Yüksek Lisans Tezi

Doğan ERDEMİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

2013

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MANTOLU SICAK SU TANKLARINDA SICAKLIK TABAKALAŞMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ, İKİNCİ KANUN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YSA MODELLEMESİ

Hazırlayan
Doğan ERDEMİR

Danışman
Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Yüksek Lisans Tezi

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MANTOLU SICAK SU TANKLARINDA SICAKLIK TABAKALAŞMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ, İKİNCİ KANUN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YSA MODELLEMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Doğan ERDEMİR

Danışman
Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBY-12-4115 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Temmuz 2013
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Doğan ERDEMİR

İmza :

“Mantolu Sıcak Su Tanklarında Sıcaklık Tabakalaşmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, İkinci Kanun Değerlendirilmesi ve YSA Modellemesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan — Danışman

Doğan ERDEMİR — Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP danışmanlığında **Doğan ERDEMİR** tarafından hazırlanan **"Mantolu Sıcak Su Tanklarında Sıcaklık Tabakalaşmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, İkinci Kanun Değerlendirilmesi ve YSA Modellemesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

18/06/2013

JÜRİ:

Başkan: Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Üye : Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Üye : Prof. Dr. Sebahattin ÜNALAN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun ……...… tarih ve ……..…… sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... /…… / …….

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

"Mantolu Sıcak Su Tanklarında Sıcaklık Tabakalaşmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, İkinci Kanun Değerlendirilmesi ve YSA Modellemesi" adlı tez çalışmamın seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde maddi-manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP'a teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında görüş ve önerileriyle bana destek olan değerli hocalarım Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN ve Yrd. Doç. Dr. Yusuf TEKİN'e teşekkürlerimi sunarım. Sistemin montajında ve elektronik sistemlerin tasarımında özverili bir şekilde emek veren arkadaşım ve hocam Arş. Gör. Erdem ARSLAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deney düzeneğinin hazırlanmasında yardımları ve emekleri geçen Dayım Mehmet İLİKOĞLU'na ve Kuvvet Makine LTD. ŞTİ.'nin sahibi Hamza KUVVET'e teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışması boyunca bana verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı tüm aileme, ayrıca maddi ve manevi desteğin yanında verdiği emekten ve özverili çalışmalarından dolayı nişanlım Gamze ESEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışma için maddi destek sağlan Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (FBY-12-4115) teşekkür ederim.

Doğan ERDEMİR

Haziran, 2013

MANTOLU SICAK SU TANKLARINDA SICAKLIK TABAKALAŞMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ, İKİNCİ KANUN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YSA MODELLEMESİ

Doğan ERDEMİR
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2013
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

ÖZET

Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji kaynağının aktif olduğu zaman ile kullanım zamanı arasında farklılıklar olabilir. Bu durumda enerji kaynağı aktif değilken de o enerji kaynağından yararlanılmak isteniyorsa enerjinin depolanması gerekmektedir. Enerjinin farklı türleri için farklı depolama yöntemleri olmakla beraber, güneş enerjisi termal uygulamalarında en yaygın kullanım şekli suya duyulur termal depolamadır. Bu yüzden çok sayıda su tankı modeli ve bu tanklar için ısı değiştiricisi modelleri geliştirilmiştir. Bu tank modellerinden en çok kullanılanı mantolu sıcak su tanklarıdır. Mantolu sıcak su tanklarında ve diğer tüm sıcak su tanklarında sistemin en önemli performans parametrelerinden biri sıcaklık tabakalaşmasıdır.

Bu çalışmada düşey mantolu sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşmasının engeller aracılığı ile iyileştirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Alınan deneysel sonuçların ışığında her bir engel ve engel konumu için sistemin sıcaklık tabakalaşması derecesi literatürdeki yaygın olarak kullanılan yöntemler ile belirlenmiştir. Ayrıca her bir engel ve her bir engel konumu için tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşması termodinamiğin ikinci kanunun bir ifadesi olan ekserjetik yönden de analiz edilmiştir.

Sayısal çalışmalarda zamana bağlı çözümün çok zaman almasından dolayı, engelsiz tank modeli için YSA modeli oluşturulmuş. Bu sayede çok zaman alan; sayısal, zamana bağlı çözümlere alternatif bir model önerilmiştir.

Anahtar sözcükler: Sıcaklık tabakalaşması, Mantolu tank, Güneş enerjisi, Ekserji, Yapay sinir ağları

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL STRATIFICATION ON MANTLED HOT WATER TANK, EVALUATION IN THE TERMS OF SECOND LAW'S THERMODYNAMICS AND ANN MODELLING

Dogan ERDEMIR
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, June 2013
Thesis Supervisor: Prof.Dr. Necdet ALTUNTOP

ABSTRACT

There can be difference between usage time and on-line time for an energy sources like renewable energy sources such as solar energy. The energy have to be stored, if it is wanted to use the this energy, when the energy sources are off- line. Although there are many ways to store energy, storing the energy to water thermally in thermal applications of solar energy. So a lot of tank models and heat exchangers for these tanks have been investigated. One of the most employed within these tanks is mantled hot water tank. Thermal stratification is the most important performance criteria in mantled hot water tanks and the other tank models.

In this study, enhancement of thermal stratification via obstacles was investigated experimentally on vertical mantled hot water tank. In the result of experimental study, degree of stratification was determined with the methods which are most common used in the literature. Besides, every case was been determined with second law's thermodynamics called exergy.

Since, numerical analyses take long time, an ANN Model was developed to be alternative solution for numerical transient analyses.

Keywords: Thermal stratification, Mantled tank, Solar Energy, Exergy, Artificial neural network

İÇİNDEKİLER

MANTOLU SICAK SU TANKLARINDA SICAKLIK TABAKALAŞMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ, İKİNCİ KANUN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YSA MODELLEMESİ

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI iii
KABUL VE ONAY SAYFASI iv
ÖNSÖZ v
KISA ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR VE SİMGELER x
TABLOLAR LİSTESİ xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ xv

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM:

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Yapılan Çalışmalar 10

2. BÖLÜM:

MATERYAL ve METOT

2.1. Deneysel Çalışma 20

2.1.1. Düşey Mantolu Sıcak Su Tankı 22

2.1.2. Isıtıcı ve Varyak Trafo 24
2.1.3. Sıcaklık Sensörleri ve Data Kayıt Sistemi 25
2.1.4. Deney Sisteminin Diğer Elemanları 26
2.2. Ekserji Analizi 28
2.2.1. Sıcaklık Tabakalaşmasına Sahip Sistemlerde Enerji ve Ekserji 28
2.2.2. Sıcaklık Dağılım Modelleri ve Bazı Uygulamaları 30
2.2.2.1. Lineer sıcaklık dağılım modeli 30
2.2.2.2. Adım sıcaklık dağılım modeli 31
2.2.2.3. Sürekli lineer sıcaklık dağılım modeli 32
2.2.2.4. Üç bölgeli sıcaklık dağılımı modeli 33
2.2. YSA Modeli 34

3. BÖLÜM:
İRDELEME ve TARTIŞMA

3.1. Çalışmaların Sonuçları 36

4. BÖLÜM:
SONUÇ

4.1. Sonuçlar ve Öneriler 82

KAYNAKLAR 84
ÖZGEÇMİŞ 88

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	**Anlamı**	**Birimi**
YSA	Yapay Sinir Ağları	
PIV	Particle Image Velocimety	
T	Sıcaklık	(ºC)
T_{in}	Mantoya giriş sıcaklığı	(ºC)
T_{ini}	Başlangıçtaki tank içerisindeki sıcaklık	(ºC)
h	Tank içerisindeki her hangi bir yükseklik	(m)
h_{max}	Tankın yüksekliği	(m)
$Q_{storage}$	Tankta depolanan enerji miktarı	(W)
Q_{top}	Tankın üst kısmındaki enerji miktarı	(W)
Q_{bot}	Tankın alt kısmındaki enerji miktarı	(W)
V	Hacim	(m^3)
ρ	Yoğunluk	(kg/m^3)
c_p	Özgül ısı	(kJ/kg K)
$\Delta T_{vol(i)}$	i'inci kısımdaki ortalama sıcaklık değeri	(ºC)
E	Enerji	(W)
Ex	Ekserji	(W)
e	Özgül enerji	(W)
ex	Özgül ekserji	(W)
m	Kütle	(kg)
T_o	Başlangıç sıcaklığı	(ºC)
T_m	Komple karışmış tank için ortalama sıcaklık	(ºC)
T_e	Komple karışmış tank için eşdeğer sıcaklık	(ºC)
T^L	Lineer sıcaklık dağılımına sahip sıcaklık dağılımı	(ºC)
T_m^L	Lineer sıcaklık dağılımında karışmış tank için ortalama sıcaklık	(ºC)
T_e^L	Lineer sıcaklık dağılımında karışmış tank için eşdeğer sıcaklık	(ºC)
T^S	Adım sıcaklık dağılımına sahip sıcaklık dağılımı	(ºC)
T_m^S	Adım sıcaklık dağılımında karışmış tank için ortalama sıcaklık	(ºC)
T_e^S	Adım sıcaklık dağılımında karışmış tank için eşdeğer sıcaklık	(ºC)

T^C	Sürekli lineer sıcaklık dağılımına sahip sıcaklık dağılımı	(ºC)
T_m^C	Sürekli lineer dağılımında karışmış tank için ortalama sıcaklık	(ºC)
T_e^C	Sürekli lineer dağılımında karışmış tank için eşdeğer sıcaklık	(ºC)
T^T	Üç bölgeli sıcaklık dağılıma sahip sıcaklık dağılımı	(ºC)
T_m^T	Üç bölgeli dağılımda karışmış tank için ortalama sıcaklık	(ºC)
T_e^T	Üç bölgeli dağılımda karışmış tank için eşdeğer sıcaklık	(ºC)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Engel Yerleşimi H=150 , s= 50 olan tank modeli için sayısal değerler..... 28

Tablo 4.2. Engel Yerleşimi H=150 , s= 100 olan tank modeli için sayısal değerler..... 29

Tablo 4.3. Engel Yerleşimi H=150 , s= 150 olan tank modeli için sayısal değerler..... 30

Tablo 4.4. Engel Yerleşimi H=150 , s= 200 olan tank modeli için sayısal değerler..... 31

Tablo 4.5. Engel Yerleşimi H=200 , s= 50 olan tank modeli için sayısal değerler..... 36

Tablo 4.6. Engel Yerleşimi H=200 , s= 100 olan tank modeli için sayısal değerler..... 37

Tablo 4.7. Engel Yerleşimi H=200 , s= 150 olan tank modeli için sayısal değerler..... 38

Tablo 4.8. Engel Yerleşimi H=200 , s= 200 olan tank modeli için sayısal değerler..... 39

Tablo 4.9. Engel Yerleşimi H=300 , s= 50 olan tank modeli için sayısal değerler..... 43

Tablo 4.10. Engel Yerleşimi H=300 , s= 100 olan tank modeli için sayısal değerler..... 44

Tablo 4.11. Engel Yerleşimi H=300 , s= 150 olan tank modeli için sayısal değerler..... 45

Tablo 4.12. Engel Yerleşimi H=300 , s= 200 olan tank modeli için sayısal değerler..... 46

Tablo 4.13. Engel Yerleşimi H=400 , s= 50 olan tank modeli için sayısal değerler..... 50

Tablo 4.14. Engel Yerleşimi H=400 , s= 100 olan tank modeli için sayısal değerler..... 51

Tablo 4.15. Engel Yerleşimi H=400 , s= 150 olan tank modeli için sayısal değerler..... 52

Tablo 4.16. Engel Yerleşimi H=400 , s= 200 olan tank modeli için sayısal değerler..... 53

Tablo 4.17. Engel Yerleşimi H=500 , s= 50 olan tank modeli için sayısal değerler..... 57

Tablo 4.18. Engel Yerleşimi H=500 , s= 100 olan tank modeli için sayısal değerler..... 58

Tablo 4.19. Engel Yerleşimi H=500 , s= 150 olan tank modeli için sayısal değerler..... 59

Tablo 4.20. Engel Yerleşimi H=500 , s= 200 olan tank modeli için sayısal değerler..... 60

Tablo 4.21. Engelsiz, tek engel yerleştirilmiş ve iki engel yerleştirilmiş tank modelleri için T_3 değerleri..... 68

Tablo 4.22. Engelsiz, tek engel yerleştirilmiş ve iki engel yerleştirilmiş tank modelleri için T_4 değerleri…… 68

Tablo 4.1. Engel Yerleşimi H=150 , s= 50 olan tank modeli için sayısal değerler 28

Tablo 4.2. Engel Yerleşimi H=150 , s= 100 olan tank modeli için sayısal değerler 29

Tablo 4.3. Engel Yerleşimi H=150 , s= 150 olan tank modeli için sayısal değerler 30

Tablo 4.4. Engel Yerleşimi H=150 , s= 200 olan tank modeli için sayısal değerler 31

Tablo 4.5. Engel Yerleşimi H=200 , s= 50 olan tank modeli için sayısal değerler 36

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil G.1. Mantolu sıcak su tankına sahip güneş enerji sistemi...……...……...…... 2
Şekil G.2. Farklı sıcaklık tabakalaşması derecelerine sahip sistemler a. Yüksek tabakalaşma derecesine sahip sistem, b. Düşük tabakalaşma derecesine sahip sistem, c. Tamamen karışmış sistem (sıcaklık tabakalaşmasının olmadığı)……... 5
Şekil G.3. Güneş enerjisi sistemlerinde ısı değiştiricisi tipleri; Plakalı ısı değiştiricisine sahip güneş enerjisi sistemleri, b. Mantolu güneş enerjisi sistemleri, c. Serpantinli güneş enerjisi sistemleri, d. Isı değiştiricisi dışarıda olan güneş enerjisi sistemleri…… 7
Şekil G.4. Güneş kolektörü çeşitleri, a. Düzlemsel güneş kolektörü, b. Vakum tüplü güneş kolektörü, c. Camsız güneş kolektörü……. 8
Şekil 1.1. Sıcaklık tabakalaşmasını belirlemek için kullanılan metotlar…… 14
Şekil 2.1. Deney sisteminin görüntüsü……... 20
Şekil 2.2. Deney sisteminin şematik görüntüsü…….. 21
Şekil 2.3. Düşey mantolu sıcak su tankının teknik resim görüntüsü…….. 22
Şekil 2.4. Düşey mantolu su tankının dıştan görünüşü……... 23
Şekil 2.5. Isıtıcı tank……... 24
Şekil 2.6. Varyak trafo…… 24
Şekil 2.7. DS-1820, ARDUNIO Mega ve hazırlanan bilgisayar programı…… 25
Şekil 2.8. Sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon deneyinden alınan sonuç diyagramı… 26
Şekil 2.9. Debi ölçer……... 27

Şekil 2.10. Sirkülasyon pompası…… 27
Şekil 2.11. Genleşme tankı……. 27
Şekil 2.12. Lineer sıcaklık dağılımı…… 31
Şekil 2.13. Adım sıcaklık dağılımı……. 31
Şekil 2.14. Üç bölgeli sıcaklık dağılımı……. 33

Şekil 3.11. COXA uzvu tasarımının izometrik görünüşü……...…… 33
Şekil 3.12. COXA uzvu tasarımının profil görünüşü……...…….. 33
Şekil 3.13. COXA uzvu tasarımının teknik resmi…….. 34
Şekil 3.14. FEMUR uzvu tasarımının izometrik görünüşü…… 35
Şekil 3.15. FEMUR uzvu tasarımının profil görünüşü……...…… 35
Şekil 3.16. FEMUR uzvu tasarımının teknik resmi…… 36
Şekil 3.17. TIBIA uzvu tasarımının izometrik görünüşü……... 37
Şekil 3.18. TIBIA uzvu tasarımının teknik resmi……... 38
Şekil 3.19. Robotun montaj sonrası halinin izometrik görünüşü……... 39
Şekil 3.20. Robotun montaj sonrası halinin teknik resmi……... 40
Şekil 4.1. Sekiz bacaklı robot için standart yürüyüş düzeni……...……. 45

Şekil 4.2. Yer ile temas halinde oluşan eşdeğer kuvvet……..……... 47

Şekil 4.3. Araba-masa tablası problemi için ZMP'nin bulunması……..…... 48

Şekil 4.4. Statik denge koşulları a) Tek bacak temas halinde b) İki bacak temas halinde ……..……...……... 49

Şekil 4.5. Çok Kütleli bir sistem için ZMP'nin üç boyutlu olarak belirlenmesi...…. 50

Şekil 4.6. Ters sarkaç modelleri a)SLIP b)ASLIP(Monoped- Biped) c) LASLIP…. 51

Şekil 4.7. SLIP modeline göre dengelenecek sistem, a) Robot resmi b) Kinematik model……..…… . 53

Şekil 4.8. Üç kütleli yürüme sistemi……...…… 54

Şekil 4.9. Lineer ve açısal ivmelerden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin uzuvda gösterimi……...……..... . 60

Şekil 4.10. Uzuvdaki kuvvet dengesi……...…….. 61

Şekil 4.11. Newton-Euler algoritmasına ait tahrik ve atalet kuvvetleri……...……... 63

Şekil 4.12. Uzuv gösteriminde tahrik ve atalet kuvvetler……...…… 65

Şekil 4.13. Hesaplama metodu ile robot kontrolü……...……... 68

Şekil 5.1. Simülasyon programların sıralı olarak çalışma görünümü …..……. 69

Şekil 5.2. Şekil 6.2. MSC-ADAMS programında modellenen 6 bacaklı yürüyen robot yapısı ve uygulanan harici torkların etkisi …….……..…… 71

Şekil 5.3. Robotun gövdesinin kütle merkezinin X yönündeki değişimi……...… 72

Şekil 5.4. TIBIA uzvunun yer ile temasında oluşan Y yönündeki kuvvet……..….. 72
Şekil 5.5. TIBIA-FEMUR mafsalındaki açısal değişim……...…….. 73
Şekil 5.6. FEMUR uzvunun kütle merkezinde Z yönündeki pozisyon değişimi…... 73
Şekil 5.7. FEMUR uzvunun X ekseni yönündeki lineer momentumun değişimi….. 74
Şekil 5.8. Şekil 6.8. Simulink'te analiz modeli görünümü……..... 76
Şekil 5.9. Analiz modelindeki birinci alt sistem (subsystem1)…….. 78
Şekil 5.10. Analiz modelindeki ikinci alt sistem (subsystem2)…….. 79
Şekil 5.11. Hareket yönüne göre sağ arka bacaktaki COXA-FEMUR mafsalı için belirlenmiş tork değeri……..……..…… 80
Şekil 5.12. Hareket yönüne göre sağ ön bacaktaki COXA-gövde mafsalı için belirlenmiş tork değeri……..…….…….. 81
Şekil 5.13. Hareket yönüne göre sol arka bacaktaki TIBIA-FEMUR mafsalı için belirlenmiş tork değeri…….…….. 81
Şekil 5.14. Belirlenen torkların MSC-ADAMS kontrol modülüne uygulanması….. 82
Şekil 5.15. MSC-ADAMS kontrol modülünün iç yapısı(Adamssub)…… 83
Şekil 5.16. Referans yürümedeki X ekseni ile analiz sonrası yürümedeki X eksenindeki hareket……..…….. 88
Şekil 5.17. Referans yürümedeki Z ekseni ile analiz sonrası yürümedeki Z eksenindeki hareket ……...……. 88
Şekil 5.18. Referans yürümedeki Y ekseni ile analiz sonrası yürümedeki Y eksenindeki hareket. ……..……. 88
Şekil 5.19. Referans yürümedeki Y ekseni etrafındaki yönlenme ile analiz sonrası yürümedeki yönlenme ……..…….. 88

GİRİŞ

1. Enerji

Dünya üzerinde medeniyetin gelişimi 1700'lü yılların ortalarına kadar çok yavaş gelişim göstermiştir. 18 yy. ortalarında, ortaya çıkan sanayi devrimi ile medeniyet ve teknoloji gelişimi çok hızlı bir şekilde ivmelenmiş ve günümüzde de her geçen gün hızla gelişimine devam etmektedir. Bu medeniyet gelişiminin yanında, insanlığın enerji ihtiyacına da gelişim ile aynı artış trendini göstermektedir. Enerjinin ihtiyaç olmasının yanı sıra, enerji kaynaklarının temini ile alakalı sorun teşkil etmesi de 1700'lü yılların sonlarına rastlamaktadır. 1781 yılında James Watt'ın buhar makinesini icat etmesiyle insanlığın medeni gelişme hızı artarken, enerjiye olan ihtiyacı da aynı şekilde hızla artmıştır.

Enerjinin tanımı ile ilgili olarak, kaynaklarda birçok farklı tanım görmek mümkündür. Bunlardan yaygın olarak kullanılanlar;

"Bir cismin ya da sistemin iş yapabilme yeteneği", "yaratılan güç" anlamındadır"[1]

"Enerji değişikliklere neden olma yeteneği olarak düşünülebilir" [2]

olarak söylenebilir. Enerjinin günlük hayata birçok yansıması olmakla beraber genel anlamda enerjiyi; hızla artan bir ihtiyaç, gelecek için çözülmesi gereken bir problem olarak tanımlayabiliriz. Hatta son yıllarda artan enerji gereksinimleri nedeni ile savaş sebebi olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Enerji; ısıl, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi değişik biçimler halinde bulunabilir. Bir sistemde, enerji türlerinden hangileri varsa onların toplamı o sistemin toplam enerjisi olarak ifade edilebilir. [2]

Günümüzde yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları fosil yakıtlardır. Ancak sınırlı bir ömre sahip olmaları ve kullanımları sonucunda çevreye zarar veren atıklar oluşturması nedeni ile fosil yakıtların yerine kullanılabilecek alternatif yakıtlar araştırılmaya başlanmıştır. Bu iki nedenin dışında insanları alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya iten neden ise fosil yakıt fiyatları ve zaman zaman meydana gelen ekonomik krizlerdir.

Ekonomik krizlerin yanında petrol ve doğalgaz krizleri de alternatif enerji kaynaklarının arayışlarını hızlandırmıştır. Alternatif enerji kaynakları, fosil yakıtların dışındaki tüm enerji kaynaklarının genel adıdır. Nükleer enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik potansiyel, hidrojen, bio-mass, bio-dizel ve bio-gaz alternatif enerji kaynaklarının çeşitleridir. Bu enerji türlerinden, kaynak itibari ile insanlık hayatı açısından sonsuz sayılacak kadar çok olan enerji miktarına sahip olan enerji türleri "yenilenebilir enerji" olarak adlandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliği çevreci olmalarıdır. [3]

2. Enerjinin Depolanması

Fosil yakıtların, yenilenebilir enerji kaynaklarına göre en büyük avantajı, ihtiyaç duyulduğu zaman kullanılabilme özelliğidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında böyle bir durum, genel itibari ile söz konusu değildir. Çünkü enerjinin var olduğu zaman ile kullanım zamanı çoğu zaman denk gelmeyebilir. Bu yüzden enerji depolanması önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini düşünecek olursak; eğer güneş enerjisini gündüz vakti depolayamazsak geceleri güneş enerjisinden yararlanmamız mümkün olmayacaktır.

Güneş enerjisinden iki şekilde yararlanmak mümkündür. Bunlardan birincisi ısıl enerji, ikincisi ise elektrik enerjisidir. Eğer enerji depolama söz konusu olmasaydı, güneş enerjisinden sadece gündüz vakti güneş radyasyonun yoğun olarak geldiği zaman yararlanabilirdik. Ancak güneş enerjisini ısı ve elektrik enerjisi olarak depolamak mümkündür. Bu sayede güneş radyasyonun yetersiz ya da hiç olmadığı durumlarda güneş enerjisinden yararlanmak mümkün olmaktadır. Güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek, daha sonrada akü ya da pillere depolanarak ihtiyaç olduğu her zaman kullanılabilir. Aynı şekilde güneş enerjisini ısı enerjisi olarak da depolamak mümkündür. Isıl depolama iki ayrı şekilde yapılmaktadır;

1. Duyulur ısıl depolama: Maddelerin sıcaklıklarını değiştirme esasına dayalıdır.
2. Gizli ısıl depolama: Maddelerin faz değişimi sırasında gizli ısısındaki değişim temeline dayanmaktadır.

Duyulur (hissedilir) enerji depolamada, bir ya da birden fazla maddenin sıcaklığı enerji kaynağı aktifken arttırılır daha sonra ihtiyaç olması durumunda ise kullanılır. Depolama maddesi olarak su, yağ, çakıl taşları, kaya yatakları vb. kullanılmaktadır. Bu maddeler

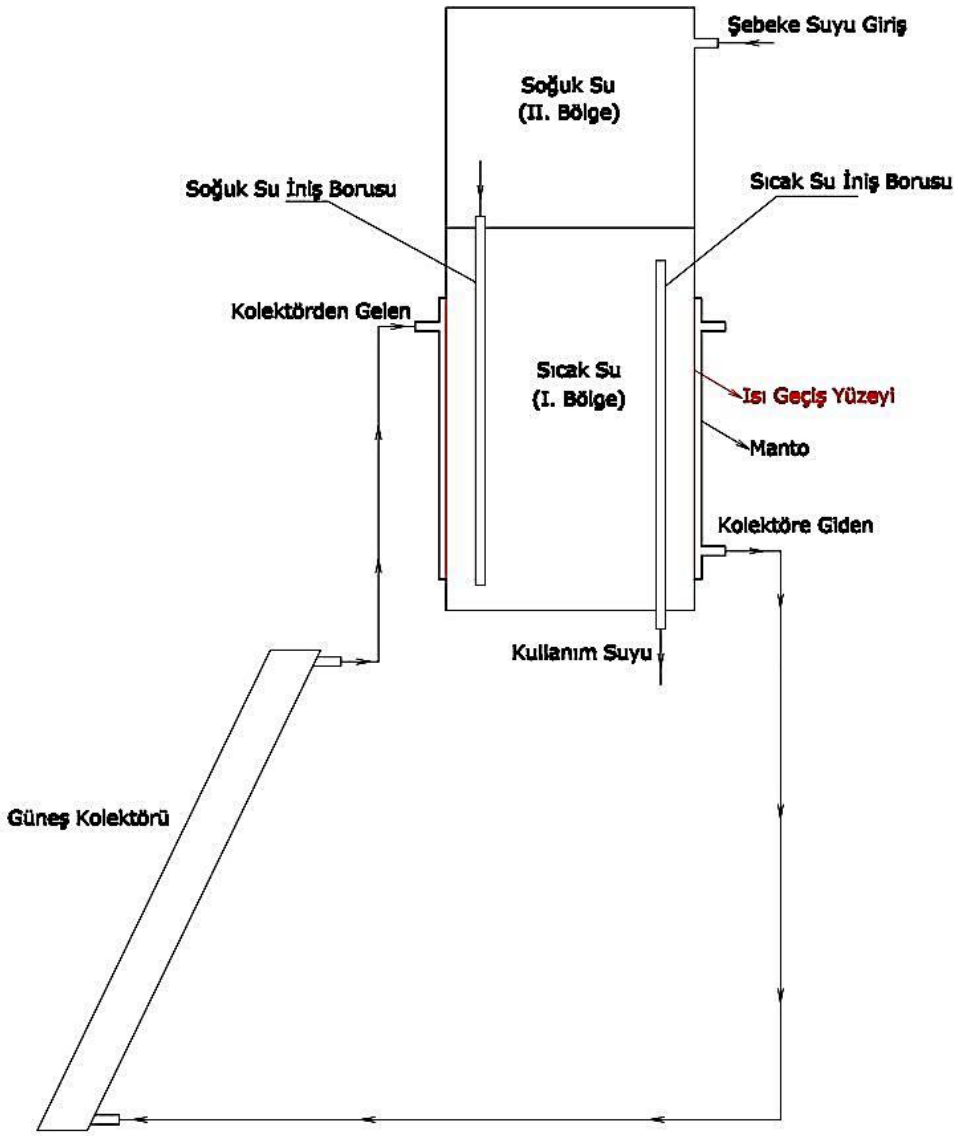
ayrı ayrı kullanılacağı gibi birlikte de kullanılabilmektedir. İçlerinde en yaygın olarak kullanılan ise sudur. Sıvı suyun birçok tercih nedeni vardır. Bunlardan bazıları;

- Isıl kapasitesinin yüksek olması (c_p=4180 J/kg K @T=20°C)
- Zehirli olmaması
- Kolay ulaşılabilirliği
- Geniş sıcaklık değişim aralığına sahip olması (0 – 100°C @ P=1atm)

Isıl enerjinin suya depolanması su tankları aracılığı ile yapılır. Bu yüzden su tanklarının yapısı ve işletme şartları bir ısıl depolama sisteminin verimi açısından oldukça önemlidir. Günümüzde birçok sıcak su tankı modeli vardır. Bunların arasından ülkemizde ve dünyada en yaygın kullanılan tank modeli "düşey mantolu sıcak su tankları"dır. Şekil – G1'de Türkiye'de yaygın olarak kullanılan mantolu sıcak su tankına sahip güneş enerjisi sisteminin şematik görüntüsü verilmiştir. Mantolu sıcak su tanklarının tercih nedenleri;

- Büyük miktarda ısı geçişi alanına sahip olması,
- Kolay imal edilebilir olması,
- Sıcaklık tabakalaşmasının kolay şekilde sağlanması,

olarak sıralanabilir.



Şekil G.1. Mantolu sıcak su tankına sahip güneş enerji sisteminin şematik gösterimi

3. Sıcaklık Tabakalaşması

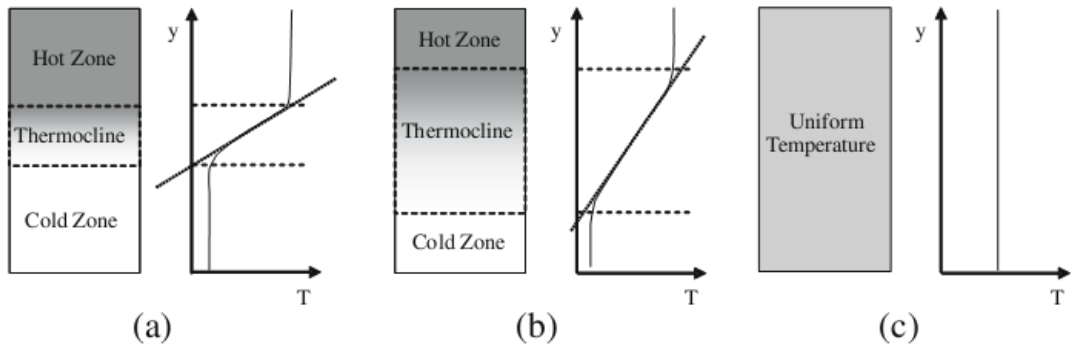
Sıcak su tanklarında depolama performansını etkileyen çok sayıda parametre vardır. Bu parametrelerden en önemlisi "*sıcaklık tabakalaşması*"dır. Bir sıcak su depolama tankında; tankın alt kısımlarının soğuk, üst kısımlarının ise sıcak olması istenir. Bu şekilde, alt tarafı soğuk, üst tarafı sıcak olacak şeklindeki sıcaklık dağılımı yapısına "***sıcaklık tabakalaşması***" adı verilmektedir.

Şekil G.1'de görüldüğü gibi II. Bölgede kullanım suyunun çıkışı yukarıdadır, soğuk olan şebeke suyunun girişi ise, alt kısımlardan gerçekleşmektedir. Sıcaklık tabakalaşmasındaki amaç soğuk su girişinin olduğu kısım ile kullanım suyu sıcaklığını arasındaki sıcaklık

farkını maksimum yapmaktır. Bu sayede sisteme giren soğuk su, ısınmış olan kullanım suyunu daha az etkileyecek ve kullanım suyunun sıcaklığını ve buna bağlı olarak kalitesini arttıracaktır. Ayrıca alt kısımların soğuk olması kolektöre giden suyun sıcaklığını düşürecek ve bu sayede kolektör verimi artacaktır.

Sıcaklık tabakalaşmasının önemli bir performans ölçütü olmasından dolayı zaman içerisinde birçok araştırması tarafından araştırılmıştır. Sıcaklık tabakalaşmasının maksimum olması çok sayıda yöntem geliştirilmiştir ve değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerin yanında bazı araştırmacılarda, sıcaklık tabakalamasının değerlendirme yöntemlerini araştırarak, boyutlu ve boyutsuz farklı değerlendirme parametrelerini ortaya koymuşlardır. Tüm bu çalışmaların amacı maksimum sıcaklık tabakalaşması elde etmek ve elde edilen tabakalaşmayı en iyi şekilde göstermektir.

Şekil G.2'de farklı derecelerdeki sıcaklık tabakalaşması türleri gösterilmiştir. Şekil G.2'den görüldüğü gibi sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmedeki temel amaç, soğuk bölge ve geçiş bölgesinin büyüklüğünü azaltmaktadır. Bu sayede daha büyük miktarda ve daha yüksek sıcaklıkta su kullanım için hazır halde bulunacaktır.



Şekil G.2. Farklı sıcaklık tabakalaşması derecelerine sahip sistemler a. Yüksek tabakalaşma derecesine sahip sistem, b. Düşük tabakalaşma derecesine sahip sistem, c. Tamamen karışmış sistem (sıcaklık tabakalaşmasının olmadığı) [4]

4. Güneş Enerjisi ve Isıl Uygulamaları

Güneş enerjisinin değişik yöntemler ile çok farklı kullanım yolları vardır. Ancak temel olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi, elektrik enerjisi olarak yararlanma; ikincisi ise ısı enerjisi olarak yararlanmadır.

Elektrik enerjisi olarak yararlanma fotovoltaik (Pv) paneller aracılığı ile gerçekleştirilir. PV paneller güneş ışınımını elektrik enerjisine çevirirler. Elde edilen elektrik enerjisi direk olarak kullanılacağı gibi akü veya pillere daha sonra kullanmak üzere depolanabilir.

Güneş enerjisinin ısıl uygulamaları elektrik enerjisi uygulamalarına göre daha çeşitlidir. Güneş enerjisinin ısıl uygulamaları olarak; sıcak su üretimi, buhar üretimi, sera ısıtılması, kapalı hacimlerin ısıtılması, kapalı hacimlerin soğutulması, yüzme havuzlarının ısıtılması, saf su üretimi, buz üretimi, tuz üretimi olarak sıralanabilir. Ayrıca buhar üretimi sonunda elde edilen buhar elektrik üretiminde kullanılarak ısı enerjisi aracılığı ile elektrik enerjisi üretmekte mümkündür.

Güneş enerjisinin yukarıda sayılan ısıl uygulamalarının arasında en yaygın olanı, sıcak su üretimidir. Şekil G.1'de basit bir güneş enerjili su ısıtma sistemi şematik olarak verilmiştir. Sistem genel olarak güneş kolektörü ve depolama kısmından oluşmaktadır. Güneş kolektörü ve depolama sistemlerinin çeşitleri vardır.

Güneş enerjisi ile su ısıtma sistemleri uygulamada iki şekilde tasarlanmaktadır. Bunlar; açık devre (atmosfer basıncına açık) güneş enerjili su ısıtma sistemi ve kapalı devre (atmosfer basıncına kapalı) güneş enerjili su ısıtma sistemleridir.

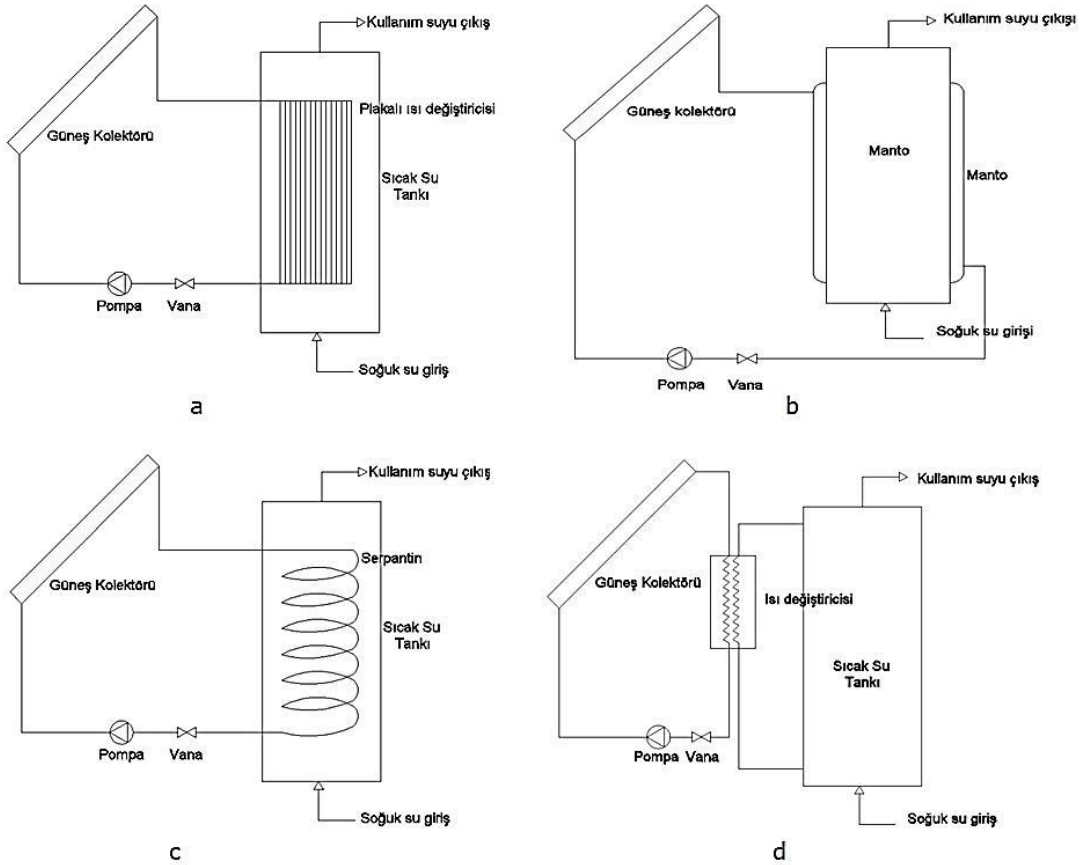
Açık devre güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, güneş kolektöründen dolaşarak ısınan su, sıcak su deposunda birikmekte ve ihtiyaç durumunda direk olarak tüketime verilmektedir. Açık devre güneş enerjisi sisteminde güneş kolektöründe dolaşan, sıcak su deposunda depolanan ve kullanıma verilen su aynı akışkandır. Isıl enerjinin bir yerden başka bir yere aktarılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Açık devre güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, sistemin her yerindeki akışkanın aynı olması, yüksek ısıl verim sağlanması açısından olumludur. Bununla birlikte, sistemin direk olarak şehir şebekesinden gelen suyu kullandığı için, bazı problemlere sebep olmaktadır. Şebekeden gelen su, geldiği kaynağa bağlı olarak beraberinde, Ca, Mg, Si, Na, vb. kireç olarak adlandırılan su içinde erimiş mineralleri de getirmektedir. Bu mineraller, kireç tabakaları oluşturarak, suyun geçtiği boruları tıkamaktadır. Su içindeki bazı maddelerin etkisi ile güneş kolektörü borularının delinmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden daha düşük sıcaklıkta sıcak su elde edilmesi riskine rağmen, bünyesinde değişik

tip ısı değiştiricisi içeren, kapalı devre güneş enerjili su ısıtma sistemleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kapalı devre güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricileri, sistemde kullanılan güneş kolektörü sayısına veya kolektörlerin yüzey alanlarının büyüklüğüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Isı değiştiricisi depo ile birleşik olabileceği gibi ayrıda olabilir. Isı değiştiricisi depo ile birleşik olan sistemler; gömlekli, serpantinli ve plakalı ısı değiştiricileri olarak üçe ayrılır. Isı değiştiricisi depodan bağımsız olan sistemlerde uygun olan her hangi bir ısı değiştiricisi kullanılabilir. Şekil G.3'de ısı değiştirici tiplerinin şematik görüntüleri verilmiştir.

Şekil G.3'de verilen tanklar dikey olabileceği gibi yatay olarak da kullanılabilir. Ancak yatay kullanımlarda sıcaklık tabakalaşmasını elde etmek dikey tanklara göre oldukça daha zordur. Kullanım alanı, ergonomisi ve görüntüsü düşünüldüğünde yatay su tankları da büyük bir kullanım alanına sahiptir.



Şekil G.3. Güneş enerjisi sistemlerinde ısı değiştiricisi tipleri; Plakalı ısı değiştiricisine sahip güneş enerjisi sistemleri, b. Mantolu güneş enerjisi sistemleri, c. Serpantinli güneş enerjisi sistemleri, d. Isı değiştiricisi dışarıda olan güneş enerjisi sistemleri

Güneş enerjisi ısı enerjisine güneş kolektörleri aracılığı ile çevrilir. Güneş kolektörleri ile kolektör içerisinde akan akışkanın sıcaklığı arttırılır. Akışkan olarak su ve hava kullanılır. Güneş kolektörleri genel itibari ile üçe ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Düzlemsel güneş kolektörleri,
2. Vakum tüplü güneş kolektörleri,
3. Camsız, üst örtüsüz güneş kolektörleridir.

Bu kolektör tiplerinden düzlemsel güneş kolektörleri en yaygın olarak kullanılan kolektör tipidir. Düzlemsel güneş kolektörünü vakum tüplü güneş kolektörleri takip etmektedir. Camsız güneş kolektörleri ise dış kasaya, üst örtü cama ve yalıtıma sahip olmayan havuz suyu ısıtmasında kullanılan güneş kolektörleridir. Şekil G.4'de yukarıda sıralanan kolektör tipleri verilmiştir. Türkiye'de şuanda 18 milyon m^2 güneş kolektörü kullanılmaktadır ve rakam sabitlenmiştir. Yeni sistemler eskimiş ya da kullanılmayan güneş kolektörlerinin yerine almaktadır.[5]



Şekil G.4. Güneş kolektörü çeşitleri, a. Düzlemsel güneş kolektörü, b. Vakum tüplü güneş kolektörü, c. Camsız güneş kolektörü [5]

Bu tez çalışmasında ülkemizde ve tüm dünyada, bireysel güneş enerjisi sistemlerinde yaygın olarak kullanılan mantolu sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşmasının engeller aracılığı ile iyileştirilmesi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların ışığında alınan sonuçlar Termodinamiğin 2. Kanunun bir açıklaması olan ekserji yönünden de incelenmiştir. Ayrıca gene deneysel çalışmalardan alınan sonuçlar aracığı ile sistemin yapay sinir ağı (YSA) modeli oluşturulmuştur.

Tez çalışması genel olarak giriş kısının dışında 5 ana bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde sıcaklık tabakalamasının sayısal olarak incelenmesi yapılacaktır. Bu bölümde çok sayıda engel tipi ve konumu araştırılacak içlerinden en iyi sıcaklık tabakalaşması sağlayanlar belirlenecektir.

Üçüncü bölüm, deneysel çalışmanın yapılacağı kısımdır. Bu bölümde sayısal çalışmada belirlenen engel tipleri deneysel olarak incelenecektir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmadan alınan sonuçlar termodinamiğin ikinci kanununa göre (ekserji) değerlendirilecektir. Beşinci bölümde sistemin YSA modeli oluşturulacaktır. Her bölümün kendi içinde sonuçları verileceği gibi altıncı ve son bölümde tüm çalışmaları kapsayan bir sonuç irdelemesi yapılacaktır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Yapılan Çalışmalar

Sıcaklık tabakalaması, duyulur ısıl depolama için en önemli performans parametrelerinden biri olduğu için literatürde birçok araştırması tarafından araştırılmış ve iyileştirilmeye çalışılmıştır. Literatürde çok sayıda deneysel, sayısal ve teorik çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların sonucunda birçok iyileştirme yöntemi oraya konduğu gibi, yapılan çalışmaların içerisinde sıcaklık tabakalaşmasının iyilik derecesini belirlemek içinde farklı yöntemlerin ortaya konduğu çalışmalar da vardır. Ayrıca sıcaklık tabakalaşmasının farklı koşullar altında YSA modellemesi de araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

Altuntop ve arkadaşları [6] ; silindirik, dikey bir sıcak su tankındaki sıcaklık tabakalaşmasını engeller aracılığı ile iyileştirilmesini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada 12 farklı engel tipi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, engellerin tamamımın, engelsiz duruma göre sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirdiği görülmüştür. Ortasında boşluk bulunan engeller kenarında boşluk bulunan engellere göre daha iyi sıcaklık tabakalaşması sağlamışlardır.

Çalışmada sonuçların gösteriminde ise her bir durum için sıcaklık dağılımları, orta düzlemde renkli grafik olarak verilmiştir. Ayrıca tüm durumlar için tek bir diyagramda 5 farklı sıcaklık ve sıcaklık farkı sütun diyagram olarak verilmiştir. Ayrıca kullanım suyu sıcaklığı, kolektöre dönüş suyu sıcaklığı ayrı ayrı diyagramlarda detaylı bir şekilde verilmiştir. Çalışmada en iyi sıcaklık tabakalaşmasının olduğu 7 ve11 nolu engellerin olduğu durumlar için farklı sürelerdeki sıcaklık dağılımları konuma (yüksekliğe) bağlı olarak bir diyagramda gösterilmiştir. Son olarak yapılan sayısal çalışmanın doğrulamasını yapmak için Zacharetal'e [7] ait deneysel ve sayısal çalışma ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama yapılırken boyutsuz sıcaklık ve boyutsuz yükseklik kullanılmıştır. Boyutsuz sıcaklık,

$$\frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \tag{1.1}$$

Boyutsuz yükseklik ise;

$$\frac{h}{h_{max}} \tag{1.2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

Knudsen ve Furbo [8], iki farklı mantoya giriş pozisyonunun sıcaklık tabakası üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmaları deneysel ve sayısal olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda; eğer tank içerisindeki sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıkta bir sıcaklıkta giriş söz konusu ise giriş yeri mantonun en üst noktasında olması gerektiğini, eğer sıcaklık daha düşük ise girişin daha alt noktalarda olabileceğini tespit etmişlerdir. Giriş yerinin konumu, mantodan tanka olan ısı geçişini maksimum oranda sağlamak için önemli olduğu vurgulanmıştır.

Yaptıkları çalışmada; tank içerisinden 7 farklı yükseklikte, manto giriş ve çıkışında, şebeke suyu girişinde ve kullanım suyu çıkışındaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Çalışmalarını değerlendirirken depolanan ısı enerjisi miktarının, tanktaki ısı enerjisi miktarına göre olan değişim diyagramı kullanılmıştır. Depolanan ısı enerjisi miktarı;

$$Q_{storage} = \int_{t_{start}}^{t_{end}} mc_p\left(T_{mantle,in} - T_{mantle,out}\right)dt \tag{1.3}$$

Tanktaki ısı enerjisi miktarı ise tankı alt ve üst olarak iki kısım düşünülerek hesaplanmıştır. Bu ifadeler aşağıdaki hesaplamıştır;

$$Q_{top} = V\rho c_p \sum_{i=4}^{7} \Delta T_{vol(i)} \tag{1.4}$$

$$Q_{bot} = V\rho c_p \sum_{i=i}^{3} \Delta T_{vol(i)} \tag{1.5}$$

Shah, Morrison ve Behnia [9], dikey mantolu su tanklarının karakteristiğini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında Particle Image Velocimetry (PIV) sistemi kullanmışlardır. Bu sistemle manto içerisinde akışkanın akımını görüntülemişlerdir. Çalışmada kullandıkları tank kare şeklinde olup, Danimarka için yaygın kullanılan tank tiplerinden biridir. Çalışmada kullanılan diğer parametrelerde Danimarka için uygun olan

değerlerdir. Görüntülemeyi daha iyi yapabilmek için manto 12 farklı görüntüleme alanına bölünmüştür. Ölçümler manto tank aralığının tam ortasından alınmıştır. Mantoya giriş sıcaklığı, mantodan çıkış sıcaklığı, manto akış debisi ve tank içerisinde 5 farklı yükseklikte sıcaklık da ölçülmüştür. PIV sisteminde saniyede 1-4 arasında görüntü alınmıştır. Çalışmanın sayısal kısmında ise deneysel çalışmanın ortalama değerleri giriş bilgisi olarak sisteme girilmiştir.

Sayısal ve deneysel çalışmanın sonuçları, manto aralığındaki akım dağılımı kaldırma kuvvetinin etkisindedir. Kaldırma kuvveti girdap akımlarına neden olmaktadır. Sayısal çalışmanın sonuçları deneysel çalışmanın sonuçları ile doğrulanmıştır. Ayrıca sayısal çalışmada sıcaklık değerleri de ölçülmüştür. Çalışmada akım çizgi görüntüleri, akım vektörleri şekil olarak verilmiştir. Sayısal çalışmadan alınan sıcaklık değerleri ise manto ara yüzeyi için sıcaklık dağılımı şekilde konuma bağlı olarak verilmiştir. Manto ile tank temas yüzeyindeki ısı akısı da yüksekliğe bağlı olarak verilmiştir.

Shah [10], dikey mantolu sıcak su tanklarında ısı transferini incelemiştir. Üst giriş kısmı ve alt çıkış kısmı olmak üzere iki yeni ısı transfer korelasyonu çalışma kapsamında incelenmiştir. Çalışma 1:1 ölçekli sayısal model üzerinden yapılmıştır. Ayrıca bu korelasyonlar, bir simülasyon programına entegre edilerek, yıllık performansları da hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda korelasyon tahminlerinin enerji kazanımları ve sıcaklıkları, dış ortam ölçümleri ile karşılaştırıldığında güvenli sonuçlar verdiğini görülmüştür.

Çalışmanın sayısal kısmında tankın yarısı modellenerek, tankın simetrik olmasından yararlanılmıştır. Türbülans modeli olarak k-ε türbülans modeli kullanılmış, kaldırma kuvveti Boussinesq yaklaşımı ile modellenmiştir. Çalışmada 6 saatlik bir simülasyon yapılmıştır. Manto giriş sıcaklığı ilk 2 saat için 30 ºC, ikinci 2 saat için 70 ºC, son 2 saat içinse 30 ºC olarak alınmıştır. Çalışmada araştırılan korelasyonları deneysel çalışmalar ile doğrulamak için Re - Ra, Nu - Ra grafikleri çizilmiştir.

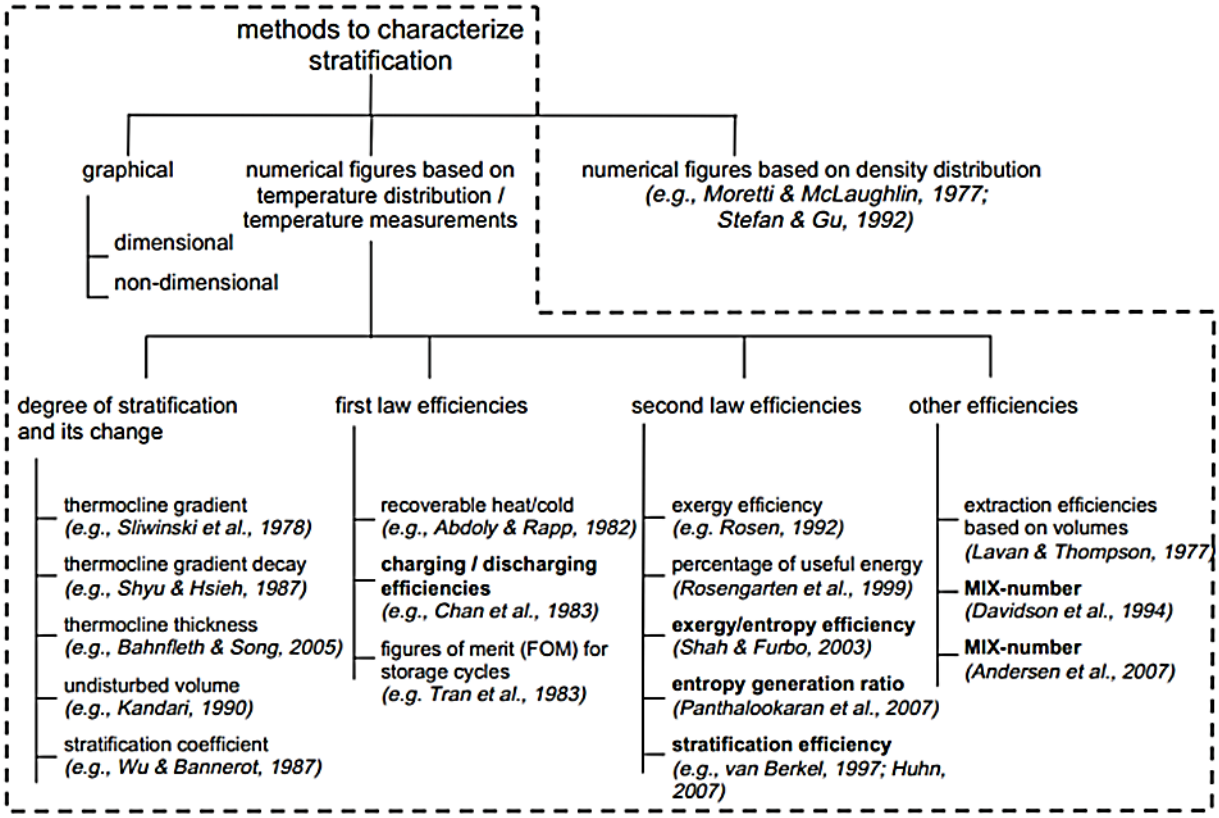
Kenjo ve arkadaşları [11], mantolu sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalamasını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında 3 farklı manto giriş yüksekliği denenmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçları farklı yüksekliklerdeki sıcaklıkların zamana bağlı değişimi ile gösterilmiştir.

Çalışmanın en önemli kısmı sayısal model kısmıdır. Çalışmada uzun süreli simülasyonları verimli bir şekilde yapmak için yeni kod kullanılmıştır. Sayısal model 2-D olarak modellenmiş aksimetrik olarak çözülmüştür. Sayısal model deneysel çalışma ile doğrulanmıştır. Sayısal model, sınır tabakalı çözüm ve sınır tabakasız çözüm olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Çalışmaların sonucunda sınır tabakalı olan çözümler daha doğru sonuç vermişlerdir. Ancak sınır tabakalı çözüm ile sınır tabakasız çözüm arasında çok ciddi farklar olmamıştır. Hazırlanan sayısal çözümleme kodu, HAD yazılımlarına göre hızlı sonuç vermiştir.

Castell ve arkadaşları [12], diğer çalışmalardan farklı olarak yeni bir çalışma yapıp sonuçlarını paylaşmak yerine, sıcaklık tabakalaşmasının karakterize etmek için kullanılan boyutsuz sayıları araştırıp, nasıl kullanılacaklarını tespit etmişlerdir. Çalışmada farklı debilerde deneyler yapılmış ve bu deney verileri ile yaygın olarak kullanılan boyutsuz sayılar hesaplanmıştır. Çalışmalarının sonucunda, MIX Number bazı kötü davranışlar sergilerken, RICHARDSON sıcaklık tabakalaşmasının karakterize eden en iyi sayı olarak tespit edilmiştir. Kullanılan diğer sayıların ise tam olarak sıcaklık tabakalaşmasını karakterize etmediği ancak RICHARHSON ile kombine şekilde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Çalışma sonuçları incelenirken, farklı yükseklikteki sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimini gösteren diyagram kullanılmıştır. Ayrıca aynı diyagram boyutsuz sıcaklık ve boyutsuz zaman üzerinden yeniden çizilmiştir. MIX Number'ın ve RICHARDSON'un ise boyutsuz zamana göre değişimi diyagram olarak verilmiştir. Çalışmada değerlendirilen boyutsuz sayıların tek tek değerlendirilmesi yapılmıştır.

Haller ve arkadaşları [13], Castell ve arkadaşlarının [12] çalışmasına benzer şekilde termal enerji depolama sistemlerinde tabakalaşma verimlerinin belirlenmesi için kullanılan metotların özetini ve teorik karşılaştırmasını yapmışlardır. Tankın yükleme, bekleme ve boşaltma periyodundaki durumlarını incelemişlerdir. Çalışmada sıcaklık tabakalaşmasının verimini belirlemek için literatürde kullanılan tüm değerlendirme parametreleri Şekil 1.1'de verilmiştir. Şekil 1.1'de araştırılan tüm parametreler için örnek grafikler çalışma kapsamında verilmiştir. Her parametrenin yükleme, bekleme ve boşaltma durumu için uygun olmadığı vurgulanmıştır.



Şekil 1.1. Sıcaklık tabakalaşmasını belirlemek için kullanılan metotlar [13]

Han, Wang ve Dai [14], tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşması ile ilgili kapsamlı bir review çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında farklı şekillerdeki sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan tankları, araştırma metotlarını ve performans değerlendirme parametrelerini incelemişlerdir. Değerlendirme parametresi olarak "Stratification Sayısı" , enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve bazı boyutsuz sayılar tanıtılmış ve teorik hesapları verilmiştir.

Shah ve arkadaşları [15], bir giriş tabakalaştırıcısının sıcaklık tabakalaşması üzerine etkisini PIV ile deneysel olarak ve sayısal olarak araştırmışlardır. Giriş tabakalaştırıcısı 3 adet dairesel çıkış içermektedir. Enerji yükleme deneyi sırasında, tabakalaştırıcının en altından soğuk duyun tabakalaştırıcı içerisine sızdığı tespit edilmiştir. Bu sızan su üst noktadaki çıkışlara ulaşan suyun daha soğuk ulaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında giriş tabakalaştırıcısının çıkışına tanktan su girişini engellemek için tek yöne açılan kapakçıklar konmuştur. Kapacıkların istenmeyen akımlı ve sızıntıları azalttığı gözlemlenmiştir. Tabakalaştırıcının verimli olarak çalıştığı hız aralığı ise 5 – 8 lt/dk olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada akım çizgileri ve akım vektörleri deneysel ve sayısal olarak gösterilmiştir. Ayrıca sayısal çalışma için sıcaklık dağılımları contour olarak verilmiştir. Tankın belli yüksekliklerdeki sıcaklıkları, tanka giriş ve tanktan çıkış sıcaklıkları zamana bağlı olarak bir diyagramda verilmiştir. Ayrıca tanka verilen enerji miktarı, tankta depolanan enerji miktarının bağıntıları verilmiştir. Bu iki değer birbirine oranlanarak, akış oranına göre değişimi bir diyagramda verilmiştir. 5 – 8 lt/dk arasında en yüksek değerine ulaşmıştır.

Knudsen ve arkadaşları [16], yaptıkları çalışmada tank içindeki ve manto içindeki akış yapısını PIV görüntüleme sistemi ile araştırmışlardır. Ayrıca yaptıkları çalışma sayısal olarak da gerçeklenmiş ve deneysel sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Çalışmalar mantoya giriş sıcaklığının yüksek ve düşük olması, başlangıçta sıcaklık tabakalaşmasına sahip ve tamamen karışmış olması durumlarına göre çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmasının sonucunda, ısı geçişi açısından, mantonun girişine yakın yerlerde zorlanmış ve doğal taşınım olduğunu ve mantoya giriş sıcaklığının tank içerisindeki sıcaklıkla ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Mi-Soo Shin ve arkadaşları [17], çalışmalarında sıcak su tanklarında sıcaklık tabakalaşması mekanizmasını ve optimum çalışma şartlarını araştırmışlardır. Bu amaçla çalışmalarında akış analizi yapmak için bir bilgisayar programı geliştirilmişlerdir. Geliştirdikleri bilgisayar programının sonuçlarını doğrulamak için deneysel çalışma da yapmışlardır. Çalışmada Standart k-ε türbülans modeli ile RNG k-ε modeli arasında çok önemli bir fark olmadığını tespit etmişlerdir. Çalışmada sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmek için kullanılan difüzörlerden, kıvrımlı tip difüzör en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlamıştır.

Soo Too ve arkadaşları [18], güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kullanılan düşey mantolu ısı değiştiricilerindeki manto ile tank arasında kalan boşluğun karakteristiğini araştırmışlardır. Çalışmalarında mantonun silindirik halinin açılmış modelini oluşturmuşlar ve sayısal analizlerini yapmışlardır. Girişteki su jeti etkisi zorlamış taşınımı arttırdığı için ısı geçişini miktarını da arttırmaktadır. Ayrıca sistemin yıllık performans değeri de hesaplanmıştır.

Erdemir, Altuntop ve Pekdemir [19], yapmış oldukları çalışmada, mantolu sıcak su tanklarında sıcaklık tabakalaşması sayısal olarak incelemiştir. Çalışmasında sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmek farklı konumlarda yerleştirilen iki adet engel kullanılmıştır.

Engel olarak, ortası delik ve düz silindirik engel tipi seçilmiştir. Bu engellerin tank tabanına ve birbirileri arasındaki mesafe değiştirilerek 20 farklı geometri form için çözümlemeler yapılmıştır. Çalışmada FLUENT 13 programı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda en iyi tabakalaşmasının, ilk engelin tank tabanına yakın olduğu ve ilk engel ile ikinci engel arasındaki mesafenin 100 mm civarında olduğu geometrik şartlarda gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmanın sonuçları, sıcaklık dağılımları contour grafik olarak verilmiştir. Ayrıca 5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dakikalar için kullanım suyu sıcaklığı (T_3), kolektöre dönüş sıcaklığı (T_4) ve kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu giriş sıcaklığı arasındaki fark (T_3-T_1) tablo ve sütun diyagram olarak verilmiştir. Bu değerlerin zamanla değişimi ayrıca sıcaklık-zaman (T-t) diyagramında verilmiştir. Tüm geometrik şartlar için bu değerlerin 120'inci dakika değeri, her bir durum için ayrı ayrı sütun diyagram olarak verilmiştir. Sayısal çalışmanın doğruluğunu göstermek için çalışma Knudsen'nin [8] çalışması ile karşılaştırılmıştır.

Jinny Rhee ve arkadaşları [20], termal diyot adını verdikleri elemanlar aracılığı ile sıcaklık tabakalaşmasının iyileştirilmesini araştırmışlardır. Çalışmalarında 3 farklı termal diyot eleman konfigürasyonu kullanmışlardır. Bunlardan birincisi "single thermal diode", ikincisi "double thermal diodes" ve üçüncüsü ise "double express diodes"dur. Aynı şartlar altında yaptıkları deneysel çalışma sonucunda en iti sıcaklık tabakalaşmasını "double express diodes" adlı elemanın sağladığını tespit etmişlerdir. Sonuçlar sıcaklık – zaman ve sıcaklık – yükseklik diyagramları ile göstermişlerdir.

Panthalookaran ve arkadaşları [21], sıcaklık tabakalaşmasının karakterizasyonunu belirlemek için yeni bir metot ortaya koymuşlardır. Geliştirdikleri metodun diğer metotlara göre faydalı yani değerlendirmeyi hem termodinamiğin birinci kanunu hem de ikinci kanunu yönünden yapmasıdır. Çalışmalarında geliştirdikleri metodu uygulamak için hem sayısal hem de deneysel uygulama yapmışlardır.

Haller ve arkadaşları [22], tabakalaşma verimini termodinamiğin ikinci kanunu yönünden inceleyen bir metot ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında ısı kaybını da göz önünde bulundurmuşlardır. Çalışmanın sonucunda ise tabakalama verimini iyi bir şekilde ortaya koyan bir yeni bir metot geliştirmişlerdir. Ayrıca sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmek için kullanılan yöntemlerinde yeniden bu metot ile değerlendirilebileceği vurgulanmıştır.

Stefan Göppert ve arkadaşları [23], sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmek için kullanılan giriş tabakalaştırıcısının sayısal olarak analizini yapmışlardır. Çalışmalarında kendi oluşturdukları bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarını ise deneysel çalışmalar ile kıyaslamışlardır. Geliştirdikleri bilgisayar programı ticari CFD programlarına göre çok daha hızlı sonuç verdiğini çalışmanın sonucunda vurgulamışlardır.

Brown and Lai [24], gözenekli bir manifoldun yerleşimi ve yapısının sıcaklık tabakalaşmasını nasıl iyileştirdiğini araştırmışlardır. Çalışmalarında H/D oranın 4 olduğu, 315 L hacme sahip bir tank kullanmışlardır. Sıcaklık tabakalaşmasının değerlendirmesini Richardson sayısı üzerinden yapmışlar ve 0.615 olarak tespit etmişlerdir. ayrıca akış görüntülemede deneysel olarak uygulanmış, akış görüntüleme deneylerinin sonucunda gözenekli manifoldun girişteki su jeti etkisini azalttığı bu sayede de sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Altuntop ve arkadaşları [25], mantolu sıcak su tanklarında sıcaklık tabakalamasını, farklı giriş hızları için sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada 12 farklı hız için sayısal çözümlemeler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; suyun giriş hızı düşük olduğu zaman tank içerisindeki istenmeyen su jetlerinin daha düşük olacağı, buna bağlı olarak da daha iyi sıcaklık tabakalaşması elde edileceği tespit edilmiştir. Ayrıca mantodaki ısı geçiş katsayısının hızla arttığı ancak bu artışın lineer olmadığını tespit etmişlerdir.

Rosen ve arkadaşları [26], termal depolama sistemlerinde sıcaklık tabakalaşmasının enerji ve ekserji kapasitesine olan etkisini araştırmışlardır. Sıcaklık tabakalaşmasına sahip düşey bir tank modeli üzerinden hesaplamalar tanıtılmıştır. Hesaplamalardaki amaç sıcaklık tabakalaşmasının, depo içerisinde depolanan sıvının enerji ve ekserji kapasitesini ne kadar arttırdığını tespit etmektedir. Çalışmanın sonucunda, sıcaklık tabakalaşmasının derecesi arttıkça sistemin enerji ve ekserji kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca ekserji analizi yapmanın gerekli olduğunu ve farklı sıcaklık tabakalaşmasına sahip sistemlerde, karşılaştırma yapmak için etkili bir yol olduğu vurgulanmıştır.

Rosen ve Dinçer [27], termal depolama sistemlerinde sıcaklık tabakalaşmasının iyilik derecesinin belirlenmesi ve karşılaştırma yapılabilmesi için ekserji metodu ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında üç ayrı konu üzerinde durulmuştur. İlk olarak termal depolama sistemleri için ekserji analizi tanımlanmıştır. Bu aşamada iki durum ön plana

çıkmıştır. Bunlardan ilki termal depolama verimliliğini ölçme, ikincisi ise termal depolama derecesinin değerlendirilmesinde sıcaklığın önemidir. Çalışmadaki üzerinde durulan ikinci durum ise; ekserji analizinin yeraltında suya ısıl enerjinin depolanma sistemine, düşey sıcak su tankı sistemine ve soğuk termal depolama sistemine uygulanmasıdır. Üçüncü ve son durum ise ekserji analizi ile sistemin tasarımı ve optimizasyonun nasıl yapılacağıdır.

Marc A. Rosen [28], sıcaklık tabakalaşmasına sahip termal depolama sistemlerinde ekserji analizini araştırmıştır. Çalışmada 6 ayrı sıcaklık tabakalaşması modeli incelenmiştir. Çalışmada bu modellerin nasıl ekserji analizinin nasıl yapılacağı ortaya konmuş ve hangi modelin ekserjetik yönden daha iyi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Michael W. Jack ve Jan Wrobel [29], sıcaklık tabakalaşmasına sahip termal depolama tanklarında termodinamik açıdan tasarım parametrelerinin optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmada sıcaklık tabakalaşmasına sahip bir tankın ekserji analizi analitik olarak yapılmıştır. Çalışmada tamamen karışmış tank durumundan sıcaklık tabakalaşmasına sahip sisteme ne kadar kısa sürede geçileceği optimize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmanın sonunda sıcaklık tabakalaşmasının sistemin verimini arttırdığı vurgulanmıştır.

Roman Domanski and Giuma Fellah [30], duyulur termal depolama sistemlerinde yükleme ve kullanım sırasında sistemin termo-ekonomik analizini yapmışlardır. Çalışmanın temel amacı sistemin kurulum, bakım ve işletme masraflarını minimize etmektedir.

Ayrıca güneş enerji sistemlerinde Gunerhan ve Hepbaşlı [31], Singh ve arkadaşları [32], Xiaowu ve Ben [33] ekserji analizi kullanarak araştırmalar yapmışlardır. Yenilebilir enerji kaynakları ile alakalı olarak Hepbaşlı [34] ve Koroneos ve arkadaşları [35] ekserji analizini kullanarak incelemeler yapmışlardır.

Siahoui ve arkadaşları [36], yeraltına yerleştirilmiş bir sıcak su tankındaki sıcaklık tabakalaşmasının YSA ile incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmasının sonucunda giriş şartlarına göre tank içerisindeki sıcaklık dağılımı iyi derece doğru şekilde tahmin eden bir YSA modeli oluşturmuşlardır.

Vig ve Farkas [37], zamana bağlı çözümlerde çözüm süresini kısaltmak için YSA modeli kurmuşlardır. Çalışmalarda yaptıkları deneylerde tank içerisinde ölçüm almışlar, bir önceki deney verisi bir sonraki deney verisinin girişi olarak almışlardır. Bu oluşturdukları model 0.1 ölçüm hatası ile çalışmakta olup aynı şartlarda altındaki durumlarda deney ve sayısal analiz süresi oldukça kısalmaktadır.

Yapılan kapsamlı literatür araştırmasının sonucunda; mantolu tanklarla ve sıcaklık tabakalaşması ile birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar çoğunluğu sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmek ve sıcaklık tabakalaşmasının iyilik derecesini belirlemek üzere yoğunlaşmıştır.

Bu tez çalışmasında, diğer çalışmalardan farklı olarak düşey mantolu sıcak su tanklarında, sıcaklık tabakalaşmasının engeller aracılığı ile iyileştirilmesi araştırılacaktır. Ayrıca engellerin sağladığı iyileştirme termodinamiğin ikinci kanunu, ekserjik açıdan da incelenmeye çalışılacaktır. Bunun yanında engelsiz tank için bir YSA modeli ortaya konacak olup, bu model sayesinde deneysel çalışma ve sayısal çalışmaya gerek kalmadan belli bir hata dahilinde sistemin çalışma parametreleri girilerek, olacak muhtemel sıcaklık tabakalaşması ve önemli sıcaklık değerleri belirlenebilecektir.

2. BÖLÜM

MATERYAL ve METOT

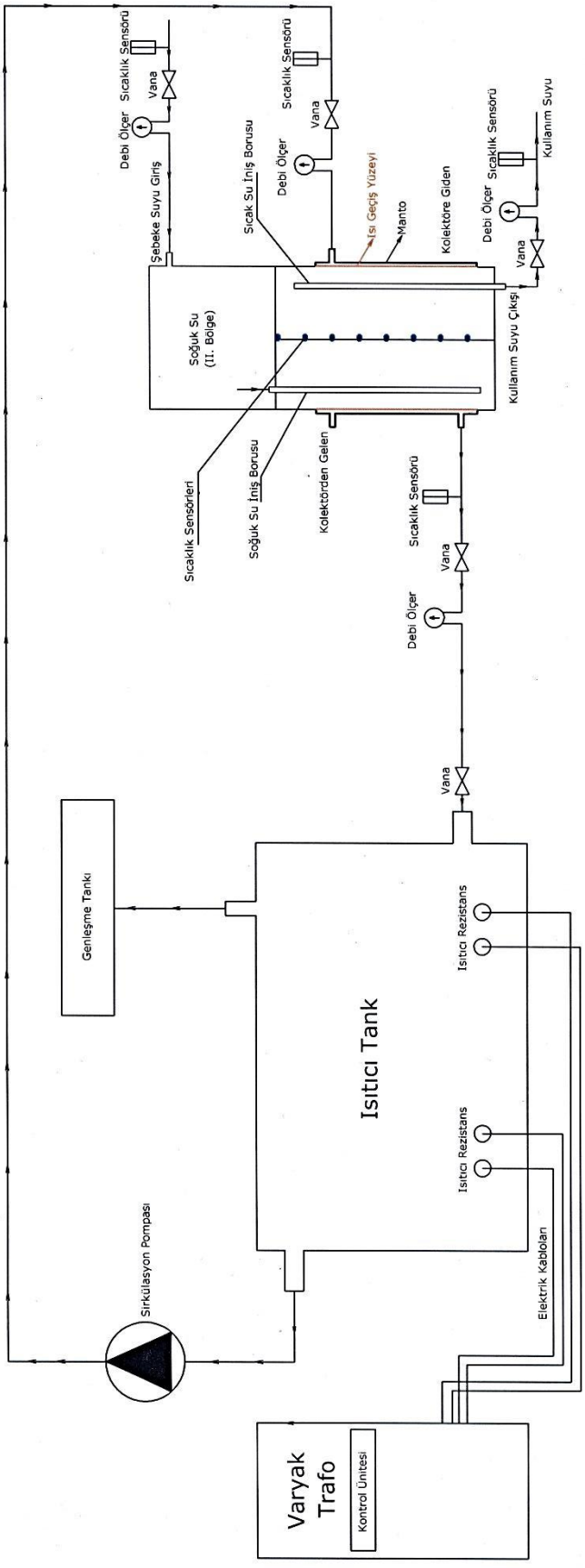
2.1. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada ülkemizde ve dünyada, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan düşey mantolu sıcak su tankındaki sıcaklık tabakalaşması araştırılmıştır. Çalışmada Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ticari tank modellerinden biri seçilmiş ve deneyler bu tank üzerinden yapılmıştır. Deney sistemi Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümüne ait Isı Tekniği Laboratuvarı'na kurulmuştur. Deney sisteminin genel görüntüsü Şekil 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.1'den de görüldüğü üzere, temel olarak deney düzeneği düşey mantolu sıcak su tankı, ısıtıcı tank, genleşme tankı, varyak trafo ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Ayrıca sistemdeki debi ayarlamak ve ölçmek için vanalar, debi ölçerler, sıcaklık ölçümü için sıcaklık sensörleri, dataları toplamak için bir datalogger ve bilgisayar da deney sisteminde kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Deney sisteminin görüntüsü

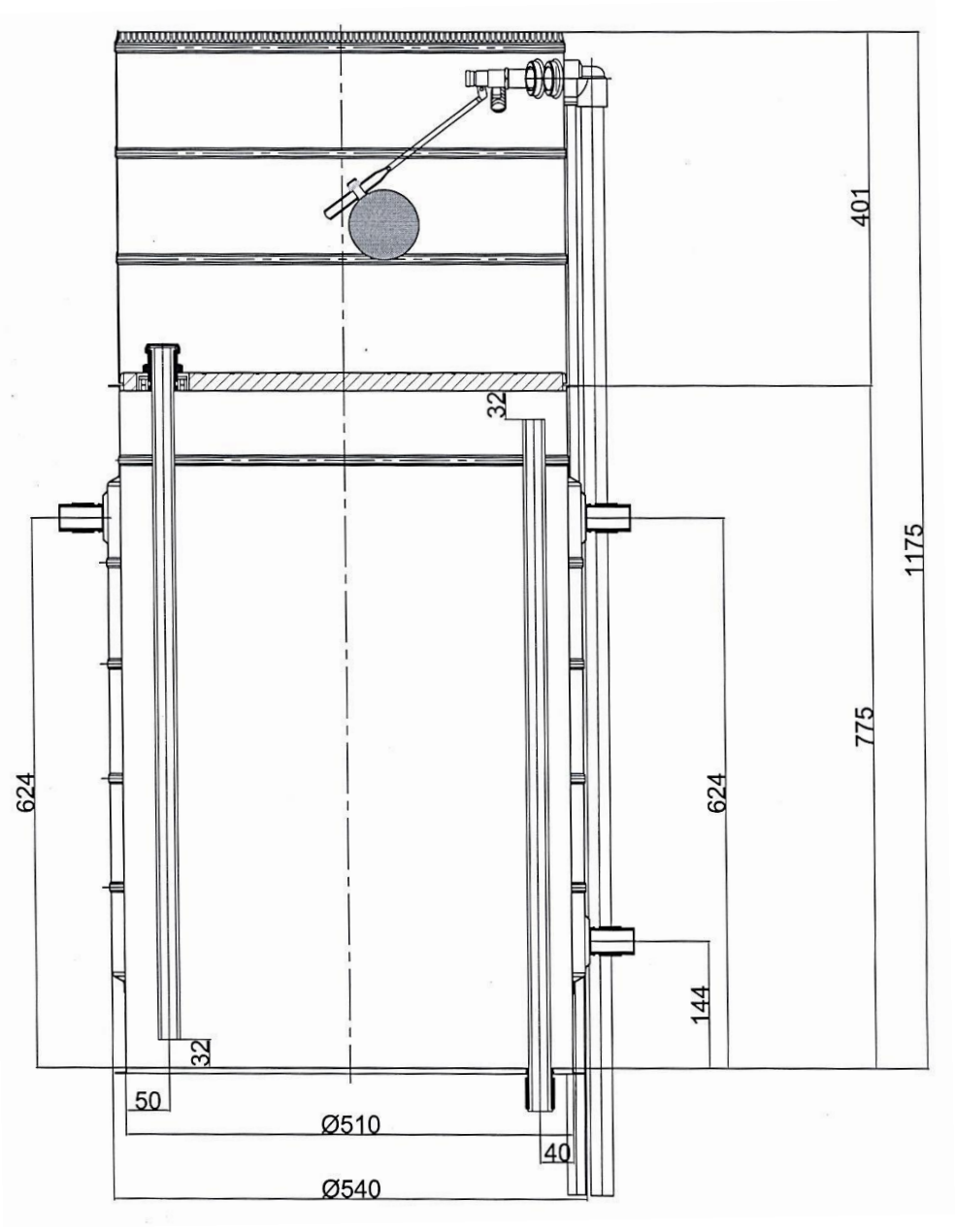
Deney sisteminin şematik görüntüsü de Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Deney sisteminin şematik gösterimi

2.1.1. Düşey Mantolu Sıcak Su Tankı

Şekil 2.2'den görüldüğü üzere, sistemin ve çalışmanın en önemli kısmı düşey mantolu su tankıdır. Çalışmalar bu tanktaki sıcaklık tabakalaşmasını araştırmak üzere yapılacaktır. Tank 0.70 mm 430 paslanmaz krom sacdan yapılmıştır. Tankın şematik teknik resim görüntüsü Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Düşey mantolu sıcak su tankının teknik resim görüntüsü

Şekil 2.3'den anlaşılacağı üzere, tankın toplam boyu 1175 mm olup, tank çapı 510 mm'dir. Manto tank tabanından 100 mm yukarıya yerleştirilmiş ve tank yüzeyi ile arasında 15 mm açıklık bulunmaktadır. Manto ile beraber tankın dış çapı 540 mm olmaktadır. Tankın tabandan 745 mm'lik kısmı sıcak su depolama bölgesi olarak, geriye

kalan 401 mm'lik kısım ise soğuk su bölgesi olarak kullanılmaktadır. Şebekeden gelen suyun akışını kontrol etmek için şamandıra kullanılmaktadır.

Soğuk su ile sıcak su bölgeleri 1" (parmak) su borusu ile birbirine bağlanmaktadır. Sıcak su ise üst kısımdan yine 1" su borusu ile aşağı tarafa doğru tank içinden alınmaktadır. Soğuk ve sıcak su borularının tank cidarlarından olan açıklıklar 32 mm'dir.

Manto giriş ve çıkışları tank tabanından sırası ile 624 mm ve 144 mm mesafelere yerleştirilmiştir. Giriş ve çıkış boru çapları ise 1" dir.

Tankın içindeki sıcaklıkları ölçmek için; tankın tam orta noktasında, 0.50 mm kalınlıkta ve 15 mm genişlikte paslanmaz krom 304 sac üzerine 100 mm aralıklarla yerleştirilmiş 8 adet sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Bu sıcaklık sensörleri sayesinde tank içerisindeki farklı yüksekliklerdeki sıcaklıklar ölçülmektedir. Ayrıca tankın giriş ve çıkışlarında da sıcaklık ölçer bulunmaktadır. Giriş ve çıkışlardaki debi ölçmek ve kontrol etmek için; tankın giriş ve çıkışlarına debi ölçer ve vana yerleştirilmiştir.

Tankın dış kısmına 40 mm kalınlığında cam yünü yalıtım malzemesi sarılmıştır. En son olarak dış görünüş açısından güzel görüntü teşkil etmesi ve yalıtım, boru vb. elemanları bir arada tutması için iki parçalı bir sac kılıf içine yerleştirilmiştir. Takın dıştan görünüşü Şekil 2.4'de verilmiştir.



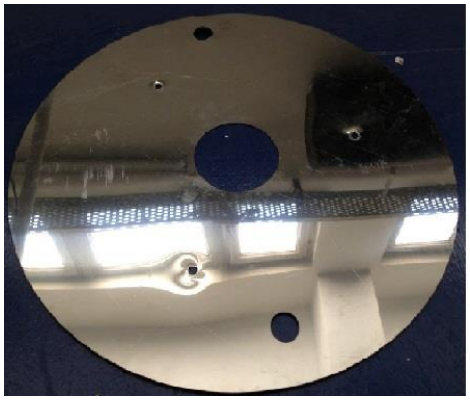
Şekil 2.4. Düşey mantolu su tankının dıştan görünüşü

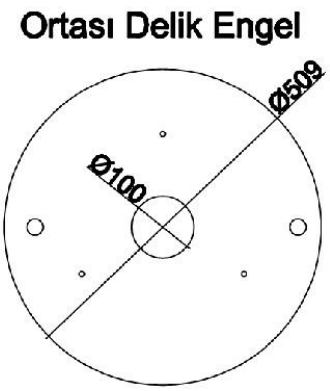
2.1.2. Engeller

Yapılan literatür taramasında engellerin termal bariyer gibi davranması ve akım yolunda engel teşkil etmesinden dolayı sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada 4 farklı engel kullanılmıştır. Bu engeller aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Ortasında boşluk bulunan engel (Şekil 2.5)
2. Düz silindirik engel (kenarında boşluk bulunan engel) (Şekil 2.6)
3. Sağda boşluk bulunan engel (Şekil 2.7)
4. Solda boşluk bulunan engel (Şekil 2.8)

Engellerin görüntüleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Ölçüleri ve şematik görüntüsü de Şekil 2.6'da verilmiştir. Deneysel çalışmada önce her engel 4 farklı yüksekliğe yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Daha sonra; ortasında boşluk bulunan engel ile düz silindirik engel, sağda boşluk bulunan engel ile solda boşluk bulunan engel ikili olarak tank içerisinde yerleştirilmiş ve deneyleri yapılmıştır.



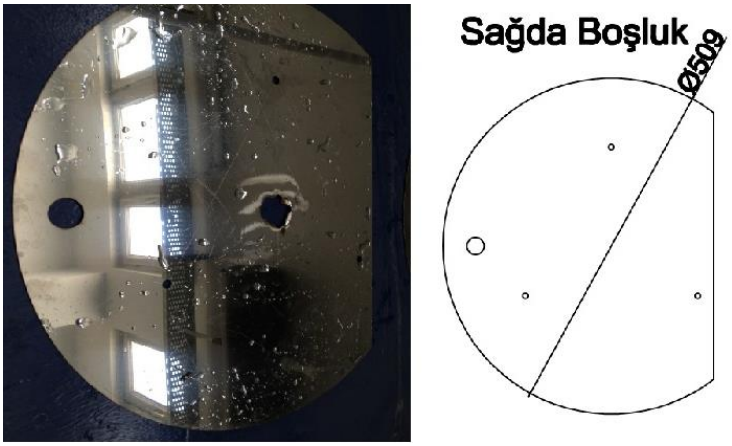


Şekil 2.5. Ortası delik engel

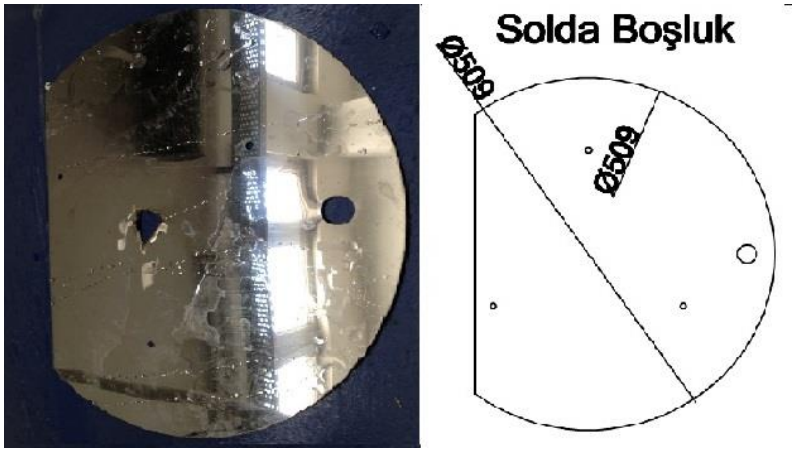




Şekil 2.6. Düz silindirik engel



Şekil 2.7. Sağda boşluk olan engel



Şekil 2.8. Solda boşluk olan engel

Şekil 2.6. görüldüğü üzere engeller tank içerisine 6 mm kalınlığında demir çubuk ile yerleştirilmiştir. Engellerden akışa izin verilecek kısımlar 100 mm olarak bırakılmıştır. Tank kenarına temas eden kısımlarda su sızdırmazlığını sağlamak için plastik conta kullanılmıştır. Düz silindirik engel, sağda boşluk olan ve solda boşluk olan engellerde sensörlerin geçmesi için delik açılmıştır. Bu delik, engel ve sensör yerleştirildikten sonra metal plaka ile kapatılmıştır. Bu önlemler aracılığı ile engellerin sadece izin verilen boşluklardan akışın geçmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

2.1.3. Isıtıcı ve Varyak Trafo

Deney esnasında sisteme sıcak su sağlamak için 1000x1500x1000 mm ölçülere sahip bir ısıtıcı tank kullanılmaktadır. Tankın görüntüsü Şekil 2.9'ta verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, tankın alt kısmında iki adet elektrikli rezistans bulunmaktadır. Tankın ayrıca üst kısmından genleşme tankına giden bir su çıkışı bulunmaktadır.



Şekil 2.9. Isıtıcı tank

Rezistanslara elektrik akımı sağlamak için varyak trafo kullanılmıştır. Varyak trafo üzerinde, tank sıcaklığını kontrol etmek için termostat kullanılmıştır. Termostat sayesinde sistemin istenilen sıcaklıkta tutulması sağlanmıştır. Varyak trafonun görüntüsü Şekil 2.10'da verilmiştir. Varyak trafo sisteme 220 V gerilim, ve 0 ile 40 A arasında ayarlanabilir akım sağlamaktadır.



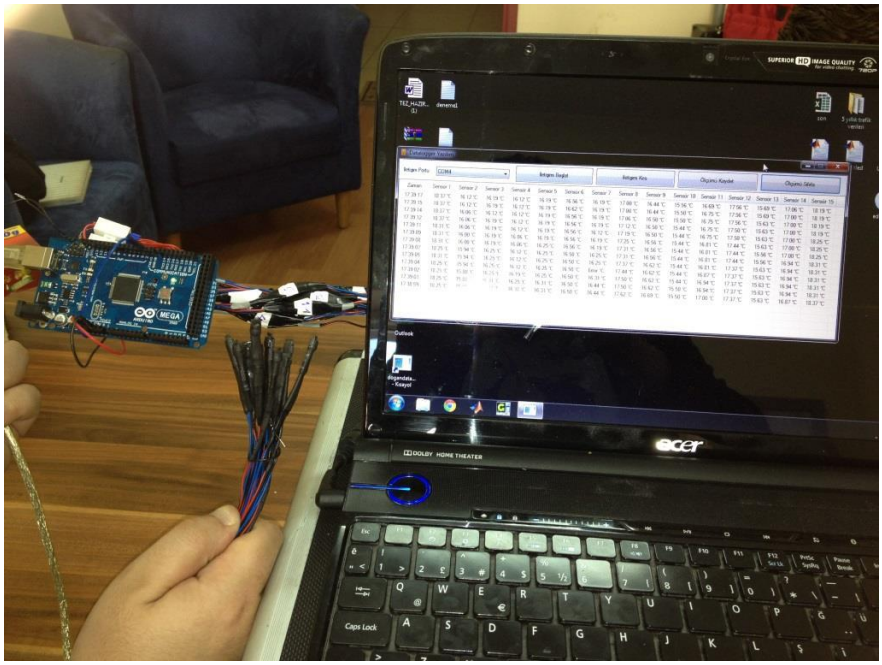
Şekil 2.10. Varyak trafo

2.1.3. Sıcaklık Sensörleri ve Data Kayıt Sistemi

Deney sisteminde sıcaklık ölçümlerini yapabilmek için Dallas Semiconductor firmasına ait DS-1820 tipi sıcaklık sensörü kullanılmıştır. DS-1820 sıcaklık sensörleri -55 ila 125 ºC arasında ±0.5 ºC hassasiyetle ölçüm yapmaya olanak sağlamaktadır. Sıcaklık

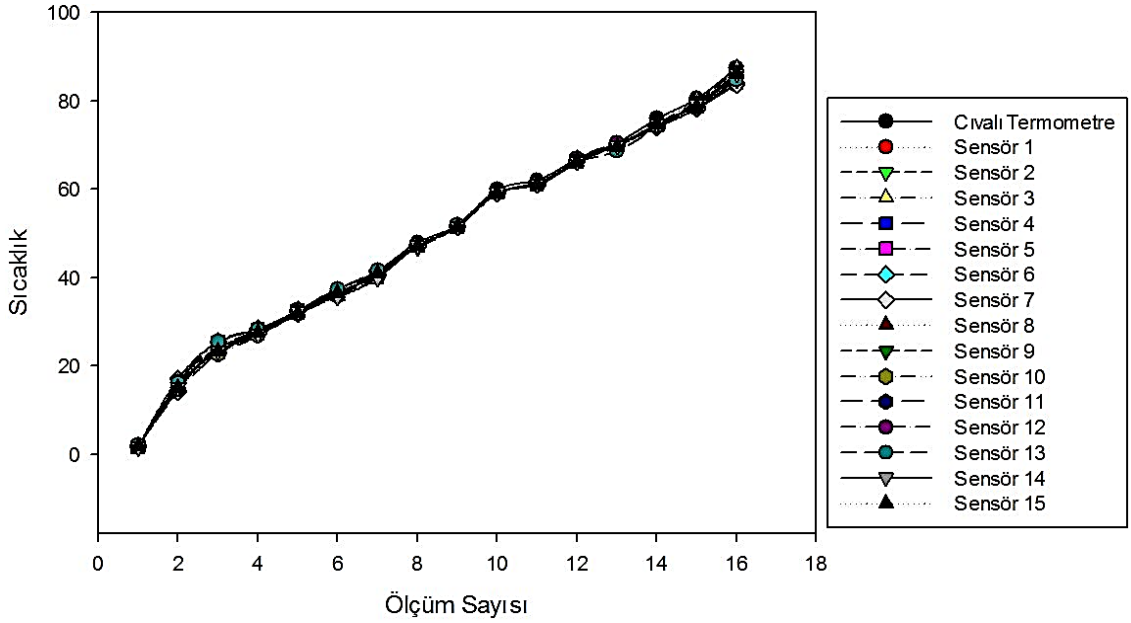
sensörlerinin suda kısa devre olmasını önlemek için sensörlerin üzeri 3 kat makaron ile kaplanmıştır. Her bir sensör sızdırmazlık açısından kontrol edilmiştir.

Sıcaklık sensörlerinden gelen elektrik bilgisinin algılanıp okunması için ARDUNIO Mega elektronik kartı kullanılmıştır. Sensörlerden gelen bilgiler bu kart programlanarak ºC cinsinden sıcaklık değerine dönüştürülmüştür. Ayrıca ölçülen sıcaklık değerlerini sistematik bir şekilde kaydetmek için C# dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Sıcaklık bilgilerinin ölçümü ve kaydedilmesi bu program vasıtası ile yapılmıştır. DS-1820 ve ARDUNIO Mega'ya ait görüntü Şekil 2.11'de verilmiştir. Şekil 2.11 sıcaklık sensörlerinin kalibrasyonu ve bilgisayar programının çalışmanın kontrolü işlemleri sırasında alınmıştır.



Şekil 2.11. DS-1820, ARDUNIO Mega ve hazırlanan bilgisayar programı

Sıcaklık sensörlerinin doğru ölçüm yapıp yapmadığı ve bilgisayar programının düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için kalibrasyon deneyi yapılmıştır. Deneyde başlangıçta buz-su karışımı alınmış ve ölçülmüştür. Daha sonra bu karışım ısıtılarak zaman içindeki değişimi kaydedilmiştir. Sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon deneyi esnasında sensörlerin yanında cıvalı termometre ile de ölçüm yapılarak sonuçlar cıvalı termometrenin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Şekil 2.12'de sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon deneyi sonunda alınan diyagram verilmiştir. Diyagramdan görüldüğü üzere sıcaklık sensörleri sorunsuz bir şekilde çalışmaktadır.



Şekil 2.12. Sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon deneyinden alınan sonuç diyagramı

2.1.4. Deney Sisteminin Diğer Elemanları

Sistemin ana elemanları yukarıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu elemanların dışında deney düzeneğinde sirkülasyon pompası, debi ölçerler, vanalar, genleşme tankı ve pislik tutucular bulunmaktadır.

Debi ölçerler manto giriş ve çıkışında, tankın şebeke girişinde ve kullanım suyu çıkışında kullanılmaktadır. Debi ölçerler KOBOLD markasına ait DMP-1550 serisidir. 0.9 ila 42.01 lt/dk aralığında, ölçüm anındaki hıza göre ± 1.5 hassasiyetle ölçüm yapmaktadır. 4 – 20 mA analog akım üretebilmekte bu akım değeri dataloggerlarda debi bilgisinin okunması için kullanılmaktadır. Debi ölçerin görüntüsü Şekil 2.13'te görülmektedir.

Mantoda akan suyun dolaşması için deney düzeneğinde GRUNFOS markasına ait UPS-25-120-180 modelindeki sirkülasyon pompası kullanılmaktadır. Pompa -20 ila 95 ºC sıvı akışını hareketlendirme kullanılmaktadır ve maksimum 10 bar basınç altında çalışabilmektedir. Pompanın görüntüsü Şekil 2.14'te verilmiştir. Deney düzeneğinde ayrıca suyun debisi kontrol etmek için vanalar, tank ve mantonun giriş, çıkışlarında vanalar kullanılmaktadır. Bunlarında dışında suyun ısınıp soğumasında dolayı ortaya çıkacak hacimsel değişimlerin sisteme zarar vermemesi için ısıtıcı tankın üzerine genleşme tankı konmuştur. Genleşme tankının görüntüsü Şekil 2.15'te görülmektedir.



Şekil 2.13. Debi ölçer



Şekil 2.14. Sirkülasyon pompası



Şekil 2.15. Genleşme tankı

2.2. Ekserji Analizi

Bir enerji kaynağında bulunan enerji miktarını yaklaşık olarak belirlemek, o enerji miktarından ne kadar yararlanılacağı konusunda bilgi vermez. Asıl bilinmesi gereken "*iş potansiyeli*"dir, yani enerji miktarının ne kadarının yararlı işe dönüştürüleceğidir. Ayrıca işe yararlı işe dönüştürülemeyen kısım ise atık olarak çevreye verileceğinden önem taşımaktadır. Bu bakımdan, belirli bir halde ve miktardaki enerjinin yararlı iş potansiyeli gibi bir özeliğin tanımlanması çok yararlı olacaktır. Bu özelik, "*kullanılabilirlik*" veya "*kullanılabilir enerji*" diye de bilinen "*ekserji*"dir. [2]

Ekserji analizi; farklı sıcaklık derecesine sahip ancak aynı enerji seviyesine sahip olan termal depolama sistemlerini belirleme, termal depolamadaki sıcaklık seviyesinden çevreye (ölü hal) olan enerji kayıp miktarını tanımlama ve farklı sıcaklıktaki akışkanları karışması gibi termal depolama sıcaklığındaki farklılıkları belirlemekte önemlidir. Ekserji analizinin, enerji analizlerinin yanında yukarda bahsedilen avantajlarından vardır. Sıcaklık tabakalaşmasına sahip sistemler, kendi içlerinde konuma bağlı olarak farklı sıcaklık davranışları sergilediklerinden için ekserji analizlerin uygulanması sistemdeki kullanılabilir enerjiyi tanımlamada faydalı olacaktır. [38]

Bu bölümde, sıcaklık tabakalaşmasına sahip sistemlerde enerji ve ekserji analizleri üzerinde durulacaktır ve düşey olarak sıcaklık tabakalaşmasına sahip sistemlerde birkaç hesaplama modeli tanıtılacaktır. Tanıtılan bu modeller; sıcaklığın sadece düşey eksende değiştiğini kabul edilerek ortaya konmuş, mühendislik tasarımlarında ve analizlerinde; doğru, gerçekçi ve farklı problemlere uygulanabilirdir.[28]

2.2.1. Sıcaklık Tabakalaşmasına Sahip Sistemlerde Enerji ve Ekserji

Termal enerji depolama sistemlerde enerji (E) ve ekserji (Ex); depolama sistemin tüm akışkan depolama kütlesi (m) üzerinden integrasyonu ile hesaplanabilir. Bu ifadeler aşağıdaki gibidir;

$$E = \int_m e \, dm \tag{2.1}$$

$$Ex = \int_m (ex) \, dm \tag{2.2}$$

Burada *e* özgül enerjiyi, *ex* ise özgül ekserjiyi temsil etmektedir. İdeal sıvılarda; e ve ex sadece sıcaklığın fonksiyonudur ve şu şekilde ifade edilir;

$$e(T) = c(T - T_o) \tag{2.3}$$

$$ex(T) = c[(T - T_o) - T_o \ln(T - T_o)] = e(T) - c\ T_o \ln(T - T_o) \tag{2.4}$$

Bu ifadelerde özgül ısı (c) ile ortam sıcaklığı (T_o) sabit olarak kabul edilebilir. Sadece düşey eksende sıcaklık tabakalaşmasının olduğunu kabul edilen termal depolama sistemlerinde, sıcaklık sadece yükseklik (h) ile değişir. Sıcak su depolama tanklarında yatay kesit alanı (a) sabit olduğu için, kütle aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$dm = \frac{m}{H} dh \tag{2.5}$$

Sıcaklık sadece yüksekliğin bir fonksiyonu olduğu için; enerji ve ekserji ifadeleri sırası ile şu şekilde yazılır,

$$e(h) = c(T(h) - T_o) \tag{2.6}$$

$$ex(h) = e(h) - c\ T_o \ln(T(h) - T_o) \tag{2.7}$$

Denklem (2.6) ve (2.7)'deki özgül enerji ve ekserji ifadeleri denklem (2.5)'de verilen kütle ile çarpılırsa enerji ve ekserji aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$E = \frac{m}{H} \int_0^H e(h)\ dh \tag{2.8}$$

$$Ex = \frac{m}{H} \int_0^H ex(h)\ dh \tag{2.9}$$

Denklem (2.6)'deki enerji ifadesi (2.8)'de yazılırsa enerji ifadesi,

$$E = m\ c\ (T_m - T_o) \tag{2.10}$$

olarak yazılabilir. Bu ifadedeki T_m komple karışmış haldeki akışkan sıcaklığı göstermekte olup aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$T_m = \frac{1}{H} \int_0^H T(h) dh \tag{2.11}$$

Denklem (2.10) ayrıca komple karışmış, sıcaklık tabakalaşması olmayan tankın enerji miktarını (E_m) da göstermektedir.

Denklem (2.7)'deki özgül ekserji ifadesi (2.9)'da yerine yazılırsa, sistemin sahip olduğu ekserji aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$Ex = E - m\,c\,T_o\,\ln(T_e/T_o) \tag{2.12}$$

Bu ifadedeki T_e komple karışmış tankın eşdeğer sıcaklığıdır ve aşağıdaki gibi yazılır;

$$T_e = \exp\left[\frac{1}{H}\int_0^H \ln T(h)\,dh\right] \tag{2.13}$$

Genellikle $T_e \neq T_m$'dir. T_m sıcaklık tabakalaşmasının derecesinden bağımsızken, T_e sıcaklık tabakalaşmasının derecesine bağlıdır. Tank komple karışmış durumda ise $T_e=T_m$ durumu söz konusu olur.

2.2.2. Sıcaklık Dağılım Modelleri ve Bazı Uygulamaları

Bu kısımda 4 ayrı sıcaklık dağılım modeli tanıtılacaktır; lineer, adım, sürekli lineer ve genel üç bölge olmak üzere. Her bir model için sıcaklık dağılımı yüksekliğin bir fonksiyonudur ve T_e ve T_m ayrı ayı tanımlanmıştır. Sıcaklık dağılımları enerji ve ekserji değerlerini analitik olarak hesaplamak için hem yeterli düzeyde realistik ve hem de hesaplanması zor olacak derecede kompleks yapıda değildir. Bu kısımdaki açıklamalar göstermiştir ki; tabakalaşmaya sahip tank, komple karışmış tanka göre daha fazla ekserjiye sahiptir, ancak enerji miktarı tabakalaşmış tankta da, komple karışmış tankta da aynıdır.

2.2.2.1. Lineer sıcaklık dağılım modeli

Lineer sıcaklık dağılım modelinde, sıcaklık yükseklikle lineer olarak değişmektedir. T_b, tank tabanındaki sıcaklık; T_t, tankın üst noktasındaki sıcaklık ve tankın yüksekliği h=H olmak üzere; sıcaklık dağılımı ifadesi;

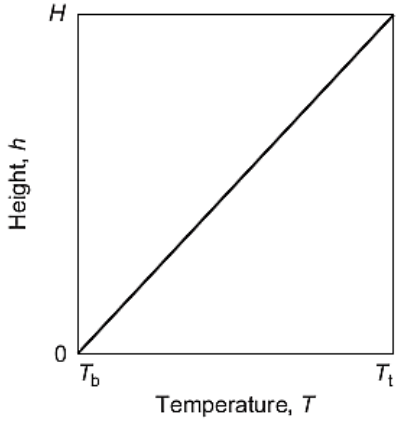
$$T^L(h) = \frac{T_t - T_b}{H}h + T_b \tag{2.14}$$

bağıntısı ile ifade edilir. Denklem (2.12), (2.11) ve (2.13)'de yerine yazılırsa aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$T_m^L = \frac{T_t + T_b}{2} \tag{2.15}$$

$$T_e^L = exp\left[\frac{T_t(\ln T_t - 1) - T_b(lnT_b - 1)}{T_t - T_b}\right] \tag{2.16}$$

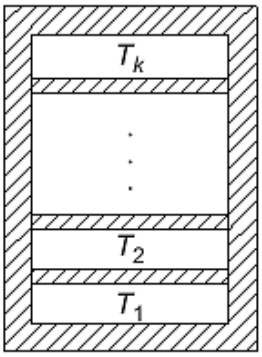
Lineer sıcaklık dağılımın grafiksel gösterimi Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.16. Lineer sıcaklık dağılımı

2.2.2.2. Adım sıcaklık dağılım modeli

Adım sıcaklık dağılım modeli tankı içerisinde, k adet farklı yükseklikle, sabit sıcaklıkta yatay bölgeler alma kabulüne dayanmaktadır. Şekil 2.13'de adım sıcaklık dağılımına sahip sistemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.17. Adım sıcaklık dağılımı

Adım sıcaklık dağılımı aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$T^S(h) = \begin{cases} T_1 & h_0 \le h \le h_1 \\ T_2 & h_1 < h \le h_2 \\ \dots & \\ T_k & h_{k-1} < h \le h_k \end{cases} \tag{2.17}$$

Yükseklikler ise;

$$0 = h_0 \le h_1 \le h_2 \dots \le h_k = H \tag{2.18}$$

ile ifade edilir. Her hangi bir adımdaki kütle miktarı x_j ve j indisi j'inci adımı temsil etmek üzere T_m ve T_e ifadeleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_m^S = \sum_{j=1}^{k} x_j \, T_j \tag{2.19}$$

$$T_e^S = exp\left[\sum_{j=1}^{k} x_j \ \ln T_j\right] = \prod_{j=1}^{k} T_j^{x_j} \tag{2.20}$$

Bu ifadelerde, j adım bölgelerinin kalınlıkları yani içerdikleri akışkan miktarlarının aynı olduğu kabulü ile yapılmıştır.

2.2.2.3. Sürekli lineer sıcaklık dağılım modeli

Sürekli lineer sıcaklık modelinde, düşeyde k adet farklı bölge olduğu ve bu bölgelerin sıcaklıklarının kendi içlerinde tabanlarından, en noktasına doğru lineer değiştiği düşünülmüştür. Adım sıcaklık dağılımında k adet bölgenin sıcaklıkları kendi içlerinde sabitken, sürekli lineer sıcaklık dağılımı modelinde lineer olarak değişmektedir. Sürekli lineer sıcaklık dağılımı modeli şu şekilde yazılabilir;

$$T^C(h) = \begin{cases} \phi_1^C(h) & h_0 \le h \le h_1 \\ \phi_2^C(h) & h_1 < h \le h_2 \\ \ldots & \\ \phi_k^C(h) & h_{k-1} < h \le h_k \end{cases} \tag{2.21}$$

Buradaki $\phi_j^C(h)$ herhangi j bölgesindeki lineer sıcaklık dağılımını veren ifadedir. İfade, denklem (2.14) ile aynı olup tek fark; alt ve üst noktadaki sıcaklıklar tankın alt ve üst noktasındaki sıcaklıklar değil bölgelerin alt ve üst noktalarındaki sıcaklıklardır.

Sürekli lineer sıcaklık dağımı için T_m ve T_e aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$T_m^C = \sum_{j=1}^{k} x_j \, (T_m)_j \tag{2.22}$$

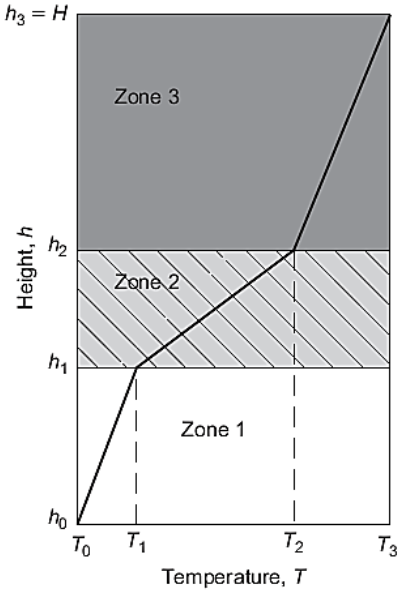
$$T_e^C = exp\left[\sum_{j=1}^{k} x_j \ \ln (T_e)_j\right] = \prod_{j=1}^{k} (T_e)_j^{x_j} \tag{2.23}$$

2.2.2.4. Üç bölgeli sıcaklık dağılımı modeli

Üç bölgeli sıcaklık dağılımı modeli, sürekli lineer sıcaklık modeli ile aynı olup; sadece 3 ayrı j bölgesi içermektedir. Yani k=3'dür. 3 bölgenin her birinde sıcaklık lineer olarak değişmektedir. Üç bölgeli sıcaklık dağılımının şematik olarak görüntüsü Şekil 2.14'de verilmiştir. Üç bölgeli sıcaklık dağılımında ifadeler, sürekli lineer sıcaklık dağılımına sahip sistemle aynı olup sadece j=3'e kadar alınmış olanıdır. Bu modelde T_m ve T_e ifadeleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$T_m^T = \sum_{j=1}^{3} x_j \, (T_m^C)_j \tag{2.24}$$

$$T_e^T = exp\left[\sum_{j=1}^{3} x_j \ \ln(T_e^C)_j\right] = \prod_{j=1}^{3} (T_e^C)_j^{x_j} \tag{2.25}$$



Şekil 2.18. Üç bölgeli sıcaklık dağılımı

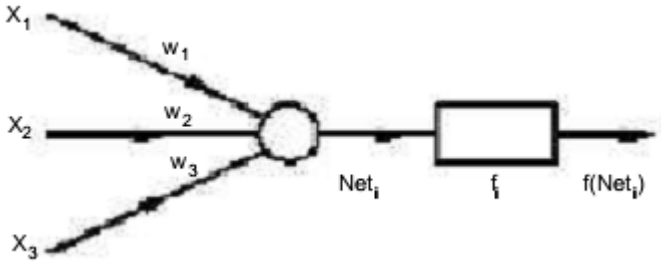
Bu 4 farklı sıcaklık dağılımı modellerinden, lineer sıcaklık dağılım modeli uygulanması en kolay ancak kullanışlı olmayan bir modeldir. Çünkü tank içerisinde yüksekliğe bağlı olarak lineer bir sıcaklık dağılımı genelde olmamaktadır. Adım sıcaklık dağılımı modeli ve sürekli lineer sıcaklık dağılımı modeli daha kullanışlı bir modeldir. Bölge sayısı arttıkça hesaplamaların hassasiyeti de artmaktadır. Üç bölgeli sıcaklık dağılımı modeli; doğruluk, hesaplama rahatlığı ve fiziksel olarak anlaşılma kolaylığından dolayı tabakalaşmayı iyi şekilde modeller.

2.2. YSA Modeli

Yapay zekâ uygulamaları bilimde gittikçe artan oranda kullanılmaktadır. Bunlardan biri, insan beyninin sinir hücresi yapısını örnek alan ve öğrenme kabiliyetine sahip olan Yapay Sinir Ağları dır. Bu yeteneğinden dolayı birçok bilim dalında, modelleme ve kontrol işlemlerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Tesisat mühendisliği alanında da birçok modelleme, tahmin ve kontrol uygulamalarında başarıyla kullanılmış ve kullanılabilirliği belirtilmiştir. Bu çalışmada YSA yapısı ve algoritmaları anlatılıp, bu çalışmada yapılan uygulama anlatılacaktır.[38]

Yapay sinir ağları insan beyninin çalısma mekanizması taklit edilerek geliştirilen ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçla yan bir mantıksal programlama tekniğidir.[38]

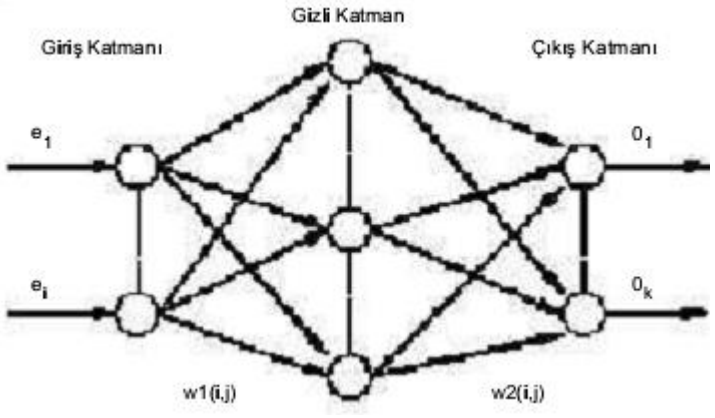
Hücre adı verilen ve bilgiyi isleyen birimlerden oluşmaktadır. Hücreler arasındaki kendine özgü ağırlık değeri olan bağlantı hatları vasıtasıyla bilgiyi taşırlar. Taşınan bilgi sinyalleri bu ağırlıklarla çarpılarak toplam enerjileri bulunur. Hücre çıkısındaki bilgi, bir aktivasyon fonksiyonundan faydalanılarak hesaplanır. Şekil 2.15'de bir hücre yapısı görülmektedir. Yapay sinir ağları önce eldeki verilerle eğitilmekte ve daha sonra amaca göre kullanılmaktadır. Eğitme isi oldukça uzun zaman almasına rağmen; kullanım sırasında çok çabuk karar vermektedirler. Öğrenme, genelleme ve hataları tolere etme yeteneklerinden dolayı lineer olmayan sistemlerin modellenmesinde çok geniş uygulama alanı bulmuşlardır.[38]



Şekil 2.19. Yapay sinir ağlarında bir hücre yapısı[38]

$f(Net_i)$, aktivasyon fonksiyonu ile hesaplanan sonuçtur. YSA'lar yapısal ve matematiksel olarak farklılıklar gösterirler. Yapısal farklılıklar, katman sayıları ve düğüm noktaları arasındaki bağlantı şekillerinin farklı olmasıdır. Bu farklılık YSA'nın kullanım amacına

ve programcının tasarımına bağlıdır. Genellikle, Şekil 2.16'da görüldüğü gibi; giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadırlar. Düğüm noktası ve aralarındaki bağlantı sayısı arttıkça YSA'nın öğrenme kapasitesi artmakta, fakat eğitim zamanı da artmaktadır.[38]



Şekil 2.20. Yapay sinir ağlarının genel yapısı[38]

Matematiksel farklılıklar ise; YSA'nın eğitilmesinde kullanılan algoritma ve aktivasyon fonksiyonunun tipidir. Aktivasyon fonksiyonları üstel fonksiyonlar içermekte; böylece lineer olmayan modeller elde edilmektedir.[38]

Bizim çalışmamızda ileri yayılmalı, tanjant sigmoid transfer fonksiyonuna sahip; giriş, 10 gizli katman ve çıkış katmanından oluşan yapıdır. Giriş 13 elemandan, çıkış 12 elemandan oluşmaktadır. Oluşturulan modelde başlangıç sıcaklık değerleri ile hangi zamandaki çıkış sıcaklık değeri isteniyorsa o zaman bilgisi girilerek, tank içerisindeki sıcaklık dağılımı ve giriş-çıkış sıcaklıkları elde edilebilir. Elde edilen çözüm süresi sayısal çözümlemelere göre çok kısa olduğu için zamana bağlı çözümlerde; çözüm yöntemi olarak alternatif sunmaktadır.

3. BÖLÜM

İRDELEME ve TARTIŞMA

Çalışmaların sonuçları 3 ana başlık altında toplanacaktır. Bunlardan ilki deneysel çalışmaların sonuçlarıdır. Bu kısımda literatürde yaygın olarak kullanılan yöntem ve diyagramlarla hangi engelin, hangi yükseklikte ne kadar sıcaklık tabakalaşmasını etkilediği gösterilecektir. İkinci kısımda deneysel çalışmaların sonuçlarından elde edilen verilerle ekserji analizi her bir engel ve engel konumu için yapılacak ve hangisinin daha iyi olduğu belirlenecektir. Son kısımda ise düşey mantolu sıcak su tankı için oluşturulan YSA modeli ve YSA modelinin sonuçları irdelenecektir.

3.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

Deneysel çalışmada daha öncedeki bölümlerde de belirtildiği üzere; tank içerisine yerleştirilen engelerin sıcaklık tabakalaşması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada engeller, tank tabanından Y=100, 200, 300 ve 400 mm mesafede yerleştirilmiştir. Isıtıcı ve manto hattındaki (kolektör çevrimi) akış oranı 4 lt/dk, şebeke – kullanım suyu hattı akış orası ise 4.50 lt/dk olarak alınmıştır.

Çalışma kapsamında yerleştirilen hazırlanın datalogger ve sıcaklık sensörleri aracılığı ile her 2 sn için ölçümler alınmıştır. Her bir deney başlatılmadan önce şartların bir önceki deneyler ile aynı olması sağlanmaya çalışılmış, ancak şebeke suyu giriş sıcaklığı gibi kontrolü mümkün olmayan giriş değerlerinin deneysel sonuçları etkilememesi için sıcaklık, boy ve zaman ifadeleri boyutsuz olarak alınmıştır. Boyutsuz sıcaklık, boyutsuz yükseklik ve boyutsuz zaman ifadeleri sırası ile aşağıdaki gibidir.[13]

$$T^* = \frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \tag{3.1}$$

$$H^* = \frac{h}{h_{max}} \tag{3.2}$$

$$t^* = \frac{t\,\dot{m}}{m_{depo\ hacmi}} \tag{3.3}$$

Ayrıca sonuçlar boyutsuzlaştırmadan da çalışma kapsamında sunulmuştur. Sonuçların değerlendirilmesinde literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler ve diyagramlar kullanılmıştır. Deneylerden alınan değerler her bir deney grubu için 15 dakikalık periyotlar için tablo halinde gösterilmiştir.

Tankın içerisindeki sıcaklık dağılımının yanında önemli olan diğer parametreler üzerinden de değerlendirmeler yapılmıştır. Bunlar;

a. Kullanım suyu sıcaklığının maksimum olması
b. Kolektöre dönüş suyu sıcaklığının minimum olması
c. Kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının maksimum olmasıdır.

Deneysel çalışmaların sonuçları engelsiz tank ve her bir engel modeli için ayrı ayrı bölümler altında verilecektir.

3.1.1. Engelsiz Tank

Engelsiz tank için yukarıda belirtilen şartlarda deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda alınan datalar aşağıda Tablo 3.1'de verilmiştir.

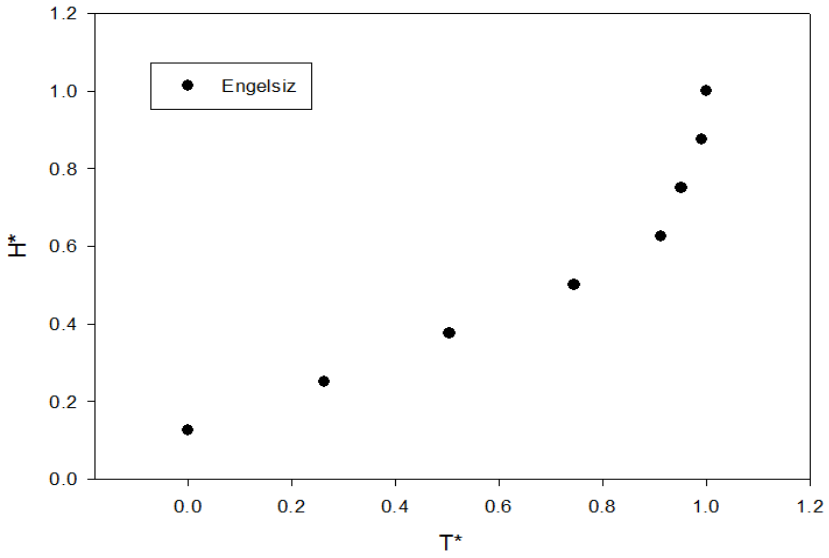
Tablo 3.1. Engelsiz tank için deney sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.69	17.37	17.75	17.87	17.19	17.44	17.75	17.87	56.88	33.56	17.87	19.25
15	18.12	21.69	24.87	26.31	26.75	27	27.69	23.75	57.63	38.25	18	27.5
30	18.25	22.12	25.81	28.75	29.31	29.62	30.37	26.12	58.19	39.38	18	30.19
45	18.31	22.37	25.31	29.44	31.06	31.56	32.31	28.75	60.38	40.38	18.06	32
60	18.37	22.31	26.37	29.75	32.31	32.69	33.25	30.69	60.13	40.44	18.12	33.06
75	18.56	22.35	26.44	29.87	32.75	32.38	33.13	31.87	59.69	40.38	18.12	33.69
90	18.5	22.44	26.94	29.9	32.56	32.94	32.75	31.94	59.31	40.06	18.12	33.31
105	18.5	22.48	26.75	29.95	32.69	32.19	32.75	32	58.88	40.06	18.12	33.44
120	18.44	22.5	25.62	29.06	31.44	32	32.56	32.69	58.25	39.81	18.12	33.25

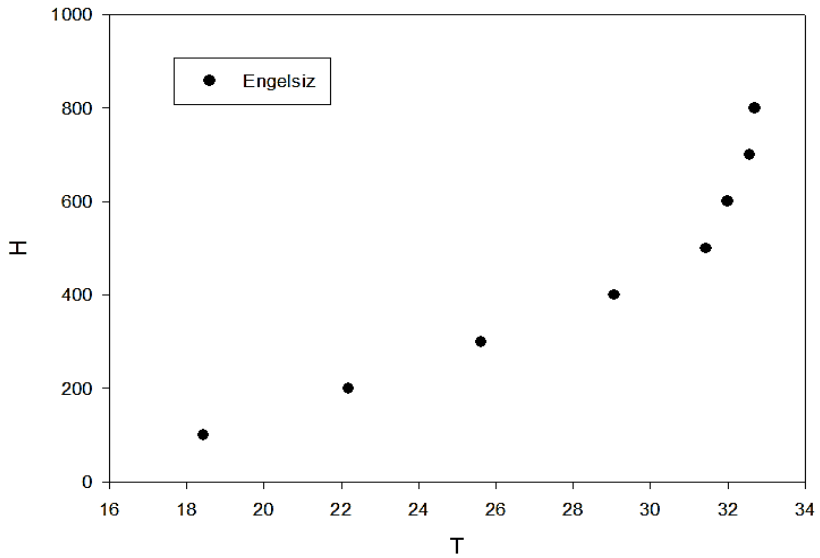
Tablo 3.1'den görüldüğü gibi, tank içerisinde başlangıçta yaklaşık olarak 17 ºC sıcaklıkta su bulunmaktadır. 120 dakika sonunda tankın alt noktasında 18.44 ºC, üst noktasında ise 32.69 ºC sıcaklıkta su bulunaktadır. Yani tankın alt ve üst noktası arasındaki sıcaklık farklı 14.25 ºC'dir. Isıtıcı-manto su çevriminde su sıcaklığı deney süresince, yaklaşık

olarak 57 ila 60 ºC arasında değişmiştir. Isıtıcında gelen su sıcaklığı ile ısıtıcıya dönen su sıcaklığı arasındaki fark deney başlangıcında yaklaşık olarak 23.50 ºC iken 120 dakikanın sonunda 18 ºC civarına gerilemiştir. Şebekenden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC iken; kullanım suyu sıcaklığı 19.25 ºC'den 33,25 ºC'ye kadar çıkmıştır. Tanktaki suda 14 ºC'lik bir artık sağlanmıştır.

Engelsiz tank için boyutsuz sıcaklığın (T*) boyutsuz yükseklikle (H*) ve sıcaklığın (T) yükseklik (H) ile nasıl değiştiği Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.1 ve 3.2'den görüldüğü gibi tank içerisinde sıcaklık, tank tabanından 600 mm yükseklikten itibaren hemen hemen sabit kalmaktadır.

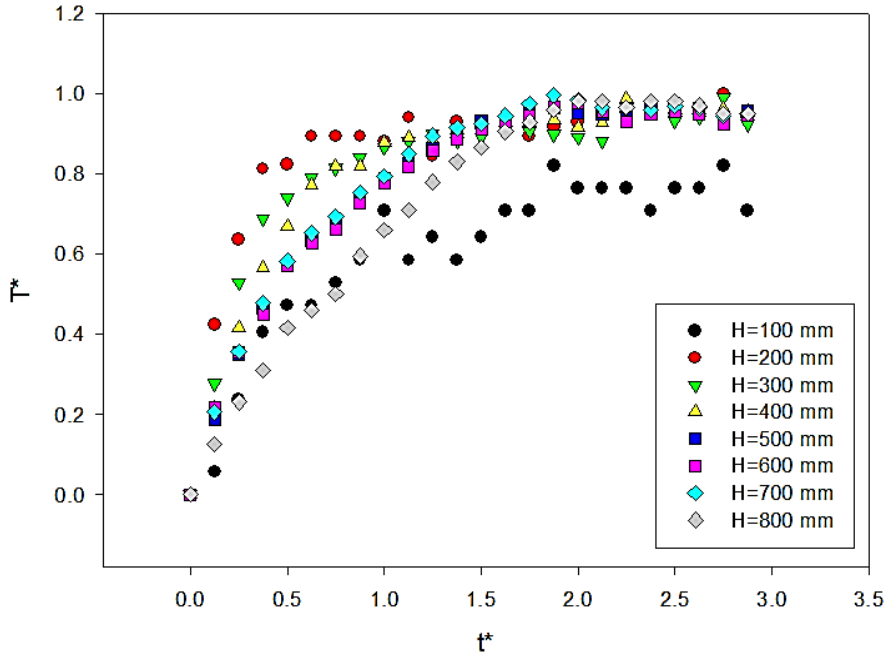


Şekil 3.1. Engelsiz tank için 120 dakika sonunda T*-H* diyagramı

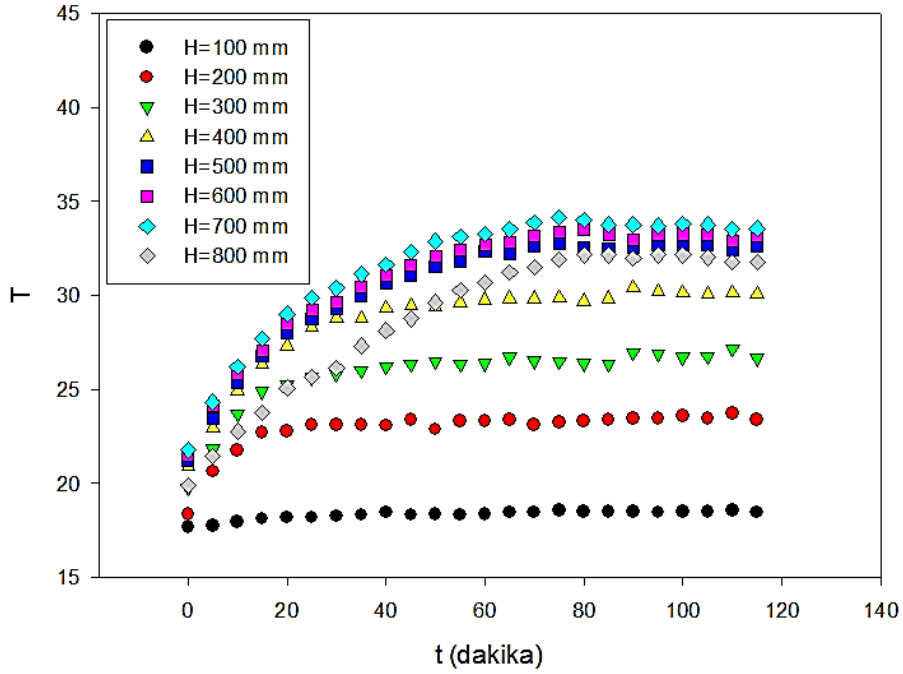


Şekil 3.2. Engelsiz tank için 120 dakika sonundaki T-H değişimi

Her bir yükseklikteki (H=100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 mm) sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi boyutsuz olarak (t*-T*) Şekil 3.3'de, direk olarak ise Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Engelsiz tank için her bir yükseklikteki t*-T* değişimi



Şekil 3.4. Engelsiz tank için her bir yükseklikteki t-T değişimi

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'den görüldüğü gibi görüldüğü üzere sıcaklık değeri tank tabanından üst kısımlara doğru artmaktadır. Bazı seviyelerde, bazı zamanlarda, sıcaklık değeri

dalgalanmaktadır. Yani üst nokta alt noktadan daha soğuk olabilmektedir. Soğuk suyun giriş yaptığı alt noktada ise sıcaklığın çok fazla bir artık göstermemektedir. Ancak artan zaman ve yükseklikle sıcaklıkların ve yükseklikler arasındaki sıcaklık farkının arttığı belli bir zaman aralığından sonrada hemen hemen sabitlendiği gözlemlenmektedir. Tankın en üst noktasında ise sıcaklık alt noktalarından daha soğuk olmaktadır. Bu durumun tankın üst kısmındaki soğuk tankından ve kullanım suyu çıkışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.1.1. Ortası Delik Engel

Deneysel çalışmaların ilk kısmında; ortası delik engel, 2. Bölümde belirtildiği gibi Y=100, 200, 300 ve 400 mm yüksekliklere konmuştur ve ısıtıcı-manto akış oranı 4.50 lt/dk, şebeke suyu giriş ve kullanım suyu çıkışı akış oranı ise 4.00 lt/dk olarak şekilde deneyler yapılmıştır.

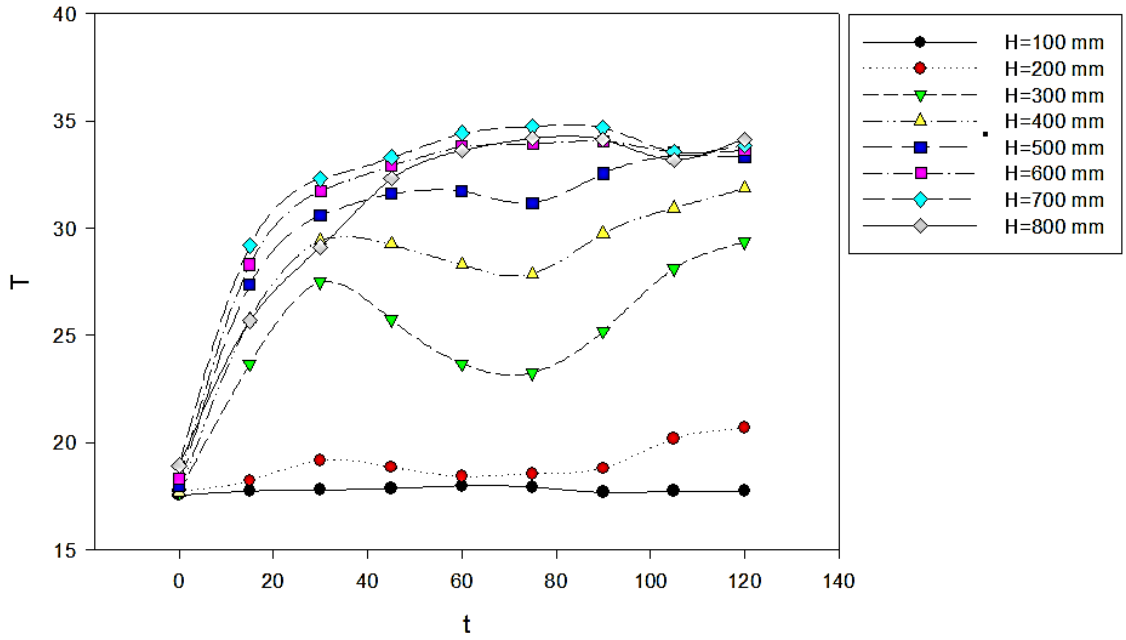
Ortası delik engelin Y=100 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Ortası delik engelin Y=100 mm'deki sonuçları

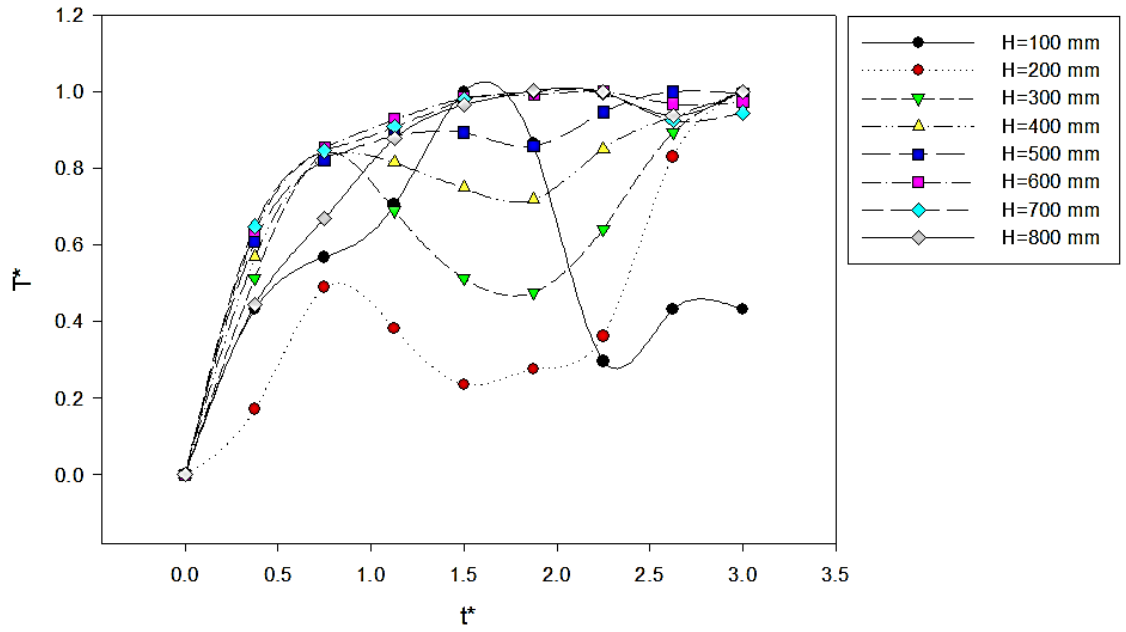
t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.56	17.75	17.69	17.69	18	18.31	18.94	18.94	49.06	20.94	18.12	19.5
15	17.75	18.25	23.69	25.75	27.37	28.31	29.19	25.69	57.5	35.69	18.19	28.94
30	17.81	19.19	27.5	29.44	30.62	31.75	32.31	29.12	57.13	36.94	18.19	31.94
45	17.87	18.87	25.75	29.25	31.62	32.94	33.31	32.31	56.69	36.69	18.25	33.56
60	18	18.44	23.69	28.31	31.75	33.81	34.44	33.63	56.38	36.63	18.31	34.69
75	17.94	18.56	23.25	27.87	31.19	33.94	34.75	34.19	58	36.69	18.12	34.88
90	17.69	18.81	25.19	29.75	32.56	34.06	34.69	34.13	60	37.5	18.06	34.75
105	17.75	20.19	28.12	30.94	33.38	33.56	33.56	33.19	61.38	37.94	18.06	33.88
120	17.75	20.69	29.37	31.87	33.31	33.63	33.88	34.15	61.38	38.42	18.06	34.45

Tablo 3.2'den görüldüğü üzere tank başlangıçta yaklaşık 17.5 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 17.75 ºC, en üst noktası ise 34.15 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 57 - 61 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 20-23 derece arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18.10 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.5 ºC'den 34.45 ºC'ye çıkmıştır. Yani 14.95 ºC şebeke suyu ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir. Her bir seviyedeki sıcaklıkların zamana bağlı değişimi

ve boyutsuz sıcaklığın boyutsuz zamana göre değişimi Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da sırası verilmiştir. Şekil 3.5 ve 3.6'dan görüldüğü üzere sıcaklıkların artışı düzgün bir seyir izlememektedir. Üst kısımlarda sürekli bir artış söz konusu iken, orta kısımlarda 40 ve 80. dakikalar arasında sıcaklıklarda bir azalma söz konusudur. Alt kısımlarda ise şebeke suyu giriş sıcaklığına yakın bir değerde, hemen hemen sabit bir sıcaklık söz konusudur.



Şekil 3.5. Ortası delik engelin Y=100 mm mesafedeki T-t değişimi



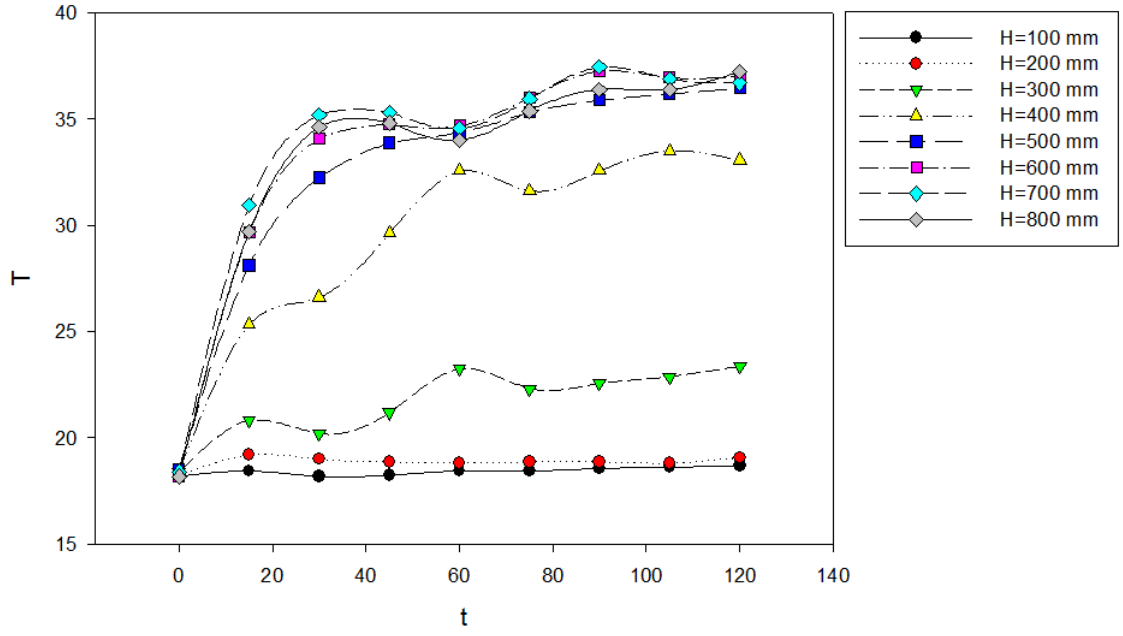
Şekil 3.6. Ortası engelin Y=100 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Ortası delik engelin Y=200 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.3'de verilmiştir.

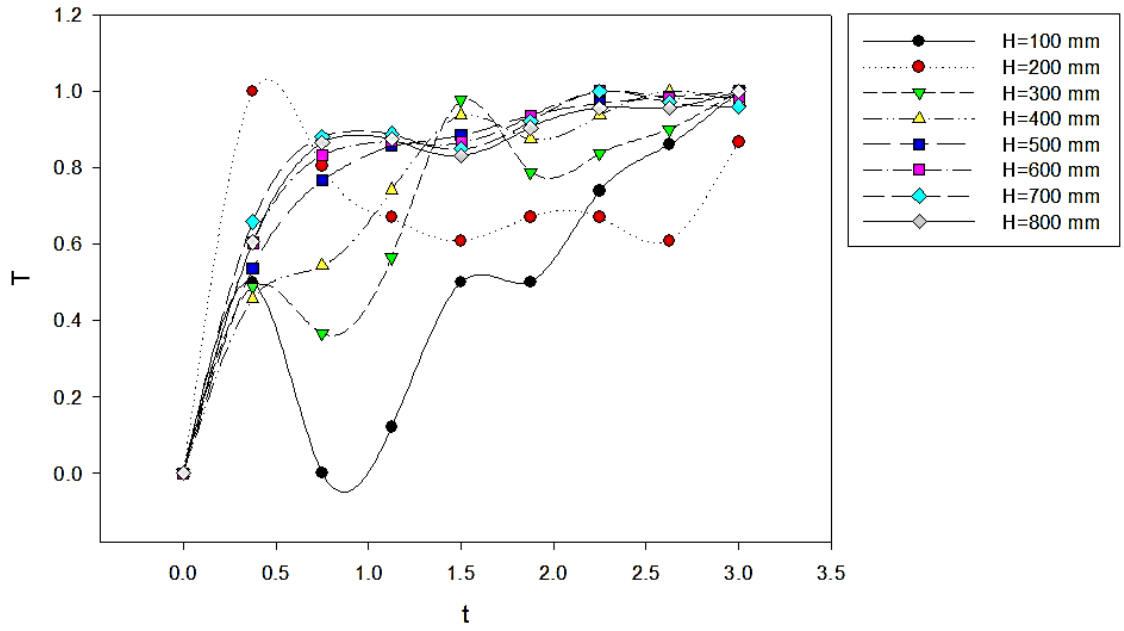
Tablo 3.3. Ortası delik engelin Y=200 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	20.19	20.94	20.94	21	21.06	21.19	21.37	20.75	39.81	22.56	18.25	21.37
15	18.44	19.19	20.81	25.31	28.12	29.69	30.94	29.69	59.81	36.31	18	30.19
30	18.19	19	20.19	26.62	32.25	34.06	35.19	34.63	59.5	37.19	18.12	34.88
45	18.25	18.87	21.19	29.62	33.88	34.75	35.31	34.81	59.06	37.38	18.12	35.13
60	18.44	18.81	23.25	32.56	34.38	34.69	34.56	34	58.63	37.56	18.25	34.44
75	18.44	18.87	22.31	31.62	35.31	36	35.94	35.38	60.31	38	18.25	36
90	18.56	18.87	22.56	32.56	35.88	37.25	37.44	36.38	61.94	38.75	18.37	36.94
105	18.62	18.81	22.87	33.5	36.19	36.94	36.88	36.38	61.63	38.56	18.37	37.25
120	18.69	19.06	23.37	33.06	36.44	37	36.69	37.2	61.44	38.63	18.37	36.75

Tablo 3.3'den görüldüğü üzere tank başlangıçta yaklaşık 20.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 18.69 ºC, en üst noktası ise 37.20 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 59 - 61 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 22-23 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18.20 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 21.37 ºC'den 36.75 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu 15.38 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.7. Ortası delik engelin Y=200 mm mesafedeki T-t değişimi



Şekil 3.8. Ortası delik engelin Y=200 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – boyutsuz zaman değişimleri sırası ile verilmiştir. Şekil 3.8 ve 3.5'den görüldüğü gibi; zamanla hemen hemen düzenli bir artış söz konusudur. Ancak özellikle tankın orta kısımlarında 60-80 dakikalar arasında sıcaklık azalması söz konusudur. Ancak bu azalma Y=100 mm mesafedeki engelden daha azdır. Tank alt kısımlarında ise sıcaklık şebeke suyu sıcaklığına yakın ve yaklaşık olarak sabit seyretmektedir.

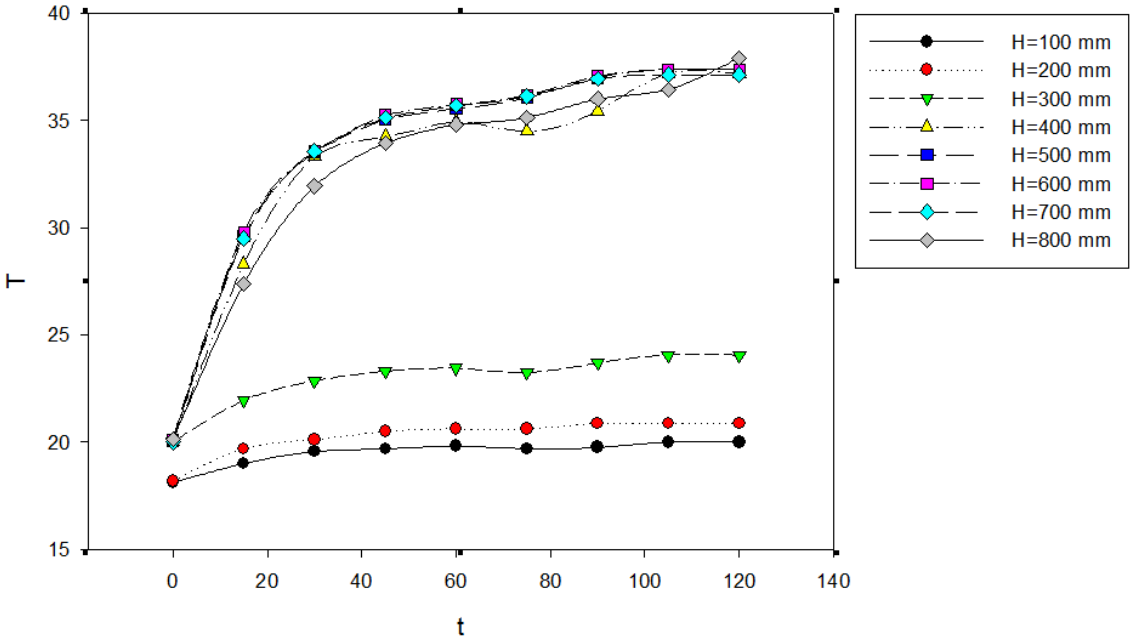
Ortası delik engelin Y=300 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Ortası delik engelin Y=300 mm'deki sonuçları

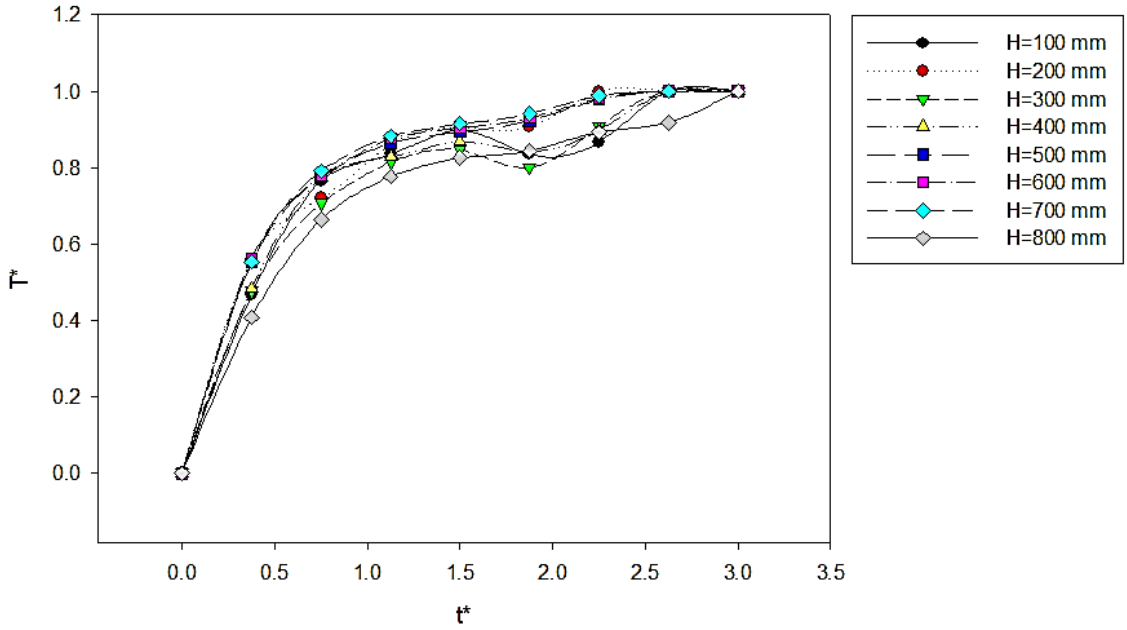
t (sn)	**1 (ºC)**	**2 (ºC)**	**3 (ºC)**	**4 (ºC)**	**5 (ºC)**	**6 (ºC)**	**7 (ºC)**	**8 (ºC)**	**$T_{m,g}$ (ºC)**	**$T_{m,ç}$ (ºC)**	**$T_{şebeke}$ (ºC)**	**$T_{kullanım}$ (ºC)**
0	18.12	18.19	20	20	20.06	20.12	20	20.12	47.75	21.19	18	20.37
15	19	19.69	21.94	28.31	29.62	29.81	29.5	27.37	60	35.81	18.12	29.5
30	19.56	20.12	22.87	33.31	33.5	33.56	33.56	31.94	59.56	37.06	18.25	33.13
45	19.69	20.5	23.31	34.25	35.06	35.25	35.13	33.94	59.06	37.56	18.31	34.63
60	19.81	20.62	23.44	34.94	35.56	35.75	35.69	34.81	58.5	37.63	18.37	35.38
75	19.69	20.62	23.25	34.5	36.06	36.19	36.13	35.13	60.5	38	18.31	35.88
90	19.75	20.87	23.69	35.44	37	37.06	36.94	36	62.5	38.69	18.37	36.69
105	20	20.87	24.06	37.19	37.38	37.38	37.13	36.44	62.06	38.75	18.37	37
120	20	20.87	24.06	37.19	37.38	37.38	37.13	37.9	62.06	38.75	18.37	37

Tablo 3.4'den görüldüğü üzere tank başlangıçta yaklaşık 20 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 20 ºC, en üst noktası ise 37.90 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 59 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-23 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18.20 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 20.37 ºC'den 37 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu 16.63 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da zamanla sıcaklığın ve boyutsuz zamanla boyutsuz sıcaklığın nasıl değiştiği sırası ile gösterilmiştir. Şekillerden anlaşıldığı üzere, zaman arttıkça sıcaklıklarda artmaktadır. Engellerin Y=100 mm ve Y=200 mm olduğu durumlardaki orta kısımlarda gözle görülür bir azalma olmamakla beraber H=400 mm mesafesinde çok az bir azalma görülmektedir. Ancak bu azalma önceki durumlara göre göz ardı edilebilecek durumdadır. Tank içerisindeki su ısınmaya başladığı andan itibaren tank içerisinde, sıcak ve soğuk bölge olmak üzere iki kısım meydana gelmektedir. Ortası delik engelin diğer yükseklik durumlarında olduğu gibi Y=300 mm olduğu durumda da tank tabanına yakın yerlerde şebeke suyu giriş sıcaklığına yakın sıcaklık oluşmaktadır.



Şekil 3.9. Ortası delik engelin Y=300 mm mesafedeki T-t değişimi



Şekil 3.10. Ortası delik engelin Y=300 mm mesafedeki T*-t* değişimi

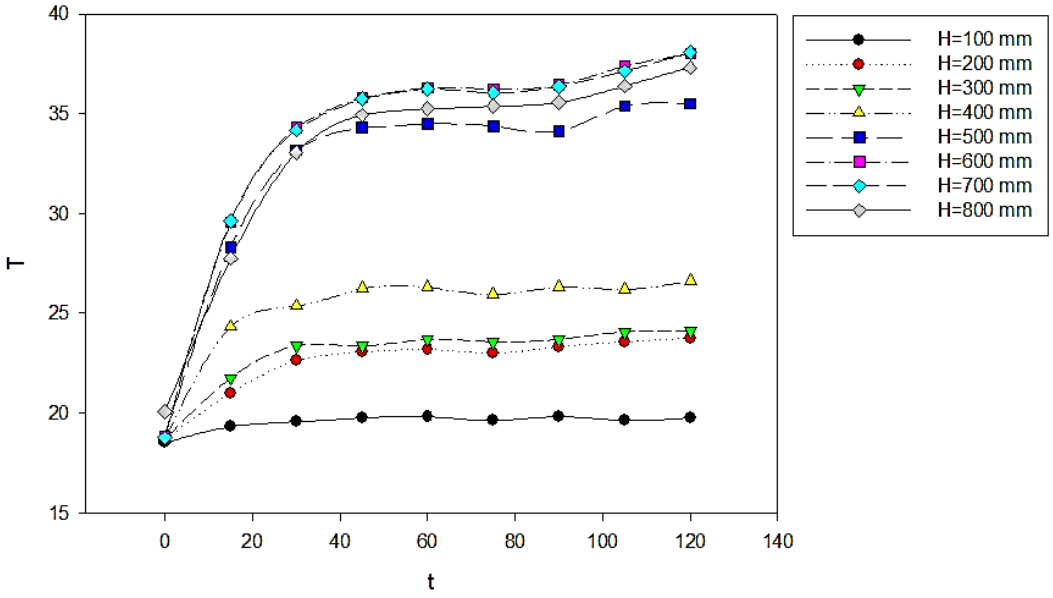
Ortası delik engelin Y=400 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Ortası delik engelin Y=400 mm'deki sonuçları

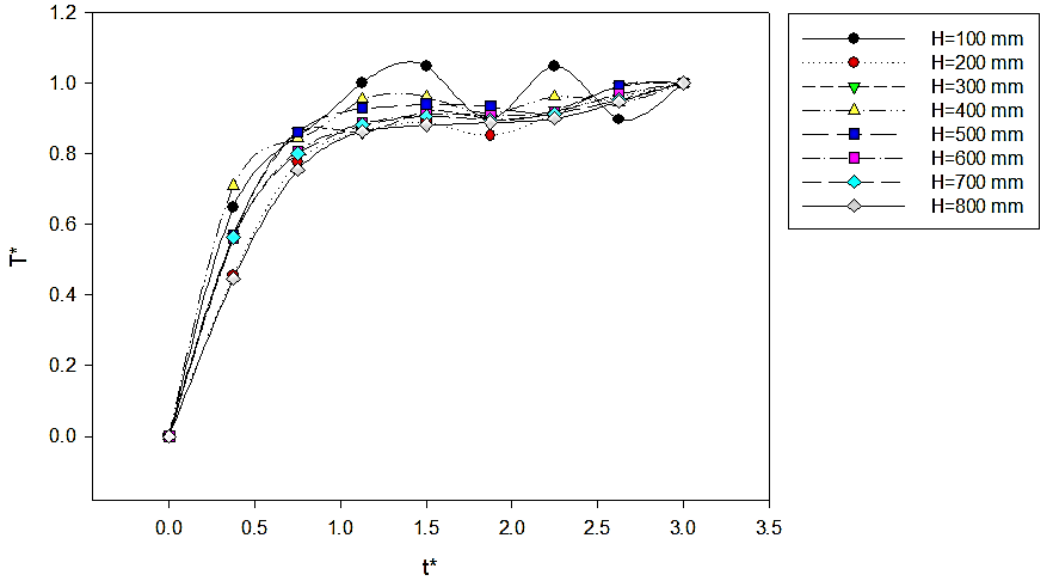
t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	18.5	18.69	18.69	18.69	18.81	18.81	18.75	20.06	40.69	30.19	19.81	19.87
15	19.31	21	21.75	24.31	28.31	29.56	29.62	27.75	60.44	35.94	18.37	29.94
30	19.56	22.62	23.37	25.37	33.19	34.31	34.19	33.06	60	37.19	18.37	34.31
45	19.75	23.06	23.37	26.25	34.31	35.81	35.75	34.94	59.56	37.44	18.44	35.75
60	19.81	23.19	23.69	26.31	34.5	36.31	36.25	35.25	59	37.44	18.37	36.13
75	19.62	23	23.56	25.94	34.38	36.25	36.06	35.38	58.31	37.25	18.31	35.88
90	19.81	23.31	23.69	26.31	34.13	36.44	36.38	35.56	60.38	37.56	18.37	36.25
105	19.62	23.56	24.06	26.19	35.38	37.38	37.13	36.38	62.69	38.31	18.44	37.06
120	19.75	23.75	24.12	26.62	35.5	38	38.06	37.31	62.69	38.5	18.5	37.94

Tablo 3.5'den görüldüğü üzere tank başlangıçta yaklaşık 18.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 19.75 ºC, en üst noktası ise 37.31 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 60 – 62.5 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-26 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18.50 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.87 ºC'den 37.94 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu 18.07 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de ortası delik engelin Y=400 mm yüksekliğe yerleştirildiği durumdaki sıcaklık – zaman, boyutsuz sıcaklık – boyutsuz zaman diyagramları verilmiştir. Şekil 3.11 ve 3.12'den görüldüğü üzere; zamanla sıcaklık yaklaşık olarak düzenli bir şekilde artmaktadır. Tankın orta kısımlarında, 60 – 80 dakikalar arasında çok az azalma görülmektedir. Ancak bu azalma çok çok azdır. Tank Y=300 mm duruma göre daha az oranda sıcak ve soğuk kısma ayrılmış durumdadır. H=400 mm'den sonra sıcaklık ciddi bir şekilde tank içerisinde artmaktadır. Engel diğer durumlara göre daha yukarda olduğundan, tank tabanına doğru sıcaklık, diğer durumlardaki gibi şebeke suyuna yakın değerlerde değil, engele mesafesine yükseklikle beraber artmaktadır.

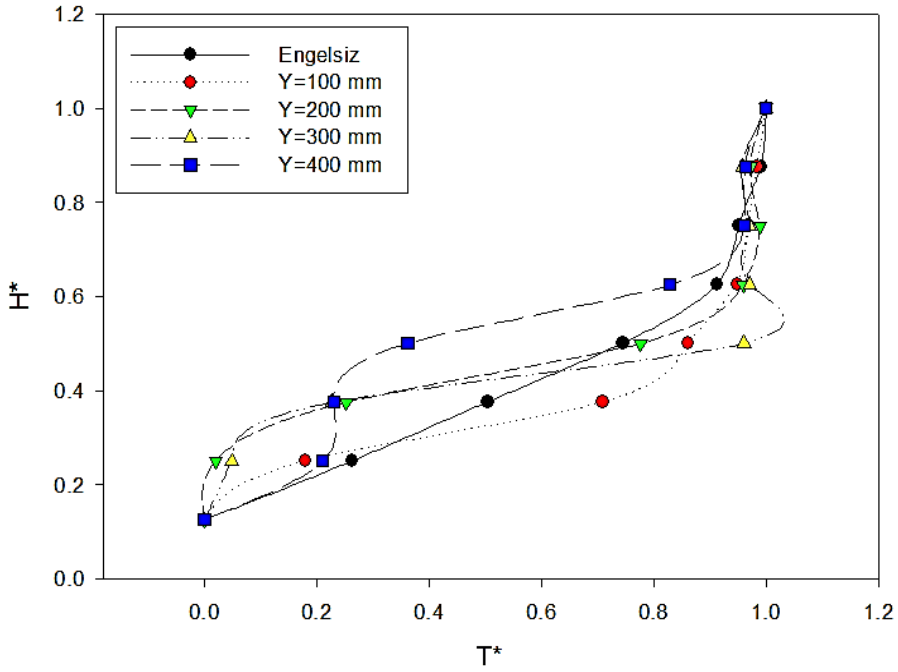


Şekil 3.11. Ortası delik engelin Y=400 mm mesafedeki T-t değişimi

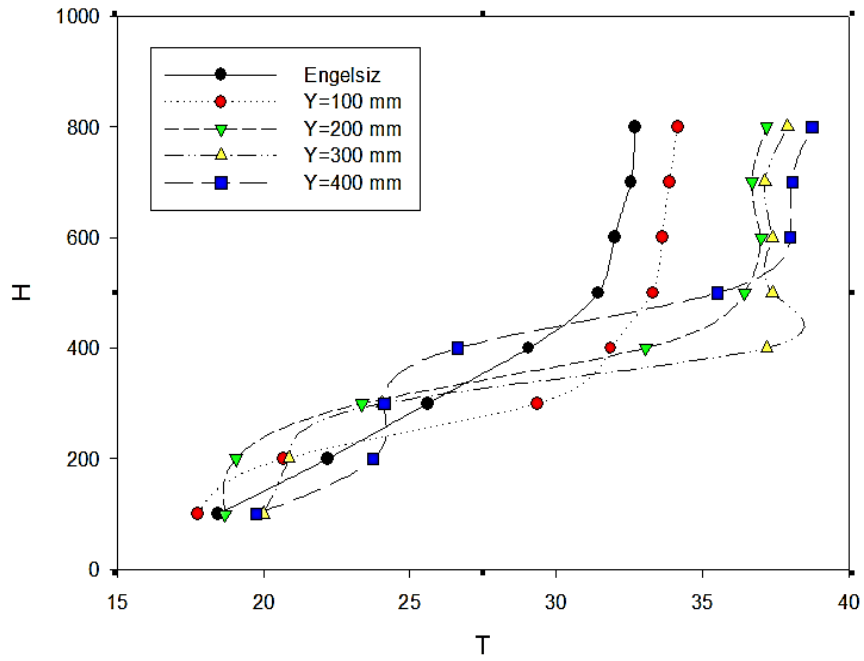


Şekil 3.12. Ortası delik engelin Y=400 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Ortası delik engel için, 120 dakika sonundaki, her bir yükseklikteki, boyutsuz sıcaklık ve boyutsuz yükseklik, sıcaklık ve yükseklik değişim diyagramları sırası ile Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Ortası delik engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonunda T*-H* değişimi



Şekil 3.14. Ortası delik engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonunda T-H değişimi

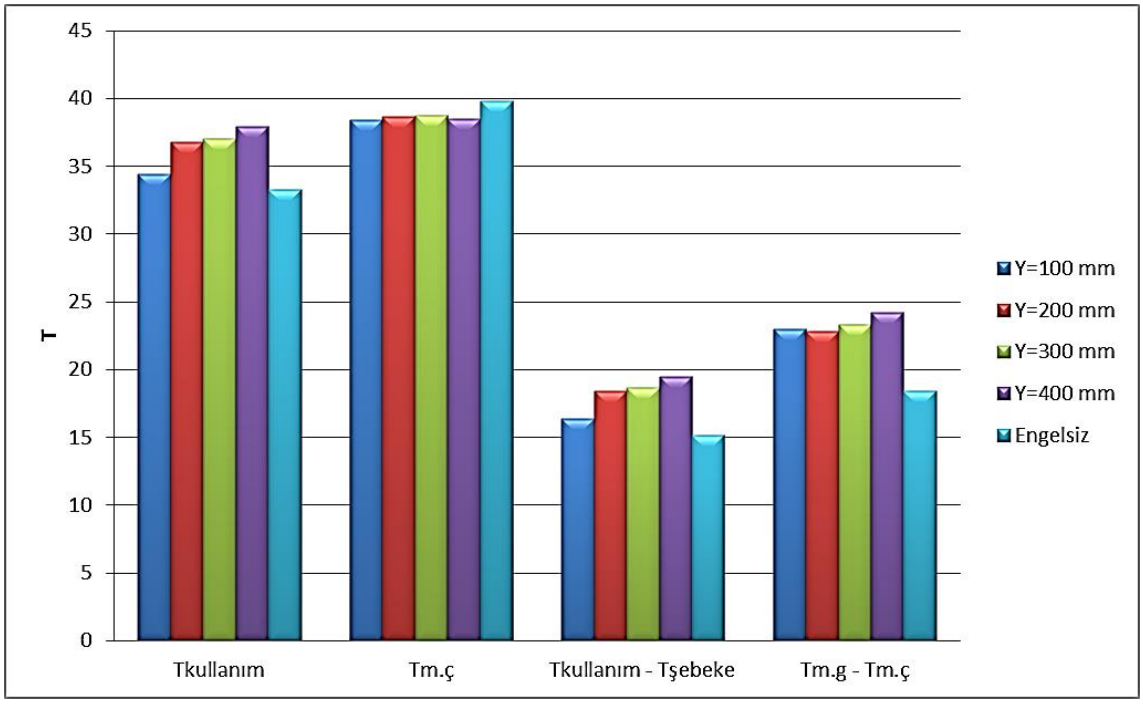
Şekil 3.5 ve 3.6'dan açıkça görülmektedir ki; engeller hangi mesafede olurlarsa olsunlar sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmişlerdir. Tankın alt noktası ile üst noktası arasındaki sıcaklık farklı; engelsiz tanka göre artmıştır. Ancak bu açıklama sıcaklık tabakalaşmasını açıklamak açısından tek başına yeterli olmayacağı önceki bölümlerde açıklanmıştı.

Kullanım suyu sıcaklığı ($T_{kullanım.}$), ve ısıtıcıya dönüş sıcaklığı ($T_{m.ç}$) değerleri de uygulama açısından önemli olan parametrelerdendir. Manto giriş sıcaklığı ($T_{m,g}$) ve şebeke suyu sıcaklığı ($T_{şebeke}$) uygulamada ve deney süresince sabittir. Ancak bu 4 sıcaklık değerlerinin bazı fark değerleri de sıcaklık tabakalaşmasını değerlendirmek açısından önemlidir. Bunlar; ($T_{kullanım}$ - $T_{şebeke}$) ve ($T_{m,g}$ - $T_{m.ç}$)'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark şebeken aldığımız suyun sıcaklığını ne kadar arttırdığımızı gösterirken, Manto giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı ise mantoda dolaşan sudan ne kadar ısı enerjisi aldığımızı gösterir. Bu sıcaklık ve sıcaklık farkı değerlerinden $T_{kullanım}$'ın mümkün olduğu kadar yüksek, $T_{m.ç}$'in mümkün olduğu kadar düşük, ($T_{kullanım}$ - $T_{şebeke}$) ve ($T_{m,g}$ - $T_{m.ç}$)farkının mümkün olduğu kadar yüksek olması beklenir. Bu açıklamalar ışığında, Şekil 3.15'de bu değerler ortası delik engelin yerleştirildiği tüm durumlar için verilmiştir. Şekil 3.15'den görüldüğü gibi en yüksek kullanım suyu sıcaklığı Y=400 mm'de alınmıştır. Kullanım suyunun sıcaklığı, engelin yerleştirildiği mesafe arttıkça artmıştır. Mantodan çıkış sıcaklığı ise engelli durumların tamamında hemen hemen aynı gibidir. Çok belirgin bir fark olmamakla beraber Y=400 mm olduğu durum en düşük manto çıkış sıcaklığını sağlamaktadır. Kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark incelenecek olursa; en yüksek sıcaklık farkının Y=400 mm olduğu durumda gerçekleştiği görülür. Mantonun giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı da yine Y=400 mm durumunda görülmektedir.

Bu veriler ışığında ortası delik engel için;

- Tank tabanından olan mesafe arttıkça sıcaklık tabakalaşması iyileşmektedir,
- En iyi sıcaklık tabakalaşması Y=400 mm olduğu durumda görülmektedir,
- Her bir engel konumu, engelsiz tanka göre, sıcaklık tabakalaşmasında iyileştirme sağlamıştır,

denilebilir.



Şekil 3.15. Ortası delik engel için sıcaklık ve sıcaklık farkı değerleri

3.1.2. Düz Silindirik Engel

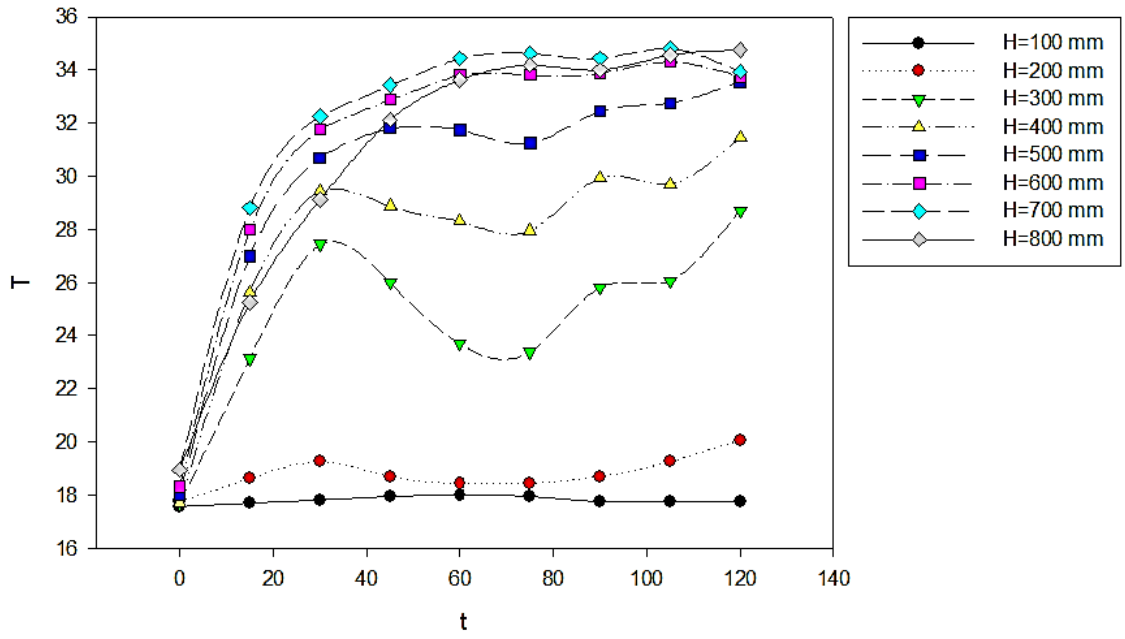
Düz silindirik engel; diğer engeller gibi Y=100, 200, 300 ve 400 mm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Akış oranları, manto – ısıtıcı arasında 4 lt/dk ve şebeke – kullanım suyu 4.5 lt/dk olarak alınmıştır.

Düz silindirik engelin Y=100 mm mesafeye yerleştirilmesi ile elde sonuçlar aşağıda verilmiştir. 15 dakikalık zaman periyodunda oluşan sıcaklıklar Tablo 3.6'da verilmiştir.

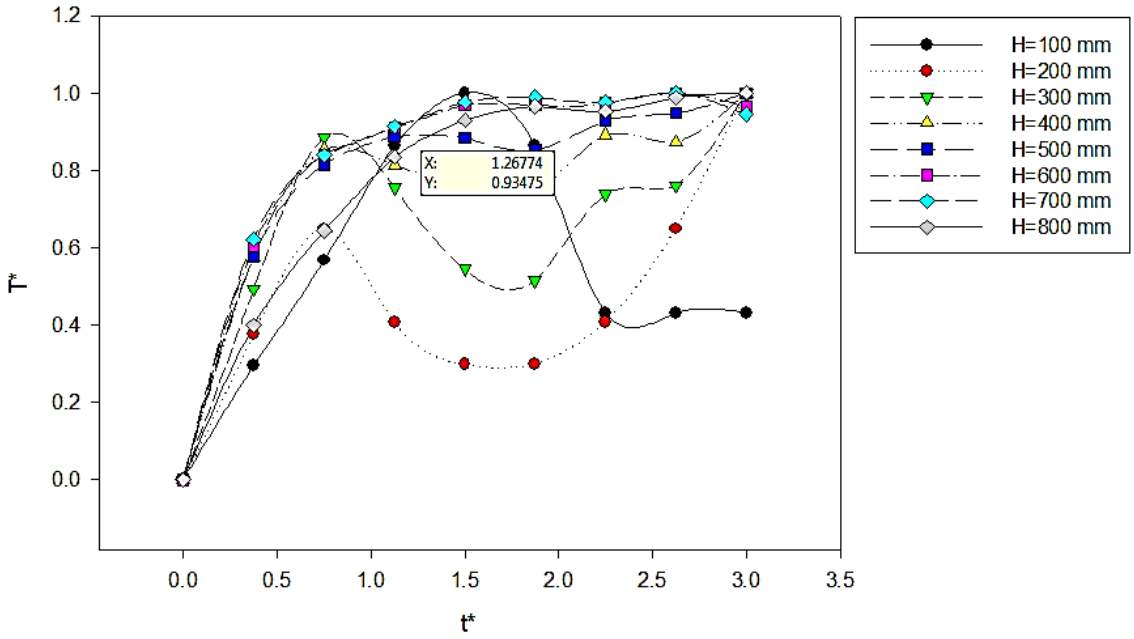
Tablo 3.6. Ortası delik engelin Y=400 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.56	17.75	17.69	17.69	18	18.31	18.94	18.94	49.06	20.94	18.12	19.5
15	17.69	18.62	23.12	25.62	27	28	28.81	25.25	57.5	35.56	18.12	28.44
30	17.81	19.25	27.44	29.44	30.69	31.75	32.25	29.12	57.19	36.94	18.19	31.94
45	17.94	18.69	26	28.87	31.81	32.88	33.44	32.13	56.75	36.63	18.25	33.63
60	18	18.44	23.69	28.31	31.75	33.81	34.44	33.63	56.38	36.63	18.31	34.69
75	17.94	18.44	23.37	27.94	31.25	33.81	34.63	34.19	57.88	36.69	18.19	34.88
90	17.75	18.69	25.81	29.94	32.44	33.88	34.44	34	59.94	37.5	18.06	34.5
105	17.75	19.25	26.06	29.69	32.75	34.31	34.81	34.56	61.38	37.94	18.06	34.5
120	17.75	20.06	28.69	31.44	33.56	33.75	33.94	34.75	61.44	38.19	18.06	34.25

Tablo 3.6'den görüldüğü üzere tank başlangıçta yaklaşık 17.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 17.75 ºC, en üst noktası ise 34.75 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 57 – 61 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 28-21 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18.10 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.50 ºC'den 34.25 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 14 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.16. Düz silindirik engelin Y=100 mm mesafedeki T-t değişimi



Şekil 3.17. Düz silindirik engelin Y=100 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de düz silindirik engelin Y=100 mm mesafeye yerleştirildiği durumdaki T-t ve T*-t* diyagramları verilmiştir. Diyagramlardan görüldüğü üzere, ortası delik engelde olduğu gibi, orta kısımlardaki sıcaklık zaman içerisinde düzenli bir şekilde artmamış, 30 – 90 dakikalar arasında azalmalar görülmüştür. Üst kısımlarda sıcaklık zamanla birlikte artmış, alt kısımlarda ise şebeke suyu sıcaklığına yakın bir değerde hemen hemen sabit kalmıştır.

Düz silindirik engelin Y=200 mm mesafeye yerleştirilmesi ile elde sonuçlar aşağıda verilmiştir. 15 dakikalık zaman periyodunda oluşan sıcaklıklar Tablo 3.7'da verilmiştir.

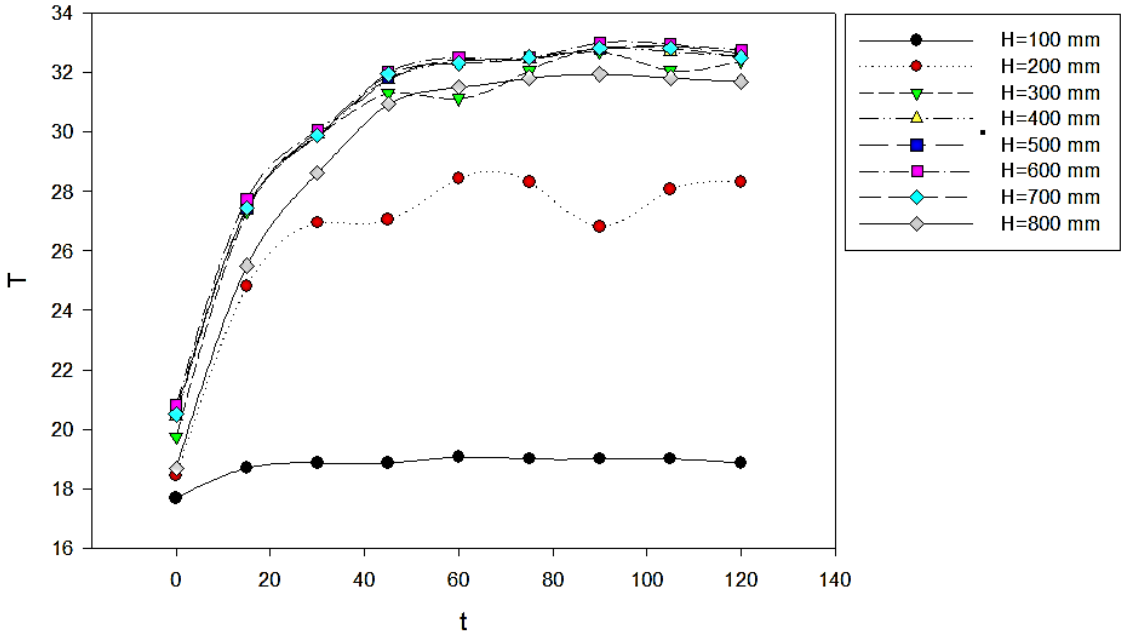
Tablo 3.7. Düz silindirik engelin Y=200 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.69	18.44	19.75	20.44	20.62	20.81	20.5	18.69	57.81	29.5	17.69	20.44
15	18.69	24.81	27.31	27.44	27.44	27.75	27.44	25.5	59.56	36.81	17.69	27.44
30	18.87	26.94	29.87	29.94	30	30.06	29.87	28.62	59.94	38.19	17.69	29.75
45	18.87	27.06	31.31	31.75	31.81	32	31.94	30.94	60.31	39.19	17.62	32.06
60	19.06	28.44	31.12	32.38	32.44	32.5	32.31	31.5	60.63	39.56	17.69	32.56
75	19	28.31	32.06	32.44	32.5	32.5	32.5	31.81	60.63	39.75	17.56	32.5
90	19	26.81	32.69	32.81	32.81	33	32.81	31.94	60.25	39.75	17.62	32.94
105	19	28.06	32.06	32.69	32.88	32.94	32.81	31.81	60	39.69	17.56	32.69
120	18.87	28.31	32.38	32.56	32.63	32.75	32.5	31.69	59.56	39.63	17.62	32.56

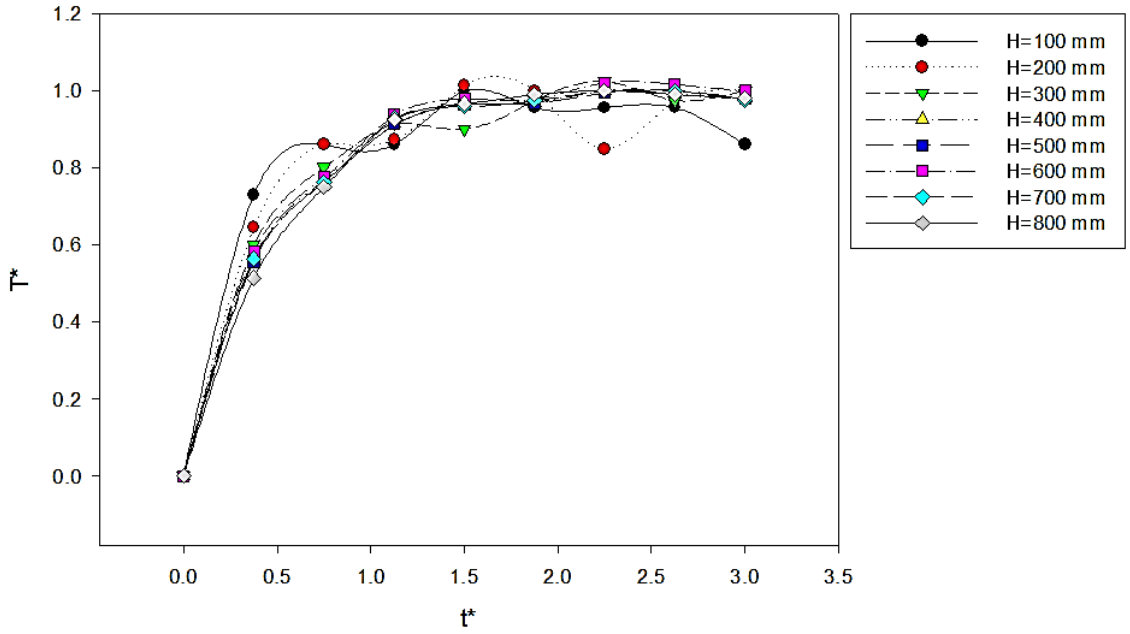
Tablo 3.7'den görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 18.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 17.87 ºC, en üst noktası ise 31.69 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 60 ºC su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 28-20 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 17.60 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 20.44 ºC'den 32.56 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 12 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da düz silindirik engelin Y=200 mesafedeki T-t ve T*-t* değişim diyagramları verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, tank içerisindeki iki bölgeli bir sıcaklık tabakalaşması vardır. H=200 mm mesafesinde artan zamanla çok az bir sıcaklık azalması vardır. Ancak bu azalma ihmal edilebilirdir. H=300 mm mesafeden sonra ise her yükseklikte hemen hemen aynı sıcaklıkta su bulunmaktadır. Alt kısımlarda ise diğer

durumlarda olduğu gibi zaman içerisinde neredeyse sabit ve şebeke suyuna yakın sıcaklıktadır.



Şekil 3.18. Düz silindirik engelin Y=200 mm mesafedeki T-t değişimi



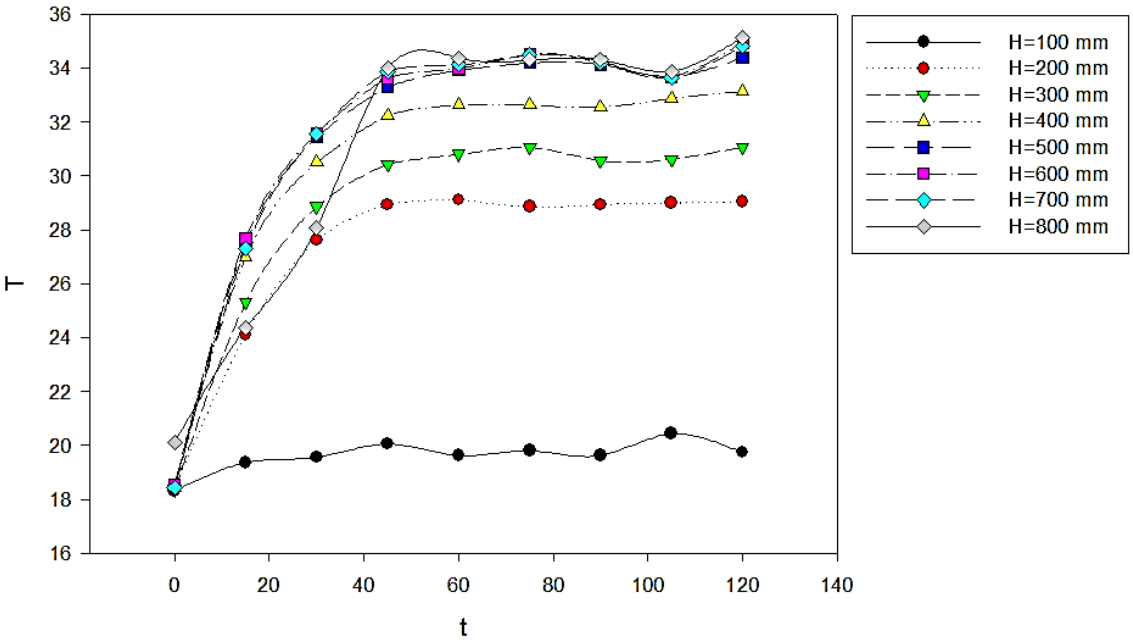
Şekil 3.19. Düz silindirik engelin Y=200 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Düz silindirik engelin Y=300 mm mesafeye yerleştirilmesi ile elde sonuçlar aşağıda verilmiştir. 15 dakikalık zaman periyodunda oluşan sıcaklıklar Tablo 3.8'de verilmiştir. Tablo 3.8'den görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 19 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 19.75 ºC, en üst noktası ise 35.12 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 59 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları

arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-22 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19 ºC'den 35.31 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 16 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tablo 3.8. Düz silindirik engelin Y=300 mm'deki sonuçları

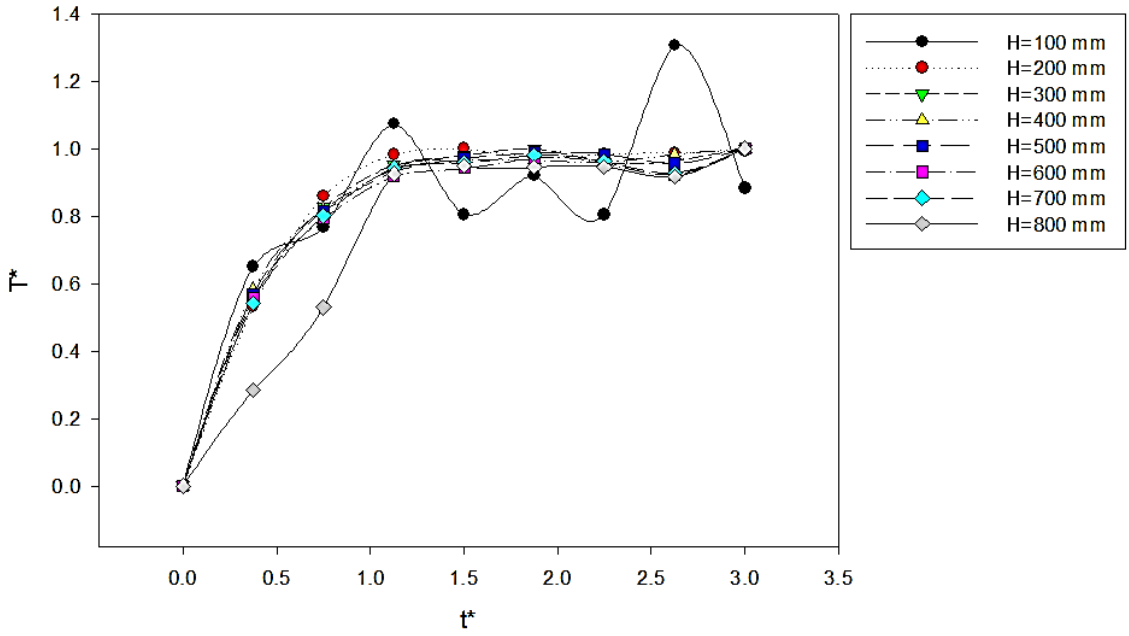
t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	18.31	18.44	18.37	18.44	18.5	18.56	18.44	20.12	41.25	30.56	18.25	19
15	19.37	24.12	25.31	27	27.5	27.69	27.31	24.37	61.75	36.44	18	28.25
30	19.56	27.62	28.87	30.5	31.44	31.56	31.56	28.06	61.31	38.75	18.06	32.25
45	20.06	28.94	30.44	32.25	33.31	33.63	33.88	34	60.88	39.56	18.06	33.94
60	19.62	29.12	30.81	32.63	33.94	34	34.13	34.37	60.25	39.81	18.06	34.44
75	19.81	28.87	31.06	32.63	34.19	34.5	34.5	34.31	59.75	39.56	18.06	34.81
90	19.62	28.94	30.56	32.56	34.13	34.25	34.19	34.31	59.19	39.5	18	34.69
105	20.44	29	30.62	32.88	33.69	33.69	33.63	33.87	59.25	39.38	18	34.06
120	19.75	29.06	31.06	33.13	34.38	34.94	34.81	35.12	62.44	40.13	18.06	35.31



Şekil 3.19. Düz silindirik engelin Y=300 mm mesafedeki T-t değişimi

Tank içerisindeki 8 farklı seviyedeki, sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – boyutsuz zaman değişimleri Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi sıcaklık zamanla doğru orantılı olarak artmamaktadır. Özellikle tankın orta kısımlarında 30 – 80 dakikalar arasında sıcaklıkta azalmalar görülmektedir. Azalmalar tank tabanına yaklaştıkça artmaktadır. 120 dakika sonunda tank içerisinde düzgün bir sıcaklık dağılımı

olduğu söylenebilir. Yani tank içerisindeki sıcaklıklarda yükseklik boyunca çok ani artışlar yoktur. Tank tabanı yaklaşık olarak şebeke suyu sıcaklığında ve hemen hemen sabit kalmıştır.



Şekil 3.20. Düz silindirik engelin Y=300 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Düz silindirik engelin Y=400 mm mesafeye yerleştirilmesi ile elde sonuçlar aşağıda verilmiştir. 15 dakikalık zaman periyodunda oluşan sıcaklıklar Tablo 3.9'da verilmiştir.

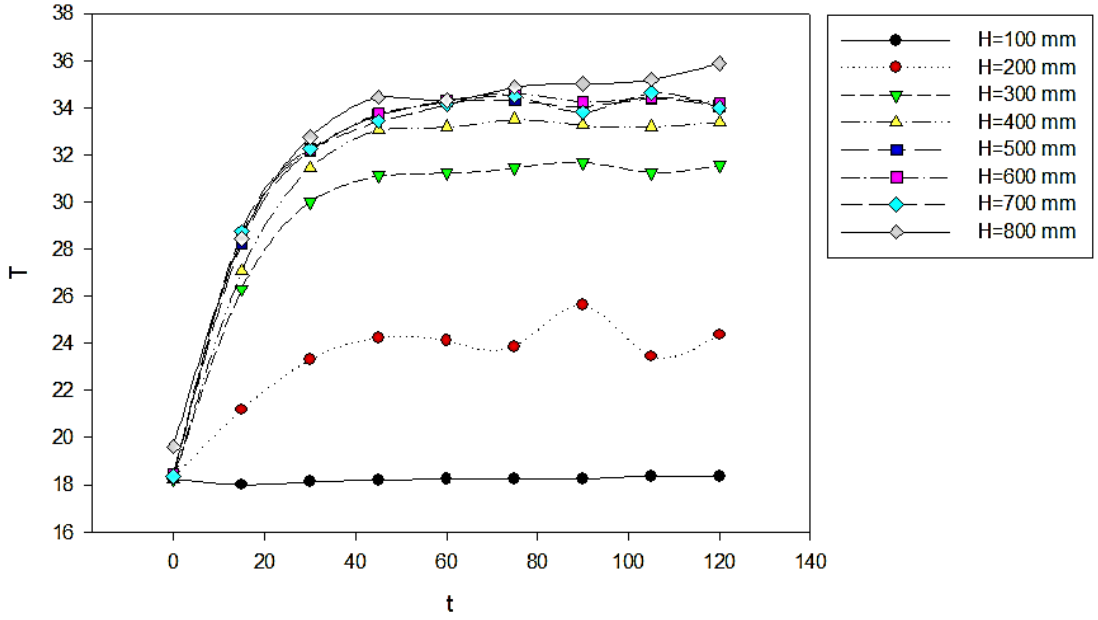
Tablo 3.9. Düz silindirik engelin Y=400 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	18.25	18.31	18.25	18.25	18.37	18.44	18.37	19.62	43.69	32.69	20.56	19.56
15	18	21.19	26.31	27.06	28.25	28.56	28.75	28.44	62.38	36.88	17.81	28.94
30	18.12	23.31	30	31.44	32.19	32.25	32.25	32.75	62	38.81	17.75	32.63
45	18.19	24.25	31.12	33.06	33.69	33.75	33.44	34.44	61.56	39.5	17.81	34.13
60	18.25	24.12	31.25	33.19	34.25	34.31	34.13	34.31	61.06	39.69	17.75	34.44
75	18.25	23.87	31.44	33.5	34.31	34.63	34.5	34.87	60.63	39.69	17.75	34.25
90	18.25	25.62	31.69	33.25	34.06	34.25	33.81	35.01	60.06	39.63	17.81	33.94
105	18.37	23.44	31.25	33.19	34.38	34.44	34.63	35.19	59.69	39.5	17.87	34.13
120	18.37	24.37	31.56	33.38	34.06	34.19	34	35.87	59.13	39.31	17.87	34.88

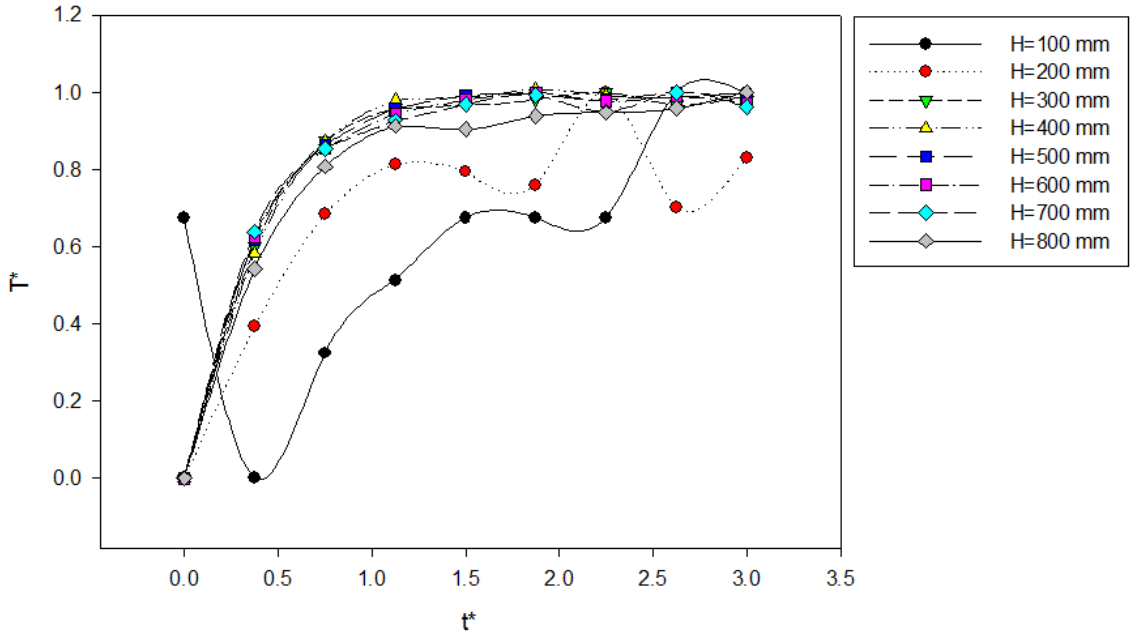
Tablo 3.9'den görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 18 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 18.37 ºC, en üst noktası ise 35.87 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 59 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 29-20 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan

suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.50 ºC'den 34.88 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 16 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tank içerisindeki 8 farklı seviyedeki, sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – boyutsuz zaman değişimleri Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de verilmiştir.



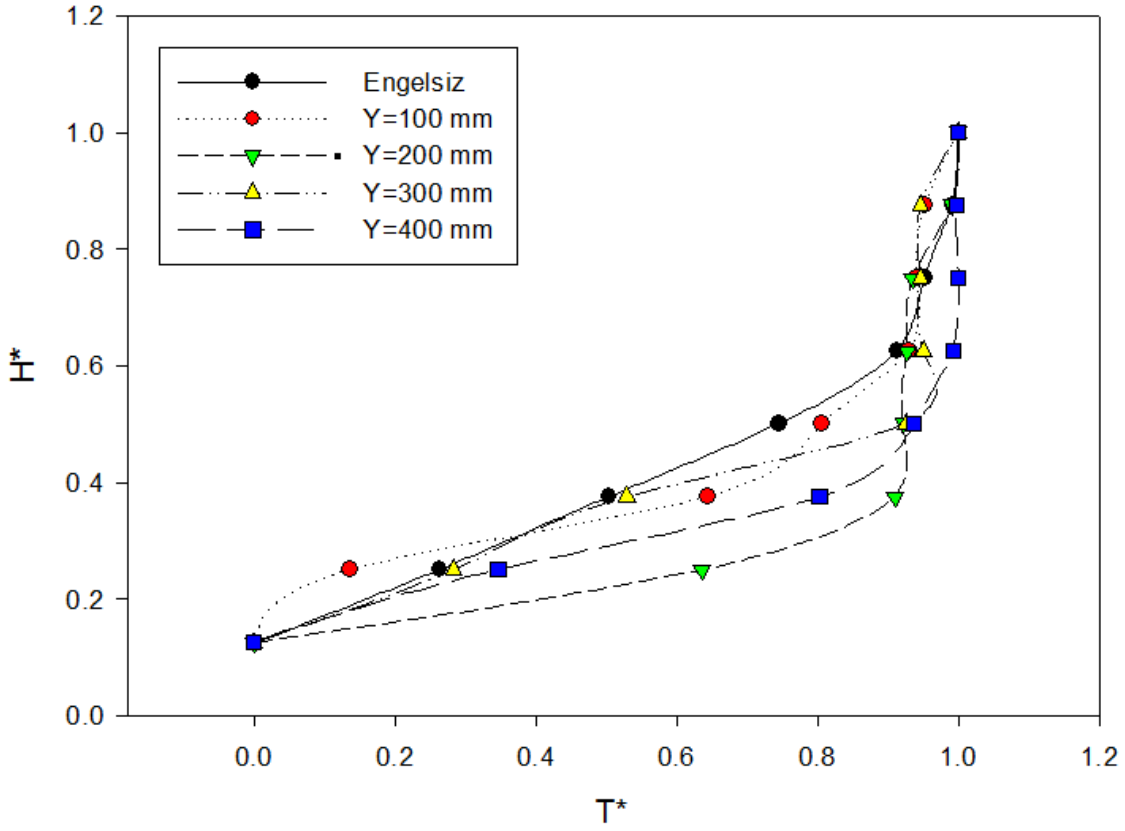
Şekil 3.21. Düz silindirik engelin Y=400 mm mesafedeki T-t değişimi



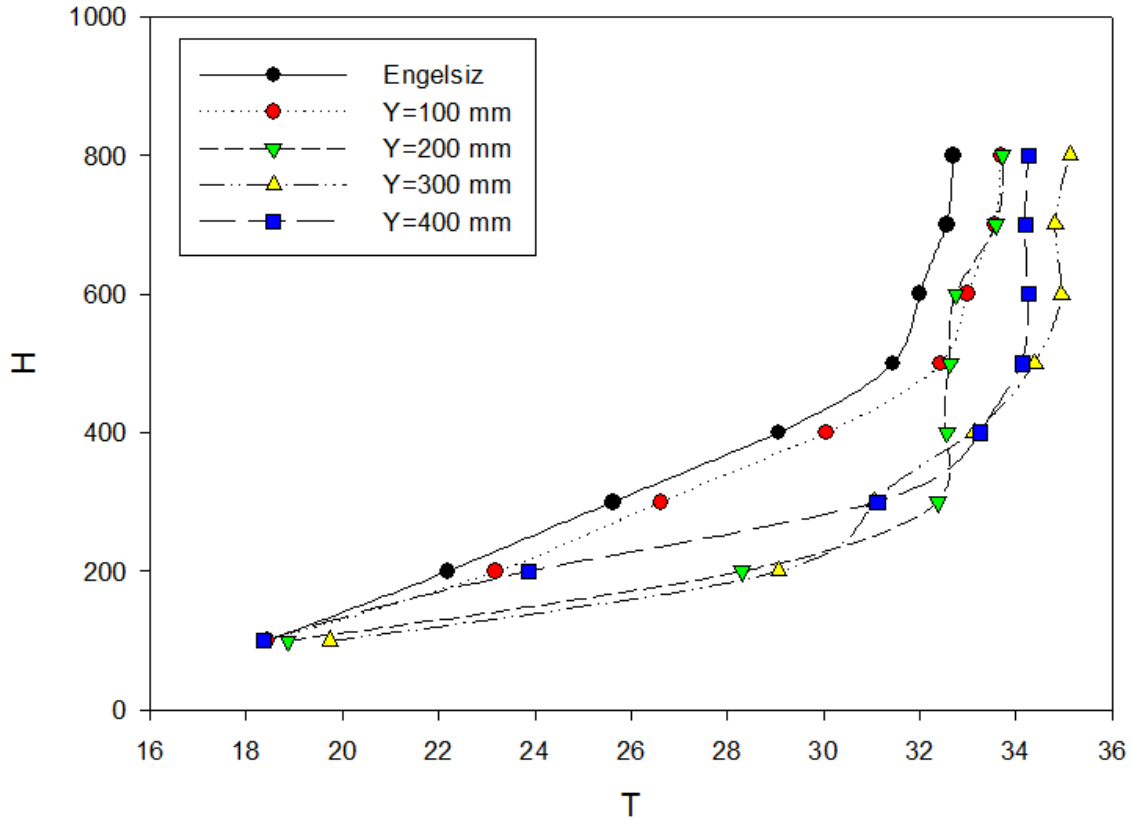
Şekil 3.22. Düz silindirik engelin Y=400 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Şekillerden görüldüğü gibi sıcaklık zamanla doğru orantılı olarak artmaktadır. 120 dakika sonunda tank içerisinde düzgün bir sıcaklık dağılımı olduğu söylenebilir. Yani tank içerisindeki sıcaklıklarda yükseklik boyunca çok ani artışlar yoktur. Tank tabanı yaklaşık olarak şebeke suyu sıcaklığında ve hemen hemen sabit kalmıştır.

Ortası delik engel için, 120 dakika sonundaki, her bir yükseklikteki, boyutsuz sıcaklık ve boyutsuz yükseklik, sıcaklık ve yükseklik değişim diyagramları sırası ile Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'de verilmiştir.



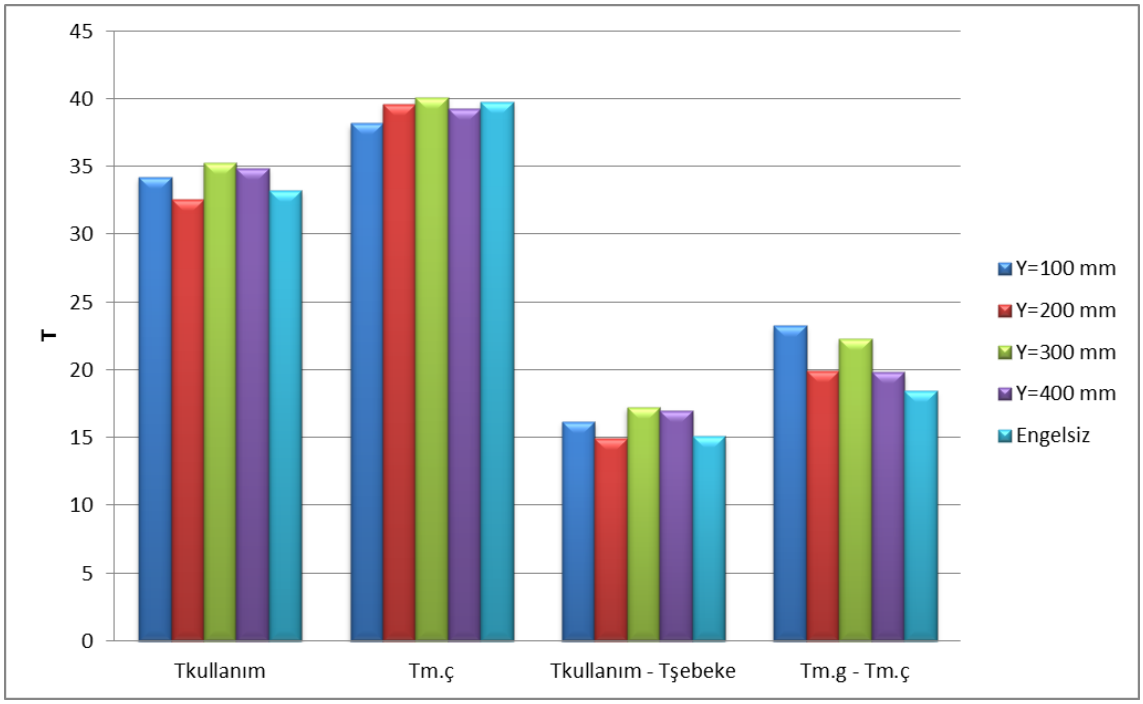
Şekil 3.23. Düz silindirik engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonunda T*-H* değişimi



Şekil 3.24. Düz silindirik engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonunda T-H değişimi

Şekil 3.23 ve 3.24'dan açıkça görülmektedir ki; engeller hangi mesafede olurlarsa olsunlar sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmişlerdir. Tankın alt noktası ile üst noktası arasındaki sıcaklık farklı; engelsiz tanka göre artmıştır. Ancak bu açıklama sıcaklık tabakalaşmasını açıklamak açısından tek başına yeterli olmayacağı önceki bölümlerde açıklanmıştı. Şekil 3.25'de sıcaklık tabakalaşması açısından önemli olan değerler düz silindirik engelin yerleştirildiği tüm durumlar için verilmiştir.

Şekil 3.25'den görüldüğü gibi en yüksek kullanım suyu sıcaklığı Y=300 mm'de alınmıştır. Kullanım suyunun sıcaklığı, engelin yerleştirildiği mesafe arttıkça artması yada azaldıkça azalması diye düzenli bir durum söz konusu değildir. Mantodan çıkış sıcaklığı ise en düşük Y=100 mm durumunda görülmektedir. Kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark incelenecek olursa; en yüksek sıcaklık farkının Y=300 mm olduğu durumda gerçekleştiği görülür. Mantonun giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı da ise Y=100 mm durumunda görülmektedir.



Şekil 3.25. Düz silindirik engel için sıcaklık ve sıcaklık farkı değerleri

Bu veriler ışığında düz silindirik engel için;

- Engel mesafesi artması ile artan yada azalması ile azalan bir sıcaklık tabakalaşması karakteristiği söz konusu değildir,
- En iyi sıcaklık tabakalaşması Y=400 mm ve Y=100 mm olduğu durumda görülmektedir,
- Y=100 mm manto çıkış sıcaklıklığı ve manto giriş – çıkış sıcaklığı arasındaki fark açısından en iyi, Y=400 mm ise kullanım suyu sıcaklığı, kullanım suyu sıcaklığı ve şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark açısından en iyi durumdadır,
- Her bir engel konumu, engelsiz tanka göre, sıcaklık tabakalaşmasında iyileştirme sağlamıştır,

3.1.3. Sağ Boş Engel

Sağ boş engelin sırası ile Y=100, 200, 300 ve 400 mm mesafelere yerleştirilmesi ile deneyler yapılmıştır. Akış oranı diğer durumlardaki gibi ısıtıcı-manto çevrimi için 4.50 lt/dk, şebeke suyu-kullanım suyunda ise 4.00 lt/dk olarak alınmıştır.

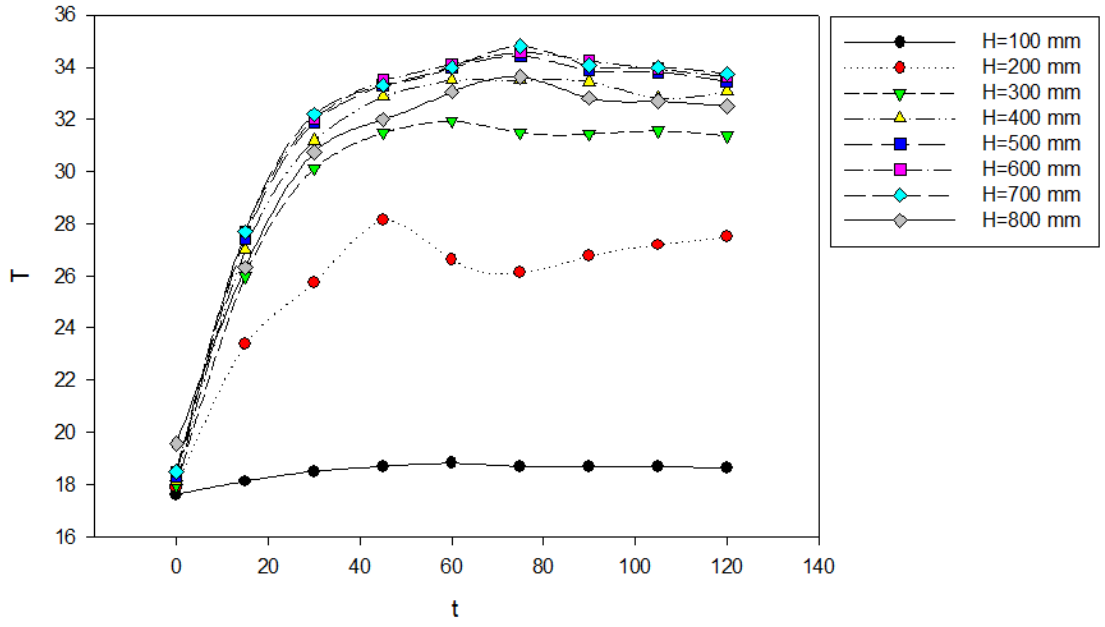
Sağ boş engelin Y=100 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Sağ boş engelin Y=100 mm'deki sonuçları

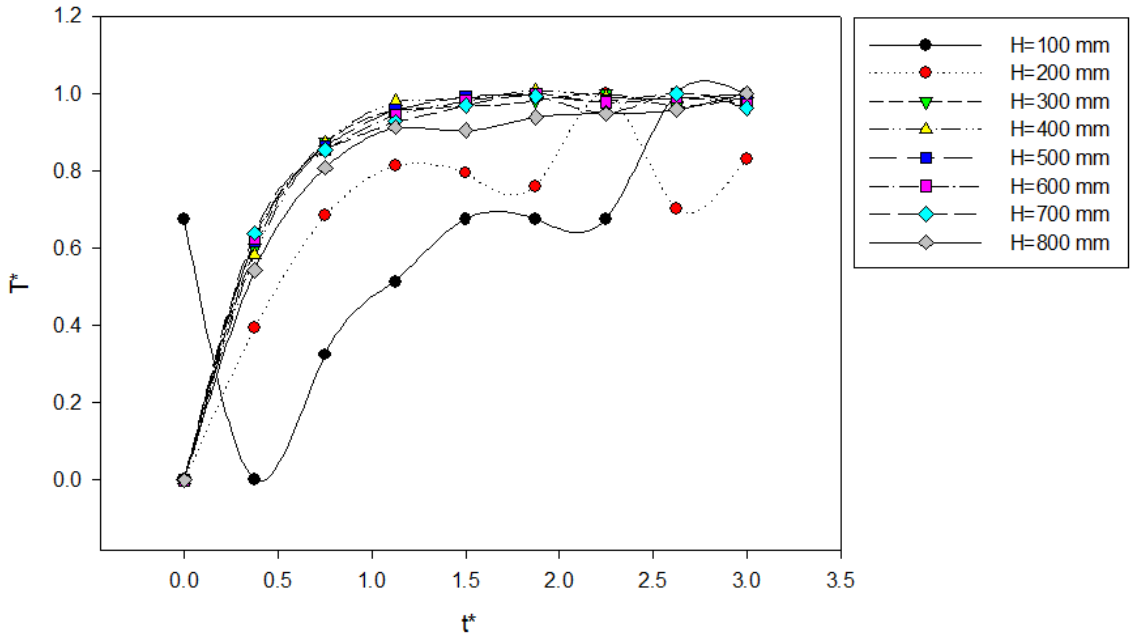
t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.62	17.87	18	18.12	18.31	18.5	18.5	19.56	41.13	31.62	18.94	19
15	18.12	23.37	26	27	27.44	27.69	27.69	26.31	62.94	37.44	17.69	27.87
30	18.5	25.75	30.12	31.19	31.87	32	32.19	30.75	62.5	39.5	17.81	32.25
45	18.69	28.12	31.5	32.88	33.31	33.5	33.31	32	62.06	40.31	17.87	33.5
60	18.81	26.62	31.94	33.5	34	34.13	34	33.06	61.56	40.38	17.94	34.38
75	18.69	26.12	31.5	33.5	34.44	34.56	34.81	33.63	61.06	40.31	17.87	34.88
90	18.69	26.75	31.44	33.44	33.88	34.25	34.06	32.81	60.5	40.25	17.94	34.38
105	18.69	27.19	31.56	32.81	33.81	33.94	34	32.69	59.94	40.13	17.94	34.31
120	18.62	27.5	31.37	33.06	33.44	33.63	33.75	32.5	59.31	39.94	17.94	33.94

Tablo 3.10'dan görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 18.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 18.62 ºC, en üst noktası ise 32.5 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 59 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-20 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19 ºC'den 33.94 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 15 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de Y=100 mm mesafeye yerleştirilmiş sağ boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.26. Sağ boş engelin Y=100 mm mesafedeki T-t değişimi



Şekil 3.27. Sağ boş engelin Y=100 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Şekil 3.26 ve 3.27'den görüldüğü gibi, tank içerisindeki sıcak ve soğuk bölge olmak üzere iki bölgeli bir sıcaklık tabakalaşması vardır. H=300 mm seviyelerinden itibaren sıcaklık tak yüksekliği ile az oranda artmaktadır. En üst nokta kendine yakın diğer alt noktalardan daha soğuktur. Zamanla birlikte sıcaklıkta genelde artmış sadece H=200'de 40. dakikadan sonra bir azalma meydana gelmiştir. Tank tabanında ise sıcaklık şebeke suyu seviyesinde hemen hemen sabit durumdadır.

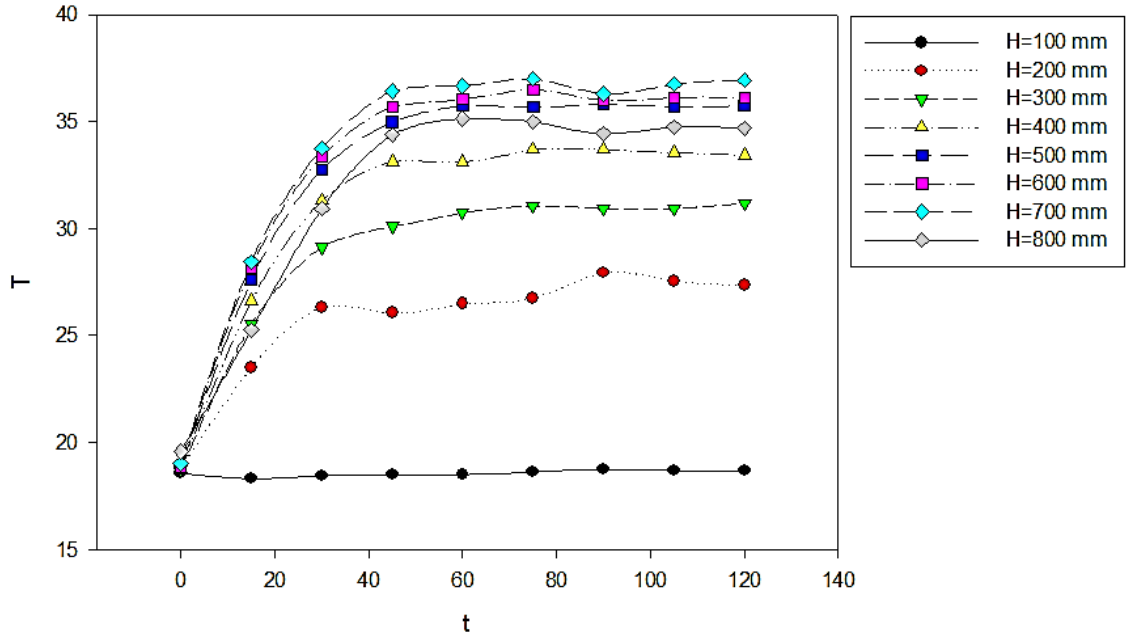
Sağ boş engelin Y=200 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.10. Sağ boş engelin Y=200 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	18.56	18.81	18.75	18.75	18.81	18.87	19	19.56	43.75	33.38	18.06	19.94
15	18.31	23.5	25.5	26.62	27.62	28.19	28.44	25.25	61.38	36.63	18	28.12
30	18.44	26.31	29.12	31.31	32.75	33.38	33.75	30.94	62.75	39.38	18	33.13
45	18.5	26.06	30.12	33.13	35	35.69	36.44	34.38	62.31	40.13	18.06	35.5
60	18.5	26.5	30.75	33.13	35.75	36.06	36.69	35.13	61.88	40.31	18.12	36.19
75	18.62	26.75	31.06	33.69	35.69	36.5	37	35	61.38	40.31	18.12	36.38
90	18.75	27.94	30.94	33.69	35.81	36	36.31	34.44	60.81	40.31	18.19	35.81
105	18.69	27.56	30.94	33.56	35.69	36.13	36.75	34.75	60.5	40.31	18.19	36
120	18.69	27.37	31.19	33.44	35.75	36.13	36.94	34.69	60.5	40.31	18.19	36

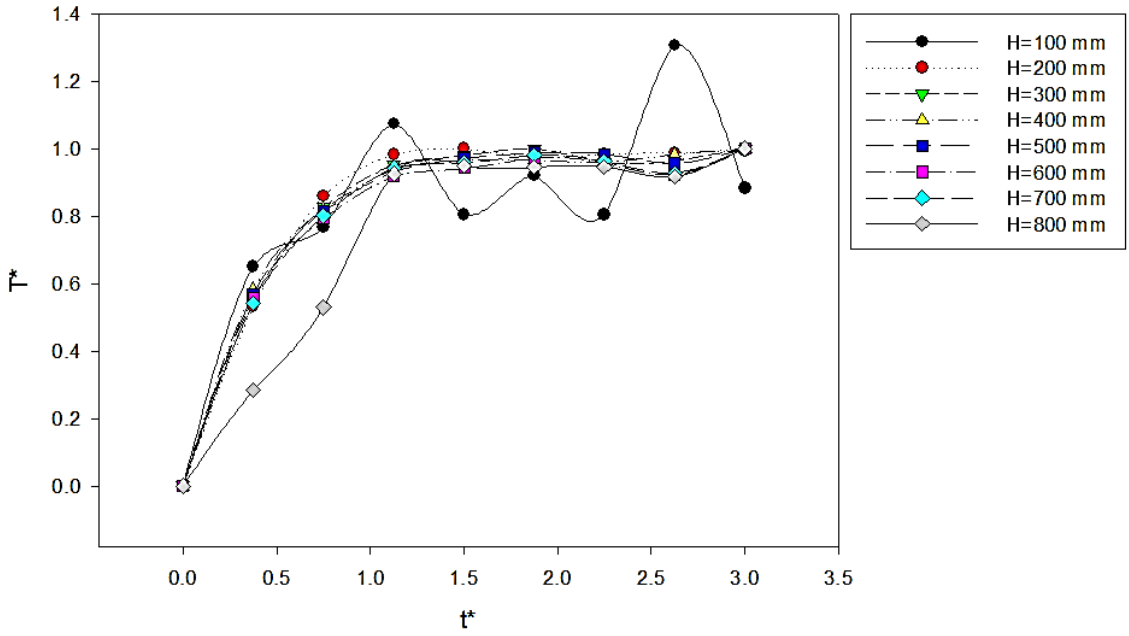
Tablo 3.10'dan görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 18.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 18.69 ºC, en üst noktası ise 34.69 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 60 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-20 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.94 ºC'den 36 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 16 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'de Y=200 mm mesafeye yerleştirilmiş sağ boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.28. Sağ boş engelin Y=200 mm mesafedeki T-t değişimi

Şekil 3.28 ve 3.29'den görüldüğü gibi, artan zamanla beraber sıcaklıkta artmıştır. Bazı yüksekliklerde sıcaklıkta azalmalar görülse de; bu azalmalar düşük seviyede olduğu için dikkate alınmayabilir. Tank içerisinde düzgün bir sıcaklık tabakalaşması vardır. Yani artan yükseklikle beraber ani sıcaklık artışı yoktur. Tankın en üst kısmı kendine 300 mm mesafeden daha düşüktür. Tank alt noktaları ise şebeke suyu sıcaklığına yakın seviyede hemen hemen sabit sıcaklıktadır.



Şekil 3.29. Sağ boş engelin Y=200 mm mesafedeki T*-t* değişimi

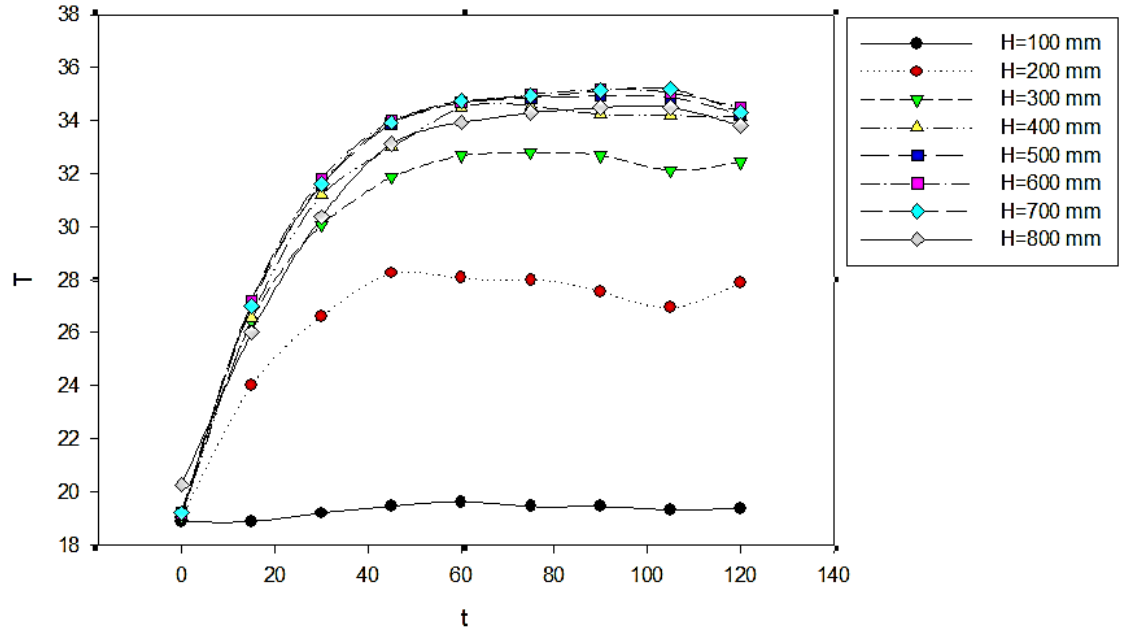
Sağ boş engelin Y=300 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12. Sağ boş engelin Y=300 mm'deki sonuçları

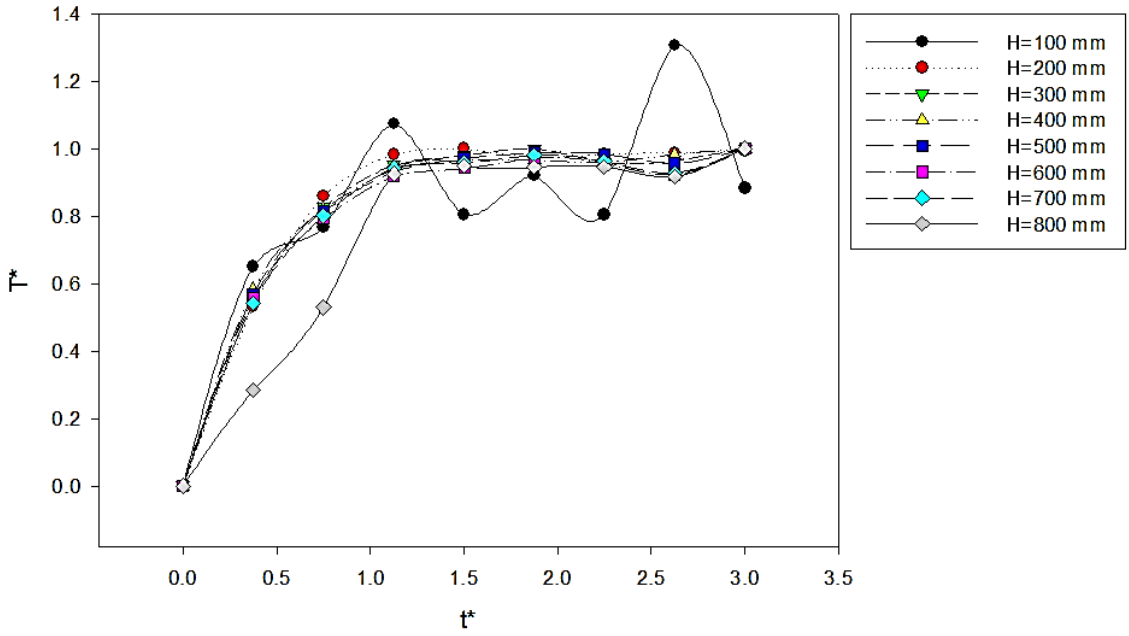
t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	18.87	19	19.12	19.06	19.12	19.19	19.19	20.25	46.44	32.44	18.12	19.25
15	18.87	24	26.44	26.56	27.12	27.19	27	26	59.31	36.63	18.06	27.37
30	19.19	26.62	30.06	31.19	31.56	31.81	31.62	30.37	62.69	39.38	18.19	31.69
45	19.44	28.25	31.87	33	33.88	34	33.94	33.13	62.56	40.63	18.19	33.88
60	19.62	28.06	32.69	34.5	34.69	34.69	34.75	33.94	62.13	40.88	18.19	34.75
75	19.44	28	32.81	34.56	34.88	35	34.94	34.31	61.63	40.81	18.19	35.19
90	19.44	27.56	32.69	34.25	34.94	35.19	35.13	34.5	61.13	40.75	18.12	35.31
105	19.31	26.94	32.13	34.19	34.88	35.06	35.19	34.5	60.63	40.44	18.12	35.25
120	19.37	27.87	32.44	34.13	34.25	34.5	34.31	33.81	60.06	40.19	18.12	34.56

Tablo 3.12'dan görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 19 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 19.37 ºC, en üst noktası ise 33.81 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 60 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 23-20 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.25 ºC'den 34.56 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 15.5 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de Y=300 mm mesafeye yerleştirilmiş sağ boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.30. Sağ boş engelin Y=300 mm mesafedeki T-t değişimi



Şekil 3.31. Sağ boş engelin Y=300 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Şekil 3.30 ve 3.31'den görüldüğü gibi, tank genelinde zamanla artan sıcaklık vardır. H=200 mm için 40. dakikadan sonra azda olsa bir sıcaklık azalması meydana gelmektedir. Tank tabanına yakın yerler şebeke suyu sıcaklığında ve hemen hemen sabit sıcaklıktadır.

Tank içerisinde sıcak ve soğuk olmak üzere iki kısma ayrılmış bir tabakalaşma vardır. H=300 mm'den sonra sıcaklık yükseklik ile çok fazla artmamaktadır.

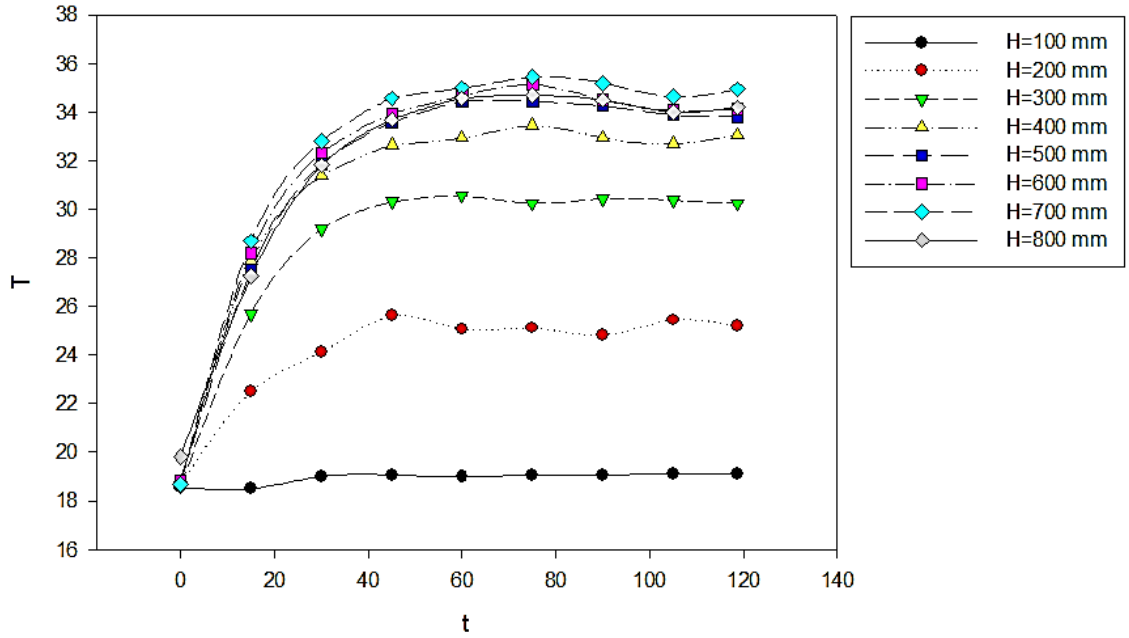
Sağ boş engelin Y=400 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.13. Sağ boş engelin Y=400 mm'deki sonuçları

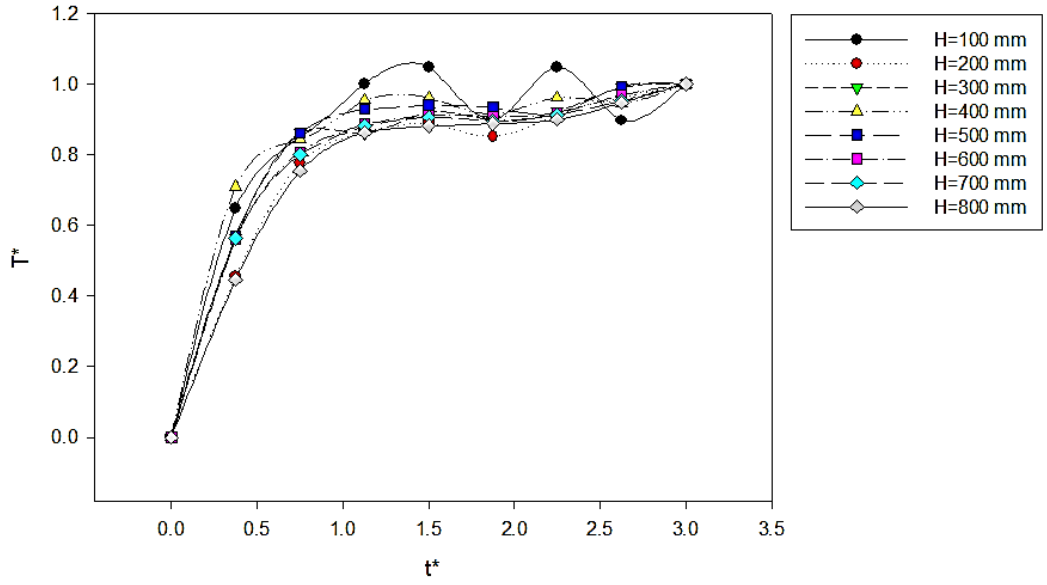
t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	18.56	18.69	18.62	18.69	18.75	18.81	18.69	19.81	43.31	32.44	17.44	19.44
15	18.5	22.5	25.69	27.87	27.5	28.19	28.69	27.25	62.94	37.5	17.87	28.87
30	19	24.12	29.19	31.37	31.87	32.31	32.81	31.81	62.5	39.56	18	32.88
45	19.06	25.62	30.31	32.63	33.56	33.94	34.56	33.69	62.06	40.19	18	34.63
60	19	25.06	30.56	32.94	34.44	34.69	35	34.56	61.63	40.31	18.06	35.31
75	19.06	25.12	30.25	33.44	34.44	35.13	35.44	34.69	61.13	40.25	18.06	35.5
90	19.06	24.81	30.44	32.94	34.25	34.5	35.19	34.5	60.63	40.06	18	35.19
105	19.12	25.44	30.37	32.69	33.88	34.06	34.63	34	60	39.94	18.06	34.75
120	19.12	25.19	30.25	33.06	33.81	34.13	34.94	34.19	59.5	39.75	18.06	34.75

Tablo 3.13'dan görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 19 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 19.12 ºC, en üst noktası ise 34.19 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 60 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-20 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.44 ºC'den 34.75 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 15 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'de Y=300 mm mesafeye yerleştirilmiş sağ boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir. Şekil 3.32 ve 3.33'den görüldüğü gibi tank içerisinde diğer yükseklik durumlara göre daha iyi sıcaklık tabakalaşması vardır. Sıcaklıkla zamanla beraber genel olarak artmıştır. H=200 mm yüksekliğinde 40. dakikadan sonra sıcaklıkta azalma olsa da; değeri düşük olduğu için ihmal edilebilir seviyededir. Sağ boş engelin diğer yükseklik durumlarında olduğu gibi en üst noktadaki sıcaklık, tank içerisindeki en yüksek sıcaklık değildir. H=600 ve H=700 mm'den alınan ölçümler genellikle H=800 mm'den alınan ölçümlerden yüksek çıkmıştır.



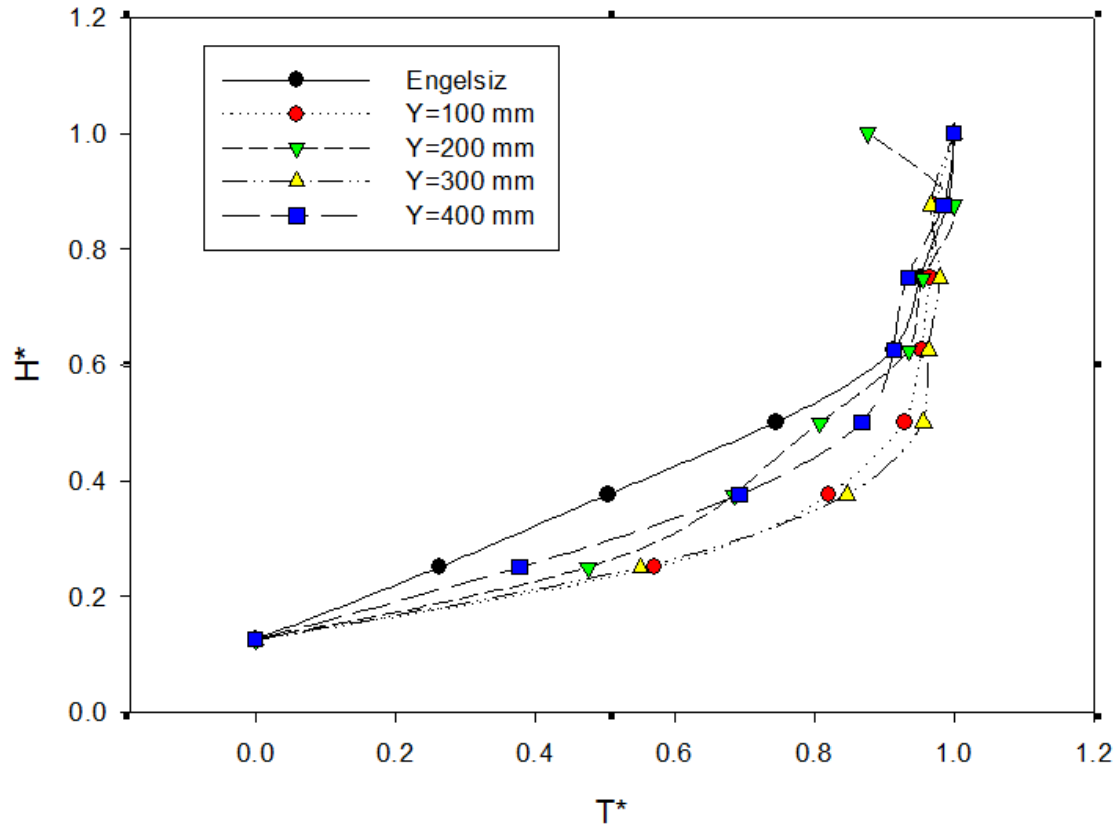
Şekil 3.32. Sağ boş engelin Y=400 mm mesafedeki T-t değişimi



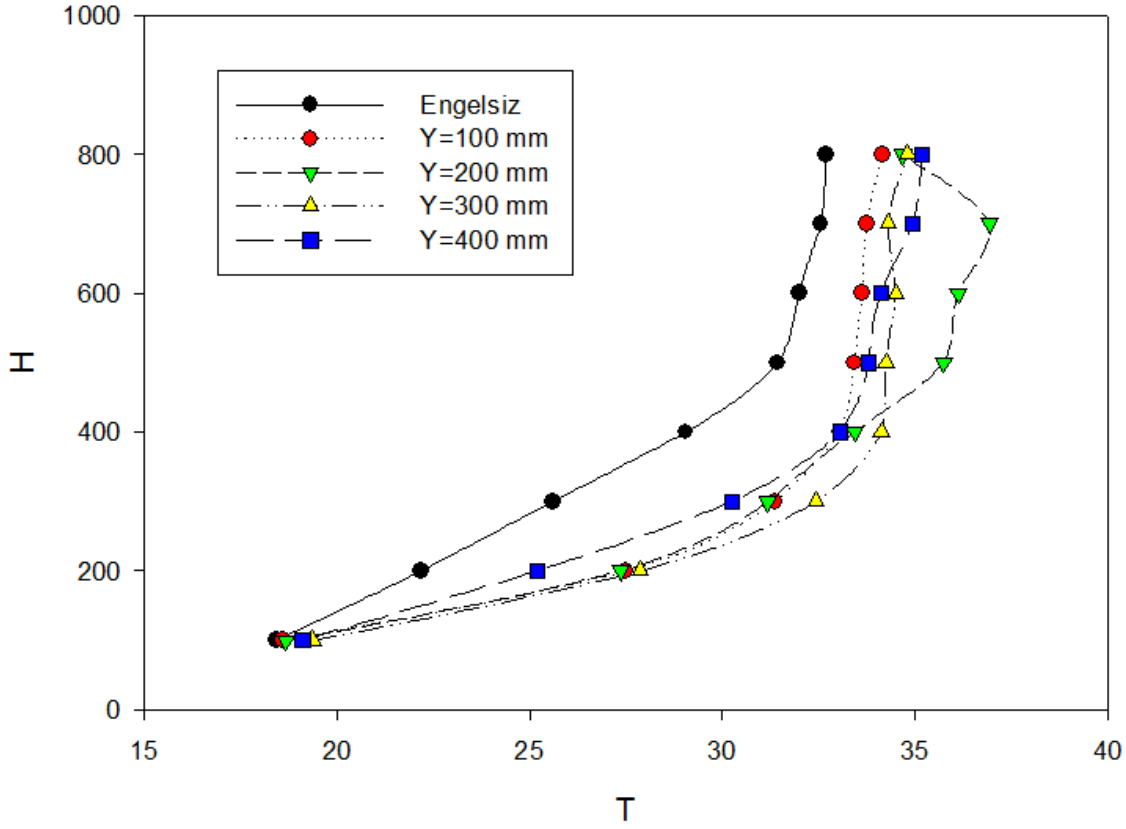
Şekil 3.33. Sağ boş engelin Y=400 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Sağ boş engel için, 120 dakika sonundaki, her bir yükseklikteki, boyutsuz sıcaklık – boyutsuz yükseklik ve sıcaklık – yükseklik değişim diyagramları sırası ile Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'de verilmiştir.

Şekil 3.34 ve 3.35'den görüldüğü gibi; sıcaklık tabakalaşması engelsiz duruma göre her yükseklikte bir iyileştirme sağlamıştır. En iyi sıcaklık tabakalaşmasını Y=200 mm durumunda görülmüştür. Y=200 mm'de alt nokta ile üst nokta arasındaki en yüksek sıcaklık farkı varken; sıcaklığın yükseklik ile artışı da diğer durumlara göre iyidir.

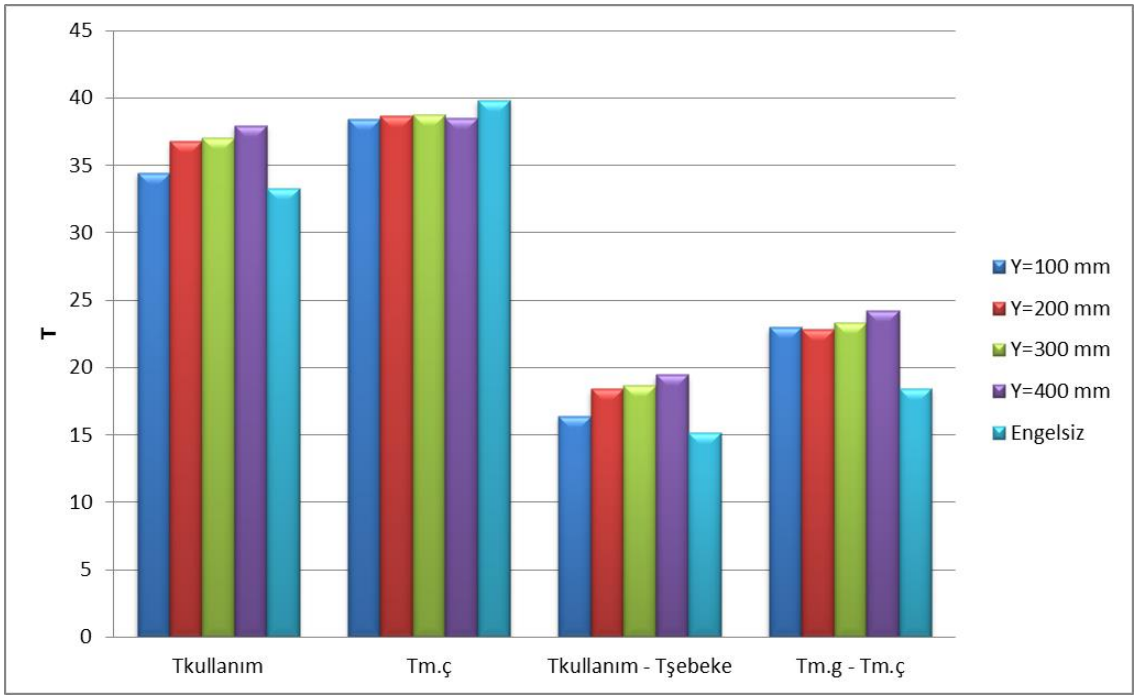


Şekil 3.34. Sağ boş engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonundaki T*-H* değişimi



Şekil 3.35. Sağ boş engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonundaki T-H değişimi

Sıcaklık tabakalaşmasını değerlendirmede önemli olan diğer parametreler değişimleri ise Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Sağ boş engel için sıcaklık ve sıcaklık farkı değerleri

Şekil 3.36'dan görüldüğü üzere; en yüksek kullanım suyu sıcaklığı Y=400 mm'de, en düşük manto dönüş sıcaklığı Y=400 ve Y=100 mm'de, kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark Y=400 mm'de ve manto giriş-çıkış sıcaklığı farklı en yüksek Y=400 mm'de görülmektedir.

Şekil 3.35'den Y=200 mm durumunda alt ile üst nokta arasındaki en yüksek sıcaklık farkı değerine sahip olurken, önemli diğer sıcaklık parametreleri de kontrol edildiğinde Y=400 mm durumunun da diğer durumlara göre daha iyi sıcaklık tabakalaşması sağladığı görülmektedir.

Bu veriler ışığında sağ boş engel için;

- En iyi sıcaklık tabakalaşması Y=400 mm durumunda karşımıza çıkmaktadır,
- Tank içerisindeki sıcaklık dağılımının yanında, kullanımda önemli olan diğer sıcaklık ve sıcaklık parametrelerinin de sonuçlar yorumlanırken kullanılması gerekmektedir,

- Engel mesafesi ile arttıkça düzenli bir şekilde artan yada azalan yapıda oluşan sıcaklık tabakalaşması durumu yoktur.

3.1.4. Sol Boş Engel

Sol boş engelin sırası ile Y=100, 200, 300 ve 400 mm mesafelere yerleştirilmesi ile deneyler yapılmıştır. Akış oranı diğer durumlardaki gibi ısıtıcı-manto çevrimi için 4.50 lt/dk, şebeke suyu-kullanım suyunda ise 4.00 lt/dk olarak alınmıştır.

Sağ boş engelin Y=100 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.10'da verilmiştir.

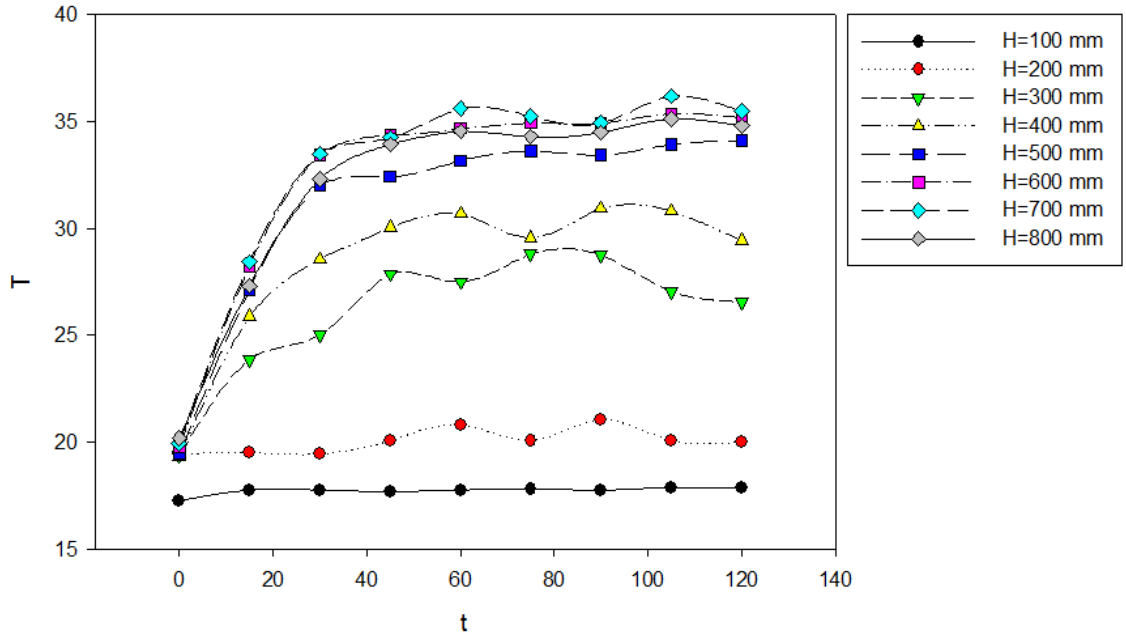
Tablo 3.10. Sağ boş engelin Y=100 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.25	19.44	19.37	19.31	19.44	19.75	19.94	20.19	50.19	45	19.75	20.12
15	17.75	19.5	23.87	25.87	27.12	28.25	28.44	27.31	62.06	37.69	17.94	28.62
30	17.75	19.44	25	28.56	32	33.44	33.5	32.31	62.44	39.5	17.94	33.25
45	17.69	20.06	27.87	30.06	32.44	34.38	34.25	33.94	62	40.06	17.94	34.75
60	17.75	20.81	27.5	30.69	33.19	34.69	35.63	34.56	61.5	40.19	18	35.19
75	17.81	20.06	28.81	29.56	33.63	34.94	35.25	34.31	61.06	40.25	18.06	35.06
90	17.75	21.06	28.75	30.94	33.44	34.94	34.94	34.5	60.5	40.13	18.06	35.06
105	17.87	20.06	27.06	30.81	33.94	35.38	36.19	35.13	59.94	39.75	18.19	35.88
120	17.87	20	26.56	29.44	34.13	35.19	35.5	34.81	59.38	39.5	18.19	35.25

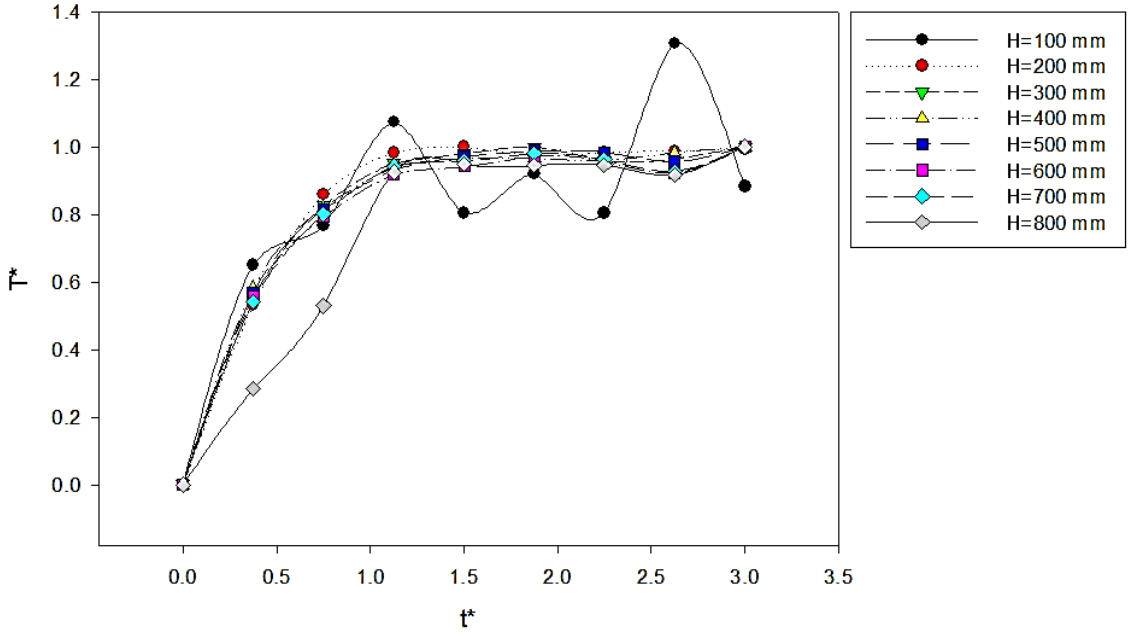
Tablo 3.10'dan görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 18.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 17.87 ºC, en üst noktası ise 34.81 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 59 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-20 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 20.12 ºC'den 35.25 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 15 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'de Y=100 mm mesafeye yerleştirilmiş sol boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi; tank içerisinde düzgün bir sıcaklık dağılımı vardır. Yani tank içerisinde artan yükseklikle beraber ani bir artma ya da azalma söz konusu değildir. Artan zaman içerisinde de sıcaklıklar genel olarak artmış, ancak

anlık olarak bazı yüksekliklerde de azalmalar meydana gelmiştir. Azalma miktarları çok yüksek olmadığı için önem arz etmemektedir. Tank tabanı şebeke suyu sıcaklığına yakın ve sabittir. En üst noktanın sıcaklığı H=600 mm seviyesine kadar kendinden alt noktalardan düşüktür.



Şekil 3.37. Sol boş engelin Y=100 mm mesafedeki T-t değişimi



Şekil 3.38. Sol boş engelin Y=100 mm mesafedeki T*-t* değişimi

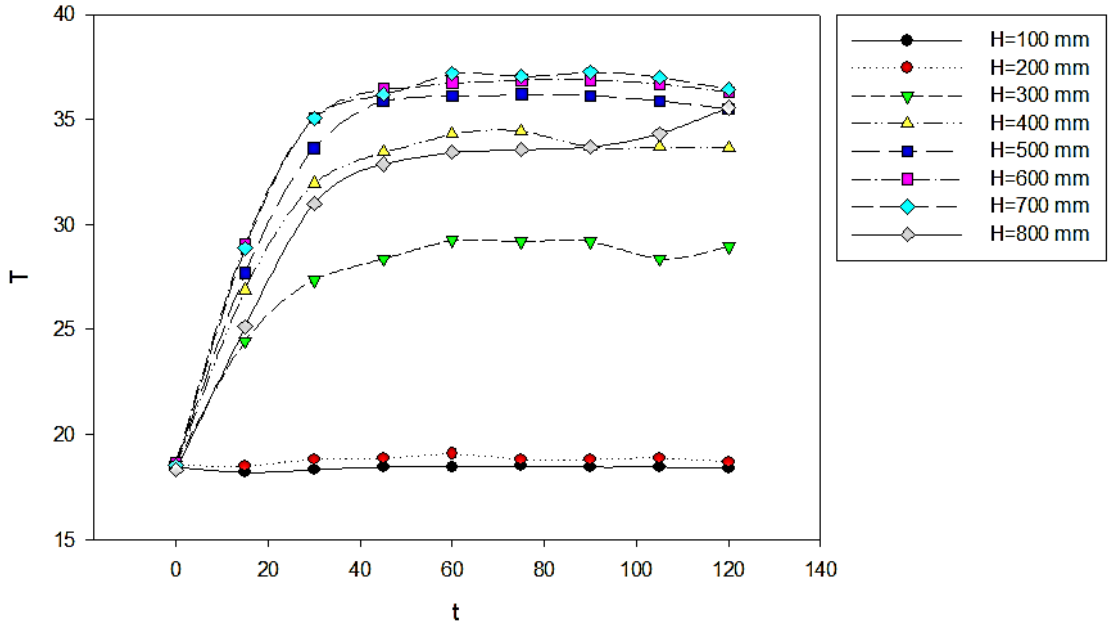
Sağ boş engelin Y=200 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.11'da verilmiştir.

Tablo 3.11. Sağ boş engelin Y=200 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	18.44	18.56	18.56	18.5	18.56	18.62	18.5	18.31	44.94	33.81	18.56	19.94
15	18.19	18.5	24.44	26.87	27.69	29.06	28.87	25.12	63.19	36.44	18.19	27.69
30	18.31	18.81	27.37	31.94	33.63	35.06	35.06	31	62.75	38.56	18.31	33.75
45	18.44	18.87	28.37	33.44	35.88	36.44	36.19	32.88	62.31	39.19	18.31	35.5
60	18.44	19.06	29.25	34.31	36.13	36.75	37.19	33.44	61.81	39.38	18.31	36.06
75	18.5	18.81	29.19	34.44	36.19	36.88	37.06	33.56	61.31	39.31	18.31	35.88
90	18.44	18.81	29.19	33.69	36.13	36.88	37.25	33.69	60.75	39.13	18.25	35.88
105	18.44	18.87	28.37	33.69	35.88	36.69	37	34.31	60.19	39	18.19	35.75
120	18.37	18.69	28.94	33.63	35.5	36.31	36.44	35.56	59.5	38.75	18.19	35.25

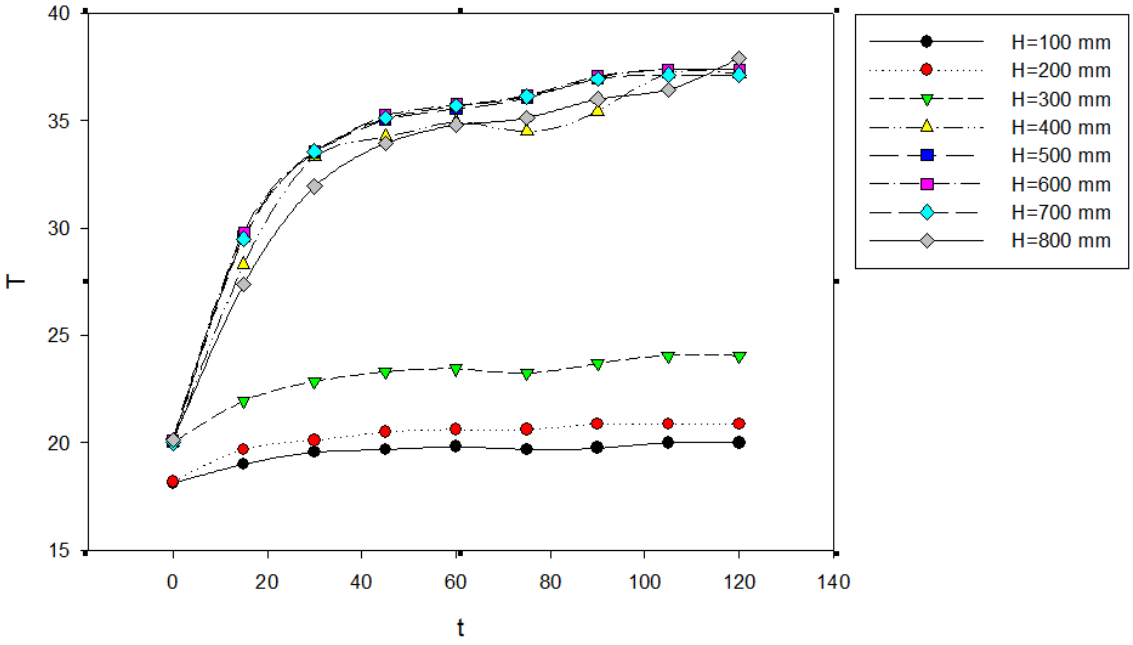
Tablo 3.11'den görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 18 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 18.37 ºC, en üst noktası ise 35.56 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 59 - 62 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 27-21 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 19.94 ºC'den 35.25 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 15 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'de Y=100 mm mesafeye yerleştirilmiş sol boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.39. Sol boş engelin Y=200 mm mesafedeki T-t değişimi

Şekil 3.39 ve 3.40'dan görüldüğü gibi; tank içerisinde düzgün bir sıcaklık dağılımı olduğu söylenebilir. Tank içerisinde engelden sonra, artan yükseklikle beraber ani bir artma ya da azalma söz konusu değildir. Artan zaman içerisinde de sıcaklıklar genel olarak artmış, ancak anlık olarak bazı yüksekliklerde de azalmalar meydana gelmiştir. Azalma miktarları çok yüksek olmadığı için önem arz etmemektedir. Tank tabanı şebeke suyu sıcaklığına yakın ve sabittir. En üst noktanın sıcaklığı H=500 mm seviyesine kadar kendinden alt noktalardan düşüktür.



Şekil 3.40. Sol boş engelin Y=200 mm mesafedeki T*-t* değişimi

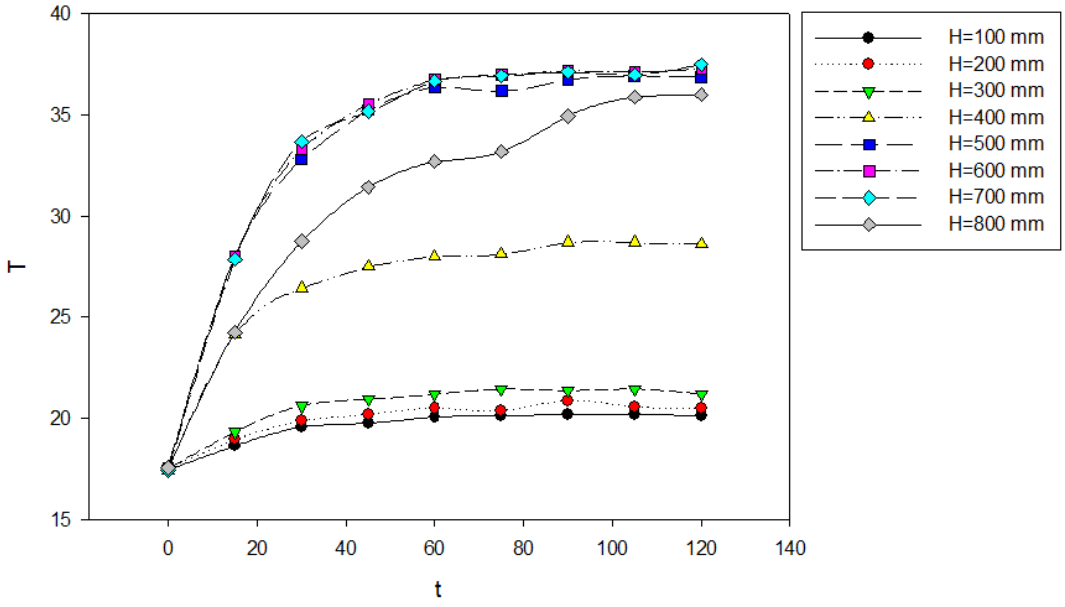
Sağ boş engelin Y=300 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.12'de verilmiştir. Tablo 3.12'den görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 19.50 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 20.12 ºC, en üst noktası ise 36 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 60 - 61 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 25-22 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 18.06 ºC'den 35.50 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 17 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tablo 3.12. Sağ boş engelin Y=300 mm'deki sonuçları

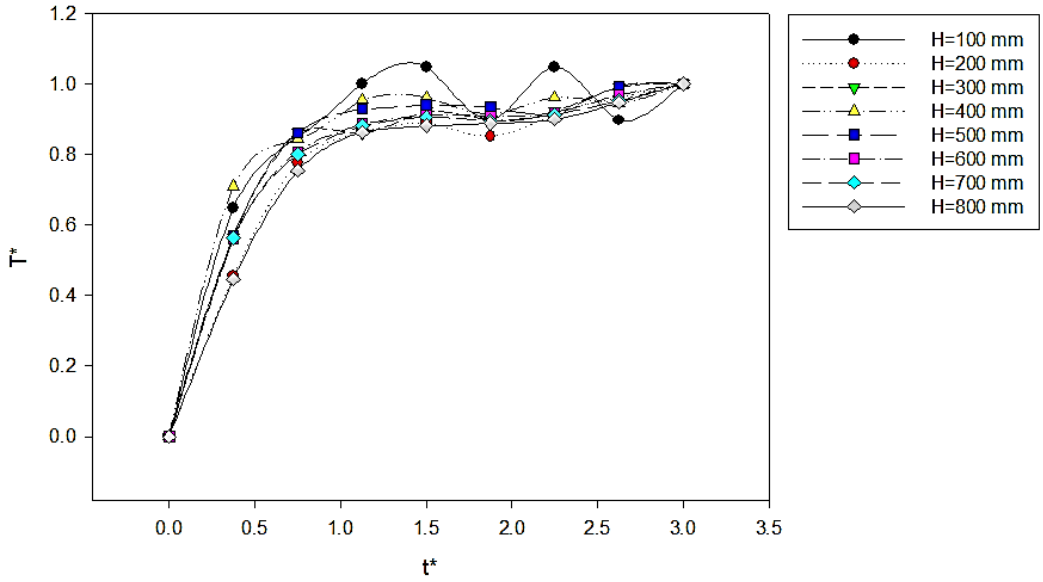
t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.44	17.5	17.5	17.44	17.5	17.56	17.44	17.56	59.87	25.19	17.81	18.06
15	18.62	18.94	19.31	24.12	28	28	27.87	24.25	59.75	34.5	17.81	28.87
30	19.56	19.87	20.62	26.44	32.81	33.31	33.69	28.75	59.44	36.19	17.87	34
45	19.75	20.19	20.94	27.5	35.25	35.56	35.19	31.44	60.69	37.13	17.87	35.75
60	20.06	20.5	21.19	28	36.38	36.75	36.69	32.69	60.94	37.44	18	36.88
75	20.12	20.37	21.44	28.12	36.19	37	36.94	33.19	60.94	37.63	18.06	37.38
90	20.19	20.87	21.37	28.69	36.75	37.19	37.13	34.94	61.13	37.81	18.06	37.69
105	20.19	20.56	21.44	28.69	36.94	37.13	37	35.88	60.81	37.75	18.06	37.56
120	20.12	20.5	21.19	28.62	36.88	37.31	37.5	36	60.31	37.63	18	37.5

Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de Y=300 mm mesafeye yerleştirilmiş sol boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir.

Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'den görüldüğü gibi, diğer yükseklik durumları ile kıyasyacak olursak; tank içerisinde düzgün bir sıcaklık dağılımı olduğu söylenemez. Tank içerisinde engele kadar soğuk bölge, engel sonra ise ilk 100 mm mesafeden sonra ani vardır. Artan zaman içerisinde de sıcaklıklar genel olarak artmış, ancak anlık olarak bazı yüksekliklerde de azalmalar meydana gelmiştir. Azalma miktarları çok yüksek olmadığı için önem arz etmemektedir. Tank tabanı şebeke suyu sıcaklığına yakın ve sabittir. En üst noktanın sıcaklığı H=500 mm seviyesine kadar kendinden alt noktalardan düşüktür.



Şekil 3.41. Sol boş engelin Y=300 mm mesafedeki T-t değişimi



Şekil 3.42. Sol boş engelin Y=300 mm mesafedeki T*-t* değişimi

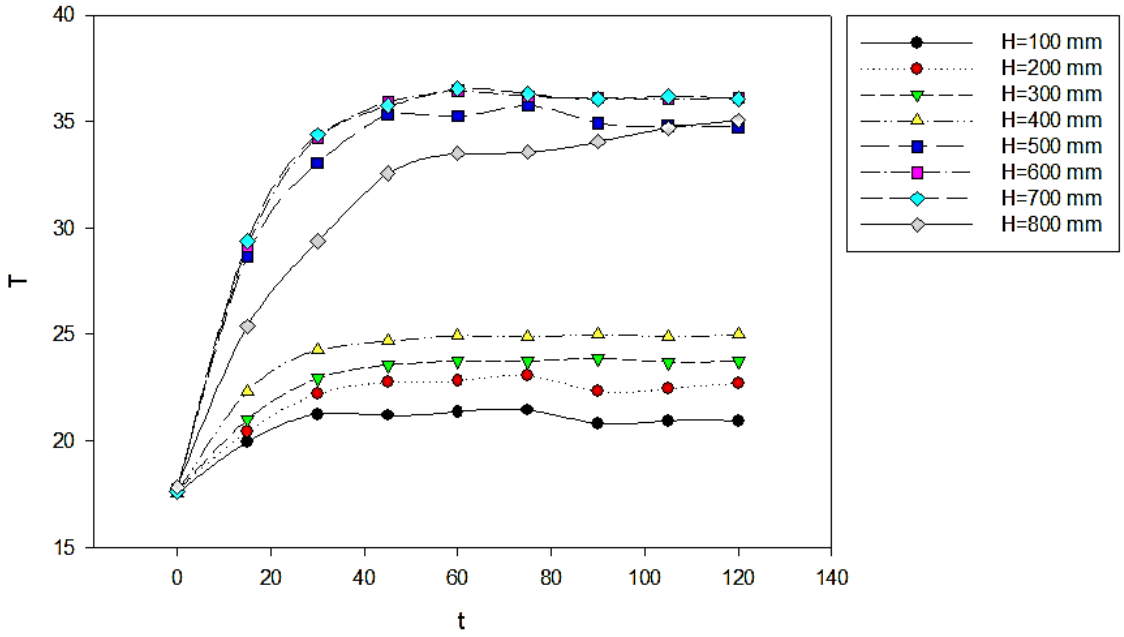
Sağ boş engelin Y=400 mm mesafeye yerleştirilmesi ile 15 dakikalık zaman periyodundaki sıcaklıkları Tablo 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.13'den görüldüğü gibi; tank başlangıçta yaklaşık 17.62 ºC'dir. 120 dakikanın sonunda en alt noktası 20.94 ºC, en üst noktası ise 35.05 ºC'dir. Isıtıcıdan yaklaşık olarak 61-58 ºC arasında su tanka gönderilmiştir. Isıtıcıya giriş ile ısıtıcıya dönüş sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı deney boyunca 27-22 ºC arasında değişmiştir. Şebekeden alınan suyun sıcaklığı deney boyunca sabit ve yaklaşık olarak 18 ºC'dir. Kullanım suyu sıcaklığı ise 18.25 ºC'den 36.13 ºC'ye çıkmıştır. Yani şebeke suyu yaklaşık 18 ºC ısıtılıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

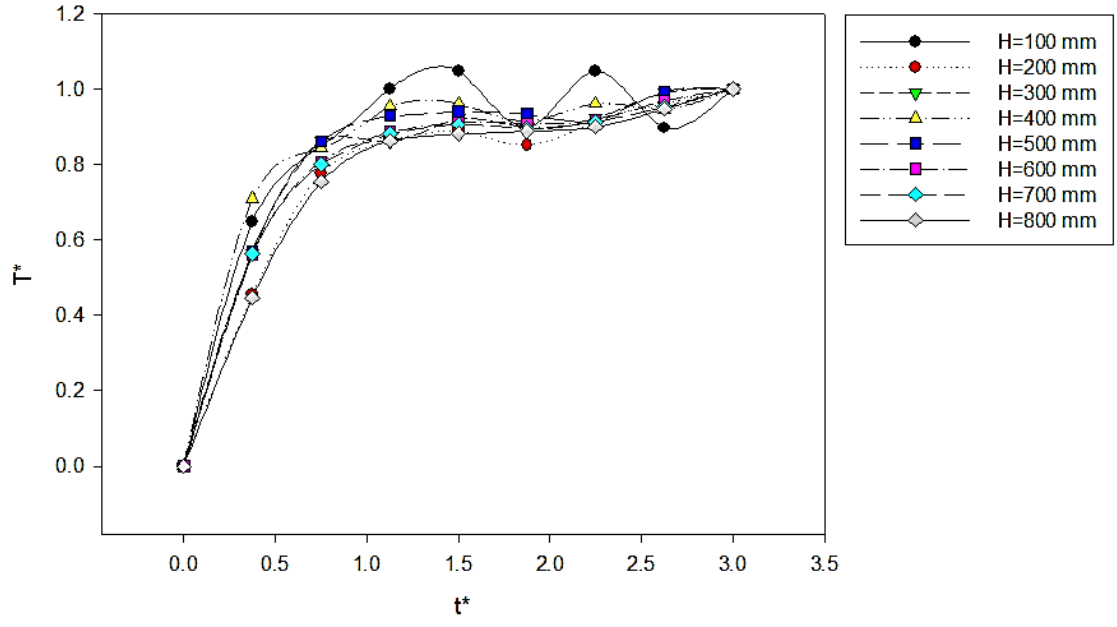
Tablo 3.12. Sağ boş engelin Y=400 mm'deki sonuçları

t (sn)	1 (ºC)	2 (ºC)	3 (ºC)	4 (ºC)	5 (ºC)	6 (ºC)	7 (ºC)	8 (ºC)	$T_{m,g}$ (ºC)	$T_{m,ç}$ (ºC)	$T_{şebeke}$ (ºC)	$T_{kullanım}$ (ºC)
0	17.56	17.69	17.62	17.56	17.69	17.75	17.62	17.81	27.12	25.37	18.06	18.25
15	19.94	20.44	21	22.31	28.69	29.12	29.37	25.37	61.13	34.81	18.12	29.56
30	21.25	22.19	22.94	24.25	33.06	34.25	34.38	29.37	60.75	36.56	18.06	34.38
45	21.19	22.75	23.56	24.69	35.31	35.94	35.75	32.56	60.31	37.06	18.06	36.06
60	21.37	22.81	23.75	24.94	35.25	36.44	36.56	33.5	59.81	37.06	18.12	36.31
75	21.44	23.06	23.75	24.87	35.75	36.19	36.31	33.56	59.38	36.94	18.12	36.31
90	20.81	22.31	23.87	25	34.94	36.13	36.06	34.05	58.88	36.94	18.12	36.19
105	20.94	22.44	23.69	24.87	34.81	36.06	36.19	34.69	58.88	36.81	18.06	36.06
120	20.94	22.69	23.75	25	34.75	36.13	36.06	35.05	58.88	36.81	18.06	36.13

Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'de Y=400 mm mesafeye yerleştirilmiş sol boş engelin 120 dakikalık periyod içerisindeki sıcaklık – zaman ve boyutsuz sıcaklık – zaman değişim diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.43. Sol boş engelin Y=400 mm mesafedeki T-t değişimi



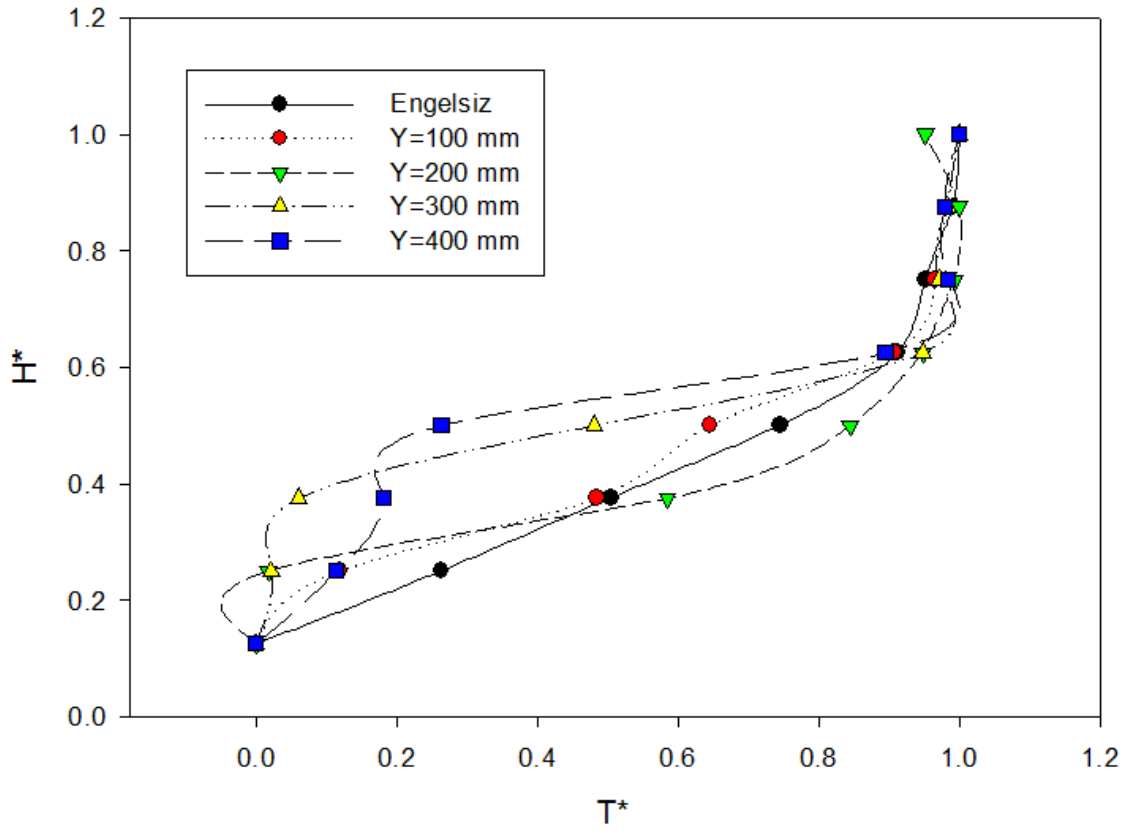
Şekil 3.44. Sol boş engelin Y=400 mm mesafedeki T*-t* değişimi

Şekil 3.42 ve Şekil 3.43'den görüldüğü gibi, diğer yükseklik durumları ile kıyaslayacak olursak; tank içerisinde düzgün bir sıcaklık dağılımı olduğu söylenemez. Tank içerisinde engele kadar soğuk bölge, engel sonra ise ilk 100 mm mesafeden sonra ani vardır. Artan zaman içerisinde de sıcaklıklar genel olarak artmış, ancak anlık olarak bazı

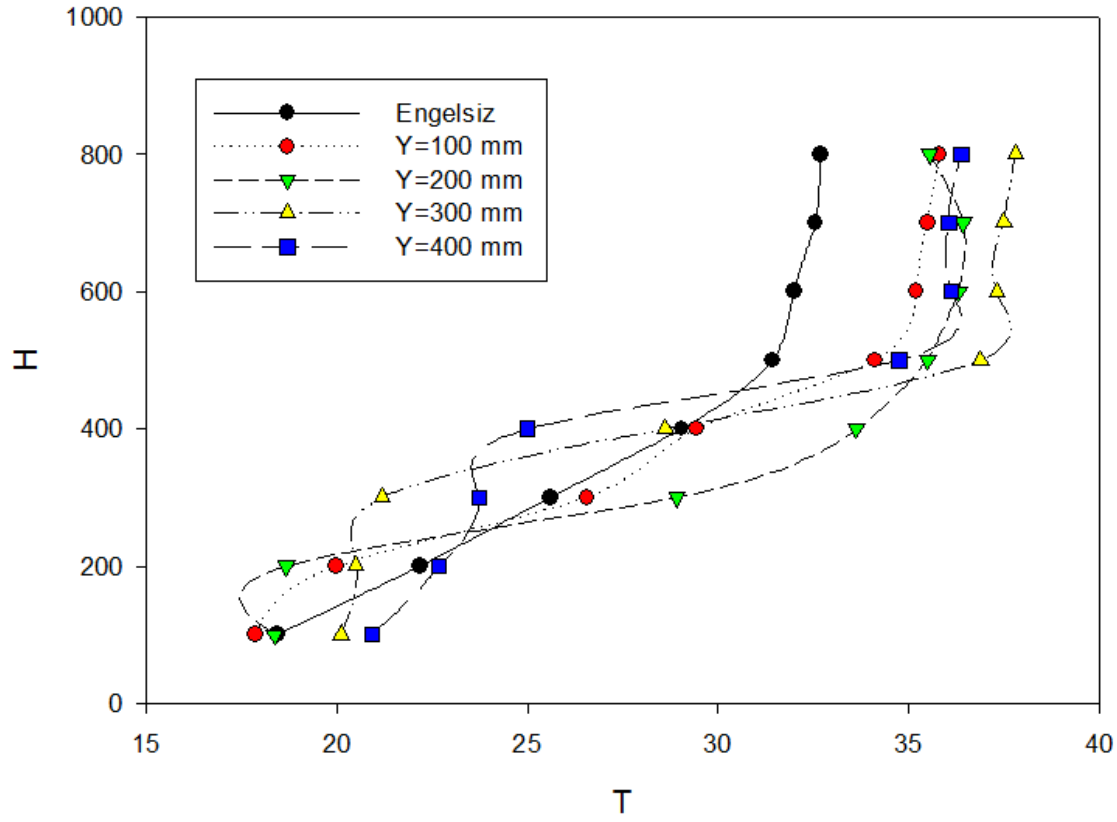
yüksekliklerde de azalmalar meydana gelmiştir. Azalma miktarları çok yüksek olmadığı için önem arz etmemektedir. Tank tabanı şebeke suyu sıcaklığına yakın ve sabittir. En üst noktanın sıcaklığı H=500 mm seviyesine kadar kendinden alt noktalardan düşüktür.

Sağ boş engel için, 120 dakika sonundaki, her bir yükseklikteki, boyutsuz sıcaklık – boyutsuz yükseklik ve sıcaklık – yükseklik değişim diyagramları sırası ile Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'de verilmiştir.

Şekil 3.45 ve 3.46'den görüldüğü gibi; engeller hangi yükseklikte olurlarsa olsunlar sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmişlerdir. Alt ve üst nokta arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Y=300 mm'de görülürken, en düşük sıcaklık farkı ise Y=400 mm de görülmektedir. Sıcaklık – yükseklik karakteristiğine inceleyecek olursak; engelsiz tanka göre; alt soğuk bölge, orta geçiş bölgesi ve üst sıcak bölge olmak üzere 3 bölgeli bir yapı görülür. Engeller bu bölgelerin kalınlığını belirlemektedir. Sıcak bölge her engel mesafesinde de hemen aynı kalınlıktadır. Ancak soğuk bölge Y=400 mm'de en fazla iken, Y=100 mm'de en azdır.

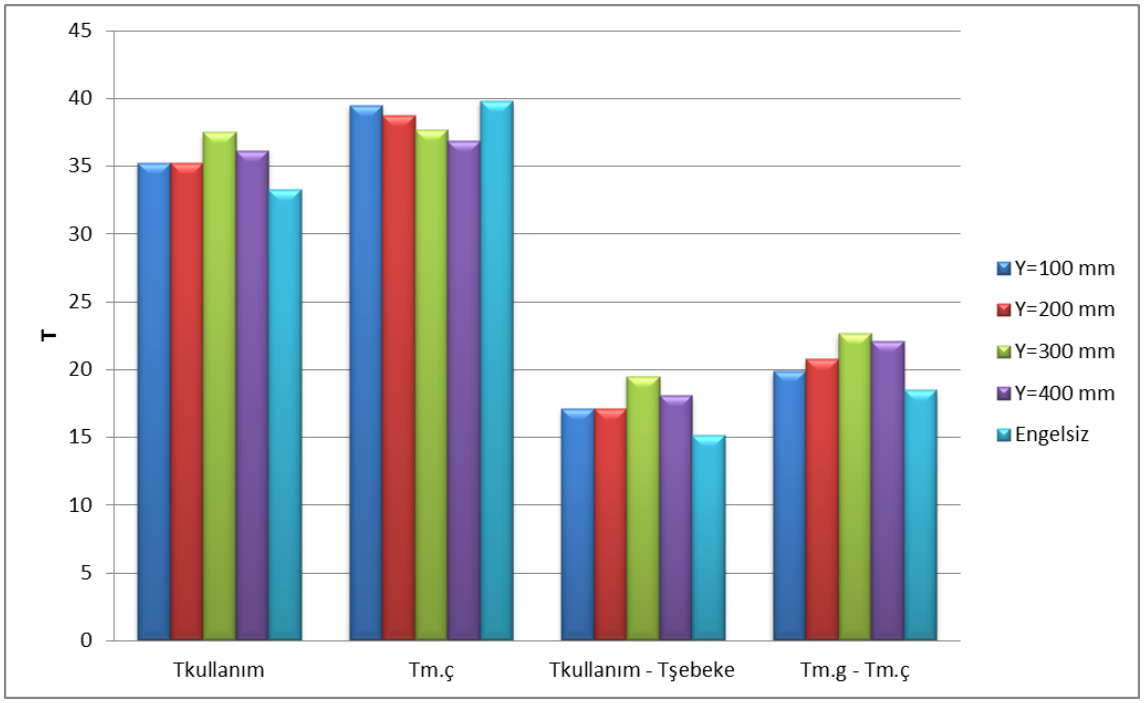


Şekil 3.45. Sol boş engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonundaki T*-H* değişimi



Şekil 3.46. Sol boş engel yerleştirilmiş tanktaki, 120 dakika sonundaki T-H değişimi

Sol boş engel için, kullanımda önemli olan sıcaklıklar ve sıcaklık farkları Şekil 3.47'de verilmiştir.



Şekil 3.47. Sağ boş engel için sıcaklık ve sıcaklık farkı değerleri

Şekil 3.47'den görüldüğü gibi, en yüksek kullanım suyu sıcaklığı Y=300 mm seviyesinde, en düşük manto çıkış sıcaklığı Y=400 mm, kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark en yüksek Y=300 mm, manto giriş-çıkış sıcaklıkları farkı ise Y=300 mm'de görülmektedir.

Bu veriler ışığında sağ boş engel için;

- En iyi sıcaklık tabakalaşması Y=300 mm durumunda karşımıza çıkmaktadır,
- Artan yükseklikle, artan ya da azalan sıcaklık tabakalaşması karakteristiği yoktur.
- Tank içerisindeki sıcaklık dağılımında da en iyi sıcaklık tabakalaşması Y=300 mm durumunda görülmektedir.

3.2. Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları

Enerji ve ekserji analizi ile ilgili denklemler ve hesaplama yöntemleri 2. Bölümde verilmişti. 2. Bölümde tank içerisindeki sıcaklık dağılımı modellemek için farklı modeller tanıtılmıştır. Bu çalışmada, tanıtılan modellerden farklı olarak tank içerisindeki sıcaklık dağılımının yükseklikle değişimi tam olarak alınmıştır. Yani sıcaklık, tank yüksekliğine bağlı olarak bir bağıntı ile yazılmıştır T(h). Bunu yapabilmek için deneysel veriler ile tank yüksekliğine bağlı eğriler uydurulmuştur. Daha sonra bu eğrilerden T_m ve T_e hesaplanabilmesi için O'dan 800'e integrali alınmıştır. Eğri uydurularak çözüm yapılması literatürde yayınlanan kabullerden daha hassas çözüm vermektedir.

Hesaplamalar yapılırken her bir engel modeli ve yükseklik konumu için sıcaklığın yüksekliğe bağlı değişimini veren denklem uydurulmuştur. Eğri uydurmalar polinominal olarak yapılmıştır. Eğri uydurmadaki hataları minimize etmek için, bazı engel modellerinin, bazı Y konumları için; 6. Dereceden polinoma kadar çıkılmıştır.

Yapılan eğri uydurma işleminden sonra 0'dan 800 mm'ye kadar, uydurulan eğri üzerinden integrasyon işlemleri yapılarak T_m ve T_e ifadeleri hesaplanmış; bu ifadelerden de tankın sahip olduğu enerji ve ekserji miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 3.13'de engelsiz ve düz silindirik engel için T_m, enerji, T_e ve ekserji değerleri verilmiştir. Tablo 3.13'den görüldüğü gibi en yüksek enerji ve ekserji değeri düz silindirik engeli için, Y=200 mm konumunda görülmektedir. Sistemin enerji miktarı 1.39 kat artarken, ekserji miktarı 2.48 kadar artmıştır. Bunun yanında Y=300 mm konumunda ise engelsiz duruma göre daha kötü şartlarda enerji ve ekserji kapasitesi elde edilmiştir. Bu durumda da; engelli tankın, engelsiz tanka göre 0.8 katı daha enerji kapasitesine sahip

olduğu, 0.9 kat ekserji kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Artan engel konumu ile artan ya da azalan enerji ve ekserji karakteristiği söz konusu değildir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi bazı yüksekliklerde engelsiz tanka göre daha kötü durumda enerji ve ekserji seviyesine sahip durumlar oluşabilmektedir.

Tablo 3.13. Düz silindirik engel için enerji ve ekserji değerleri

	T_m (ºC)	E (W)	T_e (ºC)	Ex (W)	$\frac{E_{engelli}}{E_{engelsiz}}$	$\frac{Ex_{engelli}}{Ex_{engelsiz}}$
Engelsiz	27.7083	5799.75	26.8308	1378.317	1	1
Y=100 mm	28.0923	6088.671	27.1623	1482.469	1.049816	1.075565
Y=200 mm	30.7267	8070.794	27.2215	3429.442	1.391576	2.488137
Y=300 mm	26.2619	4711.528	25.1885	1240.600	0.812367	0.900083
Y=400 mm	28.6450	6504.498	27.6054	1654,821	1.121514	1.20061

Tablo 3.14'de engelsiz ve ortası delik engel için T_m, enerji, T_e ve ekserji değerleri verilmiştir.

Tablo 3.14. Ortası delik engel için enerji ve ekserji değerleri

	T_m (ºC)	E (W)	T_e (ºC)	Ex (W)	$\frac{E_{engelli}}{E_{engelsiz}}$	$\frac{Ex_{engelli}}{Ex_{engelsiz}}$
Engelsiz	27.7083	5799.75	26.8308	1378.317	1	1
Y=100 mm	29.6363	7250.377	28.2837	2035.436	1.250119	1.476755
Y=200 mm	29.7933	7368.504	28.6949	1936.342	1.270486	1.40486
Y=300 mm	29.8111	7878.556	29.0568	1915.745	1.35843	1.389916
Y=400 mm	29.9752	7996.457	29.4541	1900.365	1.378759	1.378758

Tablo 3.14'den görüldüğü gibi ortası delik engel için, en yüksek enerji değeri Y=400 mm konumunda görülürken; en yüksek ekserji değeri Y=100 mm durumunda görülmektedir. Sistemin enerji miktarı 1.37 kat artarken, ekserji miktarı 1.38 kat kadar artmıştır. Her bir engel konumu engelsiz tanka göre daha iyi enerji ve ekserji kapasitesi sağlamıştır. En

düşük enerji kapasitesi engelsiz tanka göre 1.25 kat fazla ile Y=100 mm durumunda iken; en düşük ekserji kapasitesi, Y=400 mm durumunda görülmektedir. Sonuçlar irdelendiğinde enerji kapasitesinin en yüksek olduğu durumların, ekserji kapasitesinin en yüksek olmadı durumlar olduğu görülmektedir. Buda sıcaklık tabakalaşmasının ekserji üzerindeki etkisi açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 3.15'de engelsiz ve sağ boş engel için T_m, enerji, T_e ve ekserji değerleri verilmiştir.

Tablo 3.15. Sağ boş engel için enerji ve ekserji değerleri

	T_m (ºC)	E (W)	T_e (ºC)	Ex (W)	$\frac{E_{engelli}}{E_{engelsiz}}$	$\frac{Ex_{engelli}}{Ex_{engelsiz}}$
Engelsiz	27.7083	5799.75	26.8308	1378.317	1	1
Y=100 mm	27.4328	5592.5199	26.3309	1454.1453	0.964269	1.055015
Y=200 mm	27.6709	5771.5881	26.1172	1755.8210	0.995144	1.273888
Y=300 mm	29.0071	6776.9420	27.7714	1837.0525	1.168489	1.332823
Y=400 mm	27.9869	2247.3638	22.4420	513.7616	0.387493	0.3727

Tablo 3.15'den görüldüğü gibi enerjide artış sadece Y=300 mm durumunda görülmektedir. Enerji kapasitesinin Y=300 mm durumu hariç, diğer durumlarda azalmasına rağmen, Y=400 mm hariç tüm engel konumları için ekserji kapasiteleri artmıştır. Enerji kapasitesi artışına sahip tek durum olan Y=300 mm durumu, en yüksek enerji seviyesine de sahip durumdur. Bunun yanın en yüksek ekserji seviyesi de 1.33 kat ile yine Y=300 mm durumu içindir. En düşük ekserji seviyesi ise engelsiz tanka göre 0.37 kat ile Y=400 mm durumunda görülmektedir.

Tablo 3.16'da engelsiz ve sol boş engel için T_m, enerji, T_e ve ekserji değerleri verilmiştir. Tablo 3.16'dan görüldüğü gibi; tüm durumlarda enerji ve ekserji kapasitesi artmıştır. Enerji kapasitesinden artış en yüksek, 1.52 kat ile Y=300 mm durumunda iken en düşük artış ise 1.35 kat ile Y=400 mm durumunda görülmektedir. Ekserji kapasitesinde; en yüksek artış 1.89 kay artı ile Y=300 mm durumunda iken en düşük artış 1.49 kat artış ile Y=400 mm durumundadır. En yüksek enerji ve ekserji kapasitesi artışı sol boş engelde aynı yükseklikte görülmektedir.

Tablo 3.16. Sol boş engel için enerji ve ekserji değerleri

	T_m (ºC)	E (W)	T_e (ºC)	Ex (W)	$\frac{E_{engelli}}{E_{engelsiz}}$	$\frac{Ex_{engelli}}{Ex_{engelsiz}}$
Engelsiz	27.7083	5799.75	26.8308	1378.317	1	1
Y=100 mm	31.1187	8365.684	29.7207	2404.7204	1.442421	1.744679
Y=200 mm	31.6709	8539.7012	29.1172	2541.7316	1.472426	1.844083
Y=300 mm	31.0071	8841.7319	29.7714	2614.6452	1.524502	1.896984
Y=400 mm	30.9869	7852.6178	29.4420	2065.9658	1.353958	1.498905

Tüm engel tipleri için komple bir değerlendirme yapılacak olursa; en yüksek enerji kapasitesi, 1.52 kat artış ile sol boş engelin Y=300 mm olduğu durumda görülmektedir. En yüksek ekserji artışı ise; 2.48 kat artış ile düz silindirik engelin Y=200 mm durumunda görülmektedir.

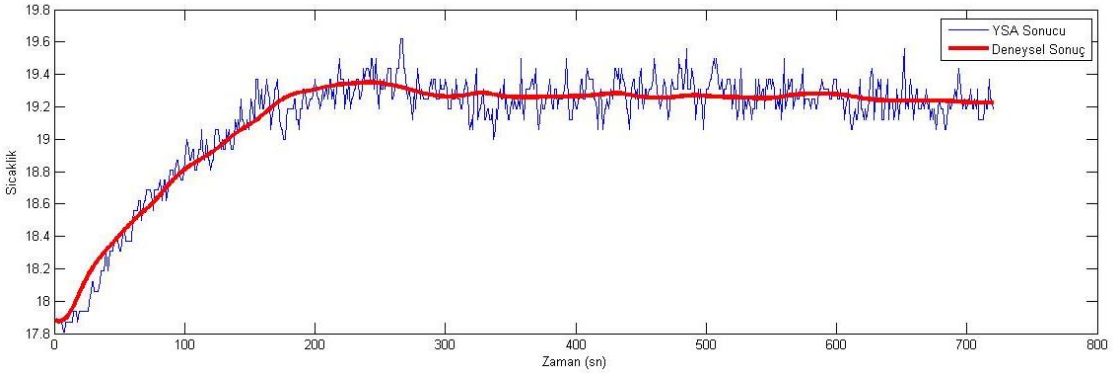
Engeller enerji ve ekserji kapasitelerini her durumda arttırmamışlardır. Her yüksek enerji kapasitesi de yüksek ekserji kapasitesi sağlamamıştır. Bu durumlardan dolayı sıcaklık tabakalaşmasının iyileştirmeyi, deneysel çalışma sonuç bölümünde verilen yöntemlerin dışında enerji ve ekserji yönünden de incelemek faydalı olmaktadır.

3.3. YSA Sonuçları

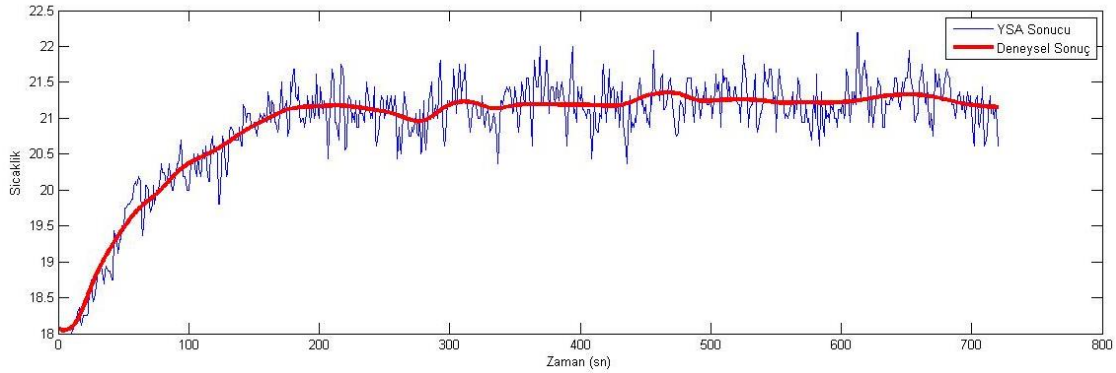
Çalışmada zamana bağlı sayısal çözümlemeye zaman ve sonuçlar açısından alternatif olabilecek bir YSA modeli oluşturulmuştur. Bu kapsamda engelsiz tank için yapılan deney verileri kullanılmıştır. Oluşturulan ağ yapısı sayesinde giriş sıcakları ve süre sisteme giriş bilgisi olarak verildiğinde, tank içerisinde olabilecek sıcaklık dağılımı ve manto çıkış sıcaklığı ve kullanım suyu sıcaklığı alınabilmektedir.

Çalışmada YSA'nın eğitimi ileri beslemeli, geri yayılım algoritmasına sahip eğitim modeli kullanılmıştır. Performans kriteri olarak en küçük kareler metodu seçilmiştir. 13 katmandan oluşan bir ağ modellenmiştir. Giriş 13 nörondan, çıkış 12 nörondan ve ara katmanlar ise 13 nörondan oluşmaktadır. Girişler, tank içerisindeki 8 farklı seviyedeki sıcaklık, manto giriş – çıkış sıcaklığı, şebeke suyu sıcaklığı ve kullanım suyu sıcaklığı ve zamandır. Çıkışlar ise sadece yukarıda sayılan 12 farklı sıcaklıktan oluşmaktadır. Transfer fonksiyonu olarak tanjant sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

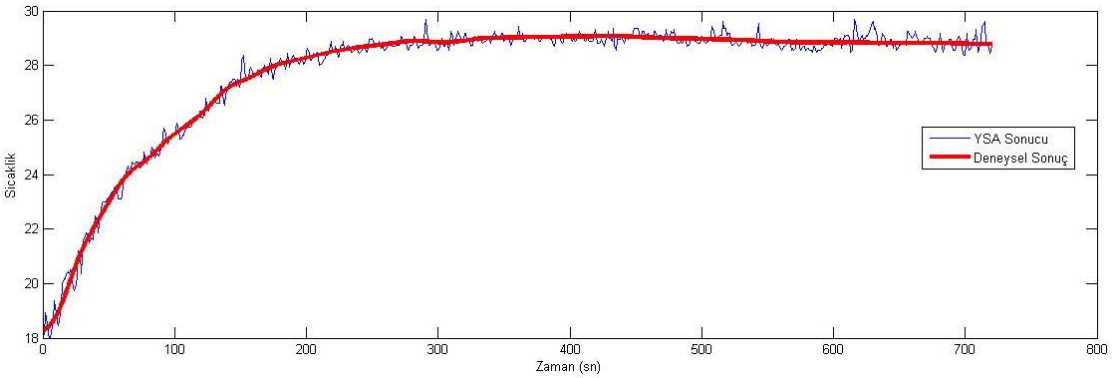
Yukarıda sayılan parametreler ise bir YSA modeli eğitilmiş ve aşağıdaki sonuçlar alınmıştır.



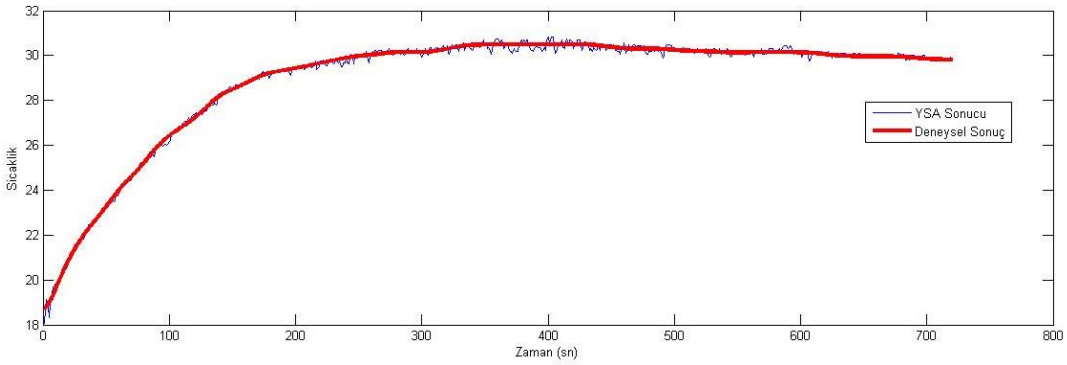
Şekil 3.48. T_1 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



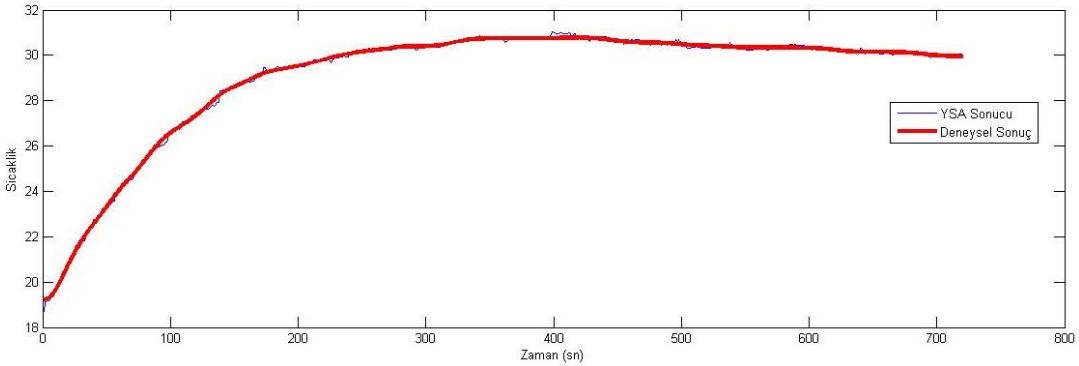
Şekil 3.49. T_2 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



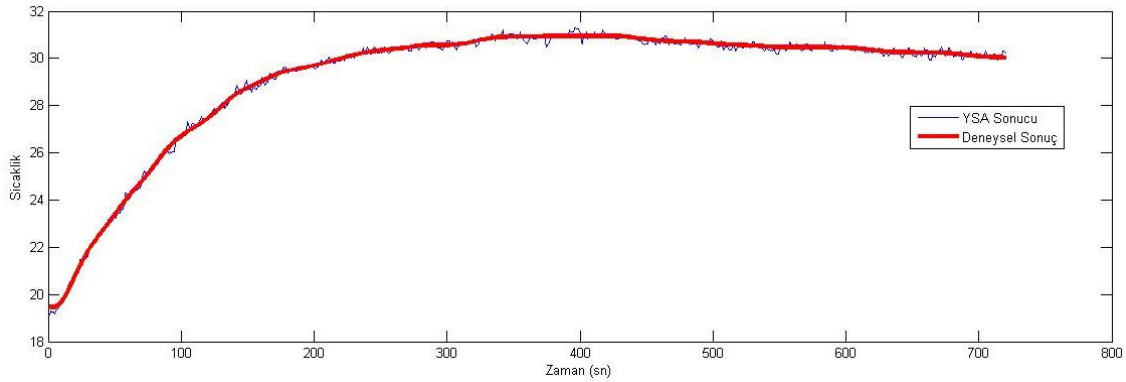
Şekil 3.50. T_3 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



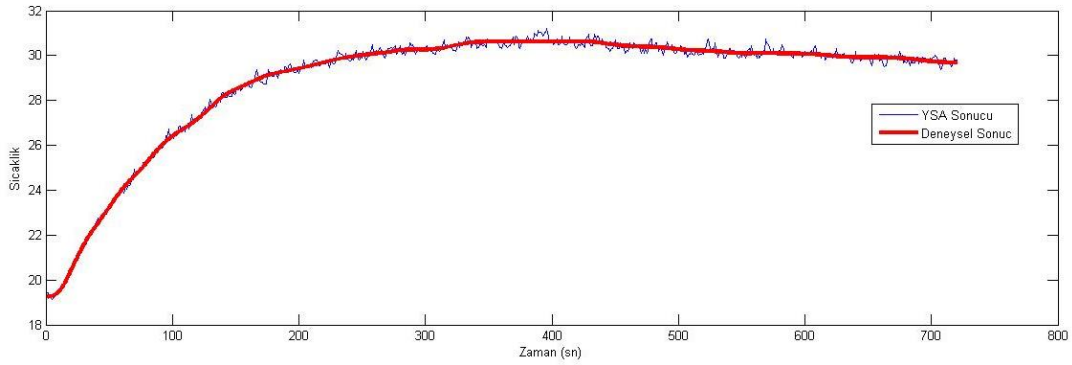
Şekil 3.51. T_4 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



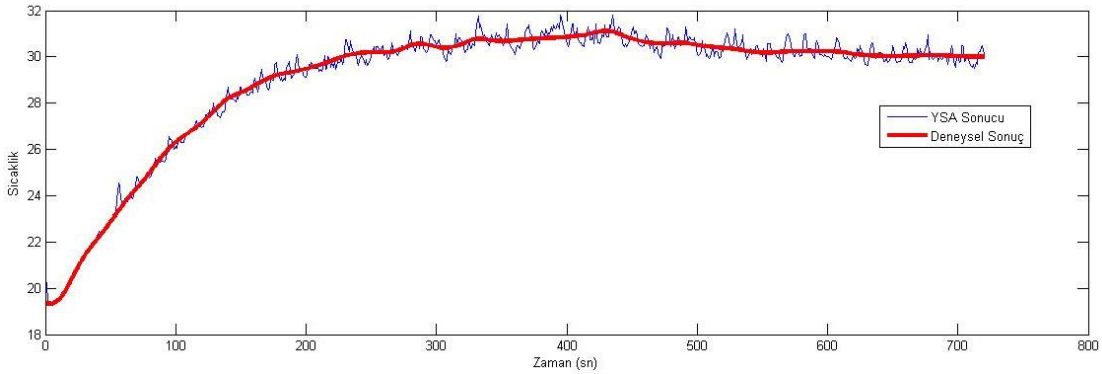
Şekil 3.52. T_5 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



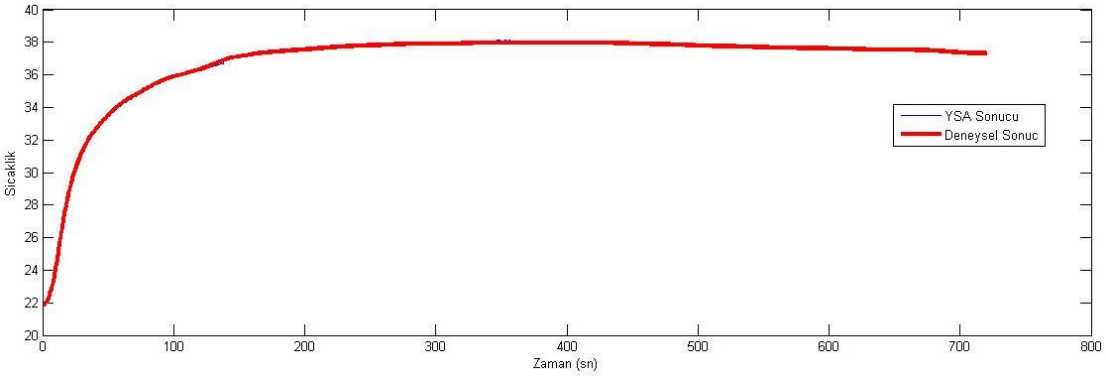
Şekil 3.53. T_6 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



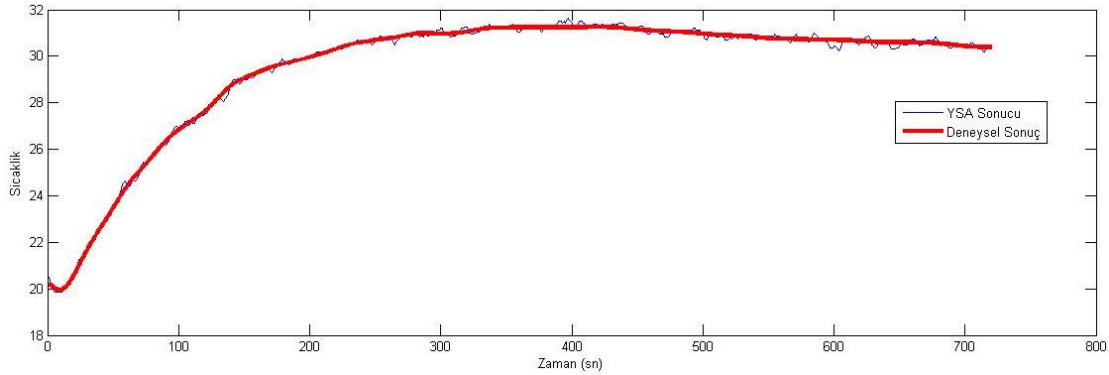
Şekil 3.57. T_7 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



Şekil 3.58. T_8 sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



Şekil 3.59. Manto çıkış sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması



Şekil 3.60. Kullanım suyu sıcaklığı için YSA ve deney sonuçlarının kıyaslanması

Şekil 3.48'den, Şekil 3.60'a kadar tank içerisindeki 8 farklı yükseklikteki sıcaklık değeri, manto çıkış sıcaklığı ve kullanım suyu sıcaklığı için YSA sonuçları ve deney sonuçları gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi YSA modelinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbiri ile uyum içerisindedirler. Tankın alt ve üst kısımlarında sıcaklıklarda ani artmalar ve azalmalar olduğu için, buralarda YSA'nın yaptığı salınım fazladır. Ancak hata oranı kabul edilebilir seviyededir. Tankın orta kısımlardaki manto çıkış sıcaklığı ve kullanım suyu çıkışı içinse neredeyse salınım yok gibidir. YSA ile deneysel sonuçlar çakışmaktadır.

Modellenen bu YSA modeli sayesinde engelsiz tank için sayısal çözümlemeye zaman ve çözüm sonucu açısından alternatif olabilecek bir çözüm modeli geliştirilmiştir. Ağ eğitildikten sonra giriş bilgilerine göre çıkış verisi verme süresi yaklaşık 10 sn civarındadır. Bir sayısal analizin yaklaşık 3 saat sürdüğünü düşünürsek, bu süre çok çok kısadır.

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde, güneş enerjisi sistemlerinde yaygın olarak kullanılan, düşey mantolu sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşmasının, engeller aracılığı ile iyileştirilmesi ile araştırılmıştır. Çalışmada 4 farklı engel tipi, 4 farklı yüksekliğe yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmaların verileri ile her bir durum için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Daha engelsiz tank için yapılan deneylerin verileri ile sayısal çözümlemelere alternatif olabilecek bir metot geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları şu şekilde sıralanabilir;

1. Tank içerisinde yerleştirilen her bir engel ve her bir engel konumu tank içerisindeki sıcaklık dağılımını iyileştirmiştir. Yani tankın alt noktası ile üst noktası arasındaki sıcaklık farklını arttırmışlardır.
2. Tank içerisindeki sıcaklık dağılıma

KAYNAKLAR

1. Raibert, M., Blankespoor, K., Nelson, G., Playter, R., The BigDog Team, 2008. BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot. Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control,Seoul, Korea.
2. Scarfogliero, U., Cesare, S., Dario, P., 2009. The use of compliant joints and elastic energy storage in bio-inspired legged robots. **Mechanism and Machine Theory, 44**: 580-590.
3. Ghorbani, R., Wu, Q., 2009. Adjustable stiffness artificial tendons: Conceptual design and energetics study in bipedal walking robots. **Mechanism and Machine Theory, 44**: 140-161.
4. Delcomyn, F., Nelson, M.E., 2000. Architectures for a biomimetic hexapod robot. **Robotics and Autonomous Systems, 30**: 5-15.
5. Zielinska, T., Heng, J., 2003. Mechanical design of multifunctional quadruped. **Mechanism and Machine Theory, 38**: 463-478.
6. Chatzakos, P., Papadopoulos, E., 2009. Bio-inspired design of electrically-driven bounding quadrupeds via parametric analysis. **Mechanism and Machine Theory, 44**: 559-579.
7. Barreto, J., Trigo, A., Menezes P., Dias, J., Almeida, A.T., 1998. FED-the free body diagram method kinematic and dynamic modeling of a six legged robot. Advanced Motion Control, AMC '98-Coimbra International Workshop: 423–428.
8. Roy, S.S., Singh, A.K., Pratihar, D.K., 2011. Estimation of optimal feet forces and joint torques for on-line control of six-legged robot. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing:** doi:10.1016/j.rcim.2011.03.002
9. Edgington, M., Kassahun, Y., Kirchner, F., 2009. Dynamic motion modelling for legged robots. Intelligent Robots and Systems, IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on: 4688 – 4694.

10. Soygüder S., 2009. Zıplayarak yürüyen çok bacaklı robotların dinamik modeli ve yapay zeka algoritmaları ile denetimi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 502 s.
11. Höpler, R., Stelzer, M., Stryk, O., 2004. Object-oriented dynamics modeling for legged robot trajectory optimization and control. In Process IEEE Conference on Mechatronics and Robotics (MechRob): 972-977.
12. Georgiades, C., Nahon, M., Buehler, M., 2009. Simulation of an underwater hexapod robot. **Ocean Engineering, 36**: 39-47.
13. Vidoni, R., Gasparetto, A., 2011. Efficient force distribution and leg posture for a bio-inspired spider robot. **Robotics and Autonomous Systems, 59**: 142-150.
14. Erden, M.S., Leblebicioğlu, K., 2006. Altı-bacaklı robotta burgu kuvvetlerinin dağıtımı (Torque distribution for a six-legged robot). 14. IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı, Antalya.
15. He´naff, P., Scesa, V., Ouezdou, F.B., Bruneau, O., 2011. Real time implementation of CTRNN and BPTT algorithm to learn on-line biped robot balance: Experiments on the standing posture. **Control Engineering Practice, 19**: 89-99.
16. Filho L.S.M., Prajoux R., 2000. Locomotion control of a four-legged robot embedding real-time reasoning in the force distribution. **Robotics and Autonomous Systems, 32**: 219-235.
17. Huang, Q.J., Nonami, K., 2003. Humanitarian mine detecting six-legged walking robot and hybrid neuro walking control with position/force control. **Mechatronics, 13**: 773-790.
18. Santos, P.G., Cobano, J.A., Garcia, E., Estremera, J., Armada, M.A., 2007. A six-legged robot-based system for humanitarian demining missions. **Mechatronics, 17**: 417-430.
19. Klaassen, B., Linneman, R., Spenneberg D., Kirchner, F., 2002. Biomimetic walking robot SCORPION: Control and modeling. **Robotics and Autonomous Systems, 41**: 69-76
20. Uzundere, C.M., 2007. Sekiz bacaklı mobil robotun mekanik tasarımı, modellenmesi ve lokomasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 79 s.

21. Kaplan, B., 2006. Localization of Six-Legged Mini Robots and Mapping. İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, M.Sc. Thesis, İstanbul, 85 s.

22. Darıcı, O., 2008. Dört bacaklı mobil robotlarda yürüme analizi ve yol izleme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 84 s.

23. Erden, M.S., 2006. Six-Legged Walking Machine: The Robot-EA308, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis, Ankara, 170 s.

24. Tunç, B., 2008. Kinematical and dynamical modelling and design of a multimodal mobile robot. İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, M.Sc. Thesis, İstanbul, 89 s.

25. Barai, R.K., Nonami, K., 2007. Optimal two-degree-of-freedom fuzzy control for locomotion control of a hydraulically actuated hexapod robot. **Information Sciences, 177**: 1892-1915.

26. Santos, P.G., Garcia, E., Estremera, J., 2006. Quadrupedal Locomotion. Springer-Verlag London Limited, Germany, 272 pp.

27. Bekker, M.G. 1968, GE Walking Truck http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/project .archive/Image.Archive/other.robots/Mosher.GE.walking.truck.jpg, (Erişim Tarihi: Mayıs 2011).

28. Byl, K., 2008. Metastable Legged Robot Locomotion, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Ph.D. Thesis, Massachusetts, 215 s.

29. Siegwart, R., Nourbakhsh, I.R., 2004. Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 336 pp.

30. Ritzmann, R.E., Quinn, R.D., Fischer, M.S., 2004. Convergent evolution and locomotion through complex terrain by insects, vertebrates and robots. **Arthropod Structure & Development, 33**: 361–379.

31. Jurd, R.D., 2004. Animal Biology. BIOS Scientific Publishers, New York, 313 pp.

32. Lawlor, R., 1982. Sacred Geometry Philosophy and Practice. Thames and Hudson, China, 114 pp.

33. Steadman, P., 1979. The Evolution of Designs: Biological analogy in architecture and the applied arts, Routledge, New York, 311 pp.

34. Brizard, A.,J., 2005. Introduction to Lagrangian and Hamiltonian Mechanics. Department of Chemistry and Physics Saint Michael's College, Lecture note, Colchester, 220 pp.

35. Erden, M.S., Leblebicioğlu, K., 2007. Free gait generation with reinforcement learning for a six-legged robot. **Robotics and Autonomous Systems, 56**: 199-212.

36. Pratihar, D.K., Deb, K., Ghosh, A., 2002. Optimal path and gait generations simultaneously of a six legged robot using a GA-fuzzy approach. **Robotics and Autonomous Systems, 41**: 1-20.

37. Estremera, J., Cobano, J.A., Santos, P.G., 2010. Continuous free crab gaits for hexapod robots on a natural terrain with forbidden zones: An application to
. humanitarian demining. **Robotics and Autonomous Systems, 58**: 700-711.

38. Yi, S., 2010. Reliable gait planning and control for miniaturized quadruped robot pet. **Mechatronics, 20**: 485-495.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Doğan ERDEMİR
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 26 Mart 1987, Kayseri
Medeni Durumu: Bekâr
Tel: +90 505 933 04 08
email: erdemir@erciyes.edu.tr
Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 38039 Talas/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	E.Ü. M.F. Makine Mühendisliği	2010
Lise	Kayseri Fen Lisesi, Kayseri	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2010- 2011	Kuvvet Makine	Üretim Müdürü
2011-Halen	Erciyes Ü. Makine Müh. Böl.	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce(ileri), İspanyolca(başlangıç)