



**BULAŞIK MAKİNESİ GRİ SU ISISININ PARAFİN
VE ÇELİK SÜNGER DESTEKLİ ISI EŞANJÖRÜ
İLE GERİ KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Yunus TAŞKIN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ**

**BULAŞIK MAKİNESİ GRİ SU ISISININ PARAFİN VE ÇELİK SÜNGER
DESTEKLİ ISI EŞANJÖRÜ İLE GERİ KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Yunus TAŞKIN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2022**

Yunus TAŞKIN tarafından hazırlanan “BULAŞIK MAKİNESİ GRİ SU ISISININ PARAFİN VE ÇELİK SÜNGER DESTEKLİ ISI EŞANJÖRÜ İLE GERİ KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/12/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Tayfun MENLİK (GÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Yunus TAŞKIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BULAŞIK MAKİNESİ GRİ SU ISISININ PARAFİN VE ÇELİK SÜNGER DESTEKLİ ISI EŞANJÖRÜ İLE GERİ KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI

Yunus TAŞKIN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

Aralık 2022, 92 sayfa

Bulaşık makineleri evlerimizde işimizi kolaylaştıran ve su tüketimini azaltan ev aletlerindedir. Bulaşık makineleri haznelerindeki suyu ısıtarak hijyenik bir yıkama gerçekleştirir. Suyu ısıtmak için elektrik enerjisi kullanılır. Bulaşık makinesinin suyu ısıtmak için kullandığı enerji tüketimini azaltmak kullanımlarını daha cazip hale getirebilir. Bu çalışmada, bulaşık makinesinde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla yıkama ve durulamalardan sonra deşarj edilen gri su ısıtma enerjisini parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü kullanılarak besleme suyuna aktarılması deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler bulaşık makinesinin yüklü olmadığı durumda ve Ekonomik 50 °C, Hızlı 60 °C, Süper 70 °C programlarında gerçekleştirildi. Her bir program için çalışma süresi, sıcaklık değişimleri ve enerji tasarruf miktarı incelenerek değerlendirilmiştir.

Çalışmalar sonucunda bulaşık makinesine ısı eşanjörü bağlanmış vaziyette Ekonomik 50 °C için %3,8, Hızlı 60 °C için %5 ve Süper 70 °C için %6,5 enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Bulaşık makinesi ısı eşanjörü ile çalışması durumunda ortalama bir aile için yıllık enerji tasarruf miktarı Ekonomik 50 °C programında 7,14 kWh, Hızlı 60 °C programında 12,45 kWh ve Süper 70 °C programında 22,96 kWh olarak belirlenmiştir. Her bir program için yıllık CO₂ salınımları grafik haline getirilmiş ve karşılaştırılmıştır. CO₂ emisyonunun Ekonomik 50 °C programı için 3,96 kg CO₂/yıl, Hızlı 60 °C programı için 6,9 kg CO₂/yıl ve Süper 70 °C program için 12,74 kg CO₂/yıl azaldığı belirlenmiştir. Bulaşık makinesinde parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün kullanımı enerji tasarrufu sağlamış ve CO₂ emisyonunu azaltmıştır.

Anahtar Sözcükler : Enerji verimliliği, ısı transferi, ısı eşanjörü, atık ısı geri kazanımı, parafin, çelik sünger.

Bilim Kodu : 91408

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF RECOVERY OF DISHWASHER GREYWATER HEAT WITH PARAFFIN AND STEEL SPONGE SUPPORTED HEAT EXCHANGER

Yunus TAŞKIN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Selçuk SELİMLİ

December 2022, 92 pages

Dishwashers are household appliances that make our household chores easier and reduce water consumption. Dishwashers perform hygienic cleaning by heating the water in their chambers. Electric energy is used to heat the water. Reducing the energy consumption of dishwashers to heat water can make their use more attractive. In this study, to save energy in dishwashers, the transfer of thermal energy from the greywater discharged after washing and rinsing to the feed water was experimentally investigated using a heat exchanger with paraffin and steel sponge supported. The experiments were carried out with the dishwasher unloaded and with the programs Economic 50 °C, Fast 60 °C, Super 70 °C. For each program, the working time, temperature changes and the amount of energy savings were investigated and evaluated. As a result of the tests, it was determined that with the heat exchanger connected to the dishwasher, energy savings of 3.8% at Economic 50 °C, 5% at Fast 60 °C and 6.5% at Super 70.

In the case of the dishwasher operating with a heat exchanger, the annual energy savings for an average family is 7.14 kWh in the Economic 50 °C program, 12.45 kWh in the Fast 60 °C program, and 22.96 kWh in the Super 70 °C program. Annual CO₂ emissions for each program were graphed and compared. It was found that CO₂ emissions decreased by 3.96 kg CO₂/year for the Economic 50 °C program, 6.9 kg CO₂/year for the Fast 60 °C program, and 12.74 kg CO₂/year for the Super 70 °C program. The use of paraffin and a steel sponge supported heat exchanger in the dishwasher saved energy and reduced CO₂ emissions.

Key Word : Energy efficiency, heat transfer, heat exchanger, waste heat recovery, paraffin, steel sponge.

Science Code : 91408

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmanın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda lisans üstü eğitimim boyunca benden ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ'ye yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Arş. Gör. Abdullah DAĞDEVİREN'e teşekkür ederim.

Yalnızca yüksek lisans tezim süresince değil hayatımın her anında bana destek veren yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3	10
ISI DEĞİŞTİRİCİLER.....	10
3.1. ATIK ISI GERİ KAZANIMINDA KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLER 10	
3.1.1. Reküperatörler	11
3.1.2. Rejeneratörler	11
3.1.3. Atık Isı Kazanları.....	11
3.1.4. Ekonomizerler.....	12
3.2. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	13
3.2.1. Akış Şekline Göre Sınıflandırma.....	13
3.2.1.1. Tek Geçişli Isı Değiştiriciler	13
3.2.1.2. Çok Geçişli Isı Değiştiriciler	15
3.2.2. Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflama	16
3.2.3. Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflama	16

3.2.3.1. İki Tarafı Tek Fazlı Akış.....	16
3.2.3.2. Bir Tarafı Tek Fazlı Diğer Tarafı Çift Fazlı Akış.....	17
3.2.3.3. İki Tarafı Çift Fazlı Akış.....	17
3.2.3.4. Taşınım ve Işınımın Beraber Isı Geçişi.....	17
3.2.4. Isı Transfer Şekillerine Göre Sınıflama	17
3.2.4.1. Akışkanlar Arasında Doğrudan Temasin Olduğu Isı Değiştiricileri	17
3.2.4.2. Akışkanlar Arasında Doğrudan Temasin Olmadığı Isı Değiştiriciler ..	18
3.2.5. Konstrüksiyon Geometrisine Göre Sınıflama.....	18
3.2.5.1. Borulu Isı Değiştiriciler	18
3.2.5.2. Levhalı Isı Değiştiriciler	20
3.2.5.3. Rejeneratif Isı Değiştiriciler.....	22
BÖLÜM 4	23
TERMAL ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ.....	23
4.1. ISIL YÖNTEMLER	24
4.1.1. Duyulur Isı Depolama.....	24
4.1.1.1. Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama	25
4.1.1.2. Katı Ortamda Duyulur Isı Depolama	26
4.1.2. Gizli Isı Depolama	27
4.1.2.1. Parafinler	27
4.1.2.2. Tuz Hidratları	28
4.1.2.3. Yağ Asitleri	29
4.1.2.4. Ötektik Karışımlar	29
BÖLÜM 5	31
MATERYAL VE YÖNTEM	31
5.1. SAYISAL YÖNTEM	31
5.2. DENEYSEL YÖNTEM	34
5.2.1. Sistem Tanımı ve Kullanılan Ekipmanlar	34
5.2.1.1. Ev Tipi Bulaşık Makinesi	35
5.2.1.2. Parafin ve Çelik Sünger Destekli Isı Eşanjörü.....	37
5.2.1.3. Ölçüm Cihazları ve Ölçüm Alınan Noktalar	45

BÖLÜM 6	50
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	50
6.1. BULAŞIK MAKİNESİ PROGRAMLARININ İNCELENMESİ	51
6.1.1. Ekonomik 50 °C Programının İncelenmesi	51
6.1.1.1. Ekonomik 50 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi	51
6.1.1.2. Ekonomik 50 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi.....	52
6.1.2. Hızlı 60 °C Programının İncelenmesi.....	53
6.1.2.1. Hızlı 60 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi .	53
6.1.2.2. Hızlı 60 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi	54
6.1.3. Süper 70 °C Programının İncelenmesi	55
6.1.3.1. Süper 70 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi	55
6.1.3.2. Süper 70 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi	56
6.1.4. Isı Eşanjörlü Ekonomik 50 °C Programının İncelenmesi.....	57
6.1.4.1. Isı Eşanjörlü Ekonomik 50 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi.....	57
6.1.4.2. Isı Eşanjörlü Ekonomik 50 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi	64
6.1.5. Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C Programının İncelenmesi	65
6.1.5.1. Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi	65
6.1.5.2. Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi	71
6.1.6. Isı Eşanjörlü Süper 70 °C Programının İncelenmesi	72
6.1.6.1. Isı Eşanjörlü Süper 70 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi	72
6.1.6.2. Isı Eşanjörlü Süper 70 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi	80
6.2. BULAŞIK MAKİNESİNİN YILLIK ENERJİ TÜKETİMİNİN VE KARBON SALINIMININ İNCELENMESİ	81

BÖLÜM 7	84
SONUÇLAR	84
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Reküperatör.	11
Şekil 3.2. Ekonomizer.	12
Şekil 3.3. Paralel akışlı ısı değiştirici.	14
Şekil 3.4. Ters akışlı ısı değiştirici.	14
Şekil 3.5. Çapraz akışlı ısı değiştirici.	15
Şekil 3.6. Çok geçişli gövde borulu ısı değiştirici.	16
Şekil 3.7. Akışkanın doğrudan temasta olduğu ısı değiştiricisi.	18
Şekil 3.8. Borulu ısı değiştirici.	19
Şekil 3.9. Gövde borulu ısı değiştirici.	19
Şekil 3.10. Levhalı ısı değiştirici.	20
Şekil 4.1. Isı depolama yöntemleri.	23
Şekil 4.2. Organik ve inorganik FDM'lerin karşılaştırılması.	30
Şekil 5.1. Sistem akışkan hatları ve bağlantıları.	34
Şekil 5.2. Ev tipi bulaşık makinesi.	35
Şekil 5.3. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün gövde plakaları.	38
Şekil 5.4. Hücrelerin bakır boruya olan montajı.	39
Şekil 5.5. Hücrelerin ve bakır borunun gövdeye olan montajı.	39
Şekil 5.6. Isı depolama yöntemleri.	40
Şekil 5.7. Her bir hücrede bulunan 100 g talaş halindeki parafin.	42
Şekil 5.8. Parafinin her bir hücreye dolumu.	42
Şekil 5.9. 100g çelik sünger.	43
Şekil 5.10. Çelik süngerin ısı eşanjörüne olan montajı.	43
Şekil 5.11. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü ve seramik yünü.	44
Şekil 5.12. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün yalıtımlı hali.	44
Şekil 5.13. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün ve ölçüm cihazlarının bulaşık makinesine olan montajı.	45
Şekil 5.14. YF-S201 su akış sensörünün bulaşık makinesi şebeke suyu giriş bağlantısı.	46
Şekil 5.15. Elimko 680 datalogger.	46

Şekil 5.16. Polaxtor dijital wattmetre.	47
Şekil 5.17. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün bulaşık makinesine olan bağlantı şeması ve sıcaklık ölçümü yapılan noktalar.	48
Şekil 5.18. Hücrelere k tipi termokuplların yerleştirilmesi.	49
Şekil 5.19. Borulara K tipi termokuplların yerleştirilmesi.	49
Şekil 6.1. Bulaşık makinesi Ekonomik 50 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.	51
Şekil 6.2. Bulaşık makinesi Ekonomik 50 °C programı enerji tüketim grafiği.	52
Şekil 6.3. Bulaşık makinesi Hızlı 60 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği... ..	53
Şekil 6.4. Bulaşık makinesi Hızlı 60 °C programı enerji tüketim grafiği.	54
Şekil 6.5. Bulaşık makinesi Süper 70 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.	55
Şekil 6.6. Bulaşık makinesi Süper 70 °C programı enerji tüketim grafiği.....	56
Şekil 6.7. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Ekonomik 50 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.....	58
Şekil 6.8. Isı eşanjörünün Ekonomik 50 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği.	58
Şekil 6.9. Ekonomik 50 °C programında Hücre 1'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.	59
Şekil 6.10. Ekonomik 50 °C programında Hücre 2'nin zamana bağlı sıcaklık grafiği.	60
Şekil 6.11. Ekonomik 50 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.	61
Şekil 6.12. Ekonomik 50 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.	62
Şekil 6.13. Ekonomik 50 °C programında Hücre 5'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.	63
Şekil 6.14. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Ekonomik 50 °C programı enerji tüketim grafiği.	64
Şekil 6.15. Bulaşık makinesi Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği	65
Şekil 6.16. Isı Eşanjörünün Hızlı 60 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği.	66
Şekil 6.17. Hızlı 60 °C programında Hücre 1'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.	67
Şekil 6.18. Hızlı 60 °C programında Hücre 2'nin zamana bağlı sıcaklık grafiği.....	68
Şekil 6.19. Hızlı 60 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.....	69
Şekil 6.20. Hızlı 60 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.....	70
Şekil 6.21. Hızlı 60 °C programında Hücre 5'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.	71

Şekil 6.22. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Hızlı 60 °C programı enerji tüketim grafiği.	72
Şekil 6.23. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Süper 70 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.	73
Şekil 6.24. Isı eşanjörünün Süper 70 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği.	73
Şekil 6.25. Süper 70 °C programında hücre 1'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.	75
Şekil 6.26. Süper 70 °C programında Hücre 2'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.	76
Şekil 6.27. Süper 70 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.	77
Şekil 6.28. Süper 70 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.	78
Şekil 6.29. Süper 70 °C programında Hücre 5'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.	79
Şekil 6.30. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Süper 70 °C programı enerji tüketim grafiği.	80
Şekil 6.31. Ekonomik 50 °C programının yıllık CO ₂ salınım karşılaştırma grafiği. .	81
Şekil 6.32. Hızlı 60 °C programının yıllık CO ₂ salınım karşılaştırma grafiği.	82
Şekil 6.33. Süper 70 °C programının yıllık CO ₂ salınım karşılaştırma grafiği.	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Akış Şekillerine göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması.	13
Çizelge 4.1. Bazı duyulur ısı depolama materyallerinin 300 K'deki özellikleri.....	24
Çizelge 4.2. Duyulur ısı depolama için sıvı materyaller ve özellikleri.....	26
Çizelge 4.3. Parafınlerin erime sıcaklığı ve ısıl iletkenlikleri.....	28
Çizelge 4.4. FDM olarak kullanılan bazı tuz hidratların termo-fiziksel özellikleri...	29
Çizelge 5.1. Bakır borunun teknik özellikleri.	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Isı transfer yüzey alanı
AE_c	: Bulaşık makinesi yıllık enerji tüketimi
A_d	: Dış yüzey alanı
A_i	: İç yüzey alanı
c_{gr}	: Gri suyun özgül ısısı
c_{ort}	: Ortalama özgül ısı
c_{pa}	: Parafin özgül ısısı
c_{yd}	: Yeniden dolan suyun özgül ısısı
cp_{sb}	: Şebeke suyu özgül ısı kapasitesi
D_d	: Boru dış çap
D_i	: Boru iç çap
EEI	: Enerji verimliliği indeksi
$E_{gl,pa}$: Parafin gizli ısı enerjisi
E_t	: Enerji tüketimi
f_i	: Boru içi sürtünme faktörü
h_d	: Boru dış ısı transfer katsayısı
h_i	: Boru iç ısı transfer katsayısı
k	: Isıl iletkenlik
k_{sb}	: Şebeke suyu ısıl iletkenlik
L	: Boru uzunluğu
\dot{m}	: Kütle akış hızı
\dot{m}_{gr}	: Gri suyun kütlesi
\dot{m}_{pa}	: Parafinin kütlesi
\dot{m}_{yd}	: Yeniden dolan suyun kütlesi
P_0	: Kapalı modda güç tüketimi

P_1	: Açık modda güç tüketimi
Pr	: Prandtl sayısı
ps	: Nominal kapasite
\dot{Q}	: Isı transferi
\dot{Q}_{gr}	: Gri suyun ısı transferi
\dot{Q}_{ort}	: Ortalama ısı transferi
\dot{Q}_{sb}	: Şebeke suyu ısı transferi
Re	: Reynolds sayısı
SAE_c	: Bulaşık makinesi standart yıllık enerji tüketimi
T_b	: Başlangıç sıcaklığı
$T_{çıkış}$: Akışkan çıkış sıcaklığı
$T_{grç}$: Gri su çıkış sıcaklığı
T_{grg}	: Gri su giriş sıcaklığı
$t_{dşj}$: Deşarj süresi
$T_{giriş}$: Akışkan giriş sıcaklığı
T_i	: İlk sıcaklık
$T_{ort,ilk}$: Ortalama ilk sıcaklığı
$T_{ort,son}$: Ortalama son sıcaklığı
T_s	: Son sıcaklık
T_t	: Program çalışma süresi
t_{yd}	: Yeniden dolan suyun dolum süresi
U	: Toplam ısı transfer katsayısı
u_{sb}	: Şebeke suyu akış hızı
$\Delta E_{du,pa}$: Parafin duyulur ısı enerjisi
$\Delta E_{gr.}$: Gri suyun deşarj süresi boyunca enerji dengesi
$\Delta E_{id,di}$: Isı değiştirici duyulur ısı enerjisi
ΔE_{yd}	: Yeniden dolum enerji dengesi
ΔT_{lmtd}	: Logaritmik sıcaklık farkı
η	: Verimlilik
ρ_{sb}	: Şebeke suyu yoğunluğu
μ_{sb}	: Şebeke suyu dinamik viskozitesi

KISALTMALAR

AIGK : Atık Isı Geri Kazanım

CFD : Computational Fluid Dynamics (Hesaplamaalı Akışkanlar Dinamiği)

FDM : Faz Değiştiren Materyal

TED : Termal Enerji Depolama

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yüzyıllardan beri insanoğlu daha rahat bir yaşam için sürekli bir uğraş ve gelişim içine girmiştir. Daha rahat bir yaşam ve yüksek konfor şartlarını sağlamak için enerji ısıtma, soğutma gibi birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır. Geçen yıllar boyunca dünya nüfusunun artması, teknolojinin gelişmesi, kentleşme ve sanayinin gelişmesine bağlı olarak insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacını dahada arttırmıştır. Günümüz dünyasında enerjinin her ülke için önemli bir varlık haline gelmesine sebep olmuştur. Gerekli olan enerji ihtiyacının karşılanması yüksek oranla fosil yakıtlar kullanılarak sağlanmaktadır.

Enerji ihtiyacının karşılamak için çoğunlukla fosil yakıtların kullanılması akla ilk olarak fosil yakıtların sınırlı oluşu, enerji ihtiyacını fosil yakıtların yakılması sonucu elde edilmesi ve hızla tükenmesi gelmektedir. Bunların sonucunda gelecekte daha pahalı bir enerji kaynağı olarak kullanılacağı öngörülmektedir Fosil yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan gazların çevre kirliliğine sebep olduğu gibi atmosfere de zarar vermektedir. Bununla birlikte iklim değişikliği ve küresel ısınma meydana gelmektedir. İklım değişikliğinin önemli etkenlerinden biri olan sera gazı emisyonları ile mücadele etmek için Kyoto Protokol'ü gibi uluslararası çalışmalar yapılmaktadır [1].

Fosil yakıtların kullanılmaya devam edilmesi iklim değişikliği ve küresel ısınmanın yanı sıra insan sağlığını da ciddi bir şekilde tehdit etmektedir. Bu nedenlerden dolayı bilim insanlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına ve var olan enerjiyi daha verimli kullanmaya yönelik çalışmalara yönelmiştir [2].

1970 yıllarında dünyada ortaya çıkan enerji krizi, enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji verimliliği konularındaki çalışmalara hız kazandırmıştır. Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar, diğer sektörlerde olduğu gibi beyaz eşya sektörünü de etkilemiştir. Gelişen rekabet koşulları üreticiler arasında bulaşık makinelerinin daha az enerji ve daha az su harcayıp bulaşıkların yıkanma kalitesinde artış sağlamaya yönelik çalışmalar yapmaya sevk etmiştir.

Avrupa birliği ülkeleri enerjinin olumsuz etkilerini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına ve kullanılan enerjinin verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Bu hususta atık ısının geri kazanımı da enerjinin olumsuz etkilerini azaltacak pratik yollardan biridir. Binalarda oluşan atık suyun içerisinde ısıda mevcuttur. Bu ısıya sahip atık suyu kanalizasyonlar vasıtasıyla bina dışına atılmaktadır. Isıya sahip bu atık suyun %70'i geri dönüştürülebilir durumdadır. Halihazırda birçok Avrupa ülkesi kanalizasyona yerleştirilen ısı eşanjörü ile bu atık ıyı ön ısıtmada, binaları ısıtmada ve yaz aylarında klimanın desteklenmesinde kullanılmaktadırlar [3]. Binalarda kullanılan suların %60 ısıtılarak kullanılır. Bu kullanım alanları duşlar, küvetler, lavabolar, bulaşık makineleri ve çamaşır makineleridir. Bu temizleme uygulamalarının neredeyse hepsinden geri kazandırılabilir atık su meydana gelmektedir [4].

Atık ısı bir işlem sonrasında meydana gelen ve kullanılmadan sistem dışına çıkan enerjiyi ifade etmektedir. Atık ısı termodinamik çevrimlerin gerçekleştiği her işlemde ortaya çıkar. Atık ısının değerlendirilmesi ortaya çıkan atık ısının sıcaklığına bağlıdır. Atık ısı her sıcaklıkta sistem dışına atılabilir. Daha yüksek sıcaklıktaki atık ısılar yüksek nitelik ve geri kazanımın daha yüksek verimlilikte sağlanmasını ifade etmektedir. Atık ısı geri kazanımı üçe ayrılır bunlar; düşük sıcaklıkta atık ısı geri kazanımı, orta sıcaklıkta atık ısı geri kazanımı ve yüksek sıcaklıkta atık ısı geri kazanımıdır. Düşük sıcaklıkta atık ısı geri kazanımı 100 °C sıcaklık altında kalan atık ısı sıcaklıkları için geçerlidir. Orta sıcaklıklardaki atık ısı geri kazanım ise 100 °C ile 400 °C arasında kalan atık ısı sıcaklıkları için geçerlidir. Yüksek sıcaklıklardaki atık ısı geri kazanım ise 400 °C ve üstündeki atık ısı sıcaklıkları için geçerlidir [5].

Dünyamızda enerjinin bu kadar değerli olması onu daha verimli kullanılması gerektiğini bize göstermektedir. Enerjinin çeşitlerinden olan termal enerji bu bağlamda önemli bir enerji türüdür. Enerjinin depolanabilmesi konusunda termal enerji bize kolaylık sağlamakta ve termal enerji depolama (TED) sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların devam etmesi fosil enerji kaynaklarının kullanımının daha etkin bir şekilde gerçekleşmesini, kullanım miktarının azaltılması ve sınırlı olan fosil enerji yakıtlarının kullanım ömürlerinin uzamasını sağlamaktadır.

TED sistemleri konut, sanayi, tarım ve ulaşım gibi birçok sektörde uygulanabilir olması fosil enerji kaynakları olan kömür, doğal gaz, petrol gibi yakıtların kullanımında tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini arttırmasına imkân sağlamaktadır. Atık ısıdan yararlanmak içinde TED sistemlerine ihtiyaç vardır [6].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Kodaz yaptığı deneysel çalışmada ev tipi bulaşık makinesine ısı yalıtımı uygulayıp ısıtma süresini düşürmeyi ve bunun sonucunda enerji tüketimini azaltmayı hedeflemiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada ev tipi bulaşık makinesine uygulanan ısı yalıtımı %6,7 enerji tasarrufu sağlamıştır [7].

Tsouknidas ve Zalhang bulaşık makinesinin yıkama kalitesini etkileyen mekanik faktörler üzerinde inceleme yapmışlardır. Bulaşık makinesinin yıkama kalitesine pervane dönüş hızı ve pervanelerden çıkan suyun basıncının mekanik olarak etkilediğini tespit etmişlerdir [8].

Tutkak yaptığı çalışmada bulaşık makinesinin yıkama performansını ve enerji tüketimini incelemiş yıkama adımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda fazla su tüketiminin ve uzun yıkama sürelerinin yıkama performansında etkisinin az olduğu yüksek su sıcaklıklarının yıkama performansına daha fazla etki ettiği belirtilmiştir [9].

Durmaz, ısı değiştiricilerinin tanımını, çalışma prensiplerini, sınıflandırılması ve kullanım yerleri gibi bilgilere çalışmada bahsetmiş ve LMTD ve ϵ -NTU yöntemlerini incelemiştir. Visual Basic Net'te yazdığı program ile iki kanatlı geometrik şekilleri aynı olan ısı değiştiricilerin atık ısı geri kazanımlarını hesaplamış ve bu hesaplamalardan çalışmada bahsetmiştir [10].

Şencan vd. ısı eşanjörlerinin ısıtma ve soğutma sistemlerindeki ısı transferini etkileyen etmenleri incelemişlerdir. Kurdukları deney seti ısıtma için açık-kapalı ve soğutma için açık-kapalı çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda akışkan giriş sıcaklığı ve debinin artması ısı transferini arttırdığını, debinin optimum seviyenin üzerine çıkması durumunda ısı transferinin azaldığını belirtmiştirler [11].

Allouche vd. yüz litrelik bir tankın ısı depolama yöntemlerinden olan termal enerji depolayan materyalli kullanılarak ısı depolama sürecini simüle edebilmek için hesaplamalı akışkan dinamiği modeli geliştirmişlerdir. Nümerik hesaplamaları deneysel çalışmalarla da kanıtlamıştır. Bu deneysel ve nümerik çalışmanın arasında %5'lik bir sapma olduğunu ve ısı depolama kapasitesinde %10'lık bir fark olduğunu belirlemiştirler. Geliştirilen modelin yüksek doğrulukla ısı transfer sonuçlarını tahmin ettiği sonucuna ulaşmıştır [12].

Erza vd. ısı depolama yöntemlerinde gizli ısı depolama üzerinde faz değiştiren materyallerin erime sıcaklığı ve optimizasyonu üzerinde çalışma yapmışlardır. Kullanılan faz değiştiren materyallerin sayısında değişiklik yaparak, sisteme giren akışkanın sıcaklığında ve hızında değişiklikler yaparak faz değiştiren materyallerin davranışlarını yaptıkları çalışma da belirtmiştirler [13].

Feldman vd. ısı depolama yöntemleri açısından kaprik, laurik, palmitic ve stearik yağ asidi karışımlarını incelenmişlerdir. Bu incelemeler sonucu yağ asidi karışımlarının faz değiştiren materyal olarak önerilebileceğini belirtmiştirler. Çalışmada kullanılan yağ asidi karışımının 30 – 65 °C erime sıcaklığı aralığında, 153 J/g – 182 J/g aralığında ergime gizli ısıları olduğu sonucuna ulaşmışlardır [14].

Öztürk, yaptığı çalışma da gizli ısı depolama yöntemi ile güneş enerjisinin depolanmasının avantajlarını belirtmiştir. Gizli ısı depolama yöntemindeki faz değiştiren materyallerin (FDM) zellikleri ve sistemlerde nasıl kullanılması gerektiği anlatmıştır. Yapılan çalışmalara göre seilesi gereken faz değiştiren materyallerin nasıl belirlenmesi gerektiğini göstermiştir ve yaşanılan sorunlara ilişkin çözümler sunmuştur [15].

Sharma vd. ısı depolama yöntemlerinden olan gizli ısı depolama yönteminin farklı uygulamalarda araştırmasını ve analizini yapmışlardır. Gizli ısı depolama yönteminin diğer ısı depolama yöntemlerine göre daha verimli olduğunu belirtmiştir [16].

Zalba vd. ısı enerjisi depolama yöntemlerinden olan faz değişim materyallerinin uygulamaları ve ısı geçişi hakkında son 20 yıla ait olan literatürde geçen makaleleri derlemiştir. Yapılan çalışmada 200'ün üstünde referansa yer verilmektedir. Bununla birlikte 150 tane faz değiştiren materyal arasından sadece 45 tanesinin ticari olarak uygun olduğundan söz edilmektedir [17].

Xiao vd. faz değişim materyallerinin ısı iletkenliğini arttırmak için parafin emdirilmiş termoplastik elastomer ile çalışmışlardır. Çalışmalar sonucunda faz değiştiren materyallere grafit eklendiğinde ısı iletkenliğinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır [18].

Buddhi vd. güneş panellerinde ısı depolama yöntemlerinden olan gizli ısı depolama için parafin, naftalin, stearik ve miristik asidin kullanımıyla ilgili çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda yağ asitlerinin fiyat avantajı olduğunu belirtmişlerdir [19].

Huang vd. bina uygulamasında faz değiştiren materyaller ile teorik çalışma yapmışlardır. İki farklı erime sıcaklığına sahip olan faz değiştiren materyallerin haziran ve ocak ayında test ederek incelemiştir. 28 °C ve 43 °C erime noktasına sahip bu iki faz değiştiren materyallerin çalışma sonucunda 28 °C'de eriyen materyallerin her iki mevsimde de iç ortam sıcaklığına pozitif katkıda bulunduğu belirlenmiştir [20].

Yılmazoğlu, ısı enerji depolama yöntemlerinden olan faz değiştiren materyallerde depolama, mevsimsel depolama, kimyasal depolama, sıvılarda ve katılarda depolama yöntemlerini incelemiştir. Bu ısı enerji depolama yöntemlerinin seçiminin nasıl yapılması gerektiğini ve bu yöntemlerin binalarda kullanılması durumunda çevre kirliliğinde azalma, enerji tüketiminin azalma olacağını belirtmiştir [21].

Zhang vd. gizli ısı depolama yöntemlerinin faz değiştiren materyaller ile binalarda uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Binanın değişik kısımlarında faz değiştiren materyallerin kullanılması ile elde edilecek ısı analiz yapmışlardır. Ayrıca bu

yaptıkları çalışmada geliştirilmesi gereken diğer önemli hususun yangın anında faz değiştiren materyallerin tutuşa bilirliliği olduğunu belirlemişlerdir [22].

Bakhshipour vd. buzdolabının soğutma çevriminde faz değişim materyalli kullanarak yapılan ısı değiştiricisini nümerik olarak incelemişlerdir. Sistemin performans katsayısı faz değişim materyalli ısı değiştiricisi varken ve yokken hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda faz değişim materyalli sistemin performans katsayısını %9,58 arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır [23].

Osterman vd. faz değiştiren materyalleri binalarda hem ısıtma hem soğutma sistemlerinde kullanılmasının enerji tasarrufu sağlayacağını düşünmüşler ve bu bağlamda inceleme yapmışlardır. Yaptıkları nümerik analizleri doğrulamak için parafin dolu termal depolama sistemini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda bir ofisin yıllık enerji tüketiminde kısmi kullanılan ısıtma sistemi için %8, yazın kullanılan soğutma sistemi için ise %15 tasarruf sağlanabileceği gösterilmiştir [24].

Abdulateef vd. faz değişim materyallinin uzunlamasına üçgen kanatlı üç borulu ısı değiştiricisinde kullanımını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada sistemin hem içinden hem dışından sıcak akışkanı geçirerek faz değişim materyallinin düşük sıcaklıkta erimesini sağlamışlardır. Sistemde kullanılan iç üçgen kanat %11, iç-dış üçgen kanat %12 ve dış üçgen kanat ise %15 oranında verim artışı sağladığı kanıtlanmıştır [25].

Al-Abidi vd. FDM kullanarak üç borulu ısı değiştiricisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada farklı sıcak su akışları sağlayarak kullanılan sıcak su debisinin FDM'ne etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak akışkanın giriş sıcaklığının kullanılan debiden daha önemli olduğunu tespit etmişlerdir [26].

Chen vd. spiral yay tüplü, etrafında faz değiştiren materyal içeren grafit kompozitli bir ısı değiştiricisinde gizli ısı depolama üzerine deneysel ve nümerik olarak çalışma yapmışlardır. FDM'lerin ısı iletim katsayısı düşük olmalarından dolayı grafit kompozit malzeme ile birlikte kullanımını FDM'in daha hızlı faz değişimi sağlayacağı bir sistem

yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda Reynold sayısının 8700'den fazla olduğu zamanlarda sıcaklık farkının ısı transferinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir [27].

Esapour vd. FDM kullanılan çok borulu ısı değiştiricisinde akışkan giriş sıcaklığı, akışkan debisi, boru sayısı ve geometrik diziliminin faz değişim hızını nasıl etkilediğini incelenmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda akışkan giriş sıcaklığının artması faz değişimini hızlandırdığı fakat akışkan giriş debisinin artmasının çok fazla bir değişiklik sağlamadığı sonucuna ulaşmışlardır. Boru sayısının artması FDM ile temas halinde olan yüzey artmasına sebep olacağından faz değişim süresinde %29 oranında düşüş sağlayacağı belirtilmiştir [28].

Eslamnezhad vd. ısı değiştiricilerde farklı kanat dizilimleri kullanarak FDM için ısı transferini arttırmaya yönelik çalışma yapmışlardır. İç yüzeye ve dış yüzeye koyulan farklı kanatlarla FDM erimesi gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda aşağıda kalan FDM en son eridiği saptanmış ve bu dezavantajı önlemek için yeni bir model tasarlamışlardır. Yeni tasarım eskiye oranla erime süresinde %17,9 artış sağladığı kanıtlanmıştır [29].

Hosseini vd. çift borulu ısı değiştiricisinde kullanılan parafinin termal davranışını ve ısı değiştiricisine giren akışkan sıcaklığının ısı transferindeki etkisini nümerik ve deneysel olarak incelenmişlerdir. Isı değiştiricisine giren akışkan sıcaklığı 70 °C'den 80 °C'ye yükseltildiğinde toplam erime süresinin %19'dan %37'ye kadar kısalmacağı sonucuna varmışlardır [30].

Pahamli vd. tek geçişli gövde ısı borulu ısı değiştiricisinde faz değişim materyalli kullanarak deneysel araştırma yapmışlardır. Gövde ısı borulu ısı değiştiricisinin farklı yerlerine FDM konmuştur ve farklı akış hızları uygulanarak deney gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu eksantriğin artırılmasıyla ısı transfer hızının ve ortalama sıcaklığın erime işleminin sonunda arttığı belirlenmiştir [31].

Chao vd. ortak bir banyo giderinden gelen atık suyu ısı pompasının evaporatör kısmında kullanılacak şekilde bir deney düzeneği hazırlamışlardır. Ortak bir banyodan

ıkan atık su bir tankta toplanır. Aynı tankın içinde ısı pompasının evaporatör kısmıda bulunur. Evaporatörden geçen soğutucu akışkan atık suyun ısısını alır ve tankın içindeki atık suyu soğutur sonra atık su kanalizasyona dökülür. Bu çalışmanın sonucunda enerji tasarrufu sağladığı ve sistemin performansı düşmemesi için periyodik temizliğinin yapılması gerektiği belirtilmiş [32].

Romas vd. Çapraz akışlı atık ısı geri kazanımında kullanılan ısı değiştiricisini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar ile Computational Fluid Dynamics (CFD) sonuçları kıyaslanmış ve ikisi arasında %10 fark olduğunu saptamışlardır [33].

Selbaş, yapmış olduğu çalışmada atık ısı enerjisinin geri kazanım yöntemlerini incelemiş ve geri kazanım araçlarının kıyaslamasını yapmıştır. Bunlarla birlikte bir klima santraline ısı geri kazanım sistemi kurmuş ve enerji tasarrufu hesaplanmıştır. Kurulan ısı geri kazanım sistemi yıllık 643378 kWh/yıl enerji tasarrufu sağlayacağını ve sistemin geri ödeme süresinin 1,1 yıl olduğunu hesaplamıştır [34].

BÖLÜM 3

ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Isı değiştiriciler, sıcaklıkları farklı iki veya daha fazla akışkanın birbirlerine karışmadan aralarında ısı değişimini sağlayan aytıttır. Mühendislik uygulamalarında yaygın olarak karşılaşılmaktadır. Isı değiştiriciler ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemlerinde, kimyasal işlem ve güç üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [35].

Isı değiştiricilerin yüksek sıcaklıktaki akışkandan düşük sıcaklıktaki akışkana karışmadan ısı transferi sağlamak için genel olarak metal levhalar kullanılır. Metal levhalar hem ısı iletim kat sayısı hem de dayanıklılığı yönünden ısı değiştiricilerde kullanımı uygun olan materyallerdendir. İçerisinde faz değişim olayı yaşanmayan ısı değiştiricilerine duyulur ısı değiştirici, içerisinde faz değişim olayı yaşanıyorsa gizli ısı değiştirici denir [36].

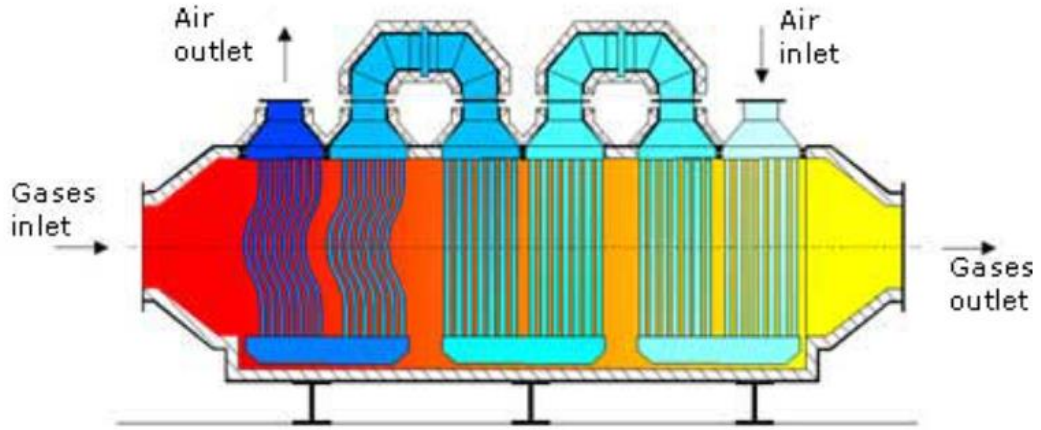
3.1. ATIK ISI GERİ KAZANIMINDA KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Atık ısı tesislerde üretim sonucu meydana gelen ve kullanılmadan atılan ısı enerjidir. Atık ısı yoğun olarak endüstriyel proseslerde meydana gelmektedir. Sistemden dışarı atılan bu enerji uygun ısı değiştiriciler kullanılarak sisteme geri kazandırılabilir.

Atık ısı geri kazanım sistemleri enerjinin proseslerde daha verimli kullanılmasını sağlar. Birçok ısı geri kazanım sistemi mevcuttur. Bunlar reküperatörler, rejeneratörler, atık ısı kazanları ve ekonomizerlerdir [37].

3.1.1. Reküperatörler

Baca gazı yoluyla atılan ısıyı geri kazanım için kullanılan sistemlere reküperatör denir. Bacadan atılan ısı reküperatörden geçerek iletim yoluyla ısı reküperatörün metal duvarlarına geçer. Bu ısı havaya aktarılır ve hava ön ısıtma için sistemde kullanılır [38]. Şekil 3.1’de reküperatör örneği verilmiştir.



Şekil 3.1. Reküperatör [39].

3.1.2. Rejeneratörler

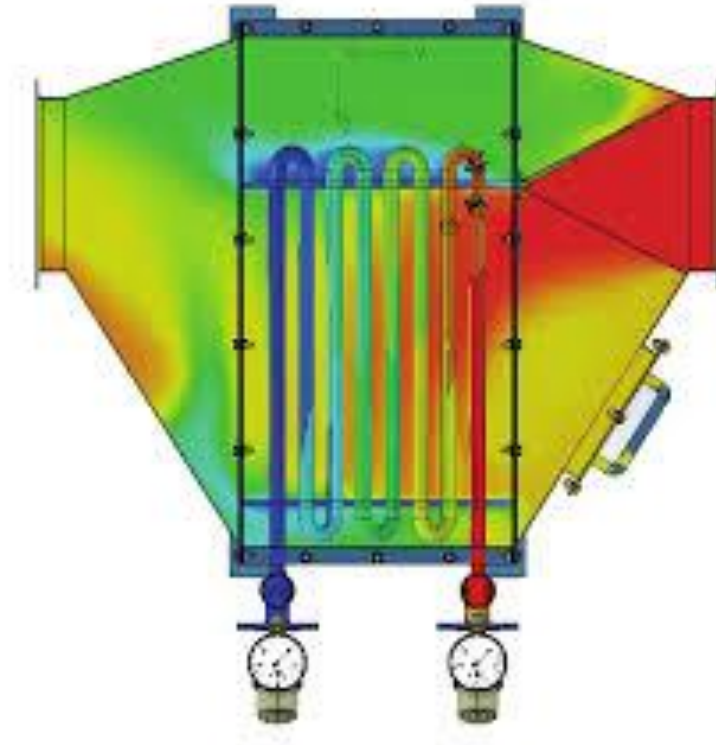
Rejeneratörler prosesten dışarıya atılan yüksek sıcaklıklardaki gazın ısı enerjisini depolayarak prosese giren soğuk havanın ısıtılmasında kullanılan sistemlerdir. Atık ısıyı depolamak için yüksek ısı kapasiteli malzemeler kullanılır. Atık sıcak gaz ve prosese giren soğuk hava kanallar vasıtasıyla birbirinden ayrı durumdadır böylece atık gaz ve giriş havası birbirine karışmadan sadece ısı geçişi gerçekleşir [37].

3.1.3. Atık Isı Kazanları

Atık ısı kazanları orta ve yüksek sıcaklıklarda atılan egzoz gazlarının sisteme geri kazandırılması ve buhar üretilmesinde kullanılırlar. Atık ısı kazanları birbirine paralel yerleştirilmiş borulardan oluşan sistemlerdir. Atık ısı kazanlarının kullanıldığı proseslere göre atılan enerji ile elektrik üretilebilir veya atık enerji tekrardan sisteme kazandırılabilir [37].

3.1.4. Ekonomizerler

Ekonomizerler prosesin bacasından atılan sıcak gaz ile prosese giren soğuk su arasında ısı transferi sağlayan atık ısı geri kazanım sistemleridir. Ekonomizerler genel itibariyle kanat borulu ısı eşanjörleridir. Prosesten atılan sıcak gaz ekonomizerin içinde bulunan kanatların üzerinden geçer ve kanatlar atık gazın ısını borudan geçen suya aktarır böylece atık ısı sisteme geri kazandırılmış olur. Bu sistemle atık ısının geri kazandırılması prosesin enerji verimini arttırmaktadır [37]. Şekil 3.2’de ekonomizer örneği verilmiştir.



Şekil 3.2. Ekonomizer [40].

3.2. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN SINIFLANDIRILMASI

3.2.1. Akış Şekline Göre Sınıflandırma

Akışkanların ısı değiştiricilerde farklı akışlara sahip olması logaritmik sıcaklık farkı, ısıl gerilme ve etkenliği önemli ölçüde etkilemektedir. Akış çeşitleri Çizelge 3.1’de genel olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Akış Şekillerine göre ısı değiştiricilerin sınıflandırılması.

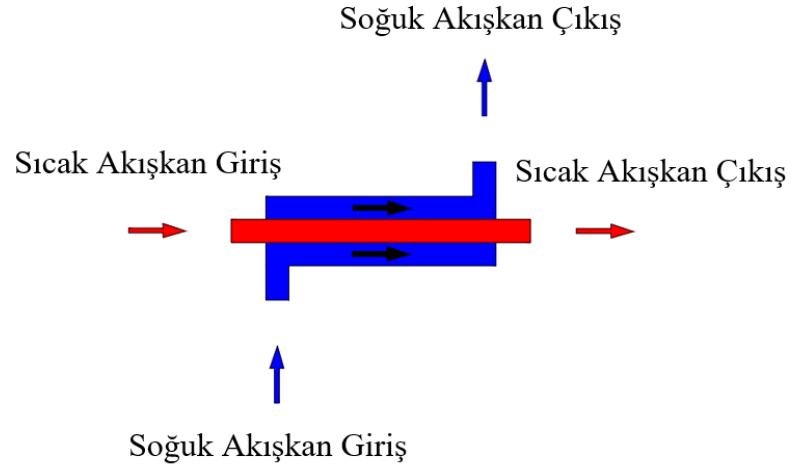
Tek Geçişli	<ul style="list-style-type: none">- Paralel akışlı- Ters akışlı- Çapraz akışlı
Çok Geçişli	<ul style="list-style-type: none">- Çapraz-ters ve çapraz paralel akımlı ısı değiştiricileri<ul style="list-style-type: none">-Çok geçişli gövde borulu ısı değiştiricileri-n adet paralel levha geçişli ısı değiştiricileri

3.2.1.1. Tek Geçişli Isı Değiştiriciler

Tek geçişli ısı değiştiriciler akış yönüne bakılmaksızın akışkanların birbirlerine teması tek seferlik gerçekleşen ısı değiştiricilerdir. Bu ısı değiştiriciler paralel akışlı, ters akışlı ve çapraz akışlı olmak üzere üç başlıkta incelenebilirler.

Paralel Akışlı

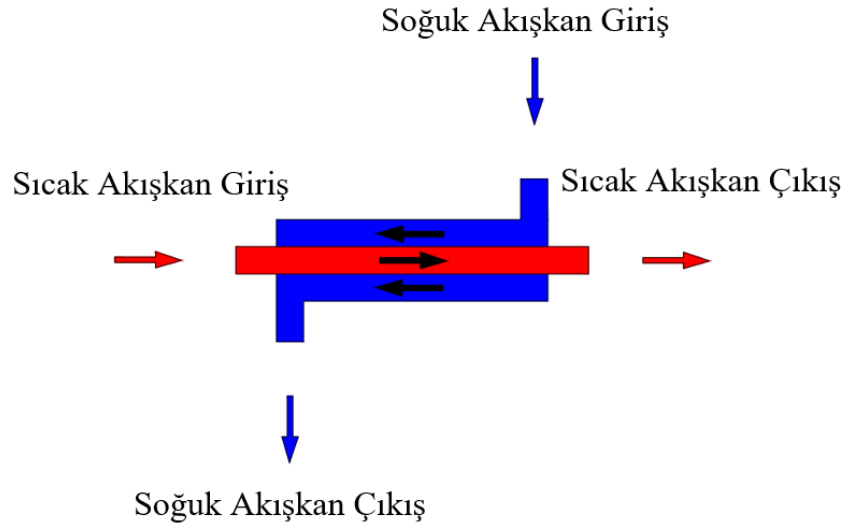
Paralel akışlı ısı değiştiricilerde iki akışkanın aynı yönde birbirlerine paralel olarak hareket etmesi sonucu ısı transfer işlemi gerçekleşir. Isıl gerilimlerinin istenmediği yerlerde ısı transferi gerçekleşen yüzey sıcaklığı fazla değişmediğinden dolayı tercih edilebilir [41]. Şekil 3.3’de paralel akışlı ısı değiştirici örneği verilmiştir.



Şekil 3.3. Paralel akışlı ısı değıştirci.

Ters Akışlı

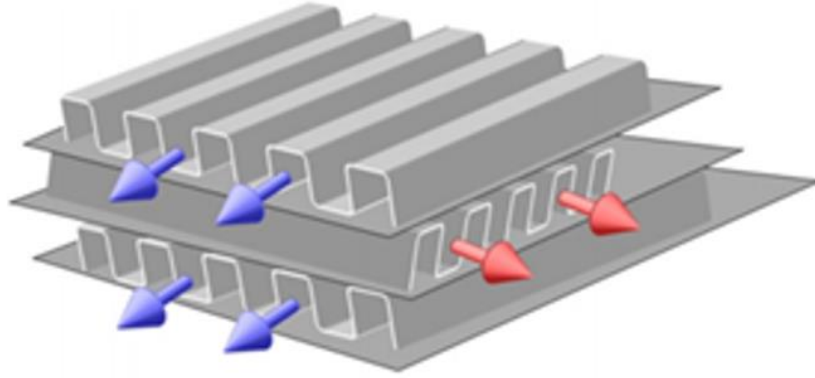
Ters akışlı ısı değıştircilerde iki akışkanın birbirlerine ters olarak hareket etmesi sonucu ısı transfer işlemi gerçekleşir. Bu ısı değıştircilerde akışkanlar arası sıcaklık farkı en yüksek olacak şekilde kullanılması önemli bir avantaj sağlar [42]. Şekil 3.4’de ters akışlı ısı değıştirci örneği verilmiştir.



Şekil 3.4. Ters akışlı ısı değıştirci.

Çapraz Akışlı

Çapraz akışlı ısı değiştiricilerde iki akışkanın birbirlerine dik olarak hareket etmesi sonucu ısı transfer işlemi gerçekleşir. Çapraz akışlı ısı değiştiricilerin tasarımında kullanılan kanatlar vasıtasıyla kendisiyle karşılaşan ve kendisiyle karşılaşmayan olarak ayrılabilir [35]. şekil 3.5’de çapraz akışlı ısı değiştirici örneği verilmiştir.



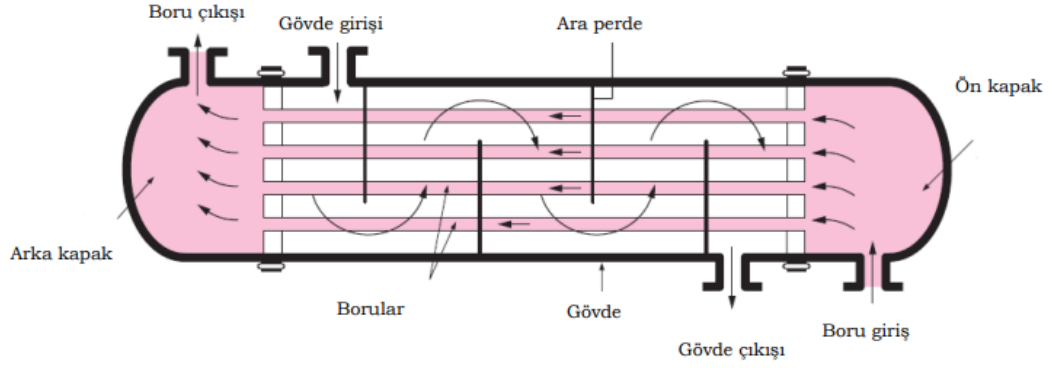
şekil 3.5. Çapraz akışlı ısı değiştirici [43].

3.2.1.2. Çok Geçişli Isı Değiştiriciler

Çok geçişli ısı değiştiricilerin tasarımında kullanılan kanatlar vasıtasıyla içerisinden geçen akışkanın izleyeceği yollu uzatarak verimi artırır.

Çok Geçişli Gövde Borulu Isı Değiştiriciler

Çok geçişli gövde borulu ısı değiştiriciler endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan ısı değiştirici tiplerindedir. Bu ısı değiştiricilerin gövde eksenine paralel olarak yerleştirilmiş çok sayıda boru içerir. Akışkanın biri bu boruların içinden diğer akışkan ise borunun dışından geçerek ısı transferi sağlanır. Isı transferini arttırmak için gövdeye yerleştirilmiş perdeler kullanılır [35]. şekil 3.6’da çok geçişli gövde borulu ısı değiştirici örneği verilmiştir.



Şekil 3.6. Çok geçişli gövde borulu ısı değıştirci [35].

Çok Geçişli Paralel Levha Tip Isı Değıştirciler

Çok geçişli paralel levha tip ısı değıştirciler çeşitli şekillerde yerleştirilmiş levhaların çok geçişli akışlar sağlanmasıyla meydana gelir [44].

3.2.2. Farklı Akışkan Sayısına Göre Sınıflama

Isı değıştircilerin genelinde iki akışkan arasında ısı geçişi gerçekleşmektedir. Fakat bazı sistemlerde üç akışkan kullanılan ısı değıştircilerde mevcuttur. Hidrojenin saflaştırılması, kimyasal işlemler, havanın ayrıştırılması ve bazı soğutma tekniklerinde bu ısı değıştirciler kullanılmaktadır [44].

3.2.3. Isı Geçişi Mekanizmasına Göre Sınıflama

Isı değişimindeki akışkanların hangi faz halinde olduğuna göre yapılan sınıflandırmadır.

3.2.3.1. İki Tarafı Tek Fazlı Akış

İki tarafı tek fazlı ısı değıştirciler ısı taşınımı zorlanmış ya da doğal taşınım olabilmektedir. Yağ soğutucuları, otomobil radyatörleri, salon ısıtıcıları, buhar kazanları ekonomizerleri ve rejeneratörler iki tarafı tek fazlı ısı değıştirci uygulamalarının önemli örneklerindedir [45].

3.2.3.2. Bir Tarafı Tek Fazlı Diğer Tarafı Çift Fazlı Akış

Bir tarafı tek fazlı diğer tarafı çift fazlı akışa sahip olan ısı değiştiricilerin bir tarafında tek fazlı akış varken diğer tarafında ise kaynamadan veya yoğuşmadan kaynaklı iki fazlı akış mevcuttur. Soğutma sistemlerin yoğuşturucuları, termik santrallerin yoğuşturucuları ve buhar kazanlarının buharlaştırıcıları uygulama alanlarının önemli örneklerindendir [46].

3.2.3.3. İki Tarafta Çift Fazlı Akış

İki tarafta çift fazlı akışlı ısı değiştiriciler bir tarafında buharlaşma diğer tarafında ise yoğuşma olan ısı değiştiricilerdir. Bu ısı değiştiriciler hidrokarbonların distilasyonunda yüksek basınçlı buhar kullanılarak alçak basınçlı buhar elde edilmesinde kullanılır [46].

3.2.3.4. Taşınım ve Işınımın Beraber Isı Geçişi

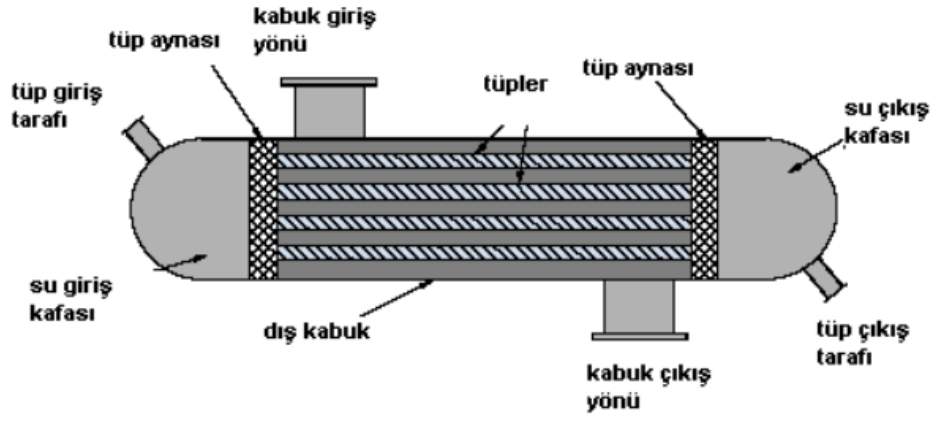
Isı değiştiricilerin bir tarafında yüksek sıcaklıkta gaz olanlarda taşınım ve ışınlama ısı geçişi birlikte görülür. Fosil yakıt yakan ısıtıcılar, yüksek sıcaklıkta dolgu maddeli rejeneratörler ve buhar kazanları taşınım ve ışınlama beraber ısı geçişi olan ısı değiştiricilerin önemli örneklerindendir [46].

3.2.4. Isı Transfer Şekillerine Göre Sınıflama

Isı değiştiriciler ısı transfer şekillerine göre iki sınıfta incelenir.

3.2.4.1. Akışkanlar Arasında Doğrudan Temasın Olduğu Isı Değiştiricileri

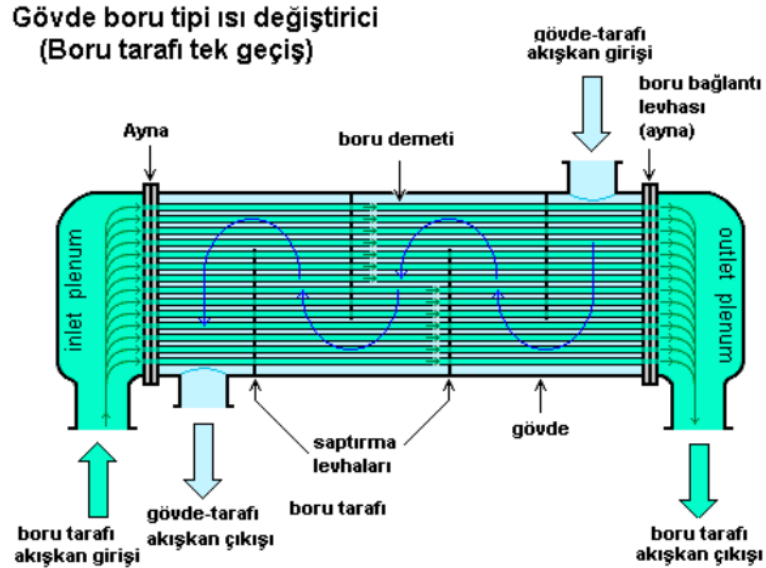
Akışkanlar arasında doğrudan temasın olduğu ısı değiştiricilerin içinde farklı sıcaklıktaki akışkanlar veya bir akışkan ile bir katı maddeler birbiriyle temasa geçirilir. Soğutma kuleleri endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan ısının atılması bu ısı değiştiriciler için iyi bir örnektir [47]. Şekil 3.7’de akışkanın doğrudan temasta olduğu ısı değiştirici örneği verilmiştir.



Şekil 3.8. Borulu ısı değıştirci [47].

Gövde Borulu Isı Değıştirciler

Gövde borulu ısı değıştirciler endüstri uygulamalarında en sık karşılaştığımız ısı değıştirci tipidir. Bu ısı değıştirciler birbirlerine paralel olarak konumlandırılmış dairesel boru demetlerinden ve bu boru demetlerini içinde barındıran silindirik gövdeden oluşmaktadır. Akışkanlarda biri boruların içinden geçerken diğeri akışkan ise gövdenin içinden geçer. Şekil 3.9’da gövde borulu ısı değıştirci örneği verilmiştir.



Şekil 3.9. Gövde borulu ısı değıştirci [47].

Düz Borulu Isı Değiştiriciler

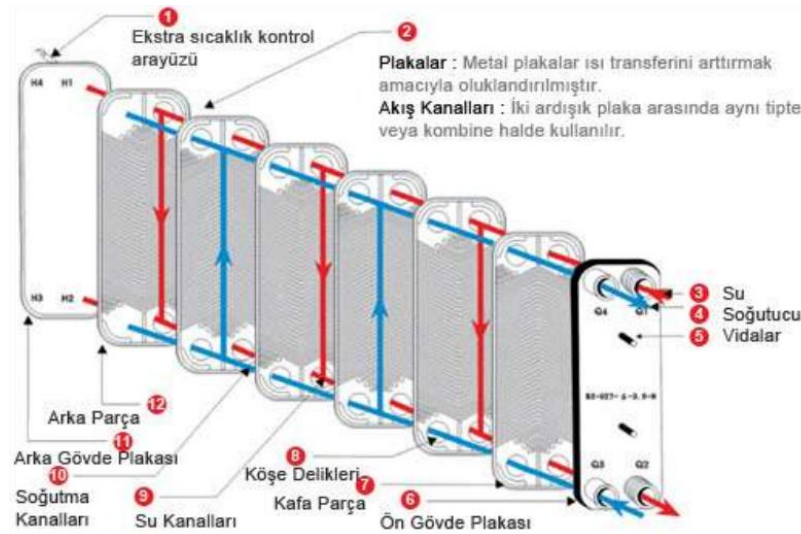
Düz borulu ısı değiştiriciler bir borunun daha büyük çaplı bir borunun içine eş merkezli olacak şekilde yerleştirilmesiyle elde edilir. İç kısımdaki borular tek veya çok sayıda olabilirler. Akışkanlardan biri içteki borudan akarken diğer akışkan ise dıştaki borudan akar. Aradaki ısı transferi bu şekilde sağlanır.

Spiral Borulu Isı Değiştiricileri

Bir gövde içerisine yerleştirilmiş spiral şekilde sarılmış borudan meydana gelmektedir. Spiral borulu ısı değiştiricilerin ısı iletim katsayısı düz borulu ısı değiştiricilere göre daha yüksektir. Bu ısı değiştiriciler depo ve havuz sıcaklık kontrollerinde kullanılır [47].

3.2.5.2. Levhalı Isı Değiştiriciler

Levhalı ısı değiştiriciler ardi ardına sıralanmış metal plakaların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Yüksek basınç ve sıcaklık farkı istenen yerler de kullanıma uygun değildir. İki akışkan arasındaki ısı transfer işlemi akışkanları ayıran metal plakalar üzerinden gerçekleşmektedir [47]. Şekil 3.10'da levhalı ısı değiştirici örneği verilmiştir.



Şekil 3.10. Levhalı ısı değiştirici [47].

Contalı Levhalı Isı Değiştiriciler

Contalı levhalı ısı değiştiriciler iki çubuğa tutturularak sıralanmış ince metal levhalardan oluşmaktadır. Bu ince metal levhalar akışkanları birbirinden ayırır ve ısı geçişi ince metal levhalar üzerinden gerçekleşir. İnce metal levhalar arasında akışkanların sızamaması için conta bulunmaktadır. Levhalar bakır, bakır alaşımları, alüminyum, paslanmaz elik, karbonlu elik, nikel ve molibden alaşımlarından yapılmaktadır [46].

Spiral Levhalı Isı Değiştiriciler

Spiral levhalı ısı değiştiriciler iki metal levhanın birbirine spiral şekilde sarılmasıyla elde edilmektedir. Arasında ısı transferi olacak akışkanların akış yönü paralel veya ters akışlı olacak şekilde imal edilebilir. Spiral şekilde sarılmış levhalar contalı kapaklar ile kapatıldığından açılıp temizlenmesi kolaydır bu yüzden tortu oluşma durumu olan yerlerde kullanıma uygundur [44].

Lamelli Isı Değiştiriciler

Lamelli ısı değiştiriciler yassı hale getirilmiş boru demetinin bir boru içerisine yerleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Akışkanların yn paralel veya ters akışlı olabilir. Ayrıca tek geçişli bir ısı değiştiricidir [44].

İnce Film Isı Değiştiriciler

İnce film ısı değiştiriciler vizkozitesi yüksek ve yüksek sıcaklığa duyarlı akışkanların ısı transferinde kullanılır. Sıcaklığa duyarlı akışkanların kısa kalış süresi ve yüksek ısı taşınımına sahip olmaları bu ısı değiştiricilerin genelde buharlaştırıcı olarak kullanılmasına neden olmaktadır [46].

3.2.5.3. Rejeneratif Isı Değiştiriciler

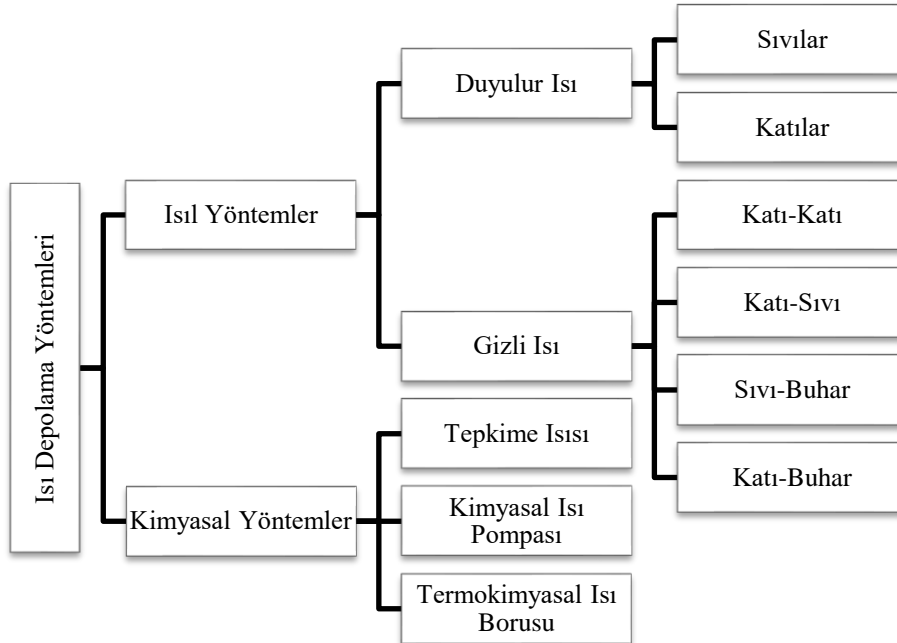
Rejeneratif ısı değiştiriciler ısıyı sıcak akışkan ile bir ortamda depolanır daha sonra soğuk akışkanla arasında ısı transferi sağlanarak ısı soğuk akışkana aktarılır. Isının depo edildiği yere matris ya da dolgu maddesi adı verilir. İlk yatırım maliyetleri az olmasına rağmen sadece gaz akışkanlarda kullanılabilir [44].

BÖLÜM 4

TERMAL ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına termal enerji denir. Termal enerji atomik veya moleküler titreşim sonucu oluşur. Düşük veya yüksek sıcaklıklarda termal enerjinin aktarımı ısı akısıyla gerçekleşir [49].

Isı depolama yöntemleri termal yöntemler ve kimyasal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Termal yöntemler duyulur ısı depolama yöntemlerini ve gizli ısı depolama yöntemlerini içermektedir. Bu yöntemler birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından birbirlerinden ayrılırlar[50]. Şekil 4.1’de ısı depolama yöntemleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Isı depolama yöntemleri [51].

4.1. ISIL YÖNTEMLER

4.1.1. Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı ile enerji depolama yöntemi kullanılan ısı depolama materyalinin sıcaklığındaki değişim sonucu ortaya çıkan duyulur ısıdan yararlanılmasıdır. Depolanabilecek duyulur ısı miktarı; ısı depolama materyali miktarına, sıcaklık değişim miktarına ve ortamın ısı kapasitesine bağlıdır. Duyulur ısı katı veya sıvı materyallerde depolanabilir [52]. Depolama materyalindeki ısı Eşitlik 4.1'deki gibi hesaplanabilir.

$$Q = mC_p(T_s - T_i) \quad (4.1)$$

T_i = İlk sıcaklığı

T_s = Son sıcaklığı

m = Depolama materyalinin kütlesi

C_p = T_b ve T_s arasındaki ortalama özgül ısı

Çizelge 4.1'de bazı duyulur ısı depolama materyallerinin 300 K sıcaklığındaki özellikleri verilmektedir. Bu özellikler duyulur ısı depolama miktarını hesaplamada kolaylıklar sağlamaktadır.

Çizelge 4.1. Bazı duyulur ısı depolama materyallerinin 300 K'deki özellikleri [36].

Materyal	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı iletim kat. (W/mK)	Özgül ısı (J/kg K)	Isı yayılım katsayısı (10 ⁻⁶ m ² /s)	Isı kapasitesi (10 ⁶ J/m ³ K)
Oğun	721	0.159	1260	0.17	0.91
Beton	1600	0.790	840	0.59	1.34
Ateş tuğlası	1920	0.900	790	0.59	1.52
Cam	2710	0.760	837	0.33	2.27
Alüminyum	2702	237.000	903	97.13	2.44
Karbon Çeliği	78,54	60.500	434	17.75	3.41
Saf Demir	7870	80.200	447	22.80	3.52
Çakıl Taşı	2050	1.730	1840	0.46	3.77
Su	996	0.615	4178	0.15	4.16

Sıcaklık T_1 ve kütlesi m olan bir madde T_2 sıcaklığına yükseltirse, depolanan duyulur ısı Eşitlik 4.2'deki gibi yazılabilir.

$$Q = m.C_p.(T_2-T_1) = V.\rho.C_p.\Delta T \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2'de V maddenin hacmi, ρ yoğunluğu ve C_p sabit basınçtaki özgül ısıdır. Eşitlik 4.2'de görüldüğü gibi bir ΔT sıcaklık farkında ve belli bir hacimde depolanan ısı enerjinin fazla olması için maddenin hacimsel özgül ısı (ρC_p) büyük olmalıdır. Eşitlik 4.2 duyulur usu depolamada ısı kapasitesini belirlemek için kullanılmaktadır [36].

Duyulur ısı depolama sistemlerinin diğer ısı depolama sistemlerine göre öne çıkaran özelliklerinden biride tersinir olmasıdır. Yani sistemin ekonomik ömrü boyunca bu maddelerin ısıyı depolama ve boşaltma özellikleri devam eder.

4.1.1.1. Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama

Sıvı ortamda duyulur ısı depolama materyali olarak kullanılan sıvıların termo fiziksel özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Sıvı ısı depolama materyalleri doğada bolca bulunduğundan rahatça ulaşılabilir ve ekonomiktir. Bu sıvı ısı depolama materyalini temsil eden en basit örnek sudur [36].

Çizelge 4.2. Duyulur ısı depolama için sıvı materyaller ve özellikleri [52].

Sıvı Materyaller	Sıcaklık Aralığı	Yoğunluk kg/m ³	Isı Kapasitesi (J/kg°C)	Isıl İletkenlik W/m °C
Su	0-100	1000	4190	0.63 (38 °C)
Su-Etilen Glikol 50/50	-	1050	3479	-
Caloria HT 43	(-10) - 315	-	2300	-
Dowterms A	12 - 260	867	2200	0.112 (260°C)
Therminol 55	(-18) - 315	-	2400	-
Therminol 66	(-9) - 343	750	2100	0.106
Etilen Glikol	-	1116	2382	0.249
Hitec	141 - 540	1680	1560	0.61
Draw	220 - 540	1733	1550	-
Lityum	180 - 1300	510	4190	0.57
Sodyum	100 - 760	960	1300	38.1
Etanol	78	790	2400	67.5
Propil Asit	97	800	2500	-
Bütanol	118	809	2400	-
İzobütanol	100	808	3000	-
İzopentanol	148	831	2200	-
Oktan	126	704	2400	-

4.1.1.2. Katı Ortamda Duyulur Isı Depolama

Isı depolamanın genellikle sıvı ortamda depolanabildiği düşünülmektedir fakat katılarda da ısı depolamak mümkündür. Sıvıların yüksek sıcaklıklarda yüksek buhar basıncına sahip olmaları kullanım alanlarını kısıtlar. Katı ısı depolama materyallerinin kullanılması sıvı ısı depolama materyallerinde oluşan bu sorunu giderir. Ayrıca katıların donma, kaynama ve kendi kaplarının dışına sızma gibi problemleri de yoktur. Katı ortamda ısı depolama için odun, beton, ateş tuğlası, cam, alüminyum ve saf demir gibi maddeler sıralanabilir.

4.1.2. Gizli Isı Depolama

Gizli ısı depolama istenilen sıcaklık aralığında faz değiştirebilen materyallerde ergime gizli ısı olarak ısı depolanmasıdır. Bundan dolayı “ergime ısı depolama” olarak da ifade edilir. Gizli ısı depolamada, katı-sıvı faz değişimi sırasında FDM tarafından soğurulan ve serbest bırakılan ısıdan yararlanır. Atık ısıdan geri kazanım uygulamalarında, çalışan sistemden kazanılan ısı FDM'de ergime gizli ısı şeklinde depolanarak faz değişimi gerçekleşir [15].

Gizli ısı depolama yöntemleri duyulur ısı depolama yöntemlerine göre daha az depo hacmine ihtiyaç duyar. Faz değiştiren materyaller ısı enerjisiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Termal enerji depolayan materyalin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi bu materyalin faz değiştirmesine neden olur. Uygun sıcaklıkta depolama materyalinin faz değiştirmesiyle ortaya çıkan gizli ısı depolanabilir. Isı depolamak için uygun olan faz değiştiriciler; katı-katı ve katı-sıvıdır. Sıvı-buhar faz değişimi sonucunda ortaya çıkan basınç sorunlarına neden olmaktadır bundan dolayı ısı depolamak için uygun değildir. Faz değiştiren materyaller hem ısıtma hem de soğutma sistemlerinde kullanılabilir. Genel olarak kullanılan faz değiştiren materyaller parafinler, tuz hidratlar, yağ asitleri, ötektik karışımlardır [53].

4.1.2.1. Parafinler

Parafinler organik faz değiştiren materyaller sınıfındadırlar. Ham petrolden elde edilmiş alkan türevinden oluşan doymuş hidrokarbon karışımlardır. Mumla benzer yapıdadırlar. Parafinler ucuz, tatsız ve zehirli değildirler. Yoğunluğunun yüksek olması depolanmasının kolaylaştırır. Parafinlerin kimyasal yapıları iyonik olmadığından ısı iletkenlikleri düşüktür. Kimyasal olarak kararlı olduklarından ısı depolama için tercih edilirler [54].

Saf parafinler alkanlardan oluşur. Alkanların erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları karbon sayıları bağlıdır. Karbon sayıları arttıkça erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları da artar. C₁₄-C₄₀ aralığındaki alkanların erime noktaları 6-80 °C sıcaklıkları aralığındadır ve bu alkanlar genellikle parafin olarak adlandırılırlar. Parafinlerin erime

sıcaklıkları, yoğunlukları, ısı iletkenlikleri ve gizli ısıları aşağıdaki izelge 4.3’de verilmiştir [51].

Çizelge 4.3. Parafinlerin erime sıcaklığı ve ısı iletkenlikleri [55].

İsim	‘C’ atomu sayısı	Erime noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı iletkenlik (W/mK)	Gizli ısı (kJ/kg)
n-Dodecane	12	-12	750	0,21 ^K	-
n-Tridecane	13	-6	756	-	-
n-Tetradecane	14	4,5-5,6	771	-	231
n-Pentadecane	15	10	768	0,17	207
n-hexadecane	16	18,2	774	0,21 ^K	238
n-heptadecane	17	22	778	-	215
n-Octadecane	18	58,2	814 ^K (14)	0,35 ^K (14)	245
n-Nanododecane	19	31,9	912 ^K , 769 ^S	0,21 ^K	222
n-Eikosan	20	37	-	-	247
n-Heneikosan	21	41	-	-	215
n-Dokosan	22	44	-	-	249
n-Trikosan	23	47	-	-	234
n-Tetrakosan	24	51	-	-	255
n-Pentakosan	25	54	-	-	238
n-Parafin (polinerik)	-	32	885 ^K (15) 749 ^S (15)	0,514 ^K (15) 0,224 ^S (15)	251
n-Hegzakosan	26	56	770	0,21 ^K	257
n-Heptakosan	27	59	773	-	236
n-Octakosan	28	61	910 ^K , 765 ^S	-	255
n-Nonakosan	29	64	-	-	240
n-Trikosan	30	65	-	-	252
n-Hentriakotan	31	-	930 ^K , 830 ^S	-	-
n-Dotrikotan	32	70	-	-	-
n-Tritrikotan	33	71	-	-	189

K: katı S: sıvı

4.1.2.2. Tuz Hidratları

İnorganik sınıftadırlar. Termal enerji depolama kapasiteleri yüksektir ve bundan dolayı faz değiştiren materyaller arasında önemli yere sahiptirler. 0-150 °C sıcaklık aralığında kullanılabilirler. Tuz hidratların faz değişimleri sırasında hacimleri fazla değişmez ve ısı iletkenlik kapasiteleri organik faz değiştiren materyallerine göre yüksektir. Şekil 4.4’de FDM olarak kullanılan bazı tuz hidratların termo-fiziksel özellikleri verilmiştir [52].

Çizelge 4.4. FDM olarak kullanılan bazı tuz hidratların termo-fiziksel özellikleri [17,56].

Tuz Hidratı	Erime Sıcaklığı (°C)	Ergime Isısı (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Özgül Isı kJ /kg K
CaCl ₂ .6H ₂ O (Kalsiyum klorit heksahidrat)	29.7	171	1.710(25°C) 1.469 (sıvı)	1.45
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O (Sodyum sülfat dekahidrat)	32.4	254	1.485	1.93
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O Disodyum biosfatdodekahidrat	35	281	1.520 (katı) 1.442 (sıvı)	1.70 (katı) 1.95 (sıvı)
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O Sodyum tiosülfat pentahidrat	48	201	1.73 (katı) 1.67 (sıvı)	1.46 (katı) 2.93 (sıvı)
Ba(OH) ₂ .8H ₂ O Baryum hidroksit hidrat	78	267	2.180 (katı) 1.57 (20°C)	1.17(katı)
MgCl ₂ .6H ₂ O Magnezyum klorit hekza hidrat	116	165	1.442(78°C)	1.72 (katı) 2.82 (sıvı)

4.1.2.3. Yağ Asitleri

Yağ asitleri genel yapı itibariyle CH₃(CH₂)_{2n}COOH şeklindedir. Gizli ısıları parafinlerle yakın seviyede organik bileşiklerdir. Sıcaklığın düşük olduğu uygulamalarda bile ısı depolamak için kullanılabilirler [51].

4.1.2.4. Ötektik Karışımlar

Ötektik karışımlar organik ve inorganik olabilirler. Sabit erime ve donma notalarına sahiptirler. İki ya da daha fazla faz değiştiren materyalin karıştırılmasıyla ötektik karışım elde edilir. İki maddenin birbiriyle karıştırılmasıyla bu iki bileşen ile doymuş hale gelen ve en düşük donda sıcaklığındaki bu çözeltiye ötektik sıvı denir. Bu sıvının bileşimine ise ötektik bileşim olarak adlandırılır. Bileşimi sabit kalıp, sıvının donduğu sabit sıcaklık ise ötektik sıcaklık olarak adlandırılır [52]. Şekil 4.2’de organik ve inorganik FDM’ler karşılaştırılmıştır.

ORGANİKLER GRUBU (PARAFİNLER) AVANTAJLARI	İNORGANİKLER GRUBU (TUZ HİDRATLARI) AVANTAJLARI
<ul style="list-style-type: none"> -Yüksek gizli ısı depolama kapasitesine sahiptirler. -Kimyasal ve termal olarak kararlı bir yapıya sahiptirler. -Korozif ve zehirli değildir. -Aşırı soğuma göstermezler. 	<ul style="list-style-type: none"> -Yüksek gizli ısı depolama özelliğine sahiptirler -Yüksek ısı iletkenliğe sahiptirler -Yanıcı değildir. -Ucuzlardır.
DEZAVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
<ul style="list-style-type: none"> -Düşük ısı iletkenlik -Faz değişimi sırasında büyük hacim değişikliği -Yanıcılık 	<ul style="list-style-type: none"> -Aşırı soğuma gösterirler. -Koroziftirler. -Faz ayrışması meydana getirirler.

Şekil 4.2. Organik ve inorganik FDM'lerin karşılaştırılması [57].

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. SAYISAL YÖNTEM

Bu tez çalışması bulaşık makinesinin yıkama ve durulama sonrası dışarıya attığı ısı enerjisine sahip gri suyun parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjöründen geçirilerek şebekeden bulaşık makinesine giren suya aktarılmasını kapsar. Bu kapsamda gri suyun deşarj süresi boyunca enerji dengesi Eşitlik 5.1'deki gibi gösterilebilir.

$$\Delta E_{gr} = \Delta E_{dt,pa} + E_{gt,pa} + \Delta E_{td,dt} \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1'de ΔE_{gr} gri suyun deşarj süresi boyunca enerji dengesi, $\Delta E_{dt,pa}$ parafin duyulur ısı enerjisi, $E_{gt,pa}$ parafin gizli ısı enerjisi ve $\Delta E_{td,dt}$ ısı değiştirici duyulur ısı enerjisidir. Isı transferi sonucunda faz değişimi meydana gelmemiştir. Bundan dolayı gizli ısı ihmal edilebilir. Eşitlik 5.1'deki denklem Eşitlik 5.2'deki gibi ifade edilebilir.

$$\dot{m}_{gr} c_{gr} (T_{grg} - T_{grç}) t_{dsj} = \dot{m}_{pa} c_{pa} (T_{ort,son} - T_{ort,ilk}) t_{dsj} + \Delta E_{td,dt} \quad (5.2)$$

\dot{m}_{dr} gri suyun kütesini, c_{gr} gri suyun özgül ısısını, T_{grg} gri suyun giriş sıcaklığını, $T_{grç}$ gri suyun çıkış sıcaklığını, t_{dsj} deşarj süresini, \dot{m}_{pa} parafinin kütesini, c_{pa} parafin özgül ısısını, $T_{ort,son}$ ortalama son sıcaklığını ve $T_{ort,ilk}$ ortalama ilk sıcaklığını ifade eder. Yeniden doldurma periyodunun enerji dengesi Eşitlik 5.3'deki gibi tanımlanabilir.

$$\Delta E_{yd} = \Delta E_{dt,pa} + \Delta E_{td,dt} \quad (5.3)$$

ΔE_{yd} yeniden dolun enerji dengesini demektir. Eşitlik 5.3'deki denklem Eşitlik 5.4'deki gibi ifade edilebilir.

$$\dot{m}_{yd}c_{yd}(T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}})t_{yd} = \dot{m}_{pa}c_{pa}(T_{\text{ort,son}} - T_{\text{ort,ilk}})t_{yd} + \Delta E_{ld,ld} \quad (5.4)$$

\dot{m}_{yd} yeniden dolan suyun kütesini, c_{yd} yeniden dolan suyun özgül ısısını ve t_{yd} yeniden dolan suyun dolun süresini ifade eder. Akışkanlar arasında gerçekleşen ısı transferi Eşitlik 5.5'deki gibi gösterilir.

$$\dot{Q} = \dot{m}c_{\text{ort}}(T_{\text{giriş}} - T_{\text{çıkış}}) \quad (5.5)$$

Eşitlikle 5.5'de \dot{Q} ısı transferi, \dot{m} kütle, c_{ort} ortalama özgül ısıdır. $T_{\text{giriş}}$ akışkanın giriş sıcaklığı $T_{\text{çıkış}}$ akışkanın çıkış sıcaklığıdır. Gri su ve şebeke suyu arasında gerçekleşen ortalama ısı transferi (\dot{Q}_{ort}) Eşitlik 5.6'daki gibi hesaplanır.

$$\dot{Q}_{\text{ort}} = \frac{\dot{Q}_{gr} + \dot{Q}_{sb}}{2} \quad (5.6)$$

\dot{Q}_{gr} gri suyun, \dot{Q}_{sb} şebeke suyuna olan ısı transfer oranını gösterir. Isı değiştiricide meydana gelen ısı transferi Eşitlik 5.7'deki gibi gösterilir.

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{\text{lmtd}} \quad (5.7)$$

Eşitlik 5.7'de U toplam ısı transfer katsayısı ve A ısı transfer yüzey alanıdır. Eşitlik 5.5'de ısı direnç eşitliği verilmiştir [58].

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_d}{D_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{\eta_d h_d A_d} \quad (5.8)$$

Eşitlik 5.8'deki h_i ve h_d sırasıyla iç ve dış ısı transfer katsayısı, D_i ve D_d sırasıyla boru iç ve dış çapları, A_i ve A_d borunun içi ve dışından geçen akışkanın temas ettiği yüzey alanı, L boru uzunluğu ve η yüzey verimliliğidir. Re_{sb} ve Pr borunun iç tarafı için

Reynolds ve Prandtl sayılarını ifade eder. Bu sayılar Eşitlik 5.9'daki ve Eşitlik 5.10'daki gibi hesaplanır [59].

$$Re_{rw} = \frac{\rho_{sb} u_{sb} D_i}{\mu_{sb}} \quad (5.9)$$

$$Pr = \frac{c p_{sb} \mu_{sb}}{k_{sb}} \quad (5.10)$$

Eşitlik 5.9'da ve Eşitlik 5.10'da ρ_{sb} , u_{sb} , μ_{sb} ve $c p_{sb}$ sırasıyla şebeke suyunun yoğunluğunu, akış hızını, dinamik viskoziteyi ve özgül ısı kapasitesini temsil eder. Eşitlik 5.11'de boru içi sürtünme faktörü verilmiştir.

$$f_i = (1.58 \ln(Re_{rw}) - 3.28)^{-2} \quad (5.11)$$

Ev aletlerinin enerji verimliliği etiketlerinde belirtilir. Enerji verimliliği EEI yani enerji verimliliği indeksi ile belirlenir. EEI Eşitlik 5.12'deki gibi hesaplanır [60].

$$EEI = \frac{AE_c}{SAE_c} \times 100 \quad (5.12)$$

AE_c bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi, SAE_c bulaşık makinesinin standart enerji tüketimidir. Yıllık enerji tüketimi Eşitlik 5.13'deki gibi hesaplanır.

$$AE_c = E_t \times 280 + \frac{\left[P_0 \times \frac{525,600 - (T_t \times 280)}{2} + P_1 \times \frac{525,600 - (T_t \times 280)}{2} \right]}{60 \times 1000} \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.13'de E_t enerji tüketimini ifade etmekte, P_0 kapalı moddaki güç, P_1 açık moddaki güç ve T_t program süresidir. Yıllık toplam standart çalıştırma sayısı 280'dir. SAE_c yani yıllık standart enerji tüketimi bulaşık makineleri için Eşitlik 5.14'deki gibi hesaplanabilir. Eşitlik 5.14'deki ps nominal kapasiteyi ifade etmektedir.

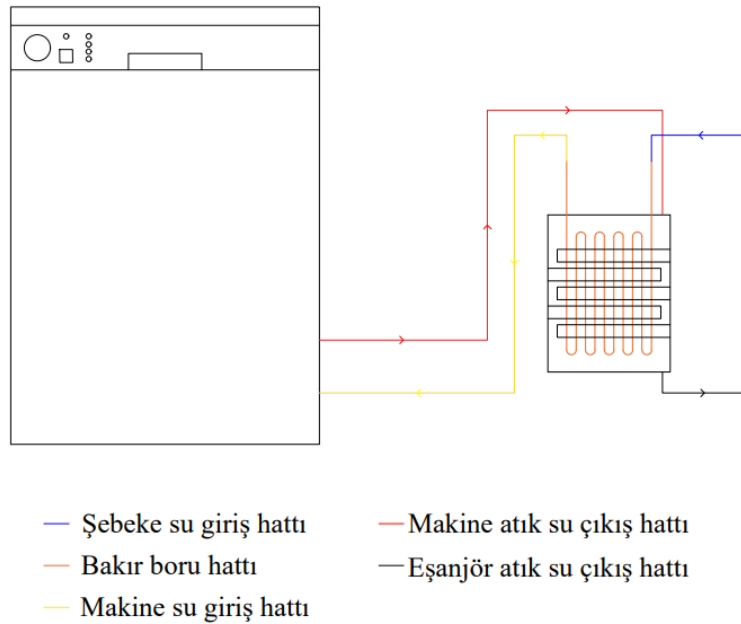
$$SAE_c = 7 \times ps + 378 \quad (5.14)$$

5.2. DENEYSEL YÖNTEM

5.2.1. Sistem Tanımı ve Kullanılan Ekipmanlar

Bu yüksek lisans tezi ev tipi bulaşık makinesinin yıkama kalitesinde bir değişiklik olmadan enerji tasarrufu sağlamak hedeflenmiştir. Bu kapsamda ev tipi bulaşık makinesinin her bir program için sıcaklık, zaman ve enerji tüketim şemaları çıkartılmıştır. Ev tipi bulaşık makinesinin bulaşıkları hijyenik bir şekilde yıkaması için ısıttığı su kullanımdan sonra sistem dışına atılmaktadır. Sistem dışına atılan bu atık enerji tez kapsamında tasarlanan parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü ile sisteme geri kazandırılması hedeflenmiştir.

Bulaşık makinesinin gri su çıkışına yerleştirilen parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü bulaşık makinesinin sistem dışına bıraktığı atık ısıyı kendi üzerinde depolayarak sistemin giriş suyunu ısıtmakta kullanılmıştır. Böylece bulaşık makinesinin giriş suyu sıcaklığını artırılarak ısıtma süresinin kısaltılması hedeflenmiştir. Isıtma süresinin kısaltılması bulaşık makinesinin ısıtma için kullanacağı enerjinin daha aza indirilmesini ve enerjinin daha verimli kullanılmasını ifade etmektedir. Şekil 5.1’de Sistem akışkan hatları ve bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Sistem akışkan hatları ve bağlantıları.

5.2.1.1. Ev Tipi Bulaşık Makinesi

Tez kapsamında ev tipi bulaşık makinesi kullanılmıştır. Bu ev tipi bulaşık makinesi dört programa sahiptir. Bunlar Ön yıkama, Ekonomik 50 °C, Hızlı 60 °C ve Süper 70 °C'dir. Her bir program farklı yıkama adımlarına ve sıcaklıklarına sahiptir. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün bulaşık makinesindeki enerji verimini nasıl etkilediğini gözlemlemek için veriler Ekonomik 50 °C, Hızlı 60 °C ve Süper 70 °C programlarında alınmıştır. Şekil 5.2'de parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün bağlandığı ve deneylerin yapıldığı ev tipi bulaşık makinesi gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Ev tipi bulaşık makinesi.

Bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C programı 5 adımda gerçekleşir bunlar ön yıkama, ana yıkama, birinci durulama, ikinci durulama ve kurutmadır. Ön yıkama ve birinci durulama işlemlerinde herhangi bir ısıtma işlemi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada ise şebekeden sisteme giren su ana yıkama işlemi devam ederken 50 °C'ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşıncaya kadar ısıtıcı durmaktadır. Isıtma işlemi bittikten sonra 30 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmektedir. İkinci durulamada ise şebekeden alınan su durulama işlemi devam ederken 62 °C'ye çıkar ve durulama işlemi bitmiş olur. Durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan

sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

Bulaşık makinesinin Hızlı 60 °C programı Ekonomik 50 °C programından farklı olarak 4 adımdan oluşur. Bunlar ana yıkama, birinci durulama, ikinci durulama ve kurutmadır. Ana yıkamada şebekeden sisteme giren su ana yıkma devam ederken 68 °C'ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşınca ısıtıcı durmaktadır. Isıtma işlemi bittikten sonra 5 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmekte ve daha sonra kullanılan su sistem dışına atılmaktadır. Birinci durulamada şebekeden alınan suya herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmaz. Şebekeden alınan su ile durulama işlemi gerçekleşir ve kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamada ise şebekeden alınan su durulama işlemi devam ederken 65 °C'ye kadar çıkartılır ve ikinci durulama işlemi bitmiş olur durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası Ekonomik 50 °C programında olduğu gibi haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

Bulaşık makinesinin Süper 70 °C program 5 adımda gerçekleşir bunlar ön yıkama, ana yıkama, birinci durulama, ikinci durulama ve kurutmadır. Ön yıkama işlemi sırasında şebekeden alınan su yıkama devam ederken 45 °C'ye kadar ısıtılır 45 °C'ye geldiğinde ise ısıtıcı durur ve 5 dakika daha ön yıkama işlemi devam eder daha sonra ise ön yıkama suyu boşaltılır. Ana yıkamada ise şebekeden sisteme giren su ana yıkama işlemi devam ederken 70 °C'ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşınca ısıtıcı durur. Isıtma işlemi bittikten sonra 15 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmektedir ve daha sonra ana yıkamada kullanılan su sistem dışına atılır. Birinci durulamada ısıtma işlemi olmadan şebekeden alınan su ile durulama işlemi gerçekleşir. İkinci durulamada ise şebekeden alınan su 67 °C'ye çıkar ve durulama işlemi bitmiş olur. Durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası diğer programlarda olduğu gibi haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

5.2.1.2. Parafin ve Çelik Sünger Destekli Isı Eşanjörü

Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü bulaşık makinesinin çalışma prensibine göre iyi bir ısı transferi sağlayabilmek için tasarlanmıştır. Ev tipi bulaşık makineleri sisteme giren şebeke suyunu ısıtır ve aynı zamanda bulaşıkların üstüne pervaneler yardımıyla püskürtür. Isıtıcı makinenin ayarlandığı programa göre istenilen sıcaklığa gelince durur ve pervane ısıtılan şebeke suyunu bulaşıklara püskürtmeye devam eder. Kullanılan sıcak su yıkama sonrasında belirli bir ısı kaybetmesine rağmen ısı enerjisine sahiptir. Bulaşık makinesi yıkama sonrası ısı enerjisine sahip olan bu sıcak ve kirli suyu sistem dışına atar. Atık suyun sistem dışına atma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi şebekeden tekrar suyu sisteme alır ve bu şebeke suyunu tekrardan ısıtır. Isı enerjisine sahip olan suyun atılması ve şebekeden sisteme suyun alınması aynı anda gerçekleşmediğinden iki farklı sıcaklığa sahip akışkanın eşanjör üzerinde aynı anda geçerek ısı transferi sağlayan ısı eşanjörleri ev tipi bulaşık makinesinde istenilen ısı transferini gerçekleştiremez. Ev tipi bulaşık makinesinde ısı transferini yüksek oranlarda gerçekleştirmek için bu tez kapsamında atılan sıcak suyun ısı enerjisini depolayan sonrada şebekeden sisteme giren suya aktaran parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü tasarlanmıştır.

Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün gövdesi ve atık suyun ısı eşanjöründe daha fazla dolaşmasını sağlayan hücre şeklindeki şaşırtmaçlar galvaniz sacdan yapılmıştır. Galvaniz sac metalin çinko ile kaplanarak korozyona karşı dirençli hale getirilmesidir. Galvanizleme işlemleri üç farklı şekilde gerçekleşir. Bunlar sıcak daldırma ile çinko kaplama, elektrolitik olarak çinko kaplama, püskürtme ile çinko kaplamadır [61].

Aşağıdaki Şekil 5.3.'de büyük galvanizli saclardan kesilmiş ve delikler açılarak montaja uygun halde getirilmiş parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün gövdesini oluşturan galvanizli sac plakalar gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün gövde plakaları.

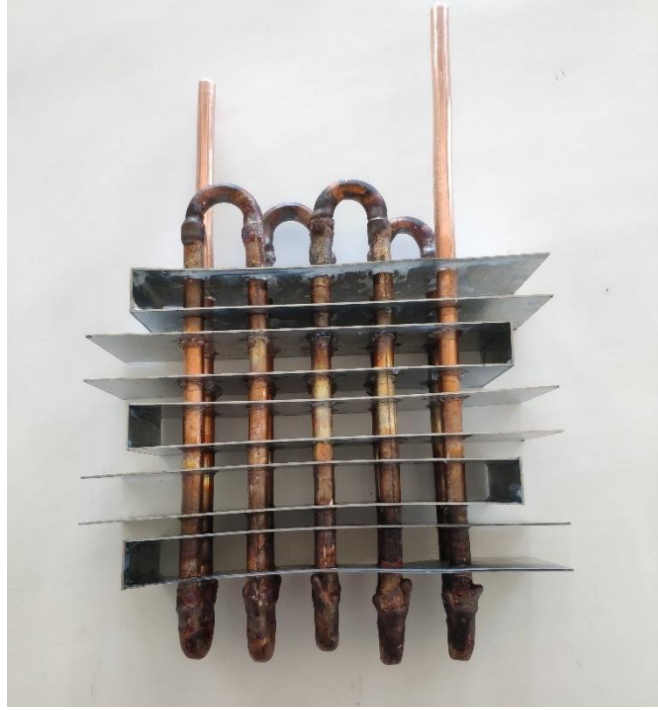
Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün şebekeden aldığı ve daha sonra ısı transfer işlemi gerçekleştirip bulaşık makinesine verilen şebeke suyu parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün içinden 3/8 inç bakır borudan geçmektedir. Bakır borunun tercih edilme sebebi ise hem ısı iletim kat sayısının yüksek olması hem de şebeke suyu basıncına dayanıklı olmasıdır. Bakır borunun birçok kullanım alanı mevcuttur bunlar içe suyu, soğutma, ısıtma, gaz, yakıt ve medikal gaz tesisatlarıdır. Çizelge 5.1’de bakır borunun teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bakır borunun teknik özellikleri [62].

Bakır Borunun Teknik Özellikleri	
Yoğunluk	8,94 g/cm ³
20 °C'de Isıl İletkenlik	340 W/m°K
Isıl Genleşme Katsayısı	17,6 °K ⁻¹ 10 ⁻⁶
Ergime Derecesi	1083 °C

Bulaşık makinesinin sistemden attığı atık su eşanjörde bulunan bakır boruya daha fazla temas etmesini ve ısı transferinin artırılmasını sağlamak amacıyla galvaniz sacdan bir araya getirilmiş hücreler kullanılmıştır. Bu hücreler parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörüne yerleştirilmiş oldukları pozisyon itibarıyla atık su için şaşırtmaç görevi görmektedir. Böylece atık suyun sistemde dolaşımı artırılmış ve daha fazla ısı

transferi sağlanmış olur. Hücreslerin bakır boruya ve gövdeye olan montajları şekil 5.4’de ve şekil 5.5’de gösterilmiştir.

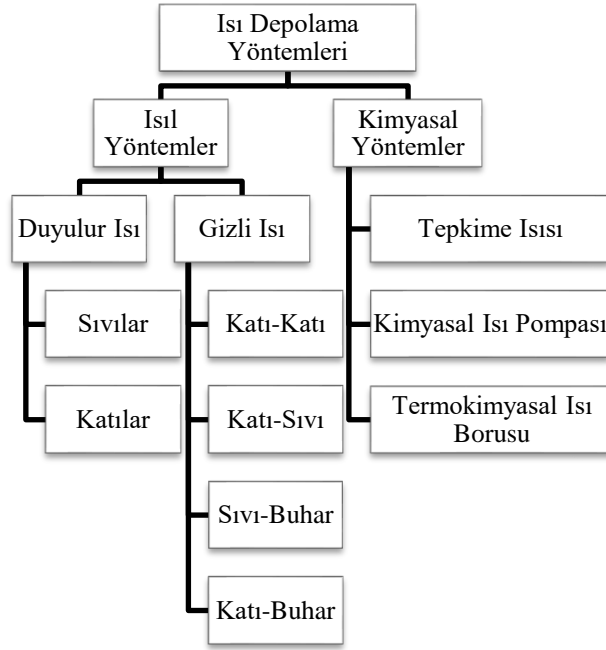


şekil 5.4. Hücreslerin bakır boruya olan montajı.



şekil 5.5. Hücreslerin ve bakır borunun gövdeye olan montajı.

Bulaşık makinesinin çalışma prensibinden dolayı sistemden atılan ve ısı enerjisi barındıran kirli suyun ısı eşanjörlerinden direkt geçirilerek şebekeden alınan suyu aktarılması verimli değildir. Bu yüzden bulaşık makinesinin dışarıya attığı atık suyun ısı enerjisini şebekeden alınan suyu aktarmak için atık enerjinin önce depolaması sonrada şebekeden alınan suya aktarılması gerekmektedir. Birçok ısı depolama yöntemi mevcuttur. Bu ısı depolama yöntemleri aşağıdaki Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6. Isı depolama yöntemleri [52].

Tez kapsamında ısı eşanjörünün bulaşık makinesinin atık ısısını depolayabilmesi için duyulur ısı depolama yöntemine baş vurulmuştur. Duyulur ısı ile enerji depolama ısı depolayan materyalin sıcaklığındaki değişimi kullanılarak yapılan depolamadır. Kullanılan depolama materyaline onun sıcaklığından daha yüksek sıcaklıktaki başka bir materyalden ısı enerjisi transferi ile depolama materyalinin sıcaklığı arttırılır ve daha sonra kullanılmak üzere depolanmış olunur. Depolanabilecek olan ısı miktarı; depolama materyalinin ısı kapasitesine, oluşan sıcaklık değişimine ve depolama materyalinin miktarına bağlıdır. Depolanabilecek ya da depolanan ısı miktarı Eşitlik 5.15 formülüyle hesaplanabilir [52].

$$Q = mC_p(T_s - T_b) \quad (5.15)$$

T_b = Başlangıç sıcaklığı

T_s = Son sıcaklığı

m = Depolama materyalinin kütlesi

C_p = T_b ve T_s arasındaki ortalama özgül ısı

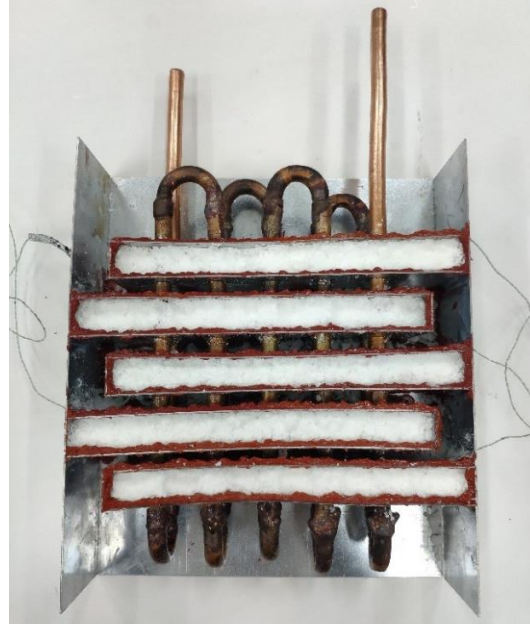
Tez kapsamında tasarlanan ısı eşanjörü bulaşık makinesinin atık enerjisini depolayabilmesi ve bu atık enerjiyi şebeke giriş suyuna aktırabilmesi için parafin kullanılmıştır. Parafin ısı eşanjörünün hücreleri içine yerleştirilerek montajı yapılmış böylece hem atık ve kirli su ile teması önlenmiş hem de aralarında ısı transferi sağlanmıştır. Şaşırtmaç olarak kullanılan hücrelerin içine parafin yerleştirilmesi hücrelere hem şaşırtmaç olarak kullanımını hem de ısı depolamada kullanımını sağlamıştır.

Parafinler C_nH_{2n+2} tipinde olup çok yakın özelliklere sahip doymuş hidrokarbonlar grubundandır. C_5 ve C_{15} arasında kalan parafinler sıvı, $n > 15$ olan parafinler ise katı veya amorfudur. Parafinler düz zincirli hidrokarbonlar olup 23-67 °C arasında erime sıcaklığına sahiptirler [51].

Tez kapsamında tasarlanan ısı eşanjöründe ısı depolayıcı materyal olarak parafin kullanılmıştır. Parafin ısı eşanjörü içinde bulunan hücrelere konulmuştur. Her bir hücre içine 100 g talaş halinde parafin bulunmaktadır. Toplamda ısı eşanjörü içinde 500 g parafin vardır. Aşağıdaki Şekil 5.7'de ve Şekil 5.8'de parafinin 100 g'lık talaş hali ve hücrelerin içine konulmuş halleri gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Her bir hücrede bulunan 100 g talaş halindeki parafin.



Şekil 5.8. Parafinin her bir hücreye dolumu.

Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün şebekeden alınan suya daha fazla ısı transferi gerçekleştirebilmesi amacıyla bakır borunun yüzey alanını ısı eşanjörüne çelik sünger ekleyerek arttırılmıştır. Çelik sünger bakır boruya temas edecek şekilde atık suyun ısı eşanjöründe takip ettiği yola yerleştirilmiştir. Toplamda 100g çelik sünger kullanılmıştır. Kullanılan çelik sünger Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Çelik süngerin parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörüne montajı aşağıdaki Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. 100g çelik sünger.

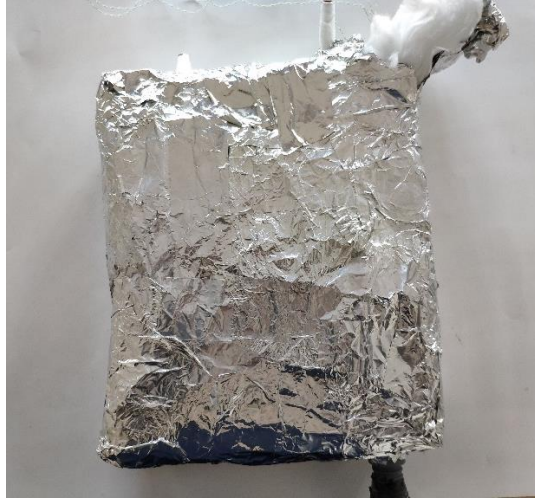


Şekil 5.10. Çelik süngerin ısı eşanjörüne olan montajı.

Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün ısı kayıplarını düşürebilmek için seramik yünü kullanılmıştır. Isı eşanjörünün dışı seramik yünü ile kaplandıktan sonra seramik yününün lifli yapısına zarar gelmemesi ve dış ortamdan fiziksel olarak etkilenmemesi için alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Yapılan yalıtım işlemi aşağıdaki Şekil 5.11’de. ve Şekil 5.12’de gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü ve seramik yünü.



Şekil 5.12. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün yalıtımlı hali.



Şekil 5.13. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün ve ölçüm cihazlarının bulaşık makinesine olan montajı.

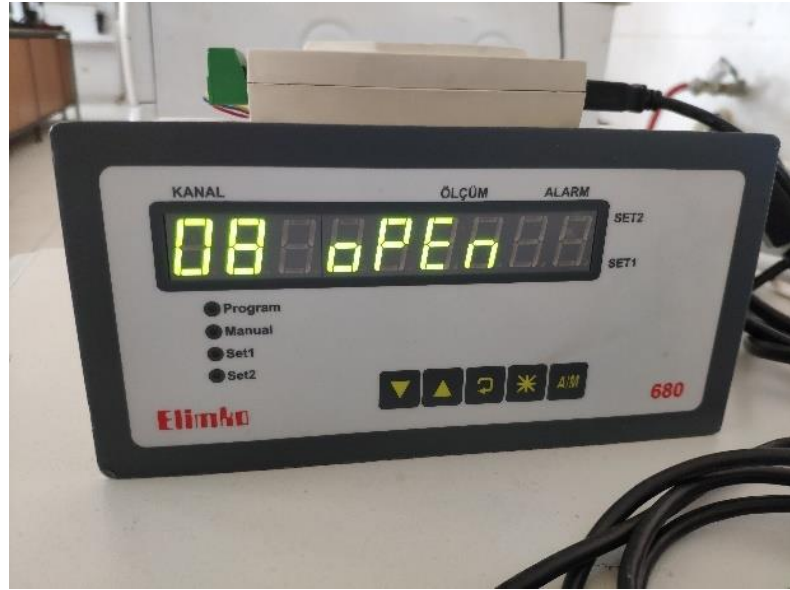
5.2.1.3. Ölçüm Cihazları ve Ölçüm Alınan Noktalar

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın sonuçlarını gözlemleyebilmek için farklı noktalardan ölçümler alınmıştır. Ölçümler bulaşık makinesi boş ve ısı eşanjörünün montajı yapılmış ve yapılmamış durumlarda alınmıştır. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün montajı yapılmamış durumda bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı, şebekeden giriş suyu sıcaklığı, yıkama ve durulama sonrasında atılan gri suyun sıcaklığı, deneyin yapıldığı odanın iç ortam sıcaklığı, giriş suyu debisi ve miktarı, bulaşık makinesinin çalışma durumunda çektiği güç ve enerji tüketimi ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin alınmasında kullanılan ölçüm aletleri aşağıda isimleri sıralanmış ve Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de gösterilmiştir.

- Polaxtor dijital wattmetre
- Elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl
- YF-S201 su akış sensörü ve Arduino Uno çifti



Şekil 5.14. YF-S201 su akış sensörünün bulaşık makinesi şebeke suyu giriş bağlantısı.

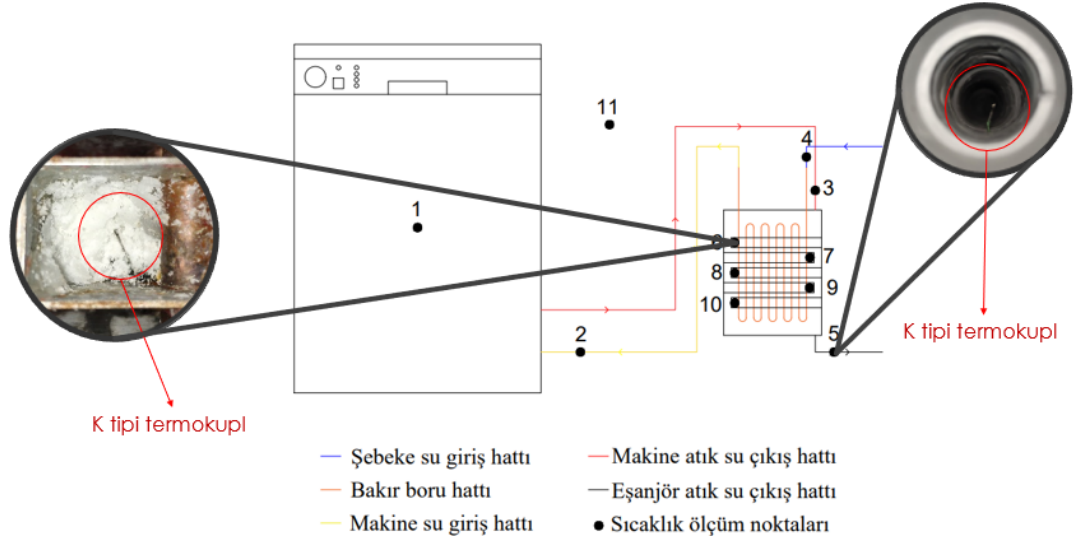


Şekil 5.15. Elimko 680 datalogger.



Şekil 5.16. Polaxtor dijital wattmetre.

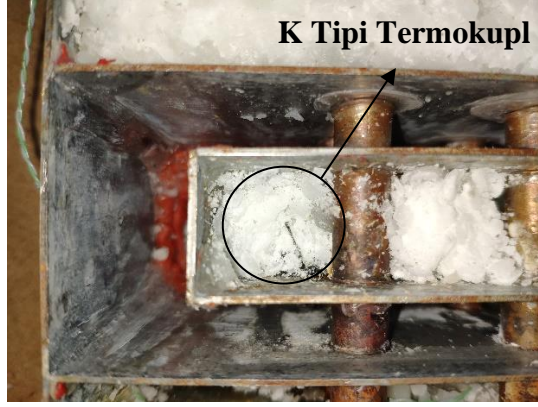
Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün montajı yapılmış durumda bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı, eşanjörden bulaşık makinesine giren suyun sıcaklığı, yıkama ve durulama sonrasında atılan gri suyun eşanjöre giriş sıcaklığı, şebekeden ısı eşanjörüne giren suyun sıcaklığı, eşanjörden atılan gri suyun sıcaklığı, ısı eşanjörünün her bir hücresi içinde bulunan parafinin sıcaklığı, deneyin yapıldığı odanın iç ortam sıcaklığı, bulaşık makinesine giren suyu debisi ve miktarı, bulaşık makinesinin çalışma durumunda çektiği güç ve enerji tüketimi ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan noktalar Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün bulaşık makinesine olan bağlantı şeması ve sıcaklık ölçümü yapılan noktalar.

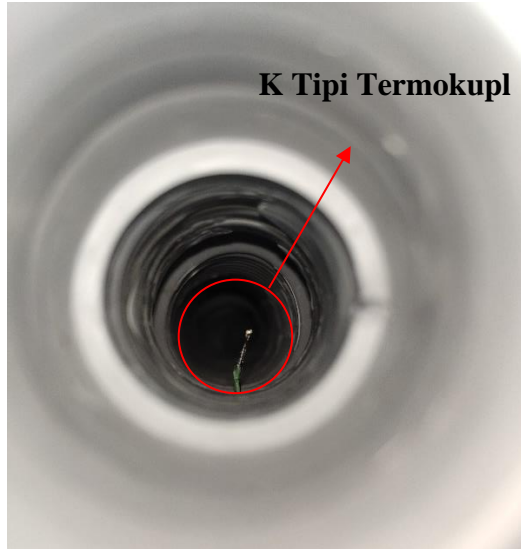
1 numaralı noktadan bulaşık makinesinin çalışma süresi boyunca iç ortamının sıcaklığı ölçülmüştür. 2 numaralı noktadan eşanjörden çıkıp bulaşık makinesine giren suyun sıcaklığı, debisi ve miktarı ölçülmüştür. 3 numaralı noktadan yıkama ve durulama sonrası bulaşık makinesinin attığı ve ısı eşanjörüne giren gri suyun sıcaklığı ölçülmüştür. 4 numaralı noktada şebekeden ısı eşanjörüne giren suyun sıcaklık ölçümü yapılmıştır. 5 numaralı noktada ısı transfer işlemi tamamlanan gri suyun ısı eşanjöründen çıkış sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. 6, 7, 8, 9, 10 numaralı noktalarda ise ısı eşanjörünün içinde ısı depolayan parafin hücrelerinin sıcaklıkları ölçülmüştür. Son olarak 11 numaralı noktada deneyin yapıldığı odanın iç ortam sıcaklığı ölçümü yapılmıştır.

K tipi termokupl ile yapılan ölçümler sadece ölçümü yapılacak olan madde ile temas etmektedir. Diğer yüzeyler ile etkileşime geçip sıcaklık ölçümlerinde sapmalar olmaması için K tipi termokupl ısı depolama hücrelerindeki parafin sıcaklığını ölçmek için aşağıdaki Şekil 5.17’de gösterildiği gibi konumlandırılmışlardır. Yerleştirilen termokupllar hareket ettirilmeden üstleri tekrardan parafinle kapatılmışlardır.



Şekil 5.18. Hücrelere k tipi termokupların yerleştirilmesi.

Borulardan geçen akışkanların sıcaklıklarını ölçmek için K tipi termokuplar borulara aşağıdaki Şekil 5.18’de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.19. Borulara K tipi termokupların yerleştirilmesi.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada bulaşık makinesine hiçbir müdahalede bulunmadan içi boş çalışması durumunda Ekonomik 50 °C, Hızlı 60 °C, Süper 70 °C programlarında ulaştığı sıcaklık değerleri, su tüketim miktarı, çalışma süresi, bu çalışma süresi boyunca suyu ısıtmak için harcadığı enerji ve toplam harcadığı enerji miktarı ölçümleri yapılmıştır. Bulaşık makinesinin çalışma diyagramı çıkartılmıştır.

Bulaşık makinesinin gri suyu ile şebekeden alınan su arasında ısı aktarımı sağlamak için parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü tasarlanmış ve yapılmıştır. Bulaşık makinesinin önce gri suyu atması ve su atma işlemi bittikten sonra sisteme şebekeden su alması sebebi ile daha fazla ısı transferi oluşturmak için ısının önce depolanması ve daha sonra ısıyı şebekeden aldığı suya aktarılması gerektiği sonucuna ulaşılmış böylece parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü tasarlanmıştır.

Yapımı tamamlanan parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörünün bulaşık makinesine montaj işleminin gerçekleştirilmiştir ve bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C, Hızlı 60 °C, Süper 70 °C programlarında yıkama ve durulamada ulaştığı sıcaklık değerleri, su tüketim miktarı, çalışma süresi, bu çalışma süresi boyunca suyu ısıtmak için harcadığı enerji, toplam harcadığı enerji miktarı, ısı eşanjörünün giriş çıkış su sıcaklıkları ve hücre sıcaklıkları ölçümleri yapılmıştır

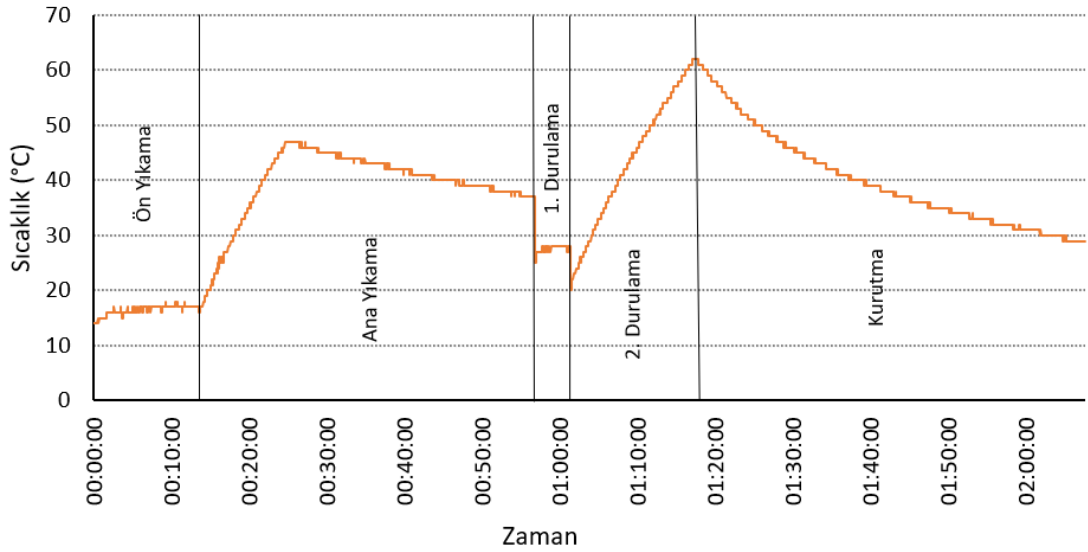
Son olarak ölçümlerde elde edilen verilerin karşılaştırılmış ve tasarlanan ısı eşanjörünün enerji tüketimine olan etkisi incelenmiştir.

6.1. BULAŞIK MAKİNESİ PROGRAMLARININ İNCELENMESİ

6.1.1. Ekonomik 50 °C Programının İncelenmesi

6.1.1.1. Ekonomik 50 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C programının zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinin incelenebilmesi için bulaşık makinesine giren şebeke suyu sıcaklığı, bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı ve gri su sıcaklığı ölçümleri elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi iç ortam sıcaklık değerleri aşağıdaki Şekil 6.1'de bulaşık makinesi Ekonomik 50 °C programının zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir.



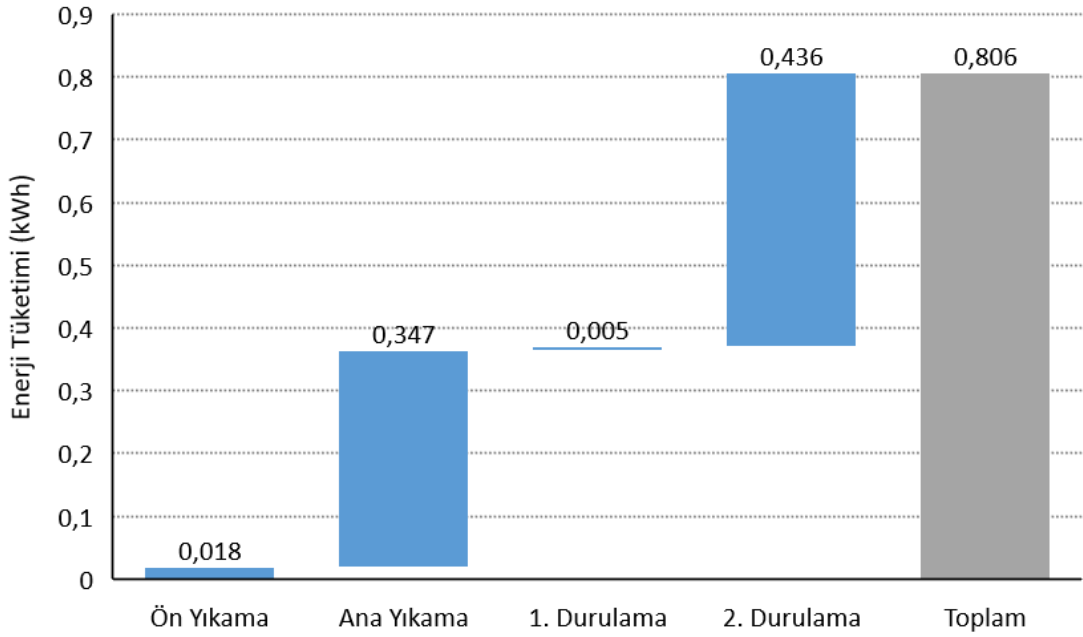
Şekil 6.1. Bulaşık makinesi Ekonomik 50 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C programı ön yıkama, ana yıkama, birinci durulama, ikinci durulama ve kurutmadan oluşmaktadır. Ön yıkama ve birinci durulama işlemlerinde herhangi bir ısıtma işlemi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada ise şebekeden sisteme giren 16 °C su ana yıkama işlemi devam ederken 47 °C'ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşıncaya ısıtıcı durmaktadır. Isıtma işlemi bittikten sonra 30 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmektedir. İkinci durulamada ise şebekeden alınan su durulama işlemi devam ederken 62 °C'ye çıkar ve durulama

işlemi bitmiş olur. Durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

6.1.1.2. Ekonomik 50 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C programının enerji tüketimi incelenebilmesi için bulaşık makinesinin prizine polaxtor dijital wattmetre takılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi enerji tüketim değerleri aşağıdaki Şekil 6.2’de bulaşık makinesi Ekonomik 50 °C programı enerji tüketim grafiği olarak verilmiştir.



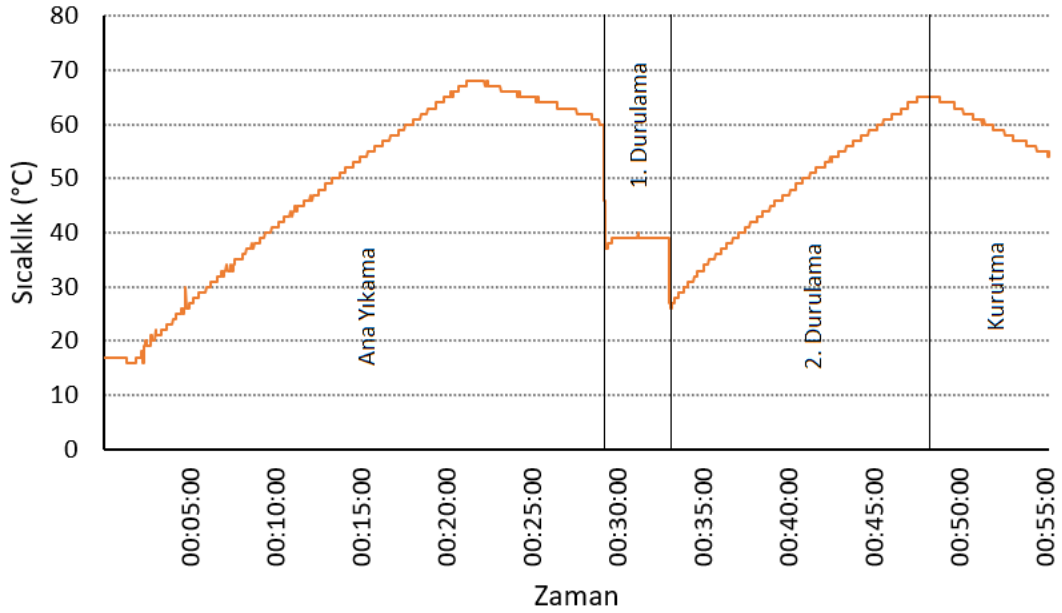
Şekil 6.2. Bulaşık makinesi Ekonomik 50 °C programı enerji tüketim grafiği.

Bulaşık makinesi Ekonomik 50 °C programında çalışması durumunda toplamda 0,806 kWh’lik enerji tüketmiştir. Bu enerji tüketiminin 0,018 kWh’i ön yıkamada, 0,347 kWh’i ana yıkamada, 0,005 kWh’i birinci durulamada ve 0,436 kWh’i ise ikinci durulamada tüketilen enerji miktarıdır. Bulaşık makinesi şebekeden aldığı suyu ısıtmak için ısıtıcıyı çalıştırdığında 1660 W enerji çekmektedir.

6.1.2. Hızlı 60 °C Programının İncelenmesi

6.1.2.1. Hızlı 60 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin Hızlı 60 °C programının zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinin incelenebilmesi için bulaşık makinesine giren şebeke suyu sıcaklığı, bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı ve gri su sıcaklığı ölçümleri elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi iç ortam sıcaklık değerleri aşağıdaki Şekil 6.3’de bulaşık makinesi Hızlı 60 °C programının zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir.



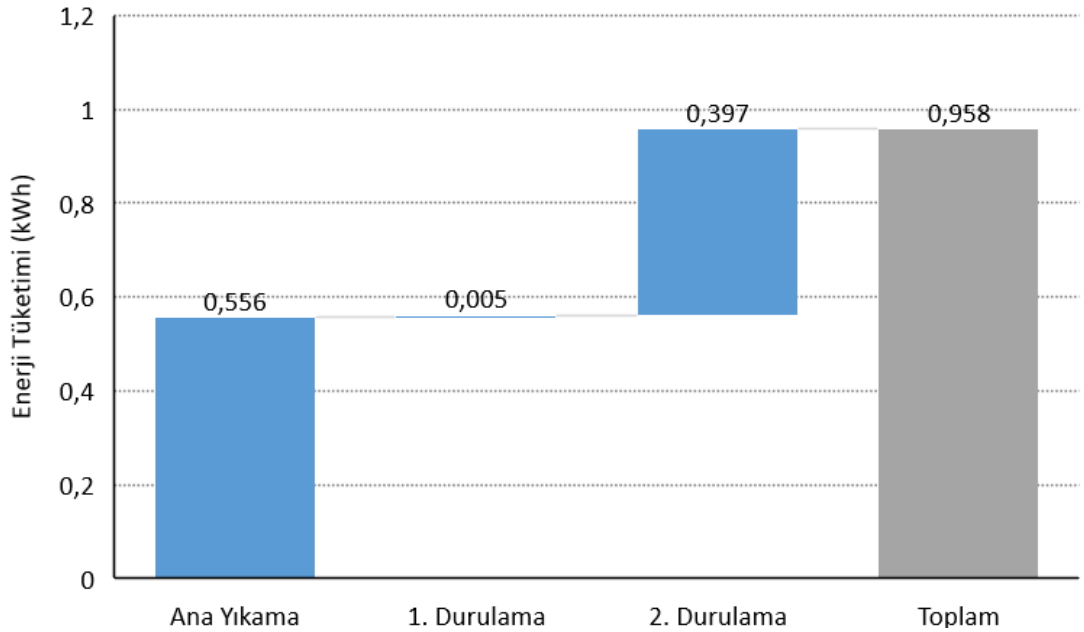
Şekil 6.3. Bulaşık makinesi Hızlı 60 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Bulaşık makinesinin Hızlı 60 °C programı Ekonomik 50 °C programından farklı olarak ana yıkama, birinci durulama, ikinci durulama ve kurutmadan meydana gelmektedir. Ana yıkamada şebekeden sisteme giren 17 °C su ana yıkama devam ederken 68 °C'ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşıncaya ısıtıcı durmaktadır. Isıtma işlemi bittikten sonra 5 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmekte ve daha sonra kullanılan su sistem dışına atılmaktadır. Birinci durulamada şebekeden alınan suya herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmaz. Şebekeden alınan su ile durulama işlemi gerçekleşir ve kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamada ise şebekeden alınan su durulama

işlemi devam ederken 65 °C'ye kadar çıkartılır ve ikinci durulama işlemi bitmiş olur durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası Ekonomik 50 °C programında olduğu gibi haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

6.1.2.2. Hızlı 60 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin Hızlı 60 °C programının enerji tüketimi incelenebilmesi için bulaşık makinesinin prizine polaxtor dijital wattmetre takılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi enerji tüketim değerleri aşağıdaki Şekil 6.4'de bulaşık makinesi Hızlı 60 °C programı enerji tüketim grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 6.4. Bulaşık makinesi Hızlı 60 °C programı enerji tüketim grafiği.

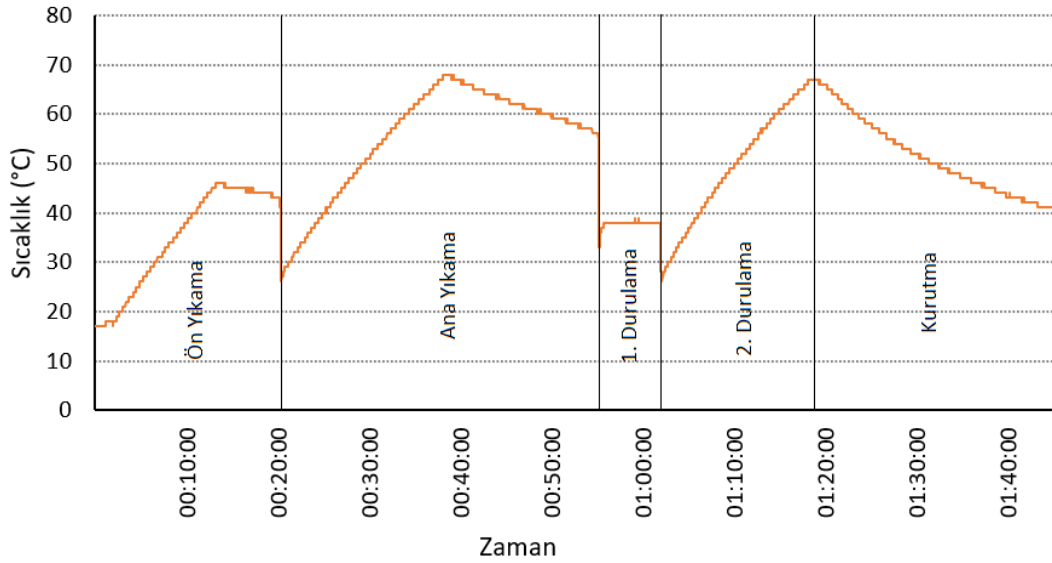
Bulaşık makinesi Hızlı 60 °C programında çalışması durumunda toplamda 0,958 kWh'lik enerji tüketmiştir. Bu enerji tüketiminin 0,556 kWh'ti ana yıkamada, 0,005 kWh'ti birinci durulamada ve 0,398 kWh'ti ise ikinci durulamada tüketilen enerji miktarıdır. Bulaşık makinesi şebekeden aldığı suyu ısıtmak için ısıtıcıyı çalıştırdığında

1640 W enerji çekmektedir. Ana yıkamada ısıtıcının çalışma süresi 20 dk ve ikinci durulamada ise 14 dk 26 sn'dir.

6.1.3. Süper 70 °C Programının İncelenmesi

6.1.3.1. Süper 70 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin Süper 70 °C programının zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinin incelenebilmesi için bulaşık makinesine giren şebeke suyu sıcaklığı, bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı ve gri su sıcaklığı ölçümleri elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi iç ortam sıcaklık değerleri aşağıdaki Şekil 6.5'de bulaşık makinesi Süper 70 °C programının zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir.



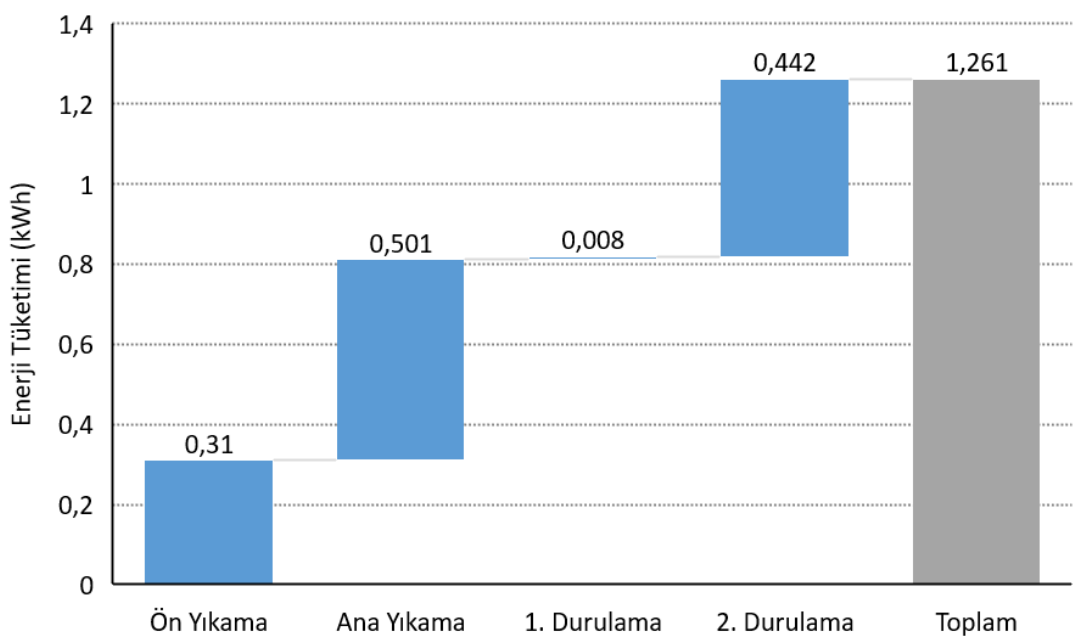
Şekil 6.5. Bulaşık makinesi Süper 70 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Bulaşık makinesinin Süper 70 °C programı ön yıkama, ana yıkama, birinci durulama, ikinci durulama ve kurutmadan oluşmaktadır. Ön yıkama işlemi sırasında şebekeden alınan 17 °C su yıkama devam ederken 45 °C'ye kadar ısıtılır 45 °C'ye geldiğinde ise ısıtıcı durur ve 5 dakika daha ön yıkama işlemi devam eder daha sonra ise ön yıkama suyu boşaltılır. Ana yıkamada ise şebekeden sisteme giren su ana yıkama işlemi devam ederken 70 °C'ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşıncaya kadar ısıtıcı durur. Isıtma

işlemi bittikten sonra 15 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmektedir ve daha sonra ana yıkamada kullanılan su sistem dışına atılır. Birinci durulamada ısıtma işlemi olmadan şebekeden alınan su ile durulama işlemi gerçekleşir. İkinci durulamada ise şebekeden alınan su 67 °C'ye çıkar ve durulama işlemi bitmiş olur. Durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası diğer programlarda olduğu gibi haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

6.1.3.2. Süper 70 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin Süper 70 °C programının enerji tüketimi incelenebilmesi için bulaşık makinesinin prizine polaxtor dijital wattmetre takılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi enerji tüketim değerleri aşağıdaki Şekil 6.6'da bulaşık makinesi Süper 70 °C programı enerji tüketim grafiği olarak verilmiştir.



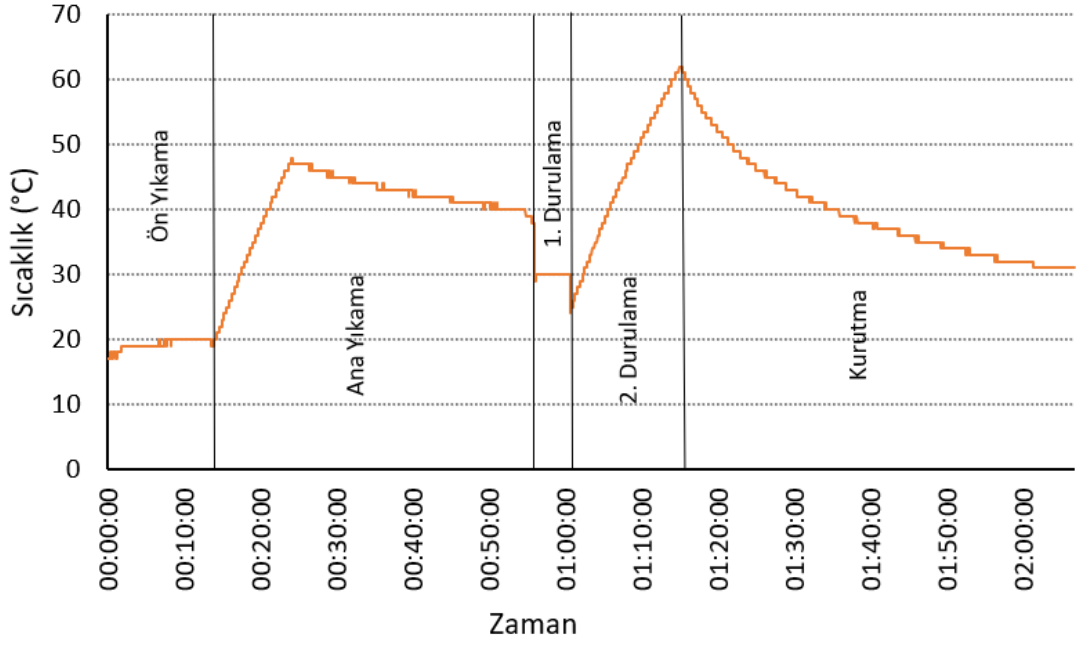
Şekil 6.6. Bulaşık makinesi Süper 70 °C programı enerji tüketim grafiği.

Bulaşık makinesi Süper 70 °C programında çalışması durumunda toplamda 1,261 kWh'lik enerji tüketmiştir. Bu enerji tüketiminin 0,31 kWh'ti ön yıkamada, 0,501 kWh'ti ana yıkamada, 0,008 kWh'ti birinci durulamada, 0,442 kWh'ti ikinci durulamada tüketilen enerji miktarıdır. Bulaşık makinesi şebekeden aldığı suyu ısıtmak için ısıtıcıyı çalıştırdığında 1630 W enerji çekmektedir. Ön yıkamada ısıtıcının çalışma süresi 11 dk 18 sn, ana yıkamada 17 dk 53 sn ve ikinci durulamada ise 16 dk 22 sn'dir.

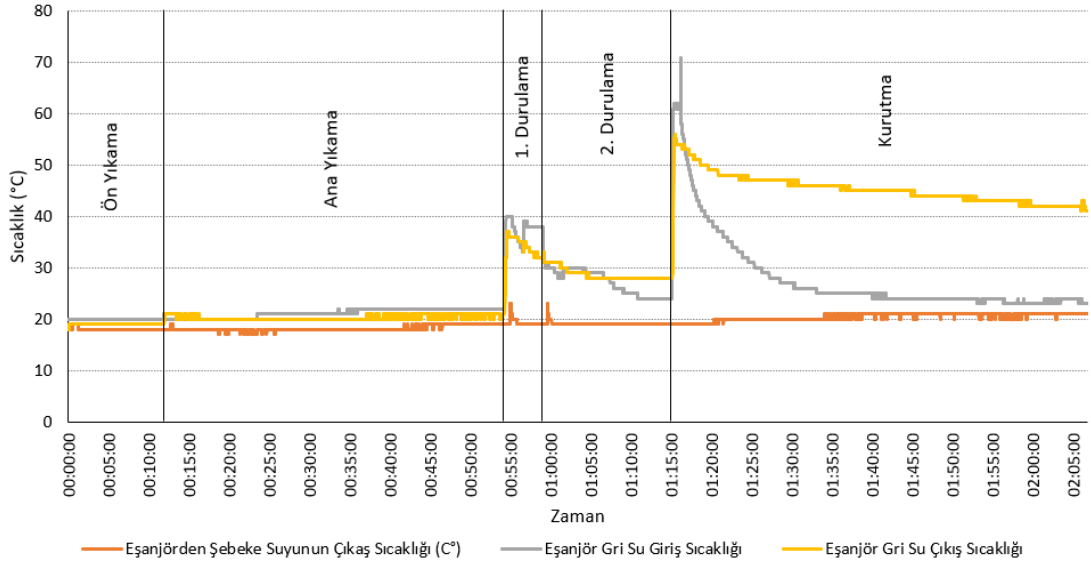
6.1.4. Isı Eşanjörlü Ekonomik 50 °C Programının İncelenmesi

6.1.4.1. Isı Eşanjörlü Ekonomik 50 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin ısı eşanjörlü Ekonomik 50 °C programının zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinin incelenebilmesi için bulaşık makinesine giren şebeke suyu sıcaklığı, bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı ve gri su sıcaklığı ölçümleri elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi iç ortam sıcaklık değerleri aşağıdaki Şekil 6.7'de bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Ekonomik 50 °C programının zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir. Bulaşık makinesinin çalışması esnasında ısı eşanjöründe meydana gelen zamana bağlı sıcaklık değişimlerini gözlemleyebilmek için ise su şebekesinden gelen suyun eşanjöre girişinden, şebeke suyunun eşanjör çıkışından, bulaşık makinesinden ısı eşanjörüne boşaltılan gri sudan ve gri suyun ısı eşanjör çıkışından elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu sıcaklık ölçümleri Şekil 6.8'de ısı eşanjörünün Ekonomik 50 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 6.7. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Ekonomik 50 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.



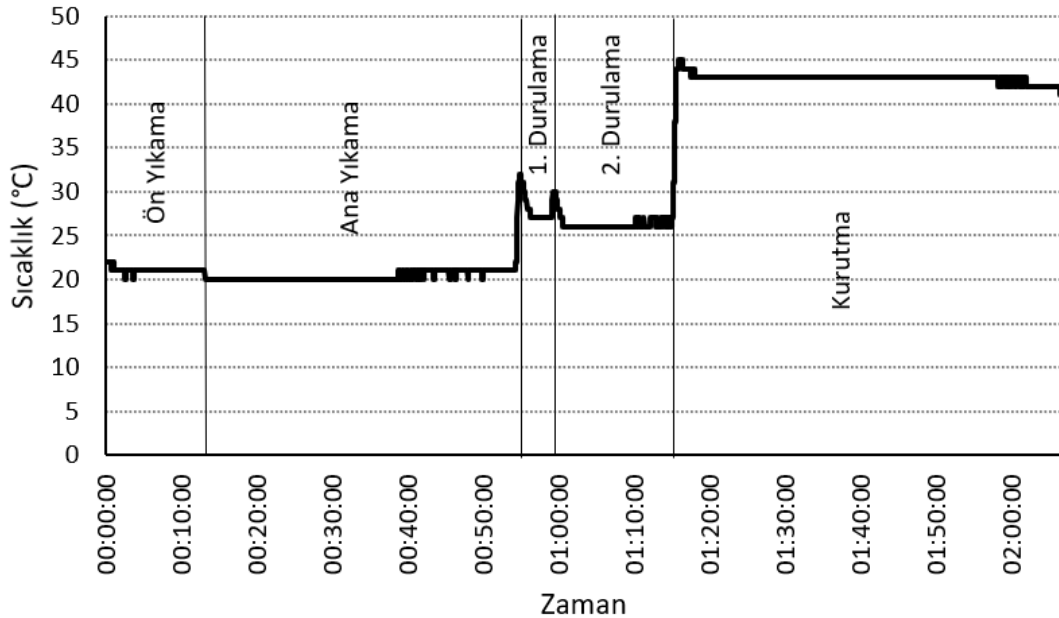
Şekil 6.8. Isı eşanjörünün Ekonomik 50 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Bulaşık makinesine ısı eşanjörü montajı yapıldığında Ekonomik 50 °C programının zamana bağlı sıcaklık değişimi şu şekildedir; Ön yıkama ve birinci durulama işlemlerinde herhangi bir ısıtma işlemi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada ise şebekeden eşanjöre giren 17 °C su eşanjörden geçerek 19 °C'ye ulaşır ve sisteme girer ve ana yıkama işlemi devam ederken 47 °C'ye kadar çıkarılmaktadır. Bu sıcaklığa

ulaşınca ısıtıcı durmaktadır. Isıtma işlemi bittikten sonra 30 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmektedir. İkinci durulamada ise şebekeden ısı eşanjörüne girer 17 °C su ısı eşanjöründen 19 °C'ye ulaşır ve sisteme girer. Durulama işlemi devam ederken 62 °C'ye çıkar ve durulama işlemi bitmiş olur. Durulamada kullanılan su ısı eşanjöründen geçerek sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

Bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C programında ısı depolama hücrelerinde oluşan sıcaklık değişimlerini gözlemleyebilmek için her bir hücreden elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu zamana bağlı sıcaklık ölçümler aşağıdaki Şekil 6.9'da, Şekil 6.10'da, Şekil 6.11'de, Şekil 6.12'de ve Şekil 6.13'de grafik olarak gösterilmiştir.

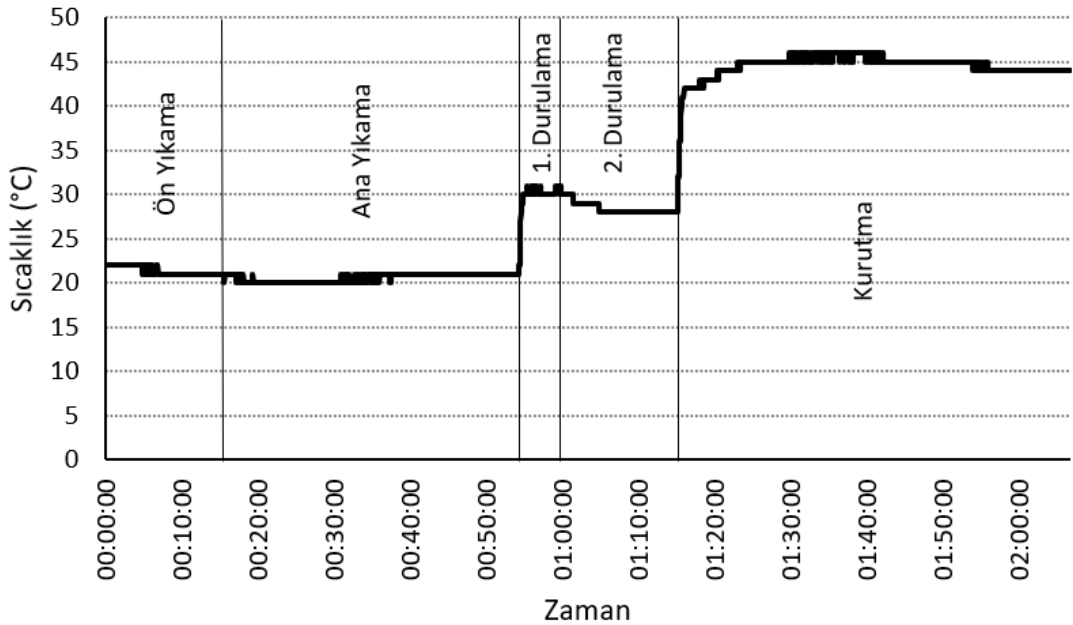
Ekonomik 50 °C programında Hücre 1'in zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Ekonomik 50 °C programında Hücre 1'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.9’da gösterildiği üzere ön yıkamada ısıtma işlemi olmadığı için Hücre 1’de sıcaklık değişimi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 40 °C’de çıkmaktadır. 40 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1’in sıcaklığını 21 °C’den 32 °C’ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 32 °C olan hücre sıcaklığını 27°’ye düşürür. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 31 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1’in sıcaklığını 30 °C’ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 30 °C olan hücre sıcaklığını 26 °C’ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 62 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1’in sıcaklığını 45 °C’ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

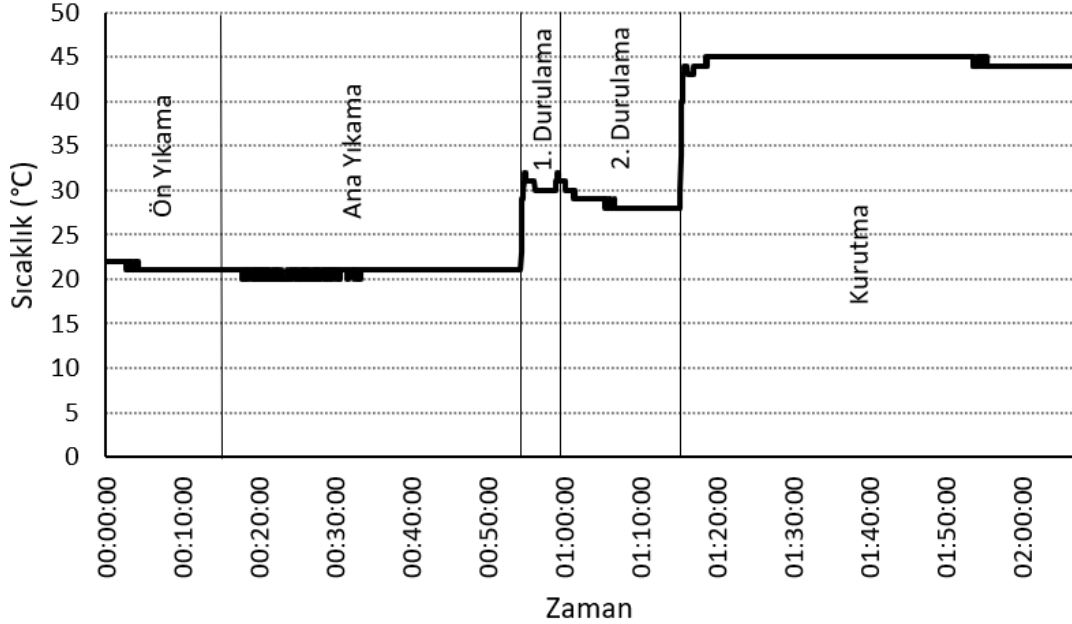
Ekonomik 50 °C programında Hücre 2’nin zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.10’da verilmiştir.



Şekil 6.10. Ekonomik 50 °C programında Hücre 2’nin zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 5.10'da gösterildiği üzere ön yıkamada ısıtma işlemi olmadığı için Hücre 2'de sıcaklık değişimi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 40 °C'de çıkmaktadır. 40 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 21 °C'den 31 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 31 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek 30 °C olan Hücre 2'nin sıcaklığını 31 °C'ye getirir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 31 °C olan hücre sıcaklığını 28 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 62 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 43 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

Ekonomik 50 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.11'de verilmiştir.

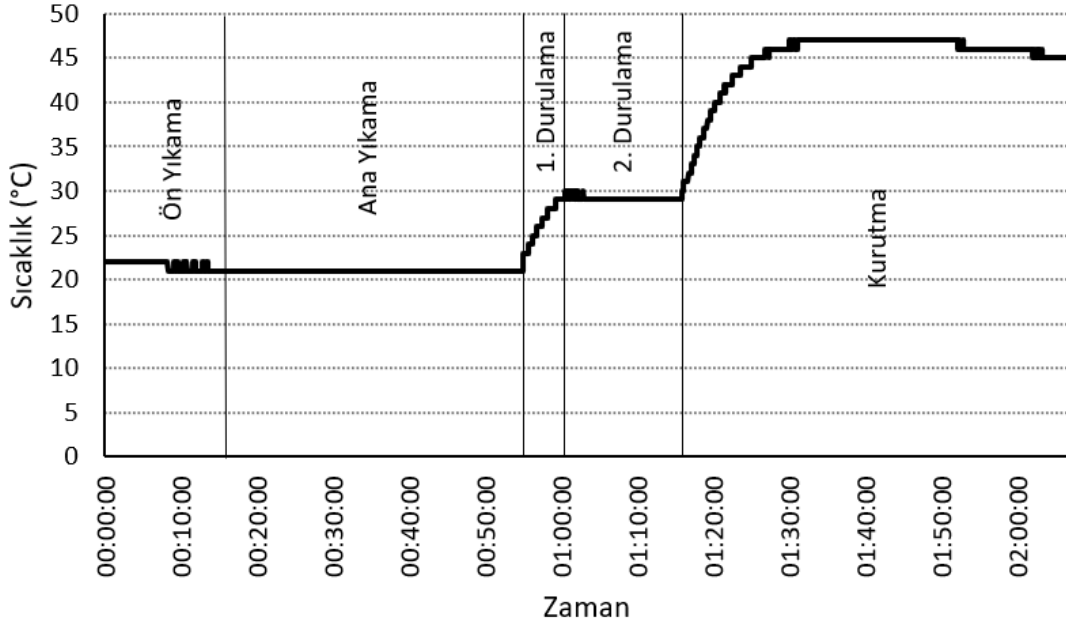


Şekil 6.11. Ekonomik 50 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.11'de gösterildiği üzere ön yıkamada ısıtma işlemi olmadığı için Hücre 3'de sıcaklık değişimi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 40 °C'de çıkmaktadır. 40 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre

3'ün sıcaklığını 21 °C'den 32 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 31 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 31 °C'ye getirir. Birinci durulamadan su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 31 °C olan hücre sıcaklığını 28 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 62 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 44 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

Ekonomik 50 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.12'de verilmiştir.

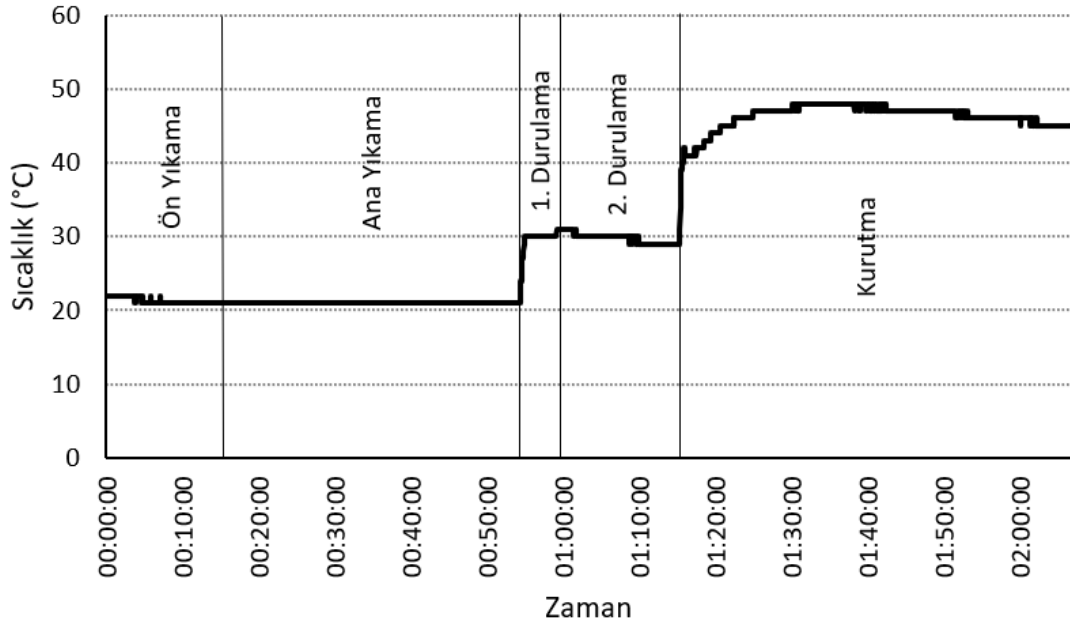


Şekil 6.12. Ekonomik 50 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.12'de gösterildiği üzere ön yıkamada ısıtma işlemi olmadığı için Hücre 4'de sıcaklık değişimi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 40 °C'de çıkmaktadır. 40 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığını 21 °C'den 29 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu Hücre 4'ün sıcaklığını 26 °C'ye düşürür. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden

31 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4’ün sıcaklık 29 °C’ye yükseltir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 62 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4’ün sıcaklığını 43 °C’ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

Ekonomik 50 °C programında Hücre 5’in zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.13’de verilmiştir.



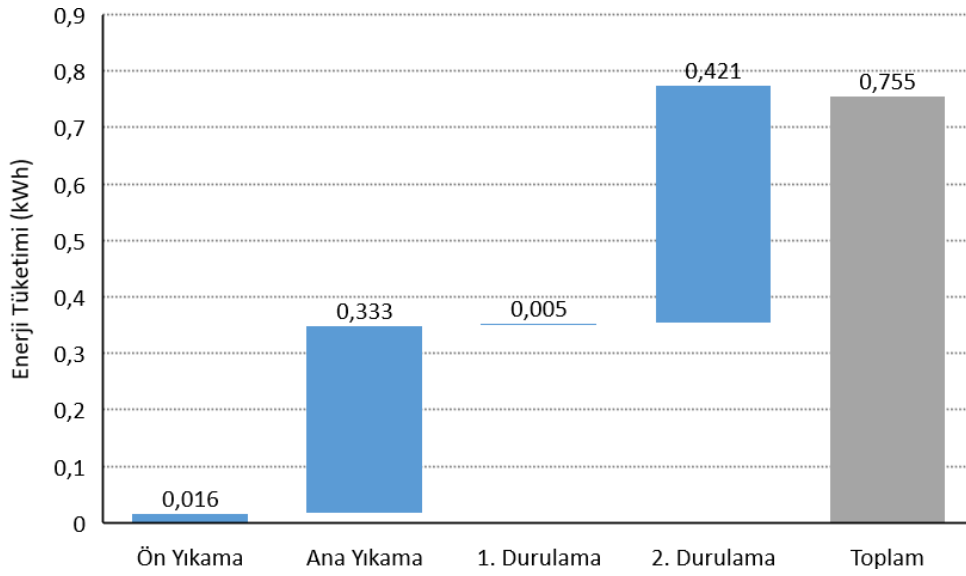
Şekil 6.13. Ekonomik 50 °C programında Hücre 5’in zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.13’de gösterildiği üzere ön yıkamada ısıtma işlemi olmadığı için Hücre 5’de sıcaklık değişimi gerçekleşmemektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 40 °C’de çıkmaktadır. 40 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5’in sıcaklığını 21 °C’den 30 °C’ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 31 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5’in sıcaklığını 31 °C’ye yükseltir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 31 °C olan hücre sıcaklığını 30 °C’ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık

makinesinden 62 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5’in sıcaklığını 47 °C’ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemini bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

6.1.4.2. Isı Eşanjörlü Ekonomik 50 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesine ısı eşanjörü bağlanmış durumda Ekonomik 50 °C programının enerji tüketimi incelenebilmesi için bulaşık makinesinin prizine polaxtor dijital wattmetre takılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi enerji tüketim değerleri aşağıdaki Şekil 6.14’de bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Ekonomik 50 °C programı enerji tüketim grafiği olarak verilmiştir.



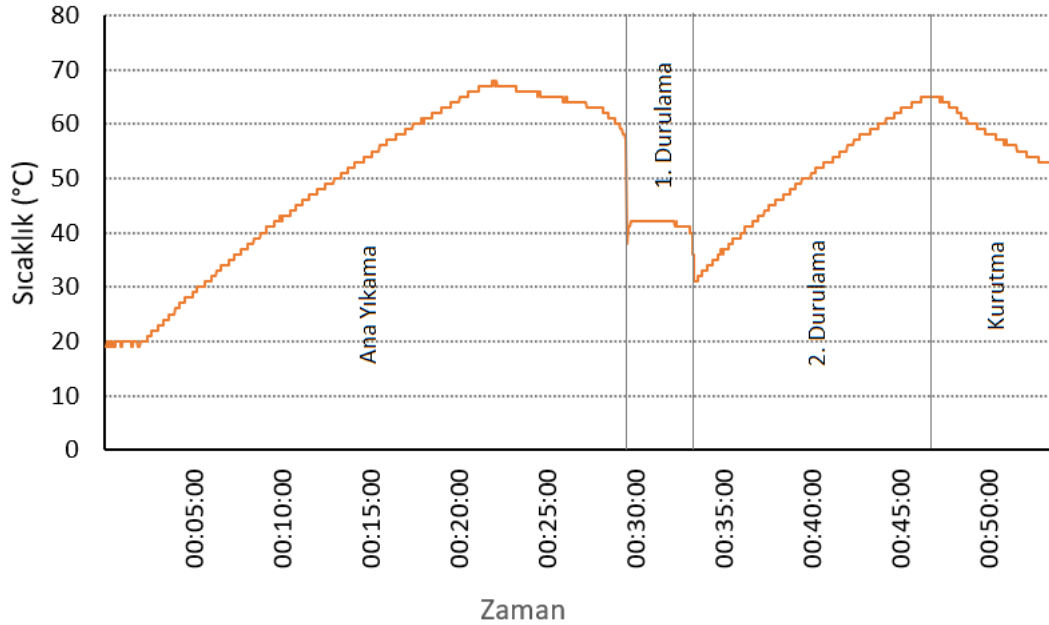
Şekil 6.14. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Ekonomik 50 °C programı enerji tüketim grafiği.

Bulaşık makinesine ısı eşanjörü montaj yapılması ve Ekonomik 50 °C programında çalışması durumunda toplamda 0,755 kWh’lik enerji tüketmiştir. Bu enerji tüketiminin 0,016 kWh’ti ön yıkamada, 0,333 kWh’ti ana yıkamada, 0,005 kWh’ti birinci durulamada ve 0,421 kWh’ti ise ikinci durulamada tüketilen enerji miktarıdır. Bulaşık makinesi şebekeden aldığı suyu ısıtmak için ısıtıcıyı çalıştırdığında 1660 W enerji çekmektedir.

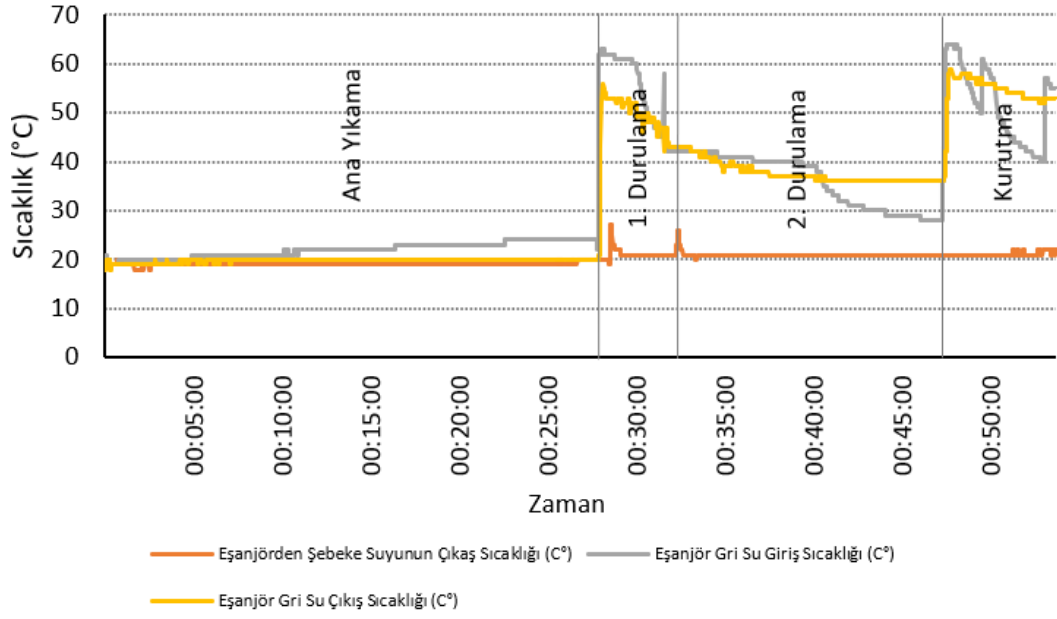
6.1.5. Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C Programının İncelenmesi

6.1.5.1. Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin ısı eşanjörlü Hızlı 60 °C programının zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinin incelenebilmesi için bulaşık makinesine giren şebeke suyu sıcaklığı, bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı ve gri su sıcaklığı ölçümleri elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi iç ortam sıcaklık değerleri aşağıdaki Şekil 6.15’de bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Hızlı 60 °C programının zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir. Bulaşık makinesinin çalışması esnasında ısı eşanjöründe meydana gelen zamana bağlı sıcaklık değişimlerini gözlemleyebilmek için ise su şebekesinden gelen suyun eşanjöre girişinden, şebeke suyunun eşanjör çıkışından, bulaşık makinesinden ısı eşanjörüne boşaltılan gri sudan ve gri suyun ısı eşanjör çıkışından elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu sıcaklık ölçümleri Şekil 6.16’da ısı eşanjörünün Hızlı 60 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 6.15. Bulaşık makinesi Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği



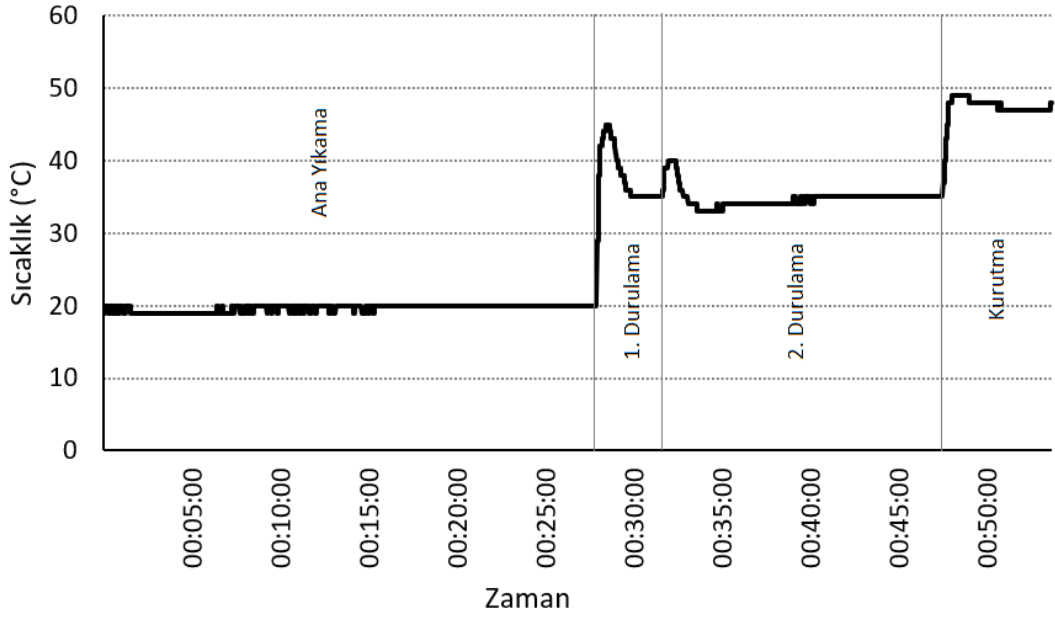
Şekil 6.16. Isı Eşanjörünün Hızlı 60 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Bulaşık makinesine ısı eşanjörü montajı yapıldığında Hızlı 60 °C programının zamana bağlı sıcaklık değişimi şu şekildedir; Ana yıkamada şebekeden ısı eşanjörüne giren 18 °C su eşanjörden bulaşık makinesine 19 °C olarak girer. Ana yıkma devam ederken suyun sıcaklığı 68 °C'ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşıncaya ısıtıcı durmaktadır. Isıtma işlemi bittikten sonra 5 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmekte ve daha sonra kullanılan su eşanjörden geçirilerek dışarıya atılmaktadır. Birinci durulamada şebekeden alınan 18 °C su ısı eşanjöründen bulaşık makinesine 21 °C olarak girer. Birinci durulama için bulaşık makinesine giren suya herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmaz. Şebekeden alınan su ile durulama işlemi gerçekleşir ve kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamada ise şebekeden alınan 18 °C su ısı eşanjöründen geçerek 22 °C'ye ulaşır ve bulaşık makinesine girer. Durulama işlemi devam ederken durulama suyu 65 °C'ye kadar çıkartılır ve ikinci durulama işlemi bitmiş olur. Durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası Ekonomik 50 °C programında olduğu gibi haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

Bulaşık makinesinin Hızlı 60 °C programında ısı depolama hücrelerinde oluşan sıcaklık değişimlerini gözlemleyebilmek için her bir hücreden elimko 680 datalogger

ve K tipi termokupl kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu zamana bağlı sıcaklık ölçümler aşağıdaki Şekil 6.17’de, Şekil 6.18’de, Şekil 6.19’da 6.20’de ve Şekil 6.21’de grafik olarak gösterilmiştir.

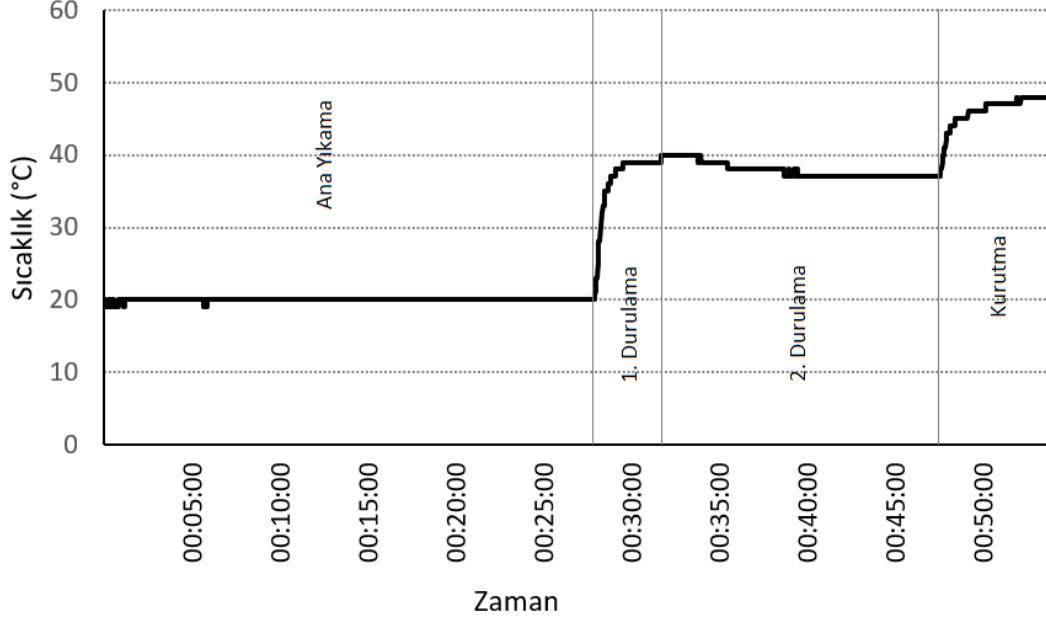
Hızlı 60 °C programında Hücre 1’in zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.17’de verilmiştir.



Şekil 6.17. Hızlı 60 °C programında Hücre 1’in zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.17’de gösterildiği üzere ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 62 °C’de çıkmaktadır. 62 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1’in sıcaklığını 20 °C’den 44 °C’ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 44 °C olan hücre sıcaklığını 35 °C’ye düşürür. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1’in sıcaklığını 40 °C’ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 40 °C olan hücre sıcaklığını 35 °C’ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 64 °C’de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1’in sıcaklığını 49 °C’ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

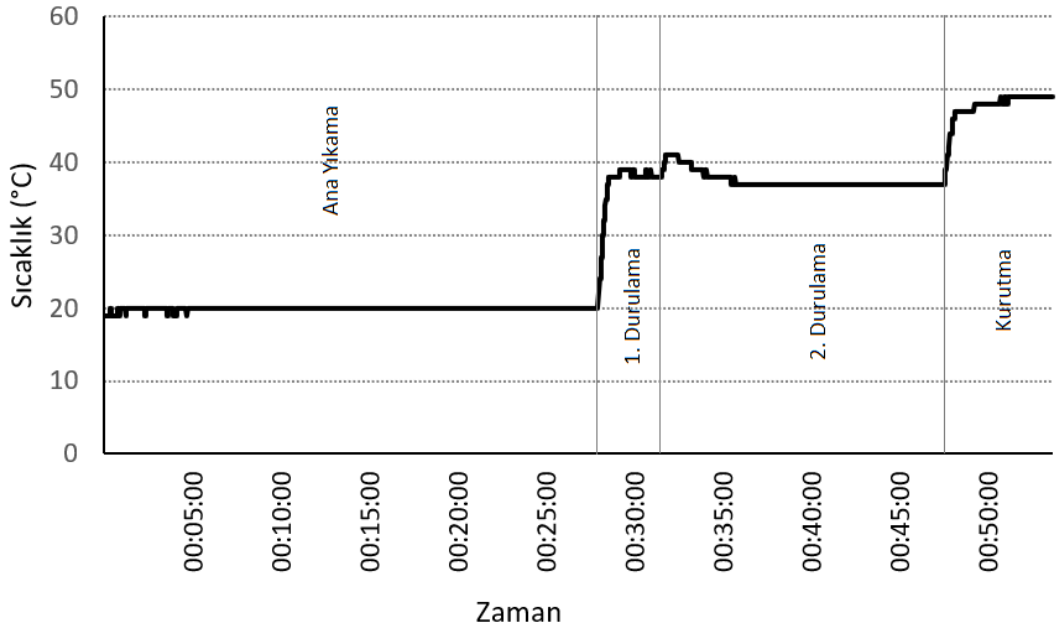
Hızlı 60 °C programında Hücre 2'nin zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.18. Hızlı 60 °C programında Hücre 2'nin zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.18'de gösterildiği üzere ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 62 °C'de çıkmaktadır. 62 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 20 °C'den 39 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 40 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 40 °C olan hücre sıcaklığını 37 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 64 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 43 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemini bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

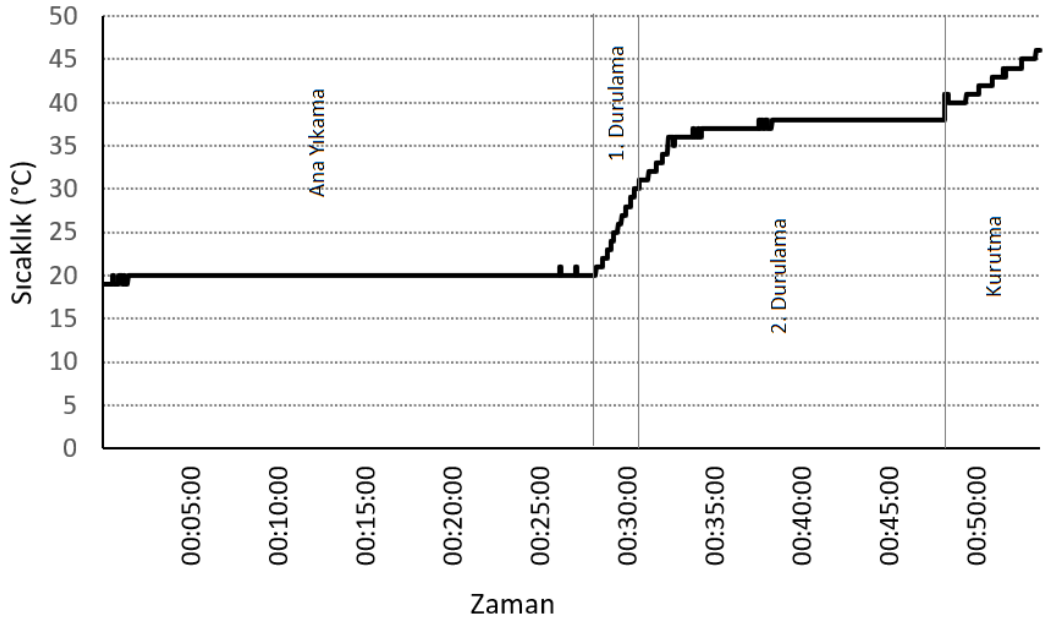
Hızlı 60 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.19. Hızlı 60 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.19'da gösterildiği üzere ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 62 °C'de çıkmaktadır. 62 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 20 °C'den 38 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 41 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 41 °C olan hücre sıcaklığını 37 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 64 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 46 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

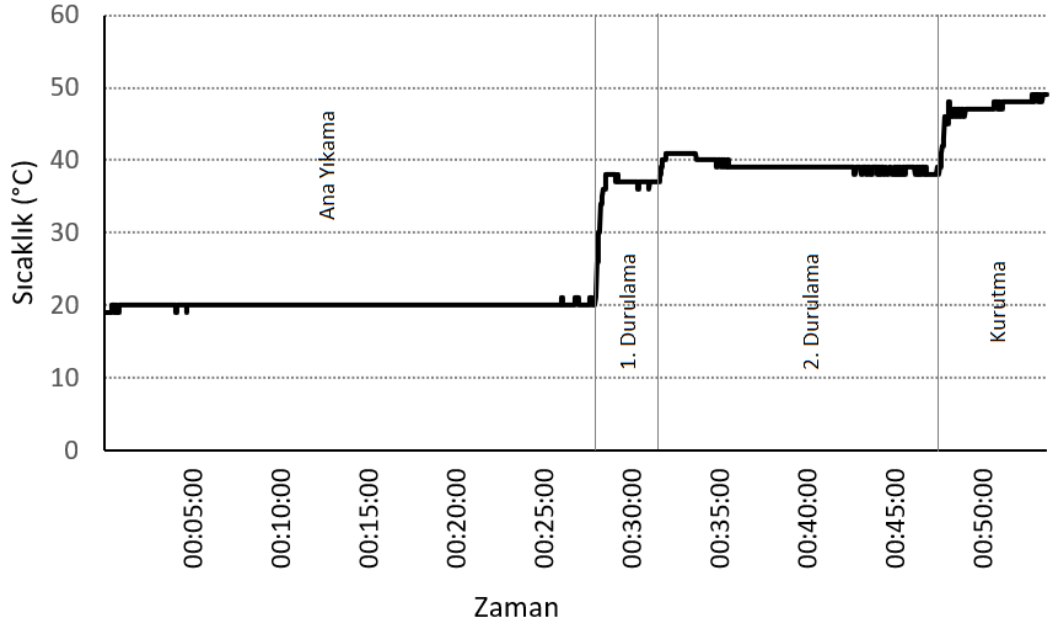
Hızlı 60 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.20'de verilmiştir.



Şekil 6.20. Hızlı 60 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.20'de gösterildiği üzere ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 62 °C'de çıkmaktadır. 62 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığını yükseltmeye başlamaktadır. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığı yükselmeye devam eder. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 64 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığını 42 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

Hızlı 60 °C programında Hücre 5'in zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.21'de verilmiştir.

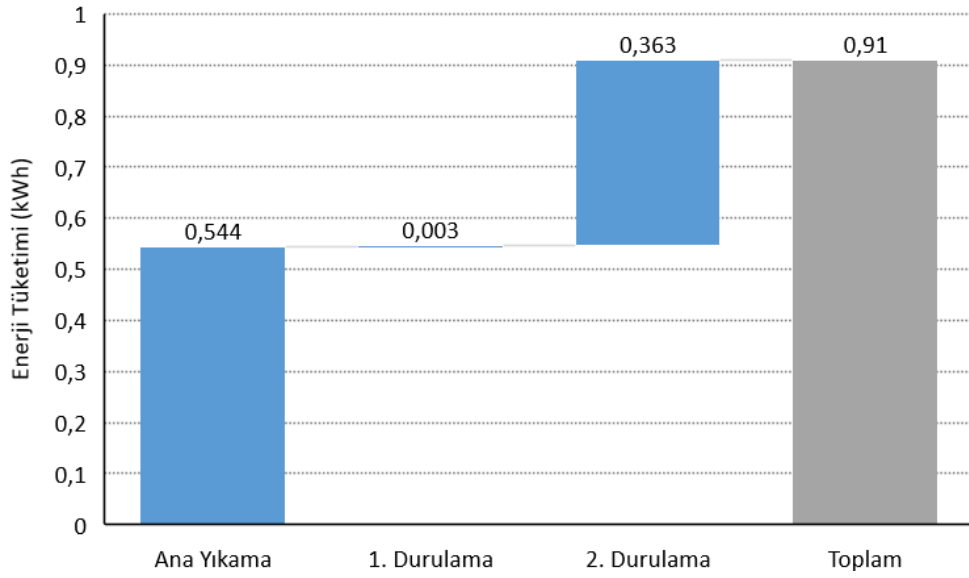


Şekil 6.21. Hızlı 60 °C programında Hücre 5'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.21'de gösterildiği üzere ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 62 °C'de çıkmaktadır. 62 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5'in sıcaklığını 20 °C'den 37 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5'in sıcaklığını 41 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 41 °C olan hücre sıcaklığını 39 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 64 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5'in sıcaklığını 47 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

6.1.5.2. Isı Eşanjörlü Hızlı 60 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesine ısı eşanjörü bağlanmış durumda Hızlı 60 °C programının enerji tüketimi incelenebilmesi için bulaşık makinesinin prizine polaxtor dijital wattmetre takılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi enerji tüketim değerleri aşağıdaki Şekil 6.22'de bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Hızlı 60 °C programı enerji tüketim grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 6.22. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Hızlı 60 °C programı enerji tüketim grafiği.

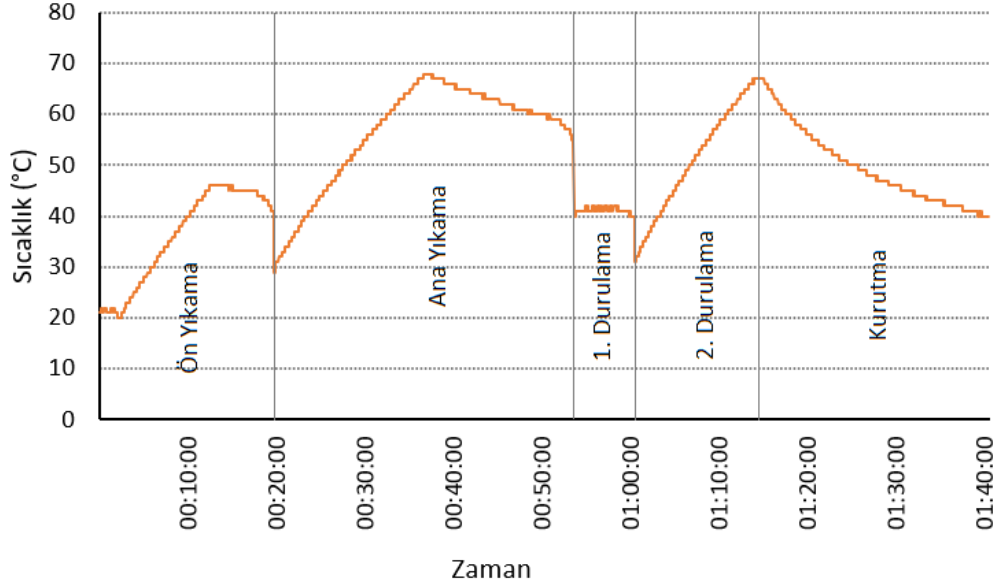
Bulaşık makinesine ısı eşanjörü montaj yapılması ve Hızlı 60 °C programında çalışması durumunda toplamda 0,91 kWh'lik enerji tüketmiştir. Bu enerji tüketiminin 0,544 kWh'ti ana yıkamada, 0,003 kWh'ti birinci durulamada ve 0,363 kWh'ti ise ikinci durulamada tüketilen enerji miktarıdır. Bulaşık makinesi şebekeden aldığı suyu ısıtmak için ısıtıcıyı çalıştırdığında 1670 W enerji çekmektedir. Ana yıkamada ısıtıcının çalışma süresi 19 dk 52 sn ve ikinci durulamada ise 13 dk 27 sn'dir.

6.1.6. Isı Eşanjörlü Süper 70 °C Programının İncelenmesi

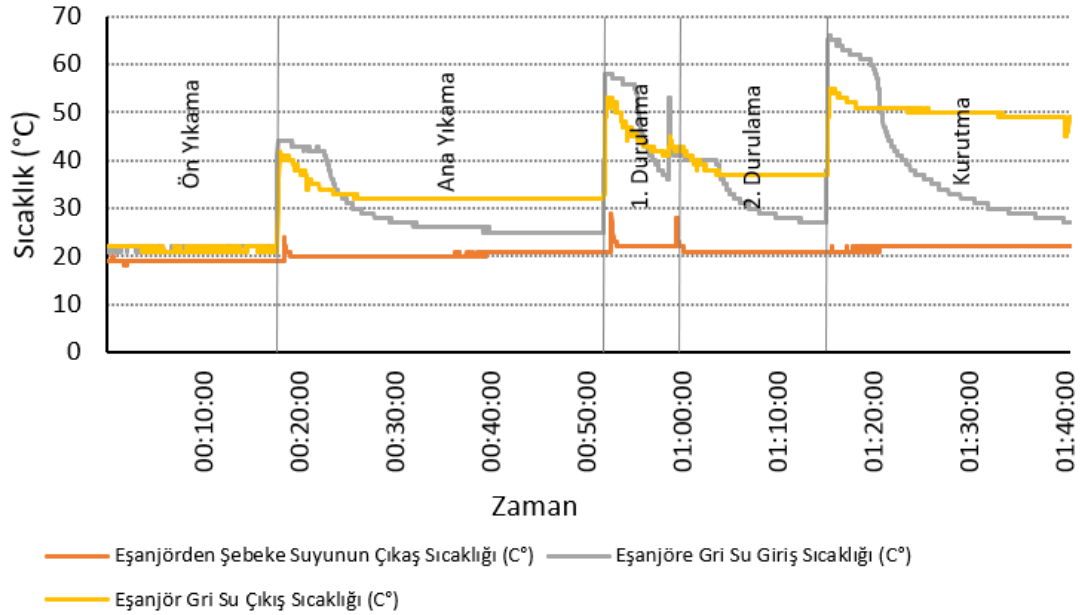
6.1.6.1. Isı Eşanjörlü Süper 70 °C Programının Zamana Bağlı Sıcaklığının İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesinin ısı eşanjörlü Süper 70 °C programının zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinin incelenebilmesi için bulaşık makinesine giren şebeke suyu sıcaklığı, bulaşık makinesinin iç ortam sıcaklığı ve gri su sıcaklığı ölçümleri elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi iç ortam sıcaklık değerleri aşağıdaki Şekil 6.23'de bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Süper 70 °C programının zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir. Bulaşık makinesinin çalışması esnasında ısı eşanjöründe meydana gelen zamana bağlı sıcaklık değişimlerini gözlemleyebilmek için ise su şebekesinden gelen

suyun eşanjöre girişinden, şebeke suyunun eşanjör çıkışından, bulaşık makinesinden ısı eşanjörüne boşaltılan gri sudan ve gri suyun ısı eşanjör çıkışından elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu sıcaklık ölçümleri Şekil 6.24’de ısı eşanjörünün Süper 70 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 6.23. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Süper 70 °C programı zamana bağlı sıcaklık grafiği.

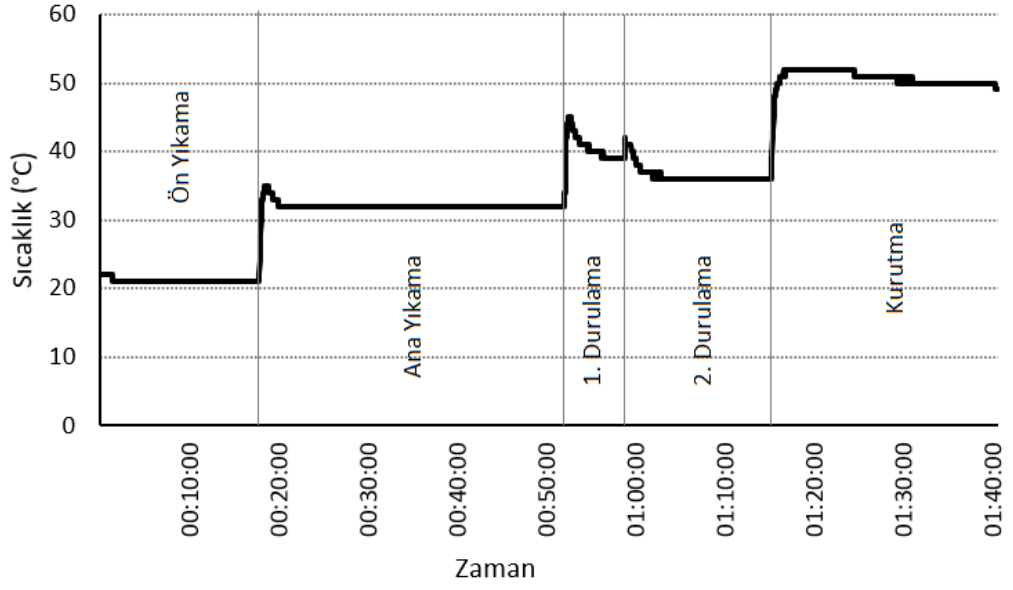


Şekil 6.24. Isı eşanjörünün Süper 70 °C programında zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Bulaşık makinesine ısı eşanjörü montajı yapıldığında Süper 70 °C programının zamana bağlı sıcaklık değişimi şu şekildedir; Ön yıkama işlemi sırasında şebekeden alınan 18 °C su eşanjörden geçerek makineye 19 °C’de girer. Yıkama devam ederken sisteme alınan su 46 °C’ye kadar ısıtılır 46 °C’ye geldiğinde ise ısıtıcı durur ve 5 dakika daha ön yıkama işlemi devam eder daha sonra ise ön yıkama suyu eşanjörden geçerek boşaltılır. Ana yıkamada ise şebekeden eşanjöre giren su eşanjörden 21 °C olarak çıkar ve bulaşık makinesine girer. Sisteme alınan şebeke suyu ana yıkama işlemi devam ederken 68 °C’ye kadar çıkarılmakta ve bu sıcaklığa ulaşıncaya ısıtıcı durur. Isıtma işlemi bittikten sonra 15 dakika boyunca ana yıkama işlemi devam etmektedir ve daha sonra ana yıkamada kullanılan su sistem dışına eşanjörden geçirilerek atılır. Birinci durulamada ısıtma işlemi olmadan şebekeden alınan su ile durulama işlemi gerçekleşir. İkinci durulamada ise şebekeden alınan su eşanjörden geçerek 26 °C’ye ulaşır ve bulaşık makinesine girer. Eşanjörden geçen su bulaşık makinesinde 67 °C’ye çıkar ve durulama işlemi bitmiş olur. Durulamada kullanılan su sistem dışına atılır. İkinci durulamadan sonra kurutma işlemine geçilir. Bulaşık makinesi ikinci durulama sonrası diğer programlarda olduğu gibi haznesinde belirli bir sıcaklığa sahiptir. Bu sıcaklık sayesinde ısıtma işlemine ihtiyaç duymadan yıkanmış malzemeleri kurutur.

Bulaşık makinesinin Süper 70 °C programında ısı depolama hücrelerinde oluşan sıcaklık değişimlerini gözlemleyebilmek için her bir hücreden elimko 680 datalogger ve K tipi termokupl kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu zamana bağlı sıcaklık ölçümler aşağıdaki Şekil 6.25’de, Şekil 6.26’da, Şekil 6.27’de Şekil 6.28’de ve Şekil 6.29’da grafik olarak gösterilmiştir.

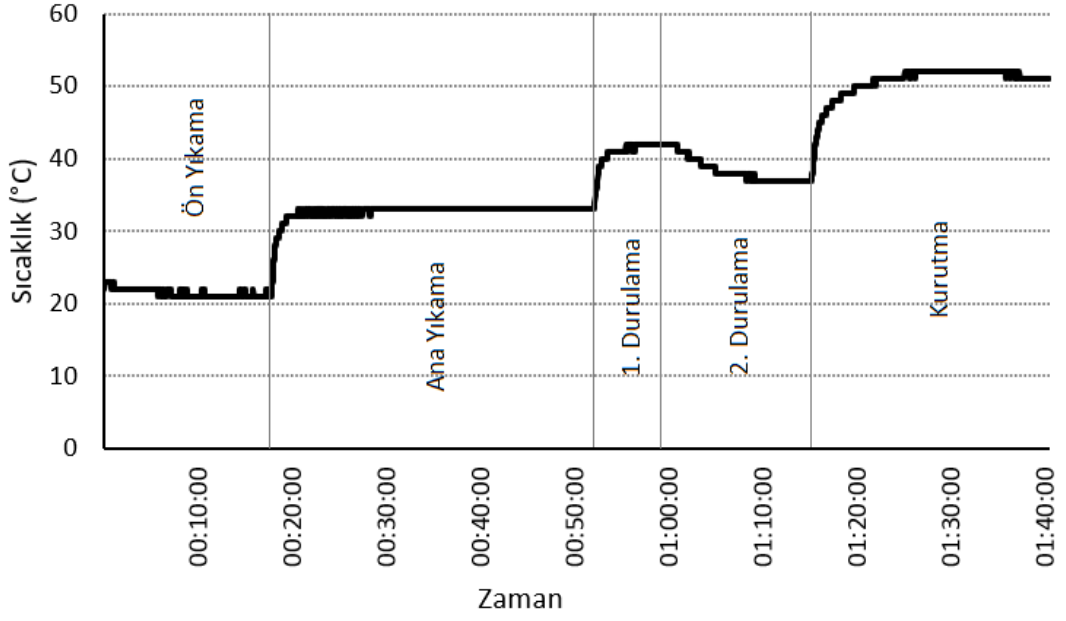
Süper 70 °C programında Hücre 1’in zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.25’de verilmiştir.



Şekil 6.25. Süper 70 °C programında hücre 1'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.25'de gösterildiği üzere ön yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 44 °C'de çıkmaktadır. 44 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1'in sıcaklığını 22 °C'den 35 °C'ye yükseltmektedir. Ana yıkama için şebekeden 18 °C'de alınan su Hücre 1'in sıcaklığını 35 °C'den 32 °C'ye düşürmektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 58 °C'de çıkmaktadır. 58 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1'in sıcaklığını 32 °C'den 45 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 45 °C olan hücre sıcaklığını 41 °C'ye düşürür. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1'in sıcaklığını 41 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 41 °C olan hücre sıcaklığını 37 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 66 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 1'in sıcaklığını 52 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemini bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

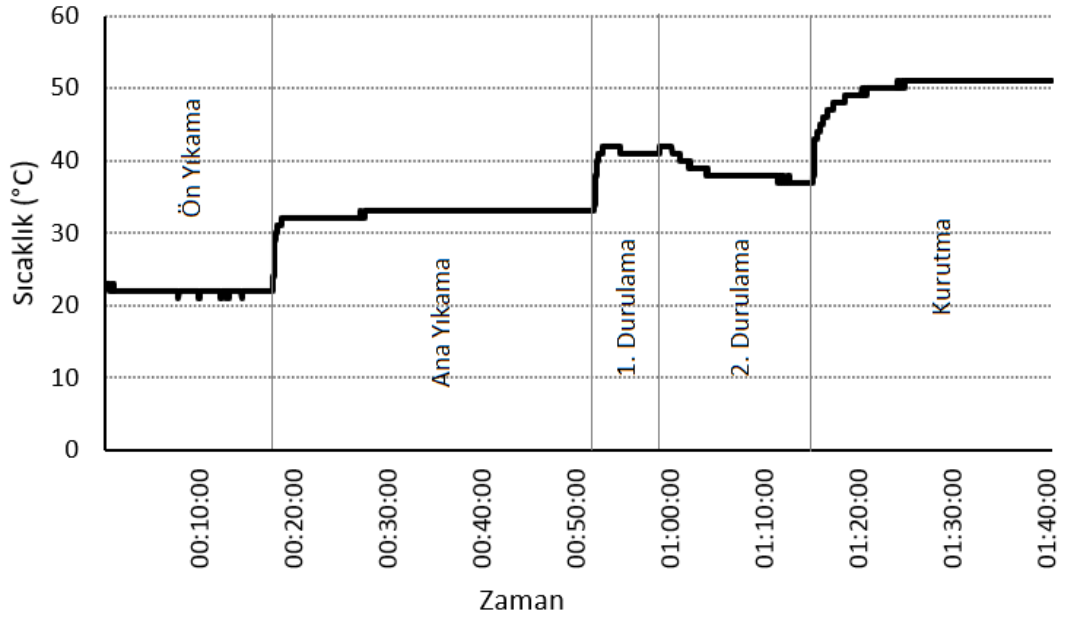
Süper 70 °C programında Hücre 2'nin zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.26. Süper 70 °C programında Hücre 2'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.26'da gösterildiği üzere ön yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 44 °C'de çıkmaktadır. 44 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 22 °C'den 33 °C'ye yükseltmektedir. Ana yıkama için şebekeden sisteme su alınır. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 58 °C'de çıkmaktadır. 58 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 33 °C'den 41 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 42 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 42 °C olan hücre sıcaklığını 39 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 66 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 2'nin sıcaklığını 47 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

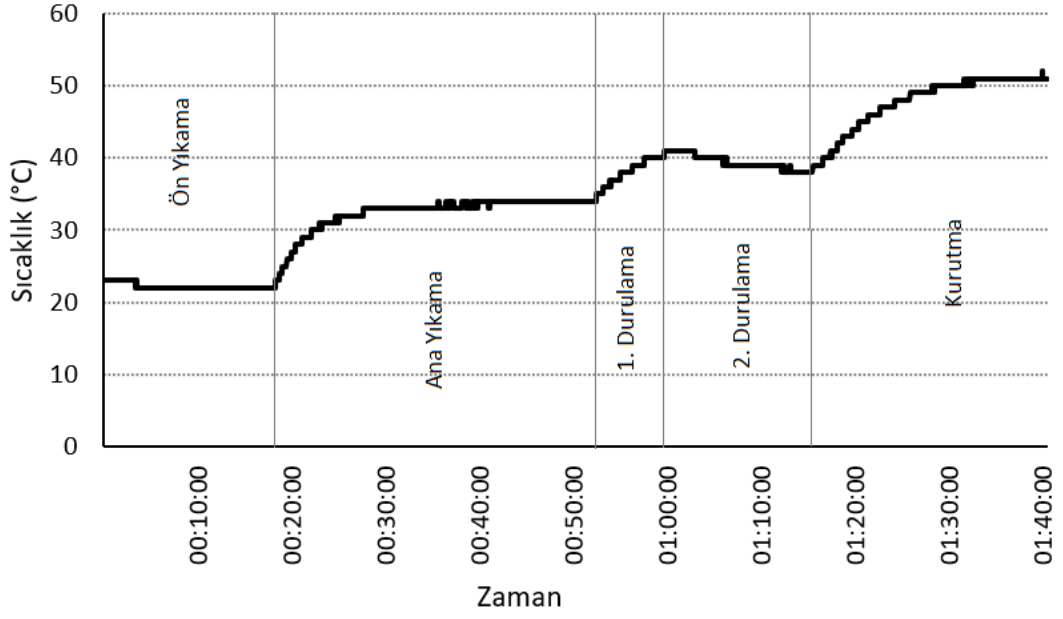
Süper 70 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.27'de verilmiştir.



Şekil 6.27. Süper 70 °C programında Hücre 3'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.27'de gösterildiği üzere ön yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 44 °C'de çıkmaktadır. 44 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 22 °C'den 32 °C'ye yükseltmektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 58 °C'de çıkmaktadır. 58 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 32 °C'den 42 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 42 °C olan hücre sıcaklığını 41 °C'ye düşürür. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 42 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 42 °C olan hücre sıcaklığını 38 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 66 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 3'ün sıcaklığını 47 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

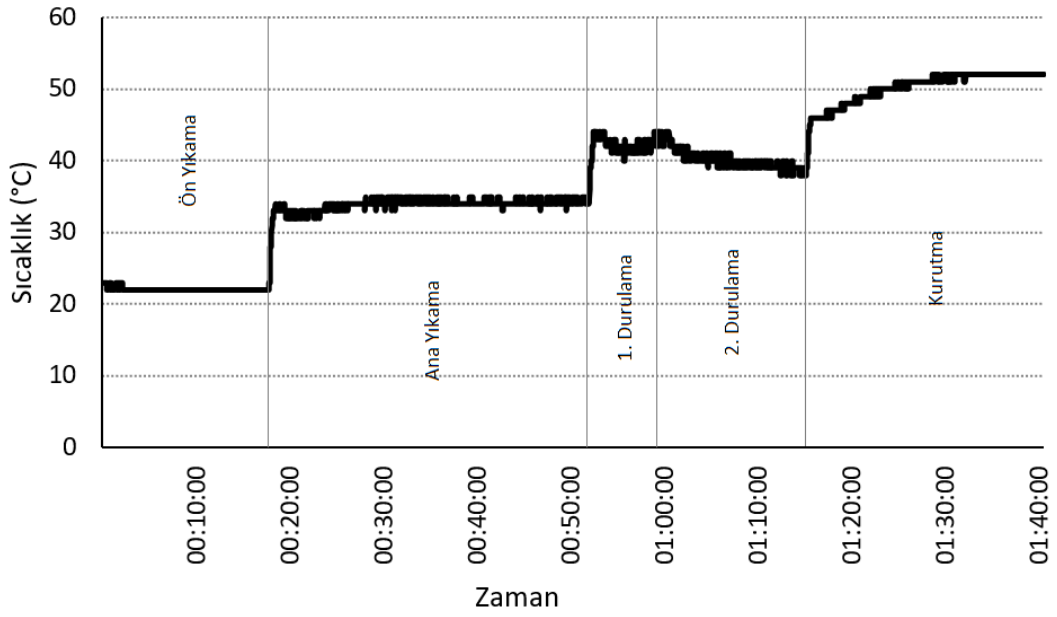
Süper 70 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.28'de verilmiştir.



Şekil 6.28. Süper 70 °C programında Hücre 4'ün zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.28'de gösterildiği üzere ön yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 44 °C'de çıkmaktadır. 44 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığını 22 °C'den 32 °C'ye yükseltmektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 58 °C'de çıkmaktadır. 58 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığını 32 °C'den 38 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığını 41 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 41 °C olan hücre sıcaklığını 40 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 66 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 4'ün sıcaklığını 45 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemi bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

Süper 70 °C programında Hücre 5'in zamana bağlı sıcaklık grafiği Şekil 6.29'da verilmiştir.

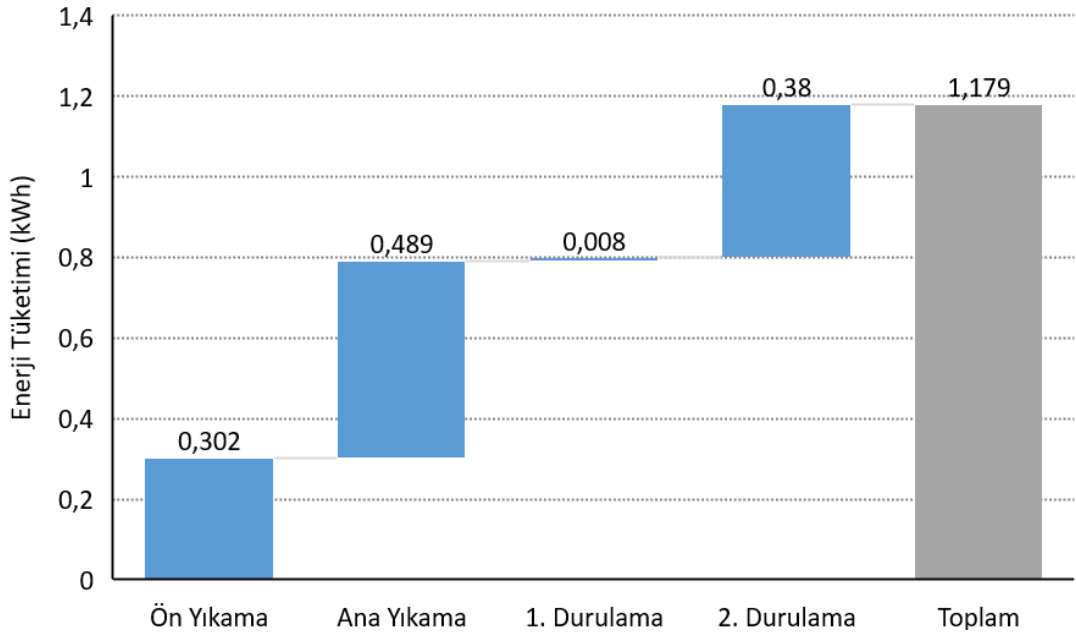


Şekil 6.29. Süper 70 °C programında Hücre 5'in zamana bağlı sıcaklık grafiği.

Şekil 6.29'da gösterildiği üzere ön yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 44 °C'de çıkmaktadır. 44 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5'in sıcaklığını 22 °C'den 35 °C'ye yükseltmektedir. Ana yıkama için şebekeden 18 °C alınan su Hücre 5'in sıcaklığını 35 °C'den 32 °C'ye düşürmektedir. Ana yıkamada kullanılan su bulaşık makinesinden 58 °C'de çıkmaktadır. 58 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5'in sıcaklığını 32 °C'den 44 °C'ye yükseltmektedir. Su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 44 °C olan hücre sıcaklığını 41 °C'ye düşürür. Birinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 42 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5'in sıcaklığını 42 °C'ye getirmektedir. Birinci durulamanın su boşaltma işlemi bittikten sonra bulaşık makinesi su alma işlemine geçer ve 18 °C olan şebeke suyu eşanjörden geçerek 42 °C olan hücre sıcaklığını 41 °C'ye düşürür. İkinci durulama işleminden sonra bulaşık makinesinden 66 °C'de çıkan atık su eşanjörden geçerek Hücre 5'in sıcaklığını 46 °C'ye getirmektedir. Bulaşık makinesi su boşaltma işlemini bitirdikten sonra kurutma işlemine geçerek çalışmayı sonlandırır.

6.1.6.2. Isı Eşanjörlü Süper 70 °C Programının Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Tez kapsamında bulaşık makinesine ısı eşanjörü bağlanmış durumda Süper 70 °C programının enerji tüketimi incelenebilmesi için bulaşık makinesinin prizine polaxtor dijital wattmetre takılarak yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ulaşılan bulaşık makinesi enerji tüketim değerleri aşağıdaki Şekil 6.30'da bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Süper 70 °C programı enerji tüketim grafiği olarak verilmiştir.



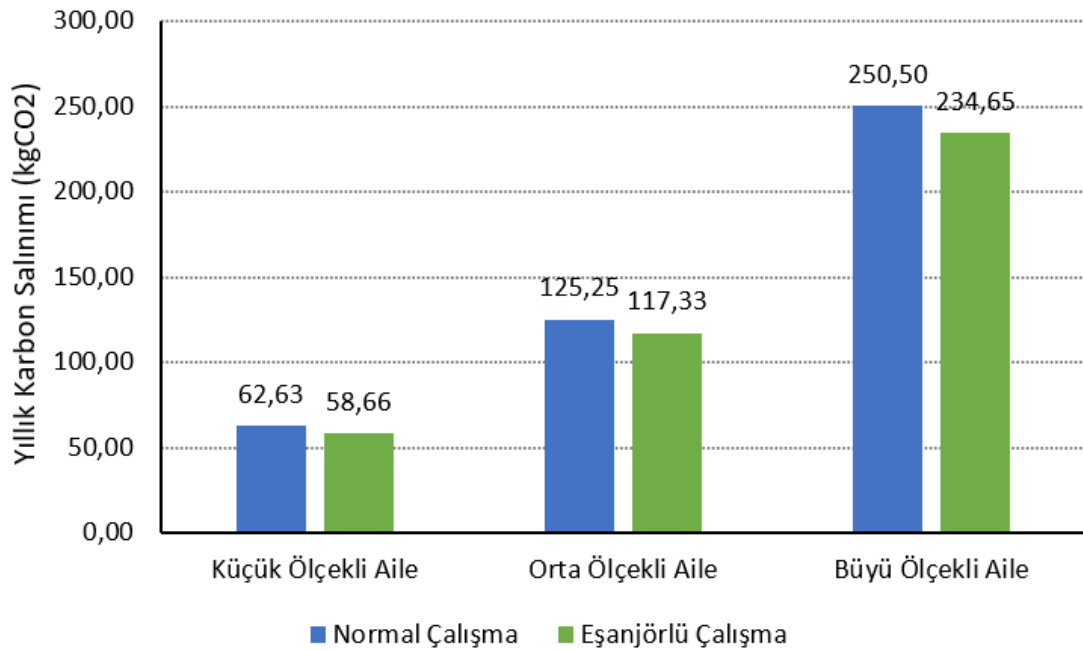
Şekil 6.30. Bulaşık makinesi ısı eşanjörlü Süper 70 °C programı enerji tüketim grafiği.

Bulaşık makinesine ısı eşanjörü montaj yapılması ve Süper 70 °C programında çalışması durumunda toplamda 1,179 kWh'lik enerji tüketmiştir. Bu enerji tüketiminin 0,302 kWh'ti ön yıkamada, 0,489 kWh'ti ana yıkamada, 0,008 kWh'ti birinci durulamada, 0,38 kWh'ti ikinci durulamada tüketilen enerji miktarıdır. Bulaşık makinesi şebekeden aldığı suyu ısıtmak için ısıtıcıyı çalıştırdığında 1650 W enerji çekmektedir. Ön yıkamada ısıtıcının çalışma süresi 10 dk 40 sn, ana yıkamada 17 dk 1 sn ve ikinci durulamada ise 13 dk 36 sn'dir.

6.2. BULAŞIK MAKİNESİNİN YILLIK ENERJİ TÜKETİMİNİN VE KARBON SALINIMININ İNCELENMESİ

Bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi ve karbon salınımı her program için eşanjörlü ve eşanjörsüz olmak üzere incelenmiştir.

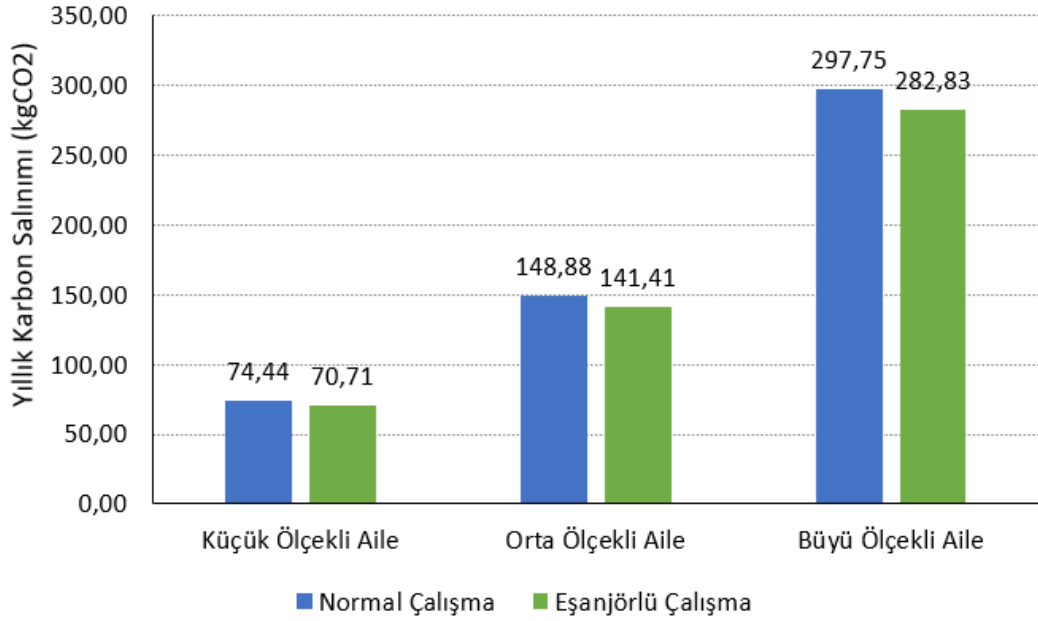
Ekonomik 50 °C programı için 1 çalıştırmada harcadığı enerji tüketimi 0,806 kWh, eşanjörlü kullanımda ise 0,755 kWh'tir. Bulaşık makinesinin yıllık çalışma sayısı küçük ölçekli ailelerde 140, orta ölçekli ailelerde 280, büyük ölçekli ailelerde 560 olarak belirlenmiştir [63]. Eşanjörsüz çalışan bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi küçük ölçekli aileler için 112,84 kWh, orta ölçekli aileler için 225,68 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 451,36 kWh'tir. Eşanjörlü çalışan bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi küçük ölçekli aileler için 105,7 kWh, orta ölçekli aileler için 211,4 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 422,8 kWh'tir. Yapılan çalışma sonrası bulaşık makinesinden elde edilen yıllık enerji tasarrufu küçük ölçekli aileler için 7,14 kWh, orta ölçekli aileler için 14,28 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 28,56 kWh'tir. Nihai elektrik enerjisinin sera gazı dönüşüm katsayısı 0,555 kg CO₂/kWh'tir [64]. Şekil 6.31'de bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C programında olan yıllık CO₂ salınım karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 6.31. Ekonomik 50 °C programının yıllık CO₂ salınım karşılaştırma grafiği.

Yapılan enerji tasarrufu sonucunda bulaşık makinesini yıllık CO₂ salınımını küçük ölçekli aileler için 3,96 kg CO₂, orta ölçekli aileler için 7,92 kg CO₂ ve büyük ölçekli aileler için ise 15,85 kg CO₂ azaltıldı

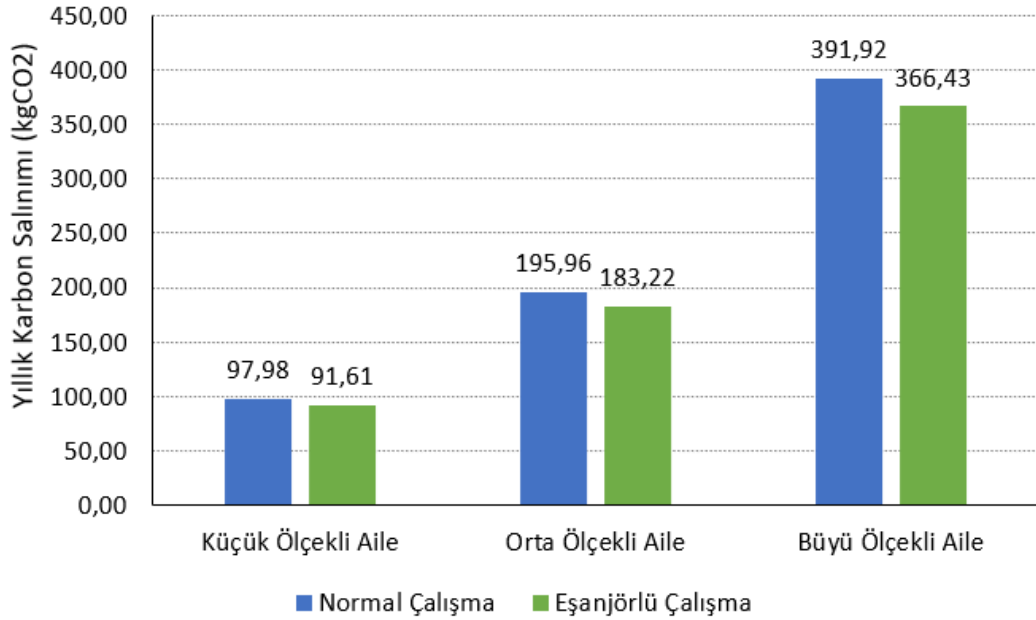
Hızlı 60 °C programı için 1 çalıştırmada harcadığı enerji tüketimi 0,958 kWh, eşanjörlü kullanımda ise 0,91 kWh'tir. Eşanjörsüz çalışan bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi küçük ölçekli aileler için 134,12 kWh, orta ölçekli aileler için 268,25 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 536,48 kWh'tir. Eşanjörlü çalışan bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi küçük ölçekli aileler için 127,4 kWh, orta ölçekli aileler için 254,8 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 509,6 kWh'tir. Yapılan çalışma sonrası bulaşık makinesinden elde edilen yıllık enerji tasarrufu küçük ölçekli aileler için 6,72 kWh, orta ölçekli aileler için 12,45 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 26,88 kWh'tir. Şekil 6.32'de bulaşık makinesinin Hızlı 60 °C programında olan yıllık CO₂ salınım karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 6.32. Hızlı 60 °C programının yıllık CO₂ salınım karşılaştırma grafiği.

Yapılan enerji tasarrufu sonucunda bulaşık makinesini yıllık CO₂ salınımını küçük ölçekli aileler için 3,73 kg CO₂, orta ölçekli aileler için 6,9 kg CO₂ ve büyük ölçekli aileler için ise 14,91 kg CO₂ azaltıldı.

Süper 70 °C programı için 1 çalıştırmada harcadığı enerji tüketimi 1,261 kWh, eşanjörlü kullanımda ise 1,179 kWh'tir. Eşanjörsüz çalışan bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi küçük ölçekli aileler için 176,54 kWh, orta ölçekli aileler için 353,08 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 706,16 kWh'tir. Eşanjörlü çalışan bulaşık makinesinin yıllık enerji tüketimi küçük ölçekli aileler için 165,06 kWh, orta ölçekli aileler için 330,12 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 660,24 kWh'tir. Yapılan çalışma sonrası bulaşık makinesinden elde edilen yıllık enerji tasarrufu küçük ölçekli aileler için 11,48 kWh, orta ölçekli aileler için 22,96 kWh ve büyük ölçekli aileler için ise 46,1 kWh'tir. Şekil 6.33'de bulaşık makinesinin Süper 70 °C programında olan yıllık CO₂ salınım karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 6.33. Süper 70 °C programının yıllık CO₂ salınım karşılaştırma grafiği.

Yapılan enerji tasarrufu sonucunda bulaşık makinesini yıllık CO₂ salınımını küçük ölçekli aileler için 6,37 kg CO₂, orta ölçekli aileler için 12,74 kg CO₂ ve büyük ölçekli aileler için ise 25,58 kg CO₂ azaltıldı.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında bulaşık makinesinin gri suyun ısını giriş suyuna aktarmak için parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü kullanılmıştır. Bulaşık makinesinin Ekonomik 50 °C, Hızlı 60 °C ve Süper 70 °C programlarında standart çalışmaları gözlemlenmiş ve zamana bağlı çalışma şemaları, su tüketim miktarı, enerji tüketim miktarı, yıkama ve durulamalarda ulaştıkları sıcaklık değerleri ölçümler yapılarak belirlenmiştir. Bulaşık makinesine parafin ve çelik sünger destekli ısı eşanjörü montajı sonrası standart çalışmada yapılan ölçümler yapılmış ve buna ek olarak eşanjörün her bir giriş ve çıkışından, içinde bulunan ısı depolama hücrelerinden ölçümler yapılarak sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Bu ölçümler sonucunda bulaşık makinesinin standart çalışması ve ısı eşanjörlü çalışması arasında oluşan enerji verimliliği farkı incelenmiştir.

Ekonomik 50 °C program için: Isı eşanjörü standart çalışmada 17° olan ön yıkama iç ortam sıcaklığını 19 °C'ye, 17° olan ana yıkama iç ortam sıcaklığını 19 °C'ye, 28° olan birinci durulama iç ortam sıcaklığını 30 °C'ye ve 22 °C olan ikinci durulama iç ortam sıcaklığını 25 °C'ye çıkarmıştır. Ekonomik 50 °C programının toplam ısıtıcı çalışma süresi 1 dk 53 sn düşürülmüştür. Isıtıcı çalışma süresinin düşürülmesi enerji tüketimini olumlu olarak etkilemiştir. 0,806 kWh olan enerji tüketimi 0,775 kWh'e düşürülerek toplamda 0,031 kWh enerji tasarrufu ile %3,8 enerji verimliliği artışı sağlanmıştır.

Hızlı 60 °C program için: Isı eşanjörü standart çalışmada 17° olan ana yıkama iç ortam sıcaklığını 19 °C'ye, 27° olan ikinci durulama iç ortam sıcaklığını 31 °C'ye çıkarmıştır. Bu sıcaklık değişimlerinden dolayı bulaşık makinesinin ısıtıcı çalışma süreleri şu şekilde değişmiştir. Ana yıkamada 20 dk 1 sn olan ısıtıcı çalışma süresi 19 dk 52sn'ye, ikinci durulamada 14 dk 26 sn olan ısıtıcı çalışma süresi 13 dk 27 sn'ye

düşürülmüştür. Toplamda ısıtıcı çalışma süresi 1 dk 7 sn düşürülmüştür. Isıtıcı çalışma süresinin düşürülmesi enerji tüketimini olumlu olarak etkilemiştir. Ana yıkamada ısıtıcının harcadığı 0,546 kWh enerji tüketim miktarı 0,534 kWh'te ve ikinci durulamada ısıtıcının harcadığı 0,395 kWh enerji tüketim miktarı 0,359 kWh'te düşürülmüştür. Toplamda 0,048 kWh enerji tasarrufu ile %5 enerji verimliliği artışı sağlanmıştır.

Süper 70 °C program için: Isı eşanjörü standart çalışmada 18° olan ön yıkama iç ortam sıcaklığını 20 °C'ye, 27 °C olan ana yıkama iç ortam sıcaklığını 29 °C'ye, 38 °C olan birinci durulama iç ortam sıcaklığını 42 °C'ye ve 30 °C olan ikinci durulama iç ortam sıcaklığını 32 °C'ye çıkarmıştır. Bu sıcaklık değişimlerinden dolayı bulaşık makinesinin ısıtıcı çalışma süreleri şu şekilde değişmiştir. Ön yıkamada 11 dk 18 sn olan ısıtıcı çalışma süresi 10 dk 40 sn'ye, ana yıkamada 17 dk 53 sn olan ısıtıcı çalışma süresi 17 dk 01 sn'ye, ikinci durulamada 16 dk 22 sn olan ısıtıcı çalışma süresi 13 dk 36 sn'ye düşürülmüştür. Toplamda ısıtıcı çalışma süresi 4 dk 16 sn düşürülmüştür. Isıtıcı çalışma süresinin düşürülmesi enerji tüketimini olumlu olarak etkilemiştir. Ön yıkamada ısıtıcının harcadığı 0,302 kWh enerji tüketim miktarı 0,294 kWh'te, ana yıkamada ısıtıcının harcadığı 0,478 kWh enerji tüketim miktarı 0,465 kWh'te ve ikinci durulamada ısıtıcının harcadığı 0,439 kWh enerji tüketim miktarı 0,378 kWh'te düşürülmüştür. Toplamda 0,082 kWh enerji tasarrufu ile %6,5 enerji verimliliği artışı sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Zhou, D., Zhao, C. Y., and Tian, Y., "Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications", *Applied Energy*, 92: 593–605 (2012).
2. Paksoy, H., Evliya, H., Turgut, B., Mazman, M., Konuklu, Y., Gök, Ö., Yılmaz, M. Ö., Yılmaz, S., Beyhan, B., and Şahan, N., "Alternatif enerji kaynakları termal enerji depolama ile değerlendirilmesi", *Enerji Kongresi*, İzmir, 2-3 (2011).
3. Niewitecka, K., "Possibilities of heat energy recovery from greywater systems", *E3S Web Of Conferences*, 30: 1–8 (2018).
4. Cipolla, S. S. and Maglionico, M., "Heat recovery from urban wastewater: Analysis of the variability of flow rate and temperature", *Energy And Buildings*, 69: 122–130 (2014).
5. Ersayın, E., "Atık ısı geri kazanımda yeni tekniklerin modellenmesi", Doktora Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 1-4 (2020).
6. Pandiyarajan, V., Chinna Pandian, M., Malan, E., Velraj, R., and Seeniraj, R. V., "Experimental investigation on heat recovery from diesel engine exhaust using finned shell and tube heat exchanger and thermal storage system", *Applied Energy*, 88 (1): 77–87 (2011).
7. Kodaz, T., "Bulaşık makinesi ısı analiz ve modelleme çalışması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-127 (2008).
8. Tsouknidas, P. and Zhang, X., "Dishwasher improvement at ASKO Developing a simplified test method to determine the influence of spray arm speed and pressure", Master of Science, *Chalmers University Of Technology Department Of Product And Production Development*, Göteborg, (2010).
9. Tutkak, E., "Bulaşık makinesi enerji tüketimmi-yıkama performansı ilişkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
10. Durmaz, M., "Isı geri kazanım ısı değiştiricilerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).

11. Şencan, A., "İsitma ve soğutma uygulamalarında kullanılan plakali isi eşanjörlerinin deneysel analizi", *Tubav Bilim Dergisi*, 3 (1): 35–44 (2010).
12. Allouche, Y., Varga, S., Bouden, C., and Oliveira, A. C., "Validation of a CFD model for the simulation of heat transfer in a tubes-in-tank PCM storage unit", *Renewable Energy*, 89: 371–379 (2016).
13. Ezra, M., Kozak, Y., Dubovsky, V., and Ziskind, G., "Analysis and optimization of melting temperature span for a multiple-PCM latent heat thermal energy storage unit", *Applied Thermal Engineering*, 93: 315–329 (2016).
14. Feldman, D., Shapiro, M. M., and Banu, D., "Organic phase change materials for thermal energy storage", *Solar Energy Materials*, 13 (1): 1–10 (1986).
15. Öztürk, H., "Isı Depolama Tekniği", *Teknik Yayınevi*, Ankara, (2008).
16. Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., and Buddhi, D., "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 13 (2): 318–345 (2009).
17. Zalba, B., Marin, J. M., Cabeza, L. F., and Mehling, H., "Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications", *Applied Thermal Engineering*, 704: 89–108 (2003).
18. Xiao, M., Feng, B., and Gong, K., "Preparation and performance of shape stabilized phase change thermal storage materials with high thermal conductivity", *Energy Conversion And Management*, 43 (1): 103–108 (2002).
19. Buddhi, D., Bansal, N. K., Sawhney, R. L., and Sodha, M. S., "Solar thermal storage systems using phase change materials", *International Journal Of Energy Research*, 12 (3): 547–555 (1988).
20. Huang, M. J., Eames, P. C., and Hewitt, N. J., "The application of a validated numerical model to predict the energy conservation potential of using phase change materials in the fabric of a building", *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 90 (13): 1951–1960 (2006).
21. Yılmazoğlu, M. Z., "Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması", *Politeknik Dergisi*, 13 (1): 33–42 (2010).
22. Zhang, Y., Zhou, G., Lin, K., Zhang, Q., and Di, H., "Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook", *Building And Environment*, 42 (6): 2197–2209 (2007).
23. Bakhshipour, S., Valipour, M. S., and Pahamli, Y., "Analyse paramétrique de réfrigérateurs domestiques utilisant un échangeur de chaleur à matériau à changement de phase", *International Journal Of Refrigeration*, 83: 1–13 (2017).

24. Osterman, E., Butala, V., and Stritih, U., "PCM thermal storage system for "free" heating and cooling of buildings", *Energy And Buildings*, 106: 125–133 (2015).
25. Abdulateef, A. M., Mat, S., Sopian, K., Abdulateef, J., and Gitan, A. A., "Experimental and computational study of melting phase-change material in a triplex tube heat exchanger with longitudinal/triangular fins", *Solar Energy*, 155: 142–153 (2017).
26. Al-Abidi, A. A., Mat, S., Sopian, K., Sulaiman, M. Y., and Mohammad, A. T., "Experimental study of melting and solidification of PCM in a triplex tube heat exchanger with fins", *Energy And Buildings*, 68 (PARTA): 33–41 (2014).
27. Chen, C., Zhang, H., Gao, X., Xu, T., Fang, Y., and Zhang, Z., "Numerical and experimental investigation on latent thermal energy storage system with spiral coil tube and paraffin/expanded graphite composite PCM", *Energy Conversion And Management*, 126: 889–897 (2016).
28. Esapour, M., Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A., Pahamli, Y., and Bahrampoury, R., "Phase change in multi-tube heat exchangers", *Renewable Energy*, 85: 1017–1025 (2016).
29. Eslamnezhad, H. and Rahimi, A. B., "Enhance heat transfer for phase-change materials in triplex tube heat exchanger with selected arrangements of fins", *Applied Thermal Engineering*, 113: 813–821 (2017).
30. Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A., Sedighi, K., and Rahimi, M., "A combined experimental and computational study on the melting behavior of a medium temperature phase change storage material inside shell and tube heat exchanger", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 39 (9): 1416–1424 (2012).
31. Pahamli, Y., Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A., and Bahrampoury, R., "Analysis of the effect of eccentricity and operational parameters in PCM-filled single-pass shell and tube heat exchangers", *Renewable Energy*, 97: 344–357 (2016).
32. Chao, S., Yiqiang, J., Yang, Y., Shiming, D., and Xinlei, W., "A field study of a wastewater source heat pump for domestic hot water heating", *Building Services Engineering Research And Technology*, 34 (4): 433–448 (2013).
33. Ramos, J., Chong, A., and Jouhara, H., "Experimental and numerical investigation of a cross flow air-to-water heat pipe-based heat exchanger used in waste heat recovery", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 102: 1267–1281 (2016).
34. Selbaş, R., "Atık ısı enerjisinden yararlanma yöntemleri ve uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, 1-57 (1992).

35. Çengel, Y., "Isı ve Kütle Transferleri", *Palme Yayınevi*, Ankara, 629–631 (2021).
36. Günerhan, H., "Duyulur ısı depolama ve bazalt taşı", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, 540 (2004).
37. Jouhara, H., Khordehgah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., and Tassou, S. A., "Waste heat recovery technologies and applications", *Thermal Science And Engineering Progress*, 6 (January): 268–289 (2018).
38. Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A., Hosenuzzaman, M., Saidur, R., Mahbubul, I. M., and Rashid, M. M., "Energy savings in the combustion based process heating in industrial sector", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16 (7): 4527–4536 (2012).
39. Internet: Eta Teknoloji, "Rekuperatör Resmi", <http://www.etateknoloji.com.tr/rekuperatorlar.html> (2022).
40. Internet: Konuk Isı, "Ekonomizer Resmi", <https://www.konukisi.com/Assets/Documents/Koneko-Ekonomizer.pdf> (2022).
41. Aydın, A., "Gövde borulu tip ısı değiştiricilerin optimizasyonu ve cfd analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 79 (2014).
42. Tekin, S., "Gövde boru tipi ısı değiştiricilerin bilgisayar destekli tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 43-45 (2006).
43. Internet: Enerji Portalı, "Çapraz Akışlı Isı Değiştirici Resmi", <https://www.enerjiportali.com/isi-degistirici-nedir-cesitleri-nelerdir/> (2022).
44. Top, Y., "Gövde borulu ısı değiştiricisi tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-13 (2010).
45. Kursun, U. and Kapat, J. S., "Modeling of microscale gas flows in transition regime part I: Flow over backward facing steps", *Nanoscale And Microscale Thermophysical Engineering*, 11 (1–2): 15–30 (2007).
46. Çolak, S., "Genetik algoritma ile gövde borulu ısı değiştiricisi optimal tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-25 (2012).
47. "Isı Değiştiriciler", *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 3-50 (2013).

48. Internet: Termodinamik.info, "Akışkanın Doğrudan Temasta Olduğu Isı Değiştiricisi Resmi", <https://www.termodinamik.info/makale/kapali-cevrim-sogutma-kulelerinde-enerji-verimliliği> (2022).
49. Çakmaz, T., "Termal enerjinin yeraltında depolanması ve toprak kaynaklı dikey borulu ısı pompalı sistemler için ekserji analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-5 (2007).
50. Lane, G. A. and Ph, D., "Solar Heat Storage : Latent Heat Materials Volume I", *CRC Pres Inc.*, Boca Raton/Florida, 450 (1983).
51. Abhat, A., "Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials", *Solar Energy*, 30 (4): 313–332 (1983).
52. Mazman, M., "Gizli ısı depolaması ve uygulamaları", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 3-8 (2006).
53. Öznur, Y., "Düşük sıcaklıkta termal enerji depokamasına uygun faz değiştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2-7 (2004).
54. Şahan, N., "Faz değiştiren maddelerin nano malzemelerle kullanımının araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2-10 (2011).
55. Akgün, M., "Parafin gizli ısı depolama geometrisi optimizasyonu üzerine deneysel bir çalışma", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 44-47 (2006).
56. Kotas, T., "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", *Reprint Edition*, NewYork, 1–280 (1985).
57. Efe, Ö., "Gizli ısı depolamalı bir havalı güneş kolektörünün ısıl performansının deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 39-44 (2019).
58. Samana, T., Kiatsiriroat, T., and Nuntaphan, A., "Enhancement of fin efficiency of a solid wire fin by oscillating heat pipe under forced convection", *Case Studies In Thermal Engineering*, 2: 36–41 (2014).
59. Fu, Y., Wen, J., and Zhang, C., "An experimental investigation on heat transfer enhancement of sprayed wire-mesh heat exchangers", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 112: 699–708 (2017).
60. Brunzell, L. and Renström, R., "Recommendations for revising the energy label system for dishwashers: supporting sustainable development and usage through the interaction of energy labels, technical improvements and consumer behaviour", *Energy Efficiency*, 13 (1): 145–155 (2020).

61. Karakaş, Ö., "Cr³⁺, Cr⁶⁺ Tipi pasivasyon ajanlarının ve koruyucu yağların, sürekli sıcak daldırma ile galvanizleme metodu kullanılarak üretilmiş, DX51D+Z kalite galvanizli sacların korozyon dirençlerine etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 6-9 (2013).
62. Internet: Tunç Metal, "Bakır Borunun Teknik Özellikleri", https://www.tuncmetal.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=9&Itemid=105&lang=tr (2022).
63. Bengtsson, P. and Eikevik, T., "Reducing the global warming impact of a household heat pump dishwasher using hydrocarbon refrigerants", *Applied Thermal Engineering*, 99: 1295–1302 (2016).
64. Internet: T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, "Sera Gazı Salınım Katsayısı", <https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/elektrik-enerjisinin-birincil-enerji-ve-sera-gazi-salimi-katsayilari-2021-yilindan-itibaren-kullanilmak-uzere-guncellenmistir-duyuru-411795> (2022).

ÖZGEÇMİŞ

Yunus TAŞKIN ilk ve orta öğrenimini Tekirdağ Çorlu'da tamamladı. Mehmet Rüştü Uzel Meslek ve Teknik Anadolu Lisesi Anadolu Meslek Elektrik Elektronik Bölümü'nden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümü'nde öğrenime başlayıp 2018 yılında mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başladı ve eğitimine devam etmektedir.