

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**ISI AKÜMÜLATÖR TANKININ
GELİŞTİRİLMESİNİN SAYISAL VE DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Mustafa Wahby Kanbar JABER

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.04.00.

Sunuş Tarihi : 17/10/2015

Bornova-İZMİR

2014

Mustafa Wahby Kanbar JABER tarafından **Doktora** tezi olarak sunulan “**Isı Akümülatör Tankının Geliştirilmesinin Sayısal Ve Deneyisel Olarak Araştırılması**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 17/10/2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Ali GÜNGÖR.

Raportör Üye: Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA

Üye : Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Üye : Prof. Dr. Aytunç EREK

Üye : Yrd.Doç. Dr. Utku ŞENTÜRK

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “ISI AKÜMÜLATÖR TANKININ GELİŞTİRİLMESİNİN SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

05/ 09 / 2014

Mustafa JABER

ÖZET**ISI AKÜMÜLATÖR TANKININ GELİŞTİRİLMESİNİN SAYISAL
VE DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

JABER, Mustafa Wahby Kanbar

Doktora Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Eylül 2014, .230 sayfa

Bu tez çalışmasında; ısı pompası ve güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinde ısı enerji depolamak için kullanılan içinde serpantin boru bulunan dikey tip silindirik sıcak su deposu (akümülatör) içerisine yönlendirici tip koni levha konulmasının sıcaklık tabakalaşması üzerine etkisi, sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Tüm yapılan çalışmalar, deponun şarj edilmesi durumunda gerçekleştirilmiştir.

Sıcak su deposu içerisinde kullanılacak, en iyi ısı tabakalaşmayı sağlayan serpantin borusunun çapının ve bükme çapının belirlenmesi amacıyla sayısal çalışmalar yapılmıştır. Bu sayısal çalışmalar, serpantin borusuna giren suyun debi ve sıcaklığı değiştirilerek ANSYS 14.5.7 programında gerçekleştirilmiştir. Bu programda yapılan analizlerde süreklilik, momentum ve enerji eşitlikleri üç boyutlu zamana bağlı olarak çözülmüştür.

Sıcak su deposu içerisine koni konulması ile sıcaklık tabakalaşmasında oluşan farkın etkisini daha net görebilmek için, ilk olarak, depo içerisinde yönlendirici koni konulmadan sayısal çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra yapılan sayısal çalışmalarda depo içerisine farklı $d_1/D, d_2/D, h/H$ ve x/H oranlarında koni konulması ve bu yönlendiricilerin ısı tabakalaşma üzerine sağladığı etkiler incelenmiştir. Burada, H ve D sırası ile tankın yüksekliği ve çapı, x tankın taban yüzeyinden koniye kadar olan mesafesi, d_1 ve d_2 koninin üst ve alt kısmının çapı, h ise koninin yüksekliğidir. Yapılan bu incelemeler neticesinde, en iyi ısı

tabakalaşmayı sağlayan boyutsuz değerlere sahip yönlendirici koni sayısal olarak belirlenmiştir.

Sayısal çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan serpantin borusu çapı ve bükme çapına sahip, ile boyutları belirlenen koni imal edilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sayısal çalışmalar ile aynı koşullarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan sonra iki çalışmanın da analiz sonuçları karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür.

Anahtar sözcükler: ısıt tabakalaşma, sıcak su depolama tankı, doğal taşınım, Enerji depolama.

ABSTRACT**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATIONS TO
IMPROVEMENT HEAT ACCUMULATOR TANK**

JABER, Mustafa Wahby Kanbar

PhD in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

September 2014, 230 pages

In this study; experimental and numerical investigation on thermal stratification is studied, by placing cone type guidance inside cylindrical vertical with an immersed heat exchanger type of hot water tank (accumulator), which is used widely in heat storage operation with heat pump and solar water heating systems. All of the case studies are carried out from charged state tanks.

To provide better thermal stratification inside hot water tank, immersed heat exchanger pipe diameter and bending radius are studied first. Furthermore, in the analysis stage three-dimensional and time-dependent of continuity, momentum and energy equations are solved by ANSYS program at different value of entrance water's temperature and flow rate.

To clarify the effect of the cones on the temperature stratification, initially numerical studies are performed without placing the cone and subsequently examined with various ratios (d_1/D , d_2/D , h/D and x/H) of cone sizes. Where H and D are accumulator height and diameter respectively, x represent the distance between the bottom surface of the tank to the cone, d_1 and d_2 are the top and bottom diameter of the cone, and h is the height of the cone. Owing to this investigation, the dimensionless value of the cone was determined numerically, providing the best thermal stratification inside the tank.

Finally, the best numerical result from dimensionless analysis of the cone size is selected for manufacture. The experimental results determined from this product are compared with the numerical model's result under the same operating

conditions. The comparison between experimental data and the numerically obtained result shows a reasonable agreement

Keywords: Thermal stratification, solar energy, hot water tank, natural convection energy storage.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen, tez çalışmam süresince de her aşamada yanımda olan ve beni hiç yalnız bırakmayan değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Ali GÜNGÖR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Kerkük Üniversitesi, Irak Yüksek Öğretim ve Bilimsel Araştırma Başkanlığı ve Irak Kültür Ateşeliği'ne çok teşekkür ederim.

Tez izleme jürisi hocalarımdan olan Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA'ya tez izleme sunumlarım boyunca fikir ve görüşleriyle bana yapmış olduğu katkıdan dolayı çok teşekkür ederim. Prof. Dr. Aytunç EREK hocama da tez izleme sunumlarımda bana vermiş olduğu değerli fikirlerinden ve tezimle ilgili yapmış olduğu yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Ege Üniversitesi'ne geldiğim günden beri her konuda bana destek olan ve benim kendimi hiçbir zaman yabancı hissetmememi sağlayan, bölümde olabildiğince tüm imkanlarından faydalanmama müsaade eden Makina Mühendisliği Yönetim Kadrosundaki tüm hocalarıma çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan aileme ve özellikle anneme çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında yardımlarını ve manevi desteklerini hiç esirmeyen değerli arkadaşlarım Araş. Gör. Mustafa ARAZ, Araş. Gör. Dr.Mehmet Akif EZAN ve Araş. Gör. Erhan KIRTEPE'ye çok teşekkür ederim.

Mustafa JABER

5/9/2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxxv
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. ISIL TABAKALAŞMA3	6
3.1. Akümülatör İçinde Tabakalaşma Yapısı	36
3.2. Tabakalaşmanın Performansı.....	39
3.3. Isıl tabaklaşma bozulması.....	41
4. SAYISAL ÇALIŞMA	43
4.1 Matematiksel Model	43
4.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	47
4.2.1 ANSYS paket programı.....	48
4.2.2 Fiziksel özelliklerin belirlenmesi	52
4.2.3. Çözüm yöntemlerinin belirlenmesi.....	54
4.2.4.Çözüm kontrol parametrelerinin (yakınsama kriterleri) belirlenmesi	54
4.2.5. Problemin çözüm aşamaları.....	56
4.3 Problemin Ağ Sayısından Bağımsızlığının Araştırılması	57
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	61
5.1 Deney Düzenegi.....	62
5.1.1 Akümülatör (sıcak su depolama tankı)	63
5.1.2. Isıtma tankı	66
5.1.3 Elektrik panosu	67
5.1.4 Sıcaklık kontrol sistemi (PID)	68
5.1.5 Debi ölçer.....	69
5.1.6 Sirkülasyon pompası	70
5.1.7 Elektrikli ısıtıcı	71

İÇİNDEKİLER (devam)

5.1.8. Veri toplama ünitesi (data logger)	71
5.1.9. Termokupl.....	72
5.1.10 Yönlendirici koni	72
5.2. Belirsizlik Analizi	74
5.2.1 Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkabilecek belirsizlikler	75
5.2.2 Debi ölçümünde ortaya çıkabilecek belirsizlikler.....	75
5.2.3 Diğer belirsizlikler	76
6. Deneysel ve Sayısal Verilerin Değerlendirmesi ve Bulgular.....	77
6.1 Sayısal Çözümlerin Doğrulaması.....	81
6.2 Sayısal Çalışmadaki Zaman Adımının Seçilmesi	82
6.3 Sıcak Su Depolama Tankı serpantin borusunun çap seçimi	83
6.4 Sıcak Su Depolama Tankı Serpantin Bükme Çap Seçimi	86
6.5 Sıcak Su Depolama Tankında Yönlendirici Olmadığı Duruma Ait Sonuçlar	94
6.5.1 Sayısal çözüm	94
6.5.2. Deneysel çalışmalar	117
6.5.3. Sabit debi	117
6.5.4. Sabit sıcaklık	120
6.6 Yönlendirici Olmadan Yapılan Sayısal ve Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması	123
6.7 Yönlendirici Koni Olduğu Durumda Sıcak Su Depolama Tankına Ait Sonuçlar	144
6.7.1. Sayısal çalışma	144
6.7.2 Yönlendirici koni tip levha olduğu durumda yapılan sayısal çalışmaların karşılaştırılması.....	162
6.7.3 Yönlendiriciye ait d_1/d ve d_2/d boyutsuz parametrelerin incelenmesi.....	165
6.7.4 Yönlendiriciye ait x/h boyutsuz parametrenin incelenmesi	178
6.7.5 Yönlendiriciye ait farklı d_1/d ve d_2/d boyutsuz parametrelerin karşılaştırılması	181
6.8 Seçilen Yönlendiricin farklı Sıcaklıklarda İncelenmesi.....	185
6.9 Depo İçerisinde Koni Tip Yönlendirici Levha Olduğu Durumda Yapılan Deneysel Çalışmalar	186
6.10 Depo İçerisinde Koni Tip Yönlendirici Levha Olduğu Durumda Yapılan Sayısal Ve Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması.....	190

İÇİNDEKİLER (devam)

6.11 Yönlendirici Olduğu ve Olmadığı Durumda Yapılan Deneysel Ve Sayısal Çalışmaların Karşılaştırılması.....	206
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	211
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	214
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Sıcak su deposundaki boyutsuz parametreler	3
2.1. Deney şematiği bölme levhayla	5
2.2. Deney şematiği	6
2.3. Deney döngüsün şematiği	7
2.4. Matonlu ısı değıştircinin deney düzeneği şematik gösterimi	7
2.5. A , B ve C deponun şematik tasarımı ve yararlı sıcak su hacmi	8
2.6. Deney şematiği	9
2.7. Sıcak su tankının kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri	11
2.8. İncelenen iki güneş deposunun şematik çizimi	12
2.9. İncelenen giriş şematik	13
2.10. Depo modülü	13
2.11. Mantolu sıcak su depolama tankının kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri	14
2.12. İçerisine engel yerleştirilmiş tank modelleri	15
2.13. Kullanılan engelleyici tipleri ve depoda montajı	16
2.14. Engelleyici geometrileri	16
2.15. Sıcak su depolama tankının boy oranı ve giriş çıkış yeri kesit görünüşü	19
2.16. Yerel elektrikli sıcak su depolama tankı	20
2.17. İncelenen sıcak su deposunun şematik gösterilişı	22
2.18. Genel bir sistem için entropi geçişı mekanizması	24
2.19. İncelenen üç sıcak su deposunun şematik sol ticari depo orta ve merkezde akıllı depo	25
2.20. a) tabakalaşıma yaban b) tabakalaşıma için tasarım ve çalışma prensibi	26
2.21. Depolama tankın şematiği	27
2.22. Depo şematik	28
2.23. Mantolu sıcak su depolama tankının kesit görünüşü ve termokople yerleri	30
2.24. Sıcak su depolama tankının farklı giriş levha kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri	31
2.24 .Sıcak su depolama tankının tasarımın a) bir bölmeli b) iki bölmeli	32
2.25. Sıcak su depolama tankının boy oranı ve giriş çıkış yeri kesit görünüşü	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

2.26. Farklı difüzörler	33
2.26. Depolama tankı ile absorpsiyonlu ısı pompası	34
3.1. Doğal taşınım	37
3.2. Aynı miktarda ısı depolanmasına rağmen, farklı derecelerde tabakalaşma oluşumu.....	38
4.1. Kartezyen koordinatlarda tanımlanmış kontrol hacmi.....	44
4.2. İki boyutlu ayırıklaştırma kontrol hacmi.....	46
4.3. Sıcak su depolama tankın fiziksel ayrıntıları	49
4.3. Sıcak su depolama tankında çözülen bölge için ağ yapısı a) yüzey ağı b) iç bölge ağı.....	50
4.4. Farklı ağ sayısında 140cm noktada sıcak dağılımı	58
5.1. Deney düzeneği-1 (Şematik resim).....	61
5.2. Deney düzeneği-2 (Saydam görünüş)	62
5.3. Deney düzeneği-3 (Gerçek görünüş)	63
5.4. Sıcak su deposu (Akümülatör).....	64
5.5 Sıcak su depolama tankın iç kısmı.....	65
5.6. Sıcak su depolama tankının içerisinde yönlendirici koni tip olduğu durumda.....	65
5.7 Isıtma tankı.....	67
5.8 Elektrik panosu	68
5.9. Sıcaklık kontrol sistemi (PID).....	69
5.10 Debimetre.....	70
5.11 Sirkülasyon pompası	70
5.12 Veri toplama ünitesi	72
5.13 Termokopul.....	73
5.14 Koni tip yönlendirici	73
6.1 Sıcak su deposu içinde 25 dakikada boyutsuz sıcaklık dağılımı	82
6.2 Çözümlemede kullanılan zaman dilimine göre sıcaklık dağılımı.....	83
6.3 Farklı çapa sahip serpantin borular için şarj işlemindeki sıcaklık dağılımı.....	84
6.4 Sıcak su depolama tankında farklı serpantin bükme çaplı serpantin uygulaması: a)350mm b)300mm c)250mm	87
6.5 Sıcaklık dağılımı 30 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için.....	87
6.6 Sıcaklık dağılımı 60 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil	Sayfa
6.7 Sıcaklık dağılımı 120 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için	88
6.8 Sıcaklık dağılımı 180 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için	89
6.9 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 60 dak şarj işlem 300mm bükme çapı için.....	89
6.10 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 120 dak şarj işlem 300mm bükme çapı için.....	90
6.11 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 180 dak şarj işlem 300mm bükme çapı için.....	90
6.12 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 60 dak şarj işlem 250mm bükme çapı için.....	91
6.13 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 120 dak şarj işlem 250mm bükme çapı için.....	91
6.14 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 180 dak şarj işlem 250mm bükme çapı için.....	92
6.15 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	95
6.16 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika- $T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	96
6.17 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika; $T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	97
6.18 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika- $T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	97
6.19 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika- $T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	98
6.20 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika- $T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	98
6.21 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	99
6.22 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	99
6.23 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	100
6.24 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	100

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.25 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	101
6.26 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$).....	102
6.27 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika- $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	103
6.28 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika- $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	103
6.29 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika- $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	104
6.30 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika- $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	104
6.31 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika- $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	105
6.32 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika- $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	105
6.33 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika - $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	106
6.34 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika- $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	106
6.35 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	107
6.36 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	107
6.37 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$).....	109
6.38 Farklı giriş sıcaklıklarındaki 60 dakikalık şarj işlemi için yönlendirici olmadan deponun eksenindeki sıcaklık dağılımı ($V'=2,8\text{ L/dak}$).....	109
6.39 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	110
6.40 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	110

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil	Sayfa
6.41 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	111
6.42 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	111
6.43 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ l/dak}$)	112
6.44 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ l/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	112
6.45 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ l/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	113
6.46 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{v}=2,8\text{ l/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	113
6.47 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{v}=2,8\text{ l/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	114
6.48 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika- $T_{giriş}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ l/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı	114
6.49 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=2,5\text{ l/dak}$)	116
6.50 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V'=3,6\text{ L/dak}$)	117
6.51 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($V'=2,8\text{L/dak}$ – $T_{giriş}= 70^{\circ}\text{C}$)	118
6.52 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($V'=2,8\text{L/dak}$ – $T_{giriş}= 60^{\circ}\text{C}$)	119
6.53 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($V'=2,8\text{L/dak}$ – $T_{giriş}= 50^{\circ}\text{C}$)	120
6.54. Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($V'=2,5\text{L/dak}$ – $T_{giriş}= 70^{\circ}\text{C}$)	121
6.55 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($V'=3,6\text{L/dak}$ – $T_{giriş}= 70^{\circ}\text{C}$)	122
6.56 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki farklı giriş debide sıcaklık dağılımı.....	122
6.57 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma($T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}$ - $V'=2,8\text{L/dak}$)	123

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.58 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş}=60^{\circ}\text{C}$ - $V'=2,8\text{L/dak}$).....	124
6.59 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş}=50^{\circ}\text{C}$ - $V'=2,8\text{L/dak}$).....	124
6.60 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}$ - $V'=2,5\text{L/dak}$).....	125
6.61 Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}$ - $V'=3,6\text{ L/dak}$).....	125
6.62 Şarj işlem boyunca serpantin borularından depoya aktarılan ısı enerjisi ($T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}$, $V'=2,8\text{ L/dak}$)	126
6.63 Deponun ekseninde, tabandan 20 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	127
6.64 Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	127
6.65 Deponun ekseninde, tabandan 40 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	128
6.66 Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	128
6.67 Deponun ekseninde, tabandan 60 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	129
6.68 Deponun ekseninde, tabandan 65 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	129
6.69 Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	130
6.70 Deponun ekseninde, tabandan 75 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	130
6.71 Deponun ekseninde, tabandan 80 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	131
6.72 Deponun ekseninde, tabandan 85 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	131
6.73 Deponun ekseninde, tabandan 100 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$).....	132
6.74 Deponun ekseninde, tabandan 105 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$).....	132
6.75 Deponun ekseninde, tabandan 115 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$).....	133
6.76 Deponun ekseninde, tabandan 120 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V'=2,8\text{ L/dak}$)	133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.77 Deponun ekseninde, tabandan 125 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,8$ L/dak)	134
6.78 Deponun ekseninde, tabandan 135 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,8$ L/dak)	134
6.79 Deponun ekseninde, tabandan 140 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,8$ L/dak)	135
6.80 Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,8$ L/dak)	135
6.781 Deponun ekseninde, tabandan 155 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,8$ L/dak)	136
6.82 Deponun ekseninde, tabandan 20 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	136
6.83 Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	137
6.84 Deponun ekseninde, tabandan 40 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	137
6.85 Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	138
6.86 Deponun ekseninde, tabandan 60 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	138
6.87 Deponun ekseninde, tabandan 65 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	139
6.88 Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	139
6.89 Deponun ekseninde, tabandan 80 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	140
6.90 Deponun ekseninde, tabandan 85 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	140
6.91 Deponun ekseninde, tabandan 95 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	141
6.92 Deponun ekseninde, tabandan 115 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	141
6.93 Deponun ekseninde, tabandan 140 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	142
6.94 Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	142
6.95 Deponun ekseninde, tabandan 160 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($V' = 2,5$ L/dak)	143

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.96 Enerji dengesi	143
6.97 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	145
6.98 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	146
6.99 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	146
6.100 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	147
6.101 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	147
6.102 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	148
6.103 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	148
6.104 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	149
6.105 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	149
6.106 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	150
6.107 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,3329$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	150
6.108 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,27239$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	151
6.109 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $h/H = 0,27239$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	152
6.110 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $h/H = 0,27239$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	152
6.111 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $h/H = 0,27239$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	153
6.112 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $h/H = 0,27239$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	153

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.113 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $h/H = 0,27239$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$).....	154
6.114 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	155
6.115 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$).....	156
6.116 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$).....	156
6.117 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$).....	157
6.118 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$).....	157
6.119 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$).....	158
6.120 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	158
6.121 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	159
6.122 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	159
6.123 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	160
6.124 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,21186$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	160
6.125 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,15133$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	161
6.126 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı($h/H = 0,0907$; $d1/D = 0,9545$; $d2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)	162
6.127 Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 60 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329$; $0,27239$; $0,21186$; $0,15133$; $0,0907$)	163
6.128 Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 120 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329$; $0,27239$; $0,21186$; $0,15133$; $0,0907$)	163

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.129	Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 180 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H=0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$).....	164
6.130	Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 240 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H=0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$).....	164
6.131	Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 300 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H=0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$).....	165
6.132	Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($d_2/D=0,6136; d_1/D=0,9545; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$).....	166
6.133	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $d_2/D=0,6136; d_1/D=0,9545; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	167
6.134	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($d_2/D=0,6136; d_1/D=0,9545; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$).....	167
6.135	Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$).....	168
6.136	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (1,5 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	169
6.137	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (3,5 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	170
6.138	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (5 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	170
6.139	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (10dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)....	171
6.140	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (15dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)....	171
6.141	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (30 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	172
6.142	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	172
6.143	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	173
6.144	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	173
6.145	Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $d_1/D=0,7945; d_2/D=0,6136; h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	174

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.146 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$).....	174
6.147 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (3,5 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	175
6.148 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (30 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	175
6.149 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	176
6.150 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$).....	176
6.151 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$).....	177
6.152 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)	177
6.153 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika, $d1/D=0,7945$; $d2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$).....	178
6.154 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$).....	179
6.155 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika- $x/H=0,539$)	180
6.156 Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($x/H=0,539$)	180
6.157 Yönlendirici depo eksenindeki 60 dakikalık sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d1/D=0,7955$ $d2/D=0,6136$; 2- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,6136$; 3- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,7159$)	181
6.158 Yönlendirici depo eksenindeki 120 dakikalık sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d1/D=0,7955$ $d2/D=0,6136$; 2- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,6136$; 3- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,7159$)	182
6.159 Yönlendirici depo eksenindeki 180 dakikalık sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d1/D=0,7955$ $d2/D=0,6136$; 2- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,6136$; 3- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,7159$)	182
6.160 Yönlendirici depo eksenindeki 240 dakikalık sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d1/D=0,7955$ $d2/D=0,6136$; 2- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,6136$; 3- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,7159$)	183

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.161 Yönlendirici depo eksenindeki 300 dakikelik sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d1/D=0,7955$ $d2/D=0,6136$; 2- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,6136$; 3- $d1/D=0,9545$ $d2/D=0,7159$).....	183
6.162 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=60^{\circ}C$ - $V'=2,8L/dak$).....	185
6.163 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=50^{\circ}C$ $V'=2,8L/dak$)	186
6.164 Yönlendirici koni tip depo içinde)	187
6.165 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı deneysel olarak ($T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $V'=2,8 L/dak$).....	188
6.166 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı deneysel olarak ($T_{giriş}=60^{\circ}C$ - $V'=2,8 L/dak$).....	189
6.167 Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı deneysel olarak ($T_{giriş}=50^{\circ}C$ - $V'=2,8 L/dak$).....	190
6.168 Depo içerisinde yönlendirici olduğu durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $V'=2,8 L/dak$).....	191
6.169 Depo içerisinde yönlendirici olduğu durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=60^{\circ}C$ - $V'=2,8 L/dak$).....	192
6.170 Depo içerisinde yönlendirici olduğu durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=50^{\circ}C$ - $V'=2,8 L/dak$).....	192
6.171 Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} =70^{\circ}C$ - $V'= 2,8 L/dak$).....	193
6.172 Deponun ekseninde, tabandan 40 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} =70^{\circ}C$ - $V'= 2,8 L/dak$).....	194
6.173 Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} =70^{\circ}C$ - $V'= 2,8 L/dak$).....	194
6.174 Deponun ekseninde, tabandan 60 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} =70^{\circ}C$ - $V'= 2,8 L/dak$).....	195
6.175 Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} =70^{\circ}C$ - $V'= 2,8 L/dak$).....	195

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.176 Deponun ekseninde, tabandan 80 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	196
6.177 Deponun ekseninde, tabandan 90 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	196
6.178 Deponun ekseninde, tabandan 100 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	197
6.179 Deponun ekseninde, tabandan 110 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	197
6.180 Deponun ekseninde, tabandan 130 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	198
6.181 Deponun ekseninde, tabandan 140 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	198
6.182 Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	199
6.183 Deponun ekseninde, tabandan 160 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =70°C- V= 2,8 L/dak)	199
6.184 Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak)	200
6.185 Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak)	200
6.186 Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak)	201
6.187 Deponun ekseninde, tabandan 90 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak)	201
6.188 Deponun ekseninde, tabandan 110 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak)	202

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.189 Deponun ekseninde, tabandan 130 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak).....	202
6.190 Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak).....	203
6.191 Deponun ekseninde, tabandan 160 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =60°C- V= 2,8 L/dak).....	203
6.192 Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =50°C- V= 2,8 L/dak).....	204
6.193 Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =50°C- V= 2,8 L/dak).....	204
6.194 Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =50°C- V= 2,8 L/dak).....	205
6.195 Deponun ekseninde, tabandan 90 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =50°C- V= 2,8 L/dak).....	205
6.196 Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal (Tgiriş =50°C- V= 2,8 L/dak).....	206
6.197 Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=60 dak, Tgiriş=70°C- V=2,8 L/dak).....	207
6.198 Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=120 dak, Tgiriş=70°C- V=2,8 L/dak).....	207
6.199 Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=180 dak, Tgiriş=70°C- V=2,8 L/dak).....	208
6.200 Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=240 dak, Tgiriş=70°C- V=2,8 L/dak).....	208

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil

Sayfa

6.201 Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=300 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $V'=2,8$ L/dak).....	209
6. 202 Şarj verimi yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda (Şarj süresi=300 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $V'=2,8$ L/dak)	210
6. 203 Tabakalaşma sayısı yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda (Şarj süresi=300 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $V'=2,8$ L/dak)	210

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	<u>Sayfa</u>
4.1 Ağ sayısına bağlı hata	60
6.1 Değişik boyutlarda incelenen yönlendirici tip koni levhanın boyutsuz	78
6.2 Farklı çapa sahip borular için şarj işlemindeki sıcaklık değerleri	85
6.3 Farklı bükme çapa sahip borular için şarj işlemindeki sıcaklık değerleri	93
6.4 Ortalama sıcaklık farkları	108
6.5 Yönlendiriciye ait Farklı Boyutsuz Parametrelerin Depo Eksenindeki Zamana Göre Sıcaklık Değerleri	184

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
a	Katsayı
A	Alan, m ²
C _p	Sabit basınçta özgül ısı, J/kg-K
d	Depolama tankının yönlendiricin çapı, mm
D	Depolama tankının çapı, mm
h	koni levhanın yüksekliği, mm
h	Tasınım katsayısı, W/m ² .K
H	Depo yüksekliği, mm
k	Isı iletim katsayısı, W/m.K
$\dot{V}$	Hacimsel debi, L/dak
P	Basınç, kPa
Pe	Peclet sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Q	Isı akımı, W
Re	Reynolds sayısı
Ri	Richardson sayısı
S	Genel kaynak terimi
t	Zaman, s
T	Sıcaklık, °C
T _{bas}	Başlangıç depo sıcaklığı, °C
ΔT	Sıcaklık farkı
V	Hız, m/s
u	x - yönündeki hız , m/s
v	y - yönündeki hız , m/s
w	z - yönündeki hız , m/s
x	koni levhanın tankın içine eksenel yönde yerleştirilme mesafesi
β	Isıl genişleme katsayısı, 1/K
μ	Dinamik viskozite, kg/m.s
ν	Kinematik viskozite, m ² /s
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
ϕ	Genel bağımlı değişken
Φ	Viskoz disipasyonu
Γ	Genel difüzyon katsayısı
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Alt İndeksler

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N	Kuzey
P	Merkez
S	Güney

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
W	Batı
l	alt
h	Üst
giriş	Depo giren
baş	Başlangıç

1.GİRİŞ

Bulunduğumuz yüzyılda, hızla gelişmekte olan endüstrileşme ve artan nüfus yoğunluğu ile enerji tüketimi arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmektedir. Artan dünya nüfusu ve gelişen sanayileşme karşısında dünyadaki enerji tüketimi artış göstermektedir. Hızla artan enerji tüketimi karşısında ise kömür, petrol, doğalgaz v.b. enerji rezervleri azalmaktadır. Tüklenen mevcut enerji kaynaklarına alternatif olarak çevre açısından da son derece olumlu olan yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgar, hidrolik ve dalga enerjisi bilim dünyasının başlıca konularını oluşturmaktadır.

Ülkemizde yenilenebilir enerjinin en fazla elde edilebildiği kaynaklardan biri güneş enerjisidir. Coğrafi konum itibari ile de ülkemiz açısından zengin bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin tek ve son derece önemli olan dezavantajı, süreksiz bir enerji kaynağı olması ve talep edildiği her an istenilen enerjiyi sağlayamamasıdır. Örneğin, güneş enerjili sistem kullanılan bir evde en fazla ısınmaya ve sıcak suya ihtiyaç duyulan zaman, kış aylarıdır. Buna rağmen en az güneşten yararlandığımız zamanda bu aylardır. Buna karşın ısınma ve sıcak suya neredeyse hiç ihtiyaç duymadığımız yaz ayları ise, güneşten en fazla yararlandığımız aylardır. Bu nedenden dolayı, güneş enerjisi ve tüm yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin daha sonra kullanabilmesi için enerjinin depolanması gerekmektedir.

Enerji depolamanın anlamı, bir enerji formunun, daha sonra faydalı bir işlemde kullanılmak üzere saklanmasıdır. Enerji ve enerjinin depolanması, mühendisliğin en önemli konularından biridir. Enerji üretimi veya tüketimi, enerjinin temin edildiği kaynağa bağlı olarak süreksiz olabilir. Enerjinin depolanmasında, hem enerji girişi hem de yük değişken ise, bu durumda tercih edilebilecek iki seçenek vardır; Birincisi enerji ihtiyacını enerji girişine uydurmak, ikincisi ise enerjiyi daha sonra kullanmak üzere depolamaktır. Isı kaynağı miktarı ve enerji ihtiyacı arasında oluşabilecek farklılık ısıl enerji depolama yöntemi ile çözülebilir. İhtiyaç duyulan ısı miktarı ile yenilenebilir enerji kaynağından elde

edilebilecek ısı miktarı arasındaki farkın derecesi uygulanacak depolama yöntemini ve depolanacak ısı miktarını belirler.

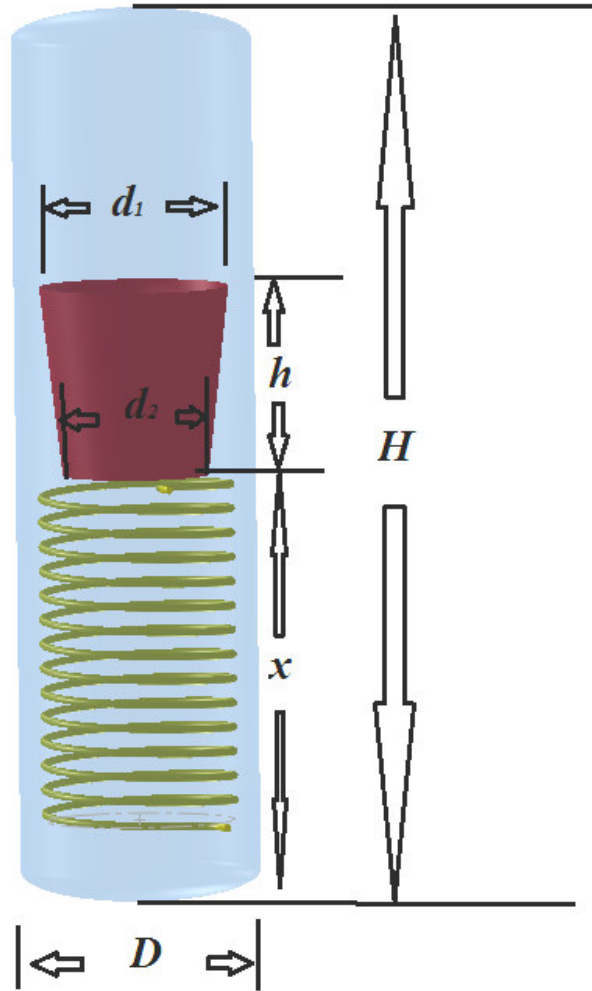
Yenilenebilir enerji kaynaklarının depolanması ile ilgili temel sorunlarından biri’de, enerjinin nasıl depolanacağıdır. Günümüzde bu sorun etkin ve ucuz ısı depolama (akümülatör) sistemlerinin geliştirilmesi ile çözüme kavuşturulmaya çalışılmaktadır. Isıl enerji depolama sistemleri (akümülatörler) üzerine bir çok bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu sistemlerin temel özellikleri; yüksek depolama kapasitesi, yüksek şarj-deşarj verimi, kayıp kapasitesi az olması, uzun ömürlü olması, ucuz, enerji yoğun olması, depolama ünitesinde ısı tabakalaşma, ısı ilavesi veya tahliyesi için güç gereksinimi, çalışma sıcaklık aralığı olarak sayılabilir.

Bu tez çalışmasında da, güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinde kullanılan ticari bir akümülatör sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın amacı akümülatör içerisindeki su sıcaklığının istenilen seviyeye ulaşabilmesi için gereken şarj süresinin kısaltılmasıdır. Bu iyileştirmenin yapılabilmesi için şarj işlemi sırasında akümülatör içinde iyi bir sıcaklık tabakalaşmasının oluşturulması gerekmektedir.

Bu çalışmada, akümülatör olarak seçilen depo SOLİMPEKS marka ürün dikey ve silindirik yapıdadır. Akümülatör içerisinde bulunan soğuk suya olan enerji aktarımı akümülatör içerisine konulmuş olan serpantin borular içinden geçen sıcak sudan sağlanmaktadır.

Sıcak sudan soğuk suya olan enerji aktarımı, diğer bir adıyla şarj işlemi sırasında serpantin etrafında ısınan su kütleleri depo yüzeyine doğru çıkarken soğuk su kütleleri ile çarpışmaktadır. Aralarında sıcaklık farkı olan su kütlelerinin çarpışma işlemi şarj süresinin uzamasına neden olmaktadır. Şarj işlemi süresini kısaltmak ve daha yüksek sıcaklık elde etmek için depo içerisine değişik $d_1/D, d_2/D, h/H, x/H$ oranlarında koni tip plaka yerleştirilmiştir (Şekil 1.1). Burada H ve D sırası ile tankın yüksekliği ve çapı iken, x tankın taban yüzeyinden koniye kadar olan mesafedir. d_1 ve d_2 ise koninin üst ve alt kısmının çapıdır.

Akümülatör içerisindeki soğuk ve sıcak su kütlelerinin çarpışmasını önlemek ve böylece şarj süresini kısaltmak için konulan koninin geometrisi $d_1/D, d_2/D, h/H, x/H$ oranlarında değiştirilerek sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma FLUENT programında yapılmış ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlara göre en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan koni boyutları belirlenmiştir. Bu koni geometrisi deneysel çalışmada kullanılmak için üretilmiş ve en iyi sıcaklık tabakalaşması sağlanan koni ile deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.1: Sıcak su deposundaki boyutsuz parametreler

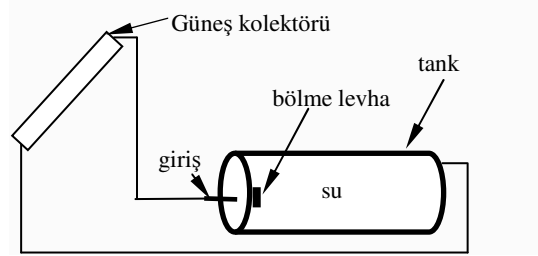
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güneş enerjisi ve ısı pompalarından elde edilen enerjinin daha sonra kullanılmak üzere depolanması birçok bilimsel çalışmanın konusu olmuştur. Isının depolanacağı akümülatörler üzerinde yapılan çalışmalar şarj süresinin kısaltılması üzerinde yoğunlaşmıştır. Şarj süresinin kısaltılması ise sıcaklık tabakalaşmasının oluşmasına bağlıdır. Aşağıda akümülatörlerdeki şarj ve deşarj işlemleri için yapılan birçok bilimsel çalışma incelenmiştir.

Darci v.d (2011) tarafından yapılan çalışmalarında yatay bir silindirik depolama tankı içindeki üç boyutlu sıcaklık ve hız alanlarının sayısal analizi yapmışlardır. Yapılan çalışmada laminar doğal taşınım olayı ve sıcaklığın dikey tabakalaşması dikkate alınmıştır. Geliştirilen üç boyutlu zamana bağlı sayısal kodla sonlu hacimler yöntemi, enerji ve momentum denklemleri ile çözülmüştür. Tankın içindeki deşarj işlemleri boyunca, tabakalaşmalı sıcaklık profillerinin deneysel olarak elde edilen sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Çeşitli simülasyonlara dayanarak, tankın içindeki ısı tabakalaşmanın derecesini belirlemek için ısı ve geometrik parametrelere dayanan bir korelasyon önerilmiştir. Bu korelasyona dayanılarak zamanla oluşan sıvı sıcaklık profillerini tahmin etmek için bir ifade önerilmiştir. Bu bilgiler, akışkanın ısı tabakalaşma derecesi ile global veriminin arttığı sistemler ve güneş enerjili termosifon sistemleri gibi pek çok uygulamada oldukça önemlidir.

Şekil 2.1’ de görüldüğü üzere başka bir uygulamada tank direkt olarak güneş kolektörüne bağlanmıştır. Bunun amacı, giriş jetinin önünde engelleme levhası olması ve olmaması durumundaki giriş jet pozisyonunun ısı tabakalaşmanın korunumuna etkisinin araştırılmasıdır. Sonuçlar, bölme plakasının giriş jetine yakın hız ve sıcaklık alanlarını değiştirerek daha iyi bir ısı tabakalaşmaya izin verdiğini göstermiştir. Ayrıca uygun giriş jet pozisyonunun seçimi daha etkili bir ısı tabakalaşma oluşumunu sağlamıştır. Depolama tankının bu tür iç dinamikleri ve bazı diğer yönleri ortaya konmuş ve tartışılmıştır. Çalışılan durumlarda, üst tarafın yanındaki giriş jeti daha büyük bir ısı tabakalaşma yol açmıştır. Bununla birlikte, jet giriş sıcaklığı uzun bir süre boyunca sabit kalır ve sıcaklığı bu nedenle aynı yükseklik için tanktaki suyun sıcaklığına yaklaşırsa, elde edilen sıcaklık

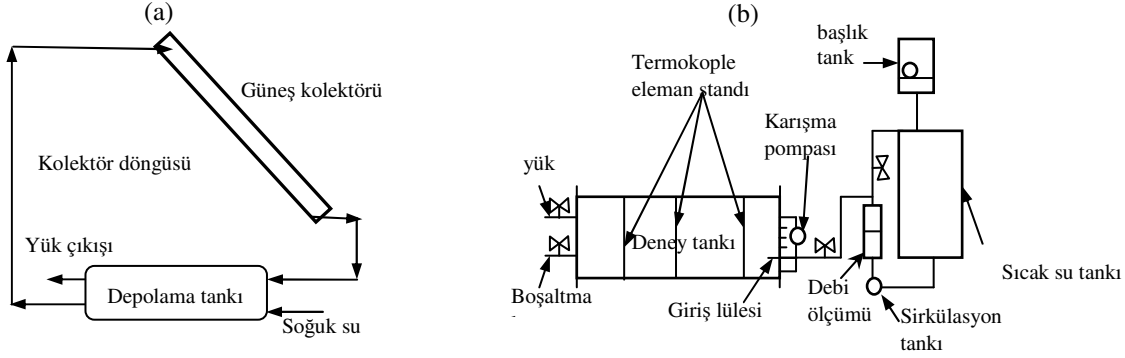
profillerinin girişinin çapın $2/3$ 'ü yüksekliğine yerleştirilmesi durumundakiyle benzer hale geldiği görülmüştür.



Şekil.2.1: Deney şematiği bölme levhayla (Darci v.d, 2011)

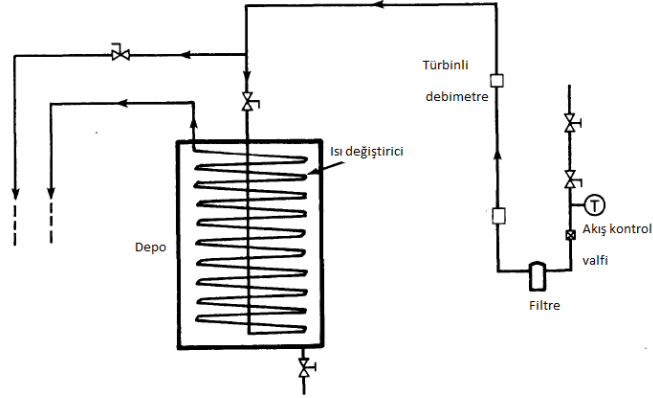
Alizadeh (1999) tarafından yapılan bu çalışmada silindirik bir depolama tankının ısı davranışı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Deney düzeneğinin şeması Şekil 2.2' de verilmiştir. Dört aşamada yapılmış olan deneysel çalışmanın ilk aşaması, başlangıçta ısı tabakalaşmaya sahip bir tankın tabanındaki akışkan sıcaklığı ile tanka giren akışkan sıcaklığının eşit olduğu durumdur. İkinci aşamada, tankın tabanındaki akışkan sıcaklığının tanka giren akışkan sıcaklığından düşük olduğu durum, üçüncü aşamada ise yalıtılmış (izotermal) tankın ısıtılması ile oluşan ısı tabakalaşma incelenmiştir. Dördüncü aşamada birinci deney özellikleri kullanılmıştır. Sadece giriş borusu yerine tank tabanına doğru bükülmüş ıraksak 30 derece eğimli bir lüle koyularak sıcaklık tabakalaşması incelenmiştir. En iyi tabakalaşmanın dördüncü durum olduğu vurgulanarak, iki farklı bir boyutlu nümerik model ile deneysel bulguların doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarında, sıcaklığın farklı zamanlarda, tankın dikey eksen boyunca dağılımı görülmektedir. Başlangıçtaki sıcaklık farkı 25°C 'dir. Su girişinde boru kullanarak, soğuk su tankın içinde püskürtülmekte (giren suyun sıcaklığı tankın alt kısmının sıcaklığına eşittir), aynı ölçüm noktasında ilk birkaç dakika boyunca sıcaklık değişimi yaklaşık 1°C 'dir. Ayrıca zaman geçtikçe tankın içindeki tabakalaşma azalmakta ve debi arttığı zaman tabakalaşma daha kısa sürede sona ermektedir. Deneyde verilen sonuçları ise, girişteki düz boru yerine ıraksak 30° bir boru değiştirilmiş ve

kullanılan bu ırsak nozul momentumun girişini azaltmıştır. Bu nedenle girişte karışım miktarı azalmış ve deşarj boyunca bir iyi tabakalaşma elde edilmiştir.



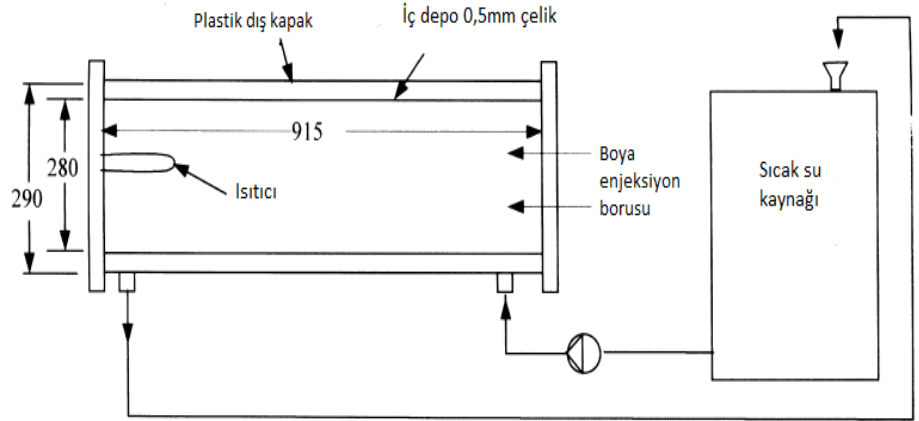
Şekil 2.2 : Deney şematigi. (Alizadeh, 1999)

Farrington (1987) tarafından yapılan çalışmada, Şekil 2.3'te görüldüğü gibi kullanılan evsel sıcak su sisteminde bir ısı tankının yük tarafı incelenmiştir. Burada, dalmış ısı değiştirici için deneysel ve HAD ile nümerik çözümlere ulaşılmıştır. Yük tarafında dört farklı boru ısı değiştirici verimi hesaplanmıştır. Birinci tip ısı değiştirici pürüzsüz serpantin (yüzey alanı $2,5 \text{ m}^2$), ikincisi ise kanatlı ısı değiştirici (yüzey alanı $2,5 \text{ m}^2$), üçüncüsü pürüzsüz % 32 daha fazla etkili (yüzey alanı $1,7 \text{ m}^2$), dördüncü ise kanatlı ısı değiştiricidir (yüzey alanı $1,7 \text{ m}^2$). Bu çalışmada amaç, kullanılan yan-yüklerde GEES (güneş enerjili evsel sıcak su) veriminin hesaplanması ve tasarımcılar için nasıl çalıştığının bulunmasıdır. Deneysel ve sayısal çalışmaların sonuçlarına bakıldığında kanatlı boru alanının %70'i kadar pürüzsüz boru kullanıldığında, pürüzsüz borunun daha iyi performans verdiği görülmüştür. Çalışmada bulunan sonuçlara göre kanatlı boruların kullanılmaması önerilmiştir. İyi tabakalaşmanın sistemin performansını arttırdığı görülmüştür. Dikey tipli serpantinli ısı değiştirici kullanımında daha iyi performans elde edileceği belirtilmiştir. Serpantin borusundaki debi ve alan arttıkça zaman ısı aktarımının artacağı ve ayrıca ısı tabakalaşmanın azalacağı belirtilmiştir.



Şekil 2.3: Deney döngüsün şematiği (Farrington,1987)

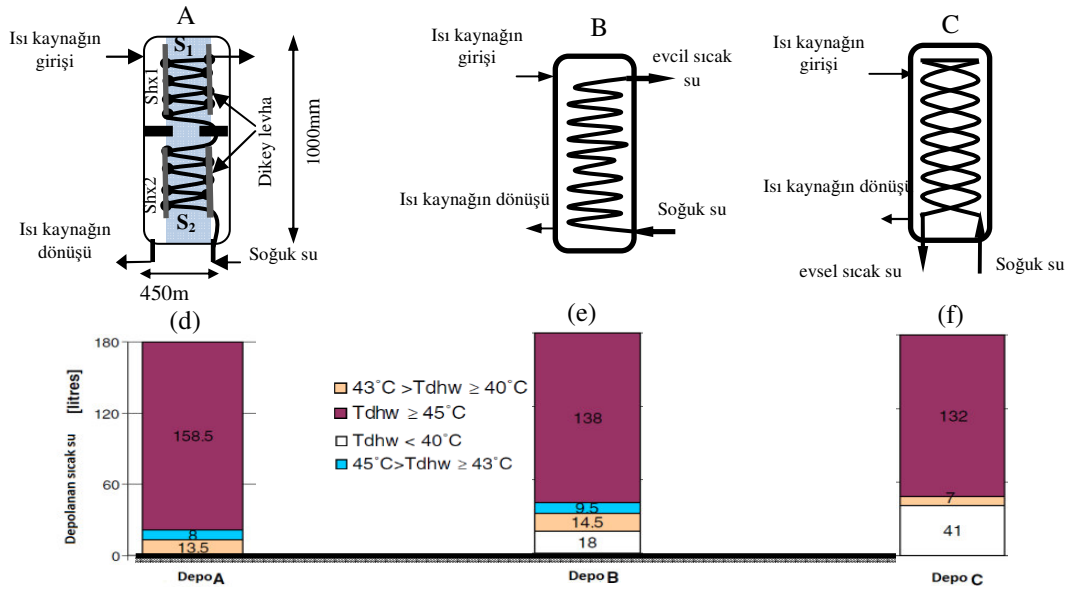
Morrison v.d. (1998), güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinde kullanılan yatay, mantolu ısı değiştiricilerin özelliklerini incelemiştir Şekil 2.4. Bu ısı değiştiricinin deneysel incelenmesi, mantolu ısı değiştiricilerin içindeki akım çizgilerini ve ısı transferini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca akış ve ısı transferi problemleri ticari yazılım olan Fluent programı ile nümerik olarak modellenmiştir. Yatay, mantolu ısı değiştiricinin, giriş debisi, sıcaklığı ve konumu gibi parametrelerinin etkileri ele alınmıştır.



Şekil 2.4 : Matonlu ısı değiştiricinin deney düzeneği şematik gösterimi (Morrison v.d.,1998)

Roman v.d. (2006), tarafından sunulan çalışmada Şekil 2.5 a' da görülen yeni bir depoda oluşan tabakalaşma, Şekil 2.5 b ve 5c' de görülen farklı yapıdaki serpantinlere sahip depolarda oluşan tabakalaşmalar ile karşılaştırmıştır. Önerilen

yeni depo, S_1 ve S_2 olmak üzere iki kısımdan ibarettir. S_2 alt kısmı ifade etmekte ve ön ısıtma için kullanılmaktadır. Ön ısıtma için güneş kolektörü veya ısı pompası kullanılır. Ortada olan ayırma parçası plastikten yapılmıştır ve ortasında dairesel bir delik bulunmaktadır. Bu delik suyun doğal taşınım veya şarjına olanak sağlaması amacıyla kullanılmaktadır. S_1 kısmı ısıtma amacıyla kullanılır ve gereken ısı bir boylerden temin edilir. Depo ortasında bir serpantinli boru olup halkasal kesitli dikey levhalar ($Shx1$, $Shx2$) ile kaplanmıştır. Kaplama nedeniyle suyun hızı dikey ekseninde artar ve dolayısıyla taşınım kazancı oranı artar. Matematiksel modelin sonuçları, gerçek güneş toplayıcısının günlük deneysel ölçüm verileri kullanılarak doğrulanmıştır. Şekil 2.5'te görülen her bir tankın kullanıcıya bağlı verimi hesaplanmıştır. Sonunda elde edilen tabakalaşmalı depolamanın diğer ticari depolamalardan % 32 daha fazla etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca depolama tankı içinde serpantin boru uygulaması, depo içindeki ısı tabakalaşmaya büyük ölçüde etki etmektedir. Şekil 2.5d, 2.5e ve 2.5f 'de, yararlı sıcak su ($T_{dhw} \geq 45^\circ C$) hacim oranları görülmektedir.

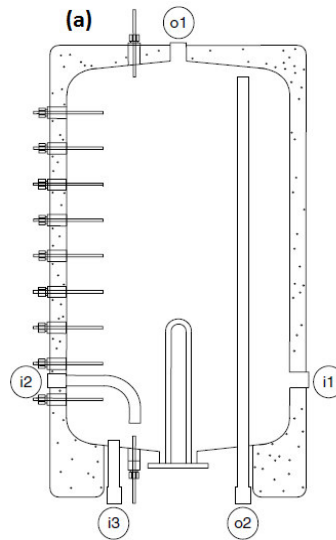


Şekil 2.5: A , B ve C deponun şematik tasarımı ve yararlı sıcak su hacmi (Roman v.d.,2006)

Geczy v.d. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan bir ısı enerjisi deposundaki, tabaka sıcaklıklarının modellenmesi için Yapay Sinir Ağları'na dayanan (YSA) bir model tanıtılmıştır. Bu modelleme yerel sıcak su sisteminin ölçülmüş değerlerine dayanarak

yapılmıştır. Sekiz eşit parçaya bölünmüş tankın içindeki dikey yöndeki sıcaklık dağılımı; depolama tankı sıcaklığının beş dakikalık ortalaması, çevre sıcaklığı, güneş ışınımı, toplayıcının devre debisi, tabakaların sıcaklığı ve yük sıcaklığı verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Tanıtılan YSA modeli, yükleme süreleri ve yükler arasındaki dönemlerini açıklayan iki bölümden oluşmaktadır. Tanımlanan model çalışma süresi boyunca kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Ortalama sapma değeri çalışma boyunca 0,22 °C, doğrulama boyunca da 0,24 °C olarak bulunmuştur.

Fernandez v.d. (2007) tarafından sunulan çalışmada, 150 l kapasiteli, evsel, elektrikli sıcak su depolama tankının statik modu (şarj durumu) ile ilgili deneysel inceleme gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyin şematiği Şekil 2.6' de verilmiştir. Analizin esas amacı, deponun statik ısıtma ve soğutma sürelerindeki ısı davranışını belirlemek ve performansını tanımlamaktır. Analiz, üretici tarafından sağlanan bir tanktan alınan ve uygun bir veri toplama sistemi ile donatılmış deneysel verilere dayanmaktadır. Depolama tankı, veri toplama sistemi ve deney yöntemi tarif edilmiştir. Enerji ve ekserji verimliliğini ve ısı tabakalaşmayı değerlendirmek için kullanılan performans parametreleri, deneysel verilerden elde edilmiştir. Farklı ısıtma güçleri ve tank basınçları için analiz sonuçları gösterilmiş ve tartışılmıştır.



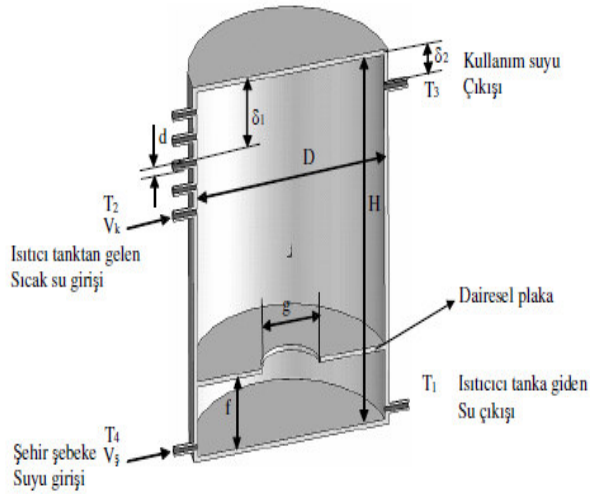
Şekil 2.6: Deney şematiği (Fernandez v .d. ,2007)

Fernandez v.d. (2007), tarafından verilen bir diğer çalışmada ise, aynı deponun dinamik modu (deşarj durumu) ile ilgili deneysel inceleme araştırılmıştır. Uygulamaya yönelik bir araştırma olması amacıyla tank, üç farklı giriş pozisyonu ve iki farklı çıkış pozisyonu ile donatılmıştır. Tankın dinamik modu deneysel işlemleri için, altı muhtemel giriş-çıkış portu düzenlenmiştir ve suyun debisi (5, 10 ve 15 *l/dak*) dikkate alınarak analiz edilmiştir. Tank içinde ısı tabakalaşma, dinamik mod süresince de gerçekleşmektedir. Yapılan deneyler sonunda Şekil 2. 6' de görülen i2-o1 giriş-çıkış bağlantı düzenlemesinin, incelenen durumlar arasında en iyi performansı sağlayan ve pratik kullanım için tavsiye edilen düzenleme olduğu sonucuna varılmıştır.

Jordan v.d. (2006), güneş enerjili evsel sıcak su sistemlerinde kullanılan iki farklı tip depolama tankının soğuk su girişinde, iki farklı tip akış engelleyici formunun etkisini incelemiştir. Bu araştırmanın amacı, piyasada yer alan iki depolama tankında ısı tabakalaşma üzerine soğuk su giriş cihazının etkisini ortaya çıkarmak, ayrıca küçük güneş enerjili ısıtma sistemin yıllık olası performansının değerlendirilmesidir. İki farklı giriş tasarımından birincisi, giriş borusunun üzerine yerleştirilmiş küçük bir kavisli plaka, ikincisi ise giriş borusunun üzerine yerleştirilmiş büyük bir düz plakadır. Soğuk suyun girişi, tankın alt dikey yöndedir. Sıcaklık ölçümleri farklı çalışma koşulları için gerçekleştirilmiştir. Bu iki tankın içindeki ısı tabakalaşmanın, akış hızına, su boşaltma (draw-off) ve depolama tankındaki başlangıç sıcaklığına da bağlı olduğu vurgulanmıştır. Sistem simülasyonlarının yapılması için, çok noktalı depolama modeli kullanılmış ve çalışma koşullarına göre karıştırma davranışını modellemek için değişken bir ek giriş geliştirilmiştir. Büyük düz plakalı giriş durumunun daha verimli bir model olduğu vurgulanmış, güneş ısıtma sisteminin yardımcı enerji kaynağında yaklaşık % 3 ila 7'lik (58-155 MJ/yıl) bir azalma sağlayacağı ifade edilmiştir. Sistemin yıllık teorik inceleme detaylarında, sıcak su depolamasında iyi bir soğuk su giriş tasarımının ısı tabakalaşmanın artmasına yol açtığı ve sistemin performans potansiyelinin arttığı görülmüştür. Deşarj işleminde karışma derecesi; akış hızının, giriş ve depolama sıcaklığının fonksiyonudur. Su girişi

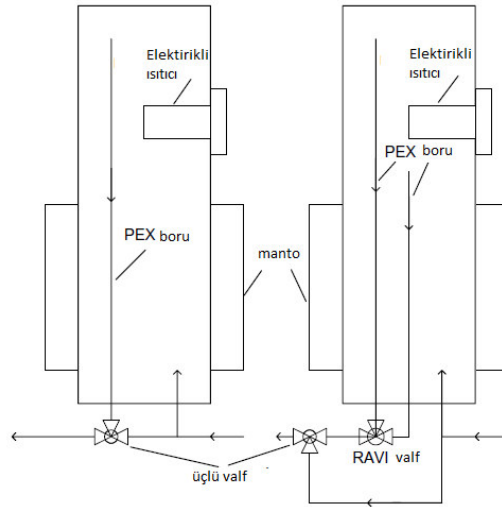
yüksekliği, debi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanmış ve su girişinden etkilenen tank seviyesi belirlenmiştir.

Arslan (2006), tarafından yapılan çalışmada, güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinde ısı enerjisi depolamak için kullanılan silindirik sıcak su depolama tankı içerisine dairesel engelleme plakasının f/H ve g/D oranlarında yerleştirilmesinin ısı tabakalaşma üzerine etkisi sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Şekil 2.7’ de görülen depolama tankının içerisine dairesel plaka yerleştirmek sureti ile tankın üst kısmındaki sıcak su ile alt kısmındaki soğuk suyun birbirleri ile karışması önlenerek, ısı tabakalaşmanın korunması sağlanmıştır. Çalışmada, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri üç boyutlu ve daimi olmayan akış kabulleri altında sayısal yöntemler ile çözülmüştür. Sayısal çalışmanın geçerliliği deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tank içerisindeki sıcaklık dağılımı, tanktan sağlanan kullanım suyunun sıcaklığı, kolektöre giden suyun sıcaklığı ve tank giriş-çıkışları arasındaki su sıcaklığı farkları; çeşitli g/D ve f/H oranlarında şekiller ve grafikler üzerinde zamana bağlı olarak gösterilmiştir. Sonuçlar, tank içerisine yerleştirilen dairesel plakanın ısı tabakalaşmayı iyileştirdiğini ve engelsiz tank durumuna göre, tanktan sağlanan kullanım suyu sıcaklığını artırdığını göstermektedir. En iyi ısı tabakalaşma, dairesel plakanın tank içerisine $g/D=0,2$ ve $f/H=0,133$ oranlarında yerleştirilmesi durumunda elde edilmiştir.



Şekil 2.7: Sıcak su tankının kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri (Arslan, 2006)

Simon v.d.(2005), tarafından yapılan çalışmada bir akıllı GEES tankının incelemesi sunulmuştur. Akıllı güneş tankının içindeki su, güneş toplayıcıları tarafından veya yardımcı bir enerji kaynağı kullanarak ısıtılabilir. Bu çalışmada elektrik ısıtma elemanı tankın üst tarafına takılarak su ısıtılmaktadır. Sıcak su talebinin fazla olduğu dönemlerde büyük hacimli tank, sıcak su talebinin az olduğu dönemlerde ise küçük hacimli tank kullanılır. Şekil 2.8 de görüldüğü ticari ve akıllı bir güneş tankı, laboratuvarında deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Elde edilen yıllık ısı performans sonucu, akıllı güneş tankının veriminin % 3 ila %5 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Performans-maliyet oranı bir yıl için hesaplandığında, akıllı güneş tankının ticari tanktan % 25 kadar daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca, akıllı güneş tanklarının az veya çok sıcak su tüketiminin olduğu durumlarda ve büyük tank hacmine sahip güneş enerjisi sistemlerinde kullanımı uygundur.

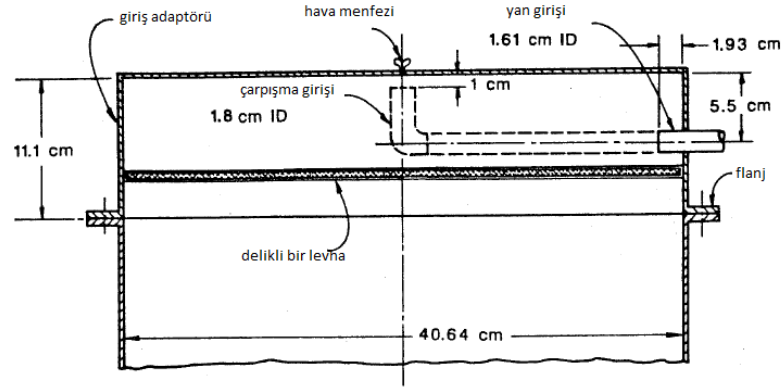


Şekil 2.8: İncelenen iki güneş deposunun şematik çizimi (Simon v.d.,2005)

Andersen v.d. (1999), yaptıkları bu çalışmalarında, depoda ısı tabakalaşma olması durumunda, depolama tankında deşarj işleminden kaynaklı %51'lik bir karışımın, güneşten kullanılan net enerjiden faydalanmada %23 azalmaya neden olabileceğini göstermişlerdir.

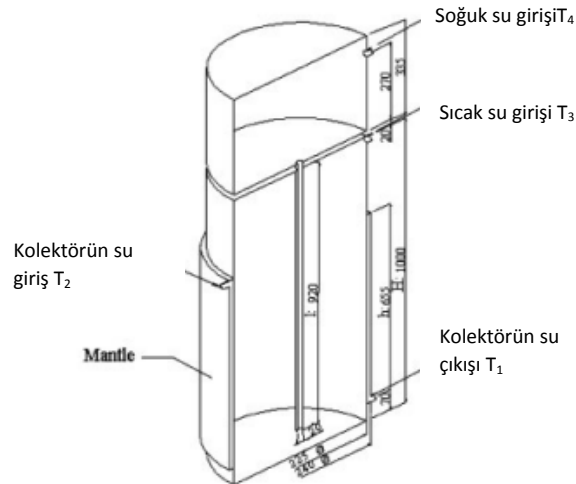
Zurigat v.d. (1990), tarafından yapılan çalışmada, yatay, silindirik bir ısı depoda farklı su giriş geometrilerinin ısı hat üzerine etkisi analitik ve deneysel

olarak araştırılmıştır Şekil 2.9. Isıl hatlı depolama tankında Richardson sayısı 3,6'dan küçük ise ısı tabakalaşma değerlendirilmesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur.



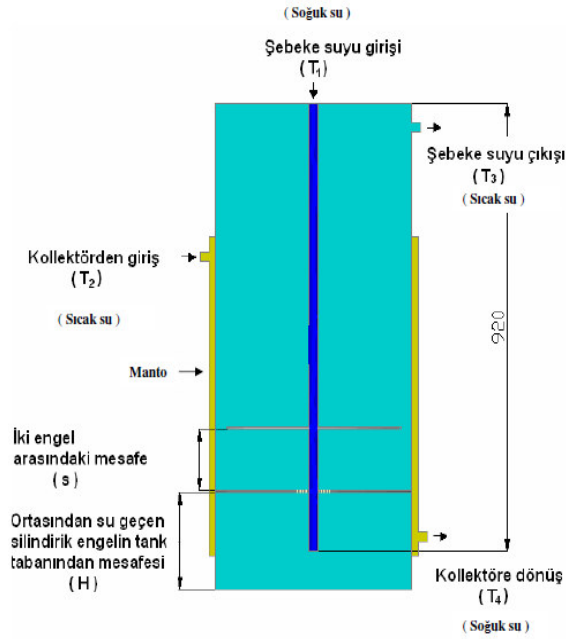
Şekil 2.9: incelenen giriş şematik (Zurigat v.d.,1991)

Altuntop v.d. (2006), yaptıkları çalışmada, 12 farklı su giriş hızı için mantolu sıcak su depolama tanklarındaki ısı tabakalaşmayı incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, mantolu sıcak su depolama tanklarında, su giriş hızı düşük olduğunda, sirkülasyon daha düşük olmakta ve bunun sonucu olarak da tanktaki suya transfer edilen ısı azalmaktadır. Ayrıca, mantodan tankın içerisine olan ısı geçişi, tankın üst kısmında alt kısmına göre daha yüksek olduğu ve mantodaki ısı geçiş katsayısının, sıcak su giriş hızının artmasıyla arttığı, fakat bu artışın lineer olmadığı belirtilmiştir.



Şekil 2.10: Depo modülü (Altuntop v.d.,2006)

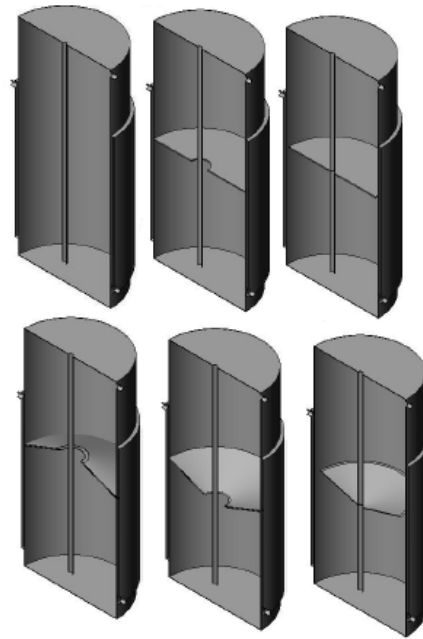
Pektemir (2011) yaptığı sayısal çalışmada, Mantolu sıcak su tankı içerisine farklı geometrik şartlarda yerleştirilen iki engelin, tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşmasını nasıl etkilediği nümerik olarak incelenmiştir. Şekil 2.11’ da görüldüğü üzere engel olarak sabit boyutlarda düz silindirik ve ortası delik silindirik engel tipleri seçilmiştir. Bunların tanka ve birbirlerine göre mesafeleri değiştirilerek yirmi farklı geometrik form için çözümlemeler yapılmıştır. Yaptığı nümerik çalışmada, en iyi sıcaklık tabakalaşmasının sağlandığı geometrik şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlerde iki engel yerleştirilerek, en iyi tabakalaşmanın, birinci engelin tank tabanına yakın olduğu ve birinci engel ile ikinci engel arasındaki mesafenin 100 mm civarında olduğu geometrik şartlarda gerçekleştiği sonucuna elde edilmiştir.



Şekil 2.11. Mantolu sıcak su depolama tankının kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri
(Pektemir,2011)

Tokgöz (2008), tarafından yapılan çalışmada, mantolu sıcak su tankında farklı engellerin, sıcaklık tabakalaşmasına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi farklı engeller, değişik h mesafelerine yerleştirilerek analiz edilmiş ve en iyi tabakalaşmanın olduğu h mesafesi belirlenmiştir. İki saat sonunda tank içinde oluşan sıcaklık dağılımı, kolektör dönüş sıcaklığı, kullanım suyu sıcaklığı ile soğuk su giriş sıcaklığı arasındaki farklar grafikler halinde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre engelli tank modellerindeki

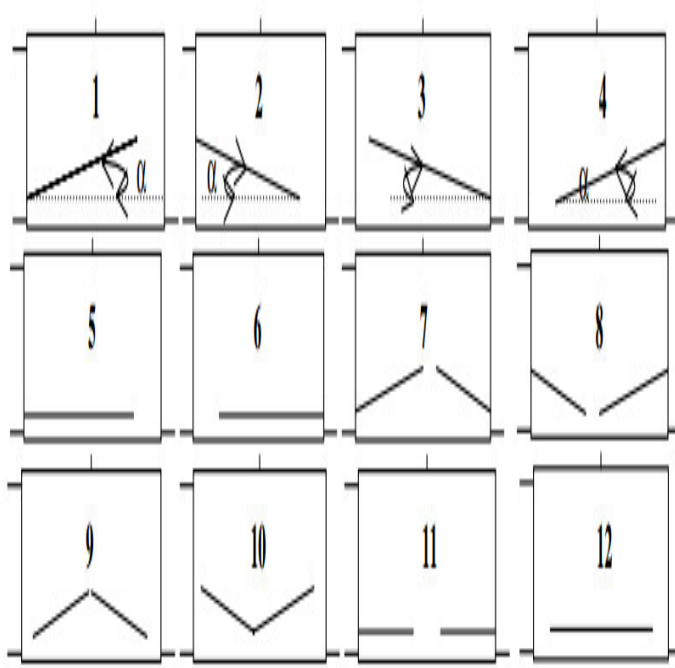
tabakalaşmanın engelsiz tank modeline göre daha iyi olduğu görülmüştür. Tank içerisine yerleştirilen engellerden dış konik engel ve dış silindir engel modellerinde, diğer modellere göre daha iyi sıcaklık tabakalaşması olduğu tespit edilmiştir. Engel konumunun tank tavanına yakın olmasının, sıcaklık tabakalaşmasına olumlu bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Yerleştirilecek engelin, tank ortası ile tank tabanı arasına yerleştirilmesinin daha iyi bir sıcaklık tabakalaşması oluşturduğu sonucuna varılmıştır.



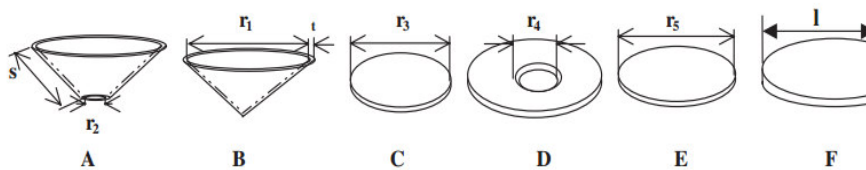
Şekil 2.12: İçerisine engel yerleştirilmiş tank modelleri (engelsiz, iç silindir, dış silindir, iç ters konik, iç konik ve dış konik). (Tokgöz ,2008)

Altuntop v.d.(2004), yaptıkları çalışmalarında, güneş enerjili ısıtma sistemlerinde kullanılan ve içerisinde zorlanmış taşınım ile ısı transferi gerçekleşen, silindirik sulu ısı enerji depolama tankı içerisine yerleştirilen farklı engellerin sıcaklık tabakalaşmasına etkisini nümerik olarak incelemişlerdir. Silindirik tankın içinde değişik geometrilere sahip çok sayıda engel konularak tankın alt ve üst tarafında bulunan sıcak ve soğuk akışkanların birbirine karışması engellenmiş, böylece sıcaklık tabakalaşmasının muhafaza edildiği en iyi engel tipi belirlenmeye çalışılmıştır. Engel tiplerine bağlı olarak zorlanmış taşınım da tank içerisin deki sıcaklık dağılımına etkisi gözlenmiştir. Tanktan alınan kullanım

suyunun, kolektöre giden ve kolektörden gelen su sıcaklıkları ile kullanım suyu sıcaklık farkları engel tiplerine göre grafik üzerinde gösterilmiştir. Engelli ve engelsiz tanklarda oluşturulan sıcaklık dağılımları karşılaştırılarak, kullanıma verilen su sıcaklığının en yüksek değere ulaşmasına çalışılmıştır. Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’te yapılan çalışmalar sonucunda 11 no lu engelin en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağladığı görülmüştür.



Şekil 2.13: Kullanılan engelleyici tipleri ve depoda montajı (Altıntop v.d.,2004)



Şekil 2.14: Engelleyici geometrileri (Altıntop v.d.,2004)

Altıntop v.d.(2005), yaptıkları çalışmalarında sıcak su tanklarındaki tabakalaşmanın giriş debisi ile ilişkisini incelemiştir. Çalışmalarında güneş enerjili ısıtma sistemlerinde kullanılan ve içerisinde ısı transferi gerçekleşen, silindirik sulu ısıtma tankı içerisine giren sıcak su debisinin

değiştirilmesinin sıcaklık tabakalaşmasına etkisi nümerik olarak incelemişlerdir. Silindirik tankın içerisine farklı oranlarda ortası delik tek tip silindirik engel konularak tank modeli oluşturulmuştur. Konulan bu silindirik engel, tankın alt ve üst tarafında bulunan sıcak ve soğuk akışkanların, birbirine karışmasını engelleyerek, sıcaklık tabakalaşmasının muhafaza edilmesini sağlamaktadır. Engelli ve engelsiz tanklarda oluşturulan sıcaklık dağılımları karşılaştırılarak kullanıma verilen su sıcaklığının en yüksek değerine ulaşmaya çalışmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kullanım su hızı $V_k = 0,8$ m/s değerinde en iyi sıcaklık tabakalaşmasının sağlandığı görülmüştür.

Murthy v.d.(1992), yaptıkları çalışmada insanoğlunun artan enerji ihtiyacını karşılamak üzere alternatif enerji kaynakları bulunması için artan isteğin, güneş enerjisi konusunda kapsamlı araştırmalara yol açtığını vurgulamışlardır. Ayrıca güneş ışınımının süreksiz olması nedeniyle, güneş enerjisi ile çalışan cihazların enerji depolayıcı alt sistemlere ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir. Çeşitli materyallerden oluşan ve farklı duvar kalınlıklarına sahip depolama tankı modelleri ile yaptıkları çalışmada, bu parametrelerin ısı tabakalaşmaya etkileri üzerine deneysel araştırmalar yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, yüksek termal rezistansa sahip duvarları olan tanklar için, ısı hattı düşüşünün daha yavaş olduğunu göstermektedir.

Hariharan ve Badrinarayana (1991), yaptıkları çalışmada sıcak su tankları üzerindeki sıcaklık tabakalaşmasını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalıştıkları parametreler soğuk su sıcaklığı (30- 80 °C), sıcak su sıcaklığı (40-90 °C), giriş debi (6-601/h) ve L/D oranlarının (1.56, 2.06, 3.54, 4.0) sistem üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, su debisinin azaltılması sonucu oluşan sıcaklık farkının artması ile tabakalaşmanın iyileştiğini ve su depolama tankının optimum boy-çap oranının 3-4 arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Consul v.d. (2004) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı üç boyutlu HAD simülasyon kullanımının olanağını göstermektir. Bu amaçla bir grup birleşmiş bilgisayar kullanmıştır (Beowulf clusters). Yapılan çalışmada, prototip ısı depolama tanklarında üç boyutlu HAD simülasyonu kullanılmış ve basınç temelli çözüm modeli (Pressure based SIMPLE) kullanılarak, sıcaklık tabakalaşması

analiz edilmiştir. Bu çalışmada, termosifon etkili güneşli ısıtma sistemindeki depolama tankında oluşan zamana bağlı ısı davranışların sayısal simülasyonu yapılmıştır. Deşarj işlemi sırasında tanka giren kütleli debi miktarının tabakalaşma derecesi üzerine etkisi de gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, üzerinde çalışılan matematik model içerisindeki değişiklikler, çözümlerin sınıflandırılması ve tabakalaşma seviyesinin araştırılması açısından dikkatle ele alınmıştır. Gerçek çözüme yaklaşmak için, üzerinde çalışılan sayısal metot ve modellerin beraberinde getirdiği sınırlama ve kısıtlamalara da bu çalışmada değinilmiştir.

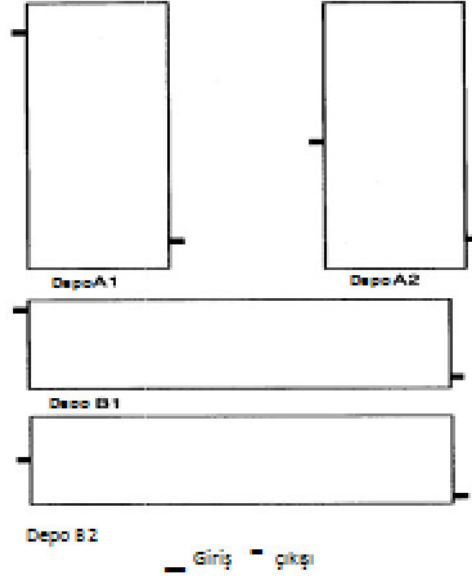
Kilik (2004), tarafından yapılan çalışmada, dıştan mantolu düşey sıcak su tanklarındaki sıcaklık tabakalaşması sayısal olarak incelenmiştir. Yüksek derecede sıcaklık tabakalaşması elde edilmesi için, tanka giren şebeke suyunun giriş hızı, mantoya giren kolektör suyunun giriş hızı ve manto yeri değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında şebeke suyunun hızı arttıkça tank içindeki akışkanın hareketi artmış, böylece tabakalaşmış bölgelerin sıcaklığının düştüğü görülmüştür. Mantoya giren kolektör suyunun hızı düştükçe, mantodan tanka geçen ısı miktarı düşük olduğu için, tank içindeki sıcaklık dağılımının düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca manto yukarı doğru kaldırıldıkça, tankın alt kısımlarında daha soğuk sıcaklık tabakalaşması olduğu ve tank içindeki yüksek sıcaklık tabakalaşmasının düştüğü belirtilmiştir.

Hollands ve Lightstone (1989), yaptıkları çalışmada güneş enerjili ısıtma sistemlerindeki düşük hızların tank içerisindeki sıcaklık tabakalaşması üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Zorlanmış akışta enerjiyi kademeli olarak artırarak ölçümler yapmışlardır. Alınan ölçümler sonucunda düşük debili kolektör kullanılmasının hem ısı tabakalaşma hem de maliyet açısından daha uygun olduğu kanaatine varmışlardır. Ayrıca, bir güneş enerjisi sisteminde mükemmel tabakalaşmış bir su tankının tamamen karışık bir tanktan %38 oranında daha fazla ısı üreteceğini bildirmişlerdir.

Issa ve AL-Nimr (1989), yaptıkları çalışmada güneş kolektörün sıcak su depolama tankındaki sıcaklık alanı sayısal ve deneysel olarak aratırlarmış. Zamana bağlı iki boyutlu model kullanmışlardır. Eksenel yönde olan iletim ve taşınım ile radyal yöndeki iletim terimleri, eksenel iletim ve taşınım difüzyon ile

olan ısı transferi miktarlarına oranla oldukça düşük oldukları için, ihmal edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, deneysel ve teorik sonuçlar arasında uyum olduğu görülmüştür. Silindirik bir depolama tankının eksenel yönünde sıcaklık profilleri, özellikle yüksek akış hızları ve depolama tankının giriş-çıkışında düşük sıcaklık farkları için doğrusal olduğu varsayılabilir

Eames ve Norton (1998), tarafından yapılan çalışmada düşük Reynolds sayılarında tank geometrisinin tabakalaşma üzerine etkisini incelemişlerdir. Farklı giriş ve çıkış sıcaklıklarında deneyler yapılarak görüntüler almaya çalışılmış ve 32 farklı deneyden alınan ölçümler sonucunda akışkan giriş ve çıkış etkilerini parametrik olarak ortaya koyulmuştur (şekil 2.15).

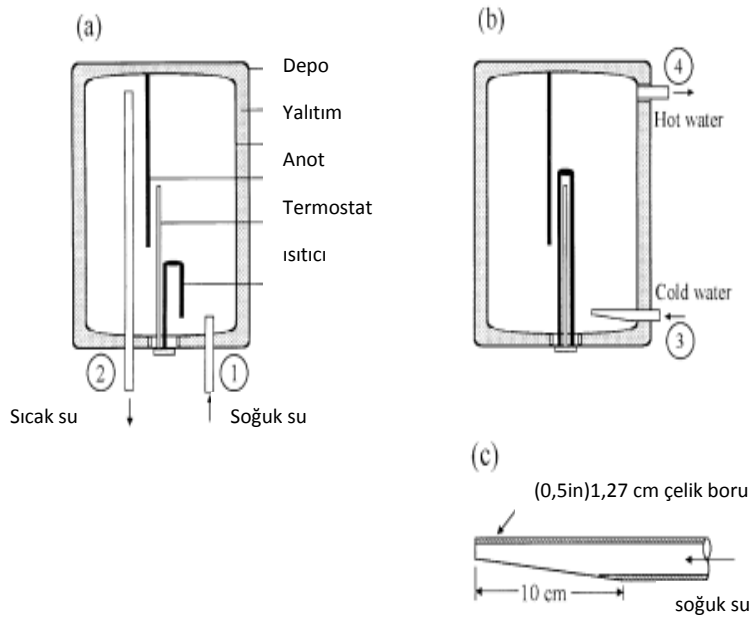


Şekil 2.15: Sıcak su depolama tankının boy oranı ve giriş çıkış yeri kesit görünüşü (Eames ve Norton,1998)

Hegazy ve Diab (2002), çalışmalarında elektrikli su ısıtıcılı sıcak su depolama ünitesi olarak incelenmiştir. Geliştirilen depolama tankının, tasarım performansını enerjinin korunumunu dikkate alarak deneysel olarak araştırmışlardır (Şekil 2.16). Geliştirilen bu tasarım için elde edilen sonuçlar, aynı debi değerleri ve aynı tank ölçüsünde kullanılan alışlagelmiş depolama tankı ile karşılaştırılmıştır. Her iki depolama tankı için yapılan karşılaştırma işlemi benzerlik oranı 1 ve 2 durumunda da ele alınmıştır. Geliştirilen bu sistem, 5 ve 10

L/dak değerlerinde iki giriş kütleli debi durumunda ve ısıtıcı gücü farklı üç ayrı ısıtıcı kullanılarak teste tabi tutulmuştur.

Yukarıdaki şartlarda elde edilen sonuçlara göre, depolama tankı içinde daha iyi tabakalaşmanın olması için, tanktan temin edilen kullanım suyu alma zamanının daha kısa tutulması gerektiği vurgulanmıştır. Çünkü tanktan ilk alınan kullanım suyu sıcaklığı yüksek olmakta, zaman ilerledikçe bu su sıcaklığı düşmektedir. Sıcaklık tabakalaşmasının korunması için ve sıcak kullanım suyu elde etmek için, kullanım suyu debisinin azaltılmasının ve benzerlik oranının değiştirilmesin yani tankın yüksekliğinin artırılmasının gerekliliğine de dikkat çekilmiştir.



Şekil 2.16: Yerel elektrikli sıcak su depolama tankı a) klasik tasarım b) modifiye edilen c) gelişmiş bir tasarım giriş difüzör (Hegazy ve Diab,2002)

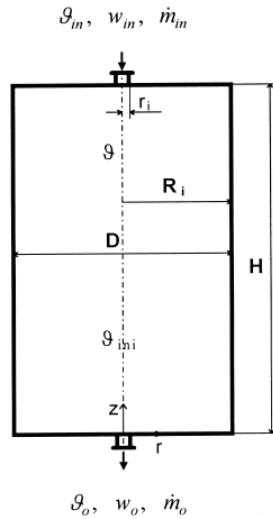
Shyu ve Fang (1989), tabakalaşmış depolama tanklarının ısı analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Tabakalaşmış depolama tanklarında tabakalaşmanın yok olmasını deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Tank duvarlarının kalınlığı ve ısı yalıtımının tabakalaşma üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Tabakalaşmayı yok eden tank duvarındaki eksenel ısı iletimini azaltan yalıtımın etkisi deneysel sonuçlarda da görülmektedir. Yalıtımsız tanka göre yalıtımı yapılmış tanktaki eksenel ısı iletiminin azaltılması, tanktaki sıcaklık tabakalaşmasını artırmıştır. Yalıtım kalınlığı ile duvar kalınlığı miktarları, eksenel ısı iletimi artışı ile

hassasiyet içerir. Fakat tanımlanmamış duvar kalınlığı için eksenel ısı iletimindeki artış, yalıtım kalınlığına tam bağımlı değildir. Tankın içine yalıtım yapılması tabakalaşmanın korunması için faydalı görülmüştür. İki boyutlu tank modeli, depolama tankı içinde sıcaklık ve akış alanı oluşturmak için geliştirilmiştir. Bunun yanında nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması da yapılmıştır.

Chan v.d. (1983) ısı depolama tankında zamana bağımlı karışık taşınım akısı üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Zamana bağımlı iki boyutlu karışık taşınım akışlarını, geliştirdikleri sayısal teknikleri kullanılarak çözmüşlerdir. Momentum eşitlikleri, Boussinesq yaklaşımı kullanılarak doğal ve zorlanmış taşınım akısı için düzenlenmiştir. Zorlanmış taşınım akısı, giriş ve çıkış sınır şartları yardımı ile çözülmüş ve daha anlaşılır hale getirilmiştir. Zamana bağımlı ısı transferi ve akış karakteristikleri değişik sınır şartlarında çalışılmıştır. Zamana bağlı olarak hız ve sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Akışkanın giriş ve çıkış konfigürasyonlarının depolama tankının ısı performansını üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Aynı anda hem boşaltmanın hem de doldurmanın olduğu durumda, tankta daha hızlı ısı depolama gerçekleştirilmiştir. Akışkanın tanka giriş ve çıkış yönlerinin yatay ve dikey olmasının tankın ısı depolama verimi üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

Davidson ve Miller (1994), güneşli su depolama tanklarında karışım seviyesini karakterize eden bir boyutsuz katsayı geliştirmişlerdir. MIX sayısı enerji momentine ve yüksek enerji kapasitesine bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişim göstermektedir. Burada 0 değeri tanktaki mükemmel tabakalaşmayı, 1 değeri ise tanktaki akışkanın tamamen karışım durumunda olduğunu göstermektedir. Sırası ile tam karışım tank ile tam tabakalaşmanın olduğu tanktaki enerji momentumunun minimum ve maksimum değerlerinin teorik tayininde, MIX değerleri önem taşımaktadır. Yeni MIX sayısının kullanımı, hem alışılagelmiş giriş tüpü hem de gözenekli tabakalaşma manifoldu olan 372 litre hacmindeki depolama tankından elde edilen deneysel veriler ile gösterilmiştir. Tanktaki başlangıç sıcaklık profili, suyun tanka giriş sıcaklığı ve test süresi üç ayrı test şemasında değiştirilmiştir. Tanktaki akışkanın karışım derecesi, boyutsuz MIX sayısı ve tanktaki akışkanın dikey konumlarda ölçülen sıcaklık profilleri vasıtası ile belirlenmiştir.

Hahne ve Chen (1998), sıcak su depolarında akışkan ve ısı transferi karakteristikleri üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarını depolama işlemi sırasında adyabatik ısıl sınır koşullarında yapmışlardır. Bu çalışmada depolama verimini, ısıl tabakayı elde etmek için kullanmışlardır. Depolama sırasında ki dolma akış hızları ve dolma verimliliği üzerine etki eden d/D ve H/D oranları değiştirilerek, depoda değişik sıcaklık tabakalaşması sağlanmıştır Şekil 2.17. Sonuçlar, değişen Richardson ve Peclet sayılarına bağlı olarak dolma verimliliğine açıklamışlar. Peclet sayısı ise, dolma verimi üzerine etki eden dolma hızı ve dolma sıcaklığı farklarının birleşik etkilerini tanımlar. Eğer Richardson sayısı 0,25'den büyük ise dolma verimi 0,97'nin üzerindedir. Verilen bir Richardson sayısında Peclet sayısındaki artış daha yüksek dolma verimliliğine neden olur. H/D oranı 4'den az olduğu değerler için H/D oranı artışı mümkün olduğunca dolma verimliliğini iyileştirir. Fourier sayısının dolma verimliliği üzerindeki etkisi göreceli olarak küçüktür. Sonuçlar, boyutlu ve boyutsuz formlarda verilmiştir. Sayısal sonuçlardaki düzeltmeler efektif sıcak su depolama dizaynı için yapılmıştır.



Şekil 2.17: İncelenen sıcak su deposunun şematik gösterilişi (Hahne ve Chen, 1998)

Jesch ve Braun (1984), su ısıtıcı performansının iyileştirilmesi için değişik depolama hacmi ve depolamadaki tabakalaşma üzerine çalışmışlardır. Alışlagelmiş güneşli su ısıtma sistemlerinde sabit depolama hacmi ve kolektörlere gönderilen yüksek dolaşım debileri, toplam kolektör veriminin

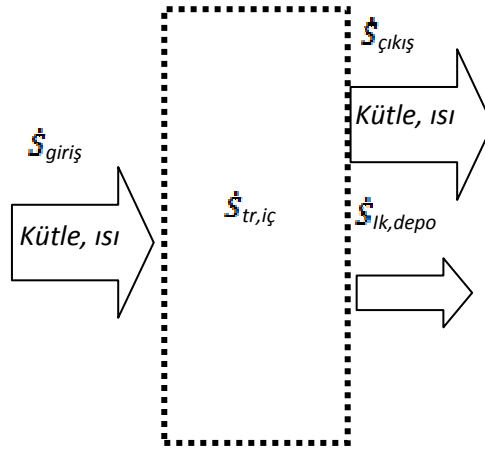
yüksek olduğu durumlarda uygulanmıştır. Sistem üzerinde yapılan çalışma, tahmini iyileşmeyi sağlayan simülasyon çalışmalarını ve sistemin nasıl çalışacağını izah etmektedir.

Kleinbach v.d.(1993), ısı depolama tanklarındaki tabakalaşma için bir boyutlu modellerin performansının belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Bölgesel güneşli su ısıtma sistemlerinde su ısıtmak için, ısı depolama tanklarındaki sıcaklık dağılımını oluşturulmasında iki temel yaklaşımdan yararlanılmışlardır. Çok noktalı yaklaşımda, tankın kontrol hacmi N tane noktaya bölünmüştür ve her bir nokta için enerji eşitliği yazılmıştır. Zamanın fonksiyonu olarak noktaların sıcaklıkları, N tane enerji eşitliği çözülerek bulunmuştur. Plug akısı yaklaşımında ise, değişik hız ve sıcaklıktaki akışkan parçacıklarının tanka doğru hareket ettikleri düşünülmüştür. Akışkan parçacığının simülasyonu, akış debisi ve zaman göz önüne alınarak yapılmıştır. Isı kaynağından tanka giren akışkanın sıcaklığı tankın üst kısmındaki akışkandan düşük olduğu zaman, tankın içindeki akışkanda sıcaklığın dalgalı yayılımı söz konusu olduğundan tanktaki tabakalaşmanın bozulması da hesaba katılarak çalışmaya devam edilmiştir. Akışkanın dalgalı yayılımı, hem Plug akısı hem de çok noktalı akış modeli içinde incelenmiştir. Çok noktalı ve Plug akısı yaklaşımının birlikte çalışılması TRNSYS programında mevcuttur. TRNSYS tank modellerinin performansı üzerindeki araştırmalar iki farklı deneysel kaynaktan elde edilen deneysel veriler ile yapılmıştır. Farklı kaynaklardan elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırılan modellerin doğruluğunu garanti etmek için üç tane performans sayısı tanımlanmıştır. Bu şartlar altında kullanılması gereken tank modeli için de tavsiyelerde bulunulmuştur.

Mo ve Miyatake (1996), sıcak su depolama tanklarında oluşan türbülans akışlı ısı tabakalaşma üzerine sayısal çalışma yapmışlardır. Çalışma sıcak akışkan ile soğuk akışkanın yer değiştirmesi ile oluşan türbülans akış alanının tank da ki ısı tabakalaşmaya etkisini içerir. Türbülans akış alanını QUICKEST metodu ile çözmek için iki boyutlu enerji eşitlikleri kullanılmıştır. Enerji eşitliklerinin çözümünde kullanılan “Quickest” ve “Upwind” metotlarının zamana bağlı akış ve sıcaklık alanlarının üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Deneysel sonuçlar ile

birlikte sunulan sayısal yaklaşım sonuçlarının karşılaştırılması ısı depolama tanklarındaki ısı tabakalaşma karakteristiklerinin tayinini sağlamıştır.

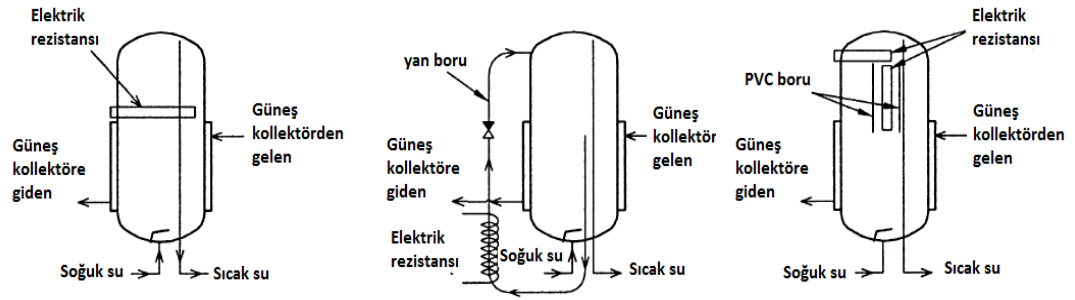
Haller v.d. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada ısı enerji deposunun tabakalaşma verim hesabı için termodinamiğin ikinci yasasına dayanan yeni bir yöntem bulunmuştur. Isı kaybı etkisi deneysel ve teorik olarak ortaya konmuştur. Buna göre, teorik olarak, tabakalaşma verimin entropiye veya ekserjiye bağlı olarak hesaplanması, bir fark oluşturmamaktadır. Pratikte ekserji dengesi, hesap belirsizliklerinden daha az etkilenir. Ayrıca entropi dengesi kullanımı da tavsiye edilmemektedir. Bu çalışmada şarj-deşarj ve bekleme işlemlerini içeren deney sonuçlarından elde edilmiş olan tabakalaşma verimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 2.18). Bu da direk olarak şarj vedeşarj edilen bir depolama tankının karışma davranışları hakkında anlamlı fikirler vermektedir. Yeni yöntem, ısı enerji depolarının ve depo bileşenlerinin tabakalaşma verimlerinin karşılaştırılması konusunda büyük bir potansiyele sahiptir.



Şekil 2.18 :Genel bir sistem için entropi geçişi mekanizması (Haller v.d.,2009)

Shah (2005), bir güneş enerjisi depolama tankının içine giren su jetlerinin teorik ve deneysel analizini yapılmışlardır. Farklı giriş debileri ile üç giriş tasarımı, HAD kullanılarak, güneş enerjisi depolama tankındaki ısı şartların davranışını göstermek için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar giriş tasarımının akış yapısı üzerindeki etkisini ve bir sıcak su tankı içindeki enerji kalitesinin düşük giriş tasarımı ile azaldığını göstermiştir. Sayısal incelemelerin

ardından deneyler yapılmıştır. Üç giriş tasarımı ile farklı giriş debileri için dokuz çekiş test yapılmıştır. Ayrıca deney işlemleri sırasında tankın deşarj sırasındaki sıcaklık tabakalaşması ölçülmüştür. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını kullanarak deney sonuçları analiz edilmiştir. Sonuçlar, deşarj sırasındaki Richardson sayısının, deşarj hacmi ve tankın başlangıç sıcaklığının, entropi ve ekserji değişimlerine nasıl etki ettiğini göstermiştir Şekil 2.19.

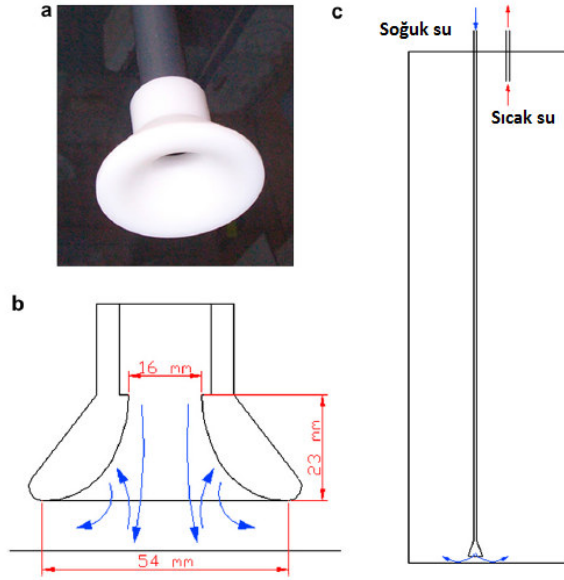


Şekil 2.19: İncelenen üç sıcak su deposunun şematik sol: ticari depo orta ve merkezde: akıllı depo (Shah, 2005)

Ghaddar (1994), bu çalışmada, güneş enerjisini kullanan sistemlerin çoğunda kullanılan tam tabakalı su tankı ve tam karışık su tankı arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Tabakalaşma yöntemi kullanarak enerji depolama verimliliği ve tüm sistem verimliliğinin % 6 ila % 20 kadar artırılabilir olduğunu bulmuştur. Ortalama net enerji ve ekserji verimi mevsimsel ısı enerji depolamada %60 artırılabilir. Ayrıca diğer temel sebepler güneş enerjisini kullanan sıcak su sistemlerinde incelenmiştir.

Castell v.d. (2010) yaptıkları bu çalışmada su deposunda tabakalaşma olması durumunda güneş kolektörü sisteminin ve ısı enerji depolama verimliliğinin artacağını belirtmişlerdir. Tabakalaşmayı tanımlamak için birçok parametre vardır ancak yapılan hiçbir çalışmada bu parametrelerin uygunluğu karşılaştırılmamıştır. Bu çalışmada tabakalaşmanın tanımlanması ve uygunluğu için en çok kullanılan boyutsuz sayılar belirlenmiştir. Farklı akış oranları ile yapılan deneyler için boyutsuz sayılar belirlenmiştir. Deneyler sonucunda sıcak su

depolamada tabakalaşmayı tanımlamak amacıyla Richardson sayısının en uygun boyutsuz sayı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca karışma sayısı bazı sorunları ve kötü davranışları ortaya koyar. Tabakalaşma tanımlamasında diğer boyutsuz sayılar ancak Richardson sayısı ile birlikte kullanılırsa bir anlam ifade ederler.



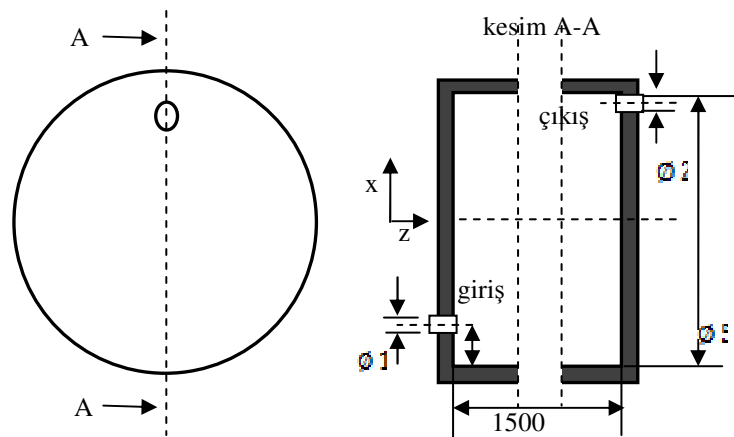
Şekil 2.20: a) tabakalaşma yaban b) tabakalaşma için tasarım ve çalışma prensibi

Rosen (2001) bu çalışmada ısı tabakalaşma içeren ısı enerji depolama sistemlerinin enerji ve ekserji analizleri performansında ortaya çıkan anlayışları ve faydaları ile birlikte açıklamıştır. Enerji, ekserji içeriklerinin değerlendirilmesini kolaylaştırmak için ısı tabakalı ısı enerji depolama için altı sıcaklık-dağıtım modeli (lineer, adımli, sürekli-lineer, genel-lineer, temel üç-bölge ve genel üç-bölge) dikkate alınmıştır, gerçekçi dikey sıcaklık tabakalaşma dağıtımını bazı yaklaşım modellerlerine göre çizilmiş ve gösterilen sürekli lineer dağılımı genel bir üç bölge dağıtımına eşittir. Gösterilen sıcaklık dağıtım modelleri kullanılarak ısı tabakalaşmanın ısı enerji depolama verimini nasıl iyileştirdiği (ısı enerji depolama tankın verimi artmasına gelir) ve ısı tabakalaşmanın tankın ekserji depolama kapasitesini nasıl arttırdığı gösterilmiştir. Sonuçta, tasarımları geliştirmek ve optimize etmekte yardımcı olabilecek ekserji analizleri gösterilmiştir. Ekserji analizleri ısı enerji depolama sistemleri üzerinde

aydınlatıcı ve anlamlı değerlendirmelere ve bu sistemlerin karşılaştırmalarını yapmaya olanak sağlamaktadır.

Rajagopal v.d. (1996), belirlenen bu çözüm alanı için sıcaklık tabakalaşması çözümlerinde kullanılan süreklilik, momentum ve enerji denklemleri laminar akış durumu için oluşturulmuştur. Oluşturulan denklemlerin çözümlerinde çözümü kolaylaştırmak için bazı yaklaşımlardan faydalanılmıştır. Bunlardan biri de Boussinesq yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda kütle kuvvetindeki yoğunluk değişimi hariç diğer bütün akışkan transport özellikleri sabit kabul edilir.

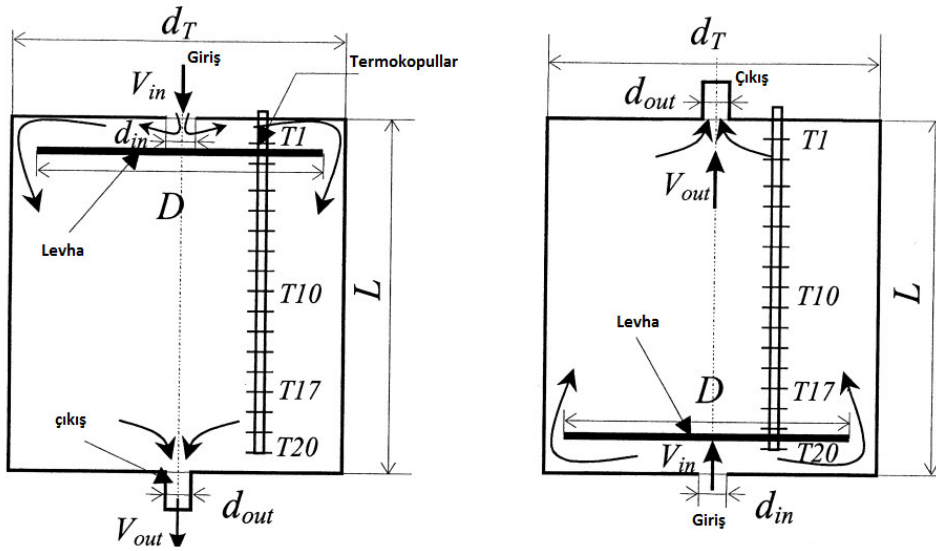
Cònsul v.d (2004), bu çalışmalarında bir grup birleşmiş bilgisayar kullanarak üç boyutlu HAD simülasyon kullanımının olanağını göstermişlerdir (Beowulf clusters). Yapılan çalışmada, prototip ısı depolama tanklarında üç boyutlu HAD simülasyonu kullanılmış ve basınç temelli çözüm modeli (Pressure based SIMPLE) kullanılarak sıcaklık tabakalaşması analiz edilmiştir. Bu çalışmada termosifon etkili güneşli ısıtma sistemindeki depolama tankında oluşan zamana bağlı ısı davranışların sayısal simülasyonu yapılmıştır. Deşarj işlemi sırasında tanka giren kütleli debi miktarının tabakalaşma derecesi üzerine etkisi de gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada üzerinde çalışılan matematik model içerisindeki değişiklikler, çözümlerin sınıflandırılması ve tabakalaşma seviyesinin araştırılması dikkatle incelenerek ele alınmıştır. Gerçek çözüme yaklaşmak için üzerinde çalışılan sayısal metot ve modellerin beraberinde getirdiği sınırlama ve kısıtlamalara da bu çalışmada değinilmiştir. Şekil 2.21



Şekil2.21: Depolama tankın şematiki (Cònsul v.d, 2004)

Shah (2000) tarafından yapılan bu çalışmada dikey, mantolu, üstten giriş ve alttan çıkışlı ısı değiştiricileri için iki yeni ısı transferi korelasyonu geliştirmiştir. Bu korelasyonlar dikey ve mantolu tankların HAD ile modellenmesi bulgularına dayalıdır.

Zachár v.d. (2003) bu çalışmalarında Şekil 2.22 görüldüğü gibi depolama tanklarının girişine yerleştirilen akış engelleyici plakaların boyutunun ısı tabakalaşmayı arttırmaya yönelik etkisini değerlendirmişlerdir. Üstten ve alttan giriş koşullarında, hız ve sıcaklık alanları, Fluent ticari yazılımı ile nümerik olarak bulunmuş ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.22: Depo şematik (Zachár v.d. ,2003)

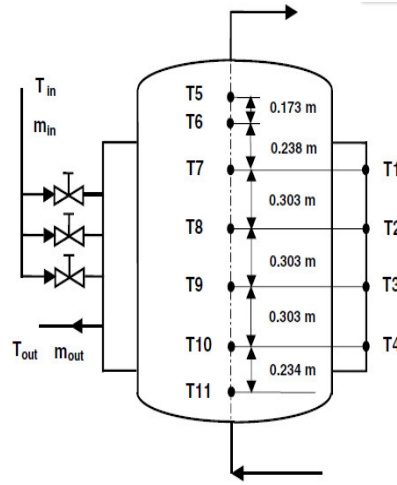
Yoo v.d (1998) depolama tankında değişken giriş sıcaklıklarıyla oluşan ısı tabakalaşma üzerine analitik çözümler yapmışlardır. Bu çalışmada süper pozisyon prensibi kullanılarak plug akış bölgesindeki sıcaklık profilleri başarılı bir şekilde formüle edilmiştir.

Geczy v.d.(2010) bu çalışmada Güneş sistemlerinde kullanılan bir ısı enerji deposundaki tabaka sıcaklıklarının modellenmesi için bir model geliştirmişlerdir (YSA, yapay sinir ağı). Bu modelleme yerel sıcak su sistemin ölçülmüş değerlerine dayanarak yapılmıştır. 8 eşit parçaya bölünmüş tankın içindeki dikey yöndeki sıcaklık dağılımı, 5 dakikalık ortalama depolama tankı sıcaklığı, çevre sıcaklığı, güneş radyasyonu, kolektörün devre debisi, tabakaların

sıcaklığı ve yük sıcaklığı verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Tanıtılan YSA modeli, yükleme süreleri ve yükler arasındaki dönemlerini açıklayan iki bölümden oluşmaktadır. Tanımlanan model çalışma süresi boyunca kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Ortalama sapma değeri çalışma boyunca 0,22 °C, doğrulama boyunca da 0,24 °C olarak bulunmuştur. Uygun ısı tabaklaşma elde edilmesi sıcak su depolamasında önemlidir ve uygun tabakalaşma sayesinde güneş enerji sistemi iyi bir verime sahip olur. Tabakalı ısı depolama tankında üst kısmın su sıcaklığı bir tüm karışma depolama tankından daha yüksektir.

Jordan v.d. (2005) bu çalışmada farklı soğuk su giriş cihazlarına sahip olan evsel güneş sıcak su sistemlerinin depolama tanklarını karşılaştırmışlardır. Bu araştırmanın amacı pazarda yer alan iki depolama tankında ısı tabakalaşma üzerine soğuk su giriş cihazının etkisini ortaya çıkarmak ayrıca küçük güneş ısıtma sistemin yıllık olası performansını değerlendirmektir. İki farklı giriş tasarımı karşılaştırıldığında, birincisi giriş borusunun üzerine yerleştirilmiş küçük bir kavisli plakaya bağlanmış, ikincisi ise giriş borusunun üzerine yerleştirilmiş büyük bir düz plakaya bağlanmıştır. Soğuk suyun girişi, tankın alt dikey yönündedir. Sıcaklık ölçümleri farklı çalışma koşulları için gerçekleştirilmiştir. Bu iki tankın içindeki ısı tabakalaşma akış hızına, su çekme birimi ve aynı zamanda depolama tankındaki başlangıç sıcaklığına da bağlıdır. Sistem simülasyonlarının yapılması için, çok noktalı depolama modeli kullanılmış ve çalışma koşullarına göre karıştırma davranışını modellemek için değişken bir ek giriş geliştirilmiştir. Büyük plakalı olan girişin daha az olumlu bir tasarım olduğu görülmüştür. Çünkü deney sonuçlarına göre yaklaşık 1-3 % puan ile güneş fraksiyonu (kırılma) artıyor, yıllık güneş sistemi simülasyonu güneş fraksiyonu yaklaşık 60 % ve oldukça geniş sıcak su debisi. Bu da, incelenen evsel sıcak su sistemi için güneş ısıtma sisteminin yardımcı enerji kaynağında yaklaşık 3-7%'lik (58-155 MJ/yıl) bir azalmaya karşılık gelmektedir. Sistemin yıllık teorik inceleme detaylarında, sıcak su depolamasında iyi bir soğuk su giriş tasarımının ısı tabakalaşmanın artmasına yol açtığı ve sistemin performans potansiyelinin arttığı görülmüştür. Deşarj işleminde karışma derecesi; akış hızının, giriş ve depolama sıcaklığının fonksiyonudur. Su giriş yüksekliği, debi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanmış ve su giriş tarafından etkilenen tank seviyesi belirlenmiştir.

Lana (2007), yaptıkları çalışmada evsel sıcak su sisteminin mantolu sıcak su deposunun simülasyonu ve optimizasyonunun uzun süreli (örn. 1 yıl) dinamik simülasyon gerektirdiğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda, böyle bir mantolu tank için bölgesel yaklaşım kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Bölgelerin boyutları fiziksel değerlendirmelere göre belirlenmiştir. Mantolu ısı değiştiricideki su akışını modellemek için bir karışım katsayısı tanımlanmıştır. Modelin ve deneylerin sıcaklık dağılımları karşılaştırıldığında mantolu ısı değiştiriciye giren su akışının üç konumu için %7'lik bir fark olduğu görülmektedir. (Şekil 2.23)

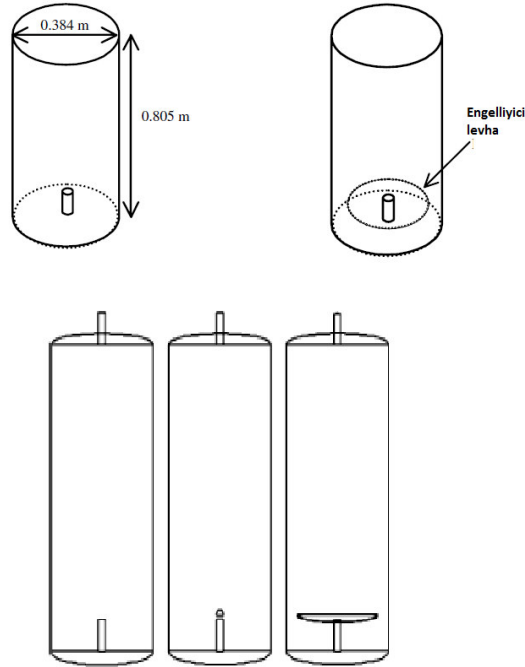


Şekil2.23: Mantolu sıcak su depolama tankının kesit görünüşü ve termokopie yerleri (Lana,1995)

Abdoly (1981) tarafından yapılan çalışmada tabakalaşmış depo içinde ısı düşüşü, iletim modeline göre teorik olarak hesaplanmıştır. Bu durum karışım, girdap akımları ve düşüşe yol açan diğer mekanizmaları ihmal ettiği için bir tabakalaşmış ısı hatlı depolama tankının performansı için bir üst limit oluşturmaktadır. Hesaplama her boyut, sıcaklık ve yalıtım seçimi için yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; izolasyondan havaya taşınım ile olan ısı transferi ısı hat boyunca iletimle olan ısı transferinden daha büyük ısı kaybına yol açmaktadır. Bu çalışmada statik ve dinamik modda deneyler gerçekleştirilmiştir. Statik modda yapılan deneyler sabit bir ısı hat elde edilmiş ve ısı hatının üstünde ve altında belli aralıklarla sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Isıl hattın oluşması sırasında bir miktar karışma meydana çıkmış, bu da hesaplamalarda yer almayan bir genişlemeye yol açmıştır. Bunun dışında, ısı hatının yayılmasının iletim modeli ile tahmin edilmiş olandan çok az miktarda farklı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, daha ince duvarlara sahip bir

tankın kullanılmış olması durumunda, deneyler ve teorik hesaplamalar arasında uyum olacağı belirtilmiştir. Dinamik deneyler hem aşağı hem de yukarı yönde hareket eden bir ısıl hat ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar başlangıçtaki ısıl hattın 0,2 ft/dak'nın altındaki doğrusal hızlarda mükemmel bir şekilde korunduğunu göstermiştir.

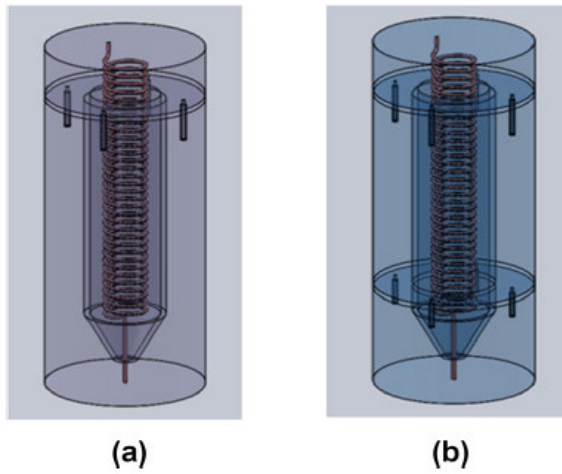
Louise (2003) yaptığı çalışmada, bir güneş depolama tankına giren su jetlerinin ısıl tabkalaşma üzerine etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Tasarlanan üç farklı giriş tipi ve dokuz farklı debi için bir güneş sisteminin deposunda termal koşulların davranışındaki değişimi göstermek için HAD çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kötü bir giriş tasarımının sıcak su deposunda depolanan enerji kalitesini ne kadar etkilediğini göstermiştir. Yapılan sayısal çalışmaların ardından silindirik bir depoda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçları termodinamiğin birinci ve ikinci enerji kanununu kullanarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, Richardson sayısı, boşaltma debisi ve başlangıçtaki depo koşullarının entropi ve ekserjide yarattığı değişimi ortaya koymuştur.(Şekil 2.24)



Şekil2.24:Sıcak su depolama tankının farklı giriş levha kesit görünüşü ve fiziksel büyüklükleri
(Louise , 2003)

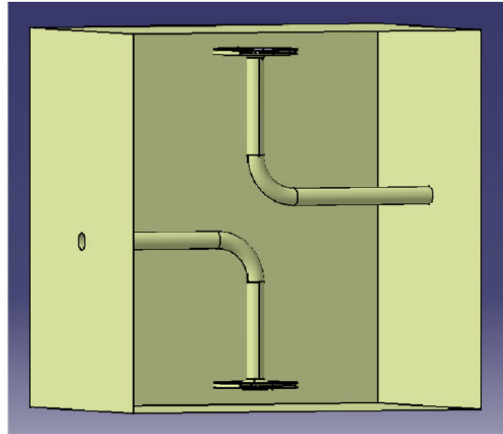
Şentürk v.d. (2012) bu çalışmada bir güneş enerjili silindirik sıcak su deposunu incelemiştir. İki farklı silindirik tip depo ve iki farklı soğuk su giriş debisini sayısal olarak araştırmıştır. Depo tasarımlarındaki ısı değiştirici yerleşimi, alanı, sıcak ve soğuk akışkan debilerinin istenilen sıcaklık dağılımına ulaşmak için tabakalaşma üzerine olan etkisini incelemiştir.

Nathan (2013) bu çalışmada bir dikey silindirik sıcak su deposu tasarlamış ve içinde dikey serpantin, bölme ve termal diyot yerleştirilmiştir. Şekil 2.25’ de gösterilen termal diyotlar, pasif cihazlardır ve kaldırma kuvveti Buoyancy ve doğal taşınım nedeniyle yukarı doğru yükselen sıcak suyun yoğunluk farkı nedeniyle karıştırmasını engellemek için kullanılmaktadır. Sayısal çalışmalarda engelleyici levhanın pozisyonu ve diyot sayısı değiştirilerek simülasyonlar yürütülmüştür. Sayısal ve deneysel sonuçlardan, optimum bir tasarım elde edilerek, iki bölme levhası ve dört diyot belirli mesafelerde depo içerisine yerleştirilmiştir. Buna ek olarak termal diyotların uzunluğu ve çapının sıcaklık dağılımını büyük ölçüde etkilediği ortaya çıkmıştır. Termal diyotlar ve bölümleri doğal taşınım akımlarını kolaylaştırmak ve etkisinden yararlanarak tabakalaşmayı uzun süre korumak için kullanılmıştır. Deney ve sayısal sonuçlar bölme levhaların ve diyotların tasarlanan depo içerisine konulmasının sıcaklık tabakalaşmasını ve su ısıtma sistemlerindeki verimi arttırdığını kanıtlanmıştır.

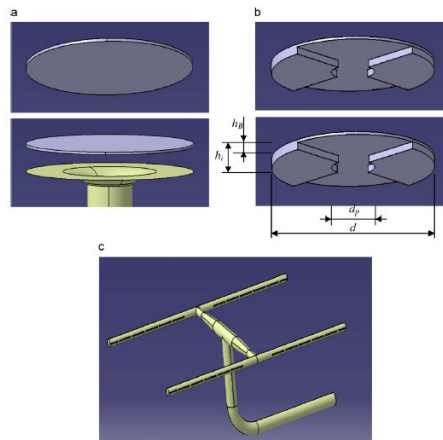


Şekil 2.24: .Sıcak su depolama tankının tasarımının a) bir bölmeli b) iki bölmeli (Nathan,2013)

Dong (2008) tarafından yapılan çalışmada, şekil 2.25’ te gösterilen dikdörtgen bir sıcak su depolama tankındaki tabakalaşma performansına etkiyen farklı tasarım faktörlerinin analizi yapmıştır. Depolama tankının performansını etkileyen bu faktörlerden en önemlisi difüzördür ve bunun yapılandırılmasına odaklanılmıştır. Bu kapsamda, yeni bir difüzör şekli geliştirilmiş ve performans iyileştirilmiştir (Şekil 2.26). Deneysel ve sayısal çalışmalar, üç farklı Reynolds, Froude sayısı ve difüzör kesitinin deponun kesit alanına oranı için yapılmıştır. Sonuç olarak deponun performansını etkileyen çeşitli tasarım parametrelerinin ısı tabakalaşmaya etkisi incelenmiş ve optimum tasarım için temel faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Bir ısı tabakalaşma deposu için, Reynolds sayısı ve difüzer tipinin depolama tankının performansı üzerinde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.



Şekil 2.25: Sıcak su depolama tankının boy oranı ve giriş çıkış yeri kesit görünüşü (Dong ,2008)



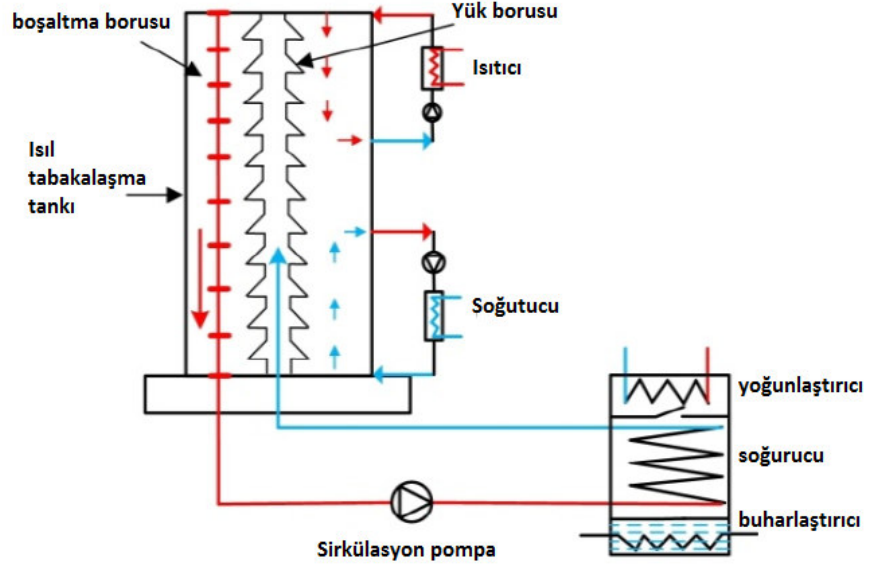
Şekil 2.26: Farklı difüzörler (Dong ,2008)

Paykoç ve Kakaç (1988) çalışmalarında, ısı enerjisi depolama sistemlerinin çeşitli tiplerini tanıtmışlar, önemi ve istenen karakteristiklerini ana hatları ile sunmuşlardır. Pratikte çok sık kullanılan ısı depolama sistemlerinden biri olan duyulur ısı depolama tanımlanmış ve üç çeşit duyulur ısı depolama ortamı tartışılarak avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. “iyi karışımli” ve “tabakalaşmalı” su depolama tankları tanıtılmıştır. “Yataklamalı” depolama sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen analitik ve deneysel çalışmalar tartışılmıştır. Gizli ısı depolama sistemlerinin çeşitli tipleri tanıtıldıktan sonra gizli ısı depolamada kullanılabilecek maddeler ve bir faz değişim maddesi için duyulan gereksinimler sıralanarak avantajları ve dezavantajları ayrıntısıyla açıklanmıştır. Ayrıca, gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricileri tanıtılmıştır. Son olarak, duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama olarak adlandırılan iki önemli depolama tekniğinin karşılaştırması yapılmıştır.

Chan v.d. (1983) tarafından verilen başka bir çalışmada, binalarda güneş ile ısıtma ve soğutma için kullanılan bir ısı enerjisi depolama tankının şarj ve deşarj işlemlerinde ısı depolama verimliliği analizi yapılmıştır. Deney başlangıcında, tankın dikey eksenini boyunca bir üniform sıcaklık dağılımı söz konusudur. Ayrıca şarj ve deşarj işlemi her zaman tanka göre farklı giriş sıcaklıklarında yapılmaktadır. Buna göre, şarj ve deşarj verimliliği için iki denklem tanımlanmıştır. Birim zamanda gerçek enerji değişiminin maksimum enerji değişimine bölümü, birinci verim denklemi $\eta_{c,1}$ ile verilmiştir.

Taheri (2014) yaptığı sayısal çalışmada absorpsiyonlu ısı pompası sisteminde bulunan ısı depolama tankında meydana gelen şarj işlemini incelemiştir. HAD simülasyonu ile depo boyutları, sıcak su giriş debi ve sıcaklığının ısı tabakalaşma üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elde edilen HAD modeli simülasyon sonuçlarından biri referans alınarak daha önce başka birinin yaptığı deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Şekil 2.26’ da görüldüğü üzere yapılan sayısal çalışmalarda depo içerisine üstü üste koni şeklinde olan bir tabakalaşma malzemesi konulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde depo içerisindeki malzemenin ve sıcak akışkanın giriş koşullarının soğuk akışkanda meydana gelen karışma olaylarının üzerindeki etkisi

incelenmiştir. Bu karışma olayları en aza indirilerek ısı tabakalaşma ve ısı pompası sisteminin verimi arttırılmaya çalışılmaktadır.



Şekil 2.26: Depolama tankı ile absorpsiyonlu ısı pompası (Taheri, 2014)

3. ISIL TABAKALAŞMA

Isıl tabakalaşma kullanan sıcak su depolama tanklarında (akümülatörlerde) enerjinin belirli bir süre korunması için yaygın olarak kullanılmakta olan etkin sistemlerdir. Su tanklarının etkinliği üzerinde tank içindeki tabakalaşma önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntem özellikle güneş enerjisi sistemleri ve ısı pompası uygulamalarında kullanılmaktadır. (Dharuman, 2006) Sıcak su depolarında ki şarj ve deşarj işlemleri için en önemli etken tanklarında ısı tabakalaşmadır. Ayrıca ısı aktarıldığı veya alındığı zaman ısı tabakalaşmanın korunması gereklidir. Sıcak veya soğuk su akışkanların enerji depolaması, korunması ve yönetimi için ısı tabakalaşma konusu dikkat edilmesi gereken en önemli konudur.

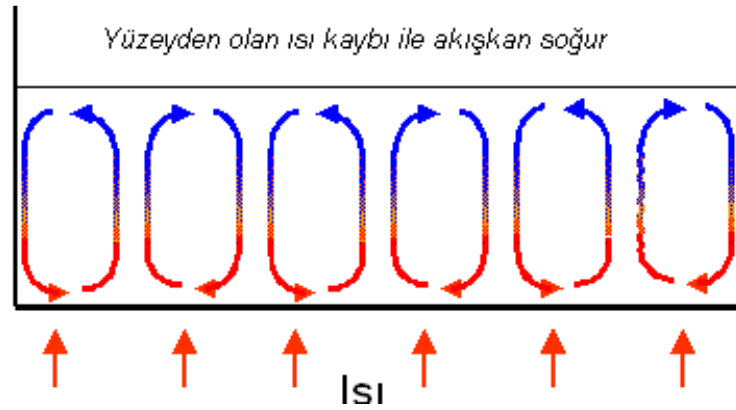
3.1 Akümülatör İçinde Tabakalaşma Yapısı

Isı transferinin önemli mekanizmalarından olan doğal taşınım konusu uygulamada birçok ısı transferi konusunda karşımıza çıkmaktadır. Televizyonlar, elektronik aygıtlar, güç iletim hatları, insan ve hayvanlardan olan ısı transferleri doğal taşınım konusuna örnek teşkil etmektedirler.

Şekil.3.1'den de görüldüğü gibi doğal taşınım, akışkan içinde var olan sıcaklık farkları sebebi ile akışkanın sıcaklığının artması ve böylece yoğunluğun (özellik kütlesinin) düşmesi ile beraber yukarı doğru hareket etmesidir. Doğal taşınımda akışkan hareketi akışkan içindeki kaldırma kuvvetleri ile oluşurken, zorlanmış taşınımda ise dış etkiler tarafından meydana gelmektedir. Kaldırma kuvveti akışkan içindeki yoğunluk gradyanı ile yoğunlukla orantılı bir gövde kuvvetinin birlikte olmalarının sonucu doğar (Denklemler 3.1). Gazların ve sıvıların yoğunluklarının sıcaklığa bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Yoğunluk genellikle artan sıcaklıkla birlikte, akışkanın genişlemesinden dolayı azalır ($\partial \rho / \partial T < 0$). (Frank, 2000)

$$F_{\text{kaldırma}} = \rho_{\text{akışkan}} g V_{\text{cisim}} \quad (3.1)$$

Burada $\rho_{\text{akışkan}}$ tank içinde olan tankın yoğunluğu, g yer ivmesi ve V tankın hacmi.



Şekil 3.1. Doğal taşınım

Isı transferi çalışmalarında öncelikli değişken sıcaklıktır ve net kaldırma kuvvetinin (Denklem 3.1) sıcaklık farkları cinsinden ifade edilmesi istenir. Fakat bu, özgül kütle (ν) farkının bir sıcaklık farkı cinsinden ifade edilmesini; bu ise sabit basınçta bir akışkanın özgül kütlelerinin sıcaklıkla değişimini gösteren bir özelliğin bilinmesini gerektirir. Bu bilgiyi sağlayan özellik hacimsel genleşme katsayısı β 'dır ve şöyle ifade edilir: (Yunus, 2012)

$$\beta = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial \nu}{\partial T} \right)_P = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P \quad (3.2)$$

Böylece hacimsel genişleme katsayısı, yaklaşık olarak diferansiyel niceliklerin yerine farkların koyulmasıyla.

$$\beta \approx - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta T} = - \frac{1}{\rho} \frac{\rho_{\infty} - \rho}{T_{\infty} - T} \quad \text{sabit basınçta} \quad (3.3)$$

$$\text{veya} \quad \rho_{\infty} - \rho = \rho \beta (T_{\infty} - T) \quad (3.4)$$

olarak ifade edilebilir, burada ρ_{∞} yüzeyden uzaktaki durgun akışkanın özgül kütlesi, T_{∞} ise sıcaklığıdır.

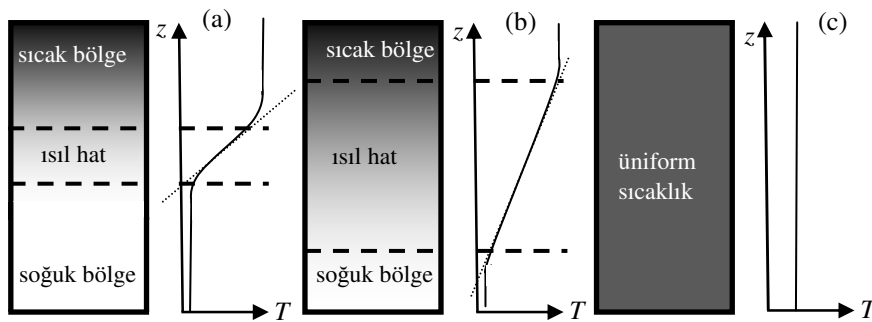
Formülden de görüleceği üzere denklem 3.1 kaldırma kuvveti özgül kütle farkı ve sabit basınçta sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Bu yüzden (sıcak veya soğuk) bir yüzeye bitişik akışkan ile yüzeyden uzaktaki akışkan arasındaki sıcaklık farkı ne kadar büyükse, kaldırma kuvveti o kadar büyük olur. Bu sayede doğal taşınım akımları o kadar güçlü ve dolayısıyla ısı transferi o kadar yüksek olur.

Bir yüzey ile bir akışkan arasındaki doğal taşınım ısı transferin büyüklüğü, doğrudan akışkanın akış hızı ile ilişkilidir. Akış hızı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı da o kadar yüksek olur.

Kaldırma kuvvetindeki artışa ve akışın sürdürülmesine sebep olan, sınır tabakanın içi ve dışı arasındaki özgül kütle farkı olduğu için, $(\rho_{\infty} - \rho)$ farkı dikkate alınmaktadır. Bu durum **Boussineq yaklaşımı** olarak bilinir (yoğunluk değişimi sadece kaldırma kısmı momentum denkleminin de) ve 3.5 numaralı denklem ile ifade edilir. (Yunus Çengel ve John M.Cimbala, 2008)

$$\rho(T) = \rho_{\infty} (1 - \beta \Delta T) \quad (3.5)$$

Isıl tabakalaşma yapısının oluşma nedeni, akışkan içinde var olan sıcaklık farklarından dolayı ortaya çıkan doğal taşınım mekanizmasıdır. Akışkan içindeki sıcaklık dağılımı, yoğunluğun konuma göre değişkenlik göstermesine sebep olur. Yoğunluk farklarına bağlı olarak meydana gelen kaldırma kuvveti etkisi ile sıcak ve daha az yoğun akışkan yükselerek depoda bir sıcaklık gradyeni oluşturur. Böylece, tankın alt kısmı daha düşük sıcaklıkta olacak şekilde bir ısıl tabakalaşma ortaya çıkar. Aynı miktarda ısı depolanmasına rağmen farklı derecelerde tabakalaşma oluşumu Şekil 3.2’de gösterilmiştir. (Bahy Abdel Mesih ve Janne Dragsted, 2007)



Şekil 3.2: Aynı miktarda ısı depolanmasına rağmen, farklı derecelerde tabakalaşma oluşumu: (a) yüksek tabakalaşma (b) orta ölçekli tabakalaşma (c) hiç bir tabakalaşmanın olmadığı tam karışım durumu. (Patrice v.d, 2011)

Bir yerel güneş sıcak su sisteminde ısıl deponun performansı, tankta depolanan ısı enerjisi ile güneş kollektörü üzerindeki toplam güneş radyasyonunun belirli bir süredeki oranıdır. İyi bir ısıl tabakalaşma sıcak su deposunda sabit sıcaklıkta

büyük bir miktarda sıcak su sağlayabilir. Eğer kötü ısıl tabakalaşma meydana gelirse sıcak su deposunda istenilen su sıcaklığına ulaşılabilmesi için gereken şarj süresi artar. Isıl tabakalaşma tankın tasarımına bağlıdır. Buna göre; tank hacmi, akışkanın giriş-çıkış tipi ve giriş-çıkış debisi gibi parametreler tabakalaşma üzerinde etkilidir. (Duffie v.d., 2006), (Van Koppen v.d.,1979). Isıl tabakalaşmanın, depolama sisteminin performansını büyük ölçüde etkilediğini, yüksek derecede tabakalaşmaya sahip bir tankın, sistemin performansını arttırdığını vurgulamıştır. (Lavan v.d., 1977)

Güneş toplayıcı ısı enerjisi depolama sistemlerinde elde edilen ısı tabakalaşmanın, özellikle küçük debilerde sistemin verimini arttırdığı ifade etmektedir (Lavan v.d.,1977)

Isıl hattın biçimlendirmesi, deponun geometrisine, giriş tipine, hidrodinamiğe ve tankın içinde olan suyun özelliklerine bağlıdır.

3-2 Tabakalaşmanın Performansı

Tabakalaşmanın sıcak su deposundaki şarj ve deşarj işlemlerinin verimliliğini ne ölçüde etkilediğini değerlendirmek için farklı boyutsuz parametreler tanımlanmıştır. Sıcak su deposu içinde bulunan akışkanda, statik durumda meydana gelen tabakalaşmanın veriminin değerlendirilmesi ile ilgili boyutsuz parametreler aşağıda belirtilmiştir.

1-Richardson sayısı

Richardson sayısı Denklem 3.6 ile gösterilmektedir

$$Ri = \frac{g \cdot \beta \cdot H (T_u - T_a)}{V_s^2} \quad (3.6)$$

Burada g , β , H , V_s , T_u , T_a sırayla yerçekimin ivmesi, ısı genleşme katsayısı, tankın yüksekliği, tabakalaşma esnasında suyun ortalama hızı, tankın üst ve alt kısmın sıcaklığını göstermektedir.

Richardson sayısının küçük olmasının anlamı ısı depo içindeki suyun karışma durumunda olduğu, büyük olması ise depo içinde iyi bir ısı tabakalaşma olduğu anlamına gelir. Tabakalaşma başladığı zaman Richardson sayısı su tankının davranışını doğru bir şekilde yansıtır.

2-Karışma Sayısı .

$$MIX = \frac{(M_{E,tabakalaşma} - M_{E,gerçek})}{(M_{E,tabakalaşma} - M_{E,tam-karışm})} \quad (3.7)$$

Burada $M_{E,tabakalaşma}$, $M_{E,gerçek}$, $M_{E,tam-karışm}$ sırayla tabakalaşmalı tankta enerji momentini, gerçek tankta enerji momentini, tam karışimli tankta enerji momentini göstermektedir.

Karışma sayısı (MIX) sıfır ile bir arasında bir değer alır. Sıfır olması tankta karışmanın olmadığı ve iyi bir tabakalaşmanın mevcut olduğu, bir olması ise tankta tabakalaşma olmadığı ve karışım durumunda olduğu anlamına gelir (R.Consul,2004)

3-Tabakalaşma Sayısı

Şarj-deşarj işlemlerinde, herhangi bir zamandaki ortalama sıcaklık değişiminin maksimum ortalama sıcaklık değişimine oranı olarak tanımlanır. Isıl tabakalaşma performansın değerlendirilmesi için bir indekstir.(Fernandez,2007)

$$Str = \frac{\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_t}{\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_{t=0}} \quad (3.8)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_j = \frac{1}{J-1} \left[\sum_{j=1}^{j-1} \left(\frac{T_{j+1} - T_j}{\Delta z} \right) \right] \quad (3.9)$$

4- **H/D uzunluk/çapı oranı:** burada (H/D) oranı, iyi bir ısı tabaklaşma için 3 ile 4 arasında olması gereklidir ve en iyi oran 3,3 olarak tespit edilmiştir. (Lavan ve Thompson, 1977)

5-Şarj Verimin Oranı

Şarj verim oranı, gerçek ortalama depo içinde sıcaklığın artmasının en yüksek sıcaklığın değişimin oranıdır ve buna şarj verimi olarak adlandırılır (ϵ). Bu oran sıfır ile bir arasında değer alır. Bu oranın bire yaklaşması iyi bir ısı tabakalaşmanın olduğunun göstergesidir.(Fernandez,2007 ve Shuhong v.d.,2014)

$$(T_{ortalama})_t = \frac{\sum_{j=1}^N T_j}{N} \quad (3.10)$$

Burada N tabaka sayısı

$$\varepsilon = \frac{(T_{ortalama})_t - T_{baş}}{T_{giriş} - T_{baş}} \quad (3.11)$$

6-Peclet Sayısı.

Peclet sayısı ısı transferin genişlemesi ile iletken ısı transferi arasındaki bağlantı sağlar. Bu, tipik olarak depolama tankın içinde ısı tabakalaşmayı tanımlamak için Richardson numarası ile birlikte kullanılır.(Yoo ve Pak E,1993)

$$Pe = \frac{V \cdot H}{\alpha} \quad (3.12)$$

7-Reynolds Sayısı.

Reynolds sayısı, atalet ve viskoz kuvvetleri arasında bir karşılaştırmadır. Peclet ve Reynolds sayıları deneme sırasında sabit kalmakta, ya da bir ısı özellikleri belirerek için kullanılır. Peclet ve Reynolds sayısı tankta tabakalaşma olacağını veya olamayacağını kanıtlamaz. .(Yoo ve Pak E,1993)

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.13)$$

3.3 Isıl Tabaklaşma Bozulması

Isı enerji depolamada, suyun ısı tabakalaşmasının farklı fiziksel işlemler tarafından bozulabileceğini ifade etmişlerdir. (Hollands ve Lightstone, 1989). Buna göre,

- 1- Hüzme sürüklenme (Plume entrainment) olarak adlandırılan, dış etkiler ve doğal taşınım mekanizmasının bir arada mevcut bir tabakalaşmayı bozduğu durum gerçekleşebilir. Bu dış etkilere örnek, tankın altından ısı girişi, tankın üstünden ısı kaybı ya da tank üstünden soğuk su girişinin sağlanması gibi durumlarda olabilir.

- 2- Tankın girişindeki su jetinin kinetik enerjisi nedeniyle karışma gerçekleşebilir.
- 3- Isıl enerji depolama tankındaki su içinde ve diğer malzemeler (örneğin. tank duvarı) içinde ısı iletimi ve difüzyon nedeniyle tankın içindeki sıcaklık farkları azalabilir.

4. SAYISAL ÇALIŞMA

Endüstride karşılaşılan teknik problemlerin çözümünde sayısal, analitik ve deneysel çalışma yöntemlerinden biri kullanılarak bu problemlere çözüm getirilmeye çalışılır. Problemlerin çözümünde bu yöntemler tek tek kullanıldığı gibi birlikte de kullanılmaktadır.

Günümüzde pek çok alanda özellikle mühendislikte çok sayıda problemin analitik çözümü yapılamamaktadır. Deneysel çözüm yöntemlerinin ise çok zaman alması ve ekonomik açıdan uygun olmaması sebebiyle, problemlerin çözümünde sayısal yöntemlerle yaklaşık çözümler yapılmaktadır. Bu sayısal çözümlerde kesme ve yuvarlama hataları yanında ortaya çıkan başka hatalar vardır. Sayısal yöntemlerde gerçek değerin bilinmesi ancak analitik çözümleri bilinen denklemler için geçerlidir. Buda özel bir yöntemin çözümlerinin geçerliliğini kontrol için uygulanan bir durumda mümkündür. Ancak gerçek uygulamalarda tam çözümleri bilmemiz mümkün değildir.

Bu tez çalışmasındaki probleme uygulanan sayısal çalışma yönteminde, endüstride ve akademik çalışmalarda karşılaşılan sayısal akışkanlar dinamiği problemlerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan ve gerçekçi çözüme en yakın sonuçların alınabildiği ANSYS-Fluent paket programı kullanılmıştır.

4.1 Matematiksel Model

Kütlenin korunumu (süreklilik), momentum ve enerji denklemleri akışkanlar mekaniğinin temel denklemleri olarak adlandırılır. Zamanla değişen kapalı bir sistem için kütlenin korunumu (süreklilik) bağıntısı proses süresince sistemin kütlelerinin sabit kalacağını açık bir şekilde gösteren ($m_{\text{sis}} = \text{sabit}$) veya ($dm_{\text{sis}}/dt = 0$) şeklindeki bir ifade ile belirtilir.

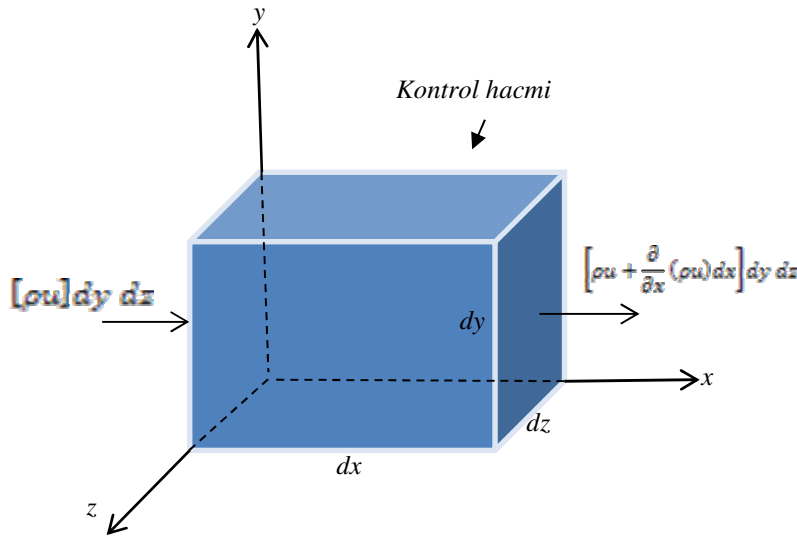
Bir cismin hızının ve kütlelerinin vektörel çarpımı cismin doğrusal momentumu ya da sadece cismin momentumu olarak adlandırılır. Newton'un ikinci yasasına göre bir cismin ivmesi, cisme etki eden net kuvvet ile doğru orantılı; cismin kütlesi ile ters orantılıdır ve cismin momentumunun değişim hızı cisme etki eden net kuvvete eşittir. Bu nedenle, bir sistemin momentumu sisteme etki eden net kuvvet sıfır olduğunda sabit kalır ve böylece, sistemin momentumu

korunmuş olur. Bu, momentumun korunumu ilkesi olarak bilinir. (Yunus Çengel ve John M.Cimbala, 2008)

Enerji kapalı bir sistem sınırından ısı yada iş olarak geçebilir ve enerjinin korunumu ilkesi gereği bir proses esnasında sisteme giren veya çıkan net enerji, sistemin enerji miktarındaki değişime eşittir. Kontrol hacimlerinde kütsel debi yoluyla da enerji geçişi görülür ve enerji dengesi olarak da adlandırılan enerji korunumu ilkesi şeklinde ifade edilir. (Yunus Çengel ve John M.Cimbala, 2008)

Yukarıda kısaca bahsedilen denklemler bu tez çalışmasının sayısal analizinde kullanılmıştır.

Şekil.4.1’de bir kontrol hacmi (KH) Sıkıştırılmayan, süreksiz ve viskoz akış için kütselin korunumu, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri üç boyutlu Kartezyen koordinatlardaki akış için aşağıdaki gibi yazılmıştır.



Şekil 4.1: Kartezyen koordinatlarda tanımlanmış kontrol hacmi

Kütselin korunumu (süreklilik denklemi)

$$\dot{m}_{giriş} - \dot{m}_{çıkış} = \frac{dm_{DH}}{dt} \quad (4.1)$$

$\dot{m}_{giriş}$, $\dot{m}_{çıkış}$ kontrol hacmine giren ve çıkan toplam kütsel debilerdir, $\frac{dm_{DH}}{dt}$ ise kontrol hacmi sınırlarından geçen kütle miktarının değişim hızıdır.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] = 0 \quad (4.2)$$

Momentum denklemleri (kuvvet dengesi)

x yönünde momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} \right] \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial u}{\partial z} \right] + g_x \beta \Delta T \end{aligned} \quad (4.3)$$

y yönünde momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial v}{\partial z} \right] + g_y \beta \Delta T \end{aligned} \quad (4.4)$$

z yönünde momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial(wu)}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial y} + \frac{\partial(ww)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial w}{\partial y} \right] \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial w}{\partial z} \right] + g_z \beta \Delta T \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\Delta T = T_{baş} - T$$

Enerji denklemi (Enerji korunumu)

$$\left[\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = k \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\} + \dot{q} + \mu \Phi \right] \quad (4.6)$$

$$\Phi = \mu \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} \quad (4.7)$$

Burada ρ akışkan yoğunluğu ve akış sıkıştırılamaz olduğu için sabit kabul edilir, , u, v, w ise x, y ve z yönlerindeki hızlar, p basınçtır, g_x, g_y, g_z ; x, y ve z yönlerindeki ivmeler, T sıcaklık, μ dinamik viskozite, β ısı genleşme katsayısı, c_p akışkanın sabit basınçta özgül ısı, k ısı iletim katsayısı, Φ ise viskoz kayıp fonksiyonu.

Sayısal akışkanlar dinamiği ile ilgili karmaşık problemlerin çözümünde çok sayıda kısmi diferansiyel denklemin çözülmesi gerekebilir. Bu denklemler

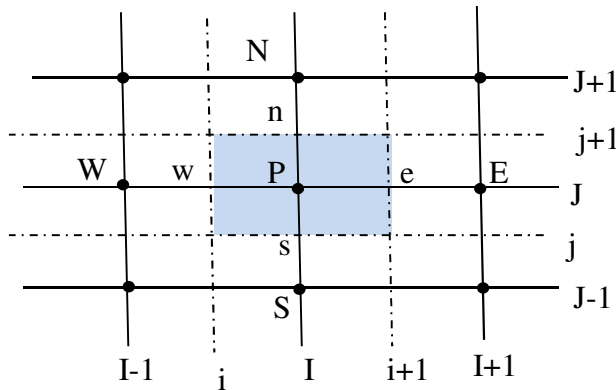
ayrıklaştırılarak lineer cebirsel denklemlere dönüştürülür ve sonrasında da bilgisayar programları yardımıyla çözülür. Lineer cebirsel denklemlerin oluşturulmasında birçok yöntem vardır. Bunlar; sonlu farklar, sonlu hacimler, sonlu elemanlar vb gibidir. Bu çalışmada kullanılan FLUENT bilgisayar programında sonlu hacimler metodu kullanılmaktadır.

Ayrıklaştırmalı yöntemde (discretisation) akışın özellikleri olan basınç, sıcaklık ve yoğunluk (P, T, ρ) değerleri düğüm noktalarında değerlendirilir ve bu yöntem bazı sorunlar yaratır. Basınç etkisinin momentum denkleminde ayrıklaştırılması iyi bir şekilde yapılamadığından, bu sorunun çözümü özel bir işlemle yapılmaktadır. Bu işlem ise aşamalı (staggered) olarak adlandırılır. Aşamalı yöntemde basınç, sıcaklık, yoğunluk (P, T, ρ) v.b skaler özellikler Şekil 4.2' de görüldüğü gibi P, N, S, W, E normal düğüm noktalarında değerlendirilir. Hız bileşenleri ise Şekil 4.2' de gösterilen e, w, s, n olarak harflendirilmiş olan hücre yüzeylerinde hesaplanır. Temel denklemlerin çözümü için kullanılan FLUENT programı da aynı işlemleri yaparak zor ve son derece karmaşık olan problemlerin çözümünü kolaylıkla yapabilmektedir.

transport denklemin genel ifadesi:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\vec{V}) = \text{div}(\Gamma \nabla\phi) + S_\phi \quad (4.8)$$

Burada $\square$ yayılım fonksiyonu, Γ difüzyon fonksiyonudur. Üç boyutlu akış için denklem 4.3 ile 4.5' in konveksiyonla kısımlarına “upwind” metodu uygulanarak, difüzyon kısımlarına ise merkezi farklar metodu uygulanmıştır. (Suha V. ve Patankar,1980)



Şekil 4.2: İki boyutlu ayrıklaştırma kontrol hacmi

Denklem 4.8 kullanarak kütlenin korunumu denklemi şu şekilde yazılır;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (4.9)$$

Süreklilik denklemin (4.9) cebirsel hale getirilmiş şekli ise;

$$a_p \phi_p = \sum a_{nb} \phi_{nb} = a_N \phi_N + a_S \phi_S + a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_y \phi_y + a_L \phi_L \quad (4.10)$$

Momentum denklemlerinin (4.3, 4.4 ve 4.5) cebirsel hale getirildikten sonra genel formları aşağıdaki gibi ifade edilmişlerdir.

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} - (P_h - P_l) A_r + b_1 \quad (4.11)$$

$$b_1 = S_1 + a_0 \phi_0 \quad (4.12)$$

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} - (P_n - P_s) A_\theta + b_2 \quad (4.13)$$

$$b_2 = S_2 + a_0 \phi_0 \quad (4.14)$$

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} - (P_e - P_w) A_z + b_3 \quad (4.15)$$

$$b_3 = S_3 + a_0 \phi_0 \quad (4.16)$$

Enerji denkleminin (4.6) cebirsel hale getirilmiş genel formu ise aşağıdaki gibidir.

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (4.17)$$

$$b = a_0 \phi_0 \quad (4.18)$$

4.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve termodinamik ile ilgili çözümü uzun zaman alan ve karışık olan problemlerin çözümü için bilgisayar destekli bir tasarım programı geliştirilmiş ve genel olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) olarak adlandırılır. Tasarımı yapılan deney düzeneklerinin simülasyon çalışması bu programda yapılabilir ve böylece aylarca sürecektir olan deney düzeneği ile ilgili işlemler kısa sürede bitirilebilir. Ekonomik açıdan da son derece faydalı olan program sayesinde deney düzeneği kurmadan oluşabilecek sonuçlar hakkında fikir sahibi olunacaktır. Günden güne gelişmekte olan bilgisayar sistemleri sayesinde yüksek hızda analizler gerçekleştirilmekte ve kurulumu imkansız gibi görülen, karmaşık problemlerin çözümü de çok kısa sürelerde

gerçekleştirilmektedir. Günümüzde makina, elektrik-elektronik, kimya, uçak ve biyomedikal mühendisliği gibi pek çok mühendislik anabilim dalında HAD paket programı kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da ANSYS 14.5.7 paket programı kullanılmıştır.

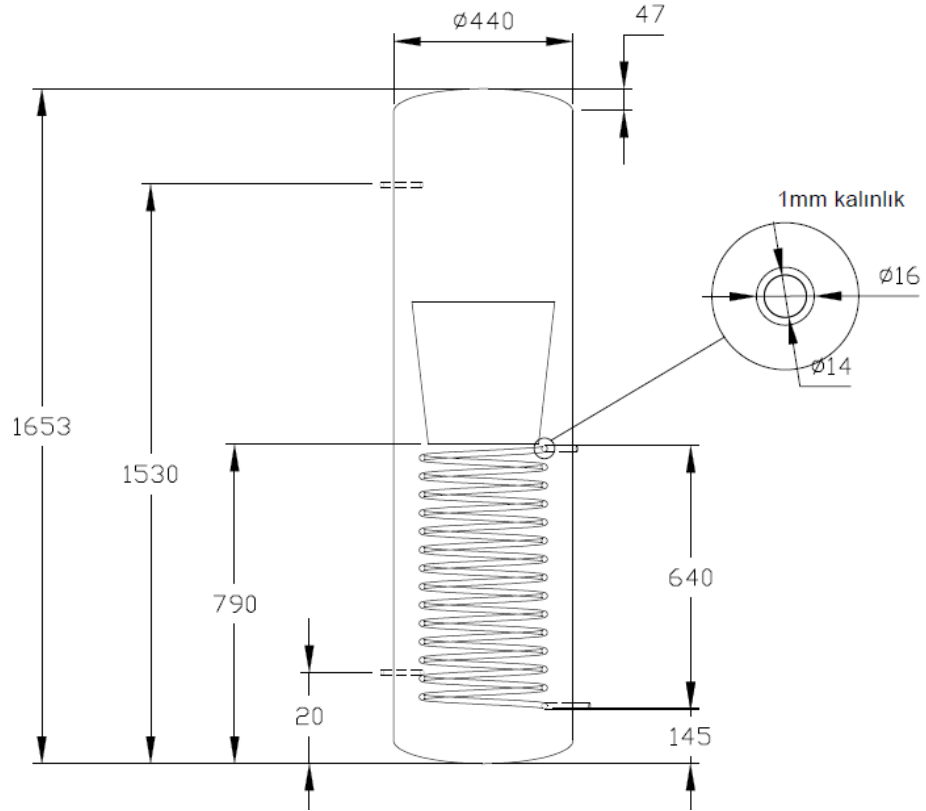
4.2.1 ANSYS Paket Programı

ANSYS [Fluid flow (Fluent)] programı sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz, laminar ve türbülanslı gibi değişik biçimlerde olan akış problemleri için oldukça ayrıntılı modelleme yapılabilmesine imkan tanır. Zamana bağımlı veya zamandan bağımsız analizlerin çözümü bu program sayesinde yapılabilir. C programlama dilinde yazılmış olan bu program sayesinde çözülebilecek olan problemlerle ilgili birçok özellik (akış tipi, kullanılacak malzeme özellikleri, çözüm yöntemleri, yakınsama kriterleri, sınır şartları) kullanıcı tarafından programa girilebilmektedir. Bu paket program kütle ve momentum korunum denklemlerini çözer. Enerji denklemlerini de ısı transferi ya da sıkıştırılabilirliği içeren akışlar olduğu durumlarda çözmektedir. Ayrıca doğal taşınım problemlerini türbülans ve laminar olarak çözebilmektedir. Bu denklemler ayrıntılı olarak matematiksel modelleme bölümünde bahsedilmiştir.

4.2.1.1 Geometrinin Belirlenmesi

Öncelikle problemin geometrisinin (Design Model 14.5) programında çizilmesi ve yüzeylerin oluşturulması gerekmektedir. Şekil.4.3' de görüldüğü gibi, geometrik model olarak, üzerinde geliştirmek için çalışılan, güneş enerjili ve ısı pompası ile su ısıtma sistemlerinde kullanılan silindirik dikey serpantinli sıcak su deposu (akümülatör) seçilmiştir. Sıcak su deposu 440 mm çapında ve 1653 mm yüksekliğindedir. Bu depoya şebeke suyunun girişi deponun yerden 200 mm, çıkışı ise 1530 mm yüksekliğinde bulunmaktadır. Isıl enerjiyi deponun içinde olan suya aktarmak amacıyla kullanılan bakırdan serpantin boru 350 mm çapında, 14 mm iç çap ve 16 mm dış çapa sahiptir. Serpantine sıcak su girişi 785 mm ve su çıkışı 145 mm yüksekliğindedir. Serpantin 14 hatveden olmuş ve her hatve aralığı 29 mm'dir. Sayısal analizi gerçekleştirilen akümülatör simetrik olmadığı için problemi sayısal olarak iki boyutta çözmek mümkün değildir. Bu durumdan

dolayı sayısal çalışmada üç boyutlu çözüm gerçekleştirilmiştir. (ANSYS14.5.7 workbench help,design modeler,2013)



Şekil 4.3 : Sıcak su depolama tankın fiziksel ayrıntıları

4.2.1.2 Geometrinin Sonlu Hacimlere Ayrılması (Ağ oluşturma)

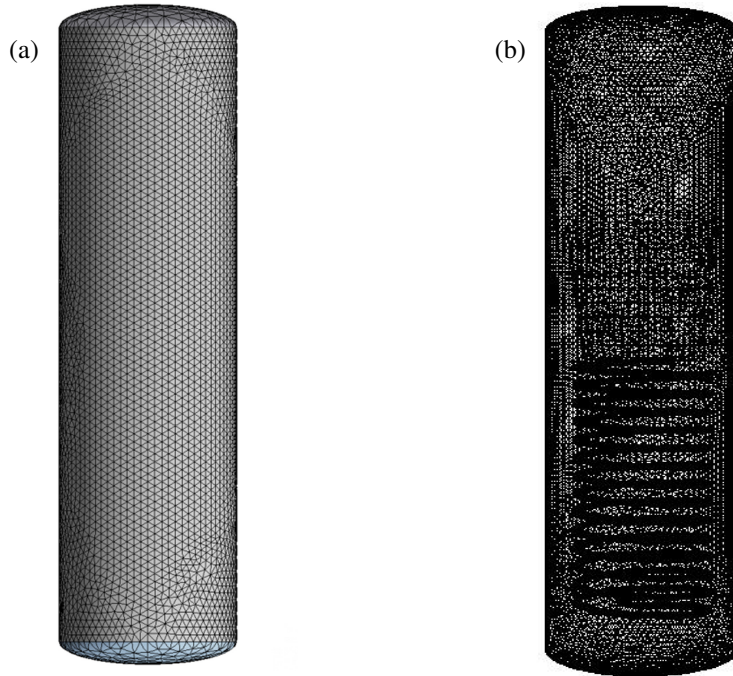
Problemin diferansiyel denklemlerini sayısal olarak çözebilmek için ilk yapılması gereken işlem, çözüm alanını kontrol hacimlerine bölerek bir ağ sistemi oluşturmaktır. ANSYS- FLUENT programında simülasyona başlamadan önce (meshing) adı verilen programda analiz edilecek geometride akış alanları küçük kontrol hacimleri halinde ağlara bölünmelidir. Bu kontrol hacimlerinin köşelerinde noktalar bulunmaktadır. Bu noktalara düğüm noktası ve bu noktaların oluşturduğu sistem düğüm sistemi olarak adlandırılır.

Fluent paket programı lineer olmayan kısmi diferansiyel denklem setlerini sonlu hacim metodu ile çözmektedir. Bu çözüm yapılırken problem alanı çok küçük kontrol hacimlerine bölünür ve denklemler bu kontrol hacimlerine entegre edilir. Bu ise sonsuz sayıda denklem demektir. Bu kadar çok sayıda denklemin çözümü zor olduğundan bu denklemler çözüm alanı içerisinde belirli sayıda noktada cebirsel olarak ifade edilir. Diferansiyel denklemlerin çözüm alanı içerisindeki belirli sayıda ayrıklaştırılması ile cebirsel denklemler elde edilir. Bu

cebirsel denklemler çözülerek sadece çözümü yapılan noktalar için bağımlı değişkenlerin değerleri bulunur. Bu nedenle uygun ağ sayısının belirlenmesi sonuçların doğruluğu için oldukça önemlidir. Bunun belirlenmesi de ancak sayısal olarak deneme yanılma yoluyla mümkün olmaktadır.

Uygun ağ sayısını belirlerken akış ve ısı transferi problemlerinde uygun ağ yapısının belirlenmesi akış ve sıcaklıkla ilgili gradyanların büyüklüğü ile ilgilidir. Eğer akış ve sıcaklıkla ilgili gradyanlar büyük ise, yapılan çözümün doğruluğu için sıklaşan bir ağ yapısının kullanılması gerekmektedir. Fakat akış ve sıcaklıkla ilgili gradyanlar küçük ise homojen sık bir ağ yapısı kullanılabilir. Homojen olmayan, sıklaşan bir ağ yapısının kullanılması, çözüm alanı içerisindeki eşitliklerin çözüleceği düğüm noktalarının azaltılmasını çözümün doğruluğunun artmasını sağlamış olur.

Bu tez çalışmasında çözülecek problemin mesh atılmış geometrisi Şekil 4.3 görülmektedir. Fluent ile yapılmış olan bu işlemde akış ve ısı transferinin maksimum olduğu serpantin boru içinde, dışında ve akışı yönlendirici koninin etrafında sık, deponun geri kalan kısımlarında ise daha seyrek mesh atılarak ağ sistemi meydana getirilmiştir. Bu sistem x , y ve z Kartezyen koordinat düzlemlerinde oluşturulmuştur. (ANSYS14.5.7 workbench,2013).



Şekil 4.3 : Sıcak su depolama tankında çözülen bölge için ağ yapısı a) yüzey ağı b) iç bölge ağı

4.2.1.3 FLUENT

Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. Bu yazılım endüstrinin birçok alanında karşılaşılan çözümü zor ve karışık olan problemlerin çözümü için 1983' ten beri dünya çapında kullanılmaktadır.

Fluent, genel amaçlı bir HAD yazılımı olarak, otomotiv, uçak, turbomakine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.), kimya ve yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcıya birbirinden farklı birçok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm alma olanağı sağlar.

Fluent ile henüz tasarım aşamasında olan ürünün analizini gerçekleştirilerek performansını düşüren sorunlar önceden görülebilir. Bu sorunların çözümü bilgisayar ortamında bulunur ve sorunlar giderildikten sonra ürünün imal edilmesine geçilir. Tasarlanan ürünle ilgili sorunların imal edilmeden önce belirlenmesi sanayideki üreticilerin zorlu rekabet şartlarında rakip firmalarından bir adım önde olmasını sağlamaktadır.

Fluent sahip olduğu çözüm tekniği ve kendi içinde barındırdığı değişik modellemeler sayesinde laminar, geçişsel ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve radyasyon ile ısı geçişini içeren problemlere, kimyasal tepkimeleri içeren problemlere, yakıt pilleri, akustik, akış kaynaklı gürültü, çok fazlı akışları içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üreterek, endüstrinin ve akademik çalışmaların tasarım esnasındaki en güvenilir araçlarından biridir.

Fluent, sıkıştırılamaz (düşük sabsonik), orta sıkıştırılabilir (transonik) ve yüksek sıkıştırılabilir (süpersonik ve hipersonik) akışlar için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği çözücüsüdür. Yakınsamayı hızlandıran çoklu ağ yöntemiyle beraber çoklu çözücü seçenekleri ile Fluent 14.5.7 geniş hız rejimleri aralıklarında optimum çözüm etkinliği ve hassasiyeti getirir. Fluent 14.5.7 'daki fiziksel modellerin zenginliği, laminar, geçiş ve türbülanslı akışların, ısı transferinin, kimyasal tepkimelerin, çokfazlı akışların ve diğer olguların sayısal ağ esnekliği ve çözüm tabanlı ağ uyarlaması ile hassas çözülmesine olanak sağlar (ANSYS14.5.7 workbench help, Fluent,2013).

4.2.1.4 Sınır Şartlarının Tanımlanması

Fluent paket programı ile yapılan çözümlerde belirlenen modelin giriş, çıkış ve duvarlarına ait sınır şartları tanımlanabilir. Akışkanın giriş hızı, basıncı ve sıcaklığı giriş şartı olarak programa girilebilir. Akışkanın giriş hızına bağlı olarak Kartezyen koordinat sistemindeki x,y ve z yönlerindeki hız miktarları belirlenebilir. Duvar sınır şartları olarak ise duvarın hareketli veya durgun olması programa tanımlanabilir. Ayrıca duvarın adyabatik veya sabit sıcaklıkta olma durumları da duvarın ısı şartı olarak verilebilmektedir. Duvarla ilgili verilen sınır şartlarına bağlı olarak duvarla ilgili kayma gerilmesi ve ısı transferi belirlenebilir.

Bu tez çalışmasında duvar statik (durgun) olarak kabul edilmiş ve duvardaki (deponun iç cidarındaki) hızlar sıfır alınmış ve duvar sınır şartı adyabatik olarak, yani tanktan dışarı ısı alıverışı yoktur diye tanımlanmıştır. Serpantin boruların cidarlarından ısı transferi olduğu için cidarlara (shell conduction) sınır şartı atanmış ve serpantinlere et kalınlığı 1mm tanımlanmıştır. Serpantin boruya giriş şartı (Velocity inlet), çıkış şartı ise (pressure outlet) olarak programa girilmiştir.

Depolama tankında olan suyun sıcaklığı şarj işlemleri başlamadan önce ($t=0$) 19 °C ve tankın içerisindeki akışkanın hızı sıfırdır. Sistemin çalışma basıncı ise atmosfer basıncı olan 101,325 kPa alınmıştır. Yapılan analizlerde sıcak suyun serpantine giriş sıcaklıkları 70 °C, 60 °C ve 50 °C ayrıca giriş debileri ise 2,8 L/dak, 2,5 L/dak ve 3,6 L/dak olarak alınmıştır.

4.2.2 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Fluent programında akışkan ile ilgili problemleri çözmede akışkana ait malzeme özelliklerinin doğru bir şekilde programa tanıtılması son derece önem arz etmektedir. Fluent paket programının kütüphanesinde bulunan çok sayıda değişik malzeme özellikleri bulunmaktadır. Kütüphanede olmayan yeni bir malzeme özelliği ise Fluent kütüphanesine manuel olarak eklenebilmektedir. Akışkana ait yoğunluk, özgül ısı, dinamik viskozite, ısı iletim katsayısı, genleşme katsayısı gibi özellikler sıcaklığın fonksiyonu olarak programa verilebilmektedir.

Isıl enerji depolama ünitelerinde sıcaklık tabakalaşması analizinin teorik olarak incelenmesinde akışkan olarak sıkıştırılmaz (ρ =sabit) akışkanlar kullanılır. Yapılan bu deneysel ve sayısal çalışmada sıkıştırılmaz akışkan olarak su kullanılmıştır çünkü enerji depolamada çoğunlukla su kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise suyun kolayca bulunabilmesi ve ucuz olması, diğer akışkan maddeler ile kıyaslandığında özgül ısı kapasitesinin büyük olması, toksik ve yanıcı özelliği olmamasıdır. Geniş sıcaklık aralığındaki depolama özelliği sayesinde de sanayinin birçok yerinde, güneş enerji sistemlerinde ve ısııl enerji depolama tanklarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kiliç, 1983).

Kullanılan paket programda türbülanslı akımlar için birçok farklı modeller tanımlanmıştır. Yapılan bu tez çalışmasında çözüm yöntemi olarak k- ϵ modeli seçilmiştir. Bu modelde k (türbülans kinetik enerjisi) ve ϵ (türbülans yayılma) oranıdır ve k- ϵ modeli kendi içinde üç farklı modelle tanımlanmıştır. Bunlar; Standart, RNG ve Realizable modelleridir. Bu üç model arasındaki temel fark; türbülans viskozitesini hesaplama metodu, k ve ϵ ' un türbülans yayılmasını etkileyen türbülans Prandtl sayıları, ϵ denkleminde kullanılan ve kullanılmayan terimlerdir. Bu tez çalışmasında da k- ϵ modeli seçildikten sonra bu modelin alt modülü olan Realizable –standard modeli seçilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında serpantin boru ve ısı depolayıcı içinde akışkan olarak kullanılan su sıkıştırılmaz bir akışkandır. Depo da olan suyun yoğunluğu doğal taşınım için Boussinesq seçilip $\rho=998,275 \text{ kg/m}^3$, özgül ısı $c_p=4182,75 \text{ J/kg K}$, ısı iletim katsayısı $k=0,595 \text{ W/m K}$, dinamik viskozitesi $\mu=0,01036 \text{ kg/m s}$ ve ısııl genleşme katsayısı $\beta=0,18075 \times 10^{-3} \text{ 1/K}$ olarak alınmıştır. Depolama tankı içerisinde bulunan bakırdan yapılmış olan serpantin borunun yoğunluğu $\rho=8978 \text{ kg/m}^3$, özgül ısı $c_p=381 \text{ J/kg K}$ ve ısı iletim katsayısı $k=387,6 \text{ W/m K}$ olarak programa girilmiştir. Depo ve yönlendirici koni ise çelikten yapılmış olup yoğunluğu $\rho=8030 \text{ kg/m}^3$, özgül ısı $c_p=502,48 \text{ J/kg K}$ ve ısı iletim katsayısı $k=16,27 \text{ W/m K}$ olarak tanımlanmıştır.

4.2.3. Çözüm Yöntemlerinin Belirlenmesi

Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri akışkanlar mekaniği ile ilgili hesaplamaların temelini oluşturmaktadır. Üç boyutlu ve zamana bağlı akış için bu denklemler ile yapılan çözümlemelerde denklemlerin cebirsel hale getirilmesi ve çözümün sürdürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için bu tez çalışmasında Fluent paket programı kullanılmıştır. Bu programda üç boyutlu ve zamana bağlı olarak çözümler, **Segregated** çözücüsünde **Implicit** metot kullanılarak elde edilmiştir. Second order upwind metodu momentum ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırılması, Body Force Weight metodu ise basınç denklemlerinin ayrıklaştırılması için seçilmiştir. **Simple** algoritması da basınç-hız denklem çiftlerinin (Pressure Velocity Coupling) ayrıklaştırılması için kullanılmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışmada sıcak su deposu içerisinde serpantin borunun üzerinde akışı yönlendirici koni bulunması ve bulunmaması durumlarının ikisinde de çözüm için viskoz model olarak standart duvar fonksiyonu (**Standart Wall Functions**) metodu kullanılan, standart $k-\varepsilon$ - **Realizable** türbülans akış modeli seçilmiştir.

4.2.4. Çözüm Kontrol Parametrelerinin (Yakınsama Kriterleri) Belirlenmesi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modellemesinde yapılan sayısal bir çalışmada elde edilen çözümün yakınsama kriterlerine uyması oldukça önemlidir. HAD ile yapılan çözümlemelerde, program içerisinde kullanılan temel cebirsel denklemlerin her birinin çözümünden kaynaklanan sayısal hatalar meydana gelir. Toplam hata miktarı ise kontrol hacmi içindeki bütün hücreler için hesaplanan eşitliklerdeki sayısal hataların toplamıdır. HAD programı ile yapılan çözümlemede, program iterasyona devam ederken her bir iterasyondaki yakınsama kriterleri programın çözüm ekranından grafik ve sayısal olarak izlenir.

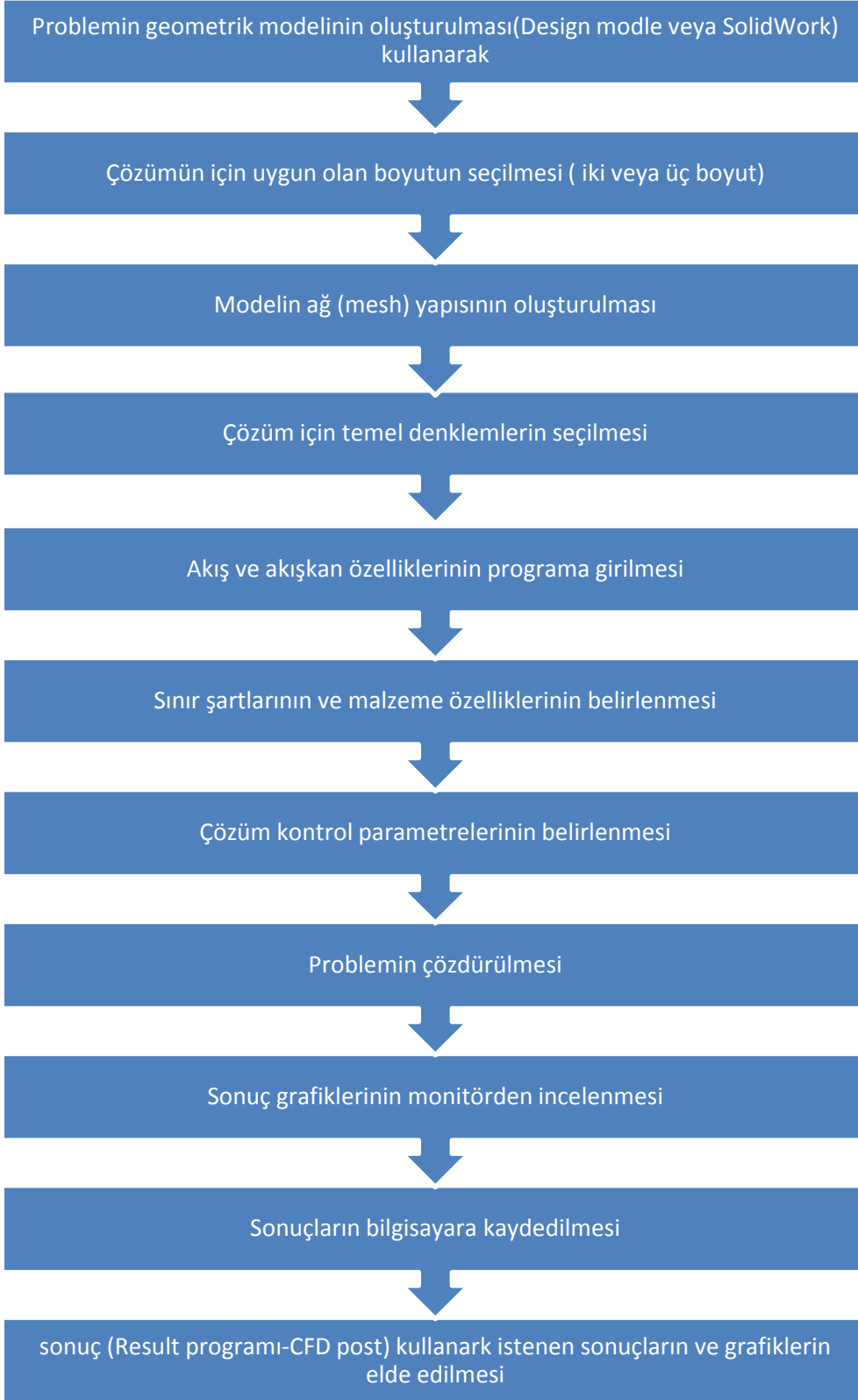
Fluent paket programı ile yapılan analizlerde cebirsel denklemlerin nümerik çözümleri de sayısal hata miktarı içerir. Bu hata miktarının minimum olabilmesi için underrelaxation faktörleri tanımlanır. Yapılan bu tez çalışmasında da sayısal hata miktarlarını minimize etmek için underrelaxation faktörleri şu şekilde seçilmiştir;

Basınç denklemlerinin underrelaxation faktörü 0,3; yoğunluğun underrelaxation faktörü 0,9; gövde kuvvet underrelaxation faktörü 1, Momentum denklemlerinin underrelaxation faktörü 0,7, kinetik enerji türbülans underrelaxation faktörü 0,8; türbülans yayılım oranı underrelaxation faktörü 0,8; türbülans viskozitesi underrelaxation faktörü 1 ve Enerji denkleminin underrelaxation faktörü 1. Yakınsama kriterleri ise şu şekilde seçilmiştir; Süreklilik ve momentum denkleminin yakınsama faktörü 1×10^{-5} ; Enerji denkleminin yakınsama faktörü 1×10^{-6} ve k-epsilon denkleminin yakınsama faktörü 1×10^{-5} .

$$R\phi = \frac{\sum_{hücre P} |\sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} - a_p \phi_p + b|}{\sum_{hücre P} |a_p \phi_p|} \quad (4.21)$$

4.2.5. Problemin Çözüm Aşamaları

Sayısal çalışmada problemi çözmek için gereken aşamalar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

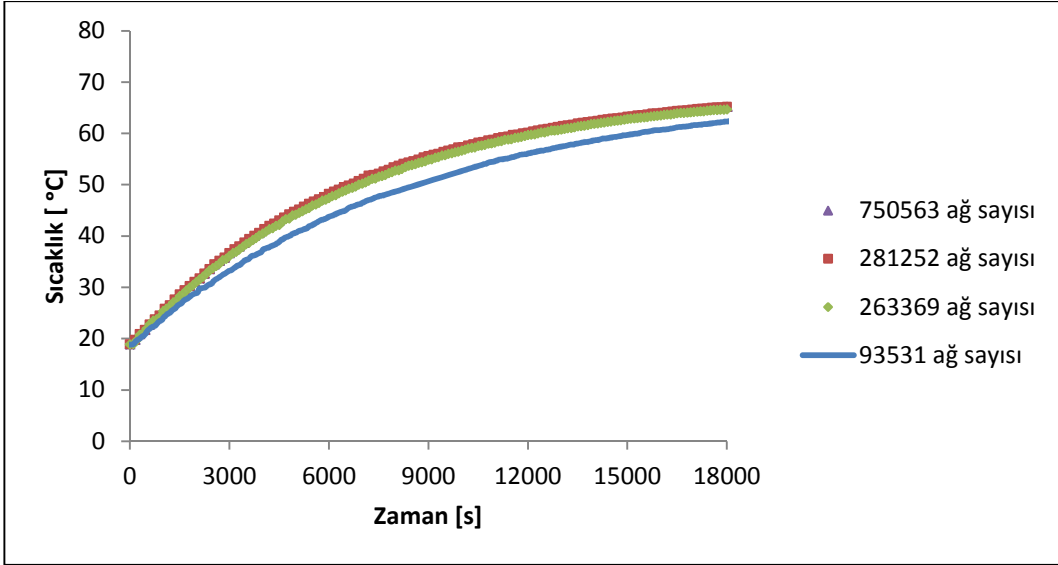


4.3 Problemin Ağ Sayısından Bağımsızlığının Araştırılması

Analizi yapılacak problem için ayrıklaştırılmış cebirsel denklemler çözülerek ağ sistemindeki her düğüm noktasında bağımlı değişkene ait bilinmeyenler hesaplanır. Eğer çözüm yapılmadan önce sık bir ağ yapısı oluşturulmuş ise çözüm alanı içerisindeki düğüm sayısı artar ve doğruluk açısından daha hassas sonuçlar elde edilir. Fakat düğüm noktasının artması çözülecek cebirsel denklem sayısını arttıracak için çözüm için gereken sürenin artmasına da sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı çözüm için oluşturulacak ağ yapısı ve sayısı iyi seçilerek en az sürede en doğru sonuca ulaşmak gerekmektedir. Bu şekilde yapılarak elde edilen sonuçların doğruluğunun ağ sayısından bağımsız bir halde olduğu ispat edilmelidir (Dinçer, 2002).

Bu çalışmada elde edilen sonuçların ağ sayısından olan bağımsızlığını göstermek için farklı ağ sayılarındaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Fluent 14.5.7 programında probleme ait bütün parametreler sabit tutularak değişik ağ sayılarında çözümler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde 93531, 263369, 281252 ve 750563 sayılarında ağ sayısı değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında çözüm alanı içerisindeki akış ve ısı transferi büyüklüklerine ait gradyanların büyük olduğu serpantin boru iç ve dışına, birde ısı tabakalaşmayı arttırmak için sıcak su deposu içerisine yerleştirilmiş koni etrafına sık, sıcak su deposunun üst ve alt kısmında bulunan bombeli yapıda seyrek bir ağ yapısı kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ağ geometrisine bakılırsa Şekil 4.3' teki gibi homojen olmayan bir ağ yapısı karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.4 : Farklı ağ sayısında 140cm noktada sıcak dağılımı

Şekil 4.4 beş saatlik şarj süresi boyunca depolama tankının merkezde olan 1400 mm yüksekliği ve dikey yöndeki ortalama sıcaklık dağılımını temsil etmektedir. Tankın 1400 mm yüksekliğinde sıcaklık değerleri farklı ağ boyutları ile her dört durum içinde dikey yönde incelenmiştir. Şarj işleminde sık ağ yapısı ile yapılan çözümlemede bulunan değerler, daha seyrek ağ yapısına göre bulunan değerlerden farklılık göstermektedir. Şekil 4.4 den de görüldüğü üzere ağ sayısı 93531' den 263369' a çıkarıldığında çözüm sonuçları arasında farklılık vardır. Fakat ağ sayısının bu değerden daha yukarı çıkarılması ile çözümde elde edilen sonuçlarda önemli bir farklılık gözükmemektedir. Bu da bize bu geometride yapılan çözüm için yaklaşık 263369 ağ sayısının yeterli olduğunu göstermektedir. Bu rakamdan daha fazla ağ sayısını arttırmanın çözüm sonuçlarını değiştirmeyeceği fakat programın problemi çözme süresini uzatacağı öngörülmektedir. Bu nedenle doğru sonuçları daha kısa sürede elde etmek için bu çalışmada 340000 civarında ağ sayısı oluşturulmuştur.

Ayrıca yapılan sayısal hatalardan dolayı hiç bir zaman gerçek değeri ile ifade edilemez. çözüm sonucu bulunan sayısal değer in duyarlılığı ve güvenilirliği için 4.19 eşitliği kullanılarak bağıl hatasını hesaplayarak belirlenen ağ sayısından bağımsızlığı bulunur

$$\text{Bağıl hata} = \frac{\text{gerçek değer} - \text{ölçülen değer}}{\text{gerçek değer}} 100\% \quad (4.19)$$

Burada gerçek değeri en yüksek ağ sayısını referans olarak alıp diğer ağların bağıl hatası hesaplanmıştır. Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi ortalama bağıl hatası 263369 ağ sayısı için %1,038 dir ve 281252 sayısının için %0,000273 ve burada bir çok küçük değeri görülmekte o zaman bu tez çalışmada kullandığımı sıcak su deposu için ağ sayısı 340000 fazla daha küçük bağıl hatasına gelir

Çizelge 4.1: Ağ sayısına bağıl hata

Zaman [s]	Bağıl Hata %		
	93531 ağ	263369 ağ	281252 ağ
0	0,05236	0,0005305	0,000531
300	4,302989	0,744747018	0,000506
600	3,484479	0,240473156	0,000479
900	4,378401	1,266869177	0,000462
1200	5,603037	0,650066187	0,00044
1500	6,798425	1,068118381	0,000421
1800	7,112675	1,165854515	0,000408
2100	6,231308	0,738401074	0,000388
2400	8,782127	0,717959975	0,000378
2700	8,986301	1,459006867	0,000362
3000	9,391813	1,563343558	0,000349
3300	9,669086	1,516646985	0,00034
3600	9,587091	1,695222892	0,000331
3900	9,525123	1,216943292	0,000322
4200	9,98669	1,512125236	0,000315
4500	9,810321	2,07329899	0,000307
4800	9,471214	1,777251183	0,000298
5100	9,19792	1,442121921	0,00029
5400	9,401011	1,649066584	0,000285
5700	9,044622	1,464259359	0,000279
6000	9,202227	1,712610685	0,000273
6300	9,118717	1,401011753	0,000267
6600	8,740899	1,367607513	0,000263
6900	8,911938	1,39450406	0,000258

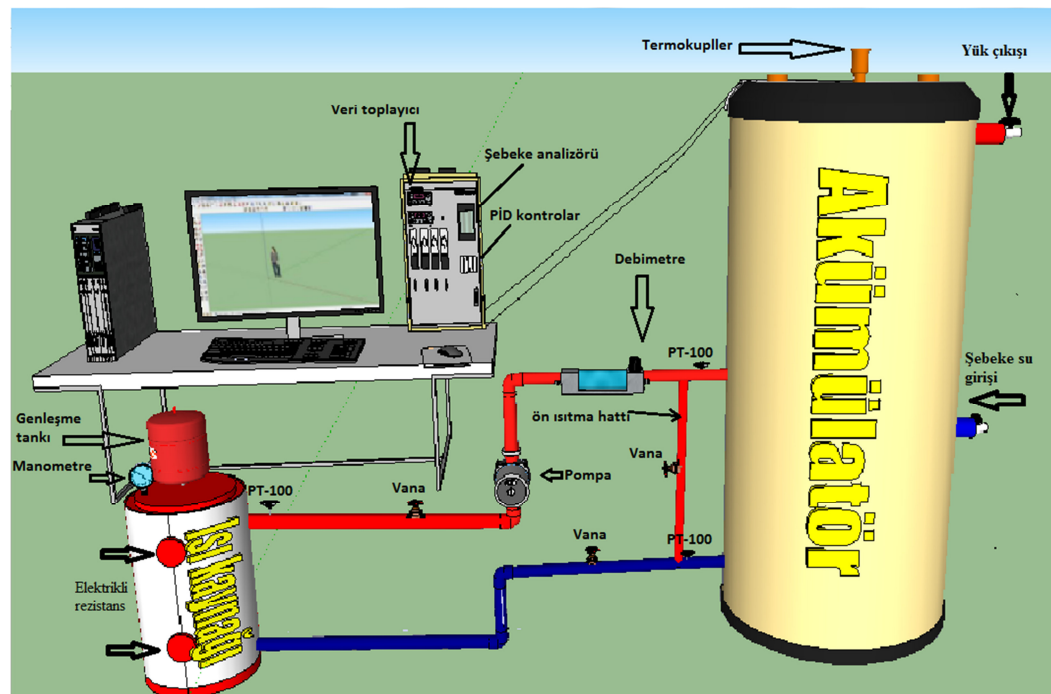
Zaman [s]	Bağıl Hata %		
	93531 ağ	263369 ağ	281252 ağ
7200	9,129667	1,952030825	0,000254
7500	8,461541	1,163557826	0,00025
10800	7,34422	1,078628076	0,000216
11100	7,12098	1,07282193	0,000214
11400	7,134345	0,968789184	0,000212
11700	6,833282	0,977016237	0,00021
12000	6,71447	0,722363157	0,000207
12300	6,647767	0,907624543	0,000206
12600	6,640271	0,881498331	0,000204
12900	6,423814	1,09819873	0,000202
13200	6,314427	0,951958907	0,000201
13500	6,270045	0,863521778	0,000199
13800	6,134268	0,858078143	0,000197
14100	5,97581	0,793755935	0,000196
14400	5,812323	0,802059081	0,000193
14700	5,631273	0,690777277	0,000193
15000	5,552213	0,620125147	0,000192
15300	5,505219	0,713256305	0,00019
15600	5,299807	0,789494937	0,000189
15900	5,001645	0,653711162	0,000187
16200	5,147611	0,744586895	0,000186
16500	4,860758	0,670660803	0,000185
16800	4,796206	0,667390685	0,000184
17100	4,691556	0,760997133	0,000183
17400	4,662171	0,75224083	0,000182
17700	4,458322	0,683653684	0,000181
18000	4,41351	0,760981685	0,00018
Ortalama	6,856149	1,038370074	0,000273

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

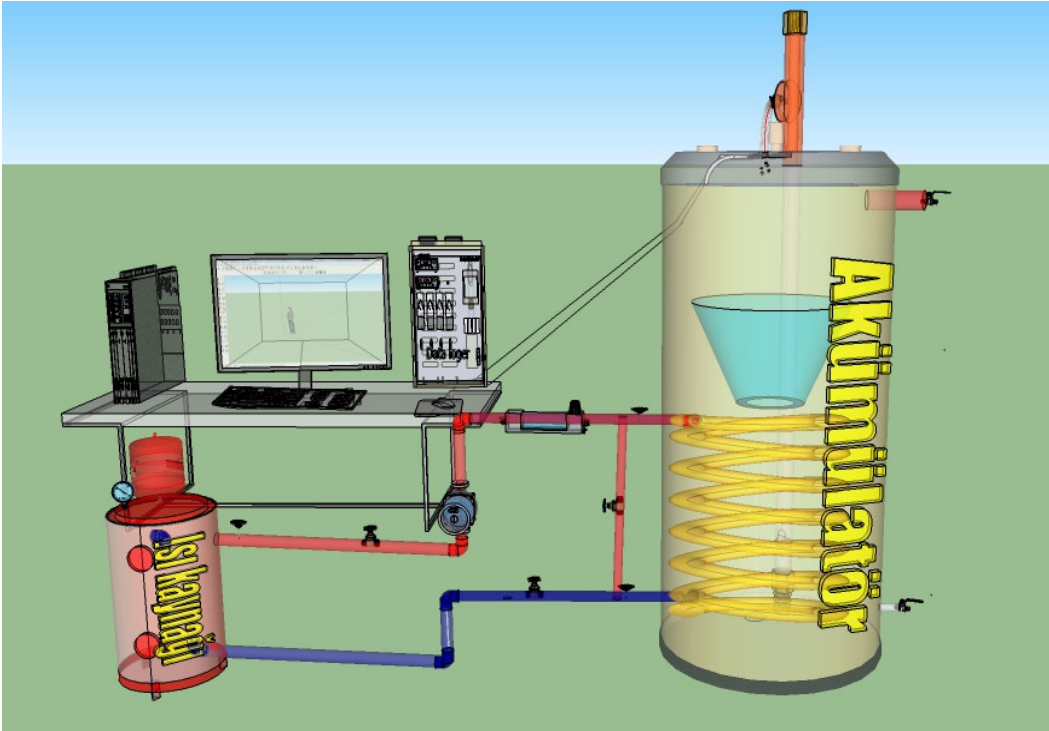
Mühendislikte geniş bir uygulama alanına sahip olan sulu ısı enerji depolama sistemlerinde sıcaklık tabakalaşma mekanizmasını daha iyi kavrayabilmek ve yapılmış olan sayısal çalışmaların deneysel çalışmalar ile doğrulandığını göstermek amacıyla Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Laboratuvarı'nda bir deney düzeneği kurulmuştur.

Normal gündelik hayatta kullanılan ısı pompası ve güneş kolektöründen sağlanacak sıcak suyu aynı şartla laboratuvar ortamında elde etmek için bir ısıtma tankı kullanılmıştır. Bu ısıtma tankından elde edilen sıcak su akümülatör içerisine serpantin boru ile gönderilerek, akümülatör içerisindeki suyun yüksek sıcaklıklara ulaşmasını sağlamak için sıcaklık tabakalaşmasının analizleri deneysel ve sayısal olarak gerçekleştirilmiştir.

Deney düzeneğine ait şematik resim Şekil 5.1 ve Şekil5.2 ‘de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Deney düzeneği-1 (Şematik resim)



Şekil 5.2 : Deney düzeneği-2 (Saydam görünüş)

5.1 Deney Düzeneği

Şekil 5.3'te kurulmuş olan deney düzeneğine ait bir fotoğraf görülmektedir. Bu deney düzeneğinin ana bileşenleri şunlardır:

- Sıcak su depolama tankı,
- Su ısıtma tankı,
- İnvertörlü sirkülasyon pompası (farklı debi ayarları),
- Debimetre,
- Vanalar,
- Elektrikli rezistans (9 kW),
- Sıcaklık kontrol sistemi (PID kontrol ünitesi),
- 27 adet J tipi termokupl,
- 3 adet Pt-100,
- Elektrik hattı paneli,

- Genleşme tankı,
- Manometre,
- Şebeke analizörü,
- Bilgisayar ve
- Veri toplama ünitesi.



Şekil 5.3: Deney düzeneği-3 (Gerçek görünüş)

5.1.1 Akümülatör (Sıcak Su Depolama Tankı)

Piyasada oldukça yaygın olan SOLİMPEKS marka 250 litrelik dik bir silindirik depo sıcak su depolama tankı olarak seçildi. Isı depolama yönünden geliştirilmesi için seçilmiş olan bu depoya ait kesit görünüşü ve ölçüleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Şekilde 5.4' ten de görüldüğü üzere söz konusu sıcak su depolama tankı 2 mm et kalınlığına sahip çelik sacdan yapılmış olup çapı 440 mm ve yüksekliği 1653mm olan silindirik bir depodur. Tankın içinde yer alan serpantin boru bakır

malzemeden yapılmış olup, serpantin su giriş ve çıkış kanallarının çapları 14mm' dir. Serpantin su giriş ve çıkış yerlerinin deponun tabanından olan yüksekliği sırasıyla 785 ve 145 mm' dir. Serpantin 14 hatveden oluşur ve hatve aralıkları 43 mm' dir. Serpantin borunun bükme çapı ise 35 mm' dir. Deponun şebeke suyunun girişinin deponun alt tabanına olan yüksekliği 200 mm ve su çıkışının ise 1530 mm' dir. Tankın içerisinde belli noktalardaki su sıcaklıklarını elde etmek amacıyla tankın merkez ekseninde belli mesafelerde hassasiyeti $\pm 0,5$ °C olan J tipi termo elemanlar yerleştirilmiştir.



Şekil 5.4: Sıcak su deposu (Akümülatör)

Tankın silindirik yüzeyi ile alt ve üst yüzeylerine 10 mm kalınlığında siyah elastomerik kauçuk köpük sarılarak yalıtım yapılmıştır. Yalıtılmış olan yüzeylerin üzeri de ince alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Tankın giriş ve çıkışına takılan suyun sıcaklıklarını ölçen Pt-100'lerin diğer uçları dijital gösterge cihazına bağlıdır. Bu kanallarda akan suyun sıcaklıkları gösterge cihazından

ayarlanmaktadır. Diğer yerlerde takılan termo elemanlar veri toplama ünitesindeki veri kaydedicilere bağlanmıştır.

Şarj esnasında sıcak su depolama tankının üst kısmında yüksek sıcaklıktaki suyun kısa sürede oluşması istenmektedir. Bu nedenle bu bölgede sıcaklık tabakalaşmasını oluşturmak amacıyla tankın içine çeşitli çaplarda koni, eksenel yönde çeşitli mesafelerde yerleştirilmiştir.

Silindirik deponun üzerinde, açılıp kapanabilen 440 mm çapında silindirik bombe bir kapak mevcuttur. Bu silindirik kapağın üzerinde ise sıcak su depolama tankı içerisine yerleştirilen koni değiştirilmesine imkan veren ve bu yönlendiricin eksenel yönde istenilen konuma getirilip sabitlenmesine yardımcı olan bir mekanizma bulunmaktadır. Koni yönlendirici bu mekanizmada bulunan metal çubuklara vidalı bağlantı vasıtasıyla monte edilmektedir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'de söz konusu sıcak su depolama tankına ait fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 5.5: Sıcak su depolama tankın iç kısmı



Şekil 5.6: Sıcak su depolama tankının içerisinde yönlendirici koni tip olduğu durumda

5.1.2. Isıtma Tankı

Deney düzeneğinde yer alan ısıtma tankı (Şekil 5.7), sıcak su depolama tankına giden sıcak suyun sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Çelik saçtan yapılmış olan dikey konumlu bu tankın çapı ve yüksekliği sırasıyla 320 mm ve 470 mm'dir. Suyun ısıtılması işlemi için bu tank içerisine üç adet 3 kW'lık elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir. Isıtma işlemi tanka yerleştirilen bu ısıtıcı ile yapılmaktadır.

Isıtma tankında bulunan su giriş-çıkış kanalları, 20 mm ve 40 mm iç çapındaki PVC borular ile sıcak su depolama tankına bağlanmıştır. Isıtma tankının yan yüzeyinin üst kısmında 20 mm çapında sıcak su çıkışı kanalı vardır. Bu kanalın tankın üst kısmına açılmasının nedeni tankta ısıtılmış su kütlesinin tankın her zaman üst kısmında toplanmasıdır. Bu sayede depolama tankına daima sıcak su gönderilmektedir. Isıtma tankından çıkan sıcak su pompa vasıtasıyla depolama tankı içerisinde bulunan serpantinlerden geçirilerek depo içindeki suyu ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu dikey silindirik sıcak su deposunun alt kısmında ise, yine 20 mm çapında bir çıkış bulunmaktadır. Bu çıkış ısıtma tankından gelip sıcak su deposu içerisindeki serpantinlerden geçirilerek ısınıp depo içerisindeki suya bırakarak soğuyan suyun depodan çıkartılıp tekrar ısıtma tankına gönderilmesini sağlayan yerdir.

Isıtma tankının yan yüzeyinin üç farklı yerinden 32 mm çapında delik açılmış ve bu deliğin içine de 100 mm boyunda ve 32 mm çapında vida dişi açılarak manşon kaynatılmıştır. Her manşona 3 kW değerindeki elektrikli ısıtıcı takılmıştır. Isıtma tankının içerisini temizleyebilmek için silindirik yüzeyinin alt kısmına 20 mm çapında delik açılarak bir kapak ile kapatılmıştır. Ayrıca ısıtıcı tankın alt kısmında soğuk su girişi, üst kısmında ise manometre, bir vana ve emniyet vanası yer almaktadır. Isıtma tankı içerisinde meydana gelen basıncı düşürmek için ise tankın üst kısmına 8 litrelik bir genleşme tankı konulmuştur.

Sıcak su depolama tankında olduğu gibi, ısıtma tankının silindirik yüzeylerinde 10 mm et kalınlığında elastomerik kauçuk köpük sarılarak ısı yalıtımı yapılmıştır. Yalıtılan yüzeylerin üzeri ise ince alüminyum folyo ile kapatılmıştır.



Şekil 5.7: Isıtma tankı

5.1.3 Elektrik Panosu

Şekil 5.8’den de görüldüğü üzere elektrik hattı panelindeki elemanların hepsi bir elektrik panosuna monte edilmişlerdir. Elektrik panosu, içerisinde bulunan elemanları muhafaza etmek ve kontrol sistemlerinin bir arada bulunmasını sağlamak için kullanılmıştır. Sirkülasyon pompasının şalteri, sıcaklık kontrolörü, çok kanallı tarayıcı ve 24 V’luk güç kaynağı (debimetre için) elektrik panosu üzerindedir.

Sıcaklık kontrol sistemini, ısıtma tankı, şebeke analizörü ve sirkülasyon pompasını panodan açıp kapamak için, panonun içinde bir adet sigorta bulunmaktadır. Ana şebeke elektrik hattı ise bu sigortalara bağlanmıştır.



Şekil 5.8: Elektrik panosu

5.1.4 Sıcaklık Kontrol Sistemi (PID)

Deney sırasında sıcaklığın belirli değerlere ayarlanması ve belirli sınırlar içerisinde kontrol edilmesi amacıyla kullanılan sıcaklık kontrol sistemi (PID) ısı transferi deneylerinde çok önemli bir yere sahiptir.

Sıcaklık kontrol sistemi; 9kW değerinde ısıtma tankına monte edilmiş üç elektrikli ısıtıcı, üç adet termokupl (Pt 100 direnç termometre, hassasiyet $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$), üç adet elektrik sinyal rölesi (sessiz çalışır) ve bu rölelere gelen elektriğin voltajını kontrol etmek için kullanılan adaptörden (24 volt) oluşmaktadır. Bu kontrol sistemi elektrik panosuna monte edilmiştir. Ayrıca kullanılan pano tipi şebeke analizörü ve 3 adet 30 Amperlik akım trafosu da elektrik panosu üzerine monte edilerek faz voltajları, akımları, güç ve çekilen enerji gibi pek çok elektriksel parametreyi kaydetmeye olanak sağlamıştır.

Elektrikli ısıtıcılar sıcaklık kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen, elektrik sinyal rölesi üzerinden enerji almakta, aynı enerji hattı üzerinde bulunan

akım transformatörleri üzerinden çektiği akımlar ve diğer elektriksel parametreler şebeke analizöründen görülebilmekte ve sürekli olarak kaydedilmektedir.

Gerçek sıcaklık değeri kontrol ünitesine girilen set değerinden düşük ise elektrikli ısıtıcılar çalışmaya başlamakta ısıtıcı tanktan gönderilen sıcak su depolama tankına (serpantin borularına) akmaya başlamaktadır (Şekil 5.9) . Suyun sıcaklığı bu set değerine geldiği zaman, sıcaklık kontrol ünitesi elektrik sinyal rölesine sinyal göndererek, elektrikli ısıtıcının kapanması sağlanmaktadır. Suyun sıcaklığı set değerinin altına düştüğünde, sıcaklık kontrol ünitesi elektrik sinyal rölesine tekrar sinyal göndererek, elektrikli ısıtıcının tekrar çalışmasını sağlamaktadır. Bu işlemin sürekli olarak tekrarlanması suretiyle sürekli olarak istenilen sıcaklıkta su elde edilmesi sağlanmış olmaktadır.

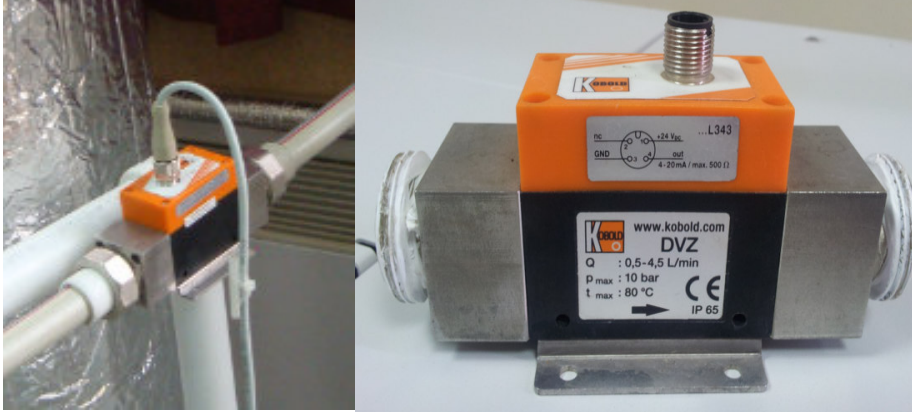


Şekil 5.9: Sıcaklık kontrol sistemi (PID)

5.1.5 Debi Ölçer

Isıtma tankından çıkan kanal üzerine “KOBOLD vorteksmetre” markalı bir debimetre monte edilmiştir. Bu cihazın görevi, farklı kademeli sirkülasyon pompasından depolama tankına gelen sıcak suyun her kademedeki debisini ölçmektir. Bu elektromanyetik debi ölçer (4-20 mA analog çıkışlı, hassasiyet $\pm\%2,5$) 24 VDC ile çalışan), kanaldan su geçtikçe oluşan akış değerine göre çektiği akımı değiştirerek debi değerini elektrik akımı cinsinden ölçebilmemizi sağlar. Debi ölçer veri toplayıcıya bağlıdır. Veri toplayıcı debi ölçerin çektiği akımı L/dak cinsinden debi değerine çevirmektedir. Bilgisayardaki Elimko veri toplayıcı programından her pompa kademesi için debi değeri okunabilmektedir.

Debi ölçerin ölçtüğü debi değelerinin kalibrasyonu için, debi ölçerin bulunduğu kanal üzerinde ve debi ölçerden hemen sonra, bir vana bulunmaktadır. Bu vana kullanılarak debi ölçerin kalibrasyonu yapılmaktadır (Şekil5.10).



Şekil 5.10 : Debimetre

5.1.6 Sirkülasyon Pompası

Isıtma tankında ısıtılan sıcak suyun akümülatör içerisindeki serpantinlerden geçirilmesi ve tekrardan ısıtma tankına getirilmesi için Şekil 5.11’de görülen sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Bu pompa ısıtma tankından depolama tankına dönen kanal üzerine bağlanmıştır. Şekil 5.11’ dan da görüldüğü üzere sirkülasyon pompası üzerinde bulunan invertör yardımıyla farklı debilerde akışkanın ısıtma tankı ile akümülatör arasında sirküle edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 5.11: Sirkülasyon pompası

5.1.7 Elektrikli Isıtıcı

Sistemde kullanılan ısıtıcı 9 kW gücünde elektriksel direnç tellerinden oluşmaktadır. Bu ısıtıcı, ısıtma tankından depolama tankına giden sıcak su kanalının bulunduğu düzlemsel yüzeye kaynatılmış 32 mm iç çapındaki manşona monte edilmiştir. Elektrikli ısıtıcıya elektrik akımı ise, elektrik hattı panelinde bulunan sigortanın açılması suretiyle verilmektedir.

5.1.8. Veri Toplama Ünitesi (Data Logger)

Deney düzeneğinde verilerin toplanması ve bilgisayara kaydedilmesi amacıyla iki adet 32 kanallı veri kaydedici (ELİMKO E-680) kullanılmıştır. Bu iki veri kaydedici bir birleştirici cihaz (RS485-RS232 dönüştürücü) ile bilgisayara bağlanmış olup, deney düzeneği üzerinde çeşitli konumlarda yerleştirilmiş olan termo elemanlardan alınan sıcaklık ölçüm verilerinin bilgisayara kaydedilmesini sağlamaktadır. Söz konusu veri toplama sistemi Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

Data Logger’ların program mimarisi dört programdan oluşmaktadır. Bunlar; “*konfigürasyon*” programı, “*haberleşme*” programı, “*arşiv*” programı ve “*genel*” Program’dır. “*haberleşme*” programı; cihazların konfigürasyonu, iletişim ayarları ve kayıt ayarlarını yapmak amacıyla kullanılır. Bununla birlikte, bu program cihazlarla iletişim kurar ve bu bilgileri diğer programlara dağıtır. “*konfigürasyon*” programı, “*haberleşme*” programı ile iletişime girerek cihaz konfigürasyonunu sağlar. “*arşiv*” programı, “*haberleşme*” programından aldığı verileri kaydeder ve “*genel*” programının kullanımı için hazırlar. Bu programların ara yüzleri yoktur, gizli çalışırlar. “*genel*” program ana izleme programıdır. Bu program ile veriler ve grafikler, bilgisayar ekranından izlenmekte ve yine bu program sayesinde veriler bilgisayara eksil. dosyası olarak kaydedilmektedir. “*genel*” izleme programı, Menüler ve Ana ekran olmak üzere iki kısımdan oluşur. Menüler kısmından; sayfa konfigürasyonu ayarı yapılır ve haberleşme kontrol opsiyonu seçilir. Ana ekran kısmı ise, bar grafik izleme sayfası, grafik izleme sayfası, çoklu grafik izleme sayfası ve alarm sayfasından oluşur (ELİMKO kullanım kılavuzu).



Şekil 5.12: Veri toplama ünitesi

5.1.9 Termokupl

Deneyler esnasında sıcak su deposu içinde bulunan merkezdeki farklı noktalardan sıcaklık değerlerini ölçebilmek için $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetinde 27 tane J tipi termokupl (-200 ila 800°C) kullanılmıştır. Bu termokupllar depo içerisine yerleştirilmiş olan uzun bir plastik çubuk üzerine tutturulmuştur. Plastik çubuğun tabanından 500 mm yüksekliğine kadar her 100 mm' de bir termokupl ve 500 mm' den 1600 mm ye kadar her 50 mm' de bir termokupl vardır. Termokupllar depo içerisinde bulunan su ile temas halindedir. Termokuplların suya dalmış kısımlarının korunması amacıyla 2,5 m uzunluğunda özel paslanmaz çelik kılıfla kaplanmıştır. Termokuplların suyun dışında kalan, depodan veri toplayıcıya kadar olan 2,5 metrelik kısımları ise normal kılıfsız şekildedir (Şekil 5.13). Deneysel işlemlerde kullanılan ölçüm cihazların hassasiyetleri Ek.1'te görülmektedir.

5.1.10 Yönlendirici Koni

Sıcak su deposu içerisine akışı yönlendirmek için konulan koni levha 0,3 mm kalınlığında , 350 mm yüksekliğindedir. Koni levhaya iki farklı çapa sahip

ve bunlar sırasıyla 270 mm ve 350 mm'dir. Koni levhanın depo içerisindeki serpantin boru üzerinde farklı yüksekliklerde yerleştirilebilmesi için etrafına 8 mm çap ve 600 m uzunluğunda kaynakla bağlanmış 3 adet vida bulunmaktadır. Bu vidalar sayesinde koni yüksekliği deponun alt kısmına göre değiştirilebilmektedir.(şekil 5.14)



Şekil 5.13: Termokopul



Şekil 5.14: Koni tip yönlendirici

5.2 Belirsizlik Analizi

Son yıllarda daha ucuz ve kolay olması nedeniyle sayısal çalışmalar ağırlık kazanmasına rağmen, bu çalışmalardan elde edilen sonuçların deneysel olarak desteklenmesi, deneysel çalışmaların önemini ayrıca arttırmaktadır. Bununla birlikte deneysel çalışmalarda, elde edilen sonuçlar kadar önemli başka bir nokta; ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli etken ise, deneyler sırasında farklı nedenlerden ortaya çıkabilecek hatalardır. Deneylerde elde edilen sonuçlarda iki farklı hata vardır, biri, deney yapan kişinin yaptığı ihtimallerden kaynaklanan hatalar, diğeri ise deney setinin ve ölçü araçlarının yapısından kaynaklanan kaçınılmaz hatalardır. Söz geçen birinci hataların, yetenekli bir deneycinin deneyleri yapmasıyla giderilebilmekte iken, ikinci hataların giderilmesi veya belirlenmesi her zaman mümkün olmayabilir çünkü deneylerde kullanılan araç ve gereçlerin yapısından kaynaklanmıştır.

Belirsizlik analizi, sadece sonuçların yorumlanmasında değil, aynı zamanda uygun ölçüm metodunun ve cihazının seçiminde rol oynamaktadır.

Bir değer ölçülmesinde ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı yapılabilir. R değeri $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ bağımsız değişkenlerine bağlı bir fonksiyon iken, bu farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan W_R belirsizliği şu şekilde elde edilir (Arif,2010)

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_{x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

Burada $W_{x_1}, W_{x_2}, W_{x_n}$ bağımsız değişkenlerin belirsizliğidir.

Eşitlikte bulunan türev ifadeleri bulunarak yerine yazılır ve R değerine bölünürse, R değeri için toplam belirsizlik;

$$\frac{W_R}{R} = \left[\left(\frac{W_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{W_{x_2}}{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{W_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.2)$$

Olarak bulunur

Deneysel çalışmalar kapsamında ölçülen değerler ile serpantin boru tarafından aktarılan ısı (Q_{HX}) ve akümülatörde biriktiren ısı (Q_{depo}) hesaplanmıştır.

5.2.1 Sıcaklık Ölçümünde Ortaya Çıkabilecek Belirsizlikler

- A- Termoeleman çiftlerden kaynaklanan belirsizlik ; $\pm\%0,5$
- B- Referans sıcaklıktan kaynaklanan belirsizlik; $\pm\%0,1$
- C- Dijital multimetreden kaynaklanan belirsizlik; $\pm\%0,3$
- D- Bağlantı eleman ve noktalarından kaynaklanan belirsizlik; $\pm\%0,1$
- E-Giriş sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik; $\pm\%0,01$
- F- Çıkış sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik; $\pm\%0,01$
- G- Yüzey sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik; $\pm\%0,05$

Bu hata değerlerinde (E),(F),(G) belirsizlikleri, ayrı ayrı (A),(B),(C) ve (D) belirsizlikten de etkilenmektedir. Giriş sıcaklığının ölçülmesindeki toplam belirsizlik:

$$\frac{W_{T_{giris}}}{T_{giris}} = [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2 + (D)^2 + (E)^2]^{1/2} \quad (5.3)$$

Şeklinde bulunur. Çıkış sıcaklığının ölçülmesindeki toplam belirsizlik:

$$\frac{W_{T_{cikis}}}{T_{cikis}} = [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2 + (D)^2 + (F)^2]^{1/2} \quad (5.4)$$

Şeklinde bulunur. Depo içinde suyun sıcaklığının ölçülmesindeki toplam belirsizlik:

$$\frac{W_{T_s}}{T_s} = [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2 + (D)^2 + (G)^2]^{1/2} \quad (5.5)$$

5.2.2 Debi Ölçümünde Ortaya Çıkabilecek Belirsizlikler

- A- Debi ölçer okuma belirsizliği; $\pm\%1, \pm\%2,5$
- B- Sistemin kaçaklarıyla ilgili belirsizliği; $\pm\%2$
- C- sıcaklık farklarından kaynaklanan belirsizliği; $\pm\%0,5$

Bu belirsizlikler doğrultusunda debi ölçümündeki toplam belirsizlik;

$$\frac{W_{\dot{V}}}{\dot{V}} = [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2]^{1/2} \quad (5.6)$$

Şeklinde bulunur.

5.2.3 Diğer Belirsizlikler

- A- Boru çapında eksen boyunca meydana gelebilecek farklılıklarından kaynaklanan belirsizlik $\frac{W_D}{D}$; $\pm\%1$

- B- Boru boyundaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik $\frac{W_L}{L}$; $\pm\%1,5$

C- Fiziksel değerlerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya

$$\text{çıkabilecek belirsizlik } \frac{W_{\rho}}{\rho} = \frac{W_k}{k} = \frac{W_{cp}}{cp} = \frac{W_v}{v} = \pm\%0,1$$

Sıcaklık ve debi ölçüm belirsizlikleri ile diğer belirsizliklerde bulunan sonuçlar denklemlerde yerlerine konulur ise serpantinden aktarılan ısı ve akümülatörde depolanan ısı için belirlenmiş olur.

Bu belirsizlik hesaplamaları Ek.2 te detaylı olarak verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada serpantin borudan aktarılan ısı ve akümülatörde depolanan ısı için belirsizlikler sırasıyla; $\pm\% 2,22$; $\pm\% 1,69$ olarak bulunmuştur.

6. DENEYSEL VE SAYISAL VERİLERİN DEĞERLENDİRMESİ VE BULGULAR

Bu bölümde, tez kapsamında yapılan sayısal çalışmalarda akışkanlar dinamiği yöntemi ile ANSYS-Fluent programı kullanarak elde edilen sonuçlar ile aynı koşullar ve şartlar altında yapılan deneysel çalışmada bulunan sonuçlara yer verilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların grafik haline getirilmesi, yorumlanması ve bu iki çalışmanın karşılaştırılması da bu kısımda yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı sıcak su depolama tankında kısa sürede ve iyi bir şekilde sıcaklık tabakalaşmasının oluşmasının sağlanmasıdır. Böylece depodaki suyu yapılabilecek en kısa sürede daha yüksek sıcaklığa şarj etmek mümkün olur. Şarj işleminin süresini kısaltmakta sıcak su deposunda birikecek enerjiyi bir an önce kullanabilmemize olanak sağlar. Ayrıca sıcak su depolama tankındaki sıcaklık tabakalaşmasının iyileştirilmesi depo içerisindeki şarj işlemini kısalttığı gibideşarj işleminin uzun süre devam etmesini sağlamaktadır. Deşarj işleminin uzun süre devam etmesi de sıcak su depolama tankından daha uzun süre sıcak su almamıza ve böylece de enerjiden maksimum derecede tasarruf edebilmemize olanak sağlamaktadır. Sıcaklık tabakalaşmasının bozulması ise sıcak su depolama tankındaki şarj süresini uzatacağı gibideşarj süresini de kısaltmaktadır. Böyle bir durumdadeşarj süresinin kısalması da depolama tankındaki kullanım suyunun sıcaklığının çabuk düşmesine ve bu sebeple depodaki enerjiyi minimum derecede kullanmamıza neden olur.

Bu tez kapsamında incelenen sıcak su depolama tankının içerisinde bulunan serpantinlerden depo içerisinde bulunan suya ısı aktarımı sırasında iyi bir sıcaklık tabakalaşmasının olması ve bu tabakalaşmanın bozulmaması istenmektedir. Böylece şarj süresi kısaltılacak ve daha yüksek sıcaklıklarda sıcak su depolanabilecektir. Bu amaç doğrultusunda incelenen sıcak su depolama tankının içerisine $d_1/D, d_2/D, h/H, x/H$ oranlarında yönlendirici koni tip levha yerleştirilmiştir. Çizelge 6.1 görüldüğü gibi incelenen parametreler $h/H = 0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907; d_1/D = 0,9545; 0,795; d_2/D=0,7159; 0,613$ ve $x/H=0,478; 0,539$ oranlarında olup, bu oranlara sahip koni tip levhalar depo içerisine yerleştirilmiştir. Sıcak su deposu serpantin boru imal edilmeden önce ise

14 mm ve 16 mm olmak üzere iki farklı çaptaki bakır serpantin borunun depo içerisinde sıcaklık tabakalaşması ve dağılımına olan etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan sayısal çalışma sonucunda daha iyi sıcaklık tabakalaşması ve dağılımı sağlayan 14 mm çapındaki serpantin borusu seçilmiştir. Seçilen bu çaptaki serpantin borusunun bükme çapı 250, 300 ve 350 mm olarak değiştirilerek bu değişimlerin de sıcaklık tabakalaşması ve dağılımı üzerine olan etkisi de araştırılmıştır. Bükme çapı için yapılan sayısal çalışmalar sırasında ise serpantin su içerisinde bulunan alanı $0,69242 \text{ m}^2$ olarak sabit tutulmuştur. Yapılan bu sayısal çalışmalar sonucunda en iyi sıcaklık tabakalaşması ve dağılımını sağlayan 14 mm çap ve 350 mm bükme çapına sahip bakır borudan serpantin boru imal edilerek sıcak su deposu içerisine yerleştirilmiştir.

Çizelge 6.1: Değişik boyutlarda incelenen yönlendirici tip koni levha için boyutsuz parametreler

<i>No</i>	<i>parametreler</i>	<i>h/H</i>	<i>d₁/D</i>	<i>d₂/D</i>	<i>x/H</i>
1	$h=550\text{mm}$ $d_1=420\text{mm}$ $d_2=315\text{mm}$ $x=790\text{mm}$	0,3329	0,9545	0,7159	0,478
2	$h=450\text{mm}$ $d_1=420\text{mm}$ $d_2=315\text{mm}$ $x=790\text{mm}$	0,27239	0,9545	0,7159	0,478
3	$h=350\text{mm}$ $d_1=420\text{mm}$ $d_2=315\text{mm}$ $x=790\text{mm}$	0,21186	0,9545	0,7159	0,478
4	$h=250\text{mm}$ $d_1=420\text{mm}$ $d_2=315\text{mm}$ $x=790\text{mm}$	0,15133	0,9545	0,7159	0,478
5	$h=150\text{mm}$ $d_1=420\text{mm}$ $d_2=315\text{mm}$ $x=789\text{mm}$	0,0907	0,9545	0,7159	0,478
6	$h=350\text{mm}$ $d_1=350\text{mm}$ $d_2=315\text{mm}$ $x=790\text{mm}$	0,2119	0,795	0,7159	0,478
7	$h=350\text{mm}$ $d_1=350\text{mm}$ $d_2=270\text{mm}$ $x=790\text{mm}$	0,2119	0,795	0,6133	0,478
8	$h=350\text{mm}$ $d_1=420\text{mm}$ $d_2=315\text{mm}$ $x=890\text{mm}$	0,2119	0,795	0,6133	0,539

Sıcak su deposu içerisindeki sıcaklık dağılımında yapılan iyileştirmeyi daha iyi bir şekilde görebilmek için ilk olarak sıcak su depolama tankı içerisinde koni tip yönlendirici levha olmayan modelin sayısal ve deneysel olarak incelenmesi yapıldı. Bu analizler, ısıtma tankından sıcak su deposu içerisine gelen suyun farklı giriş sıcaklığı ve debileri için yapılmıştır.

İçerisinden sıcak su geçen ve sıcak su deposu içerisinde bulunan serpantin boruların dış cidarlarına temas eden su kütleleri daha hızlı ısınmaktadır. Bu ısınan su kütlelerinin yoğunlukları azalmakta ve depo içerisinde yukarıya doğru hareket etmektedir. Yoğunlukları daha fazla olan soğuk su kütleleri ise aşağı doğru hareket ederek serpantin boruları ile temas etmektedir. Bu şekilde sıcaklıktan kaynaklanan yoğunluk değişimi ile beraber su kütlelerinin yerleri değişmektedir. Yoğunluk farkından kaynaklanan kaldırma kuvvetinin etkisi de denklem 3.1’de gösterilmektedir. Sıcak su deposu içerisinde yoğunluk farkından kaynaklanan sıcak su kütlelerinin ısınıp hiçbir engelle karşılaşmadan deponun üst kısmına gitmesi beklenir. Fakat bu ısınan su kütleleri kendilerinden daha az yoğunluğa sahip deponun alt kısmına doğru hareket eden su kütleleri ile çarpışır. Bu çarpışmanın etkisiyle sıcaklık tabakalaşmasında bozulmalar meydana gelir. Bu istenmeyen durumun ortadan kaldırılması için bu tez çalışmasında sıcak su deposu içerisine $d_1/D, d_2/D$ ve h/H oranlarındaki yönlendirici tip koni levhalar tek tek konularak sıcak su deposu sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu levhalar sayesinde ısınan su kütleleri koninin dış tarafı ile deponun cidarı arasında kalan ve yukarı doğru daralarak giden alandan hızlanarak yükselir ve soğuk su kütleleri ile karşılaşmadan deponun üst kısmına ulaşırken, yoğunluğu fazla olan soğuk su kütleleri de koni içerisinden aşağı doğru hareket eder. Bu şekilde soğuk ve sıcak su kütlelerinin çarpışması engellenerek iyi bir sıcaklık tabakalaşması elde edilir.

Deney düzeneği imalatına geçilmeden önce koni tip yönlendirici levhanın optimum boyutlarının belirlenmesi amacıyla yapılan sayısal çalışma sonucunda en iyi ısı tabakalaşmayı sağlayan $d_1/D, d_2/D$, h/H optimum boyutsuz parametrelere bağlı koni tip yönlendirici levha belirlenmiştir.

Yönlendirici levhanın optimum boyutları belirlendikten sonra koninin depo ekseninde hangi yükseklikte durması gerektiği sayısal olarak araştırılmıştır. Bunun için deponun tabanından koniye kadar olan mesafenin deponun yüksekliğine olan oranına ait (x/H) bir boyutsuz parametre tanımlanmıştır. Bu

boyutsuz parametreye bağılı olarak yapılan çalışma sonucunda yönlendirici tip koni levhanın depo ekseninde yerleşim yerine göre en fazla hacimde yüksek sıcaklıkta su elde ettiği konumu belirlenmiştir. Koni levha ile ilgili en iyi sonuç veren ebatlar belirlendikten sonra imalatı yapılmış ve imal edilen koniyle yapılan deneysel sonuçlar sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Sıcak su depolama tankı için yapılan sayısal çalışmalarda problem zamana bağılı ve üç boyutlu olarak çözülmüştür. Yapılan bu çalışma esnasında depolama tankının dış yüzeylerinden ısı kaybı olmayacak şekilde yalıtıldığı kabul edilmiştir. Isıl enerji serpantin boruları yardımı ile depolama tankının içerisine gönderilmektedir. Serpantin boruları içerisinde bulunan sıcak su ile depolama tankı içerisindeki soğuk su arasındaki ısı transferi iletimle ve "Shell conduction" tipinde gerçekleşmektedir. Beş saatlik (300 dak) şarj işlemi süresince her 100 saniyede bir paket program tarafından çalışmaya ilişkin veriler kaydedilmiştir. Bu kaydedilen veriler sayesinde depo içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri grafikler halinde incelenmiştir.

Sıcak su depolama tankı içerisinde yönlendirici koni olmadan su girişinin farklı sıcaklıkta (70°C, 60 °C ve 50 °C) olmasının ısı tabaklaşma üzerine olan etkisi hem sayısal hem de deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca güneş kolektör alanına bağılı olarak ortalama giriş debisi (2,8 L/dak) seçilmiş ve debinin değiştirilmesinin de sıcaklık tabakalaşmasına olan etkisini görebilmek amacıyla ortalama giriş debisinin alt ve üstünde iki farklı debi (2,5 ve 3,6 L/dak) değeri alınarak bu üç farklı debinin olduğu durumlar deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra sıcak su deposu içerisinde yönlendirici levhanın olup olmadığı durumların deneysel ve sayısal olarak çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda farklı zaman dilimlerinde (60 dak, 120 dak, 180 dak, 240 dak ve 300 dak) depo eksenindeki sıcaklık dağılımına ait grafikler çıkartılmış ve iki çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel ve sayısal çalışmaların karşılaştırılması sonucu, yapılan sayısal çalışmaların doğruluğu kanıtlanmıştır. Ayrıca bu sonuçlar literatürde yapılan benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile de karşılaştırılarak doğrulukları ispatlanmıştır.

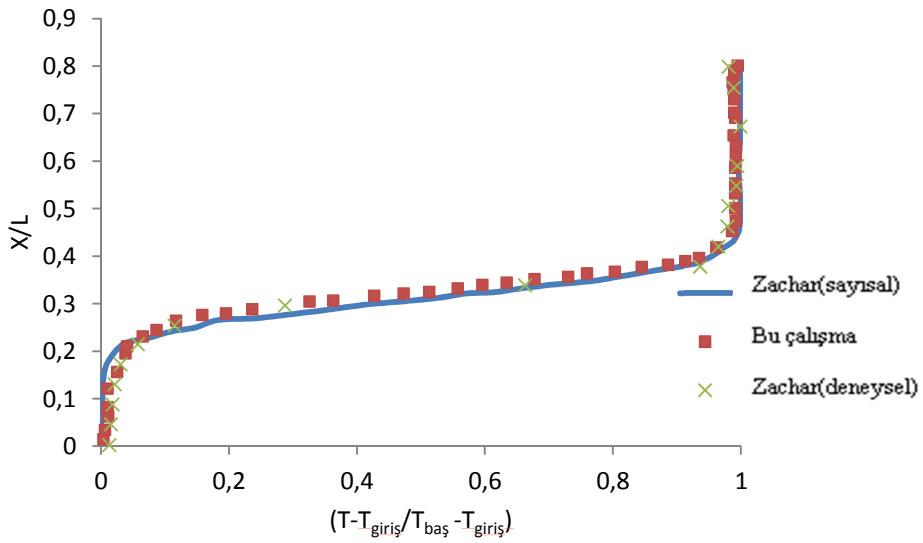
6.1 Sayısal Çözümlerin Doğrulaması

Son yıllarda, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) sayesinde simülasyon çalışmalarında büyük gelişmeler görülmüştür. Bu çalışmalar sayesinde matematiksel algoritmalar ile problemlerin çözümünde daha gerçekçi sonuçlara ulaşılırken, maliyetlerin ve iş gücünün azaltılması da sağlanmıştır.

Günümüzde, bir problemin çözümünde sayısal simülasyonu kullanarak sadece sonuç elde etmek yeterli değildir. Ayrıca bulunan sonucun doğruluğundan da emin olmak da gerekmektedir. Simülasyon sonuçları ile gerçek değerler arasındaki farkın objektif bir ölçümle doğrulama kriterini bulmak gereklidir. Bu kriteri bakarak sayısal çalışmadan bulduğumuz sonuçların ne kadar gerçeğe yakın olduğunu söyleyebiliriz. Sayısal yöntemler söz konusu olduğunda, ana amaç yapılan simülasyon ile "gerçek dünya" arasında mümkün olduğu kadar yakın davranışı taklit etmektir. Bir sayısal çözümün sonucu gerçeği ile tam olarak uyumlu olabilmesi, sayısal yöntem de kullanılacak uygun matematiksel modellemeyi belirlemek ve bu matematiksel modeldeki denklemlerin çözümünün iyi bir şekilde yapılabilmesi ile mümkün olmaktadır. Sayısal çalışma ile yapılan çözümlerin doğruluğu yapılan benzer bir çalışma ile veya seçilen bir referans modelin sonuçları ile karşılaştırılarak yapılır. Doğrulama yapmak için birçok yol vardır. Genellikle kullanılan yol ise literatürde yapılan doğruluğu onaylanmış benzer çalışmalar ile sonuçların karşılaştırılmasıdır. Yani bir yöntemi doğrulamak için önceden doğruluğu kanıtlanmış bir çalışma referans olarak alınabilir (Archambeault & Connor, 2008).

Bu tez çalışmasında incelenen sıcak su depolama tankı için matematiksel modele ait çözümler ANSYS- Fluent 14.5.7 programı kullanılarak bilgisayar ortamında sayısal olarak çözülmüştür. Benzer modelin imalatı yapıp deneyler gerçekleştirilmiş ve buradan bulunan deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki çalışmadan da elde edilmiş grafikler birlikte değerlendirilmiştir. Böylece sayısal sonuçların doğruluğu bu grafikler üzerinde görülmüştür. Yapılan bu tez çalışmasının doğruluğunun sayısal olarak kanıtlanabilmesi için Zachar v.d.'nin yaptığı çalışma referans olarak alınmıştır. Zachar v.d.'nin sıcaklık tabakalaşmasını elde etmek için seçtikleri fiziksel model üzerinde tezde kullanılan matematiksel model uygulanmıştır. Çözümleme yapılan

modelde Zachar v.d.'nin uygulamış olduğu aynı şartlar uygulanarak tank içerisinde eksenel noktalardaki sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan matematik modelin sonuçları ile Zachar v.d.'nin bulduğu sonuçlar arasındaki karşılaştırmaya Şekil 6.1'de yer verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere bulunan sonuç ile kaynaktan alınan sonuçlar iyi bir uyum içindedir. Böylelikle tez için elde edilen sayısal ve deneysel sonuçların doğruluğu Zachar v.d.'nin yaptığı çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılarak ispatlanmıştır.(Zachar v.d., 2003)

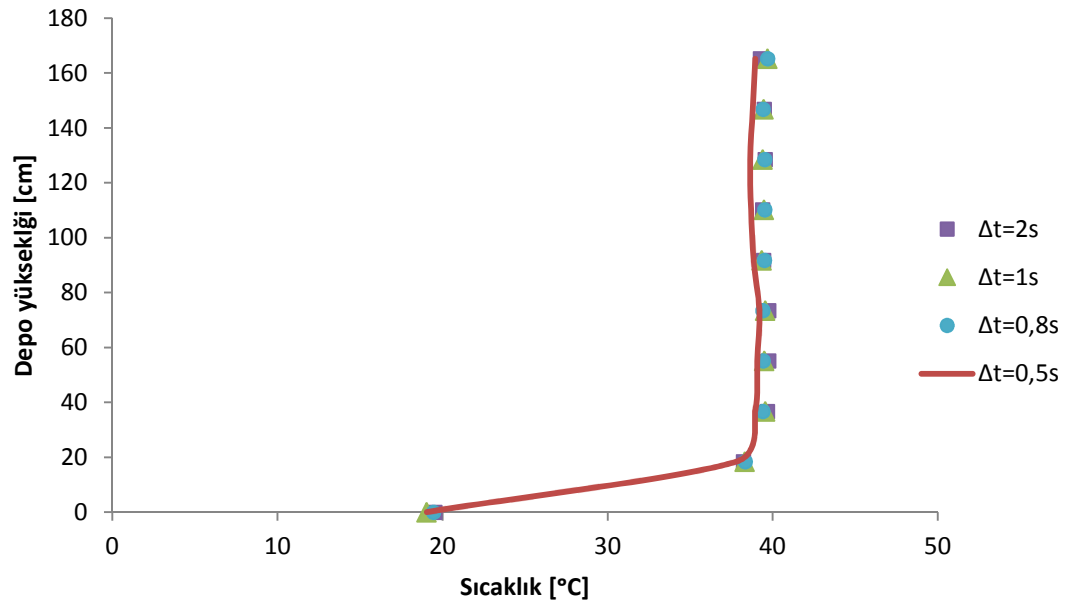


Şekil 6.1: Sıcak su deposu içinde 25 dakikada boyutsuz sıcaklık dağılımı ($T_{baş}=41^{\circ}\text{C}$
 $T_{giriş}=20^{\circ}\text{C}$ - $=1,6 \text{ L/dak}$)

6.2 Sayısal Çalışmadaki Zaman Adımının Seçilmesi

Bu çalışmada incelen sıcak su depolama tankı Fluent 14.5.7 programı ile üç boyutlu, zaman bağlı sayısal olarak çözülmüştür. Bu çözümlemede kullanılan akışkan dinamiğin temel denklemleri içerisinde zamana ait bir parametre vardır. İncelenen problemin çözülmesi amacıyla Fluent programında zamana bağlı olarak çözüm yapılabilmesi için bir zaman dilimi girilmelidir. Bu zaman diliminin büyüklüğü problemin çözümü açısından son derece önemlidir. Şekil 6.2'den görüldüğü gibi 60 dakika şarj işlemi için problemin çözümü için farklı zaman dilimleri programa girilmiş ve belirlenen zaman dilimlerindeki (0,5 s; 0,8 s; 1 s ve 2 s) çözümlemelere ait incelenen deponun merkez eksenini üzerindeki sıcaklık

dağılımı şekilde gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere programda yapılan zamana bağlı çözümde programa girilecek zaman diliminin değeri ne kadar küçük olursa sayısal olarak karşılaşılabilecek hata miktarı azalmaktadır. Fakat bu zaman diliminin küçük seçilmesi de programın çözümleme süresini uzatmaktadır. Zaman diliminin büyük seçilmesi ise sayısal hatanın artmasına neden olurken programın çözümleme süresinin kısılmasını sağlamaktadır. Bu doğrultuda yapılan analizler sonucunda tez kapsamında incelenen modelin çözümünde 0,5 saniye zaman dilimi seçilmiştir.

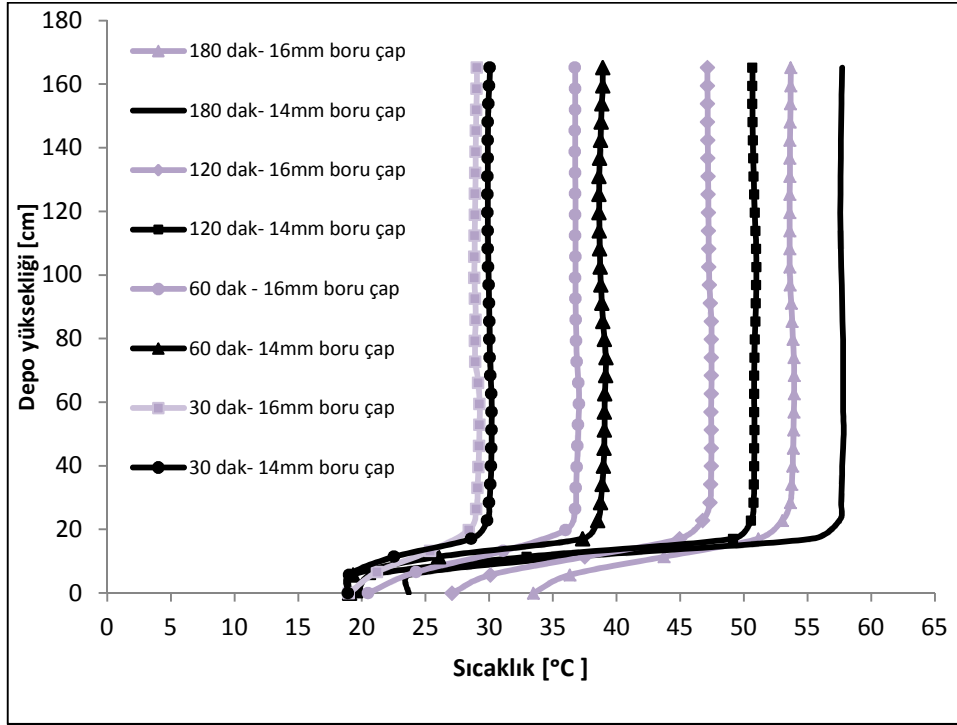


Şekil 6.2: Çözümlemede kullanılan zaman dilimine göre sıcaklık dağılımı

6.3 Sıcak Su Depolama Tankında Kullanılacak Serpantin Borusunun Çap Seçimi

Sıcak su depo tankında kullanılacak olan serpantin borusunun belirlemesi için piyasada olan bakır boruların çapları araştırılmıştır. Depo içerisine yerleştirilmesi mümkün olan 14 mm ve 16 mm iç çapa sahip iki boru seçilmiştir. Bu borulardan hangisinin deney işlemlerinde kullanılabileceğinin belirlenmesi amacıyla iki boru tipi içinde sayısal çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda borular içerisinden 70°C giriş sıcaklığı ve 2,8 L/dak debiye sahip su geçirilmiştir. Depodaki şarj işlemi için belirli zaman dilimlerinde yapılan bu çalışmaların

sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.3’de görülmektedir. Bu şekilden de görüldüğü üzere 30, 60,120 ve 180 dakikalık şarj işlemleri süresince yapılan çalışma sonucunda, 14 mm iç çapa sahip borunun kullanılmasıyla depo içerisinde daha iyi bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Böylelikle daha fazla sıcak su elde edebilmemize olanak sağlayan 14 mm iç çapa sahip boru seçilerek deney işlemlerinde kullanılmıştır. Çizelge 6.2’de yapılan çalışmaların zamana bağlı sayısal değerleri görülmektedir. Bu çizelgeden de 14 mm iç çapa sahip borunun seçilmesinin uygunluğu doğrulanmaktadır.



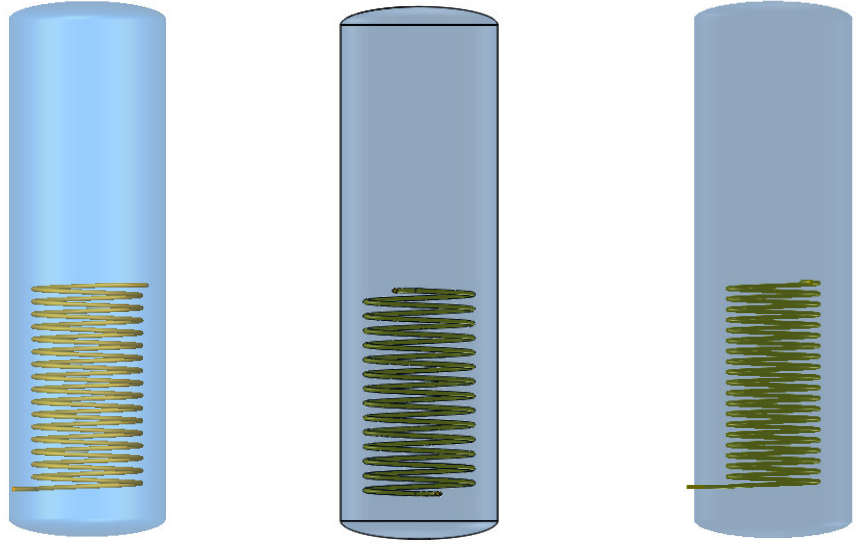
Şekil 6.3: Farklı çapa sahip serpantin borular için şarj işlemindeki sıcaklık dağılımı

Çizelge 6.2 Farklı çapa sahip borular için şarj işlemindeki sıcaklık değerleri

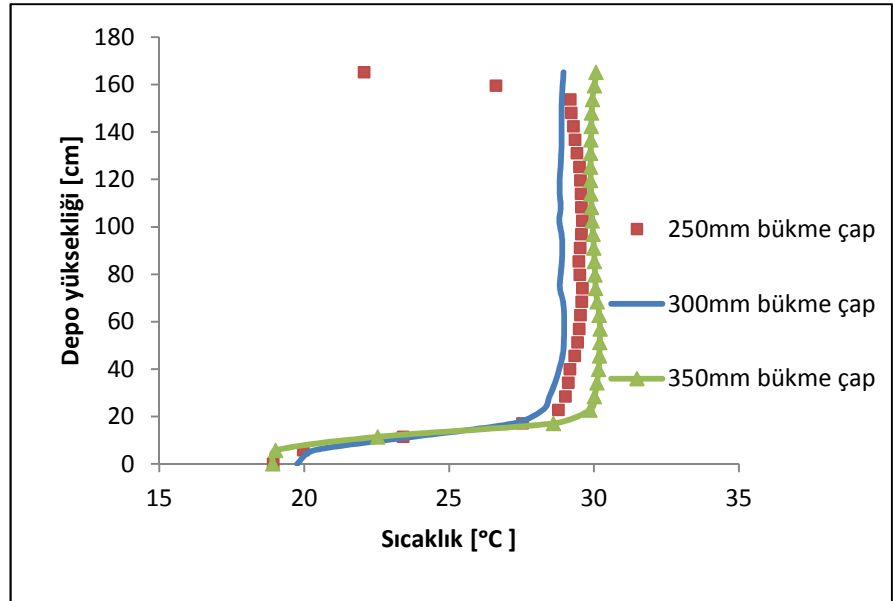
Z [cm]	60dak- 14mm boru çap[°C]	60dak- 16mm boru çap[°C]	Sıcaklık Farkı	120dak- 14mm boru çap[°C]	120dak- 16mm boru çap[°C]	Sıcaklık Farkı	180dak- 14mm boru çap[°C]	180dak- 16mm boru çap[°C]	Sıcaklık Farkı
0	20,3	20,51156	-0,21156	26,456	27,0993	-0,6433	32,888	33,47265	-0,58465
6,608005	22,456	24,27346	-1,81746	29,894	30,10351	-0,20951	35,197	36,3392	-1,1422
13,21601	31,0268	31,10189	-0,07509	37,101	37,52554	-0,42454	43,683	43,73595	-0,05295
19,82401	37,3319	36,00573	1,32617	49,1586	44,9497	4,208901	55,38676	51,13485	4,251915
26,43202	38,5229	36,76577	1,75713	50,556	46,76711	3,788887	57,50215	53,0176	4,48455
33,04002	38,7507	36,81747	1,933233	50,7668	47,33578	3,431023	57,62996	53,64468	3,985282
39,64802	38,8815	36,87923	2,002266	50,7964	47,40392	3,392477	57,68526	53,7571	3,928153
46,25603	38,9746	36,95129	2,023314	50,8079	47,44039	3,367509	57,7256	53,83108	3,894523
52,86403	39,0368	37,00295	2,033847	50,8205	47,44772	3,372784	57,778	53,87127	3,90673
59,47203	39,0528	37,06161	1,991193	50,8298	47,43746	3,392338	57,8427	53,90072	3,941978
66,08004	39,058	37,01882	2,039178	50,8199	47,4183	3,401603	57,79387	53,92083	3,873038
72,68804	39,0825	36,88866	2,193836	50,8021	47,4435	3,358596	57,78304	53,95016	3,832878
79,29605	39,1512	36,84505	2,306145	50,8045	47,4464	3,358096	57,79439	53,94509	3,849296
85,90405	39,1699	36,81329	2,356614	50,828	47,44857	3,37943	57,79518	53,92583	3,869346
92,51205	39,0592	36,78274	2,276462	50,8629	47,4569	3,405998	57,77742	53,84997	3,927451
99,12006	38,9375	36,76623	2,171272	50,9031	47,45614	3,446961	57,74474	53,78481	3,959922
105,7281	38,8388	36,77721	2,061586	50,9426	47,36874	3,573864	57,70836	53,71947	3,988883
112,3361	38,77	36,77377	1,996234	50,9748	47,28802	3,686783	57,67604	53,63973	4,036308
118,9441	38,7224	36,77157	1,950832	50,988	47,2459	3,742097	57,64589	53,59643	4,049461
125,5521	38,6858	36,76662	1,919176	50,9647	47,23751	3,727189	57,61427	53,59652	4,017753
132,1601	38,6564	36,75793	1,898473	50,9121	47,22915	3,682951	57,58662	53,5967	3,989921
138,7681	38,6349	36,74923	1,885671	50,8543	47,21859	3,63571	57,57457	53,5975	3,977073
145,3761	38,7957	36,74859	2,047111	50,8042	47,2011	3,603097	57,57973	53,60174	3,977989
151,9841	38,8505	36,75289	2,097609	50,7645	47,18957	3,574932	57,59386	53,60571	3,988151
158,5921	38,9144	36,75723	2,157175	50,7326	47,17794	3,55466	57,60899	53,6097	3,99929
165,2001	38,9269	36,74813	2,178769	50,706	47,16235	3,543654	57,62248	53,61422	4,008262

6.4 Sıcak Su Depolama Tankında Kullanılan Serpantin Bükme Çapı Seçimi

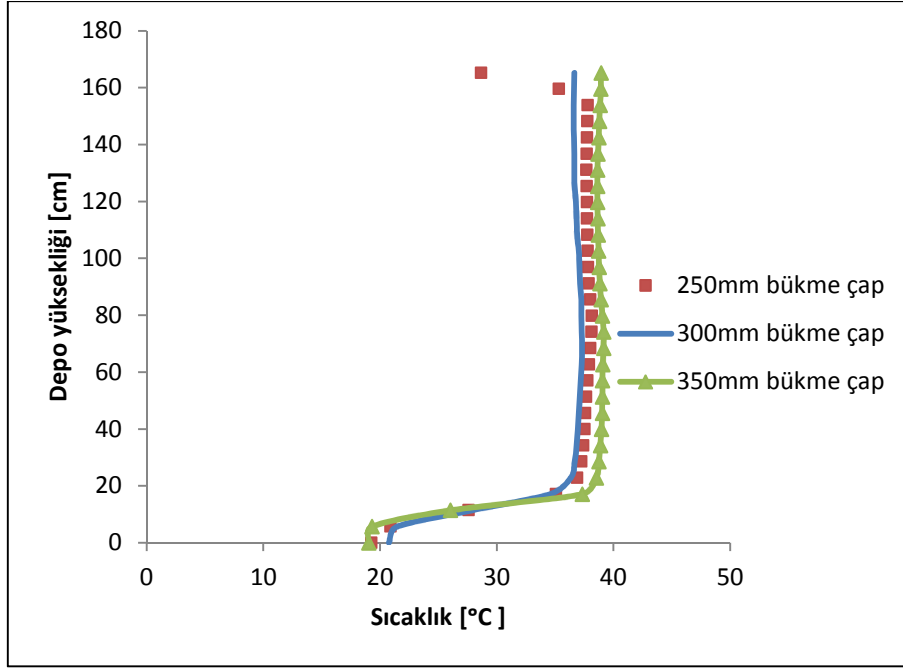
Sıcak su depolama tankında serpantine ait ilk parametre olan borunun çapı belirlendikten sonra ikinci parametre olan serpantin borusunun bükme çapı sayısal olarak incelenmiştir. Hangi bükme çaplarının inceleneceğinin belirlenmesinde deponun iç çapı ve doğal taşınım olabilmesi için depo içerisine yerleştirilecek serpantin boru ile depo cidarının arasında kalan mesafe belirleyici rol oynamaktadır. Deponun iç çapının 440 mm olduğu ve serpantin borusunun depo cidarı ile arasındaki mesafe de dikkate alınarak, serpantin borusunun bükme çapı 350, 300 ve 250 mm olarak seçilmiştir (Şekil 6.4). Serpantin borusunun bükme çapı, 350 mm'den büyük olursa depo cidarına çok yakın bir mesafede olacağından dolayı doğal taşınım ile olan ısı transferi olumsuz etkilenecektir. Bu sebeple maksimum bükme çapı 350 mm seçilmiştir. Depo içerisindeki serpantin borusunun yüksekliği ise giriş ve çıkışların sabit olmasından dolayı sabittir. Bunun için bükme çapının değiştirilmesi de hatve aralığını etkilemektedir. 250 mm den daha az bir bükme çapının seçilmesi hatve aralığı kalmadığı için mümkün olmamaktadır. Böylece belirlenen bükme çapları için serpantin borusunun depo içerisindeki toplam alanı $0,69242 \text{ m}^2$ 'de sabit tutularak sayısal çözüm yapılmıştır. Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda 250 mm bükme çapına sahip serpantin borusunun sıcaklık tabakalaşmasını bozduğu görülmektedir (Şekil 6.4). Depo içerisindeki merkez ekseninden alınan zamana bağımlı sıcaklık verilerine bakılarak en iyi sıcaklık dağılımını veren 350 mm bükme çapı olduğu Şekil 6.5 ile Şekil6.14'te anlaşılmaktadır. Çizelge 6.3'ten görüldüğü gibi burada en iyi sıcaklık tabakalaşması elde edilen serpantin borusu bükme çapı 350 mm olmaktadır. Deney işlemlerinde de 14 mm iç çapa ve 350 mm bükme çapına sahip serpantin borusu kullanılmıştır.



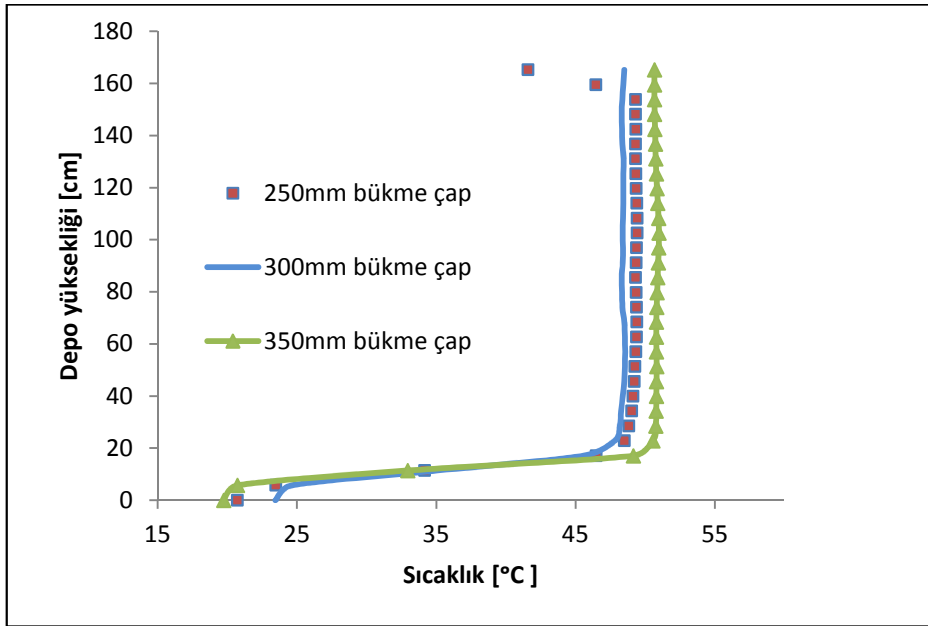
Şekil 6.4: Sıcak su depolama tankında farklı serpantin bükme çaplı serpantin uygulaması:
a)350mm b)300mm c)250mm



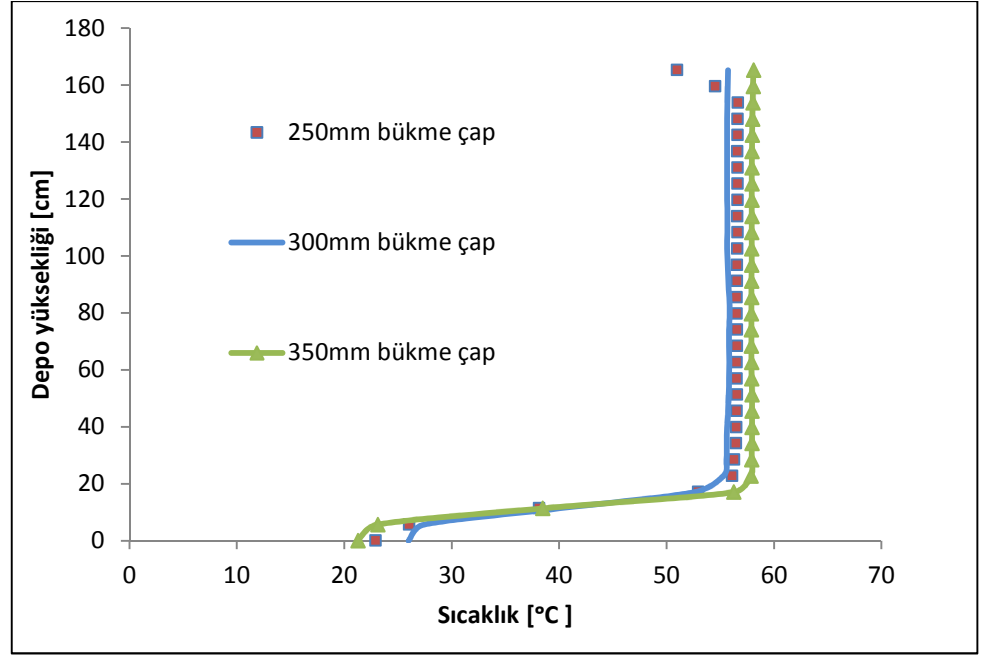
Şekil 6.5 : Sıcaklık dağılımı 30 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için.



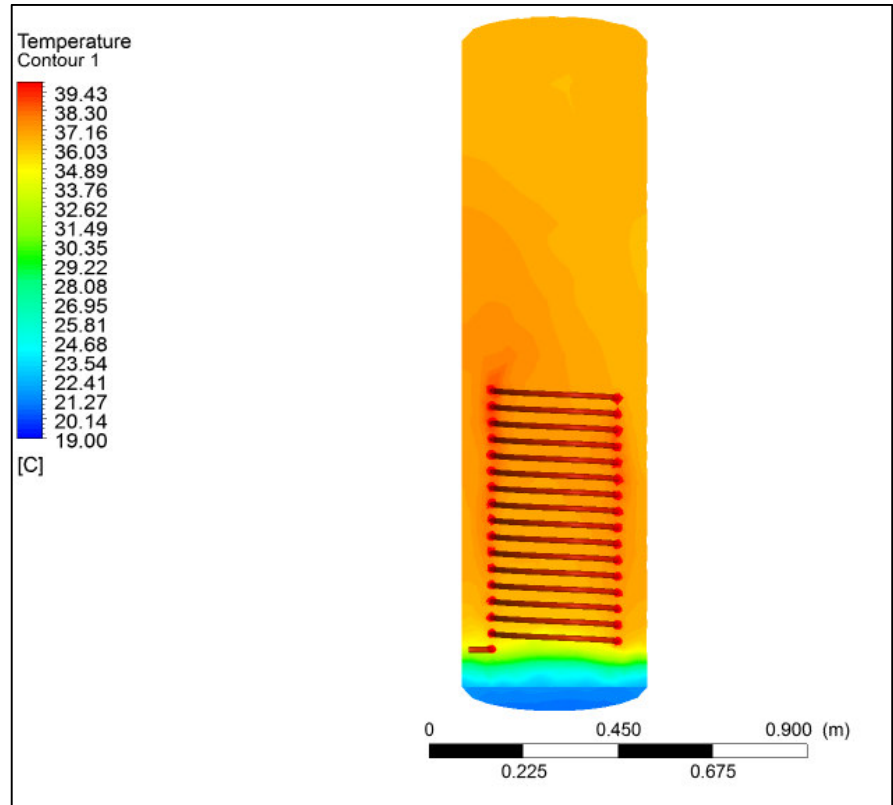
Şekil 6.6 : Sıcaklık dağılımı 60 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için



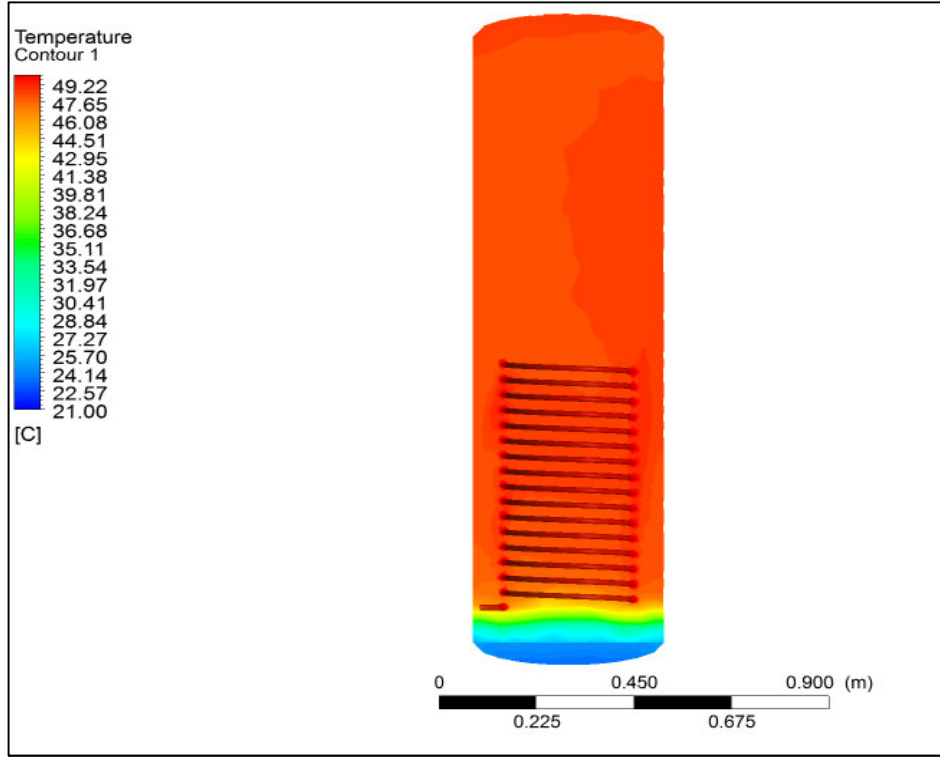
Şekil 6.7 : Sıcaklık dağılımı 120 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için



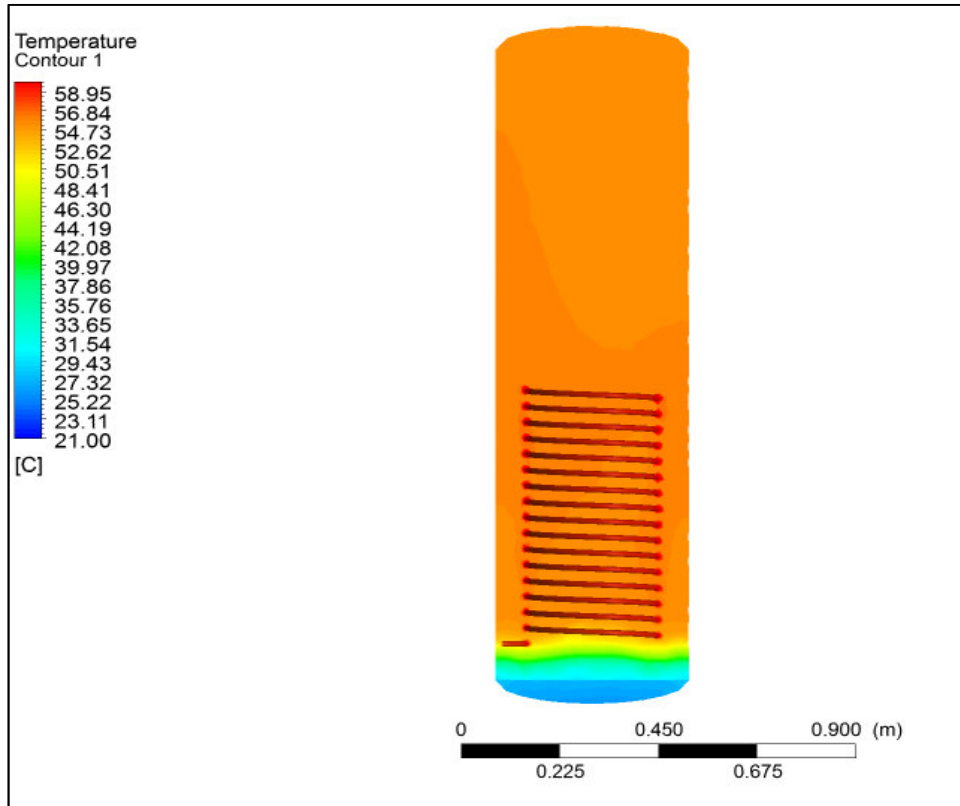
Şekil 6.8 : Sıcaklık dağılımı 180 dak şarj işlemi ve farklı bükme çapları için



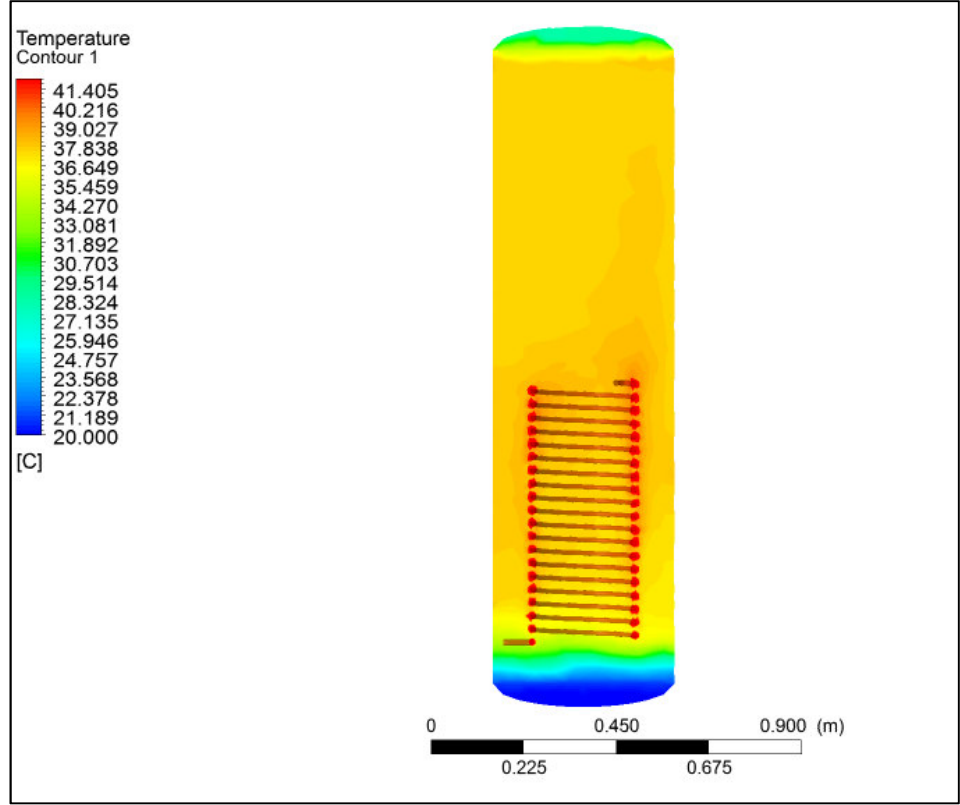
Şekil 6.9: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 60 dak şarj işlem 300mm bükme çapı için.



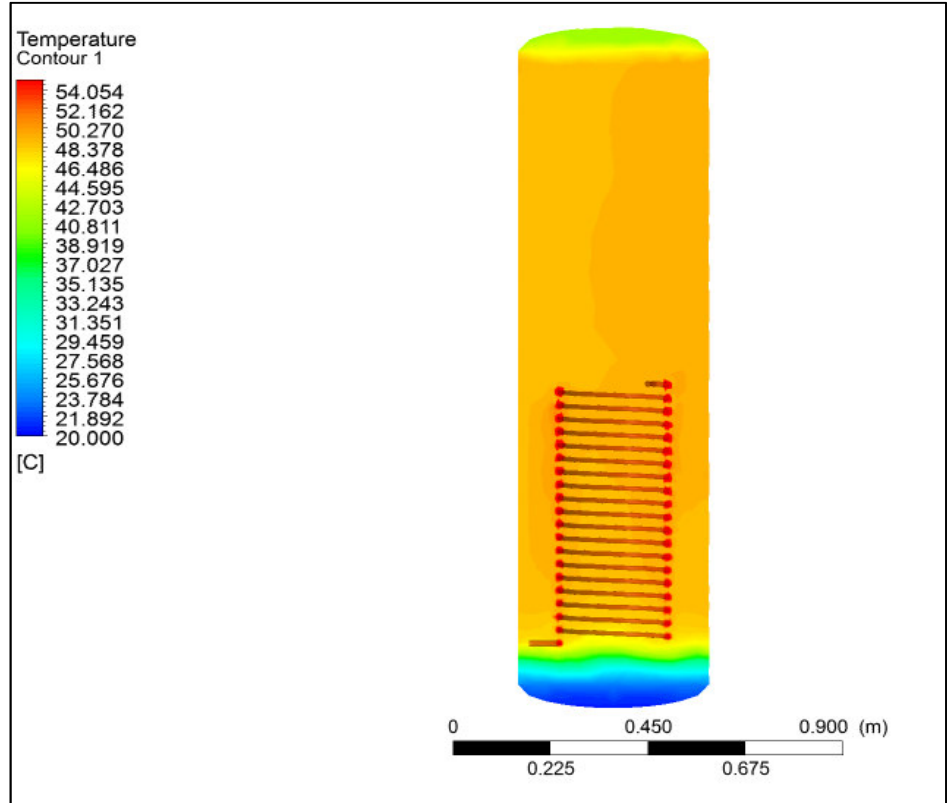
Şekil 6.10: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 120 dak şarj işlem 300mm bükme çapı için.



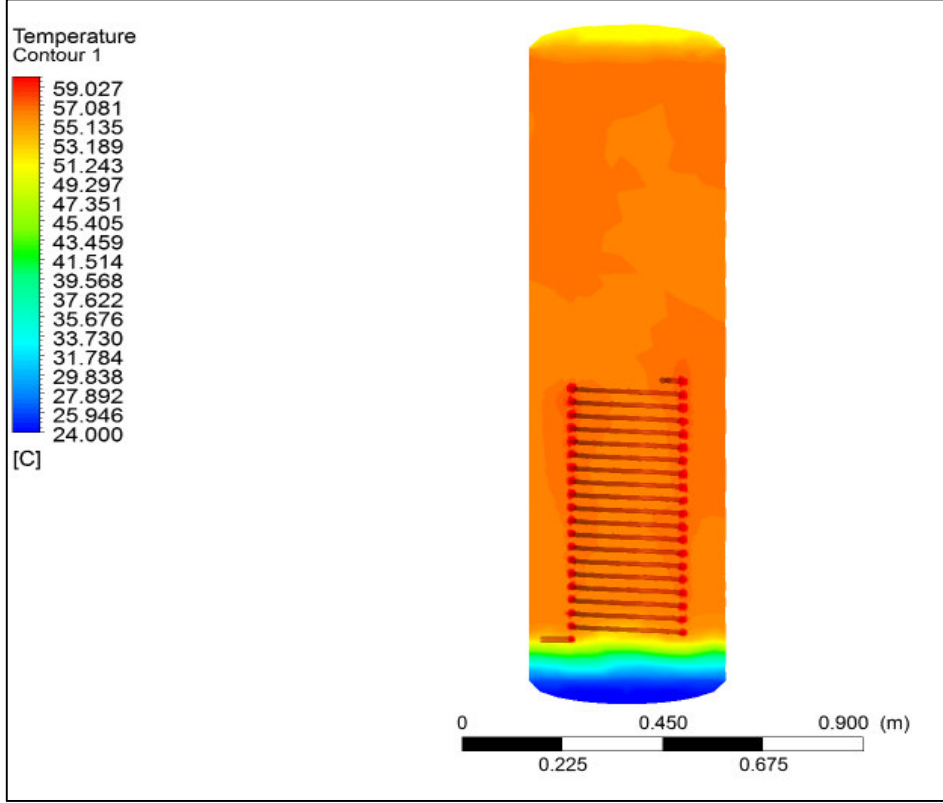
Şekil 6.11: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 180 dak şarj işlem 300mm bükme çapı için.



Şekil 6.12: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 60 dak şarj işlem 250mm bükme çapı için.



Şekil 6.13: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 120 dak şarj işlem 250mm bükme çapı için.



Şekil 6.14: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı, 180 dak şarj işlem 250mm bükme çapı için.

Çizelge 6.3 Farklı bükme çapa sahip borular için şarj işlemindeki sıcaklık değerleri

Z [cm]	250 mm					300 mm					350 mm				
	60 dak	120 dak	180 dak	240 dak	300 dak	60 dak	120 dak	180 dak	240 dak	300 dak	60 dak	120 dak	180 dak	240 dak	300 dak
	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [°C]
0,0	19,26	20,72	22,90	25,28	27,68	20,76	23,45	25,99	28,63	30,97	19,03	19,73	23,68	23,42	19,26
5,7	20,89	23,49	26,02	28,45	30,89	21,48	24,61	27,43	30,31	32,69	19,31	20,72	23,71	25,89	20,89
11,4	27,59	34,18	38,13	41,32	43,72	27,86	35,07	40,03	43,77	45,88	26,03	32,95	36,69	42,87	27,59
17,1	35,07	46,49	52,94	57,27	59,75	34,55	45,58	52,59	57,10	59,59	37,33	49,16	55,39	60,43	35,07
22,8	36,87	48,51	56,11	60,67	63,59	36,34	47,81	55,29	59,99	62,95	38,52	50,56	57,50	62,16	36,87
28,5	37,23	48,84	56,29	60,87	63,76	36,69	48,18	55,58	60,28	63,23	38,75	50,77	57,63	62,19	37,23
34,2	37,41	49,04	56,45	60,97	63,82	36,84	48,27	55,61	60,33	63,30	38,88	50,80	57,69	62,20	37,41
39,9	37,52	49,14	56,47	61,00	63,84	36,95	48,39	55,63	60,38	63,31	38,97	50,81	57,73	62,22	37,52
45,6	37,58	49,22	56,52	61,05	63,88	37,04	48,50	55,73	60,42	63,34	39,04	50,82	57,78	62,25	37,58
51,3	37,65	49,28	56,53	61,06	63,92	37,12	48,54	55,78	60,46	63,36	39,05	50,83	57,84	62,29	37,65
57,0	37,75	49,34	56,52	61,08	63,93	37,20	48,56	55,82	60,50	63,37	39,06	50,82	57,79	62,32	37,75
62,7	37,90	49,38	56,52	61,11	63,94	37,27	48,54	55,83	60,54	63,37	39,08	50,80	57,78	62,27	37,90
68,4	38,01	49,42	56,54	61,18	63,95	37,32	48,50	55,83	60,56	63,38	39,15	50,80	57,79	62,18	38,01
74,1	38,12	49,38	56,55	61,24	63,97	37,29	48,37	55,82	60,48	63,38	39,17	50,83	57,80	62,15	38,12
79,8	38,14	49,36	56,52	61,28	63,92	37,27	48,34	55,87	60,40	63,39	39,06	50,86	57,78	62,16	38,14
85,4	38,02	49,32	56,51	61,26	63,90	37,26	48,31	55,83	60,35	63,42	38,94	50,90	57,74	62,20	38,02
91,1	37,86	49,36	56,54	61,22	63,89	37,15	48,39	55,75	60,31	63,44	38,84	50,94	57,71	62,24	37,86
96,8	37,81	49,39	56,56	61,17	63,89	37,08	48,40	55,69	60,28	63,42	38,77	50,97	57,68	62,31	37,81
102,5	37,80	49,42	56,58	61,10	63,91	37,03	48,39	55,65	60,26	63,37	38,72	50,99	57,65	62,36	37,80
108,2	37,75	49,43	56,59	61,09	63,91	36,89	48,41	55,65	60,26	63,37	38,69	50,96	57,61	62,35	37,75
113,9	37,74	49,41	56,58	61,05	63,91	36,84	48,44	55,66	60,28	63,34	38,66	50,91	57,59	62,30	37,74
119,6	37,73	49,36	56,59	61,03	63,91	36,80	48,44	55,64	60,28	63,32	38,63	50,85	57,57	62,26	37,73
125,3	37,71	49,34	56,60	61,02	63,91	36,67	48,44	55,65	60,28	63,34	38,63	50,80	57,58	62,23	37,71
131,0	37,69	49,32	56,60	61,01	63,90	36,66	48,45	55,63	60,29	63,29	38,63	50,76	57,59	62,21	37,69
136,7	37,69	49,33	56,58	61,01	63,91	36,64	48,37	55,63	60,30	63,30	38,67	50,73	57,61	62,20	37,69
142,4	37,73	49,33	56,59	61,00	63,91	36,62	48,34	55,64	60,30	63,30	38,74	50,71	57,62	62,19	37,73
148,1	37,76	49,33	56,62	61,01	63,92	36,60	48,32	55,64	60,30	63,29	38,80	50,69	57,64	62,20	37,76
153,8	37,80	49,31	56,62	61,00	63,92	36,60	48,36	55,66	60,32	63,30	38,85	50,67	57,65	62,20	37,80
159,5	35,33	46,48	54,53	59,24	62,77	36,62	48,43	55,69	60,35	63,31	38,91	50,67	57,69	62,21	35,33
165,2	28,66	41,59	50,98	57,11	61,19	36,66	48,51	55,71	60,38	63,33	38,93	50,67	57,72	62,23	28,66
ORTALAMA															
	35,74	46,52	53,40	57,80	60,64	35,47	46,22	53,13	57,62	60,52	37,06	48,12	54,64	59,02	61,63

6.5 Sıcak Su Depolama Tankında Yönlendirici Olmadığı Duruma Ait Sonuçlar

Depo içerisinde yönlendirici tip koni levhanın sıcaklık dağılımına olan etkisini daha iyi görebilmek için yönlendirici koni olmadığı durum için sayısal ve deneysel çalışma farklı giriş sıcaklıkları ve debiler için yapılmıştır.

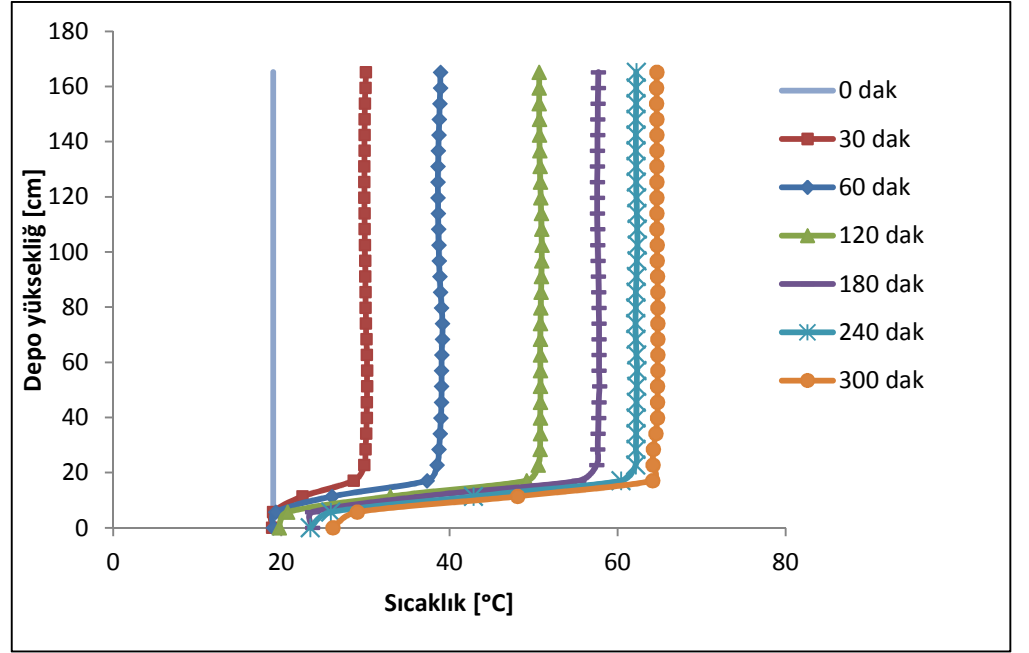
6.5.1 Sayısal Çözüm

Bu bölümde anlatılacak olan sayısal çalışmalar sabit debi ve sabit sıcaklık şartları altında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların yapıldığı bilgisayarın modellileri HP-Z680 ve HPCServer' dir. Her bir sayısal çalışmada yapılan 300 dakikalık şarj işleminin bilgisayar tarafından çözüm süresi yaklaşık üç hafta sürmektedir.

6.5.1.1 Sabit Debi

Zamana bağlı olarak yapılan ilk sayısal çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C'dir. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.15'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılaacağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 18,06 °C artarak 37,06 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,05 °C daha artarak 48,11°C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,53 °C artarak 54,64 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 4,38 °C daha artarak 59,02 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,61°C daha artarak 61,63 °C'ye varmıştır. Şekil 6.15'ten de görüldüğü üzere deponun içerisindeki sıcaklık ortalamasının artışı zaman geçtikçe azalmaktadır. Bunun sebebi ise serpantin borusu içindeki suyun sıcaklığı ile deponun içerisindeki suyun sıcaklık farkının azalmasıdır. Ayrıca serpantin borusunun deponun 330 mm yüksekliğinden sonra hemen hemen üniform bir

sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bu şekilde deponun içerisindeki suyun yaklaşık %80' inin sıcaklık dağılımı homojendir.

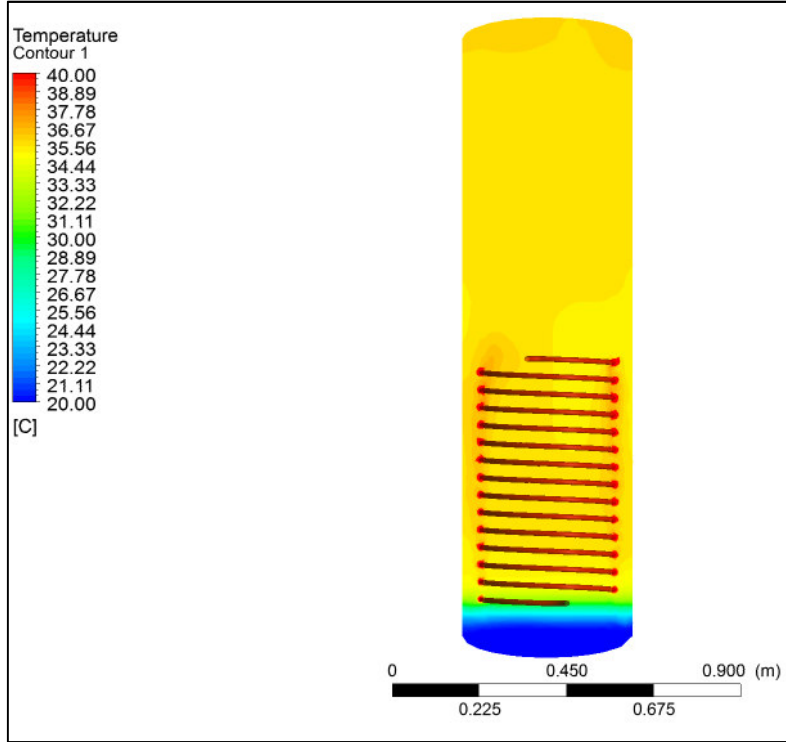


Şekil 6.15: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı

($T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)

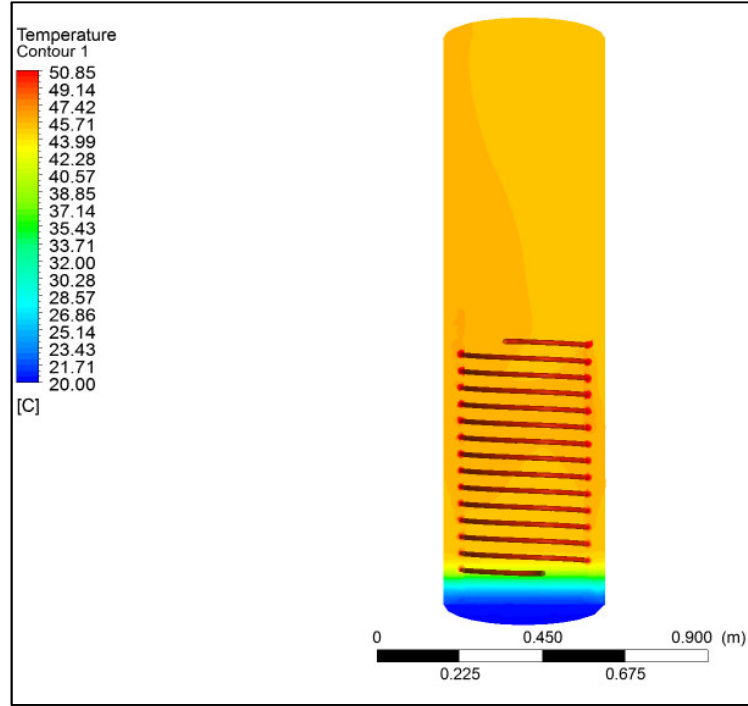
Şekil 6.16 ile 6.20' de görülen sıcak su depolama tanklarının içindeki sıcak dağılımı z-r düzleminde çizilmiştir. Şekillerde 60, 120, 180, 240 ve 300' üncü dakikadaki depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk 60 dakikalık şarj işleminin süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımının karmaşık olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise Şekil 6.21' de gösterilmiş olan hız vektörlerine bakarak anlaşılabilir. Bu şekilden de görüldüğü üzere doğal taşınım ile serpantin boruları etrafında ısınan su kütleleri yönlendirici olmaması sebebiyle deponun üst kısmına ulaşmadan soğuk su kütleleri ile çarpışabiliyor. Deponun üst kısmına ulaşabilen sıcak su kütleleri ise orada oluşan girdap nedeniyle farklı yönlere dağılarak soğuk su kütleleri ile karşılaşılıyor. Aynı şekilde görüldüğü gibi hızın sıfıra yakın olduğu bölgeler girdabın merkezini temsil etmektedir. Bu girdaplar diğer şarj zamanlarında da devam etmektedir (Şekil 6.22 ve 6.25). Depo içerisinde oluşan bu olaylar nedeniyle ilk 60 dakikalık şarj süresinin sonunda homojen bir sıcaklık tabakalaşması elde edilememektedir. Fakat süre uzadıkça depo içerisindeki su ile serpantin borularındaki su arasında sıcaklık farkı azalmaktadır. Böylece depo içerisindeki sular hemen hemen aynı sıcaklığa

gelmekte ve sıcaklığa bağlı olarak su kütleleri arasındaki yoğunluk farkı azalmaktadır. Bu durumda depo içerisindeki su kütlelerinin doğal taşınım ile olan hareketlerinde yavaşlamalarına sebebiyet vermektedir. Bu şekilde ancak uzun şarj işlemleri sonunda depo içerisinde homojen sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Şekil 6.16 ile Şekil 6.20 arasındaki şekillerde 330 mm den aşağı olan bölgede ısı tabakalaşmanın başladığı görülmektedir. Doğal taşınım olayında ısınan su kütleleri, yer çekimi ivmesinin aksine yukarıya doğru hareket ettiği için deponun alt kısmındaki hız vektörleri sıfıra yakın olmaktadır(Şekil 6.21-Şekil 6.25). Bu nedenle serpantin boruları ile deponun tabanı arasındaki kalan kısımda olan su kütlesi çok az bir miktarda ısınmaktadır.

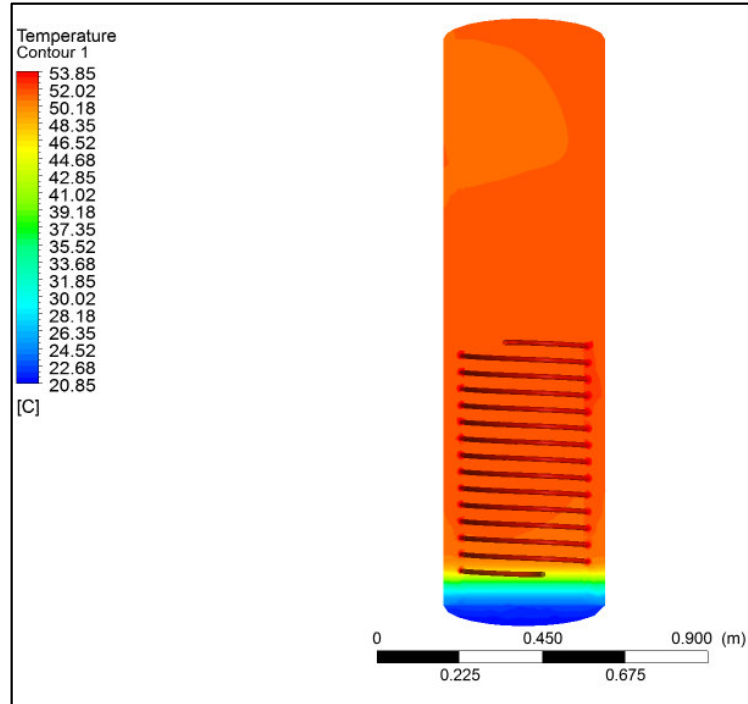


Şekil 6.16: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika-

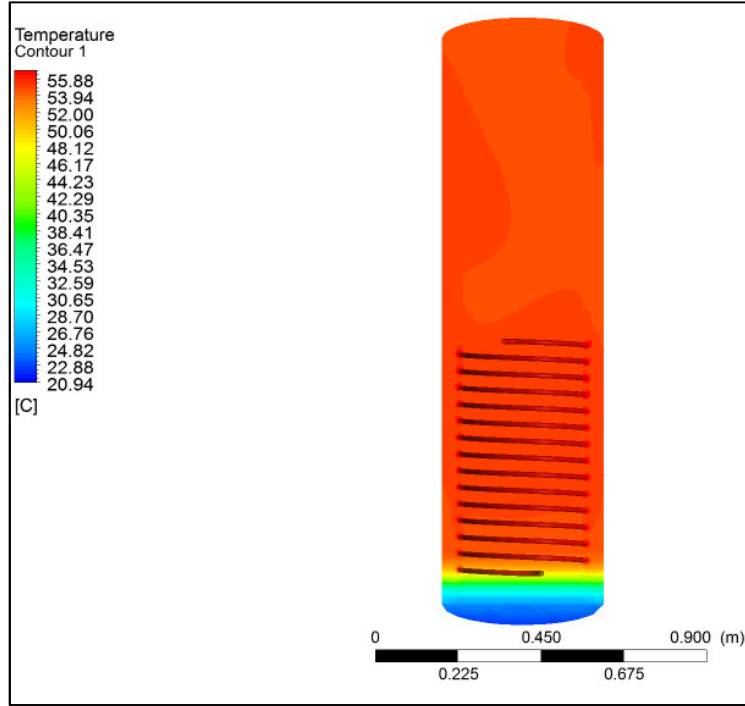
$$T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C} , \dot{V}=2,8\text{ L/dak})$$



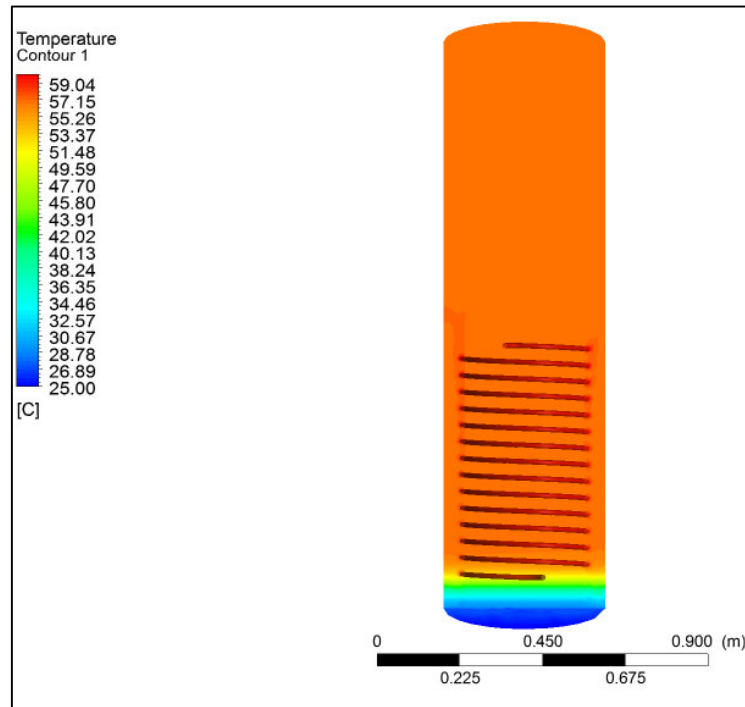
Şekil 6.17: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika;
 $T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



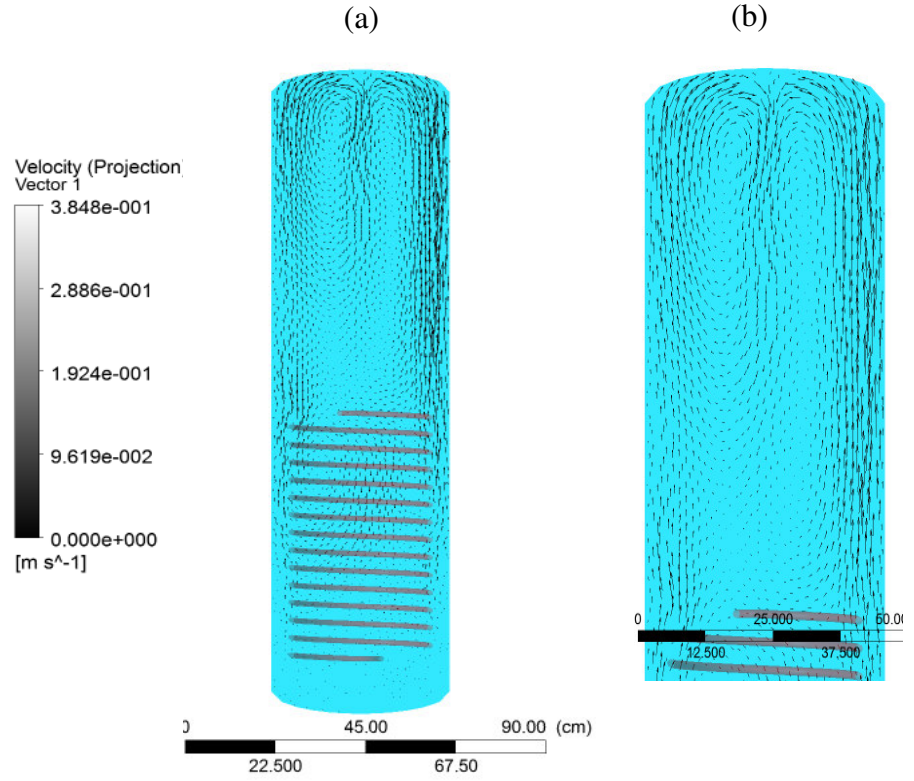
Şekil 6.18: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



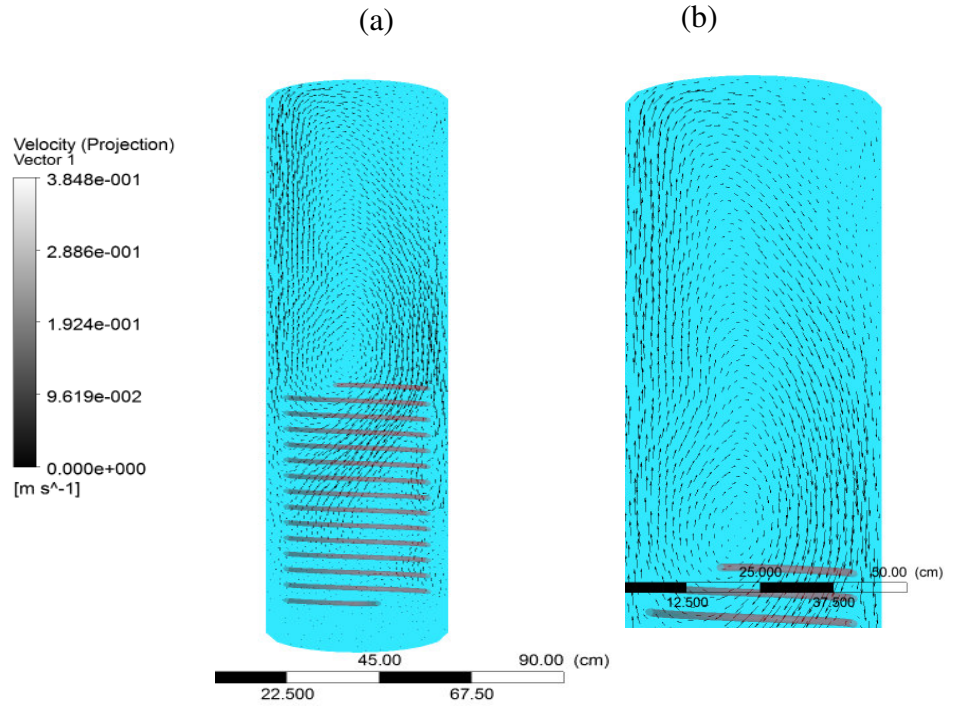
Şekil 6.19: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



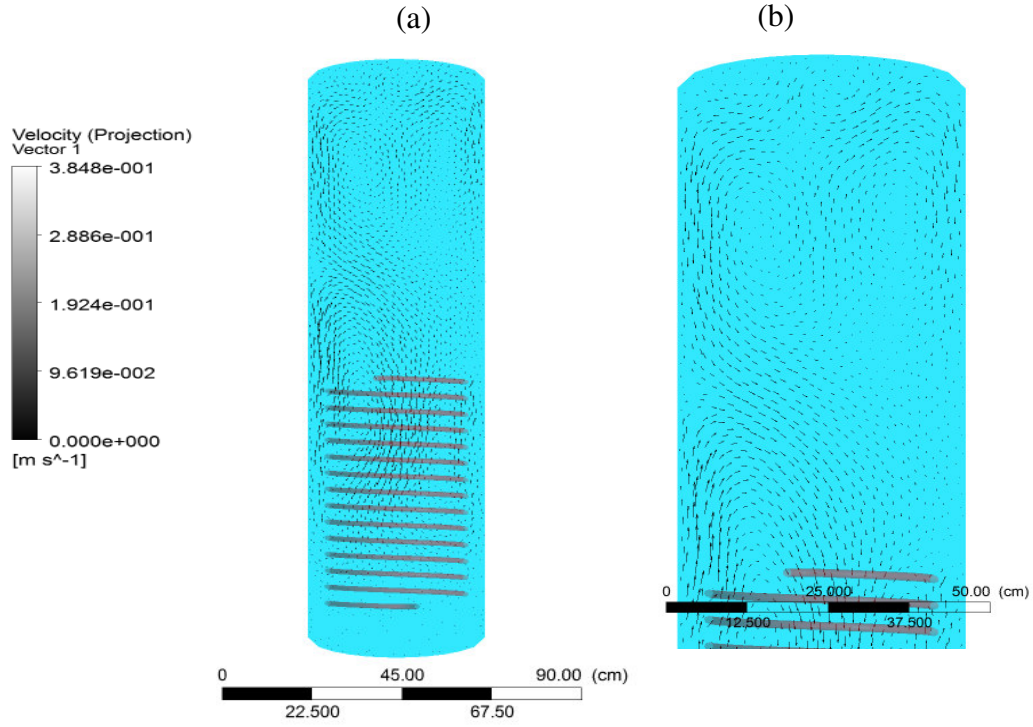
Şekil 6.20: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



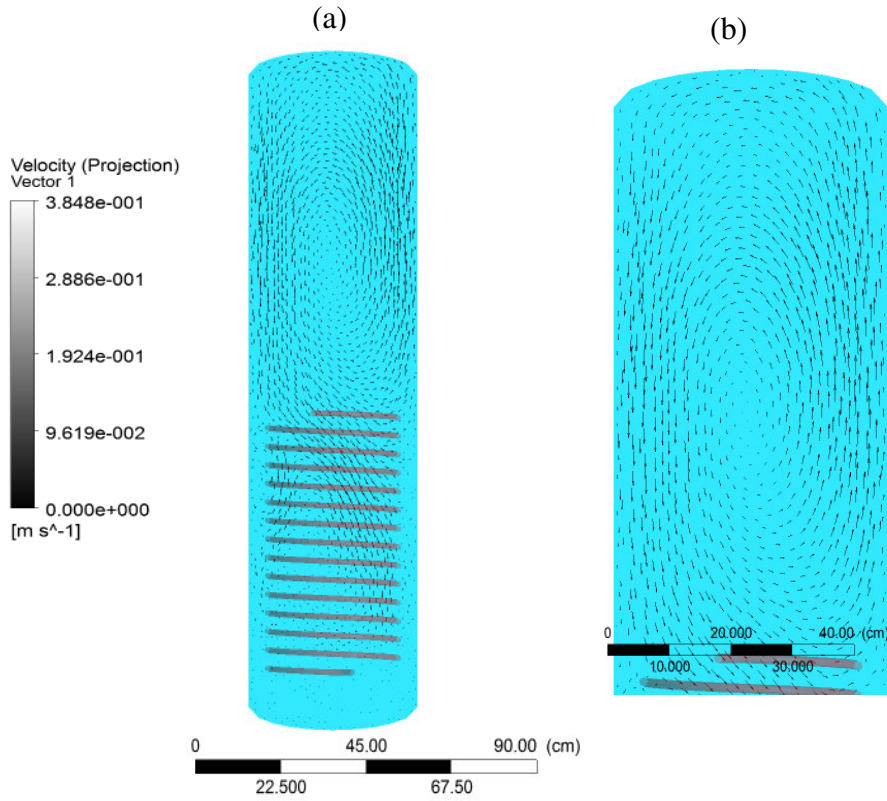
Şekil 6.21: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



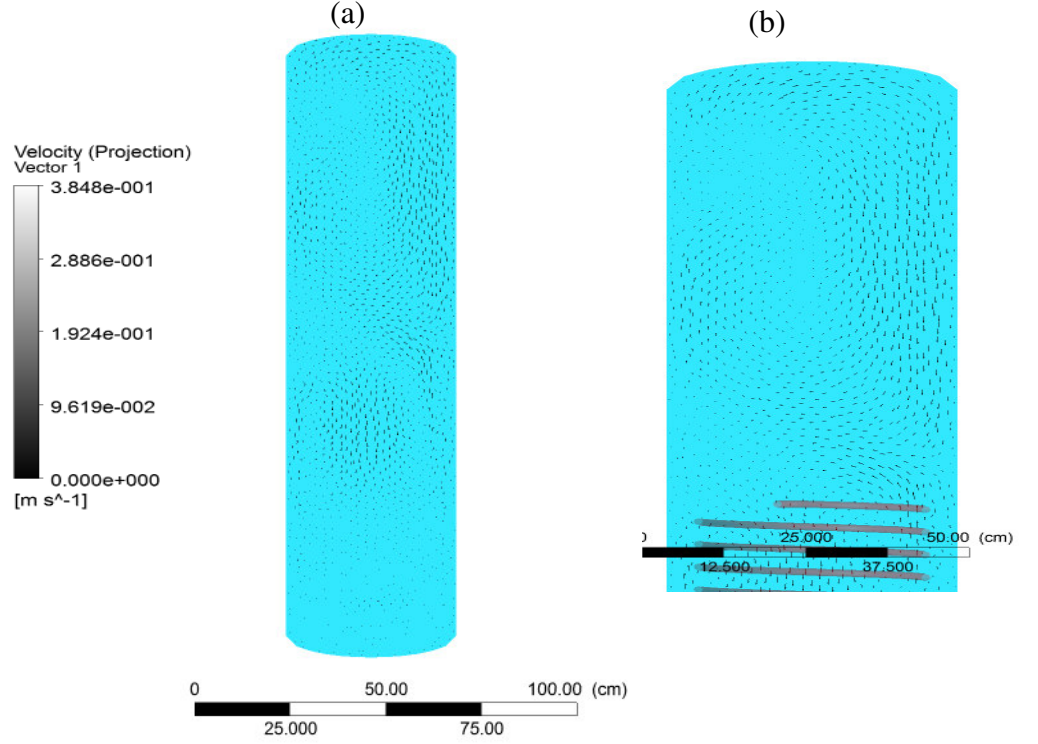
Şekil 6.22: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



Şekil 6.23: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)

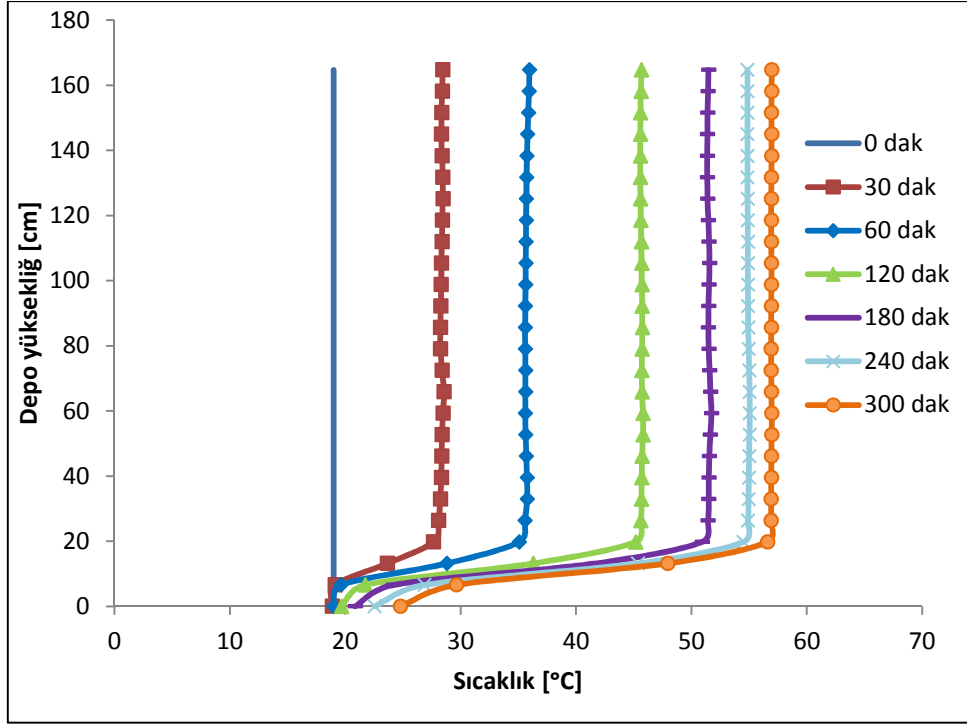


Şekil 6.24: : Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



Şekil 6.25: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)

Zamana bağlı olarak yapılan ikinci sayısal çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun giriş debisi 2;8 L/dak, sıcaklığı ise 60 °C'dir. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.26'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılabileceği üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 15,14 °C artarak 34,14 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 9,22 °C daha artarak 43,36 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 5,5 °C artarak 48,86 °C olmuştur. 240'uncü dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,34 °C daha artarak 52,21 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,07 °C daha artarak 54,28 °C'ye varmıştır. 300 dakikalık şarj işlemi sonunda 70 °C giriş sıcaklığı ve 60 °C giriş sıcaklığı için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aradaki ortalama farkın 7,35 °C olduğu görülmektedir.

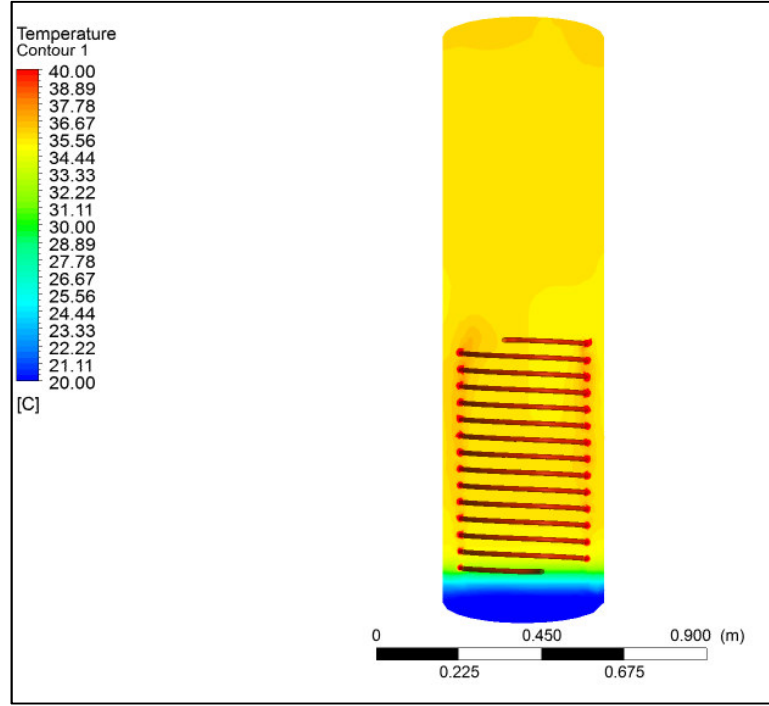


Şekil 6.26: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı

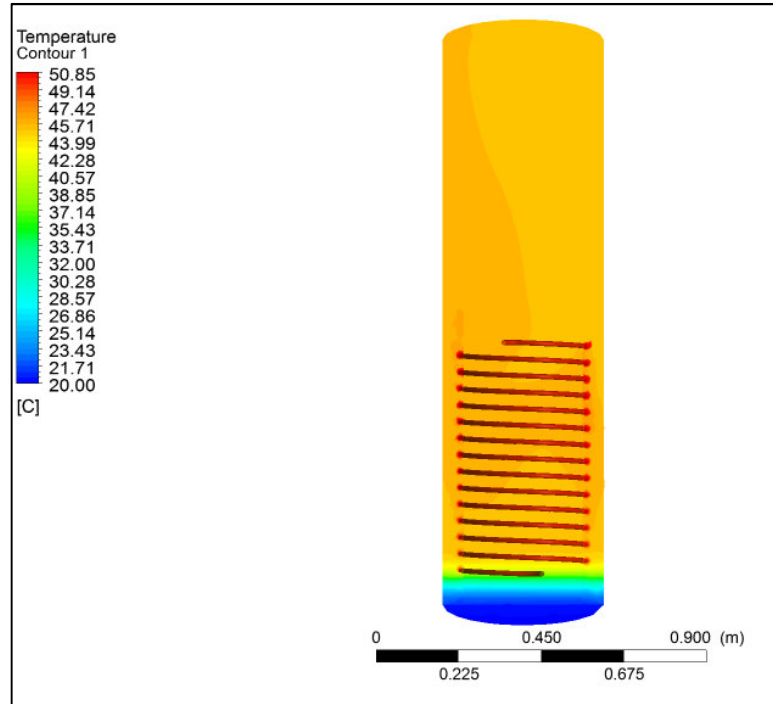
($T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)

Şekil 6.27 ile 6.31' de görülen sıcak su depolama tanklarının içindeki sıcak dağılımı z-r düzleminde çizilmiştir. Şekillerde 60, 120, 180, 240 ve 300' üncü dakikadaki depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk 60 dakikalık şarj işleminin süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımının karmaşık olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise Şekil 6.32' de gösterilmiş olan hız vektörlerine bakarak anlaşılabilir. Bu şekilden de görüldüğü üzere doğal taşınım ile serpantin boru etrafında ısınan su kütleleri yönlendirici olmaması sebebiyle deponun üst kısmına ulaşmadan soğuk su kütleleri ile çarpışabiliyor. Deponun üst kısmına ulaşabilen sıcak su kütleleri ise orada oluşan girdap nedeniyle farklı yönlerde dağılarak soğuk su kütleleri ile karşılaşılıyor. Depo içerisinde oluşan bu olaylar nedeniyle ilk 60 dakikalık şarj süresinin sonunda homojen bir sıcaklık tabakalaşması elde edilememektedir. Fakat süre uzadıkça serpantin borularındaki su ile depo içerisindeki su arasındaki sıcaklık farkı azalmaktadır. Böylece depo içerisindeki sular hemen hemen aynı sıcaklığa gelmekte ve sıcaklığa bağlı olarak su kütleleri arasındaki yoğunluk farkı azalmaktadır. Bu durumda depo içerisindeki su kütlelerinin doğal taşınım ile olan hareketlerinde yavaşlamalarına sebebiyet vermektedir. Bu şekilde ancak uzun şarj

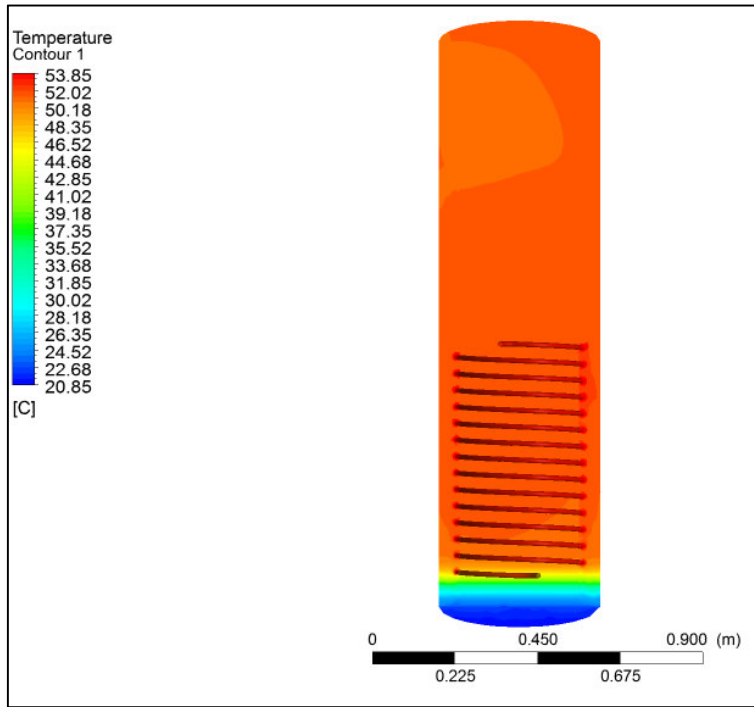
işlemleri sonunda depo içerisinde homojen sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Şekil 6.27 ile Şekil 6.36.



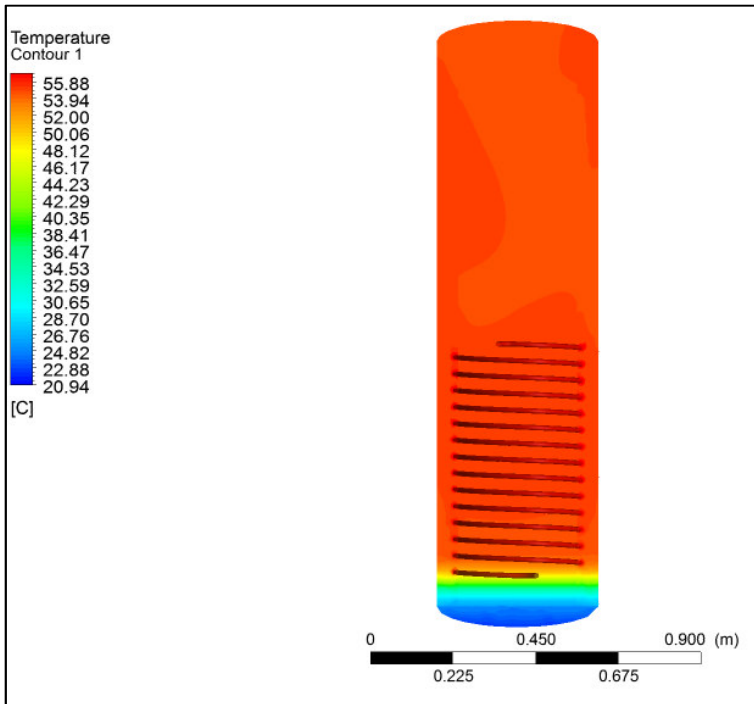
Şekil 6.27: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



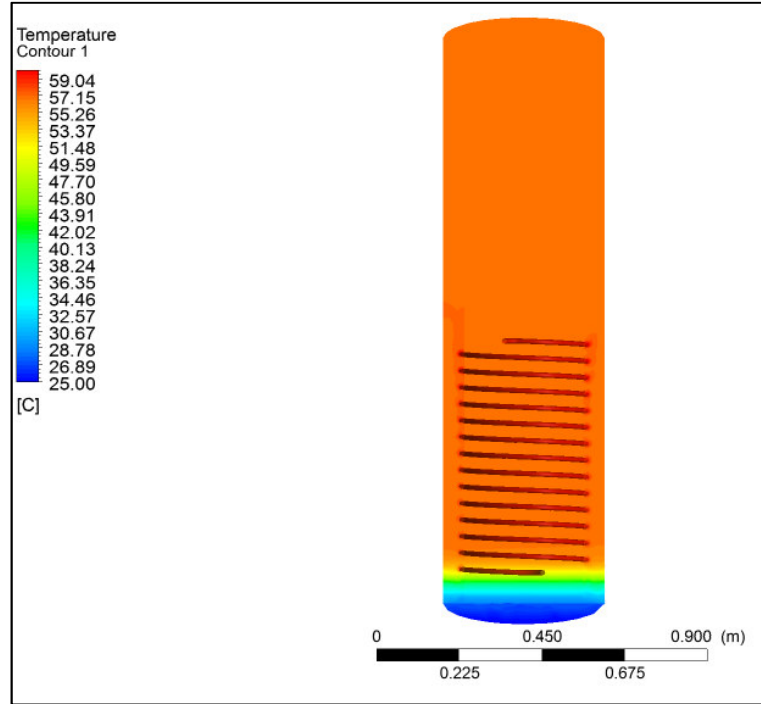
Şekil 6.28: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



Şekil 6.29: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



Şekil 6.30: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)

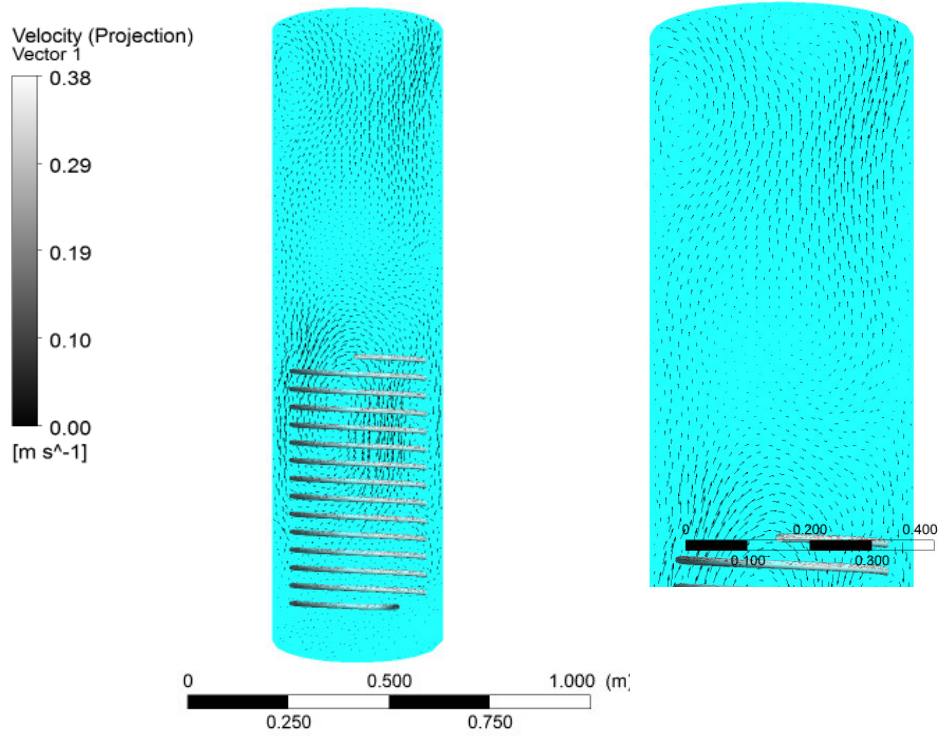


Şekil 6.31: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika-

$T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)

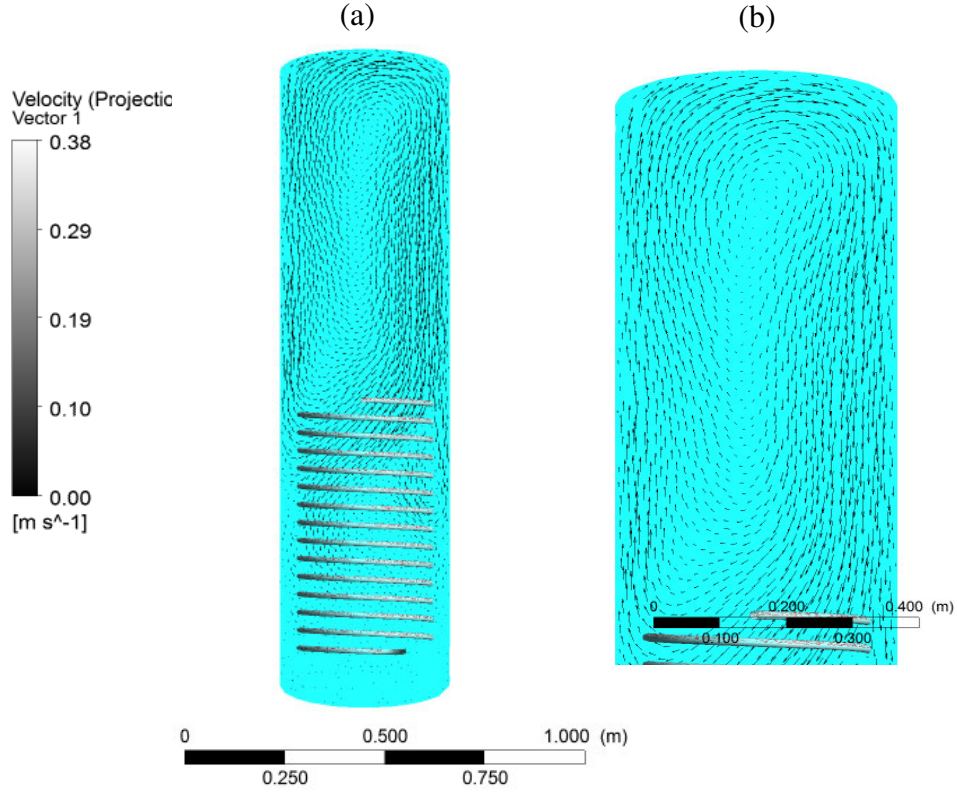
(a)

(b)

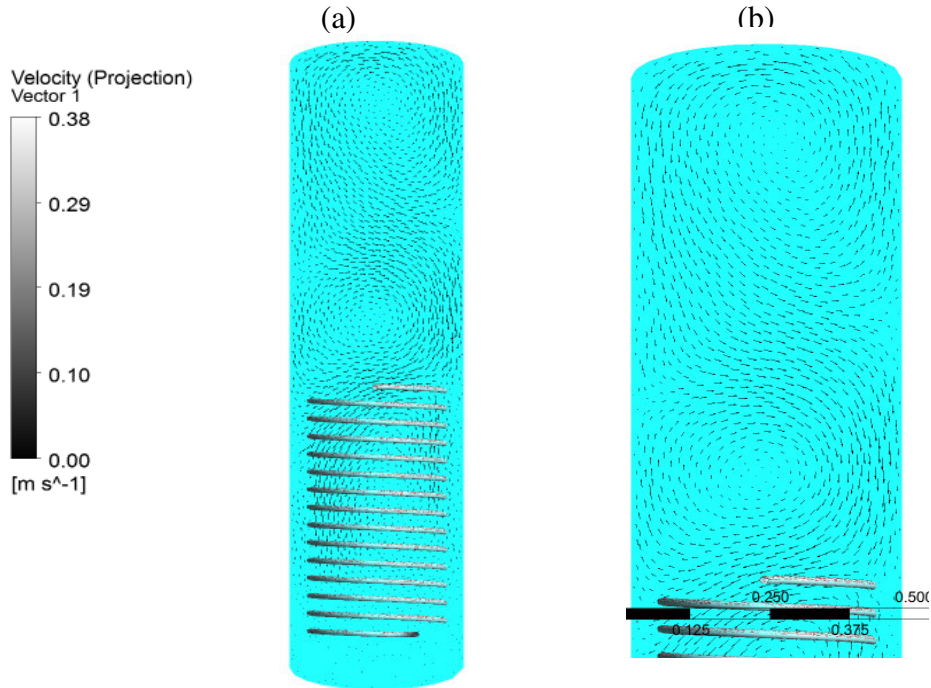


Şekil 6.32: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika- $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$,

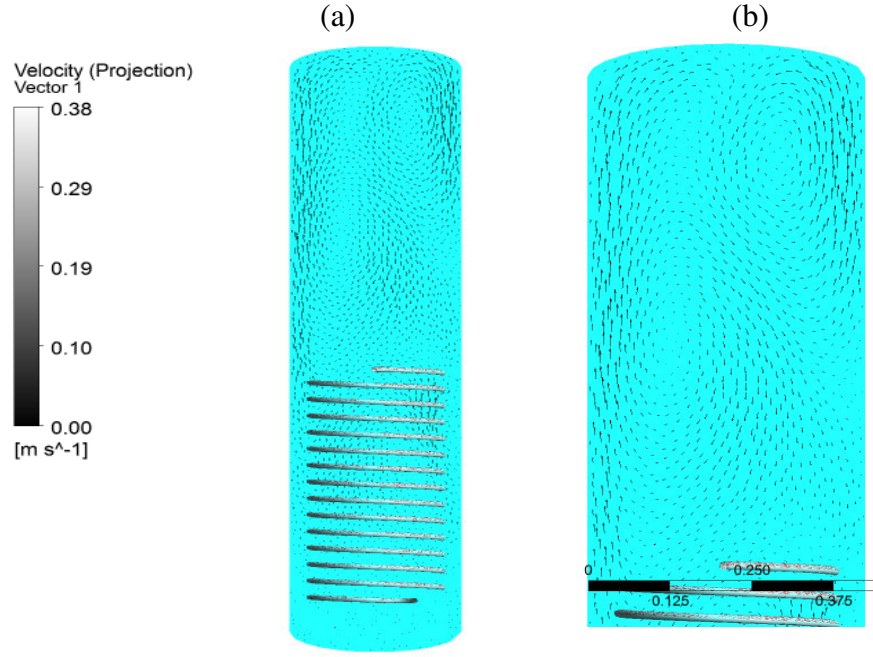
$\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı



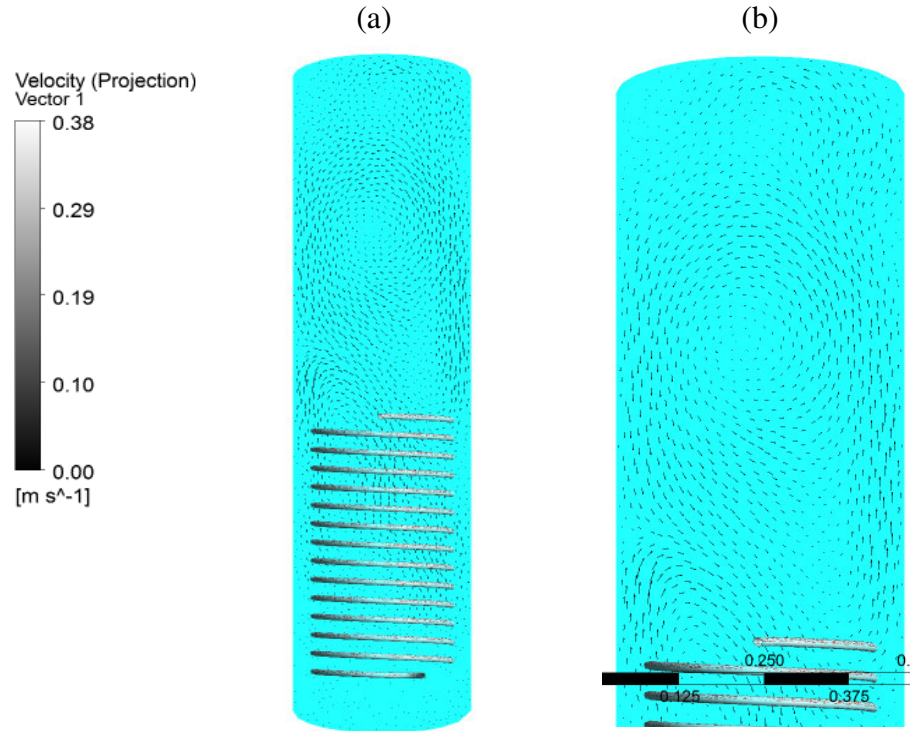
Şekil 6.33: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika - $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı



Şekil 6.34: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika- $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı



Şekil 6.35 : Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika $T_{\text{giriş}}=60$ °C , $\dot{V}=2,8$ L/dak) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı

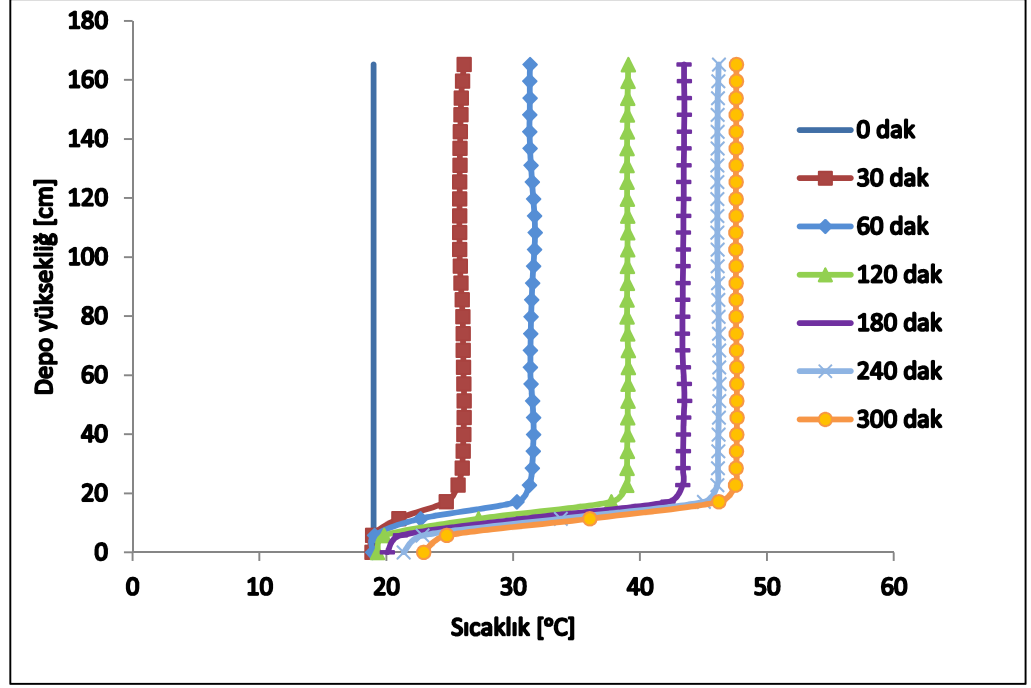


Şekil 6.36: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika $T_{\text{giriş}}=60$ °C , $\dot{V}=2,8$ L/dak) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı

Zamana bağılı olarak yapılan üçüncü sayısal çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpentine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 50 °C'dir. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.37'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılabacağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 11,3 °C artarak 30,3 °C 'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 6,97 °C daha artarak 37,27 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 4,16 °C artarak 41,43 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 2,65 °C daha artarak 44,09 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,47 °C daha artarak 45,56 °C'ye varmıştır. 300 dakikalık şarj işlemi sonunda 60 °C giriş sıcaklığı ve 50 °C giriş sıcaklığı için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aradaki ortalama farkın 8,72 °C olduğu görülmektedir. Belirtilen şarj işlemi sonunda 70°C giriş sıcaklığı ile 50 °C giriş sıcaklığı arasındaki fark ise 16,07 °C olmaktadır. Sıcaklık dağılımı Şekil 6.39 ile 6.43 ve hız vektörleri Şekil 6.44 ile 6.48'de verilmiştir.

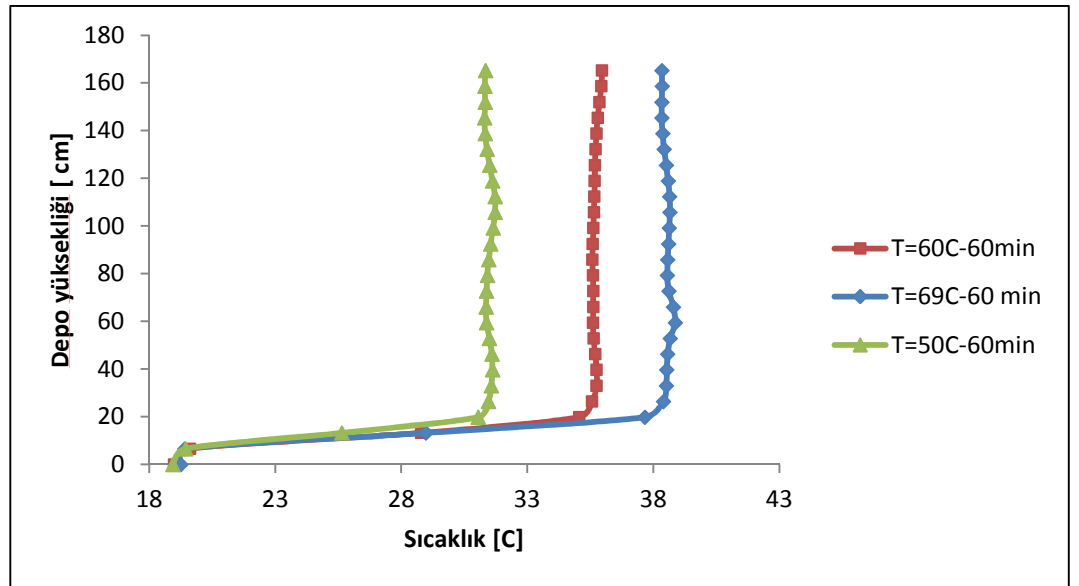
Çizelge 6.4: Ortalama sıcaklık farkları

<i>No</i>	<i>60 dak</i>	<i>120 dak</i>	<i>180dak</i>	<i>240 dak</i>	<i>300 dak</i>
<i>Sıcaklık ortalaması, $T_{giriş}=50$</i>	30,29	37,27	41,43	44,09	45,56
<i>Sıcaklık ortalaması, $T_{giriş}=60$</i>	34,14	43,36	48,86	52,21	54,28
<i>Sıcaklık ortalaması, $T_{giriş}=70$</i>	37,06	48,11	54,64	59,02	61,63
<i>Fark($T_{giriş} 60- T_{giriş} 50$)</i>	3,84	6,09	7,43	8,12	8,71
<i>Fark($T_{giriş} 70- T_{giriş} 60$)</i>	2,91	4,74	5,77	6,80	7,34
<i>Fark($T_{giriş} 70- T_{giriş} 50$)</i>	6,760	10,83	13,20	14,92	16,0

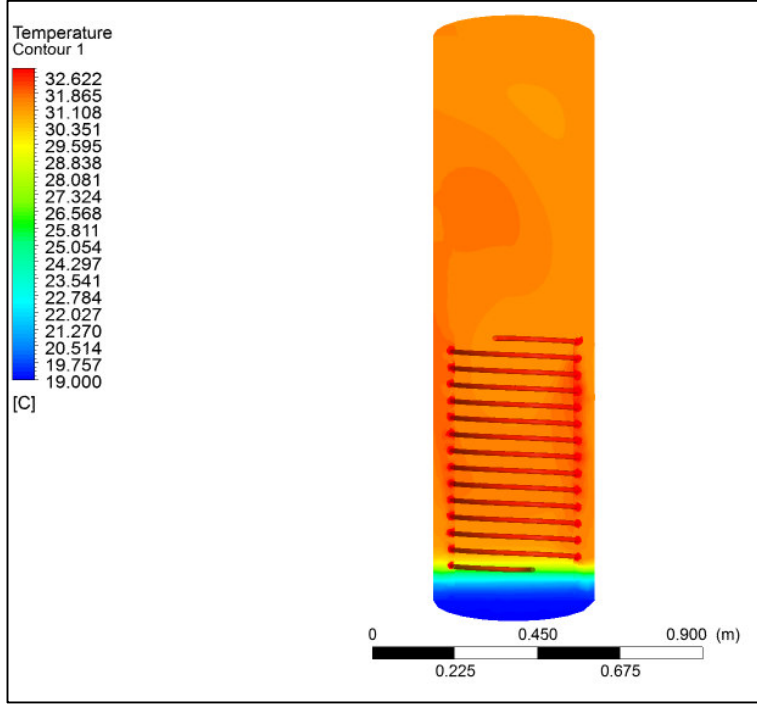


Şekil 6.37: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı
($T_{\text{giriş}}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)

Çizelge 6.4' te şarj süresine göre giriş sıcaklıklarının depolama tankında olan suyun ortalama sıcaklığına etkisi görülmektedir. Bu çizelge ve Şekil 6.38'den de görüldüğü üzere 60 dakikalık şarj işleminde farklı giriş sıcaklıklarının etkisine bakılırsa, şarj süresi sabit olduğunda giriş sıcaklığının artması sıcak su deposunda bulunan suyun daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Su giriş sıcaklığının artmasıyla sıcaklık akümülatör içinde arttığı, fakat bu artışın lineer olmadığı belirtilmiştir.

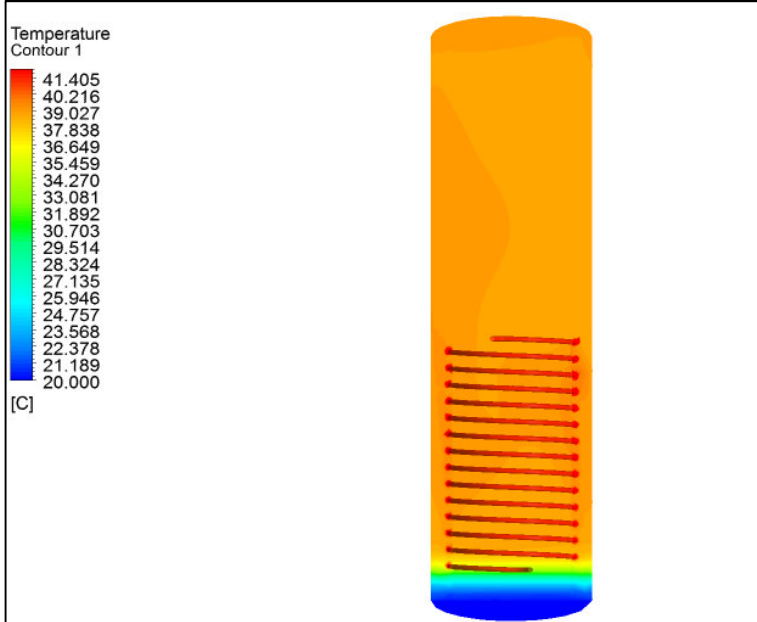


Şekil 6.38: Farklı giriş sıcaklıklarındaki 60 dakikalık şarj işlemi için yönlendirici olmadan deponun eksenindeki sıcaklık dağılımı ($\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



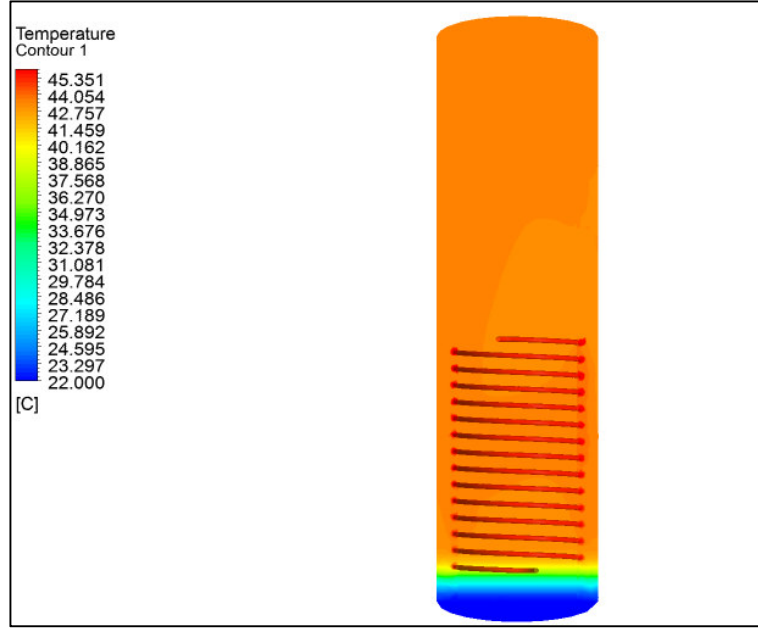
Şekil 6.39: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika-

$$T_{\text{giriş}}=50\text{ }^{\circ}\text{C} , \dot{V}=2,8\text{ L/dak})$$

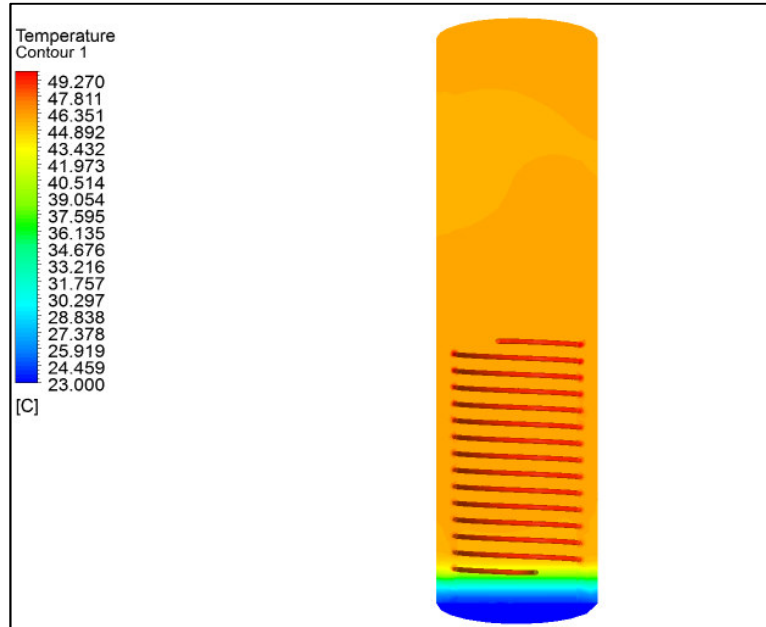


Şekil 6.40: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika-

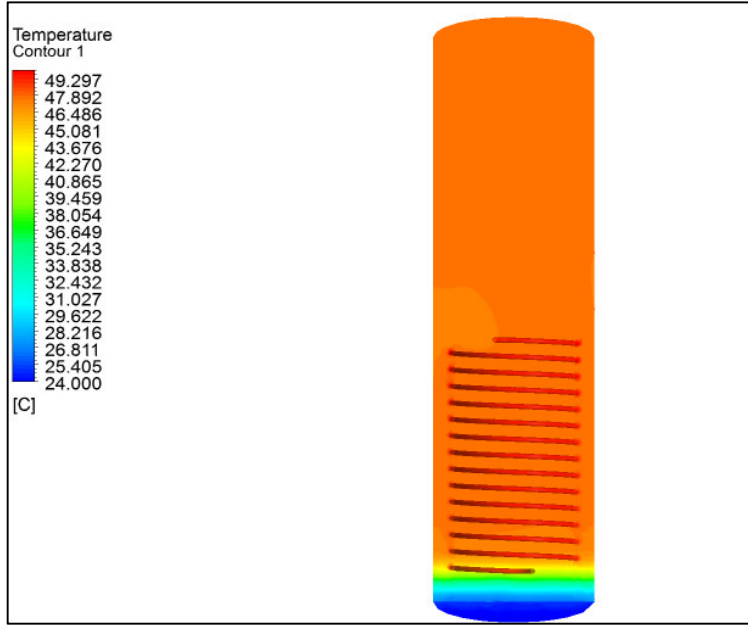
$$T_{\text{giriş}}=50\text{ }^{\circ}\text{C} , \dot{V}=2,8\text{ L/dak})$$



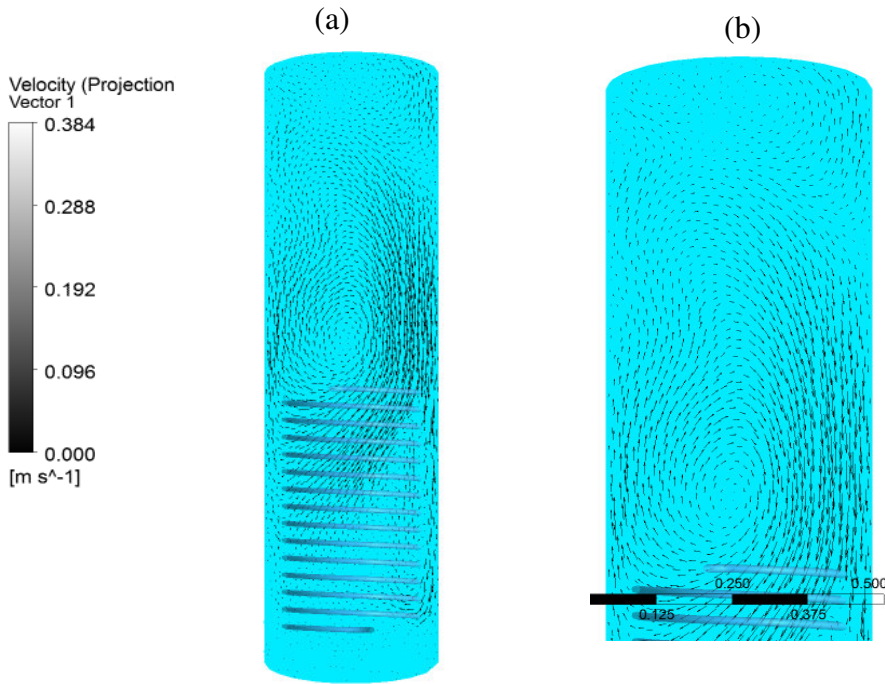
Şekil 6.41: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



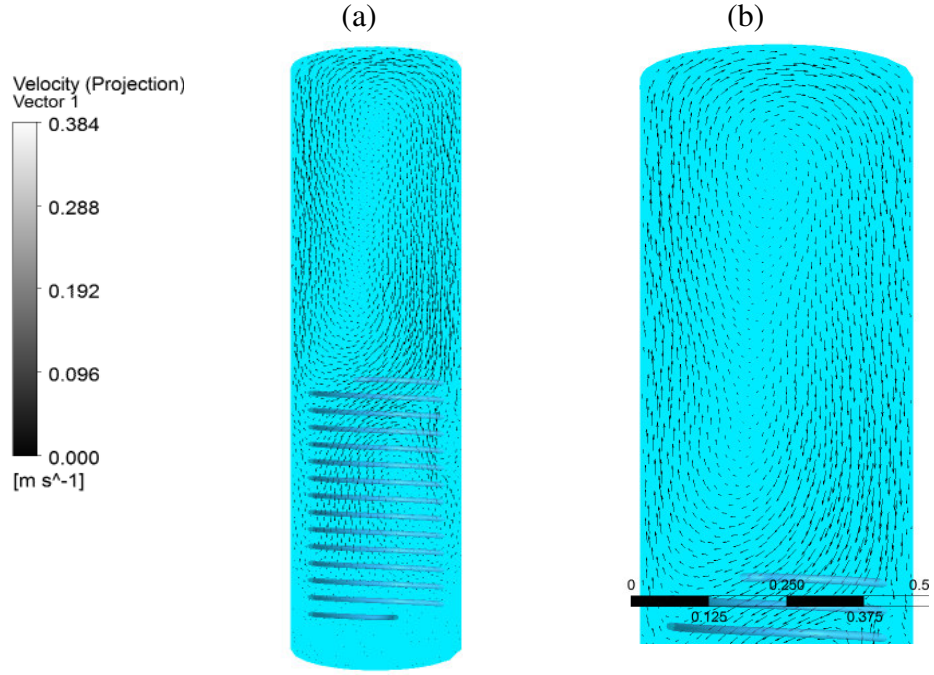
Şekil 6.42: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika-
 $T_{\text{giriş}}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ L/dak}$)



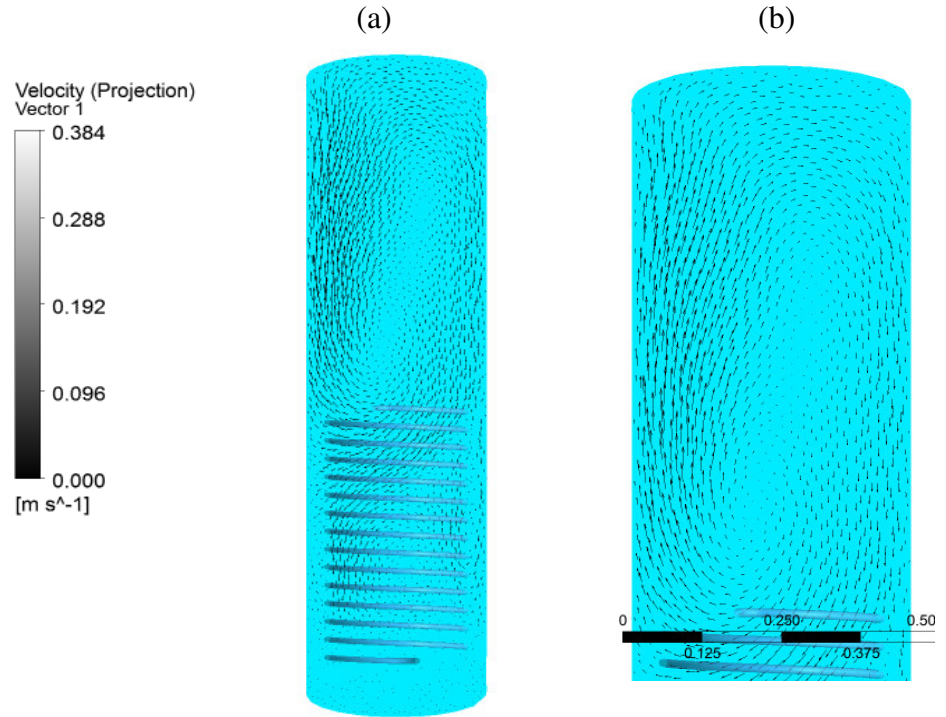
Şekil 6.43: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika- $T_{\text{giriş}}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ l/dak}$)



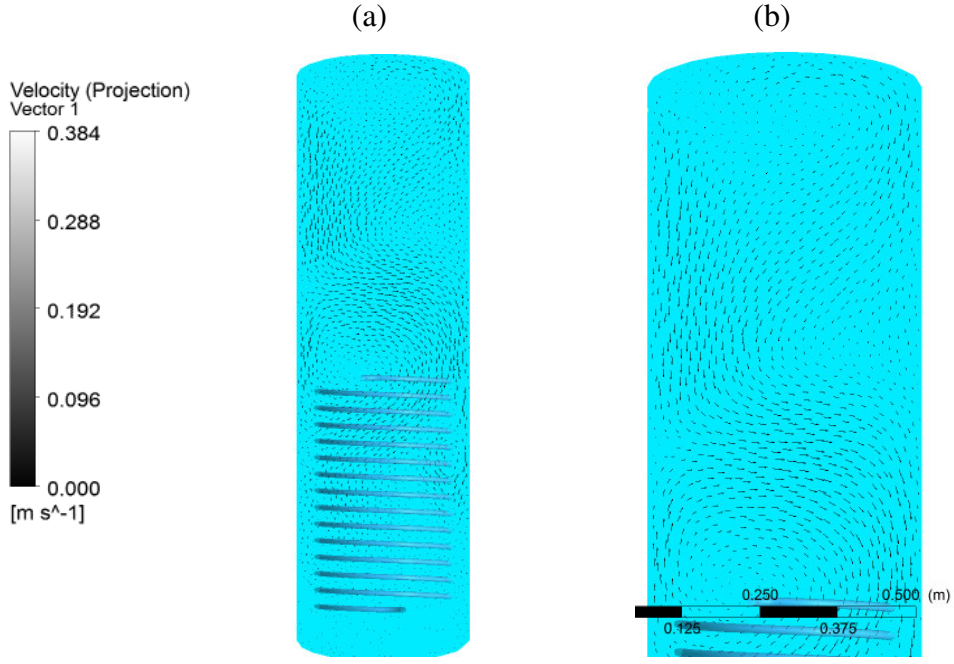
Şekil 6.44: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika- $T_{\text{giriş}}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{ l/dak}$) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı



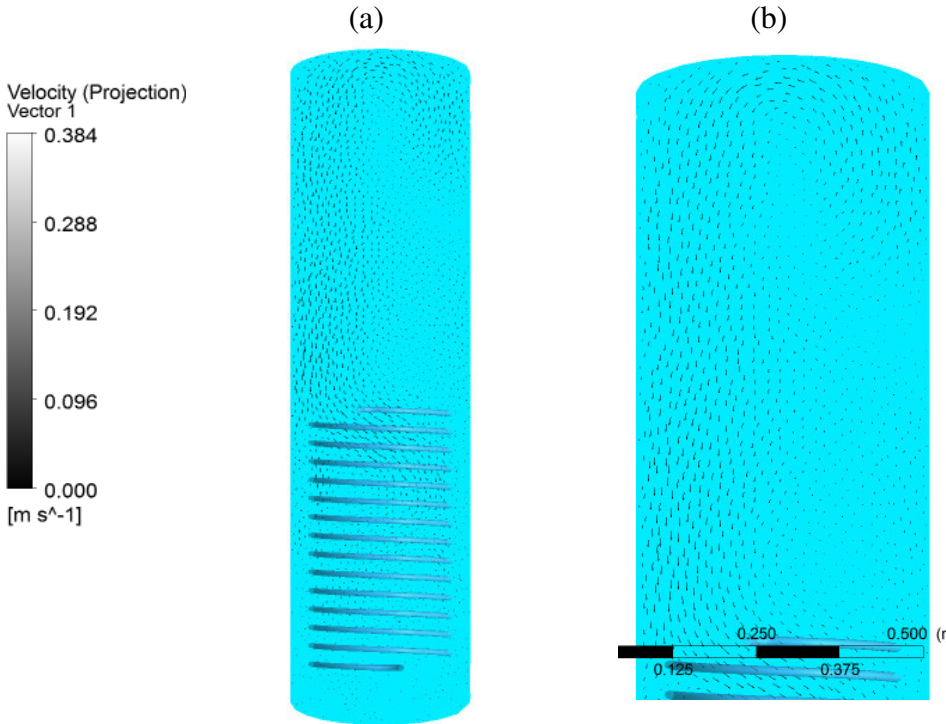
Şekil 6.45: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika- $T_{\text{giriş}}=50$ °C , $\dot{V}=2,8$ l/dak) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı



Şekil 6.46: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika- $T_{\text{giriş}}=50$ °C , $\dot{V}=2,8$ l/dak) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı



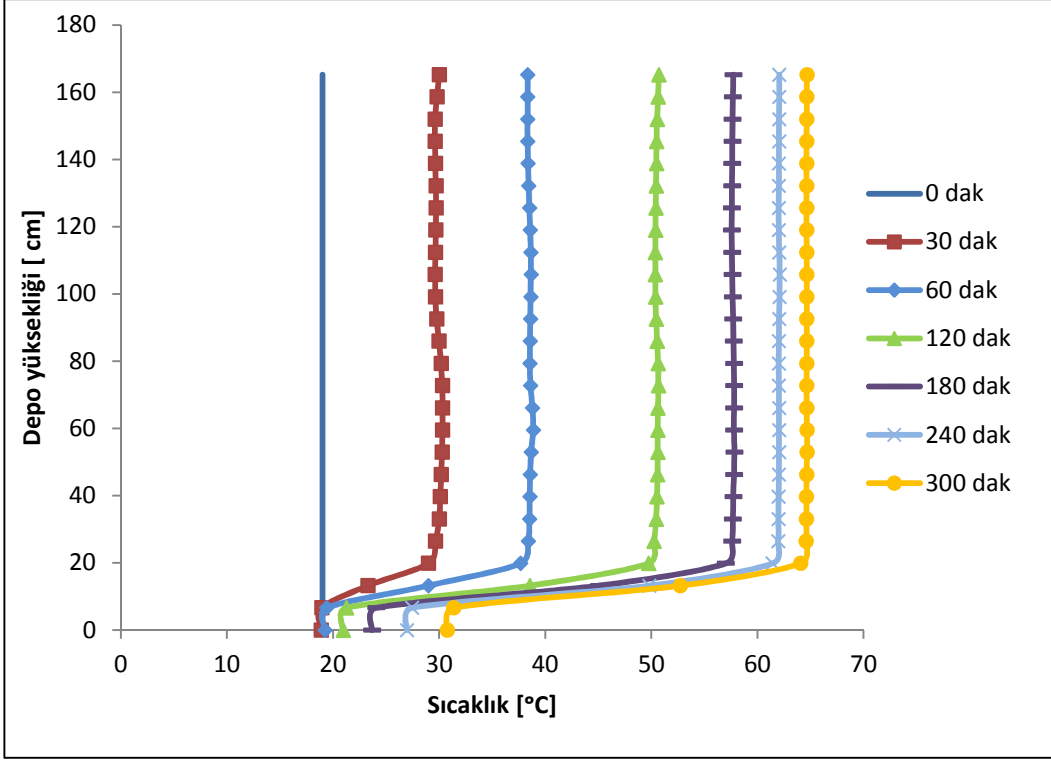
Şekil 6.47: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika- $T_{\text{giriş}}=50$ °C , $\dot{v}=2,8$ l/dak) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı



Şekil 6.48: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika- $T_{\text{giriş}}=50$ °C , $\dot{V}=2,8$ l/dak) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı

6.5.1.2 Sabit Sıcaklık

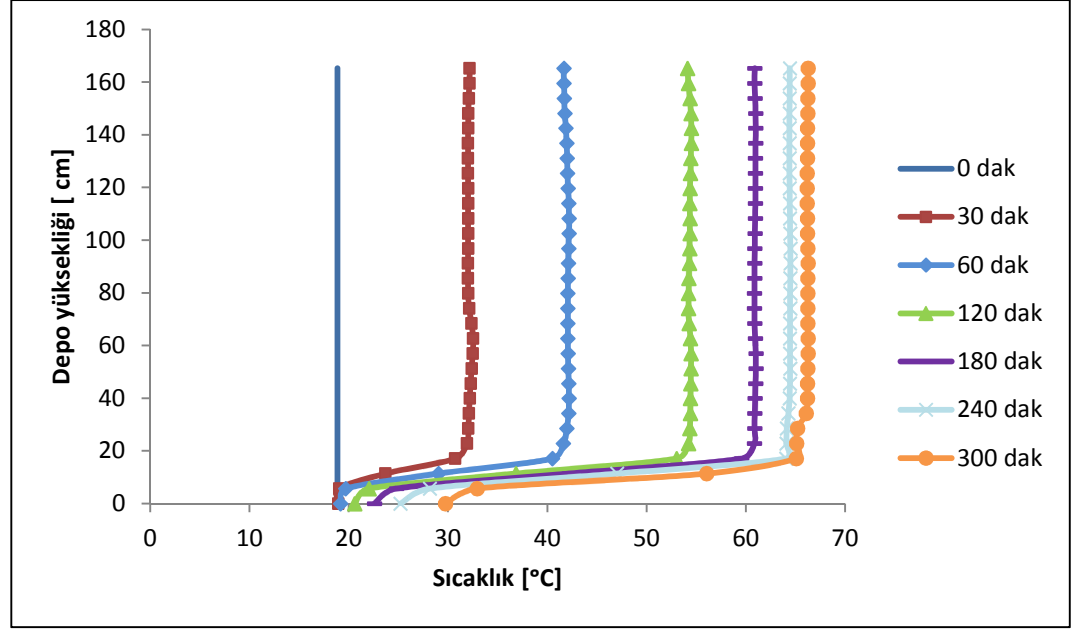
Depoya gönderilen ve serpantinlerden geçerek depodaki suyun ısınmasını sağlayan suyun debisinin, sıcak su depolama tankında bulunan suda meydana gelen ısı tabakalaşma üzerine olan etkisini görebilmek için 2,8 L/dak' dan daha küçük bir debi seçilerek sayısal çözümleme yapılmıştır. Zamana bağlı olarak yapılan dördüncü sayısal çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun giriş debisi 2,5 L/dak ve sıcaklığı 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.49'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılabileceği üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 17,65 °C artarak 36,65 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,09 °C daha artarak 47,75 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,81 °C artarak 54,57 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 4,27 °C daha artarak 58,85 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,72 °C daha artarak 61,57 °C'ye varmıştır. Şekil 6.49'den de görüldüğü üzere deponun içerisindeki sıcaklık ortalamasının artışı zaman geçtikçe azalmaktadır. Değişen debinin sıcak su deposu içerisindeki ortalama sıcaklık farkına olan etkisini görebilmek için sabit sıcaklıkta ve değişik debilerde analizler yapılmıştır. Giriş debisi değerleri 2,8 L/dak ile 2,5 L/dak olarak seçilmiş ve 300 dakikalık şarj işlemleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlara bakıldığında ise iki farklı çalışma sonunda depolarda bulunan ortalama su sıcaklıkları arasındaki farkın 0,06 °C olduğu görülmüştür.



Şekil 6.49: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,5\text{ l/dak}$)

Yapılan beşinci sayısal çalışmada serpantine giren suyun debisi 2,8 L/dak' dan daha büyük bir debi seçilerek sayısal çözümleme yapılmıştır. Bu çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun giriş debisi 3,6 L/dak ve sıcaklığı 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.50'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılabileceği üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 21,17 °C artarak 40,02 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,5 °C daha artarak 51,52 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,24 °C artarak 57,77 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,52 °C daha artarak 61,30 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,15 °C daha artarak 63,45 °C'ye varmıştır. Şekil 6.50'den de görüldüğü üzere deponun içerisindeki sıcaklık ortalamasının artışı zaman geçtikçe azalmaktadır. Giriş debisi değerleri 2,8 L/dak ile 3,6 L/dak ve 300 dakikalık şarj işlemleri için yapılan analizlerden çıkan sonuçlara bakıldığında iki farklı çalışma sonunda depolarda bulunan ortalama su

sıcaklıkları arasındaki farkın $1,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür. $3,6\text{ L/dak}$ ve $2,5\text{ L/dak}$ debileri ile yapılan analizler sonucunda ise su depoları arasındaki ortalama sıcaklık farkı ise $1,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' dir.



Şekil 6.50: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{\text{giriş}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=3,6\text{ L/dak}$)

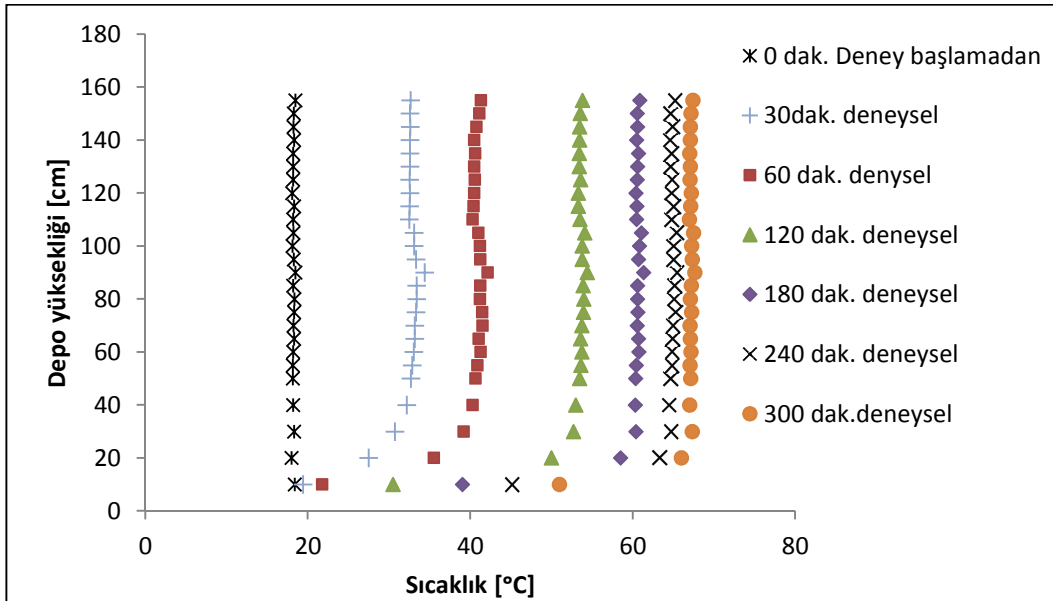
6.5.2. Deneysel Çalışmalar

Sayısal çalışmaların doğruluğunu kanıtlamak için, yönlendirici koni olmadan yapılan sayısal çalışmanın gerçekleştirildiği aynı şartlar altında deneysel çalışma yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada kullanılan termokupllardan elde edilen verilerin tamamı deponun merkez eksenini üzerinden alınmıştır. Bu nedenle çizilen grafiklerdeki değerler bu eksene aittir.

6.5.2.1 Sabit Debi

Zamana bağlı olarak yapılan ilk deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren sıcak suyun debisi $2,8\text{ L/dak}$ ve giriş sıcaklığı ise $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' dir. Isıtma tankında bulunan su invertörlü bir sirkülasyon pompası ile serpantin borularına gönderilmektedir. Deneysel çalışmada her 5 saniyede bir veri toplayıcı ile veriler kayıt edilmektedir. Bu elde edilen veriler Şekil 6.51'de görülmektedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama

sıcaklık 19,93 °C artarak 38,93 °C'ye ulaşmaktadır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 12,63 °C daha artarak 51,57 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 7,13 °C artarak 58,71 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,39 °C daha artarak 62,1 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,4 °C daha artarak 64,51 °C'ye varmıştır. Şekil 6.51'den de görüldüğü üzere deponun içerisindeki sıcaklık ortalamasının artışı zaman geçtikçe azalmaktadır. Bunun sebebi ise serpantin borusu içindeki sabit debili suyun sıcaklığı ile deponun içerisindeki suyun sıcaklık farkının azalmasıdır. Ayrıca serpantin borusunun başladığı seviyeden 145 mm yüksekliğinde suyun sıcaklığı artmaya başlamış ve deponun 330 mm yüksekliğinden sonra hemen hemen üniform bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bu şekilde deponun içerisindeki suyun yaklaşık % 80'inin sıcaklık dağılımı homojendir.

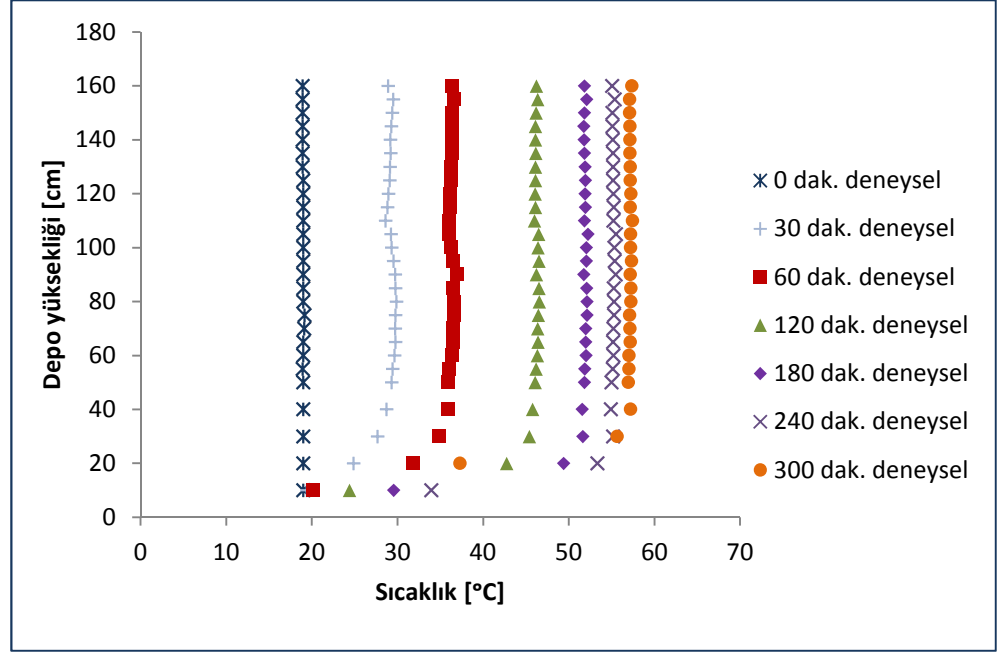


Şekil 6.51: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı

$$(\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak} - T_{\text{giriş}} = 70^\circ\text{C})$$

Zamana bağlı olarak yapılan ikinci deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren sıcak suyun debisi 2,8 L/dak ve giriş sıcaklığı ise 60 °C'dir. Şekil 6.52'de görüldüğü üzere şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 16,27 °C artarak 35,47 °C'ye ulaşmaktadır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 9,77 °C daha artarak 45,24

°C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 5,72 °C artarak 50,97 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,37 °C daha artarak 54,34 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,98 °C daha artarak 56,32 °C'ye varmıştır. Belirtilen şarj işlemi sonunda 70 °C giriş sıcaklığı ile 60 °C giriş sıcaklığı arasındaki fark ise 8,19 °C olmaktadır.

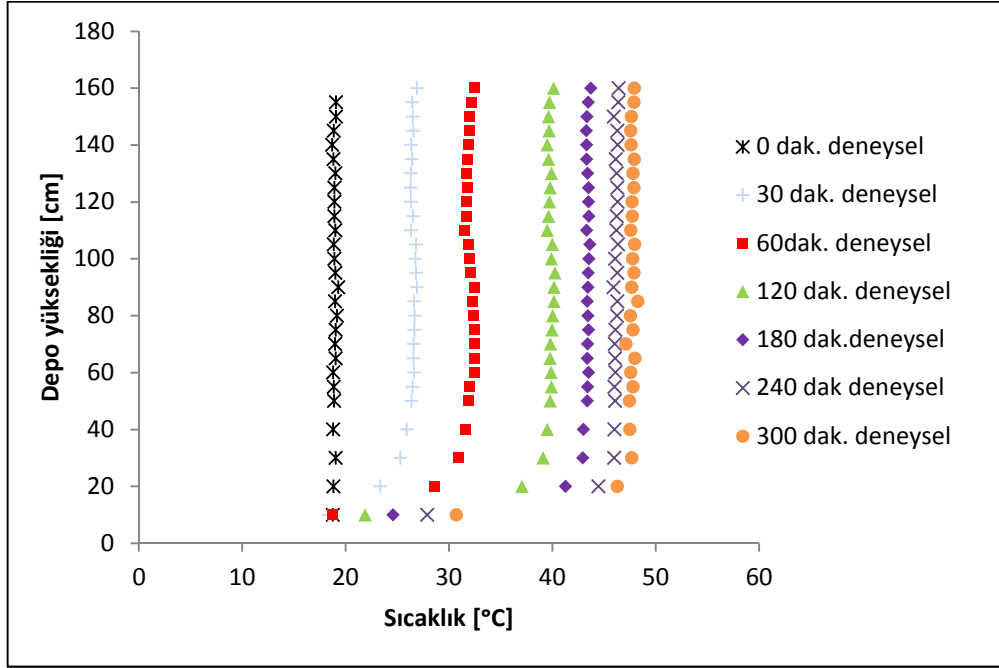


Şekil 6.52: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı

$$(\dot{V}=2,8\text{L/dak} - T_{\text{giriş}}=60^{\circ}\text{C})$$

Zamana bağlı olarak yapılan üçüncü deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren sıcak suyun debisi 2,8 L/dak ve giriş sıcaklığı ise 50 °C'dir. Bu elde edilen veriler Şekil 6.53'de görülmektedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 12,43 °C artarak 31,35 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 7,64 °C daha artarak 39,02 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 3,59 °C artarak 42,59 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 2,8 °C daha artarak 45,39 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,62 °C daha artarak 47,02 °C'ye varmıştır. Belirtilen şarj işlemi sonunda 60 °C giriş sıcaklığı ile 50 °C

giriş sıcaklığı arasındaki fark 9,32 °C, 70 °C giriş sıcaklığı ile 50 °C giriş sıcaklığı arasındaki fark ise 17,49 °C olmaktadır.

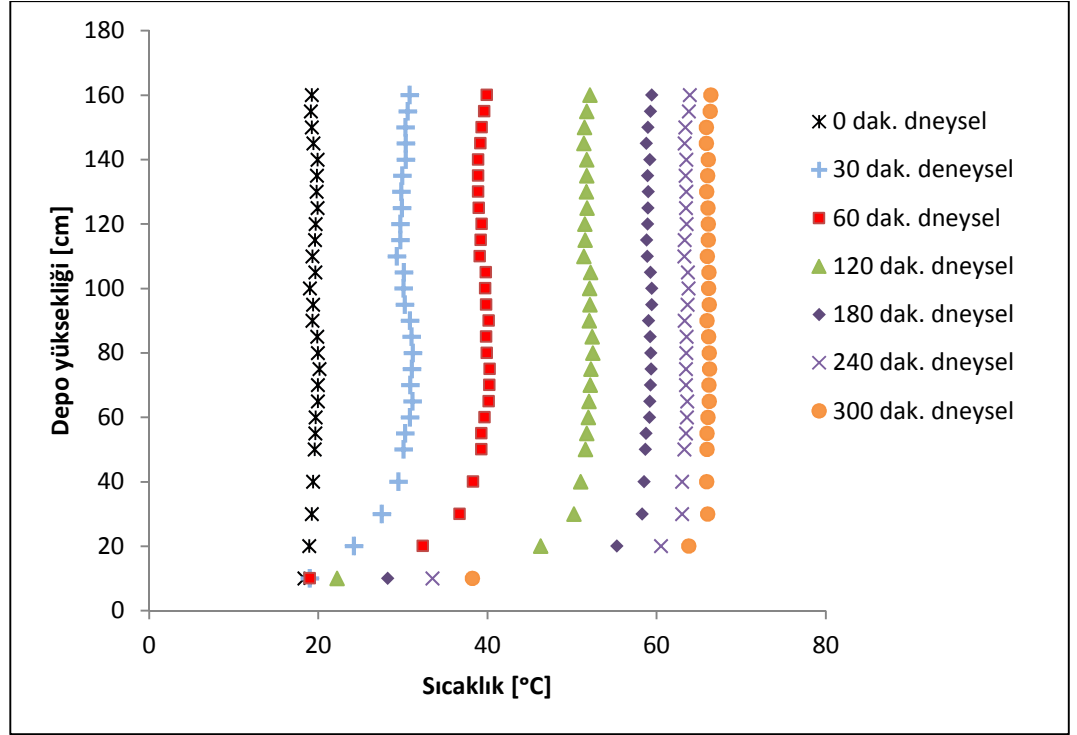


Şekil 6.53: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı

$$(\dot{V}=2,8\text{L/dak} - T_{\text{giriş}}=50^{\circ}\text{C})$$

6.5.2.2 Sabit Sıcaklık

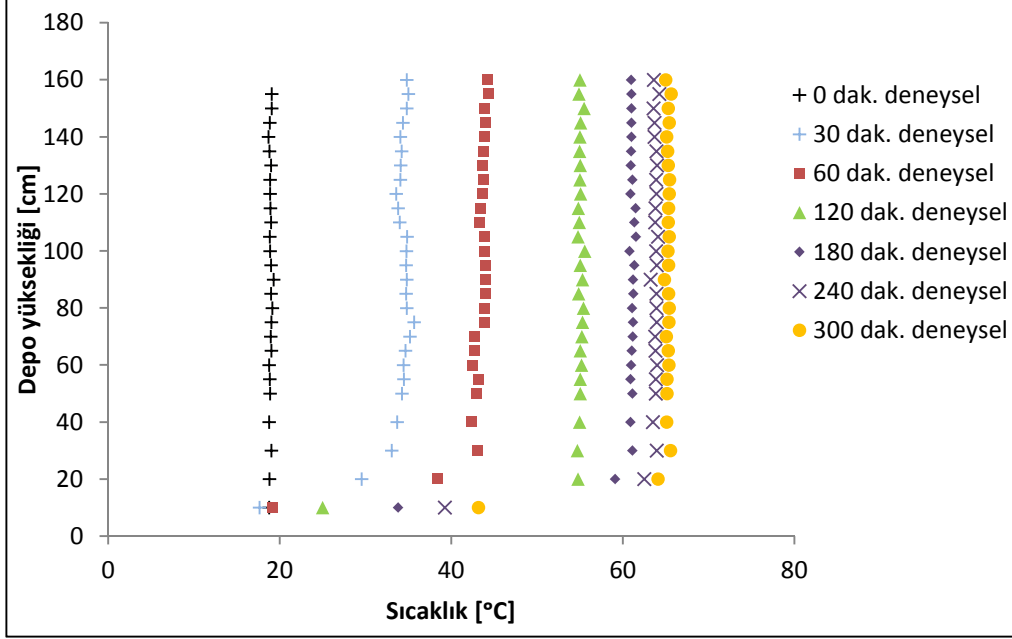
Zamana bağlı olarak yapılan dördüncü deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun debisi 2,5 L/dak, giriş sıcaklığı ise 70 °C'dir. Elde edilen veriler Şekil 6.54'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılabileceği üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 18,85 °C artarak 38,35 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,09 °C daha artarak 49,45 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 7,29 °C artarak 56,74 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 4,49 °C daha artarak 61,23 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,73 °C daha artarak 63,97 °C'ye varmıştır. 300 dakikalık şarj işlemi sonunda 2,8 L/dak ve 2,5 L/dak debileri ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına bakıldığında depoda bulunan suyun ortalama sıcaklığı arasındaki fark 0,54 °C olduğu görülmektedir.



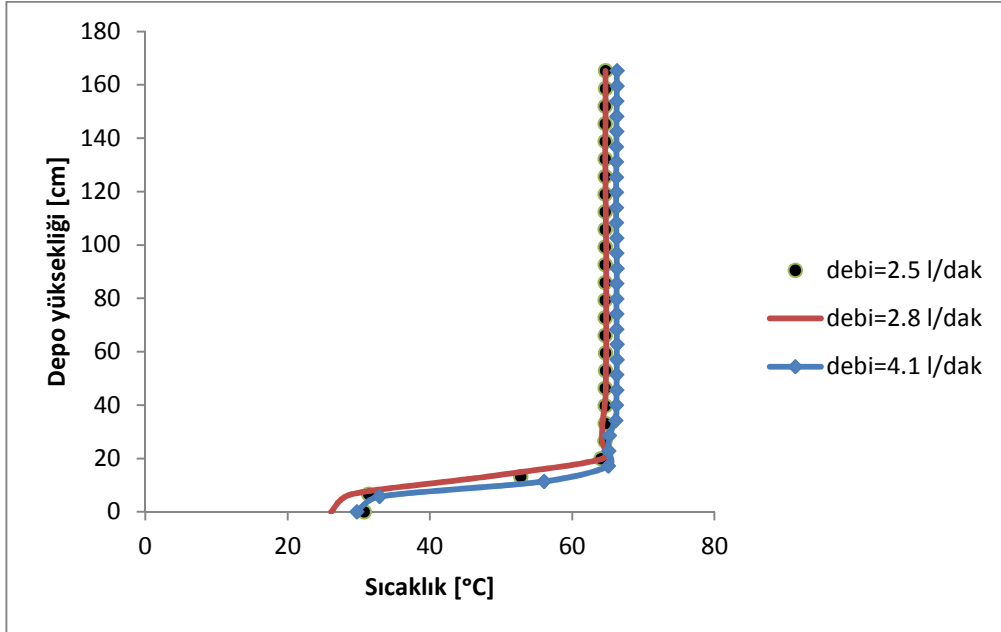
Şekil 6.54: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı
($\dot{V}=2,5\text{L/dak}$ – $T_{\text{giriş}}=70^{\circ}\text{C}$)

Zamana bağlı olarak yapılan beşinci deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun giriş debisi 3,6 l/dak, giriş sıcaklığı ise 70 °C'dir. Elde edilen veriler Şekil 6.55'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılabileceği üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı hemen hemen 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 22,94 °C artarak 42,44 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 12,49 °C daha artarak 54,93 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,06 °C artarak 61 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 2,86 °C daha artarak 63,87 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,95 °C daha artarak 65,92 °C'ye varmıştır. Belirtilen şarj işlemi sonunda 3,6 L/dak ve 2,8 L/dak debileri ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına bakıldığında depoda bulunan suyun ortalama sıcaklığı arasındaki fark 1,41 °C, 3,6 L/dak ve 2,5 L/dak debileri ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına bakıldığında ise depoda bulunan suyun ortalama sıcaklığı arasındaki fark 1,95 °C olduğu görülmektedir. Şekil 6.56 'da sonuçlar göstermektedir ki debinin 2,8 L/dak daha fazla artmasının

300 dakikalık şarj işlemi sonundaki depoda bulunan suyun ortalama sıcaklığını önemli ölçüde etkilememektedir.



Şekil 6.55: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı
($\dot{V}=3,6\text{L/dak}$ – $T_{\text{giriş}}=70^{\circ}\text{C}$)

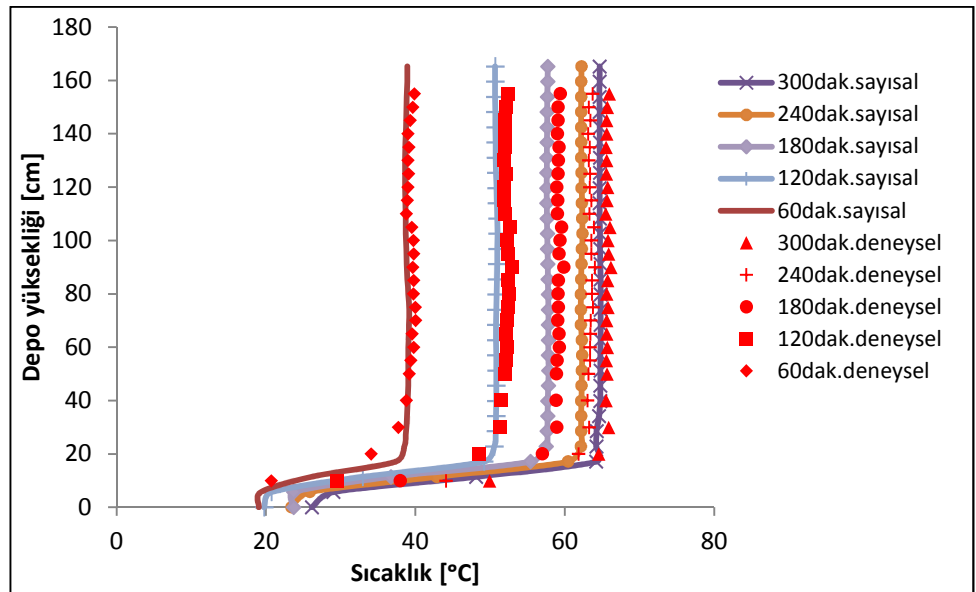


Şekil 6.56: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki farklı giriş debide sıcaklık dağılımı

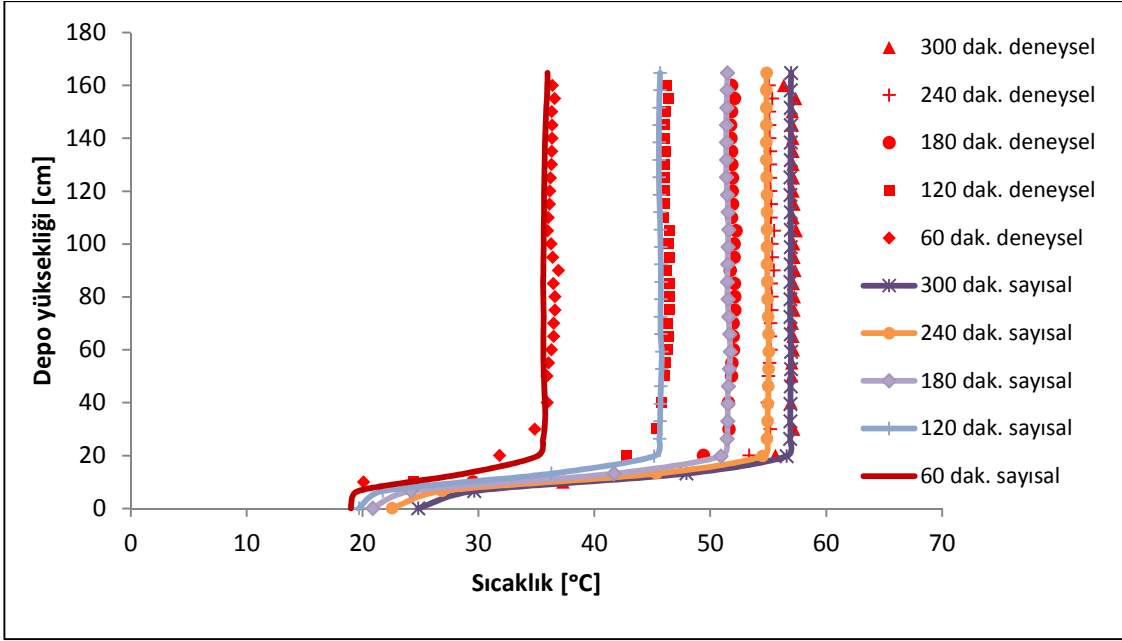
6.6 Yönlendirici Olmadan Yapılan Sayısal ve Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması

300 dakika şarj işlemi gerçekleştirilerek yapılan sayısal ve deneysel çalışmalardan elde edilen zamana bağlı verilerden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bu bölümde sayısal ve deneysel çalışmanın karşılaştırılması yapılmıştır. Burada verilen karşılaştırmalar deponun merkez eksenindeki sıcaklık dağılımı üzerinden yapılmıştır.

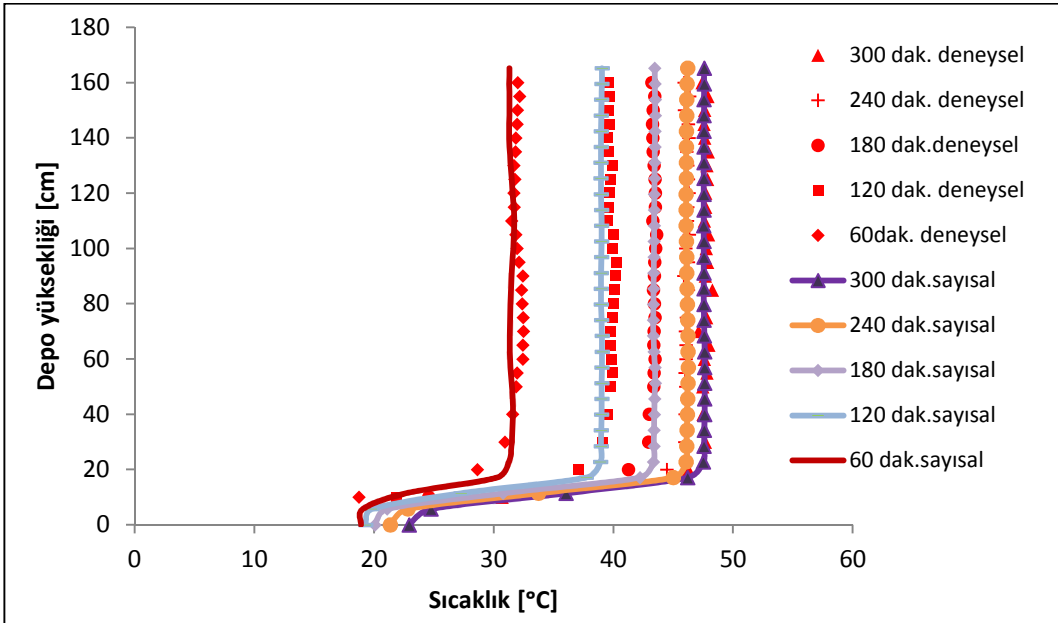
Şekil 6.57, 6.58 ve 6.59’de sıcak su deposunun eksenindeki sıcaklık dağılımları görülmektedir. Burada yapılan işlemlerde serpantine giren suyun sıcaklığı 50, 60 ve 70 °C, debisi ise 2,8 L/dak’dır. Şekil 6.60 ve Şekil 6.61’de serpantine giren suyun sıcaklığı 70 °C, debisi ise 2,5 L/dak ve 3,6 L/dak’dır. Bu şekillerden de görüldüğü üzere şarj işlemi süresince değerleri deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar çok az bir farkla uyumludur. Deneysel ve sayısal çalışma arasındaki yüzdesel hata miktarı Ek.3’de görülmektedir. Bu farkın sebebi ise sayısal çalışmada serpantin cidarından depo içine olan ısı enerjisinin iletilmesinde “shell conduction” seçeneğinin seçilerek çözümleme yapılmış olmasıdır. Bu yöntemde ısı iletiminin bir boyutlu olduğu kabul edilmektedir. Şekil 6.62’de sayısal ve deneysel çalışmada şarj işlemi boyunca serpantin borularından depoya aktarılan enerjiler arasındaki fark 32,7 kJ olduğu görülmektedir. Buda sayısal çözümlemede hataların birikmesine ve deneysel çalışma ile arasında az bir farkın oluşmasına yol açmaktadır.



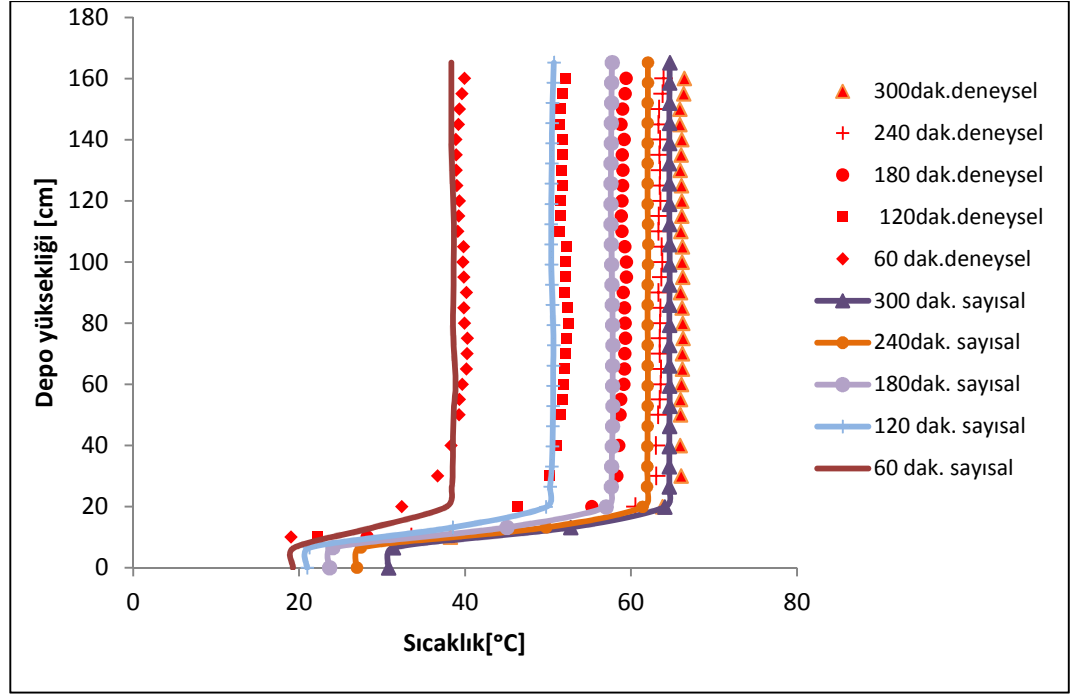
Şekil 6.57: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,8\text{L/dak}$)



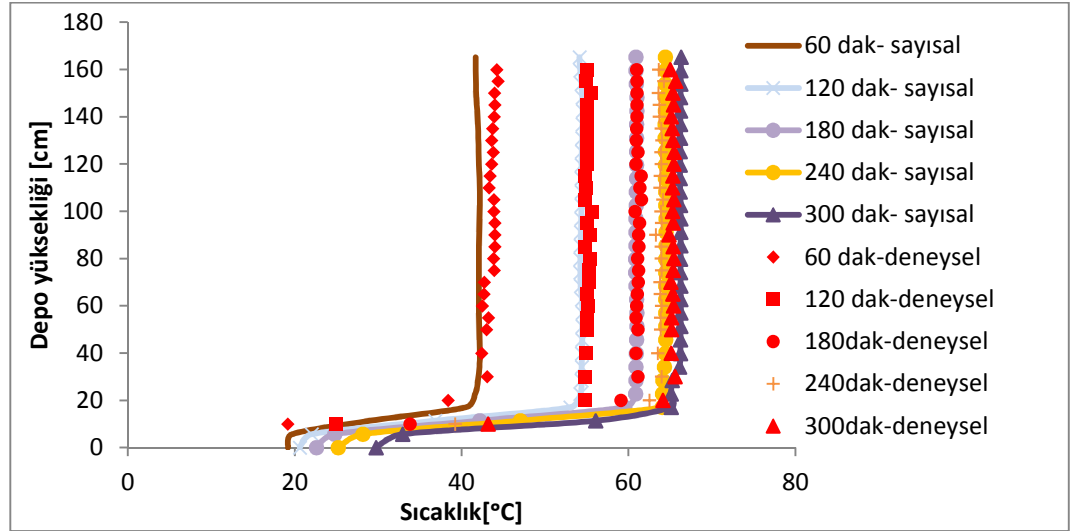
Şekil 6.58: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş}=60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,8\text{L/dak}$)



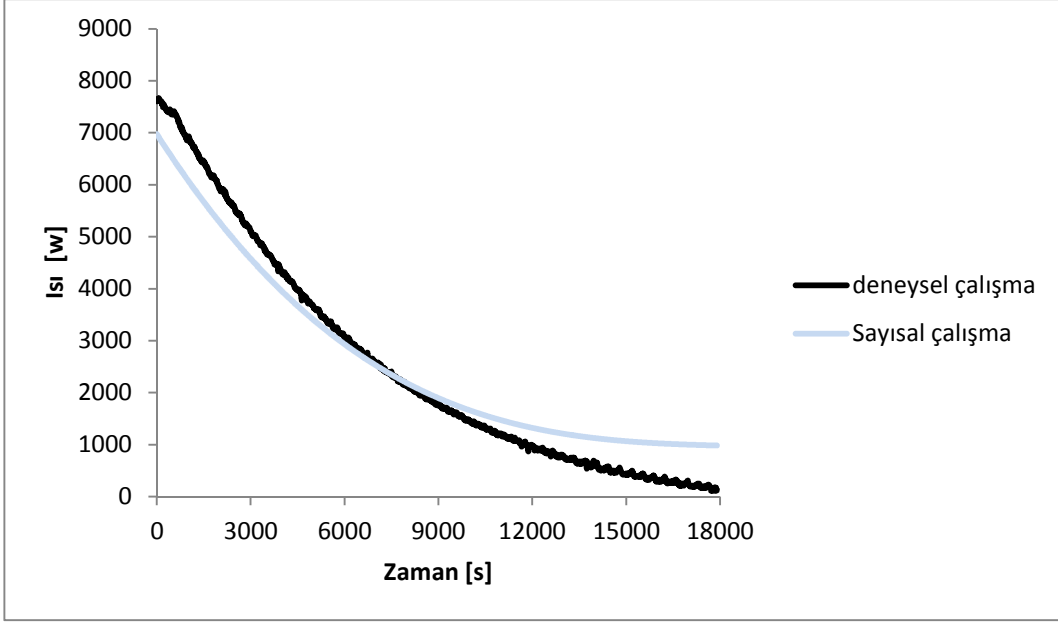
Şekil 6.59: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş}=50^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,8\text{L/dak}$)



Şekil 6.60: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,5\text{L/dak}$)

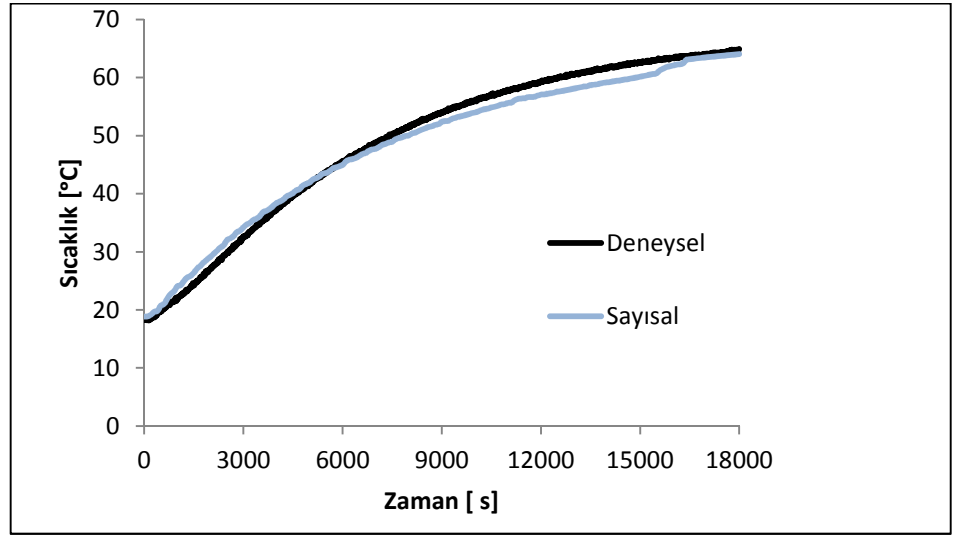


Şekil 6.61: Yönlendirici olmadan deponun eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı sayısal ve deneysel çalışma ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=3,6\text{ L/dak}$)

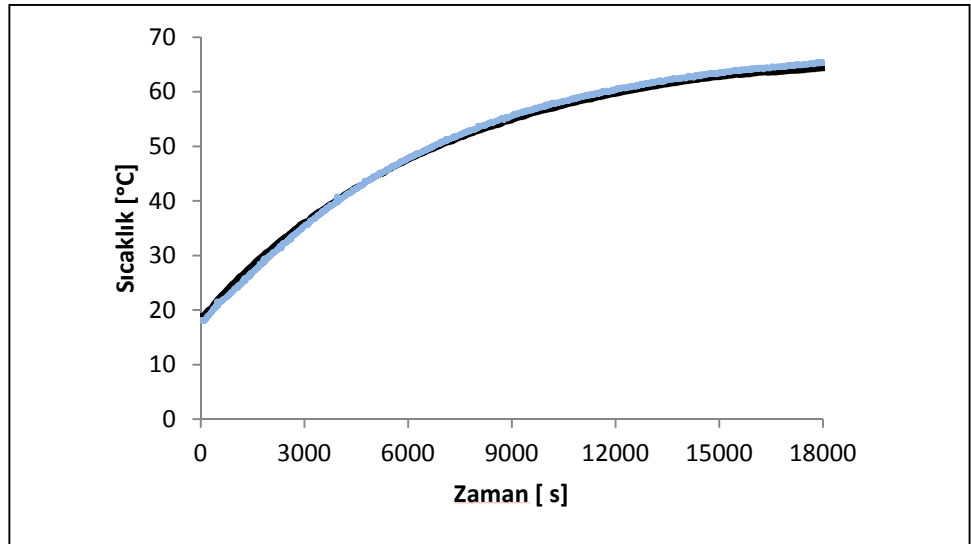


Şekil 6.62: Şarj işlem boyunca serpantin borularından depoya aktarılan ısı enerjisi ($T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}$, $\dot{V}=2,8\text{L/dak}$)

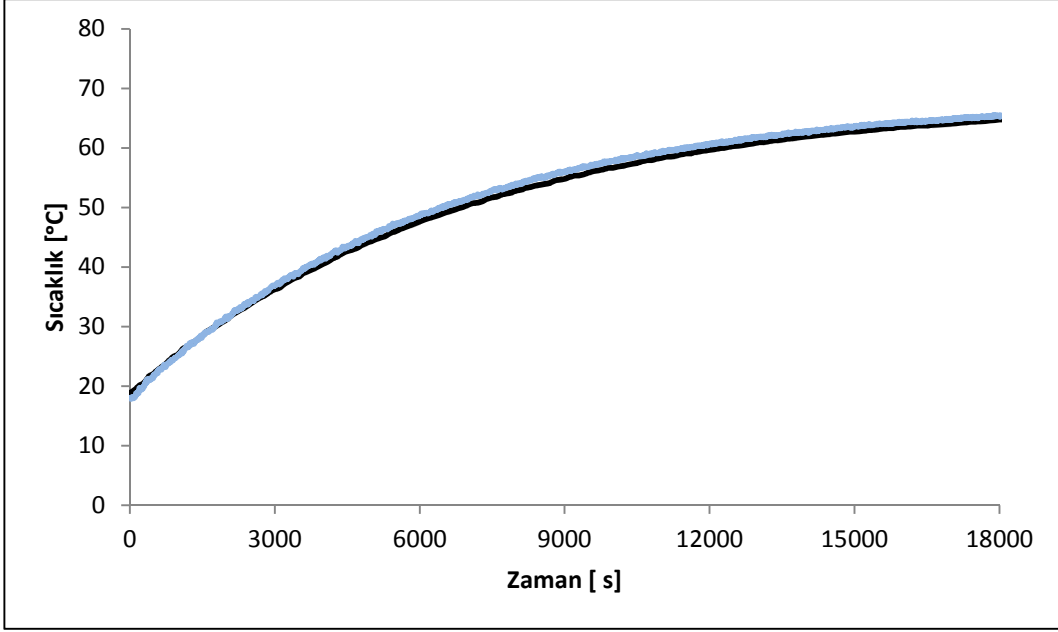
Yapılan deneysel çalışmada sıcak su deposu içerisinde aynı eksen de farklı noktalarda termokupllar yerleştirilmiştir. 300 dakikalık şarj işlemi süresince her bir termokupldan okunan değer kaydedilmektedir. Yapılan sayısal çalışmalarda da, deneysel çalışmadaki termokupl noktaları ile aynı noktalardaki sıcaklıklar okunmuş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Aşağıdaki şekiller de zamana bağlı grafikler üzerinde, her bir termokupldan alınan değer in hem deneysel hem de sayısal çalışmadaki karşılaştırılması yapılmaktadır. Şekil 6.63 ile Şekil 6.81 arasındaki şekillerde görülen çalışmalarda serpantine giren suyun sıcaklığı 70°C , debisi ise $2,8\text{ l/dak}$ dır. Şekil 6.82 ile Şekil 6.93 arasındaki şekillerde görülen çalışmalarda serpantine giren suyun sıcaklığı 70°C , debisi ise $2,5\text{ L/dak}$ olarak alınmıştır. Belirtilen şartlar altında yapılan sayısal ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilen şekillerden de görüldüğü üzere iki çalışma arasındaki sonuçlarda uyumluluk vardır. İki çalışma arasındaki yüzdesel hata miktarları depo eksen i boyunca ölçülen her nokta için belirlenmiş ve Ek.3'de gösterilmiştir.



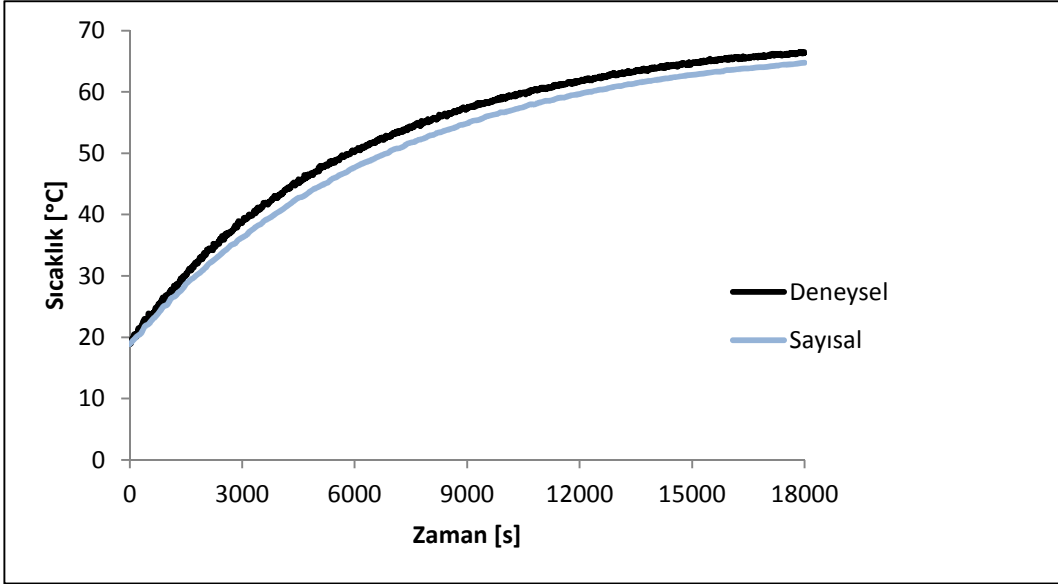
Şekil 6.63: Deponun ekseninde, tabandan 20 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V} = 2,8$ L/dak)



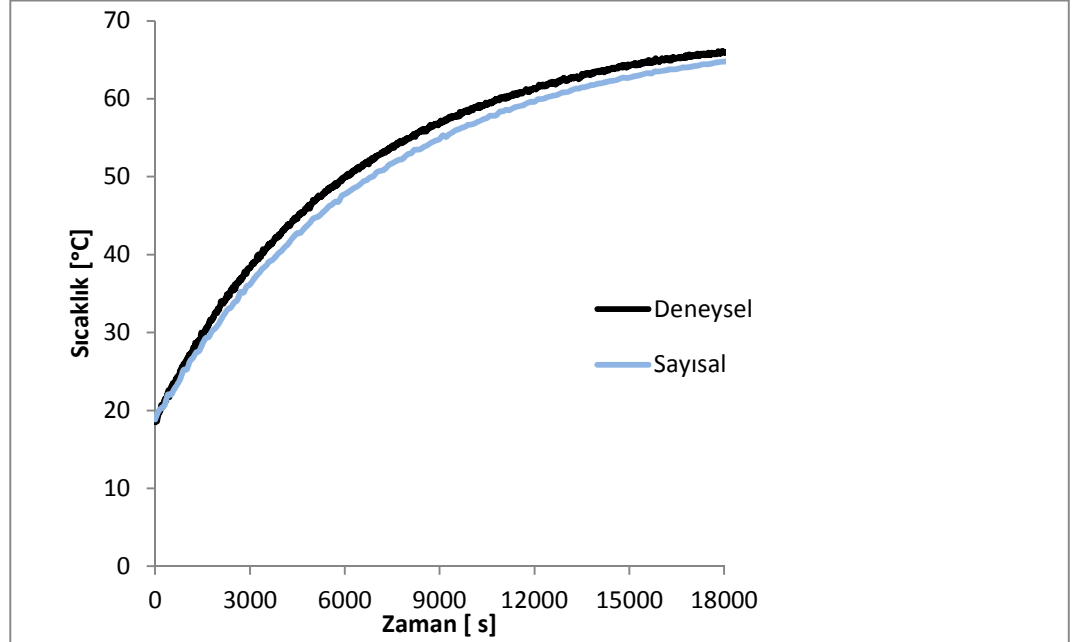
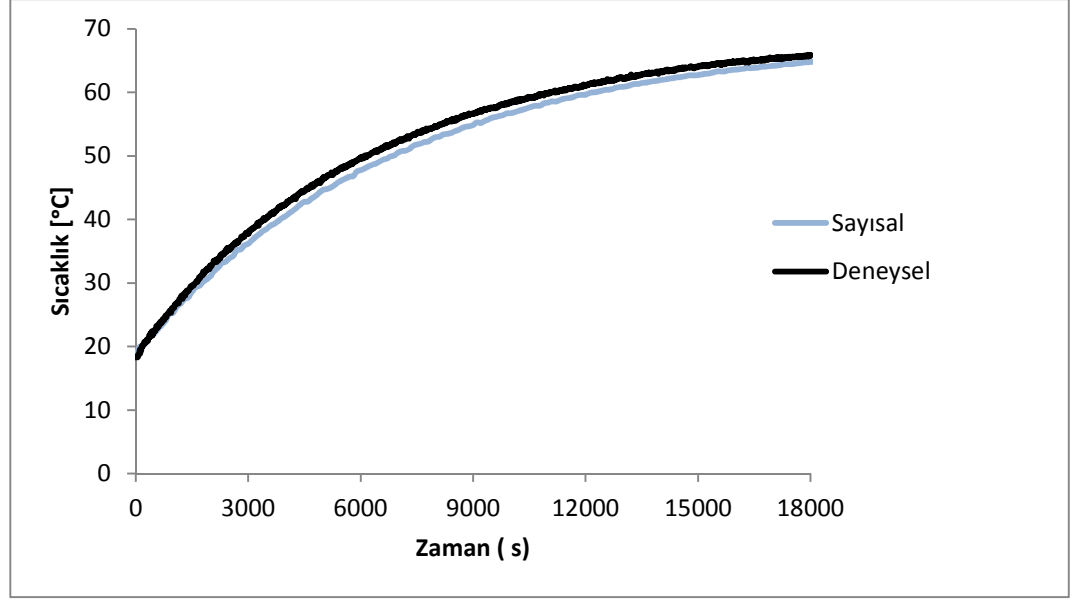
Şekil 6.64: Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V} = 2,8$ L/dak)

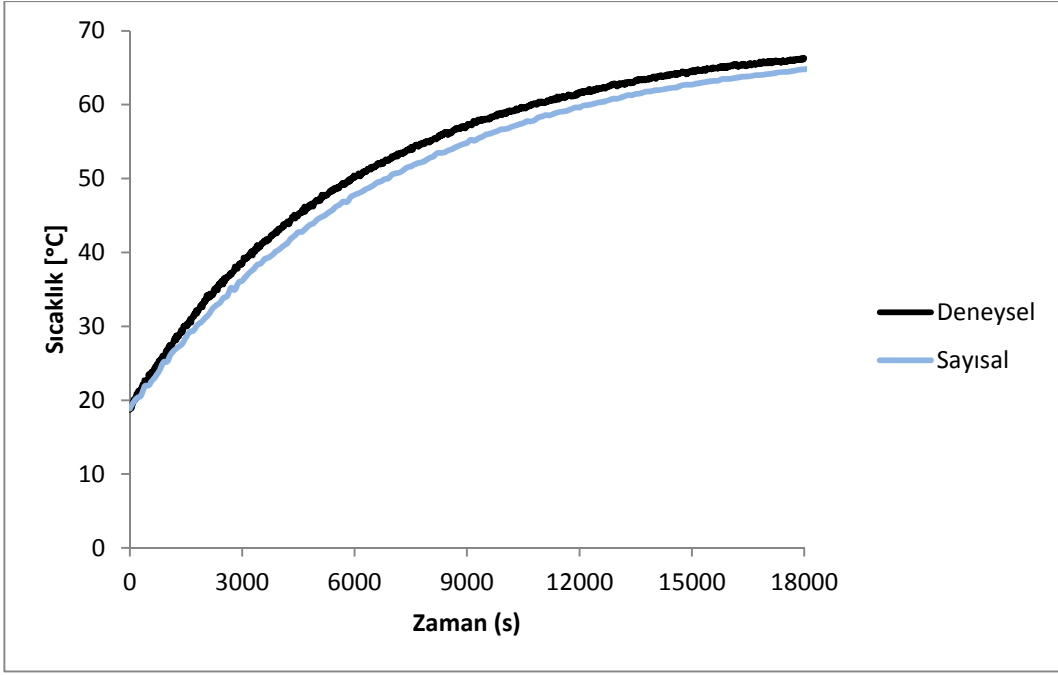


Şekil6.65: Deponun ekseninde, tabandan 40 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)

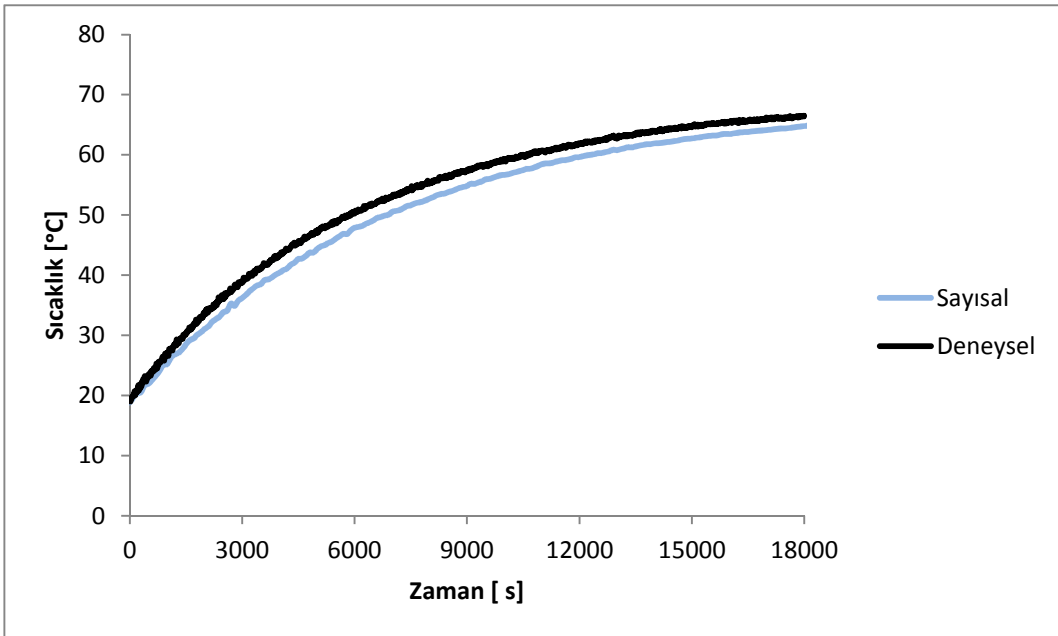


Şekil 6.66: Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)

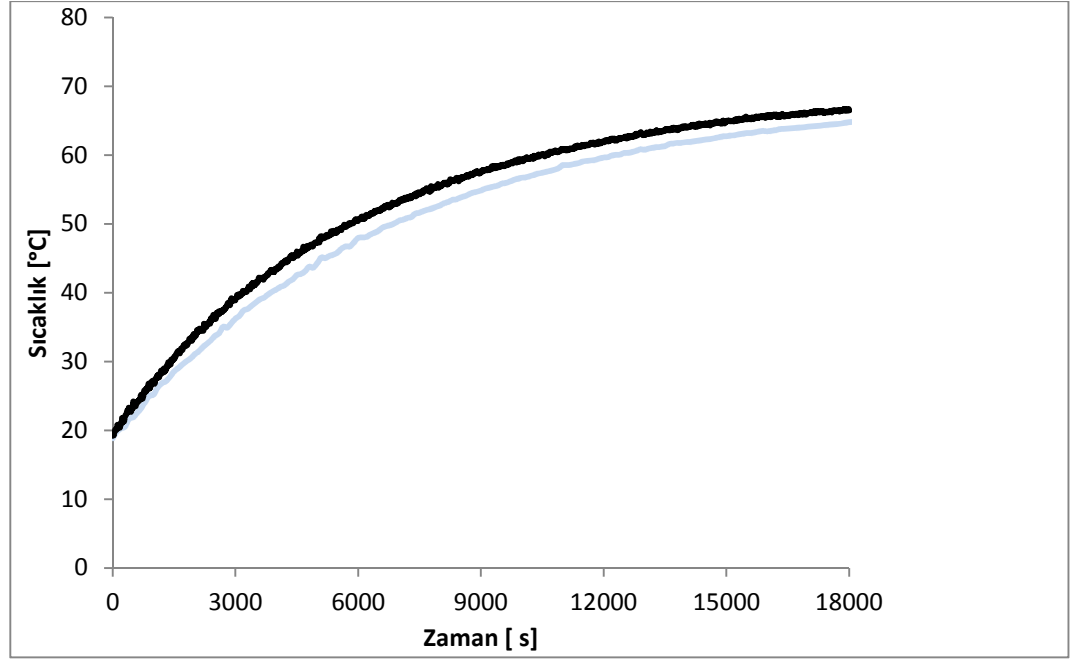




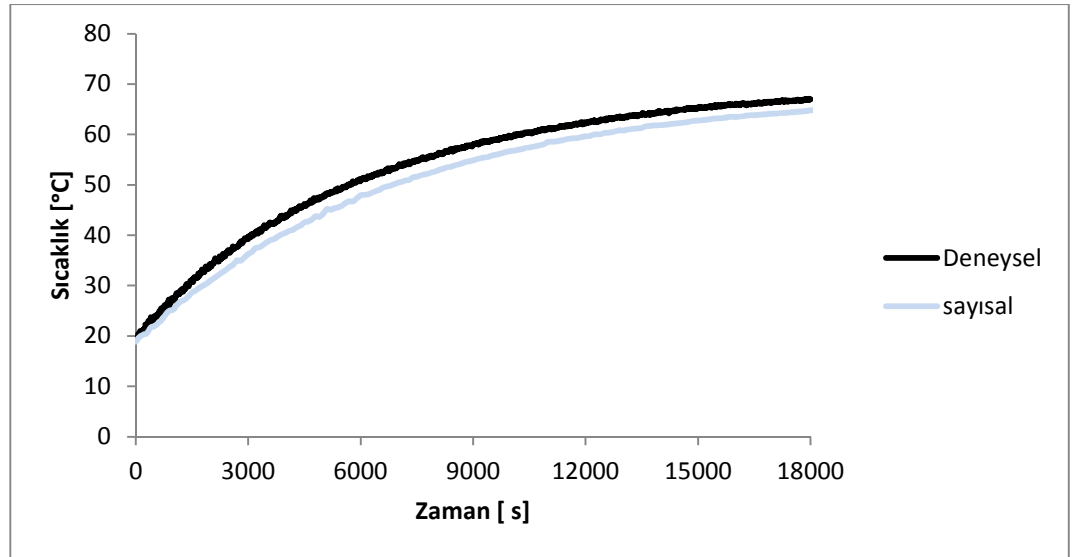
Şekil 6.69: Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



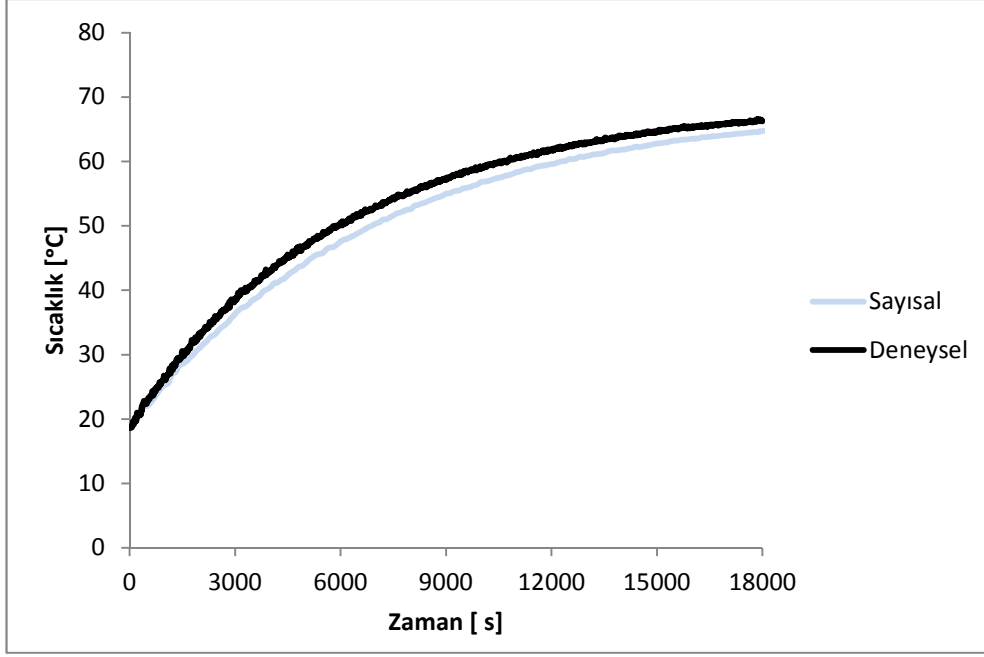
Şekil 6.70: Deponun ekseninde, tabandan 75 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



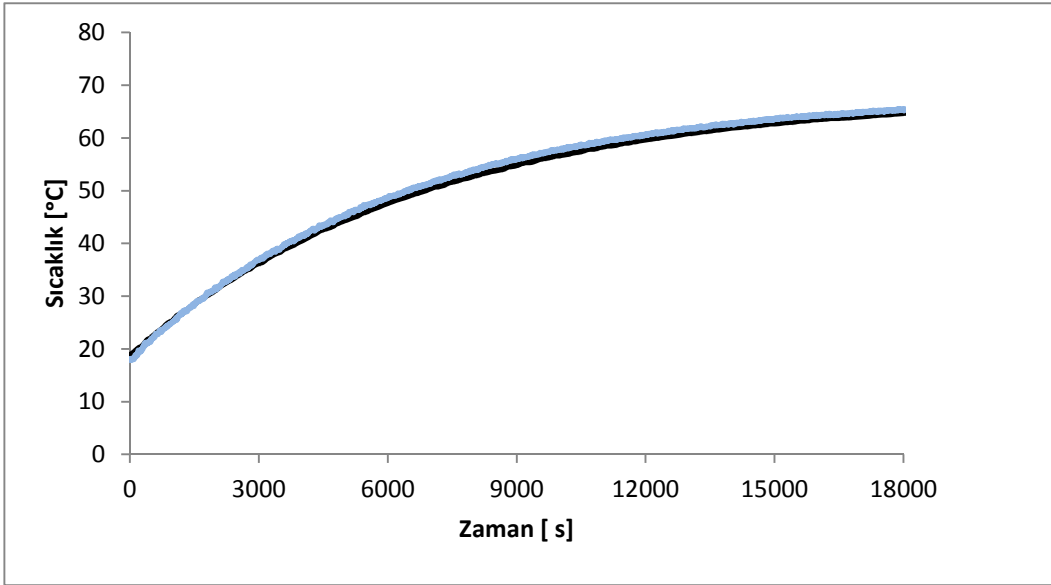
Şekil 6.71: Deponun ekseninde, tabandan 80 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,8$ L/dak)



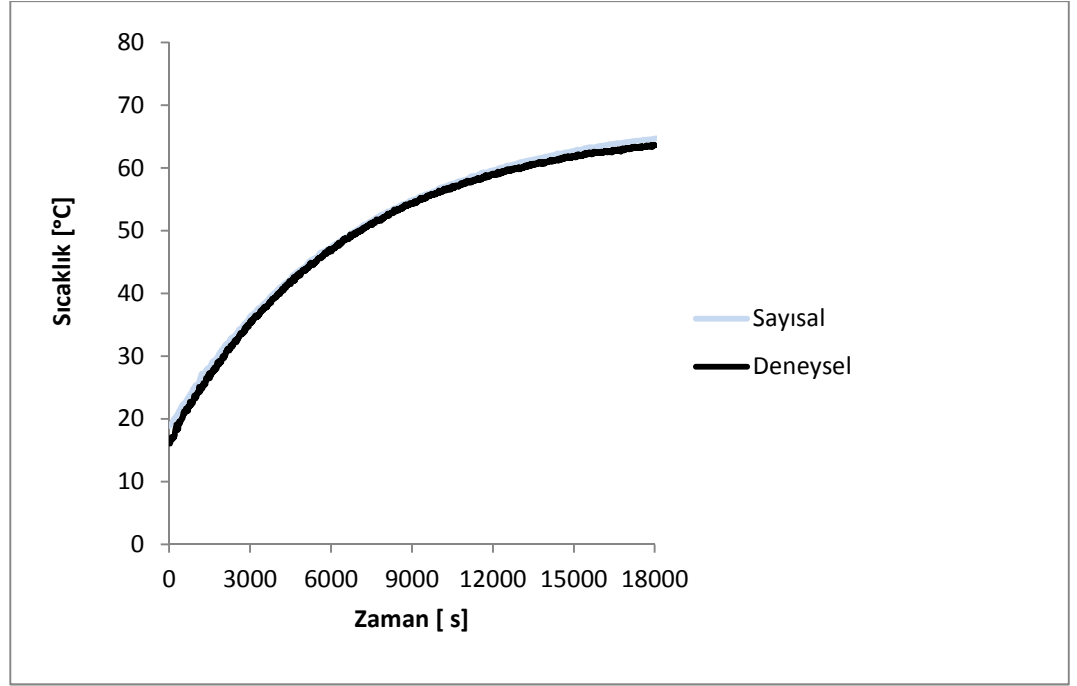
Şekil 6.72: Deponun ekseninde, tabandan 85 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,8$ L/dak)



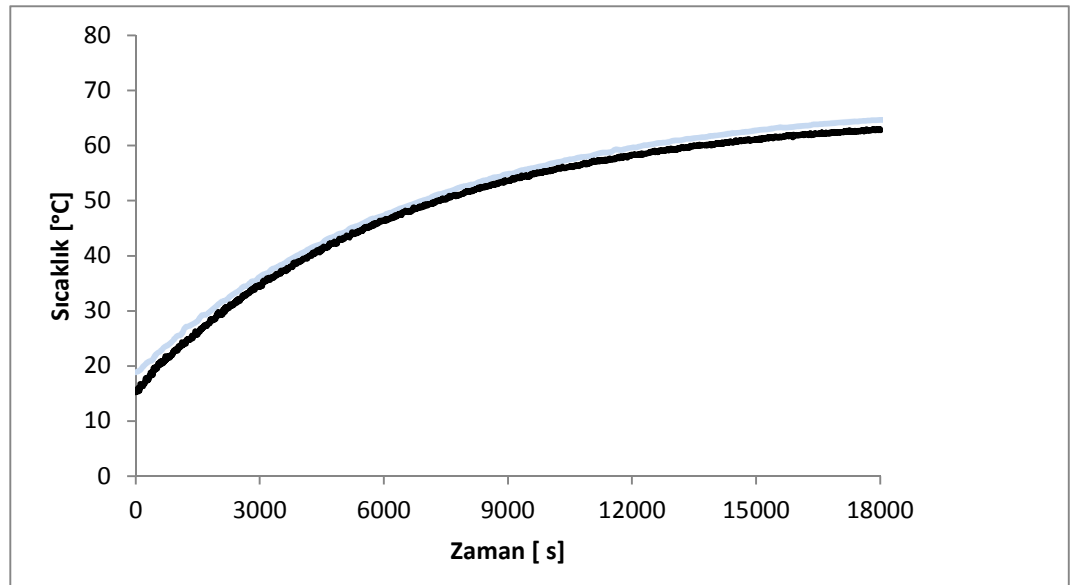
Şekil 6.73: Deponun ekseninde, tabandan 100 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



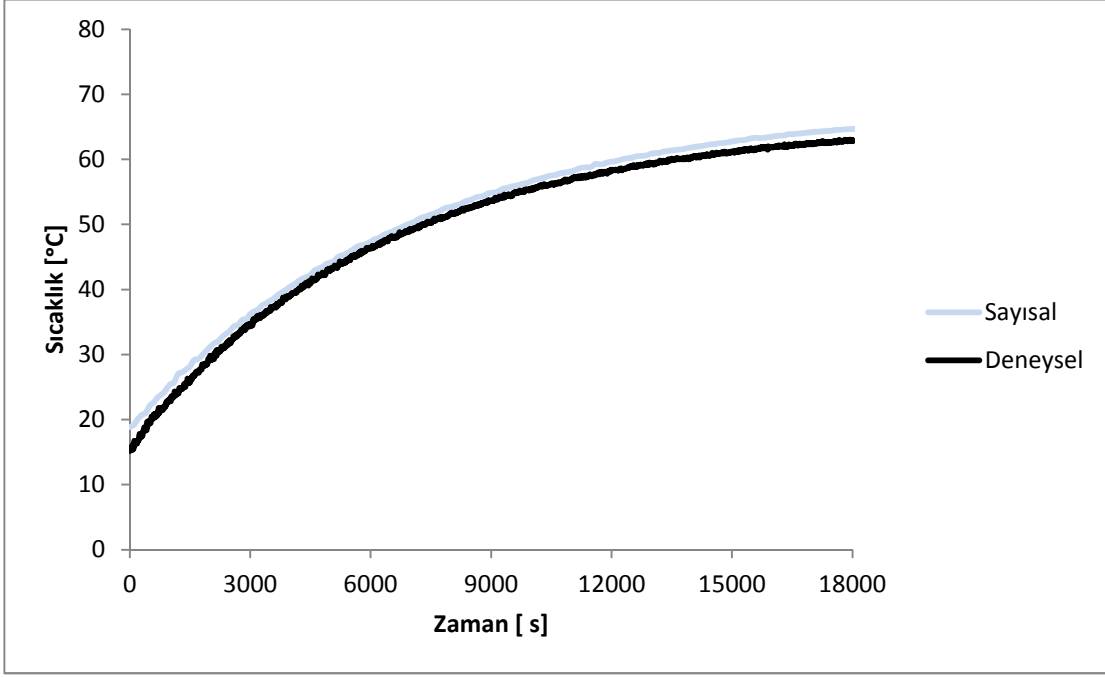
Şekil 6.74: Deponun ekseninde, tabandan 105 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



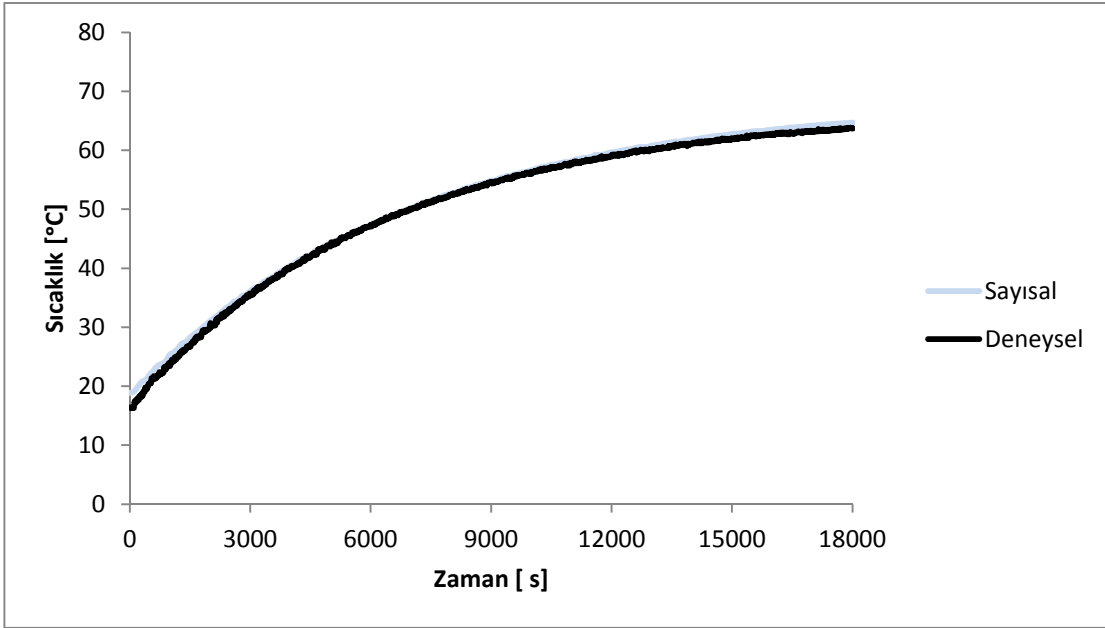
Şekil 6.75: Deponun ekseninde, tabandan 115 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



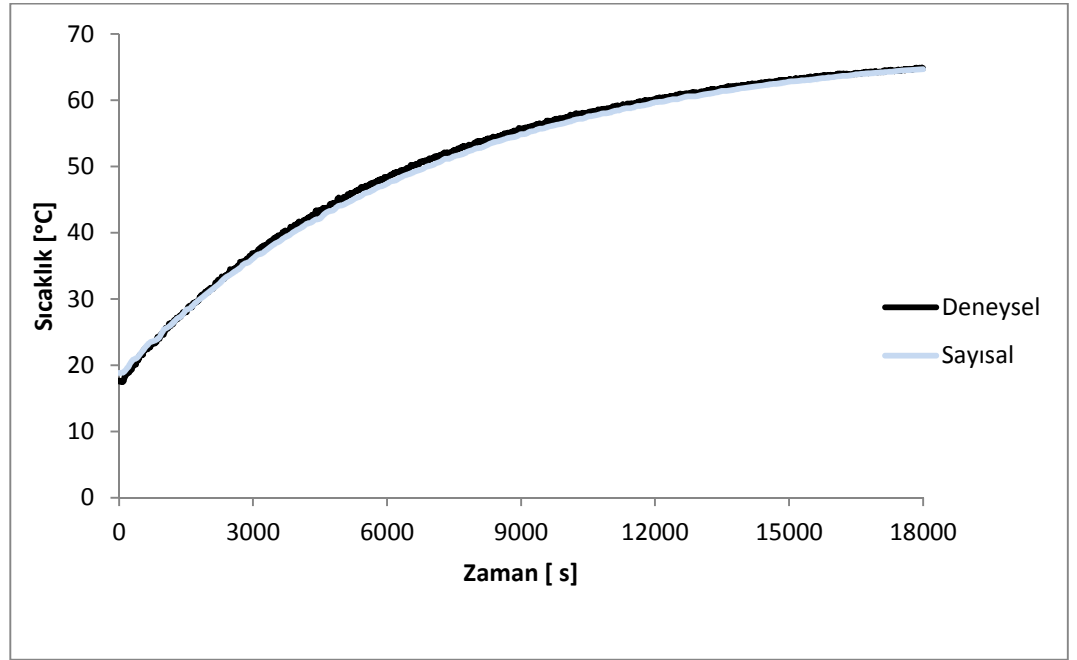
Şekil 6.76: Deponun ekseninde, tabandan 120 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



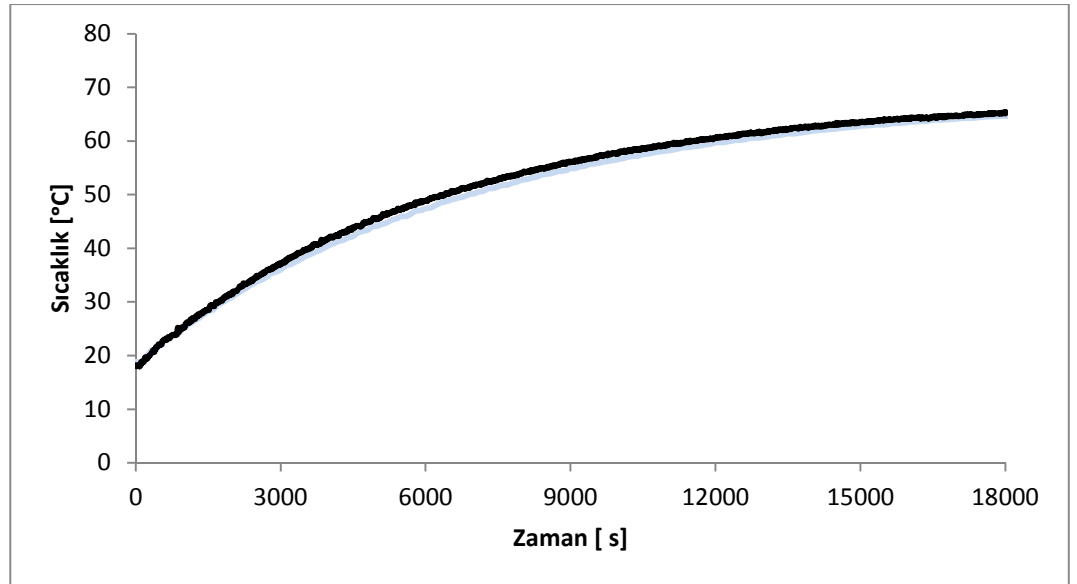
Şekil 6.77: Deponun ekseninde, tabandan 125 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



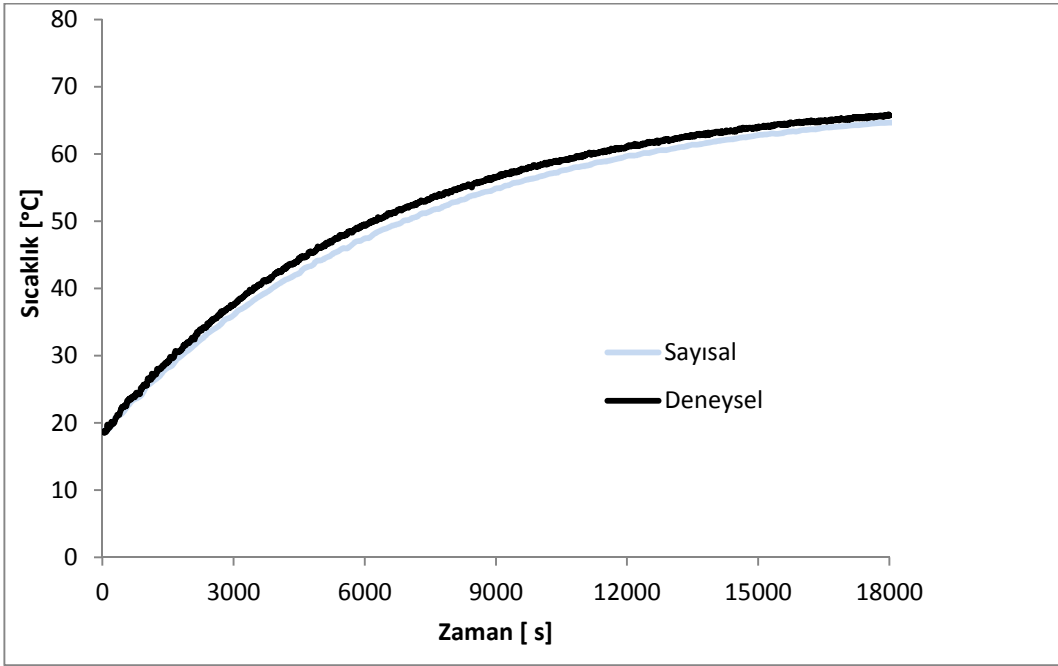
Şekil 6.78: Deponun ekseninde, tabandan 135 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



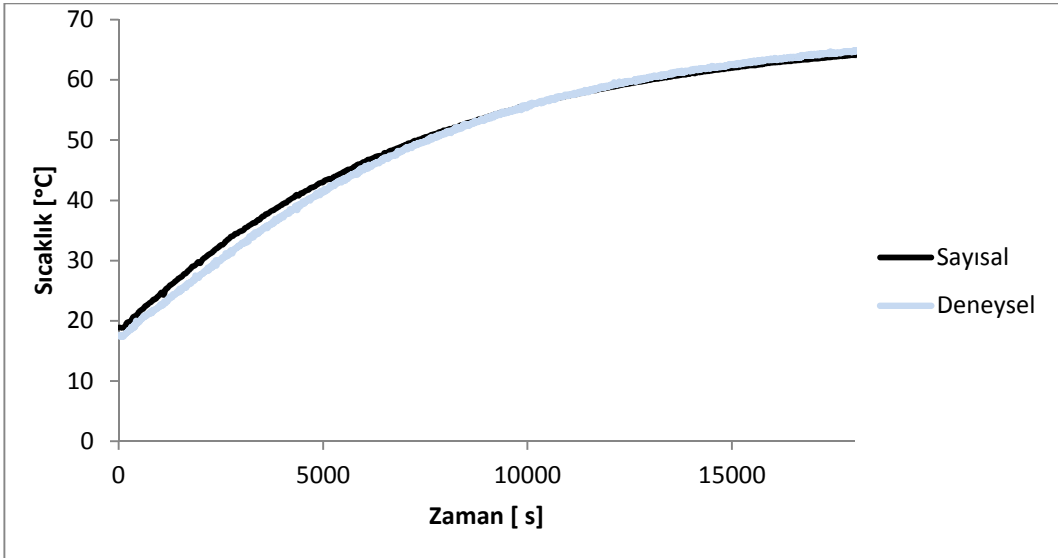
Şekil 6.79: Deponun ekseninde, tabandan 140 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,8$ L/dak)



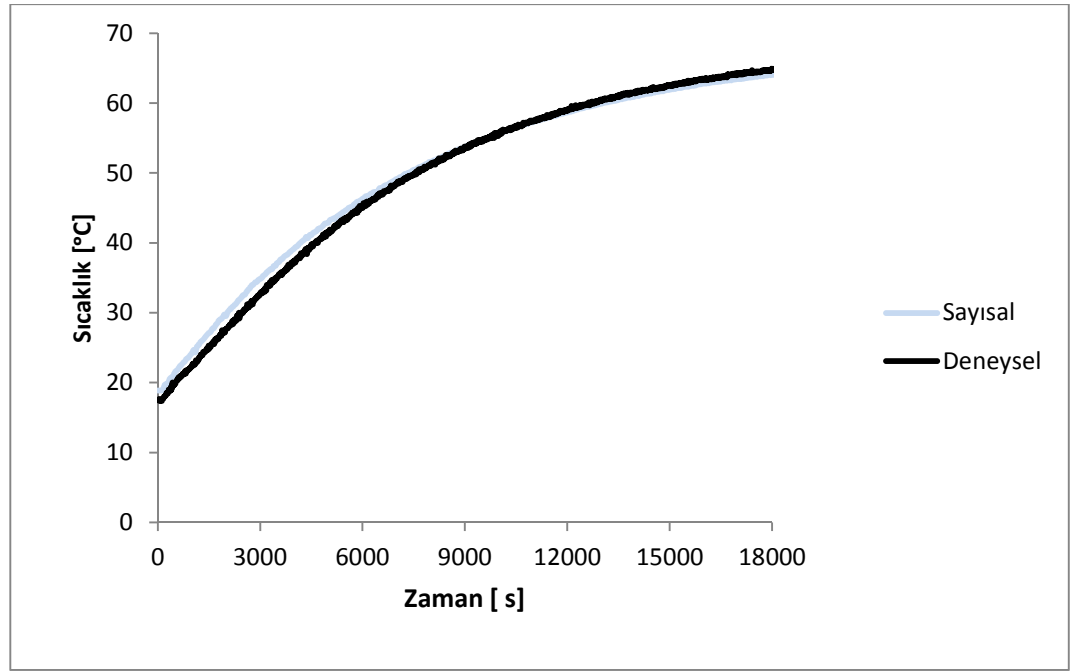
Şekil 6.80: Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,8$ L/dak)



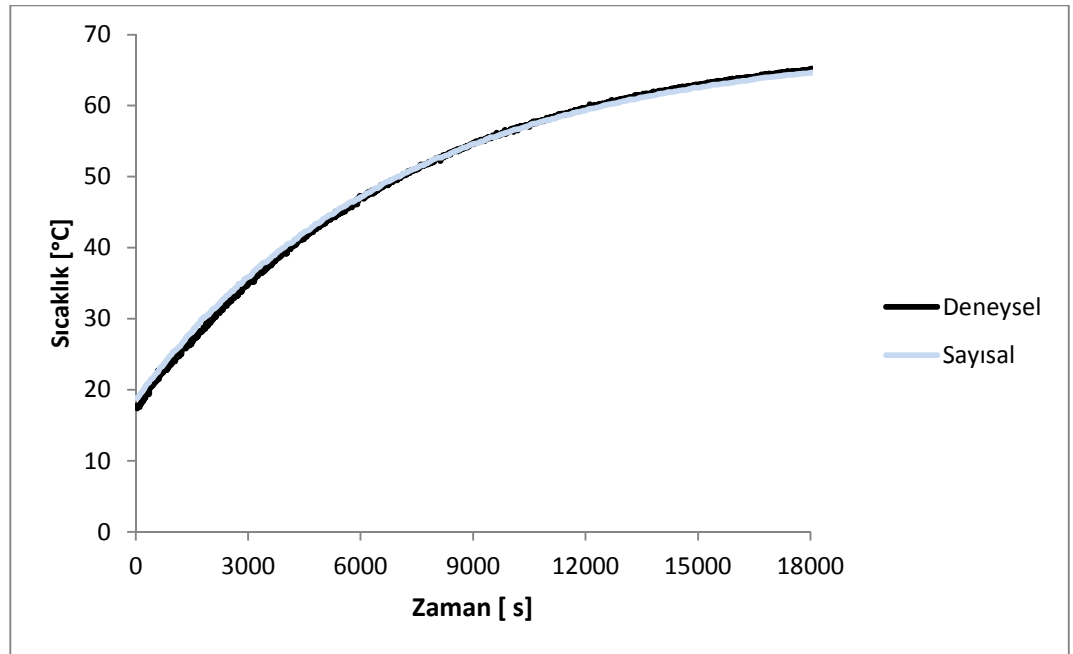
Şekil 6.781: Deponun ekseninde, tabandan 155 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,8$ L/dak)



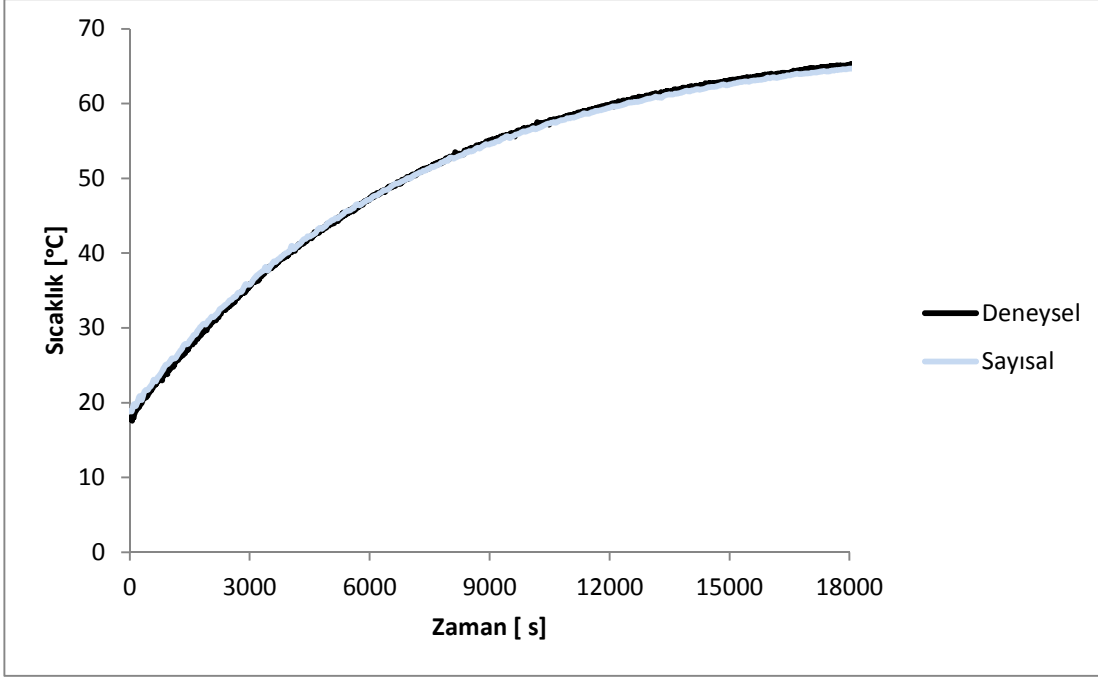
Şekil 6.82: Deponun ekseninde, tabandan 20 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,5$ L/dak)



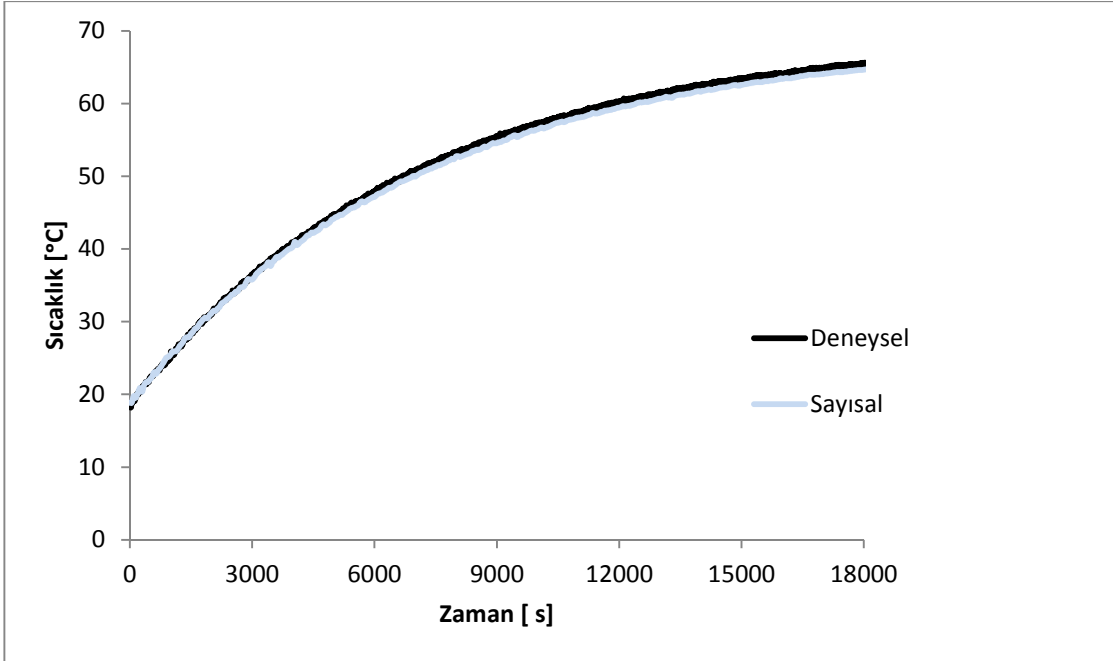
Şekil 6.83: Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,5$ L/dak)



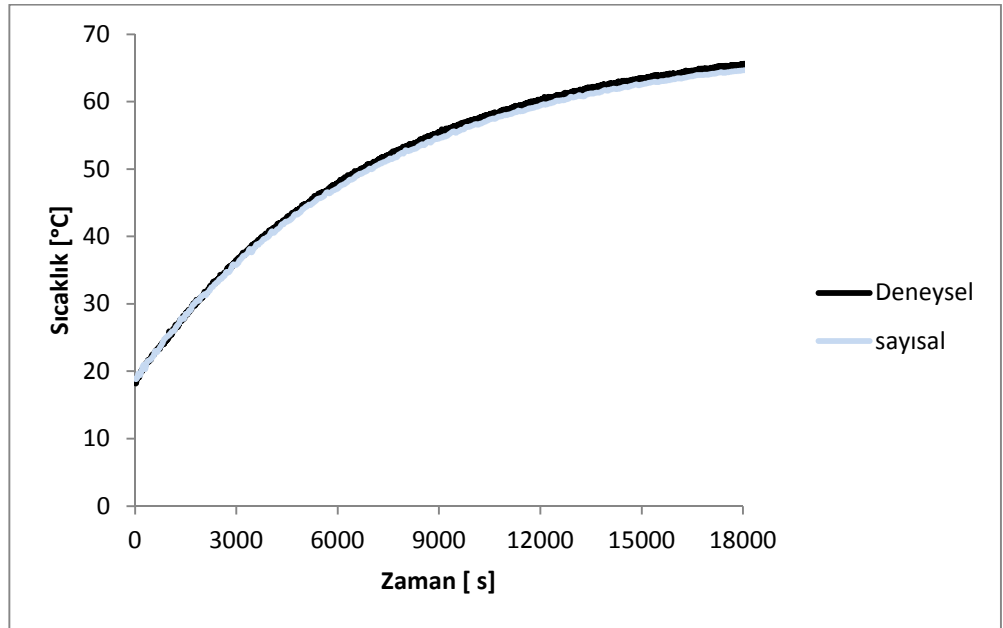
Şekil 6.84: Deponun ekseninde, tabandan 40 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,5$ L/dak)



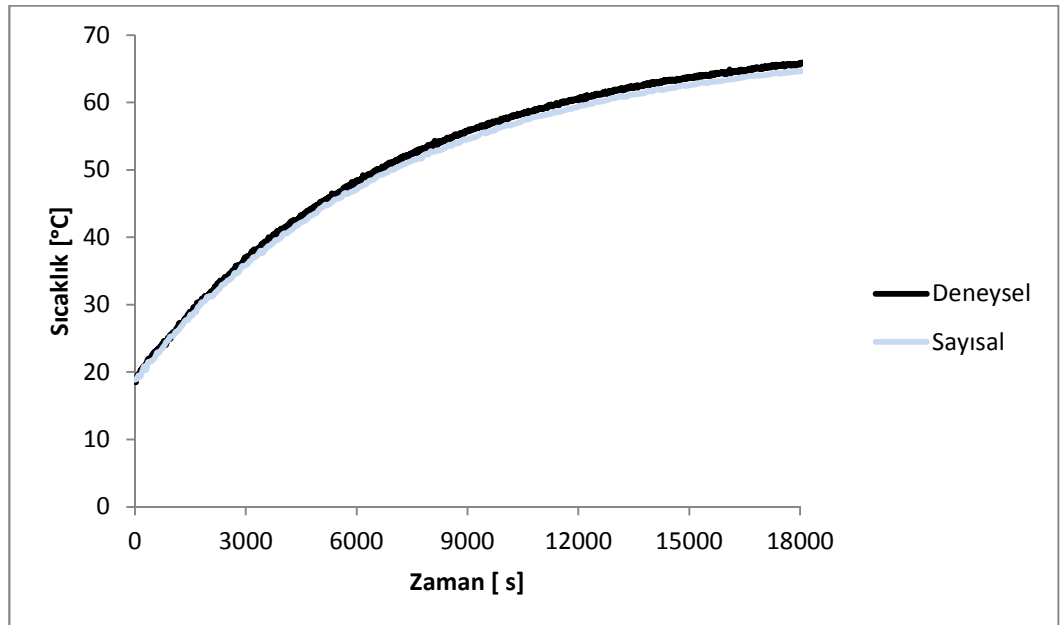
Şekil 6.85: Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,5$ L/dak)



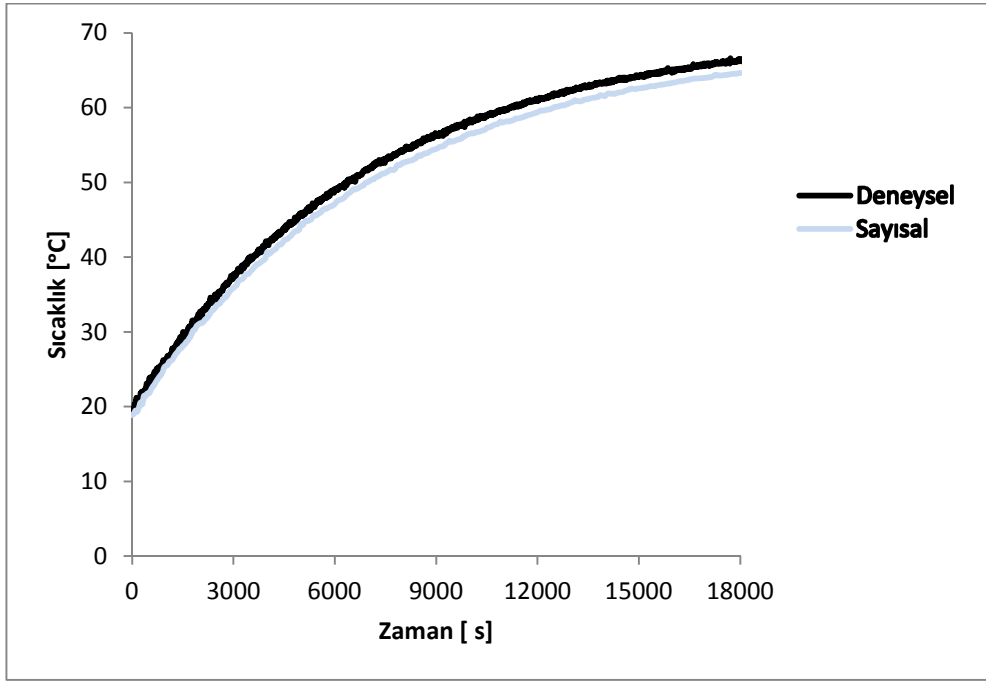
Şekil 6.86: Deponun ekseninde, tabandan 60 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,5$ L/dak)



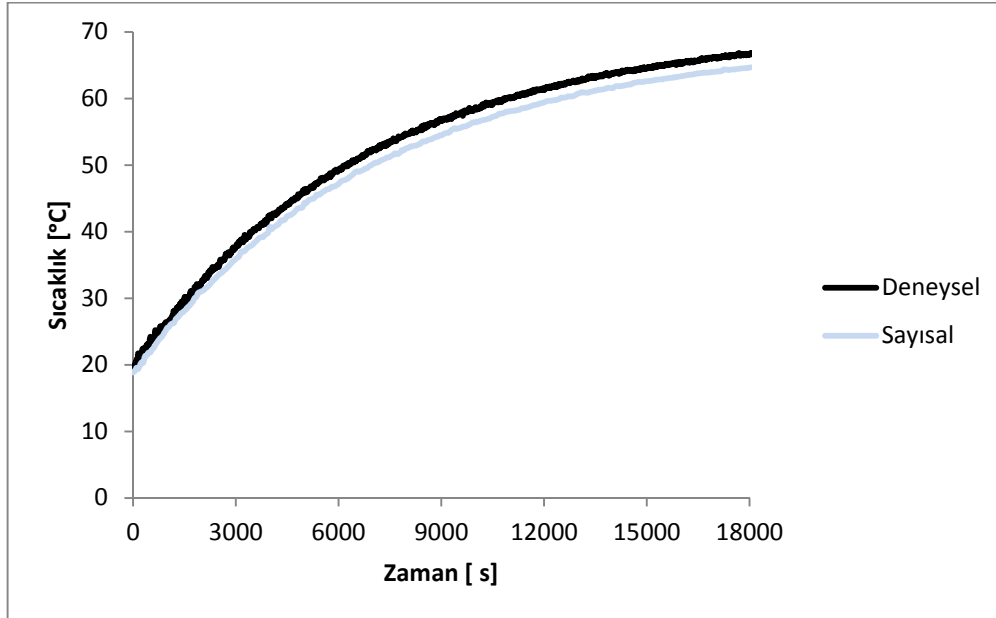
Şekil 6.87: Deponun ekseninde, tabandan 65 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V} = 2,5$ L/dak)



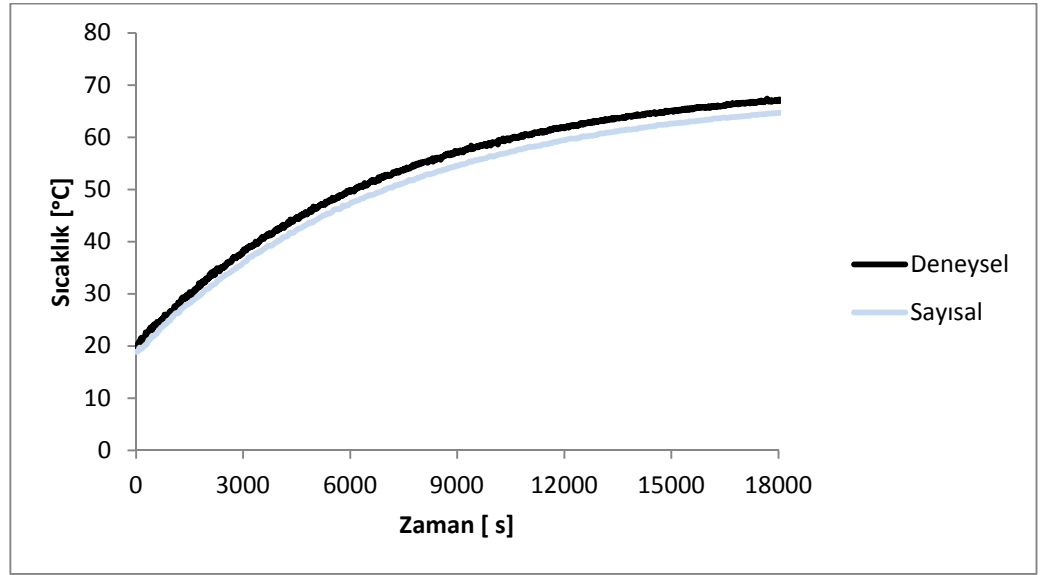
Şekil 6.88: Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V} = 2,5$ L/dak)



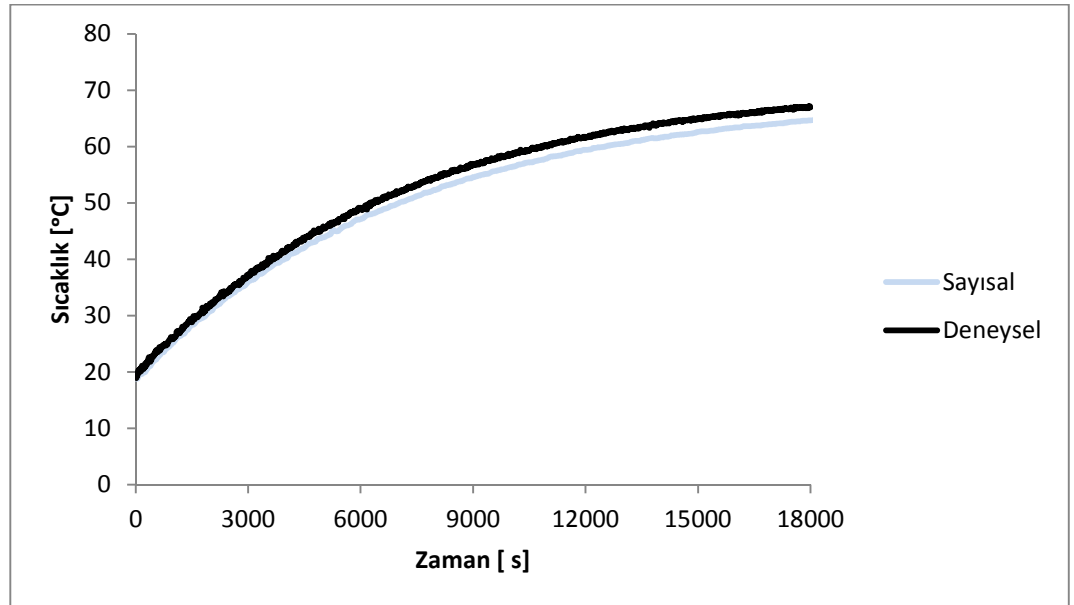
Şekil 6.89: Deponun ekseninde, tabandan 80 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,5$ L/dak)



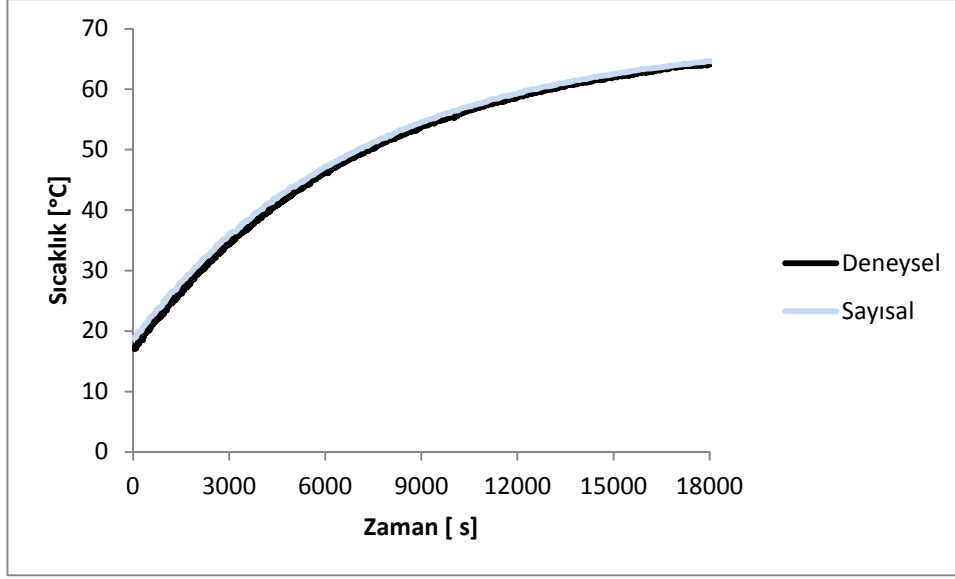
Şekil 6.90: Deponun ekseninde, tabandan 85 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}=2,5$ L/dak)



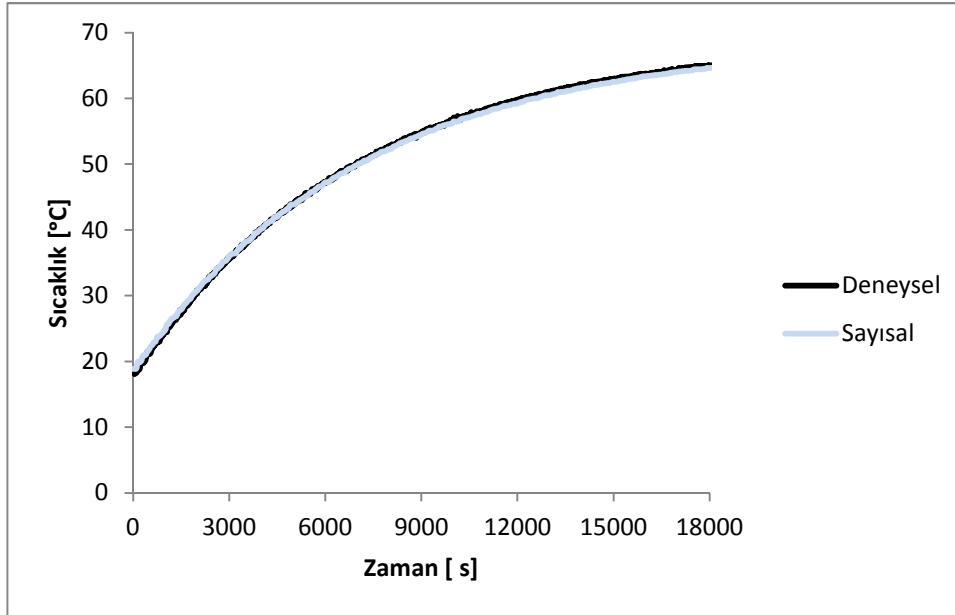
Şekil 6.91: Deponun ekseninde, tabandan 95 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V} = 2,5$ L/dak)



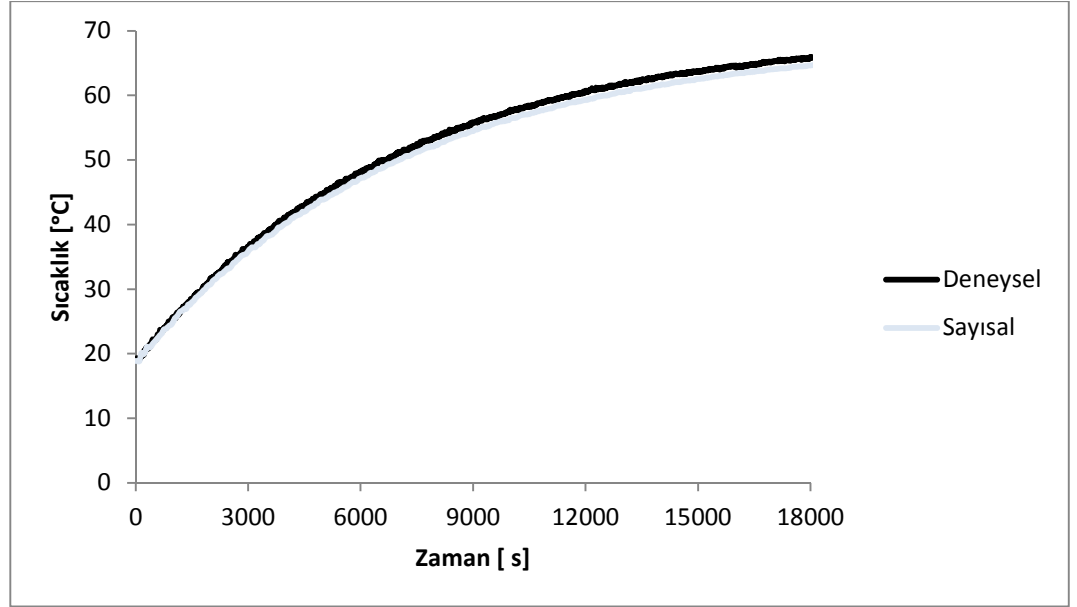
Şekil 6.92: Deponun ekseninde, tabandan 115 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V} = 2,5$ L/dak)



Şekil 6.93: Deponun ekseninde, tabandan 140 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,5$ L/dak)

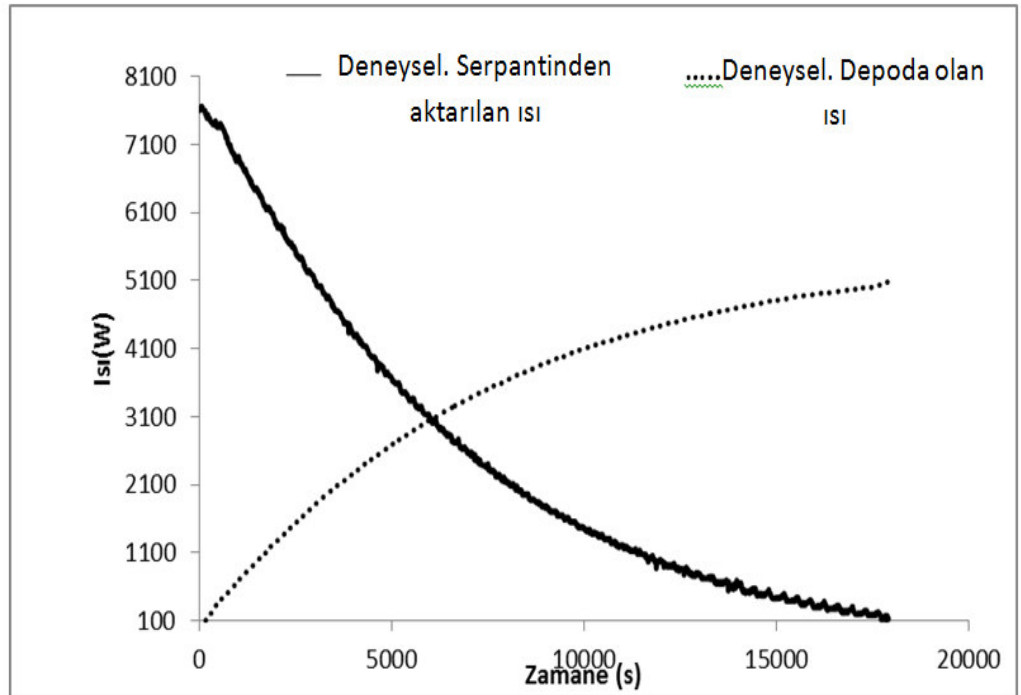


Şekil 6.94: Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V}= 2,5$ L/dak)



Şekil 6.95: Deponun ekseninde, tabandan 160 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri ($\dot{V} = 2,5$ L/dak)

Termodinamiğin ikinci yasasını kullanarak sıcak su depolama tankının ısı verimi %76,5 olarak bulunmuştur. Şekil 6.96'da serpantin borusundan aktarılan ısı ve depoda bulunan suyun ısısının artmasının zamana göre değişimi gösterilmektedir.



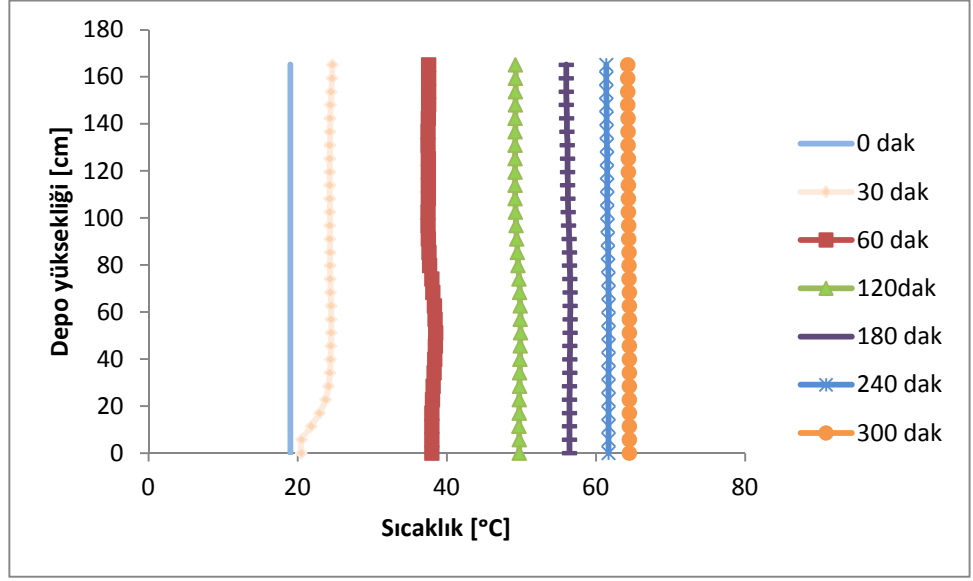
Şekil 6.96: Enerji dengesi

6.7 Yönlendirici Koni Olduğu Durumda Sıcak Su Depolama Tankına Ait Sonuçlar

Sıcak su deposunda iyi bir ısı tabakalaşma ve daha yüksek sıcaklıkta su elde edebilmek için deponun içerisine merkez ekseninde yönlendirici koni tip levha yerleştirilmiş ve bu levhanın sıcaklık tabakalaşmasına olan etkisinin incelenmesi için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Sayısal çalışmada en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan yönlendiricinin belirlenebilmesi için yönlendiriciye ait boyutsuz parametreler değiştirilerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Burada incelenen parametreler $d_1/D, d_2/D, h/H$ ve x/H oranlarıdır. Bu parametreler incelenirken serpantinlere olan suyun giriş sıcaklığı 70 °C, debisi ise 2,8 L/dak olarak sabit alınmıştır. Bu şartlar altında üretilen çözümlerde sıcak su deposu içinde oluşturulan sıcaklık dağılımlarına bakılarak, en iyi tabakalaşmanın hangi çözümde olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. En iyi tabakalaşmanın oluşmasını sağlayan yönlendirici tip koni levha belirlendikten sonra deneysel çalışmada kullanılmak üzere imal ettirilmiştir.

6.7.1. Sayısal Çalışma

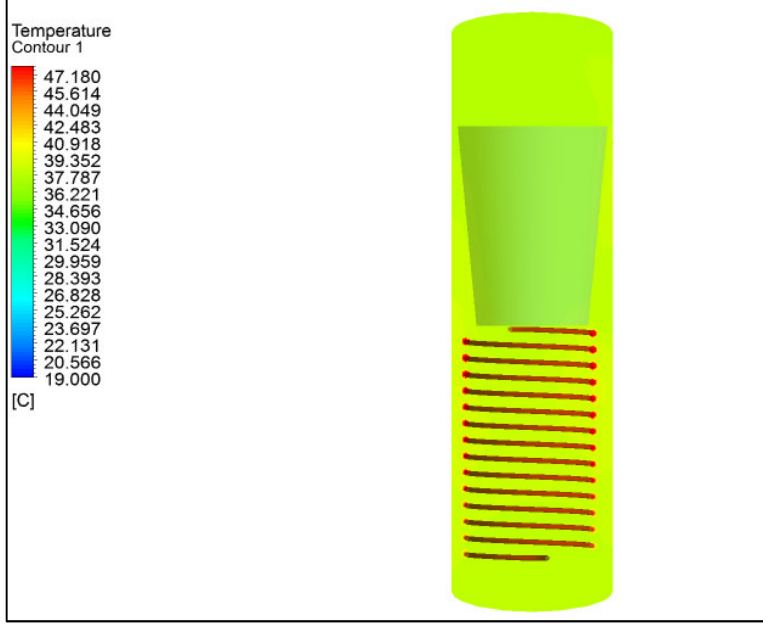
$h/H = 0,3329$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.97’de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C’dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 18,57 °C artarak 37,86 °C’ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,64 °C daha artarak 49,49 °C’ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,79 °C artarak 56,34 °C olmuştur. 240’ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 5,36 °C daha artarak 61,58 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,89 °C daha artarak 64,40 °C’ye varmıştır.



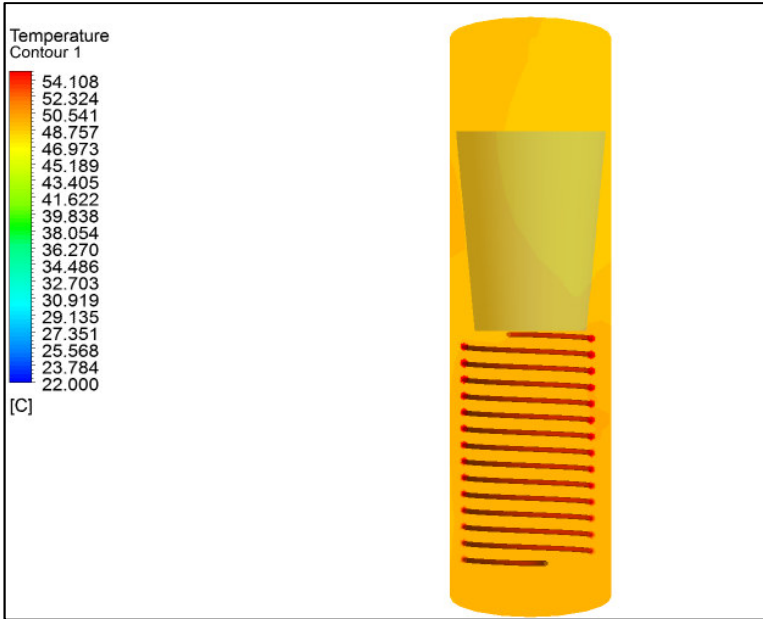
Şekil 6.97: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H=0,3329$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)

Şekil 6.98 ile Şekil 6.102 arasında görüldüğü üzere sıcak su deposunun içindeki sıcak dağılımı z-r düzleminde çizilmiştir. Şekillerde 60, 120, 180, 240 ve 300' üncü dakikadaki depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk 60 dakikalık şarj işleminin süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımı homojen olmasına rağmen iyi bir sıcaklık tabakalaşması elde edilememektedir. Yukarıda belirtilen boyutsuz parametrelere sahip koni kullanılarak yapılan çalışmada depo içerisindeki suda homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilse de, koni kullanılmadan yapılan 60 dakikalık şarj işlemi sonunda depo içerisinde daha yüksek sıcaklıklarda su elde edilebilmektedir. Depo içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmesine karşın iyi bir sıcaklık tabakalaşmasının elde edilememesinin sebebi ise şekil 6.103' de gösterilmiş olan hız vektörlerine bakarak anlaşılabilir. Bu şekilden de görüldüğü üzere doğal taşınım ile serpantin boru etrafında ısınan su kütleleri yoğunluk farkı ile deponun üst kısmına doğru çıkmaya başlamaktadır. Belirtilen boyutsuz parametrelere sahip yönlendirici koninin dış kısmıyla deponun iç cidarı arasındaki mesafenin dar (d_1/D) ve koninin uzun olması (x/H) sebebiyle ısınan su kütlelerinin bir kısmı da yönlendirici koninin içerisinden deponun üst kısmına ulaşmaya çalışmaktadır. Deponun üst kısmında bulunan soğuk su kütleleri ise yönlendirici içerisinden aşağı inerken ısınan bu su kütleleri ile çarpışarak girdap oluşmasına neden olmaktadır. Şekil-

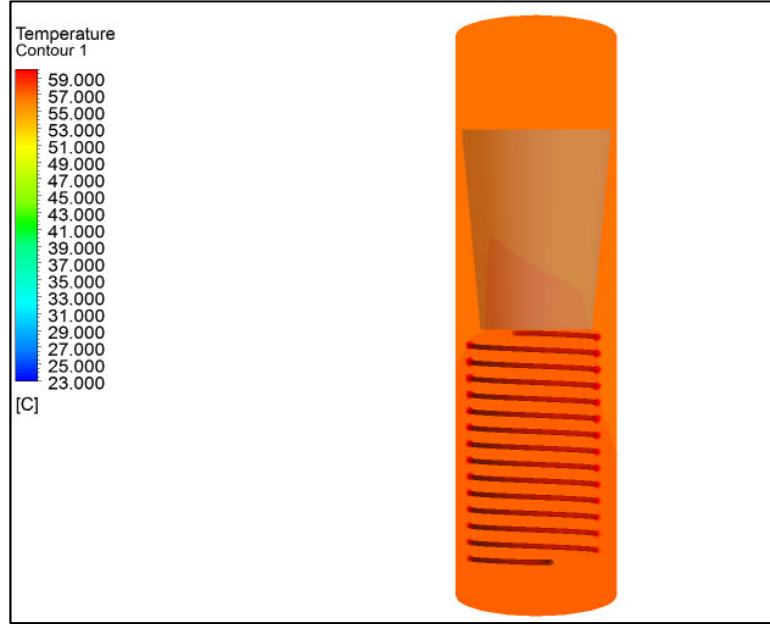
103' de görüldüğü gibi hızın sıfıra yakın olduğu bölgeler girdabın merkezini temsil etmektedir. Bu girdaplar diğer şarj zamanlarında da azalarak devam etmektedir (Şekil 6.104 ve 6.107).



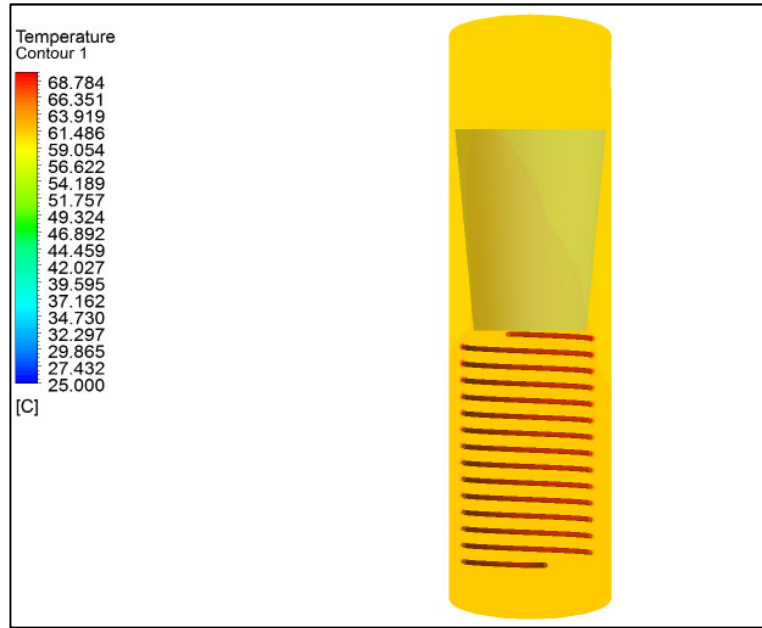
Şekil 6.98: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $h/H = 0,3329$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



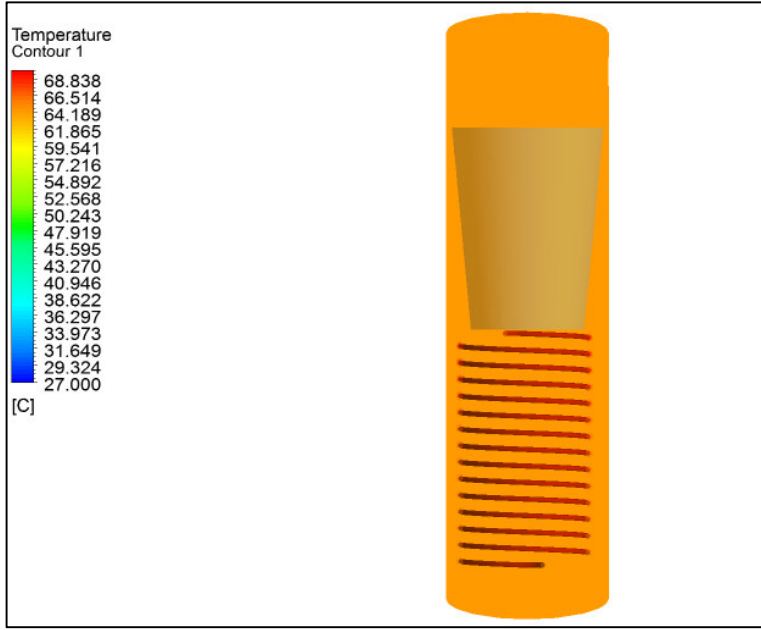
Şekil 6.99: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $h/H = 0,3329$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



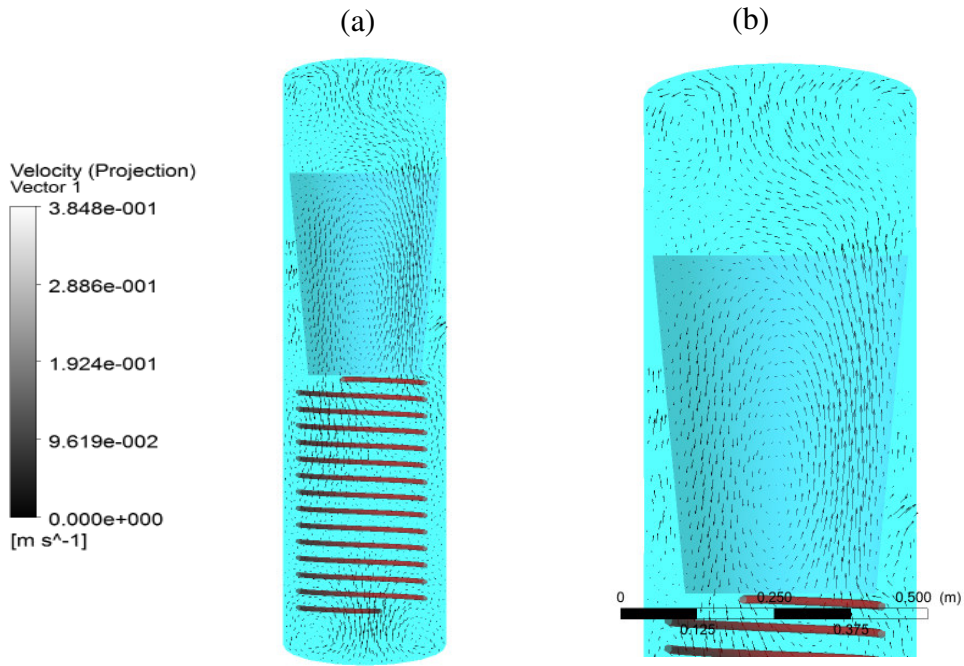
Şekil 6.100: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $h/H=0,3329$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)



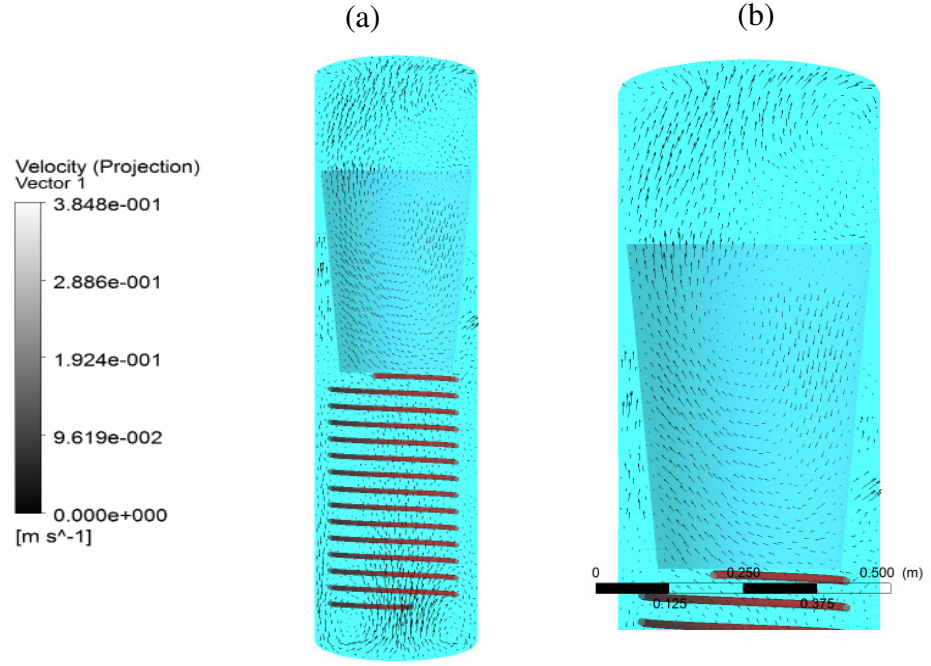
Şekil 6.101: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $h/H=0,3329$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)



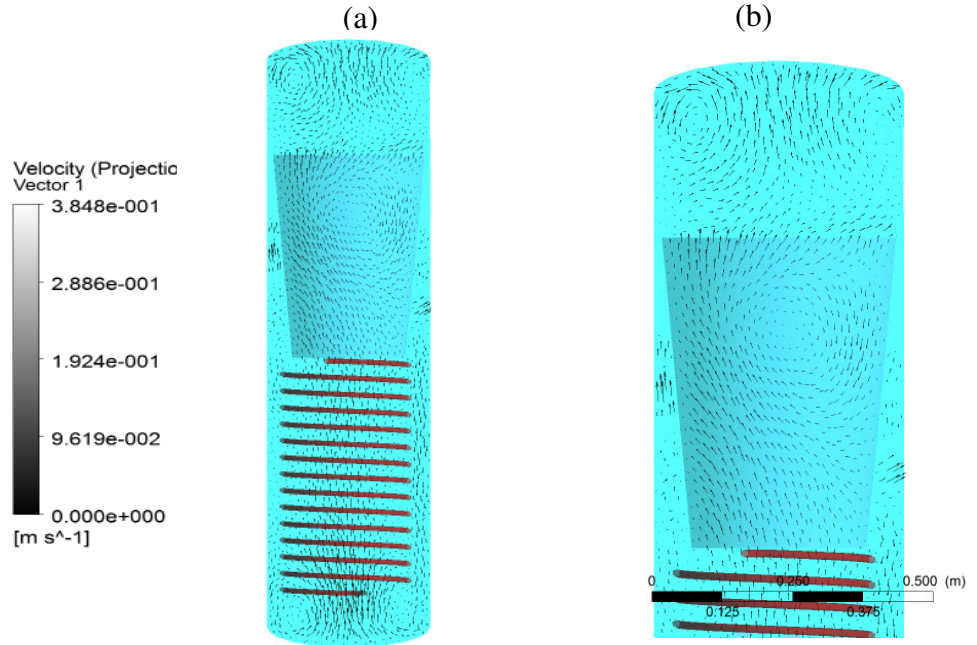
Şekil 6.102: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $h/H = 0,3329$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



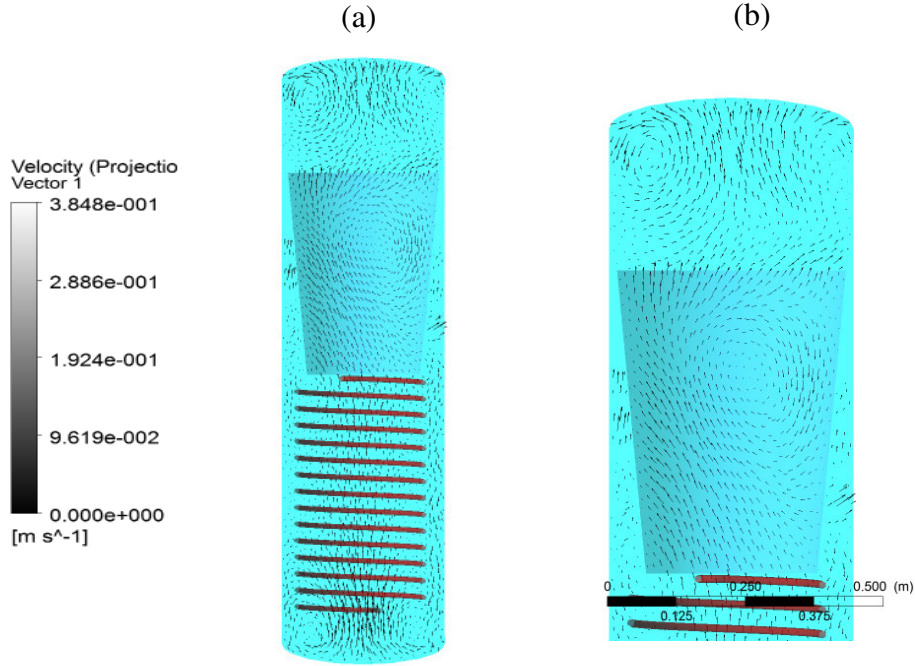
Şekil 6.103: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,3329$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



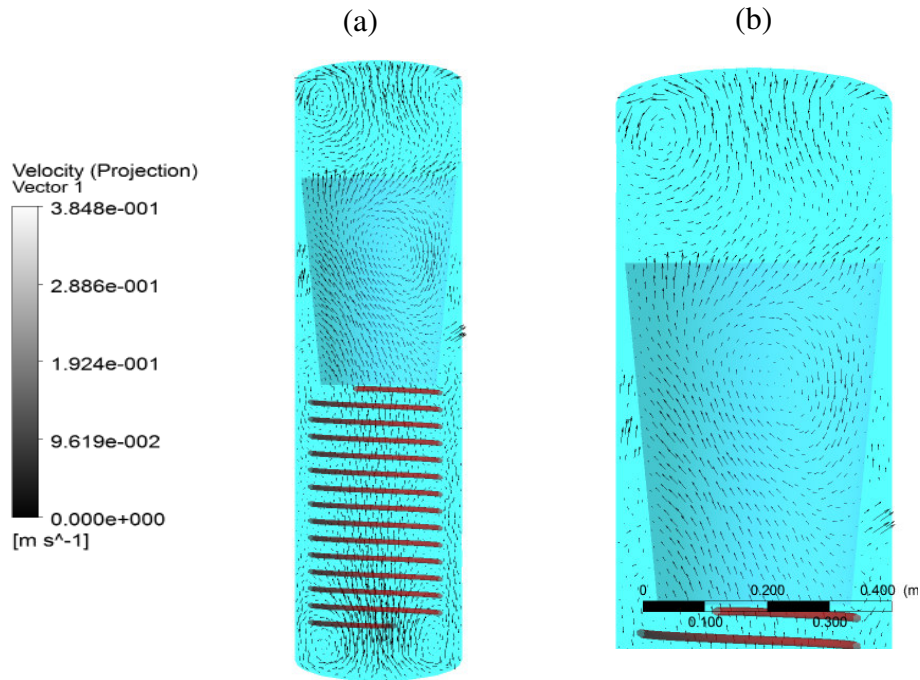
Şekil 6.104: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,3329$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)



Şekil 6.105: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,3329$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)

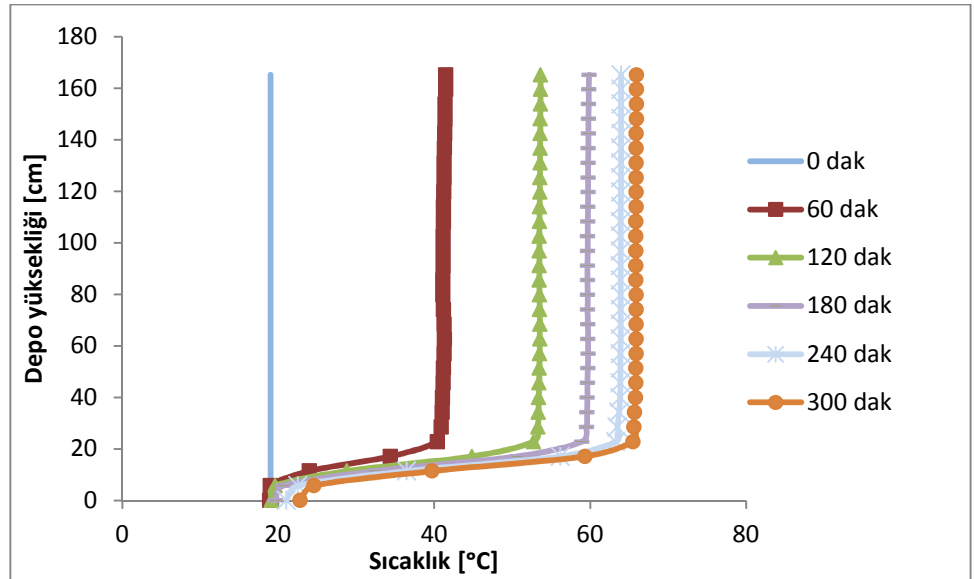


Şekil 6.106: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,3329$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)



Şekil 6.107: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,3329$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)

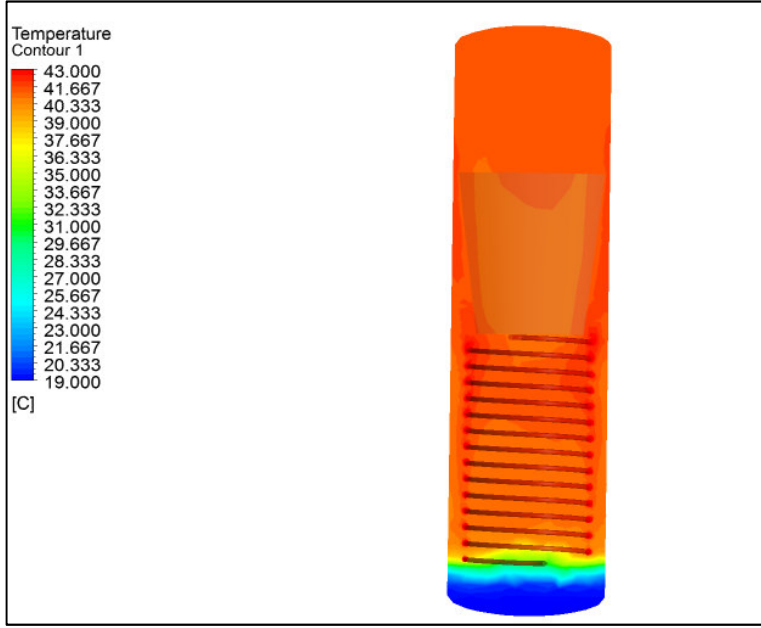
$h/H = 0,27239$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 l/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.108’de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C’dir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 19,91 °C artarak 38,91 °C’ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,18 °C daha artarak 50,09 °C’ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 5,73 °C artarak 55,83 °C olmuştur. 240’uncü dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 4,06 °C daha artarak 59,89 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,07 °C daha artarak 61,96 °C’ye varmıştır.



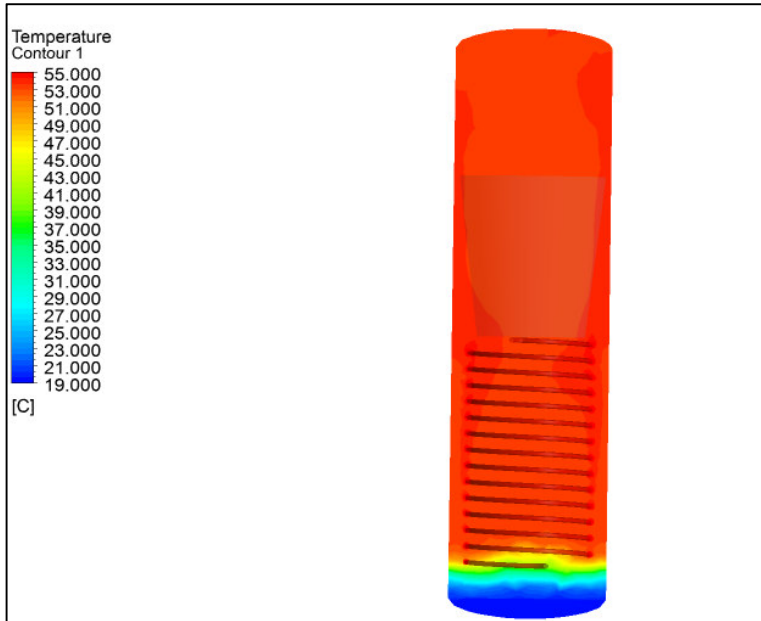
Şekil 6.108: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,27239$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)

Şekil 6.109 ile 6.113’ de görülen sıcak su deposunun içindeki sıcak dağılımı z-r düzleminde çizilmiştir. Şekillerde 60, 120, 180, 240 ve 300’ üncü dakikadaki depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk 60 dakikalık şarj işleminin süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımına bakıldığında sıcaklık tabakalaşmasındaki iyileşme oluşmaya başladığı görülmektedir. Serpantinler etrafında ısınan su kütleleri belirtilen boyutsuz parametrelere sahip

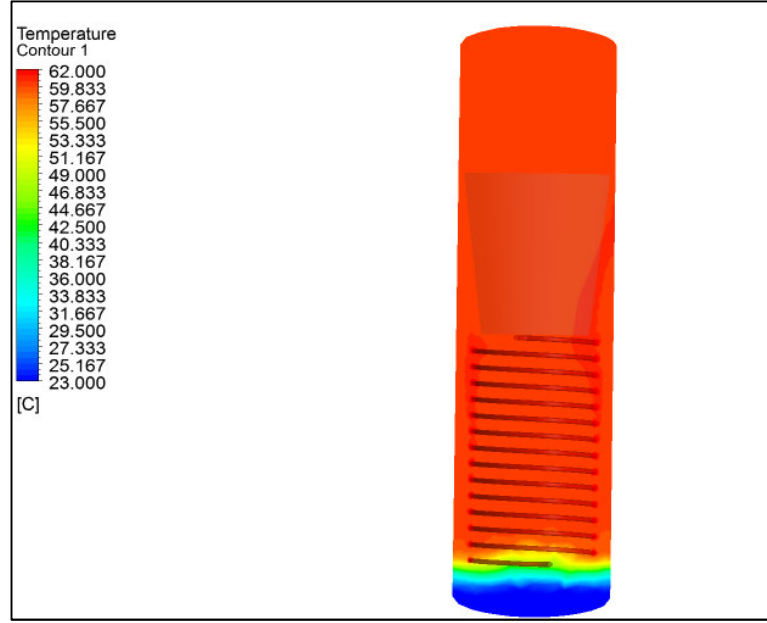
konin dış tarafından yukarıya doğru hareket etmekte, deponun üst kısmında bulunan soğuk su kütleleri ise konin iç kısmından aşağıya doğru gitmektedir. Böylece yönlendirici koni sayesinde sıcak ve soğuk kütlelerinin karşılaşması engellenebilmiştir. Bu kütlelerin engellenebilmesi neticesinde deponun alt kısımlarında sıcaklık tabakalaşması olmaya başlamıştır.



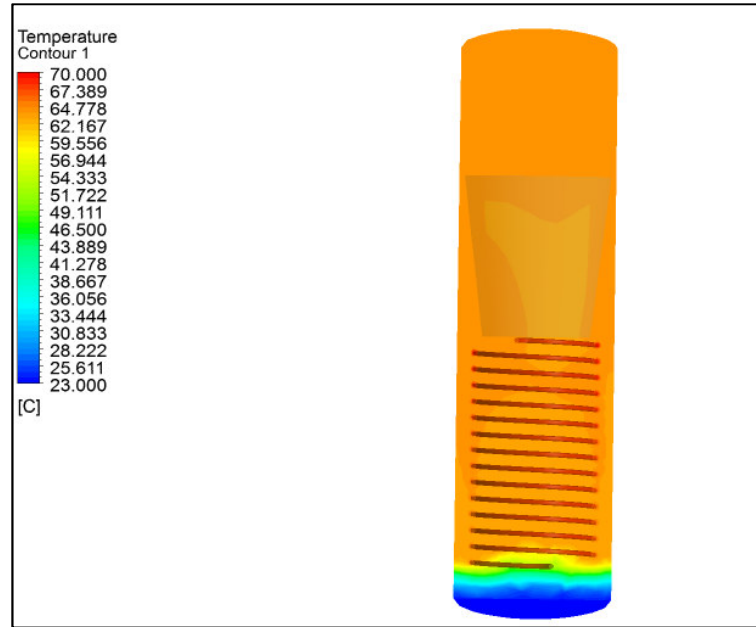
Şekil 6.109: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $h/H = 0,27239$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



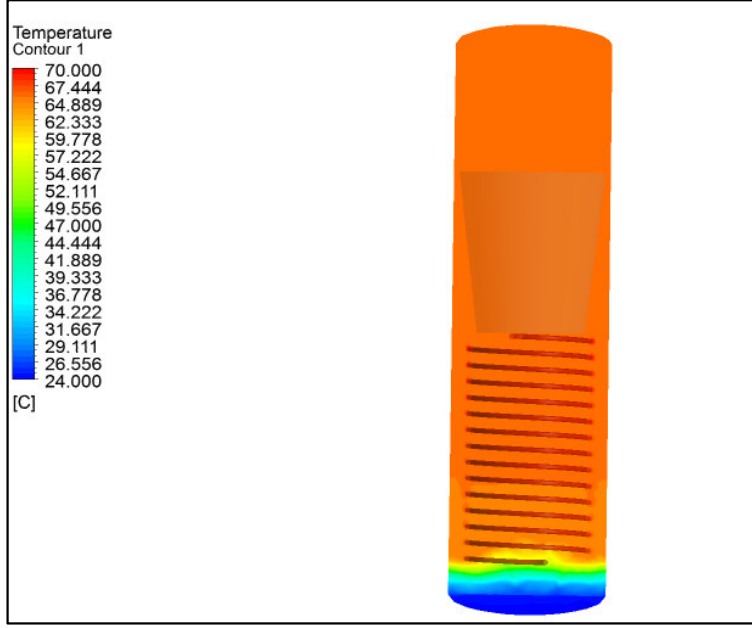
Şekil 6.110: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $h/H = 0,27239$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



Şekil 6.111: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $h/H = 0,27239$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)

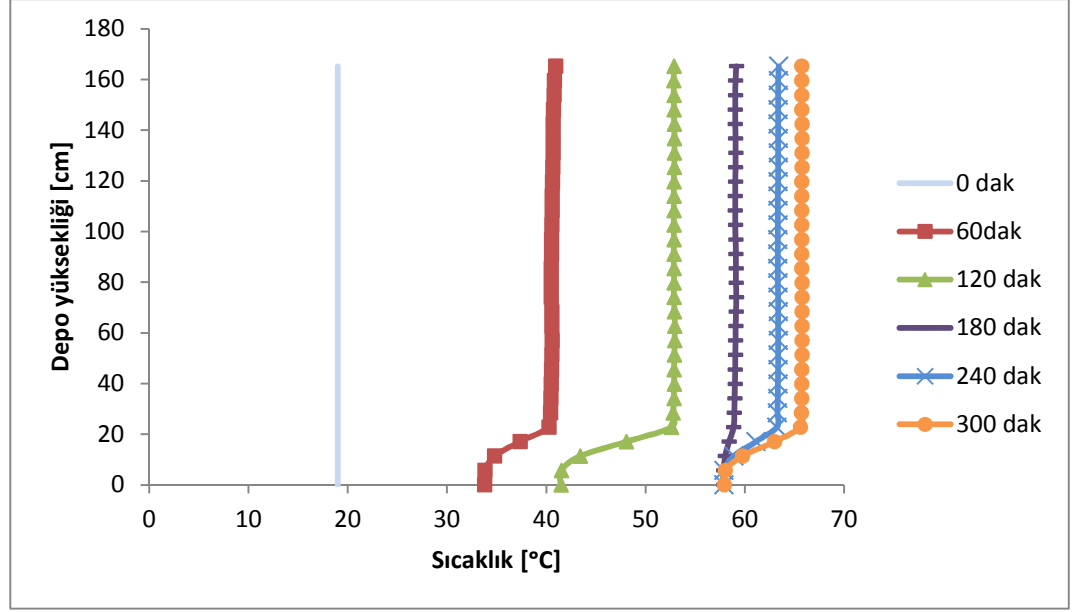


Şekil 6.112: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $h/H = 0,27239$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



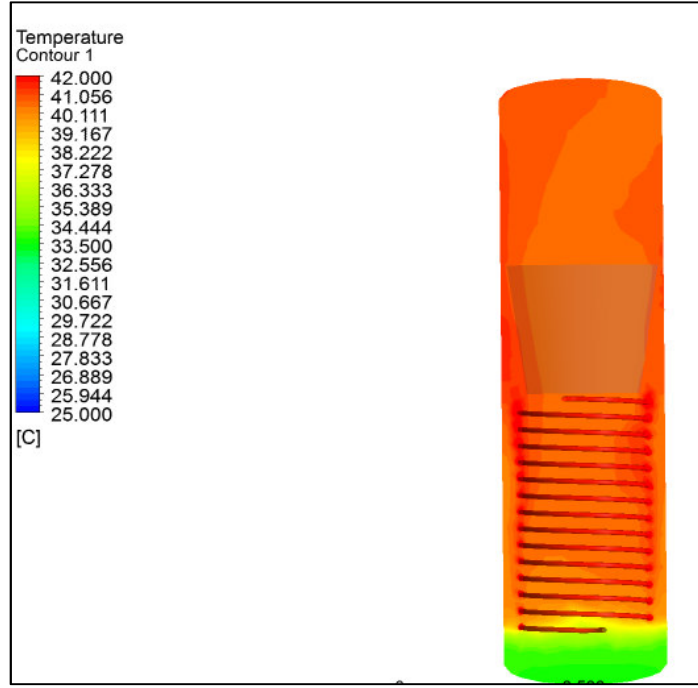
Şekil 6.113: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $h/H = 0,27239$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)

$h/H = 0,21186$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.114'te görülmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 20,82 °C artarak 39,82 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,80 °C daha artarak 51,62 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 7,28 °C artarak 58,91 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,84 °C daha artarak 62,75 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,16 °C daha artarak 64,92 °C'ye varmıştır.

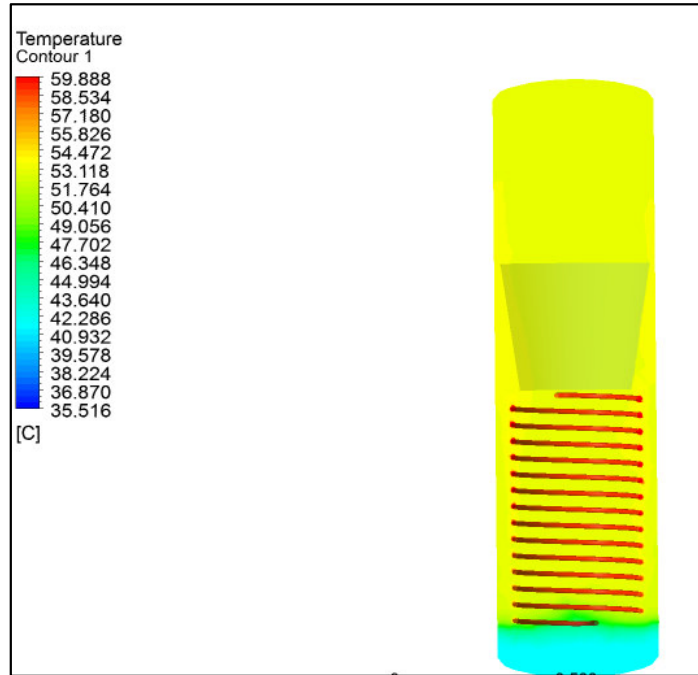


Şekil 6.114: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H=0,21186$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)

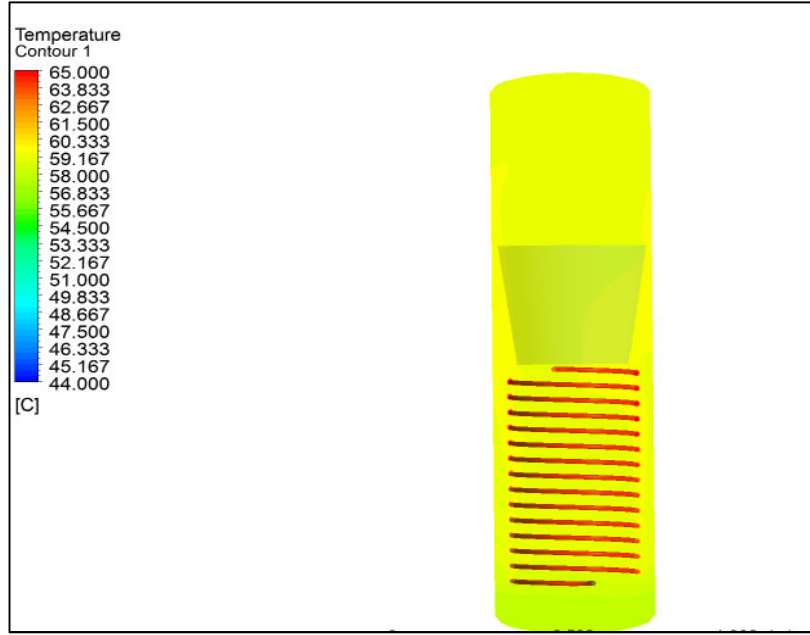
Şekil 6.115 ile Şekil 6.124 arasında görülen şekillerde 60, 120, 180, 240 ve 300' üncü dakikadaki depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk 60 dakikalık şarj işleminin süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımına bakıldığında sıcaklık tabakalaşmasında iyileşme olmaya başladığı görülmektedir. Yukarıda belirtilen sayısal çalışmalarda kullanılan koninin boyutlarında tek farkı h/H olan bu koni ile yapılan çalışmada sıcaklık tabakalaşmasında artış olmuş ve depo tabanına yakın kısımlardaki suyun da daha fazla ısınmaya başladığı görülmüştür. Ayrıca bahsedilen şekillerde de görüldüğü üzere sıcak su kütleleri ile soğuk su kütlelerinin çarpışması yönlendirici sayesinde büyük oranda engellenebilmiştir.



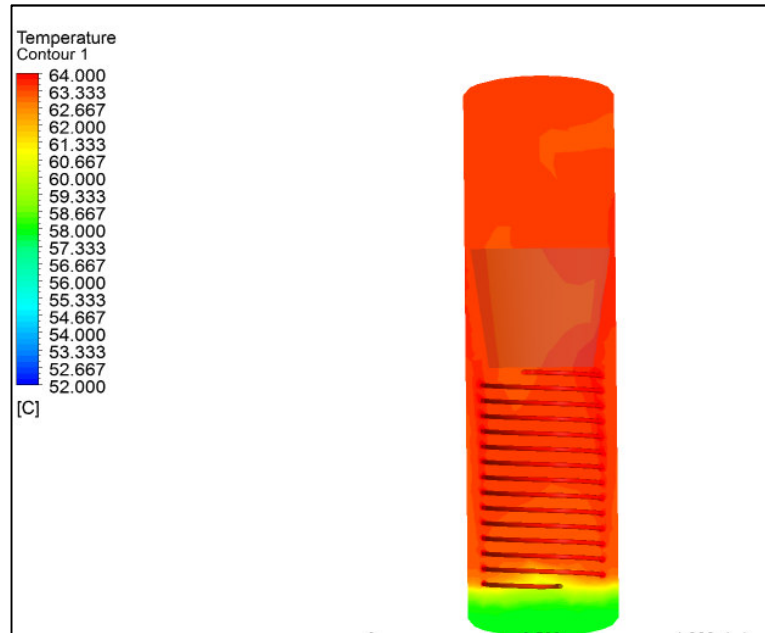
Şekil 6.115: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $h/H = 0,21186$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



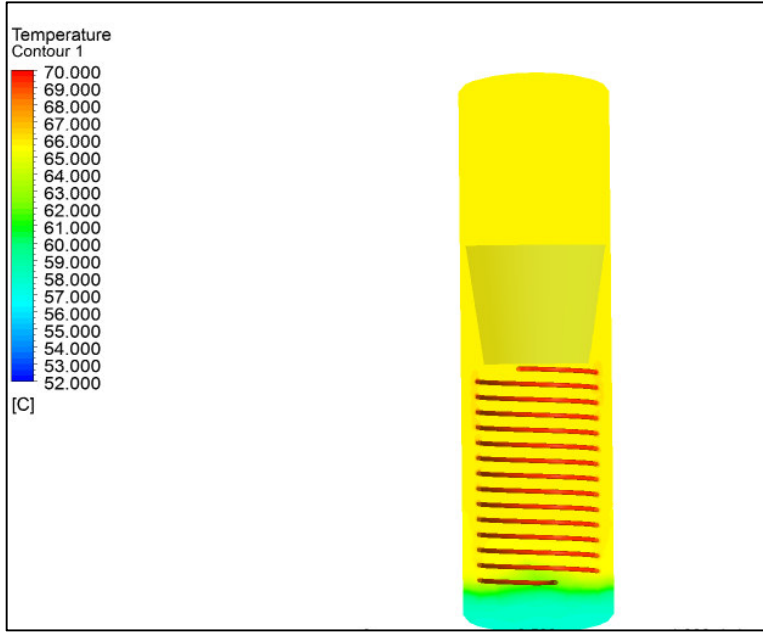
Şekil 6.116: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $h/H = 0,21186$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



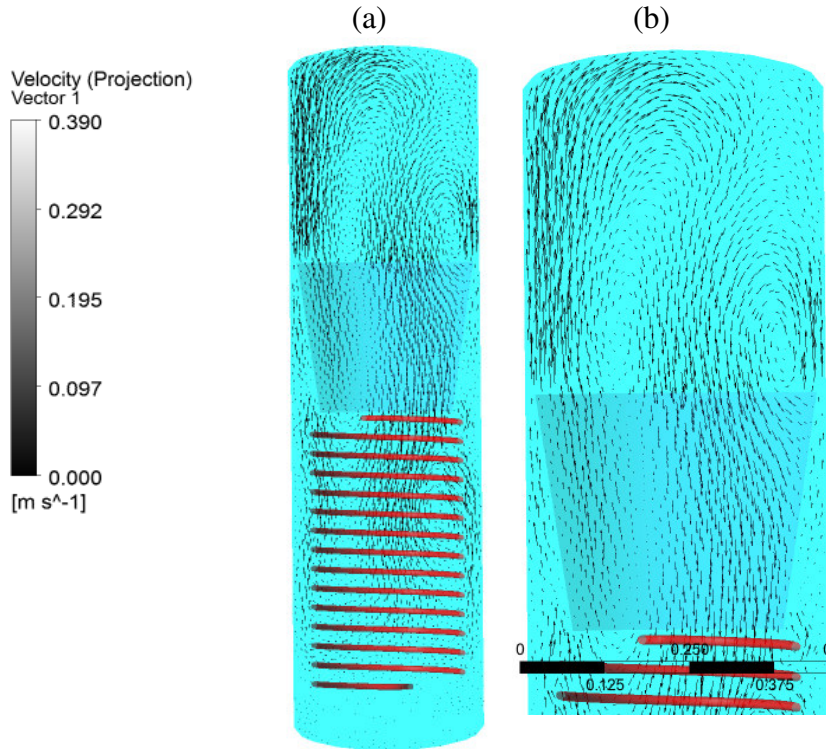
Şekil 6.117: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $h/H = 0,21186$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



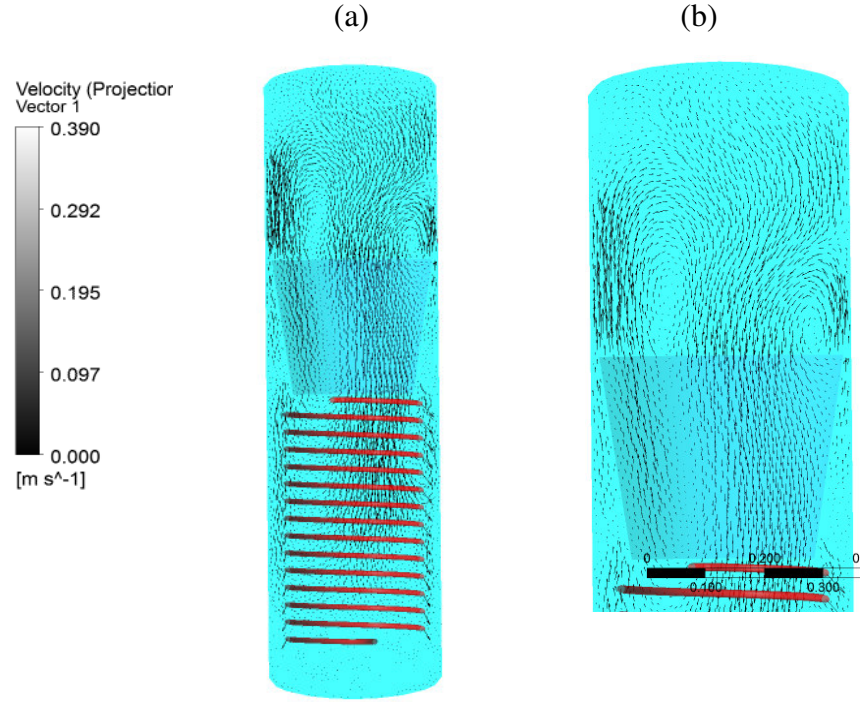
Şekil 6.118: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $h/H = 0,21186$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



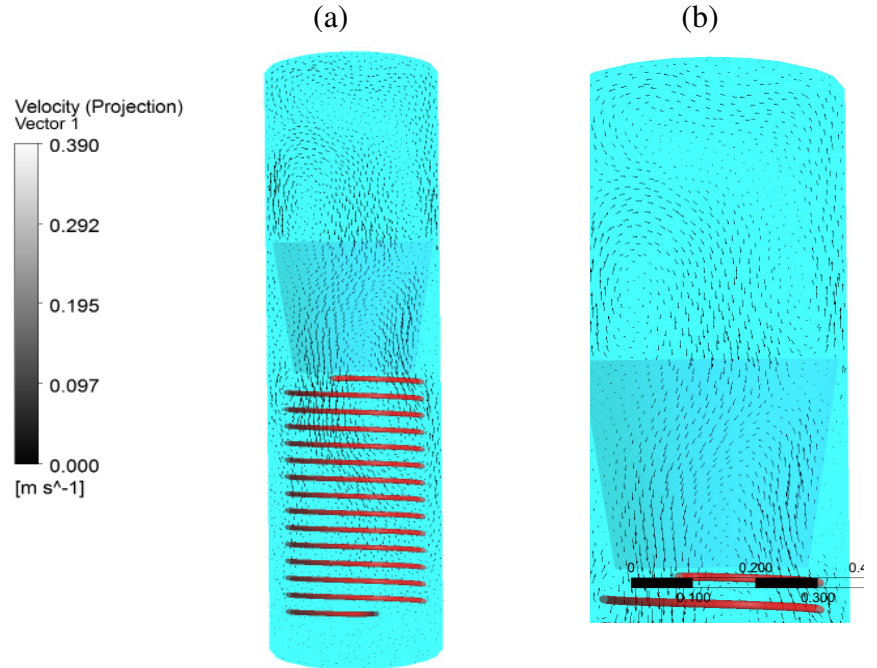
Şekil 6.119: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $h/H = 0,21186$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



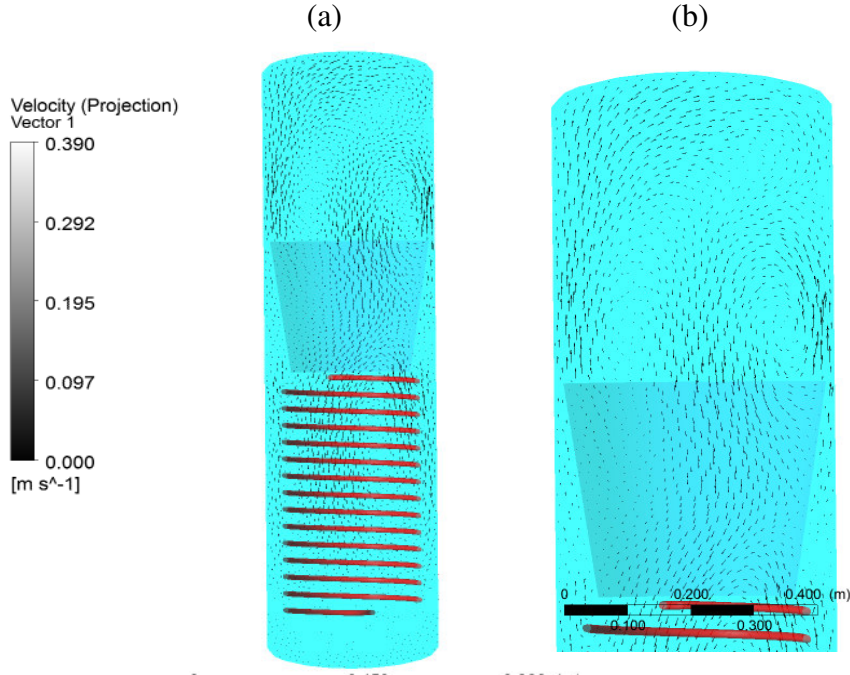
Şekil 6.120: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H = 0,21186$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)



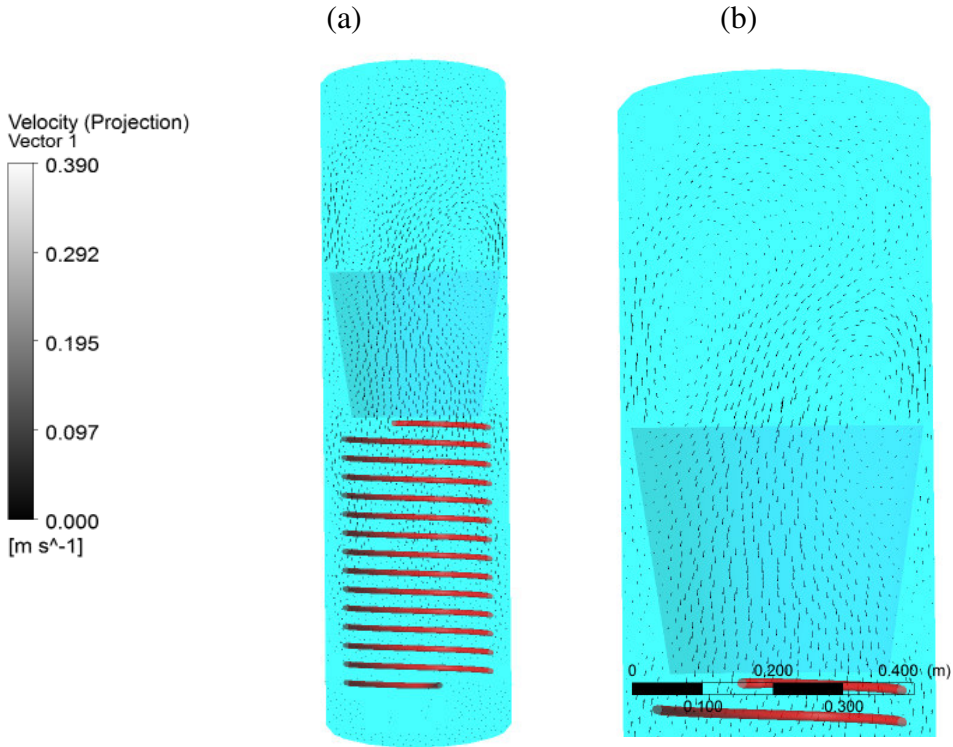
Şekil 6.121: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,21186$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)



Şekil 6.122: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,21186$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)

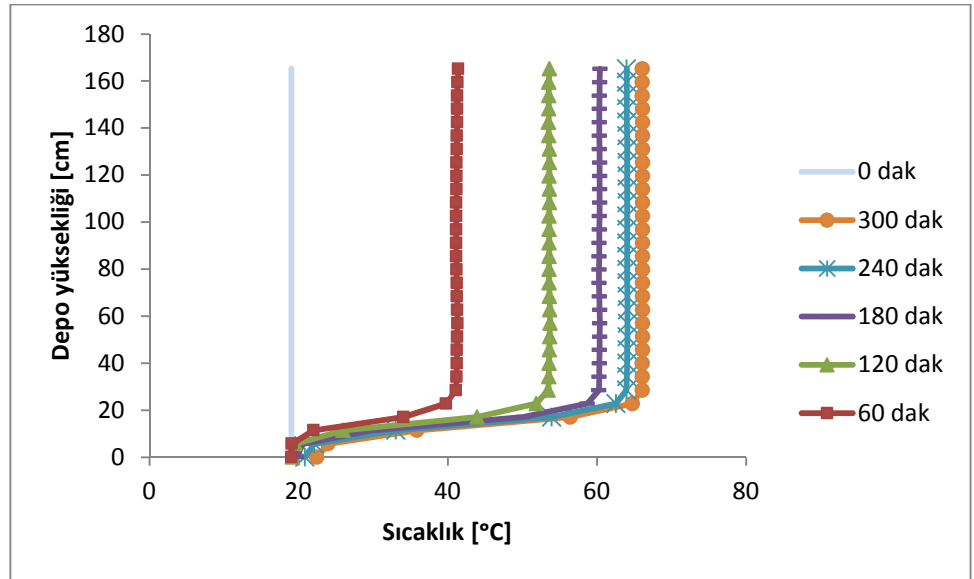


Şekil 6.123: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,21186$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)



Şekil 6.124: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika) a) Tam depo b) Deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($h/H=0,21186$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)

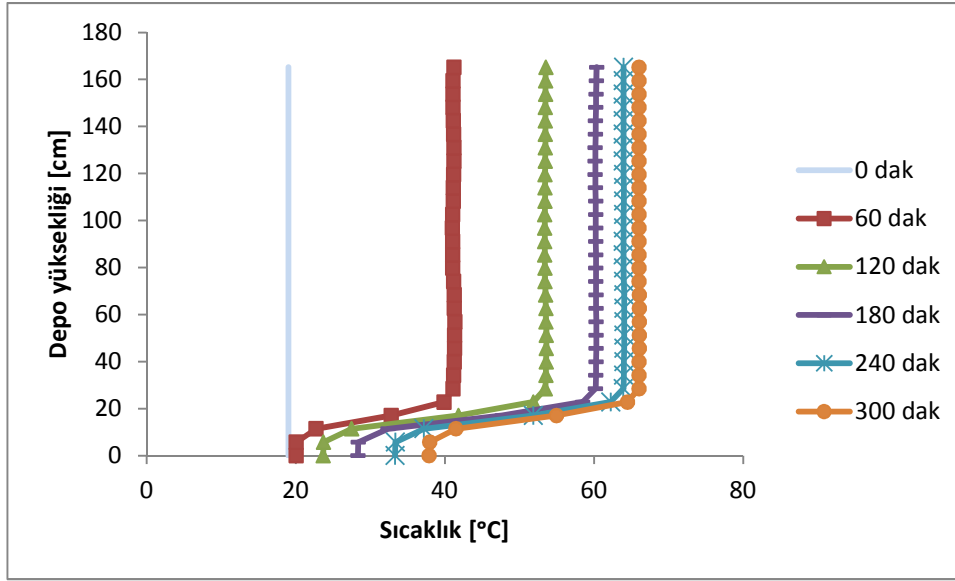
$h/H = 0,15133$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.125'te görülmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 19,81 °C artarak 38,81 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,19 °C daha artarak 50 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,22 °C artarak 56,23 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,53 °C daha artarak 59,77 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,09 °C daha artarak 61,86 °C'ye varmıştır.



Şekil 6.125: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,15133$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$)

$h/H = 0,0907$; $d_1/D = 0,9545$; $d_2/D = 0,7159$ ve $x/H = 0,478$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.126'de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj

işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 19,83 °C artarak 38,83 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,35 °C daha artarak 50,18 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,52 °C artarak 56,71 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,86 °C daha artarak 60,57 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,34 °C daha artarak 62,92 °C'ye varmıştır.

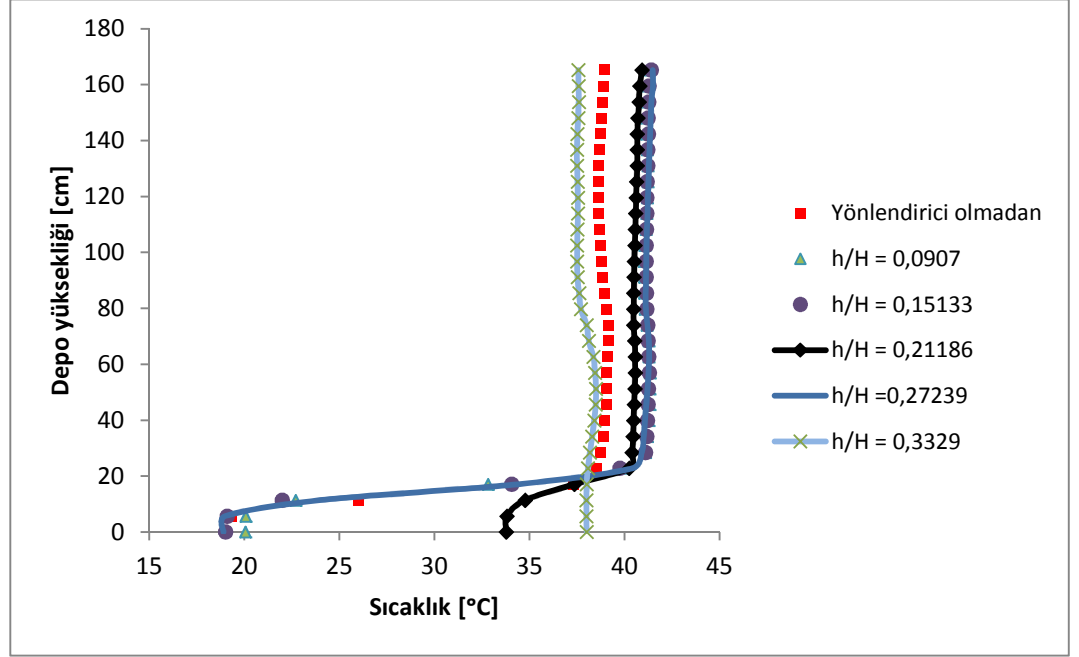


Şekil 6.126: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H=0,0907$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$)

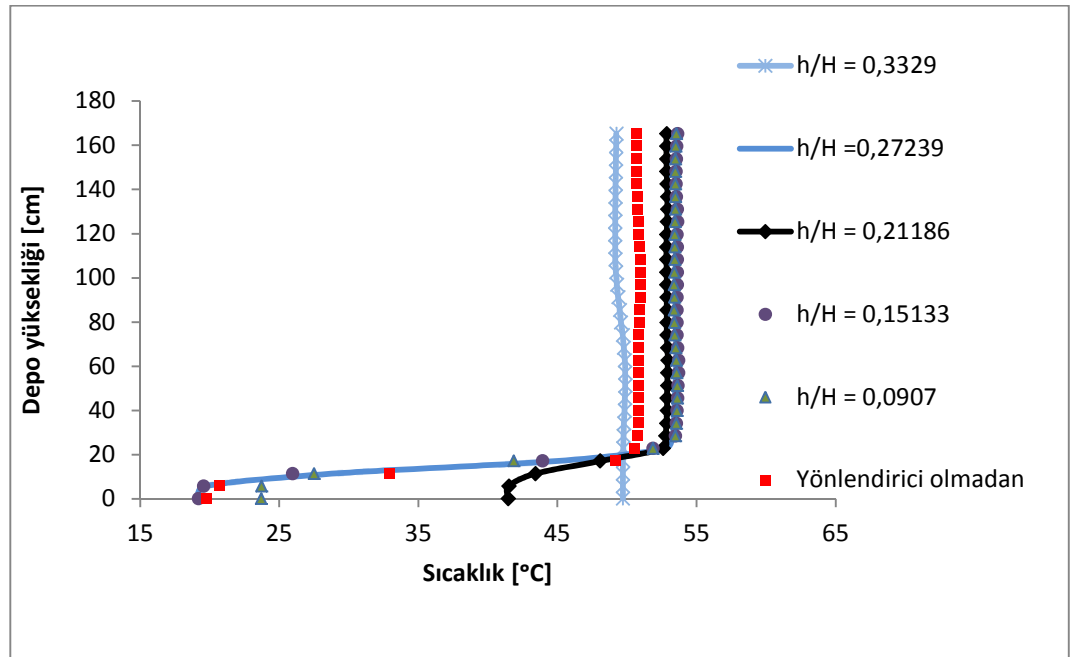
6.7.2 Yönlendirici Koni Tip levha Olduğu Durumda Yapılan Sayısal Çalışmaların Karşılaştırılması

Depo içerisinde yönlendirici koni tip levha olduğu durumda yapılan sayısal çalışmalarda, koninin boyutlarının değişiminin depo içerisindeki sıcaklık tabakalaşmasına olan etkisi incelenmiştir. Sayısal çalışmalarda yönlendiriciye ait boyutsuz $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,7159$ ve $x/H=0,478$ parametreleri sabit tutulmuş, h/H parametresi ise 0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907 oranlarında değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda Şekil 6.127 ile Şekil 6.131'de en iyi sıcaklık tabakalaşmasını ve depo içerisinde bulunan suda en yüksek sıcaklığa h/H oranı 0,21186 olarak belirlenmiştir. Bu orana sahip yönlendiricinin kullanılması depo içerisinde iyi bir sıcaklık

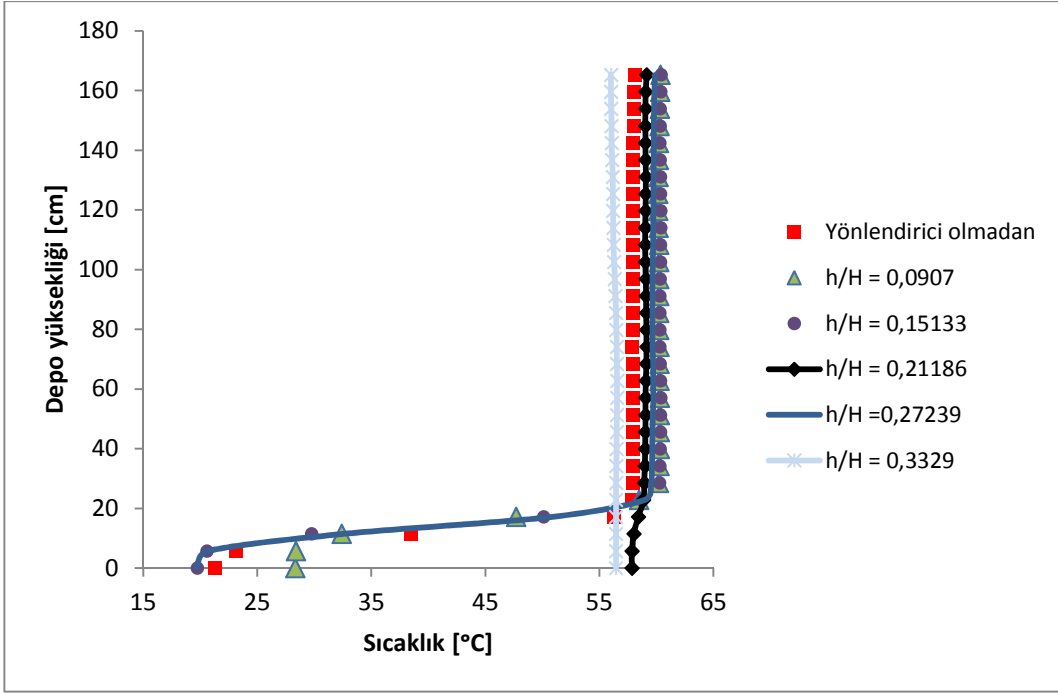
tabakalaşmasının elde edilmesini sağlamasının yanı sıra, deponun taban kısmında bulunan suyun sıcaklığının da artmasını sağlamaktadır. Bundan sonra yapılan sayısal çalışmalarda ise h/H parametresi sabit tutularak diğer parametreler incelenip en iyi sıcaklık tabakalaşmasını veren değerleri bulunmaya çalışılmıştır.



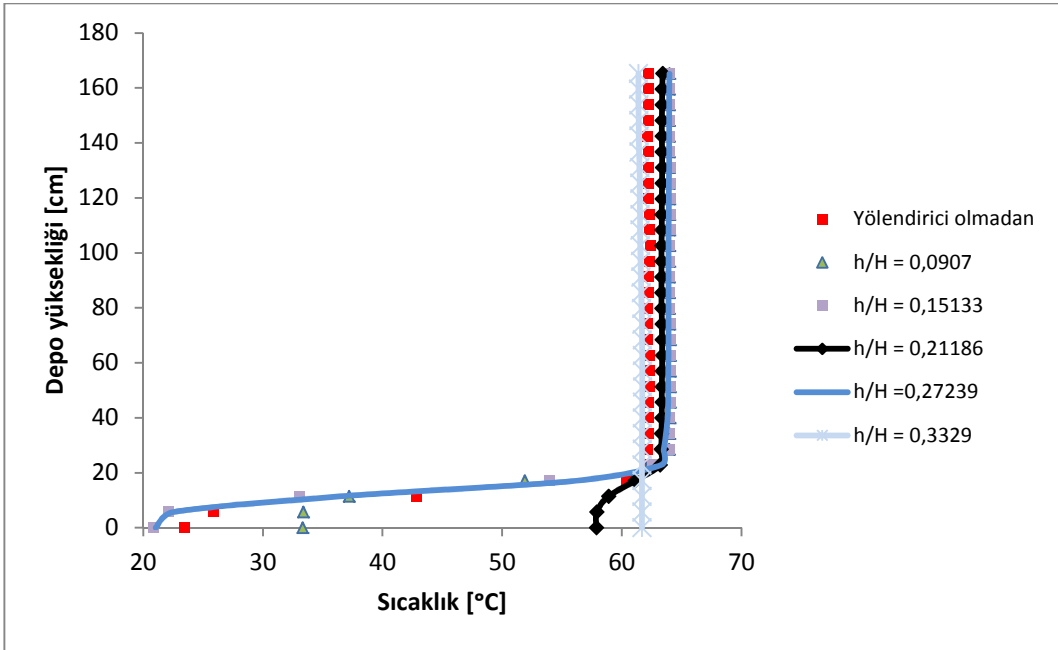
Şekil 6.127: Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 60 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$)



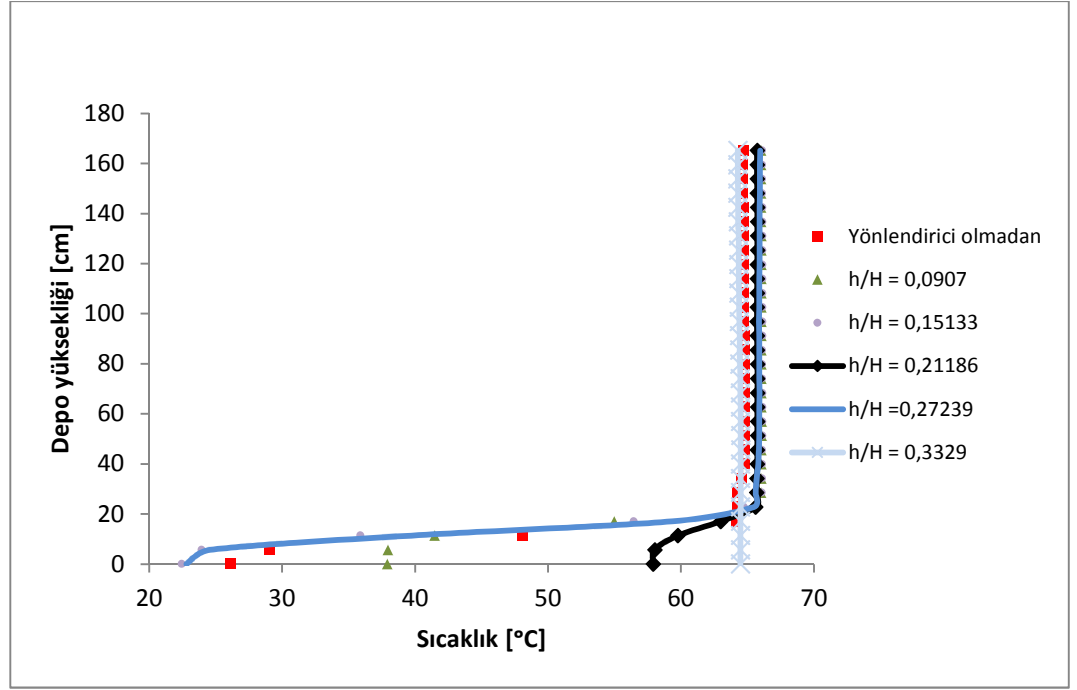
Şekil 6.128: Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 120 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$)



Şekil 6.129: Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 180 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$)



Şekil 6.130: Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 240 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$)



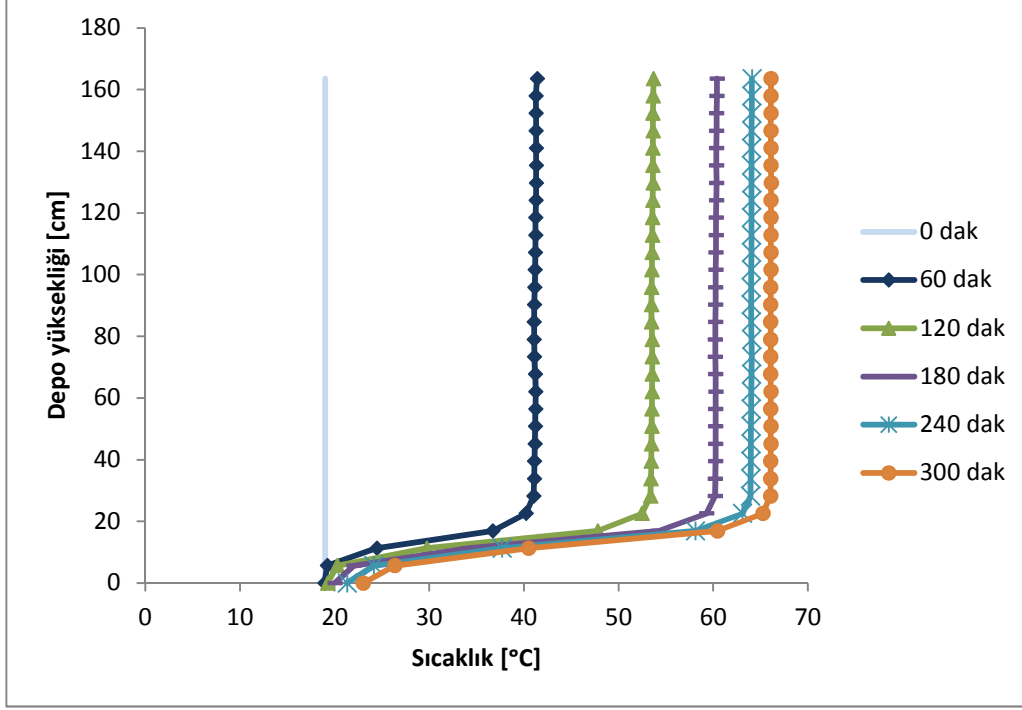
Şekil 6.131: Yönlendirici olduğu ve olmadığı durumlarda depo eksenindeki 300 dakikalık şarj süresince elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($h/H = 0,3329; 0,27239; 0,21186; 0,15133; 0,0907$)

6.7.3 Yönlendiriciye Ait d_1/D ve d_2/D Boyutsuz Parametrelerin İncelenmesi

Bu bölümde yapılan çalışmada d_1/D ve d_2/D boyutsuz parametrelerin değişiminin depo içerisindeki sıcaklık tabakalaşması üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu parametrelerden en uygun oranlar tespit edilmeye çalışılırken, daha önceki çalışmada en iyi sıcaklık tabakalaşmasını veren h/H oranı sabit tutulmuştur.

$d_2/D=0,6136$; $d_1/D=0,9545$; $h/H =0,21186$ ve $x/H=0,478$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.132’de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılabileceği üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C’dir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 19,98 °C artarak 38,98 °C’ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,28 °C daha artarak 50,27 °C’ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 6,28 °C artarak 56,55 °C olmuştur. 240’ıncı dakikaya

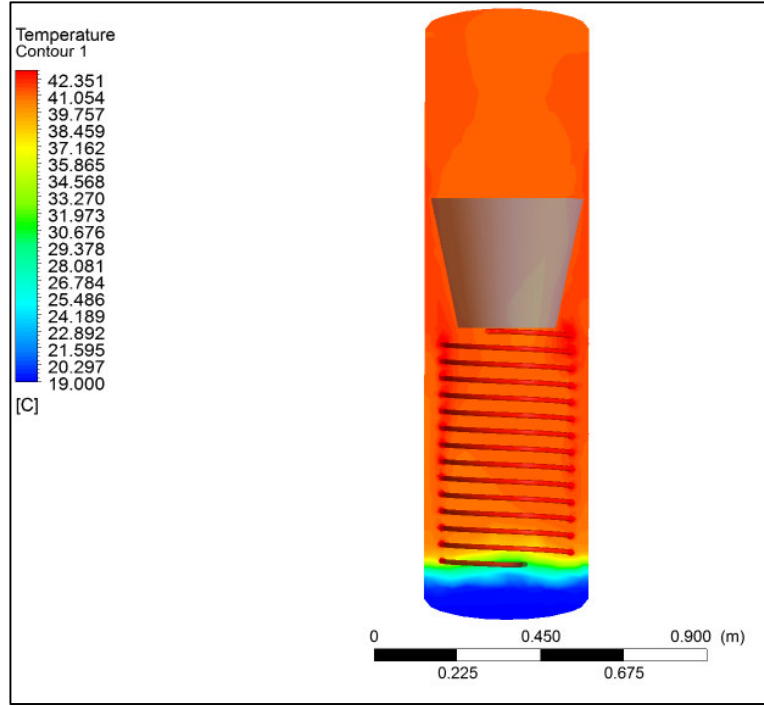
gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,60 °C daha artarak 60,16 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 2,08 °C daha artarak 62,25 °C'ye varmıştır.



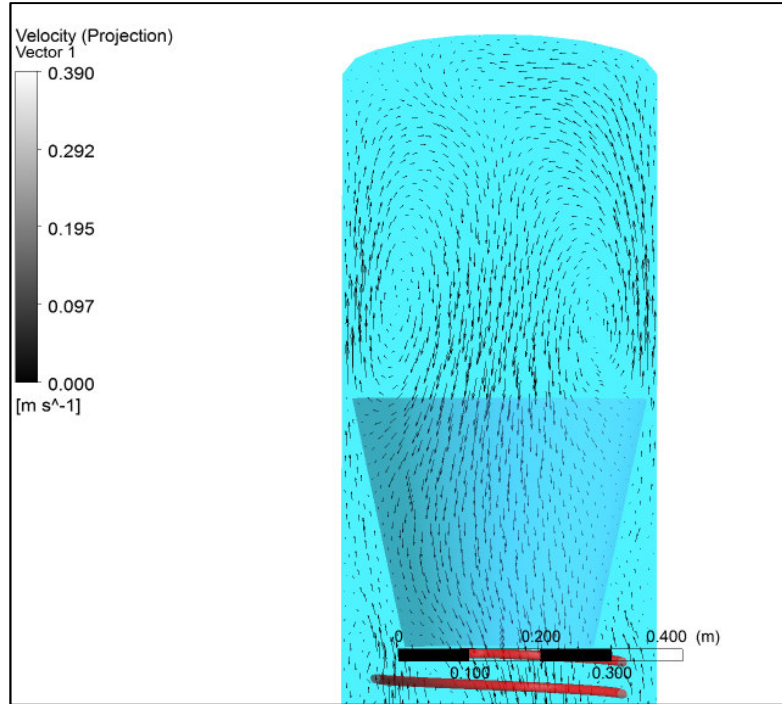
Şekil 6.132: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($d_2/D=0,6136$; $d_1/D=0,9545$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)

Şekil 6.133 ve Şekil 6.134 arasında görülen şekillerde 60' ıncı dakikadaki depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk 60 dakikalık şarj işleminin süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımında iyi bir şekilde sıcaklık tabaklaşması oluşmaya başlamıştır. Bunun sebebi ise şekil 6.133' de gösterilmiş olan hız vektörlerine bakarak anlaşılabilir.

Bu şekilden de görüldüğü üzere ısınan su kütleleri deponun üst kısmına doğru yönlendiricinin dış kısmından çıkarken, deponun üst kısmında bulunan soğuk su kütleleri ise yönlendirici içerisinden serpantin borulara doğru gitmektedir. Aşağıdaki şekillere bakıldığında d_1/D oranının büyük olması, yönlendirici çıkışında sıcak ve soğuk su kütleleri arasında çarpma olmasına neden olmaktadır. Sıcaklık tabakalaşmasının bozulmasına neden olan bu sorunun ortadan giderilmesi için d_1/D oranı daha küçük seçilerek sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

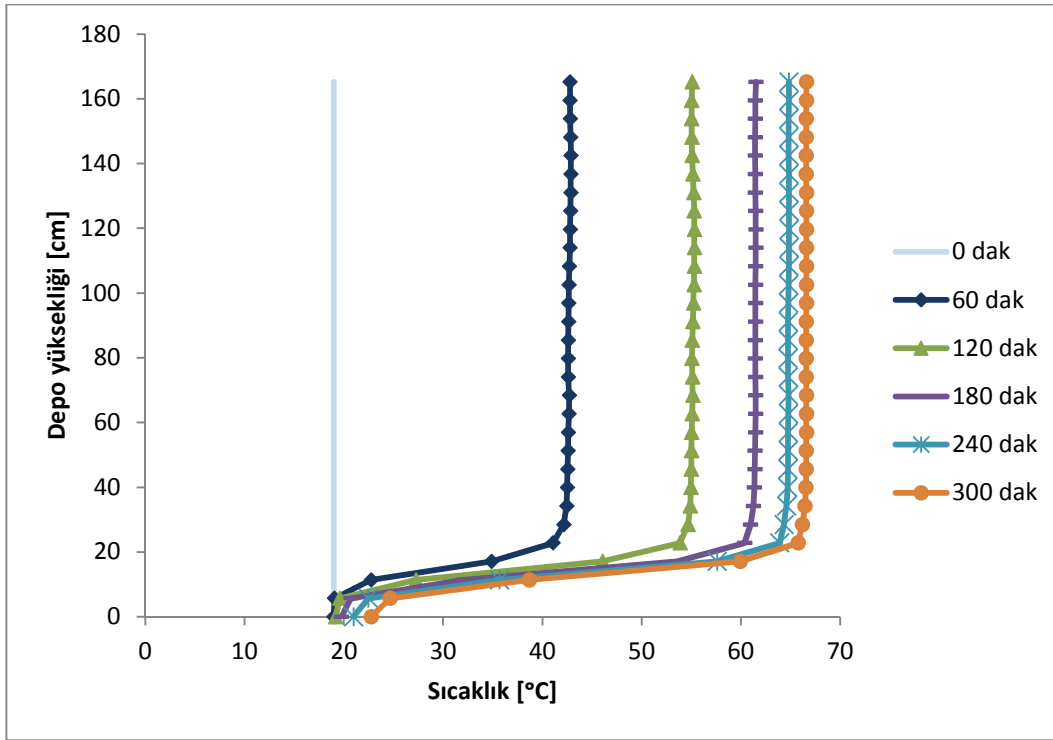


Şekil 6.133: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $d_2/D=0,6136$; $d_1/D=0,9545$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



Şekil 6.134: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($d_2/D=0,6136$; $d_1/D=0,9545$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)

$d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpentine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.135’de görülmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C’dir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 21,11 °C artarak 40,12 °C’ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 11,33 °C daha artarak 51,46 °C’ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 8,94 °C artarak 60,40 °C olmuştur. 240’ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 2,86 °C daha artarak 63,26 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,86 °C daha artarak 65,14 °C’ye varmıştır.

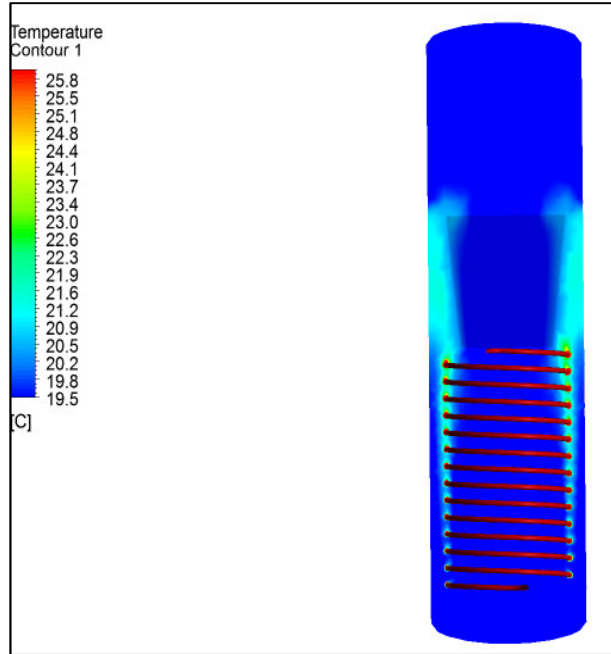


Şekil 6.135: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)

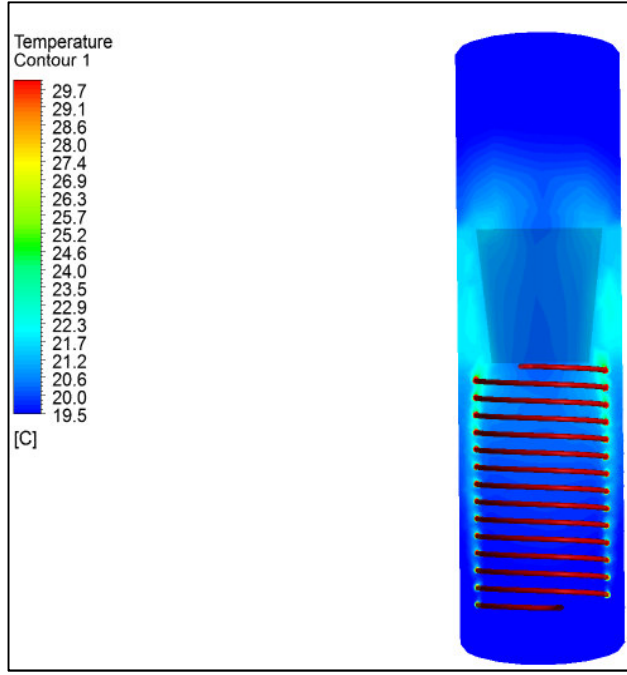
Şekil 6.136 ile Şekil 6.146 arasında görülen şekillerde şarj işlemi başladığı andan depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere şarj işlemini süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımına bakıldığında

sıcaklık tabakalaşmasında iyileşme olmaya başladığı görülmektedir. Bu süre içerisinde ısınan su kütlelerinin yönlendiricinin dış yüzeyinden deponun üst kısmına doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu arada deponun üst kısmında bulunan yoğunluğu daha fazla olan soğuk su kütleleride yönlendiricinin iç kısmından deponun aşağısında bulunan serpantinlere doğru hareket etmektedir. Böylece iyi bir ısıl tabakalalaşma meydana gelmekte ve depo içerisindeki suyun daha kısa sürede şarj edilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca bahsedilen şekillerde de görüldüğü üzere sıcak su kütleleri ile soğuk su kütlelerinin çarpışması yönlendirici sayesinde büyük oranda engellenebilmiştir.

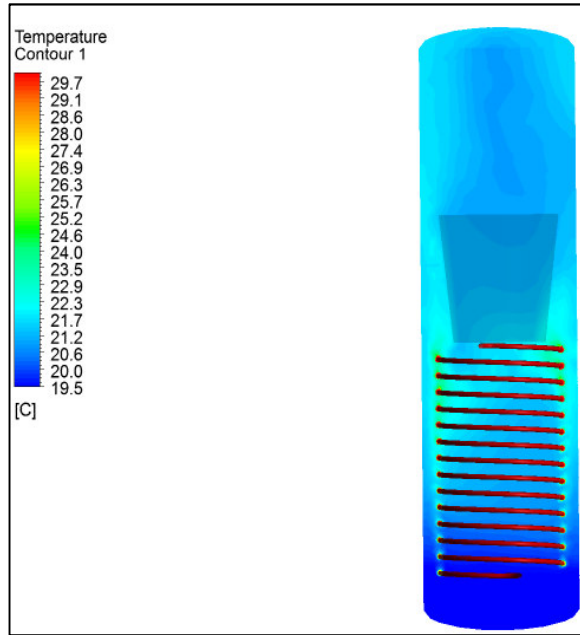
Şekil 6.147 ile şekil 6.153 arasında şarj işlemleri süresince depo içerisinde oluşan hız vektörleri gösterilmiştir. Hız vektörlerine bakıldığında da yönlendirici sayesinde serpantinler etrafında bulunan su kütlelerinin ısınmalarıyla beraber düşen yoğunlukları sayesinde yönlendiricinin dış kısmından yukarıya doğru çıktığı ve deponun üst kısmında bulunan su kütlelerinin de yönlendirici içerisinde depo aşağısında bulunan serpantinlere doğru gittiği görülmektedir.



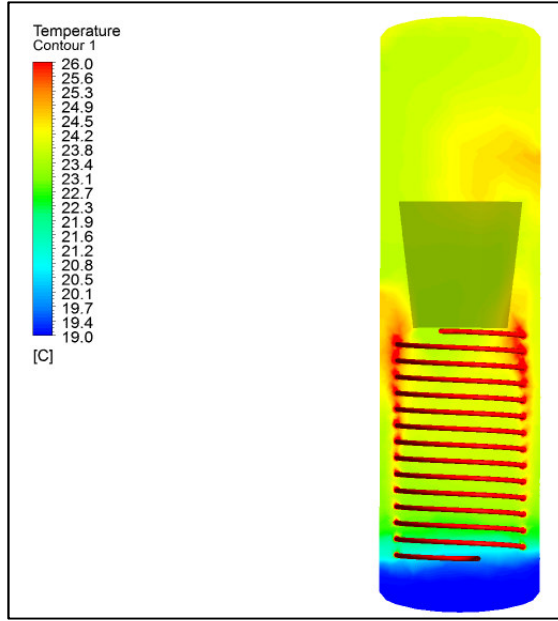
Şekil 6.136: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (1,5 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



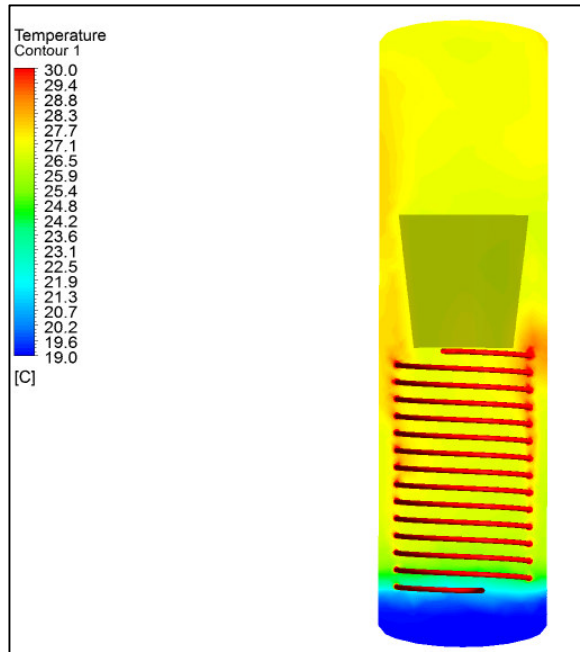
Şekil 6.137: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (3,5 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



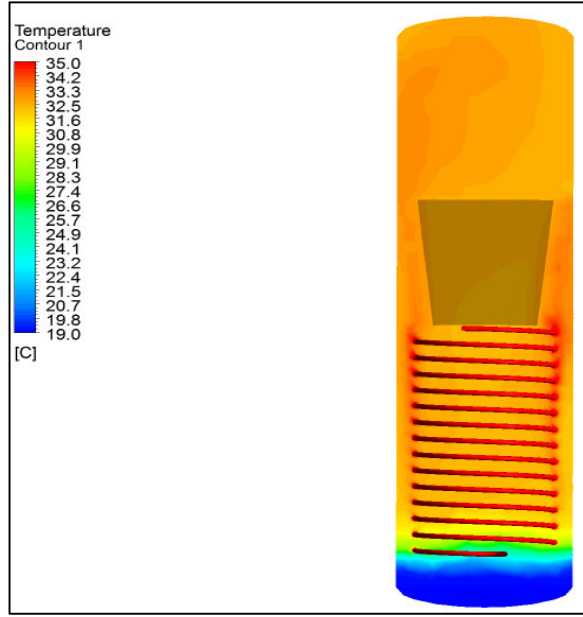
Şekil 6.138: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (5 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



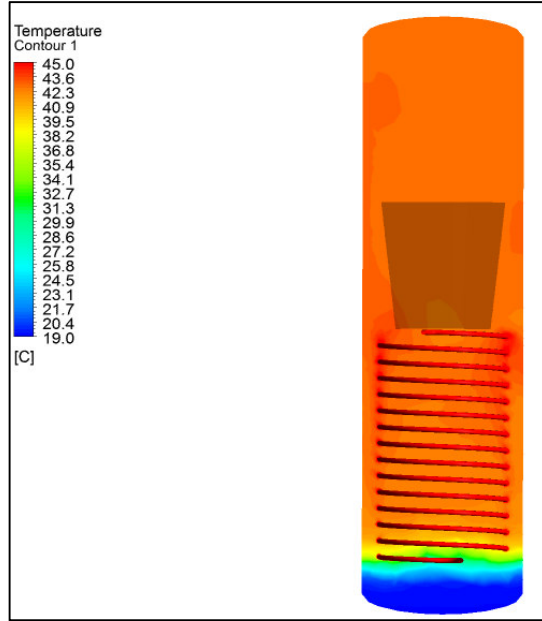
Şekil 6.139: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (10dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



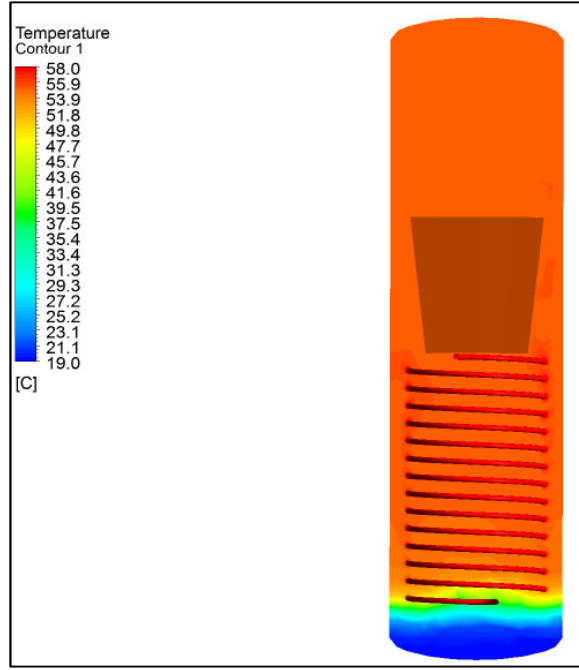
Şekil 6.140: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (15dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



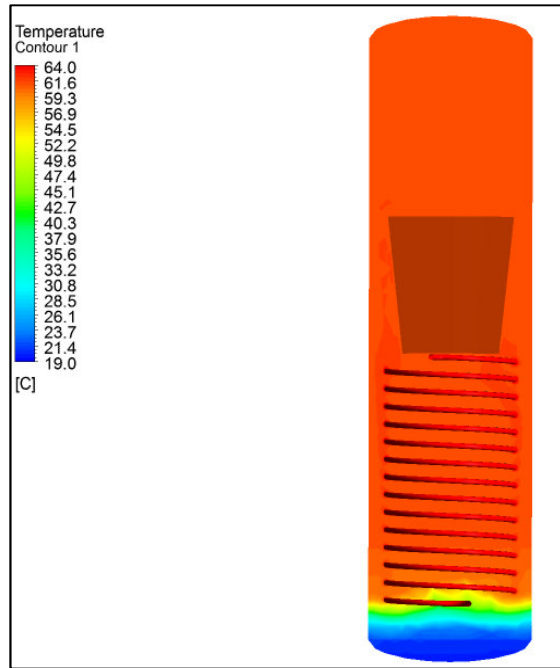
Şekil 6.141: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (30 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



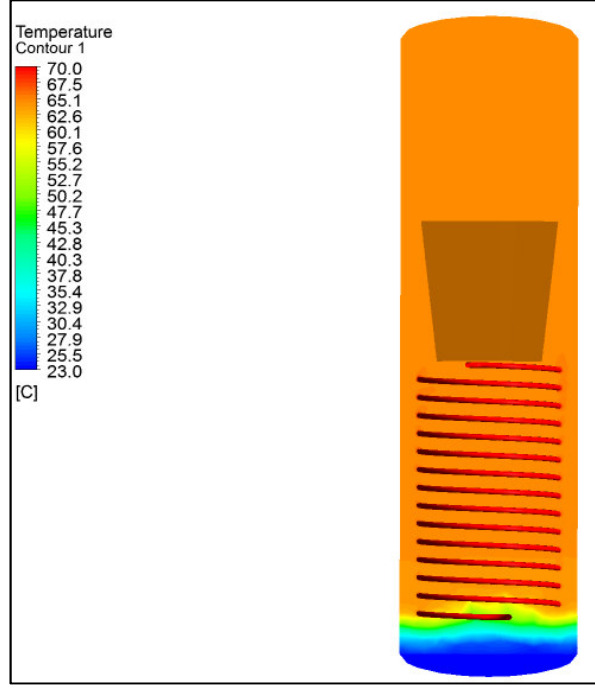
Şekil 6.142: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



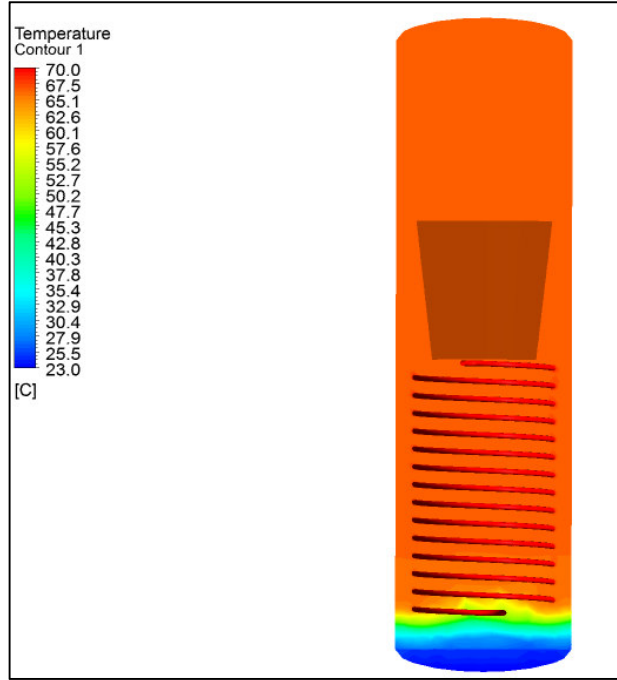
Şekil 6.143: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (120 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



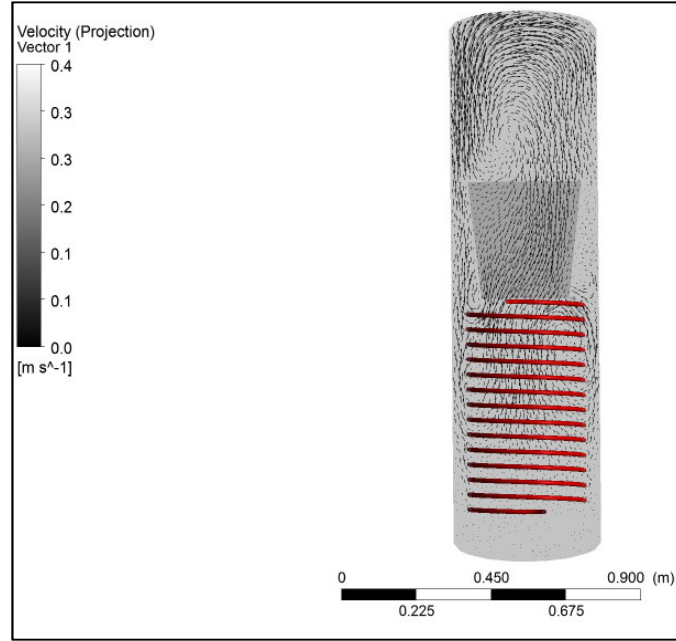
Şekil 6.144: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (180 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



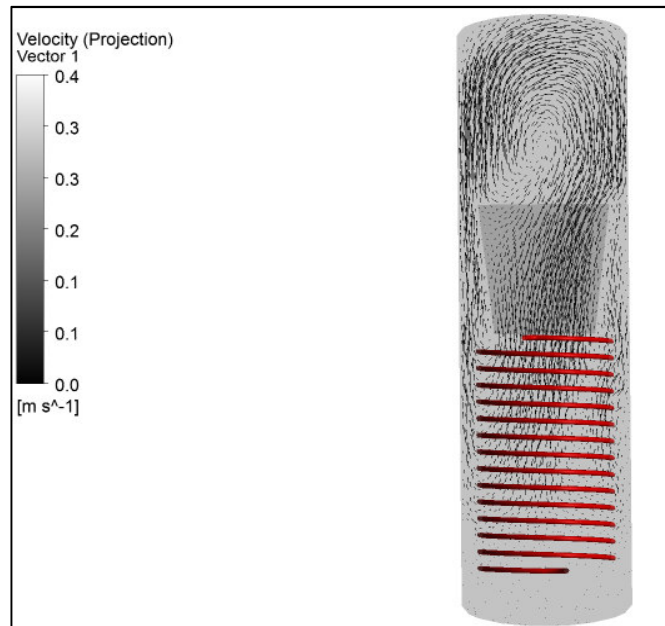
Şekil 6.145: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (240 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



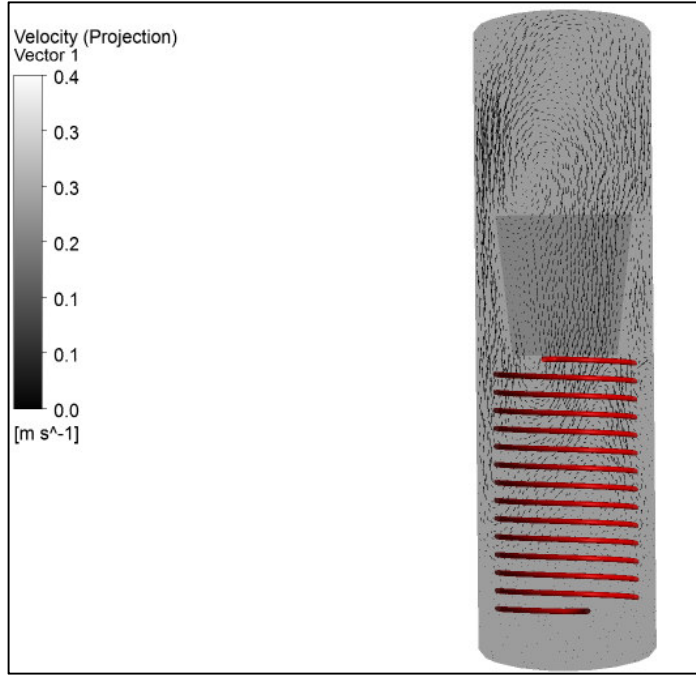
Şekil 6.146: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (300 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



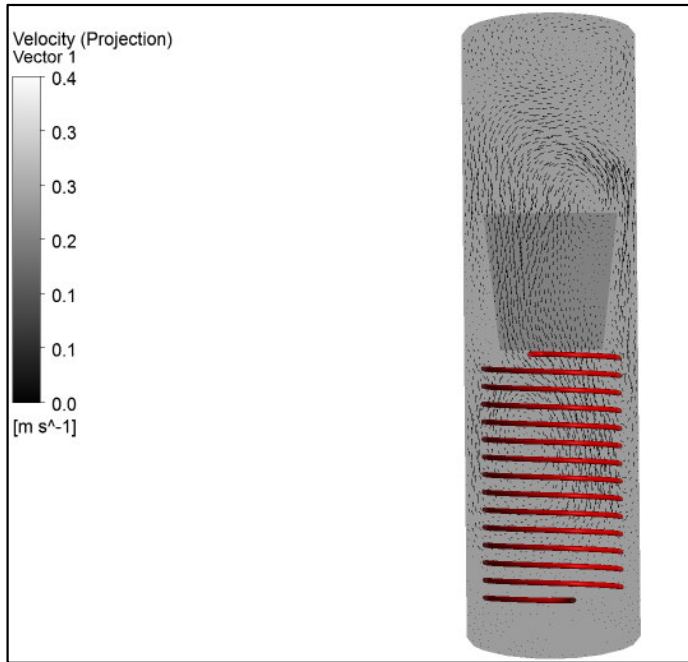
Şekil 6.147: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (3,5 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



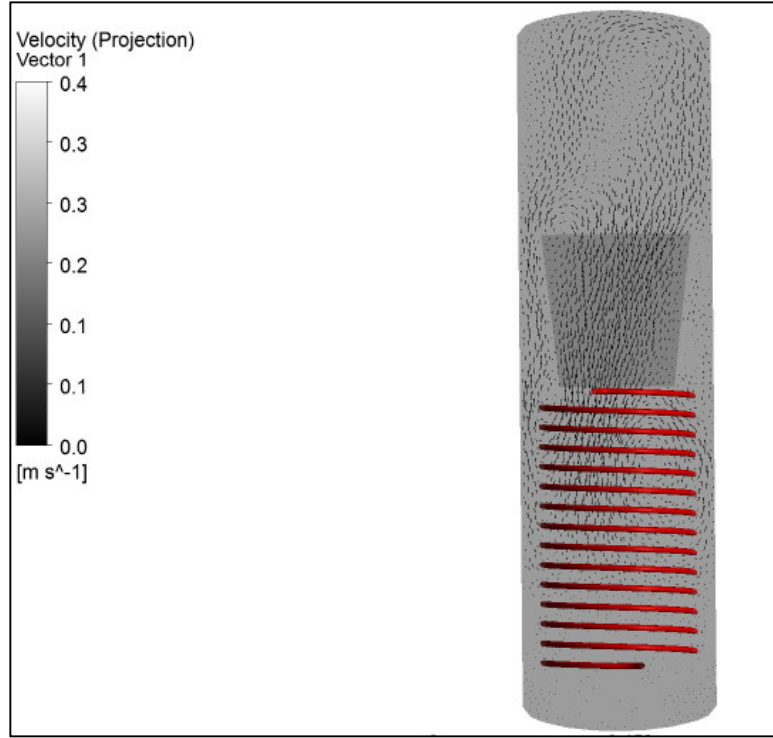
Şekil 6.148: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (30 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



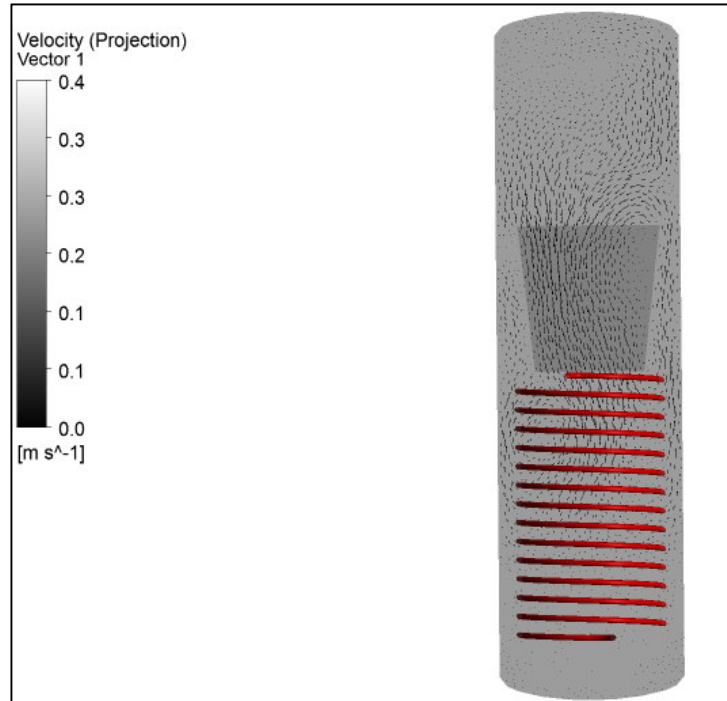
Şekil 6.149: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



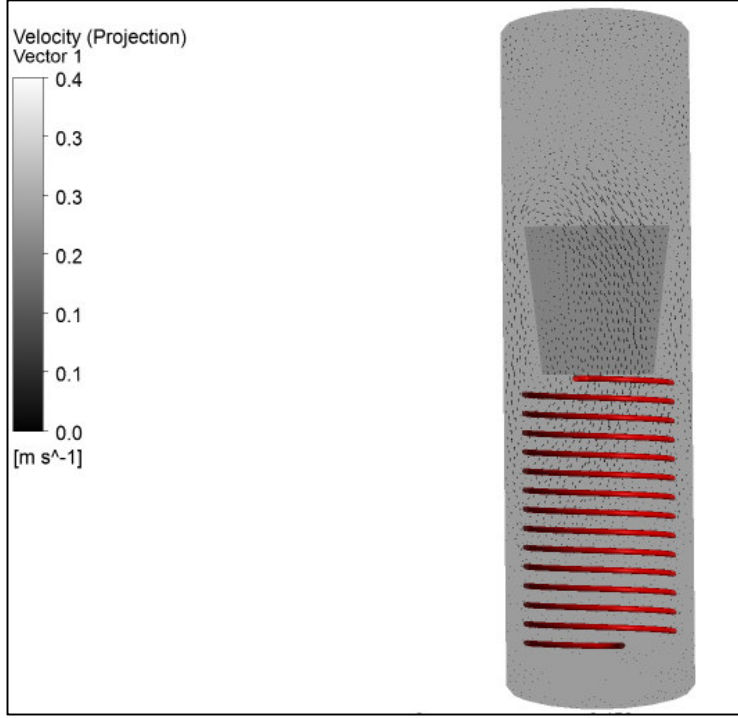
Şekil 6.150: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (120 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



Şekil 6.151: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (180 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



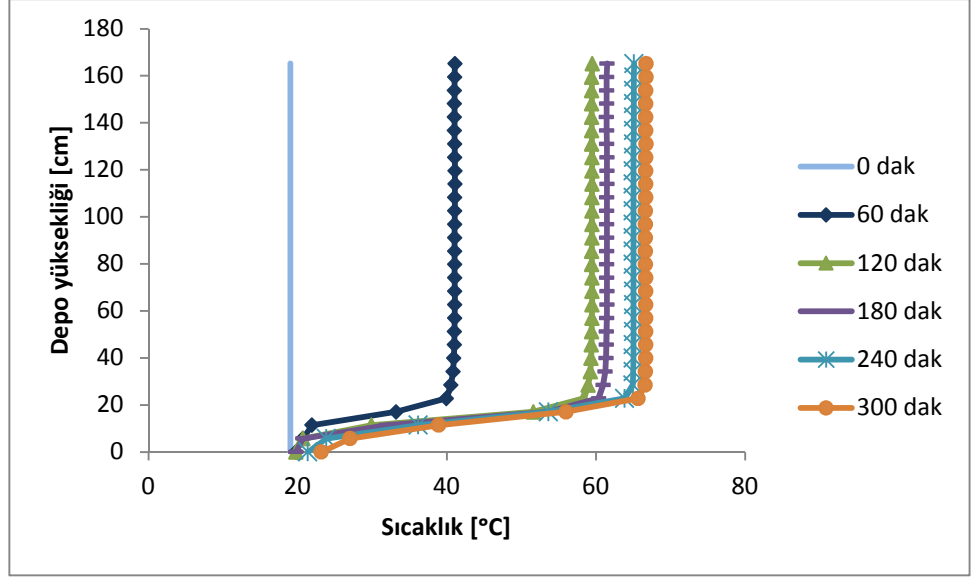
Şekil 6.152: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (240 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)



Şekil 6.153: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (300 dakika, $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,478$)

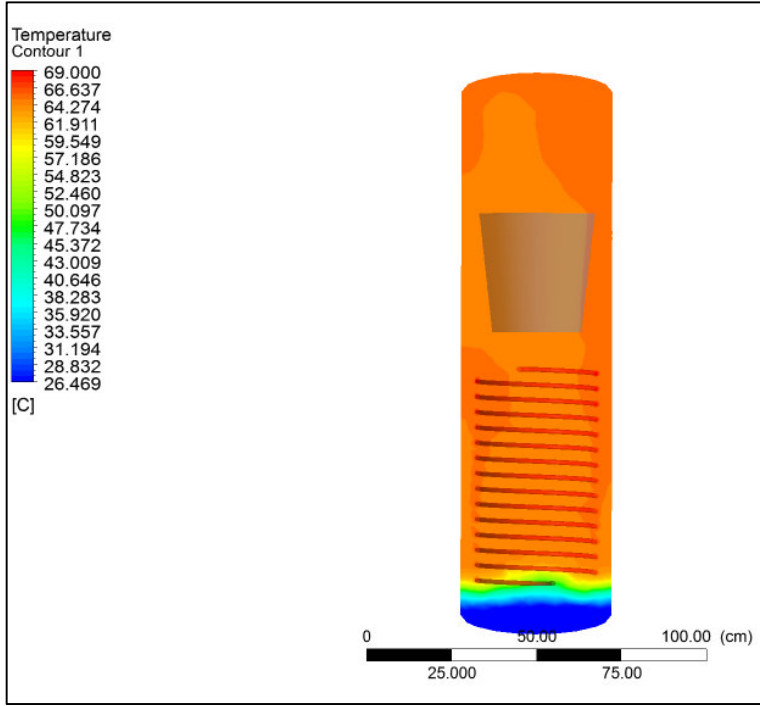
6.7.4 Yönlendiriciye Ait x/H Boyutsuz Parametrenin İncelenmesi

$x/H=0,539$; $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; ve $h/H=0,21186$ oranındaki parametrelere sahip yönlendirici koni ile 300 dakikalık şarj işlemi için zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, serpentine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 70 °C olarak alınmıştır. Fluent paket programı ile yapılan çözüm ve elde edilen veriler Şekil 6.154'te görülmektedir. Bu şekilden anlaşılağı üzere deponun başlangıçta içindeki su sıcaklığı 19 °C'dedir. Şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamış ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 19,69 °C artarak 38,69 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 16,82 °C daha artarak 55,52 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 1,86 °C artarak 57,39 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,42 °C daha artarak 60,81 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 0,74 °C daha artarak 61,56 °C'ye varmıştır.

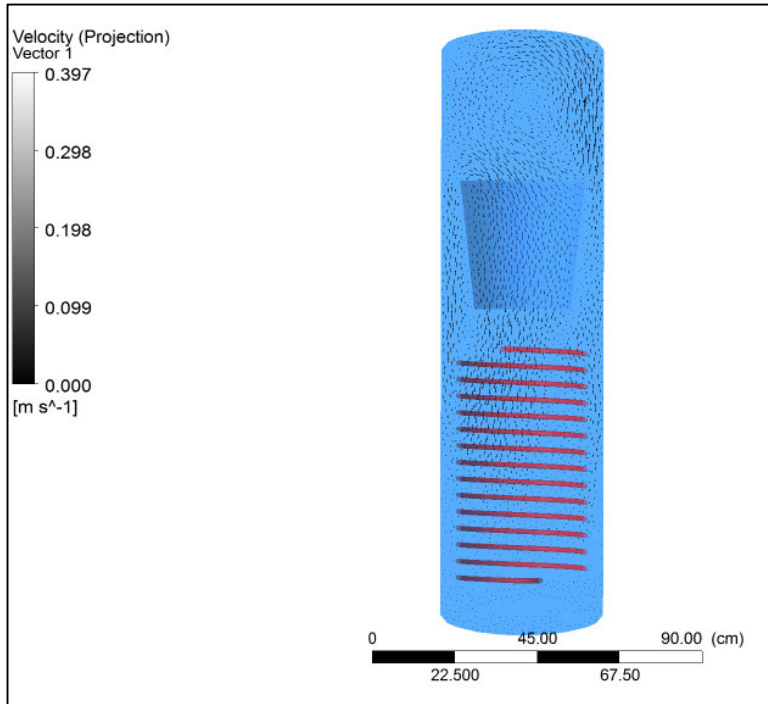


Şekil 6.154: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$)

Şekil 6.155 ve Şekil 6.156 arasında görülen şekillerde 60' ıncı dakikadaki depo içerisindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk 60 dakikalık şarj işleminin süresi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklık dağılımı bozulmaya başlamıştır. Deponun üst kısmında bulunan soğuk su kütlelerinin bir kısmı yönlendiricin dış kısmı ile deponun iç cidarı arasında kalan bölgeden serpantinlerin olduğu bölgeye doğru inerken sıcak su kütleleri ile karşılaşmaktadır. Bu istenilmeyen durum neticesinde sıcaklık tabaklaşması bozulmaya başlamıştır. Bahsedilen bu durum şekil 6.137' de gösterilmiş olan hız vektörlerine bakarak da anlaşılabilir.



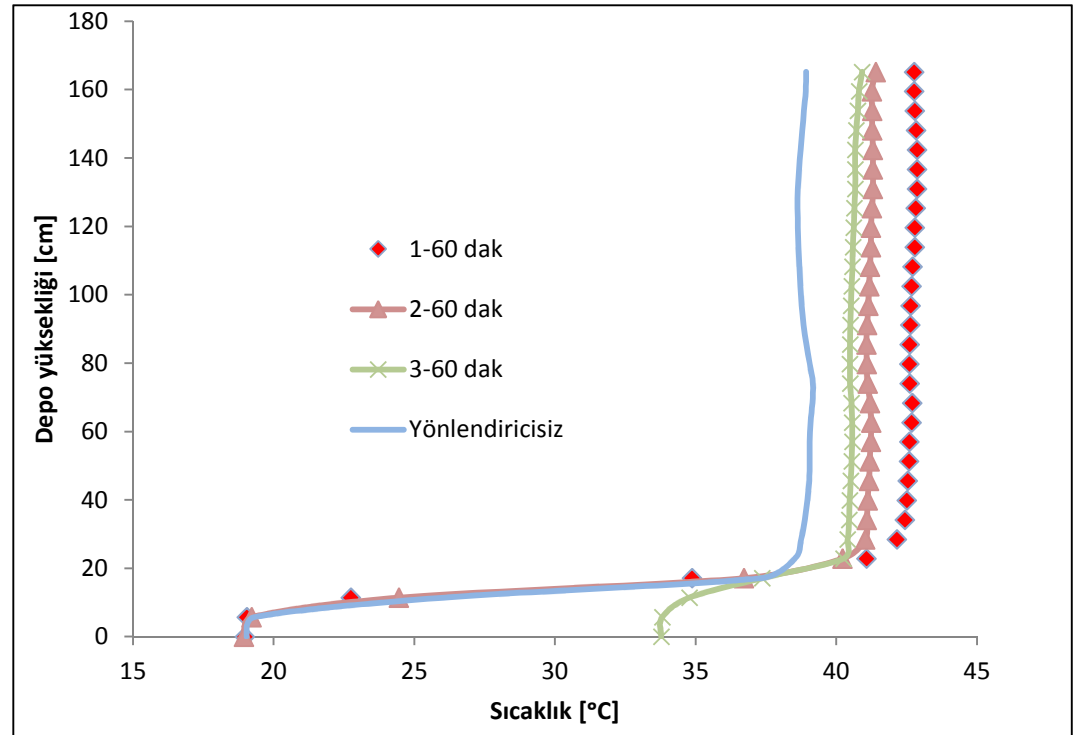
Şekil 6.155: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki sıcaklık dağılımı (60 dakika- $x/H=0,539$)



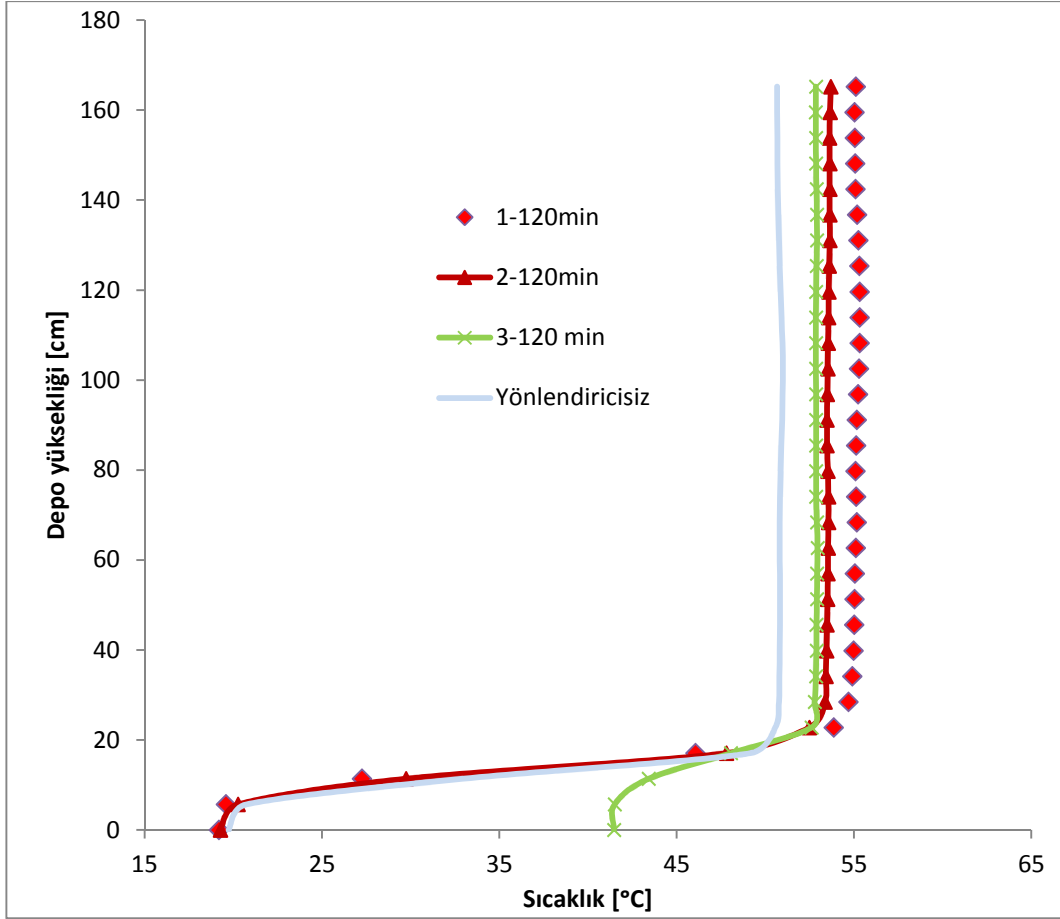
Şekil 6.156: Giriş kesitine dik orta eksen düzlemindeki hız vektörleri (60 dakika) deponun serpantin üstünde kalan kısmı ($x/H=0,539$)

6.7.5 Yönlendiriciye Ait Farklı d_1/D ve d_2/D Boyutsuz Parametrelerin Karşılaştırılması

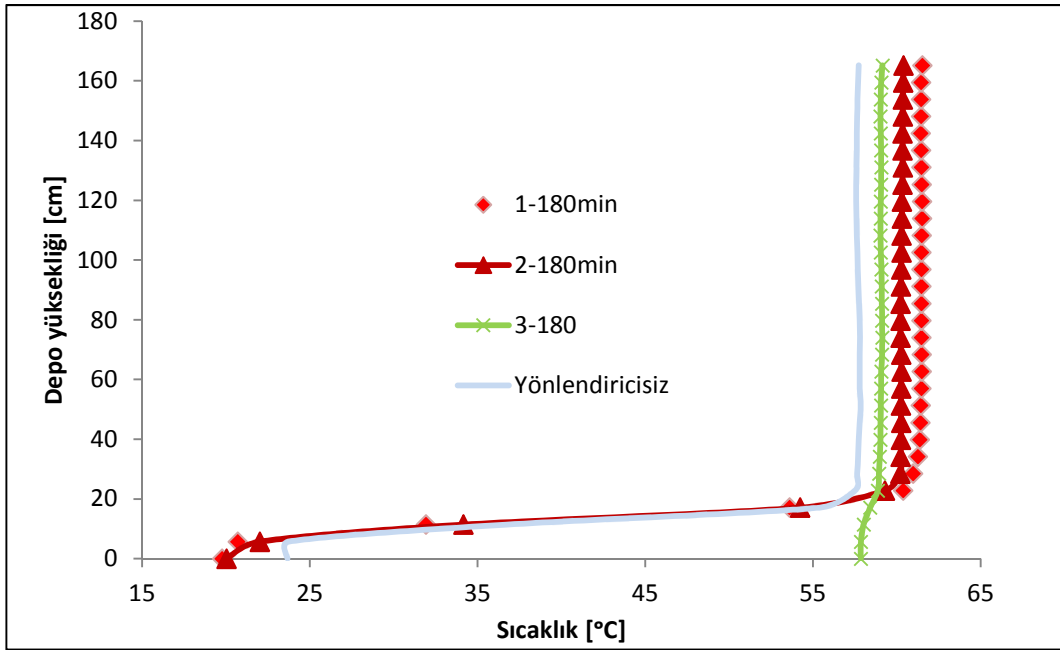
Elde edilen sayısal verilerden en iyi h/H değeri 0,21186 olarak bulunmuştur. Bu değer sabit tutulup yönlendiricinin alt ve üst çapı değiştirilerek en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan d_1/D ve d_2/D değerleri belirlenmiştir. Çizelge 6.5 ten de görüleceği üzere en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan değerler $h/H=0,21199$; $d_1/D=0,795$; $d_2/D=0,613$ ve $x/H=0,21186$ ' dır. Bu durum Şekil 6.157 ile Şekil 6.161 arasında şekillerde de görülmektedir. Şekillerde verilen 1, 2 ve 3 numaralı çizgiler ile gösterilen yönlendiriciye ait parametreler sırasıyla $x/H=0,487$; $d_1/D=0,7945$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$, $x/H=0,487$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,6136$; $h/H=0,21186$ ve $x/H=0,487$; $d_1/D=0,9545$; $d_2/D=0,715$; $h/H=0,21186$ ' dir. Şekillerden de görüldüğü üzere en iyi sıcaklık tabakalaşmasının olduğu boyutsuz parametreler 1 numaralı çizgi ile gösterilmiştir.



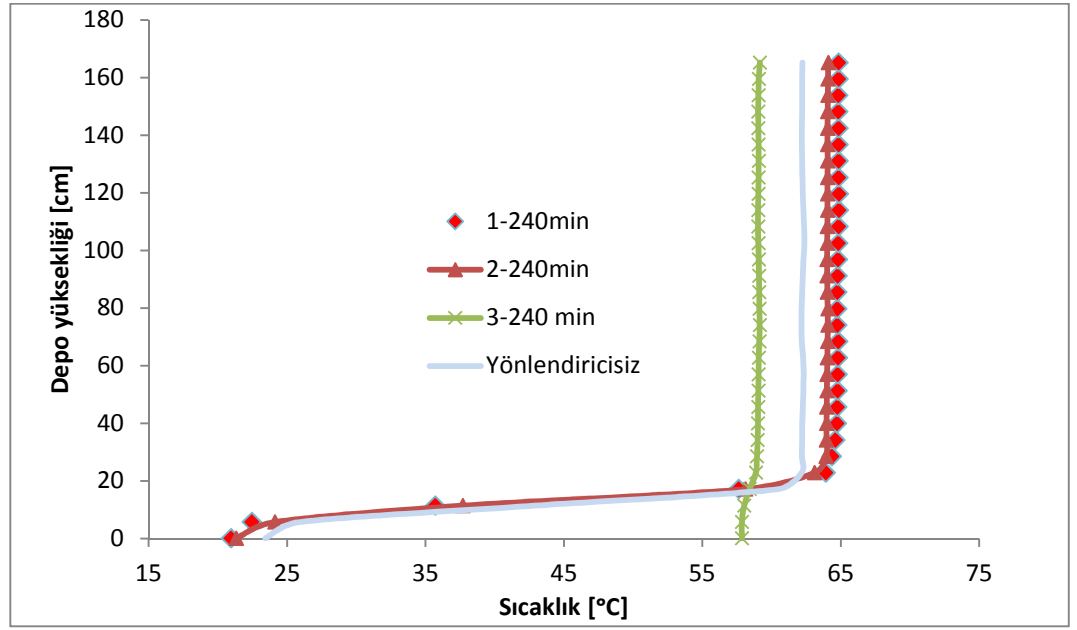
Şekil 6.157: Yönlendirici depo eksenindeki 60 dakikalık sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d_1/D=0,7955$ $d_2/D=0,6136$; 2- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,6136$; 3- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,7159$)



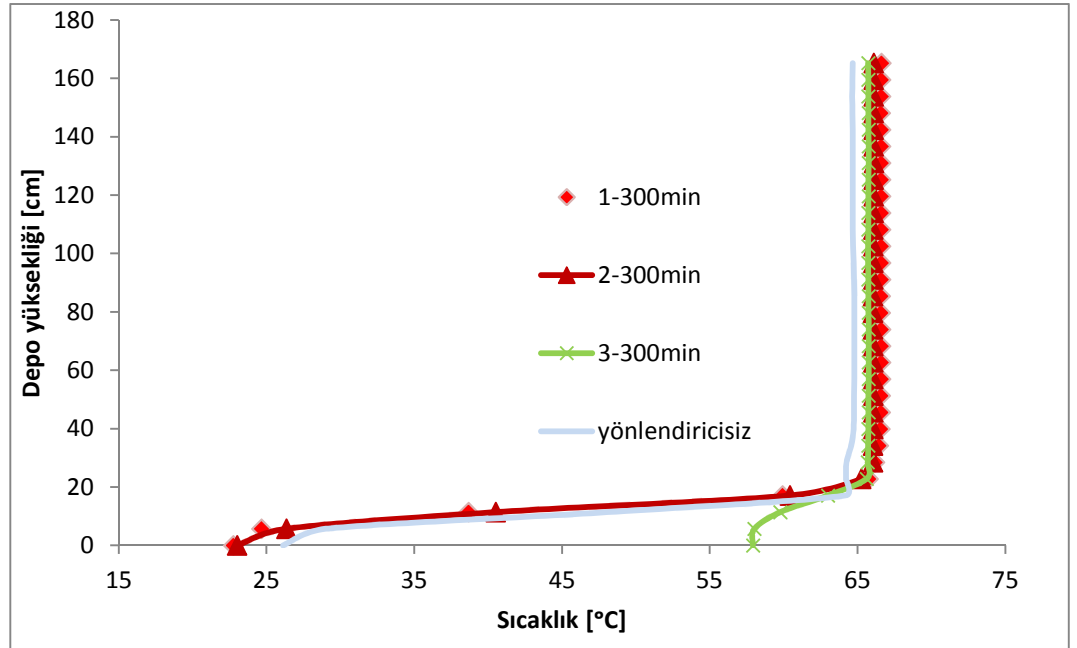
Şekil 6.158: Yönlendirici depo eksenindeki 120 dakikelik sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d_1/D=0,7955$ $d_2/D=0,6136$; 2- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,6136$; 3- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,7159$)



Şekil 6.159: Yönlendirici depo eksenindeki 180 dakikelik sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d_1/D=0,7955$ $d_2/D=0,6136$; 2- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,6136$; 3- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,7159$)



Şekil 6.160: Yönlendirici depo eksenindeki 240 dakikelik sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d_1/D=0,7955$ $d_2/D=0,6136$; 2- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,6136$; 3- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,7159$)



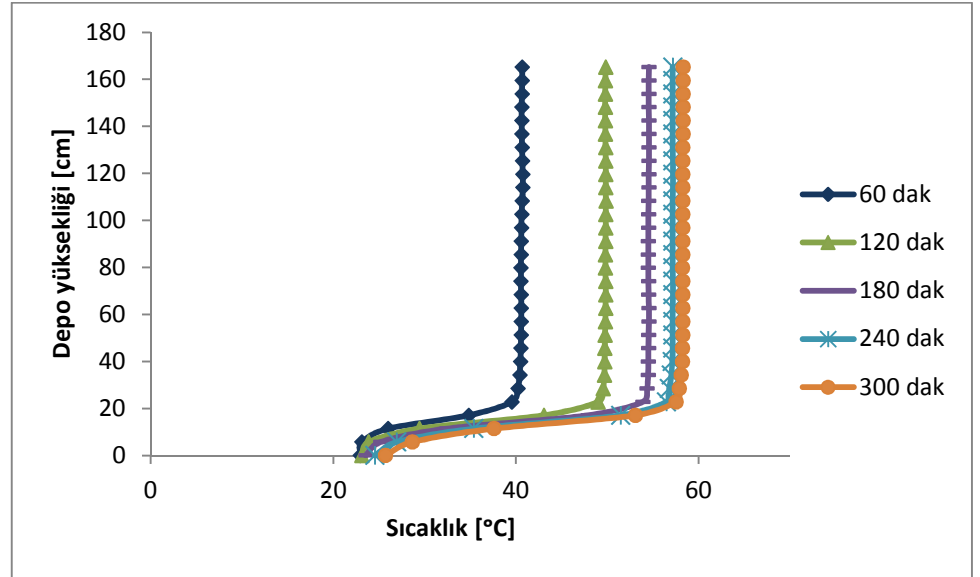
Şekil 6.161: Yönlendirici depo eksenindeki 300 dakikelik sıcaklık dağılımı ($x/H=0,539$) farklı yönlendirici üst ve alt çap (1- $d_1/D=0,7955$ $d_2/D=0,6136$; 2- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,6136$; 3- $d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,7159$)

Çizelge 6.5 Yönlendiriciye ait Farklı Boyutsuz Parametrelerin Depo Eksenindeki Zamana Göre Sıcaklık Değerleri

No	Sıcaklık [°C] ($d_1/D=0,7955$ $d_2/D=0,6136$)					Sıcaklık [°C] ($d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,6136$)					Sıcaklık [°C] ($d_1/D=0,9545$ $d_2/D=0,7159$)				
Z [cm]	60 dak	120 dak	180 dak	240 dak	300 dak	60 dak	120 dak	180 dak	240 dak	300 dak	60 dak	120 dak	180 dak	240 dak	300 dak
0,0	19,0	19,2	19,8	21	22,8	18,9	19,3	20,0	21,3	23,0	33,8	41,5	57,9	57,9	57,9
5,7	19,1	19,6	20,7	22,5	24,7	19,2	20,3	22,0	24,1	26,4	33,8	41,5	57,9	57,9	58,0
11,4	22,7	27,3	31,9	35,7	38,7	24,4	29,7	34,2	37,7	40,5	34,8	43,4	58,0	58,9	59,8
17,1	34,9	46,1	53,6	57,6	59,9	36,7	47,8	54,2	58,1	60,4	37,4	48,1	58,4	61,1	63,0
22,8	41,1	53,9	63,4	66,9	68,8	40,2	52,5	59,3	63,1	65,2	40,2	52,6	58,9	63,2	65,6
28,5	42,1	54,7	64	67,3	69,2	41,0	53,4	60,2	63,9	66,0	40,4	52,8	58,9	63,3	65,7
34,2	42,4	54,9	64,2	67,6	69,4	41,1	53,4	60,2	64,0	66,1	40,5	52,8	59,0	63,3	65,7
39,9	42,5	55,0	64,4	67,7	69,5	41,1	53,4	60,2	64,0	66,1	40,5	52,9	59,0	63,3	65,7
45,6	42,5	55,0	64,4	67,7	69,6	41,2	53,5	60,3	64,0	66,1	40,5	52,9	59,0	63,3	65,7
51,3	42,6	55,0	64,4	67,8	69,6	41,2	53,5	60,2	64,0	66,1	40,5	52,9	59,0	63,4	65,7
57,0	42,6	55,0	64,5	67,8	69,6	41,2	53,5	60,3	64,0	66,1	40,6	52,9	59,1	63,4	65,8
62,7	42,7	55,1	64,5	67,8	69,6	41,2	53,5	60,3	64,0	66,1	40,6	52,9	59,1	63,4	65,8
68,4	42,7	55,1	64,5	67,8	69,6	41,2	53,6	60,2	64,0	66,1	40,5	52,9	59,1	63,4	65,8
74,0	42,6	55,1	64,5	67,7	69,6	41,1	53,6	60,2	64,1	66,1	40,5	52,9	59,1	63,4	65,8
79,7	42,6	55,1	64,5	67,7	69,6	41,1	53,5	60,2	64,1	66,1	40,5	52,9	59,1	63,3	65,7
85,4	42,6	55,1	64,5	67,7	69,6	41,1	53,5	60,2	64,0	66,1	40,5	52,9	59,1	63,3	65,7
91,1	42,6	55,2	64,5	67,8	69,6	41,1	53,5	60,2	64,0	66,1	40,5	52,9	59,1	63,3	65,7
96,8	42,6	55,2	64,5	67,8	69,6	41,1	53,5	60,3	64,0	66,1	40,5	52,9	59,1	63,3	65,7
102,5	42,7	55,3	64,5	67,8	69,6	41,2	53,5	60,3	64,0	66,1	40,5	52,9	59,0	63,3	65,7
108,2	42,7	55,3	64,5	67,8	69,6	41,2	53,5	60,3	64,0	66,1	40,6	52,8	59,0	63,3	65,7
113,9	42,8	55,3	64,5	67,9	69,6	41,2	53,6	60,3	64,0	66,1	40,6	52,8	59,0	63,3	65,7
119,6	42,8	55,3	64,5	67,8	69,6	41,2	53,6	60,3	64,0	66,1	40,6	52,9	59,0	63,4	65,7
125,3	42,8	55,3	64,5	67,8	69,6	41,3	53,6	60,3	64,0	66,1	40,6	52,9	59,1	63,4	65,7
131,0	42,9	55,2	64,5	67,8	69,6	41,3	53,6	60,3	64,0	66,1	40,7	52,9	59,1	63,4	65,8
136,7	42,9	55,2	64,4	67,8	69,6	41,3	53,6	60,3	64,0	66,1	40,7	52,9	59,1	63,4	65,8
142,4	42,9	55,1	64,4	67,8	69,6	41,3	53,6	60,3	64,0	66,1	40,7	52,9	59,0	63,3	65,7
148,1	42,8	55,1	64,4	67,8	69,6	41,3	53,6	60,3	64,0	66,1	40,7	52,9	59,0	63,3	65,7
153,8	42,8	55,0	64,4	67,8	69,6	41,3	53,6	60,4	64,1	66,1	40,8	52,8	59,0	63,4	65,7
159,5	42,8	55,0	64,4	67,8	69,6	41,3	53,6	60,4	64,1	66,1	40,8	52,8	59,1	63,4	65,7
165,2	42,8	55,1	64,5	67,8	69,6	41,4	53,7	60,4	64,1	66,1	40,9	52,9	59,1	63,4	65,7
Ortalama	40,1	51,5	60,40	63,66	65,5	38,98	50,27	56,55	60,15	62,26	39,82	51,63	58,9	62,75	64,91

6.8 Seçilen Yönlendiriciin farklı Sıcaklıklarda İncelenmesi

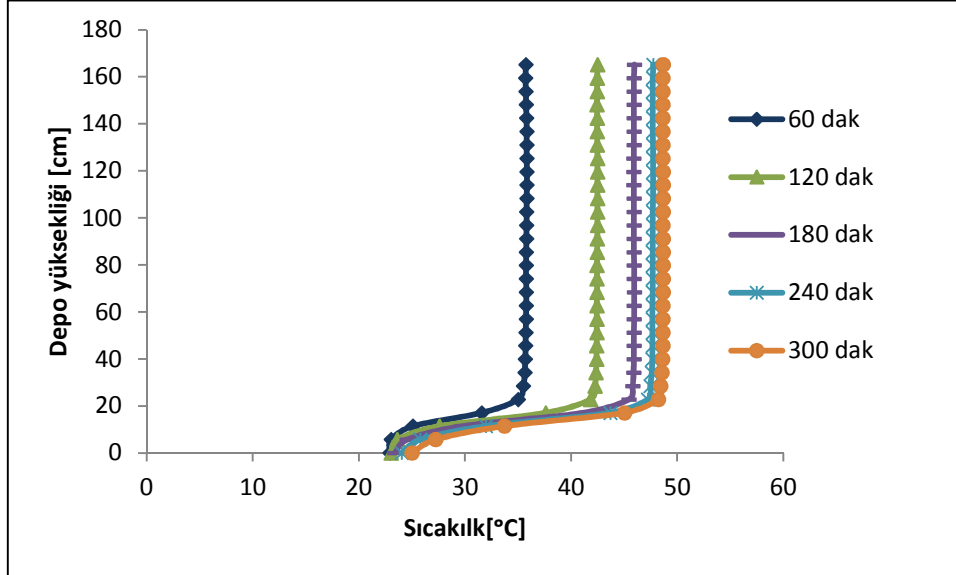
Yapılan sayısal çalışmalar neticesinde en iyi sıcaklık tabakalaşmasını veren yönlendiriciye ait boyutsuz parametreler $h/H=0,21199$; $d_1/D=0,795$; $d_2/D=0,613$ ve $x/H=0,478$ olarak bulunmuştur. Bu parametrelere sahip yönlendirici ile zamana bağlı olarak yapılan sayısal çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 60 °C olarak sabit tutulmuştur. Bu şarj işlemine ait Şekil 6.162'den de görüldüğü üzere şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 15,71 °C artarak 38,71 °C'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 8,39 °C daha artarak 47,1 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 4,43 °C artarak 51,53 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 2,58 °C daha artarak 54,12 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,16 °C daha artarak 55,28 °C'ye varmıştır. 300 dakikalık şarj işlemi sonunda 70 °C giriş sıcaklığı ve 60 °C giriş sıcaklığı için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aradaki ortalama farkın 10,24 °C olduğu görülmektedir.



Şekil 6.162: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,8\text{L/dak}$)

En iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan yönlendirici ile zamana bağlı olarak yapılan ikinci sayısal çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren suyun giriş debisi 2,8 L/dak, sıcaklığı ise 50 °C olarak sabit tutulmuştur. Bu

şarj işlemine ait Şekil 6.163'ten de görüldüğü üzere şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık $11,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ artarak $34,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık $6,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha artarak $40,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı $3,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ artarak $43,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık $1,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha artarak $45,49\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı $1,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha artarak $46,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye varmıştır. 300 dakikalık şarj işlemi sonunda $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığı ve $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığı için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aradaki ortalama farkın $8,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. Belirtilen şarj işlemi sonunda $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığı ile $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığı arasındaki fark ise $19,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmaktadır.



Şekil 6.163: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=50^{\circ}\text{C}$
 $\dot{V}=2,8\text{L/dak}$)

6.9 Depo İçerisinde Koni Tip Yönlendirici Levha Olduğu Durumda Yapılan Deneysel Çalışmalar

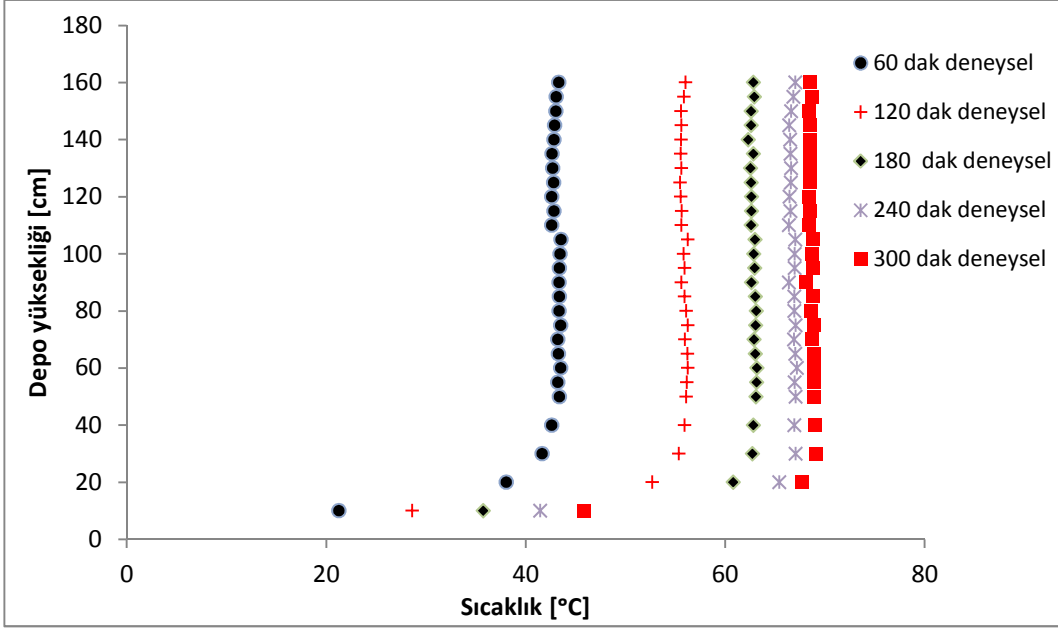
Sayısal olarak yapılan analizler neticesinde en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan yönlendirici tip koni levhaya ait boyutsuz parametreler ($h/H=0,21199$; $d_1/D=0,795$; $d_2/D=0,613$ ve $x/H=0,478$) belirlendikten sonra bu boyutsuz parametrelere sahip yönlendirici imal edilerek deneysel çalışmalar

gerçekleştirilmiştir. İmal edilen yönlendirici Şekil 6.164 görüldüğü gibi deponun içine montaj edilmiştir.



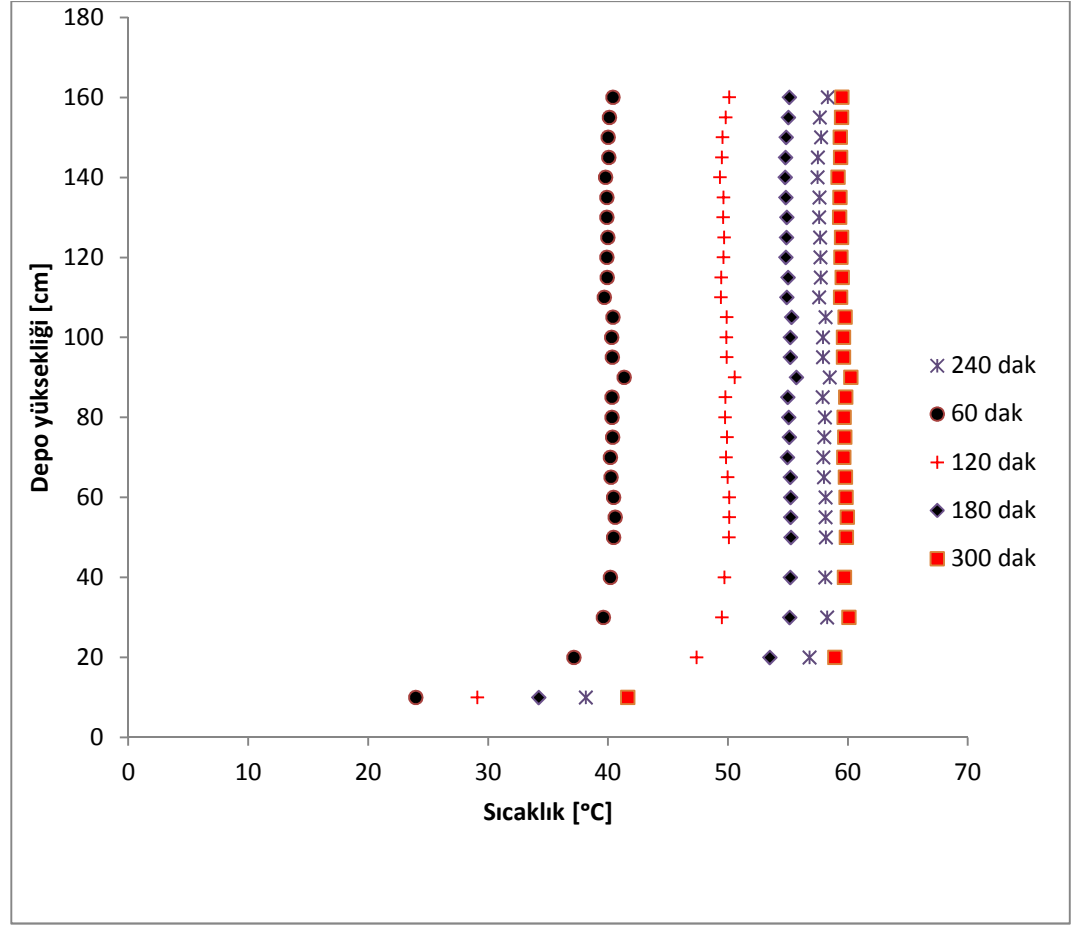
Şekil 6.164: Yönlendirici koni tip depo içinde

Zamana bağlı olarak yapılan deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpentine giren sıcak suyun debisi 2,8 L/dak ve giriş sıcaklığı ise 70 °C' dir. Şekil 6.165'te görüldüğü üzere şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 23,03 °C artarak 42,03 °C'ye ulaşmaktadır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 12,65 °C daha artarak 54,68 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 7,89 °C artarak 62,57 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 3,06°C daha artarak 65,63°C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,97 °C daha artarak 67,6 °C'ye varmıştır.



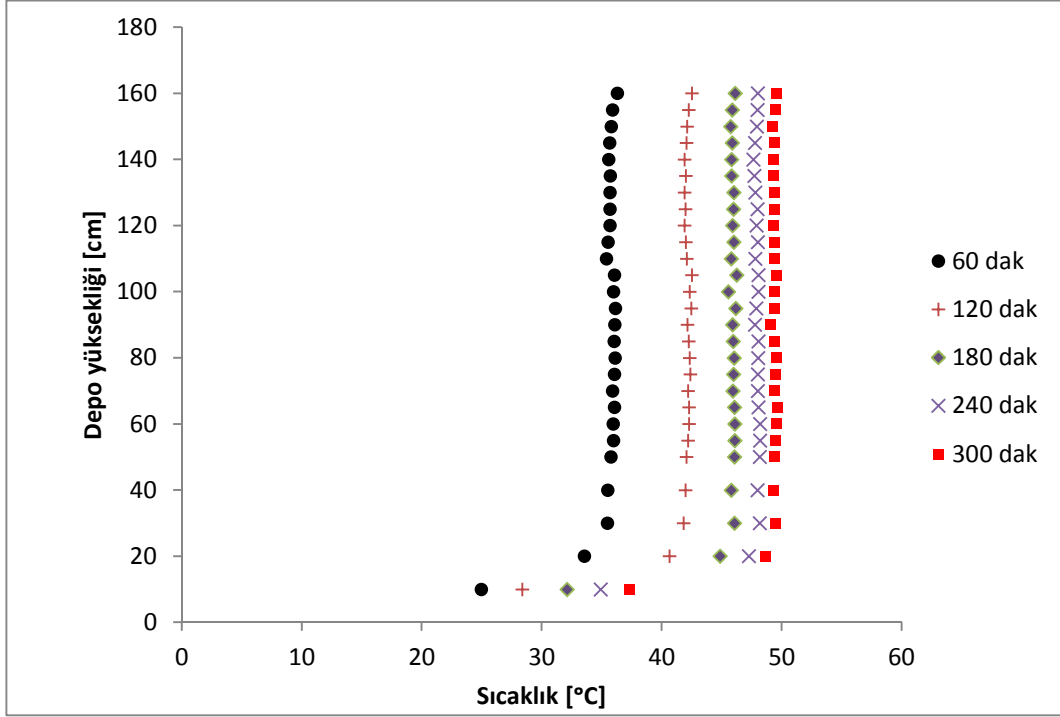
Şekil 6.165: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı deneysel olarak
 $(T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}-\dot{V}=2,8 \text{ L/dak})$

Zamana bağlı olarak yapılan ikinci deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren sıcak suyun debisi 2,8 L/dak ve giriş sıcaklığı ise 60 °C' dir. Şekil 6.166'da görüldüğü üzere şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 16,47 °C artarak 39,47 °C'ye ulaşmaktadır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 9,43 °C daha artarak 48,91 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 5,31 °C artarak 54,22 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 2,90 °C daha artarak 57,13 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,796 °C daha artarak 58,92 °C'ye varmıştır. Belirtilen şarj işlemi sonunda 70 °C giriş sıcaklığı ile 60 °C giriş sıcaklığı arasındaki fark ise 8,84 °C olmaktadır



Şekil 6.166: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı deneysel olarak
($T_{giriş}=60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,8 \text{ L/dak}$)

Zamana bağlı olarak yapılan üçüncü deneysel çalışmada, 300 dakikalık şarj işleminde serpantine giren sıcak suyun debisi 2,8 L/dak ve giriş sıcaklığı ise 50 °C' dir. Şekil 6.167'de görüldüğü üzere şarj işlemi başladığı anda su ısınmaya başlamakta ve 60 dakika sonra ortalama sıcaklık 11,36 °C artarak 35,36 °C'ye ulaşmaktadır. 120 dakika sonra ise ortalama sıcaklık 6,23 °C daha artarak 41,60 °C'ye ulaşmıştır. 180 dakika sonra ise deponun ortalama sıcaklığı 3,80 °C artarak 45,41 °C olmuştur. 240'ıncı dakikaya gelindiğinde depodaki ortalama sıcaklık 2,06 °C daha artarak 47,47 °C olmuştur. 300 dakikalık şarj işleminin en sonunda ise deponun ortalama sıcaklığı 1,48 °C daha artarak 48,95 °C'ye varmıştır. 300 dakikalık şarj işlemi sonunda 60 °C giriş sıcaklığı ve 50 °C giriş sıcaklığı için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aradaki ortalama farkın 9,97 °C olduğu görülmektedir. Belirtilen şarj işlemi sonunda 70 °C giriş sıcaklığı ile 50 °C giriş sıcaklığı arasındaki fark ise 16,68 °C olmaktadır.



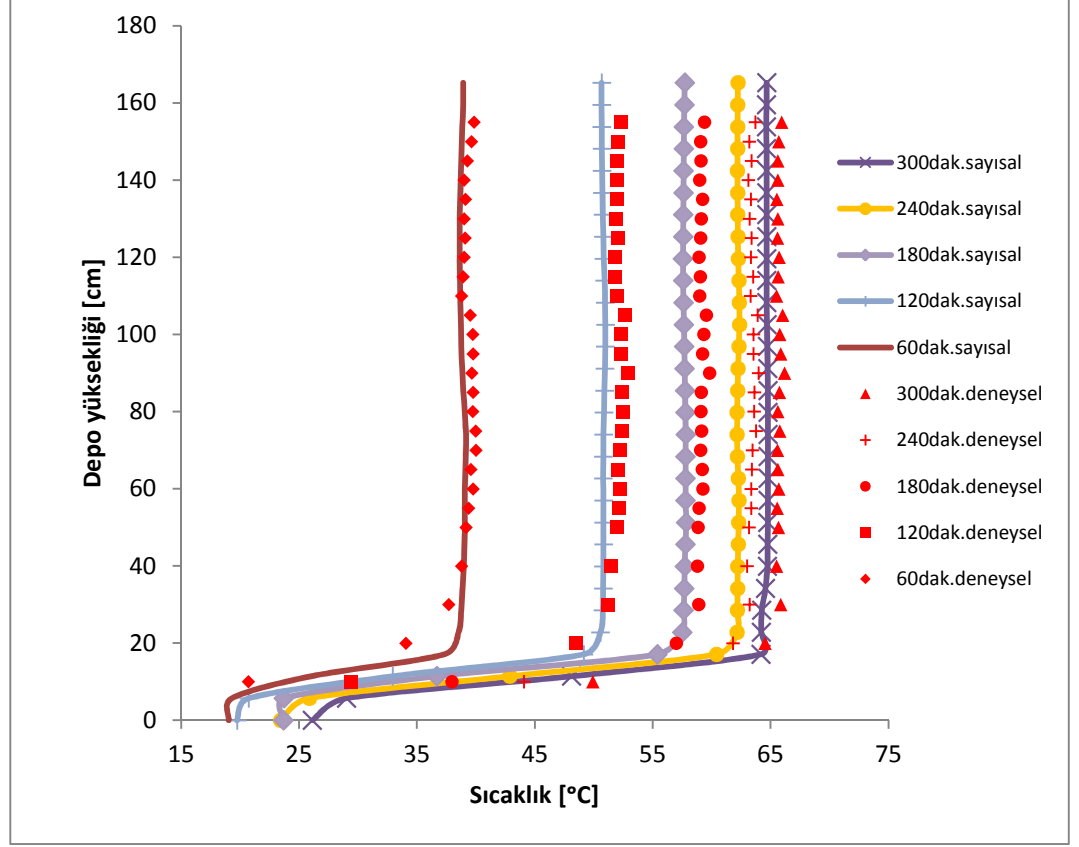
Şekil 6.167: Yönlendirici depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı deneysel olarak
($T_{giriş}=50^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,8 \text{ L/dak}$)

6.10 Depo İçerisinde Koni Tip Yönlendirici Levha Olduğu Durumda Yapılan Sayısal Ve Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması

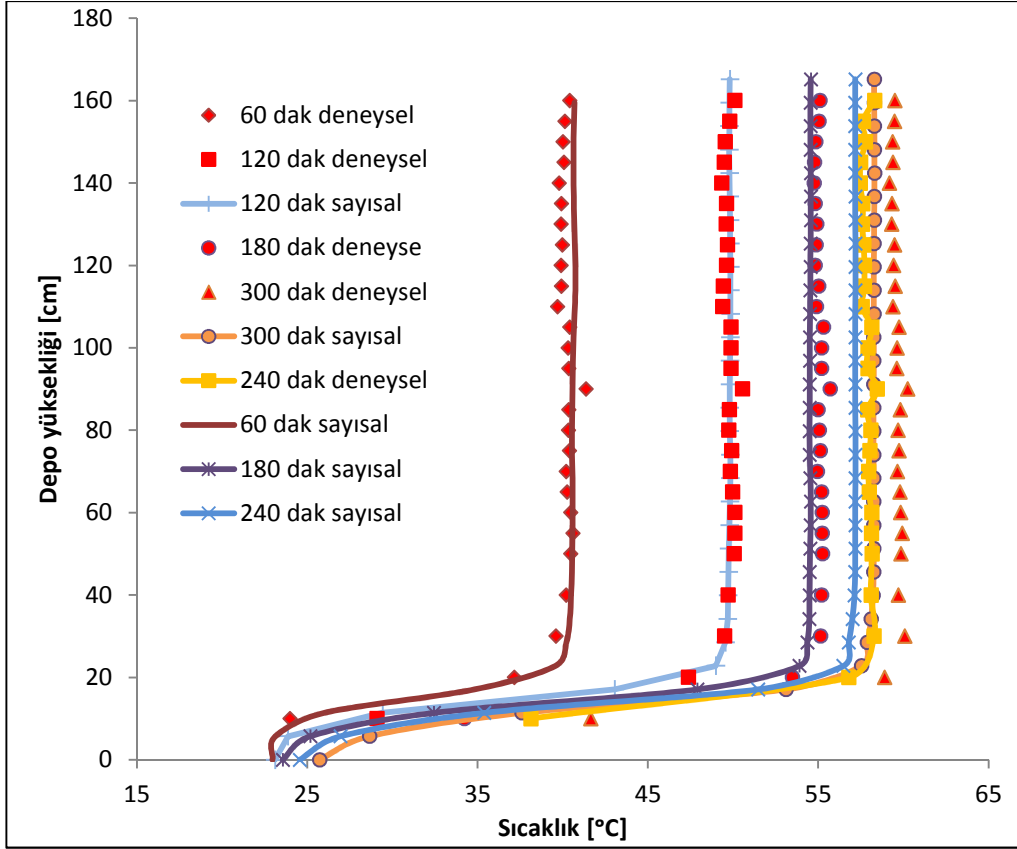
Depo içerisinde koni tip yönlendirici levha olduğu durumda, 300 dakika şarj işlemi gerçekleştirilerek yapılan sayısal ve deneysel çalışmalar sonucunda zamana bağlı olarak elde edilen verilerden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bu bölümde yönlendiricinin olduğu duruma ait yapılan sayısal ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması yapılmıştır. Burada olan karşılaştırmalar deponun merkez eksenindeki sıcaklık dağılımı üzerinden yapılmıştır.

Şekil 6.168, 6.169 ve 6.170’te sıcak su deposunun eksenindeki sıcaklık dağılımları görülmektedir. Burada yapılan işlemlerde serpantine giren suyun sıcaklığı 50, 60 ve 70°C, debisi ise 2,8 L/dak’ dır. Bu şekillerden de görüldüğü üzere şarj işlemi süresince deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar çok az bir farkla uyumludur. Deneysel ve sayısal çalışma arasındaki yüzdesel hata miktarı Ek.4’de görülmektedir. Ortaya çıkan bu az miktardaki farkın sebebi ise sayısal çalışmada serpantin cidarından depo içine olan ısı enerjisinin iletilmesinde “shell conduction” seçeneğinin seçilerek çözümlene yapılmış olmasıdır. Bu

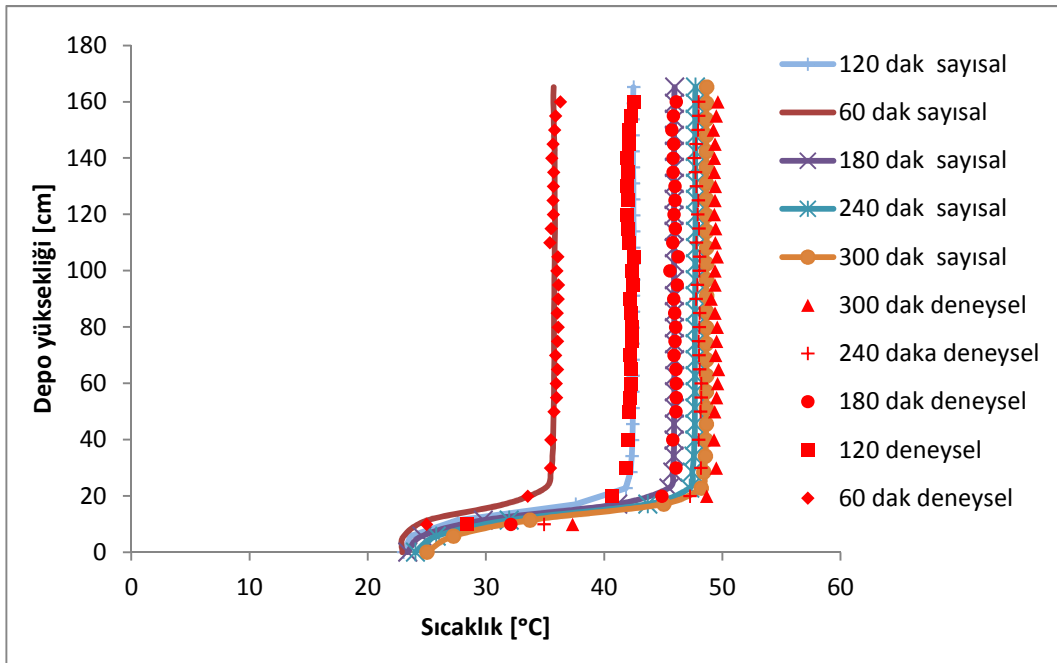
yöntemde ısı iletiminin bir boyutlu olduğu kabul edilmektedir. Buda sayısal çözümlemede hataların birikmesine ve deneysel çalışma ile arasında az bir farkın oluşmasına yol açmaktadır.



Şekil 6.168: Depo içerisinde yönlendirici olduğu durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8 L/dak$)

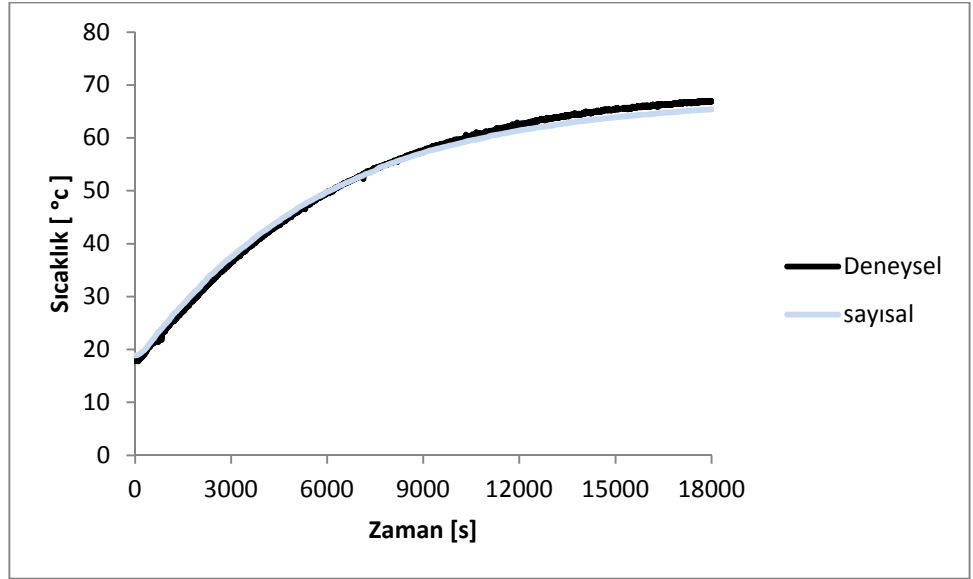


Şekil 6.169: Depo içerisinde yönlendirici olduğu durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=60^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8 L/dak$)

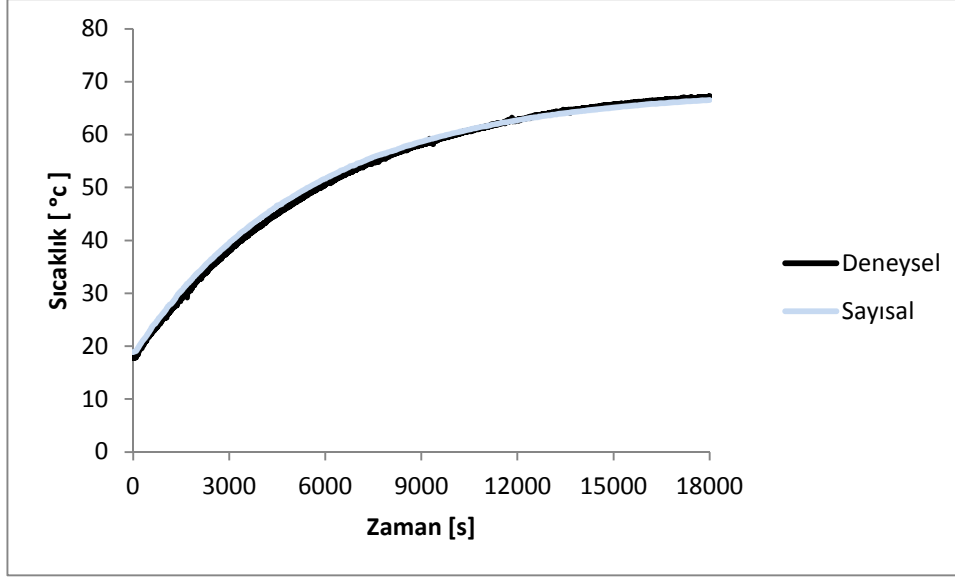


Şekil 6.170: Depo içerisinde yönlendirici olduğu durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı ($T_{giriş}=50^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8 L/dak$)

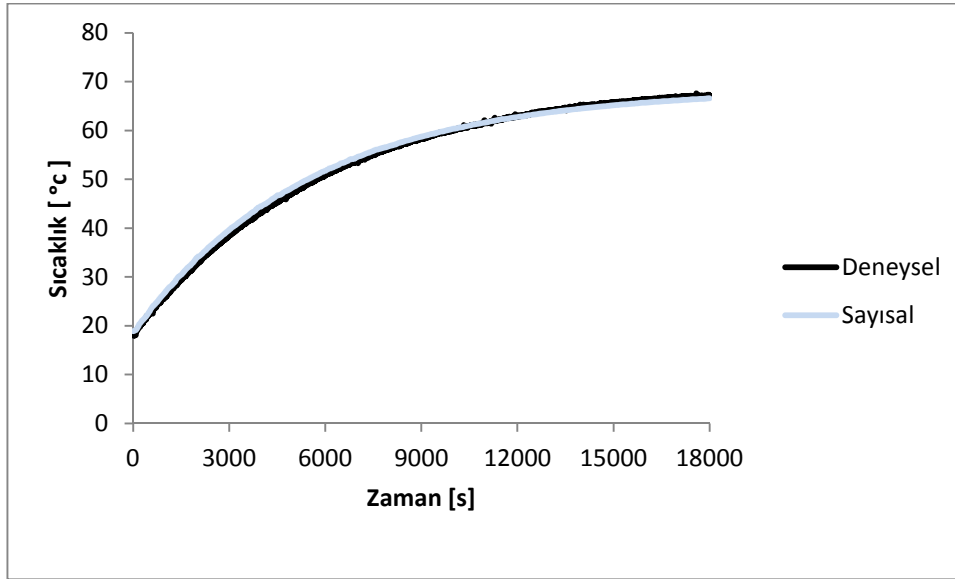
Yapılan deneysel çalışmada sıcak su deposu içerisinde aynı ekseninde farklı noktalarda termokupllar yerleştirilmiştir. 300 dakikalık şarj işlemi süresince her bir termokupldan okunan değer kaydedilmektedir. Yapılan sayısal çalışmalarda da, deneysel çalışmadaki termokupl noktaları ile aynı noktalardaki sıcaklıklar okunmuş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Aşağıdaki şekiller de zamana bağlı grafikler üzerinde, her bir termokupldan alınan değerlerin hem deneysel hem de sayısal çalışmadaki karşılaştırılması yapılmaktadır. Şekil 6.171 ile Şekil 6.196 arasındaki şekillerde görülen çalışmalarda serpantine giren suyun sıcaklığı 70 °C, 60 °C ve 50 °C, debisi ise 2,8 l/dak' dır. Belirtilen şartlar altında yapılan sayısal ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilen şekillerden de görüldüğü üzere iki çalışma arasındaki sonuçlarda uyumluluk vardır. İki çalışma arasındaki yüzdesel hata miktarları depo eksenini boyunca ölçülen her nokta için belirlenmiş ve Ek.4'de gösterilmiştir.



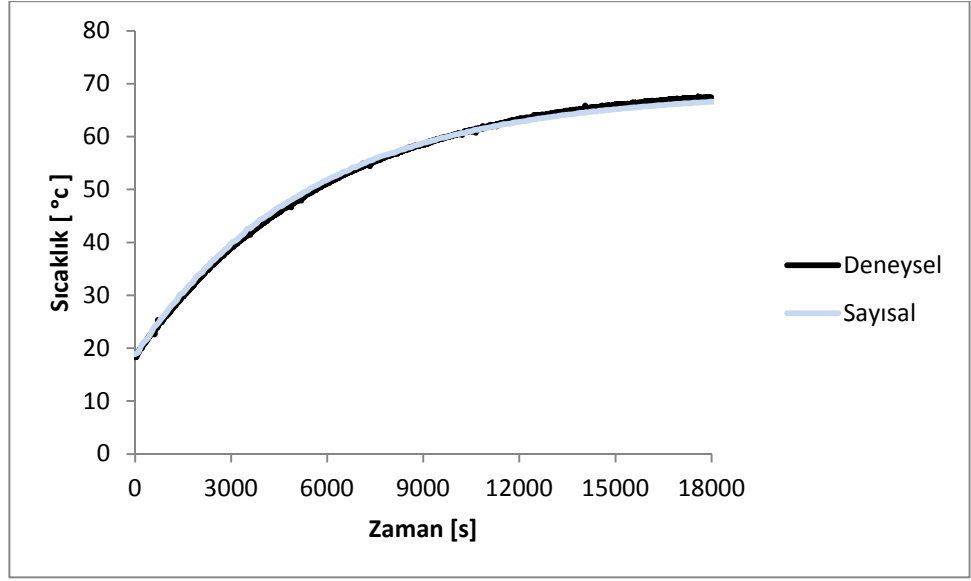
Şekil 6.171: Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



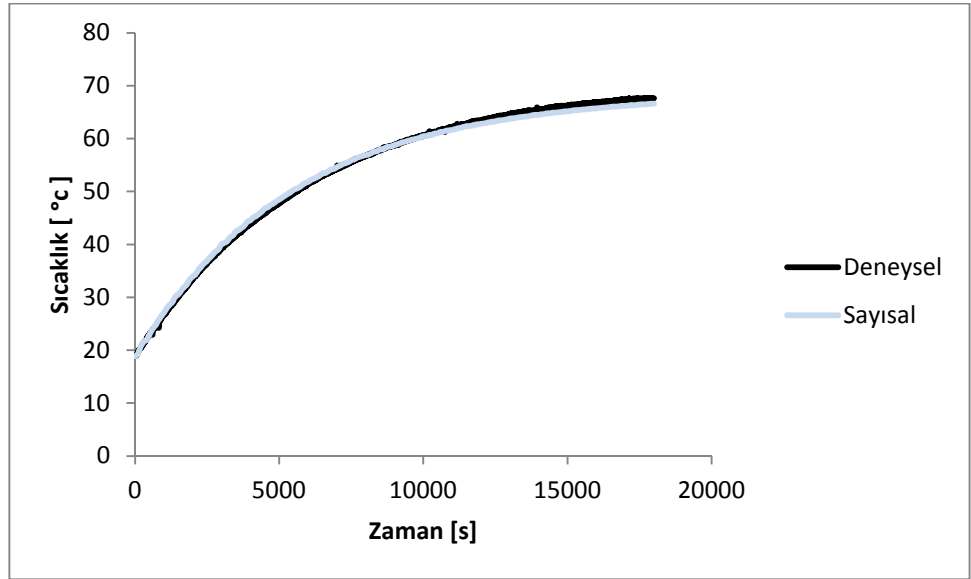
Şekil 6.172: Deponun ekseninde, tabandan 40 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



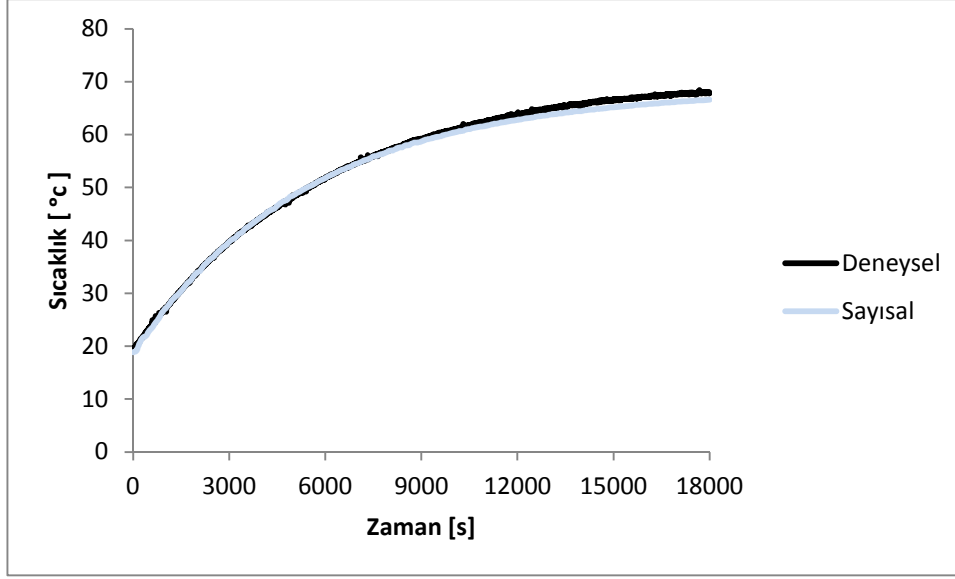
Şekil 6.173: Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



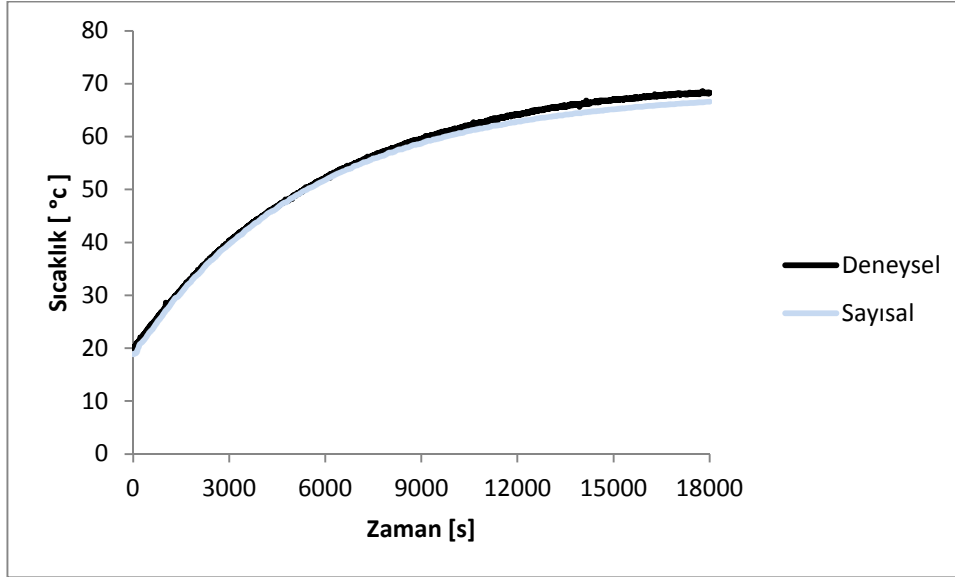
Şekil 6.174: Deponun ekseninde, tabandan 60 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



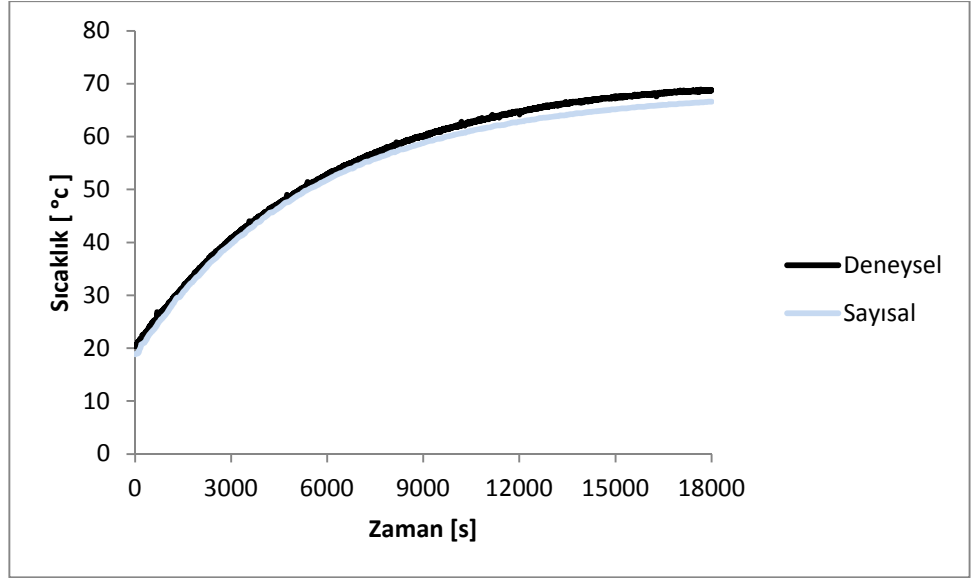
Şekil 6.175: Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



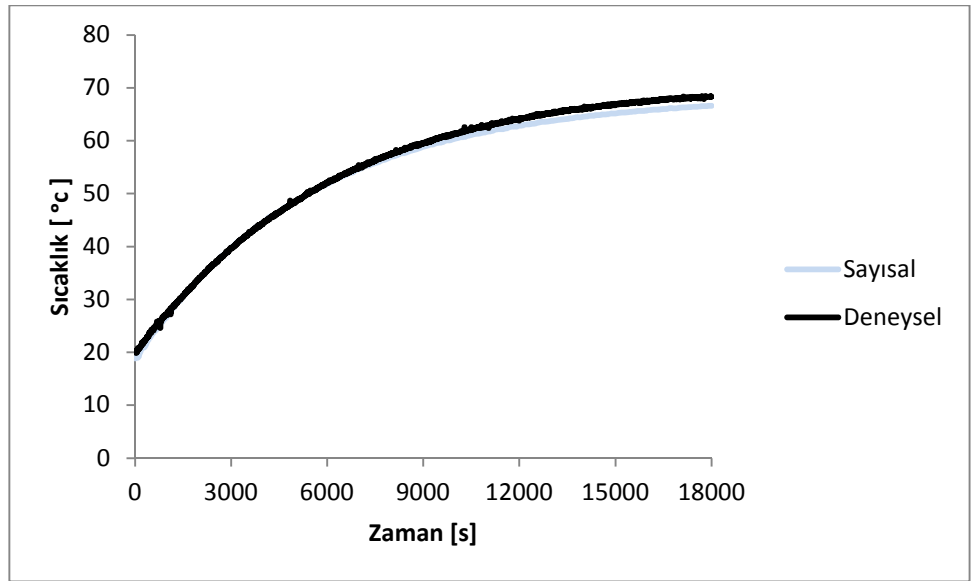
Şekil 6.176: Deponun ekseninde, tabandan 80 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



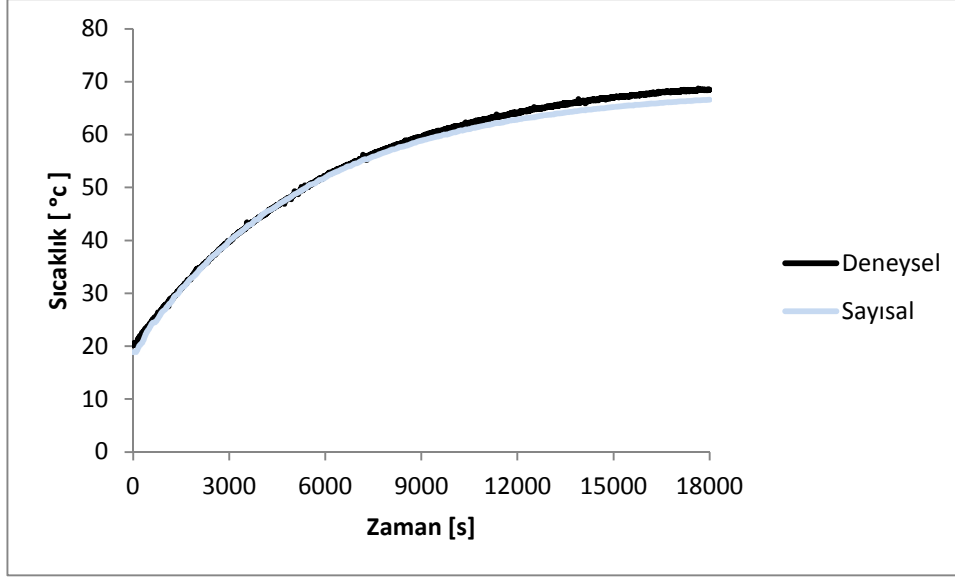
Şekil 6.177: Deponun ekseninde, tabandan 90 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



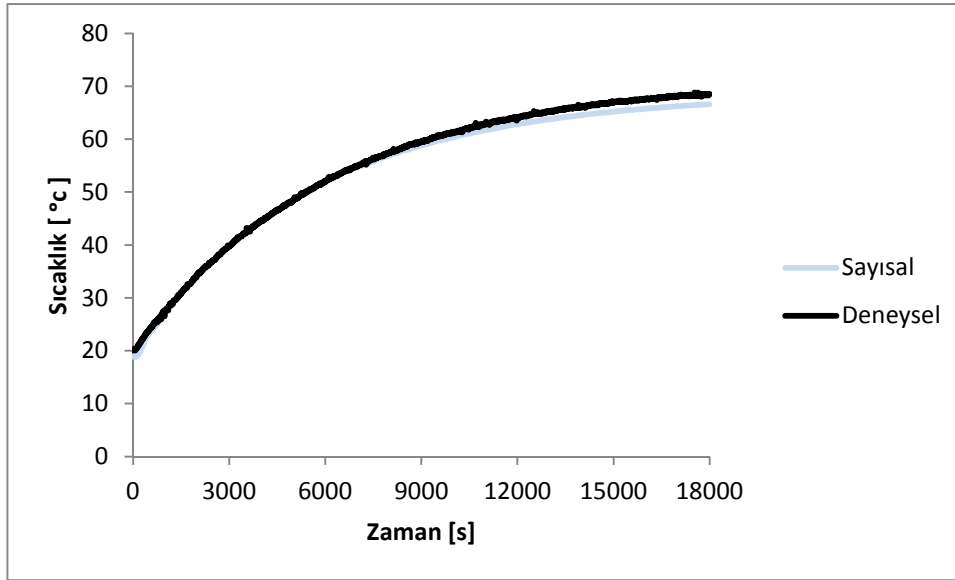
Şekil 6.178: Deponun ekseninde, tabandan 100 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



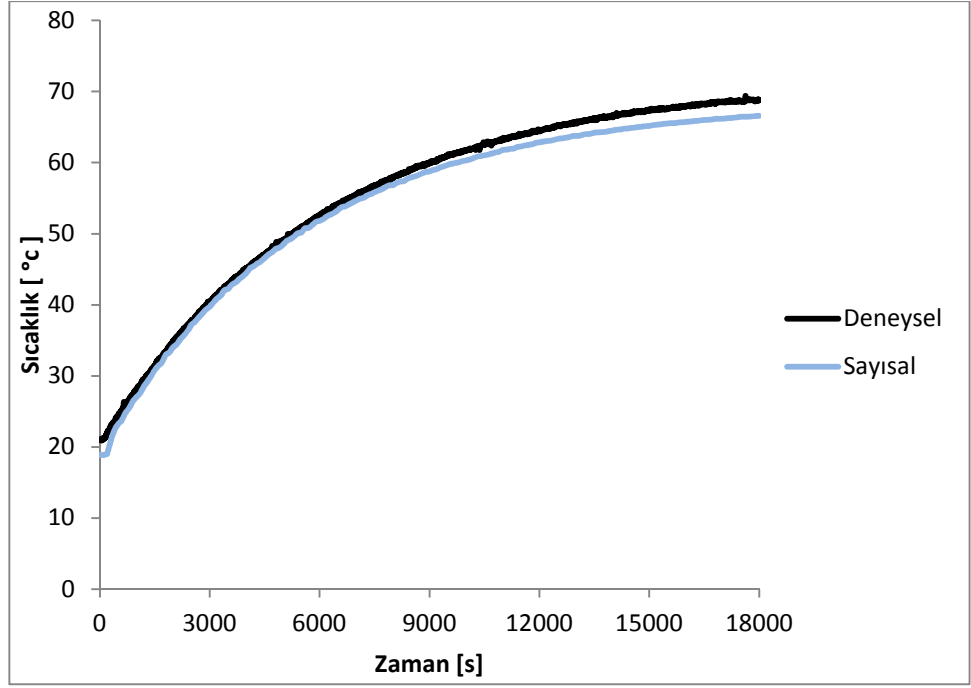
Şekil 6.179: Deponun ekseninde, tabandan 110 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



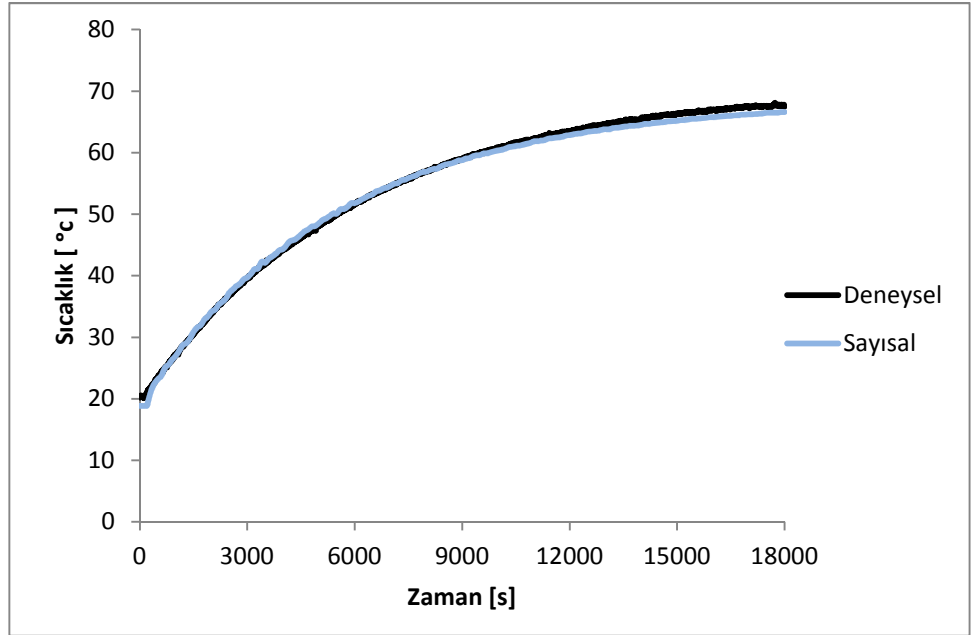
Şekil 6.180: Deponun ekseninde, tabandan 130 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



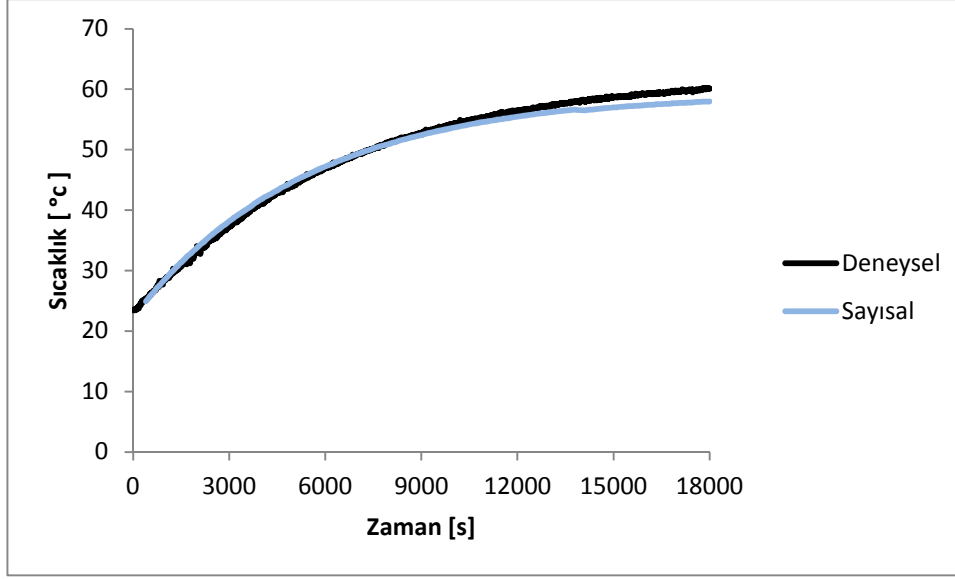
Şekil 6.181: Deponun ekseninde, tabandan 140 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



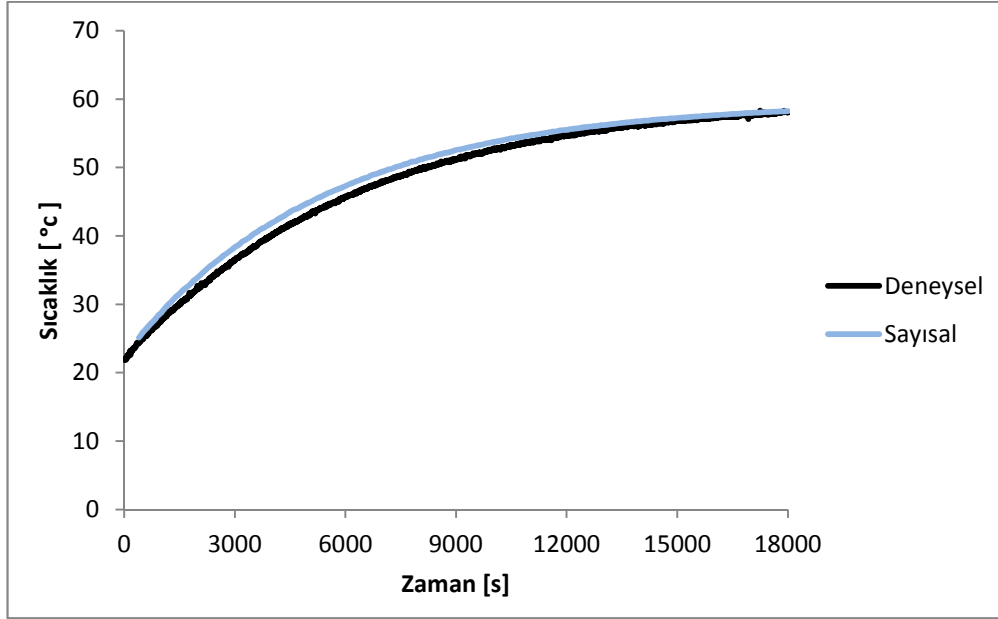
Şekil 6.182: Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



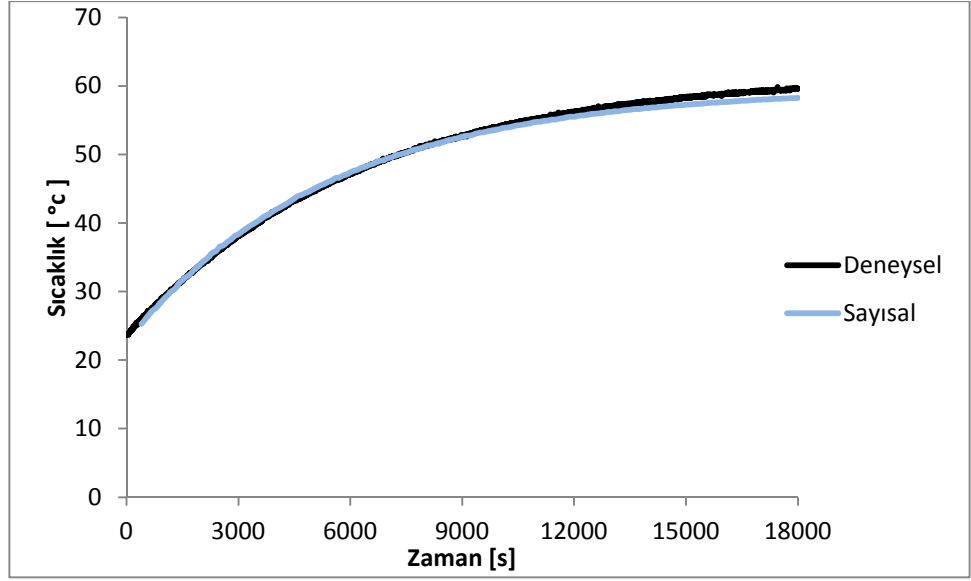
Şekil 6.183: Deponun ekseninde, tabandan 160 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



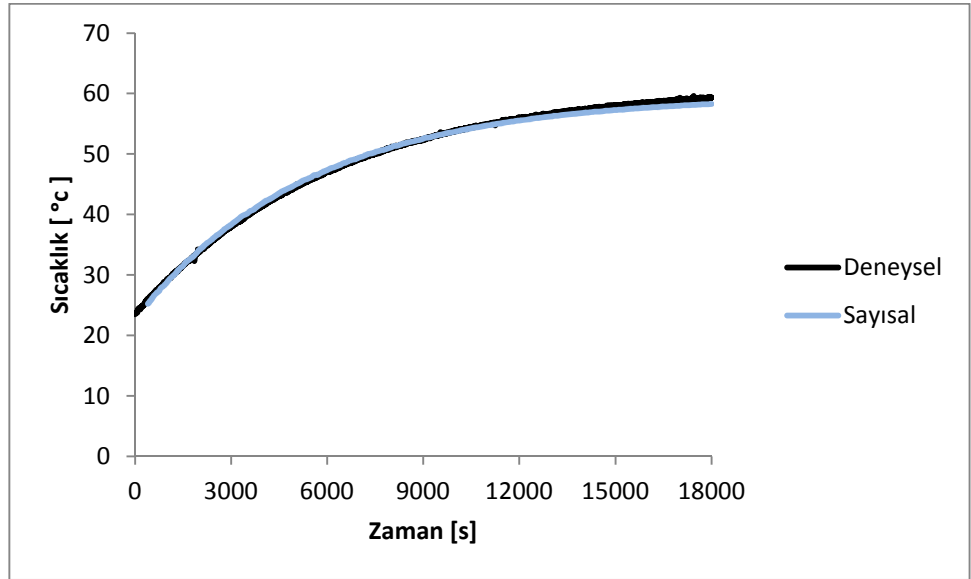
Şekil 6.184: Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



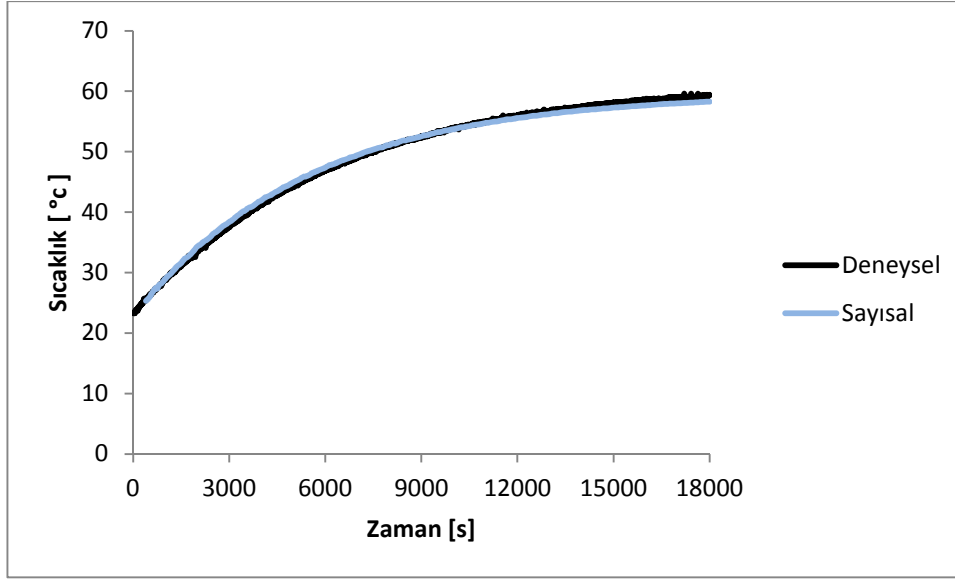
Şekil 6.185: Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



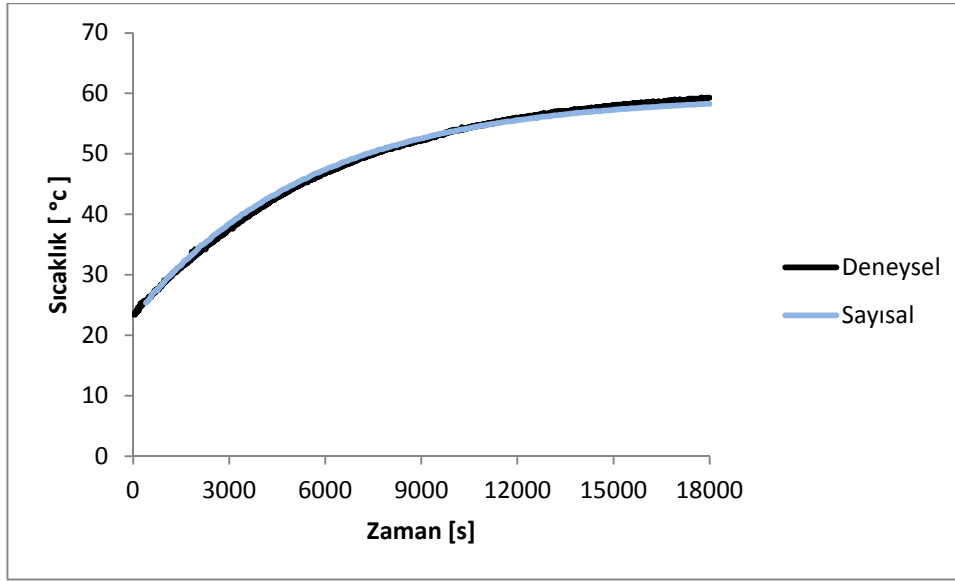
Şekil 6.186: Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



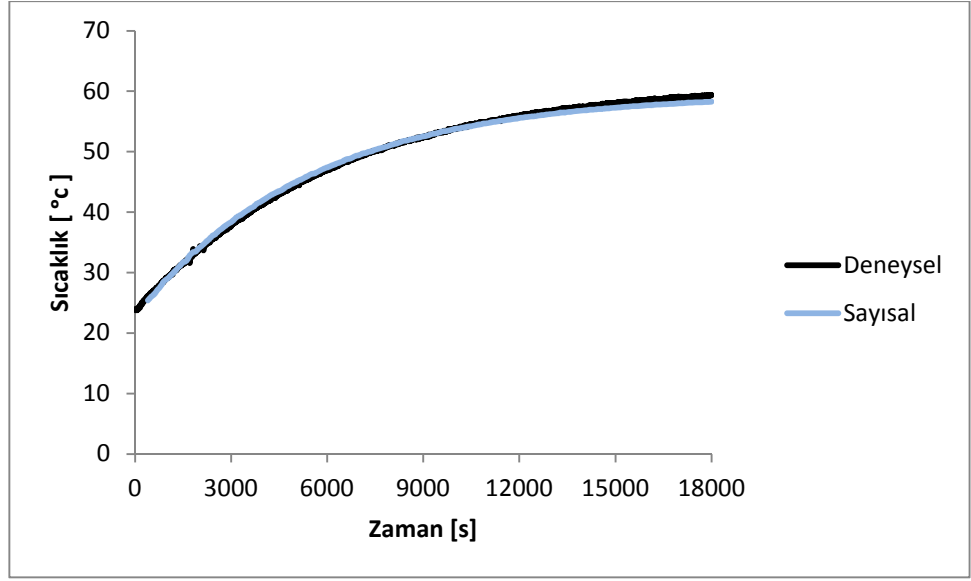
Şekil 6.187: Deponun ekseninde, tabandan 90 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



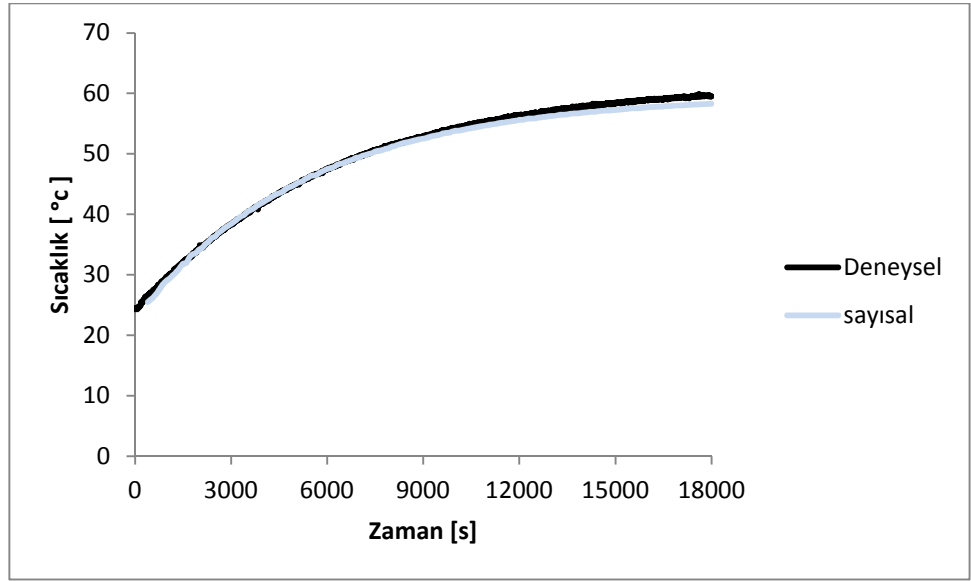
Şekil 6.188: Deponun ekseninde, tabandan 110 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



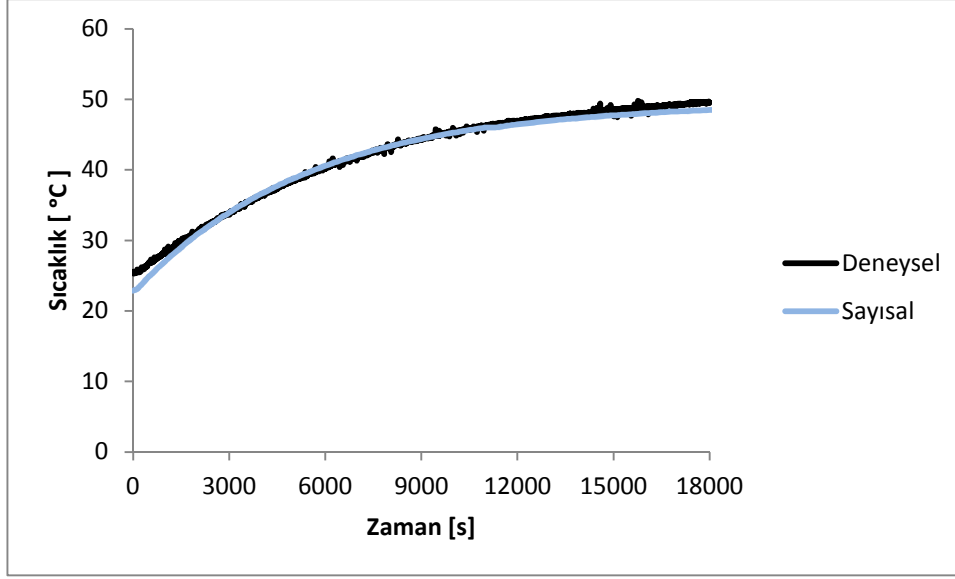
Şekil 6.189: Deponun ekseninde, tabandan 130 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



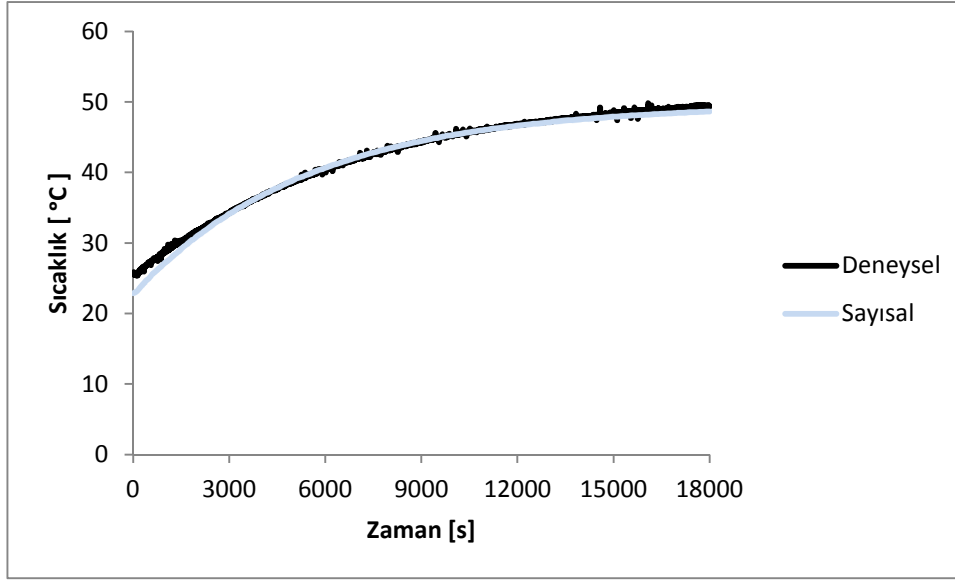
Şekil 6.190: Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



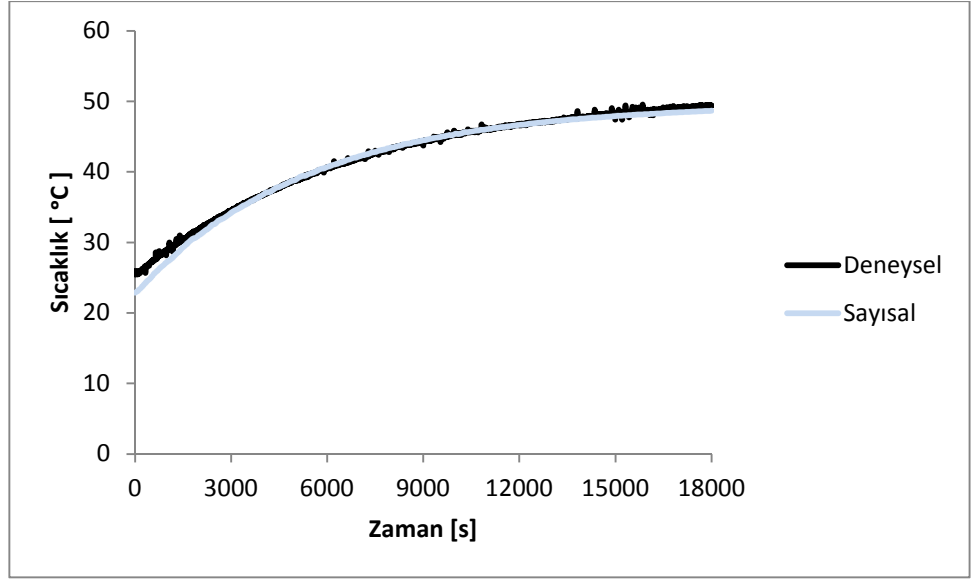
Şekil 6.191: Deponun ekseninde, tabandan 160 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 60^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



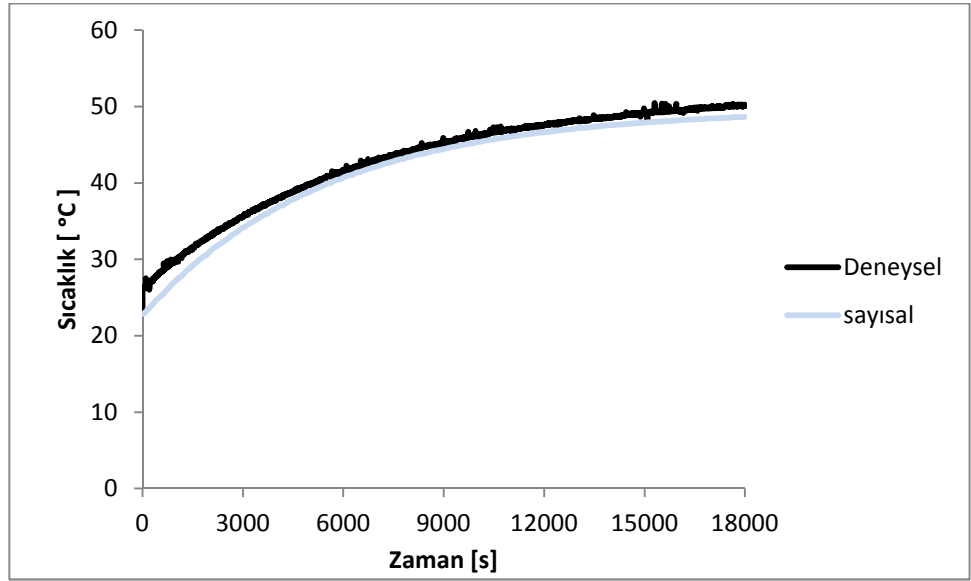
Şekil 6.192: Deponun ekseninde, tabandan 30 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 50^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



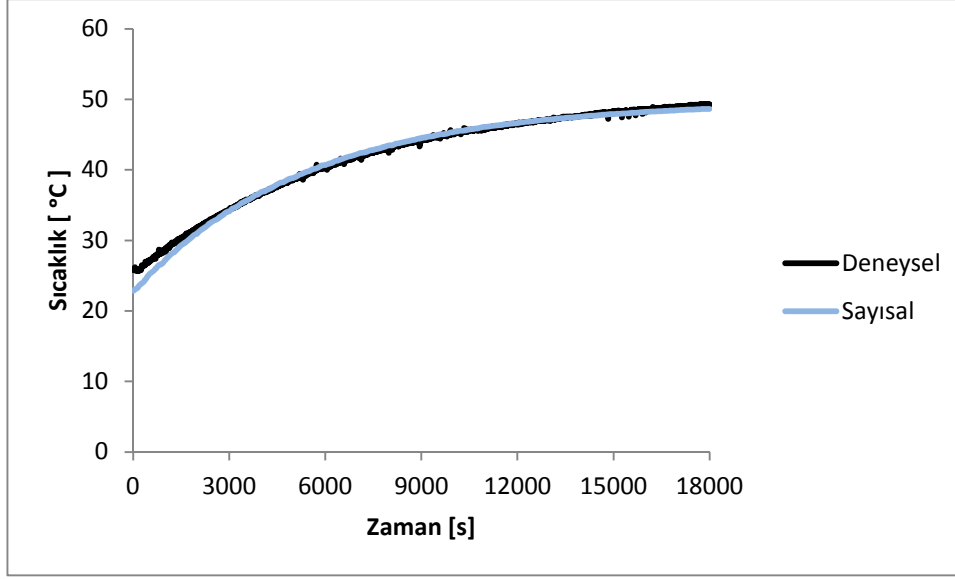
Şekil 6.193: Deponun ekseninde, tabandan 50 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 50^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



Şekil 6.194: Deponun ekseninde, tabandan 70 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 50^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



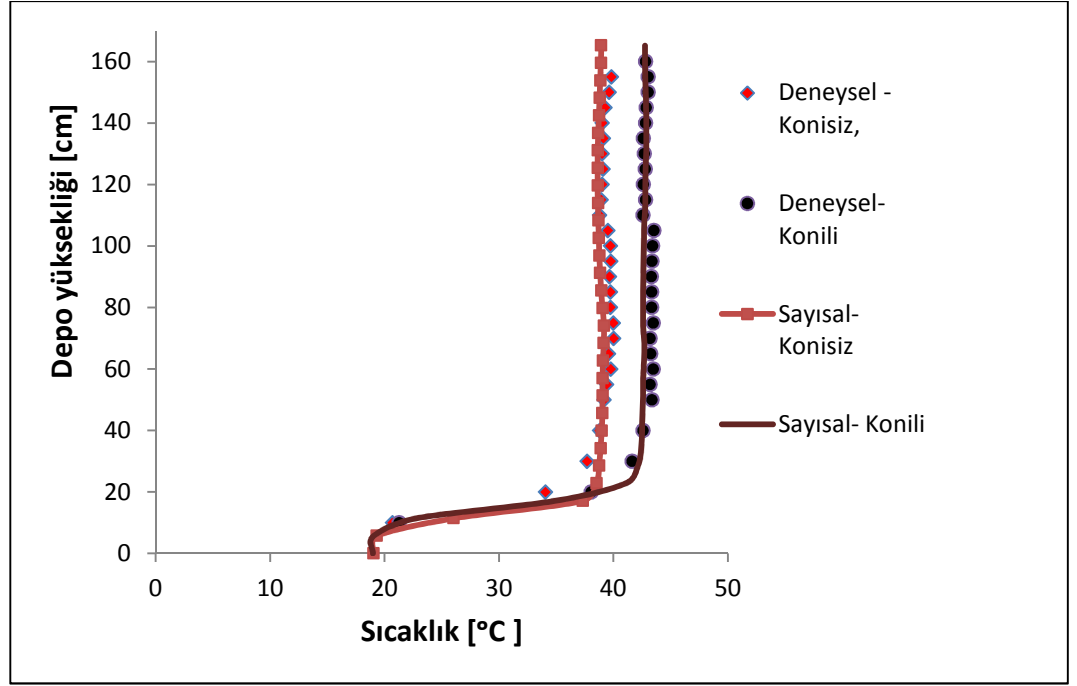
Şekil 6.195: Deponun ekseninde, tabandan 90 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş} = 50^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V} = 2,8 \text{ L/dak}$)



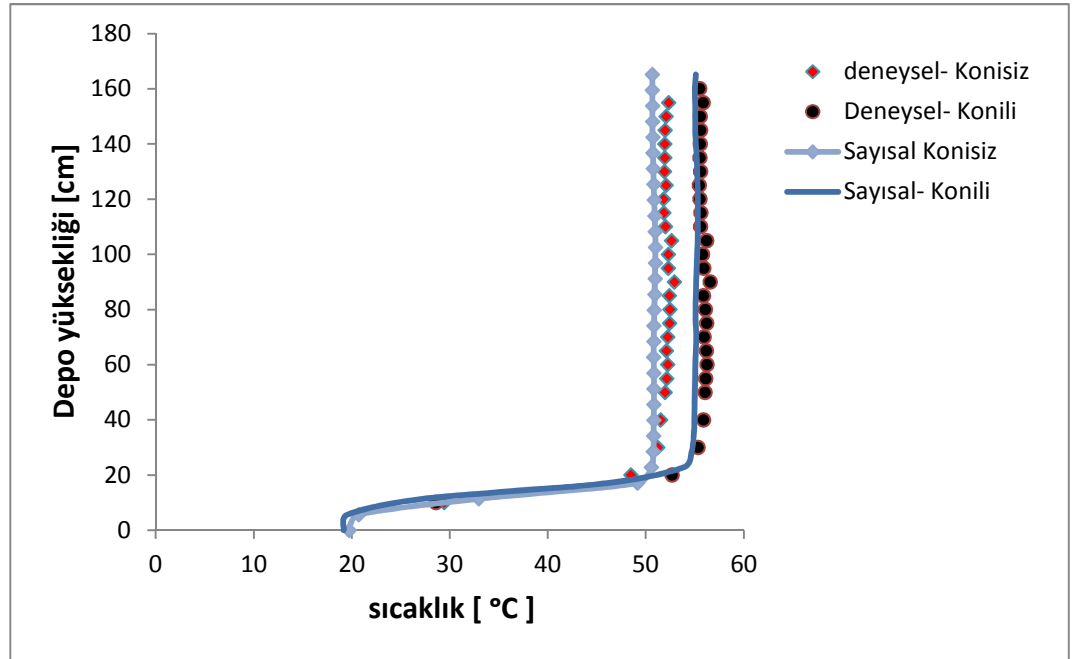
Şekil 6.196: Deponun ekseninde, tabandan 150 cm yüksekliğindeki noktadan alınan zamana göre sıcaklık değeri deneysel ve sayısal ($T_{giriş}=50^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}= 2,8 \text{ L/dak}$)

6.11 Yönlendirici Olduğu ve Olmadığı Durumda Yapılan Deneysel Ve Sayısal Çalışmaların Karşılaştırılması

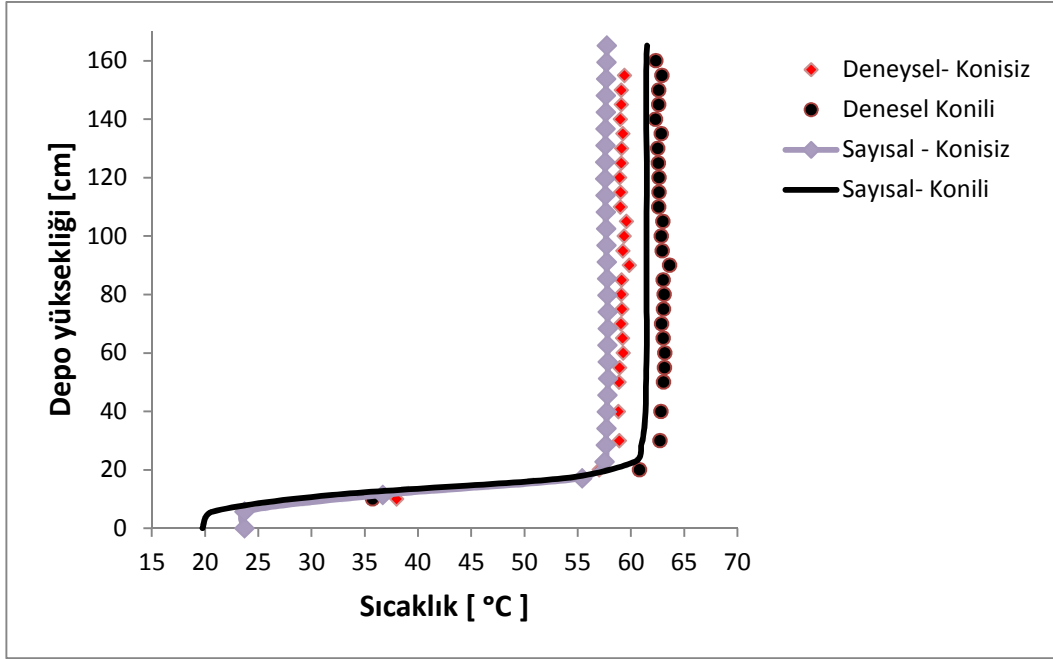
Sıcak su deposu içerisinde iyi bir sıcaklık dağılımının olması için depo içerisindeki en iyi sıcaklık tabakalaşmasının elde edilme konusunda yapılan sayısal ve deneysel çalışmalar sonucunda depo içerisine konulacak yönlendiricinin boyutsuz parametreleri ($h/H=0,21199$; $d_1/D=0,795$; $d_2/D=0,613$ ve $x/H=0,478$) belirlenmiştir. Bu parametrelere sahip yönlendiricinin depo içerisinde olduğu ve olmadığı durumlara göre sayısal ve deneysel olarak yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 6.197 ile Şekil 6.201 arasında görülmektedir. Şekillerde sonuçları gösterilen çalışmalarda serpantinlere giren suyun sıcaklığı 70°C ve debisi ise $2,8 \text{ L/dak}$ ' dır. Şekillerden de anlaşılacağı üzere, yapılan her iki çalışmanın sonucu karşılaştırıldığında depo içerisinde yönlendirici olması sıcaklık tabakalaşmasını büyük ölçüde iyileştirmektedir.



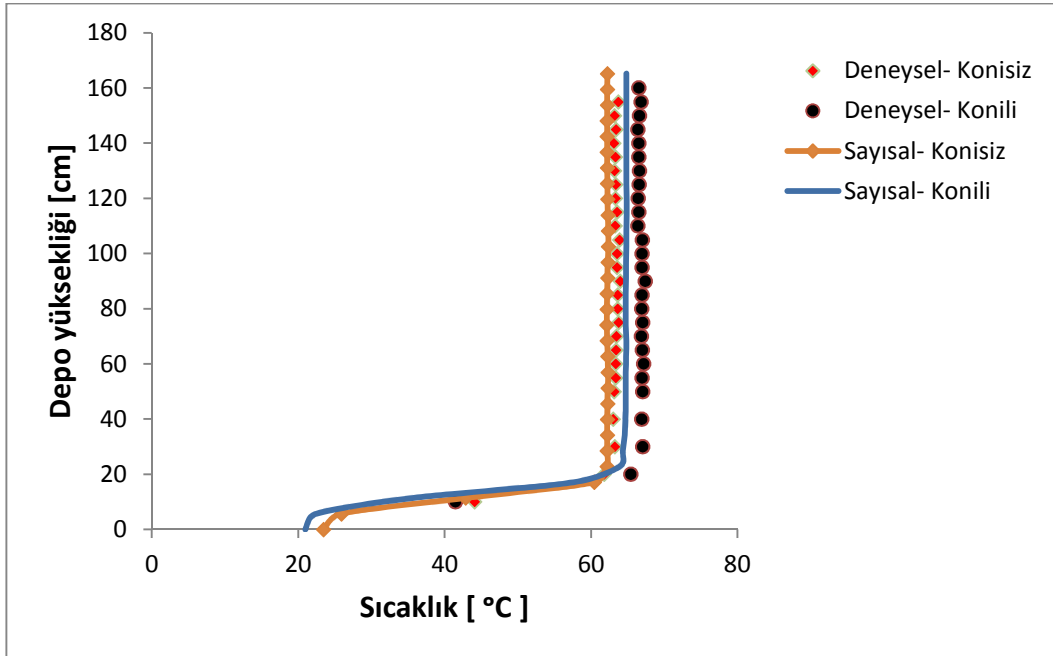
Şekil 6.197: Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=60 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8 L/dak$)



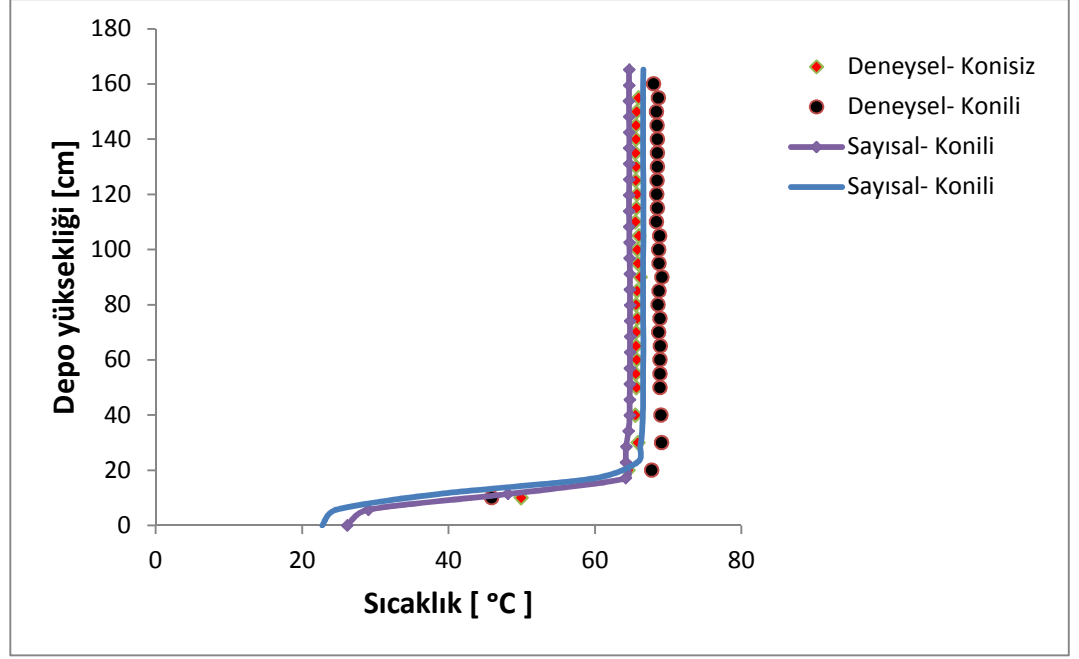
Şekil 6.198: Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=120 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8 L/dak$)



Şekil 6.199: Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=180 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8 L/dak$)

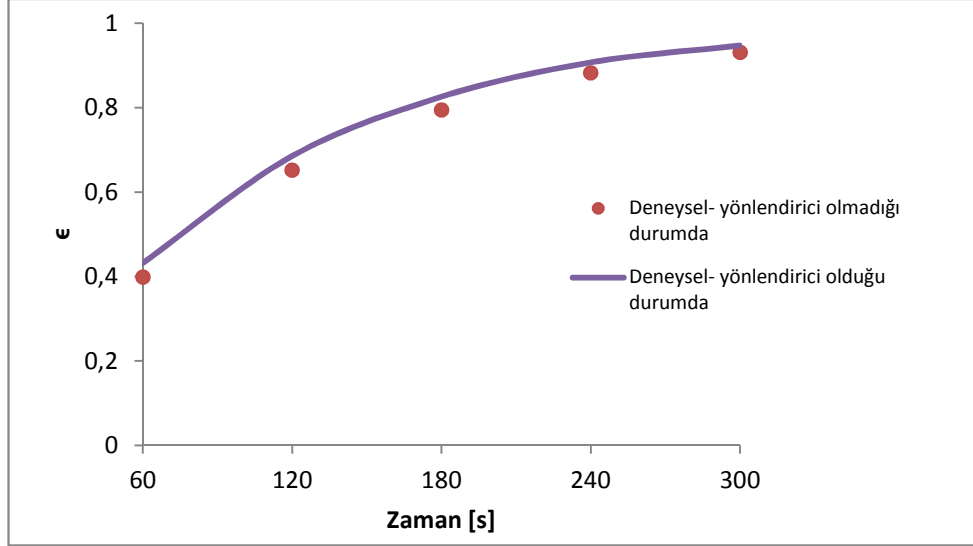


Şekil 6.200: Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=240 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8 L/dak$)



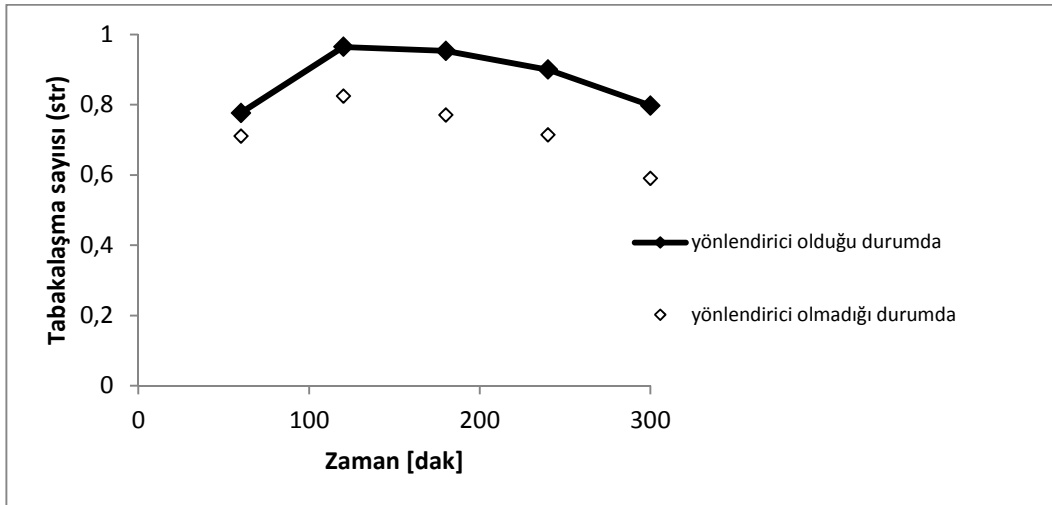
Şekil 6.201: Depo içerisinde yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda depo eksenindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımı (Şarj süresi=300 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}\text{C}$ - $\dot{V}=2,8 \text{ L/dak}$)

Şekil 6.202’de deneysel işlemlerden elde edilen sonuçlar ile yönlendirici koni olduğu ve olmadığı durumun şarj verimine etkisi görülmektedir. 60 dakikalık şarj işlemi sonunda koni olduğu ve olmadığı durumda şarj verimi sırasıyla 0,44 ve 0,39 olmaktadır. 120 dakikalık şarj işlemi sonunda koni olduğu ve olmadığı durumda şarj verimi sırasıyla 0,70 ve 0,65 olmaktadır. 180 dakikalık şarj işlemi sonunda koni olduğu ve olmadığı durumda şarj verimi sırasıyla 0,84 ve 0,76 olmaktadır. 240 dakikalık şarj işlemi sonunda koni olduğu ve olmadığı durumda şarj verimi sırasıyla 0,92 ve 0,88 olmaktadır. 300 dakikalık şarj işlemi sonunda koni olduğu ve olmadığı durumda şarj verimi sırasıyla 0,97 ve 0,93 olmaktadır. Belirtilen değerlerden de anlaşılacağı üzere depo içerisinde koni bulunması şarj verimini yükseltmektedir.



Şekil 6. 202: Şarj verimi yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda (Şarj süresi=300 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8$ L/dak)

Denklem 3.8 ve 3.9 kullanarak yönlendirici olduğu ve olmadığı duruma ait şarj süresine göre ısı tabakalaşma sayıları bulunmuş ve şekil 6.203'te gösterilmiştir. İki saatlik şarj işleminde şarj süresi arttıkça ısı tabakalaşma sayısı da artmaktadır. 120 dakikalık şarj işlemi sonunda depo içerisindeki suyun sıcaklığı %80 oranında homojen olmaktadır. 120 dakikadan sonra şarj süresinin uzatılması ısı tabakalaşma sayısının azalmasına yol açmaktadır. Çünkü belirtilen süreden sonra deponun alt kısmında ısı tabakalar arasındaki ısı iletimi ve difüzyonu oluşmaya başlamaktadır. Ek.5'te görüldüğü gibi tabaklaşma sayısı yönlendirici olduğu durumda daha yüksektir. Ayrıca yönlendirici olması daha iyi ısı tabakalaşma olmasını sağlamaktadır.



Şekil 6. 203: Tabakalaşma sayısı yönlendirici olduğu ve olmadığı durumda (Şarj süresi=300 dak, $T_{giriş}=70^{\circ}C$ - $\dot{V}=2,8$ L/dak)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinde kazanılan enerjiyi depolamak için yaygın olarak kullanılan sıcak su depolarında (Akümülatör) en iyi ısıl tabakalaşmayı elde etmek ve deponun içindeki suyu istenilen yüksek sıcaklıklara en kısa sürede şarj etmek için, bu tez çalışmasında, literatürde yapılan uygulamalardan farklı bir uygulama yapılmıştır. Sıcak su deposu içerisine konulduğunda en iyi ısıl tabakalaşmayı sağlayan yönlendirici tip koni levhanın boyutsuz parametreleri belirlenmiş ve bu belirlenen yönlendirici imal edilerek deneysel olarak incelenmiştir.

Çözümü yapılan sıcak su depolama tank geometrisi içerisinde en iyi tabakalaşmanın olduğu tank modeli belirlenmiş ve en uygun tank konfigürasyonu ve dizayn parametreleri seçilmiştir (H/D).

Yapılan ilk sayısal çalışmada, depo içerisine konulacak olan serpantin borunun çapı ve bükme çapı araştırılmıştır. Piyasada bulunan 14 mm ve 16 mm iç çapa sahip bakır borulardan hangisinin kullanılacağını belirlenmesi için yapılan çalışma sonucunda, 14 ve 16 mm arasından en iyi ısıl tabakalaşmayı sağlayan 14 mm çapındaki bakır boru seçilmiştir. Serpantin borunun çapı seçildikten sonra depo içerisindeki bükme çapı 250, 300, 350 mm olarak değiştirilmiş ve serpantin borunun depo içinde olan alanı $0,69242 \text{ m}^2$ olarak sabit tutulup sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu analizler uyarınca en iyi ısıl tabakalaşmayı sağlayan 350 mm bükme çapına sahip serpantin boru seçilmiştir. Belirlenen parametrelere sahip serpantin boru ile yapılan şarj işlemleri sırasında, deponun üst kısmında olan suda homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilebilmiştir.

Depo içerisinde sıcaklık tabakalaşmasını iyileştirmek ve şarj süresini kısaltmak için, yönlendirici tip koni levha kullanılmıştır. Bu yönlendiricinin depo içerisinde serpantin borunun üst kısmına konulmasıyla, şarj süresince serpantin borunun etrafına ısınan su kütlelerinin yönlendiricinin dış kısmından geçerek soğuk su kütleleri ile karşılaşmadan deponun üstüne çıkarken, deponun üst kısmında bulunan soğuk su kütlelerinin de yönlendirici içerisinden geçerek serpantin boruların olduğu kısma inmesi amaçlanmıştır.

Sıcak su deposu içerisine koni konulması ile sıcaklık tabakalaşmasında oluşan farkın etkisini daha net görebilmek için, ilk olarak, depo içerisine yönlendirici koni konulmadan sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yapılan sayısal çalışmalarla, aynı şartlar altında depo içerisinde koni bulunması durumu sayısal olarak incelenmiştir. Bu noktada depo içerisindeki en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan yönlendiricinin boyutlarının belirlenebilmesi amacıyla değişik boyutsuz parametreler tanımlanmış ve bu boyutsuz parametrelerin sıcaklık tabakalaşmasına etkisi araştırılmıştır. İlk olarak incelenen boyutsuz parametre, h/H ' dir. Burada h koninin yüksekliği, H ise deponun yüksekliğini göstermektedir. Diğer boyutsuz parametreler sabit tutulup sadece bu parametrenin değiştirilmesi ile yapılan sayısal çalışma sonucunda, en iyi olduğu sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan h/H değeri 0,2119 olarak bulunmuştur. İkinci olarak incelenen boyutsuz parametre d_2/D ' dir. Burada d_2 koninin alt kısmının çapı, D ise deponun çapını göstermektedir. Diğer boyutsuz parametreler sabit tutulup sadece bu parametrenin değiştirilmesi ile yapılan sayısal çalışma sonucunda en iyi olduğu sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan d_2/D değeri 0,6136 olarak bulunmuştur. Üçüncü olarak incelenen boyutsuz parametre, d_1/D ' dir. Burada d_1 koninin üst kısmının çapını göstermektedir. Diğer boyutsuz parametreler sabit tutulup sadece bu parametrenin değiştirilmesi ile yapılan sayısal çalışma sonucunda, en iyi sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan d_1/D değeri 0,7954 olarak bulunmuştur. Son olarak incelenen boyutsuz parametre x/H ' dir. Burada x deponun tabanından konin alt kısmına kadar olan mesafeyi göstermektedir. Diğer boyutsuz parametreler sabit tutulup sadece bu parametrenin değiştirilmesi ile yapılan sayısal çalışma sonucunda, en iyi olduğu sıcaklık tabakalaşmasını sağlayan x/H değeri 0,478 olarak bulunmuştur.

Sayısal olarak depo içerisindeki en iyi ısı tabakalaşmanın oluşmasını sağlayan koni belirlendikten sonra, deney düzeneğinde kullanılmak üzere imal edilmiştir. Koninin olduğu ve olmadığı durumlar sayısal çalışmalarda incelendiği şartlarda deneysel çalışmalarda da incelenmiş ve iki çalışmada da birbirleriyle uyumlu sonuçlar bulunmuştur. Bu durumla ilgili yapılan iki çalışmanın tüm sonuçlarına bakıldığında, çalışmalar arasındaki en yüksek fark % 5,96 mertebesinde dir.

Yönlendirici koni kullanılması ile kullanılmadığı duruma göre depoda bulunan 250 litre suyun ortalama 3,9 °C daha fazla ısındığı her 180 dakikada gözlemlenmiştir. Yani günde 3,01 kW elektrik gücü tasarruf edilmektedir. Yapılan bu iyileştirme ile sıcak su deposunun verimi % 7,6 arttırılmıştır.

Çalışma sonuçlarının genel değerlendirilmesinden de görüleceği gibi, dik yerleştirilen sıcak su akümülatörlerinde sıcaklık tabakalaşmasının iyileştirilmesi olanaklıdır. Bunun için tüm parametrelerin dikkate alındığı ve tüm eklentilerin sıcaklık tabakalaşmasına etkiler araştırılması gerekir. Bu kapsamlı çalışmada gösterildiği gibi, parametrik etkilen hızlı bir biçimde gerçekleştirilen modellerde HAD analizleri ile çözümlenip, irdelenebilir. Tüm üreticilerin bu tür tasarımlar gerçekleştirilmesi, enerjinin verimli kullanılması anlamında da bir gerekliliktir.

Çalışmaya ek olarak, farklı tip yönlendiriciler tasarlanarak, bu uygun geometriler ile daha iyi sıcaklık tabakalaşması elde edilebilir ve böylelikle sıcak su deposundaki şarj süresi kısaltılabilir.

Yapılabilecek farklı çalışmalarda, depo içerisinde kullanılan akışkanlar yerine farklı akışkanlar kullanılarak analizler yapılabilir. Depo içerisinde kullanılan serpantin borunun malzemesinin ve tipinin değişmesinin de sıcaklık tabakalaşması üzerine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- A. Kiliç ve A. Öztürk, 1983**, Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul..
- Alizadeh S., 1999**, An Experimental and Numerical Study of Thermal Stratification in a Horizontal Cylindrical Solar Storage Tank, Solar Energy, 66 (6), 409-421 pp.
- Altuntop N., Arslan M. ve İğci A., 2005**, Sıcak Su Tanklarında Tanka Giren Sıcak Su Debisinin Değiştirilmesinin Sıcaklık Tabakalaşmasıüzerine Etkisinin Araştırılması, Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklar sempozyumu,Yeks'05, Kayseri.
- Andersen E and Furbo S. 1999**, Thermal De-Stratification İn Small Standard Solar Tanks Due to Mixing During Tapping, In Proceedings of the ISES solar world congress ,Volume III, 111–119 pp.
- ANSYS14.5.7, 2013**, Workbench Help.
- Archambeault, B. and Connor S., 2008**, Proper Model Validation is İmportant for all EMI/EMC Applications. Proc. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility EMC, 1-8 pp.
- Arif Hepbaşlı, 2010**, Enerji Verimliliği ve Yöntem Sistemi Yaklaşımlar ve Uygulamalar.
- Arslan M., Altuntop N. and Özceyhan V., 2005**, The effect of using different obstacles into thermal stratification in hot water storage tank with forced convection, Volume 25, Issues 14–15, 2285–2298 pp.
- Bahy Abdel Mesih and Janne Dragsted, 2007**, Thermal Stratification İnlet Stratifiers.
- Castell A, Medrano M, Solé M and Cabeza LF.,2010**, Dimensionless Numbers Used to Characterize Stratification in Water Tanks For Discharging at Low Flow Rates, Renew Energy, 35, 2192-2199 pp.
- Chan, A.M.C., Smereka, P.S. and Giusti, D., 1983**, A Numerical Study of Transient Mixed Convection Flows in a Thermal Storage Tank , Transactions of the ASME, Journal of Solar Energy Engineering, 105, 246–253 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Chan, A.M.C., Smerka, P.S. and Guisti, D., 1983,** A numerical study of transient mixed convection flows in a thermal storage tank, Transactions of The ASME, 105, 246-253 pp.
- Cònsul, R., Rodríguez, I., Pérez-Segarra, C. D. and Soria, M., 2004,** Virtual Prototyping of Storage Tanks by Means of Three-Dimensional CFD and Heat Transfer Numerical Simulations, Solar Energy, 77, 179-191 pp.
- Darci L. Savicki, Horácio A. Vielmo and Arno Krenzinger, 2011,** Three-Dimensional Analysis and Investigation of The Thermal and Hydrodynamic Behaviors of Cylindrical Storage Tanks, Renewable Energy, 36, 1364-1373 pp.
- Davidson, J.H., Adams, D.A. and Miller J.A., 1994,** A Coefficient to Characterize Mixing in Solar Water Storage Tanks, Solar Energy, 116, 94-99 pp.
- Dharuman C., Arakeri J. H. and Srinivasan K, 2006,** Performance Evaluation of an Integrated Solar Water Heater as an Option For Building Energy Conservation, Energy and Buildings, 38, 214-219 pp.
- Duffie JA and Beckman WA. , 2006,** Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd ed, Madison,US,John Wiley&Son.
- Eames, P.C. and Norton, B. 1998,** The Effect of Tank Geometry on Thermally Stratified Sensible Heat Storage Subject to Low Reynolds Number Flows, Journal of Heat Transfer, 41(14) 2131-2142 pp.
- Farrington, R. B. and Bingham C. E., 1987,** Testing and Analysis of Load – Side Immersed Heat Exchanger for Solar Domestic Hot Water Systems, Technical report, Solar Energy Research Institute, USA.
- Fernndez-Seara J, Uha FJ and Sieres J. 2007,** Experimental Analysis of a Domestic Electric Hot Water Storage Tank Part II. Dynamic Mode of Operation. Applied Thermal Engineering, 27,137–44 pp.
- Fernndez-Seara, Uha FJ and Sieres J., 2007,** Experimental Analysis of a Domestic Electric Hot Water Storage Tank Part I. Static Mode of Operation. Applied Thermal Engineering, 27,129–36 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Frank P.İncropera and David P. Dewitt, 2000**, Heat and Mass Transfer, 4th ed.
- Ghaddar NK. , 1994**, Storage Tank Influence on Performance of Solar Water Heating System, Renew Energy, 4(8), 911–925 pp.
- Hadi Taheri, 2014**, Numerical Investigation of Stratified Thermal Storage Tank Applied in Adsorption Heat Pump Cycle, PhD thiese.
- Hahne, E. And Chen, Y., 1998**, Numerical Study of Flow and Heat Transfer Characteristics in Hot Water Stores, Solar Energy, 64, 1-3, 9-18 pp.
- Hariharan, K. and Badrinarayana K. , 1991**, Temperature Stratification in Hot Water Storage Tanks. Solar Energy, 16 (7), 977-982 pp.
- Hegazy, A.A. and Diab, M.R., 2002**, Performance of an Improved Design For Storagetype Domestic Electrical Water-Heaters, Applied Energy, 71, 287-306 pp.
- Hollands K.G.T. and Lightstone M.F., 1989**, A Review of Low-Flow Stratified-Tank Solar Water Heating Systems, Solar Energy, 43, 97–105 pp.
- Hollands KGT and Lightstone MF. 1989**, A review of Low-Flow, Stratified-Tank Solar Water-Heating Systems. Solar Energy 43, 97–105 pp.
- İbrahim Dinçer and Rosen, M.A. , 2002**, Thermal Energy Storage Systems and Applications, John Willey and Sons Ltd., England, 94-294 pp.
- İmdat Zafer Pektemir, 2011**, Mantolu Sıcak Su Tanklarında Sıcaklık Tabakalasmaının İncelenmesi, MSc Tezi, , Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Issa, M. and Al-Nimr, M. 1989**, Temperature Distribution Inside Hot Water Storage Tanks Of Solar Collectors, Journal of Solar Energy Engineering, 111, 311-317 pp.
- Jae Dong Chunga, Sung Hwan Chob, Choon Seob Taec and Hoseon Yo , 2008**, The effect of diffuser configuration on thermal stratification in a rectangular storage tank , Renewable Energy, 33, 2236–2245 pp.
- Jesch, L.F. and Braun, J.E., 1984**, Variable Volume Storage and Stratified Storage for Improved Water Heater Performance, Solar Energy, 33, 1, 83-87 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- K.R. Rajagopal, M. Ruzicka and A.R. Srinivasa, 1996**, On the Oberbeck-Boussinesq Approximation, Math. Models Methods Appl. Sci. 6 , 1157-1167 pp.
- Kilik, Z.E. , 2004**, Distan Gömlekli Düşey Sıcak Su Tanklarındaki Sıcaklık Tabakalasmaının İncelenmesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, MSc, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 93 s.
- Kleinbach, E.M., Beckman, W.A. and Klein, S.A., 1993**, Performance study of one dimensional models for stratified thermal storage tanks, Solar Energy, 50, 2, 155-166 pp.
- Lana Kenjo , Christian Inard and Dominique Caccavelli, 2007**, Experimental and Numerical Study of Thermal Stratification in a Mantle Tank of a Solar Domestic Hot Water System, Applied Thermal Engineering, 27 , 1986–1995 pp.
- Lavan Z. and Thompson J., 1977**, Experimental Study of Thermally Stratified Hot Water Storage Tanks, Solar Energy, 19(5), 519–524 pp.
- Louise Jivan Shah, 2005**, Smart Solar Tanks For Small Solar Domestic Hot Water Systems, Solar Energy, 78, 269–279 pp.
- Louise Jivan Shah and Simon Furbo, 2003**, Entrance Effects in Solar Storage Tanks, Solar Energy, 75, 337–348 pp.
- M. A. Abdoly and D. RAPP, 1982**, Theoretical and Experimental Studies of Stratified Thermocline Storage of Hot Water, Energy Convers. Mgmt Vol. 22, pp, 275 – 285 pp.
- Marc a. Rosen, 2001**, The Exergy of Stratified Thermal Energy Storages, Solar Energy, Vol. 71, No. 3, 173–185 pp.
- Mevlüt Arslan, 2006**, Su ile Isıl Enerji Depolanmasında Sıcaklık Tabakalaşmasının Sayısal ve Deneysel Olarak Araştırılması, doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Michel Y. Haller, Cynthia A. Cruickshank, Wolfgang Streicher, Stephen J. Harrison, Elsa Andersen and Simon Furbo, 2009**, Methods to Determine Stratification Efficiency of Thermal Energy Storage Processes- Review and theoretical comparison, Solar Energy , 83 , 1847–1860 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Mo, Y. and Miyatake O., 1996**, Numerical Analysis of The Transient Turbulent Flow Field in a Thermally Stratified Thermal Storage Water Tank, Numerical Heat Transfer, Part A, 30, 649-667 pp.
- Morrison, G., Nasr, A., Behnia, M. and Rosengarten, G., 1998**, Analysis of Horizontal Mantle Heat Exchangers in Solar Water Heating Systems, 64 (1-3), 19-31 pp..
- Murthy, S.S. , Nelson, J.E.B. and Rao T.L.S. , 1992**, Effect of Wall Conductivity on Thermal Stratification, Solar Energy, 49 (4), 273-277 pp.
- Nathan Devore, Henry Yip and Jinny Rhee, 2013**, Domestic Hot Water Storage Tank Design and Analysis for Improving Thermal Stratification,
- Necdet Altuntop. , Kilik, Z. , Özceyhan, V. and Kincay O. , 2006**, Effect of Water Inlet Velocity on Thermal Stratification in a Mantled Hot Water Storage Tank, İnternational Journal of energy research, 30, 163-176 pp.
- P. Geczy-Vig and I. Farkas, 2010**, Neural network Modelling of Thermal Stratification in a Solar DHW Storage, Solar Energy, 84, 801–806 pp.
- Patrice Pinel, Cynthia A. Cruickshank and A. Wills, 2011**, A Review of Available Methods for Seasonal Storage of Solar Thermal Energy in Residential Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 3341– 3359 pp.
- Paykoç, E. and Kakaç S., 1988**, Solar Thermal Energy Storage, ASI on Energy Storage Systems: Fundamentals and Applications, İzmir, Turkey, 451-489 pp.
- R.Consul, I.Rodriguez and C.D.Perez-Segerra, M. Soria, 2004**, Virtual - Prototyping of Storage Tanks by Means of Three-Dimensional CFD and Heat Transfer Numerical Simulations, Solar Energy, 77, 179-91 pp.
- Roman Spur, Dusan Fiala, Dusan Nevrala and Doug Probert, 2006**, Performances of Modern Domestic Hot-Water Stores, Applied Energy, 83, 893–910 pp.
- Shah L. J., 2000**, Heat Transfer Correlations for Vertical Mantle Heat Exchangers, Solar Energy, 69 , 157-171 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Shuhong Li, Yongxin Zhang, Kai Zhang, Xianliang Li, Yang Li and Xiaosong Zhang, 2014**, Study on Performance of Storage Tanks in Solar Water Heater System in Charge and Discharge Progress, Energy Procedia 48,384 – 3932014.
- Shyu RJ, Lin JY, and Fang LJ. 1989**, Thermal Analysis of Stratified Storage Tanks. ASME Journal of Solar Energy Engineering,111, 54–61 pp.
- Simon Furbo, Elsa Andersen, Soren Knudsen, Niels Kristian Vejen, 2005**, Performance Improvement by Discharge From Different Levels In Solar Storage Tanks, Solar Energy,79, 431–439 pp.
- Suhas.V and Patankar, 1980**, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill, NewYork, 79-109 pp.
- Tokgöz, N. , 2008**, İçerisine Engel Yerleştirilmiş Mantolu Sıcak Su Tanklarında Sıcaklık Tabakalaşmasının Sayısal Olarak İncelenmesi. , MSc Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Ulrike Jordan and Furbo S, 2005**, Thermal Stratification in Small Solar Domestic Storage Tanks Caused by Draw-Offs, Solar Energy, 78 (2), 291–300 pp.
- Utku Şentürk, Hasan Koçyiğit ve Ali Güngör, 2012**, Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinde Kullanılan Depoların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle İncelenmesi Ve İyileştirmelerinin İrdelenmesi.
- Van Koppen CWJ, Thomas JPX and Veltkamp WB, 1979**, The Actual Benefits of Thermally Stratified Storage in A Small and Medium Size Solar System, In Proceedings of ISES solar World congress, 579–580 pp.
- Yoo H and Pak E., 1993**, Theoretical Model of the Charging Process for Stratified Thermal Storage Tanks. Solar Energy,51,513-519 pp.
- Yoo H. and Kim C.J. and Kim C., 1998**, Approximate Analytical Solutions For Stratified Thermal Storage Under Variable Inlet Temperature, Solar Energy, 66, 47–56 pp.
- Yunus Çengel ve John M.Cimbala ,2008**, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, birinci baskıdan çeviri.
- Yunus Çengel,2012**, Isı ve kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım, 3. Baskı.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

Zachar, A., Farkas, I. and Szlivka, F., 2003, Numerical Analyses of the Impact of Plates for Thermal Stratification Inside a Storage Tank With Upper and Lower Inlet Flows, *Solar Energy*, 74, 287-302 pp.

Zurigat Y.H., Liche, P.R. and Ghajar A.J., 1990, Influence of The Inlet Geometry On Mixing in Thermocline Thermal Energy Storage, *International Journal of Heat Mass Transfer* 34, 115–125 pp.

EKLER

Ek. 1 Deneyisel işlemlerde kullanılan cihazların hassasiyet tablosu

Ek.2 Belirsizlik Analizi

Ek.3 Sayısal ve deneyisel çalışmalar arasındaki yüzdesel hata miktarı

Ek.4 Sayısal ve deneyisel çalışmalar arasındaki yüzdesel hata miktarı

Ek.5 Tabakalaşma sayısı

Ek. 1

Deneyisel işlemlerde kullanılan cihazların hassasiyet tablosu

No	Cihaz	Hassasiyet
1-	J- tipi termokople	$\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
2-	Debi metre	$\pm 0,0275\text{ L/dak}$
3-	Termo rezistansı Pt-100	$\pm 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ek.2 Belirsizlik Analizi

Bir değerin ölçülmesinde ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı yapılabilir. R değeri $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ bağımsız değişkenlerine bağlı bir fonksiyon iken, bu farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan W_R belirsizliği şu şekilde elde edilir (Arif,2010)

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_{x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ek2.1})$$

Burada $W_{x_1}, W_{x_2}, W_{x_n}$ bağımsız değişkenlerin belirsizliğidir.

Eşitlikte bulunan türev ifadeleri bulunarak yerine yazılır ve R değeri bölünürse, R değeri için toplam belirsizlik;

$$\frac{W_R}{R} = \left[\left(\frac{W_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{W_{x_2}}{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{W_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ek2.2})$$

Olarak bulunur

Deneysel çalışmalar kapsamında ölçülen değerler ile serpantin boru tarafından aktarılan ısı (Q_{HX}) ve akümülatörde biriktiren ısı (Q_{depo}) hesaplanmıştır.

Serpantin boru tarafından aktarılan ısı (Q_{HX})

$$Q_{HX} = \dot{V} \rho C_P (T_{giriş} - T_{çıkış}) \quad (\text{Ek2.3})$$

Denklem (Ek 2.3) görüldüğü gibi ölçülen değerler cinsinden ısı fonksiyonu $Q_{HX} = f(\dot{V}, \rho, C_P, T_{giriş}, T_{çıkış})$ olarak yazılabilir Serpantinden aktarılan ısı için belirsizlik ifadesi ise aşağıda gibi olmaktadır.

$$W_{Q_{HX}} = \left[\left(\frac{\partial Q_{HX}}{\partial \dot{V}} W_{\dot{V}} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{HX}}{\partial \rho} W_{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{HX}}{\partial C_P} W_{C_P} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{HX}}{\partial T_{giriş}} W_{T_{giriş}} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{HX}}{\partial T_{çıkış}} W_{T_{çıkış}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ek2.4})$$

Eşitlik belirlenen türev ifadeleri bulunduktan sonra denklemden Q_{HX} çekilerek serpantinden aktarılan ısı için yüzdesel belirsizlik bulunur.

$$\frac{W_{QHX}}{Q_{HX}} = \left[\left(\frac{W_{\dot{V}}}{\dot{V}} \right)^2 + \left(\frac{W_{\rho}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{W_{C_P}}{C_P} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_{giris}}}{T_{giris}} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_{çıkış}}}{T_{çıkış}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (Ek2.5)$$

Denklem 5.6

$$\frac{W_{\dot{V}}}{\dot{V}} = [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2]^{1/2} = [(0,0225)^2 + (2)^2 + (0,5)^2]^{1/2} = \pm \%2,06$$

Denklem 5.3' ten

$$\frac{W_{T_{giris}}}{T_{giris}} = [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2 + (D)^2 + (E)^2]^{1/2} = [(0,5)^2 + (0,01)^2 + (0,3)^2 + (0,1)^2 + (0,01)^2]^{1/2} = \pm \% 0,591$$

Denklem 5.4' ten

$$\begin{aligned} \frac{W_{T_{çıkış}}}{T_{çıkış}} &= [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2 + (D)^2 + (F)^2]^{1/2} \\ &= [(0,5)^2 + (0,01)^2 + (0,3)^2 + (0,1)^2 + (0,01)^2]^{1/2} \\ &= \pm \% 0,591 \end{aligned}$$

Fiziksel değerlerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek

$$\text{belirsizlik } \frac{W_{\rho}}{\rho} = \frac{W_k}{k} = \frac{W_{C_P}}{C_P} = \frac{W_v}{v} = \pm \%0,1$$

Bu belirsizlik değerleri denklen Ek2.5 yerlerine konur ise:

$$\begin{aligned} \frac{W_{QHX}}{Q_{HX}} &= \left[\left(\frac{W_{\dot{V}}}{\dot{V}} \right)^2 + \left(\frac{W_{\rho}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{W_{C_P}}{C_P} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_{giris}}}{T_{giris}} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_{çıkış}}}{T_{çıkış}} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= [(2,06)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,59)^2 + (0,59)^2]^{1/2} \\ &= \pm \% 2,22 \end{aligned}$$

Akümülatör içinde depolanan ısı

$$Q_{depo} = \rho V C_P (T_j^{t+\Delta t} - T_j^t) \quad (Ek2.6)$$

Denklem (Ek2.6) görüldüğü gibi ölçülen değerler cinsinden ısı

fonksiyonu $Q_{depo} = f(V, \rho, C_P, T_j)$ olarak yazılabilir

Akümülatörde depolanan ısı için belirsizlik ifadesi ise aşağıda gibi olmaktadır

$$W_{Q_{depo}} = \left[\left(\frac{\partial Q_{depo}}{\partial V} W_V \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{depo}}{\partial C_P} W_{C_P} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{depo}}{\partial \rho} W_{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{depo}}{\partial T_j} W_j \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (\text{Ek2.7})$$

Eşitlik belirlenen türev ifadeleri bulunduktan sonra denklemden Q_{depo} çekilerek serpantinden aktarılan ısı yüzdesel belirsizlik bulunur.

$$\frac{W_{Q_{depo}}}{Q_{depo}} = \left[\left(\frac{W_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{W_{C_P}}{C_P} \right)^2 + \left(\frac{W_{\rho}}{T_{\rho}} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_j}}{T_j} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (\text{Ek2.8})$$

Denklem 5.5' ten

$$\begin{aligned} \frac{W_{T_j}}{T_j} &= [(A)^2 + (B)^2 + (C)^2 + (D)^2 + (G)^2]^{1/2} \\ &= [(0,5)^2 + (0,01)^2 + (0,3)^2 + (0,1)^2 + (0,5)^2]^{1/2} \\ &= \pm \% 0,774 \end{aligned}$$

Fiziksel değerlerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek

$$\text{belirsizlik } \frac{W_{\rho}}{\rho} = \frac{W_k}{k} = \frac{W_{C_P}}{C_P} = \frac{W_v}{v} = \pm \% 0,1$$

Bu belirsizlik değerleri denklen Ek2.8 yerlerine konur ise:

$$\begin{aligned} \frac{W_{Q_{depo}}}{Q_{depo}} &= \left[\left(\frac{W_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{W_{C_P}}{C_P} \right)^2 + \left(\frac{W_{\rho}}{T_{\rho}} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_j}}{T_j} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= [(1,5)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,77)^2]^{1/2} \\ &= \pm \% 1,69 \end{aligned}$$

Ek.3 Sayısal ve Deneysel Çalışmalar Arasındaki Yüzdesel Hata Miktarı

Depo içerisinde yönlendirici koni tip levha olmadığı durumda yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda farklı noktalardaki ölçülen yüzdesel değişim (Şarj süresi=300 dak, $T_{giriş}= 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve debi=2,8 L/dak)

Zaman[s]	20 cm			30 cm			40cm			50cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	36,86651	35,5429	3,7239786	38,7925	39,1958	1,0289368	38,97662	40,2885	3,2562146	39,04025	40,65723	3,9771032
120dak	48,41222	49,9717	3,1207263	50,77779	52,7164	3,6774324	50,80807	52,99485	4,126401	50,82226	53,45339	4,9222884
180dak	55,36279	58,4887	5,3444682	57,93346	60,3848	4,0595315	57,94552	60,2985	3,9022198	57,94991	60,35132	3,9790513
240dak	59,5201	63,2983	5,9688807	62,19549	64,7235	3,9058611	62,21786	64,5006	3,5390989	62,2535	64,65003	3,7069279
300dak	64,05123	66,0037	2,958122	64,27465	67,3469	4,5618284	64,73605	67,00185	3,3816977	64,75298	67,14928	3,5686161

Zaman[s]	60 cm			65cm			70cm			75cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	39,05688	41,26308	5,3466683	39,07351	41,05838	4,8342628	39,12057	41,5026	5,7394717	39,05688	41,26308	5,3466683
120dak	50,82211	53,71392	5,3837255	50,80547	53,57838	5,1754271	50,80074	53,73432	5,4594159	50,82211	53,71392	5,3837255
180dak	57,92834	60,74262	4,6331225	57,90636	60,68974	4,5862447	57,89419	60,552	4,3893018	57,92834	60,74262	4,6331225
240dak	62,31933	64,85943	3,9163156	62,29473	64,89646	4,0090476	62,21163	64,96344	4,2359364	62,31933	64,85943	3,9163156
300dak	64,77224	67,16886	3,5680522	64,77984	67,09998	3,4577358	64,78179	67,0689	3,4100902	64,77224	67,16886	3,5680522

Zaman[s]	80 cm			85cm			95cm			100cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	39,05361	41,21885	5,2530335	39,02499	41,24147	5,3743962	38,83678	41,25089	5,8522616	38,77557	41,2154	5,9197048
120dak	50,86456	53,96076	5,7378732	50,87347	53,88305	5,5853928	50,94353	53,79214	5,2955878	50,97225	53,7854	5,2303227
180dak	57,89236	60,58254	4,4405203	57,89407	60,60516	4,473365	57,90878	60,71491	4,6218137	57,91521	60,8246	4,7832456
240dak	62,1657	65,09739	4,5035446	62,17181	65,12001	4,5273335	62,24523	65,0291	4,2809604	62,29888	65,04812	4,2264711
300dak	64,77865	67,10399	3,4652783	64,77877	67,22694	3,6416502	64,75701	67,33669	3,8310169	64,73415	67,26044	3,755982

Zaman[s]	115 cm			125cm			135cm			140cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	38,66912	40,41284	4,3147673	38,6307	40,57292	4,786986	38,63509	40,61153	4,8666967	38,71075	40,48824	4,390139
120dak	50,93862	53,31542	4,4579973	50,83865	53,56772	5,0946167	50,76287	53,41537	4,9657992	50,71658	53,445	5,1050987
180dak	57,92715	60,51686	4,2793198	57,93328	60,56492	4,3451556	57,9417	60,71756	4,5717582	57,95507	60,4758	4,1681631
240dak	62,32528	65,01776	4,1411454	62,25088	64,8632	4,02743	62,20748	64,81879	4,0286312	62,19161	64,59384	3,7189769
300dak	64,66894	67,11818	3,6491454	64,66839	67,06232	3,5697095	64,67422	67,01945	3,4993274	64,67242	67,10484	3,6248056

Zaman[s]	150cm			155cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	39,2598	41,11334	4,5083664	39,26711	41,32579	4,9815866
120dak	51,68111	53,54682	3,4842592	51,67812	53,82127	3,9819759
180dak	58,00063	60,56572	4,2352175	58,00896	60,87517	4,70834
240dak	62,19933	64,67679	3,8305241	62,20007	65,20828	4,6132332
300dak	64,65032	67,18354	3,7705962	64,64599	67,42522	4,1219443

Ek.4 Sayısal ve Deneysel Çalışmalar Arasındaki Yüzdesel Hata Miktarı

Deneysel ve sayısal ile yüzdesel değişimi yönlendirici olduğu durumda 300 dak şarj için $T_{giriş} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, debi=2,8 L/dak

Zaman[s]	30 cm			40cm			50cm			60cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	40,36198	41,6174	3,0165748	42,50185	42,58965	0,2061534	42,59334	43,35642	1,7600162	42,65117	43,4721	1,8884066
120dak	53,13731	55,3398	3,9799385	54,97206	55,8963	1,6534905	55,01869	56,05261	1,8445528	55,06532	56,22417	2,0611242
180dak	59,87517	62,7055	4,513687	61,3593	62,79975	2,2937193	61,41972	63,05051	2,5864819	61,48274	63,15246	2,6439508
240dak	63,48848	67,0442	5,303546	64,71394	66,9018	3,2702558	64,75053	67,04931	3,4284917	64,75392	67,16886	3,5953268
300dak	65,37843	69,0622	5,3339888	66,54262	69,00285	3,5654035	66,57005	68,84877	3,3097469	66,59386	68,87583	3,3131652

Zaman[s]	70 cm			80cm			90cm			100cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	42,70857	43,20702	1,153632	42,6028	43,32578	1,6687063	42,62648	44,31692	3,8144348	42,65865	43,42772	1,7709196
120dak	55,13383	55,94004	1,4412038	55,06667	56,06769	1,7853776	55,12785	56,58176	2,5695737	55,2245	55,7966	1,0253313
180dak	61,50136	62,85798	2,1582303	61,45515	63,09079	2,5925179	61,45863	63,60437	3,3735732	61,46187	62,8358	2,1865402
240dak	64,79402	66,86838	3,1021538	64,73979	66,90333	3,2338301	64,7563	67,36295	3,8695603	64,80043	66,95876	3,2233721
300dak	66,59132	68,67306	3,031378	66,57906	68,60894	2,9586232	66,58241	69,14333	3,7037846	66,59016	68,66828	3,0263172

Zaman[s]	110 cm			120cm			130cm			140cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	42,71828	42,58812	0,3056251	42,79951	42,59898	0,470739	42,85799	42,69544	0,3807198	42,86751	42,79836	0,1615716
120dak	55,30531	55,58422	0,5017791	55,31825	55,50801	0,3418606	55,28358	55,59879	0,5669368	55,10777	55,55424	0,803665
180dak	61,4662	62,58212	1,7831291	61,46919	62,61298	1,8267618	61,44856	62,50058	1,6832164	61,42928	62,28372	1,3718513
240dak	64,84593	66,38098	2,3124847	64,85255	66,41564	2,3534969	64,84032	66,60165	2,6445741	64,82619	66,5022	2,5202324
300dak	66,59608	68,38038	2,6093742	66,5941	68,41704	2,6644532	66,58257	68,50214	2,8022044	66,58015	68,511	2,8183065

Zaman[s]	110 cm			120cm		
	Sayısal	Deneysel	Fark%	Sayısal	Deneysel	Fark%
60dak	42,8224	43,01847	0,455781	42,76503	43	0,5464419
120dak	55,05116	55,55222	0,9019622	55,03847	55,7	1,1876661
180dak	61,43712	62,57112	1,8123377	61,45399	62,5	1,673616
240dak	64,81053	66,58192	2,660467	64,84276	66,7	2,7844678
300dak	66,57668	68,38678	2,6468566	66,59535	68,2	2,3528592

Ek.5 Tabakalaşma Sayısı

Zaman	Yönlendirici olduğu durumda	Yönlendirici olmadığı durumda
60 dak	0,776056	0,710103
120 dak	0,964479	0,824641
180 dak	0,952932	0,770787
240 dak	0,89948	0,713769
300 dak	0,797093	0,590127