonuç tır.

Yukarıdaki nedenlerden dol ayı opti mum tank modeli seç i mnde, $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ oranlarındaki tank modeli terci h edil mişt ir. Seç ilen bu tank modeline ait de ğ erler, di ğ er modellerdeki de ğ erlere göre en kabul edilebilir(opti mum) de ğ erlerdir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kılıç A ve Öztürk A**, 1984., Güneş Enerjisi, İ. T. Ü. Maki ne Fakültesi, Güneşsuyu, İstanbul.
- [2] **Duffie, J. A and Beckman, W. A**, 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, *Second Edition, John Wiley and Sons, Inc.*, Canada. pp. 382-426.
- [3] **Dincer, İ. and Rosen, M. A**, 2002. Thermal Energy Storage Systems and Applications, *John Wiley and Sons Ltd*, England pp. 94-294.
- [4] **Sukhatne, S. P.**, 1991., Solar Energy Principles of Thermal Collection and Storage, *Seventh Edition, Tata McGraw – Hill Publishing Company Ltd*, New Delhi, pp. 204-230.
- [5] **Alizadeh, S.**, 1999. An experimental and numerical study of thermal stratification in a horizontal cylindrical solar storage tank, *Solar Energy*, **66**, 6, 409-421.
- [6] **Al-Nmr, M. A**, 1994. Temperature distribution Inside electrical hot water storage tanks, *Applied Energy*, **48**, 353-362.
- [7] **Brunger, A. P., Hollands, K. G. T and Lightstone, M. F.**, 1992. Plume entrainment effects in solar domestic hot water systems employing variable-flow-rate control strategies, *Solar Energy*, **49**, 6, 497-505.
- [8] **Chan, A. M. C., Smerka, P. S and Guisti, D.**, 1983. A numerical study of transient mixed convection flows in a thermal storage tank, *Transactions of The ASME*, **105**, 246-253.
- [9] **Consul, R. and Rodriguez, I.**, 2004. Virtual prototyping of storage tanks by means of three-dimensional CFD and heat transfer numerical simulations, *Solar Energy*, **77**, 179-191.
- [10] **Davidson, J. H., Adams, D. A and Miller, J. A.**, 1994. A coefficient to characterize mixing in solar water storage tanks, *Solar Energy*, **116**, 94-99.
- [11] **Eames, P. C and Norton, B.**, 1998. The effect of tank geometry on thermally stratified sensible heat storage subject to low reynolds number flows, *Int. J. of Heat Transfer*, **41**, 14, 2131-2142.
- [12] **Ghajar, A. J. and Zurigat, Y. H.**, 1991. Numerical study of the effect of inlet geometry on stratification in thermal energy storage, *Numerical Heat Transfer, Part A*, **19**, 65-83.
- [13] **Guo, K. L. and Wu, S. T.**, 1985. Numerical study of flow and temperature stratifications in a liquid thermal storage tank, *Journal of Solar Energy Engineering*, **107**, 15-20.

- [14] **Hahne, E And Chen, Y,** 1998. Numerical study of flow and heat transfer characteristics in hot water stores, *Solar Energy*, **64**, 1-3, 9-18.
- [15] **Hamdan, M G A, Zurigat, Y H and Ghajar, A J,** 1992. An experimental study of a stratified thermal storage under variable inlet temperature for different inlet designs, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **35**, 8, 1927-1934.
- [16] **Hariharan, K and Badrinarayana, K,** 1991. Temperature stratification in hot water storage tanks, *Energy*, **16**, 7, 977-982.
- [17] **Hegazy, A A and Diab, M R,** 2002. Performance of an improved design for storage-type domestic electrical water-heaters, *Applied Energy*, **71**, 287-306.
- [18] **Helwa, N H and Mbarak, A M,** 1995. Effect of hot water consumption on temperature distribution in a horizontal solar water storage tank, *Applied Energy*, **52**, 185-197.
- [19] **Hess, C E and Miller, C W,** 1982. An experimental and numerical study on the effect of the wall in a thermocline-type cylindrical enclosure-I, *Solar Energy*, **Part II**, **28**, 2, 145-152.
- [20] **Hess, C E and Miller, C W,** 1982. An experimental and numerical study on the effect of the wall in a thermocline-type cylindrical enclosure-II, *Solar Energy*, **Part II**, **28**, 2, 153-161.
- [21] **Hollands, K G T and Lightstone, M F,** 1989. A review of low-flow stratified-tank solar water heating systems, *Solar Energy*, **43**, 2, 97-105.
- [22] **Issa, M and Al-Nmr, M,** 1989. Temperature distribution inside hot water storage tanks of solar collectors, *Journal of Solar Energy Engineering*, **111**, 311-317.
- [23] **Jaluria, Y and Gupta, S K,** 1982. Decay of thermal stratification in a water body for solar energy storage, *Solar Energy*, **28**, 2, 137-143.
- [24] **Jeong, S and Park, M H,** 1999. Thermal stratification in a horizontal Circular cylinder with external heat tracing, *Numerical Heat Transfer*, **Part A**, **35**, 85-98.
- [25] **Jesch, L E and Braun, J E,** 1984. Variable volume storage and stratified storage for improved water heater performance, *Solar Energy*, **33**, 1, 83-87.
- [26] **Kleinbach, E M, Beckman, W A and Klein, S A,** 1993. Performance study of one dimensional models for stratified thermal storage tanks, *Solar Energy*, **50**, 2, 155-166.
- [27] **Msra, R S,** 1994. Thermal stratification with thermosyphon effects in solar water heating systems, *Energy Conversion Management*, **35**, 3, 193-203.
- [28] **Mo, Y and Miyatake, O,** 1996. Numerical analysis of the transient turbulent flow field in a thermally stratified thermal storage water tank, *Numerical Heat Transfer*, **Part A**, **30**, 649-667.

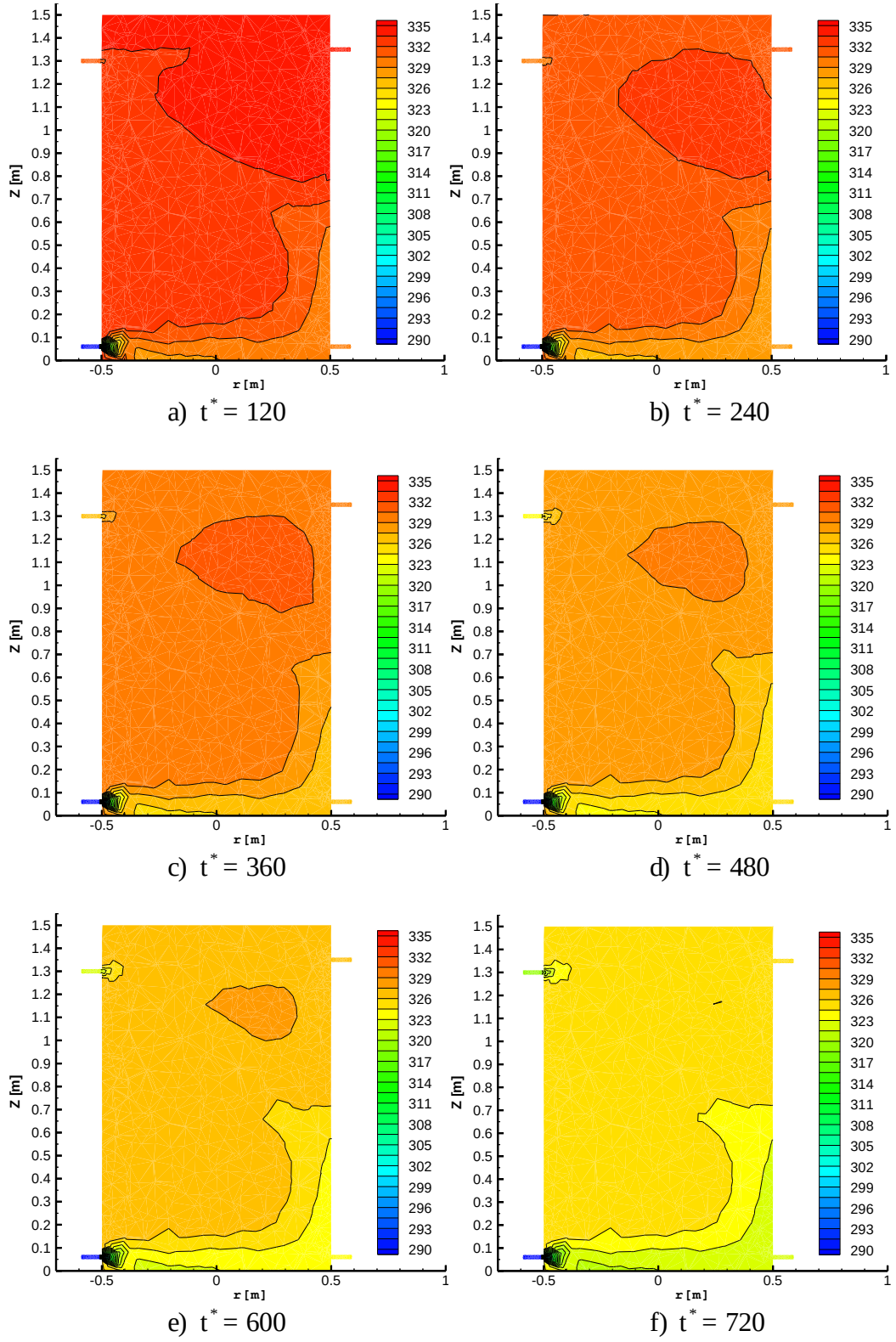
- [29] **Morrison, G L and Tran, H N**, 1984. Simulation of the long term performance of thermosyphon solar water heaters, *Solar Energy*, **33**, 6, 515-526.
- [30] **Murthy, S S, Nelson, J E B and Rao, T L S**, 1992. Effect of wall conductivity on thermal stratification, *Solar Energy*, **49**, 4, 273-277.
- [31] **Parri ni, E, Vitale, S and Castellano, L**, 1992. Rational analysis of mass, momentum and heat transfer phenomena in liquid storage tanks under realistic operating conditions, *Solar Energy*, **Part I**, **49**, 2, 87-94.
- [32] **Parri ni, E, Vitale, S and Castellano, L**, 1992. Rational analysis of mass, momentum and heat transfer phenomena in liquid storage tanks under realistic operating conditions, *Solar Energy*, **Part II**, **49**, 2, 95-106.
- [33] **Phillips, W E and Dave, R N**, 1982. Effects of stratification on the performance of liquid-based solar heating systems, *Solar Energy*, **29**, 2, 111-120.
- [34] **Prapas, D E and Tsiamouris, S G**, 1993. Storage tanks interconnection and operation modes in large DHW solar systems, *Solar Energy*, **51**, 2, 83-91.
- [35] **Shah, L J and Furbo, S**, 2003. Entrance effects in solar storage tanks, *Solar Energy*, **75**, 337-348.
- [36] **Shin, M S, Kim H S and Jang, D S**, 2004. Numerical and experimental study on the design of a stratified thermal storage system *Applied Thermal Engineering*, **24**, 17-27.
- [37] **Shyu, R J, Lin, J Y and Fang, L J**, 1989. Thermal analysis of stratified storage tank, *Transaction of The ASME*, **111**, 54-61.
- [38] **Wid n, M W and Truman, C R**, 1990. Performance of stratified vertical cylindrical thermal storage tanks, *ASHRAE*, **Part I**, **89-19-2**, 1086-1095.
- [39] **Wid n, M W**, 1990. Performance of stratified vertical cylindrical thermal storage tanks, *ASHRAE*, **Part II**, **89-19-3**, 1096-1105.
- [40] **Yoo, H and Kim C J**, 1999. Approximate analytical solutions for stratified thermal storage under variable inlet temperature, *Solar Energy*, **66**, 1, 47-56.
- [41] **Yoo, H and Pak, E T**, 1996. Analytical solutions to a one-dimensional finite-domain model for stratified thermal storage tanks, *Solar Energy*, **56**, 4, 315-322.
- [42] **Yoo, H and Pak, E T**, 1993. Theoretical model of the charging process for stratified thermal storage tanks, *Solar Energy*, **51**, 6, 513-519.
- [43] **Zachar, A, Farkas, I. and Szlivka, E**, 2003. Numerical analyses of the impact of plates for thermal stratification inside a storage tank with upper and lower inlet flows, *Solar Energy*, **74**, 287-302.
- [44] **Zuri gat, Y H, Mil oney, K J. and Ghajar, A J**, 1989. A comparison study of one dimensional models for stratified thermal storage tanks, *Transaction of The ASME*, **111**, 204-210.

- [45] **FLUENT Support Group**, 1999. *Fluent 5 User's Guide*, *Fluent Inc.*
- [46] **Kalkan E Ve Çalışkan N**, 2005., *Aylık Meteoroloji İstasyonu Raporları*, *Yozgat Meteoroloji Müdürlüğü*, Yozgat.

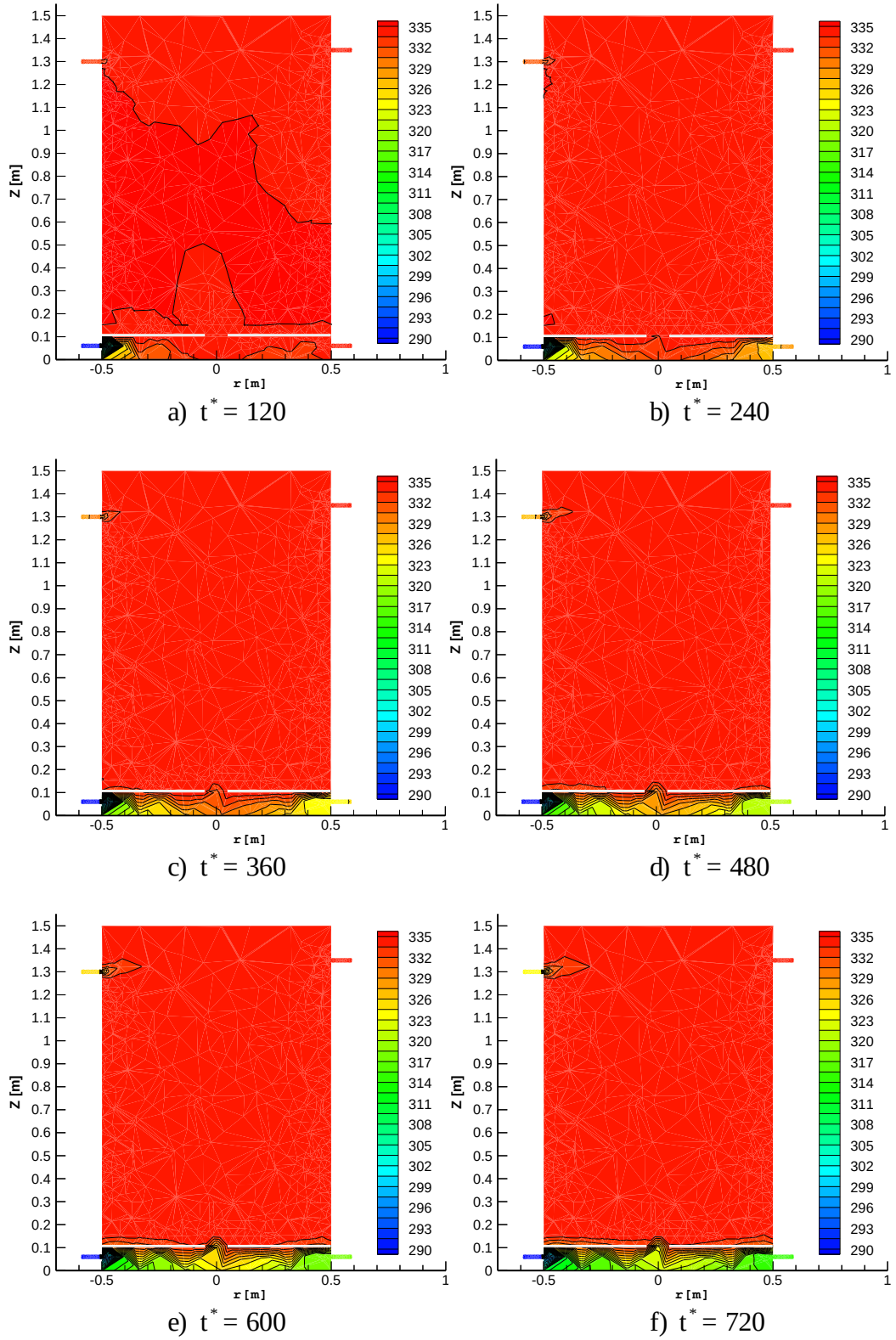
EKLER

EK A

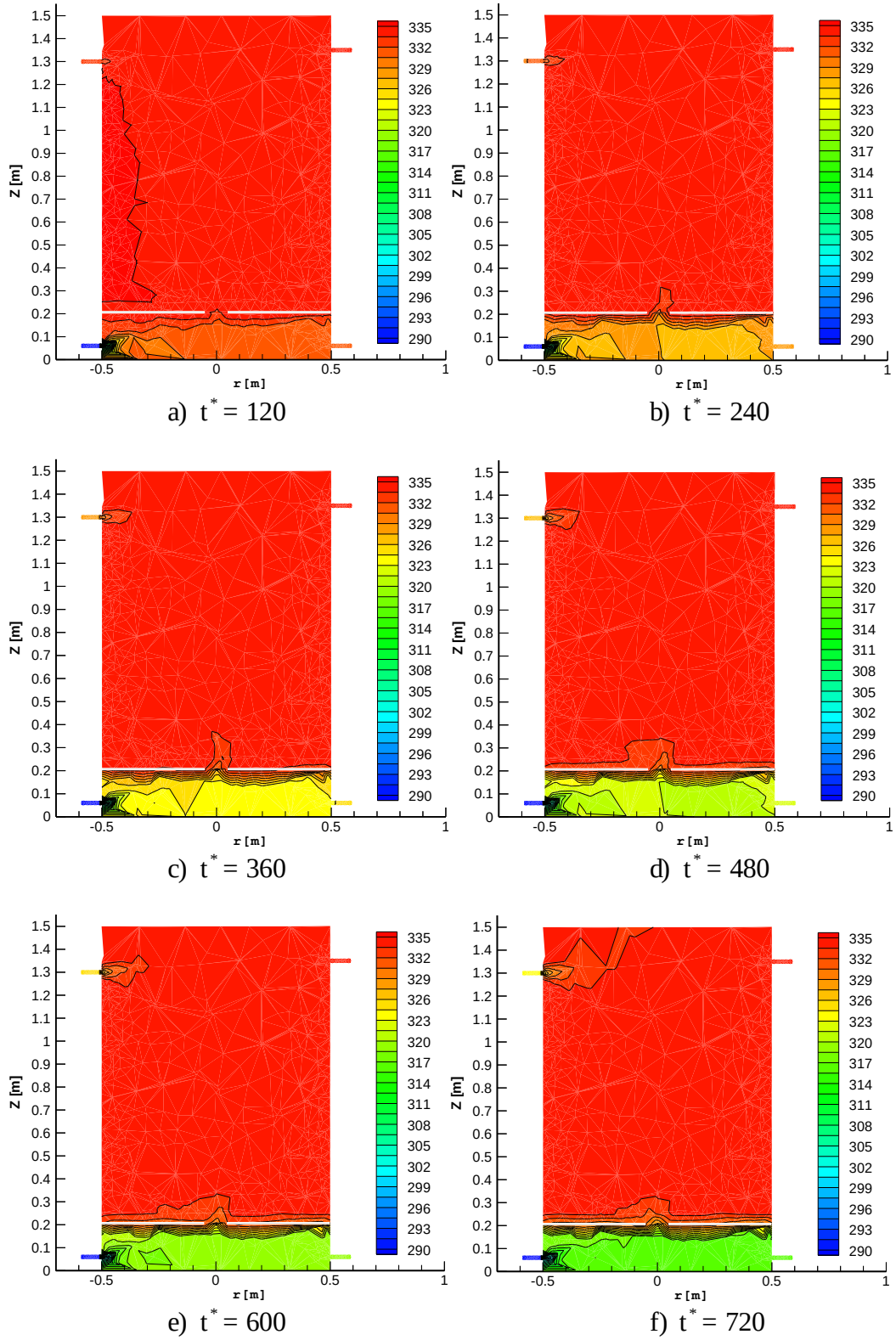
**ENGELSİZ VE ENGELLİ TANK MODELLERİ İÇERİSİNDEKİ SICAKLIK
DEĞERLERİNİN N_z - r DÜZLEMİNDE GÖRÜNÜMÜ**



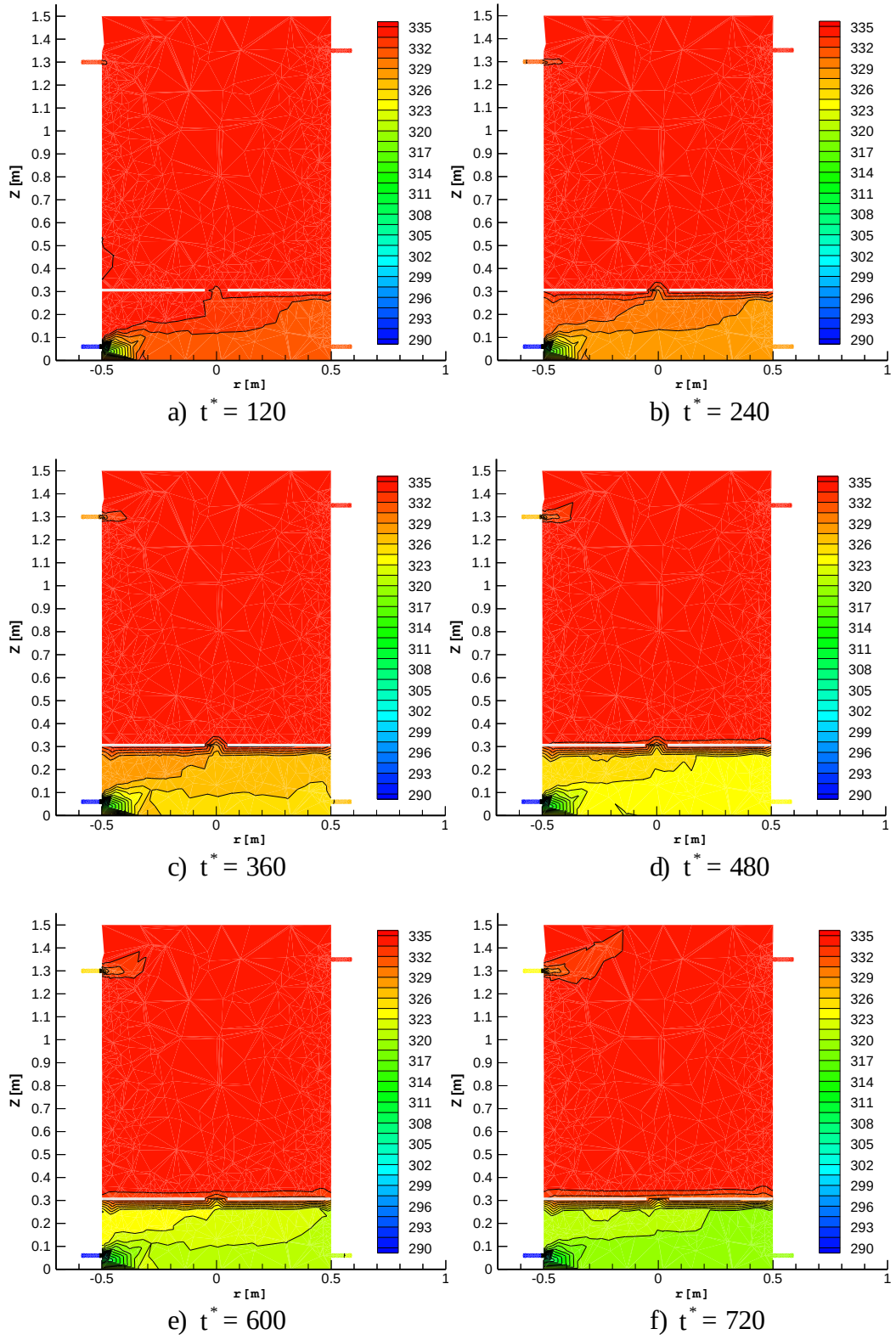
Şekil A1 : z - r Düzleminde Engelsiz Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



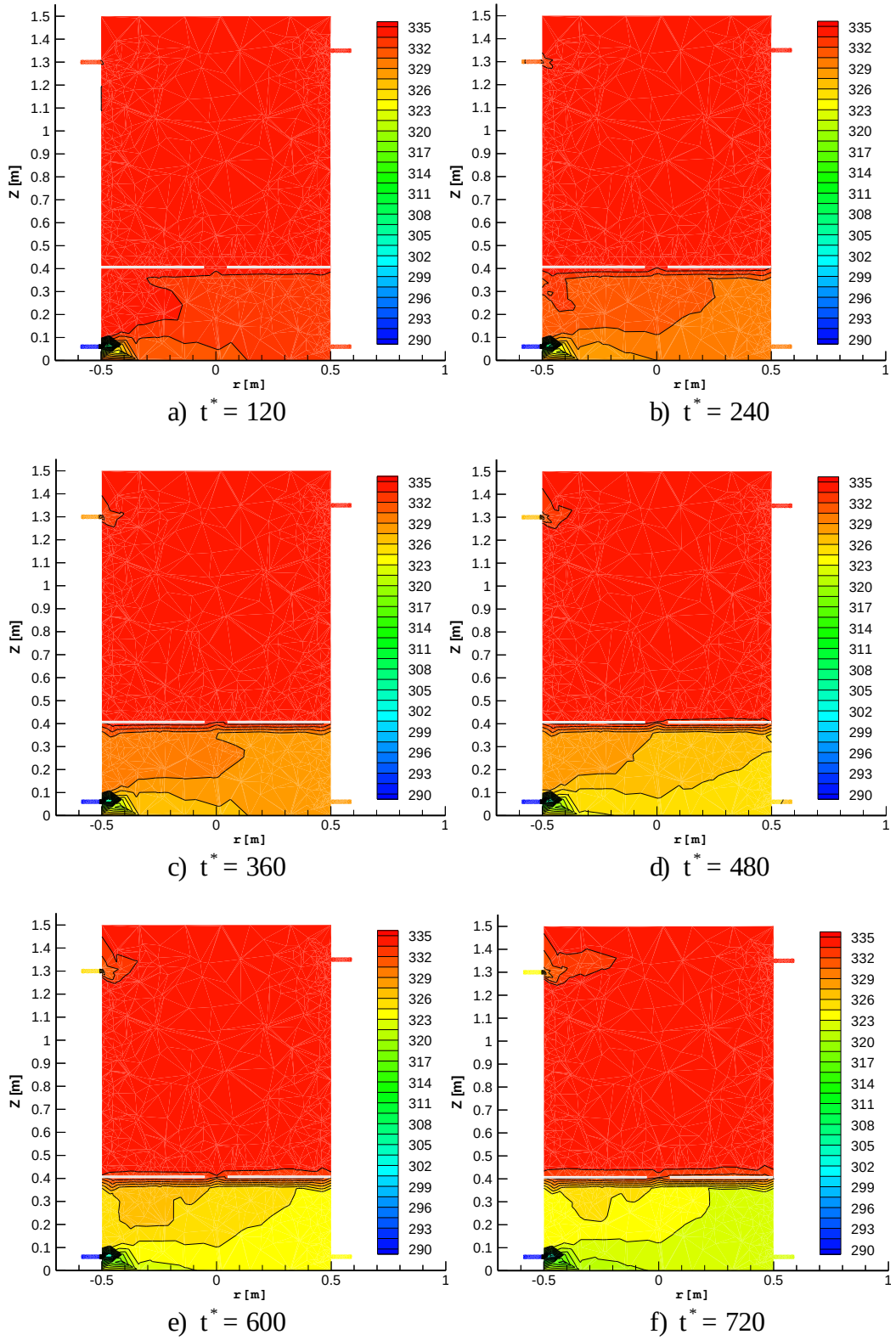
Şekil A 2 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



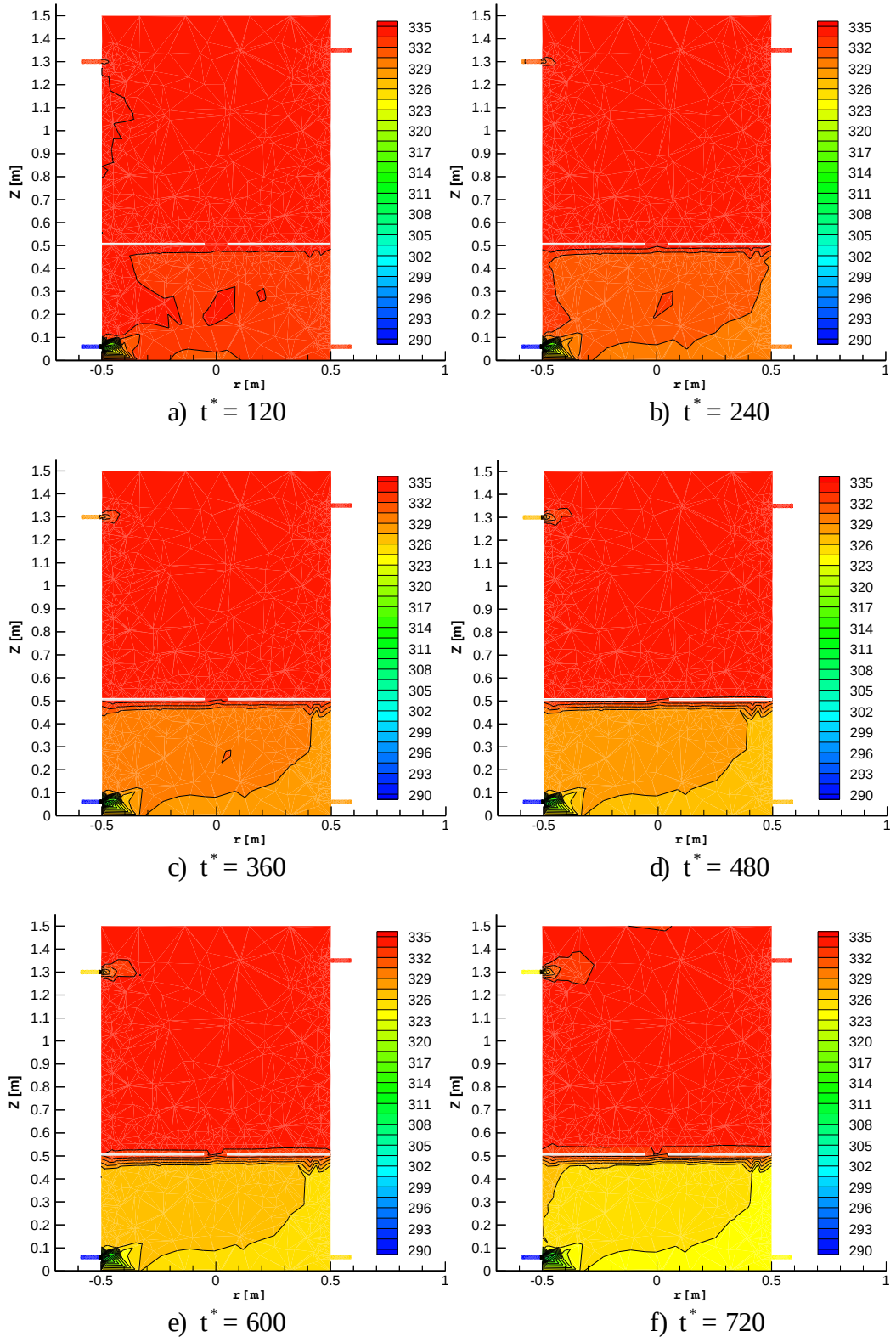
Şekil A3 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



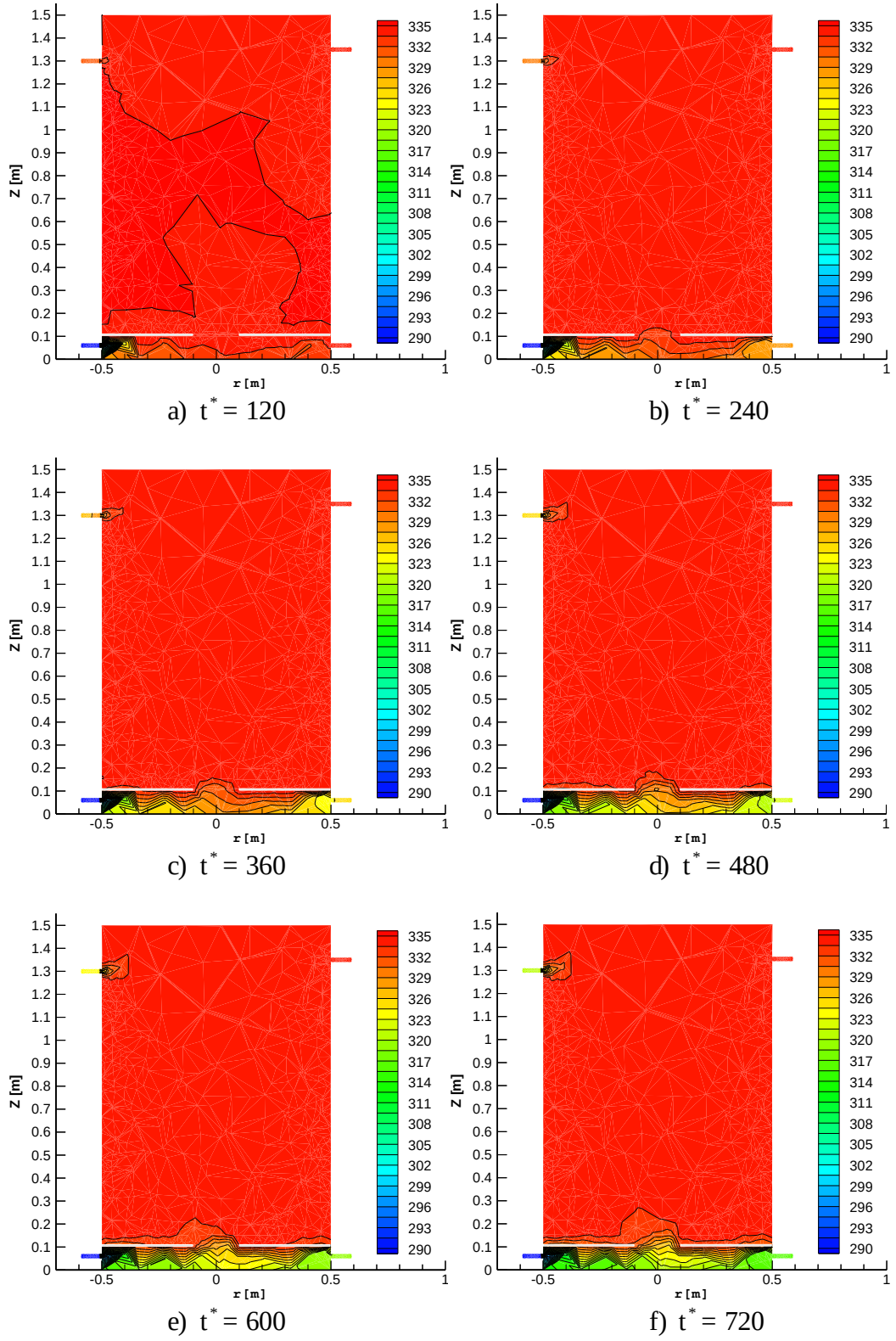
Şekil A 4: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.2$ Oranları nda Tank İçeri si ndeki Si caklık De ğerleri ni n Gör ünü mü



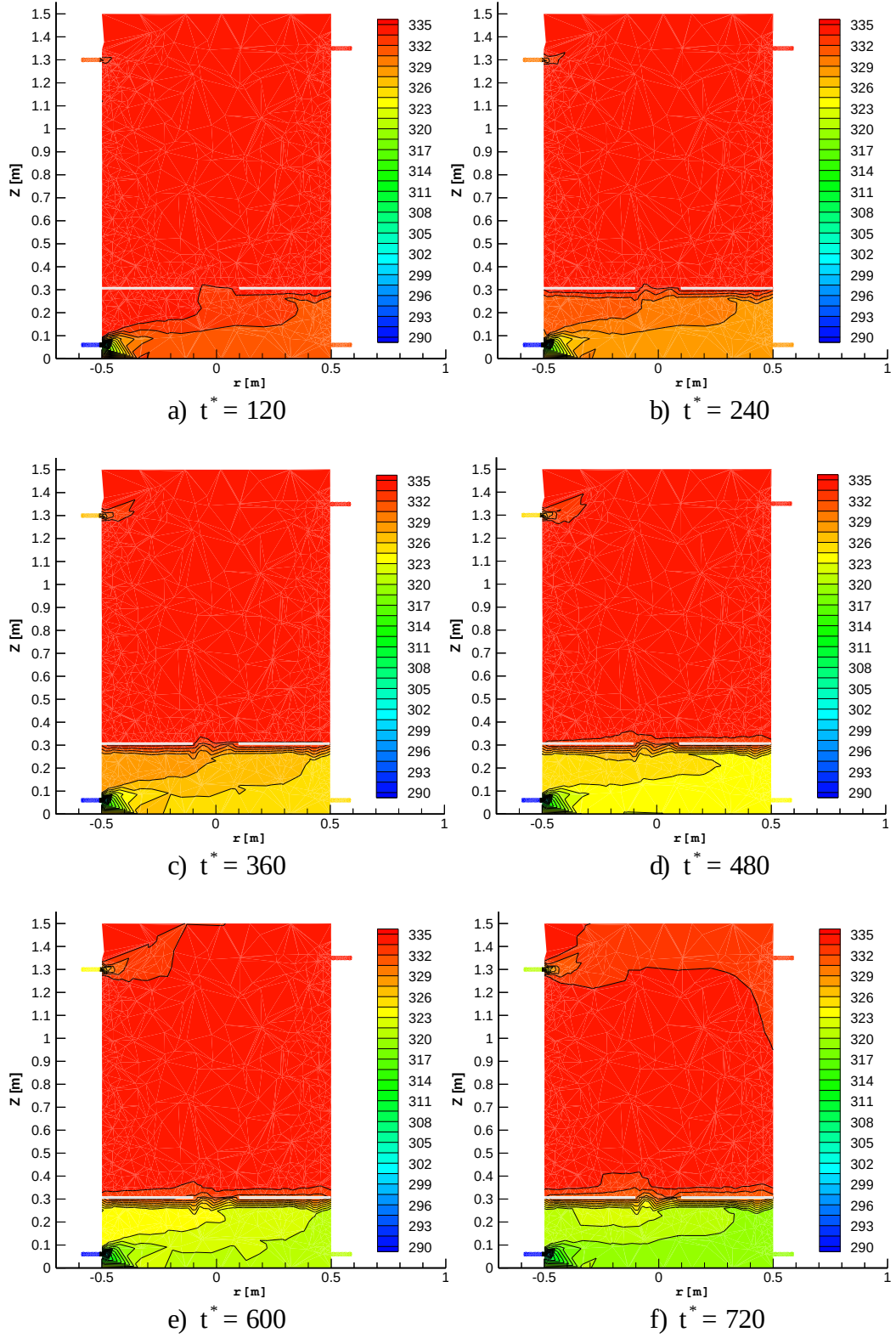
Şekil A5 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



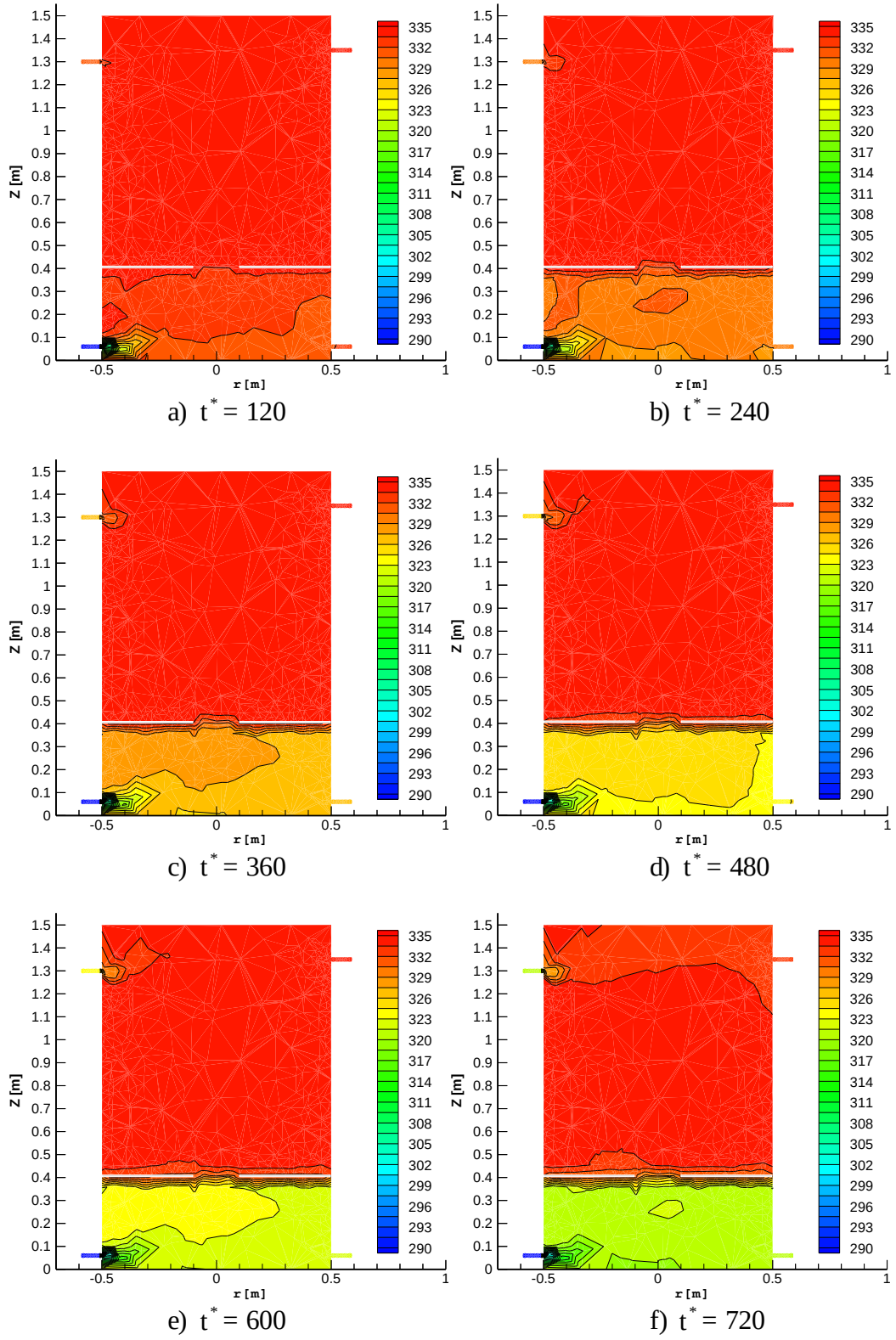
Şekil A 6 : $g/D=0.1$ ve $f/H=0.33$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



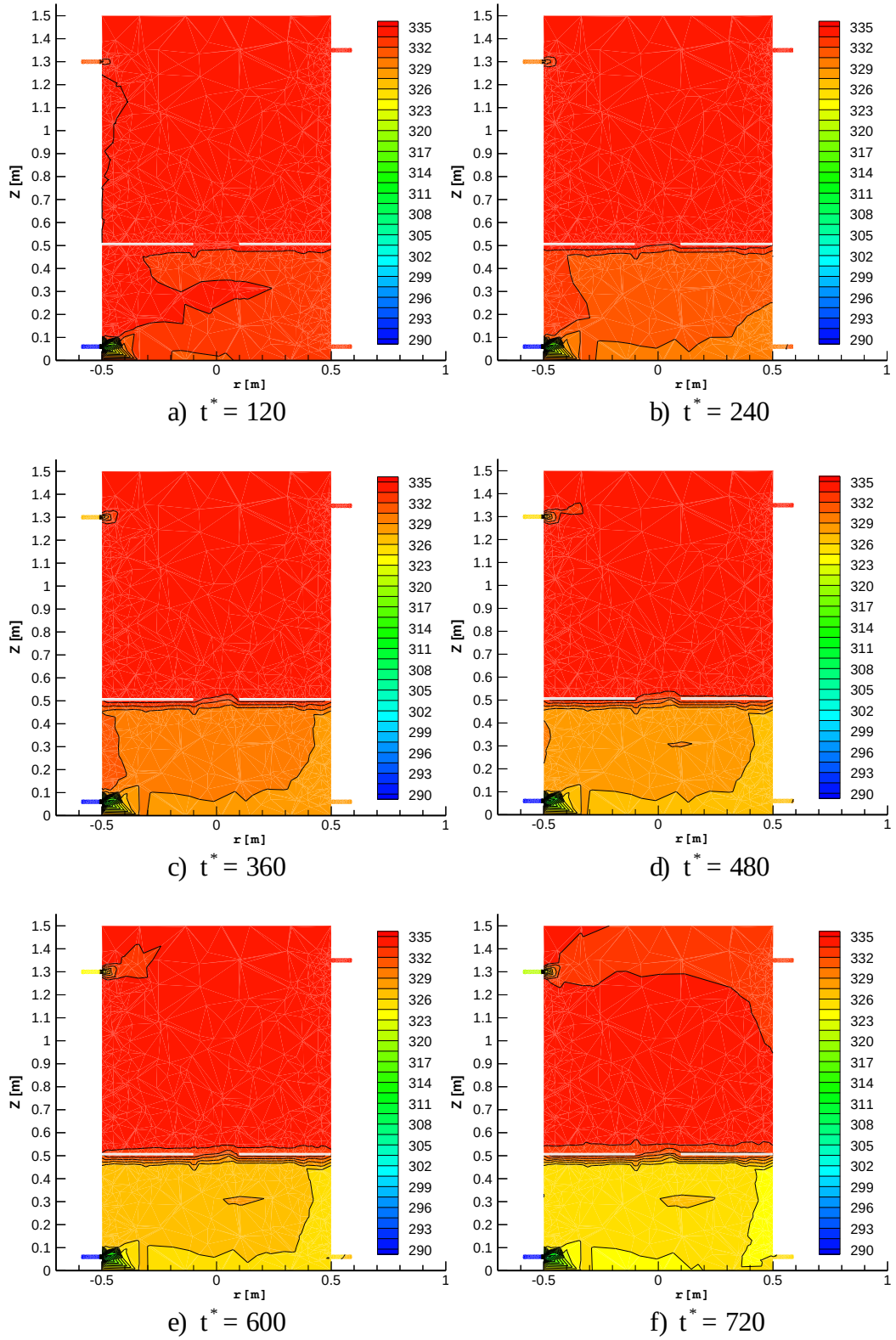
Şekil A 7 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



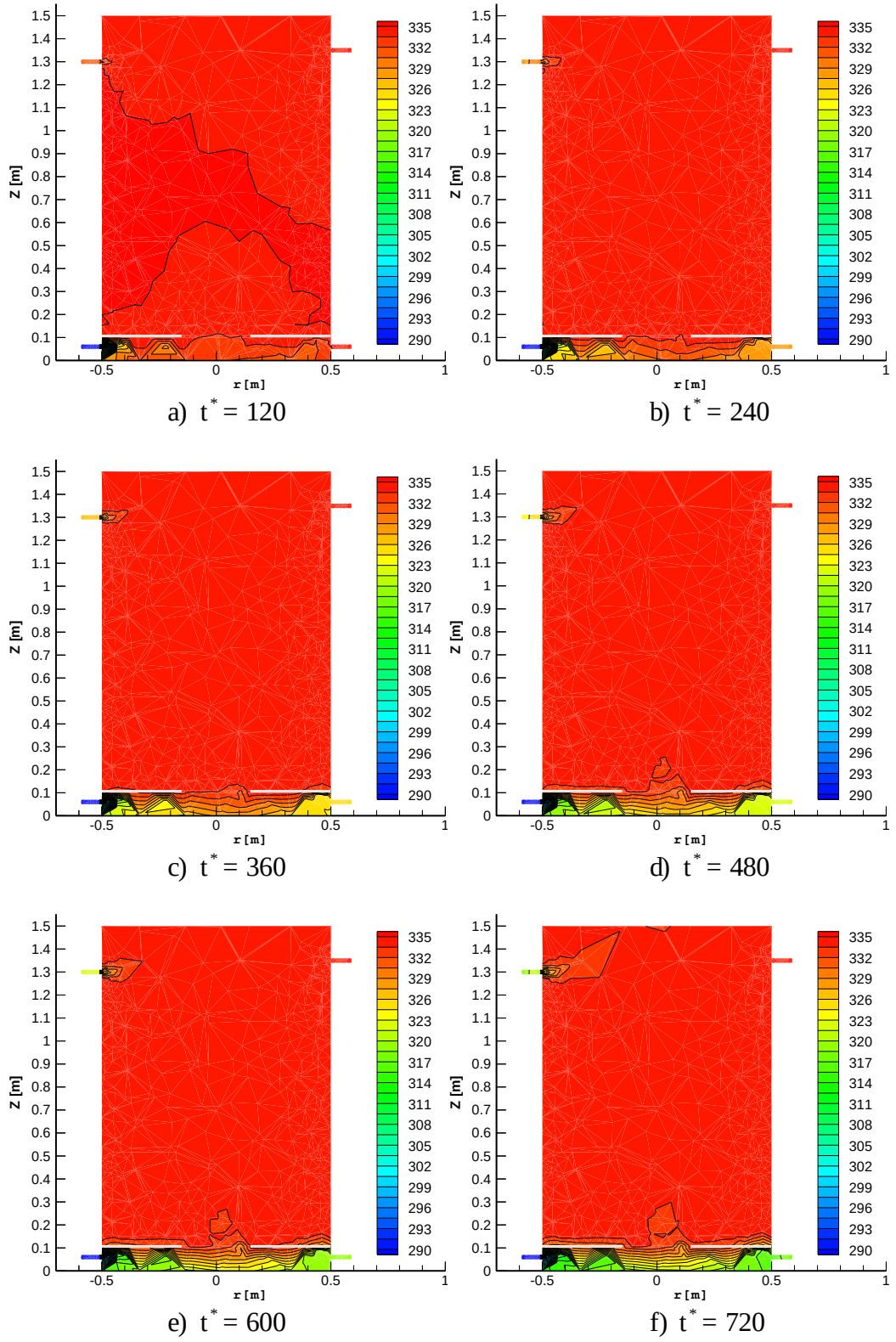
Şekil A 8: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.2$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



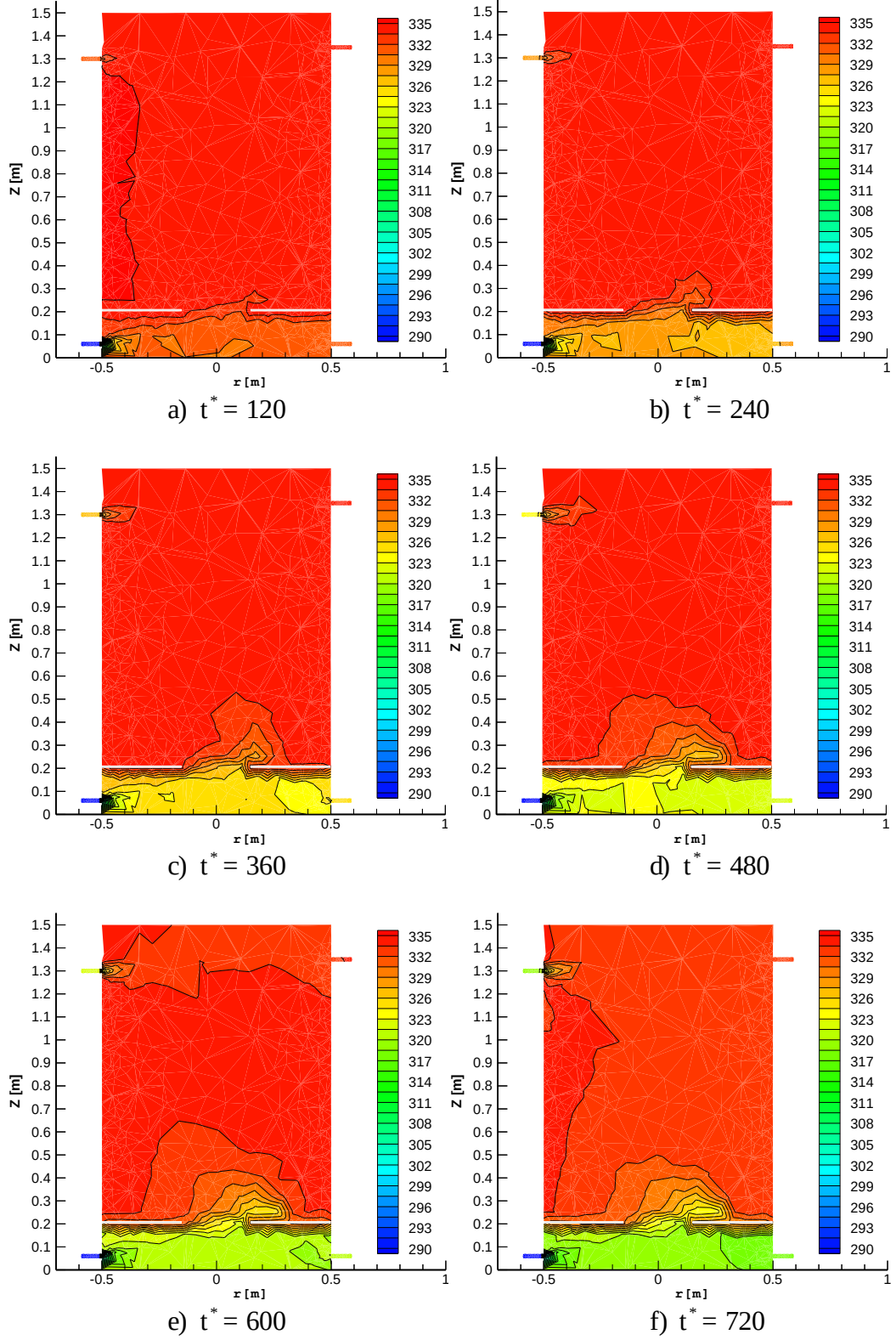
Şekil. A 9 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



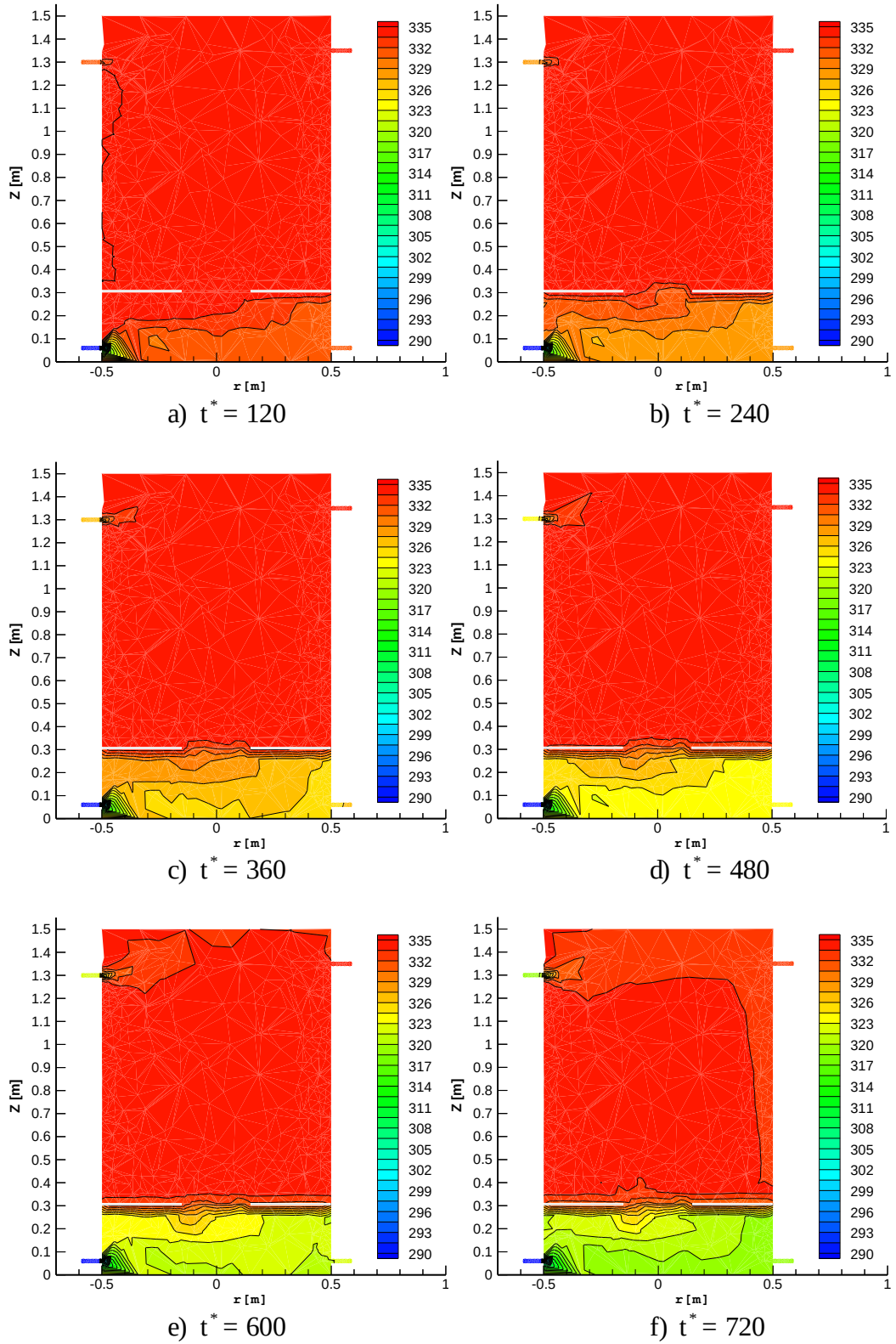
Şekil A 10 : $g/D=0.2$ ve $f/H=0.33$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



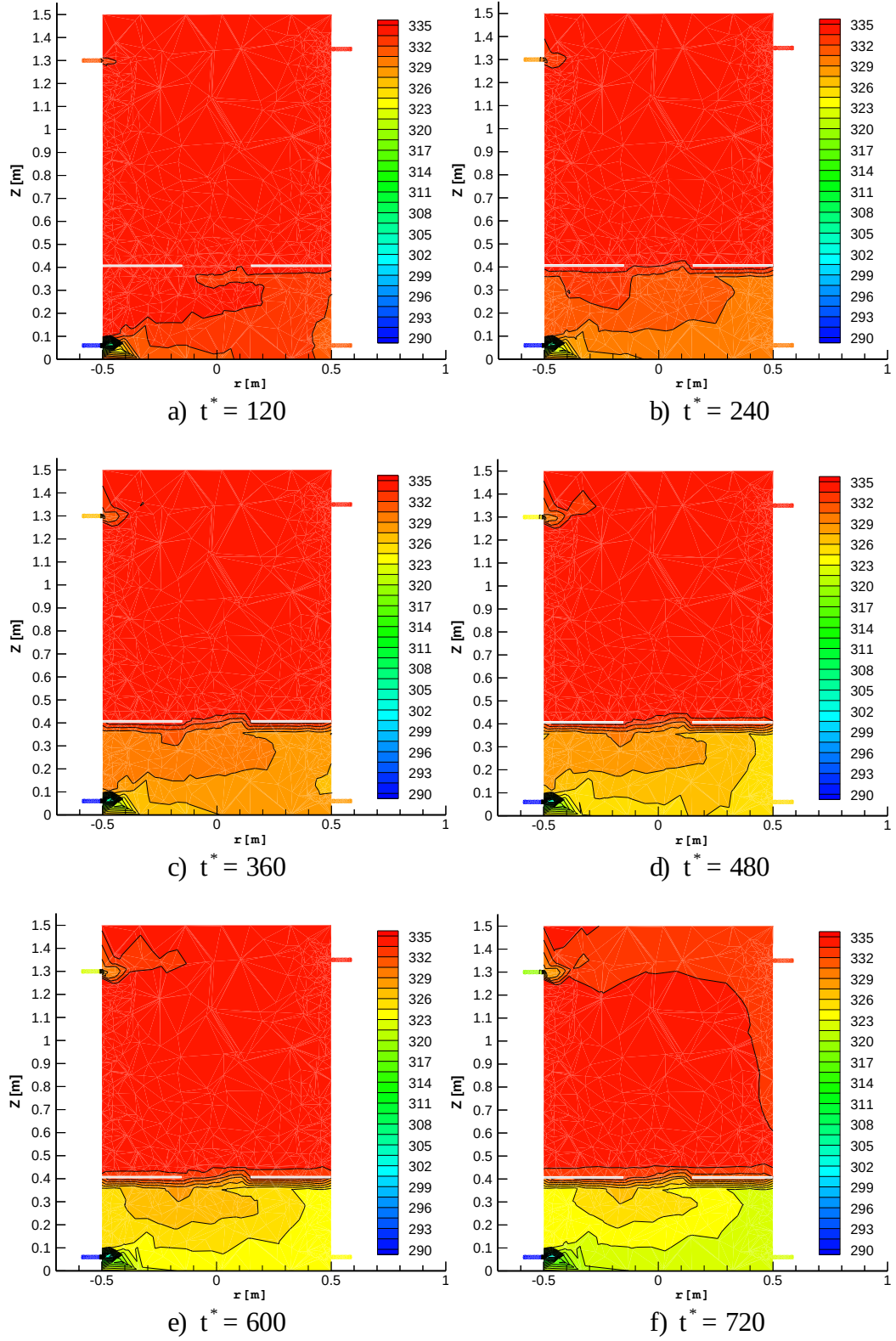
Şekil A 11 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Cürünü



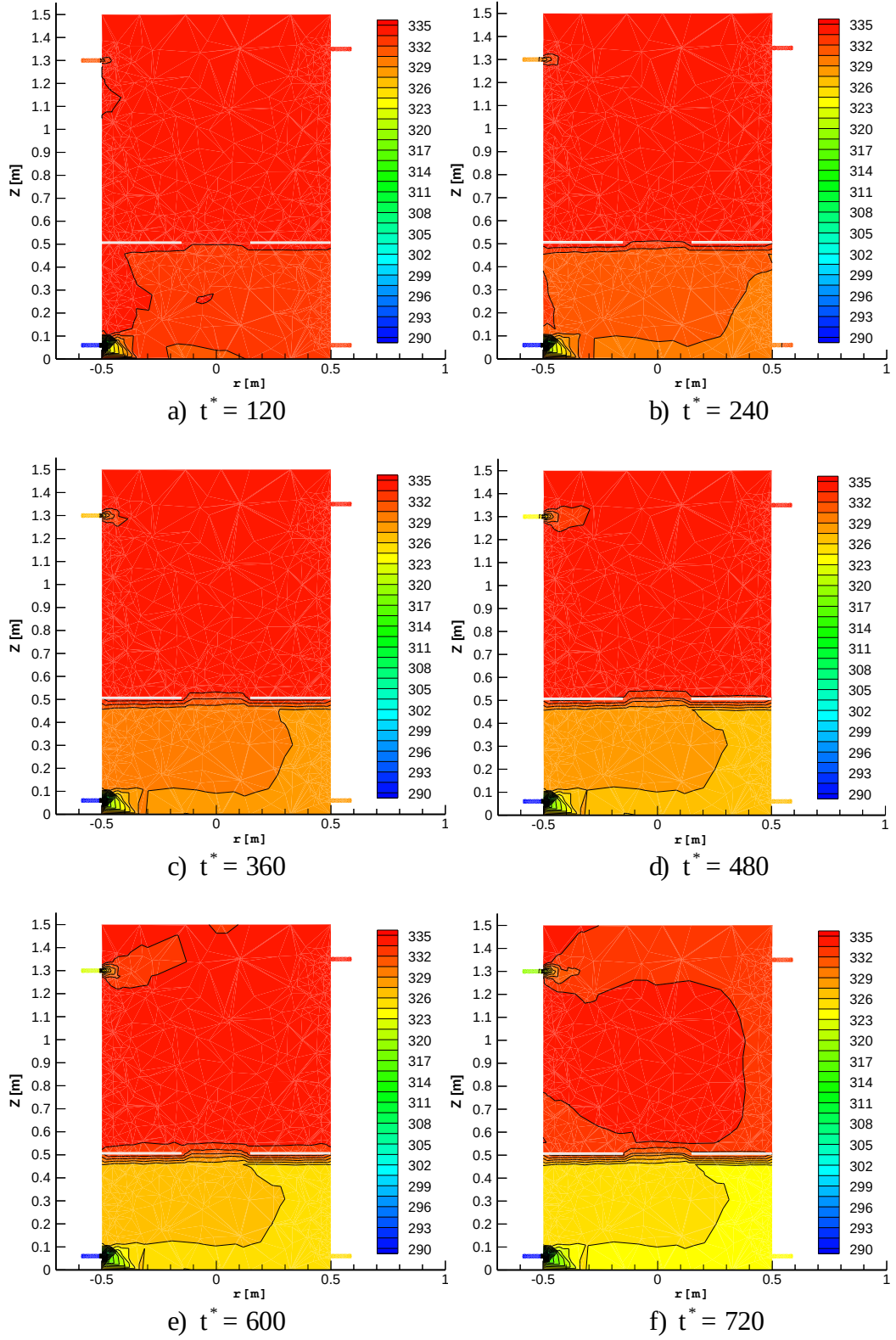
Şekil A 12 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



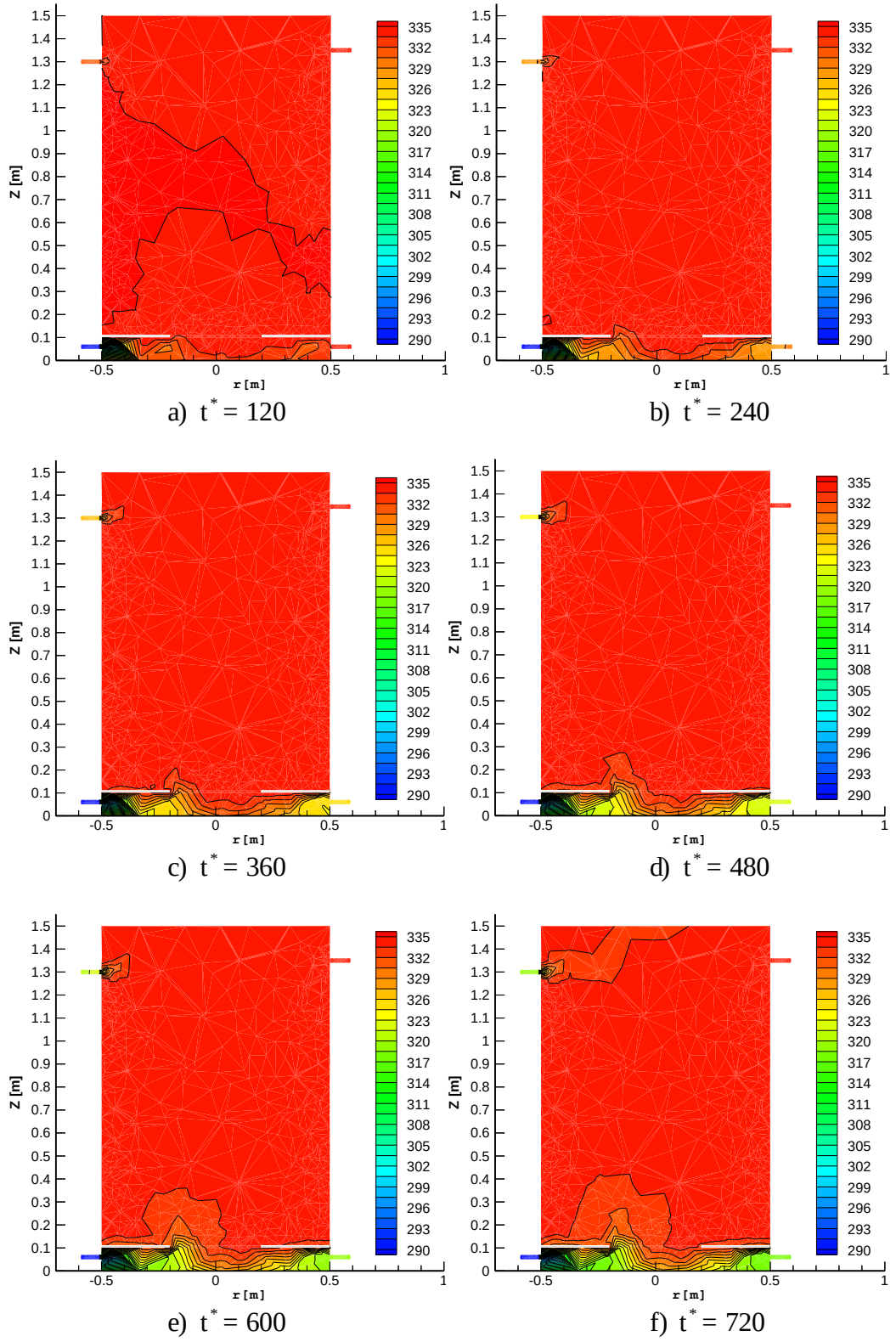
Şekil A 13 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.2$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



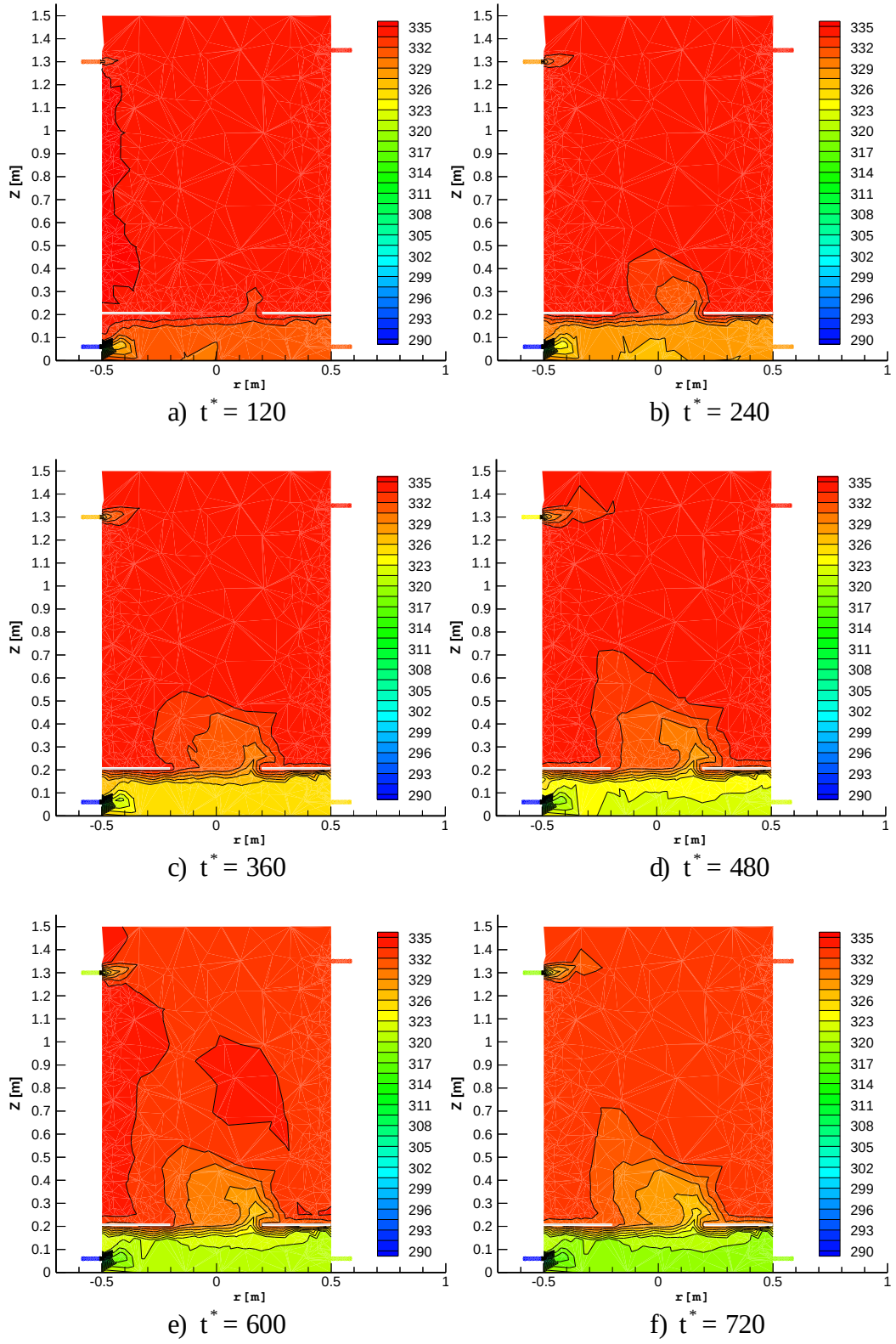
Şekil A 14 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



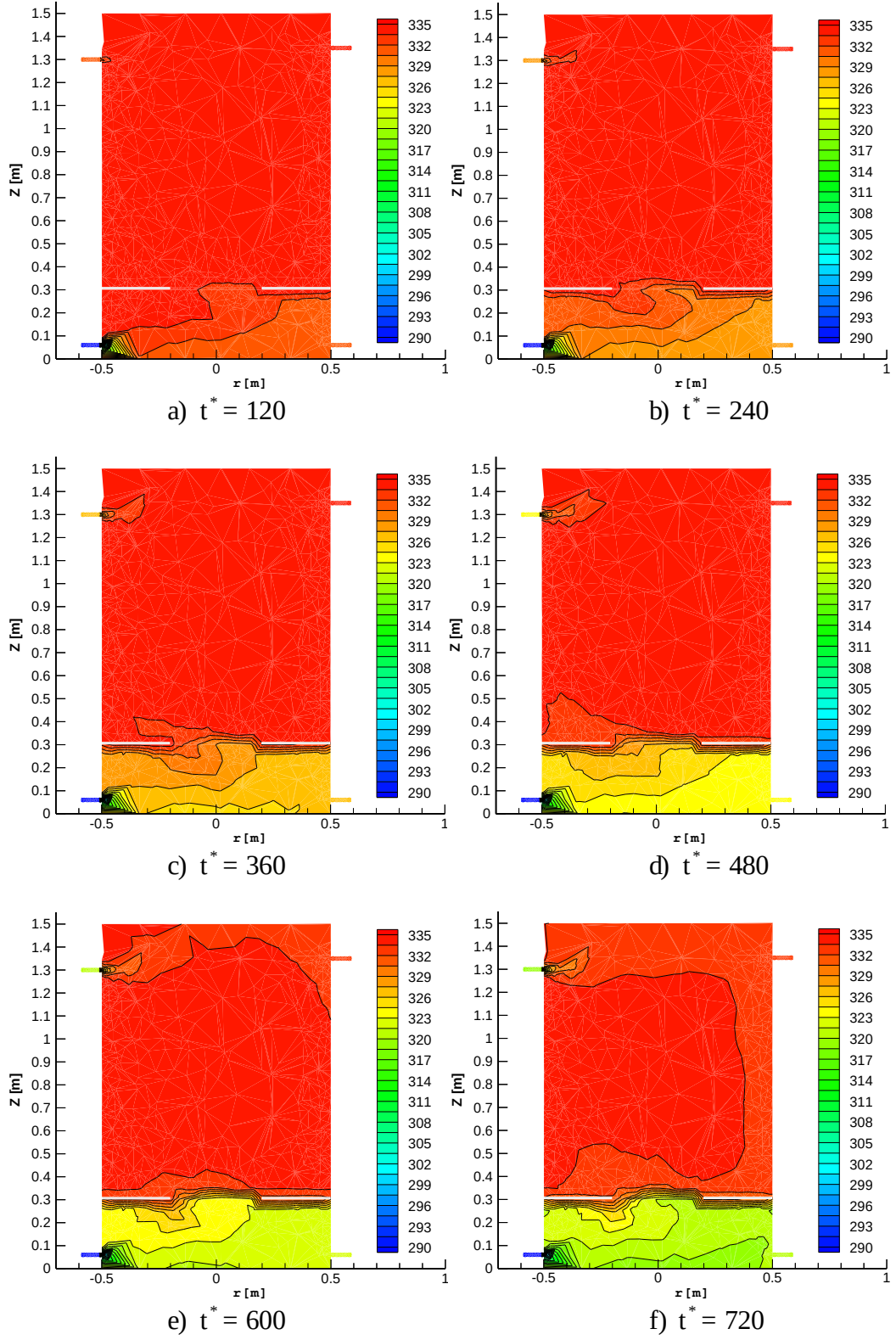
Şekil A 15 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.33$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



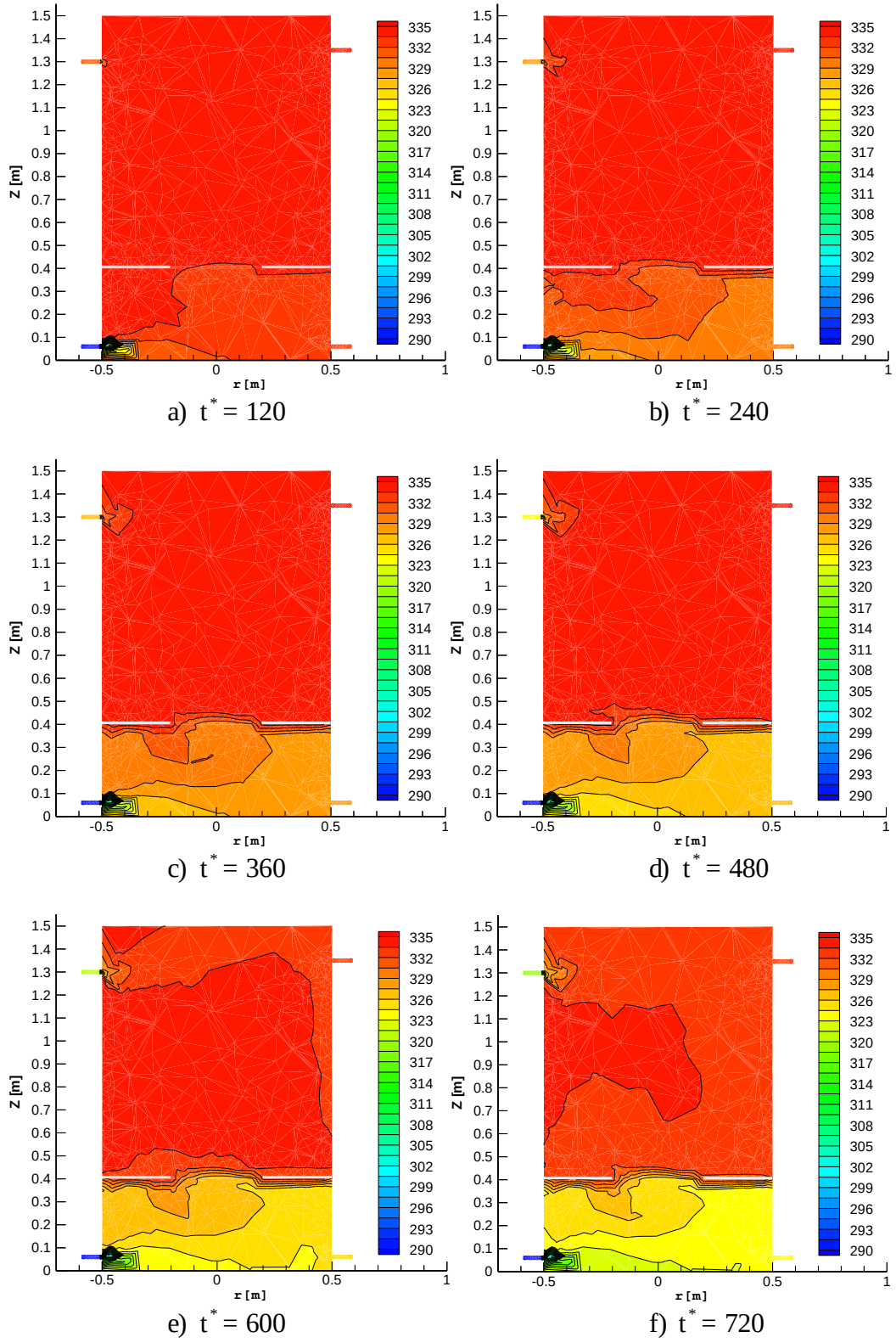
Şekil A 16 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



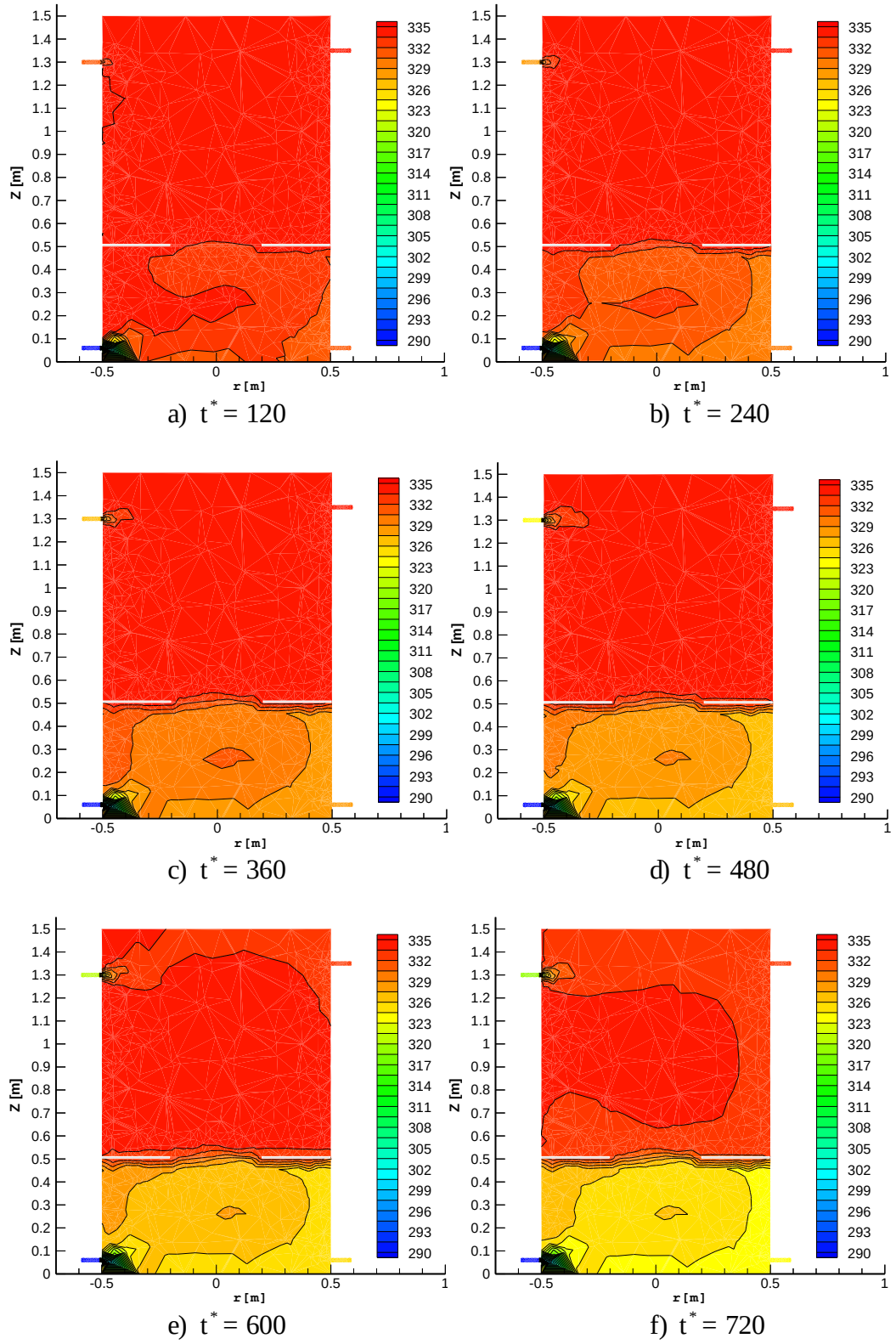
Şekil A 17 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



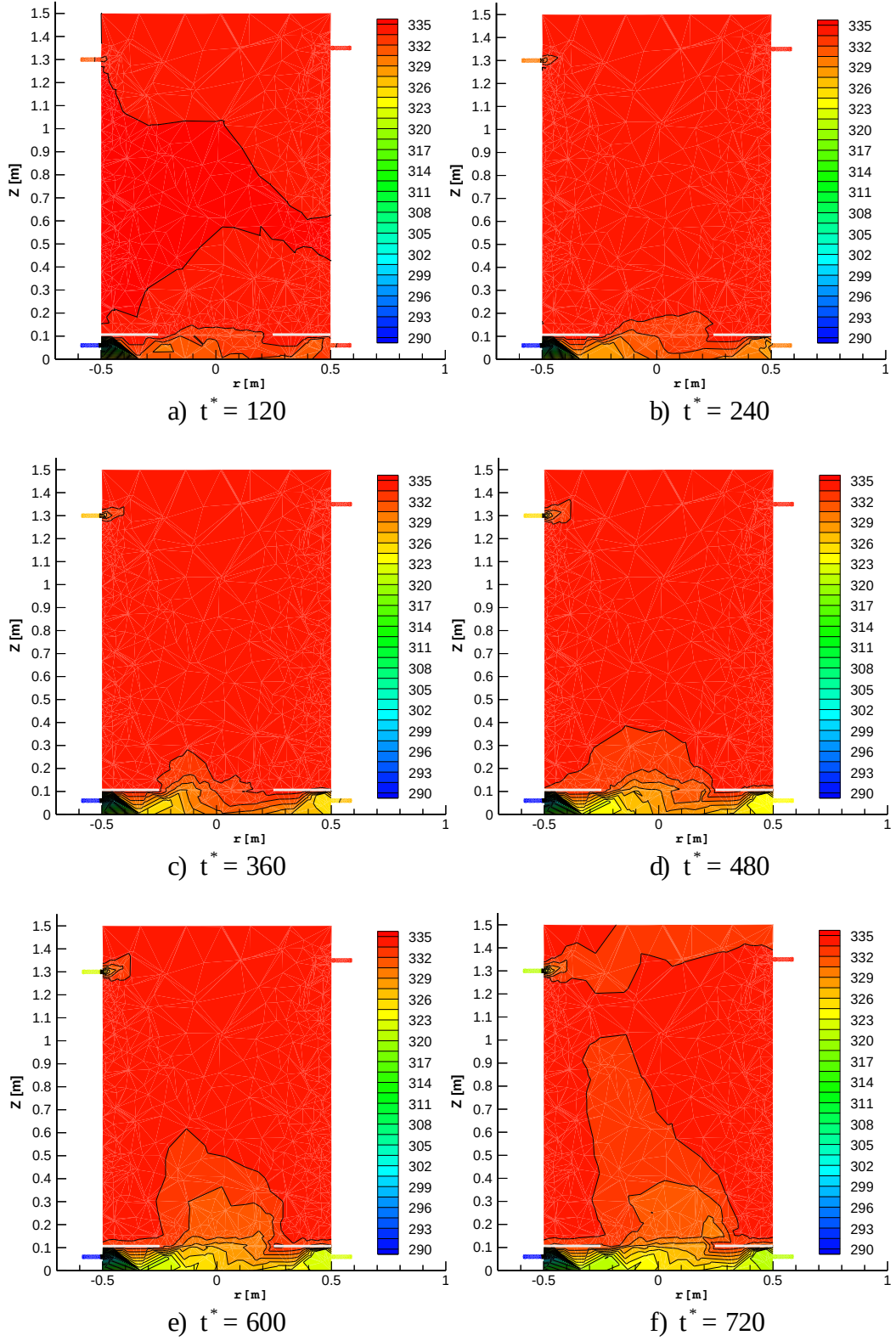
Şekil A18 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.2$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



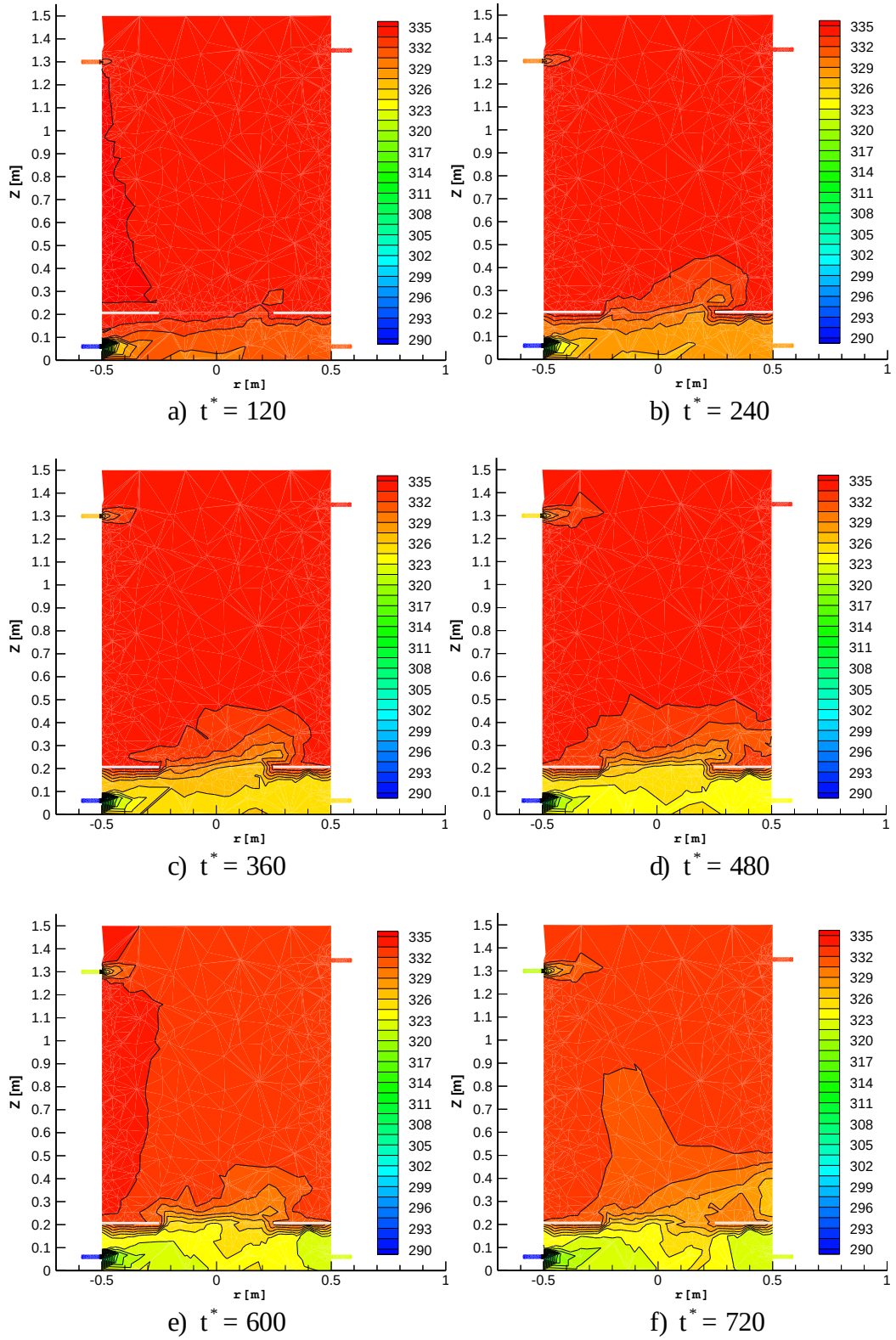
Şekil A 19 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



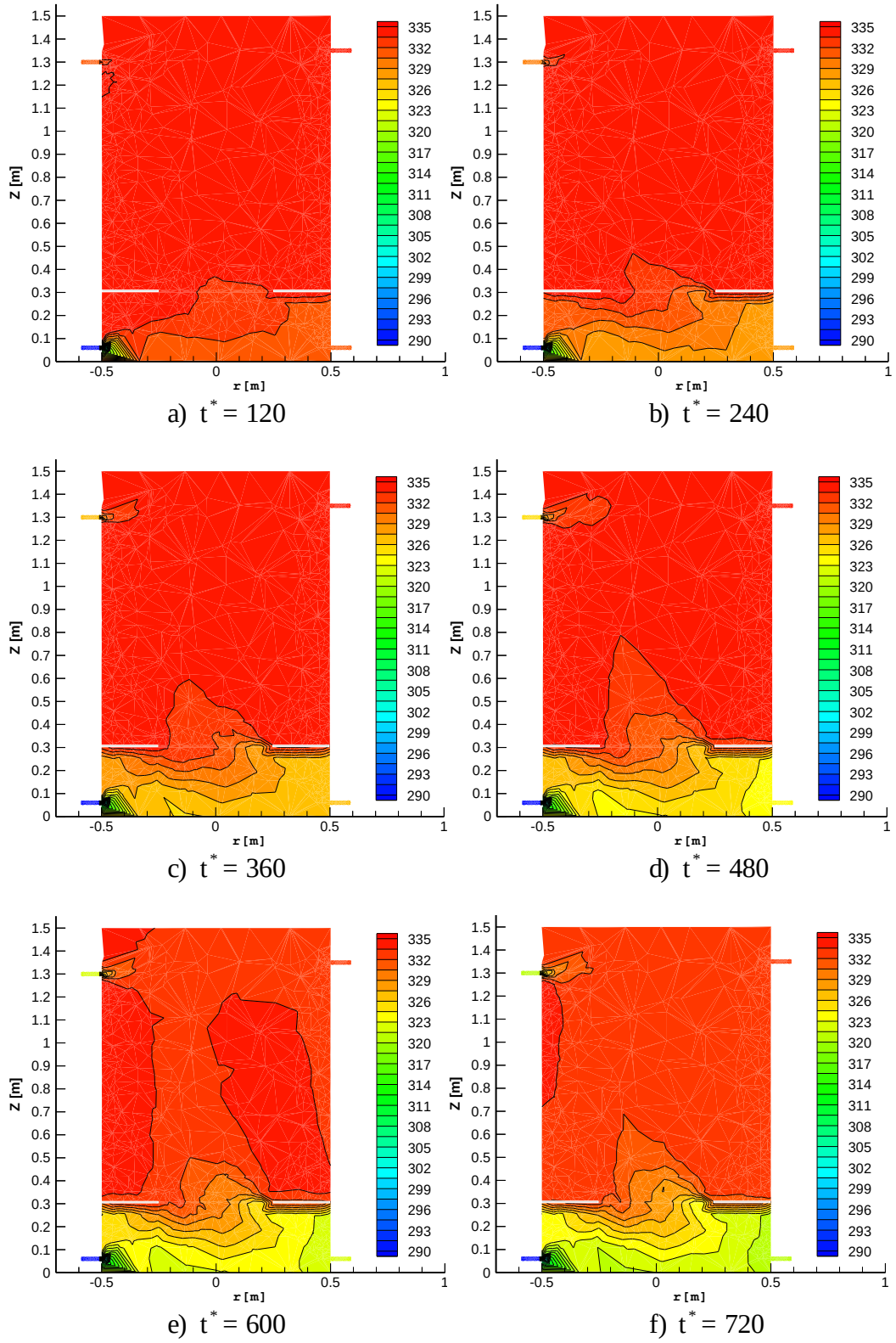
Şekil A20 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.33$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



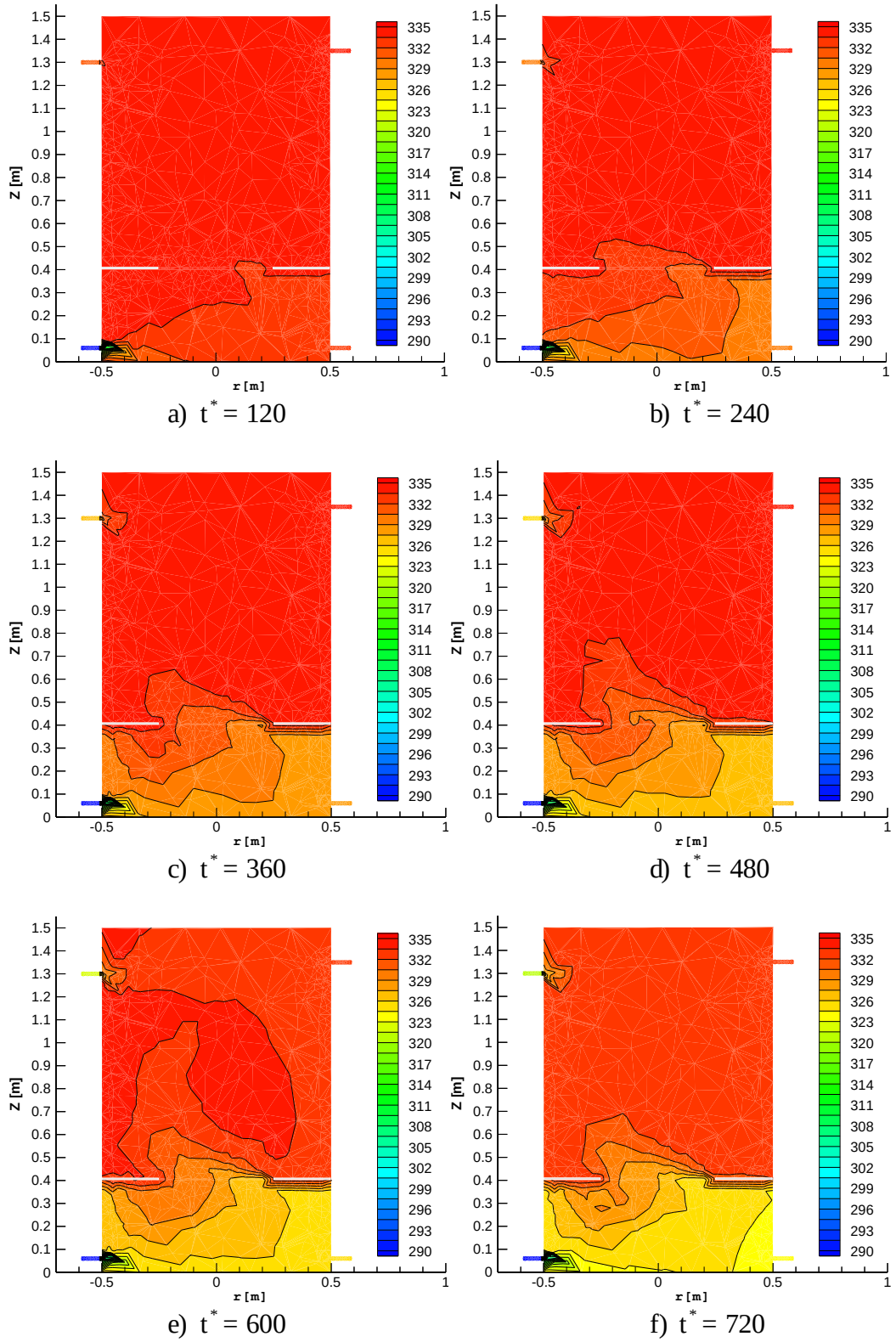
Şekil A 21 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



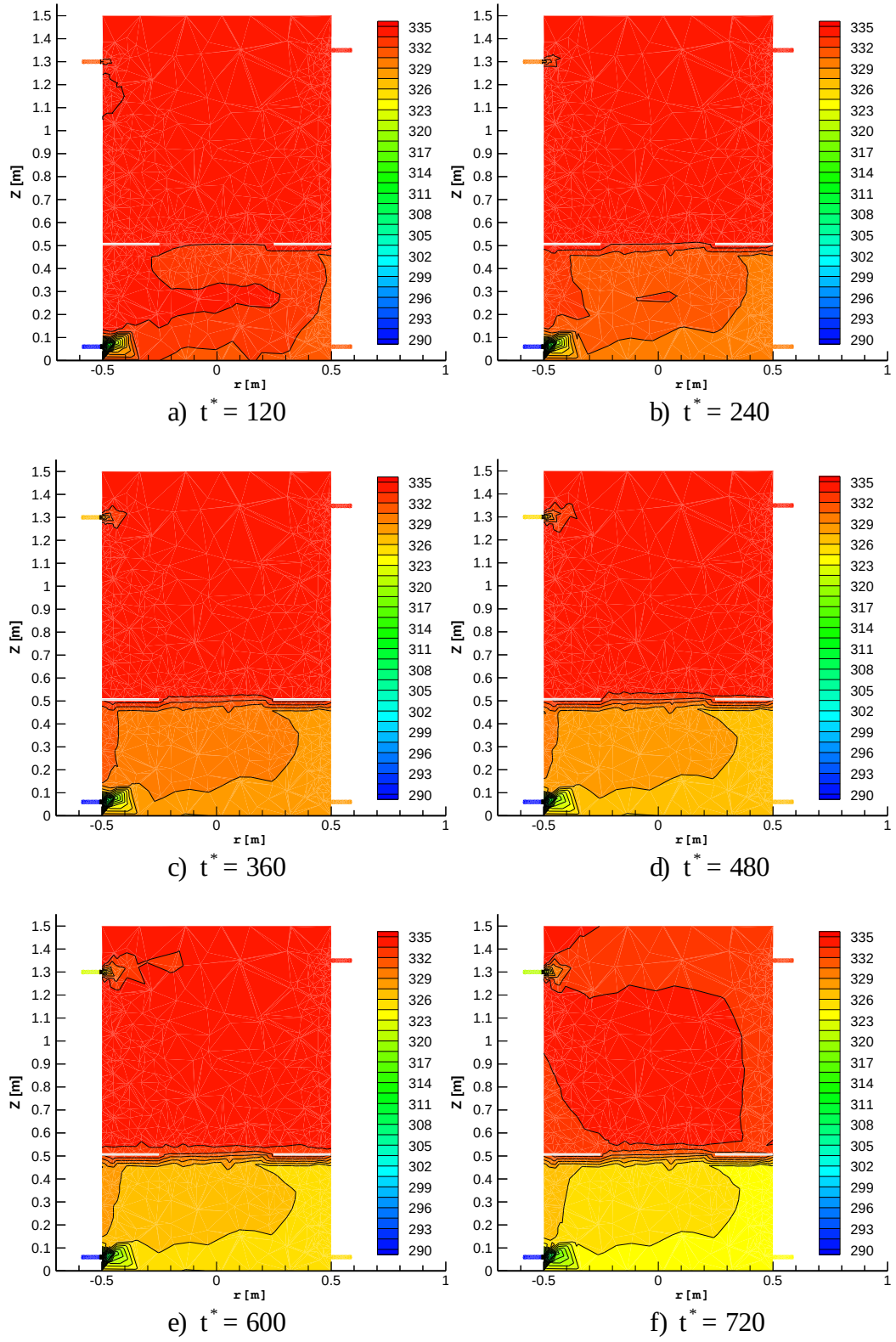
Şekil A 22 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.133$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



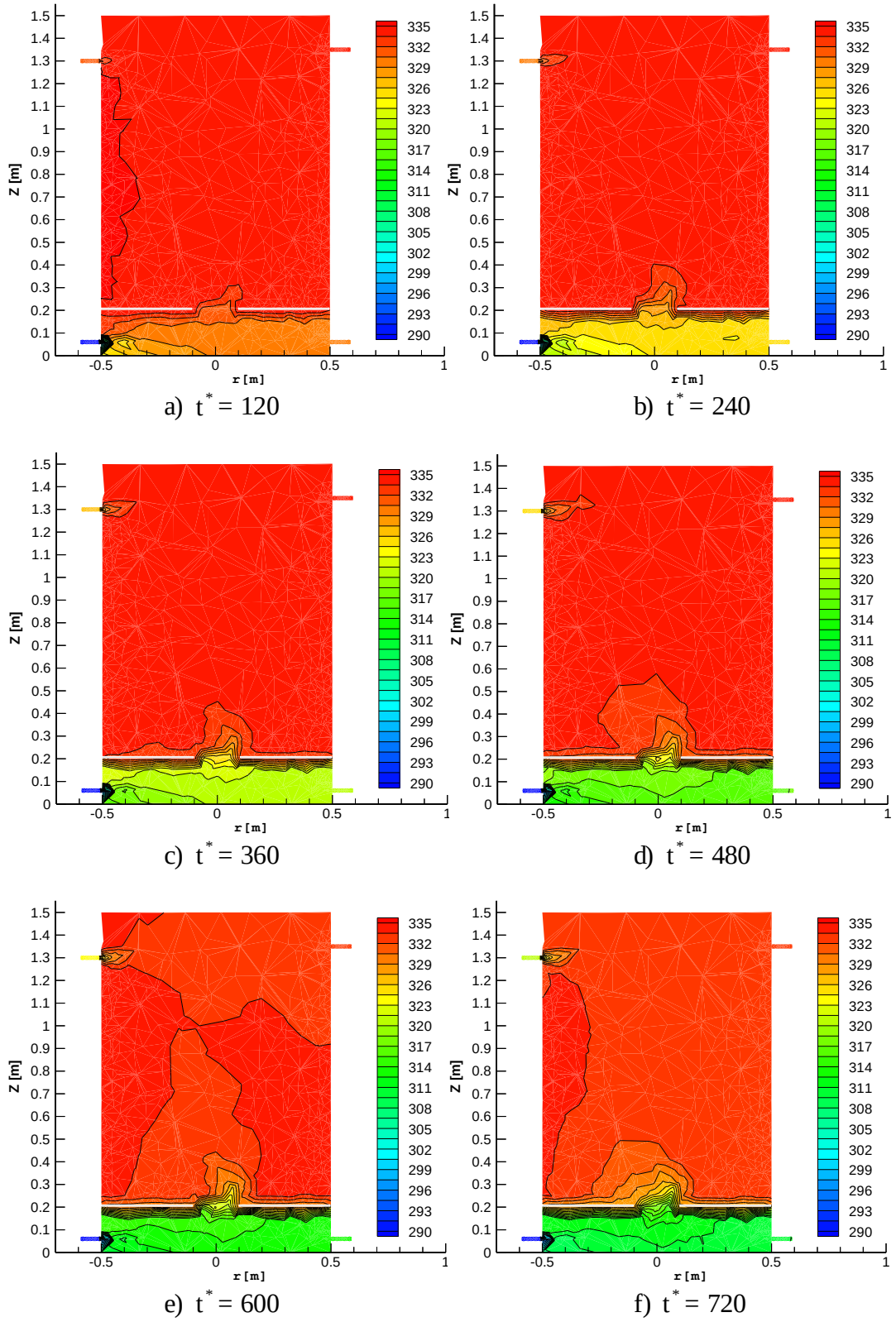
Şekil A23 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.2$ Gratlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



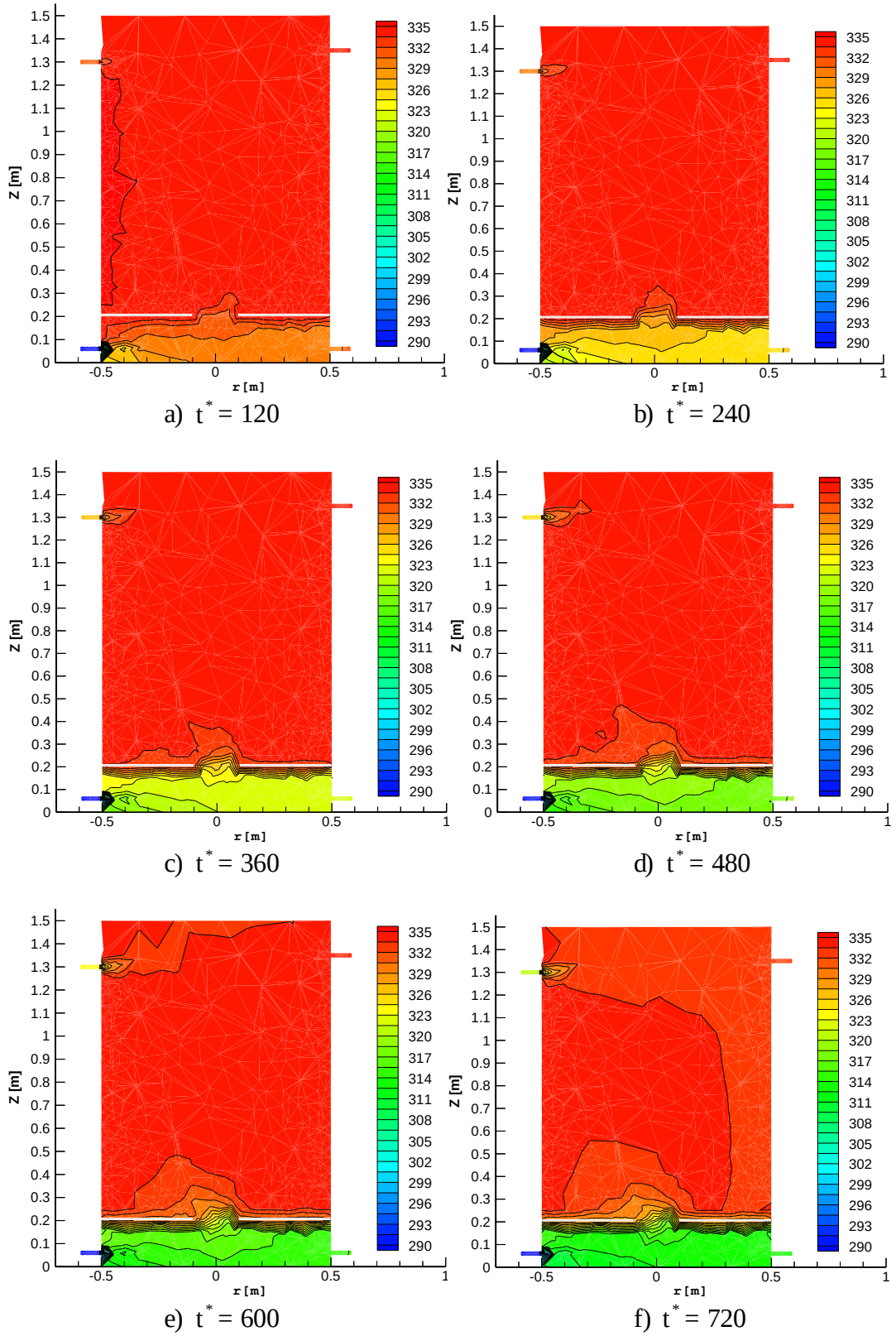
Şekil A24 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.27$ Granlarındaki Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



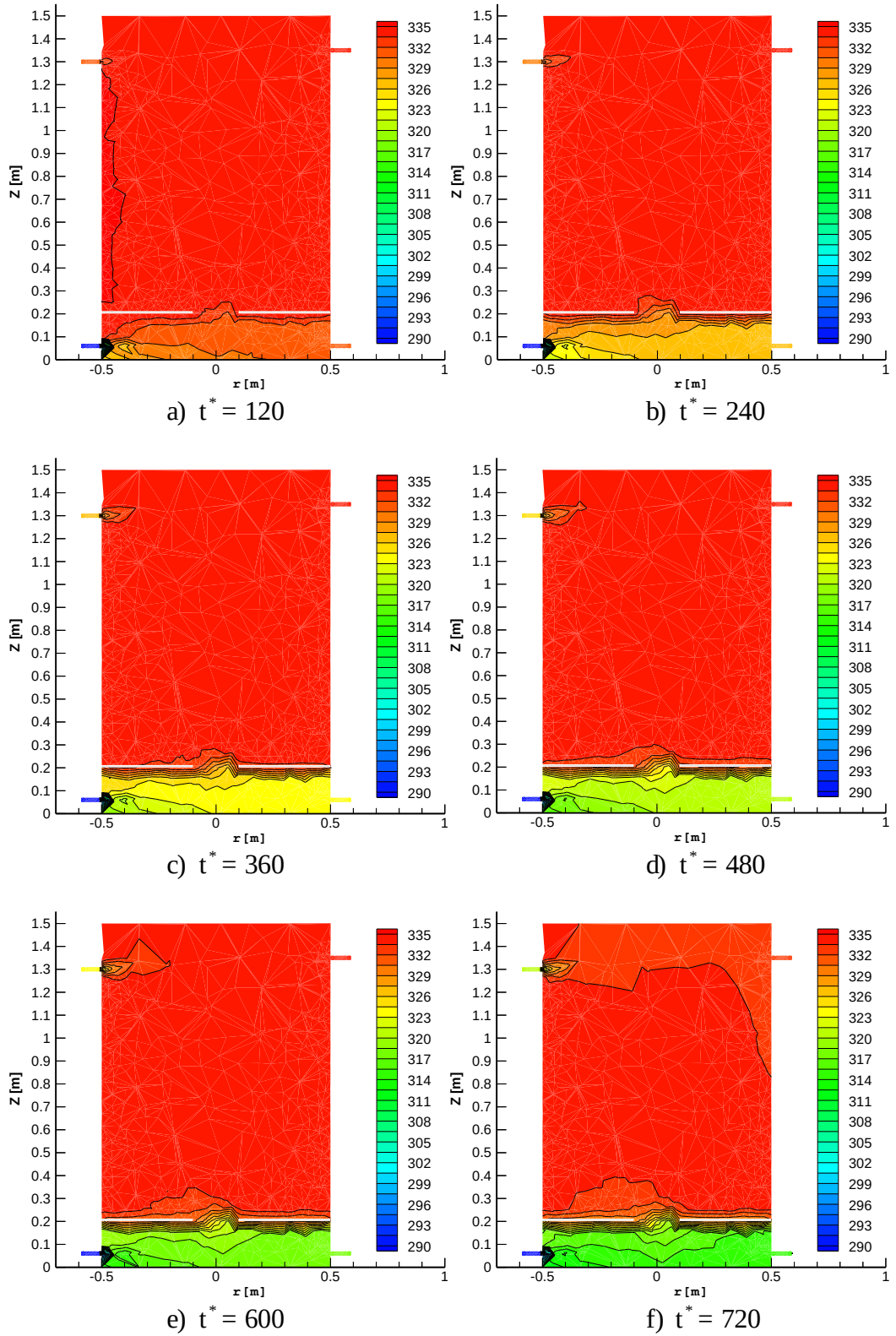
Şekil A25 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.33$ oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Görünümü



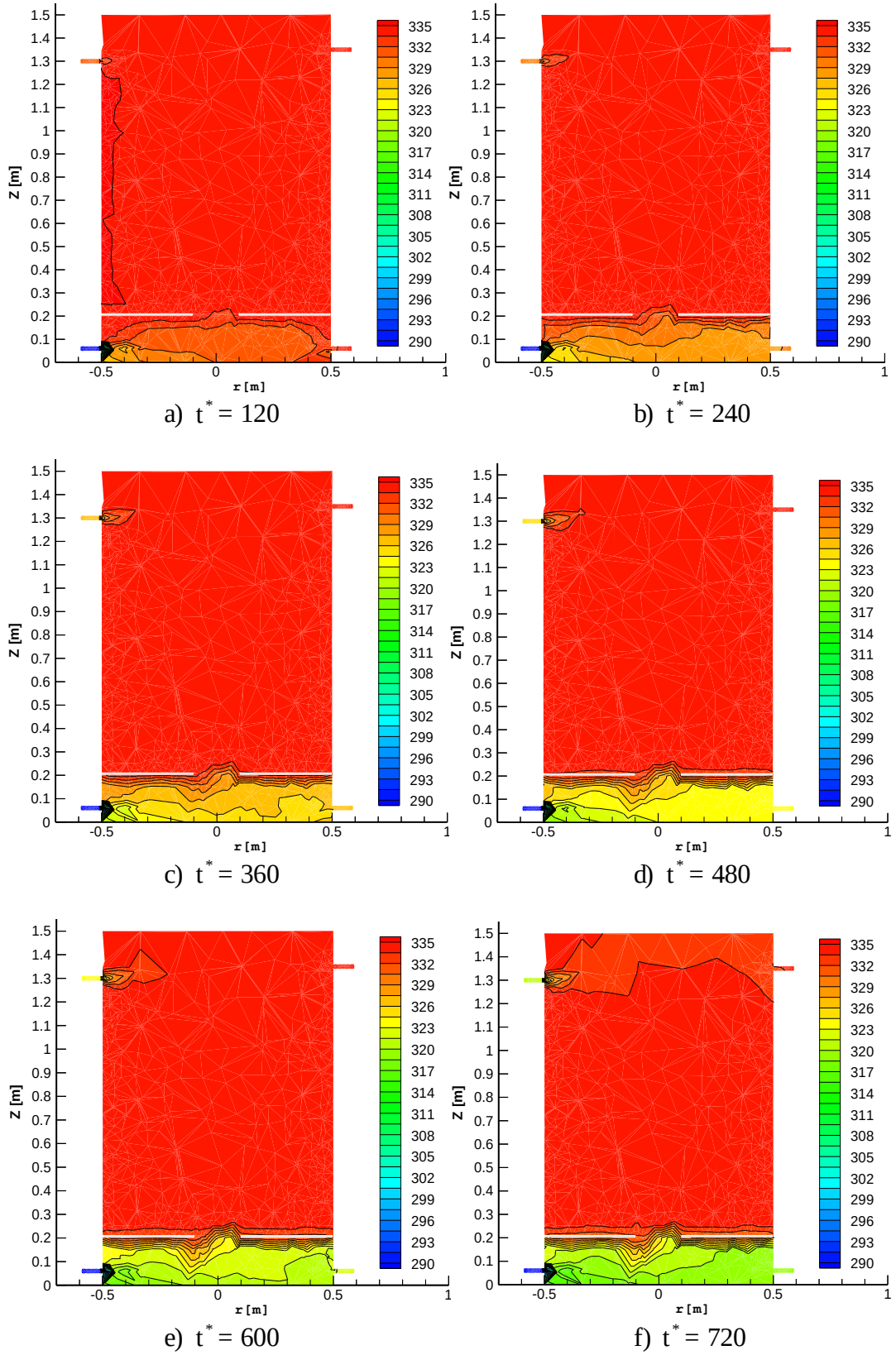
Şekil A26 : $Ri=0.35$ 'deki Sıcaklık Değerlerinin $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarındaki Tank İçerisindeki Görünümü



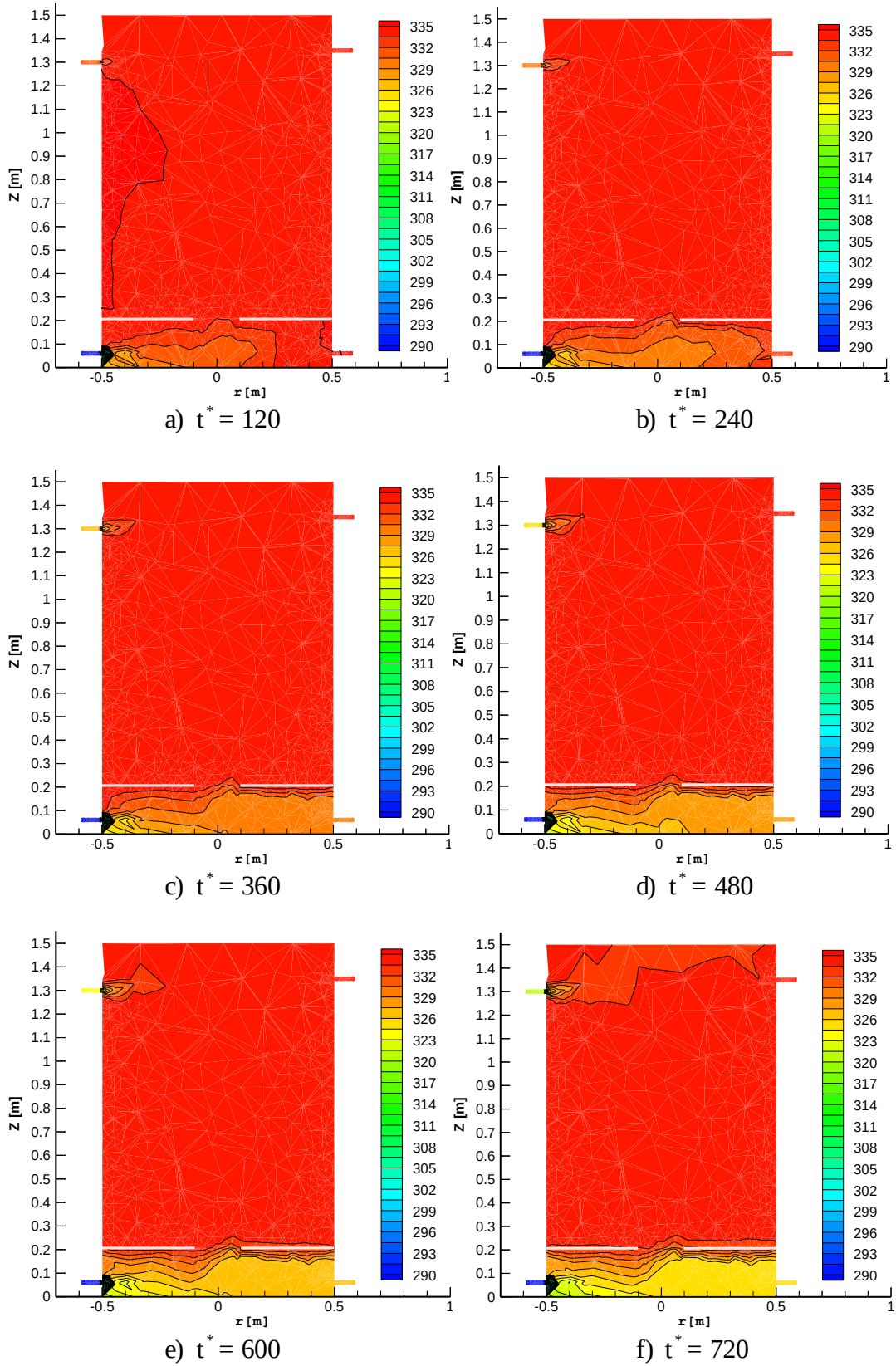
Şekil A27 : $Ri = 0.54$ 'deki Sıcaklık Değerlerinin $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarındaki Tank İçerisindeki Görünümü



Şekil A28 : $Ri = 0.96$ 'daki Sıcaklık Değerlerinin $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarındaki Tank İçerisindeki Görünümü



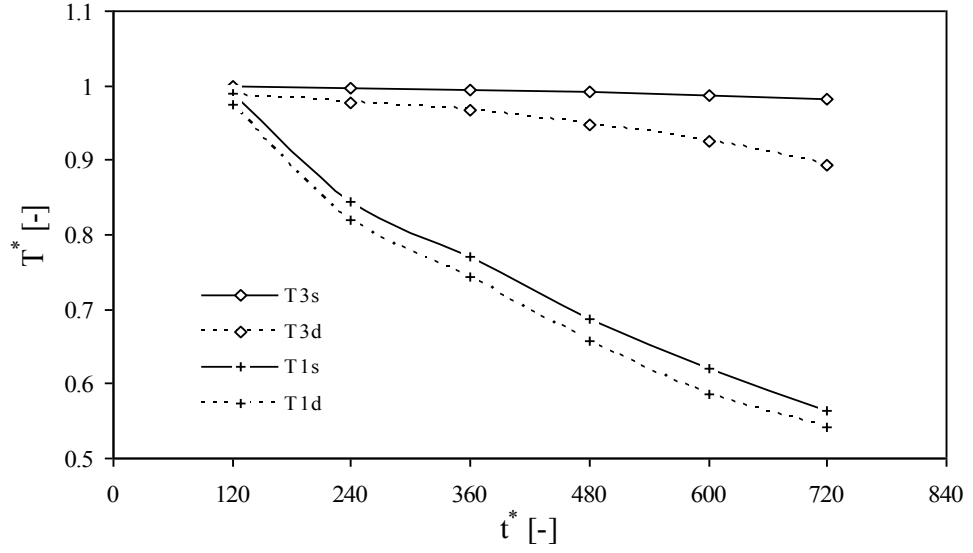
Şekil A29 : $Ri = 2.16$ ’daki Sıcaklık Değerlerinin $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarındaki Tank İçerisindeki Görünümü



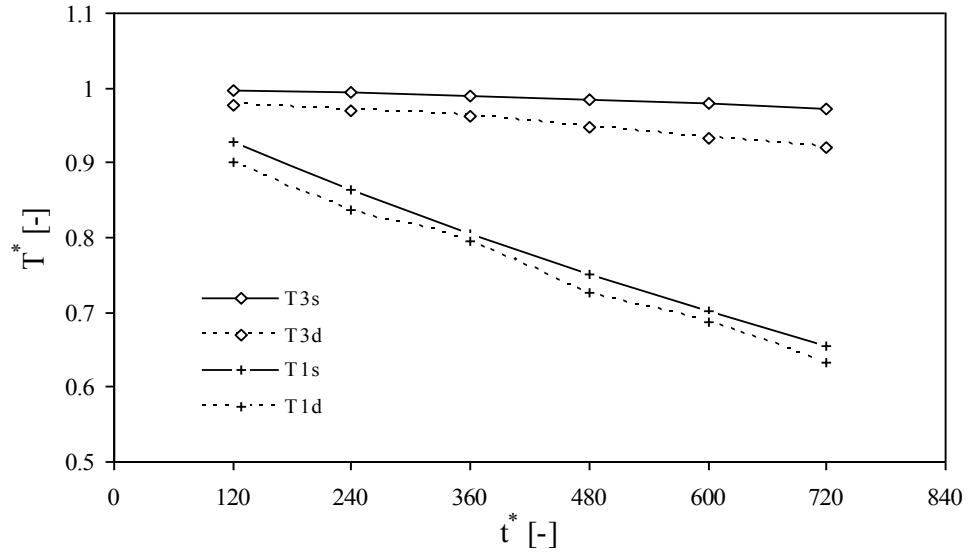
Şekil A30 : $Ri=8.65$ 'deki Sıcaklık Değerlerinin $g/D=0.2$ ve $f/H=0.133$ Oranlarındaki Tank İçerisindeki Görünümü

EK B

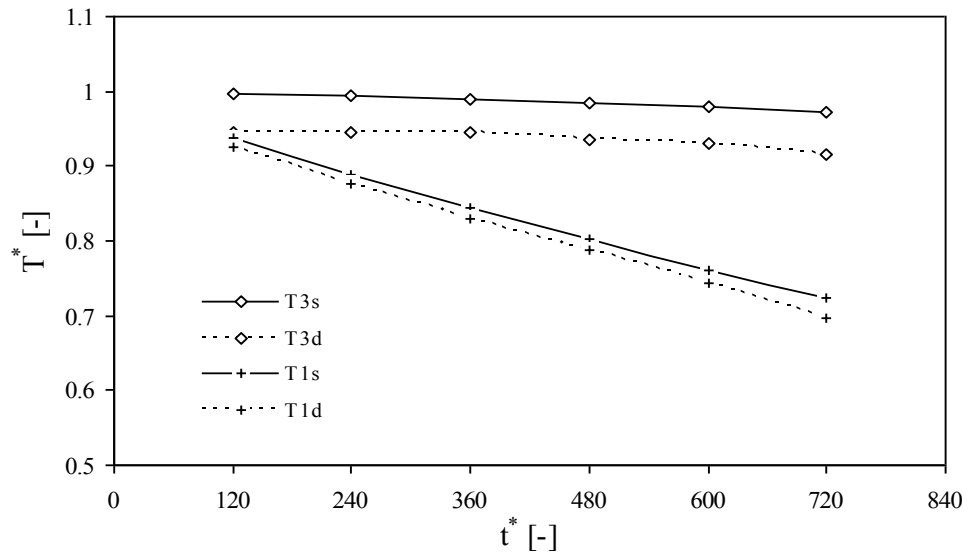
ENGELLİ TANK MODELİNDE T_{3s}^* , T_{3d}^* , T_{1s}^* , T_{1d}^* BOYUTSUZ SICAKLIK DEĞERLERİNİN ZAMANA BAĞLI DAĞILIMLARI



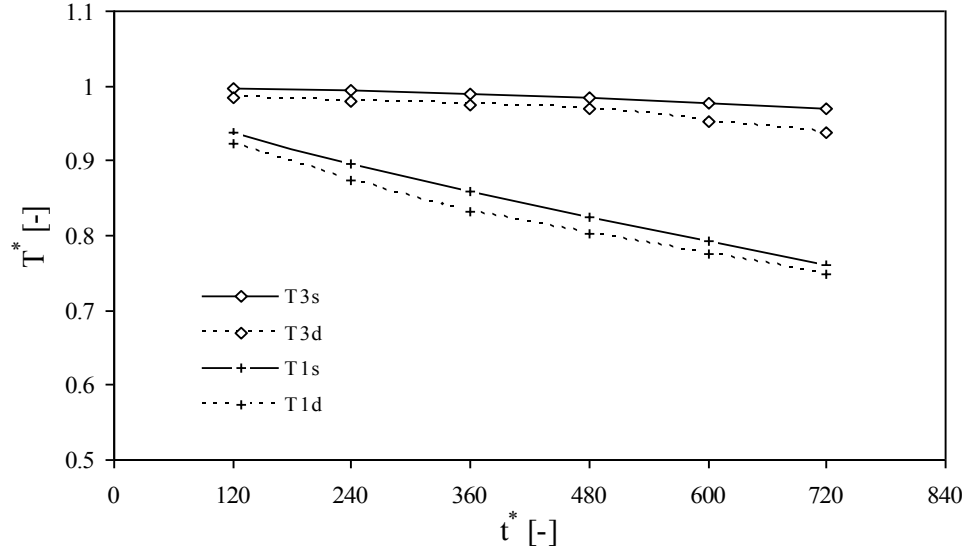
Şekil B1: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.067$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



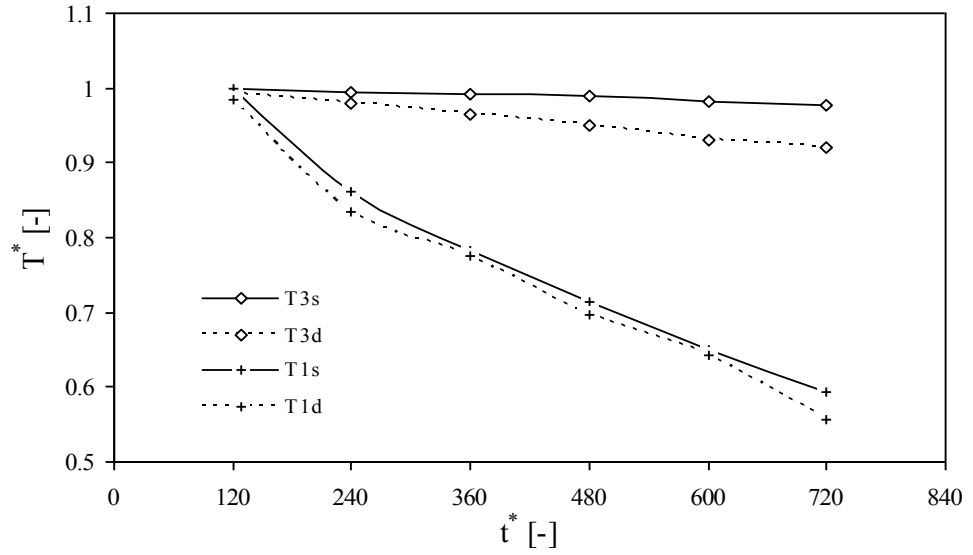
Şekil B2: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.2$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



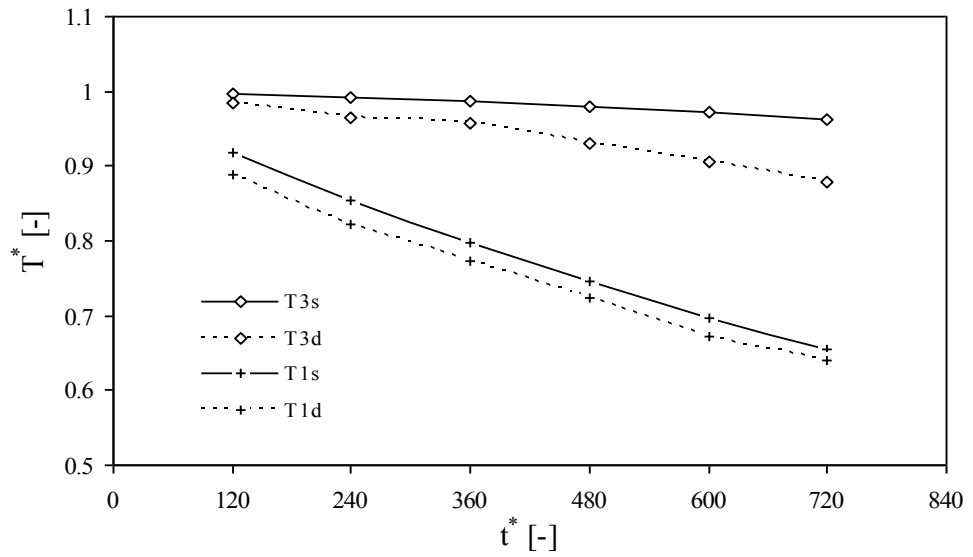
Şekil B3: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.27$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



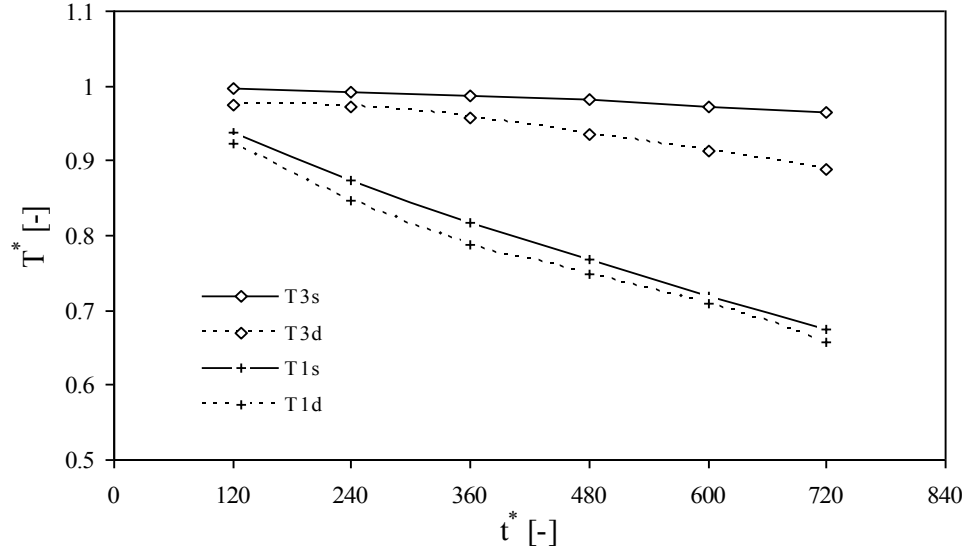
Şekil B4: $g/D=0.1$ ve $f/H=0.33$ Granlarında Sıcaklık Dağılımı



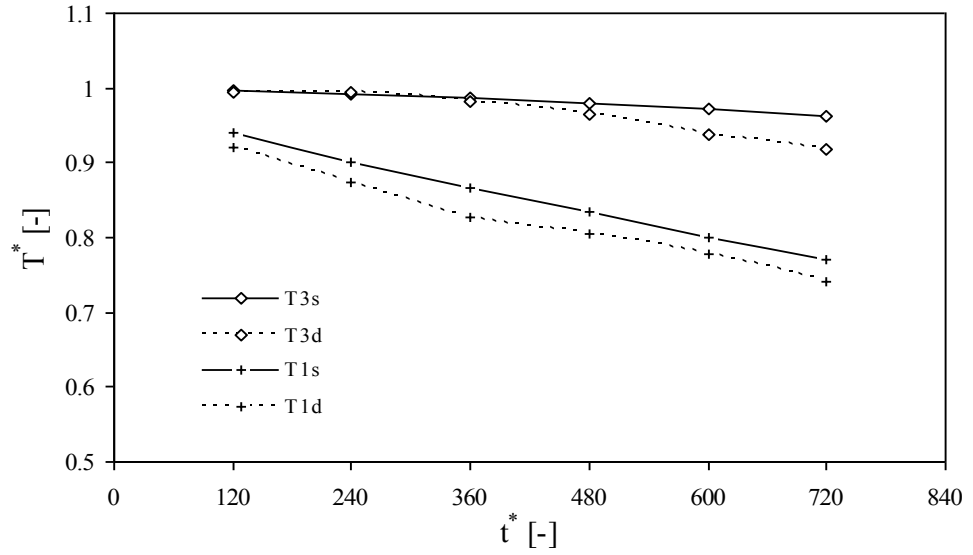
Şekil B5: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.067$ Granlarında Sıcaklık Dağılımı



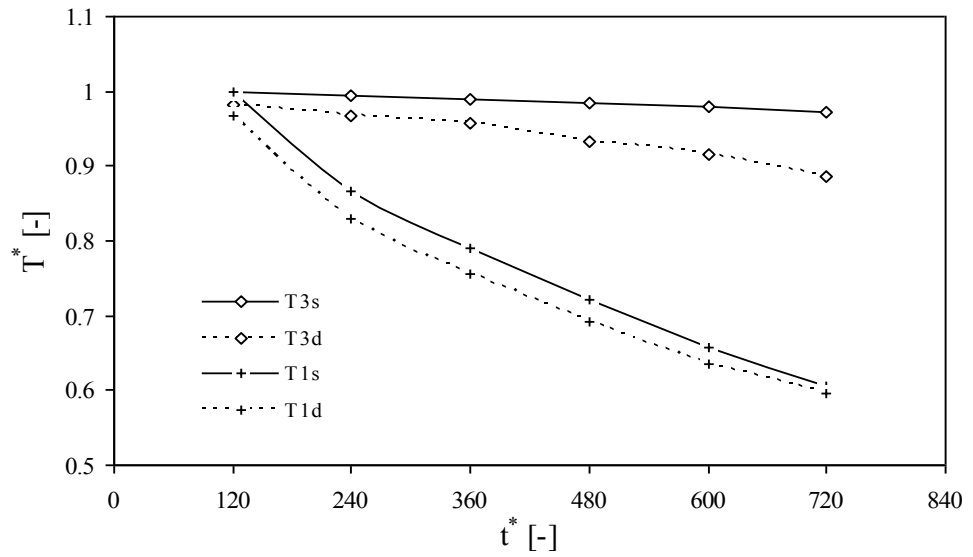
Şekil B6: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.2$ Granlarında Sıcaklık Dağılımı



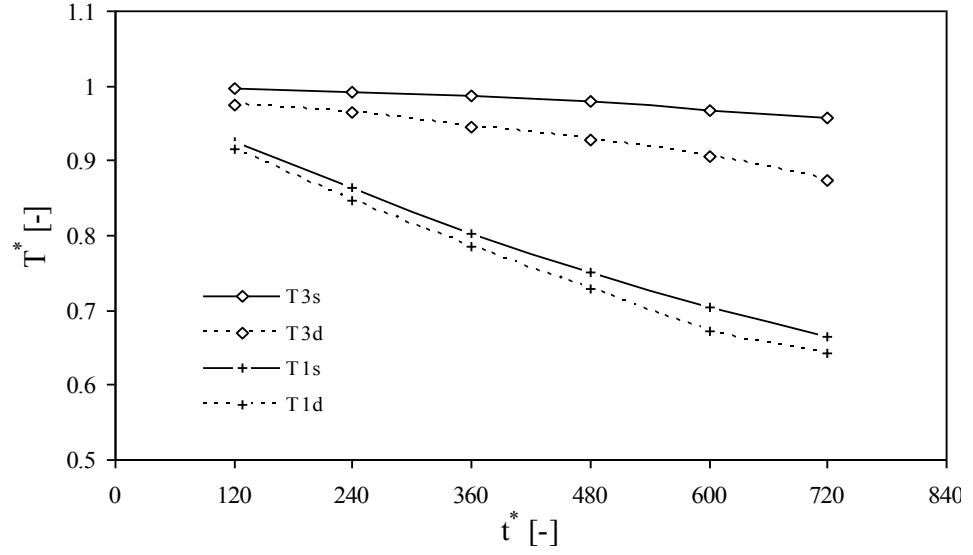
Şekil B7: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.27$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



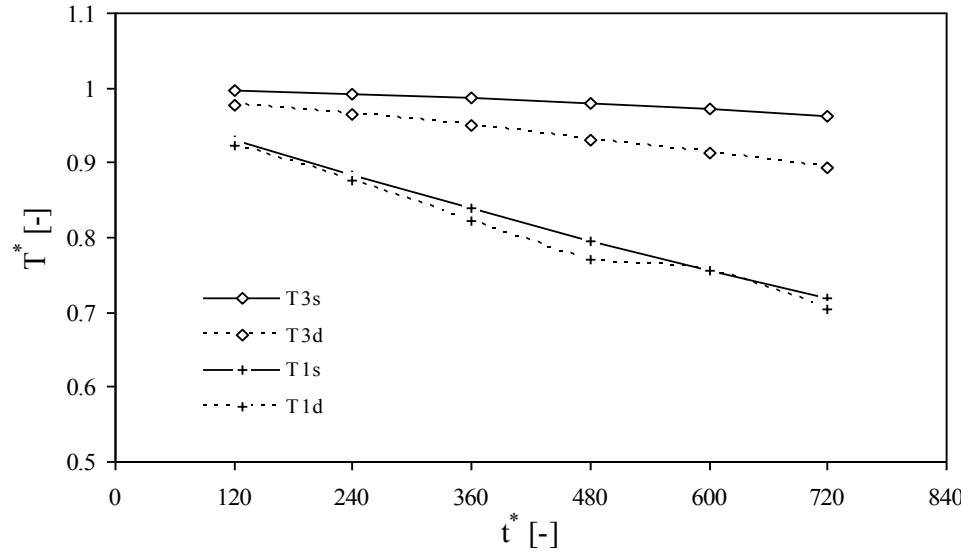
Şekil B8: $g/D=0.2$ ve $f/H=0.33$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



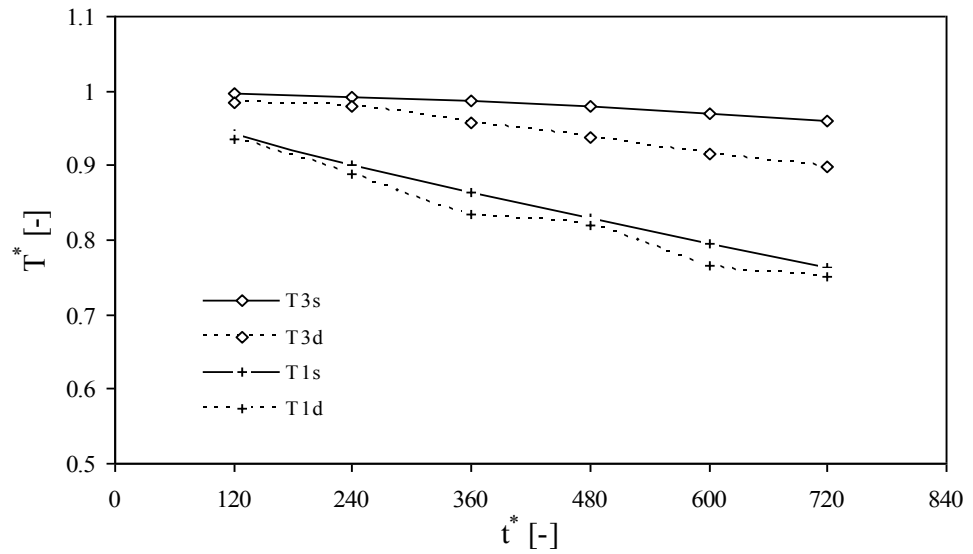
Şekil B9: $g/D=0.3$ ve $f/H=0.067$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



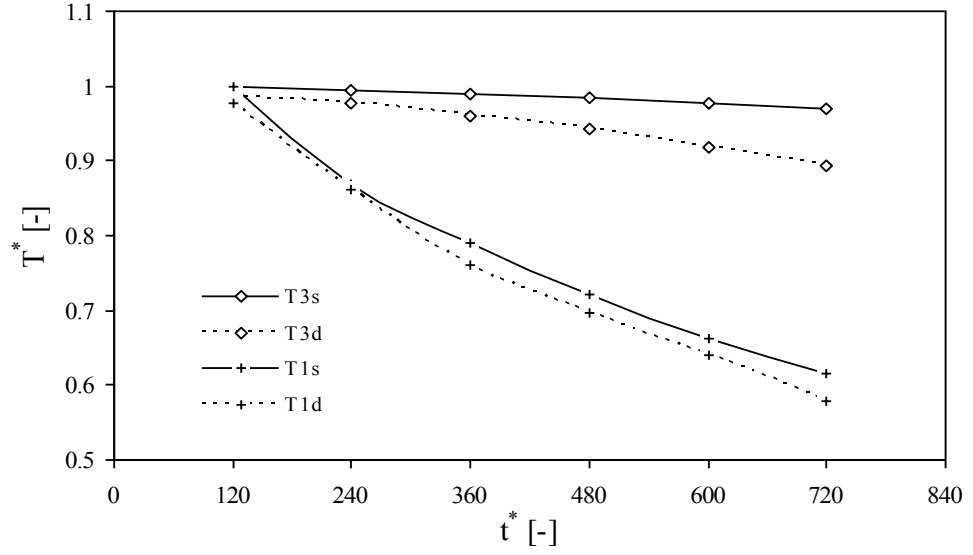
Şekil B10 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.2$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



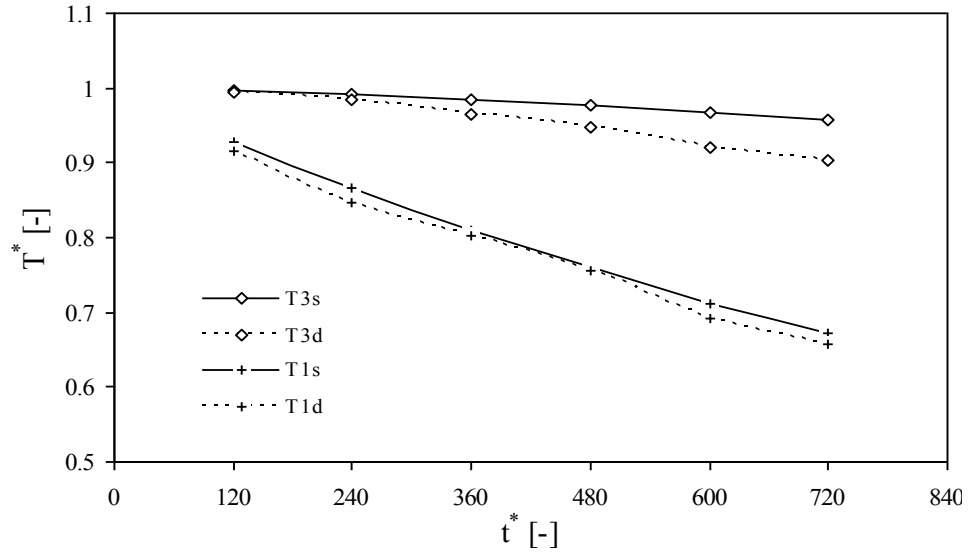
Şekil B11 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.27$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



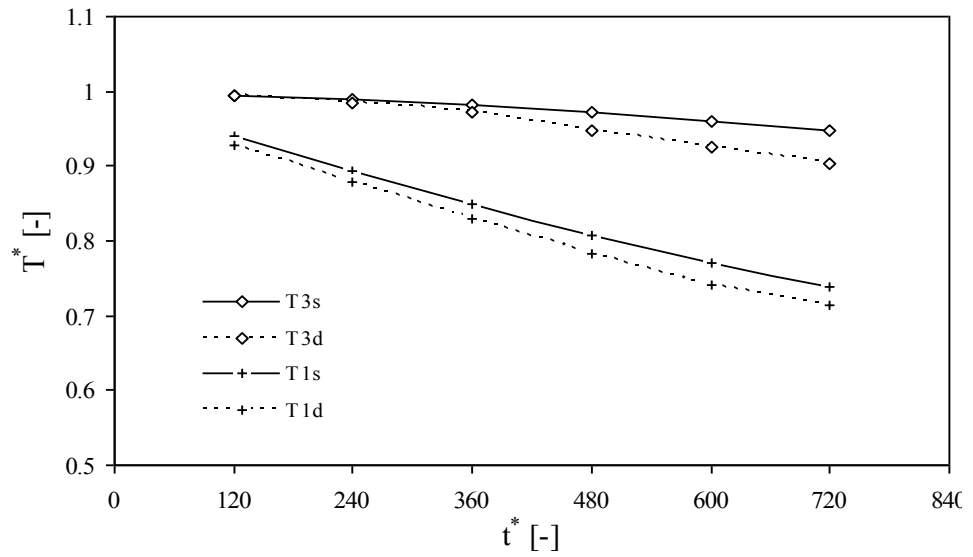
Şekil B12 : $g/D=0.3$ ve $f/H=0.33$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



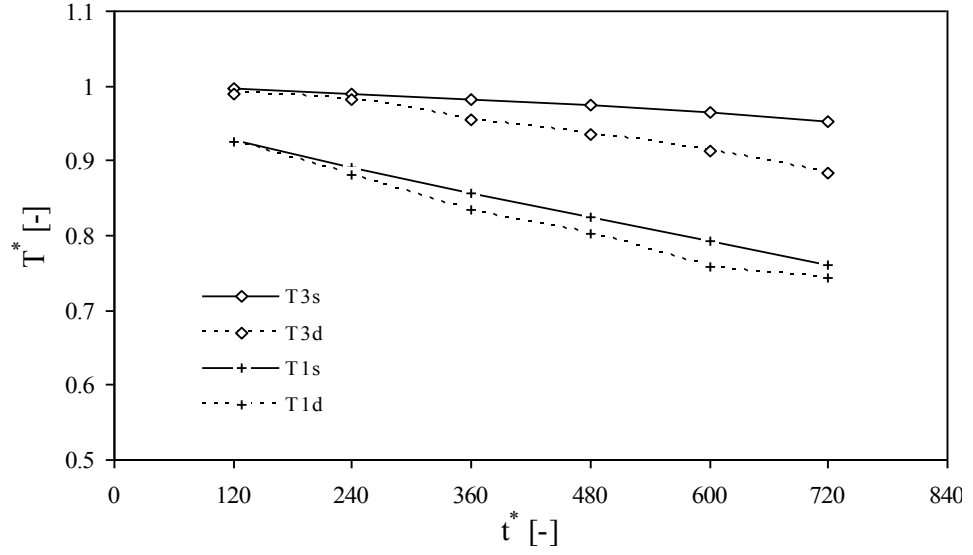
Şekil B13 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.067$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



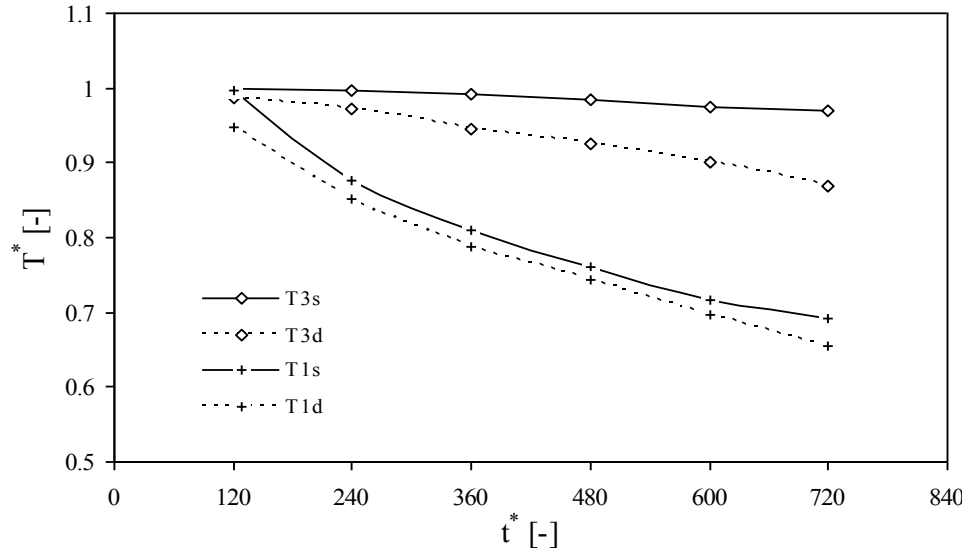
Şekil B14 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.2$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



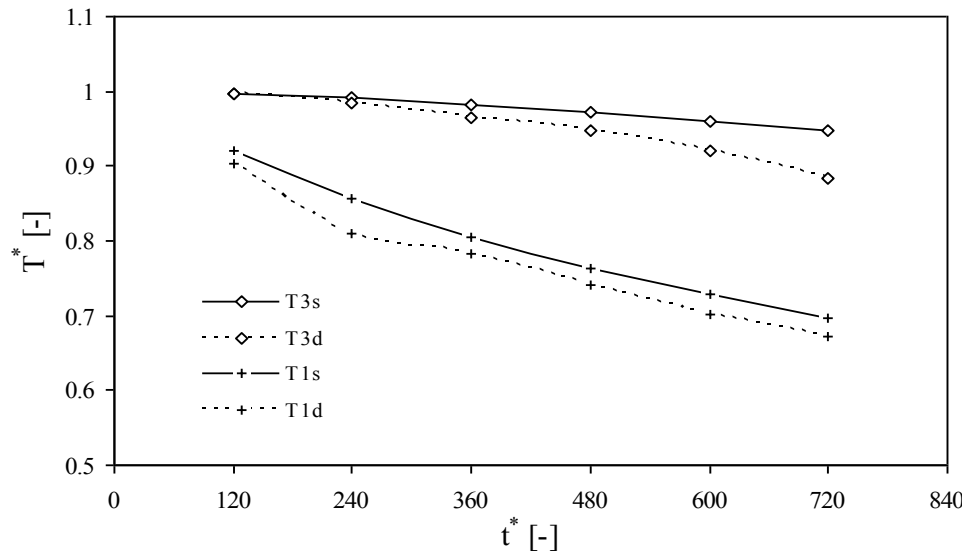
Şekil B15 : $g/D=0.4$ ve $f/H=0.27$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



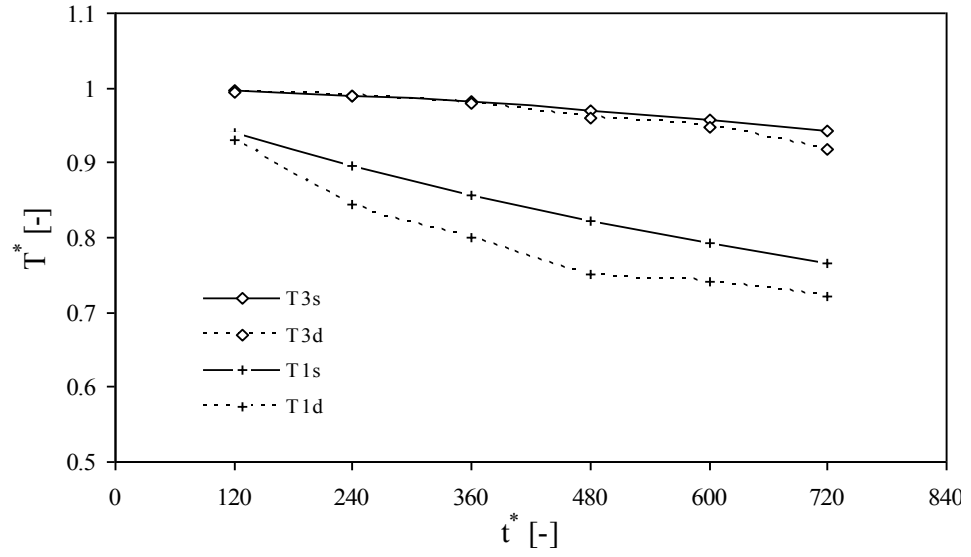
Şekil B16: $g/D=0.4$ ve $f/H=0.33$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



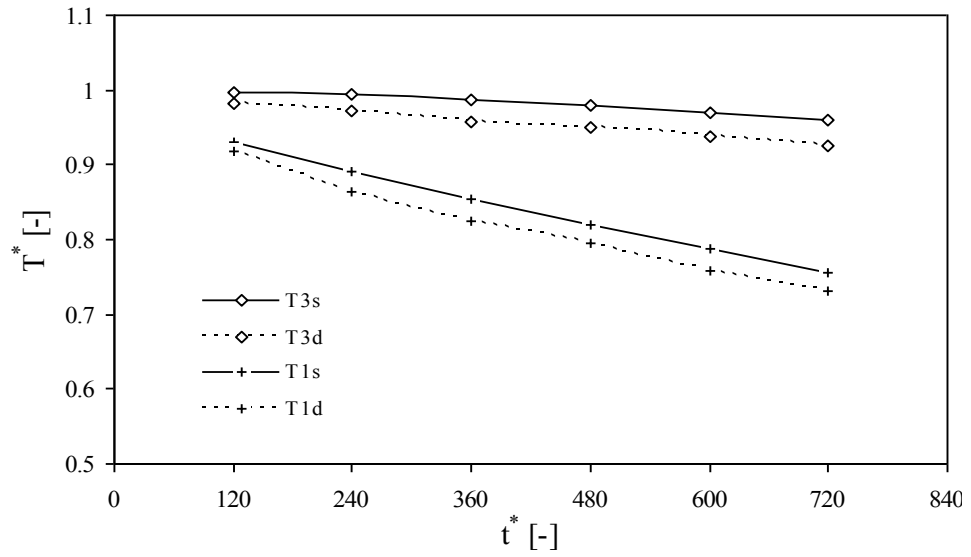
Şekil B17: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.067$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



Şekil B18: $g/D=0.5$ ve $f/H=0.2$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



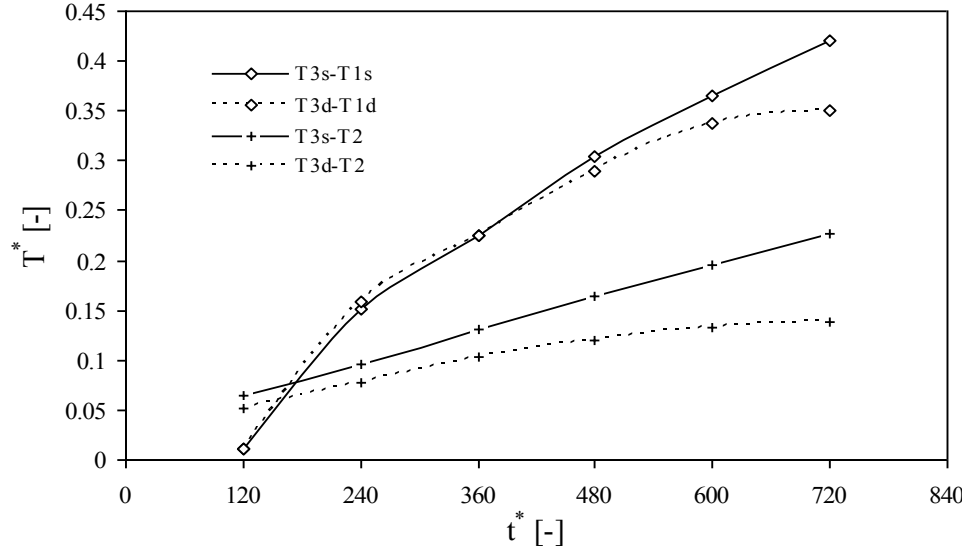
Şekil B19 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.27$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları



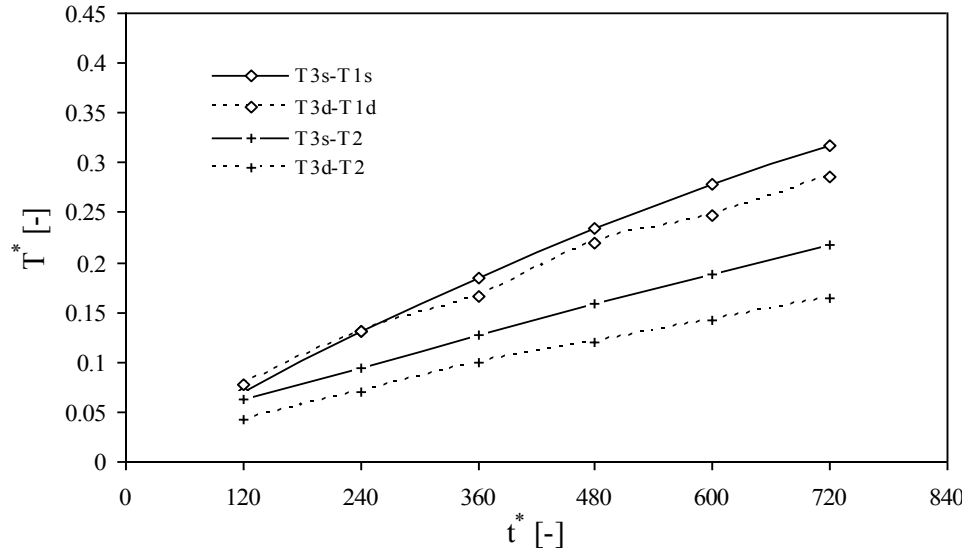
Şekil B20 : $g/D=0.5$ ve $f/H=0.33$ Granlarında Sıcaklık Dağılımları

EK C

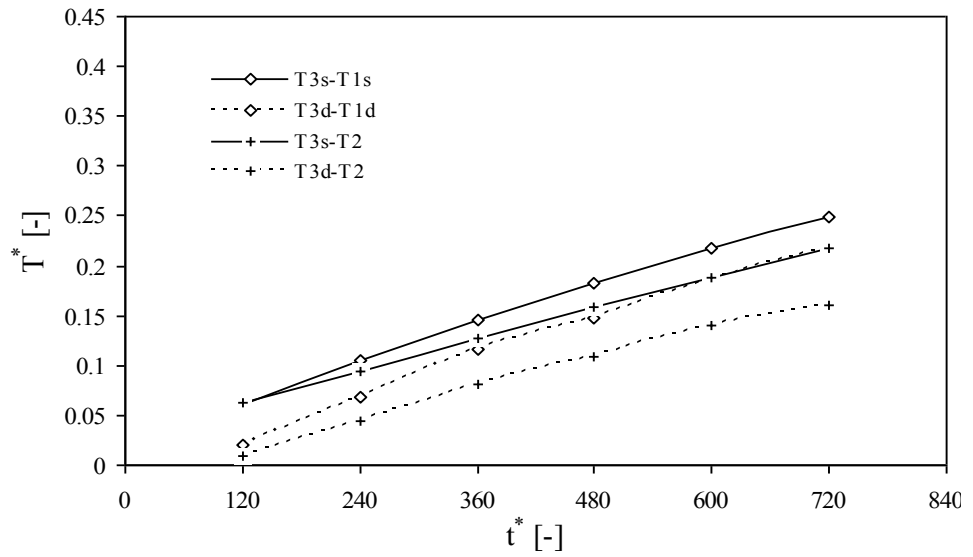
**ENGELLİ TANK MODELİ NDE $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$, $T_{3s}^* - T_2^*$, $T_{3d}^* - T_2^*$
BOYUTSUZ SICAKLIK FARKLARININ ZAMANA BAĞLI DAĞILIMLARI**



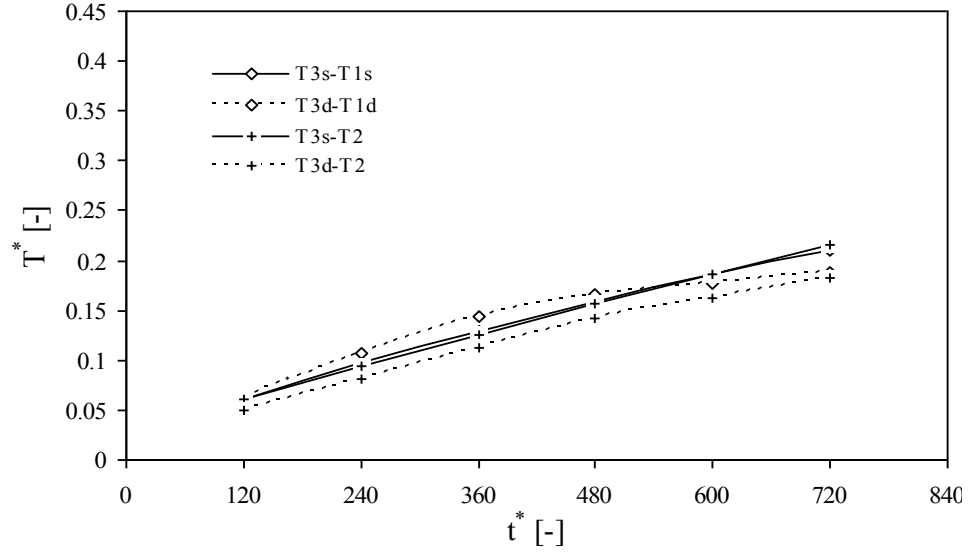
Şekil C1: $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.067$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



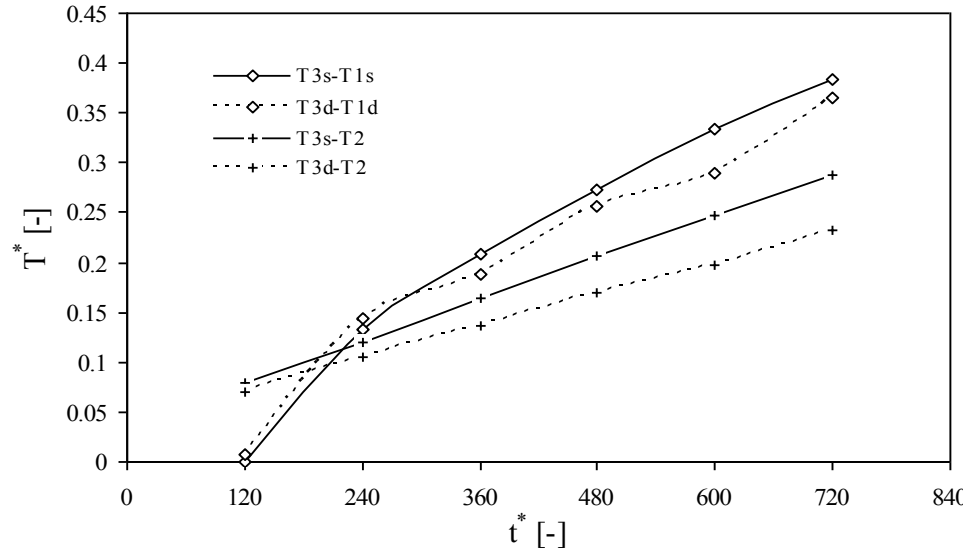
Şekil C2: $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



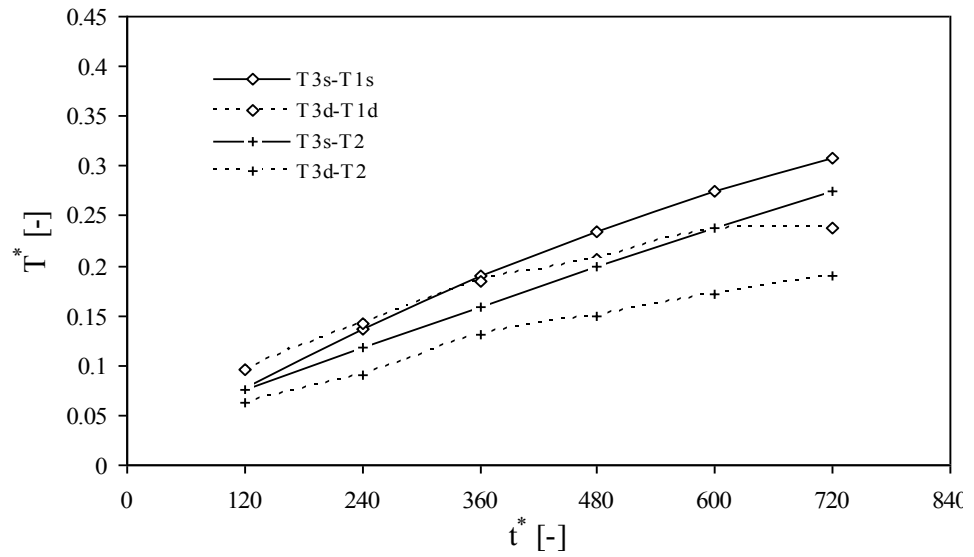
Şekil C3: $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.27$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



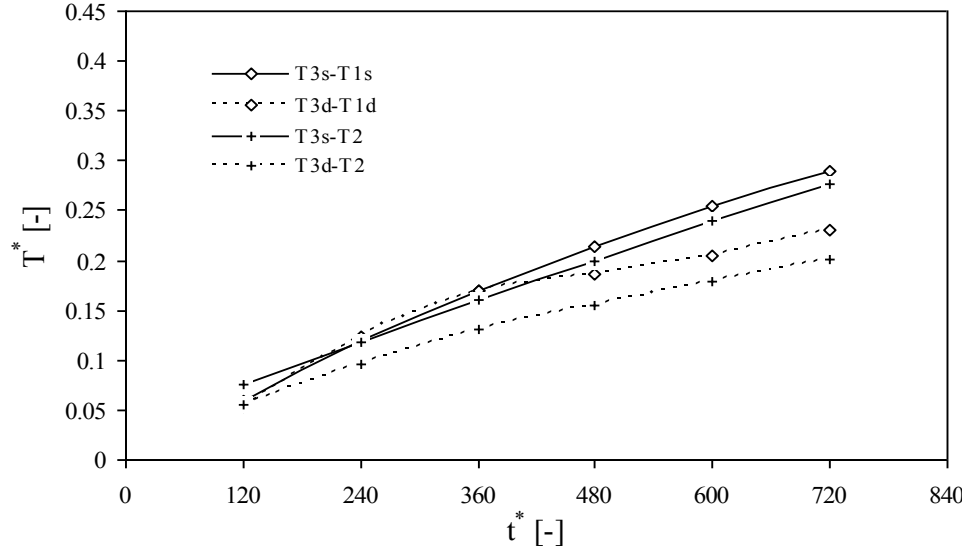
Şekil C4: $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.33$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



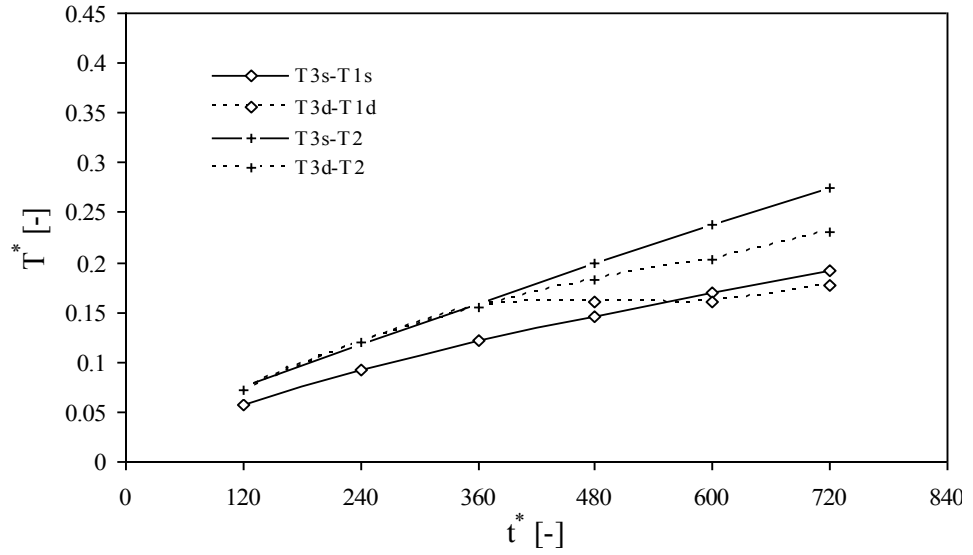
Şekil C5: $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.067$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



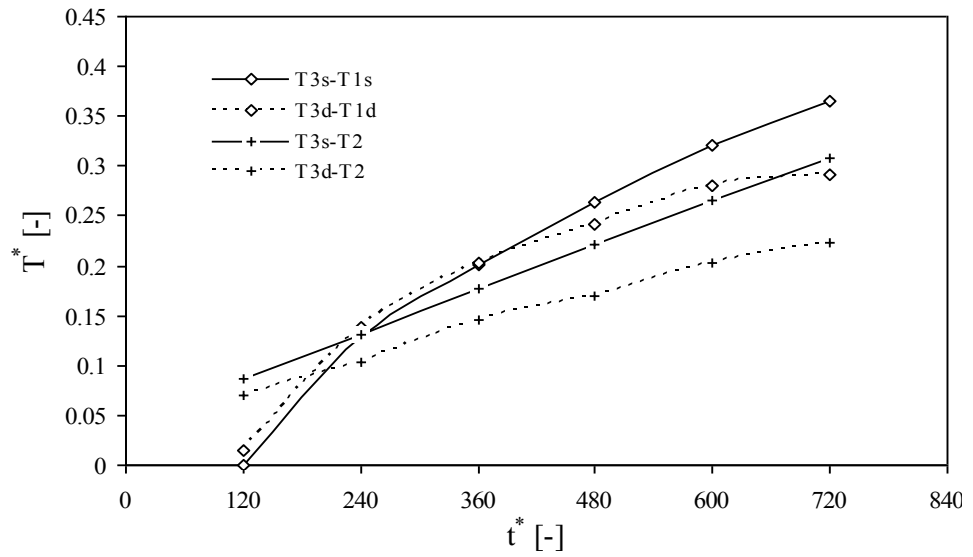
Şekil C6: $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



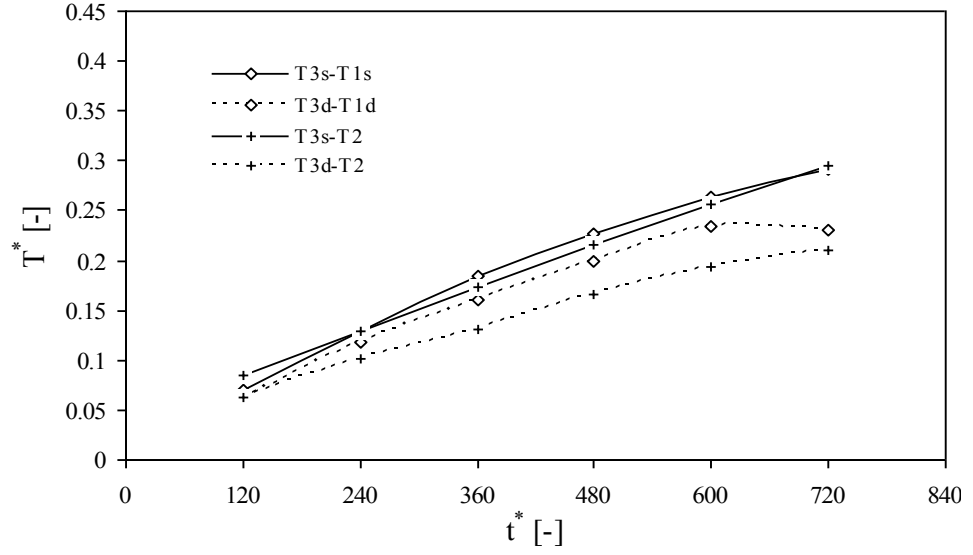
Şekil C7: $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.27$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



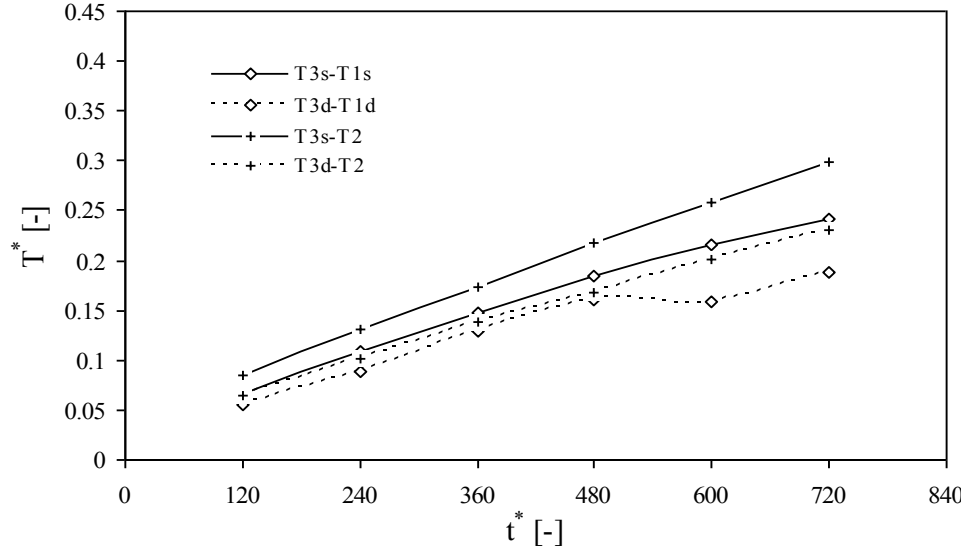
Şekil C8: $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.33$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



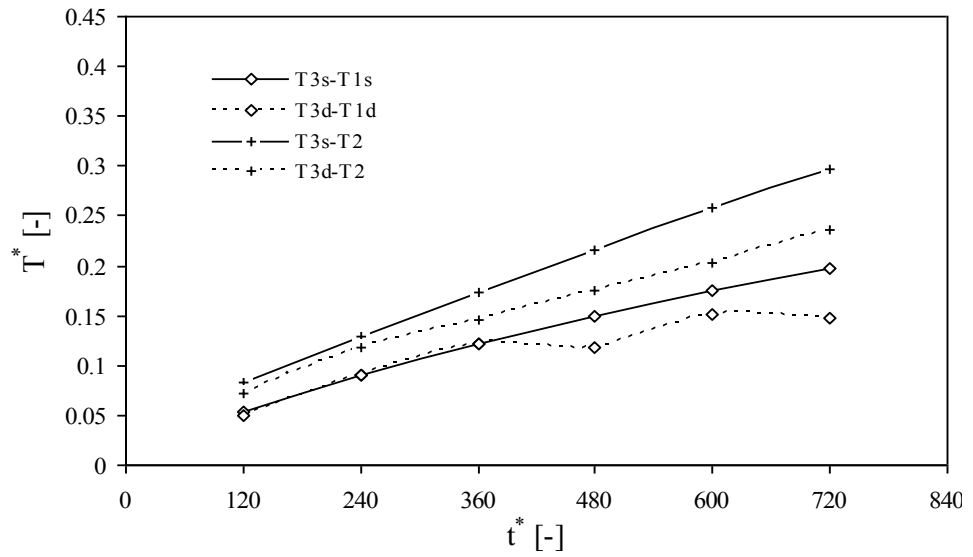
Şekil C9: $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.067$ Oranlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



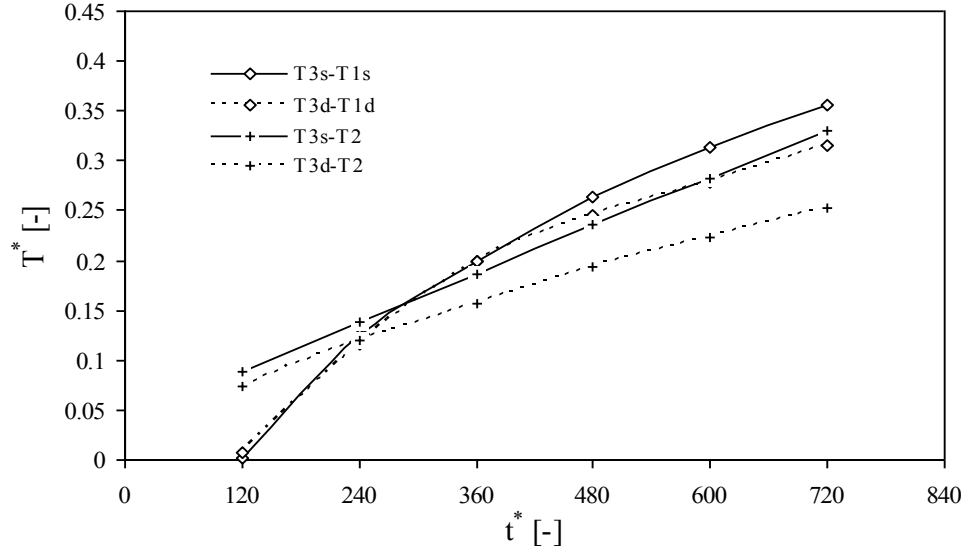
Şekil C10 : $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



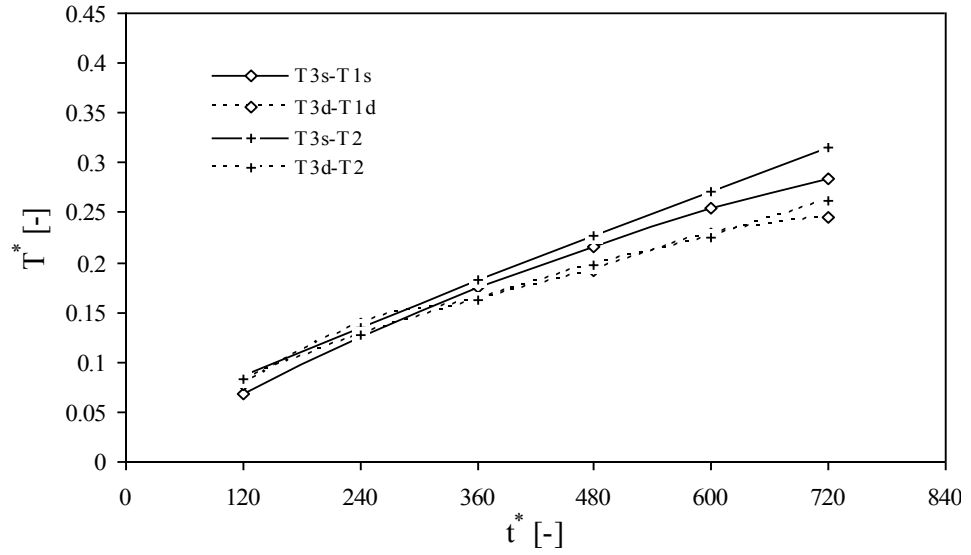
Şekil C11 : $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.27$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



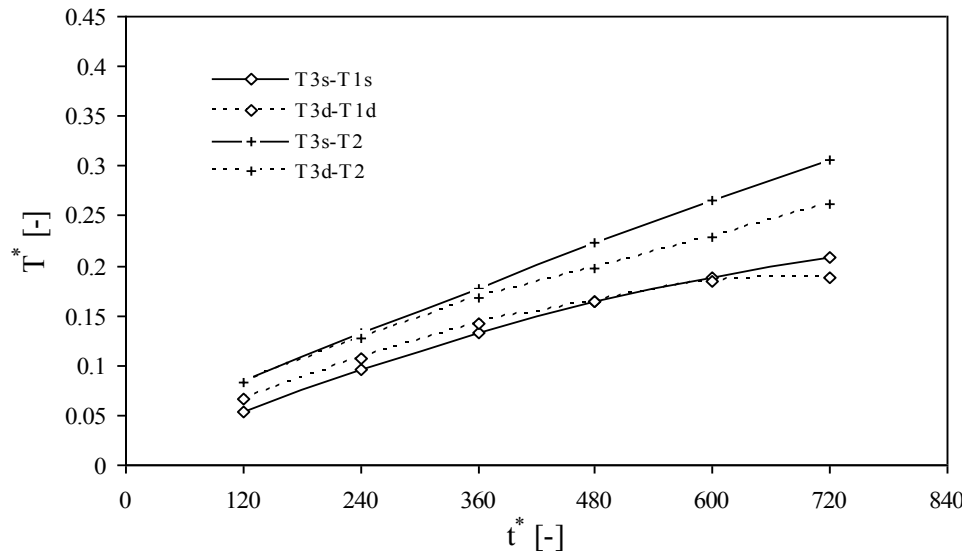
Şekil C12 : $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.33$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



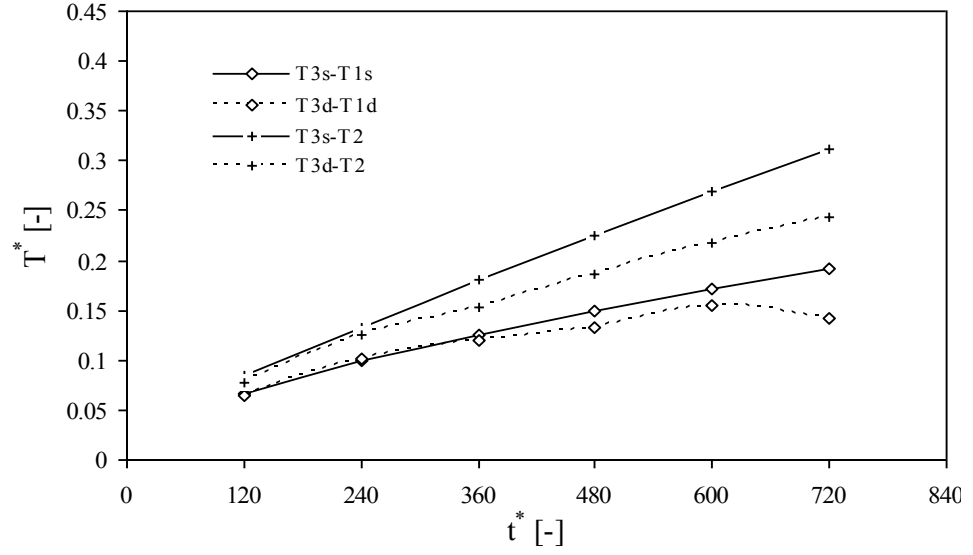
Şekil C13 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.067$ Granlarında Sıcaklık Dağılımı



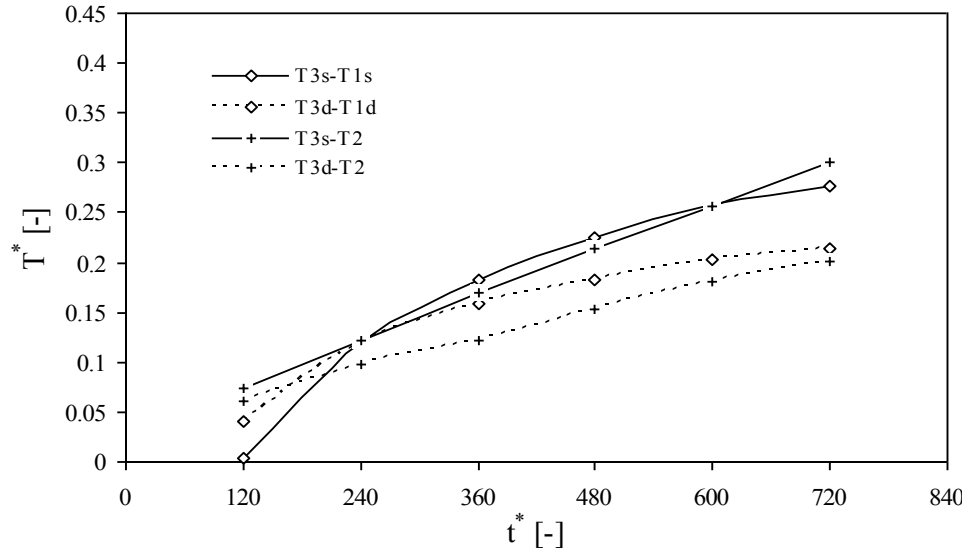
Şekil C14 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımı



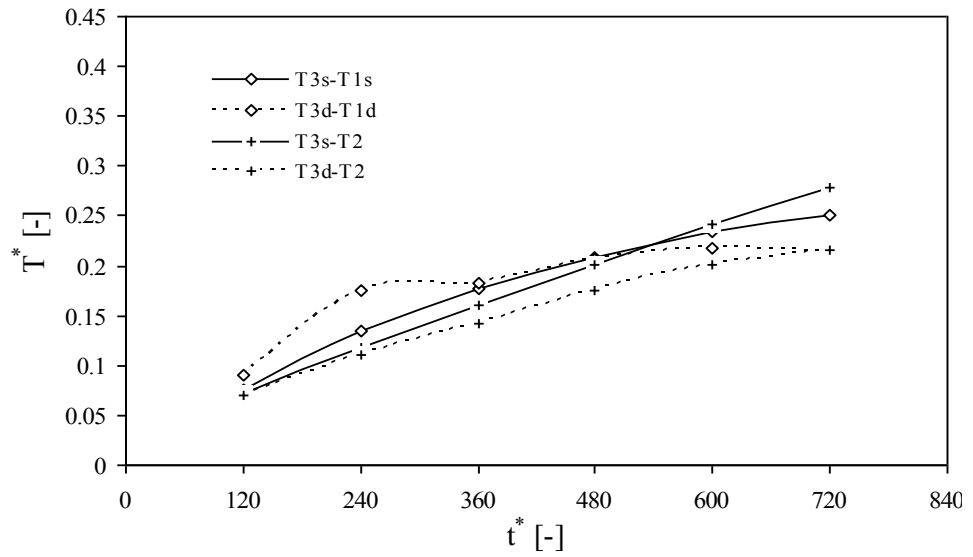
Şekil C15 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.27$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımı



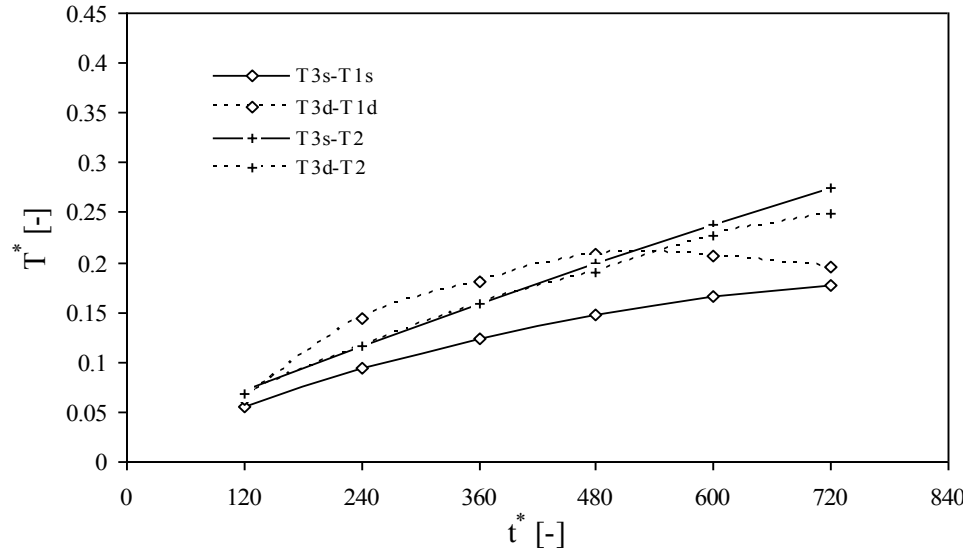
Şekil C16 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.33$ Orlarında Sıcaklık Farkı Dağılımı



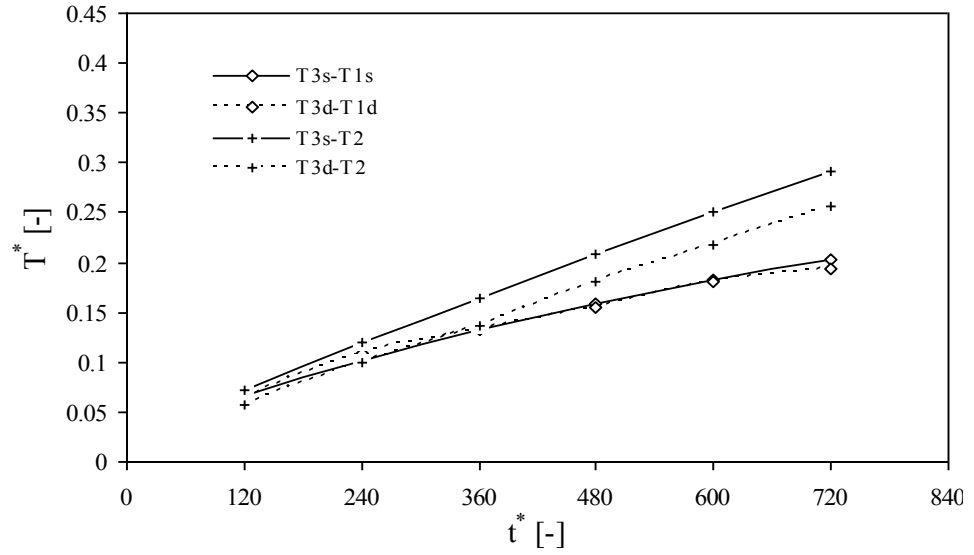
Şekil C17 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.067$ Orlarında Sıcaklık Farkı Dağılımı



Şekil C18 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.2$ Orlarında Sıcaklık Farkı Dağılımı



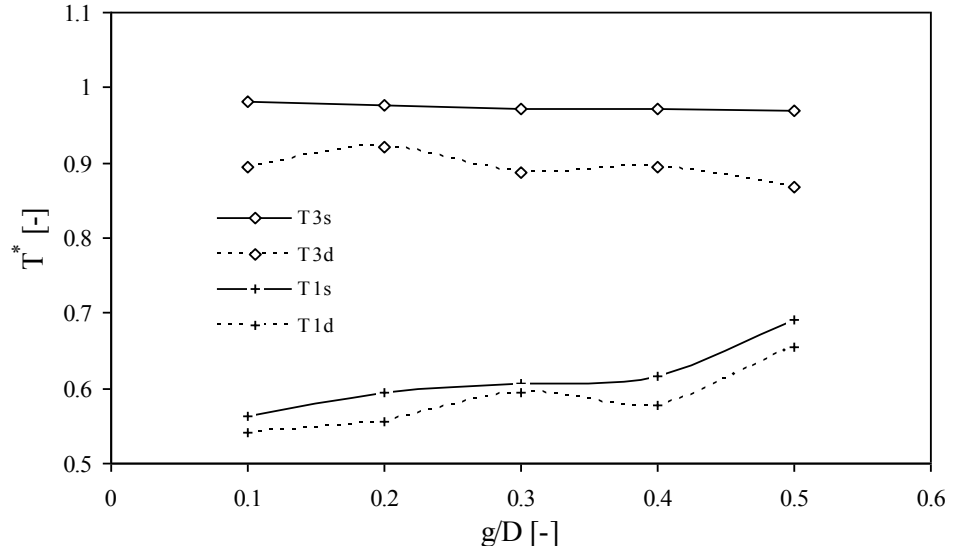
Şekil C19 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.27$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları



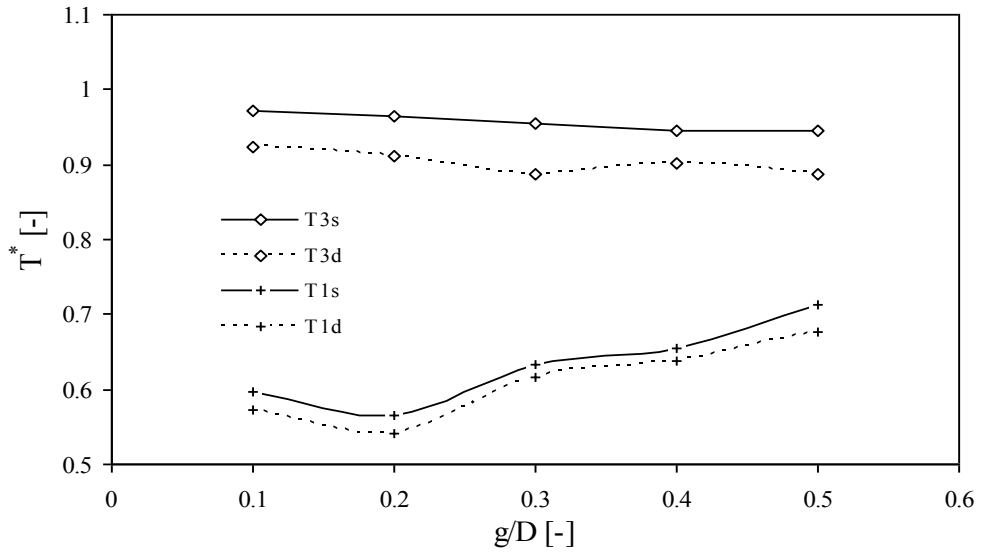
Şekil C20 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.33$ Granlarında Sıcaklık Farkı Dağılımları

EK D

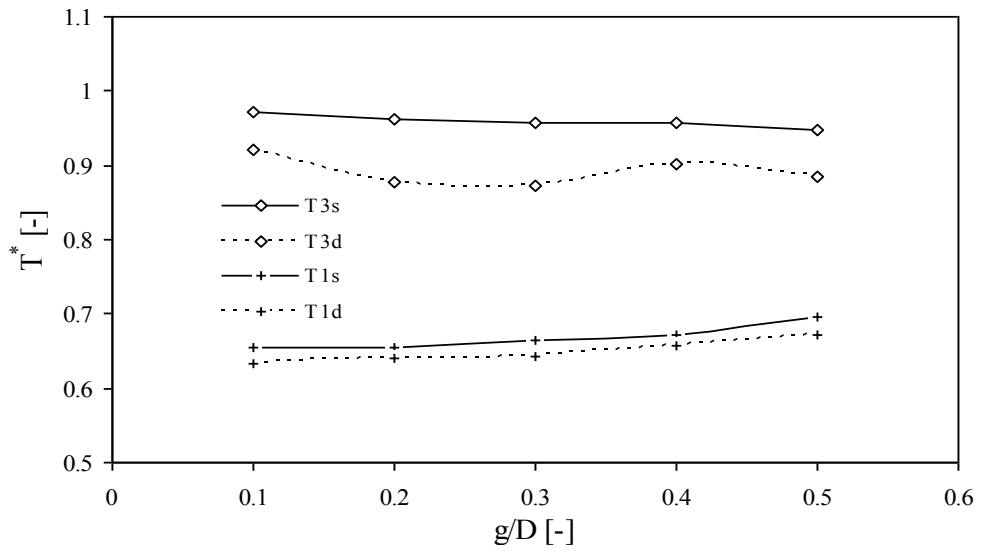
ENGELLİ TANK MODELİNDE T_{3s}^* , T_{3d}^* , T_{1s}^* , T_{1d}^* BOYUTSUZ SICAKLIK DEĞERLERİNİN g /DORANI NA BAĞLI DAĞILIMLARI



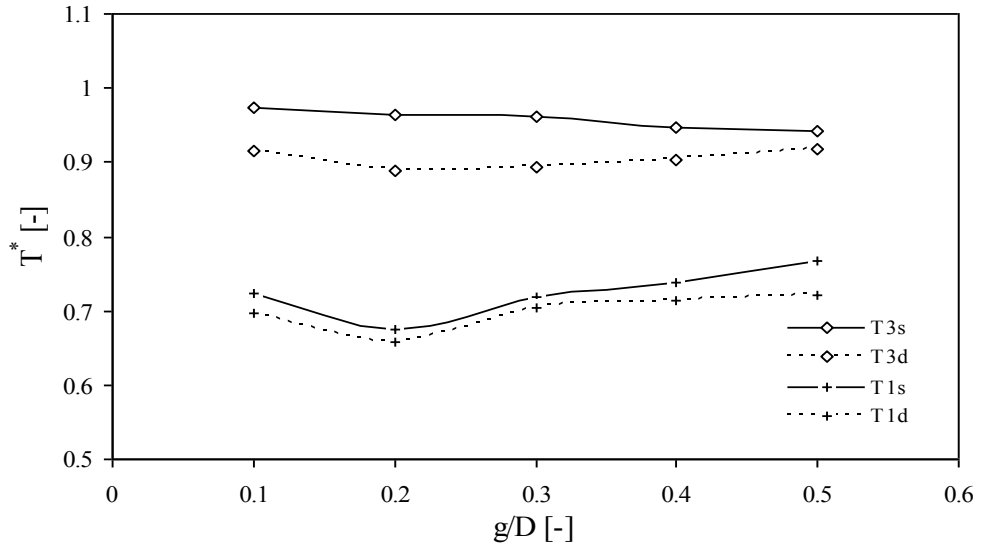
Şekil D1: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.067$ Gram'nda Sıcaklık Dağılımları



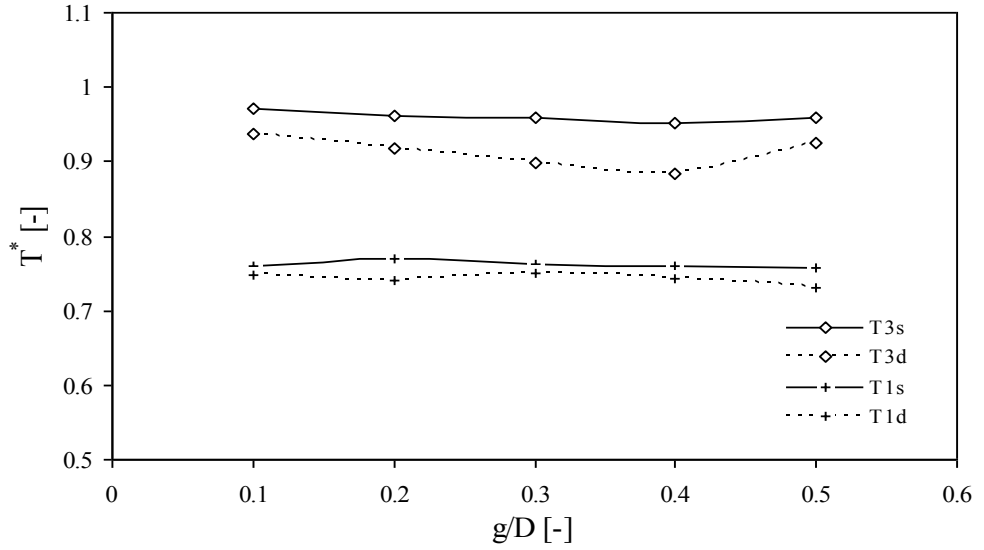
Şekil D2: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.133$ Gram'nda Sıcaklık Dağılımları



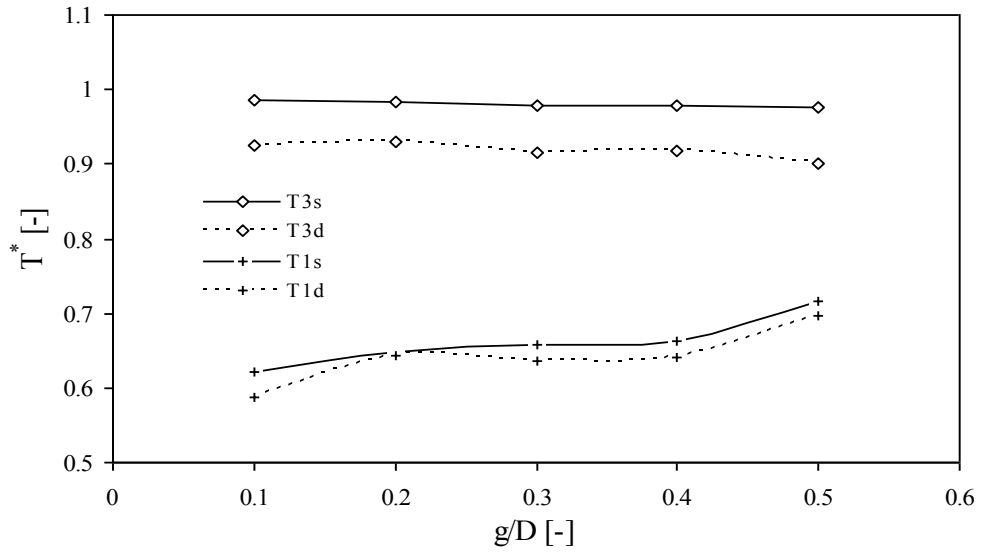
Şekil D3: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.2$ Gram'nda Sıcaklık Dağılımları



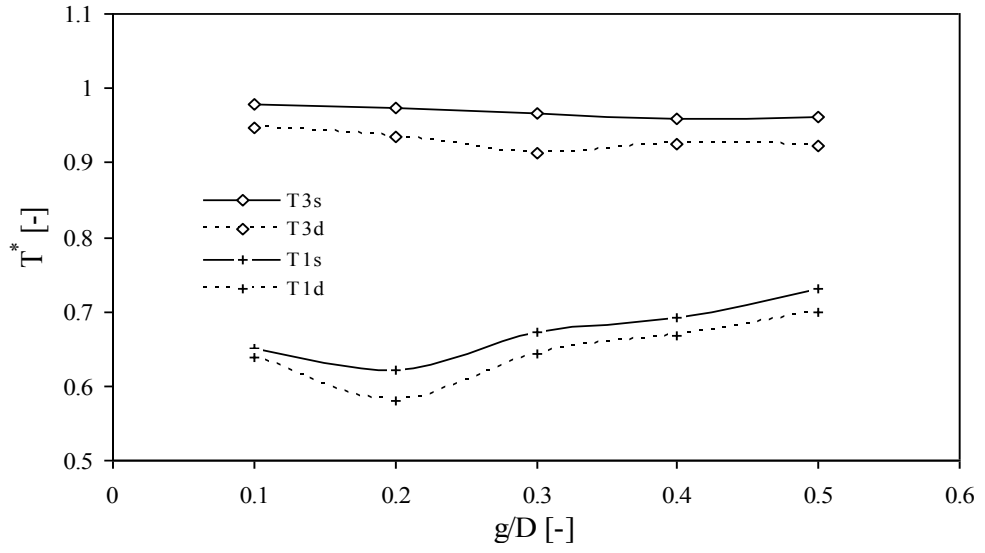
Şekil D4: $t^* = 720$ ve $f/ H = 0.27$ Oranında Sıcaklık Dağılımı



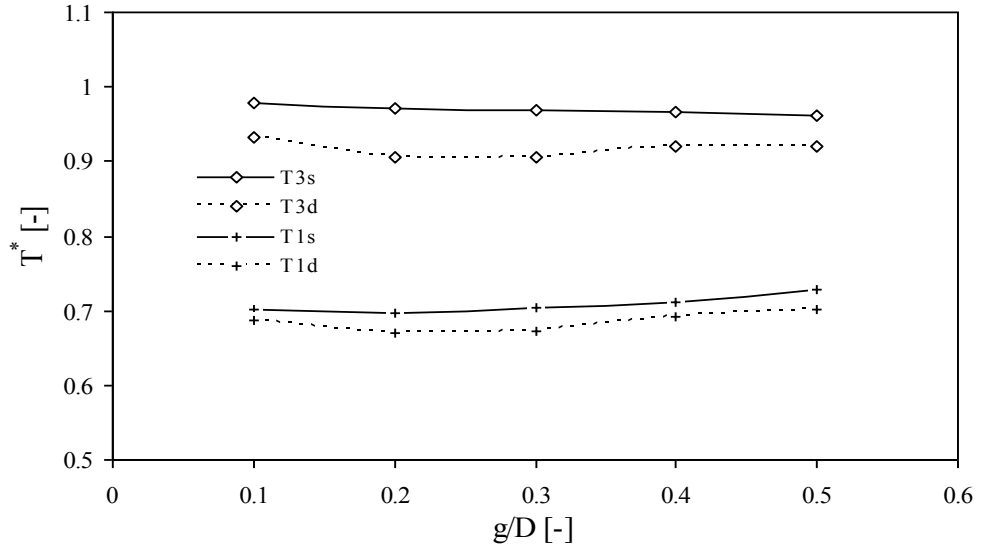
Şekil D5: $t^* = 720$ ve $f/ H = 0.33$ Oranında Sıcaklık Dağılımı



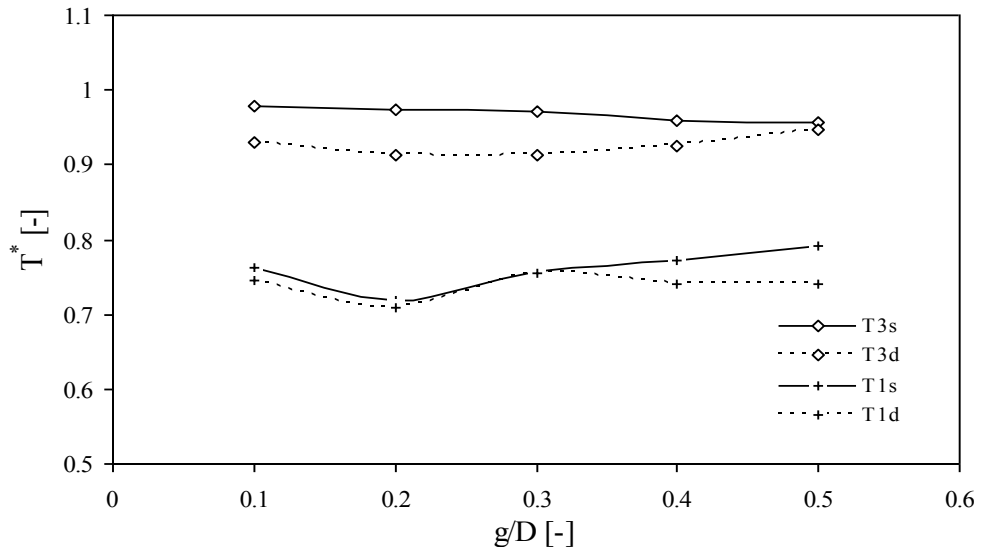
Şekil D6: $t^* = 600$ ve $f/ H = 0.067$ Oranında Sıcaklık Dağılımı



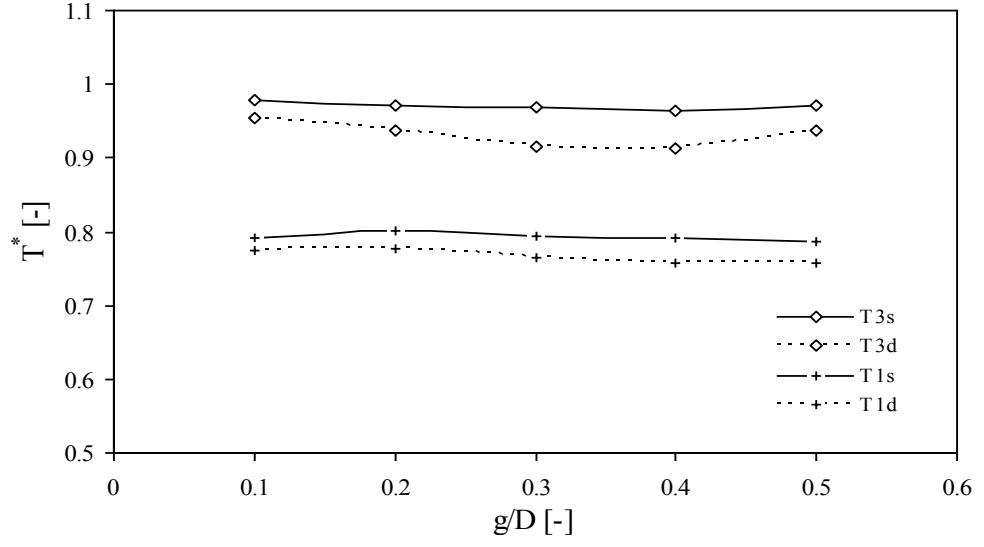
Şekil D7: $t^* = 600$ ve $f/H = 0.133$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



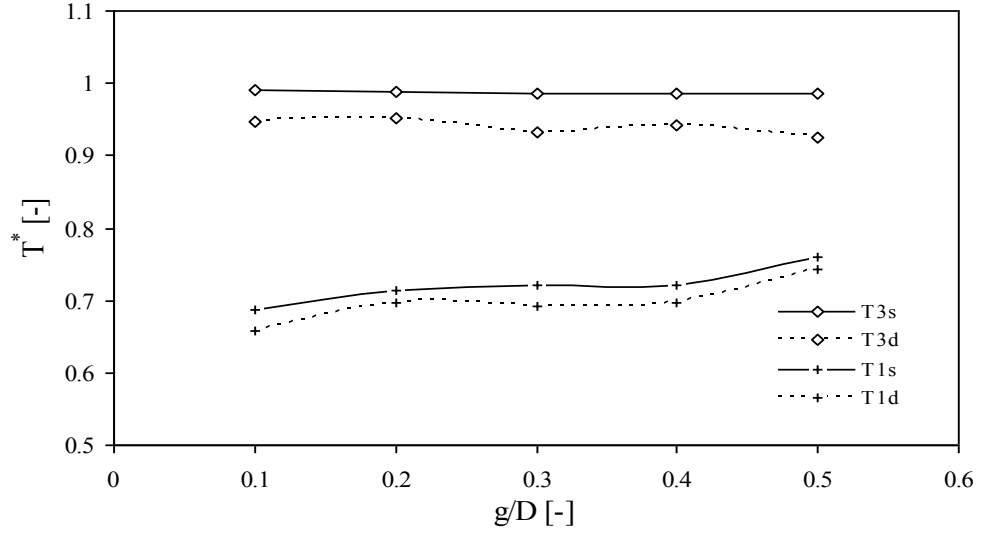
Şekil D8: $t^* = 600$ ve $f/H = 0.2$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



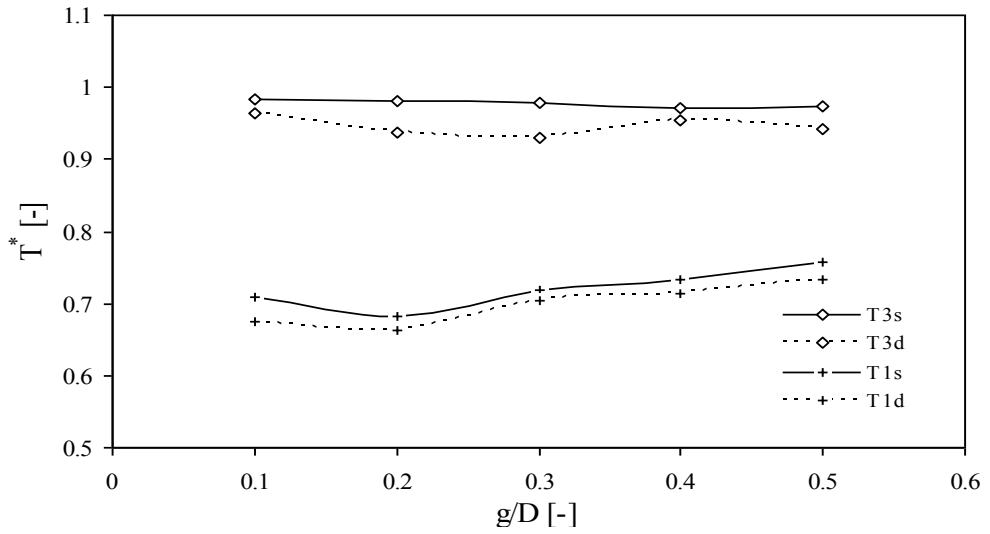
Şekil D9: $t^* = 600$ ve $f/H = 0.27$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



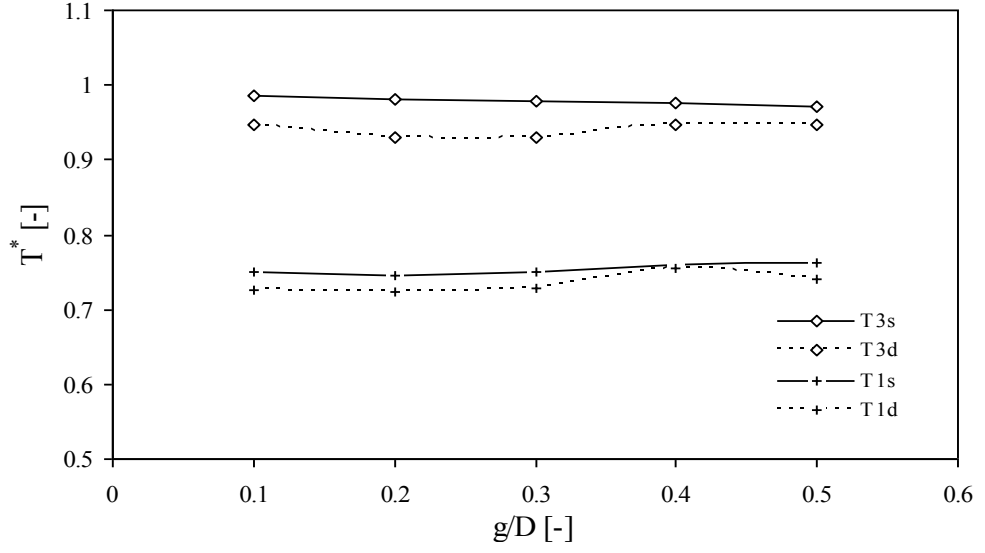
Şekil D10 : $t^* = 600$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Dağılımı



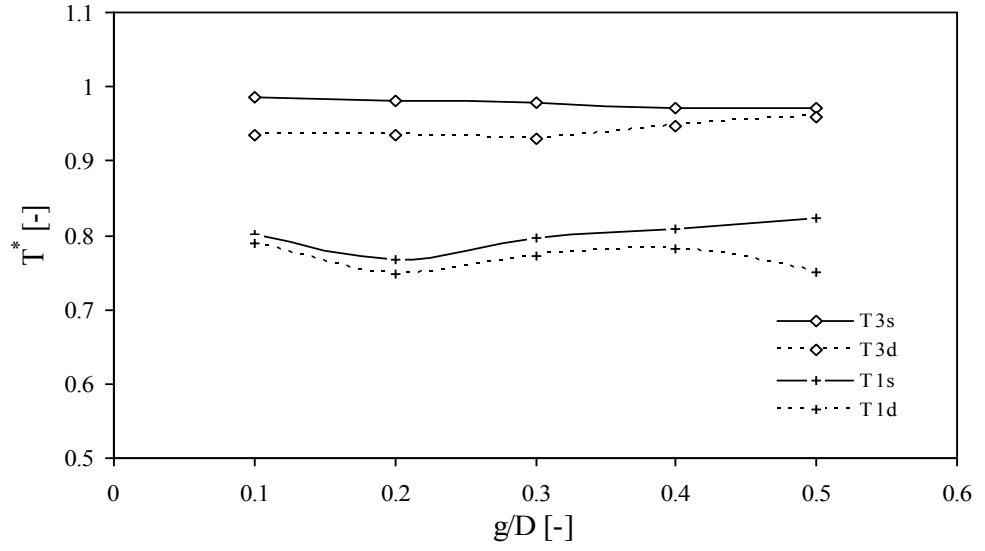
Şekil D11 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.067$ Gramında Sıcaklık Dağılımı



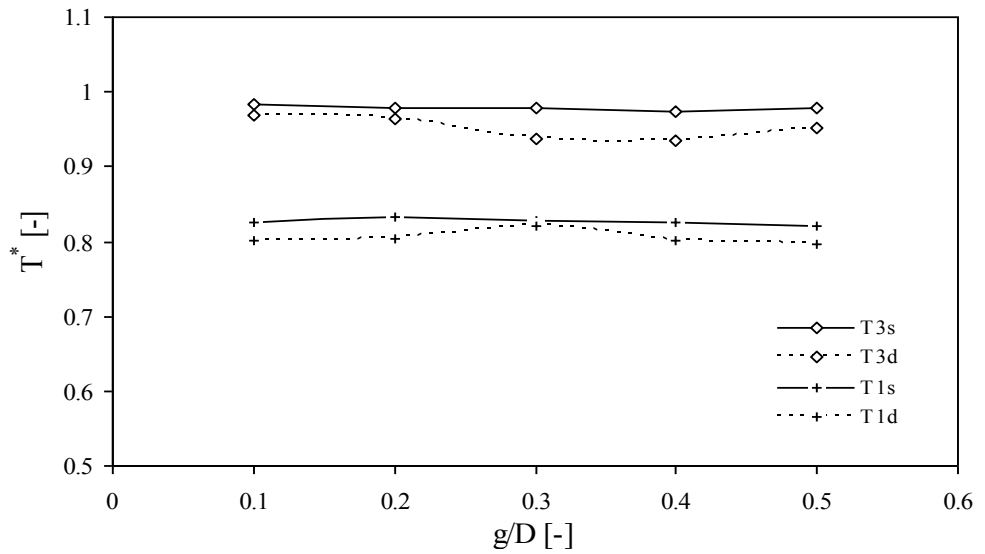
Şekil D12 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.133$ Gramında Sıcaklık Dağılımı



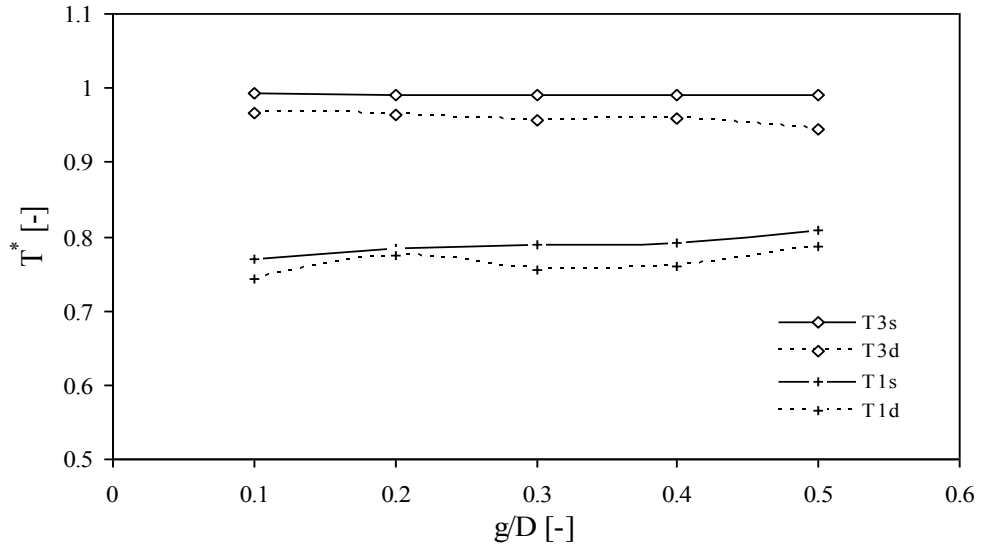
Şekil D13 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.2$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



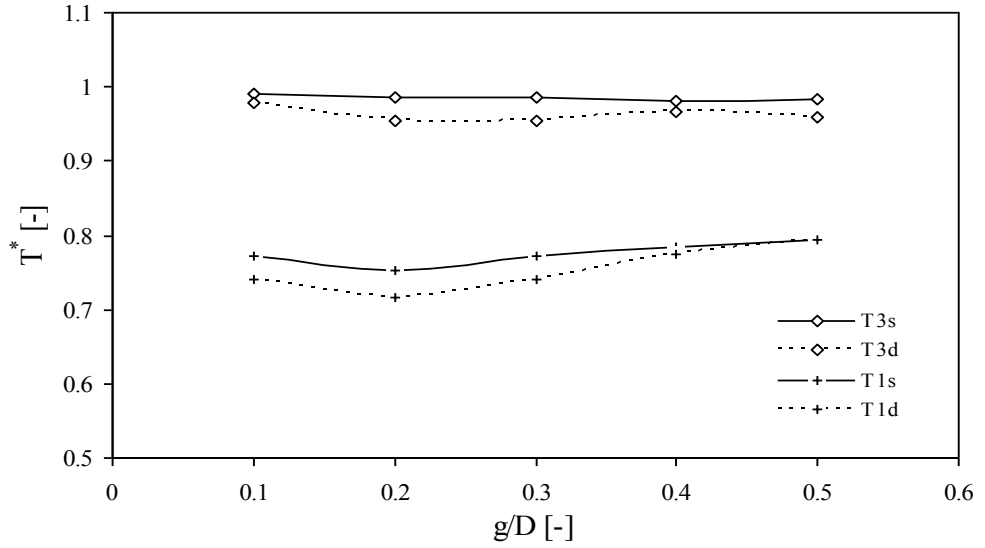
Şekil D14 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.27$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



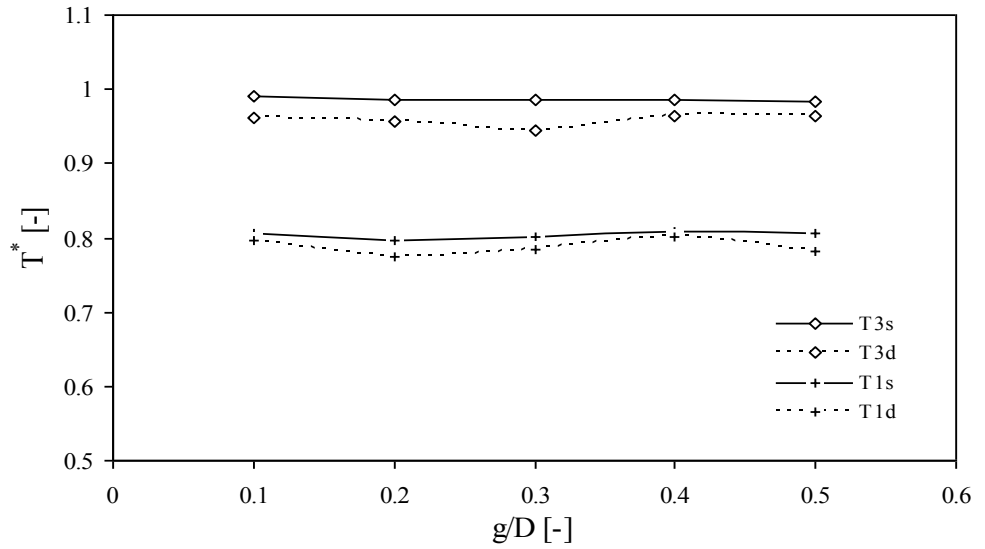
Şekil D15 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



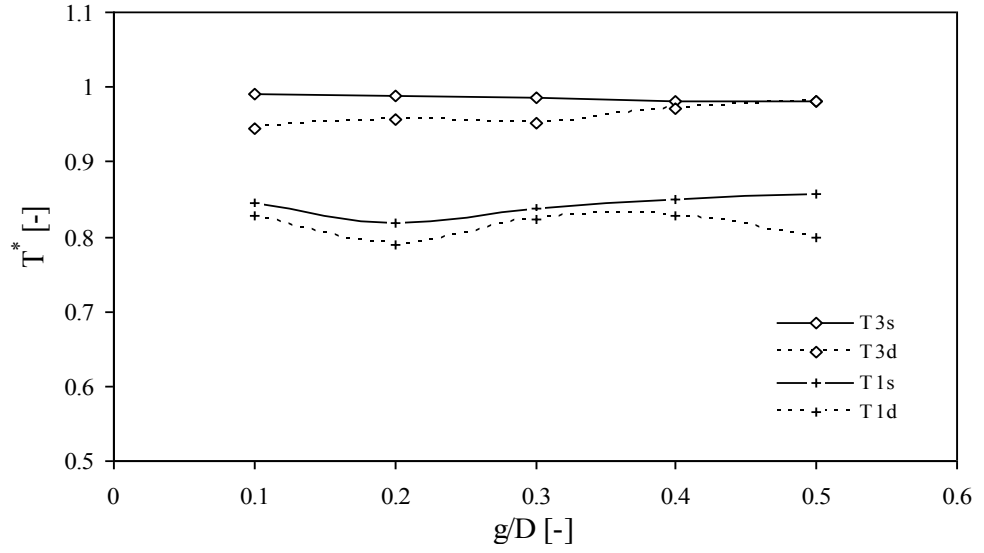
Şekil D16 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.067$ Gramında Sıcaklık Dağılımı



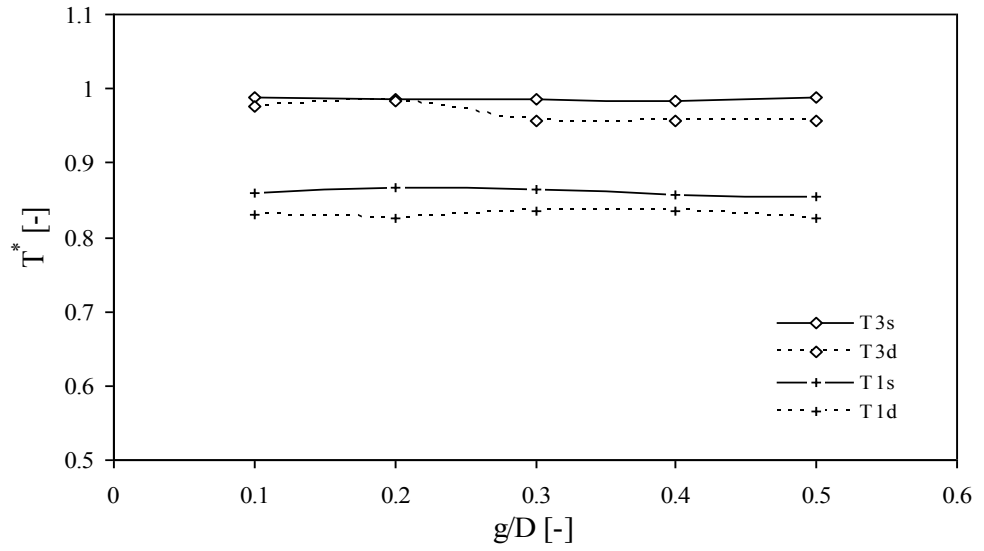
Şekil D17 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.133$ Gramında Sıcaklık Dağılımı



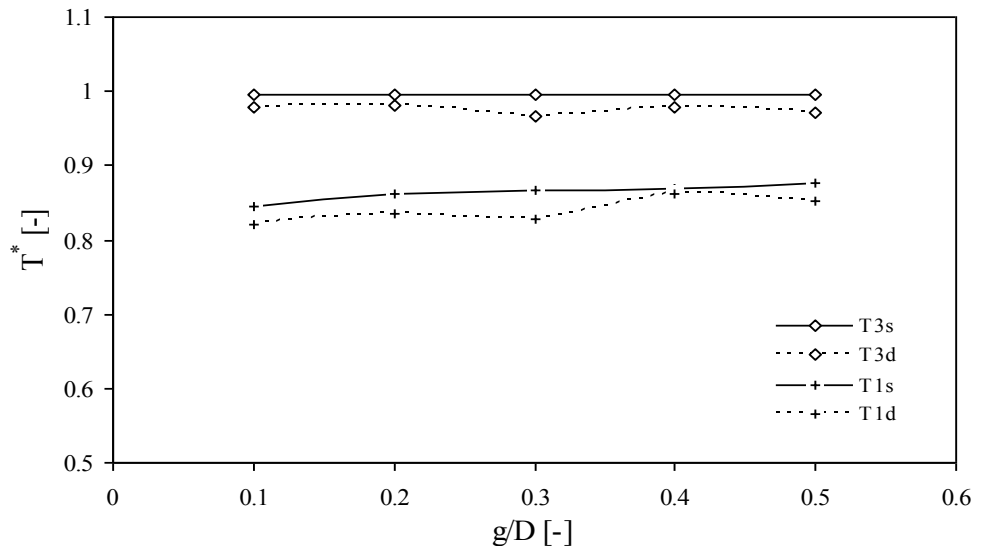
Şekil D18 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.2$ Gramında Sıcaklık Dağılımı



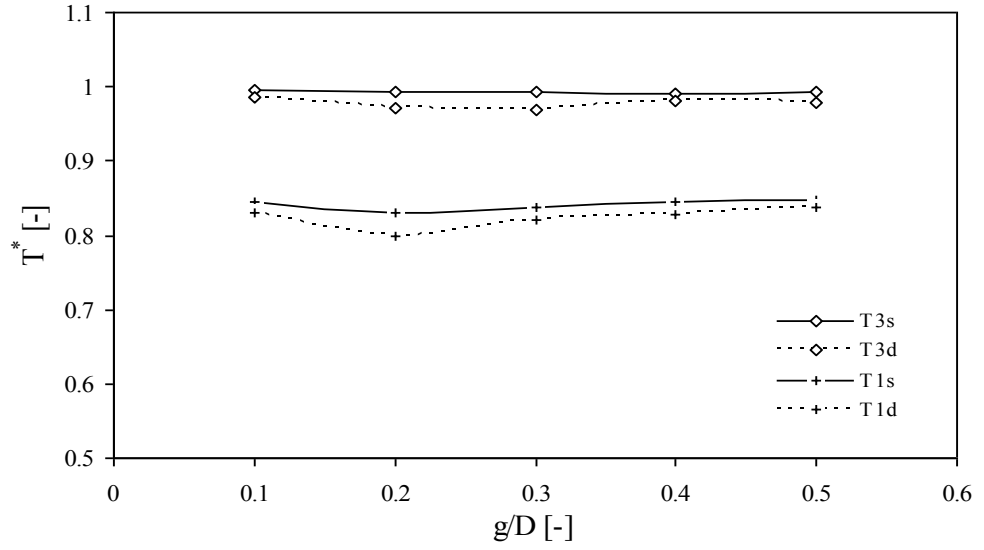
Şekil D19 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.27$ Gram'nda Sıcaklık Dağılımları



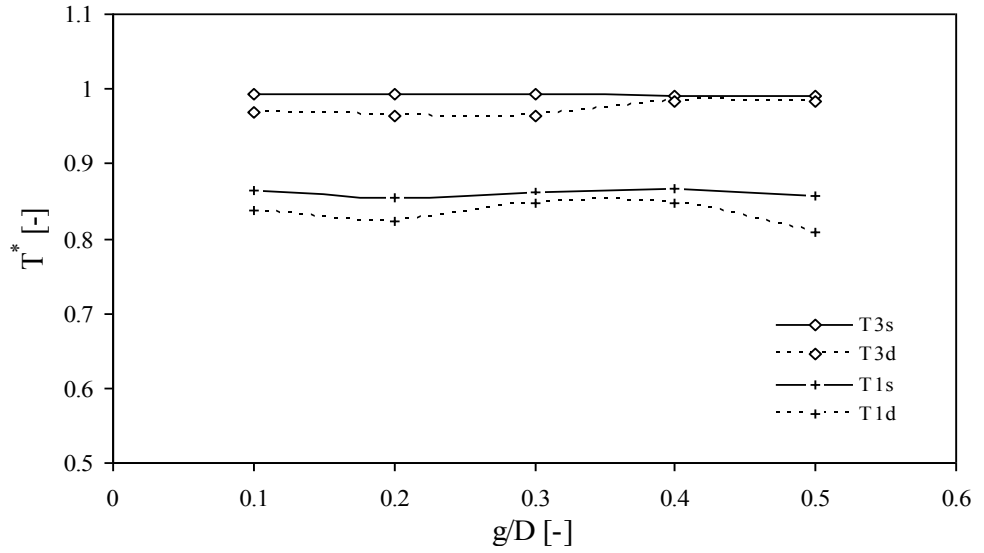
Şekil D20 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.33$ Gram'nda Sıcaklık Dağılımları



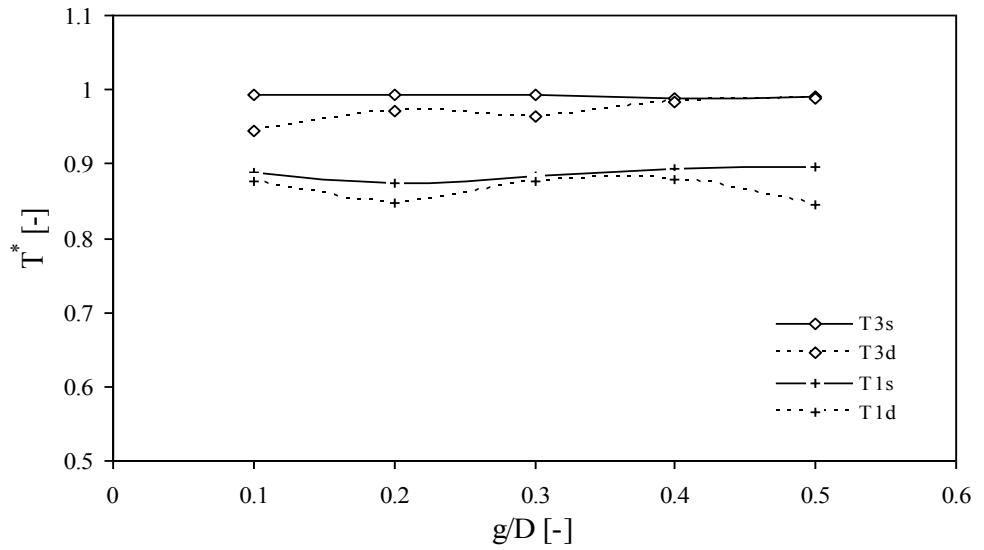
Şekil D21 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.067$ Gram'nda Sıcaklık Dağılımları



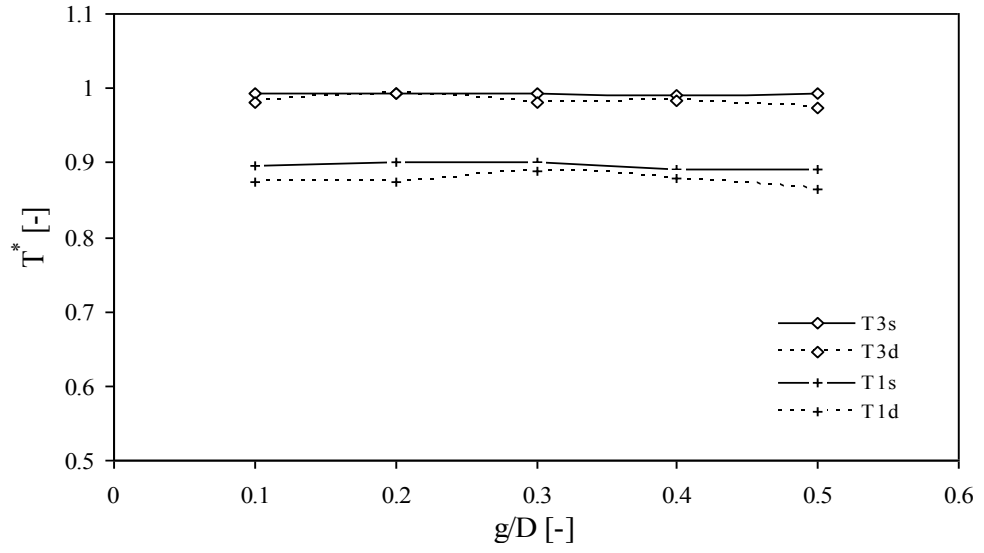
Şekil D22 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.133$ Grani nda Sıcaklık Dağılı mları



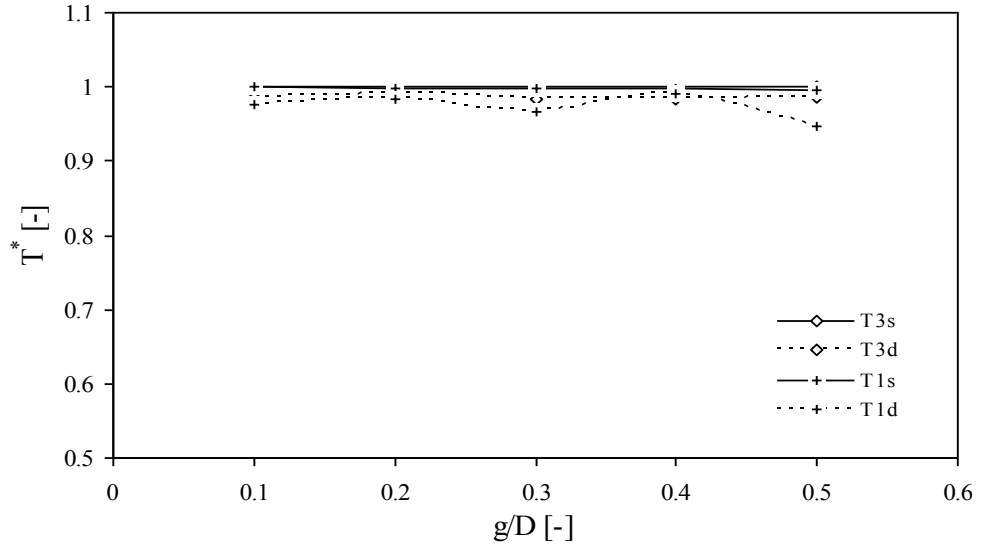
Şekil D23 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.2$ Grani nda Sıcaklık Dağılı mları



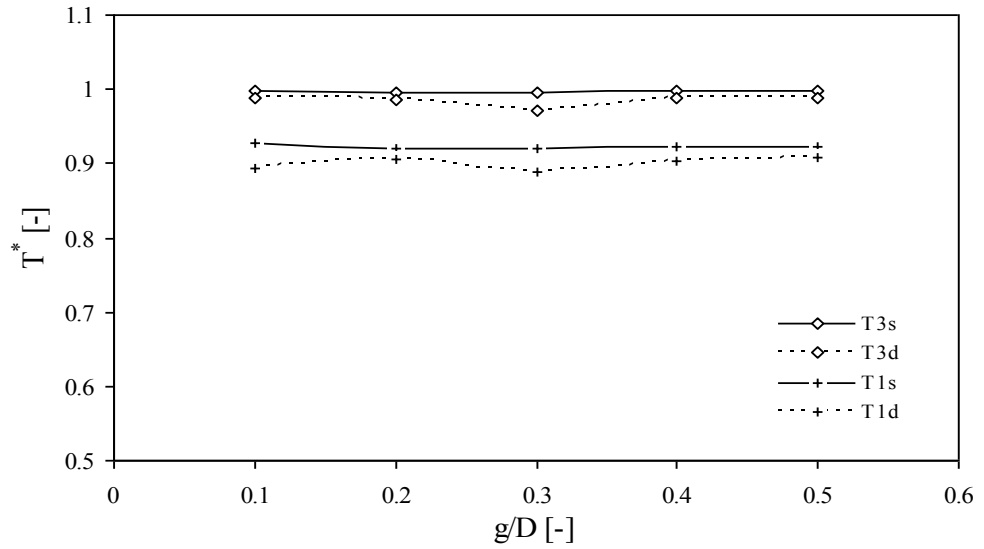
Şekil D24 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.27$ Grani nda Sıcaklık Dağılı mları



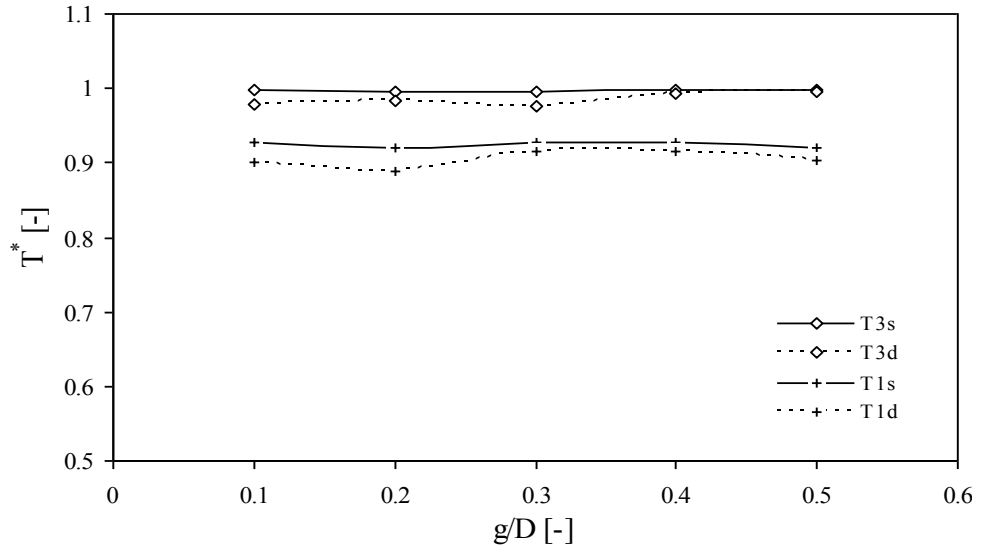
Şekil D25 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.33$ Grani nda Sıcaklık Dağılı mları



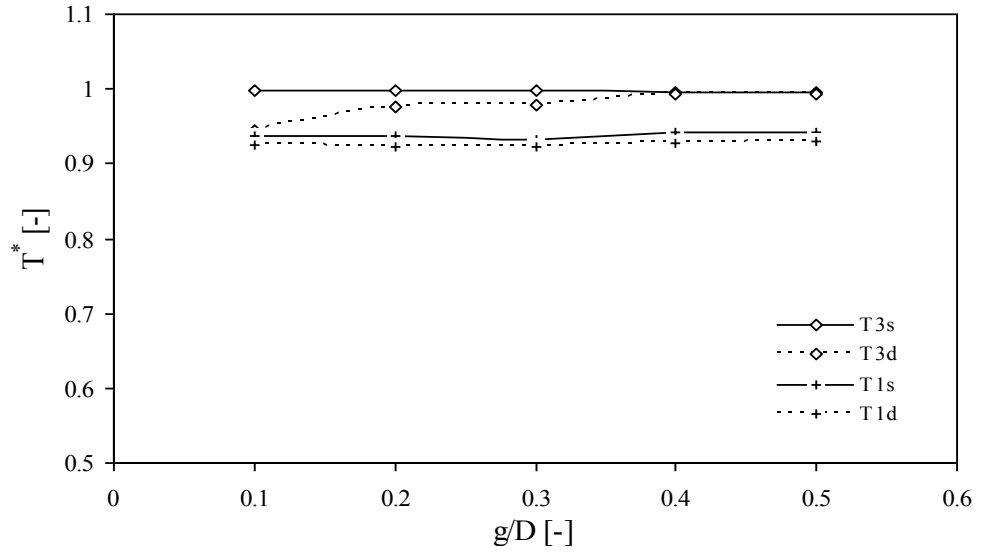
Şekil D26 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.067$ Grani nda Sıcaklık Dağılı mları



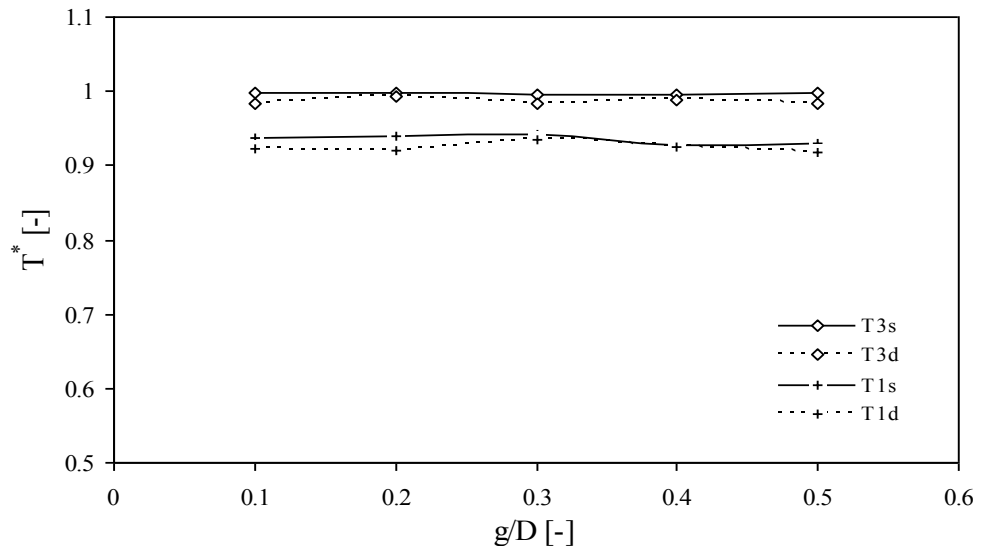
Şekil D27 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.133$ Grani nda Sıcaklık Dağılı mları



Şekil D28 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.2$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



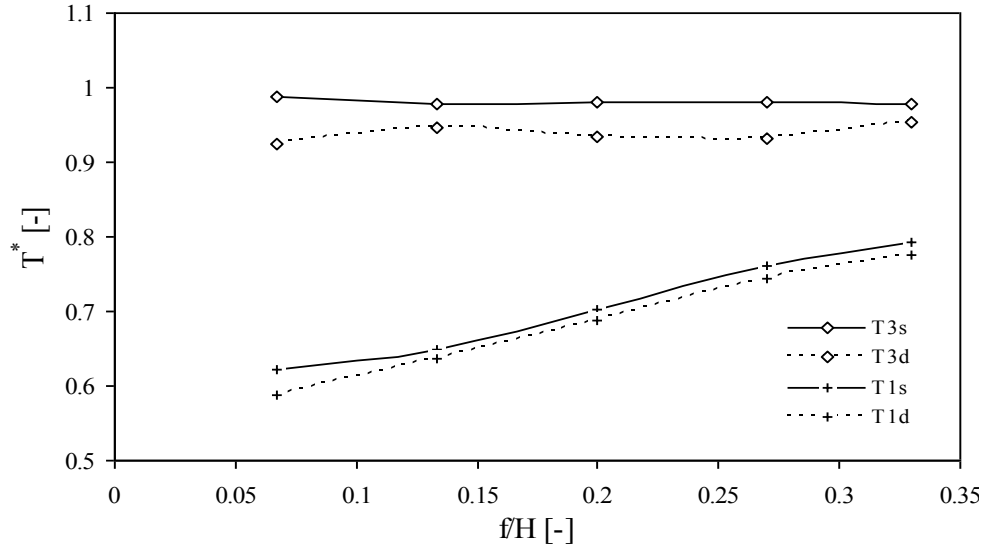
Şekil D29 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.27$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



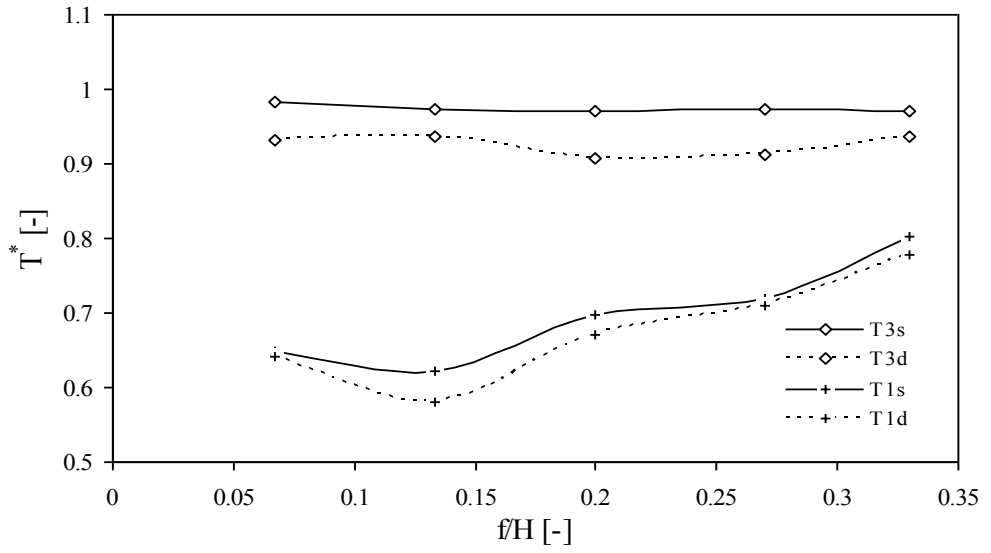
Şekil D30 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Dağılımları

EK E

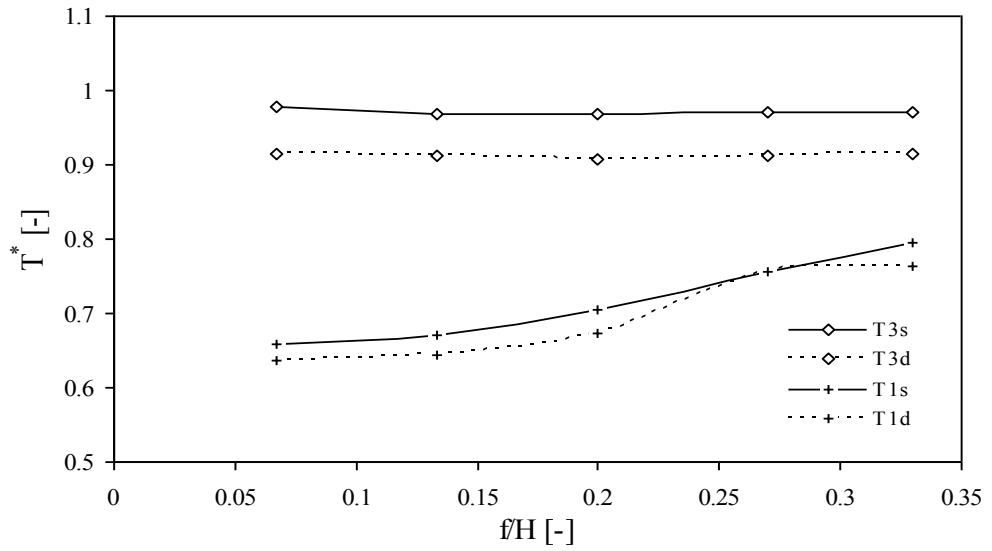
ENGELLİ TANK MODELİNDE T_{3s}^* , T_{3d}^* , T_{1s}^* , T_{1d}^* BOYUTSUZ SICAKLIK DEĞERLERİNİN f /HORANINA BAĞLI DAĞILIMLARI



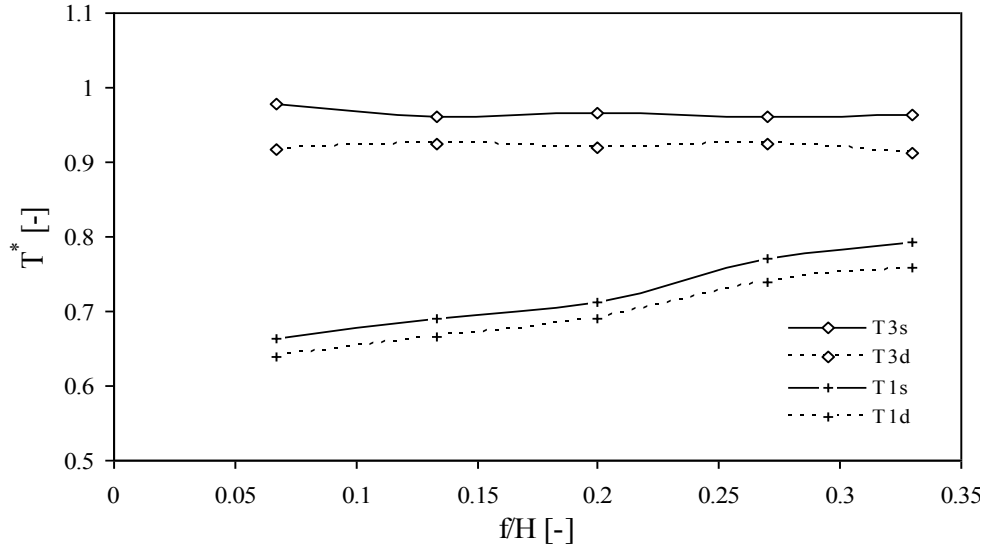
Şekil E1: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.1$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



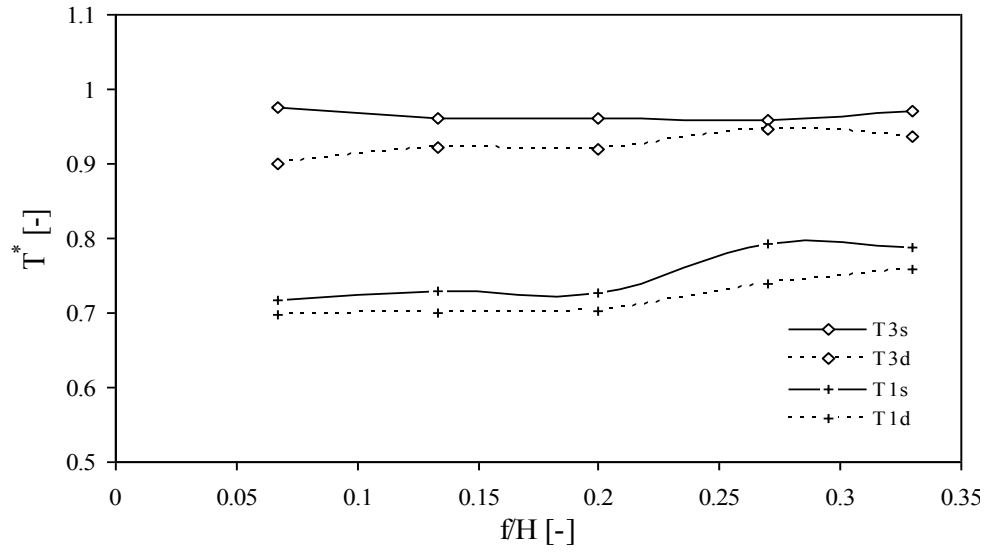
Şekil E2: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.2$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



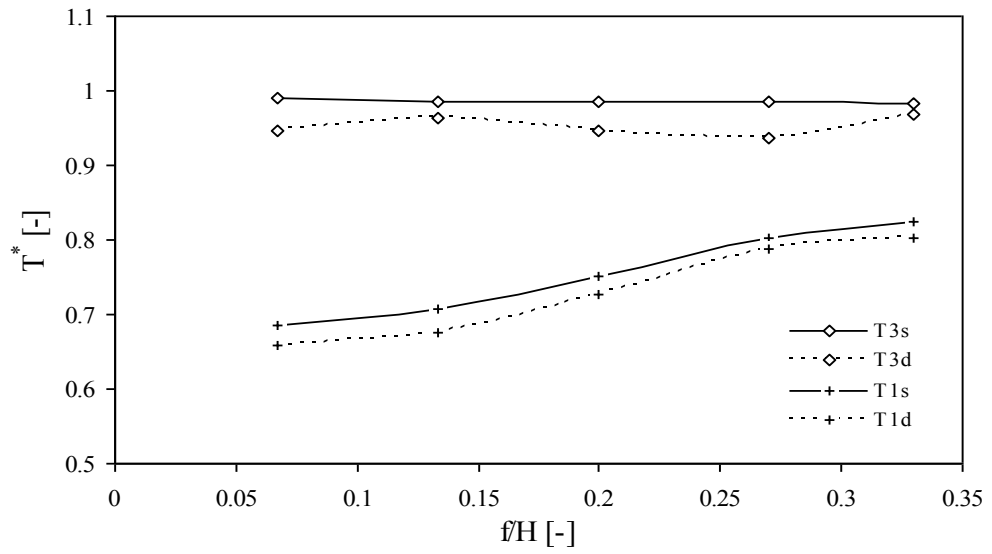
Şekil E3: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.3$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



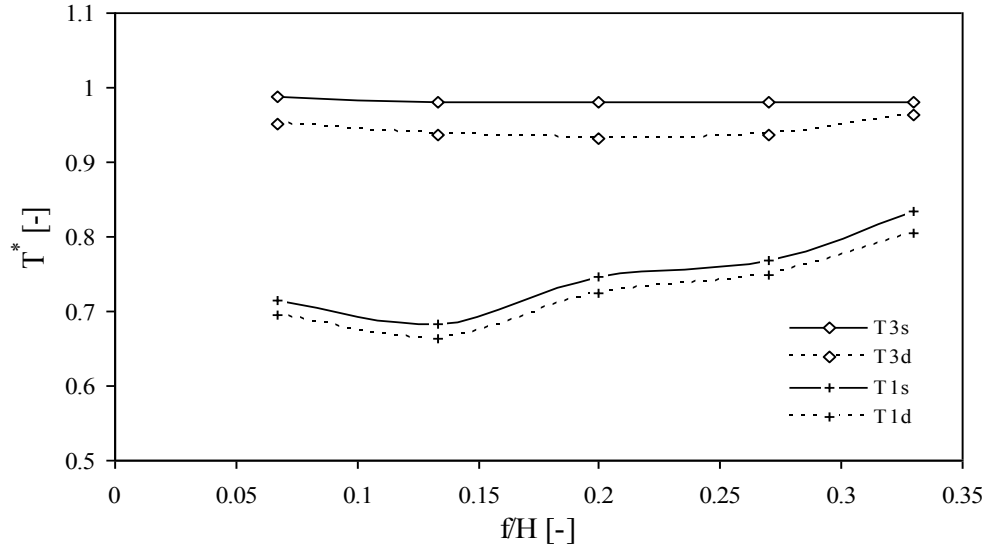
Şekil E 4: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.4$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



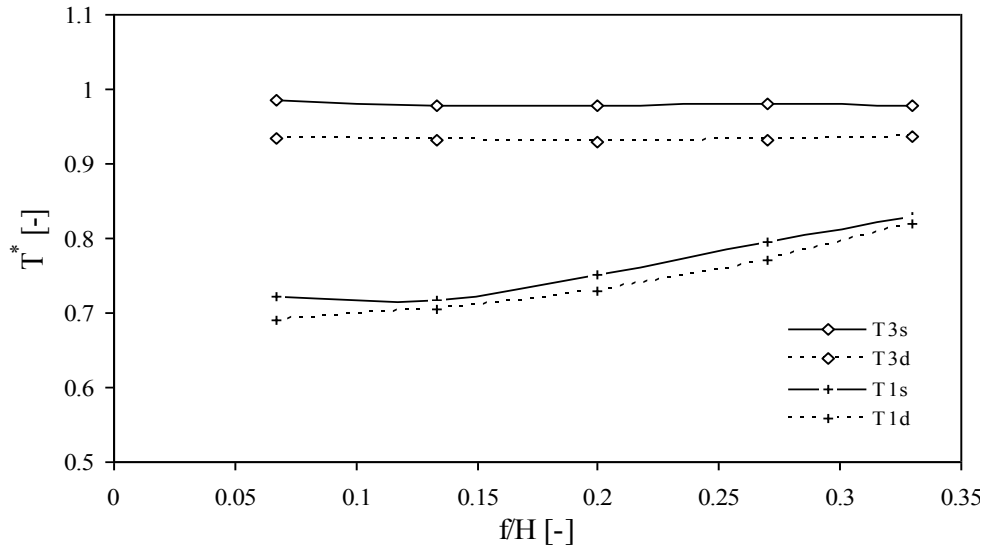
Şekil E 5: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.5$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



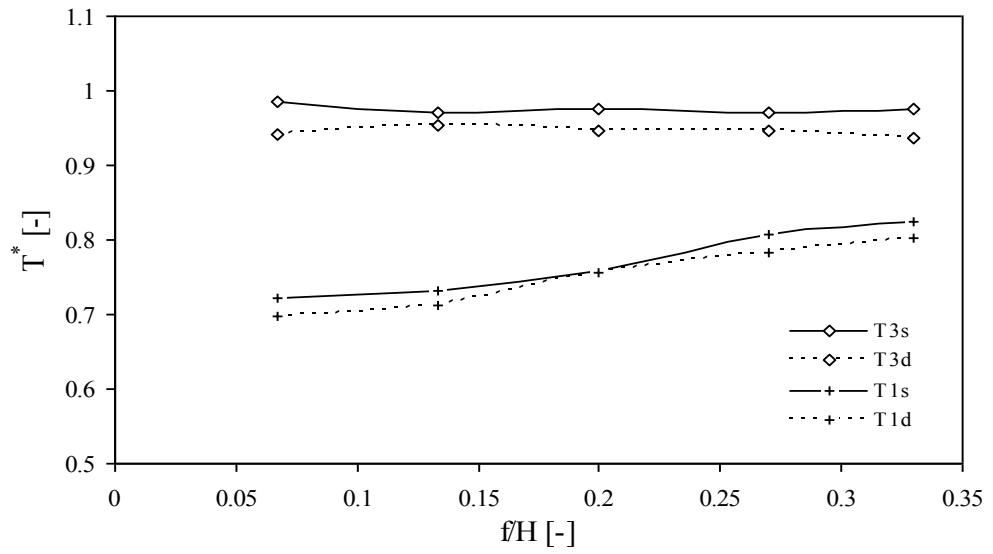
Şekil E 6: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.1$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



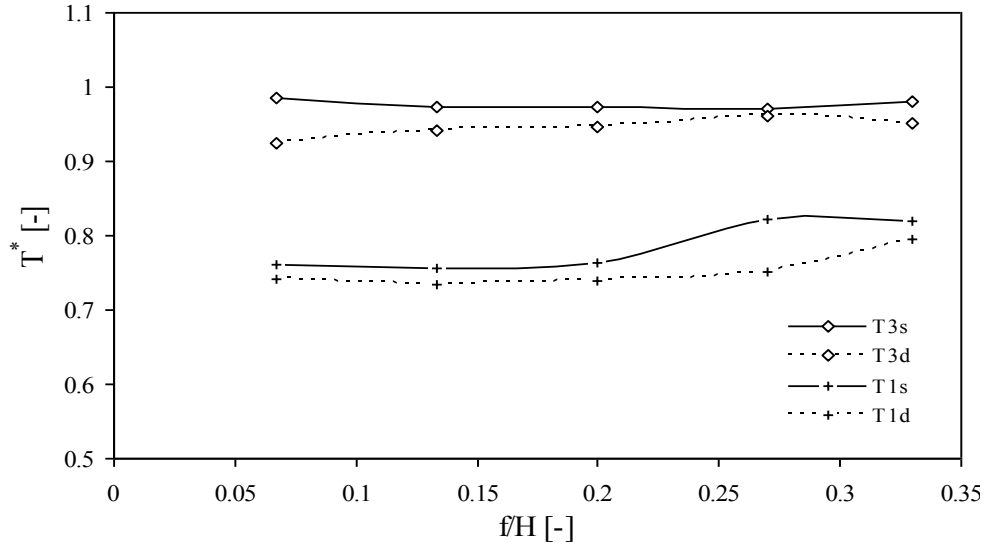
Şekil E 7: $t^* = 480$ ve $g/ D = 0.2$ Gram ında Sıcaklık Dağılımları



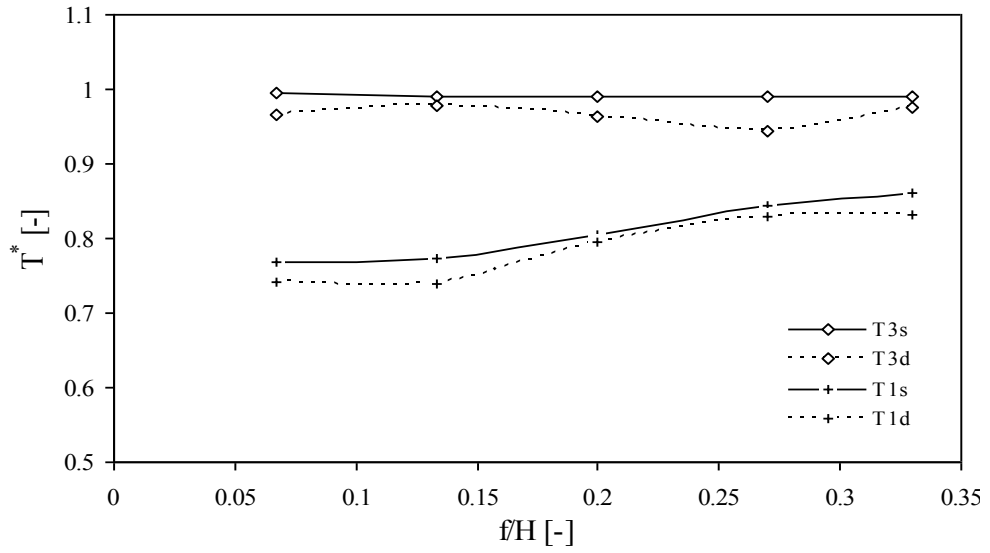
Şekil E 8: $t^* = 480$ ve $g/ D = 0.3$ Gram ında Sıcaklık Dağılımları



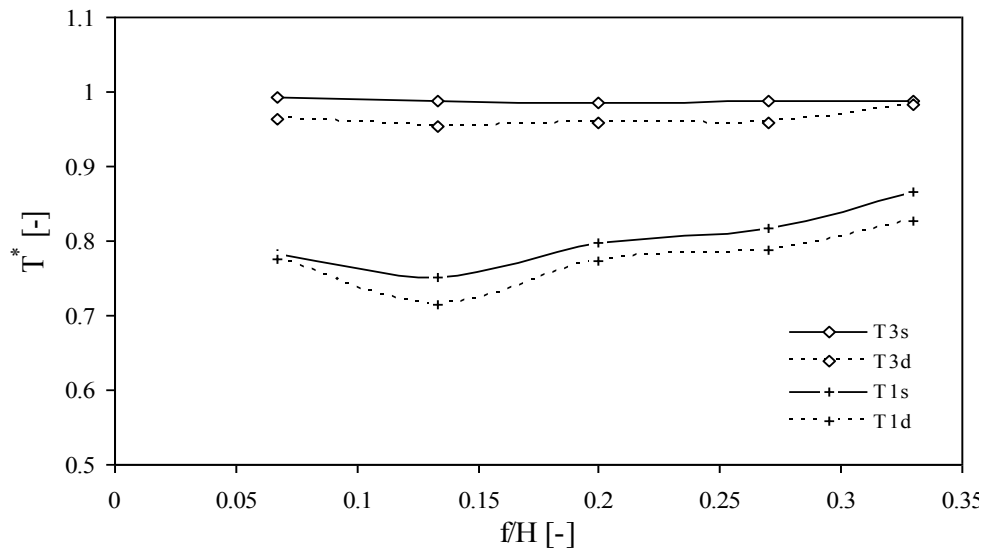
Şekil E 9: $t^* = 480$ ve $g/ D = 0.4$ Gram ında Sıcaklık Dağılımları



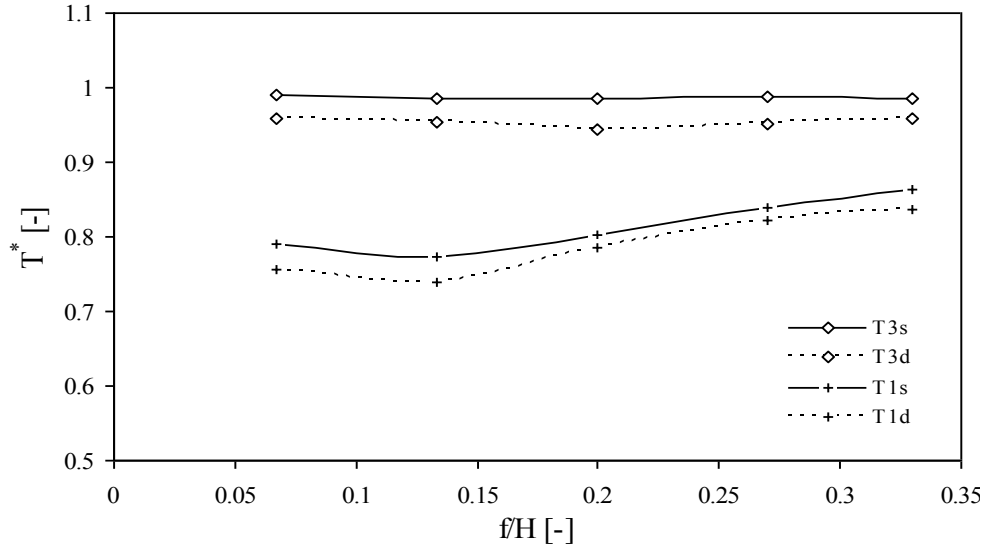
Şekil E 10 : $t^* = 480$ ve $g/D = 0.5$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



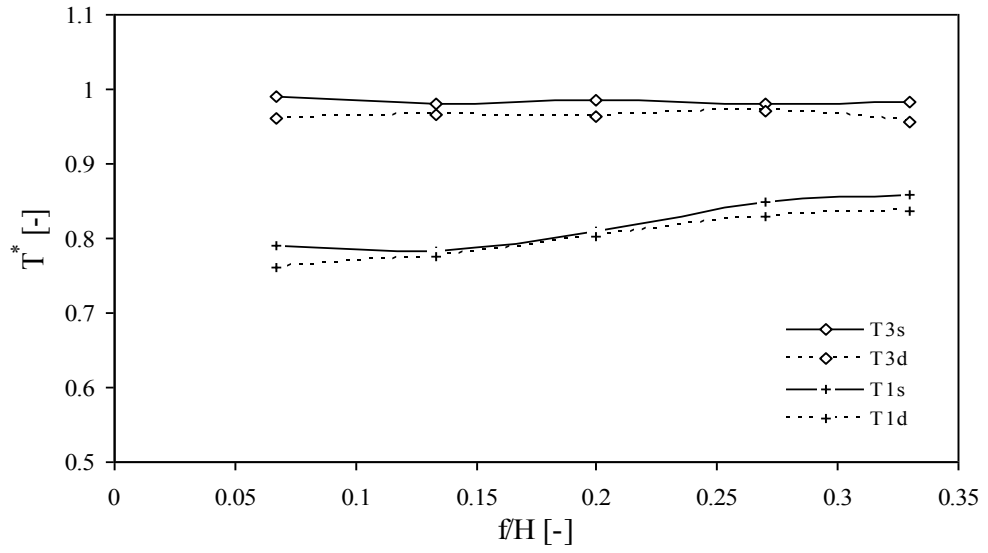
Şekil E 11 : $t^* = 360$ ve $g/D = 0.1$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



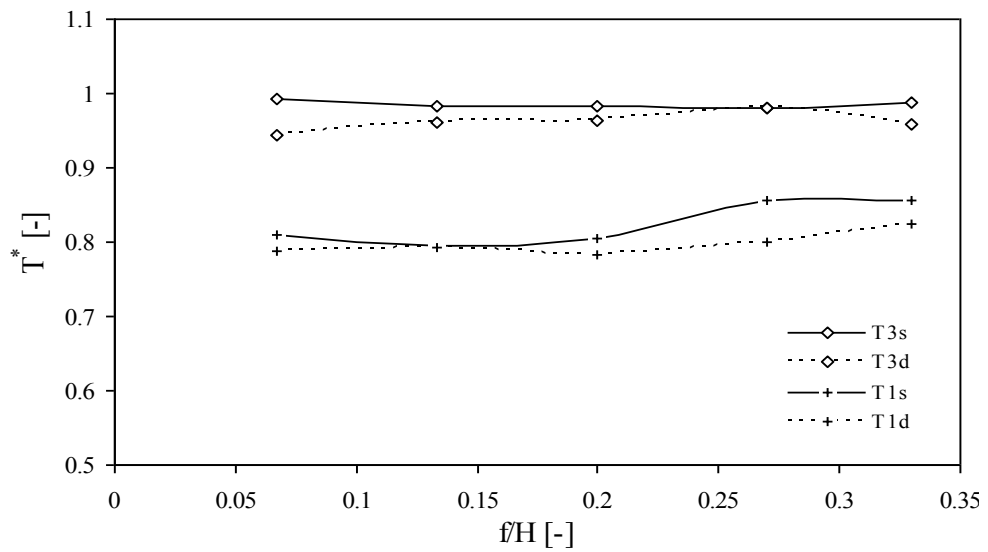
Şekil E 12 : $t^* = 360$ ve $g/D = 0.2$ Gramında Sıcaklık Dağılımları



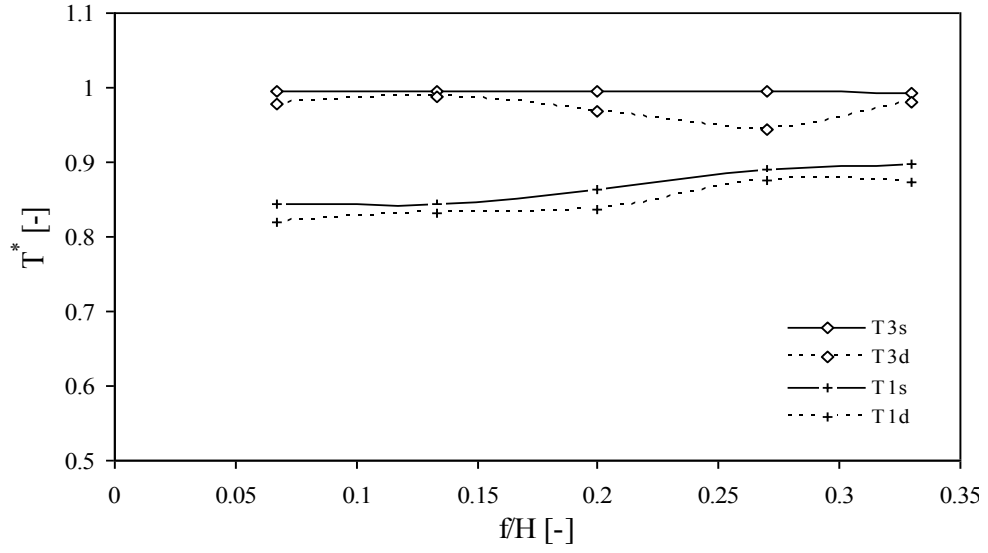
Şekil E 13 : $t^* = 360$ ve $g/D = 0.3$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



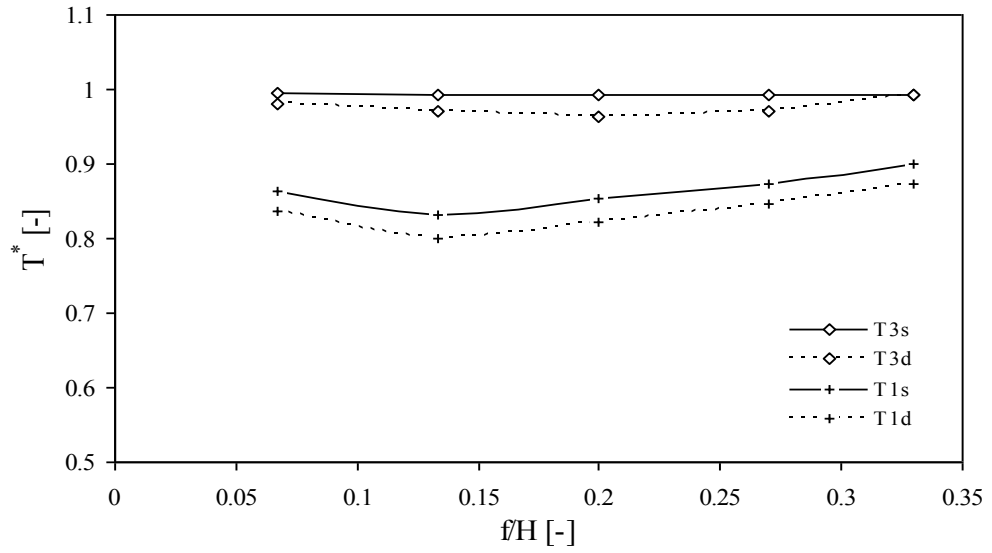
Şekil E 14 : $t^* = 360$ ve $g/D = 0.4$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



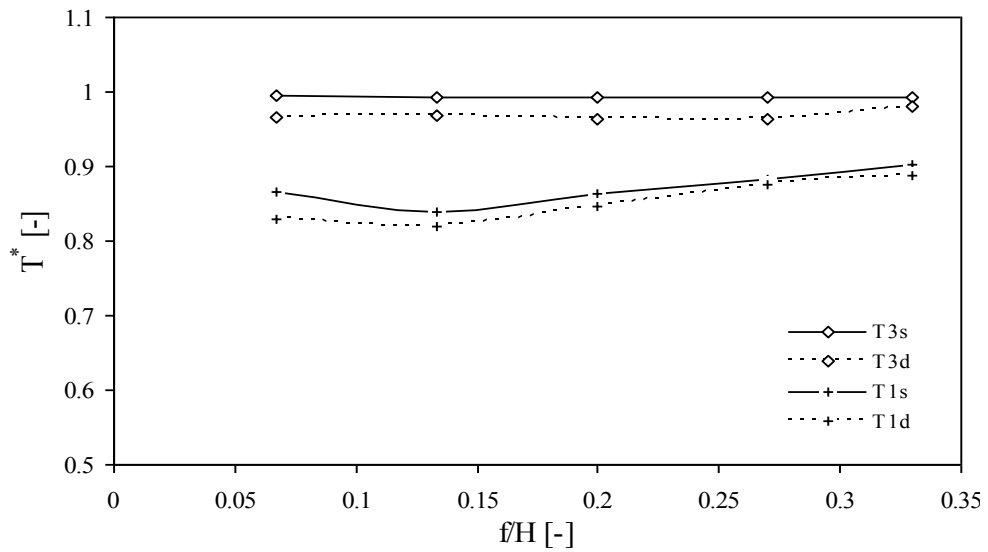
Şekil E 15 : $t^* = 360$ ve $g/D = 0.5$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



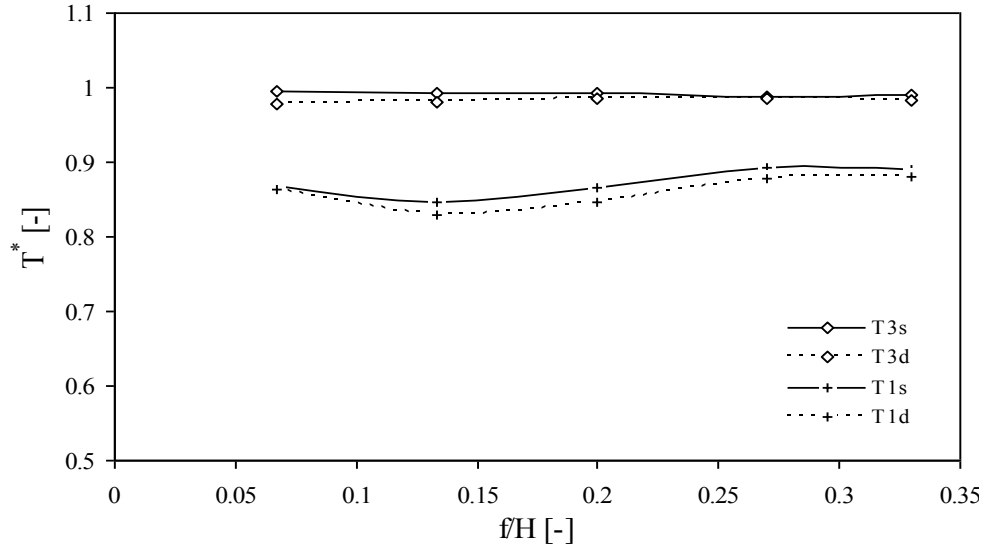
Şekil E 16 : $t^* = 240$ ve $g/D = 0.1$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



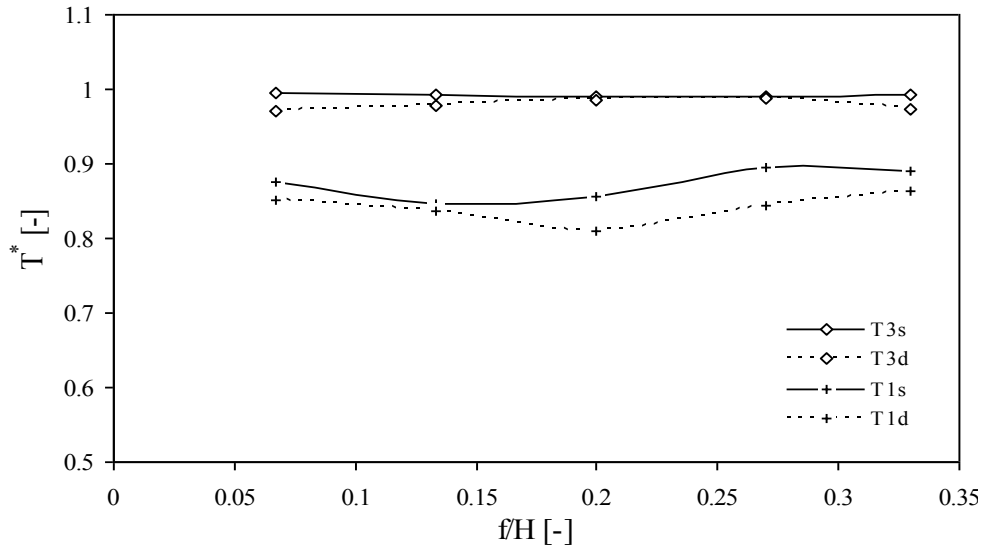
Şekil E 17 : $t^* = 240$ ve $g/D = 0.2$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



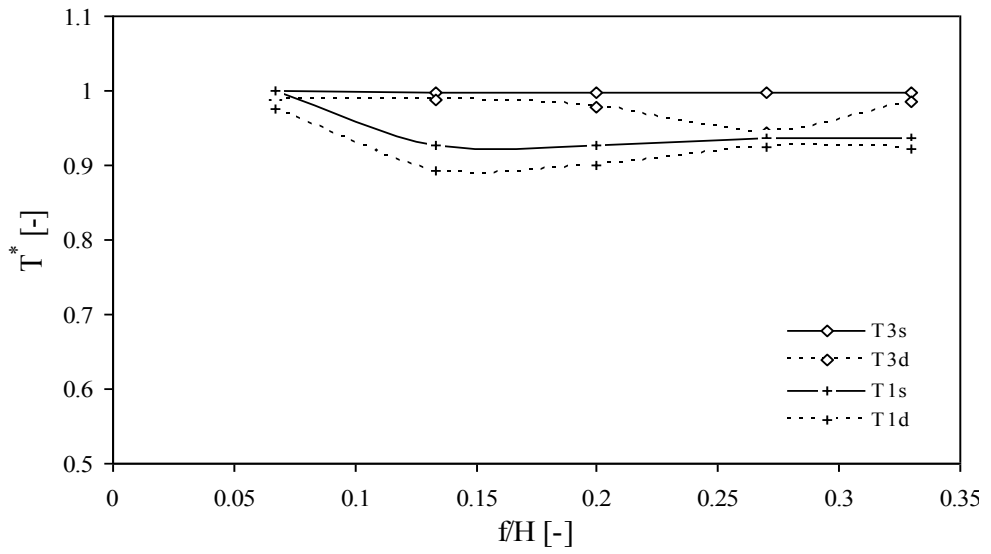
Şekil E 18 : $t^* = 240$ ve $g/D = 0.3$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



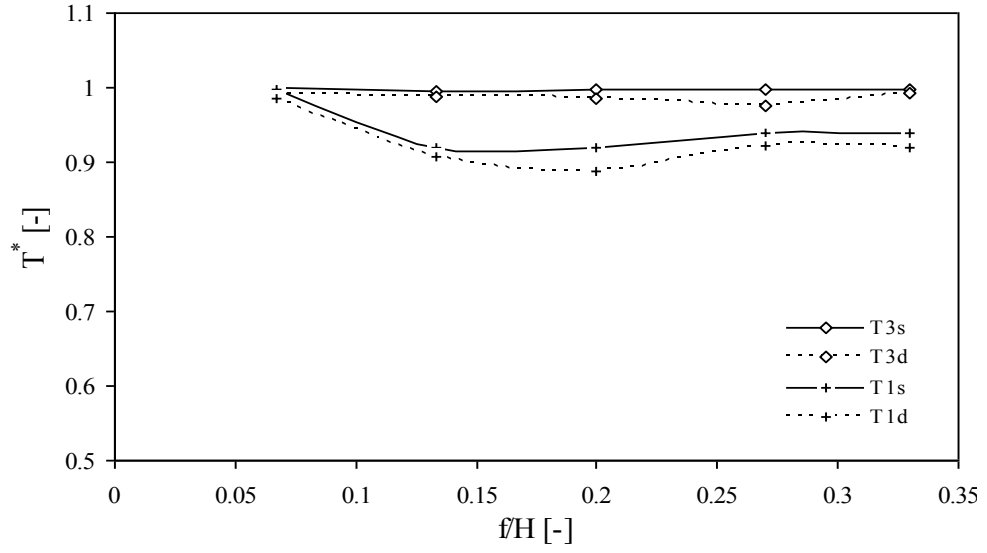
Şekil E 19 : $t^* = 240$ ve $g/D = 0.4$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



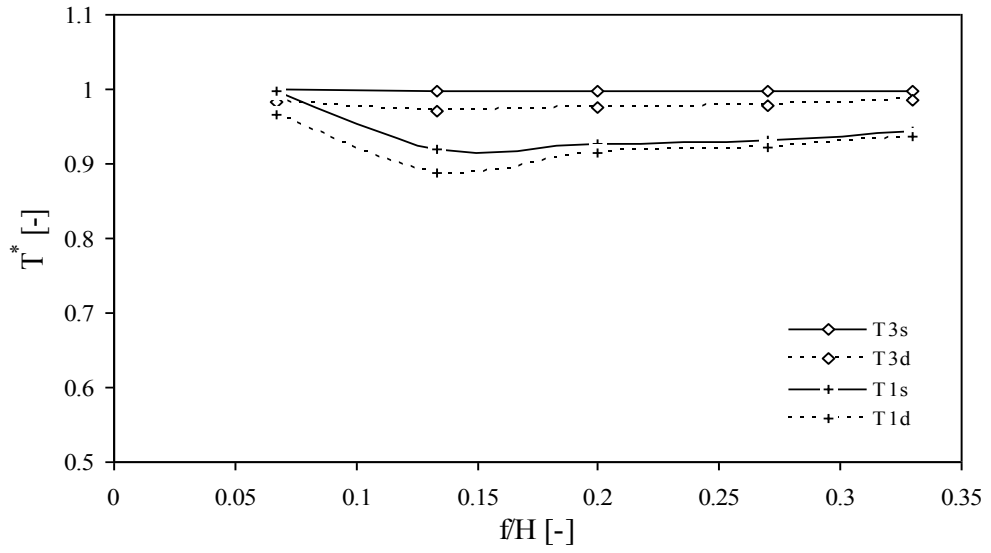
Şekil E 20 : $t^* = 240$ ve $g/D = 0.5$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



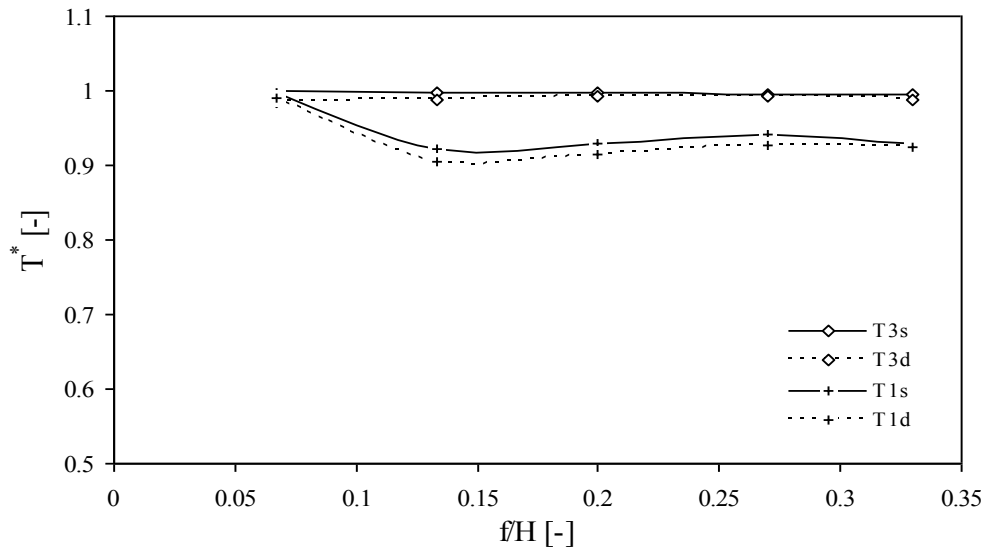
Şekil E 21 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.1$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



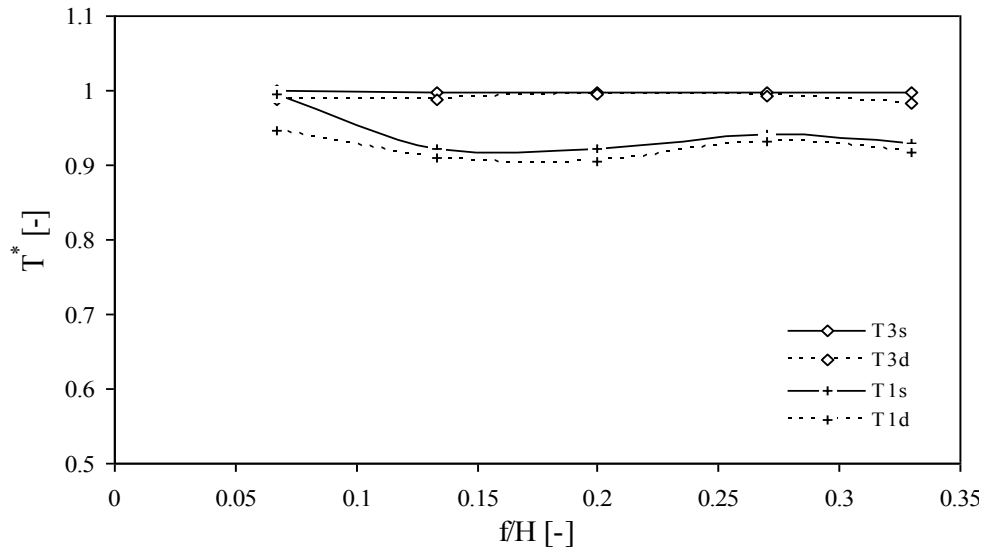
Şekil E 22 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.2$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



Şekil E 23 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.3$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



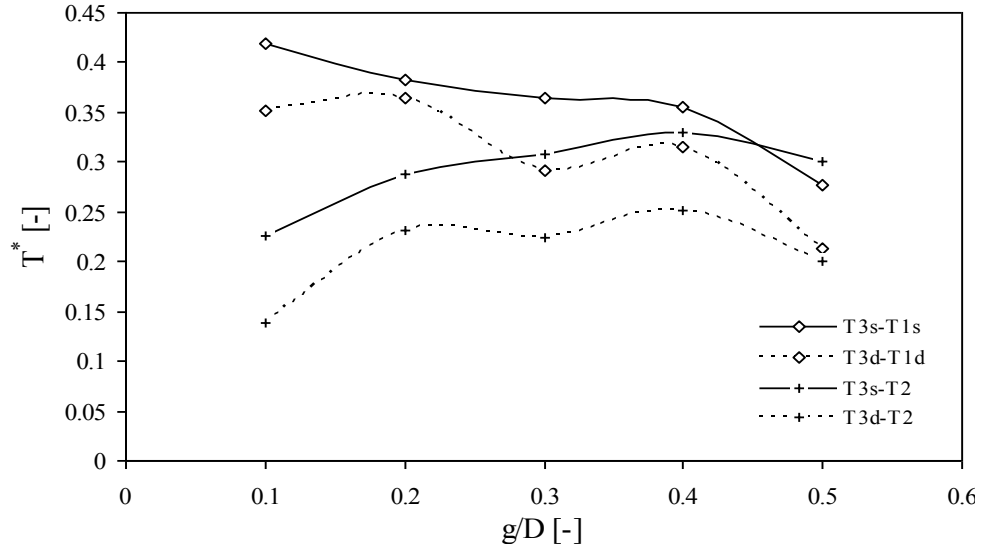
Şekil E 24 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.4$ Oranında Sıcaklık Dağılımları



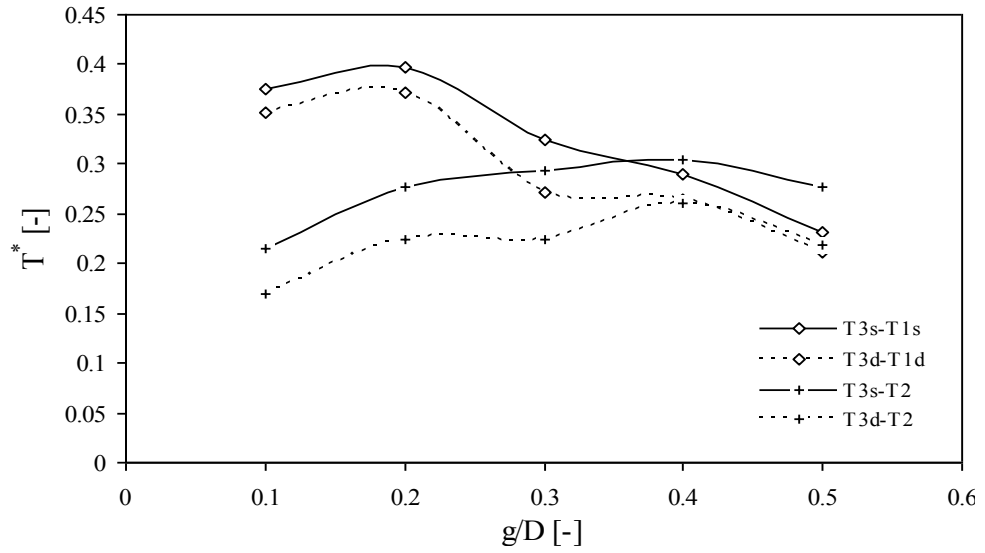
Şekil E 25 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.5$ Oranında Sıcaklık Dağılımları

EK F:

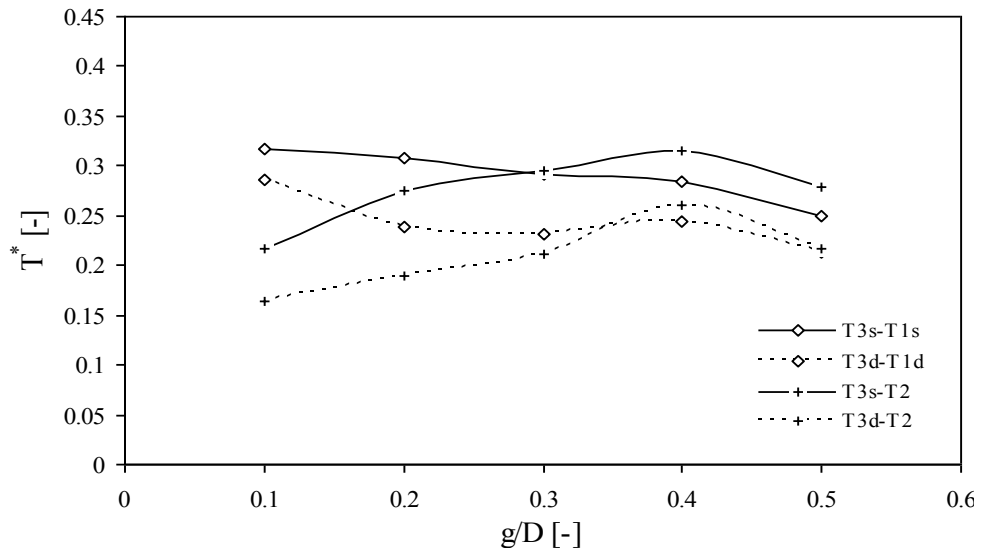
ENGELLİ TANK MODELİNDE $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$, $T_{3s}^* - T_2^*$, $T_{3d}^* - T_2^*$
BOYUTSUZ SICAKLIK FARKLARININ g/D ORANI NA BAĞLI
DAĞILIMLARI



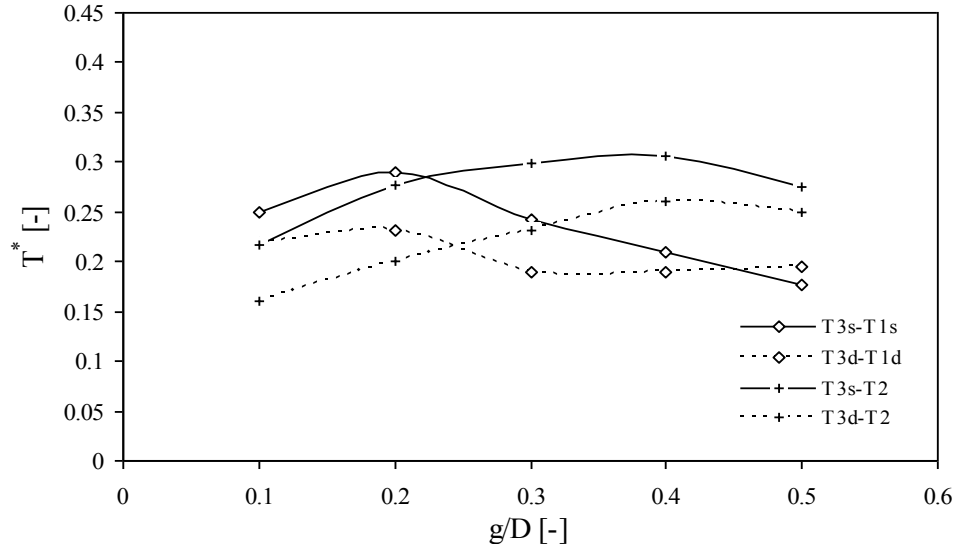
Şekil E 1: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.067$ Grani nda Sıcaklık Farkı Dağılı mları



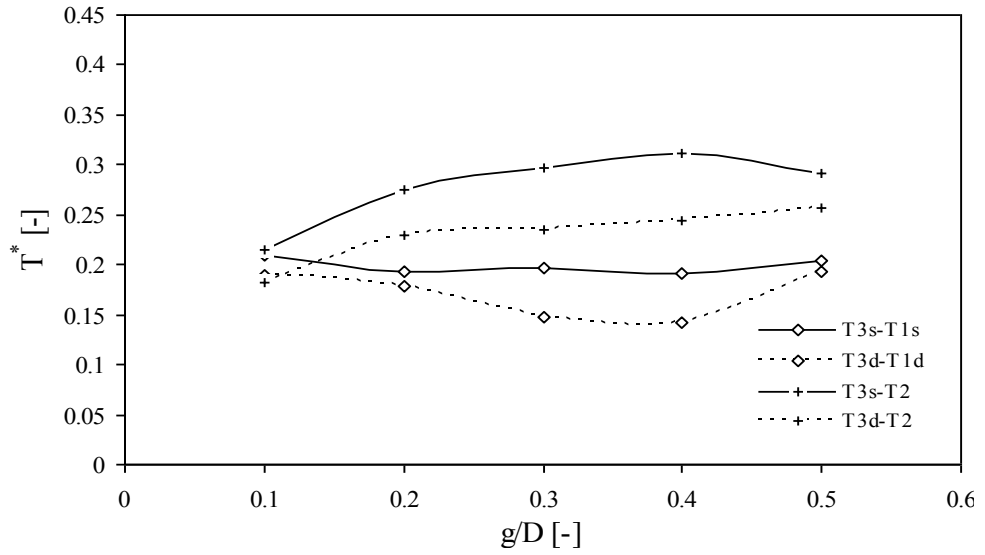
Şekil E 2: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.133$ Grani nda Sıcaklık Farkı Dağılı mları



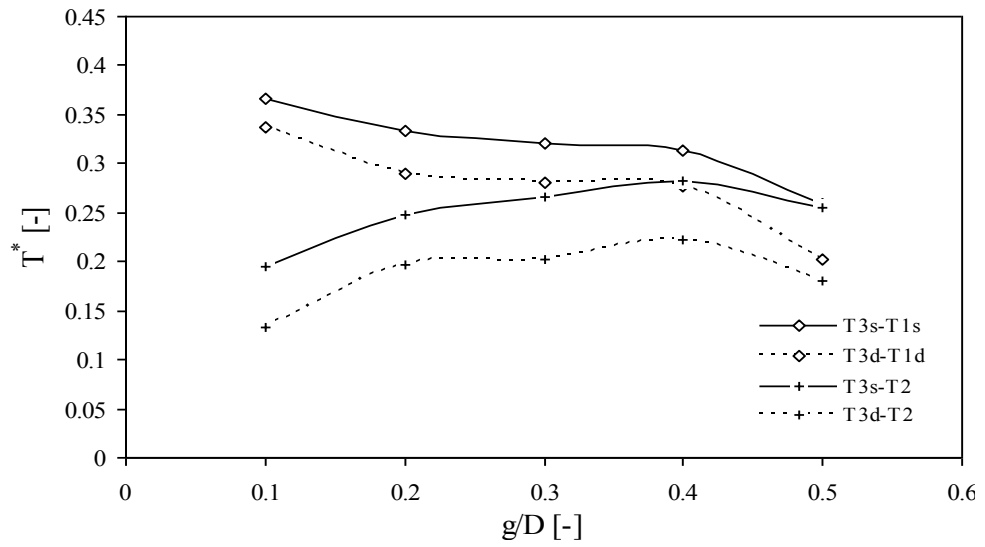
Şekil E 3: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.2$ Grani nda Sıcaklık Farkı Dağılı mları



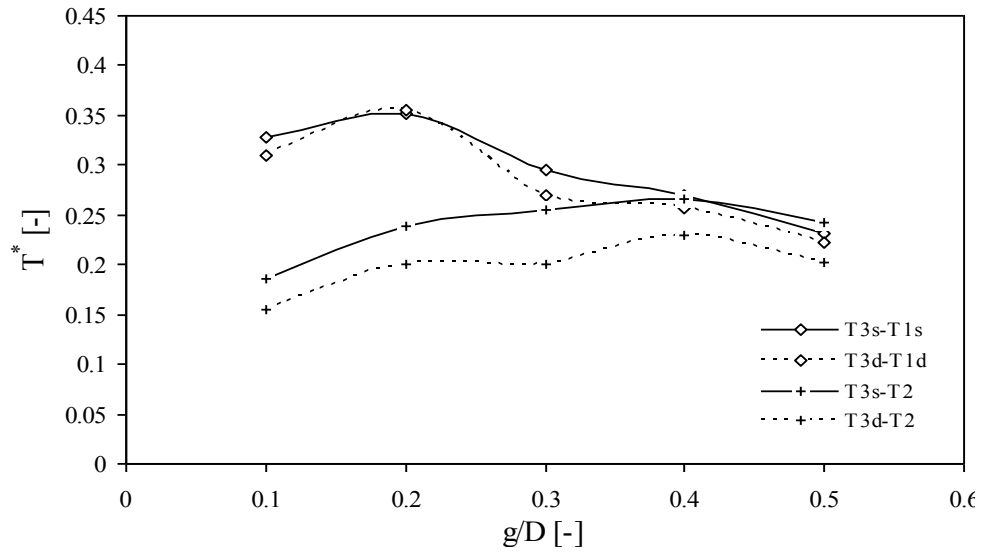
Şekil E 4: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.27$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



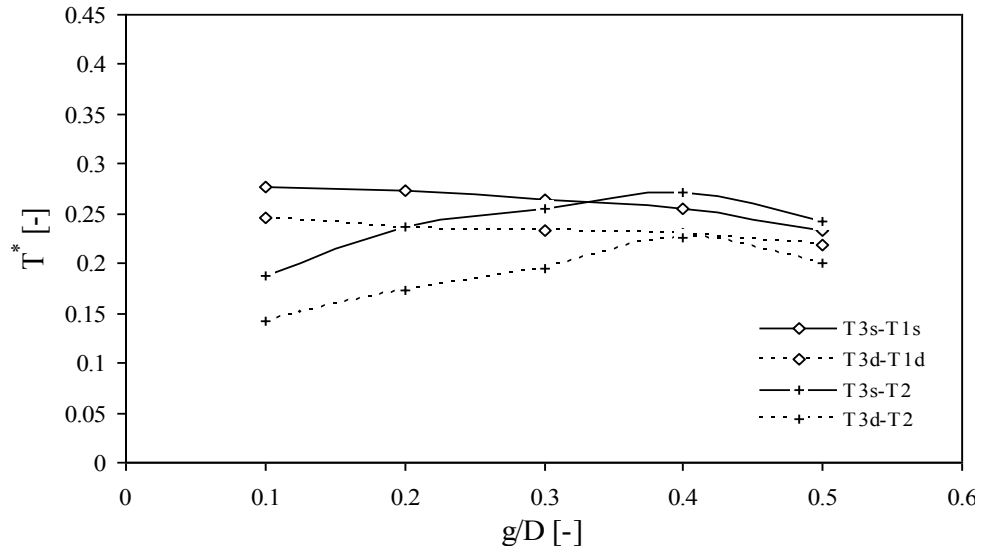
Şekil E 5: $t^* = 720$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



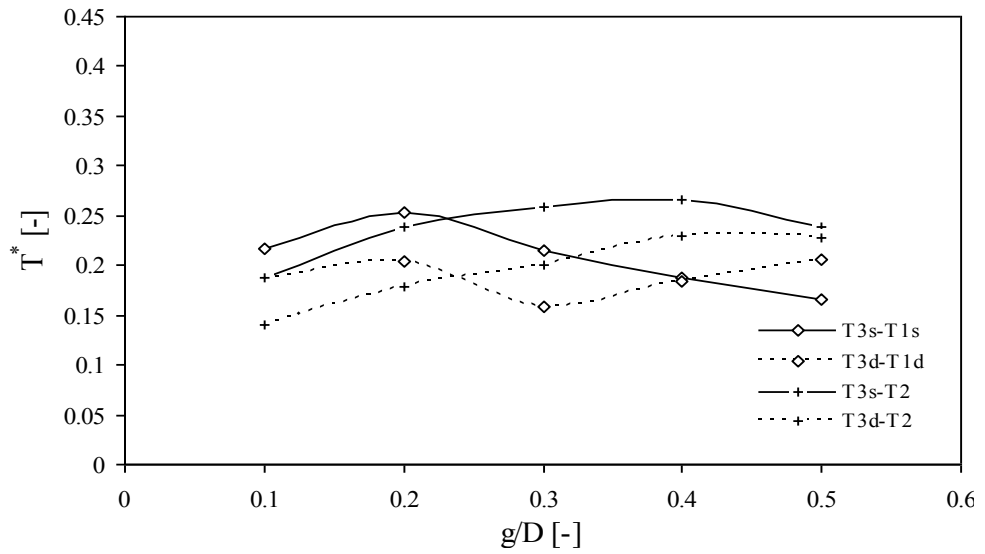
Şekil E 6: $t^* = 600$ ve $f/H = 0.067$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



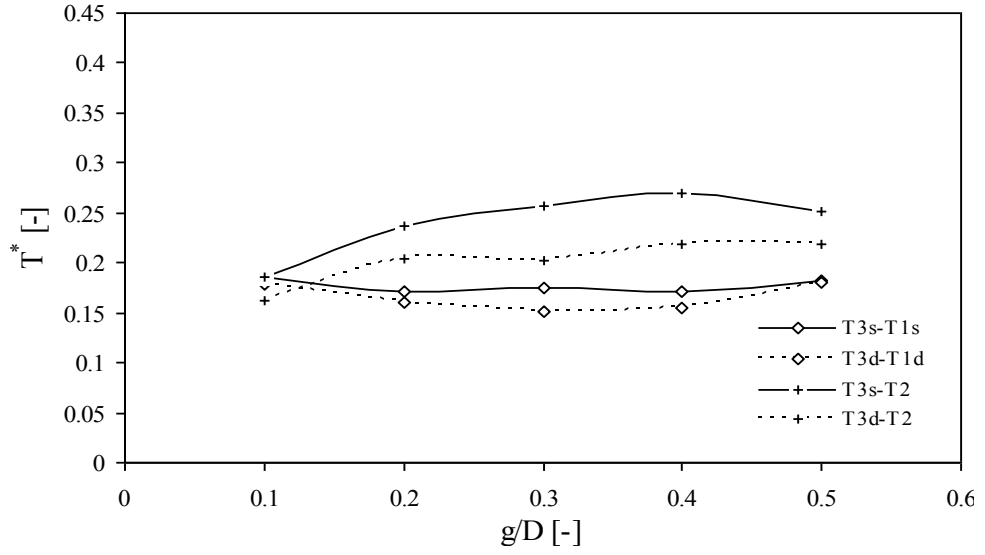
Şekil E 7: $t^* = 600$ ve $f/ H= 0.133$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



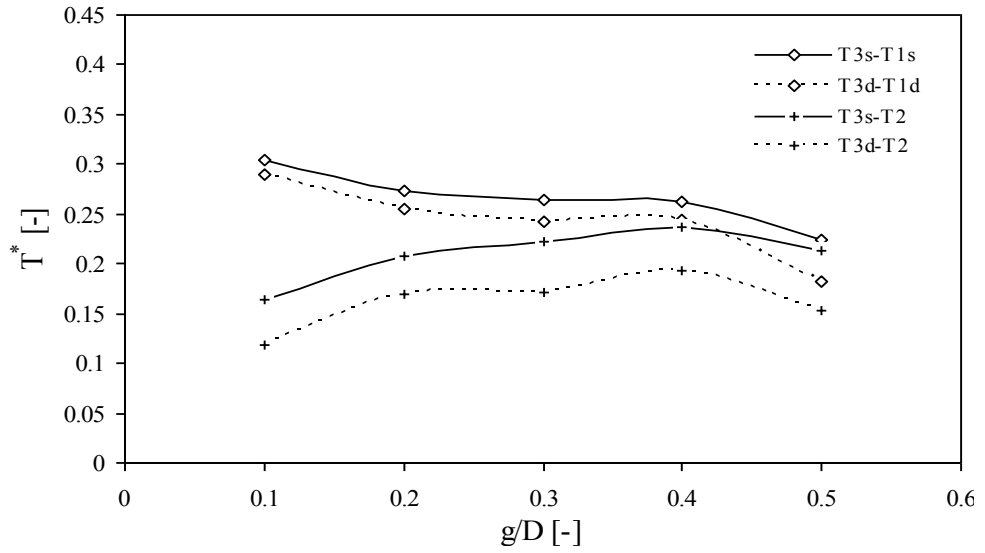
Şekil E 8: $t^* = 600$ ve $f/ H= 0.2$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



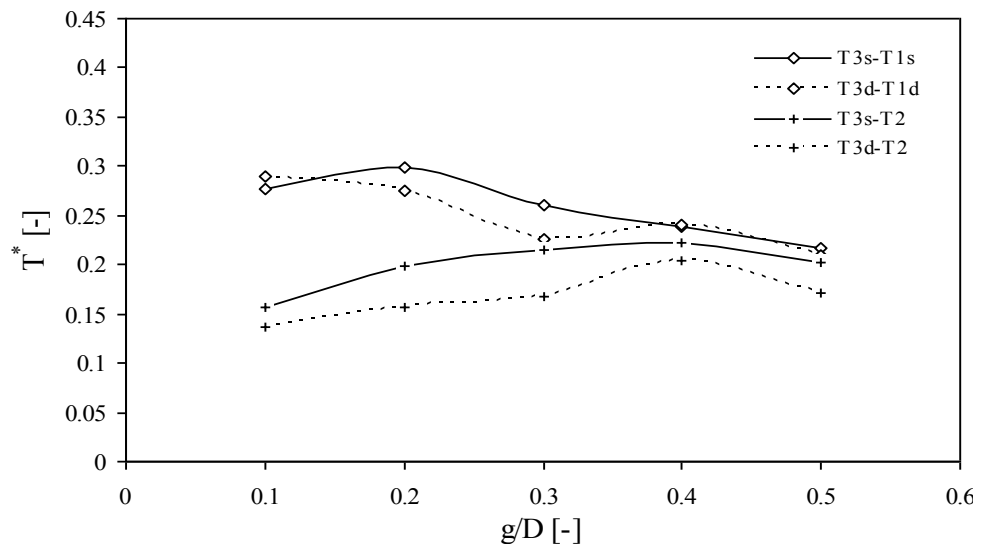
Şekil E 9: $t^* = 600$ ve $f/ H= 0.27$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



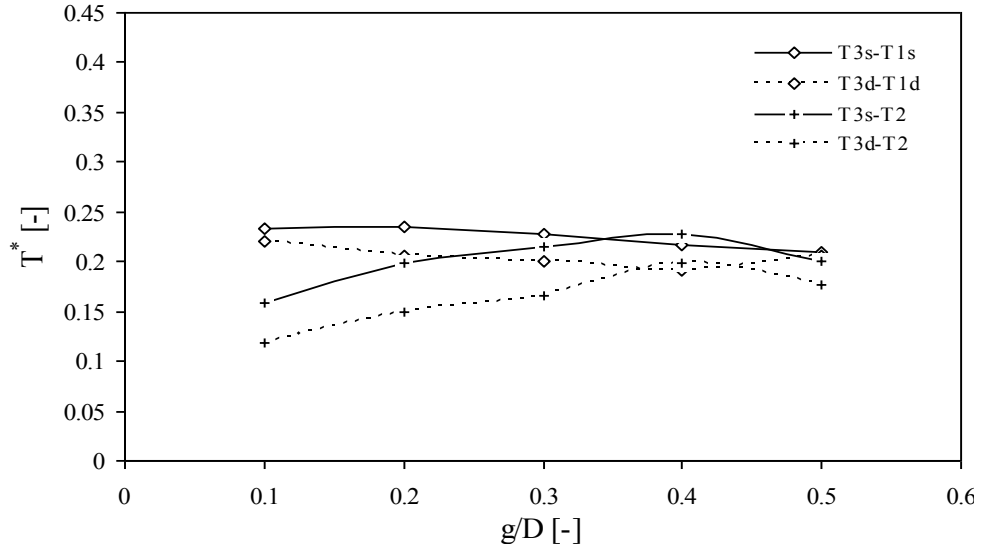
Şekil E 10 : $t^* = 600$ ve $f/H = 0.33$ O r a n ı n d a S ı c a k l ı k F a r k ı D a ğ ı l ı m ı n ı



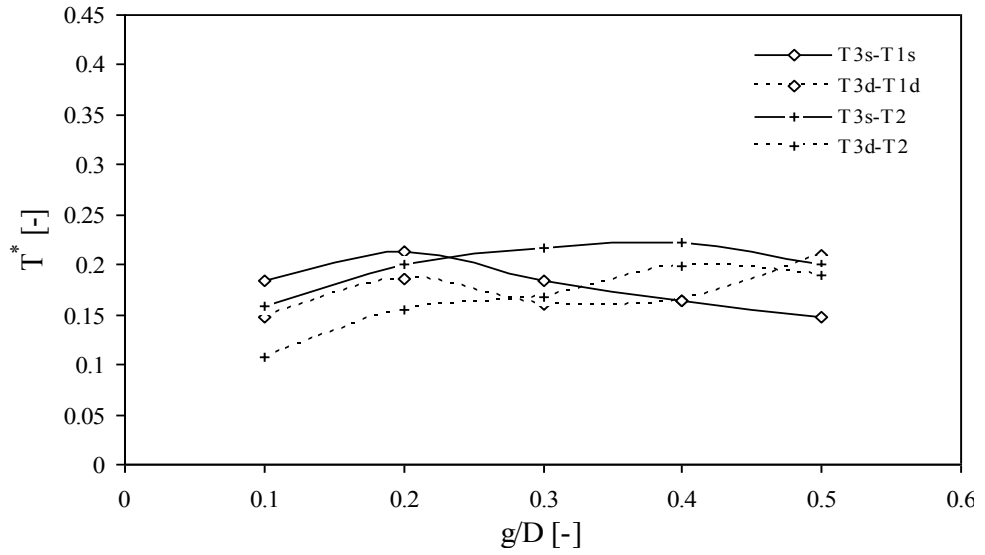
Şekil E 11 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.067$ O r a n ı n d a S ı c a k l ı k F a r k ı D a ğ ı l ı m ı n ı



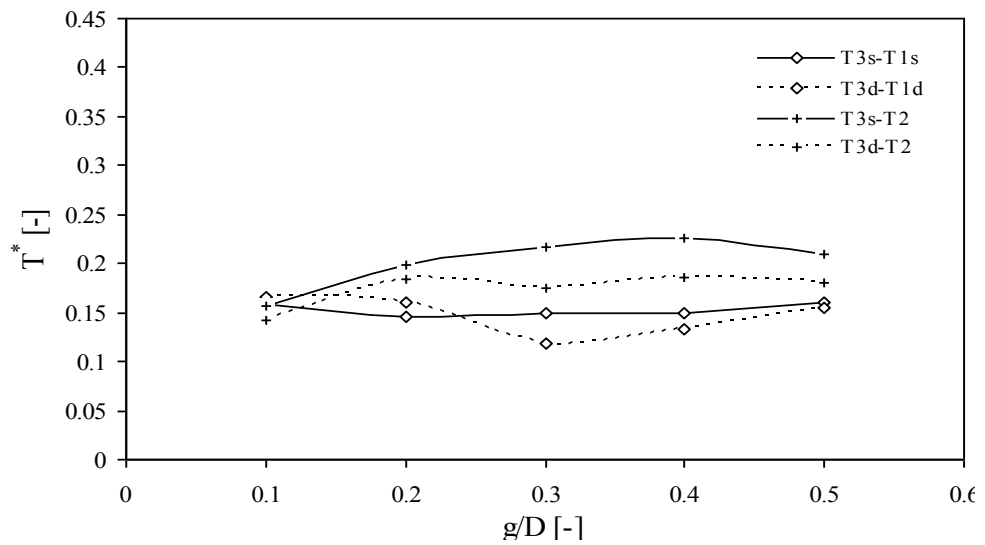
Şekil E 12 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.133$ O r a n ı n d a S ı c a k l ı k F a r k ı D a ğ ı l ı m ı n ı



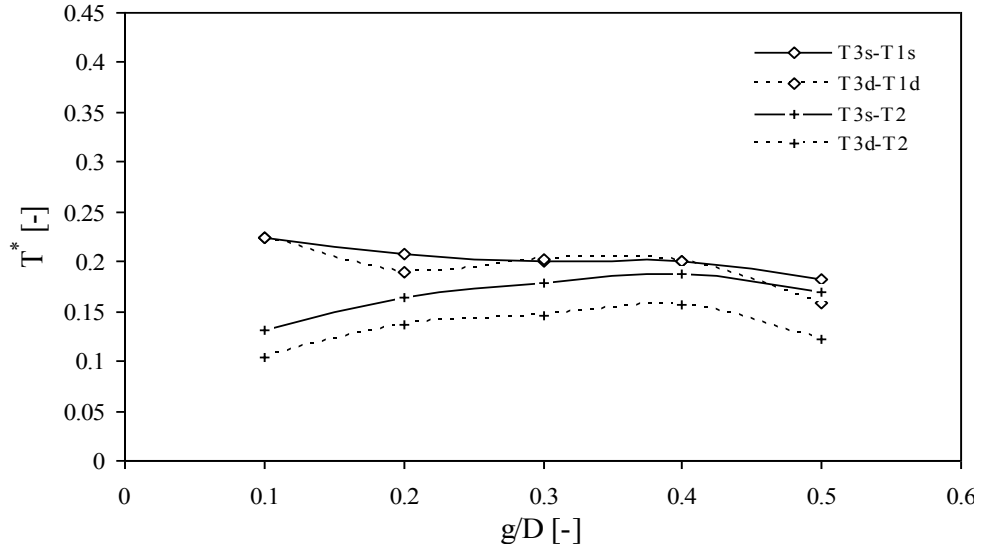
Şekil E 13 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.2$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



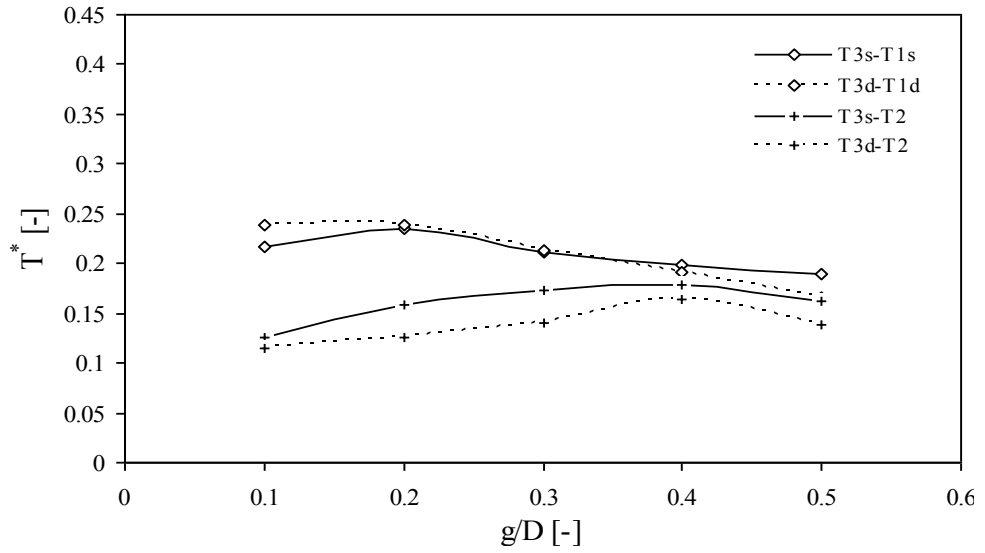
Şekil E 14 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.27$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



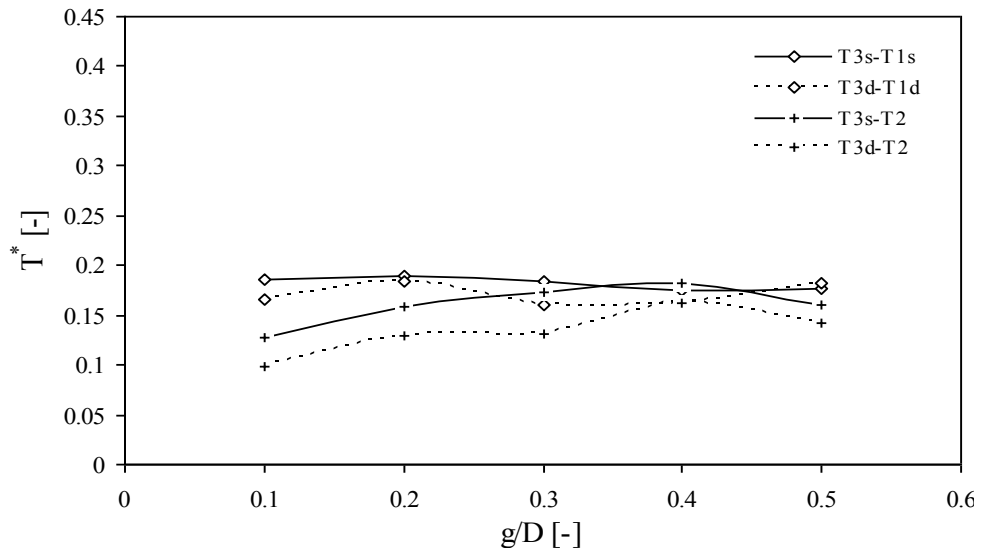
Şekil E 15 : $t^* = 480$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



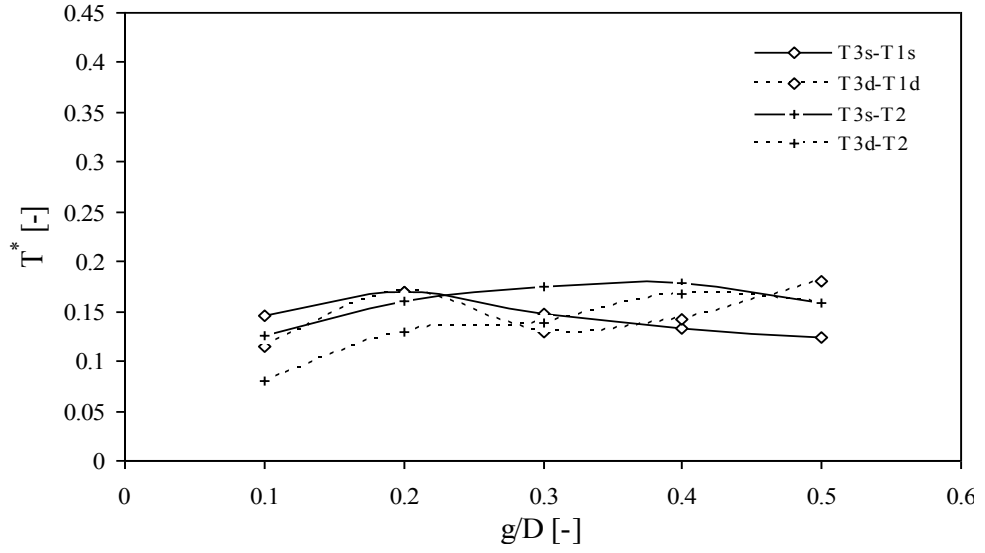
Şekil E 16 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.067$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



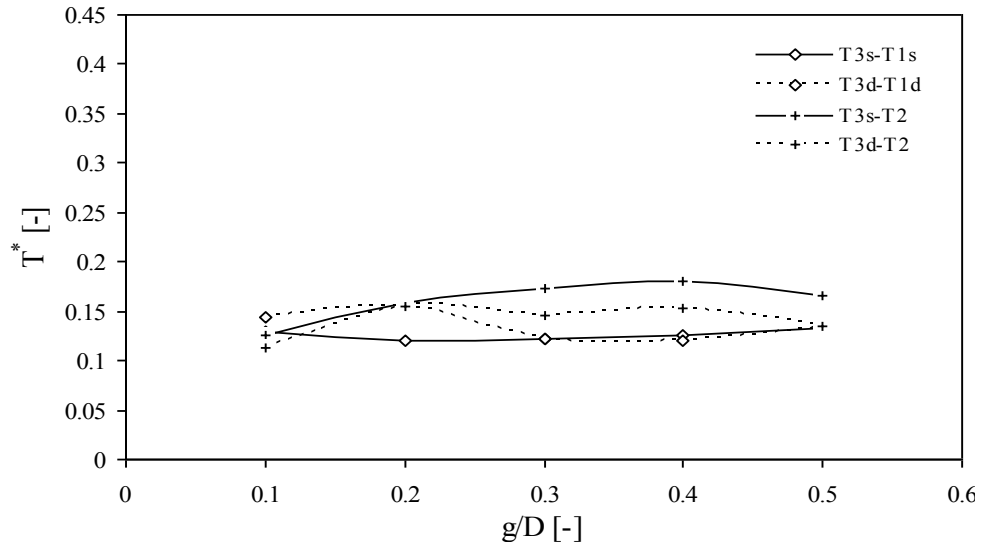
Şekil E 17 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.133$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



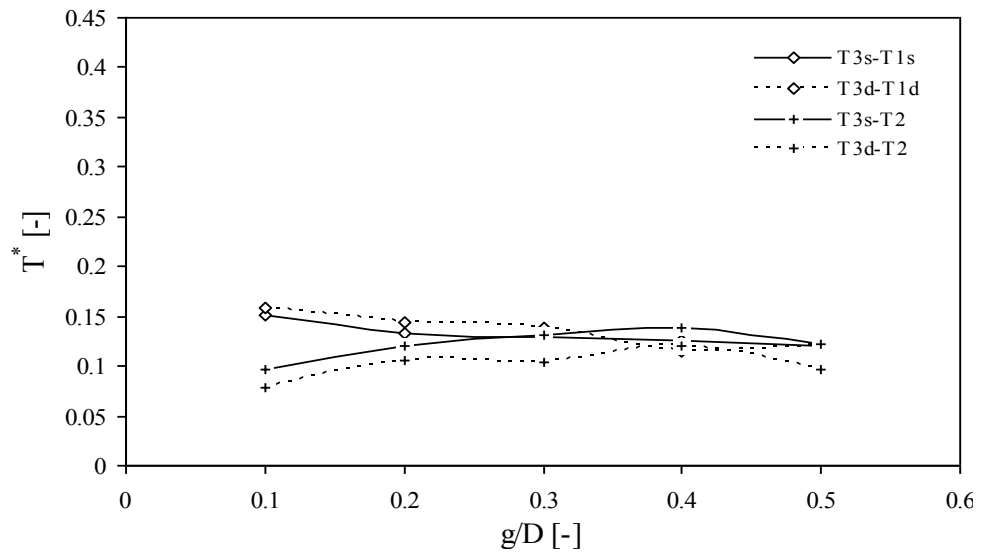
Şekil E 18 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.2$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



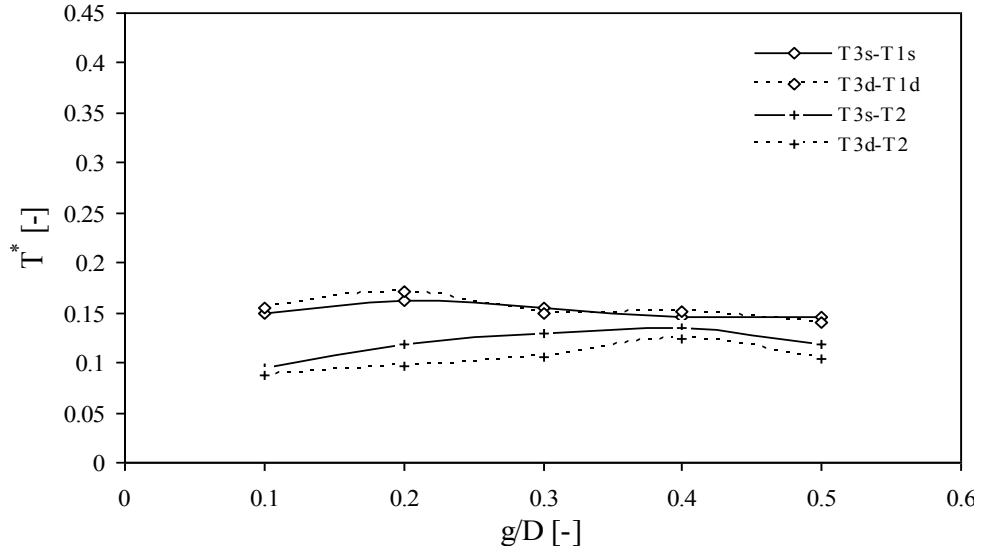
Şekil E 19 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.27$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



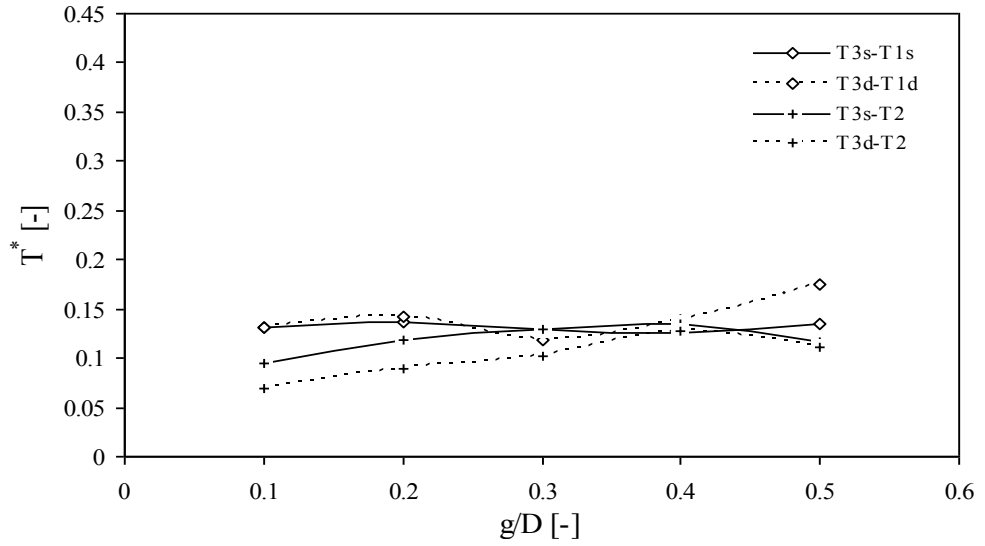
Şekil E 20 : $t^* = 360$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



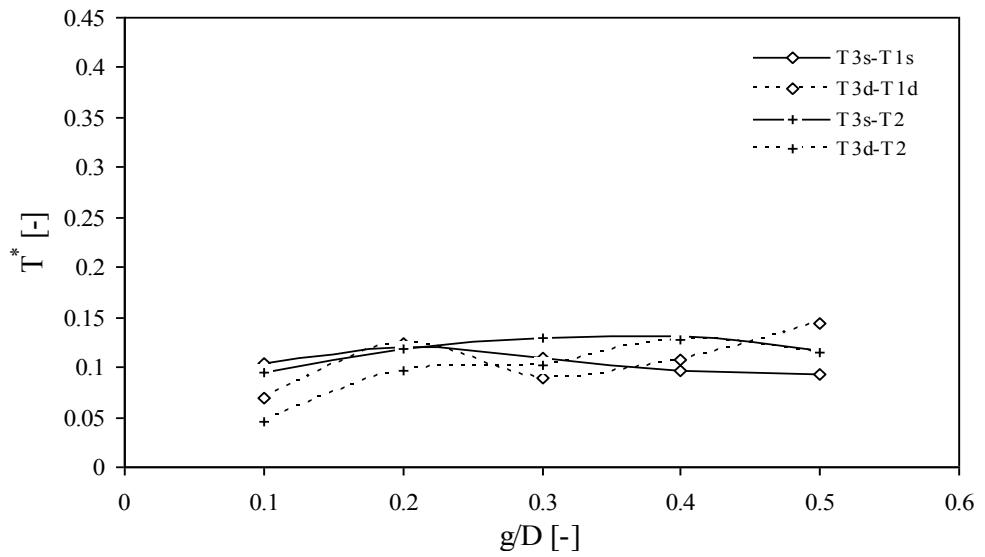
Şekil E 21 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.067$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



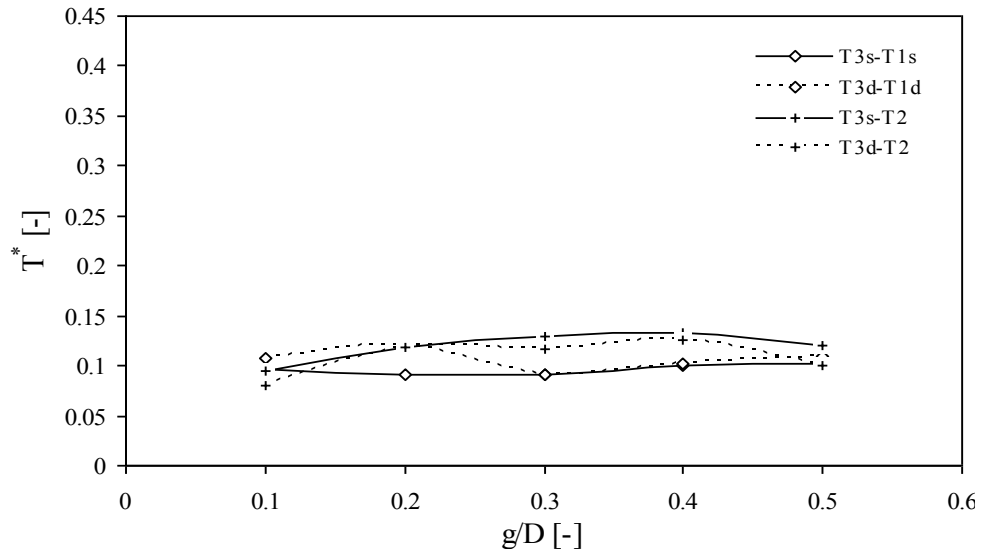
Şekil E 22 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.133$ Oramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



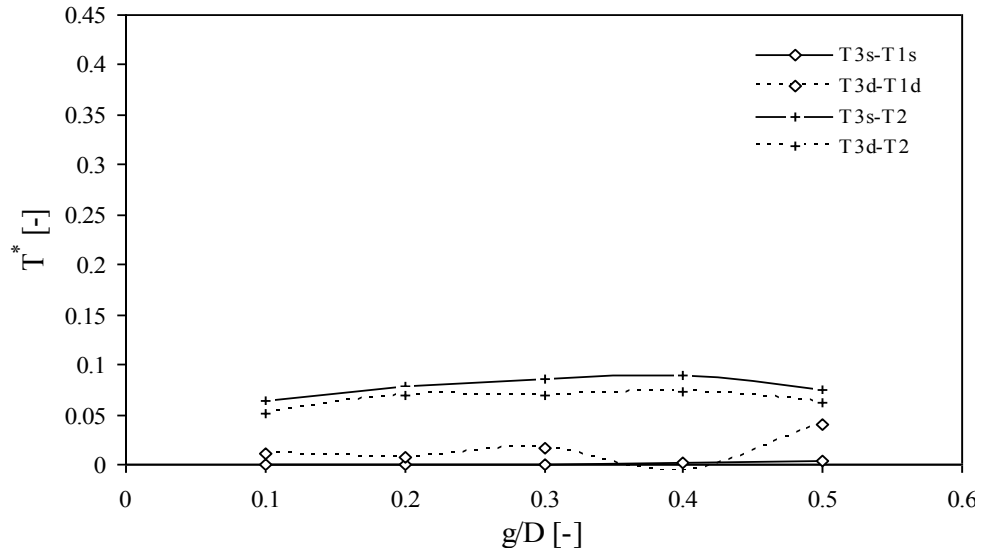
Şekil E 23 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.2$ Oramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



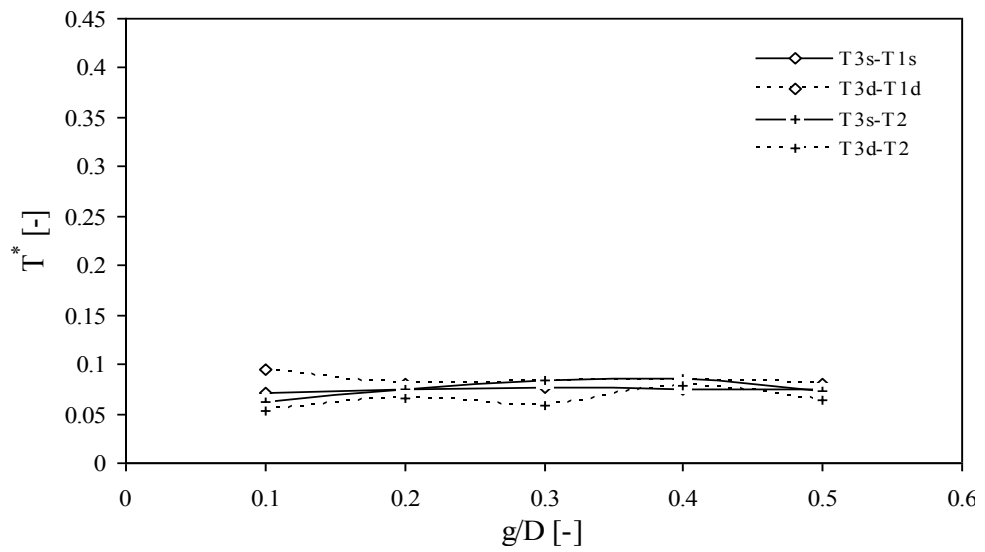
Şekil E 24 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.27$ Oramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



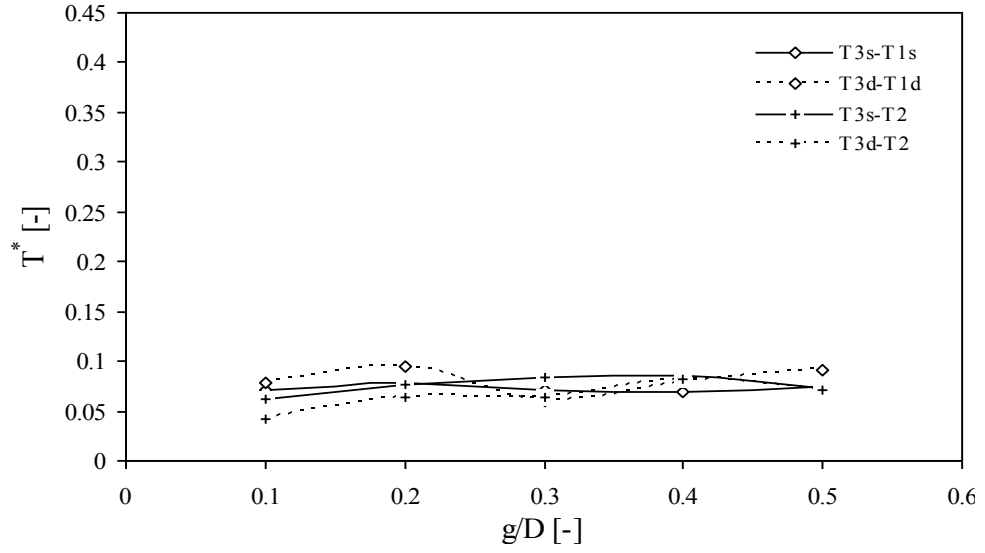
Şekil E 25 : $t^* = 240$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



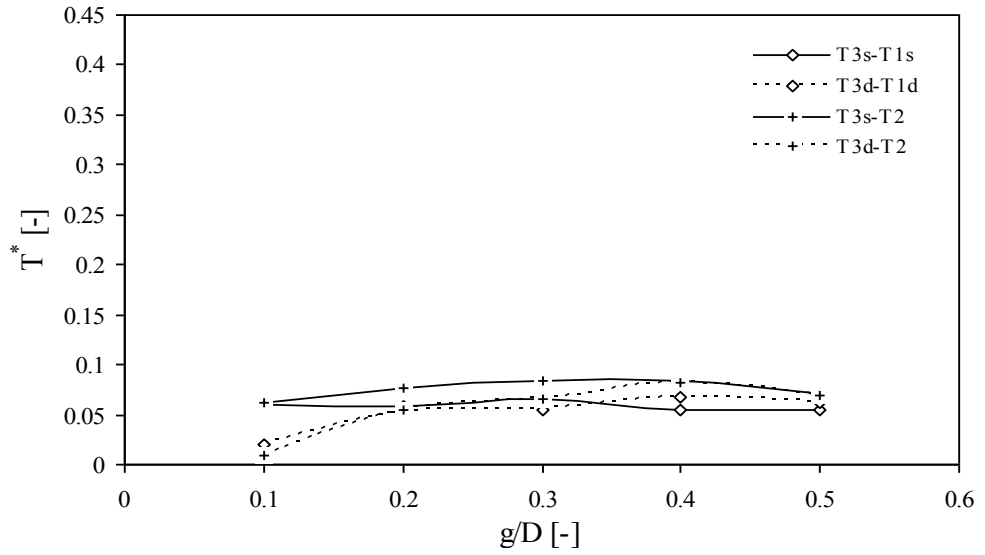
Şekil E 26 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.067$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



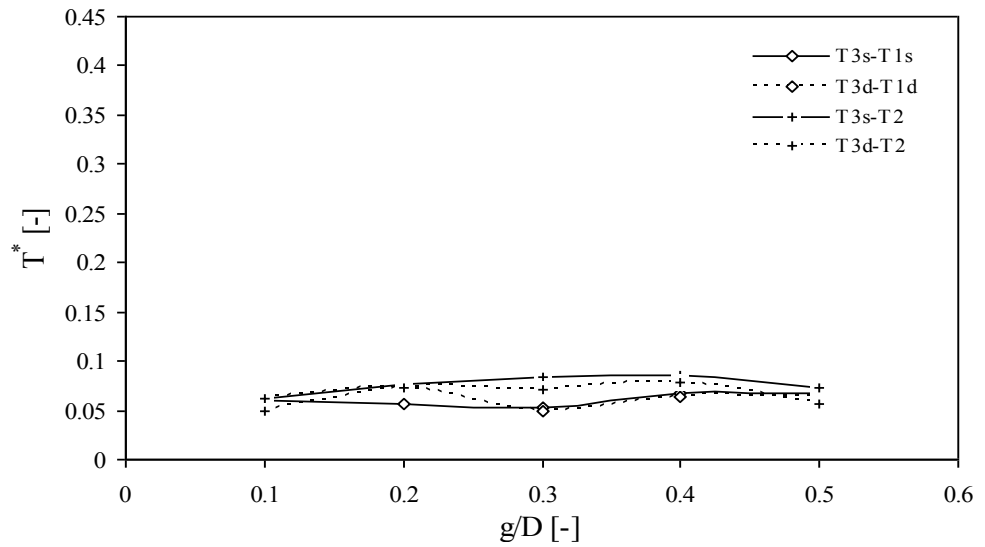
Şekil E 27 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.133$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



Şekil E 28 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.2$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



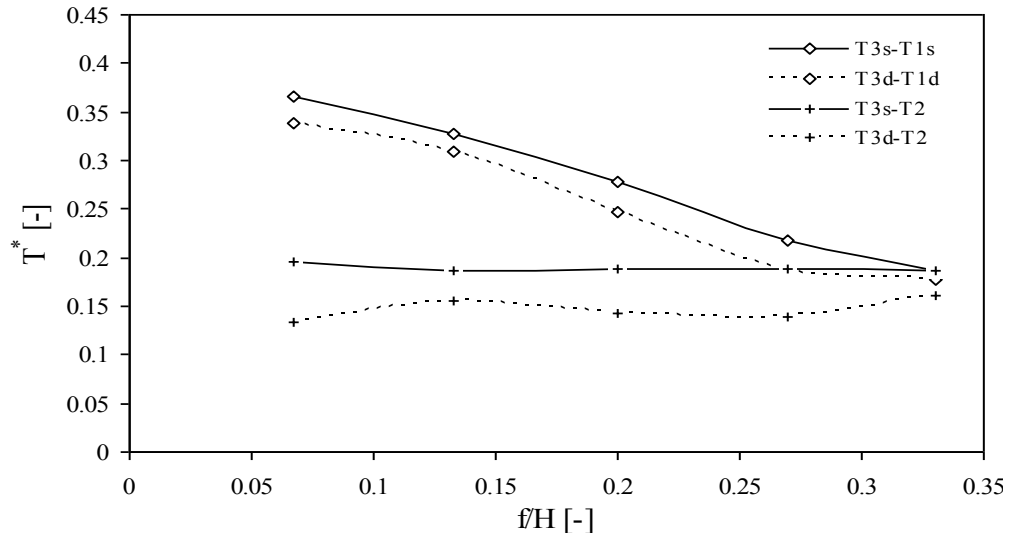
Şekil E 29 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.27$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



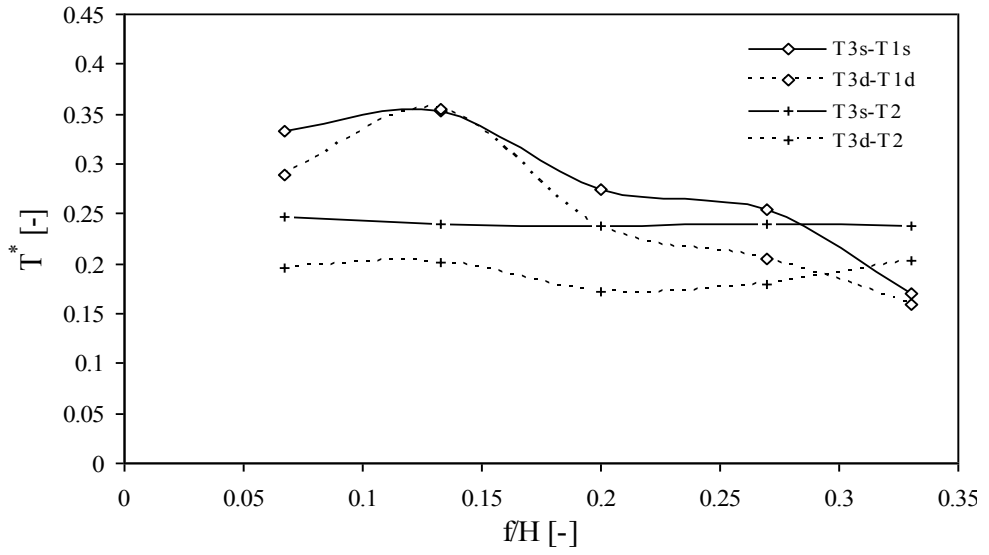
Şekil E 30 : $t^* = 120$ ve $f/H = 0.33$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı

EK G

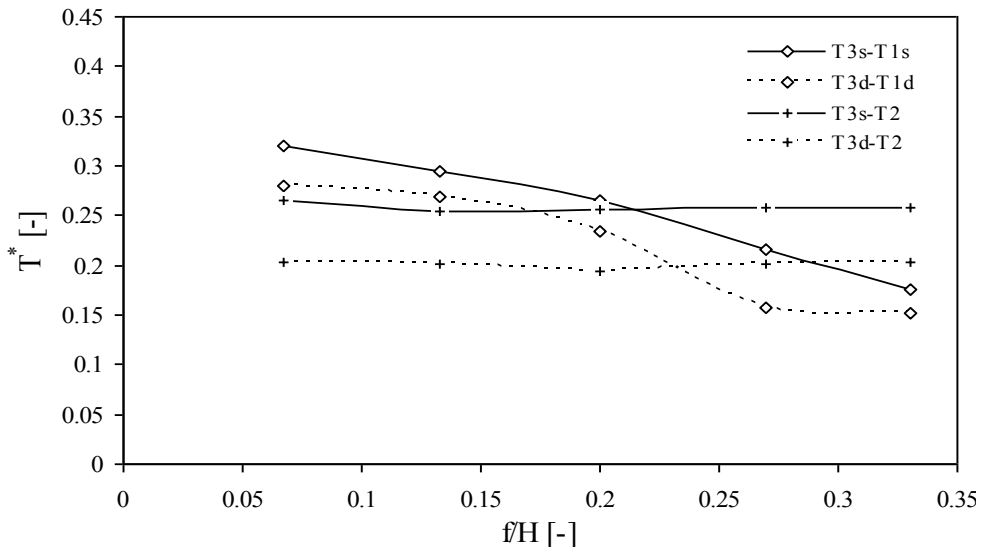
**ENGELLİ TANK MODELİ NDE $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3d}^* - T_{1d}^*$, $T_{3s}^* - T_2^*$, $T_{3d}^* - T_2^*$
BOYUTSUZ SICAKLIK FARKLARI NI Nf / HORANI NA BAĞLI
DAĞ I LI MLARI**



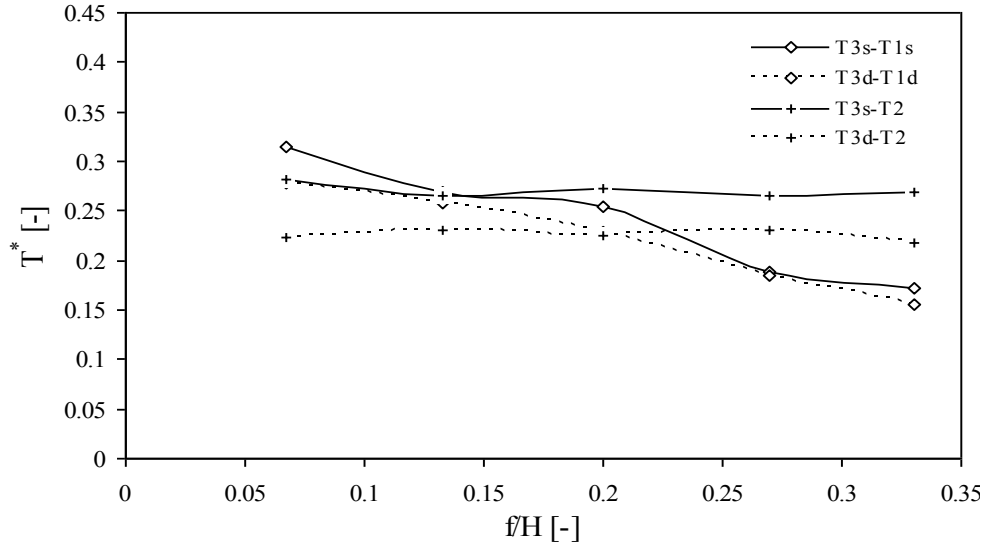
Şekil G1: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.1$ Oramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



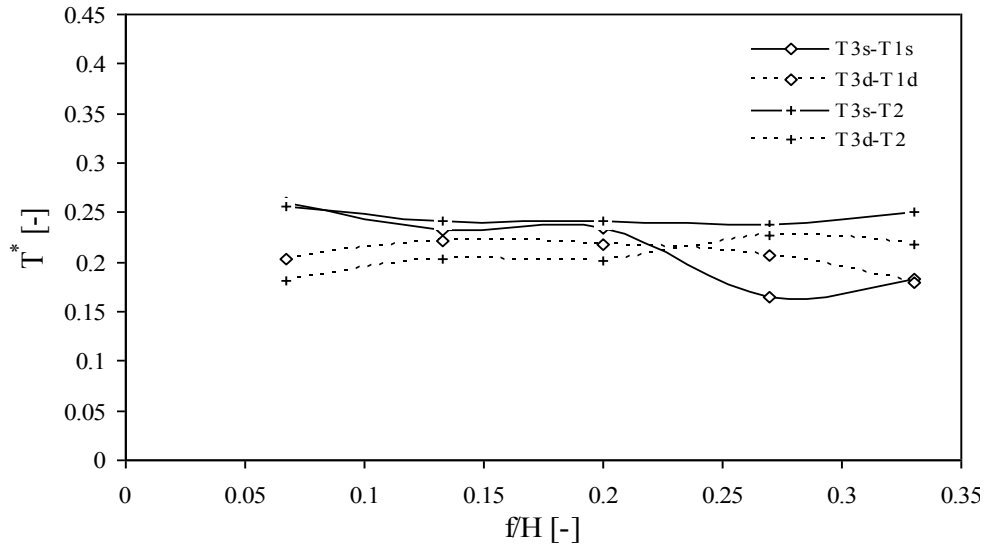
Şekil G2: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.2$ Oramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



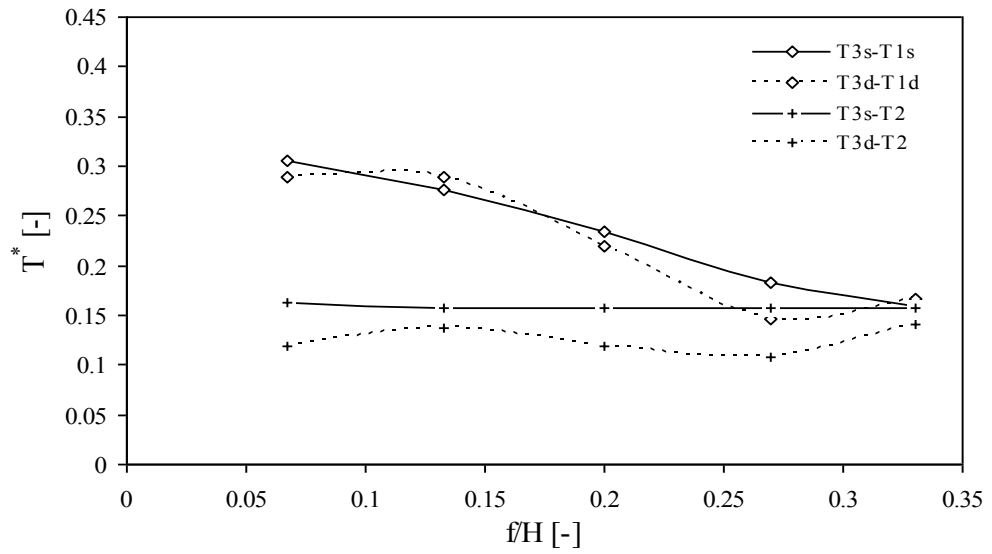
Şekil G3: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.3$ Oramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



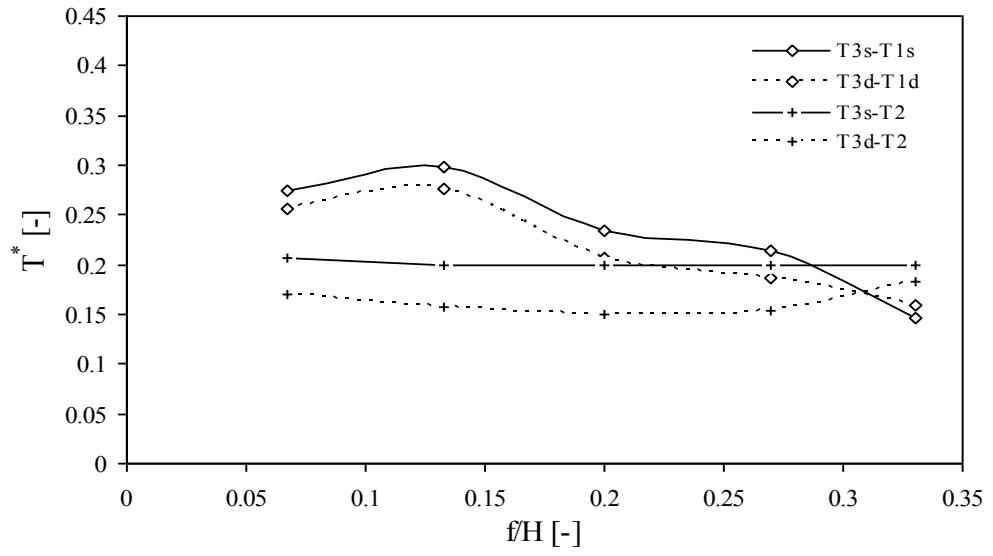
Şekil G4: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.4$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları



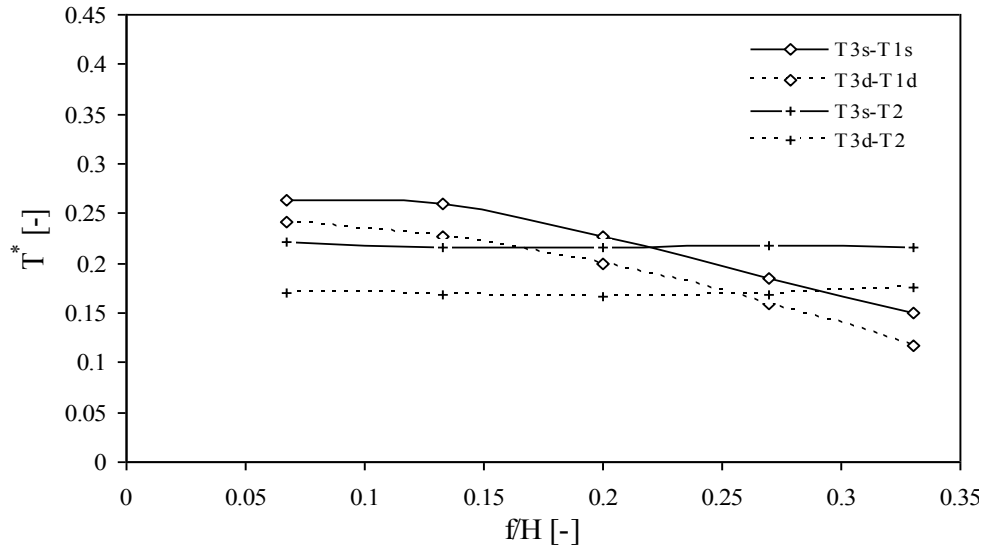
Şekil G5: $t^* = 600$ ve $g/D = 0.5$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları



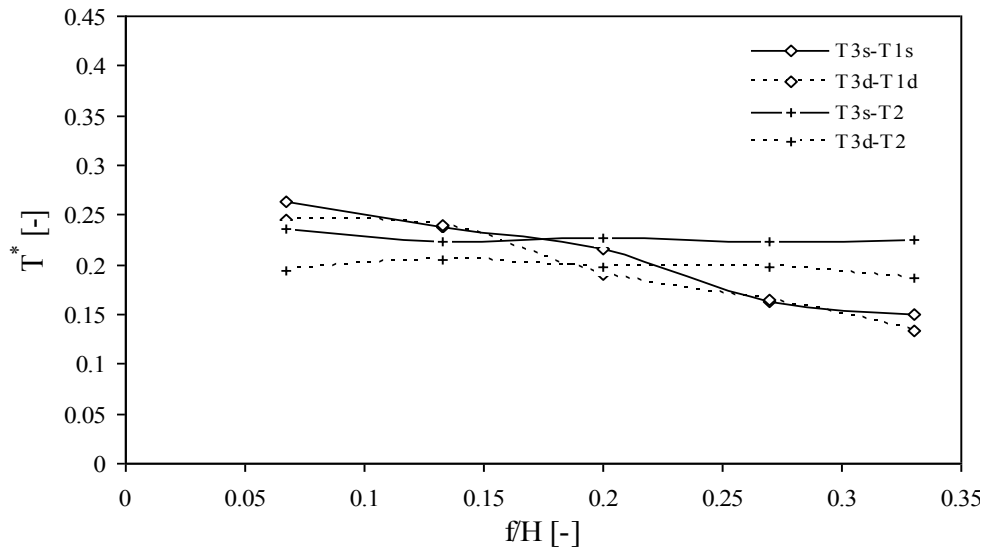
Şekil G6: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.1$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları



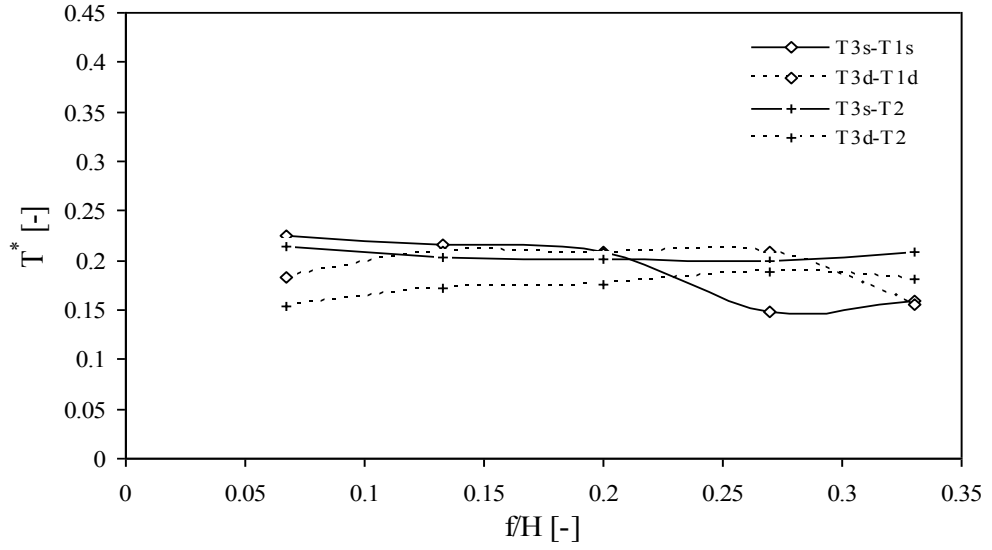
Şekil G7: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.2$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları



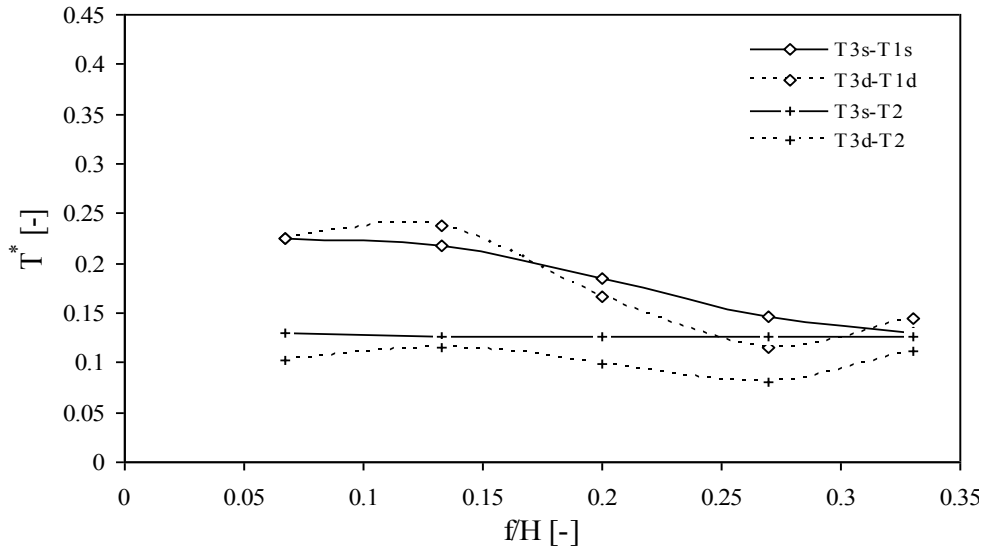
Şekil G8: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.3$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları



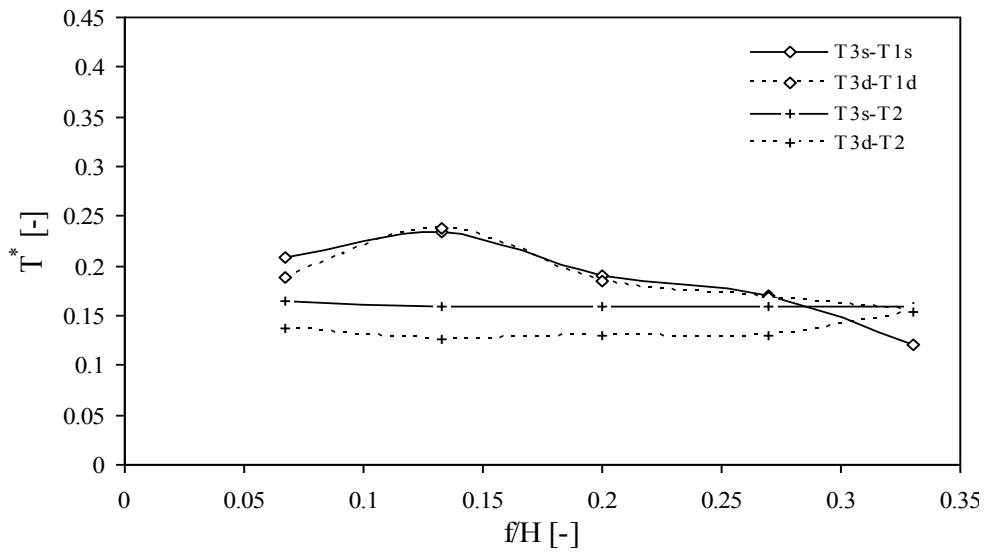
Şekil G9: $t^* = 480$ ve $g/D = 0.4$ Oranında Sıcaklık Farkı Dağılımları



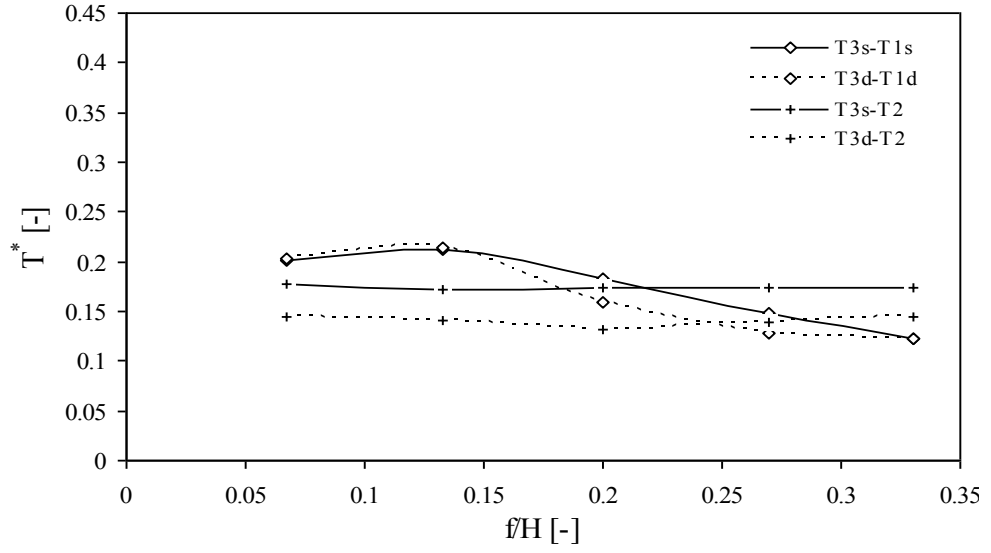
Şekil G10 : $t^* = 480$ ve $g/D = 0.5$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



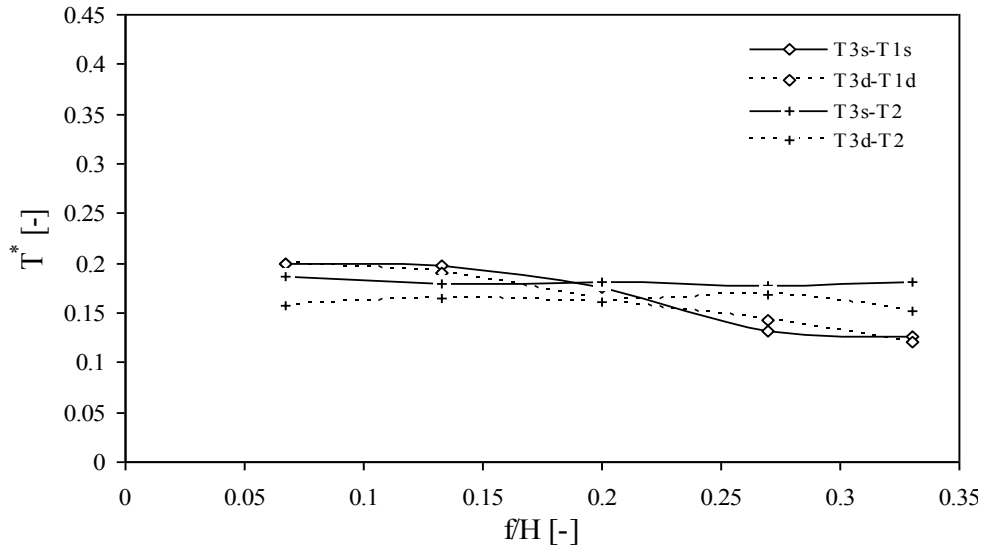
Şekil G11 : $t^* = 360$ ve $g/D = 0.1$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



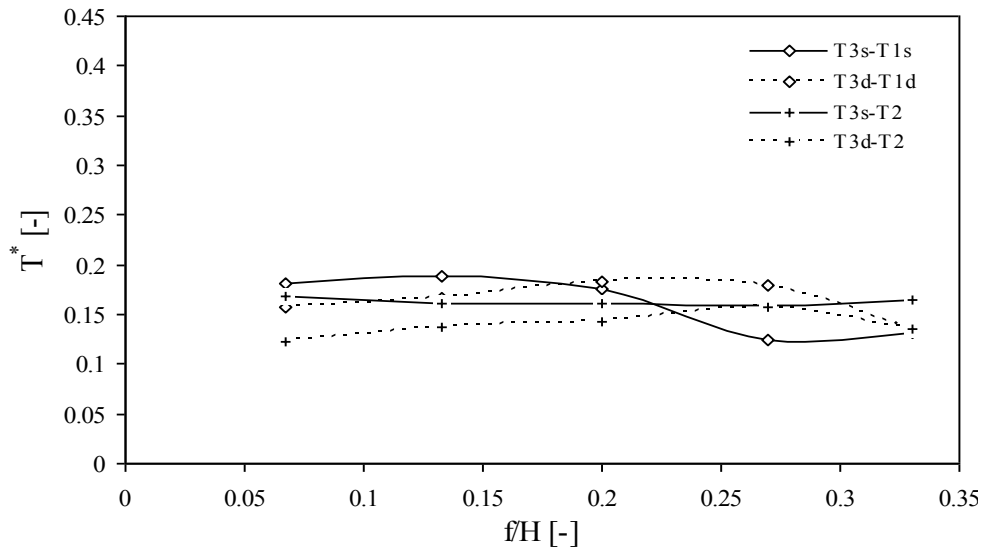
Şekil G12 : $t^* = 360$ ve $g/D = 0.2$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



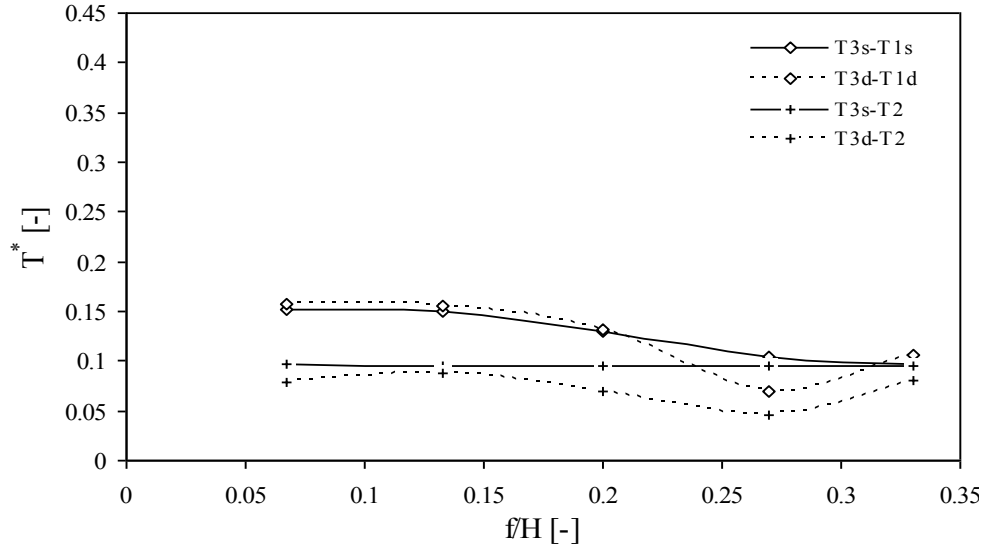
Şekil G13: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.3$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



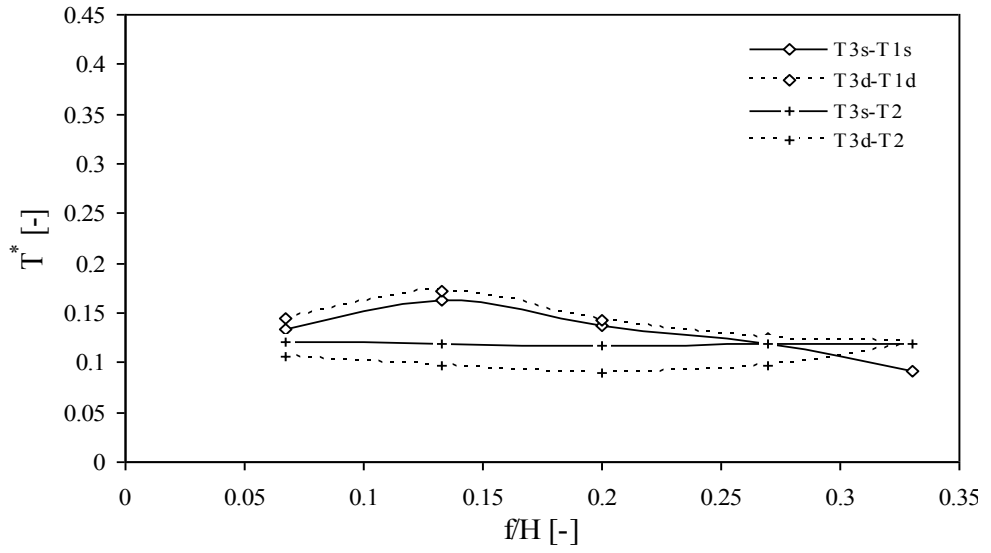
Şekil G14: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.4$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



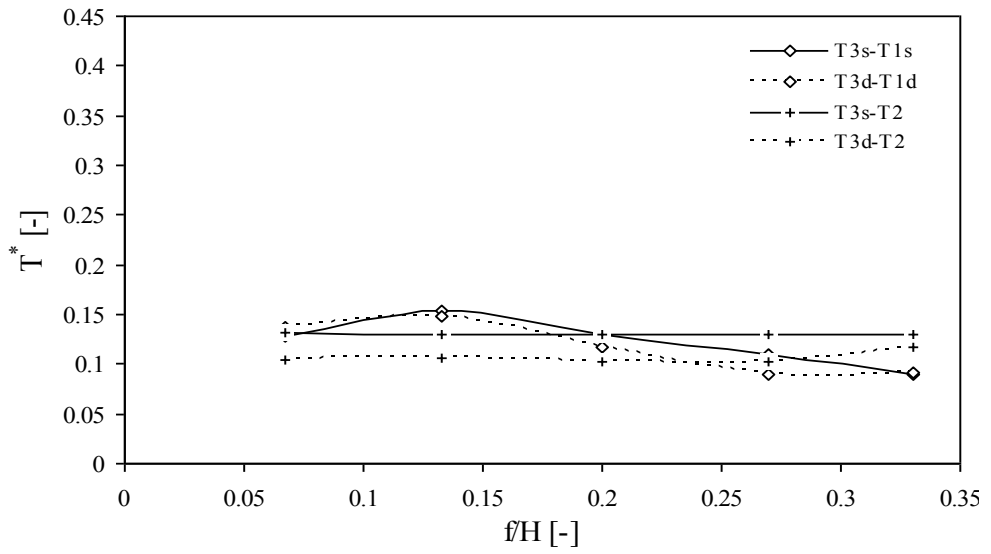
Şekil G15: $t^* = 360$ ve $g/D = 0.5$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



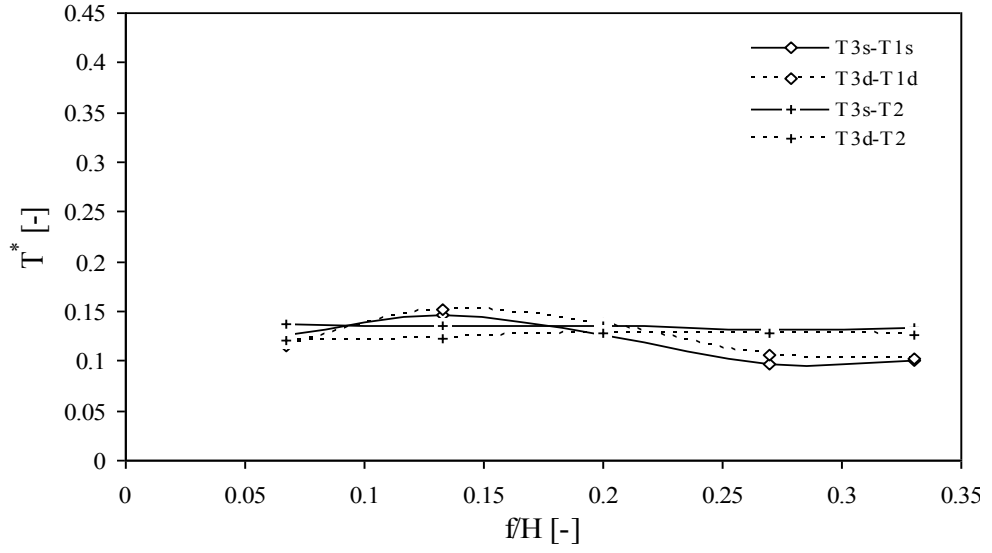
Şekil G16: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.1$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



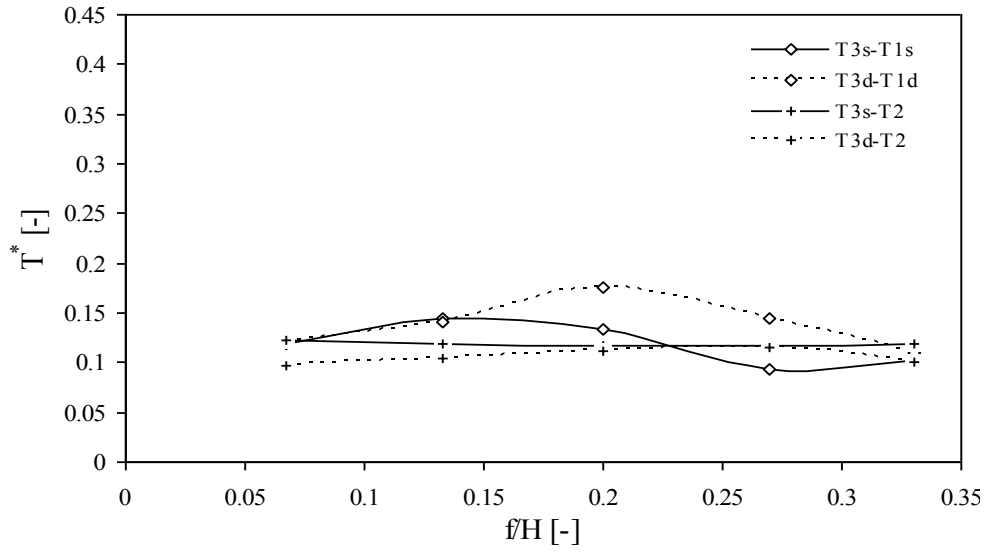
Şekil G17: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.2$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



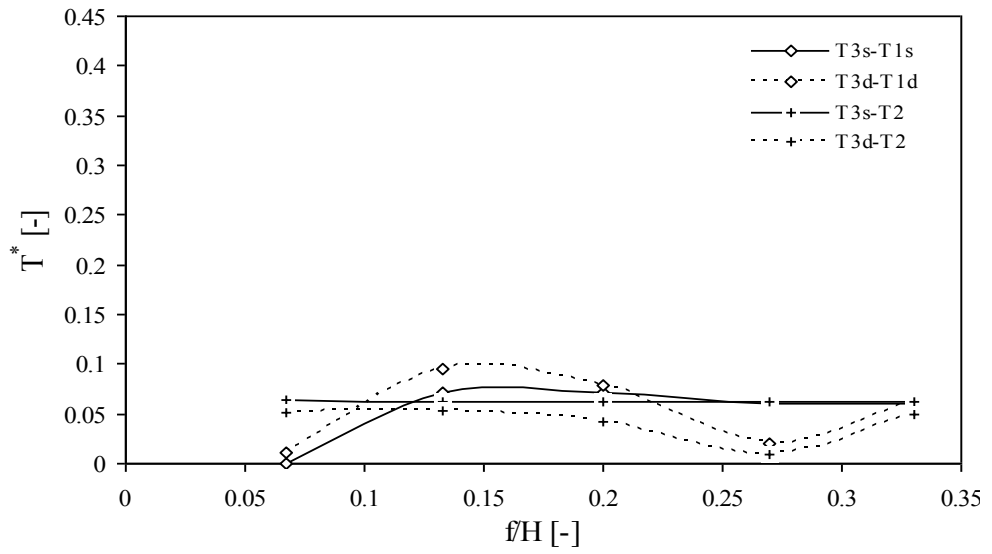
Şekil G18: $t^* = 240$ ve $g/D = 0.3$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



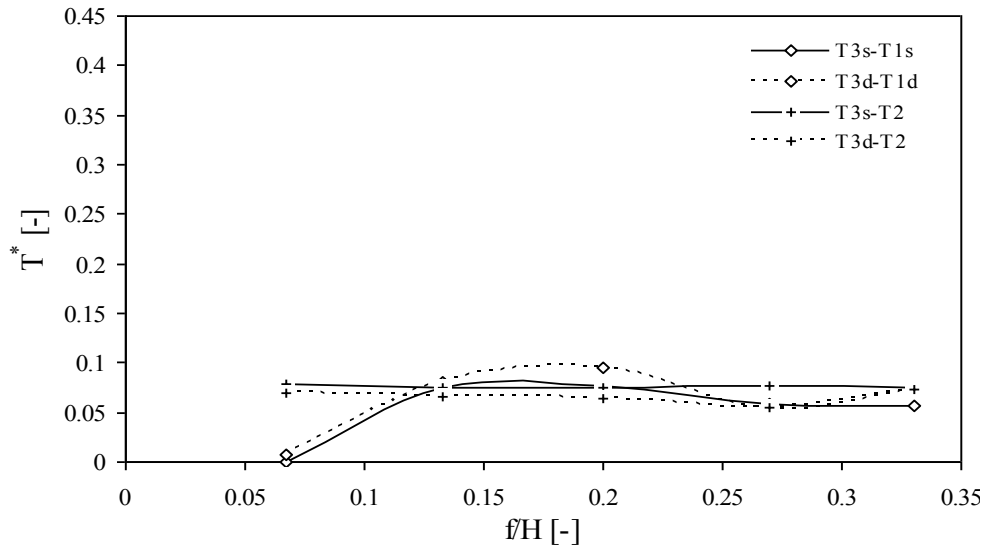
Şekil G19 : $t^* = 240$ ve $g/D = 0.4$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



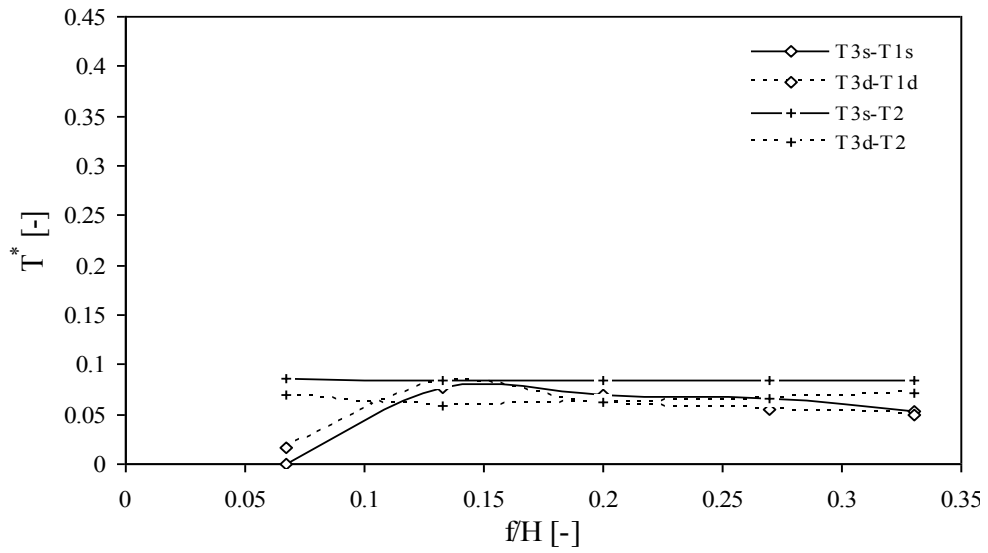
Şekil G20 : $t^* = 240$ ve $g/D = 0.5$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



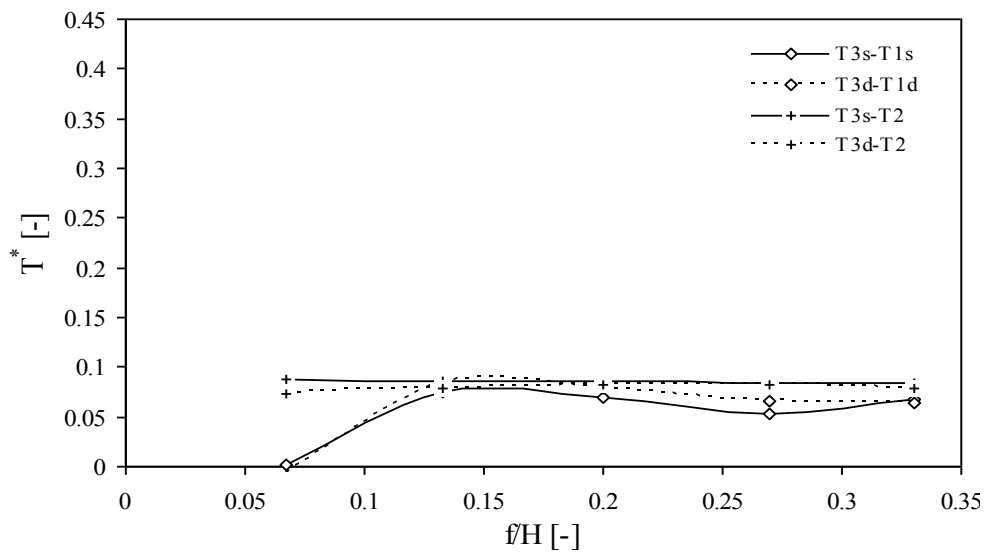
Şekil G21 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.1$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları



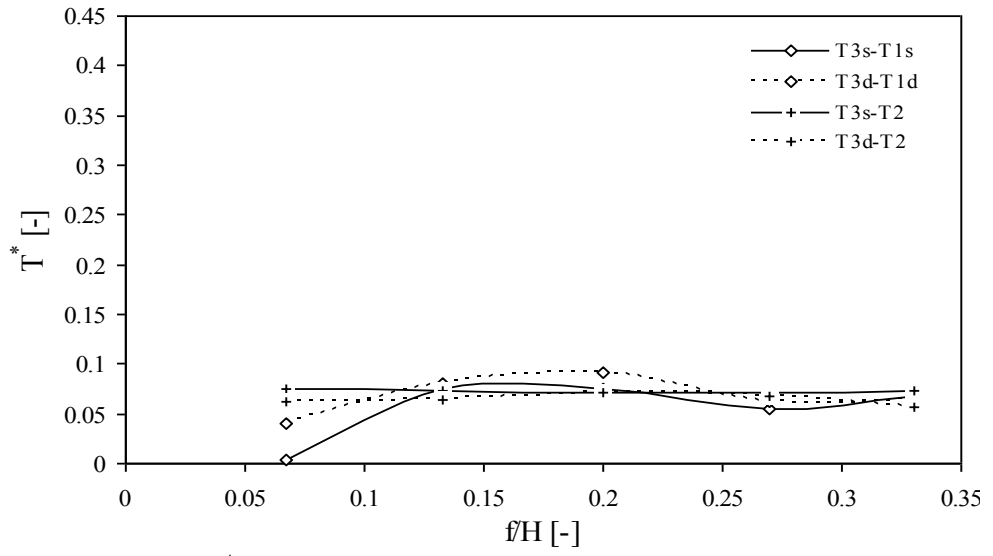
Şekil G22 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.2$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



Şekil G23 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.3$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



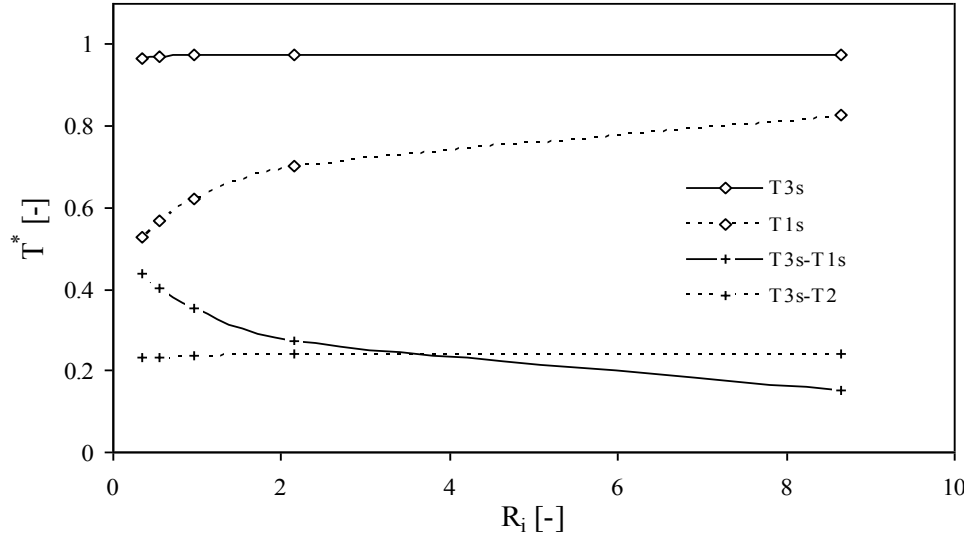
Şekil G24 : $t^* = 120$ ve $g/D = 0.4$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımı



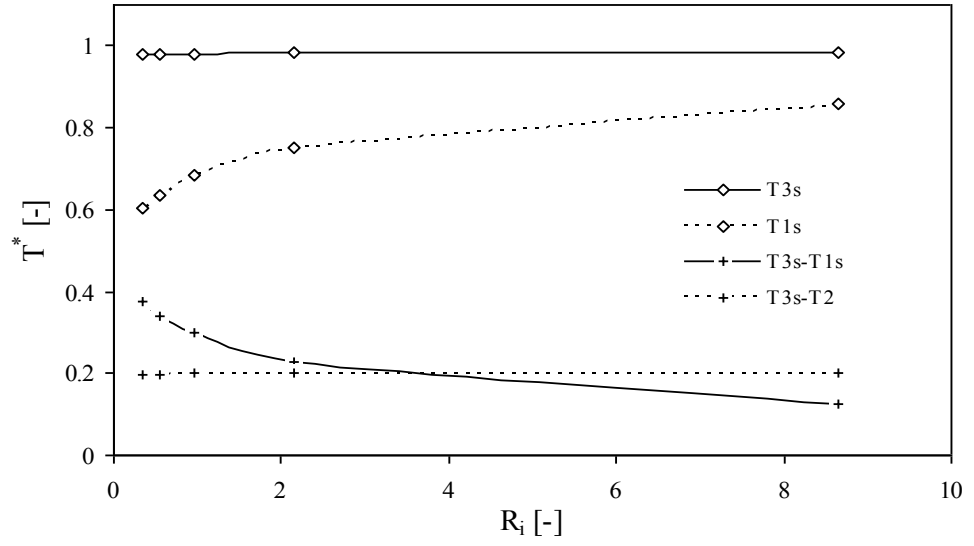
Şekil G25: $t^* = 120$ ve $g/D = 0.5$ Gramında Sıcaklık Farkı Dağılımları

EK H

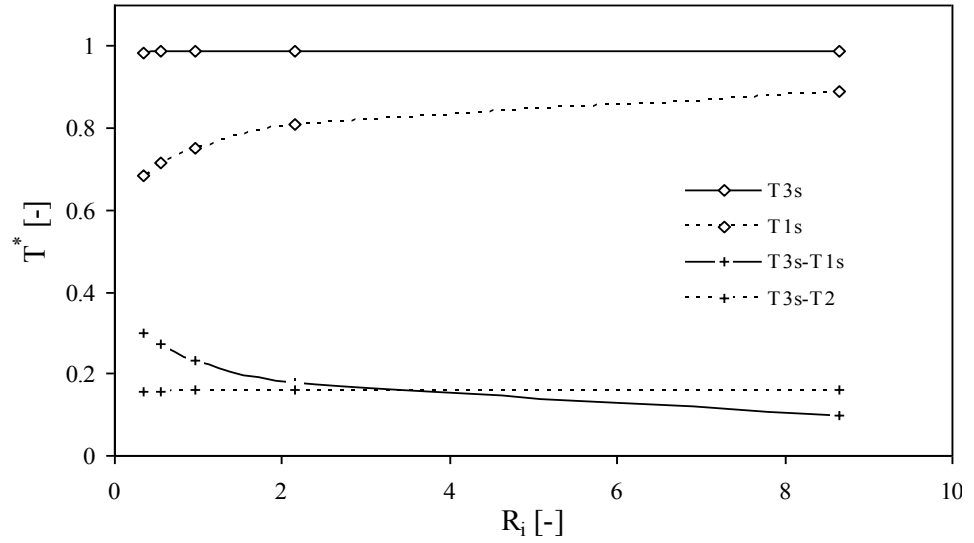
f/H ve g/D ORANI NDAKİ TANK MODELİNDE T_{3s}^* , T_{1s}^* , $T_{3s}^* - T_{1s}^*$, $T_{3s}^* - T_2^*$ BOYUTSUZ SICAKLIK DEĞERLERİNİN RICHARSON SAYILARINA VE ZAMANA BAĞLI DAĞILIMLARI



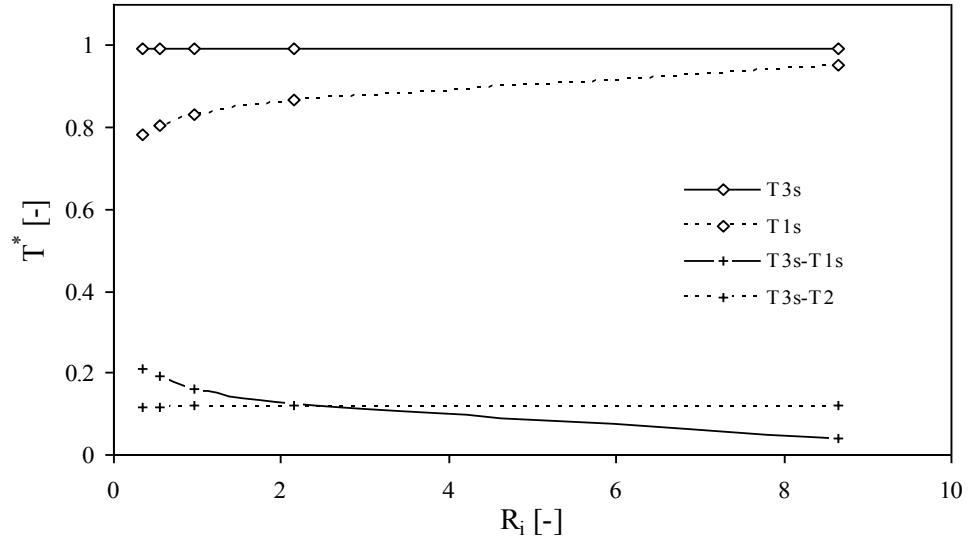
Şekil H1: $t^*=600$ 'de Sıcaklık ve Sıcaklık Farkı Dağılımları



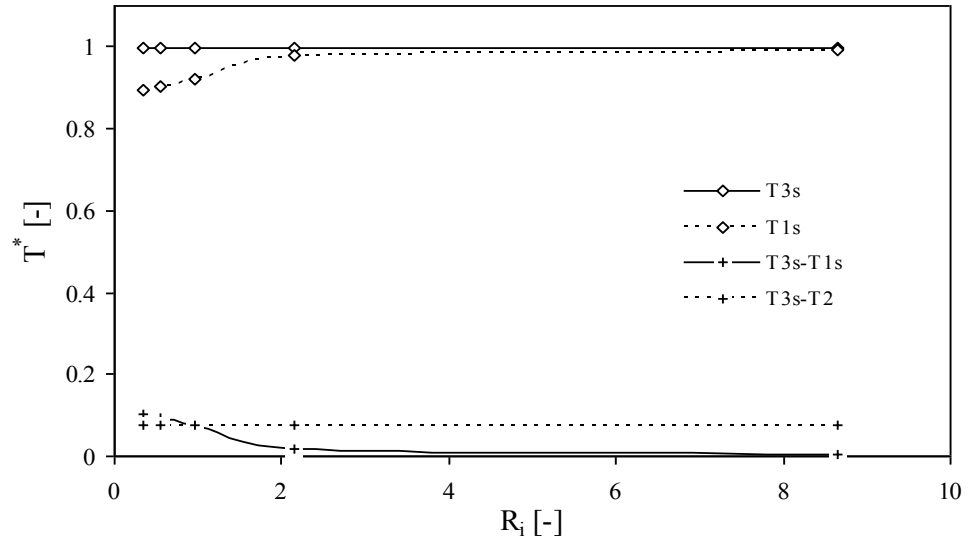
Şekil H2: $t^*=480$ 'de Sıcaklık ve Sıcaklık Farkı Dağılımları



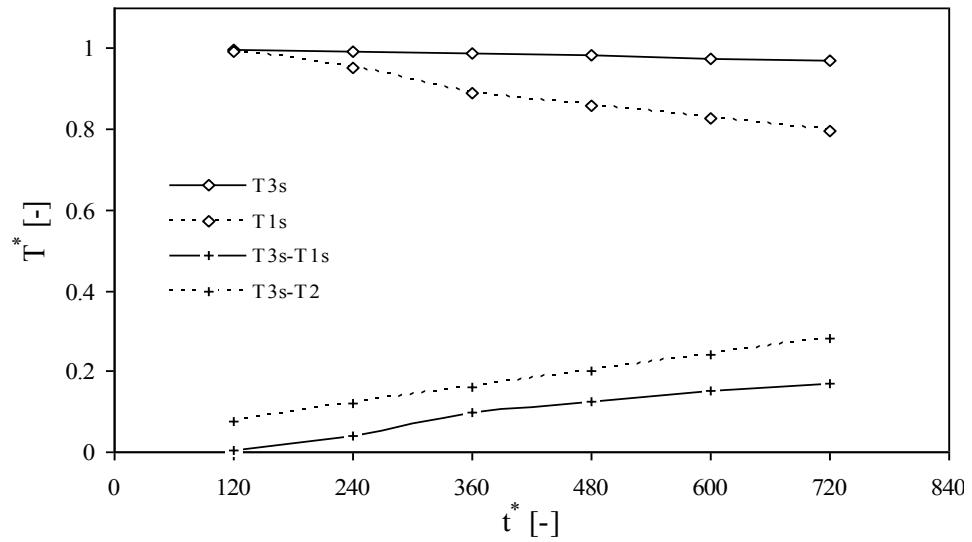
Şekil H3: $t^*=360$ 'da Sıcaklık ve Sıcaklık Farkı Dağılımları



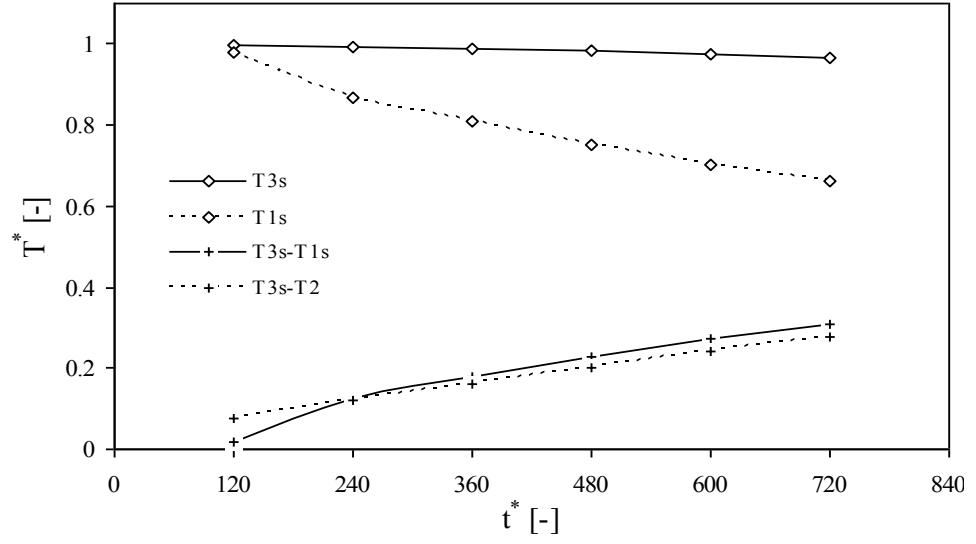
Şekil H4: $t^* = 240^\circ$ de Sıcaklık ve Sıcaklık Farkı Dağılımları



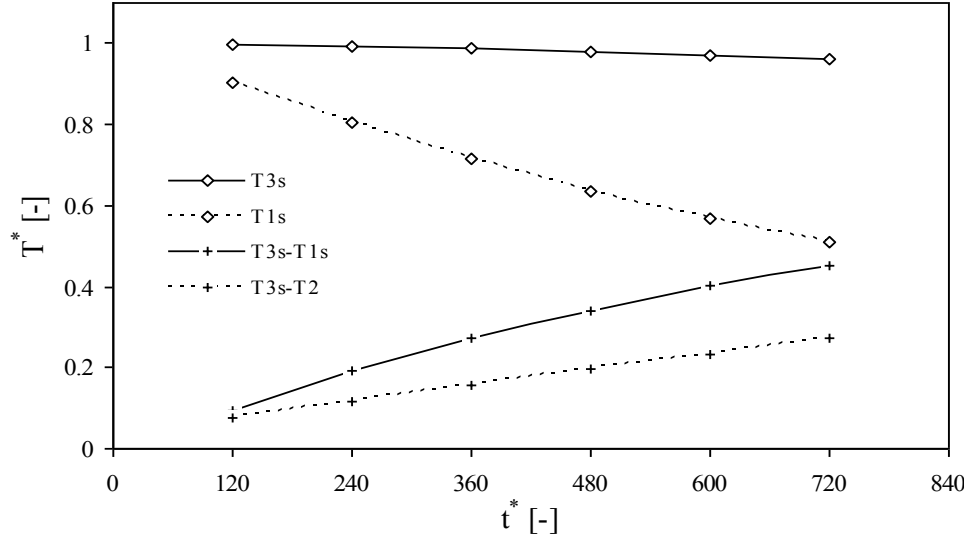
Şekil H5: $t^* = 120^\circ$ de Sıcaklık ve Sıcaklık Farkı Dağılımları



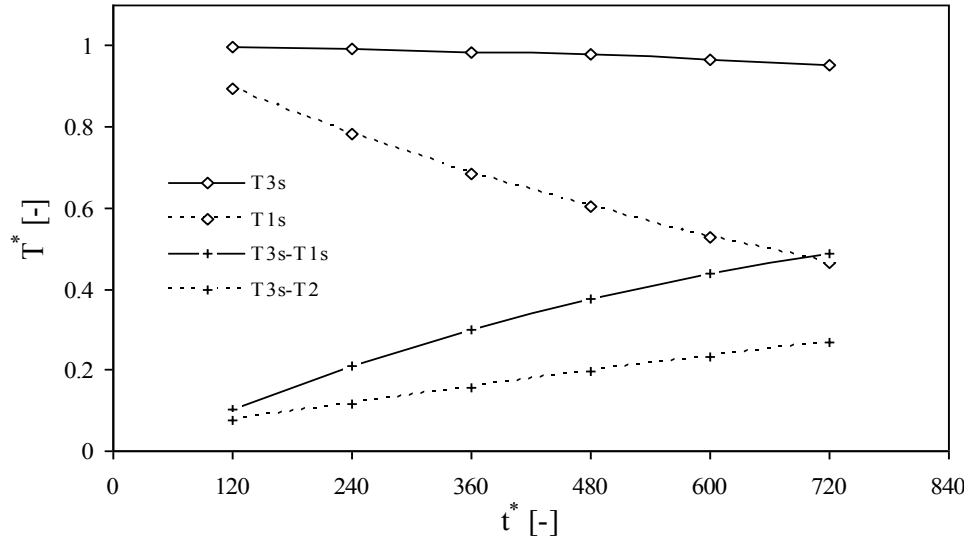
Şekil H6: $R = 8.65$ de Sıcaklık ve Sıcaklık farkı Dağılımları



Şekil H7: $R = 2.16$ da Sıcaklık ve Sıcaklık farkı Dağılımı



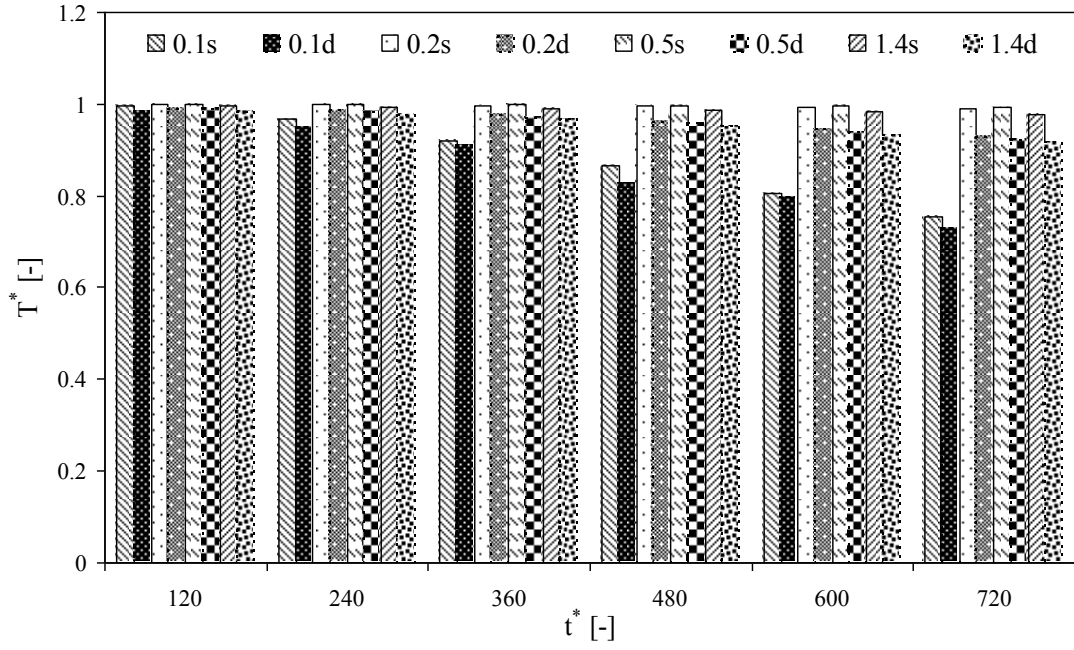
Şekil H8: $R = 0.54$ de Sıcaklık ve Sıcaklık farkı Dağılımı



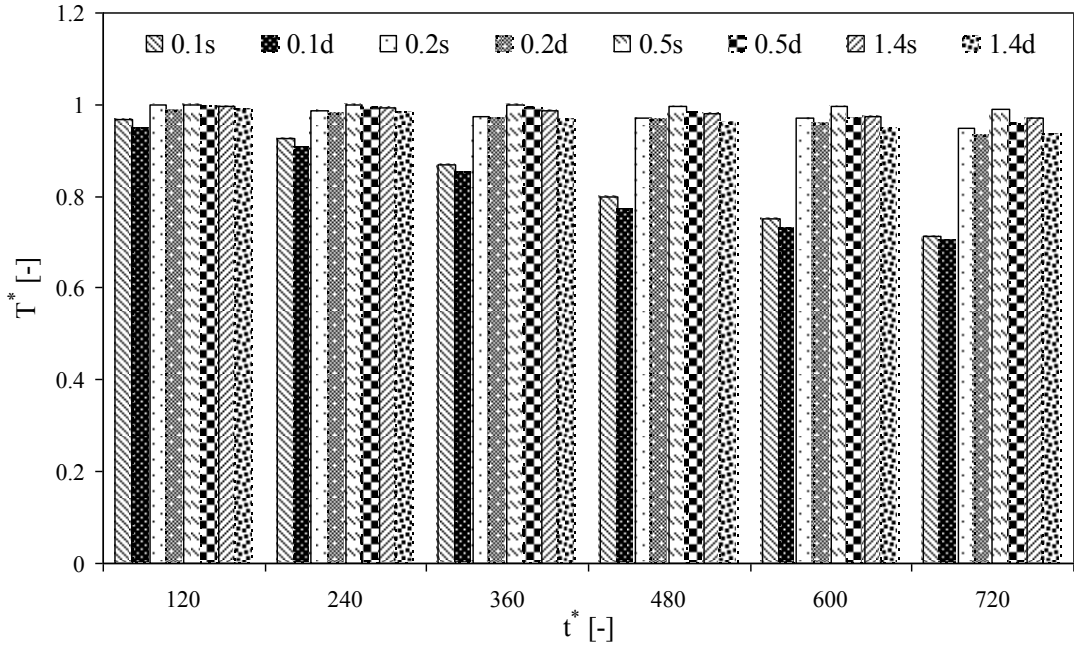
Şekil H9: $R = 0.35$ de Sıcaklık ve Sıcaklık farkı Dağılımı

EKİ:

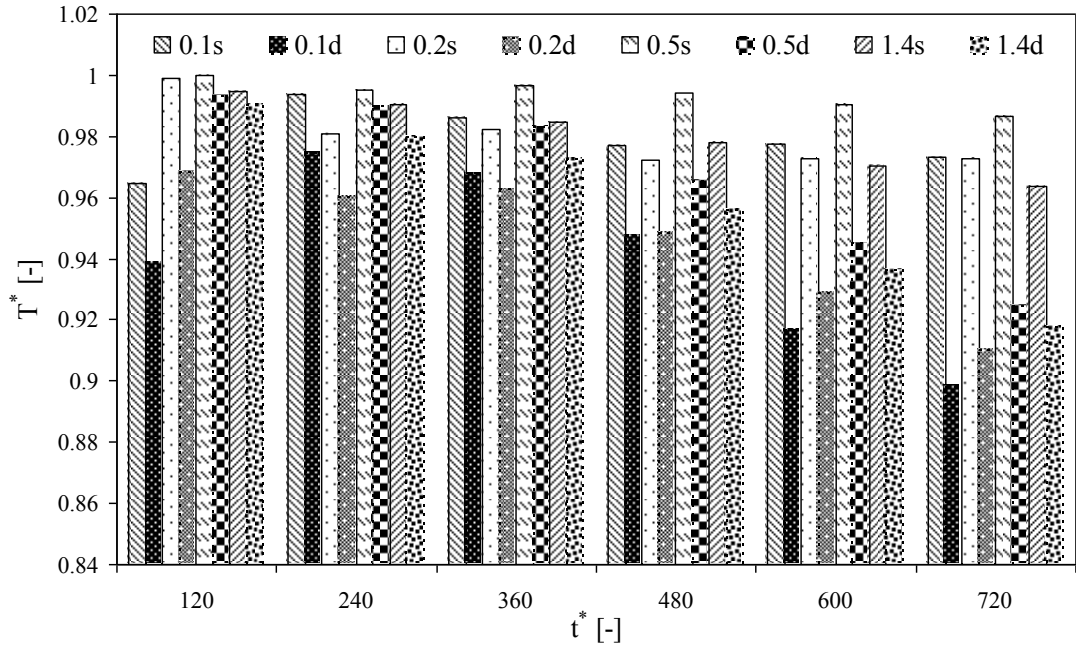
**ENGELLİ TANK MODELLERİ İÇERİSİNDE EKSENEL YÖNDE SEÇİLEN
NOKTALARIN BOYUTSUZ SICAKLIK DEĞERLERİNİN ZAMANA GÖRE
BAR GRAFİK ÜZERİNDE GÖRÜNÜMÜ**



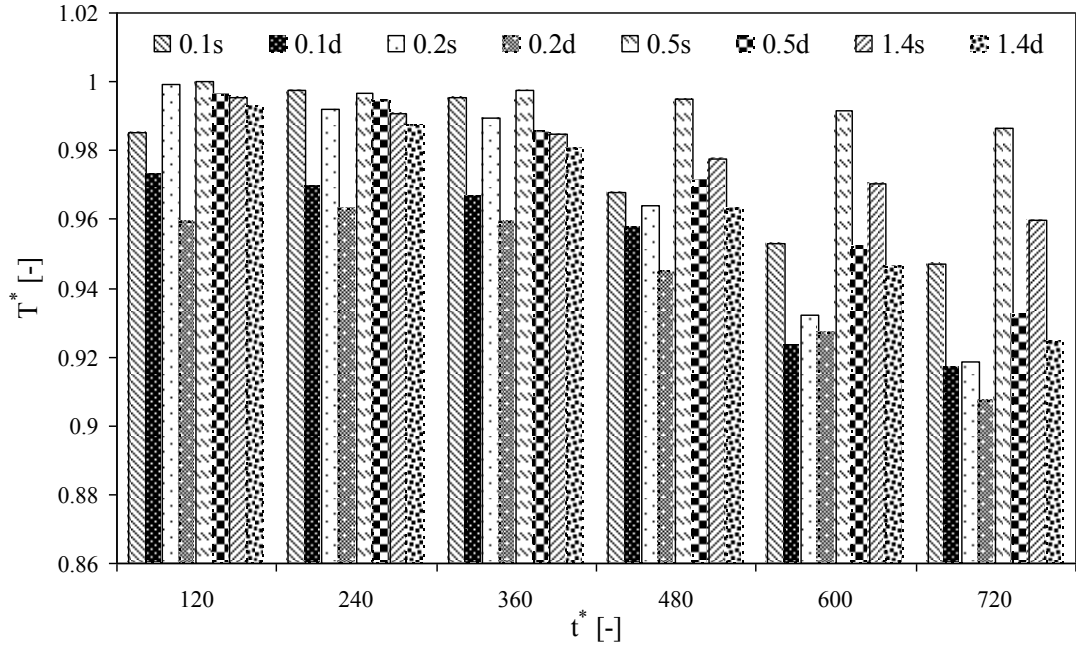
Şekil 1.1 : $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



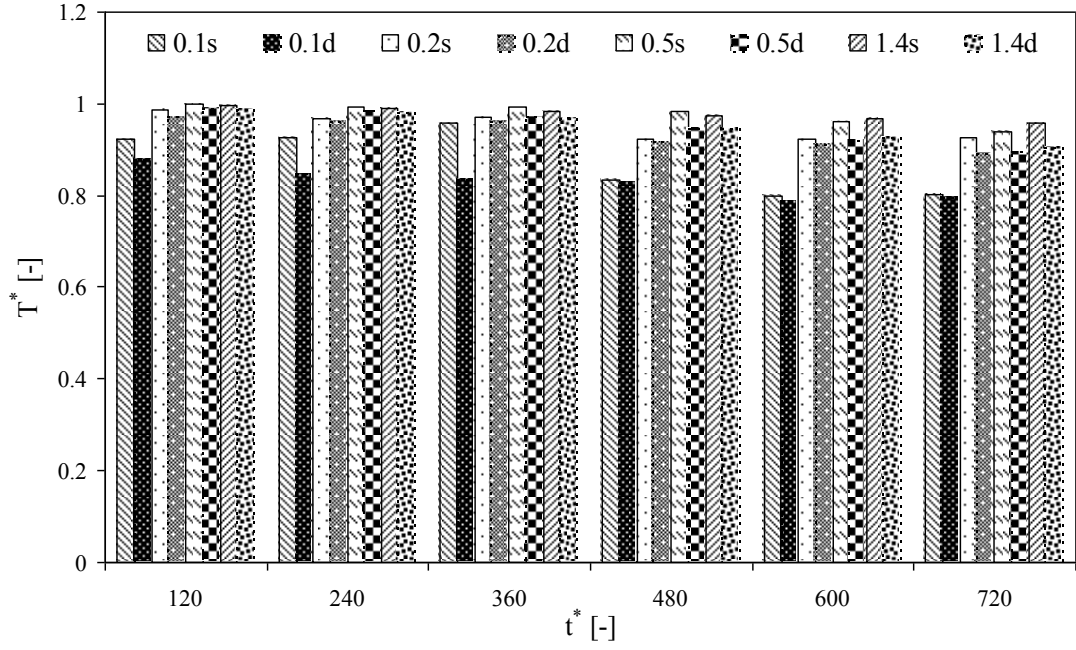
Şekil 1.2 : $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



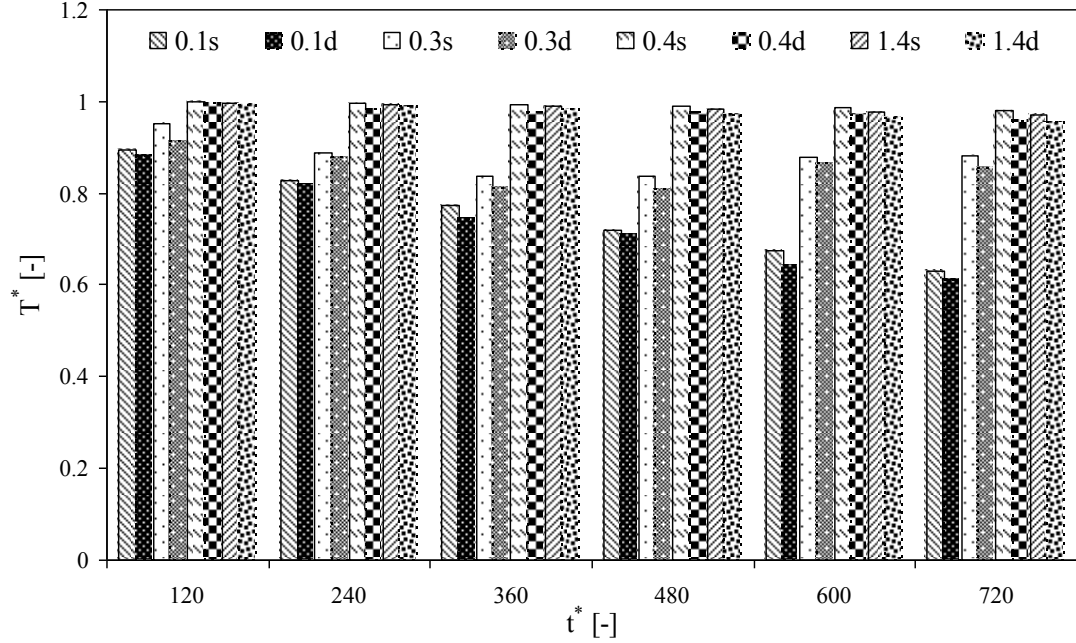
Şekil 1.3 : $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



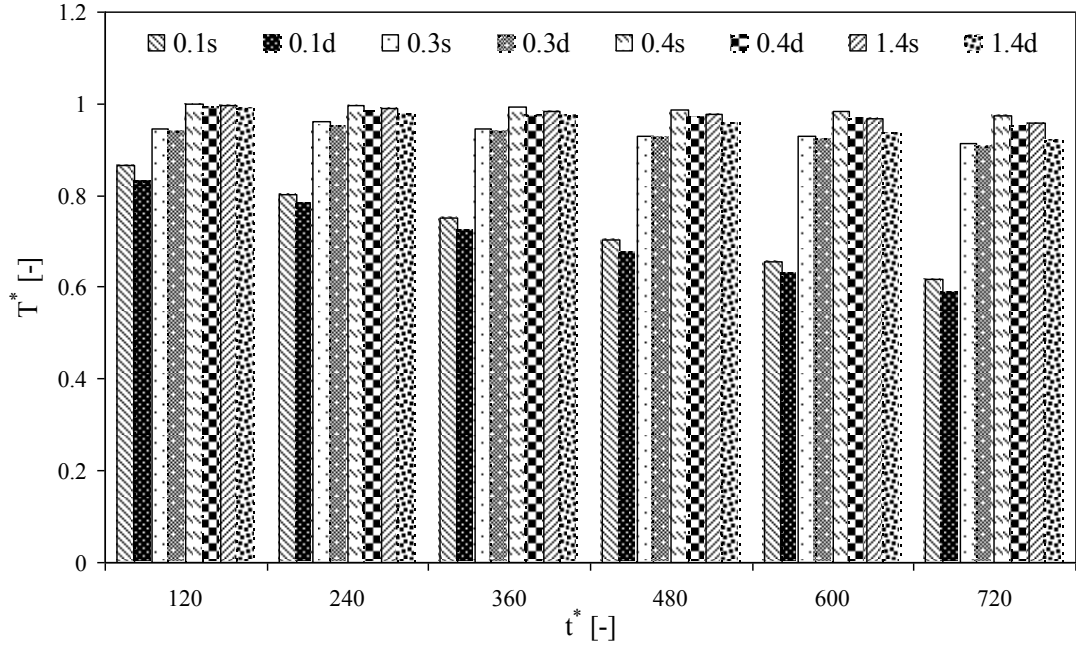
Şekil 1.4 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



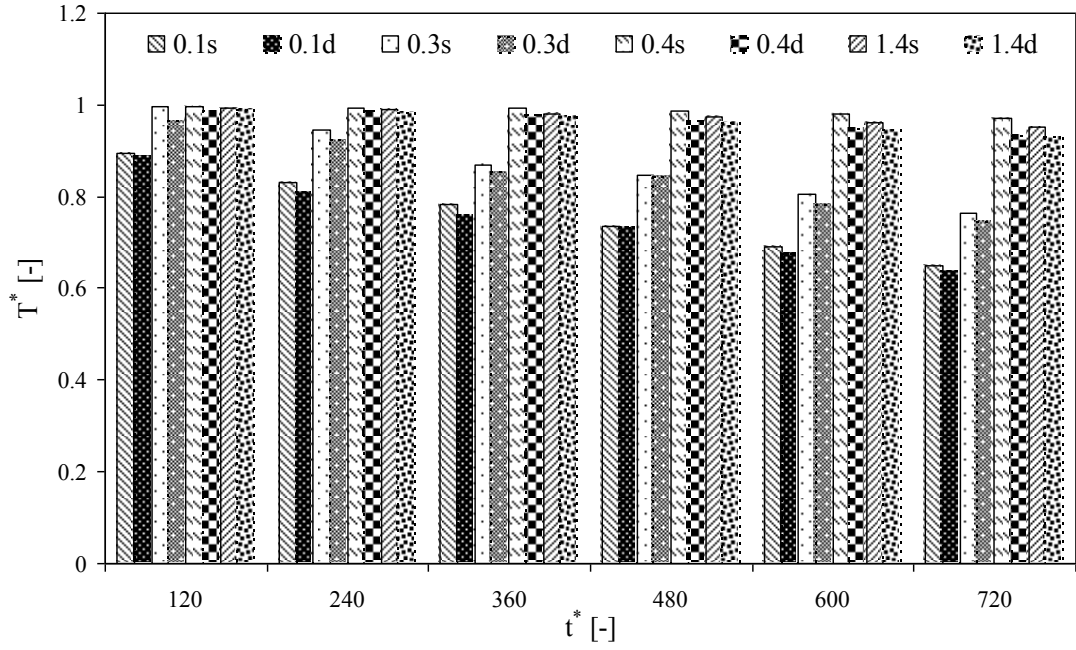
Şekil 1.5 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.067$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılım



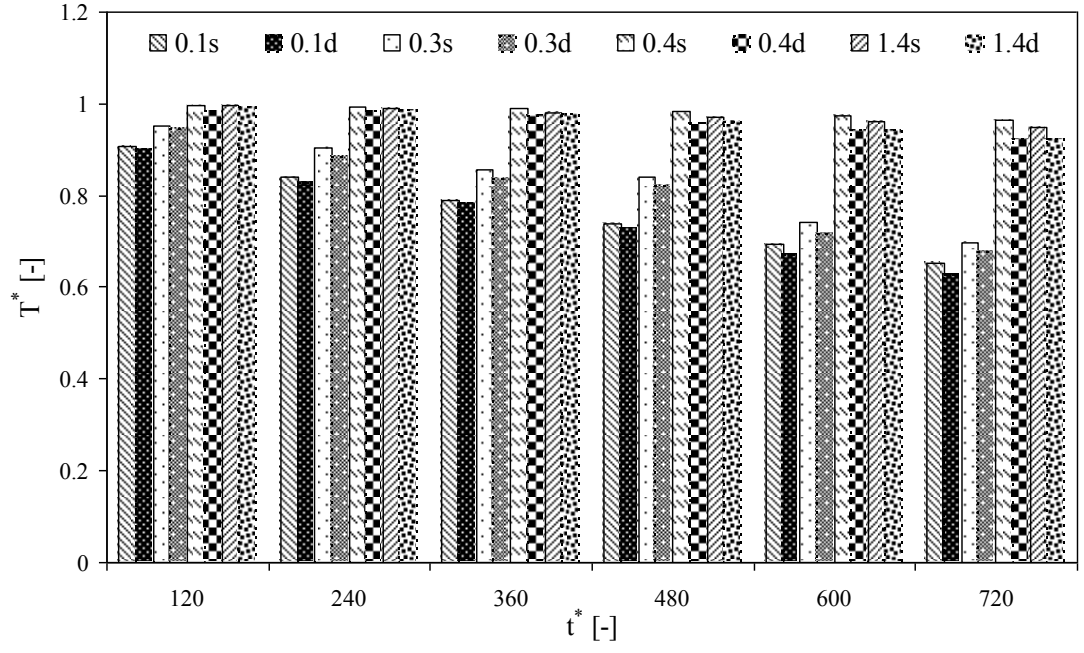
Şekil 1.6 : $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.2$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılım



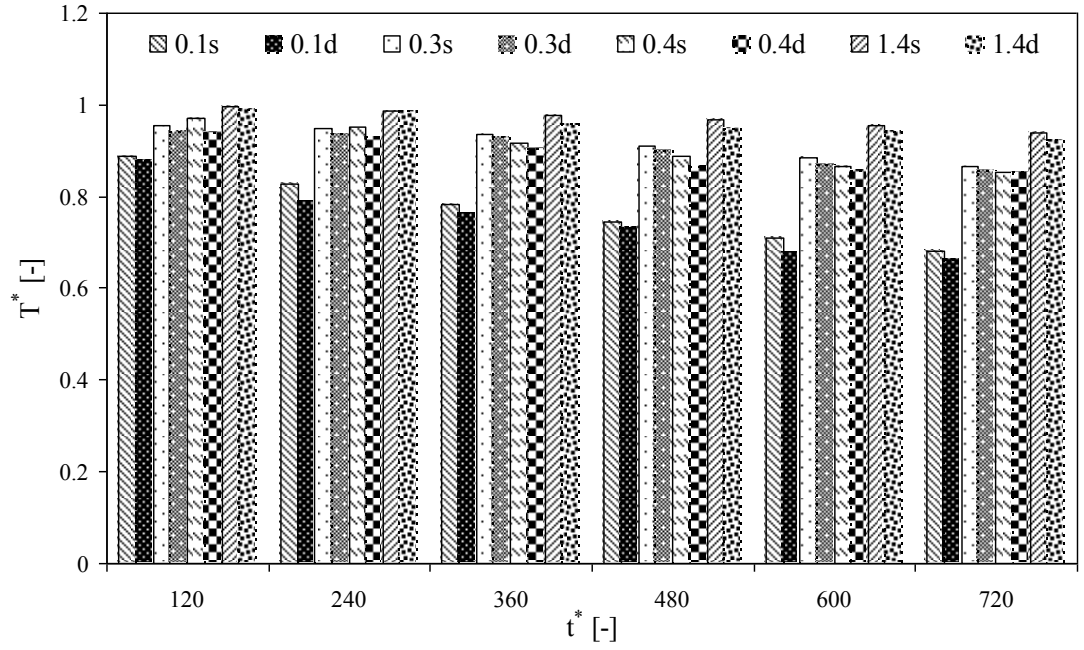
Şekil 1.7 : $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



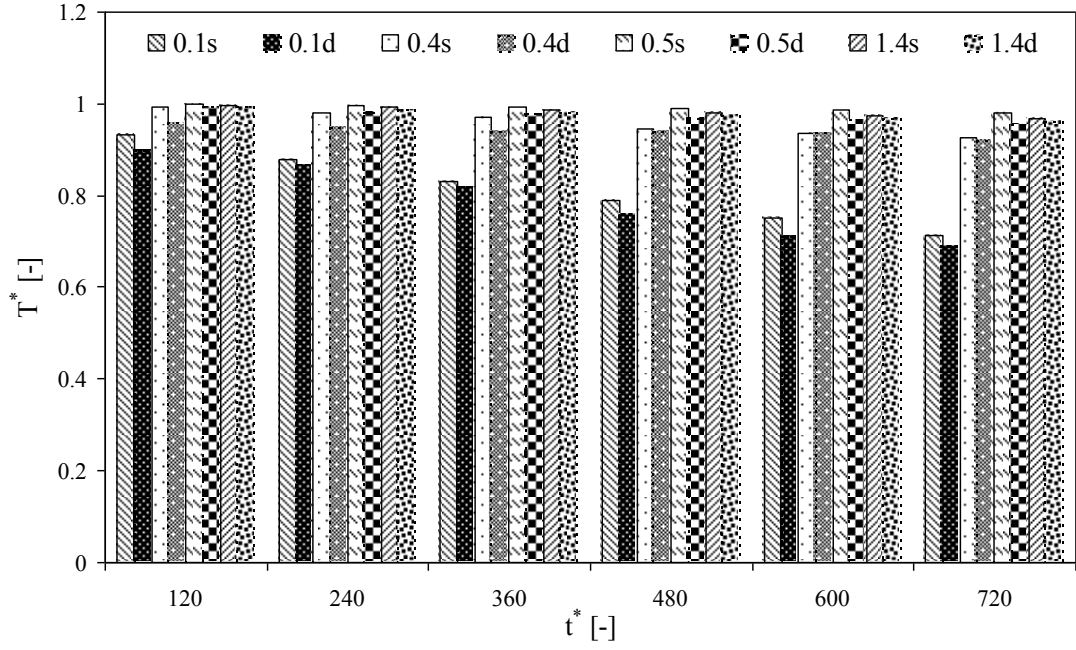
Şekil 1.8 : $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



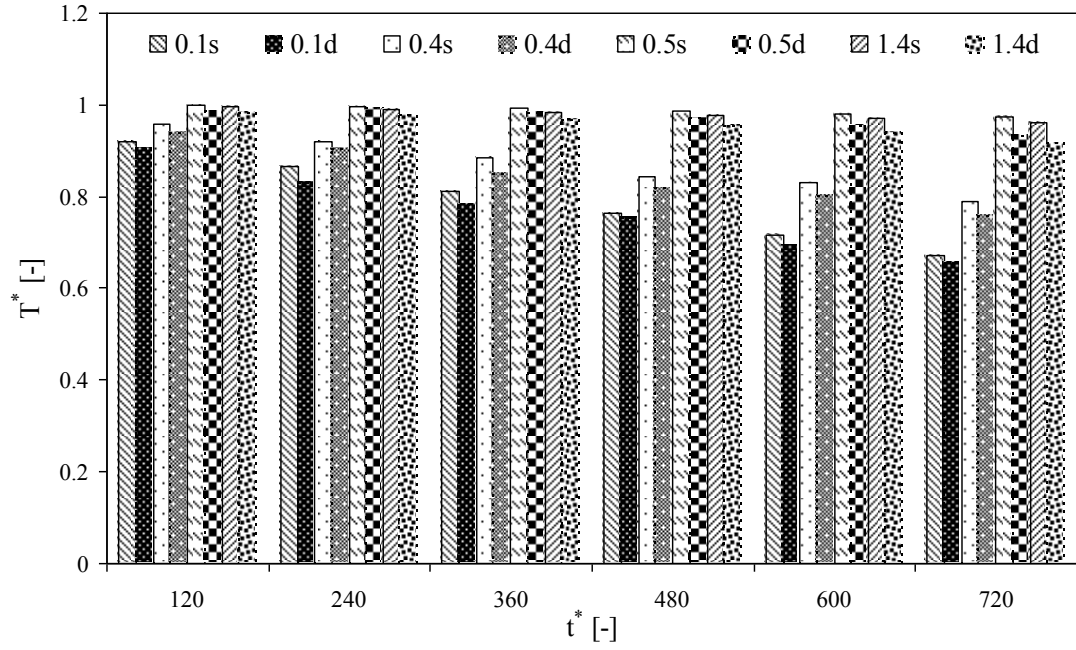
Şekil I.9 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



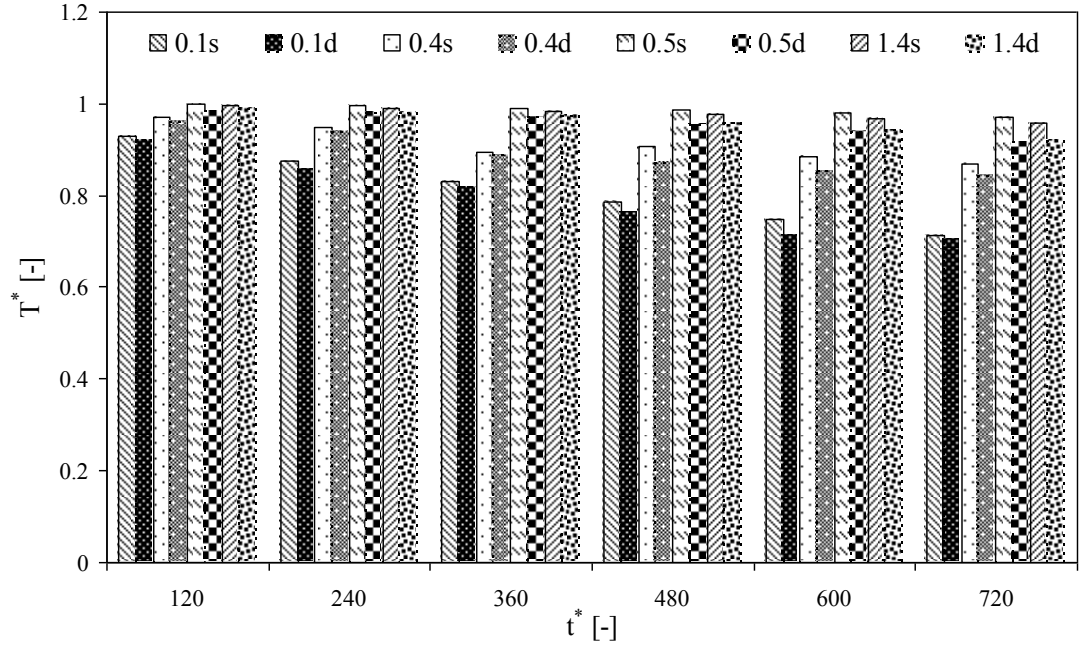
Şekil I.10 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.2$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



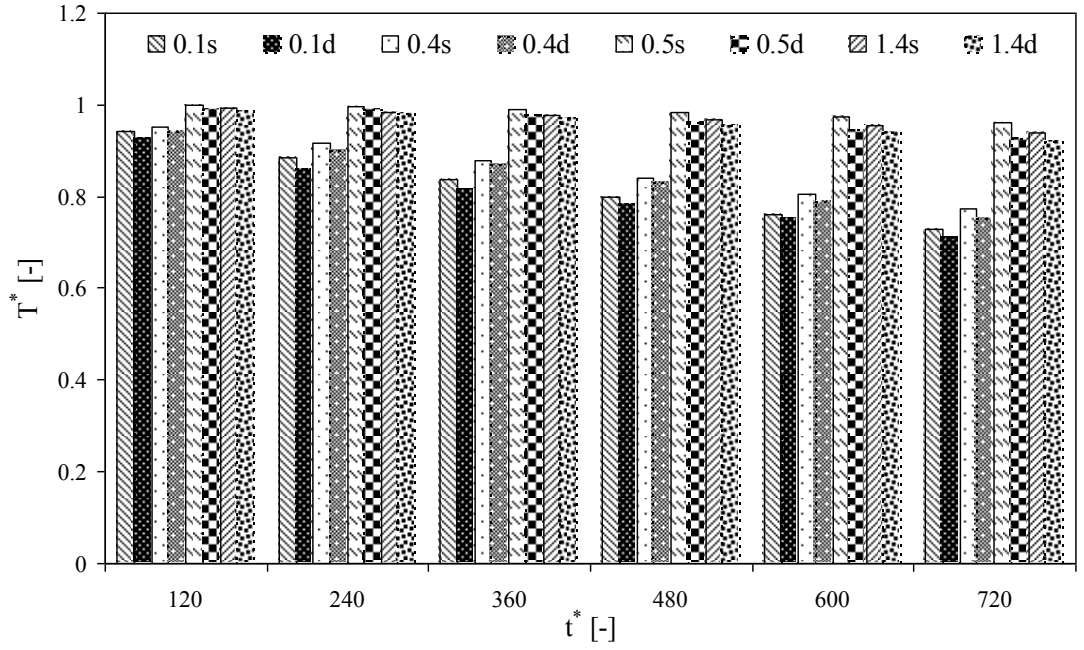
Şekil I.11 : $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



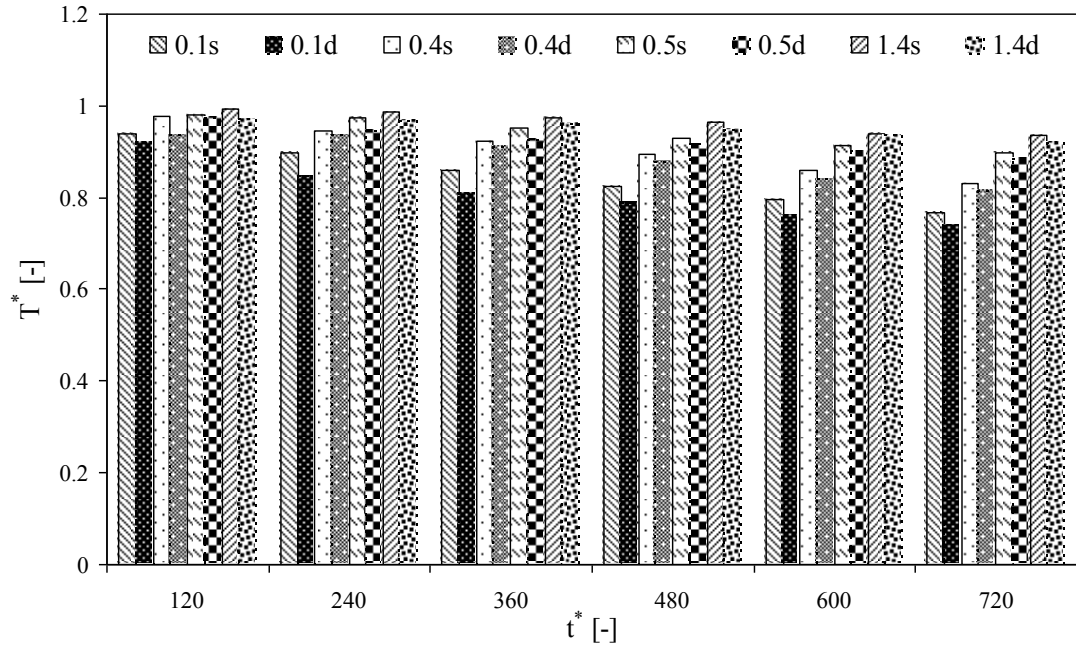
Şekil I.12 : $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



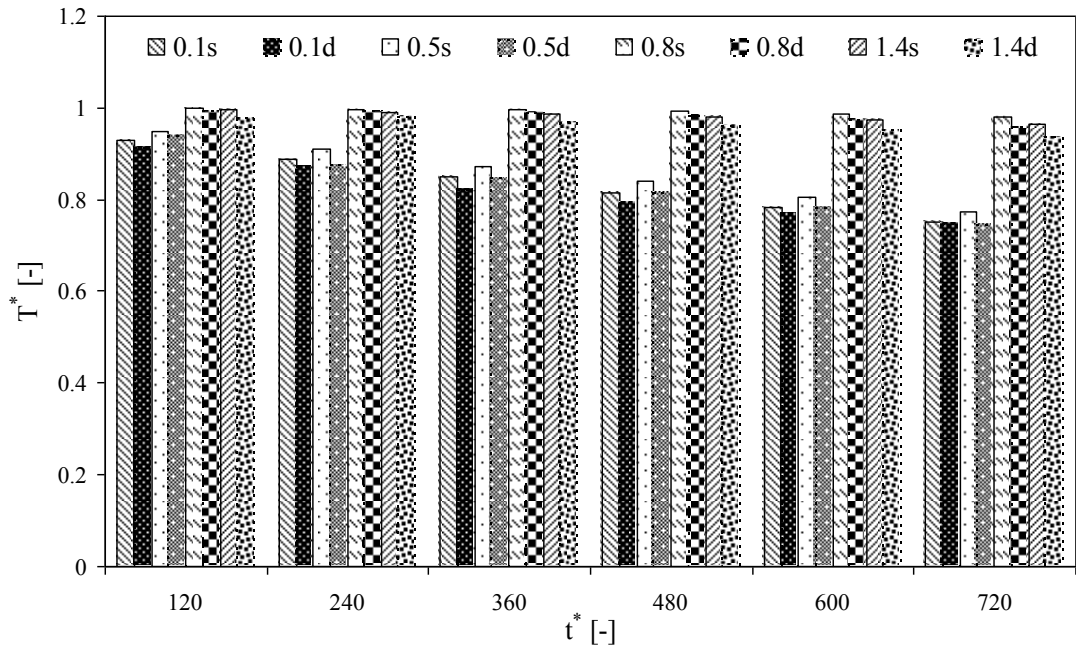
Şekil I.13 : $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



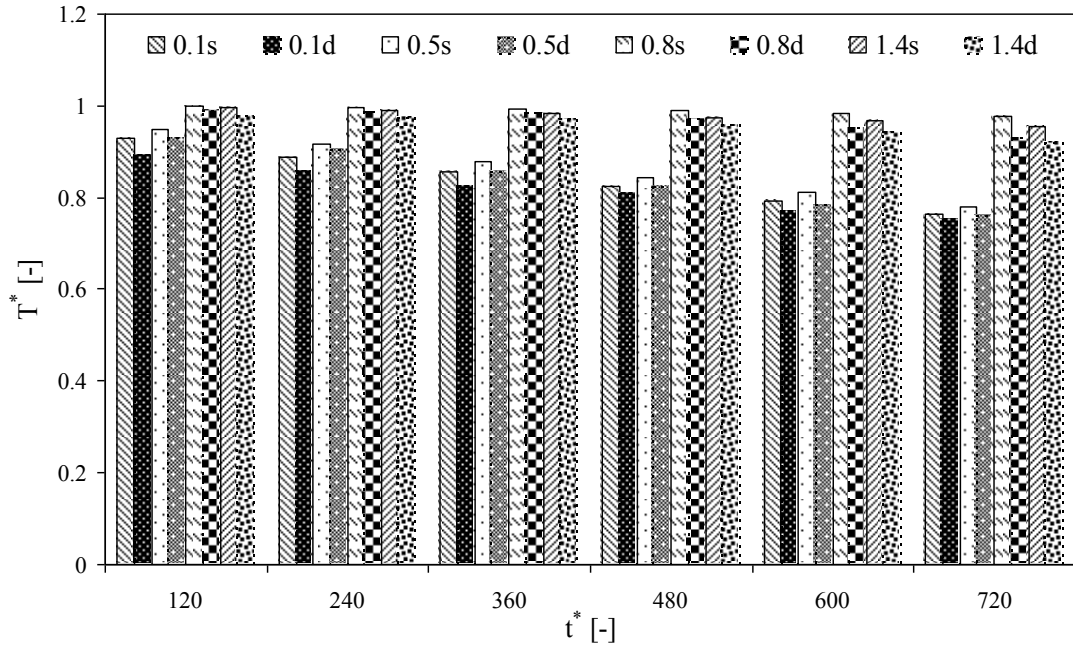
Şekil I.14 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



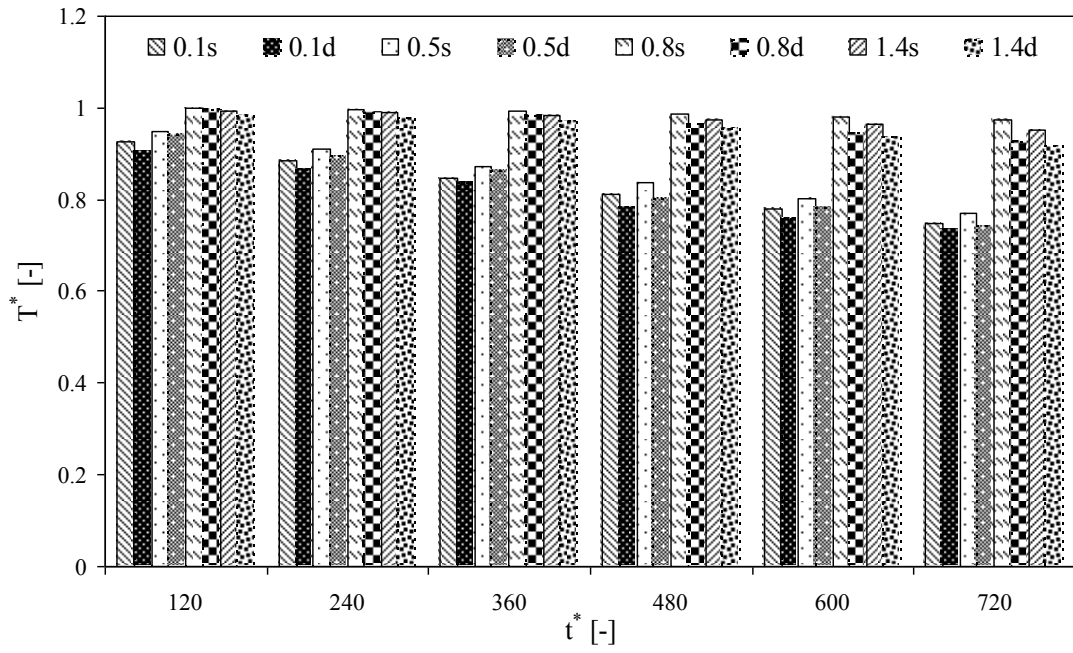
Şekil I.15 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.27$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



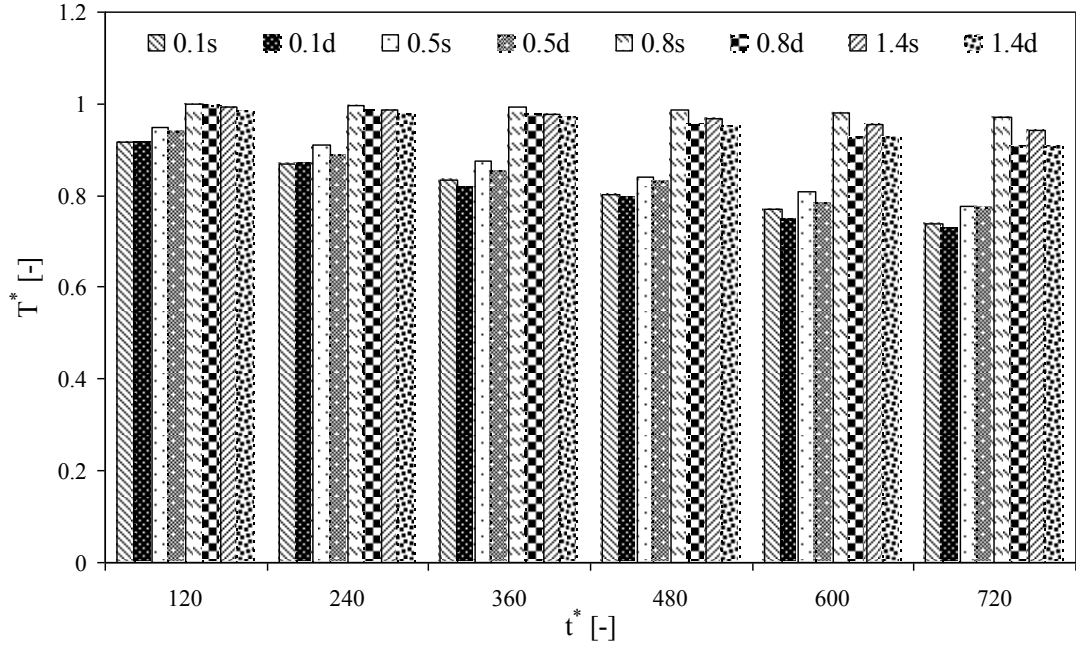
Şekil I.16 : $g/D = 0.1$ ve $f/H = 0.33$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



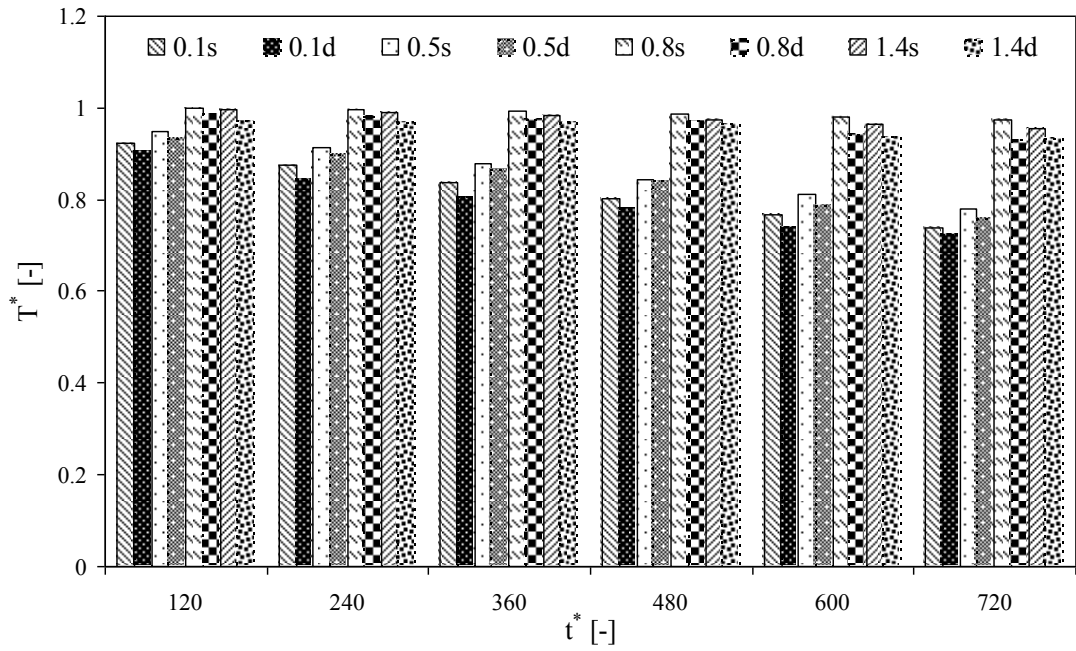
Şekil I.17 : $g/D = 0.2$ ve $f/H = 0.33$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



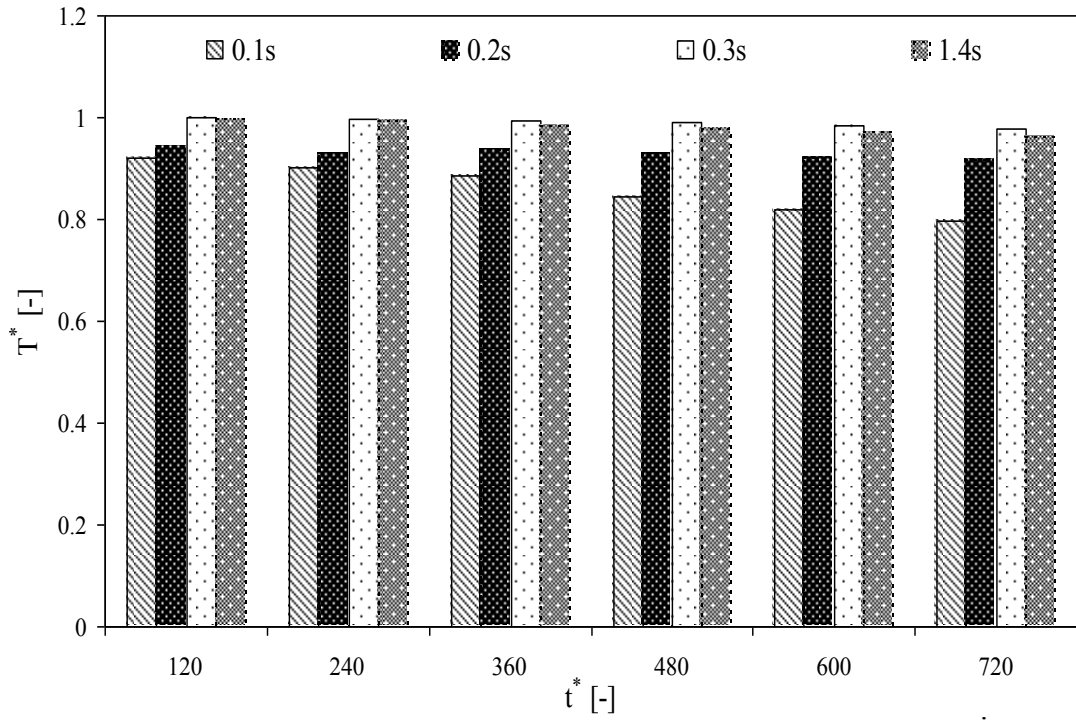
Şekil I.18 : $g/D = 0.3$ ve $f/H = 0.33$ Granlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



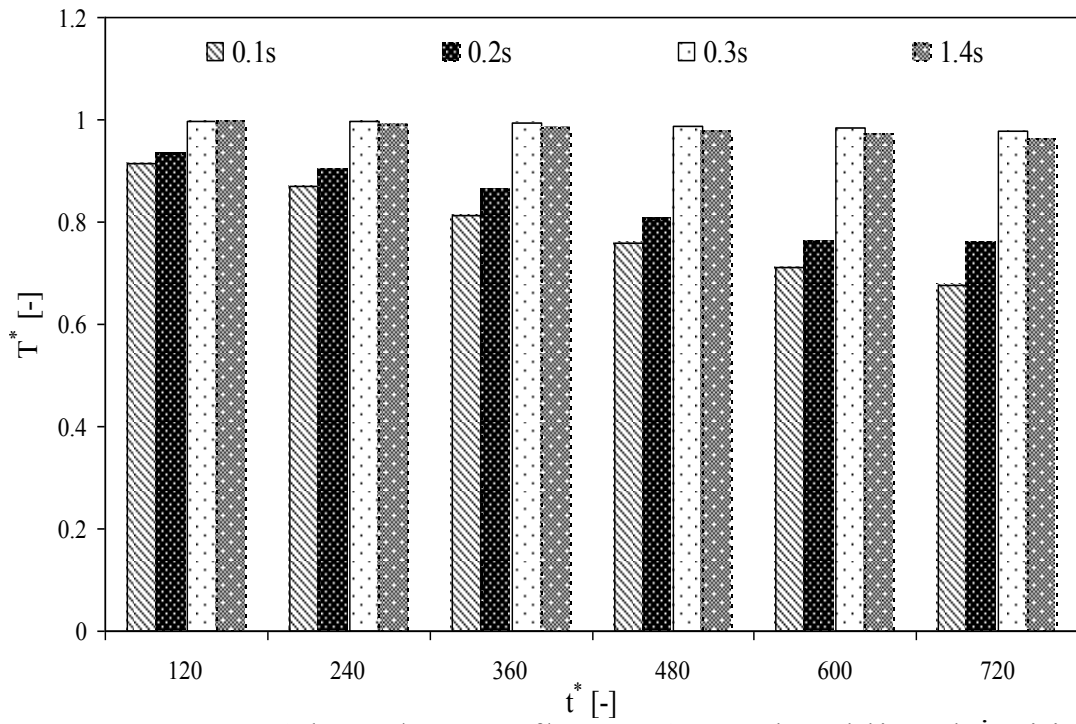
Şekil I.19 : $g/D = 0.4$ ve $f/H = 0.33$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



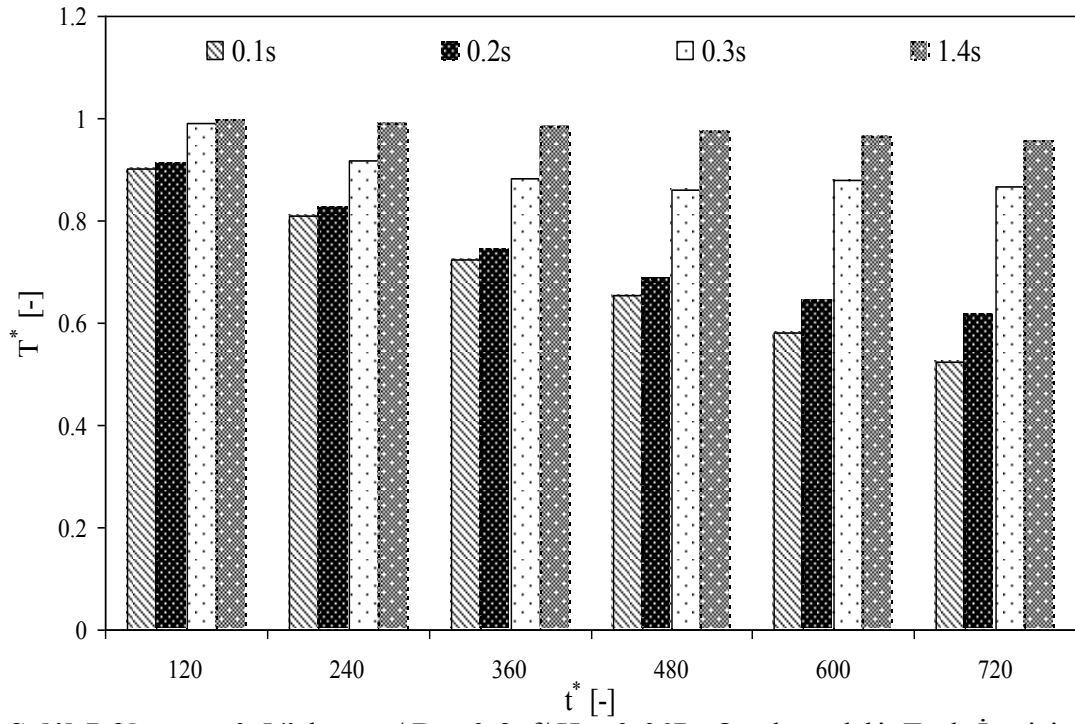
Şekil I.20 : $g/D = 0.5$ ve $f/H = 0.33$ Oranlarında Tank İçerisindeki Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılımı



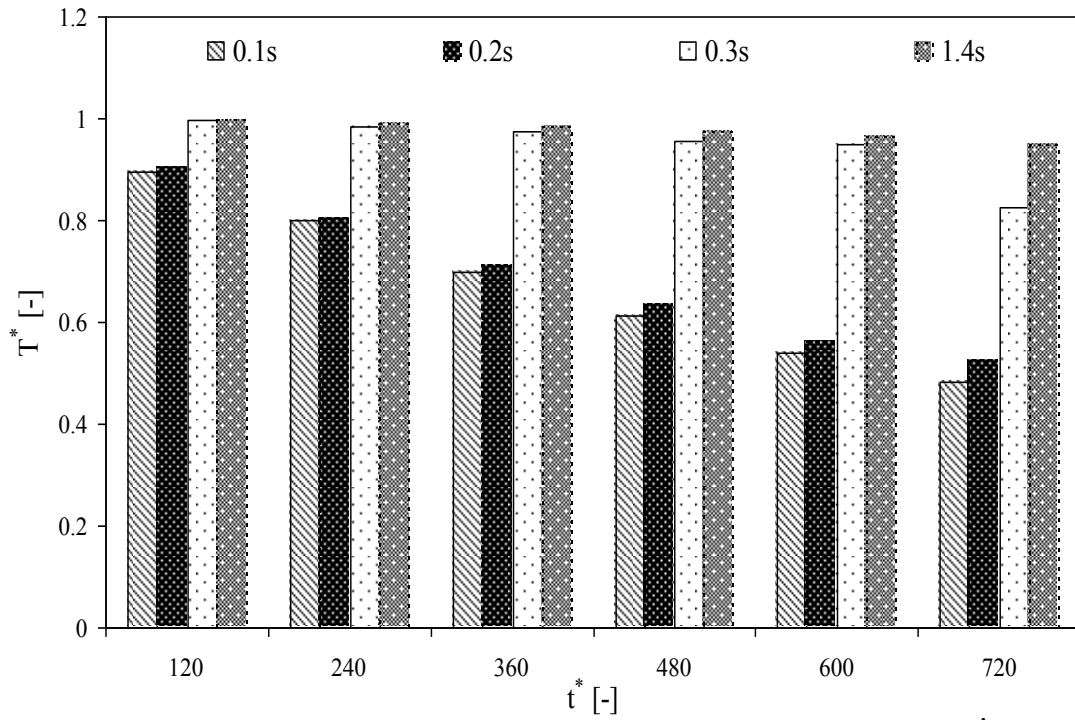
Şekil I.21 : $R=8.65^\circ$ de ve $g/D=0.2$ $f/H=0.067$ Oranlarındaki Tank İçerisinde Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılım



Şekil I.22 : $R=2.16^\circ$ da ve $g/D=0.2$ $f/H=0.067$ Oranlarındaki Tank İçerisinde Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılım



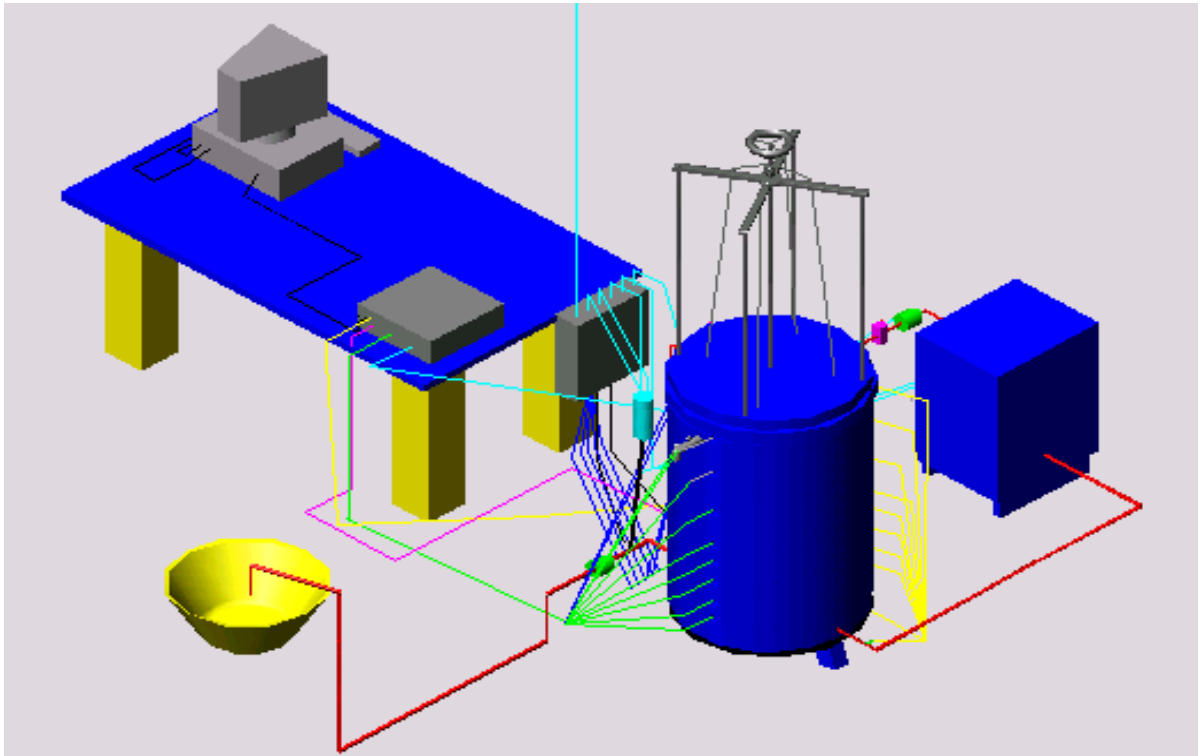
Şekil I.23 : $R=0.54$ 'de ve $g/D=0.2$ $f/H=0.067$ Oranlarındaki Tank İçerisinde Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılım



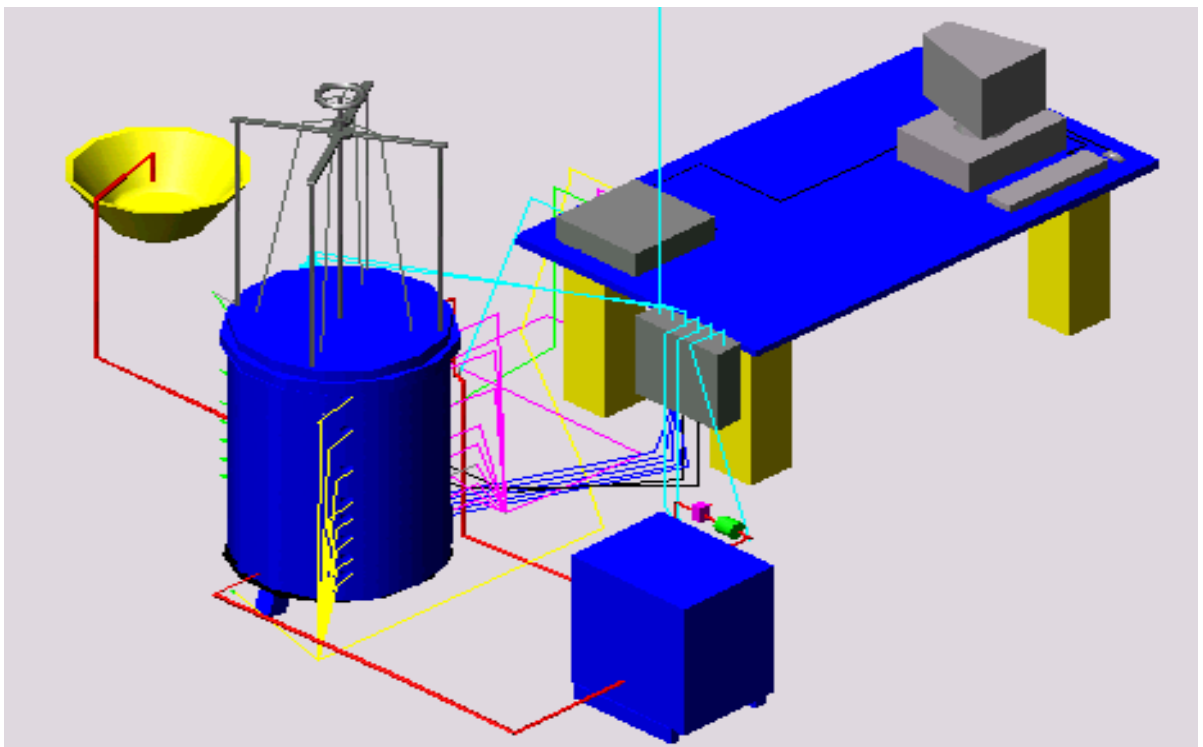
Şekil I.24 : $R=0.35$ 'de ve $g/D=0.2$ $f/H=0.067$ Oranlarındaki Tank İçerisinde Sıcaklık Değerlerinin Grafik Bar Üzerinde Dağılım

EK J:

**DENEY DÜZENİĞİNİN PERSPEKTİF GÖRÜNÜŞLERİ VE FOTOĞRAF
RESİMLERİ**



Şekil J.1: Deney Düzeneklerinin Perspektif Görünüşü 3



Şekil J.2: Deney Düzenekini n Perspektif Görünüşü 4



Şekil 1.3: Deney Düzenegi Resi m1



Şekil 1.4: Deney Düzenegi Resi m2



Şekil 1.5: Deney Düzenegi Resi m3



Şekil 1.6: Deney Düzenegi Resi m4



Şekil 1.7: Deney Düzenegİ Resi m5

ÖZGEÇMİŞ

Mevlüt ARSLAN 10 Nisan 1971 yılında Yozgat'ta doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Yozgat'ta tamamladıktan sonra 1988 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1992'de lisans diploması ile bu bölümden mezun oldu. 1992 Eylül döneminde O D T Ü Makine Mühendisliği bölümü Yüksek Lisans programını kazandı. Bir yıl süreyle O D T Ü Yabancı Diller Yüksekokulunda İngilizce kursuna katıldı. Bu kursu başarı ile tamamladıktan sonra, Makine Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans programına başladı. 06 Ekim 1993'te MAKSAM A.Ş.'de mühendis olarak çalışmaya başladı ve hem çalışma hayatını hem de yüksek lisans eğitimi birlikte devam ettirdi. Bu şirketten 25 Kasım 1994 tarihinde ayrıldı. 01.01.1995'te Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1995 yılının Bahar döneminde Yüksek Lisans programını Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında devam ettirmeye başladı. 12 Şubat 1998 tarihinde Erciyes Üniversitesi Rektörlüğünün görevlendirme sonucunda, 'Güneş Enerjisi ile Su Damıtma' konusunda araştırma yapmak için Amerika Birleşik Devletleri Nevada Üniversitesi'ne gönderildi ve bu üniversitede altı ay araştırma yaptı. Yurt dışından döndükten sonra 1998 yılında Gazi Üniversitesi'nde yüksek lisans programını tamamladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde doktora programına başladı. Halen Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.