T.C
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU TANKININ İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN ÇEŞİTLİ GEOMETRİLERDEKİ ENGELİN SICAKLIK TABAKASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Yavuz KÜÇÜK

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2008
KAYSERİ

T.C
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU TANKININ İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN ÇEŞİTLİ GEOMETRİLERDEKİ ENGELİN SICAKLIK TABAKASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Yavuz KÜÇÜK

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2008
KAYSERİ

Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN danışmanlığında **Yavuz KÜÇÜK** tarafından hazırlanan **"Güneş Enerjili Sıcak Su Tankının İçerisine Yerleştirilen Çeşitli Geometrilerdeki Engelin Sıcaklık Tabakasına Etkisinin İncelenmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

27/08/2008

JÜRİ:

Başkan: Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Üye : Prof. Dr. Sabahattin ÜNALAN

Üye : Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 29/08/2008 tarih ve 2008/27-25 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

29 / 08 / 2008

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim dalı öğretim üyesi Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN ile manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve nişanlıma teşekkür ederim.

GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU TANKININ İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN ÇEŞİTLİ GEOMETRİLERDEKİ ENGELİN SICAKLIK TABAKASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yavuz KÜÇÜK
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2008
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

ÖZET

Bu çalışmada, güneş enerji sistemlerinde kullanılan ve ısıl enerjiyi depolamaya yarayan sıcak su tankının içerisine yerleştirilen çeşitli geometrilerdeki engellerin sıcaklık tabakasına etkisi incelendi. Bu çalışmanın amacı, tank içerisindeki sıcaklık farkından oluşan sıcaklık tabakasına, girişin karşısına yerleştirilen farklı boyuttaki düzlemlerin etkisini incelemektir.

Sıcaklık tabakasının maksimum olduğu durumu bulmak için suyun tanka giriş debisi, engel çapı ve engelin girişe uzaklığı değiştirildi. Suyun alttan giriş yaptığı ve üstten çıktığı düşey tip sıcak su tankı kullanıldı. Çözümler zamana bağlı iki boyutlu aksisimetrik olarak yapıldı. Giriş debileri, 0.085 m/s, 0.106 m/s, 0.142 m/s, 0.213 m/s, 0.425 m/s; engel boyu, 0.10 m, 0.15 m, 0.18 m; engelin girişe uzaklığı 0.04 m, 0.08 m, 0.12 m, 0.16 m, 0.20 m, 0.24 m, 0.28 m, 0.32 m, 0.36 m, 0.40 m ve 0.44 m olarak alındı ve hesaplamalar yapıldı. Sayısal hesaplamalar için FLUENT programı kullanıldı.

Çalışmalarda, giriş karşısına konulan engellerin, engelsiz tank modeline göre daha iyi sıcaklık tabakası oluşturduğu tespit edildi. Değişken debilerde en iyi sıcaklık tabakasının, düşük debide ve girişe yakın konumlandırılan engellerle oluştuğu belirlendi. Engelin girişten uzaklaştığı konumlarda sıcaklık tabakasında bozulmalar meydana geldiği ve engel boyunun sıcaklık tabakasına etkisinin küçük olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Sıcak Su Tankı, Sıcaklık Tabakası, Engel, Giriş Debisi

THE INVESTIGATION THE EFFECT OF THE DIFFERENT SHAPED PLATES REPLACED INSIDE THE SOLAR ENERGY HOT WATER TANK ON THE THERMAL STRATIFICATION

Yavuz KÜÇÜK
Erciyes University, Graduate School of Natural And Applied Sciences
M.Sc. Thesis, August 2008
Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Veysel ÖZCEYHAN

ABSTRACT

In this work, it has been investigated the effect of the different shaped plates replaced inside the hot water tank used to store the energy for solar energy systems and storaged the solar energy on the thermal stratification. The aim of this work is to investigate the effect of the different shaped plates replaced the across of the inlet on the thermal stratification caused by temperature difference.

In order to find the conditions where thermal stratification is maximum, inlet flow of the water, radius of the water and distance between plate and inlet has been changed. The vertical type water tank that water enter to bottom and exit from the top has been used for calculations. (hesaplamalara icin kullanildi yazdim. sen ne icin oldugunu yazamamisin). Th solutions has been made as time dependent two dimensional axial-symmetrycal. (Turkcesi pek dogru degil). The inlet flow has been choosen as 0.085 m/s, 0.106 m/s, 0.142 m/s, 0.213 m/s, 0.425 m/s; the length of plate; 0.10 m, 0.15 m, 0.18 m; the the distance plate from the inlet; 0.04 m, 0.08 m, 0.12 m, 0.16 m, 0.20 m, 0.24 m, 0.28 m, 0.32 m, 0.36 m, 0.40 m ve 0.44 m has been taken and done calculations. For these calculations program FLUENT has been used.

It has been observed in this work, the models used the plates replaced across the inlet can obtain the better thermal stratification than the models used no plates. For variable flows, the best thermal stratification can be obtained by plates replaced near the inlet and at low flows. It has been also observed that the plates located far from the inlet cause the destroying on the thermal stratification and the length of the plate has small effect on the thermal stratification for these plates.

Keywords: Hot water tank, thermal stratification, plate, inlet flow

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY i

TEŞEKKÜR.....ii

ÖZET.....iii

ABSTRACT.....iv

KISALTMALAR VE SİMGELER.....vii

ŞEKİLLER LİSTESİ viii

1. BÖLÜM

TÜRKİYE'DE ENERJİ VE ÖNEMİ.....1

1.1. Giriş.....1

1.2. Türkiye'de Enerji Kaynakları 2

2. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....4

2.1. Güneş Enerjisi.....4

2.2. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Avantajları.....4

2.3. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Dezavantajları.....5

2.4. Güneş Enerjisinin Toplanması ve Depolanması.....5

2.5. Isıl Enerji Depolama.....6

2.6. Güneş Enerjisi Teknoloji Uygulamaları.....7

2.7. Güneş Kollektörlü Sıcak Su Sistemleri.....8

2.7.1. Kollektörler.....10

2.7.2. Depolar.....11

2.8. Tezin Amacı ve Önemi.....14

2.9. Literatür Araştırması.....15

3. BÖLÜM

SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE MATEMATİKSEL MODEL……...24

3.1. Sayısal Çözüm Yöntemi……..24

3.2. Matematiksel Model……26

3.3. Fiziksel Özellikler ve Sınır Şartları…….30

3.4. Yakınsama……...31

4. BÖLÜM

ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE İRDELEME……..32

4.1. Doğrulama……...32

4.2. İrdeleme……...33

5. BÖLÜM

SONUÇLAR……....51

KAYNAKLAR……52

EKLER

EK-1. Değişken Debilerde Engelli ve Engelsiz Tank Modeli İçin Sıcaklık Dağılımları (V= 0.04 m^3, d_E = 0.15 m, x = 0.04 m) ……...…57

EK-2. Değişken Engel Konumlarında Engelli ve Engelsiz Tank Modelleri İçin Sıcaklık Dağılımları (Q = 0.085 m/s, V= 0.04 m^3, d_E = 0.15 m)……63

ÖZGEÇMİŞ…….75

KISALTMALAR VE SİMGELER

Q	: Suyun tanka giriş debisi
d_E	: Engel çapı
x	: Engelin girişe uzaklığı
H	: Tankın yüksekliği
d_T	: Tank çapı
$d_{gir}, d_{çık}$	: Giriş ve çıkış borusunun çapı
ρ	: Yoğunluk
V_r, V_θ, V_z	: r, θ, z yönündeki hız bileşeni
t	: Zaman
P	: Basınç
β	: Isıl genleşme katsayısı
g_r	: radyal yöndeki yerçekimi kuvveti
r	: radyal koordinat
g_θ	: θ yönündeki yerçekimi kuvveti
μ	: Dinamik viskozite
k	: Isı iletim katsayısı
ε	: Türbülans kinetik enerji dağılım oranı
k_t	: Türbülans kinetik enerji
C_p	: Özgül ısı
G_k	: Hız gradyantından dolayısıyla türbülans kinetik enerji oluşumu
G_b	: Batmazlıktan dolayı türbülans kinetik enerji oluşumu
g_x	: x yönündeki yerçekimi kuvveti
Pr_t	: Enerji için türbülans Prandtl sayısı
Y_M	: Kısmi genleşme dalgalanması
M_t	: Türbülans Mach sayısı
a	: Ses hızı
T_{gir}	: Tanka giren suyun sıcaklığı
T_{ilk}	: Tanktaki suyun ilk sıcaklığı
T	: Tanktaki suyun son sıcaklığı
Φ	: Isı üretimi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Parabolik Oluk Kollektörler……...8

Şekil 2.2. Doğal Sirkülasyonlu Güneş Enerjili Sıcak Su Sitemleri Çeşitleri……...10

Şekil 2.3. Kollektör Kesit Görünüşü……11

Şekil 2.4. Açık Devre Doğal Sirkülasyonlu Şamandıralı Sistem…….12

Şekil 2.5. Kapalı Devre Doğal Sirkülasyonlu Şamandıralı Sistem……..12

Şekil 2.6. Kapalı Devre Doğal Sirkülasyonlu Şamandıralı Sistem……..13

Şekil 2.7. Kapalı Devre Cebri Sirkülasyonlu Tek Serpantinli Sistem…….13

Şekil 2.8. Kapalı Devre Cebri Sirkülasyonlu Çift Serpantinli Sistem…….14

Şekil 2.9. Çalışmada Kullanılan Mantolu Test Tankı……..15

Şekil 2.10. Hegazy Ve Ark. Tarafından Yapılan Çalışmadaki Tank Modelleri……16

Şekil 2.11. Düşey Mantolu Güneş Enerjili Su Isıtıcısı……...……...17

Şekil 2.12. Zachar Ve Ark. Çalışmasında Kullandığı Deney Seti…….18

Şekil 2.13 Zachar Ve Ark. Çalışmasında Kullandığı Tankların Şematik Görünümü……19

Şekil 2. 14. Güneş Enerjili Sıcak Su Tankının Kesit Görünüşü……..21

Şekil 3.1. Ağ Yapısının Şematik Gösterimi…….26

Şekil 3.2. Tankın Şematik Görünümü……..27

Şekil 4.1. Düşey Sıcaklık Tabakalaşması Bu çalışma ve Ref [19] Kullanıldı…….32

Şekil 4.2. Q = 0.085 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası……...……34

Şekil 4.3. Q = 0.106 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası……...……35

Şekil 4.4. Q = 0.142 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası……...35

Şekil 4.5. Q = 0.213 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası……...36

Şekil 4.6. Q = 0.425 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası……...37

Şekil 4.7. Farklı Debilerde Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi……..38

Şekil 4.8. Farklı Debilerde Sıcaklık Dağılımları……..38

Şekil 4.9. Q = 0.085 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi……..…….39

Şekil 4.10. Q = 0.085 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Sıcaklık Dağılımları…..…..40

Şekil 4.11. Q = 0.142 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi……...40

Şekil 4.12. Q = 0.142 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Sıcaklık Dağılımları……..41

Şekil 4.13. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi……...42

Şekil 4.14. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi….....43

Şekil 4.15. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi……...43

Şekil 4.16. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi……...44

Şekil 4.17. x = 0.04 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi…..…..45

Şekil 4.18. x = 0.08 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……45

Şekil 4.19. x = 0.12 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……46

Şekil 4.20. x = 0.16 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....46

Şekil 4.21. x = 0.20 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....47

Şekil 4.22. x = 0.24 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....47

Şekil 4.23. x = 0.28 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....48

Şekil 4.24. x = 0.32 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....48

Şekil 4.25. x = 0.36 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....49

Şekil 4.26. x = 0.40 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....49

Şekil 4.27. x = 0.44 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi……....50

Şekil EK-1.1. Q = 0.085 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...58

Şekil EK-1.2. Q = 0.106 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...59

Şekil EK-1.3. Q = 0.142 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...60

Şekil EK-1.4. Q = 0.213 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...61

Şekil EK-1.5. Q = 0.425 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...62

Şekil EK-2.1. x = 0.04 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...64

Şekil EK-2.2. x = 0.08 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...65

Şekil EK-2.3. x = 0.12 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...66

Şekil EK-2.4. x = 0.16 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...67

Şekil EK-2.5. x = 0.20 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...68

Şekil EK-2.6. x = 0.24 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...69

Şekil EK-2.7. x = 0.28 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...70

Şekil EK-2.8. x = 0.32 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...71

Şekil EK-2.9. x = 0.36 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……...72

Şekil EK-2.10. x = 0.40 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……..73

Şekil EK-2.11. x = 0.44 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları……..74

1. BÖLÜM

TÜRKİYEDE ENERJİ VE ÖNEMİ

1.1. Giriş

Türkiye'nin gelişen teknoloji ve nüfus artışı sebebiyle sürekli artan enerji talebini karşılayabilecek bir üretim gerçekleştirememesi, enerjiyi ithal etmesine sebep olmuştur. Tablo 1.1'den görülebileceği gibi, Türkiye 2000 yılında enerji ihtiyacının ancak % 32'sini kendi kaynaklarıyla karşılayabilmekte iken 2006 yılında bu oran % 27 seviyesine düşmüştür. Enerji yatırımlarının toplam sabit yatırımlardaki payı 1980 – 1989 döneminde % 12,4 iken, 1990 sonrasında bu oran % 5'in altına düşmüştür. İzleyen yıllarda yerli kaynaklara dayanan enerji üretimi yerinde saymıştır. 1995'te enerji ithali (ham petrol, doğal gaz, elektrik, kömür) 4,6 milyar dolar ile toplam ithalâtta yüzde 13 paya sahip iken, 2000'de 9,5 milyar dolar ile payını % 17,5'e, 2005' te 21,2 milyar dolarla payını % 18,2' ye, 2006 yılında ise 28,6 milyar dolarla payını % 21' e çıkarmıştır [1-3]. İyimser tahminlere dayanılarak, 2020 senesinde birincil enerji kaynaklarımıza dayanan toplam enerji üretiminin 70.238. 000 Tep, enerji tüketiminin ise 298.448.000 Tep olacağı değerlendirilmektedir. Bu durumda 2020 yılında ülkemiz, üreteceği birincil enerji kaynaklarından % 325 mislini ithal etmek mecburiyetinde kalacak; yani bir başka deyişle, üretimimizin tüketimimize oranı % 23,5'e kadar düşecektir [4].

Enerji kaynaklarımızın verimli kullanılamaması ve enerji yatırımlarına gereken önemin verilmemesi nedeniyle giderek artan bu enerji açığı ve ithalatı ekonomimizi de olumsuz yönde etkilemiş, üretim maliyetlerine önemli miktarda artış getirmiştir. Ülkemiz ithalatının yaklaşık üçte birini ihtiyaç duyduğu enerji oluşturmaktadır. Yani dışa bağımlılığın ana sebeplerinin başında enerji üretimimizdeki sıkıntıdır. Gelişmekte olan ülkemizin küresel rekabet içerisinde öne çıkması ancak ucuz ve kaliteli sanayi ürünlerinin üretimi ve ihracı ile mümkün olabilir. Bunun içinde en önemli şart enerjinin

üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması ve kendi kaynaklarımızın verimli kullanılması ile mümkündür.

Tablo1.1. 2000 ve 2006 Yılında Türkiye'de Enerji Üretim ve Tüketim Düzeyleri [1].

ENERJİ KAYNAKLARI	ÜRETİM (2000 Yılı)	TÜKETİM (2000 Yılı)	ÜRETİM (2006 Yılı)	TÜKETİM (2006 Yılı)
Taşkömürü	1.060	9.933	1.348	14.721
Linyit	11.418	12.519	11.545	11.188
Doğal gaz	581	13.728	839	28.867
Petrol	2.886	32.297	2.284	32.551
Hidrolik	2.721	2.721	3.886	3.886
Jeotermal	648	648	1.081	1.081
Rüzgâr	3	3	11	11
Güneş	262	262	403	403
Odun	5.081	5.081	4.023	4.023
Hayvan ve Bitki Artıkları	1.376	1.376	1.146	1.146
Toplam (Bin Tep)	26.047	80.500	27.763	99.825

1.2. Türkiye'de Enerji Kaynakları

Enerji kaynaklarını birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Birincil enerji kaynakları, petrol, doğal gaz, kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynakları ve hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. İkincil enerji kaynağı ise elektriktir.

Türkiye'de de dünyada olduğu gibi enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı fosil yakıtlar (petrol, doğal gaz) ve kömür ile karşılanmaktadır. Bu kaynakların ise 50 yıllık bir ömrünün kaldığının tahmin edilmesi alternatif enerji kaynakları üzerinde durulmasına ve bu konuda çalışmaların yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Ayrıca kendini sınırsız tekrarlayan ve hammadde bağımlısı olmayan çevre dostu alternatif enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, jeotermal enerji, biyomas gibi enerjiler ön planda olup bunların içerisinde en yaygın

olan ve bilinen en eski kaynak güneştir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli Tablo 1.2' de görülmektedir.

Tablo 1.2. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyelleri [5].

KAYNAKLAR	Brüt	Teknik	Ekonomik (kullanılabilir)
Hidrolik Enerji			
(MW)	107.500	53.750	34.862
(milyar kWh/yıl)	430	215	124,5
Jeotermal Enerji			
Isı (MW)	31.500	7.500	2.843
(Mtep/yıl)	-	5,4	1,8
Elektrik (MW)	4.500	500	350
(milyar kWh/yıl)	-	-	1,4
Güneş Enerjisi			
Isı + Elektrik (MW)	111.500.000	1.400.000	116.000
(milyar kWh/yıl)	977.000	6.105	305
(Mtep/yıl)	80.000	500	25
Rüzgâr Enerjisi			
Elektrik (MW)	220.000	55.000	20.000
(milyar kWh/yıl)	400	110	50
Klasik Biomas Enerji			
Yakıt (Mtep/yıl)	30	10	7
Modern Biomas			
Yakıt (Mtep/yıl)	90	40	25

2. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve dünya atmosferinin dışında şiddeti sabit 1370 W/m^2, yeryüzünde ise 0-1100 W/m² değerleri arasında olan yenilenebilir bir enerjidir [6].

Dünyanın en bol ve temiz enerji kaynağının güneş enerjisi olduğu kuşkusuzdur. Alışılmamış ya da alternatif enerji kaynakları denilen yeni ve yenilenebilir ya da tükenmez enerji kaynaklarının başta geleni, güneş enerjisidir. Aynı grupta yer alan rüzgâr enerjisi, deniz dalga enerjisi, okyanus sıcaklık-farkı enerjisi, biokütle enerjisi, güneş enerjisinin türevleridir. Alışılmış tükenmez kaynak olan akarsu-gücü, güneş enerjisiyle gerçekleşen su çevriminden kaynaklanır. Jeolojik çağlar öncesi oluşan fosil yakıtlar bile, temelde biokütlenin dönüşümüyle ortaya çıkmış olduklarından, jeolojik olarak depolanmış güneş enerjisi varsayılırlar. Kısacası, pek çok doğal enerji kaynağının kökeni güneş enerjisidir.

Dünya için sonsuz bir enerji kaynağı kabul edilen güneşten, bir yılda dünyaya aktarılan enerji, dünyadaki mevcut kömür rezervlerinin enerjisinin 150 katından fazladır. Bu temiz ve tükenmez enerji kaynağından olabildiğince yararlanma fikri, son yıllarda ülkemizin de bulunduğu 45° kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan ve "Güneş Kuşağı" denilen ülkeler başta olmak üzere, bütün dünyada ilgi çekmiştir [7].

2.2. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Avantajları

- Güneş enerjisi bol ve tükenmeyen enerji kaynağıdır.

- Temizdir çevreyi kirletici, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur.

• Yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür.

• Dışa bağlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.

• Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır.

• İşletme masrafları çok azdır.

2.3. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Dezavantajları

• Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.

• Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkânları ise sınırlıdır.

• Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.

• Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekir.

• Güneş ışınımından yararlanılan birçok tesisatın ilk yatırım maliyeti fazladır ve henüz bazıları ekonomik değildir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının süreksiz olması nedeniyle bu enerji kaynaklarından sürekli bir şekilde yararlanılabilmesi için üretilen enerjinin depolanması gerekir. Enerjinin depolanması mühendisliğin önemli uygulamalarından biridir ve bu konuda kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır.

2.4. Güneş Enerjisinin Toplanması ve Depolanması

Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için öncelikle toplanması gerekir. Bu toplama işlemi ısıl ve elektriksel olmak üzere iki değişik yolla yapılmaktadır. Basitlik ve ucuzluk gibi nedenlerden ısıl toplama yöntemi yeğlenmektedir. Isıl özelliğinden yararlanarak güneş radyasyonunu toplamada kullanılan ısıl güneş kollektörlerinin; düz yüzeyli ve yoğunlaştırmasız güneş kollektörleri, odaklayıcı ve yoğunlaştırmalı güneş kollektörleri,

güneş havuzları olmak üzere üç tipi vardır. Güneş enerjisini elektriksel olarak toplayan fotovoltaikler ise ışık özelliğinden yararlanmakta ve ışık enerjisinin fotonlarını fotoelektriksel olay gereğince elektrik enerjisine dönüştürmektedirler.

Güneş enerjisinin depolanması ise bir değişim ya da çevrimle elde edilen ikincil enerjinin depolanması biçiminde gerçekleşmektedir. Depolama işlemleri ısıl, mekaniksel, kimyasal ve elektriksel yöntemlerle yapılır. Isıl depolamada, özgül ısı kapasitesi yüksek ve kolay bulunur ucuz materyaller kullanılır. Su, yağ, çakıl taşı yatakları bunlar arasındadır. Isıl depolama için gizli ısı kapasiteli, parafin gibi faz değişim materyallerinden de yararlanılır. Mekaniksel depolamada güneşle çalıştırılan bir pompa ya da kompresör tarafından basılan yüksek basınçlı akışkan uygun bir ortamda toplanır. Kimyasal depolamada hidrat tuzlardan yararlanılır. Elektriksel depolama bataryalarla yapılır. Bu amaçla kurşun-asitli akümülatörler, nikel-kadmiyum tipi kuru bataryalar ve sodyum-sülfür bataryaları kullanılır [6].

2.5. Isıl Enerji Depolama

Duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama olmak üzere ikiye ayrılır. Isının, maddenin sıcaklığının değişimi yoluyla depolanmasına "duyulur ısı depolama", faz değişimi yoluyla depolanmasına da "gizli ısı depolama" denir.

Duyulur ısı depolamada maddenin ısı kapasitesinin büyük olması yanında, yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, maddenin uzun süre (10-15 yıl) özelliklerini koruması, zehirli ve korozif olmaması istenir. Aynı zamanda depolama malzemesinin kolay elde edilebilir ve ucuz olması gerekir. Elde edilebilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle daha çok su ve çakıl taşı tercih edilmektedir. Bazı deneylerde fındıkkabuğu, bulaşık teli gibi malzemeler de kullanılmıştır. Sıvılı sistemlerde su, hava akışkanlı sistemlerde ise çakıl taşları daha uygundur.

Duyulur ısı depolama uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan madde sudur. Su ile duyulur ısı depolamanın birçok üstünlüğü vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir.

- Ucuzdur ve kolay temin edilir.
- Zehirleyici ve yanıcı değildir.

- Enerji depolamasından yararlanılırken aynı zamanda enerji toplayıcı akışkan olarak da kullanılabilir.

- Isı kapasitesi yüksektir.

- Isıtma ve soğutma sistemleri için gerekli sıcaklık aralığında kararlı bir sıvı-buhar dengesine sahiptir.

- Isı transferi ve akışkan dinamiği iyi bilinmektedir [8].

2.6. Güneş Enerjisi Teknoloji Uygulamaları

Güneş enerjisi sürekli yenilenen ve masrafsız olması bakımından geniş bir kullanım alanına sahiptir. Su ısıtma basta olmak üzere kurutma, pişirme, ortam ısıtma, elektrik üretme, su distilasyonu, aktif olarak yapılarda hacim ısıtma ve serinletme (iklimlendirme), soğutma, toplam enerji sistemleri ile ısı ve elektriği birlikte üretme, sulama suyu pompajı, endüstriyel işlem ısısı üretme, fotokimyasal ve fotosentetik çevrimler gibi pek çok alanda güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Bu uygulamaların bazılarında enerji depolamaya gerek duyulurken, bazı uygulamalarda kesintili veya alternatif üretim koşulları yeterli görülerek, depolamaya gereksinim duyulmamaktadır.

Güneş enerjisi teknolojileri, ısıl sistemler ve elektriksel sistemler olarak da sınıflandırılabilir. Isıl sistemlerin düşük ve yüksek sıcaklık uygulamaları vardır. Düşük sıcaklık ısıl sistemler grubunda, hem direkt hem difüz güneş ışınımını kullanarak düşük sıcaklıkta ısı enerjisi üreten üniteler yer alır. Bu grubun en temel uygulaması düzlemsel güneş kollektörleridir. Düzlemsel güneş kolektörleri, evler, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için sıcak su sağlar. Ayrıca, evlerin ve ticari binaların ısıtılmasında kullanılabilir. Bu konudaki Ar-Ge çalışmaları sürmekle birlikte, tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar. Yüksek sıcaklık ısıl sistemler, odaklı kollektör uygulamaları olup, pişirmeden güneş termik santrallerine ve güneş fırınlarına dek çeşitli uygulamaları kapsar.

Yüksek sıcaklık uygulamalarında odaklı ve yoğunlaştırmalı güneş kollektörleri kullanılır. İçbükey aynaya benzeyen bu kollektörler değişik parabolik biçimlerde yapılır ve yalnızca direkt güneş radyasyonunu değerlendirirler. 100-200 °C sıcaklıklı

uygulamalarda, mevsimlik ayarlanma isteyen, güneşi izlemesiz, uzunlamasına silindirik odaklı kollektörler kullanılır. Bu tür kollektörlerin 200 ^{o}C' yi aşan uygulamalarda kullanılanlarının gün boyu güneşi izleyecek biçimde hareketli olmaları gerekir. Çanak tipi odaklı kollektörler ise her sıcaklık kademesinde güneşi izlemek zorundadır. Çanak tipi kollektörlerle 300 ^{o}C' yi aşan sıcaklıklar elde olunmaktadır. Söz konusu odaklı kollektörlerden farklı bir yapıya sahip yüksek sıcaklıklı, güneşi izlemesiz kollektörlerin bir çeşidi vakum borulu kollektörlerdir.



Şekil 2.1. Parabolik Oluk Kollektörler [7].

Geniş yüzeyli kollektörler denilen güneş havuzları 100 ^{o}C altındaki sıcaklıklarda büyük miktarlarda ısı toplanmasında kullanılır. En tanınmışları tuz gradyenli konvektif olmayan güneş havuzlarıdır. Bir su havuzu biçiminde olan bu havuzlarda birbirleri ile karışmayan üç tabaka yer alır. Havuzun tabanında çok tuzlu, orta kesiminde tuzlu ve üstünde tatlı su bulunur. Havuz tabanı ısı absorbe edecek yapıdadır. Bu ısı bir eşanjörle çekilerek kullanılır. 150 kW güçlü ve 0.74 ha alanlı böyle bir güneş havuzu İsrail Ein Borek'de termik elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Bu tür güneş havuzlarının dışında bir de sığ güneş havuzları vardır. Bunlar birkaç cm kalınlıkta su dolu plastik döşek olarak ve 50-200 m^{2}' lik modüller biçiminde kurulmaktadırlar [6].

2.7. Güneş Kollektörlü Sıcak Su Sistemleri

Güneş enerjisi uygulamalarından biri olan ve büyük bir kullanım alanına sahip güneşli sıcak su sistemi güneş kollektörü, depo tankı, bağlantı elemanları ve yardımcı donanımdan oluşur. Bu sistemler değişik tiplerde olabilir. Suya ısı transferinin ve sıcak

su akımının zorlanmış konveksiyonla veya doğal konveksiyonla sağlanmasına göre pompalı veya doğal sirkülasyonlu sistemler olarak iki gruba ayrılır. Her iki sistem de açık ve kapalı sistem olmak üzere tasarlanırlar. Açık sistemlerde kullanım suyu, kollektör içinde dolaşarak direk olarak ısınır. Genelde donma tehlikesinin bulunmadığı bölgelerde kullanılır. Kapalı sistemlerde ise kollektörde ısınan akışkanın ısısı bir ısı değiştirici vasıtasıyla kullanım suyuna aktarılır. Bu sistemler de donma tehlikesinin bulunduğu bölgelerde kullanılır. Kapalı sistemde ısı değiştirici kullanılması nedeniyle verim, açık sistemlere göre daha düşüktür.

Doğal sirkülasyonlu sistemler; sıcak su ihtiyacının çok olmadığı durumlarda özellikle konutlarda kullanılır. Suyun dolaşımı, kollektörde ısınan su ile deponun alt kısmındaki Soğuk su arasındaki yoğunluk farkından meydana gelir. Bu sistemlerde deponun kollektörden daha yüksekte olması gerekir. Bu sistemler şamandıralı ve basınçlı olmak üzere imal edilirler.

Şamandıralı sistemler, dik depolu ve çift depolu olarak dizayn edilirler. Şamandıralı sitemler üst üste iki ayrı depodan oluşur. Üst depoda soğuk su alt depoda sıcak su bulunur. Alt deponun etrafında ceket bulunur ve kollektörde ısınan akışkan bu ceket içerisinde dolaşarak ısısını depodaki suya verir. Basınçlı sistemlerde ise soğuk su beslemesi ilave bir şamandıralı depo olmaksızın direkt şebekeden sıcak su deposu içerisine yapılır. Dolayısıyla sıcak su çıkışı da aynı şekilde basınçlıdır. Sistem çalışmaya başladığında da sıcaklık arttıkça basınç da artar. Kapalı kaplar prensibine göre de basınç arttıkça deponun içindeki suyun sıcaklığı da diğer şamandıralı sistemlere göre daha yüksek değerlere ulaşır. Bu sistemin diğer bir avantajı da basınç sayesinde kullanım suyu ile haşlanma riski daha azdır. Doğal sirkülasyonu sitemlerin bazı uygulamaları Şekil 2.2’ de verilmiştir.

Cebri sirkülasyonlu sistemler; otel, yurt, hastane, yüzme havuzu gibi sıcak su ihtiyacının çok olduğu yerlerde kullanılır. Bu sistemlerde, kollektör devresindeki akışkanın hareketi pompa yardımıyla sağlanır. Akışkan hareketi pompa aracılığıyla olduğu için deponun kollektörden daha yüksekte konumlanmasına gerek yoktur. Kollektörde dolaşan akışkan miktarı ve hızı kontrol edilebildiğinden doğal sirkülasyonlu sistemlere göre daha verimlidirler.



A- Açık devre şamandıralı yatay depolu



B- Kapalı devre şamandıralı dik depolu



C- Açık devre Basınçlı sistem



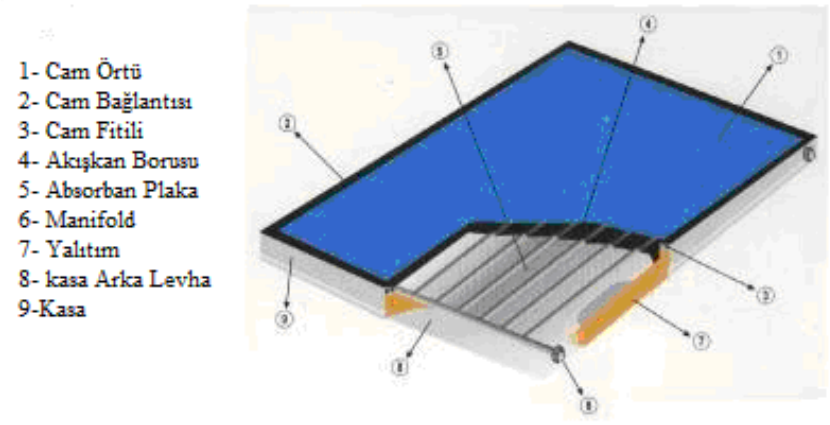
D- Kapalı devre vakumlu sistem

Şekil 2.2. Doğal Sirkülasyonlu Güneş Enerjili Sıcak Su Sitemleri Çeşitleri [9].

2.7.1. Kollektörler

Güneş enerji sistemlerinde güneş enerjisini toplayan ve bu enerjiyi ısıl enerjiye dönüştüren ana elman kollektörlerdir. En yaygın biçimde düz yüzeyli ısıl güneş kollektörleri kullanılır. Düz yüzeyli kollektör Şekil 2.3'de görülmektedir. Bunlar doğrudan gelen direkt güneş radyasyonunun yanında kırılma ve yansımalarla dağılmış difüz güneş radyasyonunu da değerlendirirler. Düz yüzeyli kollektörler 100 ^{o}C' yi

aşmayan uygulamalarda kullanılır. Güneşi izlemesi gerekmeyen, güneye yönelik ve güneş radyasyonu üzerine dik çarpacak biçimde eğimli yerleştirilen bu kollektörlerin mevsimlik ayarlanması gerekir. Güneşli su ısıtıcılarda görülen kollektörler de bu tiptir. Böyle bir kollektör absorbe edici (soğurucu) plaka, sırt ısı izolasyonu, üst saydam (cam veya plastik) örtü ve dış kasadan oluşmaktadır.



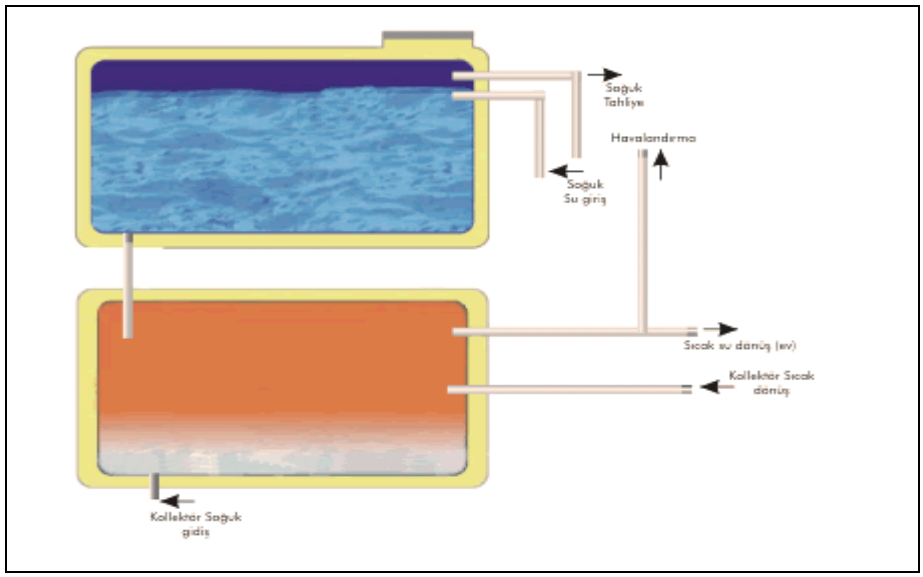
Şekil 2.3. Kollektör Kesit Görünüşü [7].

2.7.2. Depolar

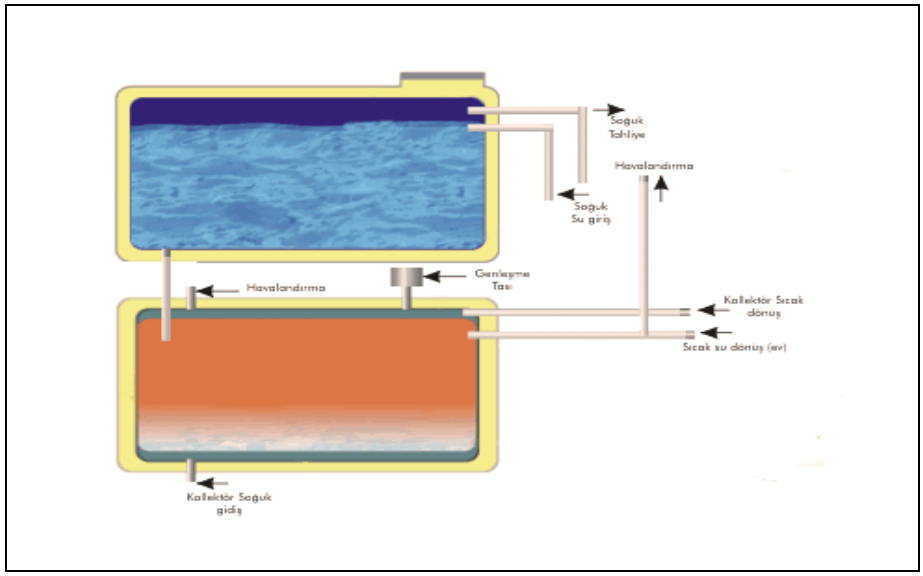
Güneşli sıcak su sistemlerinin diğer ana yapı elemanı depolardır. Depo, su yardımıyla ısının depolandığı ünitedir. En iyi güneş kollektörü bile, uygun olmayan bir depo ile kullanılacak olursa, güneşli sıcak su servis sisteminin toplam verimi çok düşebileceğinden, depolar, üzerinde önemle durulması gereken elemanlardır. Depoların büyüklükleri sıcak su gereksinimine ve depolanmak istenilen ısı enerjisine göre belirlenir.

Ülkemizde galvaniz sac depoların yaygın olmasına karşın, depo malzemeleri daha çok paslanmaz çelik ve güçlendirilmiş fiber glass'dır. Çelik depoların korozyona karşı korunmaları gerekir. Korozyona dayanıklı olması nedeni ile içi bakır olan depolar yapılmaktadır. Korozyona karşı korunmuş paslanmaz çelik depolar, uzun ömürlü olmalarından ötürü daha çok yeğlenmektedir.

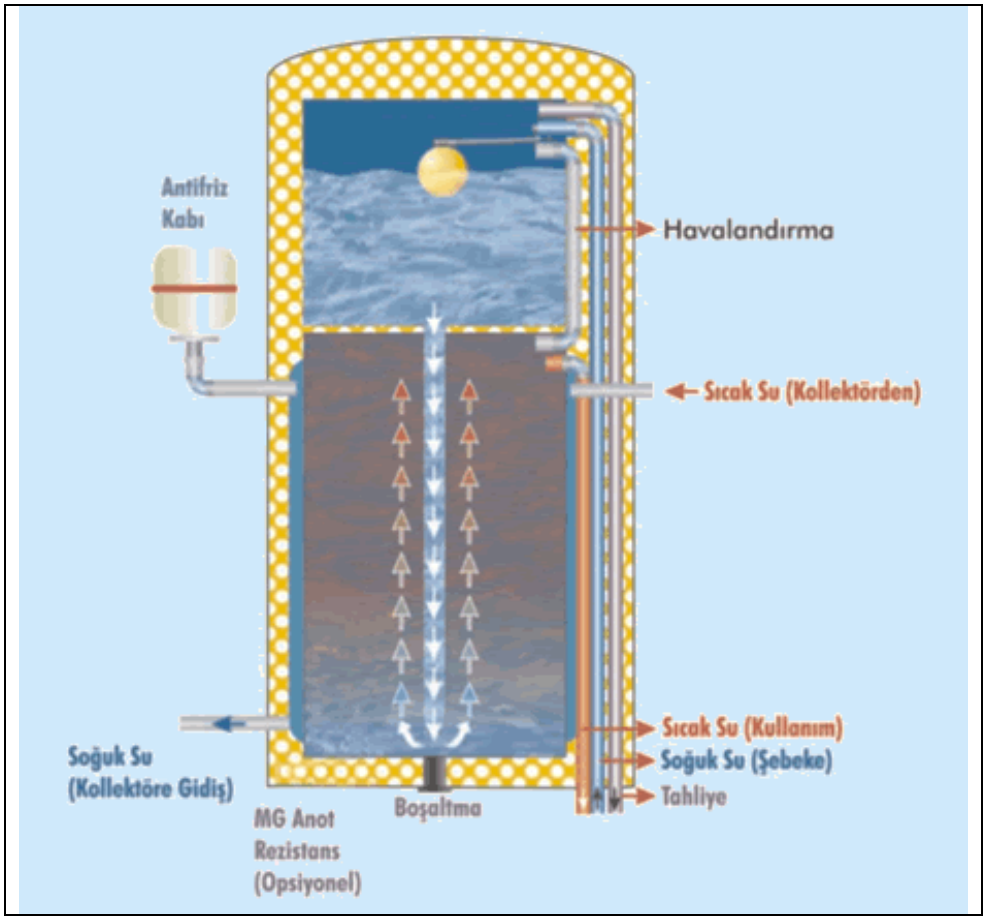
Genelde depolar iç içe geçmiş iki silindir biçiminde olup, iki silindirin arasında ısı izolasyonu yer alır. Ülkemizde bu amaçla cam yününün kullanılmasına karşın, dünya piyasasında poliüretan ile izole edilmiş depolar kullanılmaktadır. Ayrıca, termos yapısına benzer biçimde, iç silindirin çevresi hava boşluğu içeren bir ceketle kaplanmaktadır. Çeşitli şekillerde dizayn edilmiş sıcak su depolama tankları Şekil 2.4, Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7. ve Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.4. Açık Devre Doğal Sirkülasyonlu Şamandıralı Sistem [10].



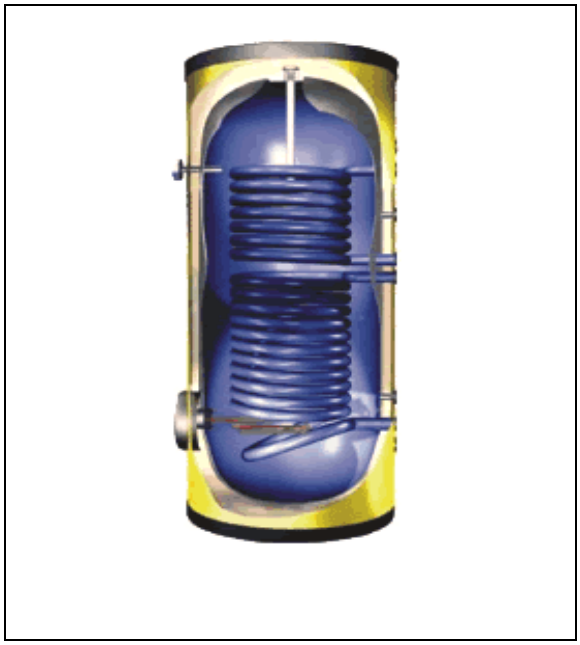
Şekil 2.5. Kapalı Devre Doğal Sirkülasyonlu Şamandıralı Sistem [10].



Şekil 2.6. Kapalı Devre Doğal Sirkülasyonlu Şamandıralı Sistem [10].



Şekil 2.7. Kapalı Devre Cebri Sirkülasyonlu Tek Serpantinli Sistem [10].



Şekil 2.8. Kapalı Devre Cebri Sirkülasyonlu Çift Serpantinli Sistem [10].

2.8. Tezin Amacı ve Önemi

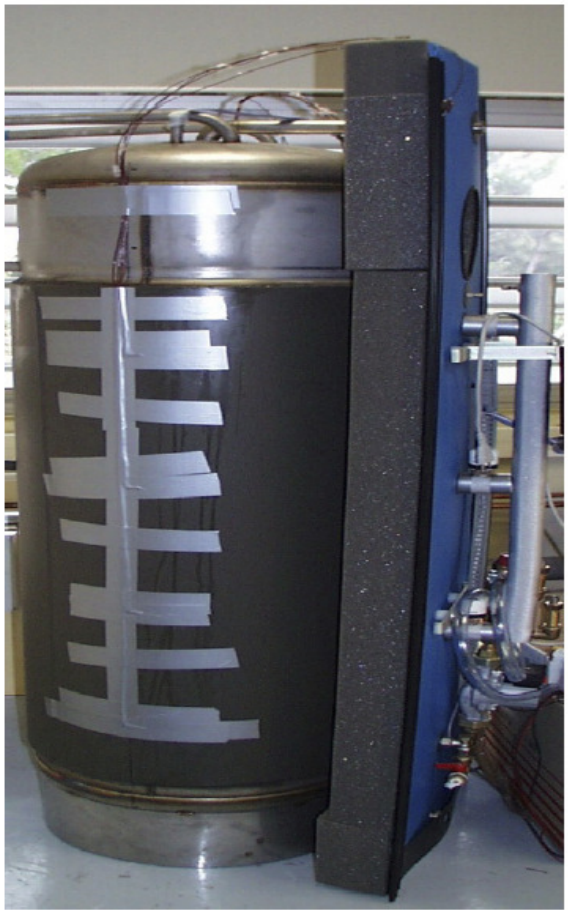
Gelişen teknoloji ve artan nüfusa paralel olarak artış gösteren enerji ihtiyacı, enerjisinin büyük bir kısmını ithalatla karşılayan ülkemizde dışa bağımlılığı günden güne artırmakta olup bu durum ekonomik alanda rekabet gücümüzü azaltmakta ve hayat standartlarımızı da kısıtlamaktadır. Bu nedenle dışa bağımlılığı azaltmak ve hayat standartlarımızı arttırmak için birincil enerji kaynakları bakımından zengin olan ülkemizin, bu enerji kaynaklarından maksimum düzeyde yararlanması artık zorunluluk haline gelmiştir. Enerji ihtiyacının bütün dünyada artış göstermesi ve enerji kaynaklarının giderek azalması alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmaların artmasına sebebiyet vermiştir.

Bu alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi de çok önemli bir enerji kaynağı olup ülkemizde yüksek potansiyele sahiptir. Güneş enerji sistemlerinden ülkemizde en çok kullanılanı sıcak sulu sistemlerdir. Sıcak sulu sitemlerin ana elemanlarından olan sıcak su depolama tanklarında, sıcak su ile soğuk suyun karışması ile tanktaki su sıcaklığı düşmektedir. Bu olumsuz durumun ortadan kalkması için tank içerisine çeşitli boyuttaki engeller yerleştirilerek, bu engellerin konumlarının ve akışkan debisinin değiştirilmesi suretiyle, depo içerisindeki sıcak su ve soğuk suların birbirlerine karışmasını engellemek ve ısıl tabakalaşmanın maksimum olması sağlanarak, tank içerisindeki

kullanım suyundan, konfor sıcaklığında ve mümkün olduğunca çok yararlanabilmesi bu tezin amacını oluşturmaktadır.

2.9. Literatür Araştırması

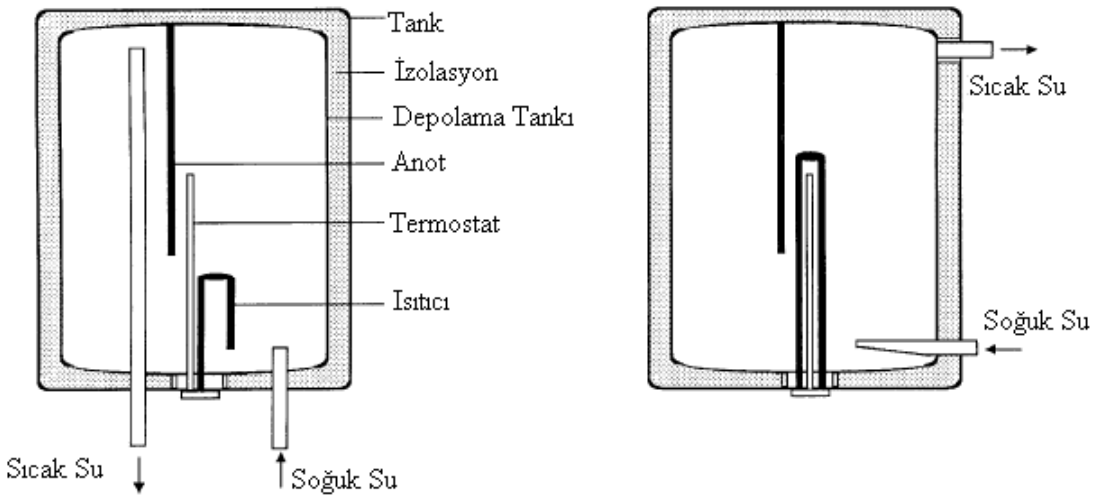
Kenjo ve ark. tarafından mantolu güneş enerjisi depolama tanklarında dinamik simülasyon ve sıcaklık tabakalaşması için bölgesel yaklaşım kullanarak bir model geliştirmişler ve bu yaklaşım sayesinde mantolu güneş enerjisi tanklarının sıcaklık tabakası daha iyi bir hassasiyetle (<%7) modellenebileceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda bu çalışmada manto içerisindeki akış dağılımının da modellenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan mantolu tankın görünüşü Şekil 2.9' da verilmiştir [11].



Şekil 2.9. Çalışmada Kullanılan Mantolu Test Tankı [11].

Khurana ve ark. tarafından yapılan çalışmada LH_2 depolamak için kullanılan büyük silindirik tankların iç yüzeyine yerleştirilen transfer elemanlarının ısıl tabakalaşma derecesini %30 civarında azatlığını göstermişler. Ayrıca bu elemanları içeren tanklarda ısı iletim katsayısının önemli ölçüde düştüğü de görülmüştür [12].

Hegazy ve Diab, elektrikli ısıtıcılı depolama tanklarında tank boyutlarının ve akışkan debisinin, ısıl tabakalaşma üzerindeki etkisini yapmış olduğu deneysel çalışmayla göstermiştir. Deneyde kullanılan tank modelleri Şekil 2.10'da verilmiştir [13].

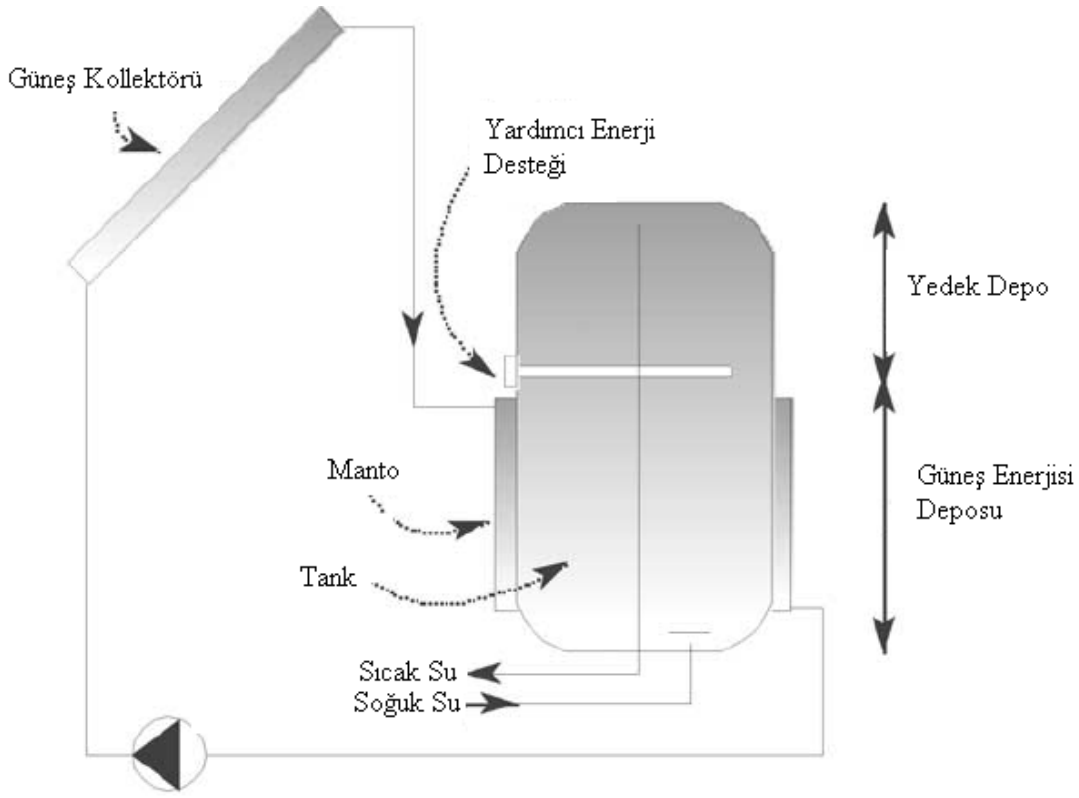


Şekil 2.10. Hegazy Ve Ark. Tarafından Yapılan Çalışmadaki Tank Modelleri [13].

Enerji depolama sistemi olan bir güneş kollektör şebekesi kullanılarak elde edilen enerjiyi hem analitik hem de sayısal olarak incelenmesi Chelghoum ve Bejan tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, akışkanın giriş ve çıkış debileri zamana bağlı olarak değiştirilerek, kollektörün güneşe maruz kaldığı süre içerisinde kollektör sıcaklığının sabit bir değerde tutulduğunda elde edilen enerjinin maksimum olacağını göstermişlerdir. Yapınla çalışmada calculus metodu kullanılmıştır [14].

Fernandez-Seara ve ark. 150 lt kapasiteli bir elektrikli sıcak su tankı kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmada, çevre sıcaklığının ve tank içerisindeki basıncın ve suyun ilk sıcaklığının ısıl tabakalaşmaya olan etkisini göstermişlerdir [15].

Düşey mantolu güneş enerjisi depolama tankları için deneysel ve nümerik analizlerden biri de Kunudsen ve Furbo tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada iki farklı manto pozisyonu kullanılarak ısıl tabakalaşmanın bu pozisyonlardan nasıl etkilendiği araştırılmış ve sonuçları yayınlanmıştır. Knudsen ve Furbo tarafından yapılan çalışmada kullanılan düşey mantolu güneş enerjili su ısıtıcısının şematik görünümü Şekil 2.11'de verilmiştir [16].



Şekil 2.11. Düşey Mantolu Güneş Enerjili Su Isıtıcısı [16].

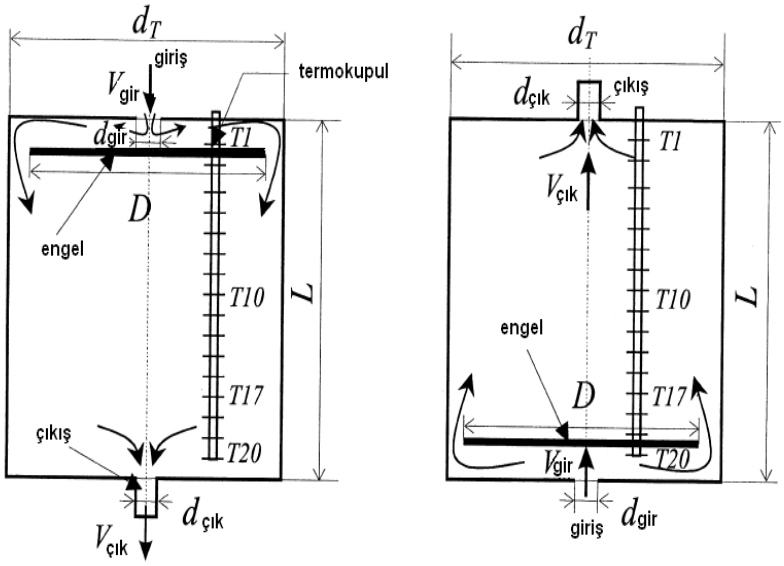
Bir diğer nümerik ve deneysel çalışmada Shinn ve ark. aittir. Bu çalışmanın amacı bir depolama tankını ısıl tabakalaşmasını tasvir etmek, optimum dizaynını ve çalışma koşullarını hesaplamaktır. Patankars Simple algoritması kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirilmiş deneysel verilerle karşılaştırılarak bu programın geçerliliği ispatlanmıştır. Çalışmada kullanılan standart k-ε ve RNG k-ε modelleri arasında fark olmadığı gözlemlenmiştir [17].

Cruz ve ark. tarafından basit ve düşük maliyetli trapeziodal şekilli kollektöre sahip bir güneş enerji depolama tankı geliştirilmiş ve bu trapeziodal şeklin ısıl tabakalaşmaya etkisi incelenmiştir [18].

Zachar ve ark. sayısal analiz yöntemi kullanarak yaptığı bu çalışmada, akışkanın tanka aşağıdan ve yukarıdan girdiği durumlara göre, akışkan girişine konulan çeşitli engellerin ısıl tabakalaşmaya etkisini araştırmıştır. Ayrıca bu çalışmada akışkan debisinin ısıl tabaka üzerindeki etkileri de incelenmiştir. nümerik olarak yapılan çalışmalar, deneysel yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan deney seti ve sayısal hesaplamada kullanılan tank modelleri Şekil 2.12. ve Şekil 2.13' de verilmiştir [19].



Şekil 2.12. Zachar Ve Ark. Çalışmasında Kullandığı Deney Seti [19].



Şekil 2.13. Zachar Ve Ark. Çalışmasında Kullandığı Tankların Şematik Görünümü [19].

Güneş enerjili sistemlerde tank içerisinde düşük akış hızlı kollektör kullanılarak akış hızlarının ısıl tabakalaşmaya etkisi Hollands ve Lightstone tarafından incelenmiş, düşük hızların hem tank maliyeti açısından hem de ısıl tabakalaşma için daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır [20].

Alizadeh, yatay silindirik bir depolama tankının ısıl davranışını hem deneysel hem de sayısal olarak incelemiştir. Bu amaçla soğuk suyun tankın alt bölgesinden üç faklı ısıda girdiği dört faklı deney yapılmıştır. İlk deneyde, giren akışkanın sıcaklığı tankın alt bölgesindeki sıcaklık ile aynı olduğu durumda ısıl tabakalaşma incelenmiştir. İkinci deneyde, giren akışkanın sıcaklığı tankın alt bölgesindeki sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklıkta olduğu durumda ısıl tabakalaşma incelenmiştir. Üçüncü deneyde tank yüzeyi yalıtılmış, dördüncü deneyde ise tankın içine 30^0 eğimle bir tüp yerleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda giriş nozulunda konik bir tüp kullanılmasının difüzyon etkisi nedeniyle ısıl tabakalaşmaya daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra ikinci deneyde, giren akışkan sıcaklığının tankın alt bölgesindeki sıcaklıktan düşük olduğu durum, daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir [21].

Paykoç ve Kakaç yapmış olukları analitik ve deneysel çalışmada çeşitli ısıl enerji depolama tiplerini tanıtmışlar ve bu çalışmada üç çeşit duyulur ısıl depolama ortamı

tartışılarak avantajları ve dezavantajlarını belirtmişlerdir. Ayrıca gizli ısıl depolama ile duyulur ısıl depolamanın karşılaştırılması da yapılmıştır [22].

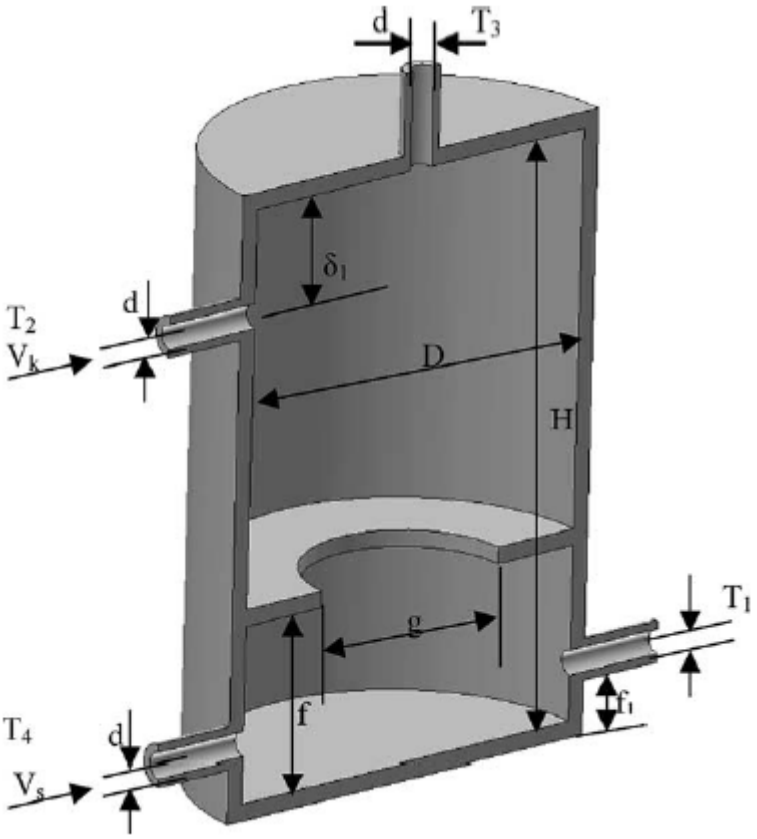
Moran ve Keyhani [23], güç santrallerindeki enerji depolama sistemlerinin birinci ve ikinci kanun analizlerini nümerik olarak çözümlemiştir. Depolanan ve tersinmezlikler sonucu kullanılamayan enerjinin literatürde belirtilenden daha az olduklarını söylemişlerdir.

Üç boyutlu dinamik akışkan simülasyonu kullanılarak ısı depolama tankının modellenmesi çalışması Consul ve Rodriguez tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada akışkanın kütlesinin ısısal tabakalaşmaya etkisi incelenmiştir [24].

Arslan ve ark. tarafından yapılan çalışmada zorlanmış taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin olduğu silindirik bir güneş enerjili depolama tankı içerisine yerleştirilen çeşitli engellerin sıcaklık tabakalaşmasına etkisi incelenmiş ve bu engellerin geometrileri değiştirilerek ısıl tabakanın muhafaza edildiği en iyi engel tipi tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada nümerik metotlar kullanılmıştır [25].

Mantolu düşey sıcak su tanklarında mantoya giren akışkanın hızının ısıl tabakalaşmaya etkisi Altuntop ve ark. tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmada oluşturulan modelde tankın alt bölgesinde soğuk su bölgesi üst bölgesinde de sıcak su bölgesi oluşmuştur. Yapılan incelemelerde hızın miktarı artıkça ısıl tabakanın hız artış oranı ile orantılı bir artış göstermediği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda düşük giriş hızlarında suyun manto içindeki dolaşımının yavaşlamasından ısı transferinin az olduğu, en iyi ısı tabakalarının yüksek hızlarda olduğu anlaşılmıştır [26].

Sıcak su depolama tankı içerisine yerleştirilen dairesel plakaların ısıl tabakalaşma üzerine etkisi ilgili bir çalışma Altuntop ve ark. tarafından nümerik metotlar kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, üzerine çapı ile belirli bir orantı halinde olacak çapta delik açılmış ve tank tabanından tank yüksekliği ile belirli bir orantı olacak mesafede konumlandırılmış dairesel plakaların ısıl tabakalaşmaya etkisi nümerik yöntemle belirlenmiş, deneysel sonuçlara karşılaştırılmıştır. Bu şekilde modellenmiş tanklar güneş enerjili sistemler için düşünülmüş ancak bu çalışmalar sırasında ısı enerjisi elektrikli ısıtıcı ile sağlanmıştır. Şekil 2.14’ de bu çalışmada kullanılan tank modeli verilmiştir [27].



Şekil 2.14. Güneş Enerjili Sıcak Su Tankının Kesit Görünüşü [26].

Hess ve Miller silindir duvarının ısıl tabakalaşmaya etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada sonlu farklar yöntemi kullanarak elde edilen veriler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [28].

Tank içerisinde yerleştirilen engellerin doğal taşınılma gerçekleşen ısı transferi durumunda tabakalaşmaya etkisi Altuntop ve ark. tarafından nümerik yöntemlerle incelenmiştir. Sıcaklık tabakalaşmanın bozulmadan yüksek sıcaklıkta suyun kullanılabilmesi için tank içerisine sıcak su ile soğuk suyun birbirine karışmasını önleyecek engellerin geometrisi tespit edilmeye çalışılmıştır [29].

Arslan ve ark. [30] tarafından tanka giren akışkanın giriş debisi ile ısıl tabakalaşma arasındaki etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Bu çalışmada güneş enerjili sistemlerde kullanılan silindirik tanklar içerisine, belirli çaplarda ortasına delik açılmış, sıcak su ile soğuk suyun karışmasını engelleyecek dairesel engellerin konulduğu bir model

kullanılmıştır. Bu model üzerinde giriş debileri değiştirilerek ve engellerin kaldırıldığı durumlar göz önüne alınarak en iyi giriş debis.inin seçilmesine çalışılmıştır.

Sonlu kontrol hacim yöntemleri ve SIMPLE algoritması kullanılarak dışarıdan ısıtılan bir silindirik tank içerisindeki meydana gelen ısıl tabakalaşma Jeong ve Park tarafından yapılan çalışmayla incelenmiştir. Silindir hacmindeki akış için oluşturulan boyutsuz momentum eşitliklerinin çözülerek, silindirin duvarında ve içinde akışkanda meydana gelen ısı transferi, akım profilleri ve sıcaklık dağılımları analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu yapılan çalışma sonucunda dışardan ısı verilerek ısıtılan tankın içinde meydana gelen ısıl tabakalaşma üzerindeki etkisi gösterilmeye çalışılmıştır [31].

Murthy ve ark. tarafından yapılan çalışmada tank duvarının ısıl iletkenliğinin ısıl tabakalaşmaya etkisi incelenmiştir. Çeşitli materyallerden ve değişik kalınlıklardaki duvarlardan oluşan tank modelleri üzerinde ısıl tabakalaşmanın değişimi deneysel olarak incelenmiş ve düşük iletim katsayısına sahip duvarlarının ısıl tabakalaşma üzerinde etkisinin küçük olduğu tespit edilmiştir [32].

Elektrikli ısıtıcılı tanklarda, tankın üst kısmına yerleştirilmiş bir ısıtıcını ısıl tabakalaşmaya etkisi ve bu sayede enerjideki tasarrufun araştırıldığı deneysel bir çalışma Sezai ve ark. tarafından yapılmıştır [33].

Shah ve ark. tarafından yapılan çalışmada tank girişine katı ayırıcı elemanlar yerleştirilerek ısıl tabakalaşmanın artırılmasını gerçekleştirilmesi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. PIV sistemi kullanılarak yapılan bu çalışmada 5-8 litre/dakika debiler arasında ayırıcının çok verimli olduğu görülmüştür [34].

Mio ve Miyatake tarafından k-ε modeli kullanılarak yapılan çalışmada tank içerisine giriş yapan akışkanla tank içerisindeki akışkanın sıcaklık farkı, akışkanların yer değiştirmesine neden olacağı ve bu yer değiştirme sonucu oluşan kararsız türbülans akış alanının ısıl tabakalaşmaya etki edeceğini göstermişlerdir [35].

Harıharan ve Badrınarayana tanka giren akışkan debisinin azaltılması ile ısıl tabakalaşmanın iyileştiği ve sistem için L/D oranının optimum değerinin $3 \div 4$ arasında olduğunu yapmış oldukları deneysel ve nümerik olark yapmış oldukları çalışmada ortaya koydular [36].

Eames ve Norton düşük Reynolds sayılarında tank geometrisinin ısıl tabakalaşma üzerine etkisini incelemişlerdir. Farklı giriş ve çıkış sıcaklıklarında 32 farklı deneyden alınan ölçümler sonucunda akışkan giriş ve çıkış etkilerini parametrik olarak ortaya koymuşlardır [37].

Isıl tabakalaşmaya giriş geometrisinin etkisi Ghajar ve Zurigat tarafından kütlenin korunumu eşitliklerinden yararlanılarak teorik olarak yapılan çalışmalar deneysel olarak yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır [38].

3. BÖLÜM

SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE MATEMATİKSEL MODEL

3.1. Sayısal Çözüm Yöntemi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) günümüzde özellikle akışkan ile ilgili olan ürünlerin analizlerinin yapılmasında ve performanslarının sınanmasında kullanılmaktadır. Akışkanlar dinamiği, hem teorik olarak hem de modellenmesi bakımından zor bir bilim dalıdır. Bu zorluk doğrultusunda her gün gelişen ve hızlı değişim gösteren bilgisayar destekli çözüm yöntemleri akışkanlar mekaniğinde çok kullanılmaktadır. Bu çözüm yöntemleri, ısı ve kütle transferinin olduğu problemlerde akışkanlar mekaniği temel denklemlerinin çözümünde çok büyük kolaylıklar sağlamakta ve mühendislik alanında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bilgisayar destekli yapılan bu çözümlerde sonlu farklar metodu, sonlu elemanlar metodu ve sonlu hacimler metodu gibi metotlar kullanılır. CFD modellemesi kontrol hacmi içerisinde korunum denklemlerinin çözülmesini kapsamaktadır. Bu çözümlemenin yapılabilmesi için bütün önemli faktörleri (geometri, sınır şartları, akışkanın fiziksel özelikleri, türbülans vs.) içeren bir CFD modeli gereklidir.

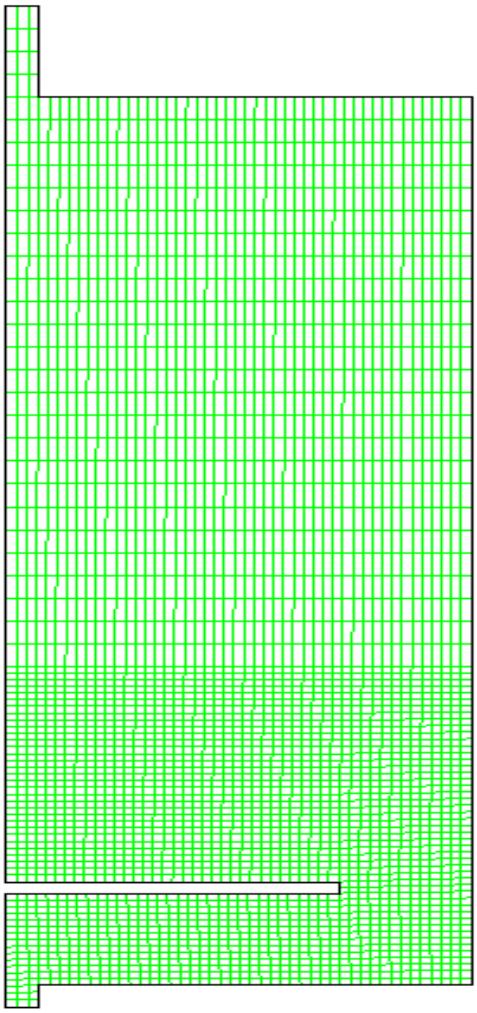
Bu tez çalışmasında, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akışkanların iki ve üç boyutlu geometriler üzerinde modellenmiş sürekli ve süreksiz akış problemlerinin çözümünde mühendisler tarafından çok kullanılan FLUENT paket programı kullanılmıştır. 1983' ten bu yana dünya çapında birçok endüstri dalında kullanılan ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki CFD piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelen FLUENT, en ileri teknolojiye sahip ticari CFD yazılımı olarak kullanıcılarının en zor problemlerine kolay ve kısa sürede elde edilen çözümler sunmaktadır.

FLUENT programı, kütle, momentum ve enerji korunum denklemlerini sonlu hacimler metodu ve kontrol hacmi tekniğini kullanarak çözmektedir. Sonlu hacim metodu kullanılırken çözüm alanı çok küçük kontrol hacimlerine bölünür ve denklemler bu kontrol hacimlerinde integre edilir. Bu programda denklemlerin çözümü için ayrık (segregated) ve birleşik (coupled) olmak üzere iki metot bulunmaktadır. Bu çalışmadaki denklemlerin çözümünde ayrık (segregated) çözüm yöntemi kullanılmıştır.

Çözüm metodunda önce hesaplama hacmi olarak genel bir hesaplama ağı kullanılmakta olup, model yapı üzerinde ayrıklaştırmalar yapılır. Ayrık çözüm yöntemi uygulanırken denklemler ayrı ayrı çözülmektedir. Bir denklem çözüldükten sonra eldeki sonuçlar diğer denklemlerde de kullanılır. Genel denklemler her bir hücredeki bağımlı değişkenler için bir lineer denklemler sistemi oluşturmak için lineerleştirilirler. Lineerleştirme açık (explicit) ve kapalı (implicit) olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. FLUENT paket programı kullanılarak bu çalışmada yapılan sayısal çözümde kapalı (implicit) yöntem ve SIMPLE algoritma kullanılmıştır.

Simülasyona başlamadan modelleme amaçlarının tanımlanması, hesaplama modelinin seçimi (fiziksel sistem, sınır şartlar, iki boyutlu ve üç boyutlu çözüm vs.), modelin kontrol hacimlere bölünmesi gerekmektedir. Sayısal çözüm için gerekli olan çözüm alanının oluşturulması ve küçük kontrol hacimlere bölünmesi GAMBIT programı yardımıyla yapılmıştır.

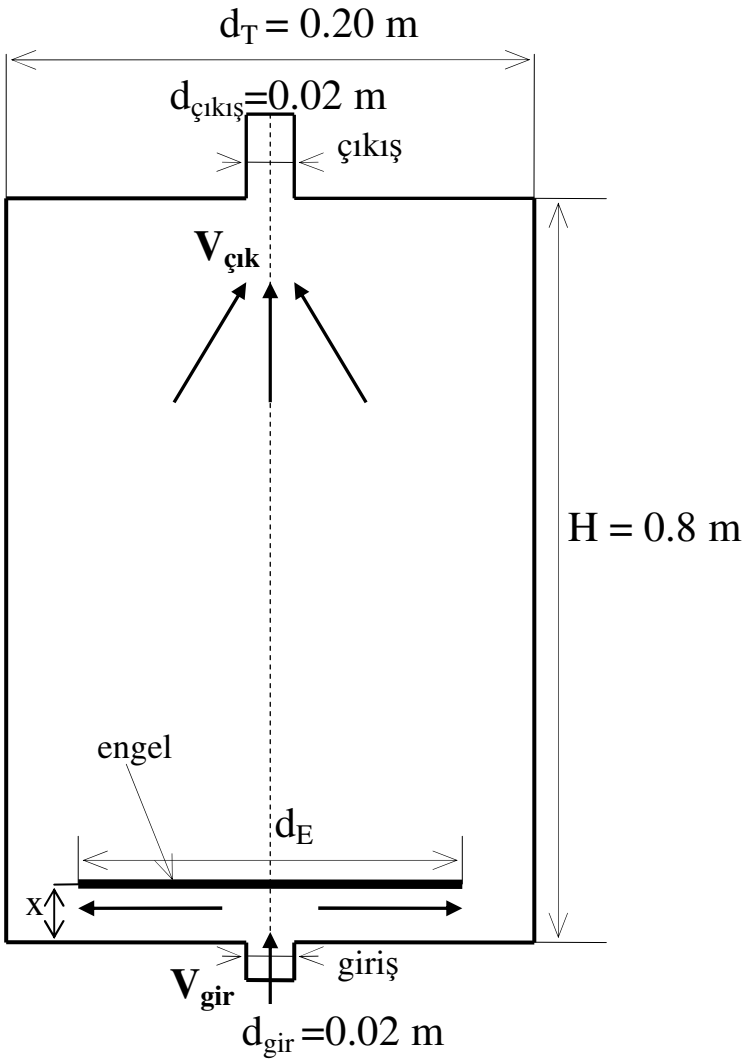
Engelin bulunduğu bölgelerde türbülansın etkisinin fazla olması ve ayrılmaların olmasından dolayı model iki alana bölünmüş, engelin bulunduğu alan daha küçük kontrol hacimlerine bölünmüştür. İki alan toplam 237.798 kontrol hacmine bölünmüştür. GAMBIT programı ile oluşturulan ağ yapısının şematik gösterimi Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ağ Yapısının Şematik Gösterimi

3.2. Matematiksel Model

Şekil 3.2' de fiziksel büyüklükleri verilen silindirik dikey ısıl enerji depolama tankındaki sıcaklık tabakalaşması sayısal olarak incelenmiştir. Depolama tankında ısıl enerji depolama malzemesi olarak su seçildi. Su tanka alttan giriş yapmakta ve ısınarak tankın üst bölgesinden çıkmaktadır. Depo içerisine çeşitli çaplarda ve girişten belirli uzaklıklarda düzlemsel engeller yerleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında sayısal hesaplamalarda türbülans modeli olarak da standart k-ε modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Tankın Şematik Görünümü

Yapılan çalışmada;

- Akışın süreksiz ve iki boyutlu axisimetrik olduğu,
- Türbülanslı akış olduğu ve akışkan özelliklerinin sabit olduğu,
- Tank duvarlarının adyabatik olduğu kabul edilmiştir.

Isıl enerji depolama tankı içerisindeki süreksiz akış için kütle, momentum ve enerji korunumunu ifade eden denklemler aşağıda verilmiştir.

Süreklilik denklemi;

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

r – momentum denklemi;

$$\rho\frac{\partial V_r}{\partial t} + \frac{1}{r}\frac{\partial (r\rho V_r V_r)}{\partial r} + \frac{\rho}{r}\frac{\partial (V_\theta V_r)}{\partial \theta} + \rho\frac{\partial (V_z V_r)}{\partial z}$$

$$= -\frac{\partial P}{\partial r} + \mu\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial (rV_r)}{\partial r}\right)\right] + \mu\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2}\right] + \mu\left[-\frac{2}{r^2}\frac{\partial V_\theta}{\partial \theta}\right] + \frac{\rho V^2{}_\theta}{r} + \rho g_r \beta \Delta T \tag{3.2}$$

Q – momentum denklemi;

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

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

z – momentum denklemi;

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

$$= -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial (rV_z)}{\partial r}\right)\right] + \mu\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2}\right] + \rho g_z \beta \Delta T \tag{3.4}$$

Enerji denklemi;

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

Bu denklemlerde V_r, V_Q, V_z, r, Q ve z yönündeki hızları P_r, P_Q, P_z, r, Q ve z yönlerindeki basınçları T sıcaklığı, μ dinamik viskoziteyi, ρ akışkan yoğunluğunu, β ısıl genleşme katsayısını, k ısı iletim katsayısını, g_r, g_Q, g_z r, Q ve z yönlerindeki yerçekimi

ivmelerini, C_p ise akışkanın özgül ısınsı ifade etmektedir. Burada Φ ısı üretimini göstermektedir.

Sayısal analizlerde standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. $k-\varepsilon$ modelinin türetiminde akışın tamamıyla türbülanslı olduğu ve moleküler viskozite etkilerinin ihmal edilebilir olduğu durumlar kabul edilmiştir. Türbülans kinetik enerji k_t ve onun dağılım oranı ε Ref. [39]'dan alınan aşağıdaki denklemlerden elde edilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho k_t v_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G_k+G_b-\rho\varepsilon-Y_M+S_k \tag{3.6}$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho\varepsilon v_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right]+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k_t}\left(G_k+C_{3\varepsilon}G_b\right)-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k_t}+S_\varepsilon \tag{3.7}$$

Bu formüldeki i ve j boyut sayısını göstermektedir.

G_k ortalama hız gradyantı dolayısıyla türbülans kinetik enerji oluşumunu temsil eder.

$$G_k=-\rho v_x' v_r'\frac{\partial v_r}{\partial x} \tag{3.8}$$

G_b batmazlıktan dolayı türbülans kinetik enerji oluşumunu gösterir.

$$G_b=\beta g_x\frac{\mu_t}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\partial T}{\partial x} \tag{3.9}$$

Burada Pr_t enerji için türbülans Prandtl sayısı, g_x ise x yönündeki yerçekimi vektörünün bileşenidir. Isıl genleşme katsayısı β şöyle tanımlanır.

$$\beta=-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)_P \tag{3.10}$$

Y_M sıkıştırılabilir türbülansta genel yayılım içerisindeki kısmi genleşme dalgalanmasının katkısını temsil eder. Bu terim Sarkar' a [40] göre önerilen modele göre

$$Y_M=2\rho\varepsilon M_t^{\,2} \tag{3.11}$$

olarak kabul edilmiştir.
M_t türbülans Mach sayısıdır ve şöyle tanımlanır.

$$M_t = \sqrt{\frac{k_t}{a^2}} \tag{3.12}$$

Burada $a \equiv \sqrt{\gamma RT}$ şeklinde ses hızı, $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ sabitler; σ_k ve σ_ε sırasıyla, k_t ve ε için türbülans Prandtl sayılarıdır.

Türbülans (veya eddy) viskozitesi μ_t şu formülden bulunabilir:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2{}_t}{\varepsilon} \tag{3.13}$$

C_μ sabittir.

Model sabitleri $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_\mu, \sigma_k$ ve σ_ε aşağıdaki değerlerdedir [41]:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, \quad C_{2\varepsilon} = 1.92, \quad C_\mu = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Bu varsayım değerleri Ref [39]'da su ve hava ile yapılan deneylerden elde edilmiştir.

3.3. Fiziksel Özellikler ve Sınır Şartları

Sayısal çözümleme yapılabilmesi için akışkanın fiziksel özelliklerinin FLUENT programına sabit değer olarak veya sıcaklığın fonksiyonu olarak verilmesi gerekmektedir. Sabit olarak verilen ve çalışmada kullanılan akışkanın (suyun) fiziksel özellikleri;

Yoğunluğu,	ρ	=	998,2	kg/m^3
Özgül ısısı	C_p	=	4182	j/kg-k
Viskozite	μ	=	0,001003	kg/m-s
Isıl iletkenliği	k	=	0,6	w/m-K

GAMBIT programı kullanılarak modellenen dikey tip ısıl enerji depolama tankının boyutları;

Yükseklik	H	=	0.8	m
Tank çapı	d_T	=	0.4	m
Giriş çapı	d_{gir}	=	0.02	m
Çıkış çapı	$d_{çık}$	=	0.02	m

Çalışmada değişken olarak alınan engel çapları ve engelin girişe olan uzaklıkları;

d_E = 0.10 m, 0.15 m, 0.18 m

x = 0.04 m, 0.08 m, 0.12 m, 0.16 m, 0.20 m, 0.24 m, 0.28 m, 0.32 m, 0.36 m, 0.40 m, 0.44 m

Akışkanın tanka giriş hızları;

V_{gir} = 0.085 m/s, 0.106 m/s, 0.142 m/s, 0.213 m/s, 0.425 m/s

Akışkanın tanka giriş sıcaklığı T_{gir} = 293.15 K, tank içerisindeki suyun ilk sıcaklığı (kullanım suyu sıcaklığı) T_{ilk} = 314.15 K olarak alınmıştır. Çözümler zaman bağlı olarak engelin olmadığı tank modeli ve engellerin yerleştirildiği tank modelleri için 1500 s, 1200 s, 900 s, 600 s, 300 s için yapılmış olup yapılan çözümler her 300 saniyede, 240 saniyede, 180 saniyede, 120 saniyede ve 60 saniyede bir kaydedilerek sıcaklık tabakalaşması incelenmiştir.

3.4. Yakınsama

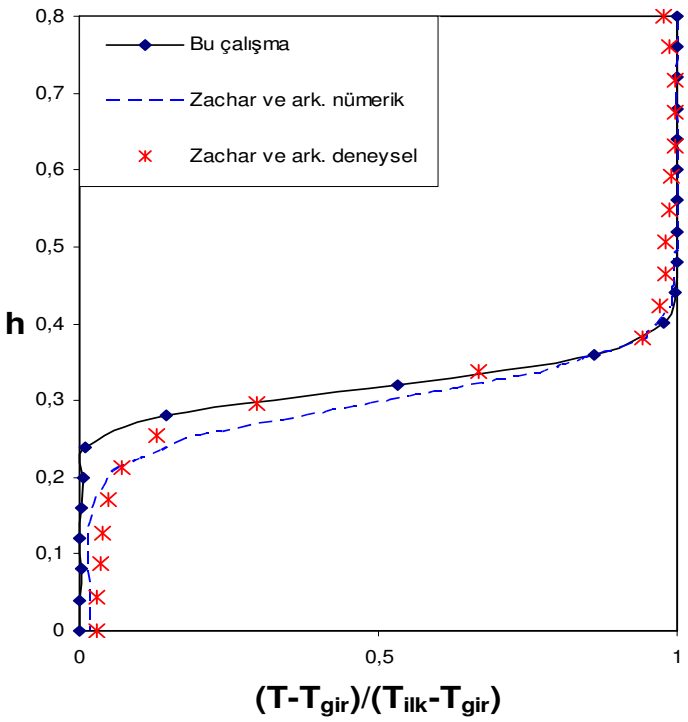
Nümerik olarak yapılan çalışmada, denklemler her bir kontrol hacim için teker teker çözüldüğünden çözüm kalıntılarının (nümerik hata) en aza indirmesi için yapılan yakınsamada; under-relaxation faktörleri basınç denklemleri için 0.3, momentum denklemleri için 0.7, enerji denklemleri için 0.8, gövde kuvveti ve yoğunluğu içinse 1 değerleri seçilmiştir. Süreklilik denklemlerinin yakınsama kıstası 0.001 ve enerji denklemlerinin yakınsama kıstası 0,00001 olarak alınmıştır. Süreklilik, momentum ve enerji yakınsama değerleri bu değerlerinin altına indiği zaman temel denklemlere ait cebirsel denklemlerin nümerik olarak çözüldüğü kabul edilmiştir.

4. BÖLÜM

ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE İRDELEME

4.1. Doğrulama

Yapılan çalışmada kullanılan çözüm yönteminin doğrulanması için Zachar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmanın [19] deneysel ve nümerik sonuçları ile bizim nümerik modelimizin karşılaştırılması yapılmış ve bu karşılaştırma Şekil 4.1' de verilmiştir. Şekil 4.1' den görüldüğü gibi bu çalışma ile Zachar ve ark. tarafından yapılan çalışma uyum göstermektedir. Zachar ve ark. yaptığı çalışma farklı bir nümerik model olmasının yanı sıra deneysel bir çalışma olarak, bizim modelimizin geçerliliğini göstermektedir.



Şekil 4.1. Düşey Sıcaklık Tabakalaşması
Bu çalışma ve Ref [19] Kullanıldı

4.2. İrdeleme

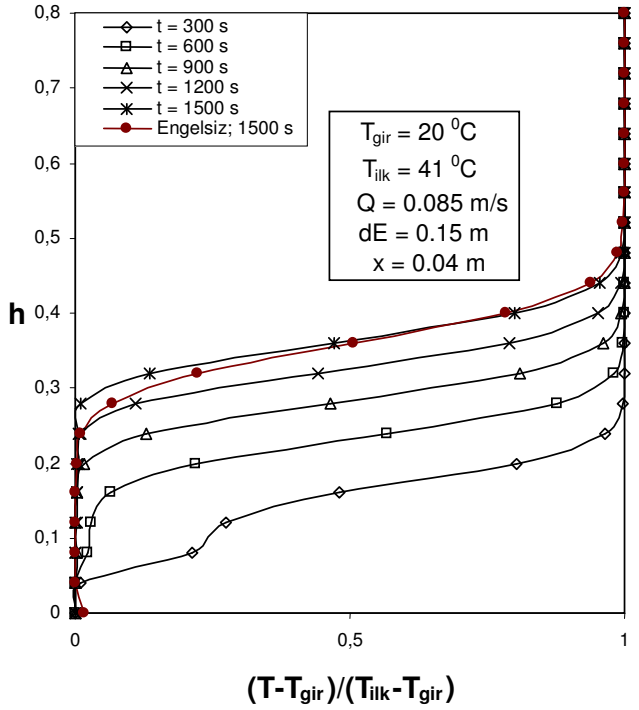
Güneş enerjili sıcak su tanklarından uzun süre sıcak su kullanıldığında tanka yeni soğuk su girişi olmaktadır. Bu durumda tanktaki sıcak su ve soğuk suyun karışması ile tanktaki su sıcaklığı düşmektedir. Bu tez çalışması ile tank içerisindeki bu olumsuz durumun ortadan kaldırmak, yani tank içerisindeki sıcaklık farkından dolayı oluşan ısıl tabakayı maksimum yaparak konfor sıcaklığında kullanım suyunun fazla olmasını sağlamaktır. Bunun için tank içerisine üç farklı çapta, onbir farklı konumda düzlemsel engeller konuldu. Ayrıca ısıl tabakalaşma üzerinde suyun giriş debisinin etkisinin büyük olması nedeniyle çalışmalar beş farklı debiyle yapılmıştır.

Çalışmada tank içerisine yerleştirilen engellerin ısıl tabakalaşma üzerine etkisinin gözlemlenebilmesi için içerisinde engel olamayan tank modeli için yapılmış çözümlerle içerisine engel yerleştirilmiş tank modelleri için yapılan çözümler karşılaştırıldı. Çözümler zamana bağlı olarak yapıldı. Üç farklı parametre aynı anda değiştirilerek ısıl tabakalaşmanın en iyi olduğu debi, engel boyu ve engel konumu belirlenmeye çalışıldı.

Tanka giren suyun sıcaklığı T_{gir} (K), tank içerisindeki suyun ilk sıcaklığı T_{ilk} (K), tanktaki karışımın sıcaklığı T (K) olmak üzere, sonuçlar $(T- T_{gir})/(T_{ilk}- T_{gir})$ bağıntısıyla boyutsuz hale getirilerek tank içerisindeki ısıl tabakalaşmanın, değişken debilerle, engel boyları ve engel konumları ile grafikleri çizildi.

Tanka giren akışkan debisinin Q =0.085 m/s, 0.106 m/s, 0.142 m/s, 0.213 m/s, 0.425 m/s, engel çapının d_E = 0.15 m, engelin girişe mesafesinin x = 0.04 m olduğu tank modelleri ile aynı debide, engel çapında ve engel mesafesinde engelsiz tank modelleri için yapılan çözümler karşılaştırılmış, zamana bağlı sıcaklık tabakasının değişimini gösteren grafikler aşağıdaki şekillerde, sıcaklık dağılımları Ek-1' de verilmiştir.

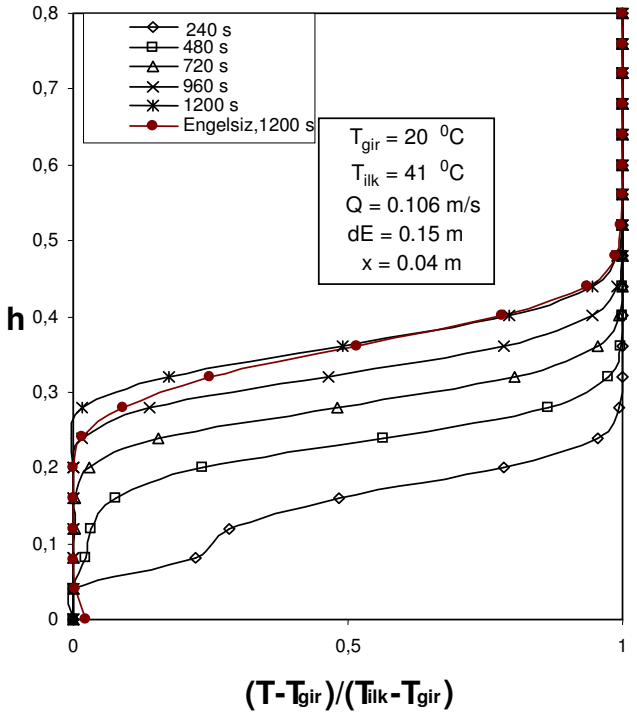
İçerisinde engel olmayan tank modelindeki ısıl tabakalaşması ile içerisine engel yerleştirilmiş tank modellerindeki ısıl tabakalaşma arasındaki farkın görülmesi için sonuçlar aynı grafikte verilmiştir.



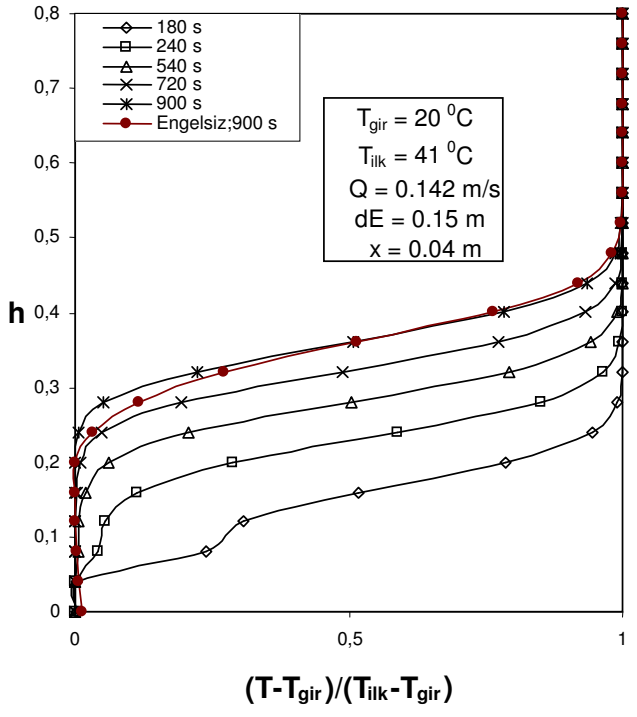
Şekil 4.2. Q = 0.085 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası

Şekil 4.2' den görüldüğü gibi Q = 0.085 m/s giriş debisinde engelli tank modelinde oluşan sıcaklık tabakasının kalınlığı engelsiz tank modelindeki sıcaklık tabakasının kalınlığından yaklaşık 0.05 m daha küçüktür. Buda, engelli tank modellerindeki sıcaklık tabakasının engelsiz tank modellerindeki sıcaklık tabaksına göre daha iyi olduğunu, giriş karşısına konulan engelin sıcaklık tabakasını iyileştirdiğini göstermektedir.

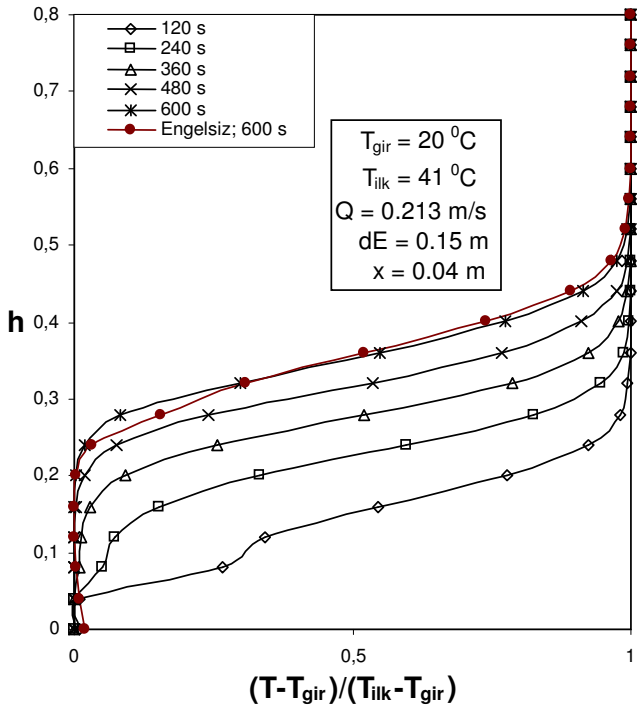
Giriş debisi Q = 0.106 m/s' ye çıktığında engelli ve engelsiz tank modellerindeki düşey sıcaklık tabakasının değişimi Şekil 4.3' de verilmiştir. Şekil 4.3. incelendiğinde engelli tank modelindeki sıcaklık tabakası kalınlığının yine engelsiz tank modelindeki sıcaklık tabakası kalınlığından yaklaşık 0.05 m daha küçük, giriş debisinin Q = 0.085 m/s olduğu engelli tank modelindeki sıcaklık tabakasından yaklaşık 0.02 m daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. Q = 0.106 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası



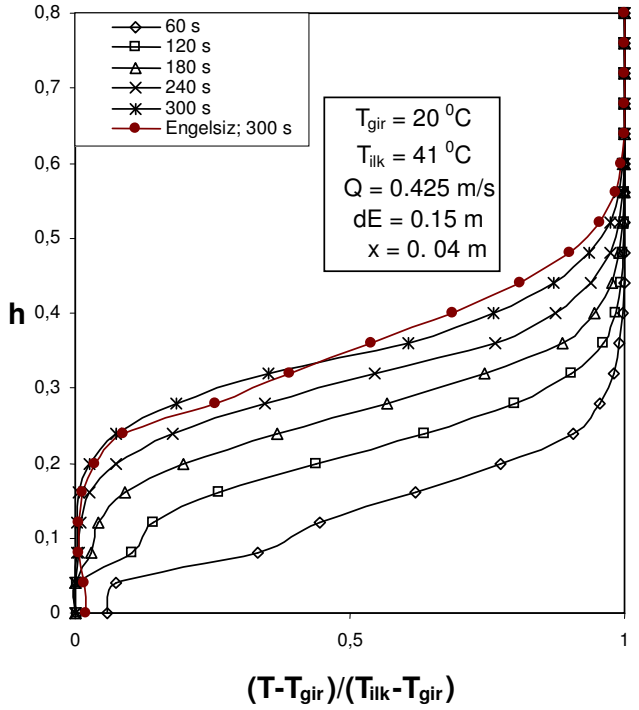
Şekil 4.4. Q = 0.142 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası



Şekil 4.5. Q = 0.213 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası

Şekil 4.4' de giriş debisinin Q = 0.142 m/s, Şekil 4.5' de giriş debisinin Q = 0.213 m/s olduğu durumlarda engelli tank modelindeki düşey sıcaklık tabakalarının zamanla değişimi ve engelsiz tank modelindeki düşey sıcaklık tabakasıyla karşılaştırılması verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi debinin artmasıyla, engelli modeldeki sıcaklık tabakasının kalınlığının engelsiz modeldeki sıcaklık tabakasının kalınlığına yaklaşmış, Q = 0.085 m/s ve Q = 0.106 m/s giriş debilerinde oluşan sıcaklık tabakası kalınlığından daha uzun bir tabakalaşma meydana gelmiştir.

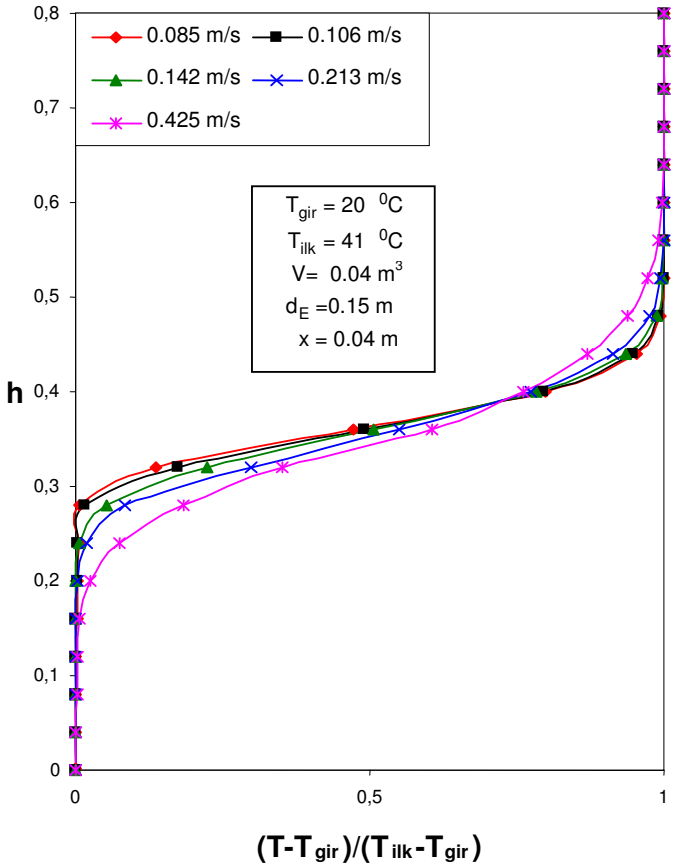
Giriş debisinin Q = 0.425 m/s' ye çıktığı durumda engelli tank modelindeki düşey sıcaklık tabakasının zamanla değişimi ve engelsiz tank modelindeki düşey sıcaklık tabakası ile karşılaştırılması Şekil 4.6' da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, engelli modeldeki düşey sıcaklık tabakasının diğer debilerde olduğu gibi zamanla iyileştiği ve ilk zaman periyodunda da bir sıçramanın olduğu görülmektedir. Debi Q = 0.425 m/s olduğunda düşey sıcaklık tabaksındaki bozulmalar artmış, tabakalaşma kalınlığı en yüksek değere çıkmıştır.



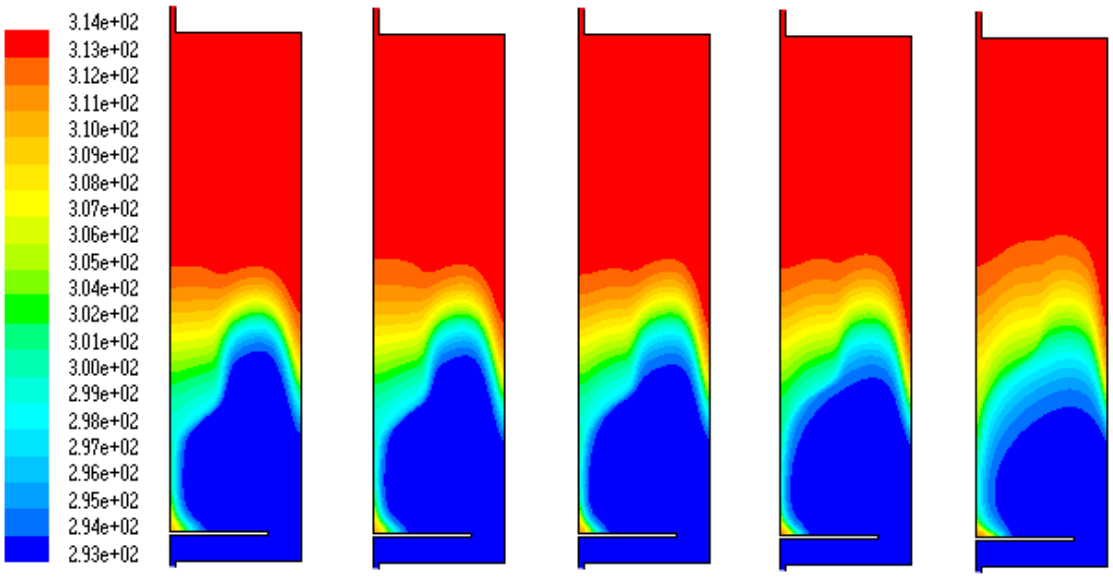
Şekil 4.6. Q = 0.425 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Düşey Sıcaklık Tabakası

Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü gibi engelsiz tank modellerindeki sıcaklık tabakasının kalınlığı engelli tank modellerindekine göre daha uzundur ve tanka giren akışkan miktarı arttıkça sıcaklık tabakası iyileşmiştir. Engelli modellerdeki sıcaklık tabakası, engelsiz modeldeki sıcaklık tabakasından yaklaşık 0.05 m daha kısadır. HBunun sebebi de tank içerisine yerleştirilmiş engellerin, tanka giren soğuk akışkanın hızını azaltarak tank içerisindeki soğuk su ile hemen karışmasını engellemesindendir.

Yine grafiklerden, tanka giren sıcak suyun debisinin artmasıyla düşey sıcaklık tabakasının uzamakta olduğu görülmektedir. Tanka giren akışkan debisinin Q = 0.085 m/s, 0.106 m/s, 0.142 m/s, 0.213 m/s ve 0.425 m/s, sıcak su girişinin t = 1500 s, t = 1200 s, t = 900 s, t = 600 s, t = 300 s, engel çapının d_E = 0.15 m, engelin girişe mesafesinin x = 0.04 m olduğu tank modellerindeki sıcaklık tabakasının debiyle değişimi Şekil 4.7' de, sıcaklık dağılımları da Şekil 4.8' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Farklı Debilerde Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi

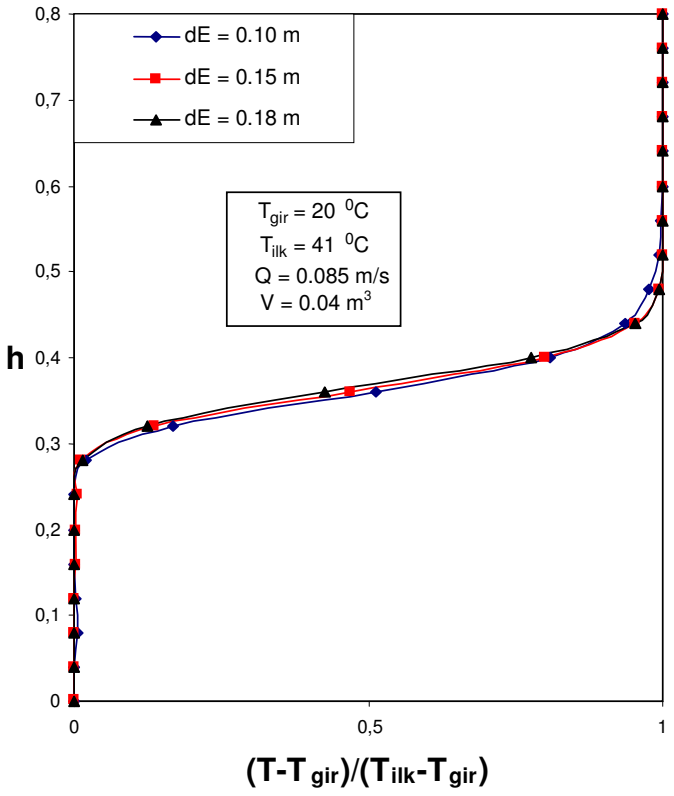


Q = 0.085 m/s Q = 0.106 m/s Q = 0.142 m/s Q = 0.213 m/s Q = 0.425 m/s

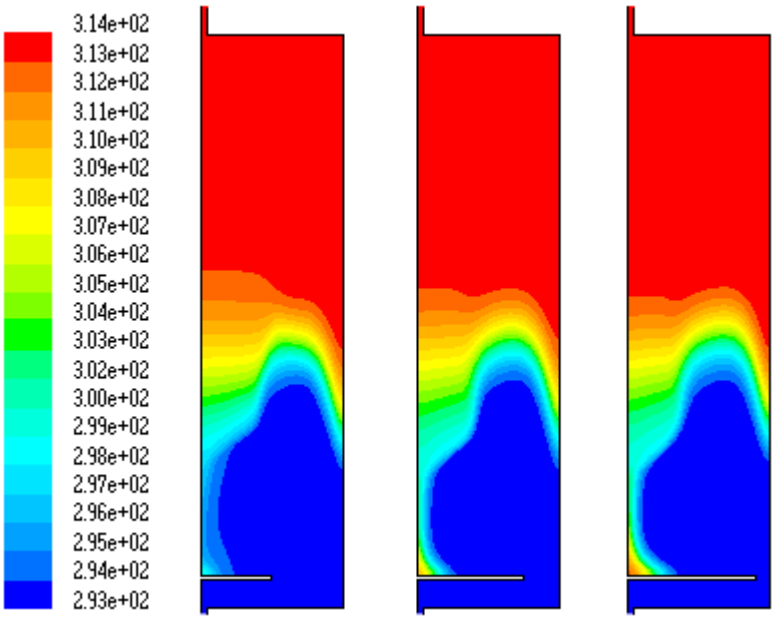
Şekil 4.8. Farklı Debilerde Sıcaklık Dağılımları

Şekil 4.7' den Q = 0.085 m/s için sıcaklık tabakası yaklaşık 0.20 m uzunluğunda iken, Q = 0.106 m/s için sıcaklık tabakası yaklaşık 0.24 m, Q = 0.142 m/s için sıcaklık tabakası yaklaşık 0.27 m Q = 0.213 m/s için sıcaklık tabakası yaklaşık 0.32 m Q = 0.425 m/s için sıcaklık tabakası yaklaşık 0.40 m olduğu Şekil 4.7' de görülmektedir.

Sıcaklık tabakası üzerine etkisi olan diğer parametrede tank içerisine yerleştirilen engelin çapıdır. Engel çapının sıcaklık tabakasına etkisinin daha iyi anlaşılması için, tanka giren akışkan debisinin Q = 0.085 m/s, Q = 0.106 m/s engel çapının d_E = 0.10 m, d_E = 0.15 m, d_E = 0.18 m, engelin girişe mesafesinin x = 0.04 m ve sıcak su girişinin t = 1500 s olduğu tank modellerindeki sıcaklık tabakasının değişimi Şekil 4.9. ve Şekil 4.11. sıcaklık dağılımları da Şekil 4.10. ve Şekil 4.12' de verilmiştir.

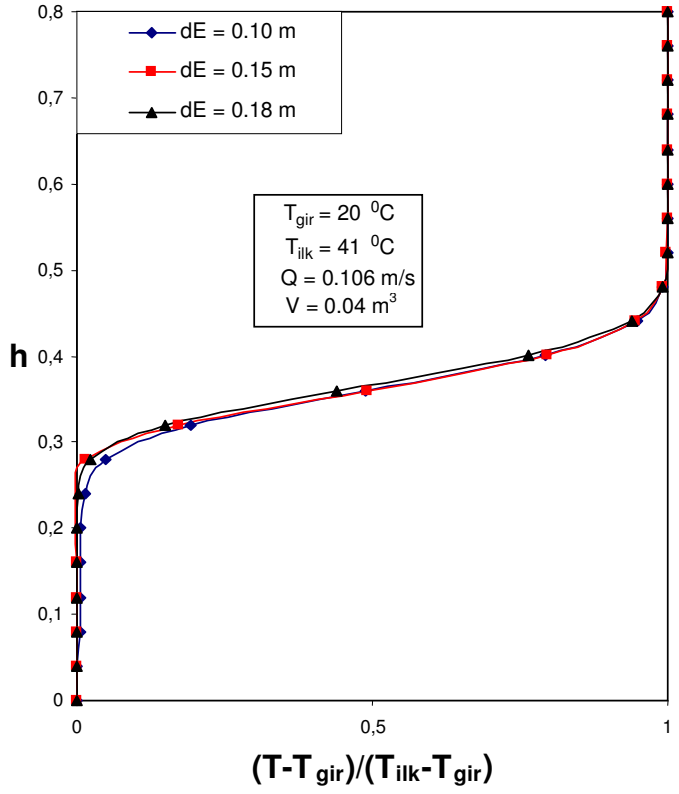


Şekil 4.9. Q = 0.085 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi

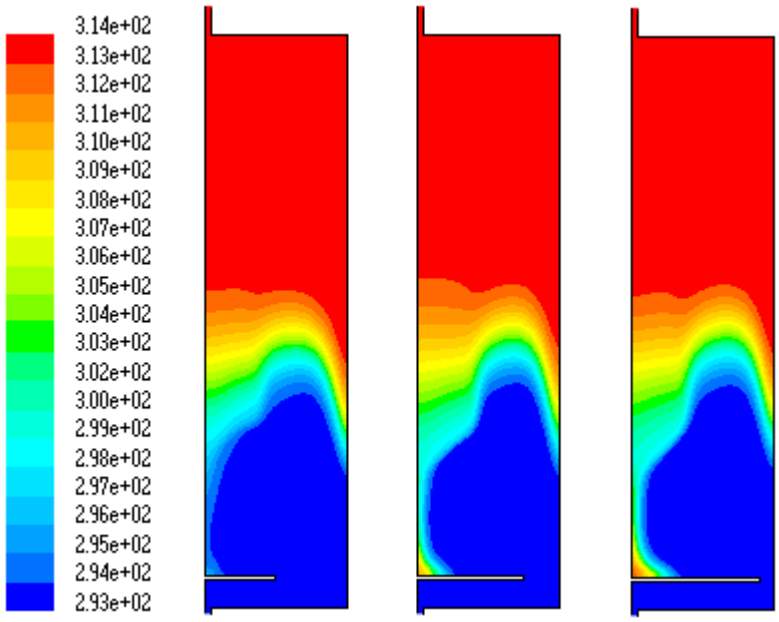


$d_E = 0.10$ m $d_E = 0.15$ m $d_E = 0.18$ m

Şekil 4.10. Q = 0.085 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Sıcaklık Dağılımları



Şekil 4.11. Q = 0.106 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi

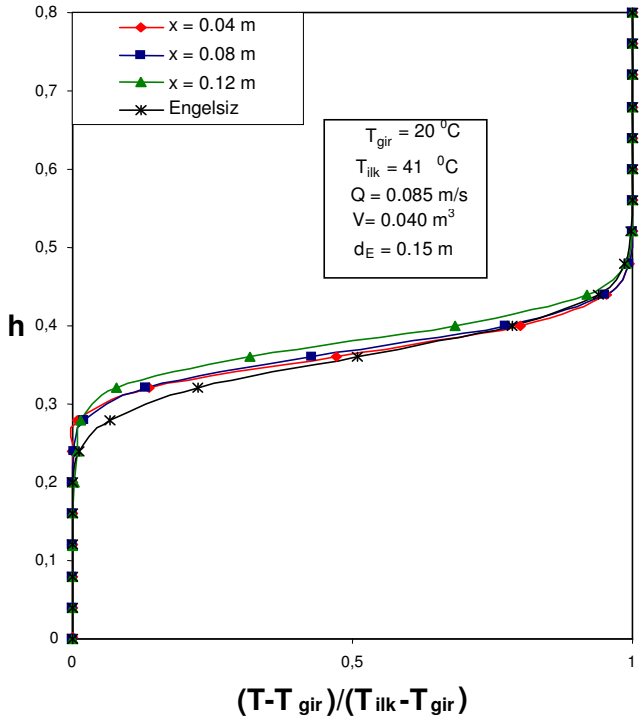


d_E = 0.10 m d_E = 0.15 m d_E = 0.18 m

Şekil 4.12. Q = 0.106 m/s İçin Farklı Engel Çaplarında Sıcaklık Dağılımları

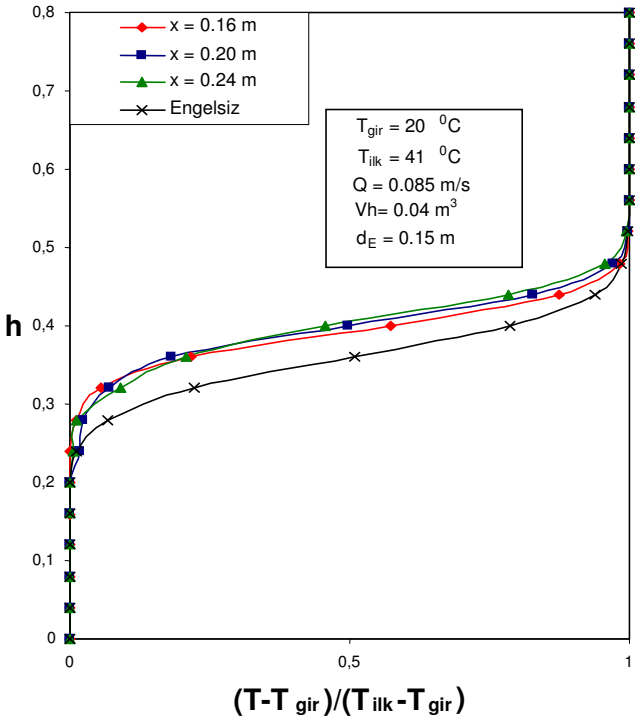
Yukarıdaki şekillerden görüldüğü gibi, giriş karşısına konulan engel çaplarının sıcaklık tabakasına etkisi oldukça küçüktür. Suyun giriş debisi arttıkça bu etkinin daha da azaldığı, sıcaklık tabakasının optimum engel çapından sonra çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Tank içerisine yerleştirilen engeller tanka giren sıcak suyun hızını yavaşlattığından dolayı sıcaklık tabakasını iyileştirmektedir. Bu nedenle tank içerisine yerleştirilen engelin girişe uzaklığının, yani konumlandırıldığı yerinde sıcaklık tabakası üzerinde etkisi büyüktür. Dolayısıyla bu çalışmada engelin tank içerisine onbir farklı konumda yerleştirildiği tank modelleri için çözüm yapıldı. Engelin girişten x = 0.04 m, x = 0.08 m, x = 0.12 m, x = 0.16 m, x = 0.20 m, x = 0.24 m, x = 0.28 m, x = 0.32 m, x = 0.36 m, x = 0.40 m ve x = 0.44 m uzaklığa yerleştirildiği, giriş debisinin Q = 0.085 m/s, engel çapının d_E = 0.15 m ve sıcak su girişinin t = 1500 s olduğu tank modellerindeki sıcaklık tabakasının değişimi aynı grafikte, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15. ve Şekil 4.16' da verilmiştir.

Engel konumun sıcaklık tabakasına etkisinin daha iyi gözlemlenebilmesi için, sıcaklık tabakasının konumla değişimi dört ayrı grafikte ve engelsiz tank modeliyle karşılaştırılarak verilmiştir.

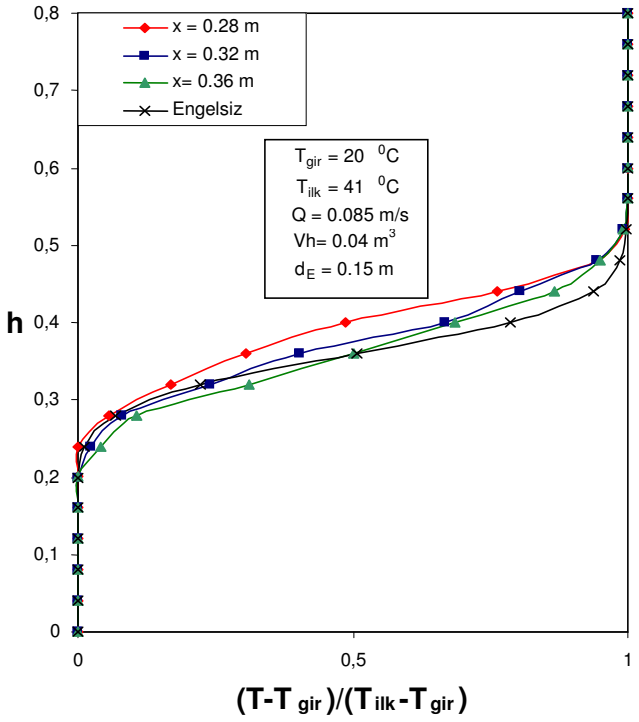


Şekil 4.13. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi

Şekil 4.13' de tank içerisine yerleştirilen engelin girişten uzaklığı x = 0.04 m, x = 0.08 m, x = 0.12 m için düşey sıcaklık tabakasının değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bu üç engel konumundaki sıcaklık tabakasının kalınlığı, engelsiz tank modelindeki sıcaklık tabakasının kalınlığından daha küçüktür. Sıcaklık tabakasının en iyi olduğu engel konumu engelin girişe en yakın olduğu konumdur. Şekil 4.14' de engelin girişten x = 0.16 m, x = 0.20 m, x = 0.24 m uzaklığa, Şekil 4.15' de engelin girişten x = 0.28 m, x = 0.32 m, x = 0.36 m uzaklığa yerleştirildiği durumlarda tank içerisine oluşan düşey sıcaklık tabakasının değişimi ve engelsiz tank modelindeki düşey sıcaklık tabakası ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekiller incelendiğinde engelin girişten x = 0.16 m uzaklığa yerleştiği konumda sıcaklık tabakasının engelsiz tank modelindeki sıcaklık tabakasından daha iyi olduğu, bu noktadan daha uzak konumda yerleştirilen tank modellerinde sıcaklık tabakasının bozulduğu görülmektedir. Ayrıca engelin girişe x = 0.24 m' den daha uzak bir noktaya yerleştirilmesinin engelsiz tank modeline göre daha uzun bir sıcaklık tabakası kalınlığına sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

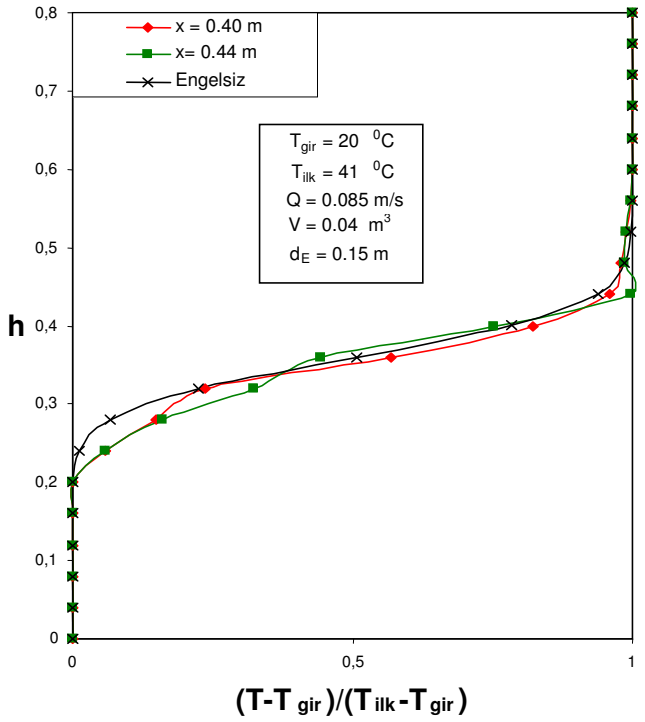


Şekil 4.14. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi



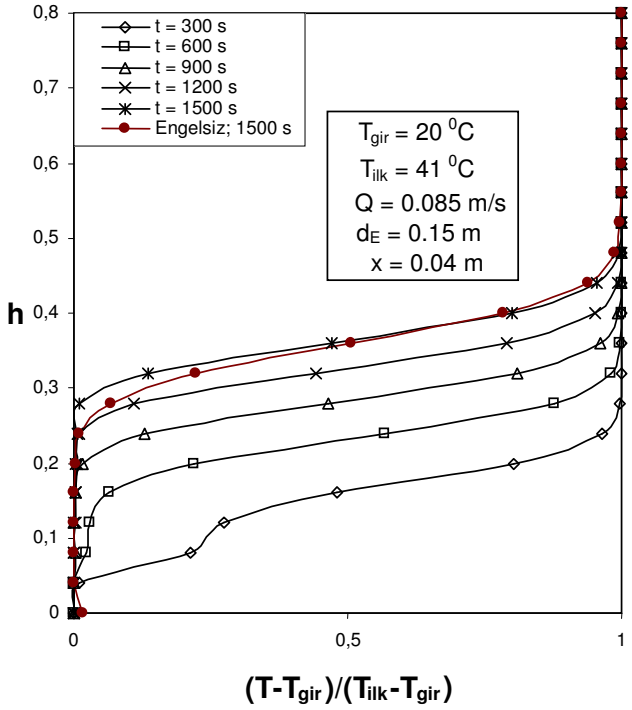
Şekil 4.15. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi

Engelin girişten uzaklaşmasıyla düşey sıcaklık tabakasının bozulduğu hatta engelsiz tank modeline göre daha kötü bir sıcaklık tabakasının oluştuğu, engelin girişe uzaklığının x = 0.40 m ve x = 0.44 m olduğu durumlardaki sıcaklık tabakasının değişimini veren Şekil 4.16' da daha iyi görülmektedir.

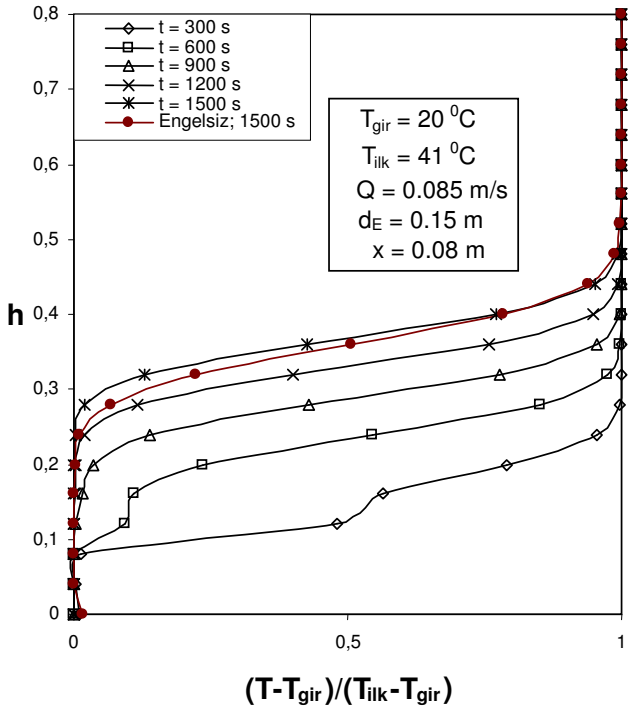


Şekil 4.16. Farklı Engel Konumlarda Düşey Sıcaklık Tabakasının Değişimi

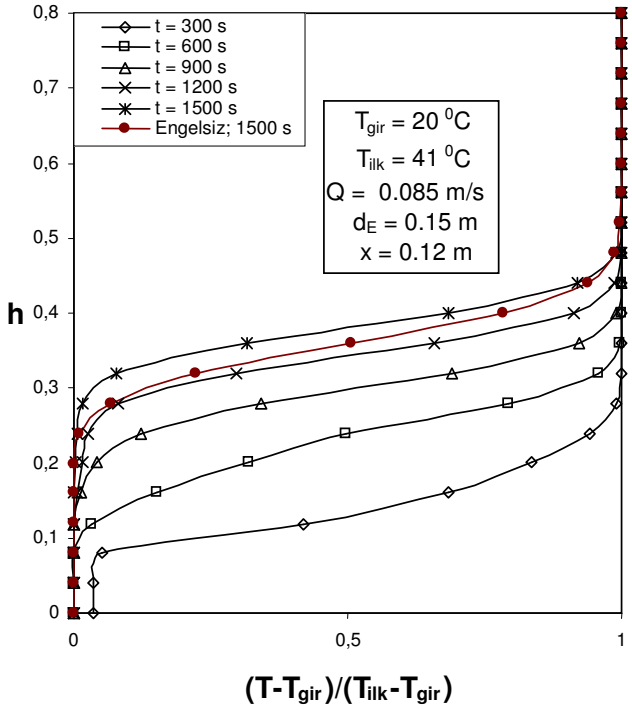
Yukarıdaki şekillerin incelendiğinde engel uzaklığının tank içerisinde meydana gelen düşey sıcaklık tabakası üzerinde etkisinin büyük olduğu görülmektedir. En iyi sıcaklık tabakasının, engelin girişe en yakın olduğu konumda elde edildiği, engel uzaklığının artmasıyla sıcaklık tabakasının uzadığı ve tabakada bozulmaların olduğu ve belirli bir mesafeden sonra engelsiz tank modeline göre daha uzun sıcaklık tabakasının oluştuğu gözlemlendi. Bu durumun daha iyi gözlemlenmesi için sıcaklık tabakasının, engelin girişe uzaklığı ve zamanla değişiminin engelsiz tank modeli ile karşılaştırıldığı durumlar aşağıdaki şekillerde, sıcaklık dağılımları da Ek-2' de verilmiştir.



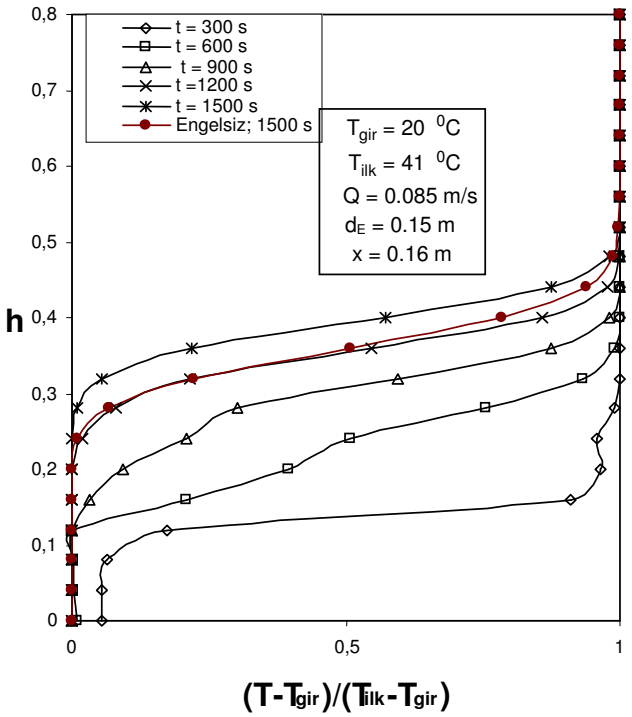
Şekil 4.17. x = 0.04 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



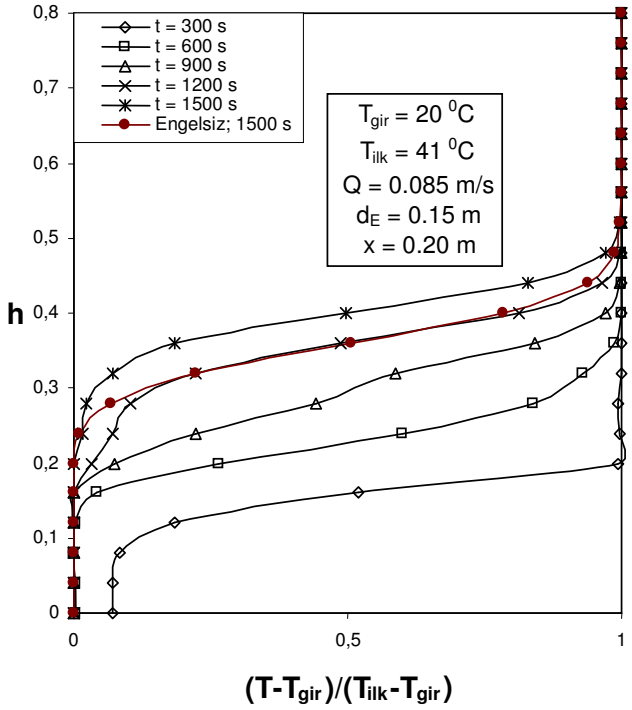
Şekil 4.18. x = 0.08 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



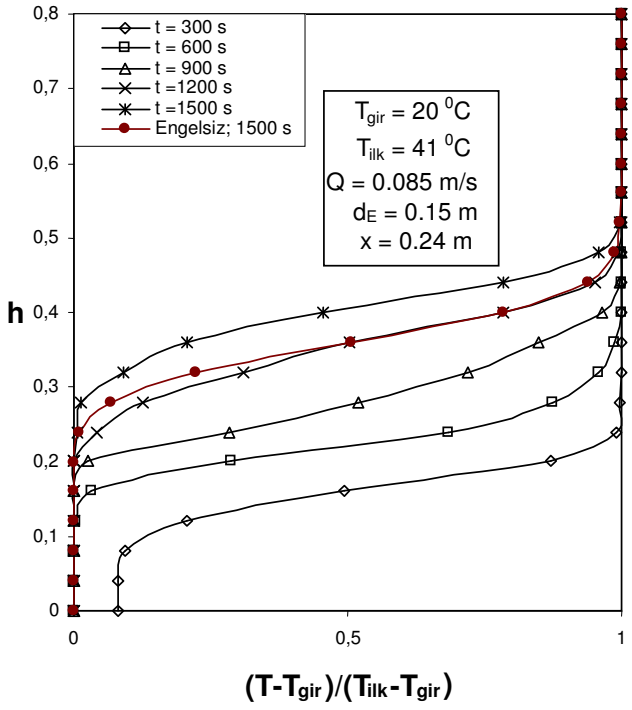
Şekil 4.19. x = 0.12 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



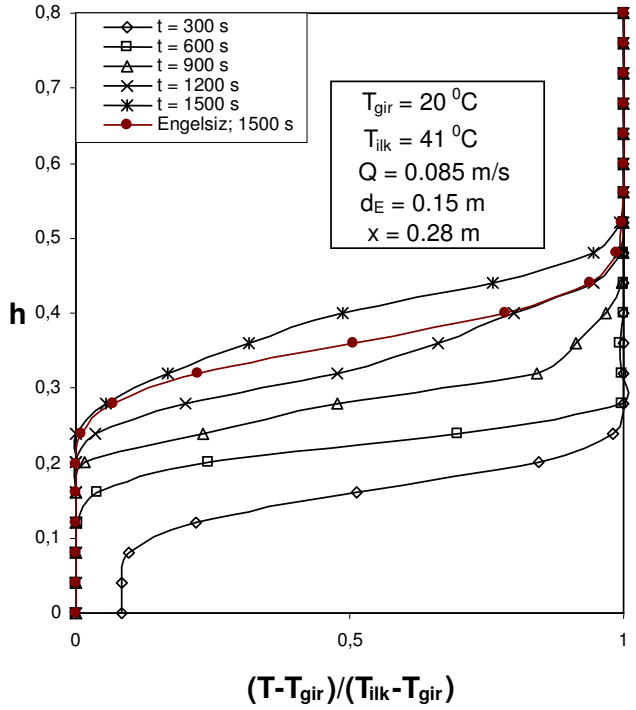
Şekil 4.20. x = 0.16 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



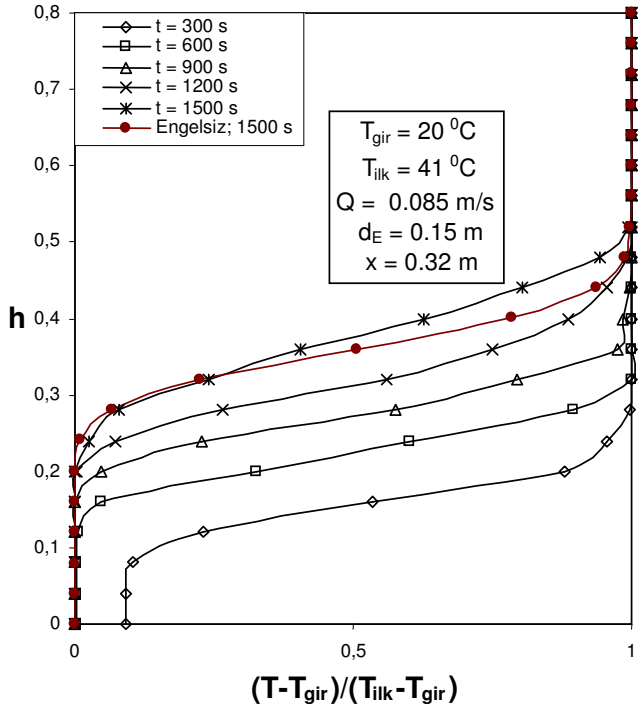
Şekil 4.21. x = 0.20 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



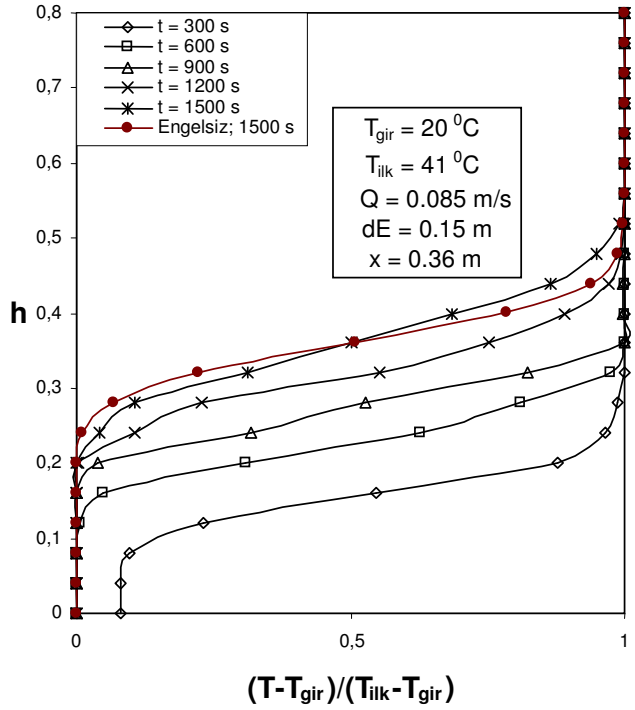
Şekil 4.22. x = 0.24 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



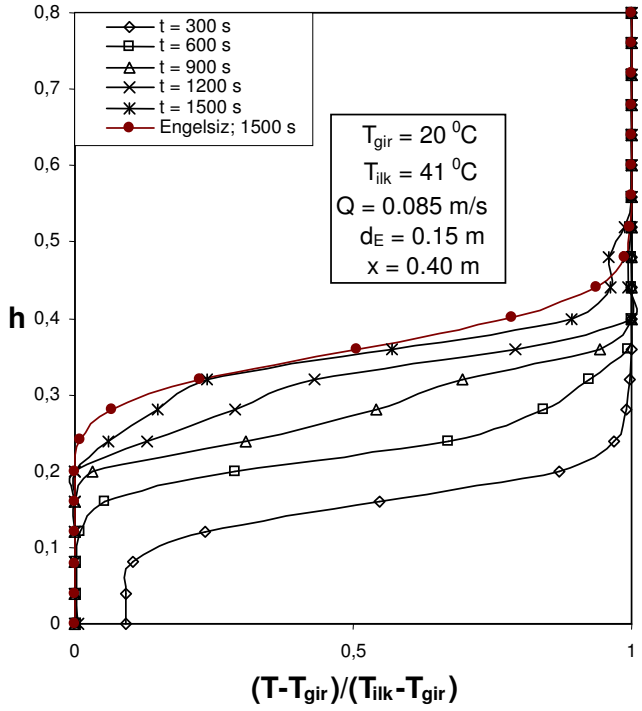
Şekil 4.23. x = 0.28 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



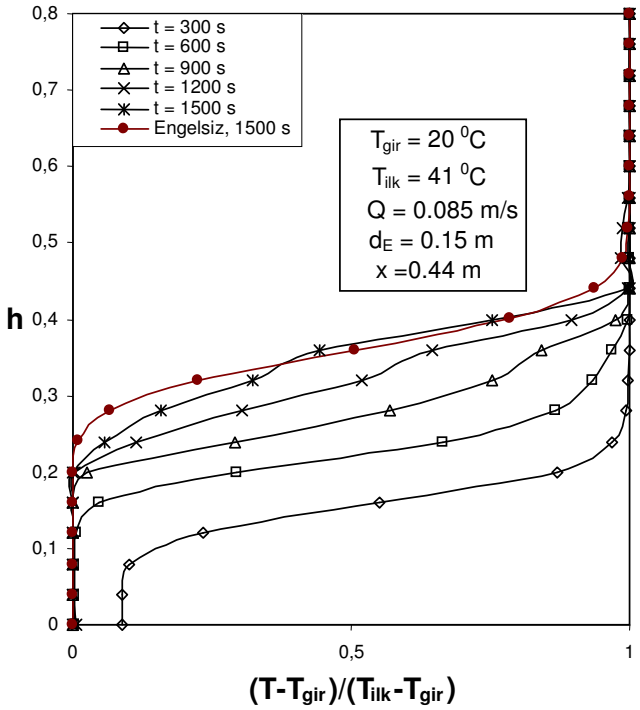
Şekil 4.24. x = 0.32 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



Şekil 4.25. x = 0.36 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



Şekil 4.26. x = 0.40 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi



Şekil 4.27. x = 0.44 m İçin Düşey Sıcaklık Tabakasının Zamanla Değişimi

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde, engelin girişten uzaklaşması ile düşey sıcaklık tabakası kalınlığının büyüdüğü, engelin belirli bir uzaklıktan sonra yerleştirilmesinin düşey sıcaklık tabakasını bozduğu hatta içerisine engel yerleştirilmemiş bir tank modelinde meydana gelen sıcaklık tabakasından daha kötü bir tabakalaşmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile güneş enerjili sıcak su tanklarında sıcak ve soğuk suyun karışması ile meydana gelen sıcaklık tabakası iyileştirilmiştir. Bunun için tank içerisine, sıcaklık tabakasını iyileştirecek çeşitli çaplarda engeller yerleştirilmiştir. Sıcaklık tabakasının en iyi olduğu yani tabakalaşmanın maksimum olduğu tank modelinin tespit etmek için sıcaklık tabakası üzerinde etkisi olan, debi, engel çapı ve engelin konumu gibi parametreler aynı anda değiştirilmiş ve optimum olan tank modeli bulunmaya çalışılmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda tanka giren sıcak suyun debisinin sıcaklık tabakasının üzerinde çok büyük etkisi olduğu, tanka giren sıcak suyun debisinin azalmasıyla sıcaklık tabakasının iyileştiği görülmüştür. Engelsiz bir tanka göre içerisine engel yerleştirilmiş bir tankta daha yüksek debilerde çok daha iyi sıcaklık tabakası elde edilebileceği görülmüştür.

Sıcaklık tabakasına diğer önemli bir etkeninde tank içerisine yerleştirilen engelin konumlandığı yerin, yani engelin su girişine olan uzaklığının olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda, engel girişe ne kadar yakın ise sıcaklık tabakasının o kadar iyi olduğu, uzaklaştıkça sıcaklık tabakasının bozulduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada engel çapları değiştirilmiş ve engel çapının belirli bir değerden sonra sıcaklık tabakasına etkisinin değişmediği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Türkiye Enerji Bakanlığı, Birincil Enerji Kaynakları Üretimi ve Tüketimi, http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp, 2008.

2. Dış Ticaret Rakamları, http://www.alomaliye.com/ekonomi/2007/dişticaret, 2006.

3. Sönmez, M., 100 Göstergede Kuruluştan Çöküşe Türkiye Ekonomisi, s. 44, İletişim, İstanbul, 2003.

4. Özemre, A.Y., Türkiye'nin Enerji Açısından Trajik Durumu, Zaman Gazetesi, 29.01.2002.

5. Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD-T/98-12/239, İstanbul, 1998.

6. Kılıç, A., Öztürk, A., Güneş Enerjisi, s. 330, İ.T.Ü., İstanbul, 1983.

7. Güneş Enerjisi, http://muhendisizupload.net/uploadlar/12216/gne351_enerjisi_ve_kollektrler.doc, 2008.

8. Günerhan, H., Duyulur Isı Depolama ve Bazalt Taşı, Mühendis ve Makina, 530, 2004.

9. Özbaylar, Ürünler, http://www.ozbaylar.com/urunler, 2008

10. Günser, Ürünler, Depo ve Boyler, http://www.gunser.com.tr/a2.asp, 2008

11. Kenjo, L., Inard, C.,Caccavelli, D., Experimantal And Numerical Study Of Thermal Stratification İn A Mantle Tank Of Solar Domestic Hot Water System, Applied Thermal Engineering, 27(2007), 1986-1995,2007.

12. Khurana, T.K., Prasad, B.V.S.S.S., Ramamurthi, K. Ve Murty, S.S., Thermal Stratification İn Ribbed Liquid Hydrogen Storage Tanks, International Journal Of Hydrogen Energy, 31(15), 2299-2309, 2006.

13. Hegazy, A.A., Diab, M.R., Performance Of An İmproved Design For Storage-Type Domestic Electrical Water-Heaters, Applied Energy, 71(4), 287-306, 2002.

14. Chelghoum, D.E., Bejan, A., Second-Law Analysis of Solar Collectors With Energy Storage Capability, Journal of Solar Energy Engineering, 107, 244-251, 1985.

15. Fernandez-Seara, J., Uhia, F.J., ve Sieres, J., Experimental Analysis Of A Domestic Electric Hot Water Storage Tank, Applied Thermal Engineering 27(1), 137-144, 2007.

16. Knudsen, S., Furbo, S., Thermal Stratification İn Vertical Mantle Heat-Exchangers With Application To Solar Domestic Hot-Water Systems, Applied Energy, 78(3), 257-272, 2004.

17. Shin, M.S, Kim, H.S., Jang, D.S., Lee, S.N., Lee, Y.S., Yoon, H.G., Numerical And Experimental Study On The Design Of Stratified Thermal Storage System, Applied Thermal Engineering, 24(1), 17-27, 2004.

18. Cruz, J.M.S., Hammond, G.P., Resi, A.J.P.S., Thermal Performance of A Trapezoidal-Shaped Solar Collectör/Energy Store, Applied Energy, 73(2), 195-212, 2002.

19. Zachar, A., Farkas, I., Szlivka, F., Numerical Analyses of The İmpact Of Plates For Thermal Stratification İnside A Storage Tank With Upper And Lower İnlet Flows, Solar Energy, 74(4), 287-302, 2003.

20. Hollands, K.G.T., Lightstone,M.F., A Reviev of Low-Flow Stratified-Tank Solar Water Heating Systems, Solar Energy, 43(2), 97-105, 1989.

21. Alizadeh, S., An Experimental and Numerical Study of Thermal Stratification İn A Horizontal Cylindrical Storage Tank, Solar Energy, 66(6), 409-421, 1999.

22. Paykoç, E. ve Kakaç, S., Solar Thermal Energy Storage, ASI on Energy Storage Systems: Fundamentals and Applications, 27 June-8 July, İzmir, Turkey, 1988

23. Moran, M.J. and Keyhani, V., Second Law Analysis of Thermal Energy Storage Systems, 7th International Heat Transfer Conference ,vol.6, Munich, Germany, 1982.

24. Consul, R., Rodriguez, I., Virtual Prototyping of Storage Tanks By Means of Three-Dimensional CFD and Heat Transfer Numerical Simulations, Solar Energy, 77, 179-191, 2004.

25. Arslan, M., Altuntop. N., Özceyhan. V., The Effect of Using Different Obstacles İnto Thermal Stratification in Hot Water Storage Tank With Forced Convection, The 5th ISES Europe Solar Conference, Freiburg, Germany, June 20-23, 2004.

26. Altuntop, N., Kılık, Z., Kıncay, O., Özceyhan, V., Effect of Water İnlet Velocity on Thermal Stratification İn a Mantled Hot Water Storage Tank, İnternational Journal or Energy Research, 2005.

27. Altuntop, N., Arslan, M., Kaptan, N., Sıcak Su Depolama Tankındaki Dairesel Plakaların Isıl Tabakalaşmaya Etkisi, İTÜ Dergisi, 74-86, 2006.

28. Altuntop, N., Arslan, M., Kaptan, N., Sıcak Su Depolama Tankındaki Dairesel Plakaların Isıl Tabakalaşmaya Etkisi, İTÜ Dergisi, 74-86, 2006.

29. Hess, C.F., ve Miller, C.W., An Experimental and Numerical Study On The Effect of The Wall İn a Thermocline-Type Cylindrical Enclosure-II, Solar Energy, Part II, 28(2), 153-161, 1982.

30. Altuntop, N., Arslan, M., Özceyhan, V., Numerical Analysis of The Effect of Using Some Obstacles İnto Thermal Stratification in Hot Water Tank With Natural Convection, The 5th ISES Europe Solar Conference, Freiburg, Germany, June 20-23, 2004.

31. Arslan, M., Altuntop, N., ve İğci, A., Sıcak Su Tanklarında Tanka Giren Sıcak Su Debisinin Değiştirilmesinin Sıcaklık Tabakalaşmasının Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Yeks'05, Kayseri, Haziran 3-4, 2005.

32. Jeong, S., ve Park, M.H., Thermal Stratification in avHorizontal Circular Cylinder With External Heat Tracing, Numerical Heat Transfer, Part A, 35, 85-98, 1999.

33. Murthy, S.S., Nelson, J.E.B., ve Rao, T.L.S., Effect of Wall Contuctivity on Thermal Stratification, Solar Energy, 49(4), 273-277, 1992.

34. Sezai, I., Aldabbagh, L.B.Y., Atikol, U., Hacisevki, H., Performance İmprovement By Using Dual Hearts İn A Storage-Type Domestic Electriv Water-Heater, Applied Energy, 81(3), 291-305, 2005.

35. Shah, L.J., Andersen, E., Furbo, S., Theoretical and Experimental İnvestigations of İnlet Stratifiers For Solar Storage Tanks, Applied Thermal Engineering, 25(14-15), 2086-2099, 2005.

36. Mio, Y., Miyatake, O., Numerical Analysis of The Transient Turbukent Flow Field İn A Thermally Stratified Thermal Storage Water Tank, Numerical Heat Transfer, Part A, 30, 649-667, 1996.

37. Harıharan, K., Badrınarayana, K., Temperature Stratification İn Hot Water Storange Tank, Energy, 16(7), 977-982, 1991.

38. Eames, P.C., Norton, B., 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, 1998.

39. Ghajar, A.J., Zurigat, Y.H., Numerical Study of The Effect of İnlet Geometry On Stratification in Thermal Energy Storage, Numerical Heat Transfer, Part A, 19, 65-83, 1991.

40. FLUENT 6.1.22. User's Guide. Fluent Inconrporated, Centera Resource Park, 10, Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA, 2001.

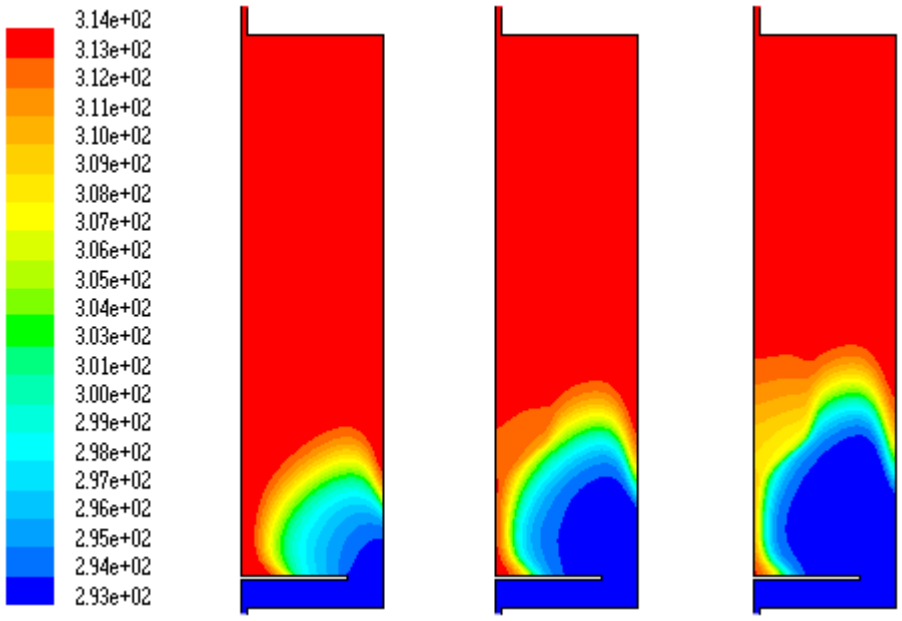
41. Sarkar, S., Balakrishnan, L., Application of a Reynolds-Stress Turbulence Model to the Compressible Shear Layer, ICASE Report 90-18, NASA CR 182002, 1990.

42. Launder, B.E., Spalding, D.B., Lectures in Mathematical Models of Turbulence, London, England, Academic Press, 1972.

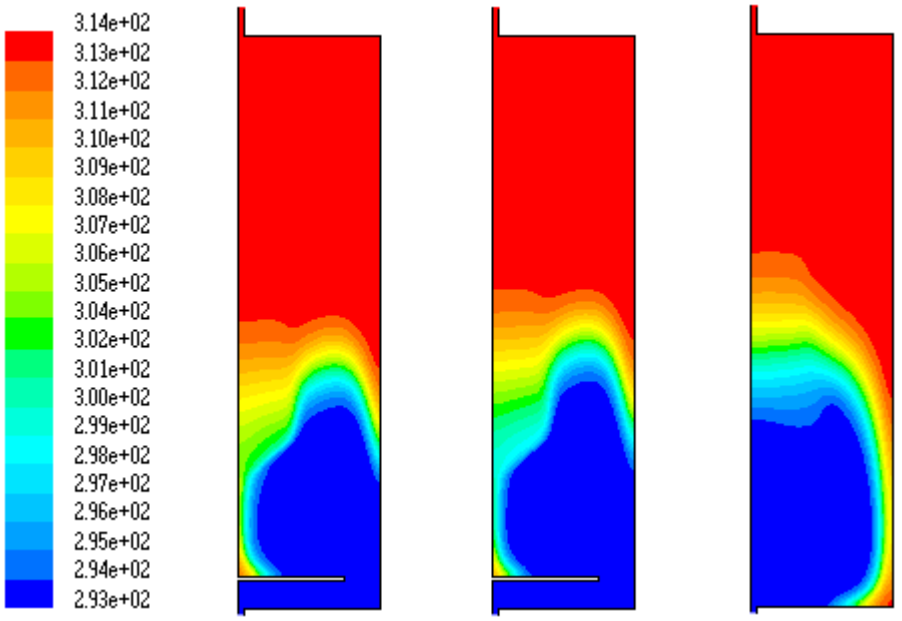
EK-1

DEĞİŞKEN DEBİLERDE ENGELLİ VE ENGELSİZ TANK MODELİ İÇİN SICAKLIK DAĞILIMLARI

($V= 0.04\ m^3$, $d_E = 0.15$ m, $x = 0.04$ m)

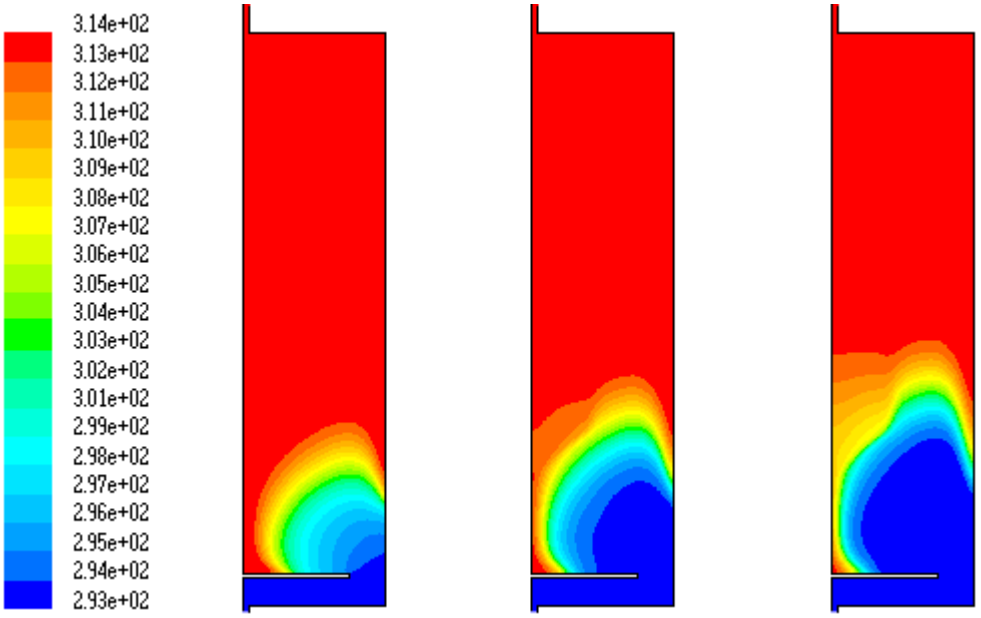


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

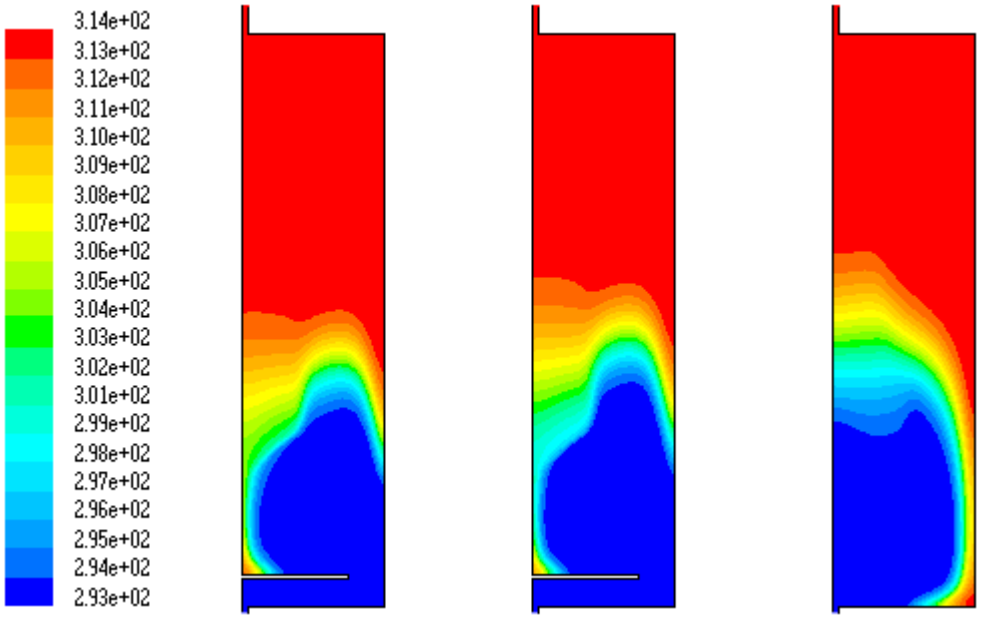


d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-1.1. Q = 0.085 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

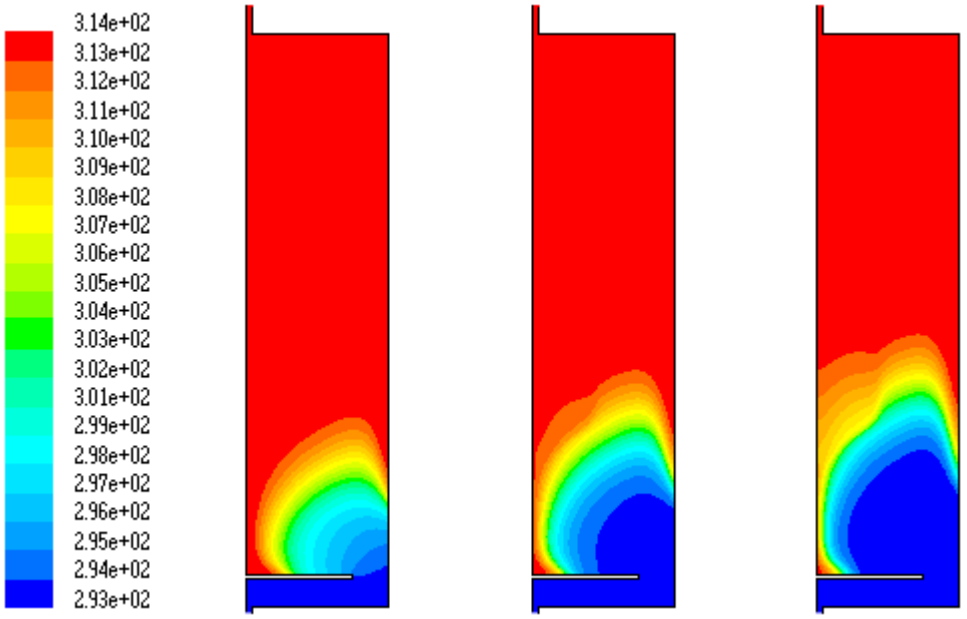


a) t = 240 s b) t = 480 s c) t = 720 s

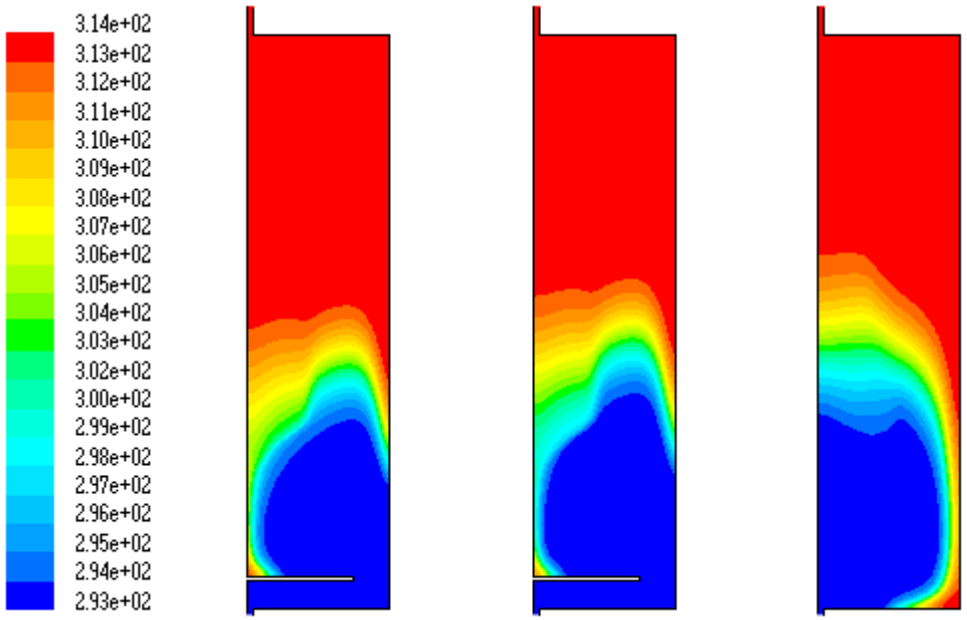


d) t = 960 s e) t = 1200 s f) Engelsiz, 1200 s

Şekil EK-1.2. Q = 0.106 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

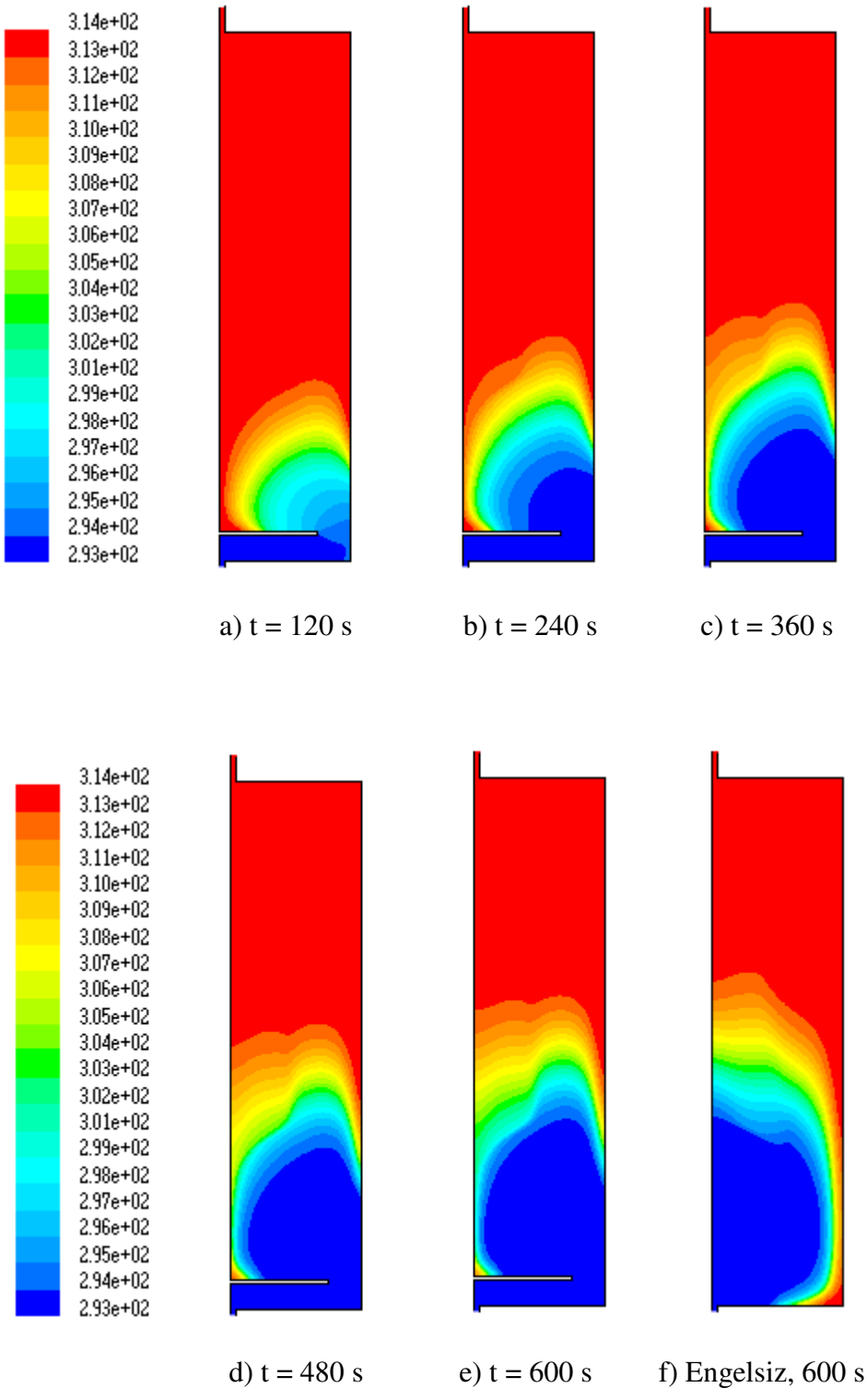


a) t = 180 s b) t = 360 s c) t = 540 s

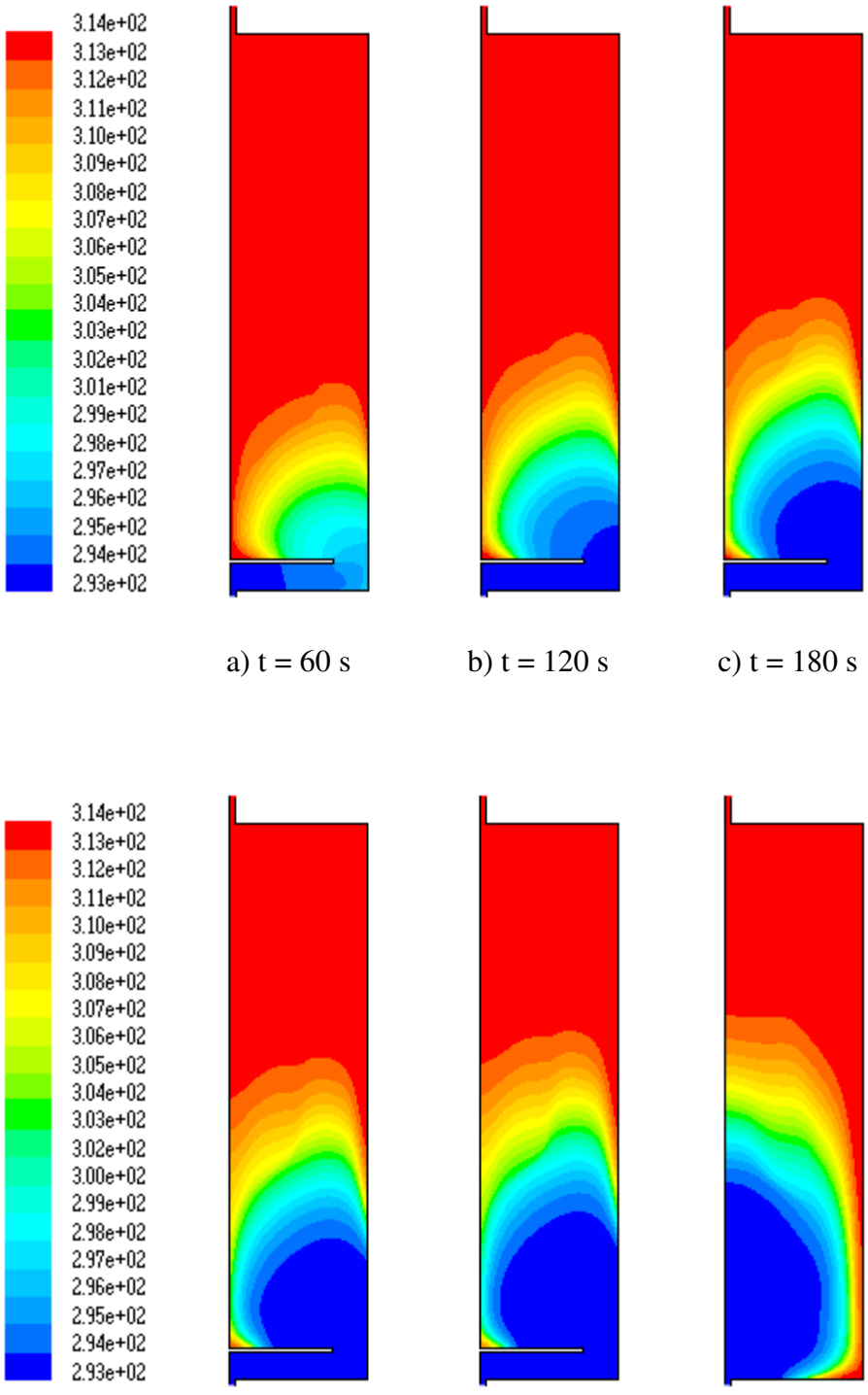


d) t = 720 s e) t = 900 s f) Engelsiz, 900 s

Şekil EK-1.3. Q = 0.142 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları



Şekil EK-1.4. Q = 0.213 m/s İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları



a) t = 60 s b) t = 120 s c) t = 180 s

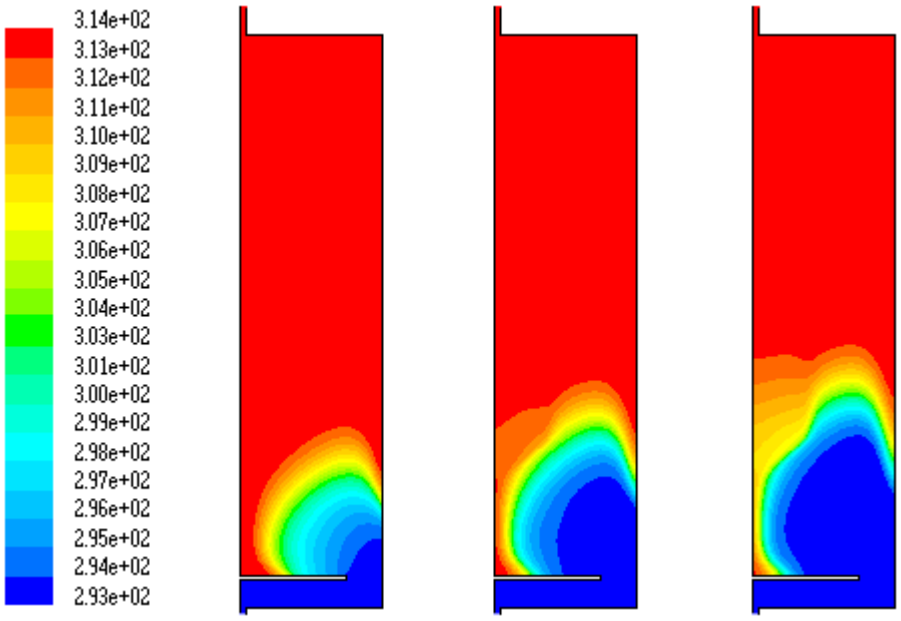
d) t = 240 s e) t = 300 s f) Engelsiz, 300 s

Şekil EK-1.5. Q = 0.425 İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

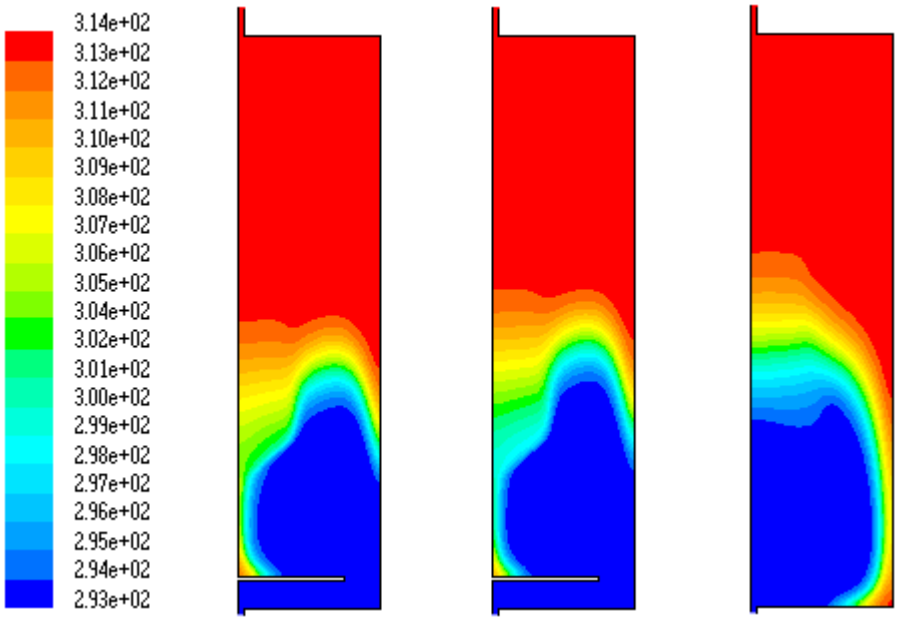
EK-2

DEĞİŞKEN ENGEL KONUMLARINDA ENGELLİ VE ENGELSİZ TANK MODELİ İÇİN SICAKLIK DAĞILIMLARI

(Q = 0.085 m/s, V= 0.04 m^3, d_E = 0.15 m)

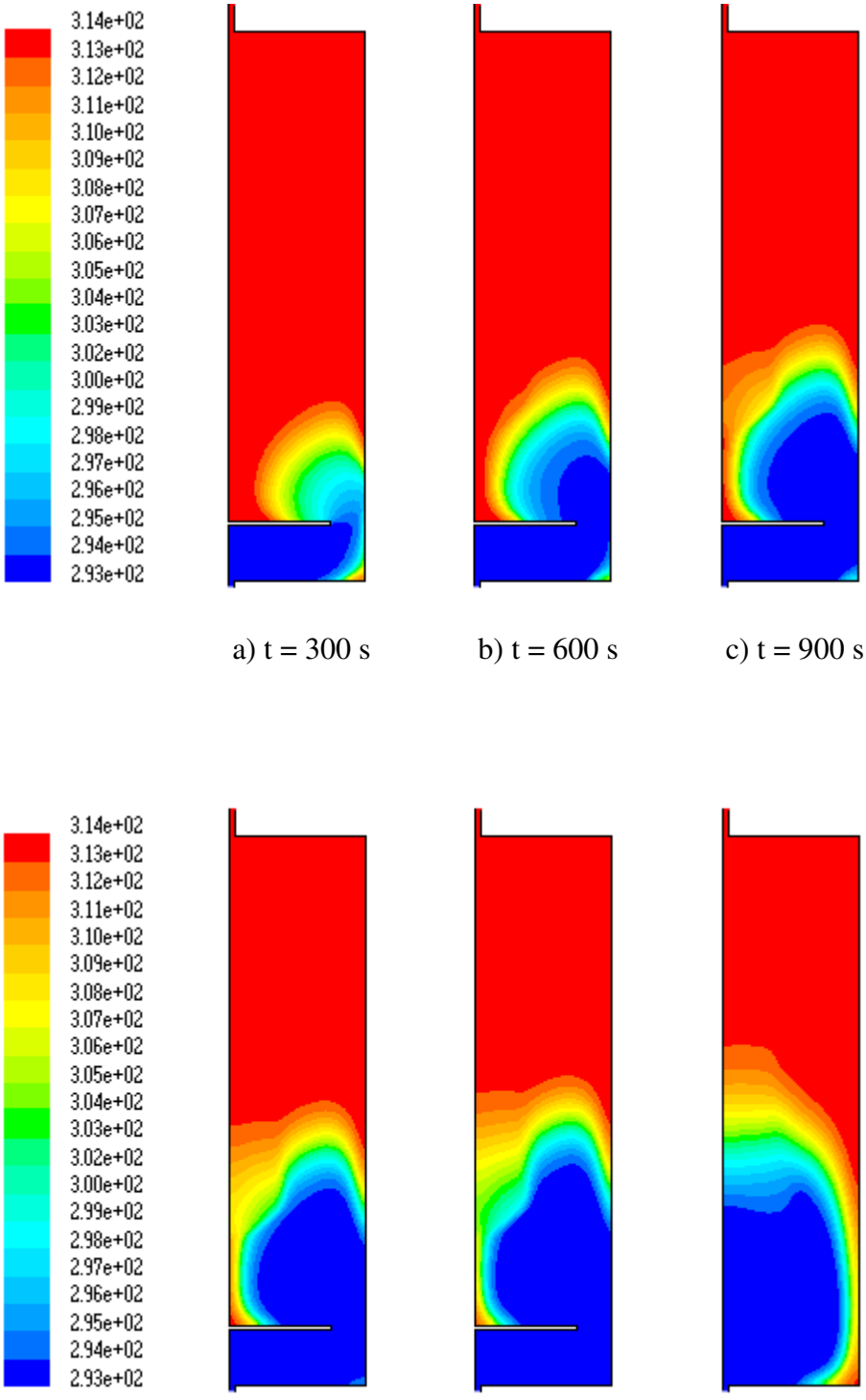


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s



d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

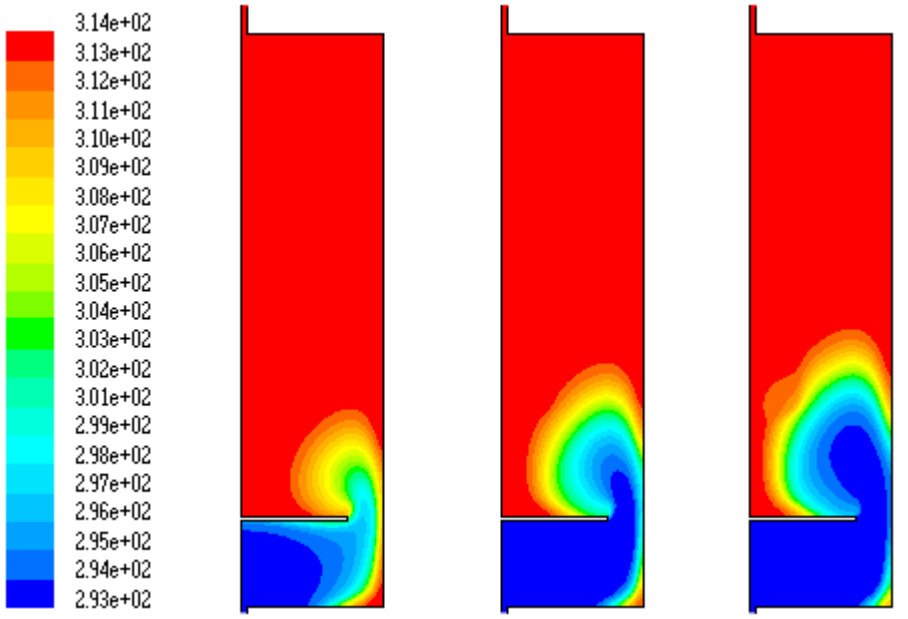
Şekil EK-2.1. x = 0.04 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları



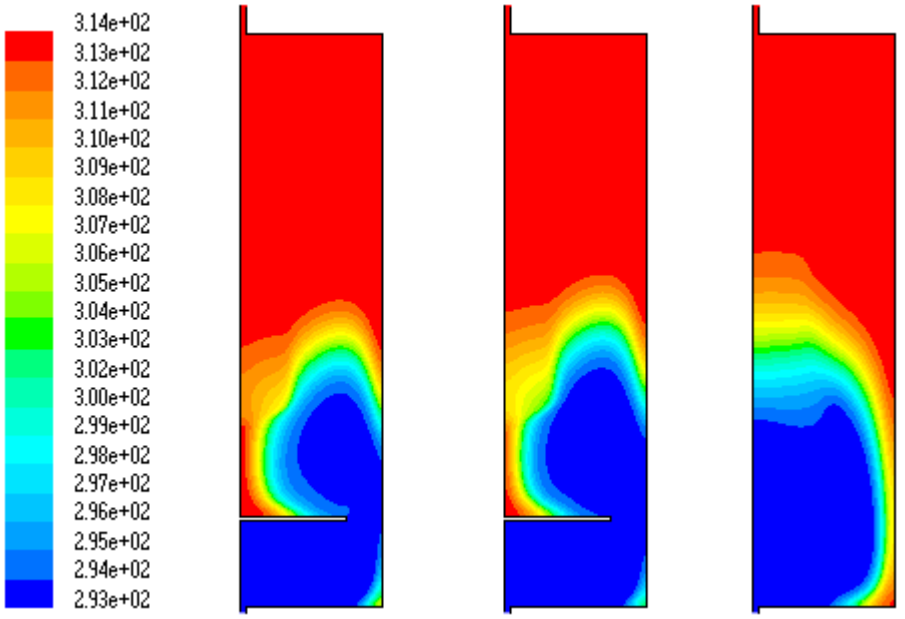
a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-2.2. x = 0.08 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

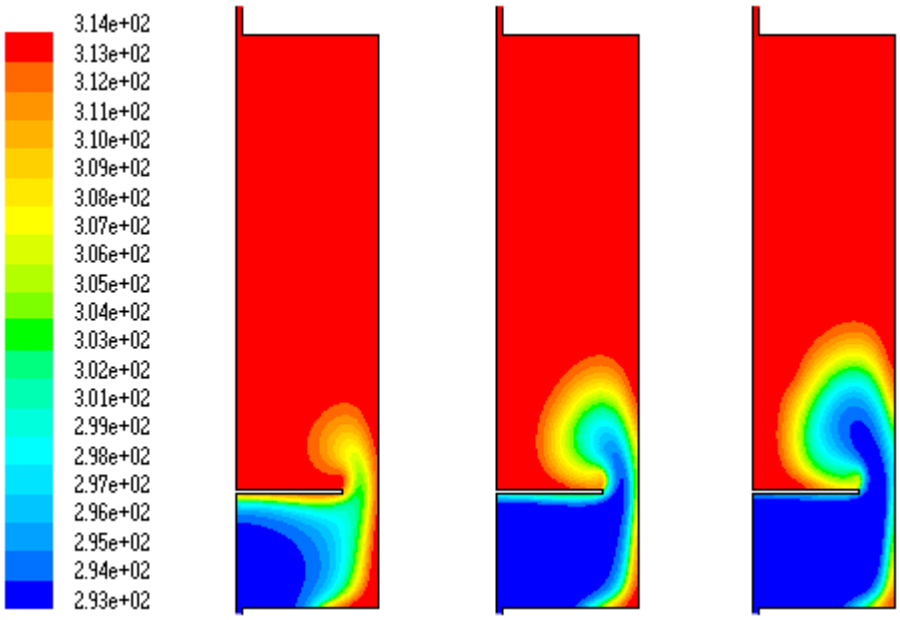


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

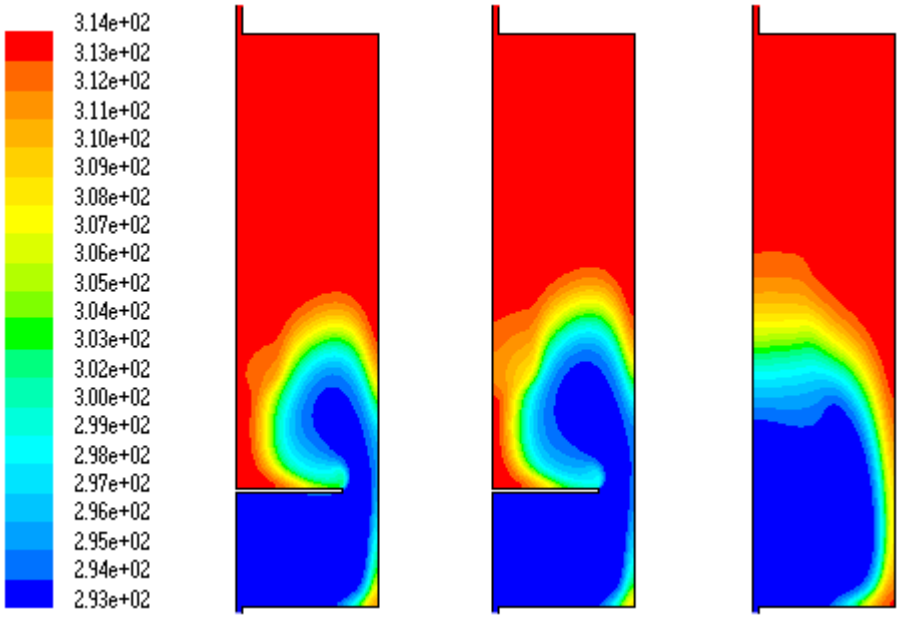


d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-2.3. x = 0.12 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

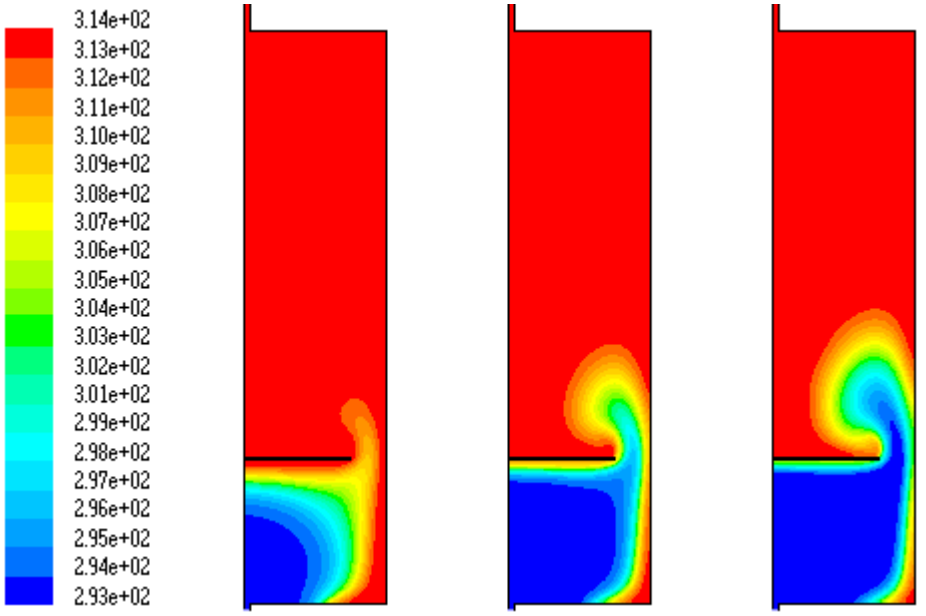


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

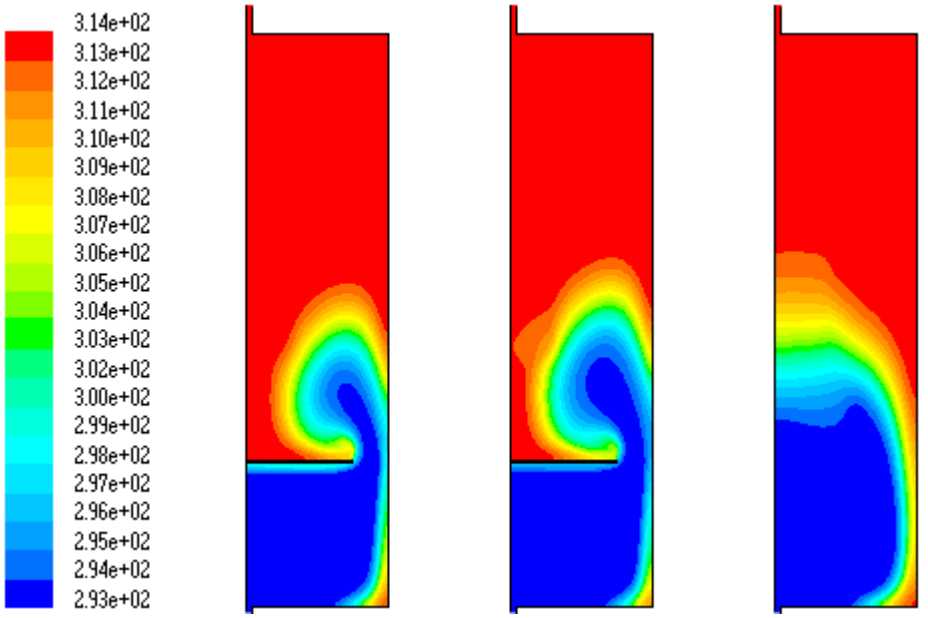


d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-2.4. x = 0.16 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

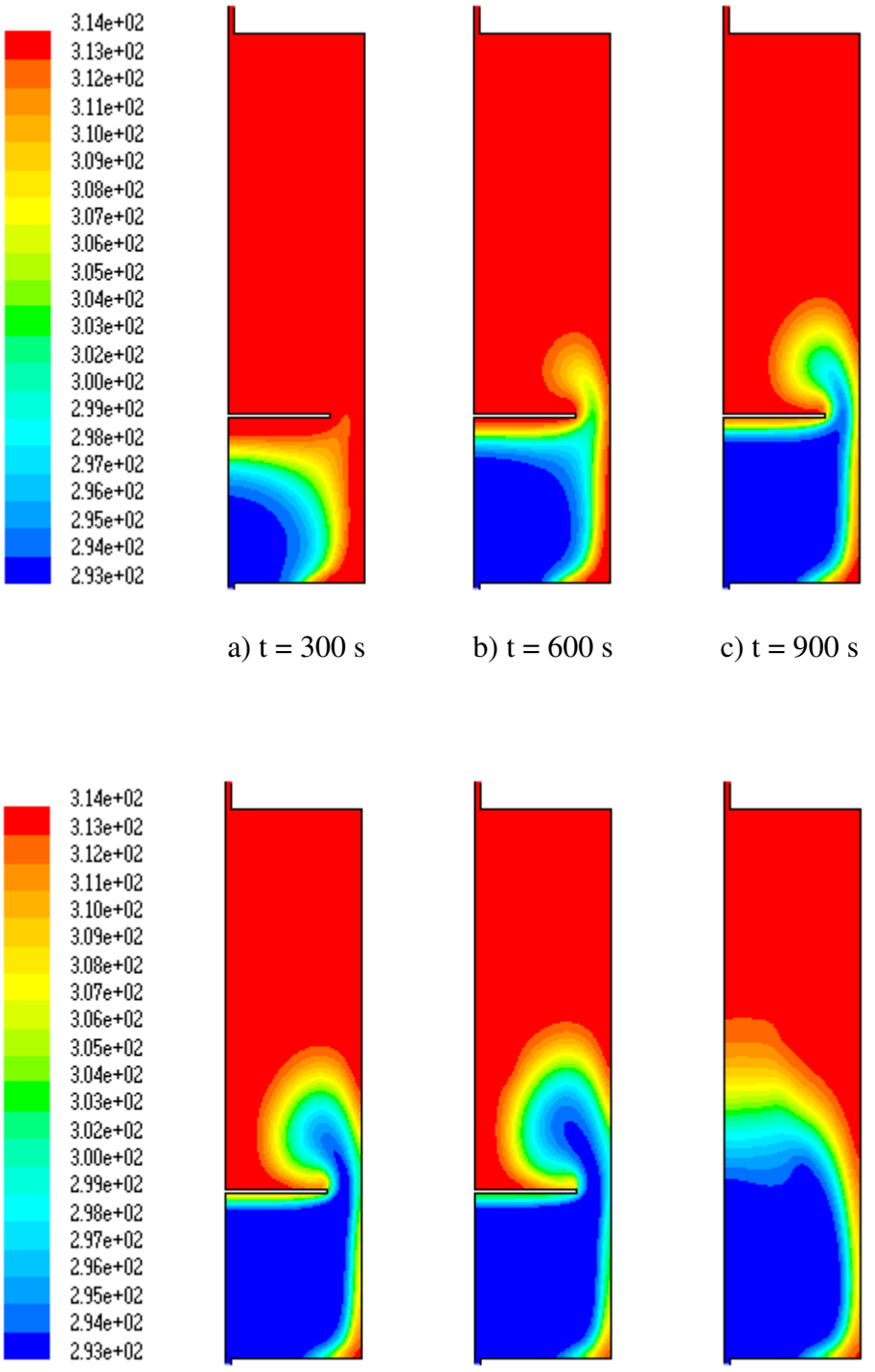


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

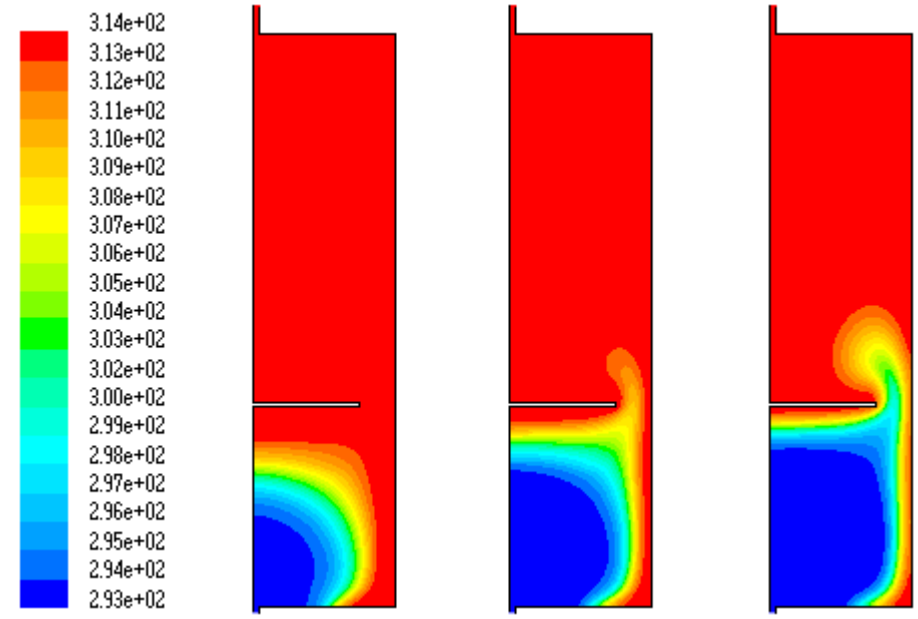


d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

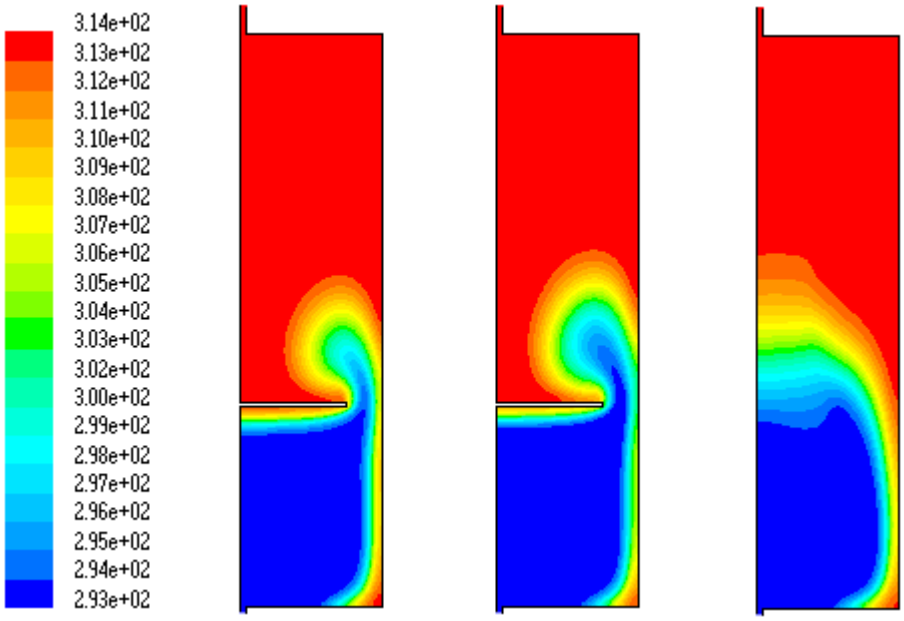
Şekil EK-2.5. x = 0.20 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları



Şekil EK-2.6. x = 0.24 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

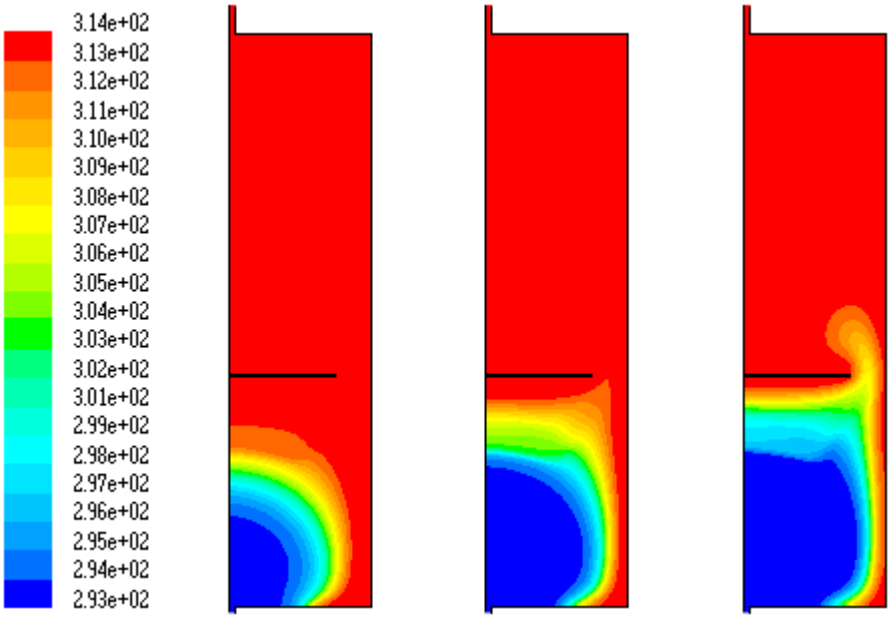


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

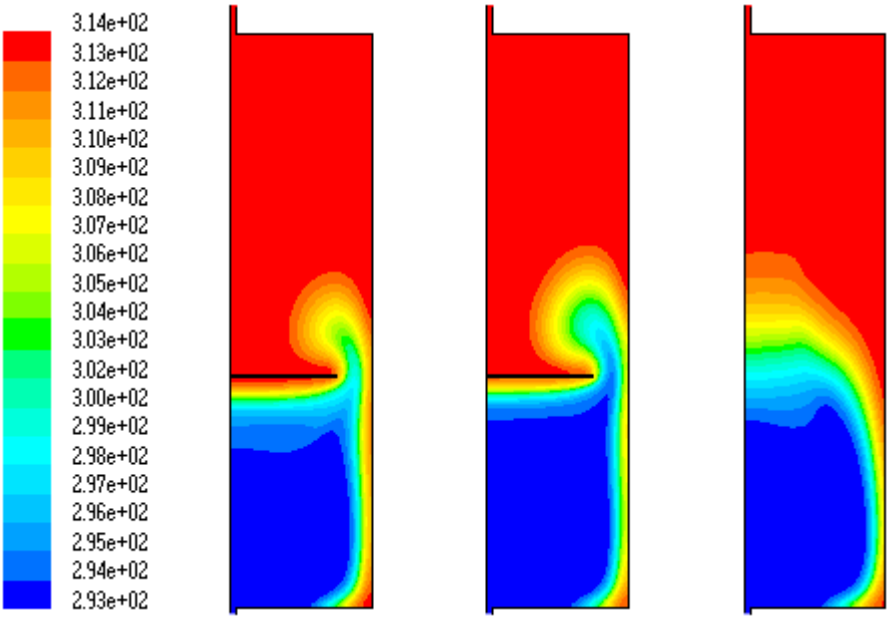


d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-2.7. x = 0.28 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

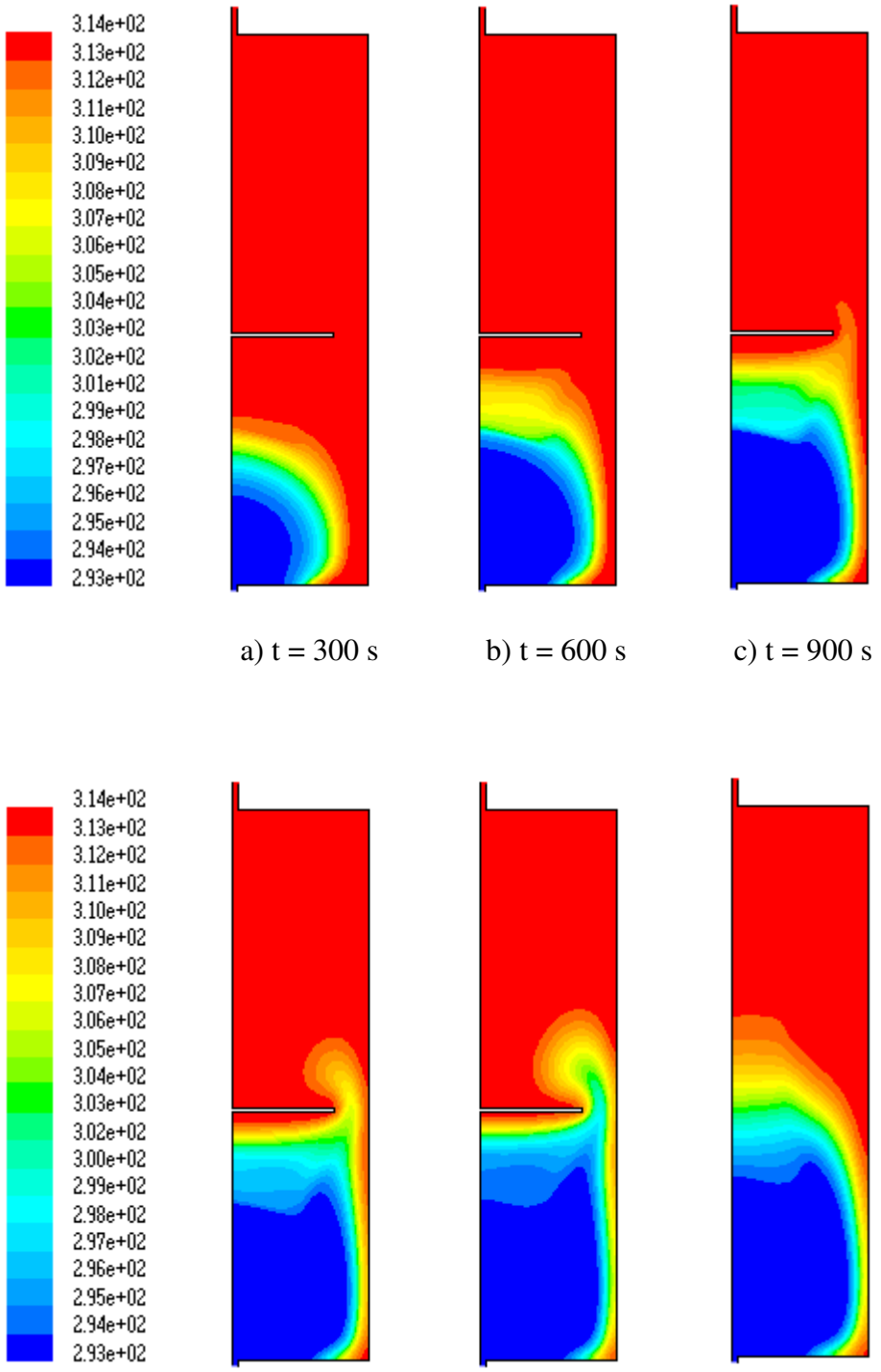


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s



d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

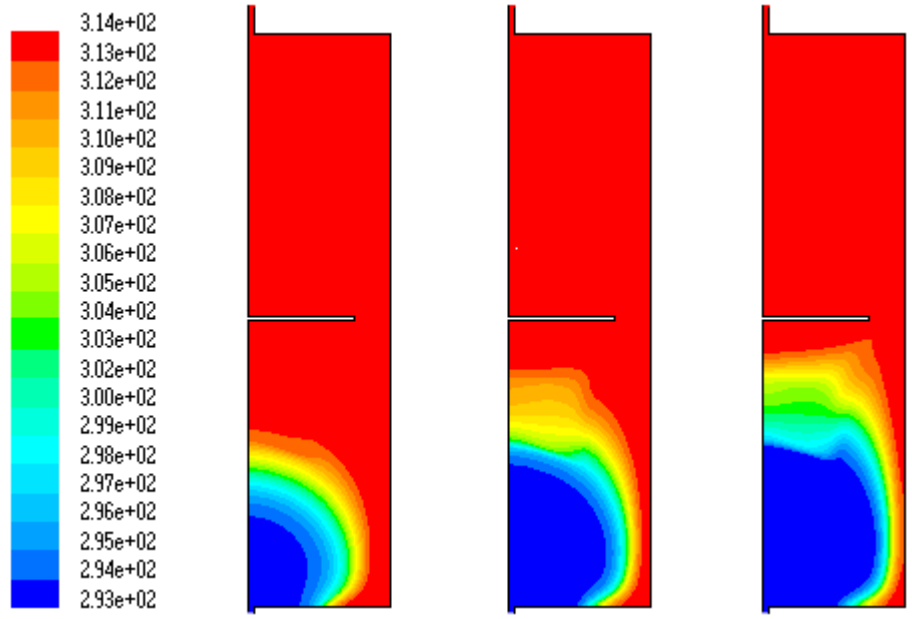
Şekil EK-2.8. x = 0.32 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları



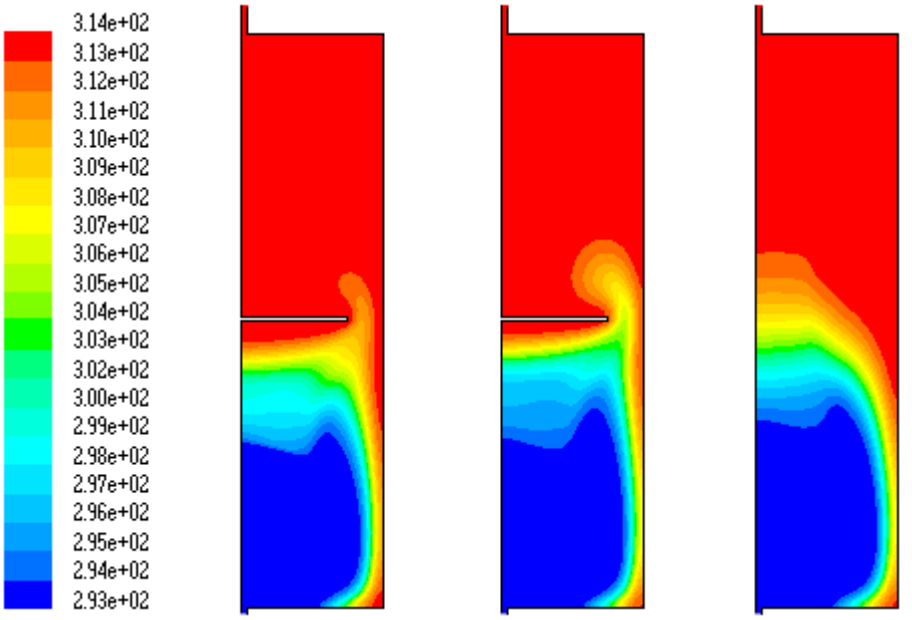
a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-2.9. x = 0.36 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

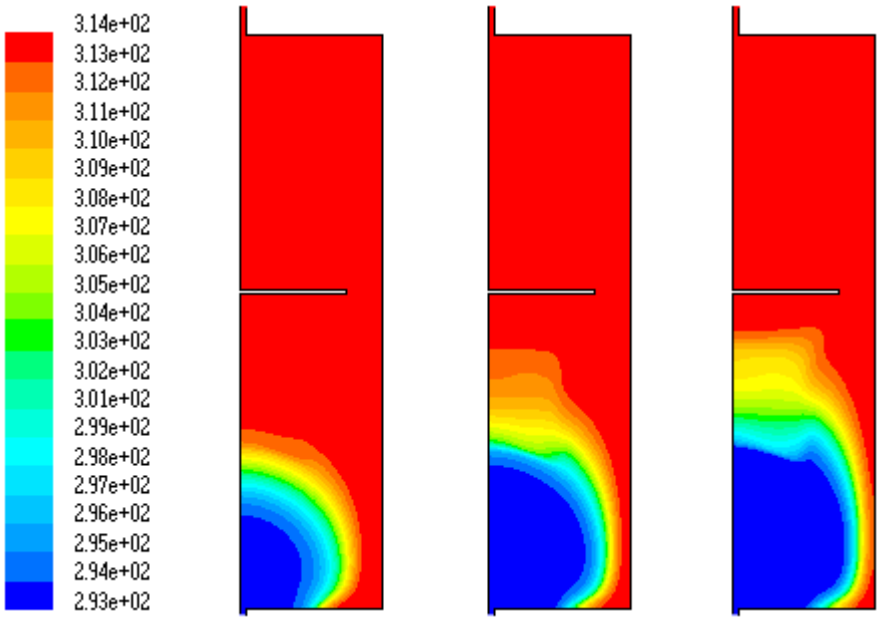


a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s

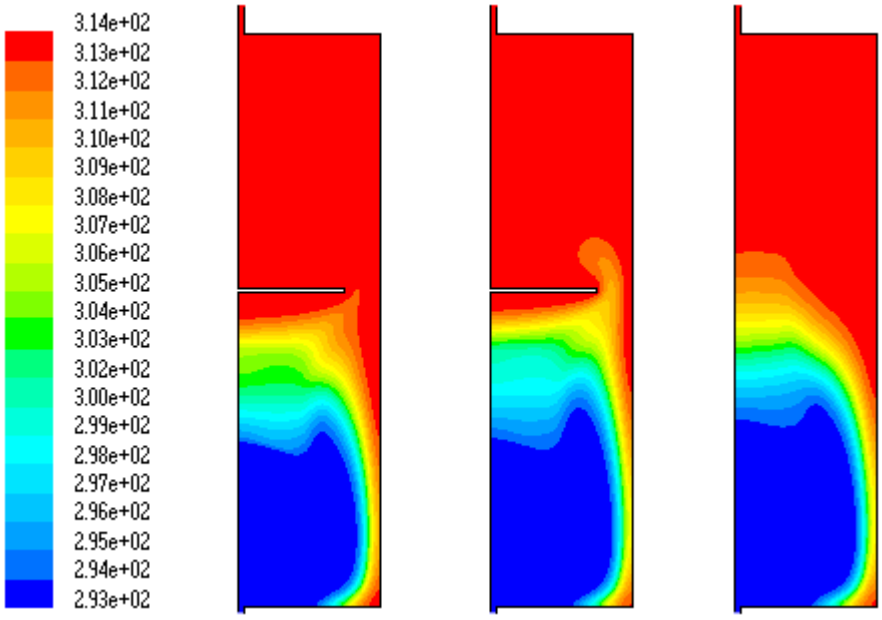


d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-2.10. x = 0.40 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları



a) t = 300 s b) t = 600 s c) t = 900 s



d) t = 1200 s e) t = 1500 s f) Engelsiz, 1500 s

Şekil EK-2.11. x = 0.44 m İçin Engelli ve Engelsiz Tank Modelinde Sıcaklık Dağılımları

ÖZGEÇMİŞ

Yavuz KÜÇÜK 1978 yılında Erzincan'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çorum'da, lise öğrenimini Şanlıurfa'da tamamladı. 1999 yılında kazandığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 2005'de Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. 2006 yılında DSİ XXII. Bölge 226. Şube Müdürlüğünde Makine İkmal Mühendisi olarak göreve başladı. Halen DSİ 226. Şube Müdürlüğünde görev yapmaktadır.

Adres : DSİ 226. Şube Müdürlüğü
Çıtlakkale Mah. Ürün Sok.
28200-GİRESUN
Tel : 0 454 215 52 80
e-posta : yavuzkucuk@dsi.gov.tr