
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ISITMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN YENİ BİR KAPALI GENLEŞME DEPOSU TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Koray GÖKTEKİN

DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Koray GÖKTEKİN

27/06/2025

ISITMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN YENİ BİR KAPALI GENLEŞME DEPOSU TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Koray GÖKTEKİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2025

ÖZET

Bu çalışmada, ısıtma sistemlerindeki suyun genleşmesinin dengelenmesi amacıyla yeni bir genleşme deposunun tasarımı, imalatı, soğuk ve sıcak su basınç deneyleri yapılmıştır. Soğuk su deneylerinde; 10, 15, 20 ve 25 adet membran bulunduran genleşme tankının basıncı (başlangıçta 0 bar) manuel su test pompası ile 0,1 kg aralıklarla su eklenerek arttırılmıştır. Basınç değerleri; 10, 15, 20, 25 membranlı sistemlerde sırasıyla 2,4 bar, 2,42 bar, 2,7 bar, 2,6 bar ölçülmüş ve sistemlere 1 kg, 1,2 kg, 1,6 kg, 1,9 kg su girmiştir. Sıcak su deneyleri ısıtma sisteminde; kombi genleşme tankının bulunduğu, genleşme tankı bulunmayan ve yeni genleşme tankında 25, 30, 35, 40, 45 membran bulunduran sistemler için yapılmıştır. Deneyler, sistemin başlangıç basıncı 1,5 bar değerinden başlanarak sıcaklığı 30-85 °C arasında 5 °C değiştirilerek yapılmıştır. Sıcaklık 85 °C iken maksimum basınç; kombi genleşme tanklı sistemde 2,03 bar, genleşme tankı bulunmayan sistemde 2,42 bar ve 35 membranlı sistemde 2,01 bar ölçülmüştür. Maksimum basınç, 25 membran için 2,20 bar, 30 membran için 2,08 bar, 40 membran için 1,98 bar ve 45 membran için 1,93 bar ölçülmüştür. Basınç değişimi; kombi genleşme tankında 0,53 bar ve 35 membranlı sistemde 0,51 bar olmuştur. Membran sayısı 35 iken basınç farkı -0,02 bar ve çalışma performanslarının uyumluluğu birbirine en benzer durumda olmuştur. 25 ve 45 membran ile çalıştırılan genleşme tanklarında basınç farkı sırasıyla; 0,17 bar ve -0,1 bar olup, kombi genleşme tankından büyük oranda farklılık göstermiştir. Kombi genleşme tankı bağlı sistemin basıncında çok fazla dalgalanma olduğu ve sistem bileşenlerine değişik frekanslarda basınç uygulandığı gözlemlenmiştir. Çok sayıda membran kullanımında ise basınç dalgalanması gözlemlenmemiştir. Isıtma sistemlerinin; düşük maliyetli, konforlu, yedek parçalarının ucuz, bakımlarının kolay olması ve işletme giderlerinin azaltılması yeni genleşme deposu kullanımı ile sağlanabilecektir. Sistem daha stabil ve daha verimli çalıştığında, hem enerji hem de su tasarrufu sağlayarak çevreye verilen zararı ve emisyon değerlerini azaltacaktır.

Bilim Kodu : 92811

Anahtar Kelimeler : Isıtma sistemi, genleşme deposu, membran tasarımı, enerji verimliliği

Sayfa Adedi : 114

Danışman : Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

THE DESIGN OF A NEW CLOSED EXPANSION TANK THAT IS USED IN HEATING SYSTEMS, MANUFACTURING AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION

(Ph. D. Thesis)

Koray GÖKTEKİN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2025

ABSTRACT

In this study, in order to balance the expansion of water in heating systems a new expansion tank was designed, manufactured, cold and hot water pressure experiments were performed. In cold water experiments, the pressure of the expansion tank containing 10, 15, 20 and 25 membranes (initially 0 bar) was increased by adding water at 0.1 kg intervals with a manual water test pump. The pressure values measured as 2.4 bar, 2.42 bar, 2.7 bar, 2.6 bar in systems with 10, 15, 20, 25 membranes, respectively, and 1 kg, 1.2 kg, 1.6 kg, 1.9 kg of water entered the systems. Hot water experiments were conducted for the heating system with a combi expansion tank, without an expansion tank, and with 25, 30, 35, 40, 45 membranes in the new expansion tank. The experiments were carried out by starting the system with an initial pressure of 1.5 bar and changing the temperature between 30-85 °C by 5 °C. When the temperature was 85 °C, the maximum pressure was measured as 2.03 bar in the system with a combi expansion tank, 2.42 bar in the system without an expansion tank and 2.01 bar in the system with 35 membranes. The maximum pressure was measured as 2.20 bar for 25 membranes, 2.08 bar for 30 membranes, 1.98 bar for 40 membranes and 1.93 bar for 45 membranes. The pressure change was 0.53 bar in the combi expansion tank and 0.51 bar in the 35 membrane system. When the number of membranes was 35, the pressure difference was -0.02 bar and the compatibility of the operating performances was the most similar to each other. The pressure difference in the expansion tanks operated with 25 and 45 membranes was 0.17 bar and -0.1 bar, respectively and it differed greatly from the combi expansion tank. It has been observed that the pressure of the system connected to the combi expansion tank fluctuates a lot and that pressure is applied to the system components at different frequencies. No pressure fluctuations were observed when using a large number of membranes. The low cost, comfortable, cheap spare parts, easy maintenance of heating systems and the reduction of operating costs can be achieved with the use of the new expansion tank. When the system works more stably and efficiently, it will save both energy and water, reducing environmental damage and emission values.

Science Code : 92811
Key Words : Heating system, expansion tank, membrane design, energy efficiency
Page Number : 114
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmam süresince, bana rehberlik eden ve destek olan, bilgi birikimi ve tecrübeleri ile daha kaliteli bir tez çalışması yapmama katkı sağlayan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ'ye; bu tez çalışması için tasarlanıp imalatı yapılan sistemin ve bu sisteme ait bileşenlerin, üretim sürecinde sponsorluk, teknik bilgi ve malzeme desteği sağlayan Denizli ve Ankara illerinde bulunan tüm firmalara; doktora tez çalışmama ait olan sistemin kurulum aşamasında gerekli olan makine, teçhizat, el aletleri ile deney setinin kurulmasına ve deneysel çalışmaların yapılmasına olanak sağlayan Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ne; son olarak da tez sürecim boyunca bana sabır ve anlayış göstererek fedakarlık eden motivasyon kaynağı olan eşime ve aileme en derinden teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ÖZETİ 9

3. ISITMA SİSTEMLERİ 29

3.1. Isıtma Sistemlerinin Tarihçesi 29

3.2. Isıtma Sistemleri 33

3.3. Mahal Isıtma Sistemleri 34

3.3.1. Endüstriyel ısıtma sistemleri 34

3.3.2. Bina ısıtma sistemleri 35

3.4. Isıtma Sistemi Türleri 36

3.4.1. Merkezi ısıtma sistemleri 37

3.4.2. Doğrudan ısıtma sistemleri 38

3.4.3. Alternatif ısıtma sistemleri 38

3.4.4. Isıtma sistemi bileşenleri 39

3.5. Isıtma Sisteminin Seçim Kriterleri 40

3.5.1. Konfor 41

Sayfa

3.5.2. Kuruluş maliyeti..... 41
3.5.3. İşletme maliyeti..... 42
3.5.4. Servis bakım sıklığı ve kolaylığı 42
3.5.5. İşletme kolaylığı..... 42
3.5.6. Çevre faktörü 42
3.6. Isıtma Tesislerinde Sistem Seçimi 43
3.6.1. Tekil ısıtma (kat ve villa ısıtması) sistemleri..... 43
3.6.2. Merkezi ısıtma sistemleri 45
3.6.3. Bölgesel (uzaktan) ısıtma sistemleri 47
3.7. Isıtma Sisteminin Devre Elemanları 48
3.7.1. Isı dağıtım (boru şebekesi) sistemi 50
3.7.2. Tek borulu ısıtma sistemi 50
3.7.3. Çift borulu ısıtma sistemi 51
3.7.4. Tichelmann borulu ısıtma sistemi..... 51
3.7.5. Mobil sistem 52
3.7.6. Yerden ısıtma sistemi..... 53
3.8. Genleşme Depoları (Tankları) 53
3.8.1. Genleşme tankı membranları..... 54
3.8.2. Genleşme tankı çalışma prensibi 55
3.8.3. Genleşme tankı türleri 55
3.8.4. Kapalı genleşme deposu hesabı..... 57
3.8.5. Kapalı genleşme deposunun kullanım alanları..... 58
3.8.6. Isıtma serisi genleşme tankı örnekleri..... 58
3.8.7. Membranlı genleşme tanklarının avantaj ve dezavantajları..... 59

Sayfa

3.8.8. Genleşme tanklarında meydana gelen problemler 60

4. TEORİK ANALİZ 63

5. MATERYAL VE METOT 67

5.1. Tasarımı Yapılan Genleşme Deposu 67

5.2. Tasarımı Yapılan Kapalı Genleşme Deposunun İmalatı 75

5.2.1. Sistemin sızdırmazlık ve basınç testi 80

5.2.2. Kapalı genleşme tankı deney düzeneğine ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi ... 81

5.3. Sıcak ve Soğuk Su Deneylerinde Kul"lanılan Ölçüm Cihazları 81

5.4. Deney Düzenekleri 84

5.4.1. Soğuk su deney düzeneği 84

5.4.2. Sıcak su deney düzeneği 85

6. BULGULAR VE TARTIŞMA 87

6.1. Deneysel Çalışma 88

6.1.1. Soğuk su ile basınçlandırılan sistem 88

6.1.2. Sıcak su ile basınçlandırılan sistem 92

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 97

KAYNAKLAR 103

ÖZGEÇMİŞ 113

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Dünya'da MTEP olarak toplam enerji tüketimi 5

Çizelge 3.1. Membranlı genleşme tanklarının avantaj ve dezavantajları 60

Çizelge 3.2. Olası kapalı genleşme tankı arızaları, nedenleri ve çözümleri 61

Çizelge 3.3. Yüksek kazan ve alçak kazan basıncının nedenleri 62

Çizelge 5.1. Genleşme tankı ölçüleri ve teknik özellikleri 68

Çizelge 5.2. CAS BI-100D elektronik kantar özellikleri 82

Çizelge 5.3. Su test pompası özellikleri 82

Çizelge 5.4. Elimko E-680 sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri 83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Kaynağına göre dünya toplam enerji arzındaki değişim 4

Şekil 3.1. Hibrit ısıtma sistemi bileşenleri 36

Şekil 3.2. Sıcak hava, sıcak su ve buhar kazanlarının çalışma prensibi 37

Şekil 3.3. Tek borulu yatay ısıtma sistemine ait bileşenler 44

Şekil 3.4. Üstten dağıtma alttan toplama işlemi yapan çift borulu tekil ısıtma sistemi 44

Şekil 3.5. Alttan dağıtma alttan toplama işlemi yapan çift borulu tekil ısıtma sistemi 44

Şekil 3.6. Üstten dağıtma üstten toplama yapan çift borulu tekil ısıtma sistemi 45

Şekil 3.7. Kapalı genleşme depolu alttan dağıtmalı ve alttan toplamalı ısıtma sistemi 45

Şekil 3.8. Kapalı genleşme depolu üstten dağıtmalı ve alttan toplamalı ısıtma sistemi 46

Şekil 3.9. Kapalı genleşme depolu üstten dağıtmalı ve üstten toplamalı ısıtma sistemi 46

Şekil 3.10. Düz geri dönüşlü 2 borulu dağıtım sistemi 47

Şekil 3.11. Ters geri dönüşlü 2 borulu dağıtım sistemi 48

Şekil 3.12. Çeşitli ısıtma şebeke tipleri 48

Şekil 3.13. Isıtma sistemi bileşenleri 48

Şekil 3.14. Enerji kaynakları ve ısı üreteçleri 49

Şekil 3.15. Isı dağıtım ekipmanları 49

Şekil 3.16. Isı aktarım ekipmanları 49

Şekil 3.17. Isı dağıtımı (boru şebekesi) sistemi 50

Şekil 3.18. Tek borulu ısıtma sistemi devre şeması 51

Şekil 3.19. Çift borulu ısıtma sistemi devre şeması 51

Şekil 3.20. Tichelmann borulu ısıtma sistemi devre şeması 52

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.21. Mobil sistem ve PE-X ısıtma boruları 52

Şekil 3.22. Yerden ısıtma sistemi ve döşeme şekilleri..... 53

Şekil 3.23. Farklı genleşme tankları 54

Şekil 3.24. Genleşme tankı ve membran tipleri..... 55

Şekil 3.25. Genleşme tankı ve membran kesit görüntüsü..... 55

Şekil 3.26. Kapalı genleşme deposunun kazana bağlantısı..... 56

Şekil 3.27. Genleşme tankı çalışma prensibi ve basınç değerleri..... 56

Şekil 3.28. Membranlı genleşme tankının (a) kesit görüntüsü ve (b) yapısı 59

Şekil 3.29. Kazan basınç değerleri..... 61

Şekil 4.1. Tek membran içeren mevcut kapalı genleşme tankı modellemesi 65

Şekil 4.1. Çok sayıda membran içeren yeni bir kapalı genleşme tankı modellemesi..... 66

Şekil 5.1. Dikey ayaksız kapalı genleşme tankı..... 68

Şekil 5.2. Kapalı genleşme tankının ve manşon montajı için kesilecek alanın modellemesi..... 68

Şekil 5.3. Kesme işleminin yapılacağı yer..... 69

Şekil 5.4. Genleşme tankının; (a) alt parçasının ve (b) üst parçasının modellemesi 69

Şekil 5.5. Tasarlanan 2 adet flanşın 3 boyutlu katı modellemesi..... 70

Şekil 5.6. Genleşme tankının (a) alt ve (b) üst kısmına sabitlenen flanşların montaj detayı 70

Şekil 5.7. Manşonun 3 boyutlu katı modellemesi..... 71

Şekil 5.8. Flanş modellemesi 71

Şekil 5.9. Gözetleme camı modellemesi..... 71

Şekil 5.10. Gözetleme camı, manşon ve flanşların montaj detayı..... 72

Şekil 5.11. Genleşme tankı kafes bağlantı parçasının modellemesi 72

Şekil 5.12. Genleşme tankı kafes kapaklarının modellemesi 73

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.13. Genleşme tankı kafes sistemi montaj detayı..... 73

Şekil 5.14. Genleşme tankı 3 boyutlu katı modellinin üstten görünümü..... 74

Şekil 5.15. Tasarımı yapılan genleşme tankının şeffaf görüntüsü..... 75

Şekil 5.16. Soğuk su deney düzeneğinin şematik görünümü..... 84

Şekil 3.17. Sıcak su deney düzeneğinin şematik görünümü..... 85

Şekil 6.1. Farklı membran sayıları için genleşme tankı ağırlığı ve basıncındaki değişim 88

Şekil 6.2. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak ölçülen genleşme tankı basıncı 92

Şekil 6.3. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak genleşme tankı tasarımı ağırlığı... 93

Şekil 6.4. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına göre aktif ve pasif kombi genleşme tankının basıncı..... 94

Şekil 6.5. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak pasif genleşme tankı ağırlığı 93

Şekil 7.1. Farklı membran sayılarına göre basınç ve absorbe edilen su miktarı değişimi 97

Şekil 7.2. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına göre genleşme tanklarının basınç değişimi 98

Şekil 7.3. Kombi genleşme tankı ile membranlı genleşme tanklarının karşılaştırılması 99

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 5.1. Lazer kesim ve plazma kesim işlemleri sonucu oluşan parçalar 75

Resim 5.2. Lazer ve plazma kesim sonucu oluşan genleşme tankı (a) alt ve (b) üst kısımları..... 75

Resim 5.3. İmalatı yapılmış (a) büyük ve (b) küçük flanşların görüntüsü 76

Resim 5.4. Genleşme tankı alt kısmına flanşın monte edilmiş görüntüsü 76

Resim 5.5. Genleşme tankına flanşın TİG kaynağı 76

Resim 5.6. 100 mm'lik hazır siyah manşon..... 77

Resim 5.7. Pleksiglas gözetleme camı 77

Resim 5.8. Manşon ile sabit flanşların genleşme tankına monte edilmiş görüntüsü 78

Resim 5.9. Genleşme tankı; (a) kafes kapağı ve (b) kafes bağlantı parçası..... 78

Resim 5.10. Kafes montajında kullanılan tijler, vidalar ve somunların görüntüsü 78

Resim 5.11. Montajı yapılan kafes kapaklarının (a) üstten ve (b) önden görüntüsü 79

Resim 5.12. Montajı yapılmış genleşme tankının (a) önden ve (b) üstten görüntüsü 79

Resim 5.13. Gözetleme camı, silikon contalar ve hareketli flanş 80

Resim 5.14. Gözetleme camı ve küresel vana montaj detayı..... 80

Resim 5.15. (a) ve (b) genleşme tankı sızdırmazlık ve basınç testi..... 81

Resim 5.16. Kapalı genleşme tankı deney düzeneği ve ölçüm cihazları..... 81

Resim 5.17. Elimko E-680 sıcaklık ölçüm cihazı ve K tipi termokupl..... 83

Resim 5.18. Soğuk su deney düzeneği..... 85

Resim 5.19. (a) ve (b) sıcak su deney düzeneği ile kullanılan ölçüm cihazları..... 86

Resim 6.1. Basınç (a) 0 bar ve (b) 2,4 bar iken 10 membranlı sistemin görüntüsü..... 89

Resim 6.2. Basınç değeri (a) 0 bar ve (b) 2,4 bar iken 15 membranlı sistemin görüntüsü..... 90

Resim 6.3. Basınç değeri (a) 0 bar ve (b) 2,7 bar iken 20 membranlı sistemin görüntüsü 90

Resim **Sayfa**

Resim 6.4. Basınç değeri (a) 0 bar ve (b) 2,6 bar iken 25 membranlı sistemin görüntüsü 90

Resim 6.5. Genleşme tankı içerisindeki membranların basınca göre şekil değişimi..... 91

Resim 6.6. Genleşme tankının membran değişimi için hazırlanması 95

Resim 6.7. Farklı membran ve ısıtma suyu gidiş sıcaklıklarında deneylerin yapılışı 96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Alan
bar	Basınç
CH_4	Metan
cm	Santimetre
cm^3	Santimetreküp
CO	Karbon monoksit
CO_2	Karbondioksit
°C	Santigrat derece
EJ	Exajoule
h	Yükseklik
kcal	Kilokalori
kcal/h	Bir saatte harcanan maksimum ısı enerjisi
$kcal/h.m^3$	Metreküp başına düşen ısı kaybı
kg	Ağırlık
kg/h	Debi
kJ	Kilojoule
kW	Kilowatt
L	Radyatör uzunluğu
lt	Litre
m	Metre
mm	Milimetre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
M_T	Kullanılması gereken küçük membran sayısı
NO	Azot monoksit
NO_x	Azot oksitler
N_2O	Nitröz oksit

Simgeler	Açıklamalar
O_2	Oksijen
P	Basınç (bar)
P_0	Kapalı genleşme tankı ön basıncı
P_e	Sistem işletme üst basıncını
SO_2	Kükürt dioksit
T	Sıcaklık
V	Hacim
V_b	Boruların hacmi
V_e	Sistemde genleşen su miktarı
V_n	Genleşme deposu hacmi
V_g	Genleşme tankı hacmi
$V_{Kİ}$	Küçük membranların ilk hacmi
V_{KS}	Küçük membranların son hacmi
V_M	Mebranın hacim değişimi
V_p	Peteklerin hacmi
V_v	Sistem soğukken tankta bulunan su miktarı
V_Y	Membran tasarımı için gerekli hacim
Δ_T	Sıcaklık farkı
W	Güç (J/s)

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BM	Birleşmiş Milletler
BOTAŞ	Boru Hatları İle Petrol Taşıma A.Ş
CATES	Çatalağızı Termik Santrali
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
COP	BM İklim Değişikliği Taraflar Konferansı
ENVER	Enerji Verimliliği Kanunu
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EPDM	Etilen Propilen Kauçuğu

Kısaltmalar	Açıklamalar
GAZBİR	Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları Birliği
G20	20'ler Grubu
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
IRR	İç Karlılık Oranını
KİPTAŞ	İstanbul Konut İmar Plan Sanayi ve Ticaret A.Ş.
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol
M	Manometre
MÖ	Milattan Önce
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NEA	Ulusal Çevre Ajansı
NPV	Net Mevcut Değeri
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
SPB	Basit Geri Ödeme
$	Amerikan Doları
TİG	Gaz Altı Tungsten Ark Kaynağı
TL	Türk Lirası
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜBA	Türkiye Bilimler Akademisi
UNFCCC	BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi için önemli bir dönüm noktası olan ateşin bulunmasıyla günümüze kadar çeşitli ısıtma sistemleri kullanılmıştır. Günümüz ısıtma sistemlerinin; oluşum, gelişim ve kullanım alanlarını anlamak adına ateşin tarihi seyrine birkaç paragrafla değinmek gerekir.

Modern dünyada evrensel olarak sayısız ifade ve kullanım alanıyla insanların yaşamı için oldukça önemli kabul edilen ve modern teknolojilerin gelişimini sağlayan ateş, Darwin tarafından dil dışında insanlığın yaptığı en büyük keşif olarak kabul edilmiştir [1]. Yapılan araştırmalara göre ateş kullanımı neredeyse 2 milyon yıl öncesinde başlamış, Avrupa'da ateş kullanımı ile ilgili 400 000 yıl öncesine ait kalıntılara rastlanmıştır [2]. Ateşin, erken modern insanlar tarafından 164 000 yıl öncesine kadar bir mühendislik aracı olarak kullanılmaya başlandığını gösteren kanıtlar bulunmuştur [3]. Eski çağlarda kullanılan ateşe ait bulgular ısı enerjisi kullanımının bazen çok düşük potansiyelli (odun parçalarının kısa süreli yanması), bazen çok yüksek potansiyelli (büyük bir açık veya kapalı alanda saatlerce ve günlerce yakılan büyük ateşler) olduğunu göstermiştir. Planlı şekilde kapalı bir alan içerisinde ısının taşınmasını sağlayan taşlardan yapılmış sistemlerde kullanılmıştır [4]. Radyant yerden ısıtma sistemlerine Romalıların hayat verdiği kabul edilmesine rağmen, arkeolojik ve antik metinler Asyalıların bu sistemlerin bilinen en eski geliştiricisi olduğunu ve Romalılardan binlerce yıl önce bu sistemleri kullandıklarını göstermektedir [5].

İlk çağlardan itibaren insanların en temel ihtiyaçlarından birisi olan barınma, olumsuz hava koşulları ve diğer canlılardan gelen tehlikeleri kontrol etme girişimidir. Ayrıca insanlar temel ihtiyaç malzemelerini ve değerli eşyalarını korumak için konforlu ortamlara ihtiyaç duymuşlardır. Bu nedenle ilk çağlarda mağaralarda barınan insanlar, sonrasında daha konforlu binalarda ve günümüzde ise yeşil veya akıllı binalarda yaşamlarını sürdürmeye başlamıştır. Barınma ihtiyacından sonra ateş icat edilmiş ve insanlar ateşi kullanarak ısınmaya başlamıştır. İlk başlarda mağaralarda yanma sonucu oluşan dumanı dışarı atacak fakat ısıyı muhafaza edecek yaşam alanları ve ısınma sistemleri icat etme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu ilkel sistemler, çevreye zarar verdiklerinden ve fosil yakıtlarının taşınması konforsuzluk oluşturduğundan son yıllarda sadece sanayi alanında kullanılmış ve yerini ileri teknolojilere bırakmıştır. İleri teknoloji sistemler ise geniş kapalı alanların daha etkin ısıtılmasına ve konforun büyük oranda artmasına olanak sağlamıştır. İlkel sistemlerde

yakıt olduğu sürece arıza meydana gelmediğinden konfor aksamazken, ileri teknoloji sistemlerde oluşan elektronik ve mekanik arızalar konforun aksamasına neden olmuştur. Bu arızalar, bakım onarım maliyetlerini arttırırken enerji verimliliğini azaltmıştır. Kapalı alanların ısıtılması enerji kaynakları üzerinde bir yük olduğundan, arıza ve bakım-onarım giderlerini azaltan modern teknolojilerin geliştirilmesine gereksinim duyulmaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle daha iyi iklim kontrolü sağlayan modern yeşil binalar dünya genelinde hızla artmıştır. Birçok kültür, çevremizi kontrol etmek amacıyla coğrafi olarak uyarlanabilir ve sürdürülebilir yapılar oluşturmak için modern teknolojiyi kullanmıştır. İklimlendirme sistemlerinde maliyet ve enerji arasında sürdürülebilir bir ilişki sağlamak için daha az iş, para ve enerji gerektiren konforlu ve yenilikçi çözümler aranmıştır. İç mekân konforu, modern enerji kaynakları üzerinde sıcaklık ve nem kontrolünün sağlanması aşamasında ortaya çıkan bir yük olmuştur. Bu tür sorunları çözmek amacıyla iç içe geçmiş tarihi emsaller ve modern teknolojilerin karışımları üzerinde çalışılmaktadır [6].

Dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak sanayi üretim alanlarının da genişlemesi ile ülkelerin ekonomik, sosyal ve teknolojik açıdan gelişmeleri hızlanmış ve insanların enerjiye olan gereksinimleri artmıştır [7, 9]. Yaşamın her alanında kullanımı zorunlu hale gelen enerji, fosil yakıtlarla ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilmektedir [8, 9]. Türkiye; dünyanın en hızlı büyüyen enerji pazarları arasındadır. Gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de nüfusun artması nedeniyle enerji talebi de hızla artmaktadır [9].

Artan enerji talebiyle, fosil yakıtların daha fazla kullanılması atmosferdeki CO_2 oranını %50 oranında arttırmakta, çevreyi kirletmekte, sera etkisi ve küresel ısınmaya neden olmaktadır [10]. Çevre kirliliği, 19. yüzyıldan itibaren hızla artmış ve dünyadaki tüm canlıları olumsuz etkileyen bir sorun haline gelmiştir. Toksik madde içeren suların toprağa karışması, topraktaki canlıları ve temiz su kaynaklarını etkileyen bir tehdit oluşturmuştur. 20. yüzyılın başlarından itibaren konut ve iş yeri ısıtma, enerji üretimi, sanayi ve ulaşım faaliyetleri çevreyi ve toprağı kirleten atıkları oluşturmaktadır [10, 11]. Küresel ısınma artış oranlarındaki yükselişe ve su kaynaklarının kirlenmesine çözüm bulunabilmesi için bilim insanları kaynakların daha verimli kullanılmasına ilişkin çözümler aramaktadır.

Küresel ısınmanın etkileri ekolojik ve sosyoekonomik etmenler olarak sınıflandırılmaktadır. Ekolojik sorunlar; buzulların erimesi, seller, sıcaklıkların

yükselmesi, kuraklıklar ve orman yangınları ile canlıların zarar görmesine neden olmaktadır. Sosyoekonomik sorunlar ise su kaynaklarının ve enerji üretiminin azalması sonucunda ortaya çıkacak kaos ortamı ve iç savaşlardır [12]. Bu nedenle ulusal ve ekonomik enerji stratejileri belirlenirken ülkeler; kendi ihtiyaç duydukları enerjiyi bağımız ve düşük maliyetle üretmek, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir enerji stratejileri geliştirmek için çaba göstermektedir. Türkiye 2021 yılı istatistiklerine göre doğalgaz ihtiyacının %99'undan fazlasını ve petrol ihtiyacının yaklaşık %93'ünü ithal etmektedir [13].

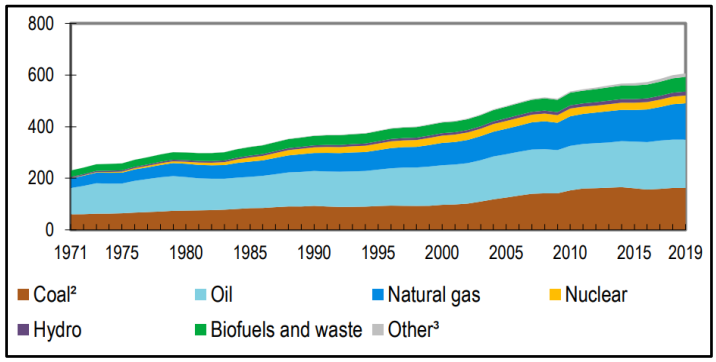
Ülkemizde enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji verimliliği konularındaki kanunlar; sera gazı emisyonlarının azaltılmasını, atıkların değerlendirilmesini, çevrenin korunmasını ve bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesini, enerjinin etkin ve verimli kullanılmasını, israfının önlenmesini, enerji maliyetlerinin azaltılmasını amaçlamaktadır [14, 15]. Türkiye, iklim değişiklikleri ve çevre kirliliğinden en olumsuz şekilde etkilenecek bir coğrafi konumda yer almaktadır. Bunun yanı sıra, su kaynaklarının azalması sonucunda oluşan ekolojik bozulmalardan en erken etkilenmeye başlayan ülkeler arasındadır [16]. Türkiye'nin taraflarından olduğu Paris Antlaşması ve bilimsel araştırmalar; mevcut iklim değişikliği çalışmalarının yetersiz olduğunu ve küresel ısınma değerlerinde oldukça tehlikeli olan 1,5 °C değerinin aşılmaması gerektiğini belirtmektedir [16, 17]. Doğal afetlerin %90'ı ile alakalı olan su kaynakları; ormanlar, tarım alanları, sanayi tesisleri, ulaşım araçları, enerji ve kentsel sistemler için oldukça önemlidir. Türkiye, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu hedefleyen "Sıfıra Yarış" kampanyasının destekçisidir. Destekçi ülkelerin iklim değişikliklerini azaltmak için yeni teknolojileri geliştirmeleri, transfer etmeleri ve kapasite geliştirme taahhütlerini yerine getirmeleri gerekmektedir [18]. Bunun için üretim yöntemlerinin değiştirilmesi, enerji ve suyun verimli kullanılması ve düşük karbonlu ekonomiye geçilmesi sağlanmalıdır [16-18].

150 hükümet başkanı ve 85 000 kişinin katılım sağladığı UNFCCC Taraflar Konferansı'nın (COP 28) 28. oturumu 2023 yılında Dubai'de gerçekleştirilmiştir [19]. İçerisinde iklim eylem planı ve temiz su kaynakları da bulunan 17 konuda çalışmalar yapılmıştır. Temiz su konusunda 2030 yılına kadar su kirliliğini azaltarak, tehlikeli kimyasalların ve malzemelerin salınımını en aza indirerek su kalitesini iyileştirmek amaçlanmıştır [19, 20]. Çevre ve iklim sorunları tüm dünyaya ek olarak uzayı da olumsuz yönde etkilediği için küresel işbirlikleri hızlanmıştır [21]. Güncel verilere göre dünyada 2,2 milyar insan temiz suya erişememekte ve 115 milyon insan temel ihtiyaçlarını karşılamak

için yüzey suyuna bağımlı kalmaktadır [22]. Su kullanımı, geçtiğimiz yüzyılda küresel nüfus artış oranının iki katından daha fazla artmıştır. 2030 yılında 700 milyon kişinin su kıtlığı nedeniyle yaşadıkları yerleri terk etmesi, dünyanın 2/3'ünün yılın en az 1 ayında suya erişememesi ve 2050 yılında ise su sorunlarından etkilenen insanların %69'unun Asya kıtasında olacağı ön görülmektedir [23]. Su kaynakları, tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için zorunlu olmasına rağmen su kaynaklarına devamlı erişim sağlanamamaktadır [24]. Suya erişimde yaşanan sorunlar nedeniyle temiz su üretimi için yağmur suyu toplama sistemlerinin (su hasadı yapan sistemler) kullanımına başlanmıştır [24, 25]. Hasat edilen yağmur suyu farklı alanlarda kullanılabilmekte, içme suyu olarak kullanılabilmesi için birçok arıtma işleminden geçirilmesi gerekmektedir [26].

Türkiye su kaynakları bakımından en riskli ülkeler kategorisindedir. Temiz su elde edilebilmesi için kullanılan arıtma sistemleri çok maliyetli ve fazla enerji tüketen sistemlerdir. Türkiye; Paris Antlaşması'nın tarafı olması nedeni ile Taraflar Konferanslarına (COP) katılacaktır. Türkiye, Avrupa Birliği Komisyonu'nun oluşturduğu G20 ve OECD üyesidir. Bunların bir sonucu olarak; Türkiye'de çevre dostu yenilikçi teknolojiler ile suyun verimli kullanımı sağlayan sistemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Dünya'da 1971 ile 2019 yılları arasında kaynağına göre toplam enerji arzındaki değişim Şekil 1.1'de verilmiştir. 2019 yılında toplam 606 EJ (Exajoule) enerji tüketilmiştir. Enerji arzında en fazla paya sahip kaynaklar; petrol, doğalgaz ve kömür olmuştur. 1973 ile 2019 yılları arasında petrolün arz içindeki payı %50'den fazla azalırken, doğalgazın toplam arzı yaklaşık %50 oranında artmıştır [27]. Son yıllarda; nükleer enerji, yenilenebilir enerji, biyolojik ve diğer atık enerjilerin dönüşümü ile üretilen enerji payları da artmıştır [27, 28].



Şekil 1.1. Kaynağına göre dünya toplam enerji arzındaki değişim [27].

Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi 2018 yılı verilerine göre dünyada tüketilen toplam birincil enerji 13864,9 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) olarak belirlenmiştir. Dünyadaki birincil enerji dağıtımında en büyük paya sahip kaynaklar sırasıyla; %33 kullanım oranı ile petrol, %30 kullanım oranı ile kömür, %24 kullanım oranı ile doğalgaz, %7 kullanım oranı ile hidroelektrik enerjisi, %4 kullanım oranı ile nükleer enerji olarak belirtilmiştir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı ise %2 civarında olmuştur [29].

Çizelge 1.1. Dünya'da MTEP olarak toplam enerji tüketimi [29]

Enerji Kaynağı	Kullanım Yüzdesi
Petrol	%33
Doğalgaz	%24
Kömür	%30
Nükleer	%4
Hidroelektrik	%7
Diğer Kaynaklar	%2

Türkiye'de bulunan 81 ile Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) tarafından doğalgaz sağlanmıştır [30]. Doğalgaz; yüksek yanma verimi, avantajlı fiyatları, kolaylıkla depolanabilmesi, atmosfere zararlı gazların salınımını yapmamasından ötürü sanayide ve konutlarda kullanılmaktadır [31]. Doğalgaz konutlarda ve sanayide; mutfak, ısınma ve sıcak su elde etmek amacıyla kullanılmaktadır [32]. Türkiye'de ilk kez doğalgaz kullanımı,1987 yılında başlamış ve sonraki yıllarda giderek yaygınlaşmıştır [33]. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Doğalgaz Raporu'na göre, son yıllarda Türkiye'nin doğalgaz dağıtım şebekesi her yıl ortalama olarak %8 oranında büyümüş ve 64,4 milyon kişinin doğalgaza erişimi sağlanmıştır [34]. Türkiye'de, 2023 yılı sonunda abone sayısı 20,8 milyon kişiye ulaşmış ve bir önceki yıla göre tüketilen doğalgaz miktarı %1 oranında artmıştır [35]. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) Doğalgaz Piyasası Sektör Raporuna göre Ocak-Nisan 2024 döneminde doğalgazın; %51,93'ü konutlarda, %20,21'i sanayide, %13,58'i çevrim/dönüşüm amacıyla, %12,09'u hizmet sektöründe, %0,21'i ulaşım sektöründe ve %0,19'u diğer sektörlerde kullanılmıştır [36].

Doğalgaz ile ısınmada en yaygın kullanılan sistemler, konut ve iş yeri ısıtmasına göre büyüklükleri ve güçleri değişen gaz yakıcı cihazlardır. Gaz yakıcı cihazlar doğalgazın yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisini kapalı bir devredeki suya aktarma ve ısınan suyun pompa sistemi ile petekler içerisinde devridaim yaptırılması prensibine göre

çalışmaktadır. Suyun ısınması sonucunda sıcaklık değerine göre farklı oranlarda genleştiği bilinmektedir. Isıtma sistemlerinde suyun genleşmesine bağlı olarak değişen basınçtaki dalgalanmaların ve pompanın sürekli çalışmasının önlenebilmesi için genleşme tankları kullanılmaktadır.

Genleşme tankı, tasarımında bir diyafram bulunan ve havalandırılmayan ısıtma, soğutma, içme suyu ve güneş enerjili ısıtma sistemlerine monte edilen basınçlı bir kaptır. Basınçlı bir ısıtma veya soğutma sisteminde, basıncı gerekli sınırlar içinde tutmak ve sıcaklık dalgalanmalarından kaynaklanan hacimlerdeki değişiklikleri telafi etmek için yüksek noktalarda negatif basıncı önlemekte önemlidir [37]. Kapalı genleşme tankları; kapalı, sıcak ve kaynar su sistemlerindeki basıncı kontrol etmek için tasarlanmıştır. Diyaframlı olarak sunulan bu tankların boyutları 2000 litreye kadar çıkabilmektedir. Maksimum 21 bar çalışma basıncına sahip bu tanklar; enerji tasarrufu sağlamakta ve su ısıtıcısı ile diğer tesisat armatürlerini korumada etkilidir [38]. Genleşme tankında ve ısıtma sisteminde geniş bir aralıkta değişen basıncı dengelemek için kullanılan membran çeşitlerinin; butil, EPDM ve kauçuk membranlar olduğu bilinmektedir. Modern ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ve pratik olarak açık tip tankların yerini alan membranlı genleşme tanklarının en büyük dezavantajları; membranların yırtılması ve genleşme tankı fiyatlarının yüksek olmasıdır.

Genleşme tankları yaygın olarak kullanıldığı ısıtma sistemlerinin dışında; soğutma, basınçlandırma, güneş enerjisi, su depolama, yıkama, tesisat sistemleri, sulama pompaları ve hidrolik sistemler vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüz teknolojisinde kullanılan genleşme tankları içerisinde basınç dengesinin sağlanabilmesi için membran kullanılmakta ve membran içerisine sistem gereksinimlerine göre farklı basınçlarda gazlar basılmaktadır. Kullanım koşullarına bağlı olarak sistemde meydana gelen değişimlerin kontrol altında tutulabilmesi için periyodik bakım ve/veya kontrollerin uzman kişilerce yapılması gerekmektedir. Bu tür bakımlar kullanıcılara ek maliyetler getirmektedir. Ayrıca membranlar zaman içerisinde aşınmakta, esneklik özelliğini kaybetmekte veya delinmektedir. Membranda meydana gelen delinmeler sonucunda; genleşme tanklarında korozyon oluşabilmekte ve bazı durumlarda genleşme tankının ve/veya membranın tekrar kullanımı mümkün olmadığından değişimini gerektirmektedir. Değişim esnasında sistem kullanılamayacağı için konforun aksamasına neden olmaktadır. Buna ek olarak, genleşme tankı ile ısıtma sistemi tesisatı içerisinde bulunan tüm suyun boşaltılması ve arıza

giderildikten sonra sistem içerisine tekrar su eklenmesi gerekmektedir. Bunun sonucunda, su kayıpları ve ısıtılan suyun sistem dışına atılmasında ise enerji kayıpları oluşmaktadır. Periyodik bakımlara ek olarak sistemde meydana gelebilecek bu tür ciddi arızalar kullanıcılara yüksek maliyetler getirmektedir.

Bu çalışmada; genleşme tankları içerisinde tek parça halinde bulunan mebranlar yerine aynı basınç değerlerini sağlayan daha küçük boyutlu membran görevi gören çok sayıda mini membranın yerleştirilmesi ile ihtiyaç duyulan basınç değerlerinin sağlanması amaçlanmıştır. Böylece sistem içerisindeki membranlardan bir veya birkaç tanesi görev yapamayacak durumda olsa dahi ani bir basınç değişimi oluşmayacağından sistemin çalışması sürekli hale gelecektir. Bu nedenle periyodik bakım süreleri uzayacak ve ek maliyetler azalacak, bunlara ek olarak periyodik bakımlarda sistem içerisindeki tüm mebranın değişimi yerine sadece deforme olan mini membranlar değiştirileceğinden bakım onarım maliyetleri önemli ölçüde azalacaktır. Bu sayede, malzeme kayıpları da büyük oranda azalacaktır. Mevcut sistemlere sonradan eklenebilecek olan bu tasarım sayesinde; enerji ve su tasarrufu sağlanacak, küresel ısınmanın insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri azaltılacak, atık su ve plastik malzemelerin toprağa karışması da azaltılacaktır. Yapılan ön araştırmalarda benzer bir sisteme rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılacak olan çalışma yeni bir yöntem ile mevcut sistemlerde bulunan birden fazla soruna çözüm getirmektedir. Geliştirilen tasarım, genleşme tankı kullanımını gerektiren tüm sistemlerde kullanılabileceğinden ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacaktır. Isıtma sistemi bileşenlerinin daha uzun ömürlü olması; hem sisteme eklenen içme suyu miktarını hem de sistem bileşenlerinin üretimi sırasında kullanılan su miktarını azaltılacağından temiz su kaynaklarının korunması sağlanacaktır. Bireysel ve merkezi ısıtma sistemlerinde, özellikle kış aylarında meydana gelen arızalar ve plansız bakım-onarım faaliyetleri azaltılacağından tüketilen fosil yakıt kaynaklı enerji miktarları düşürülecektir. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan zararlı maddelerin atmosfere yayılması ve sistemde meydana gelen arızalar sonucunda kullanılamayacak malzemelerin toprağa karışması da azaltılacağından daha temiz ve sürdürülebilir bir sistem tasarımı sunulmuş olacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan araştırmalar sonucunda, ısıtma sistemlerinde kullanılan kapalı genleşme depoları içerisinde bulunan membranların standart olarak tek parça şeklinde üretildiği görülmüştür. Tez çalışmasına konu olan yeni bir genleşme deposu tasarımına yönelik çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Bu bölümde yapmış olduğumuz çalışmaya yakın ve ısıtma sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Akgün 1997 yılında; kapalı genleşme düzenleyicilerin sıcak ve soğuk su bulunduran sistemlerde kullanılması ve genleşme tanklarının seçilmesi esnasında uygulanması gereken kriterler üzerine bir çalışma yapmıştır. Sıcak ve basınçlı su kullanan cihazlarda membranlı genleşme tanklarının çok yaygın kullanıldığını, bu elemanların hacimlerinin 8-1000 litre arasında değiştiğini belirtmiştir. Isı ve basınç altında çalışmakta olan genleşme tanklarının araştırılması, geliştirilmesi ve imalatının sağlanması için DAF Döküm Armatür ve Fenni Makineler San. Tic. A.Ş bünyesinde farklı konularda araştırmalar yapmıştır. Yeni genleşme depolarının; tasarımı, TSE belgelerinin alınması, gerekli deney düzeneklerinin hazırlanması, membranların şekil ve hacimlerinin hesaplanması, kalite kontrol, test, tesisata montajı vb. birçok alanda çalışma yapmıştır. Genleşme tanklarında kullanılan membranların şekil ve hacimlerinin belirlenmesi için çeşitli deney setleri hazırlamış, deneyleri yapmış ve deney sonuçlarına göre yurt içinde ve yurt dışında üretilecek olanlar için şekil ve hacimleri belirlemiştir. Yapmış olduğu deneylerden bazılarının;

- TS 1967'ye göre kauçuk malzemelerin kopma mukavemeti ve kopma uzaması deneyi,
- TS 1324'e göre kauçuk malzemelerin sertlik deneyi,
- TS 4595'e göre diyaframın basınç altında kalıcı şekil değiştirme deneyi (70 °C sıcaklığında etüv içinde 70 saat süresince bekletmek koşulu ile),
- Diyaframın suda kaldıktan sonra mekanik özelliklerinde değişme deneyi,
- TS 4595'e göre diyaframın suda basma gerilmesinin azalması deneyi,
- TS 4595'e göre diyaframın suda basınç altında kalıcı şekil değiştirme deneyi (numune kalınlığını %25 azaltarak 70 °C sıcaklıkta 28 gün),
- TS 4468'e göre diyaframın gaz geçirgenliği deneyi (numune 101,3 kPa basınç ve oda sıcaklığında),
- TS 4314'e göre genleşme deposu boyama deneyi olduğunu belirtmiştir.

Membranları test etmek için ise aşağıda verilen 3 farklı deney düzeneğini kurmuş ve kullanmıştır.

- Pnömatik sistemli membran test düzeneği
- Soğuk sulu basınçlandırma test düzeneği
- Sıcak sulu basınçlandırma test düzeneği

Sonuç olarak kapalı genleşme tankı seçilirken; sistemdeki akışkanın türü, bu akışkanın maksimum ve minimum sıcaklıkları arasındaki genleşme katsayısının çok önemli olduğunu belirtmiştir [39].

Küçükyalı 2001 yılındaki çalışmasında, ısıtma amacıyla kullanılan cihazlardaki ve cihazların parçalarındaki gelişmelerin hızlı bir şekilde ilerlediğini belirtmiş, bu sistemlerdeki kazan ve brülörlerdeki gelişmeleri açıklamış ve ısıtma sistemlerinde kesintili şekilde kullanımın neden olduğu yüksek yakıt tüketimi ile konforsuzlukları araştırmıştır. Hafta sonu kullanılan kış evlerinin genellikle haftada en fazla iki gün kullanıldığını, sonrasında ise beş gün boyunca kullanılmadığını ve tekrar soğuduğunu belirtmiştir. Bu sürenin sonunda ev tekrar kullanılmak istendiğinde, ısıtma sisteminin uzun süre sürekli olarak çalışarak kaybettiği ısıyı elde ettiğini açıklamıştır. Evin kullanılmadığı süre boyunca soğuyan duvarlar ve eşyaların soğuk olan yüzeylerinin ışınım ile ısı transferi ile öncelikli olarak ısındığını ve daha sonra ısıtma sisteminin normal çalışma konumuna gelerek konforun sağlanabildiğini ifade etmiştir. Sistemin sürekli ısıtma konumunda çalıştığında; çok fazla enerji tüketildiğini, konfor şartlarının çok olumsuz olduğunu, yakıt tüketiminin arttığını ve iki günlük ısıtma maliyetinin çok yüksek olduğunu belirtmiştir. Çalışmanın devamında İstanbul'da bulunan bir hafta sonu evini incelemiştir. Bazı kabuller ile bu evi simüle etmiş, yakıt tüketimi ve çalışma sürelerini de kullanarak evin farklı bölümlerine transfer edilen ve depolanan ısı değerlerini hesaplamıştır. Yapmış olduğu hesaplamalar sonucunda elde edilen ısı değerlerini;

- Döşemelere 5 575 680 kJ
- Dış duvarlara 565 044 kJ
- Kiriş ve kolonlara 1 393 920 kJ
- İç duvarlara 282 522 kJ
- İç havaya 20 480 kJ

- Eşyalara 264 000 kJ
- Çelik tesisata 5288 kJ
- Sistemdeki suya 94 050 kJ

bulmuştur. Transfer edilmesi gereken toplam ısı miktarını 1 962 000 kcal olarak hesaplamış, bu enerjinin elde edilebilmesi için 30 000 kcal/h kapasiteye sahip bir kazanın gerekli olduğu ve ısıtılan ortamdan dışarıya ısı kayıpları dikkate alınmadığında sıcak sulu ısıtma sisteminin 65 saat çalışması gerektiğini hesaplamıştır. Sonuç olarak ev 2 gün süresince kullanılacağından 48 saatte binanın istenilen sıcaklıklara ulaşamayacağı ve istenilen konforun sağlanamayacağını ortaya koymuştur. Isıtma sisteminin rejim halinde sürekli çalıştığı durumda, dış sıcaklığı bağlı olarak yakıt tüketiminin hesaplanan değerin üçte biri ile yarısı arasında olacağını hesaplamıştır. Ayrıca sıcaklık düştüğünde duvarların, eşyaların ıslandığını ve oluşan nemin eşyaların kullanım ömrünü azalttığını belirtmiştir [40].

Taylor 2003 yılında yapmış olduğu çalışmada; genleşme tanklarının nasıl seçilmesi, tesisat bağlantılarının nasıl yapılması gerektiği konularında tasarım ve kurulum kılavuzlarında bazen yanıltıcı ifadelerin bulunabildiği bilgisini vermiştir. Yaygın olarak iddia edilen bir konunun, genleşme tanlarının sisteme bağlantısı yapılırken pompanın su girişine yakın bir yere bağlanması ifadesi olduğunu belirtmiştir. Ancak, kapalı (atmosfere havalandırılmayan) genleşme tanklarının ön şarj (başlangıç) basınçları ve boyutları doğru seçildiğinde sistemin herhangi bir yerine bağlanabileceğini belirtmiştir. En küçük boyutlu genleşme tankı (en düşük maliyetli) kullanılacaksa en iyi bağlantı noktasının pompa açıkken sistemde en düşük gösterge basıncına sahip olan nokta olduğunu ifade etmiştir. Uygulamada ise düşük basınç noktasının, yatay olarak dağıtılmış bir sistem (tek katlı bir bina) için pompa girişinde ve dikey olarak dağıtılmış bir sistem (çok katlı bir bina) için pompaya giden dönüş borularında sistemdeki en yüksek noktaya yakın olacağını belirtmiştir. Bu nedenle en iyi bağlantı noktasının, en küçük boyutlu genleşme tankı seçimine göre yapılamayacağını ve en iyi bağlantı noktasının genleşme tankına bakım-onarım işlemleri için kolayca erişilebilen bir mekanik oda olduğunu ifade etmiştir. Genleşme tanklarının kapalı hidrolik sistemlerde aşağıda maddeler halinde sıralanan faydaları sağladığını ifade etmiştir.

- Su yoğunluğu sıcaklıkla değiştiğinde sistemin su hacmindeki değişiklikleri dengeleyerek, sistemdeki ekipman ve tesisat borularını basınç sınırlarının altında tutmak.
- Sisteme hava sızmasını önlemek için sistemin tüm parçalarında pozitif bir gösterge basıncı sağlamak.
- Kontrol vanalarındaki kavitasyon ve benzeri daralmalar dâhil olmak üzere kaynamayı önlemek için sistemin tüm parçalarında yeterli basınç sağlamak.
- Pompaların girişinde gerekli net pozitif emme yüksekliğini korumak [41].

Küçükyalı 2003 yılında, ısıtma sistemlerindeki yeni teknolojiler ile ısıtma sistemlerinin geleceğini araştırmıştır. Yapmış olduğu çalışmada, hali hazırda kullanılan ve geliştirilmekte olan teknolojileri, fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan teknolojiler olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırmıştır. Fosil yakıt kullanarak çalışan ısıtma sistemlerinde ana yönelimin sistem verimin artırılması olduğu, en etkin teknolojinin yoğuşmalı kazan teknolojisi olduğunu belirtmiştir. Binalarda bir mevsimlik yakıt maliyetlerinin; kazan maliyetlerinin 2-10 katı arasında değiştiğini, ısıtma sektöründeki gelişmeleri yönlendiren iki ana etkenin enerji maliyetleri ve çevrenin korunması olduğunu, önceki dönemlerde ise mevcut ısıtma sistemlerinde yapılan çalışmaların kazan verimlerinin arttırılması üzerine olduğunu ifade etmiştir. Konvansiyonel sıcak su kazanlarının sahip olduğu verimin, yoğuşmalı kazan teknolojisinin kullanılmaya başlamasıyla maksimum değerlere ulaştığını, yoğuşmalı kazan kullanımının gün geçtikçe daha yüksek oranlarda kullanılmaya başlayacağını ifade etmiştir [42].

Küçüka ve Musaoğlu 2007 yılında, kalorifer tesisatında hidrolik dengesizliğin radyatör debileri ve ısı aktarımlarına etkisini incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Isıtma sisteminin radyatörlerindeki su dolaşımının standart duruma göre değişimini ve bu durumun ısıtma kapasitesine etkisini ön dengeleme yapılmaması durumunda incelemişlerdir. Yapılan uygulamaların çoğunda sirkülasyon pompasının olması gerektiğinden oldukça yüksek debide kullanıldığını görmüşlerdir. Bunun bir sonucu olarak da pompa yakınında bulunan ısıtıcılardan yüksek debide suyun akması nedeniyle hesaplanandan fazla ısı akışı olduğunu tespit etmişlerdir. Öte yandan, uzakta konumlandırılan radyatörler için gerekli debinin sağlanabilmesi için pompa giriş basıncının ve pompa debisinin yükseltilmesi gerektiğini gözlemlemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmanın sonucunda örnek olarak kullanmış oldukları ısıtma sisteminin sayısal verilerini

elde etmişlerdir. Bu sayısal verilere göre, radyatörlerin dengelenmesinin yapılmadığı durumda kolon debisinin iki kat fazla arttığını, bunun sonucunda kolon girişine yakın radyatörün ısıl kapasitesini %20 arttığını, uzak radyatördeki kapasitenin %33'üne kadar düştüğünü, pompa gücün standart gücün iki katına çıktığını tespit etmişlerdir. Buna ek olarak; bazı uygulamalarda pompanın çektiği gücün standart değerinin 4-10 misli olabildiğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, yeterli hidrolik dengelemenin sağlanabildiği durumlarda sıcak sulu ısıtma sistemlerinde ısıl konforun sağlanabileceğini ve pompa gücünün en düşük değerde tutulabileceğini gözlemlemişlerdir. Bu gözlemler sonucunda sıcak su ile çalışma prensibine sahip bir ısıtma sisteminde, hidrolik dengenin korunması vasıtasıyla ısıl anlamda konfor şartlarının sağlanabileceğini ve pompa gücünün en düşük seviyede tutulabileceğini görmüşlerdir [43].

Yılmaz 2010 yılında, günümüzde yeni kazan geliştirme yöntemlerinde tasarım kalitesini arttırma ve müşteri merkezli ürün geliştirme yöntemlerini araştırmıştır. Günümüzde birçok farklı ısıtma sisteminin pazara girmesine rağmen, rekabet edebilme gücünün mevcut piyasa koşullarında müşteri odaklı ürün geliştiren firmalar arasında sürdüğünü belirtmiştir. Ürünlerin kalitesinin, tasarım aşamasında belirlenmesi gerektiğini ifade etmiştir. Çalışmanın devamında, tasarımın yapıldığı esnada hedeflenmesi gereken performans kriterlerini tespit etmiştir. Yapmış olduğu çalışmanın sonucunda, ısıtma sistemlerin müşteri beklentilerine göre tasarlanması gerektiğini ve müşteri beklentilerinin işletim maliyetlerini azaltmak olması gerektiğini vurgulamıştır. Buna ek olarak ısıtma cihazlarının temel bileşenlerinin ömrünü arttırmak ve bunun için de ileri teknoloji sistemler ile daha kullanışlı ve çevreye daha duyarlı sistemlerin olması gerektiğini belirtmiştir [44].

Yürük ve arkadaşları 2012 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; ısıtma sistemlerinde zamanla kireçlenme başta olmak üzere çeşitli sorunlar ve kirlenme meydana geldiğini, kirlenme sonucunda radyatörlerin ısı atmasının engellenmesinin bir sonucu olarak sistemin verimsiz çalıştığını ve enerji tüketiminin arttığını ifade etmişlerdir. Çalışmanın devamında, tesisat temizliğinin sağlayacağı enerji verimliliği üzerine deneysel bir araştırma yapmışlar, tesisat temizlenmeden önce ve tesisat temizlendikten sonra ölçümler ve hesaplamalar yapmışlardır. Araştırma sonucunda, tesisat temizliğinin radyatörde oluşan sıcaklık dağılımının homojen şekilde sağlandığını gözlemlemişlerdir. Radyatör sıcaklıklarında yaklaşık 5 °C değerinde artışlar elde edildiğini tespit etmişler ve doğal gaz tüketiminde %21,16'lık azalmaya ek olarak radyatörlerde gerçekleşen taşınım ısı transfer

mekanizmasında da %17,2'lik iyileşme sağlanmışlardır. Sonuç olarak kullanılan doğalgaz miktarının azalması ile çevreye salınan zararlı gaz miktarlarında (NO, NO_x, CO, CO_2 ve O_2) %3,2 ile %25 arasında değişim olduğunu gözlemlemişlerdir [45].

Doğan ve İlhan 2012 yılında; kızgın sulu merkezi ısıtma sistemlerini, bu sistemlerin basınçlandırılmasını ve genleşme kabı boyutu üzerin bir çalışma yapmışlardır. Merkezi ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılan sistemlerin daha yaygın kullanılmasının yeni çıkan kanunlar ile planlanmakta olduğunu belirtmişlerdir. Türkiye'de 2007 yılında ortaya çıkan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nda "2000 m^2'den büyük alanların ısıtılmasının merkezi sistemler kullanılarak yapılacağı" bilgisi paylaşılmıştır. Bunun sonucunda kızgın su ile şarj edilen merkezi ısıtma cihazlarının öneminin oldukça artacağı ifade edilmiştir. Bahsedilen bu sistemlerin kurulumu ve sistemin basınç değerlerinin ayarlanması konusunda mevcut araştırmalarda yeterli bilgi olmadığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kızgın sulu sistemlerin basınç değerinin ayarlanması ve genleşmenin alınmış olmasının en önemli husus olduğunu belirtmişlerdir. Kot farkı bulunan yerlerde kapsamlı bir basınç analizi ile maksimum ve minimum basıncın belirlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Sonrasında benzer şekilde projelendirme yapılırken ısıtma kazanları, boru dağılımları, pompa seçimi ve montaj biçiminin de belirlenmesini önermişlerdir [46].

Kılıç ve arkadaşları 2013 yılında, deneysel çalışmalar yapmak amacı ile bir ısıtma sistemi kurmuş ve ısıtma sistemi içerisinde bulunan plakalı bir ısı değiştiricinin termodinamik analizlerini yapmıştır. Bu çalışmada, termik santraller, kimya endüstrileri, ısıtma tesisatları, soğutma tesisatları, iklimlendirme tesisatları, taşıtlar, elektronik sistemler vb. birçok alanda kullanılan ısı değiştiricilere ait deney düzeneğini kullanarak üç değişik değerli akış için termodinamik analizler yapmış, ısı transfer miktarları ve etkinlik değerlerine ait sonuçlar belirlemiştir. Analizlerin sonucunda, plakalı ısı değiştirici için en uygun çalışma debisinin 0,239 kg/s olduğunu hesaplamıştır. Bu debi değerinde maksimum ısı transferi 2250 W değeri için etkinlik değeri 0,44 olmuştur. Plakalı ısı değiştiricilerinin uygun değer çalışma koşullarının tespit edilmesi ile yaşamın her alanında oldukça yaygın olarak kullanılan bu sistemlerin enerji verimliliğinin arttırılabileceği ve ülke ekonomisine katkı sağlanabileceği sonucuna varmıştır [47].

Mohsenian ve arkadaşları tarafından 2015 yılında, merkezi ısıtma sistemlerinde ve klima sistemlerinde yaygın olarak kullanılan genleşme tankları üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Çalışmalarında, merkezi ısıtma sistemlerinin tasarım eksiklikleri neticesinde büyük oranlarda enerji kaybı meydana geldiğini belirtmişlerdir. Açık genleşme tankının yapısını gözden geçirmişler ve sistem ekipmanlarında ısı kaybını azaltmak için bazı değişikliklere yer vermişlerdir. Ayrıca, sistemin avantajlarının ve dezavantajlarının daha iyi belirlenebilmesi için piyasada yaygın olarak kullanılan modelleri incelemişlerdir. Verimli bir tasarım oluşturulabilmesi amacıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanarak farklı senaryoların testlerini yapmışlardır. Tasarladıkları yeni sistemin doğrulanabilmesi için deneysel bir modelin imalatını gerçekleştirmişler, ısı ve enerji transferlerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları incelemeler sonucunda, deney sonuçları ve sayısal hesaplamaları karşılaştırmışlardır. Mevcut çalışma ile açık genleşme tankı sisteminde enerji kayıplarının %85 ila %95 arasında azaltılabileceğini tespit etmişlerdir. Yeni sistemin, geleneksel sistemlerin yerine kullanılması durumunda %80 ve yalıtım yapılarak geleneksel sistemlerin yerine kullanılması durumunda ise %95 oranında enerji kaybının azaltılabileceğini bulmuşlardır. İncelemiş oldukları son teknoloji ürünü açık genleşme tankı modelinin, yeni genleşme tankı modeli ile değiştirilmesi sonucunda hane başına yıllık enerji tasarrufunun 857,1 metreküp doğalgaz olacağını belirtmişlerdir. Yeni tip açık genleşme tankının kullanımı ile doğalgaz tüketiminden yapılan tasarruf sayesinde diğer sistemlere kıyasla çevreye verilen zararın da büyük oranda azaltılacağı sonucuna varmışlardır [48].

2015 yılında Papakostas ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada, Yunanistan'da yaygın olarak kullanılan çeşitli ısıtma sistemlerinin verimlilikleri ve yakıt maliyetlerine göre işletme maliyetlerinin tahmini için basit bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre, jeotermal ısı pompaları en düşük maliyete sahipken, dizel ısıtma ikinci sırada ve elektrikli ısıtma en yüksek maliyetle son sırada yer almaktadır. Biyokütle kullanımının yasak olduğu şehir içi binalar için en ekonomik ve çevre dostu çözümlerin; düşük su sıcaklığı sistemlerinde yoğuşmalı doğalgaz kazanları ve yüksek su sıcaklığı sistemlerinde doğalgaz kazanları olduğunu belirtmişlerdir. Doğalgaz kullanımının, doğalgaz dağıtım şebekesinin varlığıyla sınırlı olduğu ve bu nedenle doğalgaz şebekesi olmayan bölgelerde daha yüksek yakıt fiyatlarına rağmen dizel yakıtlı sistemlerin hala yaygın olarak kullanılmakta olduğu bilgisini vermişlerdir. Belirtilen ısıtma sistemleri veya herhangi başka bir merkezi ısıtma sistemi olmadığında veya merkezi sistemin çalışma süresi binaların iç kısmında termal konforu sağlamak için yeterli olmadığında, bireysel oda ısıtması için bir çözüm olarak elektrikli ısıtma sistemlerinin kullanıldığını ifade etmişlerdir.

İşletme maliyetine ek olarak bir ısıtma sistemi için nihai kararın; sistemin gereksinim duyduğu yakıtın bulunabilirliği, ilk yatırım maliyetleri, kurulumlarının kolaylığı, bakım onarım maliyetleri, sistemin geri ödeme süresi ve ısıtma sisteminin çevreye olan olumsuz etkilerine benzer kriterlere dayandırılarak verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [49].

Taylor 2016 yılında, basit bir ekipman parçası olarak ifade ettiği genleşme tankının, yayınlanmış standartlarda, el kitaplarında ve üreticinin kurulum kılavuzlarında önemli hatalar ve yanlış anlaşılmalar olduğunu belirtmiştir. Bu yanlış anlaşılma ve sorunların bazılarını açıklığa kavuşturmak için genleşme tankı boyutlandırma ve boru bağlantıları konusunda önerilerde bulunmuştur. Genleşme tanklarının, sistem genelinde hem minimum hem de maksimum basıncı kontrol etmek için tüm kapalı hidrolik sistemlerin gerekli bir parçası olduğunu, ancak üreticilerin kılavuzlarında, kodlarında ve mühendislik kılavuzlarında genleşme tanklarının nereye yerleştirilmesi gerektiği, nasıl boyutlandırıldığı ve boru bağlantılarının nasıl yapıldığı konusunda birçok yanlışlık yapıldığını vurgulamıştır [50]

Şimşek ve Doğan 2016 yılında, sıcak su ve kızgın su sistemlerinde genleşmenin absorbe edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Isıtma sistemleri ilk kez çalıştırılırken sisteme soğuk su doldurulduğunu, arızalanma ya da bakım işlemleri esnasında suyun boşaltılması gerektiğini ve sistemin tekrar su ile doldurulması gerektiği durumlarda kullanılan bölge şartlarına göre tesisata şarj edilen su sıcaklığının 5-18 °C sıcaklık değerleri arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu kadar düşük sıcaklık değerlerinde sisteme şarj edilen suyun her hangi bir ısıtma cihazı ile ısıtılması sonucunda meydana gelen genleşmenin sistem basıncını arttırdığını, yüksek basınç değerinin dengelenmediği durumlarda ise sisteme zarar verebileceğini ifade etmişlerdir. Bu zararın önlenmesi için sistemde genleşme tankı kullanılması gerektiğini ve genleşme tanklarının da sisteme uygun şartlarda basınçlandırılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda; genleşme düzenleyici ekipman kullanımının ısıtma sistemleri için oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Genleşme miktarının belirlenmesinin, sistem içerisindeki su miktarı ve işletme sıcaklığına bağlı olarak hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, kızgın su ile çalışan ısıtma sistemlerinde genleşen su hacminin sıcak su ile çalışan sistemlere göre çok daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Isıtma sistemlerin çalışma süresi boyunca gerekli olan basınç değerinde tutulmalarının önemini vurgulamış ve su

hacminde meydana gelen genleşmenin göz ardı edilerek bir sistem kurulamayacağını tespit etmişlerdir [51].

Martinopoulus ve arkadaşlarının 2016 yılında yapmış oldukları bu çalışmada, Yunan konut sektöründe en yaygın olarak kullanılan ısıtma sistemlerini, ekipman verimliliğini ve yaşam döngüsü maliyetini kriter olarak kullanarak karşılaştırmaktadırlar. Binaların çoğunluğunda, ısıtma giderlerinin enerji tüketiminin ana nedeni olduğunu ve piyasada kendine özgü avantajları ile dezavantajları var olan çeşitli her bir ısıtma sistemi teknolojilerinin mevcut olduğunu belirtmektedirler. Bu kadar çok alternatifin bulunduğu göz önüne alındığında, alternatifler arasından seçim yapılırken özellikle işletme maliyetlerine dikkat edilerek inceleme yapılmasının gerekli olduğunu önermektedirler. Yapmış oldukları bu çalışmanın devamında, yeni bir konut için veya özellikle mevcut bir konut için uygun ısıtma sistemini seçerken, farklı sistemlerin temel operasyonel özelliklerini, artılarını ve eksilerini, verimlilik derecelerini ve işletme maliyetlerini almanın esas olduğunu vurgulamaktadırlar. Ayrıca bir ısıtma sisteminde öncelikle aranması gereken özelliklerin; bakımının basit, kullanımının kolay, yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük ve ekipmanların kullanım ömürlerinin uzun olması gerektiğini ifade etmişlerdir [52].

Kılıç tarafından 2017 yılında, yapmış olduğu çalışmasında, endüstriyel kazanlarda enerji verimliliği ve emisyon değerlerinin azaltılmasını araştırmıştır. Bir sanayi kuruluşuna ait 7 bar basınç ve 185 °C 'de 4200 kg/h nominal buhar üretim kapasitesine sahip bir doğalgaz yakıtlı kazanın enerji verimliliğini incelemiştir. Çalışma kapsamında, kazan işletme şartlarında kütle ve enerji dengesine yönelik ölçümler almış, ölçüm sonuçlarını (sıcaklık, basınç, hız ve gaz analizleri) kullanarak kütle ve enerji dengesini kurmuştur. Daha sonra kütle ve enerji dengeleri ile kazan verimi, potansiyel tasarruf alanları, tasarrufun boyutu, yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri belirlemiştir. Kazan verimini %90,2 olarak hesaplamış, verim kaybına neden olan parametrelerin ise; kazanın yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması, yüzey ısı kayıpları ve yüksek baca gazı sıcaklığı kaybı olduğunu ifade etmiştir. Yukarıda açıklanan ve kazan verimini düşüren tüm kayıpların belirli oranlarda azaltabilecek teknolojilerin kullanılması ile yıllık toplam 1 158 714 919 Kcal değerinde enerji tasarrufu ve 30 479 $ değerinde mali tasarruf yapılabileceğini tespit etmiştir. Bu tasarrufların yapılması durumunda ise yıllık 315 278 kg CO_2 gazının atmosfere salınımının engellenebileceğini belirtmiştir [53].

Mohsenian ve arkadaşları 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada, sistemde meydana gelen enerji kayıplarını azaltmak amacıyla açık genleşme tanklarının geometri elemanlarına odaklanmışlardır. Tankta bulunan giriş ve çıkış akış kontrolü için yarı spiral bir bobin kullanan yeni bir model geliştirmişlerdir. Geliştirmiş oldukları yeni sistem ile geleneksel olarak kullanılan sistemlerin sayısal olarak karşılaştırılmasını Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) programını kullanarak oluşturdukları model vasıtasıyla yapmışlardır. Verilerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla geleneksel, optimize edilmiş ikiz konteyner ve bobin tarafından optimize edilmiş üç farklı tip deneysel sistemin kurulumu yapmışlardır. Son olarak yeni tank tasarımının ekonomik olarak analizini yapmışlardır. Optimize edilmiş tüm modeller için uluslar arası, sübvansiyonsuz ve sübvansiyonlu üç senaryoda da Net Mevcut Değeri (NPV) sıfırdan büyük olarak bulmuşlardır ve İç Karlılık Oranını (IRR) ise sırasıyla %38, %113,3 ve %303 olarak hesaplamışlardır. Bunlara ek olarak, Basit Geri Ödeme (SPB) değerini de uluslar arası enerji fiyatı hesaplamasına dayanılarak hazırlamış oldukları senaryoda yarım yıl olarak bulmuşlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda, bobin kullanılarak tasarlanan yeni açık genleşme tankı sisteminde enerji kayıplarının mümkün olduğunda önlendiği tespit edilmiştir. Genel olarak bobinli bir açık genleşme tankı sisteminde enerji kayıplarının; geleneksel sistemlerin yerine kullanılması durumunda %80 ve izole edilerek geleneksel sistemlerin yerine kullanıldığı durumda ise %95 oranında azaltılabileceği bulunmuştur. Bu sistemin geleneksel modellerin yerine kullanılması ile hane başına yıllık ortalama 857,1 metreküp doğal gaz yakıtından tasarruf edilebileceğini belirtilmişlerdir. Doğalgaz tüketiminden yapılan tasarruf sayesinde bobin ile optimize edilmiş açık genleşme tankının kullanımı ile diğer sistemlere kıyasla çevreye verilen zararın da büyük oranda azaltılacağı sonucuna varmışlardır. İkiz konteynerle karşılaştırdıklarında ise yapmış oldukları yeni tasarımın sahip oldukları avantajları;

- Enerji depolamasını korumak için su konteynerinde daha düşük hacim gereksinimi,
- Kontrol parametresi olarak akış hızı değişkeninin daha kolay kontrol edilebilmesi,
- Isı değiştirici benzerlikleri ve formülasyonları için daha uyarlanabilir yapılandırmalar,

olarak belirtmişlerdir [54].

Singh ve arkadaşları 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada, mühendislik uygulamalarında kullanılan su borulu kazanları, duman borulu kazanları, paket tipi

kazanları, akışkan yataklı kazanları, toz yakıt kazanları ve atık ısı kazanları gibi çeşitli kazan tiplerini incelemişlerdir. Yapılan incelemede bu kazanların, enerji santralleri, kâğıt ve kimya vb. birçok farklı endüstride kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir. Mevcut makalede, kazanlarla ilgili kümelenme, cüruf oluşumu, kirlenme, kostik gevrekleşme, yorulma arızası ve yüksek sıcaklık korozyonu gibi çeşitli sorunlar ve bunların olası çözümlerini belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklık korozyonunu kontrol eden parametrelerden bazılarının, değişen sıcaklık ve basınç değerleri olduğunu belirtmişlerdir. Makalenin sonuç bölümünde, metal ve alaşım yüzeylerindeki koruyucu kaplamalar ile çeşitli aşındırıcı ortamlarda korozyon oranını azaltabileceğini belirtmişlerdir. Ancak bu kaplamaların çok yüksek sıcaklıklarda kullanılamayacağını ifade etmişlerdir. Korozyon oranının sıcaklığın yükselmesi ile artacağını belirttikleri bu çalışmada, basınç artışının da aynı zamanda korozyon oranında artış sağlayacağı bilgisini vermişlerdir. Korozyon oranının gazın doğasına da bağlı olduğunu, oksijenin kısmi basıncındaki artışla korozyon oranının artacağını fakat karbondioksitin kısmi basıncının korozyon oranına daha az duyarlı olduğunu açıklamışlardır. Diğer taraftan soy gazların ise korozyon oranını hiç değiştirmediklerini vurgulamışlardır. Termal sprey kaplamaların aşınma, korozyon vb. dirençleri arttırmak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Neredeyse her türlü aşınmaya karşı direnç sağlamak için hemen hemen her tür endüstride kullanılabileceklerini açıklamışlardır [55].

Demirpolat ve arkadaşı 2019 yılında; kirlilik direncinin bireysel ısıtma sistemlerine olan etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma yapmışladır. Yaptıkları bu çalışmada, kireçlenme, oksitlenme ve korozyon tabakasının ısıtma sistemleri üzerinde etkisini incelemek için deneysel bir sistem kurmuşlardır. Isıtma sistemlerinde kullanılan suyun sertlik oranına göre kireçlenme ve oksitlenmeye sebep olduğunu belirtmişlerdir. Kireçlenme ve oksitlenmenin ise ısı transferini olumsuz olarak etkilediğini görmüşlerdir. Isıtma sistemlerinde kullanılan donanımın yaklaşık %95'inin kireçlenme ve oksitlenmeye maruz kaldığını belirtmişlerdir. Oluşan korozyonun ısı transferini ve sistem verimini büyük oranda düşürdüğünü, bunun bir sonucu olarak da işletme maliyetleri, operasyon maliyetleri, emisyon değerlerinin arttığını ifade etmişlerdir. Bunlara ek olarak, sistemin kısa zamanda zarar gördüğünü ve sistemin ekonomik ömrünün kısaldığını belirtmişlerdir. Yapılan deneylerin sonucunda, kirlilik direncinin bireysel ısıtma sistemlerinin verimini azaltarak yakıt giderlerini arttırarak karşımıza çıkacağını tespit etmişlerdir. Korozyon ve kireçlenmeyi önlemek için yapılacak işlemlerin ise çok maliyetli uzun zaman gerektiren

işler olduğunu belirtmişlerdir. Isıtma sisteminde bir arıza oluşması durumunda, sistemin sıfırlanması ve arıza giderildikten sonra tekrar devreye alınması gerektiği ifade edilmiştir. Bu durum gözlemlenerek, cihaz yeniden başlatıldığında yakıt tüketimine etkisini incelenmiştir. Bunun sonucunda, 40 °C de çalışan sistemin rejime girmesi 25 dakika, 50 °C ve 60 °C de rejime girme süresi 40 dakika ölçülmüştür. Sonuç olarak ilk sistemin ilk kez çalışması anında tüketilen yakıt miktarı yaklaşık olarak %25 arttığı tespit edilmiştir [56].

Öztürk ve Meran 2020 yılında, konaklama amaçlı kullanılan yerlerde bulunan ısıtma sistemlerinin fonksiyonlarını beklenilen şekilde yerine getirmeleri için gerekli olan onarım, yenileme, muayene vb. işlemlerin uygulamalarını incelemişlerdir. Herhangi bir cihazın düzgün şekilde çalışabilmesi için yapılan onarım, yenileme, muayene vb. işlemleri bakım faaliyetleri olarak tanımlamışlardır. Sistem olarak da fabrikalardaki makine veya ekipmanlar ile hastanelerdeki ısıtma-soğutma, elektrik, su, kapı sistemleri, havuz vb. alanlarda kullanılan cihazları tanımlamışlardır. Otellerdeki ısıtma sistemlerinin hem çalıştırılmaları esnasında hem de bakım-onarım uygulamalarında çok farklı mühendislik uygulamaları gerektiren karmaşık ve maliyetli sistemler olduğunu, bütün yıl boyunca 7 gün 24 saat boyunca hizmet vermeleri gerektiğinden düzenli olarak korunmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Ancak, genellikle otel yöneticilerinin tesisin bakımıyla ilgili faaliyetleri çok fazla önemsemediğini ve bu nedenle planlı ve önleyici bakım yerine düzenli onarımlar (arıza bakımı) yaptırdığını ifade etmişlerdir. Bu durumun enerji verimliliğini düşürdüğünü, toplam maliyeti arttırdığını ve müşteri konforunu azalttığını belirtmişlerdir. Otel işletmecileri için en önemli hususun, bakım ve işletme maliyetlerinin azaltılması ve enerji verimliliğinin sağlanması olduğunu, fakat bakım onarım çalışmalarının karşısındaki en büyük sorunun verimsizlik ile çok sık aralıklarla malzeme ve yedek parça gereksinimi olduğu sonucuna varmışlardır. Sonuç olarak, maliyet giderlerini azaltmak ve enerjinin verimli kullanımını yaygınlaştırmak için işletme giderleri ile bakım maliyetlerinin azaltılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bunun için de bakımların genellikle dışarıdan gelen ekipler yerine işletme içerisindeki çalışanlar tarafından yapılması, daha verimli sistemlerin ve malzemelerin kullanılması, sıklıkla sorun çıkartan yedek parça ve malzemelerin kolaylıkla temin edilebilmesini önermişlerdir [57].

Mahmoud ve arkadaşları 2020 yılında yapmış oldukları bu çalışmada, daha önce yapılmış çalışmaları bir araya getirerek çoğu ısıtma sisteminin çevresel etkileri konusunda bir inceleme çalışması sunmuşlardır. Yapmış oldukları çalışmada, kömür, odun, petrol, doğal

gaz, ısı pompası, jeotermal ve güneş enerjisi gibi farklı ısıtma sistemlerinin çevresel etkileri açısından bir karşılaştırma yapmışlardır. Göz önünde bulundurdukları en önemli parametreler emisyon oranları ve hava kirliliğini arttıran zararlı maddeler olmuştur. Çalışmanın sonucunda, çevre kirliliğinin mevsimler arasında önemli ölçüde farklı olduğu, ısıtma sistemlerinin kritik etkisi nedeniyle kış aylarında çok yüksek olduğu görülmüştür. Isıtma etkilerini incelemek için genellikle izlenen kirleticiler CO, CO_2, NO_x, SO_2, N_2O ile CH_4 gibi uçucu organik bileşikler vb. zararlı maddeler olmuştur. Bahsedilen tüm ısıtma sistemi yakıtları arasında; kömürle çalışan kazan en yüksek kirletici emisyonuna sahip iken, kömürden sonra odun ve petrol gelmekte, güneş ve jeotermal ise en az çevresel etkiye sahiptir. Yayılan bu maddelerin yanı sıra bunların; parçacık boyutu, sıcaklık, baca yüksekliği ve operasyonel görevler gibi emisyonların etkisini etkileyen çeşitli faktörlerin de bulunduğunu belirtmişlerdir. Hükümetlerin yeni çevre dostu sistemlerin kullanılmasına geçmesi, uygulanan kirletici vergilerinin arttırılması, yoğunlaşma teknolojisi bulunan doğal gaz kazanlarında olduğu gibi toksik maddeleri kolayca yakalayan sistemlerin geliştirilmesini önemli bir çözüm yolu olarak önermişlerdir [58].

Anatça ve arkadaşları 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada; binalarda enerji verimliliği açısından merkezi ısıtma sistemlerinin uygulamalarını ve merkezi ısıtma sistemlerinin diğer sistemler ile kıyaslandığında avantajları ve dezavantajları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Son zamanlarda dünya çapında, üzerinde en çok çalışma yapılan konular içerisinde iklim değişikliğinin de yer aldığını belirmişlerdir. İklim değişikliğinin sebebinin fosil yakıt kullanımı ile enerji elde edilmesi olduğunu, en fazla enerji tüketimine sahip binalarda ise enerji tüketimin %82'sinin ısıtma amacıyla kullanılan sistemler tarafından kullanıldığını açıklamışlardır. Isıtma sistemlerinde kullanılan enerjinin payı oldukça yüksek olduğundan dolayı, bu alanda yapılacak enerji verimliliği çalışmalarının oldukça önemli olduğunu ve oluşan kayıpların minimum seviyeye indirilmesi ile harcanan enerjiden %25 ile %50 arasında tasarruf sağlanabileceği sonucuna varmışlardır. Yapılarda kullanılan ısıtma sistemlerinin; bireysel ısıtma sistemleri ve merkezi ısıtma sistemleri olmak üzere iki gruba ayrıldığını, işletme süreçleri ve ilk yatırım maliyetleri göz önüne alındığında 12'den daha fazla daire (bağımsız birim) bulunan yapılarda merkezi ısıtma sistemi kullanımını önermişlerdir. Fosil kaynaklı yakıtlar içerisinde doğalgazın emisyon katsayısının düşük olması, ısıl alt değerinin ve veriminin ise yüksek olmasının merkezi ısıtma sistemlerinde kullanımını tavsiye etmişlerdir. Bunlara ek olarak; doğalgaz ile çalışan sistemlerde maliyet değerlerinin, kömür ile çalışan sistemlere göre %62, odun ile çalışan

sistemlere göre %71, elektrikten ile çalışan sistemlere göre ise %76 oranında daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Merkezi alanların ısıtılmasını sağlayan gaz yakıtlı ısıtma kazanlarının değişimlerinin 20 yıllık çalışma zamanı sonrasında yapılmasının zorunlu olduğunu ifade etmişlerdir [59].

Özçörek ve arkadaşları tarafından 2021 yılında, binalarda kullanılan farklı ısıtma sistemlerinin incelenmesi bu sistemlerin enerji verimlilikleri bakımından yapılmıştır. Yapılan incelemede binalarda kullanılan ısıtma sistemleri hakkında literatür araştırması yapılmış ve ısıtma sistemleri, soğutma ve havalandırma sistemleri, kojenerasyonlu sistemler ile ısıtma, soğuk iklim ısı pompası sistemleri, yakıt pilleri ile ısıtma sistemleri, güneş kolektörleri ile ısıtma sistemleri, fan coil ünitesi ile ısıtma sistemleri detaylı olarak incelenmiştir. Ülkemizde mevcut olan ve toplam enerji tüketimi içerisinde büyük bir paya sahip iklimlendirme sistemleri içerisinde; bireysel olarak kullanılan soğutma sistemlerinin çok yaygın olmamasına rağmen, bireysel olarak kullanılan ısıtma sistemlerinin payının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak; binalarda uzun zamanlar boyunca çok fazla fosil yakıt tüketilerek harcanan enerjinin %2 oranında kayıp oluşturmasının bile çok önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Belirtilen kayıp oranına göre, benzer biçimde kış aylarında çoğu binanın ısıtılması için sürekli olarak ısı enerjisi harcandığı ve bu nedenle verim hesaplamalarının çok önemli olduğu açıklamışlardır. Ayrıca sistemlerin projelendirme çalışmaları yapılırken, sistemlere kapalı bir genleşme tankının eklenmesini önermişlerdir [60].

National Environment Agency (NEA) tarafından 2021 yılında yayınlanan Final Report on Heating Systems (forIndustry) isimli raporda; petrol rafinerisi, petrokimya ve kimya endüstrisindeki ısıtma sistemleri hakkında bir çalışma başlatılmıştır. Bu çalışmada, bu endüstrilerde baskın enerji tüketicileri olan 4 ana ısıtma sistemine odaklanılmıştır. Bu ısıtma sistemleri; kazanlar, fırınlar, sıcak yağ ısıtıcıları ve kojenerasyon sistemleridir. Çalışma kapsamında, her katılımcı tesisten verilerin toplanması sağlanmış ve yapılan toplantılarda bu veriler incelenerek raporlar oluşturulmuştur. Raporlarda ısıtma sistemlerinin birçok farklı yönden performansları yer almıştır. Ayrıca, çalışma sırasında gözlemlenenlerle ilgili olarak ısıtma sistemlerindeki en iyi enerji uygulamaları belgelenmiştir. Bu çalışmada incelenen kazan sistemlerinin enerji performansı, termal verimliliklerin %81 ile %94 arasında değiştiği verimli sistemlerin beklentileri dâhilinde olduğu belirtilmiştir. Kazan sistemlerinin ortalama termal verimliliği %89'dur ve en iyi

uygulama termal verimliliği olan %92'nin gerisinde kaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Singapur'un emisyonları azaltmak için benimsediği temel stratejilerin, enerjinin daha verimli kullanılması ve gereksiz israfların en aza indirilmesi olduğu vurgulanmıştır. Sonuç raporunda, mevcut ekipman ve sistemleri yenilemenin yanı sıra geliştirilecek yenilikçi enerji sistemleri ile daha verimli teknolojilerin kullanılmasının gerekli olduğu bilgisi verilmiştir [61].

Bütün 2023 yılında, merkezi ısıtma sistemlerinde korozyon oluşumunu incelediği ve bu soruna çözüm bulmak için bir çalışma yapmıştır. Yapmış olduğu çalışmada merkezi ısıtma sistemlerinde su ve metal malzemelerin bir arada bulunduğu için korozyon oluştuğunu, korozyonun sistem bileşenlerine zarar verdiğini ve sistemin düzgün şekilde çalışmasını engellediğini, kullanılan borular içinde demir tozları, parçacıklar ve kalıntılar biriktiğini ifade etmiştir. Çalışmanın devamında korozyon zararlarını en aza indirmek için neler gerektiğini araştırmış ve manyetik filtrelerin korozyona karşı faydalarını incelemiş, çalışmasını İstanbul Silivri KİPTAŞ'ta 40 dairelik bir merkezi ısıtma sistemindeki manyetik filtreler üzerinde yapmıştır. Sonuç olarak; manyetik filtre kullanılmadan önce sistemden alınan su numunelerinin siyah görünümlü olduğunu belirlemiş ve daha sonra manyetik filtre kullanılmaya başlandıktan sonra alınan su numunelerinde suyun görünüşünün gittikçe berraklaştığını tespit etmiştir [62].

Köse ve Erturhan 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada, ülkemizin ilk olarak Ankara ilinde 1988 yılında ve İstanbul ilinde ise 1989 yılında doğal gaz kullanımının başladığını belirtmişlerdir. Daha sonra EPDK tarafından yapılan ihaleler ile ülkemizdeki 81 ilin tamamında ve 700'ün üzerinde yerleşim alanında doğalgaz kullanımının devam ettiğini ifade etmişlerdir. Çalışmanın devamında 1996 yılından günümüze kadar doğalgaz kullanımı olan Eskişehir ilinde aradan geçen 27 yılın sonunda tesisatlarda ve gaz yakıcı cihazlarda meydana gelen eskimeler, yıpranmalar ve yorulmalar incelenmiş, oluşan bu tür hasarların ısıtma sistemlerini kullanan kişilerin can ve mal güvenliğine zarar verdiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak; elektronik ve mekanik parçalar içeren her sistemde olduğu gibi ısıtma sistemlerinde de kontrollerin ve bakım onarım faaliyetlerinin düzenli olarak yapılmasının oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan düzenli kontroller ve bakım onarım faaliyetleri sayesinde doğalgaz abonelerinin can ve mal güvenliğinin daha iyi korunduğuna, buna ek olarak doğalgazın daha verimli kullanıldığına dair bilgiler

vermişlerdir. Köse ve Erturhan tarafından, periyodik olarak yapılması gereken kontrollerin ülkemizdeki tüm illerde yapılmasını önermişlerdir [63].

Shokri ve arkadaşı 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada; kireç birikimi, korozyon ve ekipman hasarı gibi çeşitli olumsuz etkilere neden olan kazan besleme suyunu arıtma yöntemleri araştırmışlardır. Kazanların performansının iyileştirilmesi, kazan bakımı ve maliyet analizlerini de detaylı şekilde incelemişlerdir. Yapılan incelemede, kazan besleme suyu arıtımının temel ilkeleri ve kazan besleme suyunun yetersiz arıtılması sonucunda meydana gelen rahatsız edici zorlukları araştırmışlardır. Sistem içerisinde mevcut ekipmanların kullanım ömrünü uzatmak için sistemlerin uzun süreli olarak durmasının önlenmesi, en yaygın sorunlardan biri olan kazan arızalarının (korozyon ve kireç oluşumu nedeniyle meydana gelen) minimum seviyeye indirilmesi ve yüksek maliyetler nedeniyle bakım onarım işlemlerinin azaltılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Kazanların endüstriyel anlamda birçok sistemin kalbi olduğunu belirtikleri bu çalışmada; besleme suyunun uygun olmadığı durumlarda kazanların sağlıklı çalışmasının olumsuz etkileneceğini açıklamışlardır. Böyle durumlarda meydana gelecek işletme arızalarının ise çevresel, ekonomik ve verimlilik açısından büyük zararlar doğuracağını vurgulamışlardır. Sonuç olarak mevcut kazanların neredeyse tamamının; atmosfere önemli miktarda sera gazı yayan, çevre kirliliği ve iklim değişikliklerine neden olan fosil yakıtları kullandığını belirtmişlerdir. Tüm bunlara ek olarak, yakıt fiyatlarının pahalı ve sistem işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ısı geri kazanımını ve uygun enerji yönetim yöntemlerinin en üst düzeye çıkarılmasının son derece acil olduğunu vurgulamışlardır. Burada belirtilen enerji kayıplarının minimize edilmesi amacıyla mühendislerin, çevre-mühendislik-enerji alanlarını içeren disiplinler arası ve yeni yöntemler içeren çalışmalar ile bilgi boşluklarını doldurulması gerektiğini önermişlerdir [64].

Yağlıoğlu ve arkadaşları tarafından 2023 yılında hazırlanan bu çalışmada, enerji tüketiminin toplam payı içerisinde binaların ısıtılması için kullanılan cihazların önemli bir rolü olduğu ve bu nedenle binaların ısıtılması için kullanılan cihazların çok yüksel verimle çalışması gerektiğini belirtmişlerdir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için binalarda enerji verimliliği etütlerinin sık periyotlarla yapılması gerektiği bilgisini vermişlerdir. Bu çalışmada, günümüz teknolojisinde ısıtma amacı ile kullanılan cihazlar derlenmiş ve bunun yanı sıra kalorifer kazan daireleri, kalorifer kazan sistemleri, kalorifer kazan türleri ile bu sistemlerin çalıştırılması için kullanılan yakıt türleri hakkında bilgiler vermişlerdir.

Çalışmanın devamında, ısıtma için kullanılan farklı sistemlerde oluşan enerji kayıpları açıklanmış, ısıtma sistemlerinde enerjinin dengeli olarak kullanımının nasıl sağlanacağı, enerji tasarrufunun sağlanması için yapılabilecek faaliyetler ve kazanlarda enerji etüdü metodunun nasıl hazırlanması gerektiği hakkında kapsamlı bilgiler verilmiştir. Genellikle yerli kaynaklarda bulunan kombi kazanlarında enerjinin kullanımında verimliliği inceleyen önemli çalışmalara yer verildiği belirtilen bu çalışmada, enerjinin korunması hususunda kullanılan temel denkliklere de yer verilmiştir. Sonuç olarak; mevcut kazanlarda verim değerlerinin %75 ile %90 değerleri arasında olduğu ve kazanlarda meydana gelen ısı kayıplarının farklı nedenlerinin olduğunu belirtmişlerdir. Kazan verimliliğini etkileyen parametreler ve verimliliği artırmanın yanı sıra kazanların güvenli, çevre dostu ve ekonomik çalışması için önerdikleri kuralları aşağıda özetlemişlerdir.

- Isı ihtiyacı iyi hesaplanmalı ve daha az yakıt tüketen yüksek verimli kazanlar dikkatle seçilmelidir. Böylece yakıt tüketimi azaltılarak çevreye verilen zarar ve maliyetler büyük oranda azaltılır.
- Yakıt tüketiminin takibi için harcanan yakıt miktarı ölçülmeli ve kayıt altına alınmalıdır.
- Kullanılacak kazan ya da kazan dairesinde mevcut sistem basit ve kullanıcı dostu olmalıdır.
- Can ve mal güvenliğinin tehlikeye atılmaması için günlük kontrollerde tüm yakıt, su vb. tüm kaçaklar tespit edilmeli ve derhal onarılmalıdır.
- Kazanlarda yanma sonucu meydana gelen baca gazının sıcaklığı günlük olarak ölçülmelidir. Ölçülen bu sıcaklığının ortalama baca gazı sıcaklığından 20-30 °C fazla olması kazanı kirletir ve oluşan kirlilik kazan verimliliğini düşürür. Bu durum maliyetleri ve çevre kirliliğini arttırır.
- Periyodik ve önleyici bakımlar yaptırılarak kazan sistemi oluşması muhtemel arızalardan korunmalı ve enerji tüketimini en aza indirilmelidir.
- Kazan termostat ayarı, gün içinde sabit olmayan dış sıcaklığa göre ayarlanmalıdır.
- Kazanla ilgili yapılan tüm işlemler kazan kayıt defterine kaydedilmelidir [65].

Ivanova ve arkadaşları 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada, otonom ısıtma tesislerinden kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için önlemleri ele almışlardır. Son zamanlarda, otonom ısı temininin aktif olarak gelişmekte olduğunu belirtmişlerdir. Uygun fiyatların, kontrol edilebilirliğin, otonomi vb. unsurların tüketicilerin seçimini belirlemeye

yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir. Enerji santrallerinin aksine, küçük kazan ünitelerinin tasarımının oldukça basit olduğunu ve bu tür kazanların enerji verimliliğini artırmaya yönelik yaygın çözümlerin genellikle çevreye verilen emisyon değerlerinin etkisini hesaba katmadığını belirtmişlerdir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, küçük bir kazan ve bir grup kazan tarafından çevreye verilen emisyonların etkisini azaltmanın yollarını ele almışlardır. Sonuç olarak; günümüzde enerji sektörünün ana gelişme yönünün, enerji verimliliğini ve enerji tasarrufunu artırmanın yollarını aramak olduğunu vurgulamışlardır. Bunun yanı sıra enerji tasarrufu çözümlerinin, zararlı emisyonların çevreye olan etkisini hesaba katması gerektiğini belirtmişlerdir. Küçük kazanların veriminin, çevresel koşullar ve iklimsel özelliklerden daha fazla etkilendiğini gözlemlemişlerdir [66].

Omar tarafından 2023 yılında yapılan bu çalışmada, konutların ısıtılmasında kullanılan merkezi sistemler ile bireysel sistemleri kıyaslamıştır. Günümüzde, kullanılan enerjinin büyük çoğunluğunun binaların ısıtılması için tüketildiğini, binaların ısıtılması için kullanılan fosil kaynaklı yakıtların ise çok maliyetli ve doğayı olumsuz olarak etkileyen yakıtlar olduğunu belirtmiştir. Binaların ısıl konfor şartlarının sağlanmasında ise merkezi alanları ısıtan sistemler ve bireysel alanları ısıtan sistemler olmak üzere iki farklı tasarımın kullanıldığını ifade etmiştir. Yapmış olduğu çalışmada Kars ilinin merkezinde bulunan toplam ısıtma alanı 1080 m^2 olan, kat sayısı 5 olan ve toplamda 10 dairesi bulunan bir binanın ısı kaybını TS 825 hesap metodunu referans alarak hesaplamıştır. Çalışmanın devamında her iki sistem için de ısıtma sistemi elemanlarını belirlemiş, yıllık tüketilen yakıt miktarını ve maliyet değerlerini hesaplamıştır. Sistemler tasarlanırken cihazları gaz yakıcı cihaz ve yakıtı ise doğalgaz olarak seçmiştir. Çalışmanın sonucunda, bireysel ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti ve ısıtma maliyetleri göz önüne alındığında merkezi ısıtma sistemlerine göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Merkezi ısıtma sistemlerinin yakıt maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve toplam maliyetler dikkate alındığında daha avantajlı olduğunu belirlemiştir. Maliyetin toplamının, merkezi ısıtma kullanıldığı durumda 411 096 TL ve bireysel ısıtma kullanıldığında ise 508 825 TL olacağını görmüştür. Bireysel ısıtma sistemlerinin bağımsız çalışabilmesine rağmen ilk yatırım maliyetlerinin daha yüksek olması, opsiyonel sıcaklık kontrolü ve yakıt maliyeti endişeleri nedeniyle genellikle merkezi ısıtma sistemlerinin tercih edildiğini belirtmiştir [67].

Öztürk 2023 yılında, ÇATES lojmanları için merkezi ısıtma sistemlerinin farklı türlerinin teknik ve ekonomik olarak uygulanabilirliğinin incelenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır.

Zonguldak Çatalağzı ÇATES lojmanlarında kullanılabilecek sistemlerden ısı pompası, kömür ve doğal gaz kazan-radyatörlü merkezi ısıtma sistemlerinin uygulanabilir olup olmadığını araştırmıştır. Toplam maliyetleri 15 yıllık projeksiyonlar için ayrıca incelerken, sistemlere ait ekonomik uygulanabilirliği araştırmıştır. Çalışmanın sonuçları, elektrik enerjisi fiyatlarının yükselmesinin ısı pompası sisteminin toplam maliyetini yükselttiğini ve doğalgaz kazan-radyatör sisteminin uygulanabilirliğinin tüm koşullarda çok daha fazla olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, fosil yakıt türlerinin azalması, nüfusun ve şehirleşmenin artması gibi nedenlerle çevresel koşullarda oluşan olumsuzlukların ileri teknoloji ve hibrit ısıtma sistemlerinin kullanılmasını gerektirdiğini belirtmiştir [68].

3. ISITMA SİSTEMLERİ

Bu bölümde, kullanımı binlerce yıl öncesinde başlayan ve teknolojik gelişmelerle sürekli olarak kendini güncelleyen ısıtma amacı ile kullanılan sistemlerin tarihsel olarak gelişimi, ısıtma sistemi türleri ve ısıtma sistemi elemanları açıklanmıştır.

3.1. Isıtma Sistemlerinin Tarihçesi

Çok eski çağlardaki merkezi ısıtma sistemleri; ocaklar, şömineler, sobalar ve yerden ısıtma hatlarını içeren farklı sistemler şeklinde geliştirilmiş ve Yunanistan'da bulunan bu sabit merkezi ocakların kullanımının MÖ 2500'e kadar uzandığı belirlenmiştir. İlk radyant ısıtma veya orijinal radyant panel sistemleri olan yerden ısıtma sistemleri, ilk olarak Orta Doğu'da Kral Arzawa tarafından MÖ 1300 yılında Türkiye'nin Denizli ilinde bulunan Beycesultan'daki sarayında kullanılmıştır. Romalılar bu teknolojiyi MÖ 80 yılından başlayarak geliştirmiştir. İlk başlarda sadece zemini ısıtan bu sistemler daha sonra duvarları ısıtacak ve hatta zemin açıklıklarından sıcak hava ısıtması yapacak şekilde de tasarlanmıştır. Modern anlamda ısıtmada bir sonraki önemli gelişme bacanın icadı olmuştur. Bacalar 14. yüzyıldan sonra literatüre girmiştir. Kuzey Amerika'daki en eski soba Dr. John Clarke tarafından 1652'de icat edilen bir dökme demir soba olmuştur. Daha sonra, 1833'te Eliphalet Knott tarafından taban brülör sobası ve 1836'da Isaac Orr tarafından hava geçirmez soba icat edilmiştir. 1849 yılında da F. P. Oliver tarafından termostatik çekiş kontrollü soba geliştirilmiştir. 1900'lü yıllara gelindiğinde birçok üretici tarafından binlerce farklı soba tasarımı yapılarak üretilmiştir. Sıcak hava ile ısıtma; İmparator Heliogabalus'un, havayla ısıtılan bir saraya sahip olduğu söylenen 200 yılına kadar uzanmaktadır. Bu sistemde odaların altında bulunan tuğladan yapılmış bir odaya soba yerleştirilmektedir. Dışarıdaki hava sobanın altındaki odaya kanalize edilip, ısıtılmış hava kanallardan yukarıdaki odalara akmaktadır. Sıcak hava sisteminin ilk uygulamaları 1200'lü yıllara dayanmaktadır. Bu uygulamalar, Almanya'nın Luneberg kentindeki belediye binasının üç fırın kullanan merkezi bir sıcak hava sistemine sahip olduğunu göstermektedir. General Electric, 1910'da sıcak hava veya ısıtma fırın uygulaması için özel olarak tasarlanmış bir güçlendirici fanın reklamını yapmasına rağmen, paket üfleyici fırın üniteleri 1930'lara kadar yaygın olarak kullanımı mevcut değildir. Buharlı ısıtma ilk kez 1745'te İngiltere'de William Cook tarafından önerilmiştir. 1790'lara gelindiğinde buhar

motoru öncüleri Matthew Boulton ve James Watt, evlerine buharlı ısıtma sistemi kurmuş ve Watt lehimli bakır levhadan yapılmış bir radyatör denemiştir. İlk başlarda buharla ısıtma sadece İngiltere'de fabrikaları ısıtmak için kullanılmıştır. Konutlarda buharlı ısıtma sistemlerinin ilk öncülerinden biri, 1840'ların sonlarında buharla deneyler yapmaya başlayan Connecticut soba üreticisi Stephen Gold olmuştur. Gold'un o zamanlar benzersiz olan sisteminde, çukurlarda birbirine perçinlenmiş demir levhadan oluşan ilk radyatörü kullanmıştır. Kenarlar, conta olarak bir parça kord ile yuvarlanmıştır. Gold'un radyatörü, görünümü nedeniyle "yatak radyatörü" olarak anılmaya başlanmış ve en az 50 yıl boyunca üretilmiştir. Gold'un kazanı ferforjeden yapılmaktaydı ve otomatik çekiş regülatörü ile otomatik su vanası içermekteydi. Sistem, buharı dağıtmak için bir boru kullanmakta ve çok düşük basınçlarda çalışmaktaydı. Gold'un radyatörlerinde giriş valfleri ve manuel hava delikleri bulunmaktaydı. Sistem, 1854'ten sonra Connecticut Buharlı Isıtma Şirketi tarafından üretilmiştir. Hidronik sistemler olarak ifade edilen sıcak su elde etmenin ilk kullanımı, 14.yüzyılın sonunda binaları ısıtmak için kaplıca suyu kullanan Grönland'daki bir manastırda ortaya çıkmıştır. İngiltere'de Sir Hugh Platt, 1653'te barutu kurutmak için sıcak su kullanmayı ve Sir Martin Triewald ise seraları sıcak suyla ısıtmayı önermiştir. 1700'lerin sonlarında, Fransa'da M. Bonne-main, bir kazan kullanarak gerçek bir sıcak su ısıtma sistemi inşa etmiştir. Tüm sıcak su sistemleri sirkülasyon için termosifon ilkesine dayanmaktaydı. ABD'de Robert Briggs 1840'tan sonra sıcak sulu ısıtma sistemleri tasarlamaya ve kurmaya başlamıştır. Isınma kayıt cihazları, kazanlar ve radyatörlerin farklı tasarımları da yapılmaya başlanmıştır. Tuttle&Brother, 1845 yılında Brooklyn'de ısıtma ızgaraları üretmek için kurulmuştur. 1895 yılında St. Louis ve Charles Foster, damper tipi bir kayıt cihazının patentini almıştır. 1899'da Novelty Manufacturing Co. çelik kayıt cihazlarını yapan ilk şirket olmuştur. Isıtma kayıt cihazlarının çok fazla tasarımı yapılmıştır. Bazılarının ayak dayama yerleri, nemlendirici tavaları olmasına ek olarak şöminelerin ön kısımlarına benzeyecek şekilde tasarlanmışlardır. Bu arada, kazan tasarımları da sürekli olarak geliştirilmiştir. Dökme demir kazanlar, 1850'li yıllarda ortaya çıkmıştır. John Mills, 1870'lerde bir su borulu kazan icat etmiştir. İlk buhar ve sıcak su sistemlerinde, duvarlara veya odanın çeşitli yerlerine monte edilmiş boru serpantinleri kullanılmıştır. Genellikle bu borular serpantin şeklinde sarılmakta veya monte edilmekte ve "bobin kasası" adı verilen süslü dolaplara yerleştirilmekteydi. Radyatörler, Joseph Nason ve Robert Briggs'in bir dökme demir tabana vidaladıkları dikey dövme demir borular içeren yeni tasarımları patentini aldıkları 1863 yılına dayanmaktadır. Her bir tüp, tabana vidalandığında tam olarak 1 fit kare yüzeye sahip olacak şekilde orantılanmakta ve

birçok standart boyutta radyatörün üretilmesine olanak sağlamaktaydı. Fan sistemleri ise statik buhar, sıcak su ve sıcak hava sistemlerinin gelişmesiyle eş zamanlı olarak, cebri sıcak havanın kullanılması yönünde başka kullanım alanları ortaya çıkarmıştır. Cebri hava sistemlerindeki ilk gelişmelerin tümü, büyük binalar ve fabrikalar ile ilgili olmuştur. Bu büyük fan ve ısıtıcı kombinasyonlarına "plenum" veya "sıcak hava püskürtme" sistemleri denilmektedir. İlk sistemlerin tamamı %100 dış hava kullanmış ve devridaim havasının kullanımı 1890'lara kadar düşünülmemiştir. John Desaguliers, 1735'te İngiliz Parlamento Binası için "vantilatör" olarak adlandırılan bir operatör tarafından elle döndürülen ilk modern ısıtma üfleyicisini tasarlamıştır. Marquis de Chabannes Aralık 1815'te, gazları veya sıvıları çok daha hızlı ve ucuz bir şekilde ısıtmak ve/veya soğutmak için havayı kanallardan odalara zorlama prensibi ile çalışan bir santrifüj fan kullanılmasını içeren İngiliz patentini almıştır. Walworth ve Nason, 1846'da Boston'daki ABD Gümrük Dairesi için ilk ABD fan tipi sistemi kurmuş ve bu sistemde egzoz buharı bobinlerden birini ısıtmak için kullanılmıştır. General Montgomery Meigs, 1855'te ABD Capitol'ün Meclis ve Senato kanatları için çok daha büyük bir sistem tasarlamıştır. Bu sistem, cebri veya plenum havalandırma sistemi olarak bilinmekteydi ve giren hava biri 16 fit ve diğeri 12 fit çapında olan iki büyük santrifüj fan tarafından itilmekteydi. Ayakkabıcı Benjamin F. Sturtevant, 1869'da soğutma veya ısıtma amaçlı bir fan ve ısı eşanjörünün patentini almıştır. Kısa süre sonra fanlar ve ısıtma sistemleri üretip satmak için bir şirket kurmuştur. Bunu Buffalo Forge Co. ve American Blower Co. gibi diğer şirketler izlemiştir. Sıcak püskürtme sistemlerinin popüler olması, radyatör üreticilerini daha önce kullanılmış olan boru sıralarının yerini alabilecek genişletilmiş bir yüzeye sahip dökme demir ısı eşanjörlerini geliştirmeye teşvik etmiştir. Bunlardan en başarılısı, 1903'te John Spear tarafından geliştirilen ve American Radiator Co. tarafından üretilip pazarlanan Vento kesitli dökme demir yüzey olmuştur. Spear ile çalışan Lawrence Soule, 1920'lerin başında tanıttığı "Aerofin" ısıtma yüzeyi ile bu fikri geliştirmiştir. Aerofin, kanatlı ve daha hafif bir ısı eşanjör üretmek için spiral olarak sarılmış bakır levhadan oluşmaktaydı ve bu özelliğiyle çok hızlı bir şekilde dökme demirin yerini almıştır. Termostatların gelişmesi 19. yüzyılın sonlarında çeşitli tiplerde konforlu ısıtma sistemlerinin yaygın kullanımı ve sistemlerin talebe göre kontrol edilmesi amacıyla, elektriğin kullanımının yaygınlaşması ve etkili araçların geliştirmesi sayesinde ivme kazanmıştır. Çoğu ısıtma sistemi; ateşleme oranlarını, çekişi, valfleri veya damperleri manuel olarak ayarlamak zorunda olduğundan ve bunun için de bina mühendisine veya ev sahibine güvenmek zorunda olduğundan bu durum çok rahatsız edici bir hal almıştır. Modern termostat kontrolü birdenbire birkaç

mucit tarafından aynı anda ortaya çıkarılmıştır. İngiltere'de Andrew Urebimetal termostatı icat etmiştir. 1830'da bir İngiliz patenti almış, ancak cihazı çok az kullanılmıştır. Profesör Warren Johnson, 1873'te, ısının ayarlanması gerektiğinde kapıcıya sinyal vermek için kullanılan bir elektrikli uyarı sistemi geliştirmiştir. Denemelerine devam etmiş ve 1885'te buhar valflerini çalıştırmak için basınçlı havaya dayanan bir termostatın patentini almıştır. Daha sonra sistemini üretmek ve kurmak için Johnson Electric Service Co.'yu kurmuştur. Johnson, 1905'te binalardaki nemin kontrolü için nemlendiriciyi icat etmiştir. Albert Butz 1886'da bir termostatın patentini almıştır. Butz'ın termostatı elektrikle çalıştırılmış ve kazan veya fırında çekiş damperini çalıştıran yay yüklü bir motoru etkinleştirmek için akü voltajı kullanmıştır. Minneapolis'teki Butz Termoelektrik Regülatör Şirketi buluşu üretmeye ve satmaya başlamıştır. Termostatik kontrol için 1887'de üretilen William Powers termostatları yaklaşık 15 inç boyutlarında süslü ve detaylı masif pirinçten yapılmıştır. Siemens Building Technologies'in bir parçası olan sistemi, Chrysler ve Empire State binaları da dâhil olmak üzere birçok önemli binada kullanılmıştır. Otomatik ısıtmanın bulunmadığı Birinci Dünya Savaşı'ndan önceki yıllarda çoğu evde kullanılan elle ateşlenen kömür fırınlarında sıcaklık kontrolü için bodrum katına inilmesi zorunlu olmuştur. Termostat kontrollü düzenleyiciler uzun yıllardır mevcut olmasına rağmen evlerde çok az kullanılmıştır. Elektrik gücünün ve güvenilir elektrik motorlarının yaygın olarak bulunamaması, ısıtma ekipmanlarının otomatik olarak ateşlenmesine engel olmuştur. Motorlar hazır olduğunda mucitler bunları ısıtma sistemlerinin ateşlenmesine nasıl uygulayacaklarını ve ayrıca termostatların ekipmanı doğrudan kontrol etmesine izin verecek kontroller geliştirmeleri gerekmiştir. Birinci Dünya Savaşı sırasında, kömür kıtlığı ve enerji tasarrufu için otomatik sistemlerin geliştirmesine ihtiyaç duyulmuştur. Termostatla kontrol edilebilen ilk elektrikli kömür ateşleyicisi 1912'de piyasaya sürülmüş ve 1920'lere gelindiğinde birçok üreticide otomatik kömür sistemleri mevcut halde bulunmuştur. 1905'te Jewell Thermostat Co. tarafından kurmalı saat kullanan bir sistem piyasaya sürülmüş ve bu cihazların satışları savaş sırasında artmıştır. 1917'de petrol ve gaz kullanımını teşvik eden "Kömürsüz Pazartesi Günleri" tanıtılmıştır. Milton Fessler, 1905 ve 1908 yılları arasında California'da bir konut tipi yağ yakıcı icat etmiştir. "Elektrol" adı verilen yüksek voltajlı elektrik ateşlemeli ilk yağ yakıcı 1918'de piyasaya sürülmüştür. 1920'li yılların ortalarında akaryakıt brülörleri pazarı hızla geliştirilmiştir. 1924 yılında özel olarak yağ brülörleri için tasarlanan ilk kontroller Honeywell tarafından pazarlanmıştır. Bu arada gazlı ısıtma da geliştirilmiş ve Frederic Albert Winslow 1805'te Londra'da gazın aydınlatmanın yanı sıra ısıtma için de kullanılabileceğini önermesine

rağmen 1840'a kadar ABD'de gazla ısıtma kullanılmamıştır. Fakat 1880'den sonra elektrik aydınlatması geliştikçe gaz dağıtım şirketleri gelirlerinin düştüğünden gaz kullanımını için bu alanda teşvikler başlatmıştır. 1891'de Ohio Gas Light Co., deney olarak 50 eve gazlı ısıtma sistemlerini kurmuştur. Bazı fırın ve kazan üreticileri 1900'den sonra hatlarına gazla çalışan ekipmanlar eklemişlerdir. O zamana kadar elektrikli gaz vanaları geliştirilmiş, böylece ısıtma sistemi termostat tarafından kolayca kontrol edilebilmiştir. Bacalardaki yoğuşma sorunları nedeniyle ilk başlarda doğalgaz kullanımı sınırlandırılmış ve 1900'lü yıllardan sonra yoğuşma nedeniyle her kullanıcının bacasına bir demir boru yerleştirmesi gerektiği belirtilmiştir. 1920'lerin ortalarına gelindiğinde modern ısıtma sistemleri; nispeten ucuz, daha güvenilir ve verimli olmuştur. Bodrumlardan haftalarca kaçınılabilmiş ve güvenli, etkili ısı en yakın termostatla ayarlanabilmiştir. The Electric Refrigeration News'in yayınlanmaya başladığı 1926 yılında; ısıtma kamp ateşinden daha sessiz, otomatik ve güvenilir bir hale gelmiştir. Sanayi ısıtma cihazlarını, Walter Bernan toplum makinelerine dönüştürmeyi başarmıştır [69].

3.2. Isıtma Sistemleri

Özellikle kış aylarında ya da soğuk havalarda insanların sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürmeleri ve kendilerini rahat hissedebileceği sıcaklık değerlerinin oluşturulmasına yarayan sistemlere ısıtma sistemleri denir. İnsanların konfor sıcaklığının kış aylarında 20-22 °C aralığında olması gerektiği bilinmektedir. Günümüz teknolojisinde farklı amaçlar için kullanılan çok fazla türde ısıtma sistemi bulunmaktadır.

En yaygın kullanılan ısıtma sistemleri aşağıda belirtildiği şekilde gruplandırılabilir [70].

Isıtma sistemlerinin boyutlarına göre sınıflandırılması aşağıdaki şekilde 4 ana grup altında incelenmektedir.

- Tekil ısıtma olarak da adlandırılan kat ve villa ısıtma sistemleri
- Merkezi ısıtma olarak da bilinen bir veya birden çok binanın bir ısı merkezinden ısıtıldığı sistemler
- Bölgesel ısıtma ya da uzaktan ısıtma sistemleri
- Sıcak hava ısıtma sistemleri

Bölge ısıtmasında kullanılan sistemleri ise kullandıkları ısı taşıyıcı akışkanların türleri göz önüne alındığında aşağıdaki alt başlıklar altında incelemek mümkündür.

- Sıcak su kullanarak bölge ısıtması yapan sistemler
- Kaynar su kullanarak bölge ısıtması yapan sistemler
- Buhar kullanarak bölge ısıtması yapan sistemler
- Sıcak hava ile bölge ısıtması yapan sistemler

Isıtma sistemlerinde kullanılan yakıtların türlerine göre aşağıda belirtildiği başlıklar altında sınıflandırmak mümkün olmaktadır.

- Odun ve kömür gibi yakıtlarla çalışan katı yakıtlı ısıtma sistemleri
- Fuel-Oil ve mazot gibi yakıtlarla çalışan sıvı yakıtlı sistemler
- Doğalgaz ve LPG gibi yakıtlarla çalışan gaz yakıtlı sistemler
- Isı pompası ve klima gibi elektrik enerjisi ile çalışan sistemler
- Güneş enerjisi ve jeotermal gibi doğal kaynakları kullanan alternatif enerjili sistemler

3.3. Mahal Isıtma Sistemleri

Isı kaynakları; fosil yakıtlar (katı, sıvı, gaz), yenilenebilir enerji (güneş ve jeotermal) ile atık ısıdan oluşmaktadır. Isıtma sistemleri, ısı kaynaklarında üretilen enerjinin ortama aktarılması prensibine göre çalışmaktadır. Isı aktarımı ise ısının, üretildiği yerde veya öncelikle ek sistemlerle ısıtılmak istenen yere taşınması ve daha sonrasında ortama aktarılması gibi farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Günümüz teknolojisinde ısıtma sistemleri endüstriyel ısıtma sistemleri ve bina ısıtma sistemleri olmak üzere iki ana grup altında sınıflandırılabilir.

3.3.1. Endüstriyel ısıtma sistemleri

Endüstriyel ısıtma sistemleri genellikle elektrik enerjisini ya da fosil yakıtları ısı enerjisine dönüştürmektedir. Bu tür ısıtıcı sistemlerde ısı üretildiği kaynaktan çok kısa mesafe içerisinde ortama aktarılmakta ve bu nedenle ısının uzak mesafelere taşınması için kullanılan (pompa, radyatör, tesisat vb.) ek malzemelere gereksinim duyulmamaktadır.

Genellikle büyük hacme sahip veya açık alanların ısıtılmasında kullanılan endüstriyel ısıtma sistemlerine örnek olarak;

- İnfrared radyant ısıtıcılar [71, 72]
- Sıcak hava üreteçleri [73, 74]
- Borulu radyant ısıtıcılar [73, 74]
- Seramik radyant ısıtıcılar [75, 76] verilebilir.

Endüstriyel ısıtma işlemleri, üretim sektörünün enerji talebinin yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır. Isıtma, kurutma, kürleme, faz değişimi vb. gibi önemli malzeme dönüşümlerini elde etmek için çok çeşitli ısıtma sistemleri kullanılmaktadır. İhtiyaç duyulan enerji; elektrik, buhar, doğal gaz, kömür, biyokütle ve yakıt yağları vb. çeşitli kaynaklardan ve bunların bileşenlerinden oluşmaktadır. Büyük miktarda enerji harcayan endüstriyel ısıtma sistemleri, genellikle aşağıda verilen dört ana enerji türü etrafında tasarlanmaktadır [77].

- Yakıt bazlı ısıtma teknolojileri
- Elektrik bazlı ısıtma teknolojileri
- Buhar bazlı ısıtma teknolojileri
- Hibrit ısıtma teknolojileri

3.3.2. Bina ısıtma sistemleri

Bina ısıtma sistemleri kapalı ve daha düşük hacimli alanların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Merkezi ya da bireysel olarak farklı türde kullanım imkânı sağlayan bu tür sistemlerde ısının üretildiği yerden ısıtılmak istenen birbirinden bağımsız kullanım alanlarına taşınması gerekmektedir. Farklı kaynaklardan (doğal ısı kaynakları, yenilenebilir ısı kaynakları ve atık ısı kaynakları) üretilen ısının ısıtılmak istenen ortama aktarılması için ısıtma sistemi tesisatı, pompa, radyatör vb. ek malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Binalarda kullanılan ve farklı enerji türleri ile çalışan ısıtma sistemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir [78].

- Aktif güneş ısıtması
- Elektrikli rezistans ısıtması

- Fırınlar ve kazanlar
- Odun ve pelet ısıtması
- Isı dağıtım sistemleri
  - Buhar radyatörleri
  - Sıcak su radyatörleri
- Radyant ısıtma sistemleri
- Küçük alan ısıtıcıları

Binalarda kullanılan hibrit ısıtma sistemleri, elektrikli bir ısı pompasını gazla çalışan bir fırınla birleştirmektedir. Bu kombinasyon ile enerji tasarrufunu ve sistem performansını en üst düzeye çıkartmaktadır. Isı pompası, dış sıcaklık değerleri uygun olduğunda mahali ısıtmaktadır. Termostat ise sıcaklıklar belirlenen derecenin altına düştüğünde otomatik olarak gazlı fırını çalıştıracak şekilde programlanabilmektedir [79]. Şekil 3.1'de verilen hibrit ısıtma sistemi bir ısı pompasının enerji verimliliğini bir gaz fırınının gücüyle birleştirmektedir. Isı pompasının avantajları ve dezavantajları arasında, enerji açısından verimli olması ancak aşırı soğuk havalarda çalışamaması yer almaktadır. Bunun bir çözümü olarak, gaz fırını tam böyle durumlarda devreye girerek ısı pompasını %100 verimli hale getirmektedir [80].



Şekil 3.1. Hibrit ısıtma sistemi bileşenleri [80]

3.4. Isıtma Sistemi Türleri

Günümüz teknolojisinde kullanılmakta olan ısıtma sistemleri 3 ana başlık altında incelenebilir. Bunlar; merkezi ısıtma sistemleri, doğrudan ısıtma sistemleri ve son teknoloji ısıtma sistemleridir.

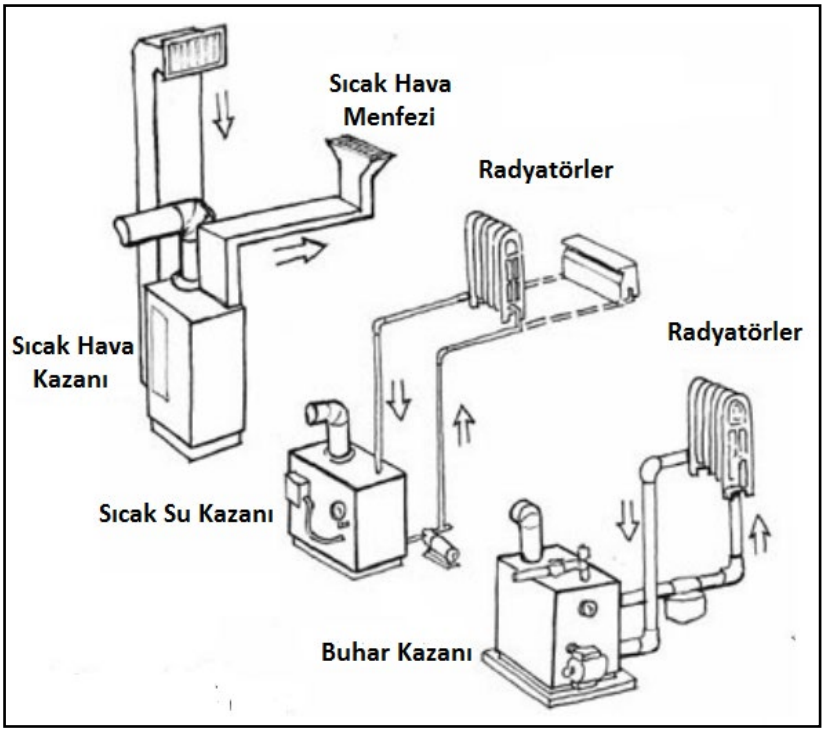
3.4.1. Merkezi ısıtma sistemleri

Merkezi ısıtma amaçlı kullanılan sistemler genellikle soğuk iklim şartlarına sahip apartmanlarda ya da binalarda kullanılan ısıtma sistemleridir. Isıtma amaçlı olarak kullanılan akışkanı (hava, su veya buhar) ısıtmak için bir kazan veya fırın kullanılmakta ve ısıtılan akışkan tesisat sistemleri ile sıcaklığı arttırılmak istenilen ortam ve/veya ortamlara taşınmaktadır. Son olarak; taşınan ısı radyatörler, yerden ısıtma sistemleri ya da sıcak hava menfezleri ile ortama aktarılmaktadır.

Merkezi ısıtma sistemleri aşağıda belirtildiği gibi üç farklı şekilde üretilmektedir [81].

- Fırınlar
- Kazanlar
- Isı pompaları

Şekil 3.2'de merkezi ısıtma sistemlerinin çalışma prensibi verilmiştir. Sıcak hava fırınları; ısıtılacak ortama sıcak hava menfezleri ile sıcak hava taşırken, kazanlar sisteme sıcak su veya sıcak buhar taşımaktadır [81].



Şekil 3.2. Sıcak hava, sıcak su ve buhar kazanlarının çalışma prensibi [81]

3.4.2. Doğrudan ısıtma sistemleri

Bölgesel veya lokal ısıtma sistemleri olarak da adlandırılan doğrudan ısıtma sistemleri; binaların kullanıcılar tarafından bireysel olarak ısıtılmasına imkan sağlayan sistemlerdir. Yaygın olarak kullanılan doğrudan ısıtma sistemleri aşağıda verilmiştir [81].

- Gazlı ısıtıcılar
- Havalandırmasız gazlı ısıtıcılar
- Elektrikli ısıtıcılar
- Odun ve pelet sobalar
- Şömineler

3.4.3. Alternatif ısıtma sistemleri

Radyant yerden ısıtma sistemleri, klimalar ve kombine ısı güç sistemleri olarak sınıflandırılan alternatif ısıtma sistemleri ile ilgili bilgiler aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir [81, 82].

Radyant yerden ısıtma sistemleri

Radyant yerden ısıtma sistemleri, genellikle zeminin altındaki borularda sıcak su dolaştıran sistemleri ifade etmektedir. Bu sistemlerde, sıcak su zemini ve zemin ise odayı kullanan insanları ısıtır. Son derece kontrol edilebilir ve verimli olarak kabul edilen, ancak kurulumu pahalı olan sistemlerdir. Ayrıca çok deneyimli bir sistem tasarımcısı ve montajcısı gerektirir. Buna ek olarak halı seçimlerini ve diğer zemin kaplamalarını ısı kaynağının üzerinin örtülmemesi için sınıflamaktadır.

Kanalsız, mini-split, multi-split klimalar

Sistemde enerjiyi su veya hava yerine soğutucu hatlar üzerinden dağıtan “Kanalsız” ısı pompaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Saha denemeleri, bunların iyi soğuk hava performansına sahip olabileceğini ve elektrikli dirençli ısıtmanın yerini aldığında çok uygun maliyetli olabileceğini göstermektedir. Yerden kaynaklı sistemler gibi pazarın

olgunlaşmamış olması, tüm ev çoklu bölmeli sistemlerin yüksek fiyatlı olmasına neden olmaktadır [83].

Kombine ısı ve güç sistemleri

Evler için kojenerasyon bazı ülkelerde ciddi şekilde incelenmektedir. Temel öncül, evin elektrik ihtiyacının bir kısmını karşılamak için küçük bir jeneratör kullanmak ve atık ısıyı (genellikle yakıtın ısıtma değerinin %70'inden fazlası) geri kazanarak evi ısıtmak (hidrolik veya su-hava sistemleri) ve kullanım sıcak suyu elde etmektir. Bu sistemler henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Katı taş veya tuğla evlerin uygun şekilde yalıtılamaması nedeniyle yüksek ısıtma faturalarına sahip evlerde en iyi ekonomiye sahip olmaları muhtemeldir.

3.4.4. Isıtma sistemi bileşenleri

Soğuk iklim şartlarında ısıtma, konforlu iç ortamlar oluşturulabilmesi için gerekli olan oldukça önemli bir koşuldur. Temel olarak ısıtma sistemlerinin uygulamaları; alan ısıtması ve kullanım sıcak suyu elde edilmesidir. Isıtma sistemlerinin bileşenleri aşağıdaki alt başlıklarda üç ana başlık altında verilmiştir [84].

Isı enerjisi üretmek için gerekli olan kaynaklar

- Doğal gaz
- Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)
- Petrol
- Kömür
- Elektrik
- Güneş enerjisi (termal)
- Biyokütle enerjisi
- Kombine ısı ve güç
- Isı pompası (hava, su veya yeraltı kaynağı)
- Atık ısı

Isıyı binanın etrafına dağıtmak için dağıtım ortamı ve şebeke

- Su (düşük, orta veya yüksek sıcaklık)
- Hava
- Buhar
- Elektrik

Isıyı alana ileten ısı yayıcılar

- Radyatörler
- Fan konvektörleri
- Doğal konvektörler
- Panel ısıtıcılar
- Tavan panelleri
- Yerden ısıtma bobinleri
- Ünite ısıtıcıları
- Depolama ısıtıcıları
- Yüksek sıcaklık radyant panelleri

3.5. Isıtma Sistemlerinin Seçim Kriterleri

Küresel ısınma ile iklim değişiklerinde yapı sektörünün büyük rol oynadığı düşünülmekte ve bu nedenle binalarda ısınma ihtiyacının hem çevreye duyarlı hem de minimum enerji gereksinimi ile belirlemesi gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle ısıtma sistemlerinin seçimi; yatırım, bakım, işletme giderleri ve enerji tasarrufu vb. maliyetler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Isıtma sistemlerinin seçimi; binaların ne amaçla kullanılacağı (iş yeri, ev, fabrika vb.), ısıtma sistemi kurulumu için ayrılan bütçe, kullanılacak yakıt türü, kullanım zamanları, sağlığa uygunluk vb. özelliklere de bağlıdır [85].

Detaylı şekilde incelendiğinde; ısıtma, soğutma veya havalandırma sistemleri tasarlanırken oldukça fazla seçim kriteri ve parametreye rastlanabilir. Önem sırası sistemi kullanacak olan kişi ve/veya kişilerin isteklerine göre değişebilir. Bu seçim kıstasları ve parametrelerinden en yaygın olarak kullanılanları aşağıda verilmiştir [85, 86].

- Konfor (Isıl konfor ve iç hava şartları)
- Kuruluş (ilk yatırım) maliyeti
- İşletme maliyetleri
- Servis bakım sıklığı ve kolaylığı
- İşletme kolaylığı
- Çevre faktörü

3.5.1. Konfor

Isıtma, soğutma ya da havalandırma amacıyla kullanılan sistemlerin belirlenmesinde en önemli faktörlerden bir tanesinin konfor olduğu bilinmektedir. Çünkü HVAC tesisatı kurulmasın asıl amacı konfor şartlarının sağlanmasıdır. Bu nedenle sistem seçimi yapılırken, iç ortamda istenilen şartları, dış hava şartlarında sürekli olarak belirli değerde tutabilmek amaçlanmaktadır. Belirli değerlerde tutulması gereken bu konfor şartlarından bazılarının,

- Sıcaklık
- Taze hava miktarı
- Ses kirliliği
- Nem
- Temizlik (hijyen)

olduğu bilinmektedir. Tüm bunlara ek olarak son zamanlarda ısıl konforu ve iç hava kalitesi gibi parametrelerde olması gereken temel konfor şartları arasına girmiştir [85, 86].

3.5.2. Kuruluş maliyeti

Tüm dünyada en önemli parametrelerden bir tanesi de kuruluş ya da ilk yatırım maliyetleri olarak belirtilmektedir. Ekonomik kaynakların kısıtlı olduğu durumlar yatırımcıyı genellikle ucuz sistemlerin seçimine yöneltmektedir. Fakat önemli olan parametre maliyet yatırımından ziyade tüm maliyetlerin toplamıdır. Yani sistemin kullanıldığı süre zarfında meydana gelebilecek işletme ve yatırım maliyetleri toplamıdır. Bu iki maliyetin toplam değerinin düşük olması gerekmektedir [85, 86].

3.5.3. İşletme maliyeti

Enerji giderlerinin fosil yakıtlar ve savaşlar nedeniyle çok fazla artması işletme maliyetlerini yükseltmiştir. İşletme maliyetlerini oluşturan giderler; yakıt, servis ve bakım giderlerinin toplam değeridir. İlk yatırım ya da kuruluş maliyeti düşük olan bir sistemin işletme maliyetlerinin yüksek olması demek yanlış bir sistemin seçildiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle en önemli kıstaslardan bir tanesi de sistemin verimidir. Sistemin hem maliyeti hem de verimi yüksek ise aslında bu sistem ucuz fakat verimi düşük bir sistemle karşılaştırıldığında daha avantajlıdır [85, 86].

3.5.4. Servis bakım sıklığı ve kolaylığı

Arıza durumlarında konforun arıza durumuna göre kısa ya da uzun süreli olarak aksadığı bilinmektedir. İlk başlarda servis bakımı ve kolaylığı göz önüne alınmadığında, konforda aksamalar meydana gelebilir. Bu nedenle sistemlerin belirlenmesi aşamasında; mümkün olduğunca basit, az bakım-onarım maliyeti ve servis işlemlerine ihtiyaç duyulan sistemin seçilmesi gerekmektedir. Servis hizmeti verecek kişi ve firmaların kimler olduğuna da dikkat edilmelidir. Projelendirme aşamasında servis işlemlerinin düzgün şekilde ilerleyebilmesi için cihazların yaşam alanlarının dışına kurulmasına ve servis işlemlerinin kolaylıkla kesintisiz şekilde yapılabilmesine olanak sağlamasına dikkat edilmelidir [85, 86].

3.5.5. İşletme kolaylığı

Sistemin kolay işletilmesi, servis kolaylığı ve bakım sıklığı ile aynı düşünülmemelidir. Yukarıda açıklanan bilgilerden farklı olarak, sistemleri işletmenin mümkünse kalifiye teknik personellere gereksinim duyulmadan yapılabilmesi anlamına gelmektedir [85, 86].

3.5.6. Çevre faktörü

Küresel ısınma, iklim ve su krizleri göz önünde bulundurulduğunda; günümüzde çevre faktörü, mühendislik kıstaslarından daha önemli ve tek başına belirleyici olmaktadır. Çevre faktörü; yakıt, akışkan, ekipman ve sistem bileşenlerinin seçiminde gün geçtikçe daha da

belirleyici hale gelecektir. Bu nedenle mühendislik çalışmaları ve tasarımlar yapılırken çevreye duyarlı sistem bileşenlerinin üretilmesi oldukça önemlidir [85, 86].

3.6. Isıtma Tesislerinde Sistem Seçimi

Isıtma sistemi seçilirken ilk olarak sistemin ne amaçla kullanılacağına karar vermek gerekir. Akdeniz bölgesi gibi sıcak iklimdeki şehirlerde ısıtma sistemi kullanımı kısa olacağından soğutma daha önceliklidir. Sonuç olarak kışın ısıtma, yazın soğutma amacı işlemi yapabilen bir ısı pompası ya da elektrikli ısıtıcılar burada yeterli olabilmektedir. Fakat soğuk iklimlerdeki şehirlerde ise ısıtma öncelikli sistemlerin kullanılması gerekmektedir. Sistemler ısıtma işlemlerini düşük maliyetlerde çözecek şekilde belirlenmelidir. Isıtma işlemlerinin daha yoğun kullanılacağı sistem uygulamaları; tekil ısıtma(kat ve villa ısıtması), bina ısıtması (merkezi ısıtma) ve bölgesel (uzaktan) ısıtma sistemleridir [87].

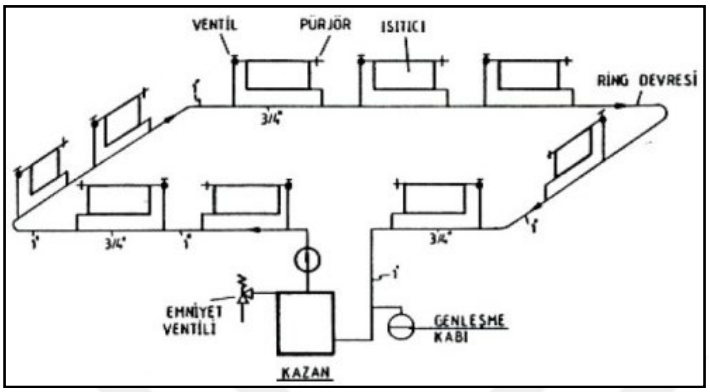
3.6.1. Tekil ısıtma (kat ve villa ısıtması) sistemleri

Kazanlar ya da kombiler içerisinden tasarlanan sisteme uygun güçte olan ısıtma sistemlerini kullanarak ve/veya yapılacak kat kaloriferi tesisatı vasıtasıyla müstakil ya da bina içerisindeki dairelerin diğerlerinden bağımsız olarak ısıtılması işlemine tekil ısıtma denir. Bir diğer adıyla kat ya da villa ısıtma sistemlerinin işletme maliyetleri merkezi ısıtma sistemlerine göre daha yüksek olmasına rağmen bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır [88, 89].

- İstenilen konfor sıcaklığına ayarlanabilirler.
- Kullanılmayacağı zamanlarda kapatılabilirler.
- Isıtılacak olan alanda tüm alan yerine sadece istenilen yerleri ısıtmak amacıyla kullanılabilirler.
- Otomatik kontrol sistemleri bulunduğundan büyük oranda yakıt tasarrufu sağlarlar.

Kat kaloriferi tesisatları, tek ve çift borulu olmak üzere iki farklı biçimde kurulabilirler. Şekil 3.3'te verilen tek borulu yatay ısıtma sistemlerinde; kazandan çıkan besleme borusu tüm radyatörleri dolaşmasına rağmen dönüşe yakın olan radyatörlerde kazan çıkışına göre daha düşük sıcaklığa düşmüş su bulunmaktadır. Bu sistemlerin avantajları; montajlarının

kolay olması, ilk yatırım ve sistem maliyetlerinin ucuz olması, radyatörlere verilen ısının ölçülebilmesine olanak sağlaması, delik gereksiniminin az olması ve görünümünün daha estetik olmasıdır [88].

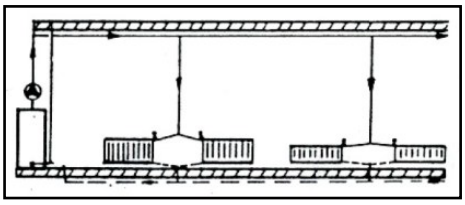


Şekil 3.3. Tek borulu yatay ısıtma sistemine ait bileşenler

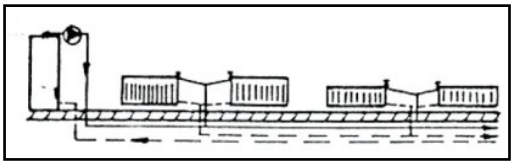
Çift boru kullanılan ısıtma sistemlerinin üç farklı uygulaması aşağıda verilmiştir [88, 89].

- Alttan dağıtma ve alttan toplama
- Üstten dağıtma ve alttan toplama
- Üstten dağıtma ve üstten toplama

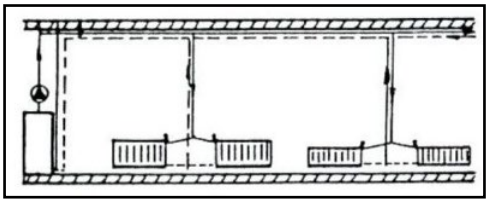
Şekil 3.4'te üstten dağıtma alttan toplama işlemi yapan, Şekil 3.5'te alttan dağıtma üsten toplama işlemi yapan, Şekil 3.6'da ise üstten dağıtma üstten toplama yapan çift borulu kat kaloriferi ısıtma sistemlerinin görüntüsü verilmiştir [88, 89].



Şekil 3.4. Üstten dağıtma alttan toplama işlemi yapan çift borulu tekil ısıtma sistemi



Şekil 3.5. Alttan dağıtma alttan toplama işlemi yapan çift borulu tekil ısıtma sistemi



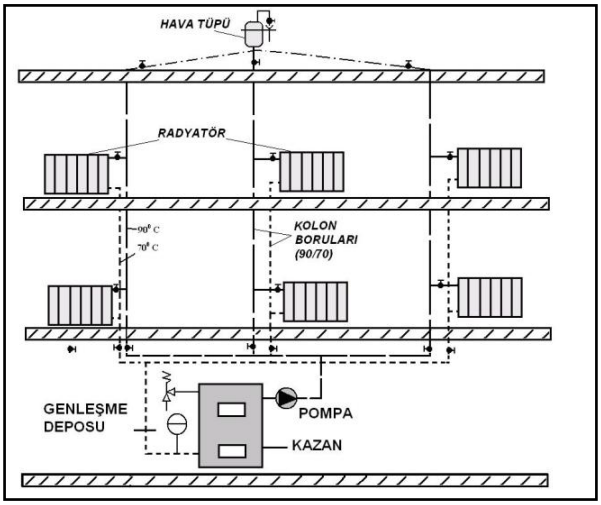
Şekil 3.6. Üstten dağıtma üstten toplama yapan çift borulu tekil ısıtma sistemi

3.6.2. Merkezi ısıtma sistemleri

Isıtılacak olan mahallerin bodrum katında bulunan kazan dairelerindeki ısıtma sistemlerinde üretilen ısının taşıyıcı akışkan ve tesisat boruları ile ısıtılmak istenilen alanlara taşınmasını sağlayan büyük güçlü ısıtma sistemlerine merkezi ısıtma denir. Sıcak sulu tesislerde kullanan başlıca sistemler aşağıda verilen üç başlık atkında sıralanabilir [89, 90].

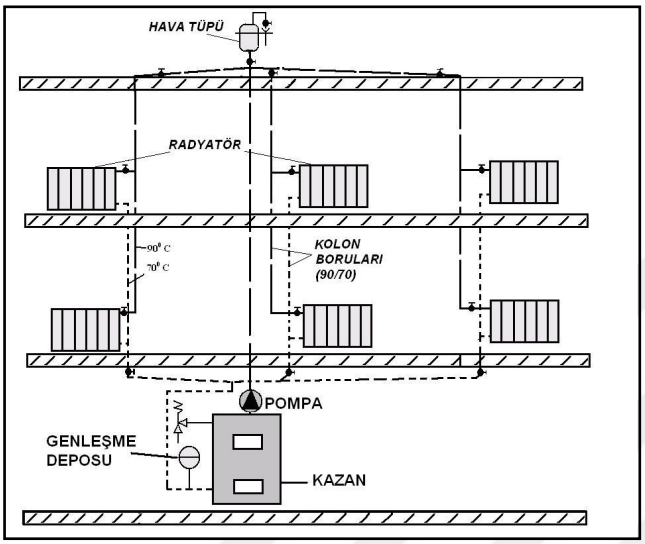
- Alttan dağıtmalı ve alttan toplamalı merkezi ısıtma sistemi
- Üstten dağıtmalı ve alttan toplamalı merkezi ısıtma sistemi
- Üstten dağıtmalı ve üstten toplamalı merkezi ısıtma sistemi

Şekil 3.7'de alttan dağıtmalı ve alttan toplamalı kapalı genleşme depolu ısıtma sistemi verilmiştir. Bu sistemde devridaim pompası kullanılarak; sıcak su dağıtma kolektöründen dik borular ile yukarı katlara çıkartılır ve soğuyan su bodrum kattaki dönüş kolektörlerine ulaştırılır. Ayrıca bu sistem bir boru ile genleşme deposuna bağlanır [89, 90].



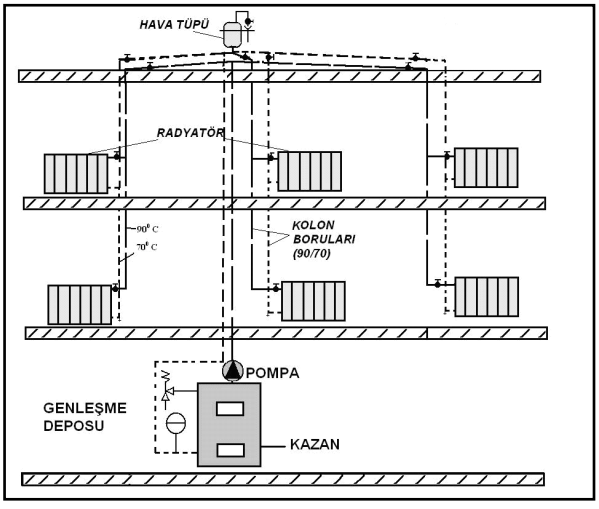
Şekil 3.7. Kapalı genleşme depolu alttan dağıtmalı ve alttan toplamalı ısıtma sistemi [91]

Çatısında teras mevcut olmayan ve tam bodrumlu binalarda kullanılan üstten dağıtmalı ve alttan toplamalı kapalı genleşme depolu ısıtma sistemi Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu sistemin özelliği tüm katları eşit şekilde ısıtabilmesidir. Kazandan çıkan su besleme kolonunu kullanarak çatı katına ve daha sonra %1-2 eğimli ana dağıtım boruları ile çatı içinden düşey kolonlara doğru hareket eder ve böylece radyatörler sıcak su ile beslenir [89, 90].



Şekil 3.8. Kapalı genleşme depolu üstten dağıtmalı ve alttan toplamalı ısıtma sistemi [91]

Şekil 3.9'da verilen üstten dağıtmalı ve üstten toplamalı ısıtma sistemi, binaların bodrum katlarında boru geçişine imkân olmadığı durumda kullanılan, sisteme ait devridaim pompası sayesinde cebri dolaşım ile çalışan, ısıtma bakımından tercih edilmeyen ve sadece zorunlu durumlarda kullanılan sistemdir [89, 90].



Şekil 3.9. Kapalı genleşme depolu üstten dağıtmalı ve üstten toplamalı ısıtma sistemi [91]

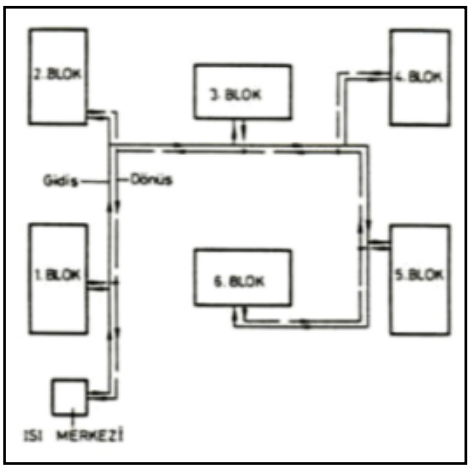
3.6.3. Bölgesel (uzaktan) ısıtma sistemleri

Uzaktan ya da bölgesel ısıtma sistemleri; sanayi tesisleri, toplu konutlar, mahalleler ve şehirler gibi çok büyük ölçekli ısıtma sağlayabilen sistemlerdir. Bu tür sistemlerde bir merkezde üretilen ısı enerjisi boru şebekeleri ile ısıtılmak istenilen alana gönderilmektedir. Daha sonra her binanın altında bulunan ısı değiştirici ile ısı binalara tanışır. Bölge ısıtması; sıcak sulu, kızgın sulu ve buhar ile bölge ısıtması olmak üzere üç gruba ayılır [92].

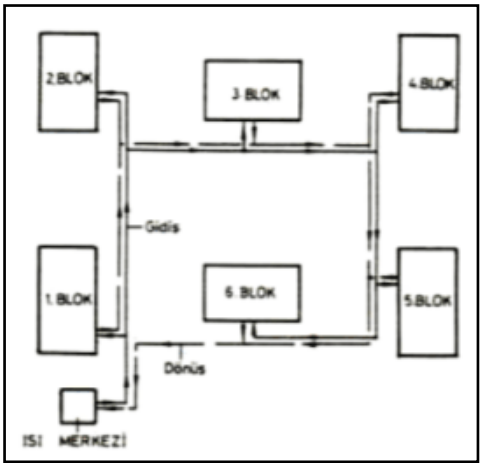
Sıcak sulu bölge ısıtmasında genellikle 90/70 °C değerinde sıcak su, kızgın sulu bölge ısıtmasında 100 °C üzerinde sıcaklıklar kullanılırken bu değer 180 °C değerine kadar çıkabilmektedir. Günümüzde kullanılmayan buhar ile bölge ısıtması ise sadece sanayi tesisleri için uygun olan bir sistemdir [92].

Bölge ısıtmaları genellikle tek ısı merkezlidir ve bu tür ısıtma sistemlerinde dallanan sistem kullanılmaktadır. Bu nedenle sistemlerin bakım onarımları, tamir ve boru patlamaları sonucu yapılacak işlemler oldukça zorlaşmaktadır. Pahalı bir sistem olması nedeni ile sadece çok özel durumlarda kullanılmaktadır. İki borulu sistemler en yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerde borulardan birisi gidiş ve diğeri ise dönüş borusu olarak kullanılmaktadır [90].

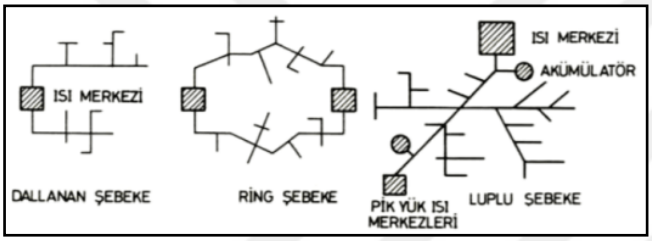
İki borulu sistemler; Şekil 3.10'da düz geri dönüşlü, Şekil 3.11'de ters geri dönüşlü (Tichelmann) olarak verilmiştir. Şekil 3.12'de ise çeşitli ısıtma şebeke tipleri verilmiştir [92].



Şekil 3.10. Düz geri dönüşlü 2 borulu dağıtım sistemi



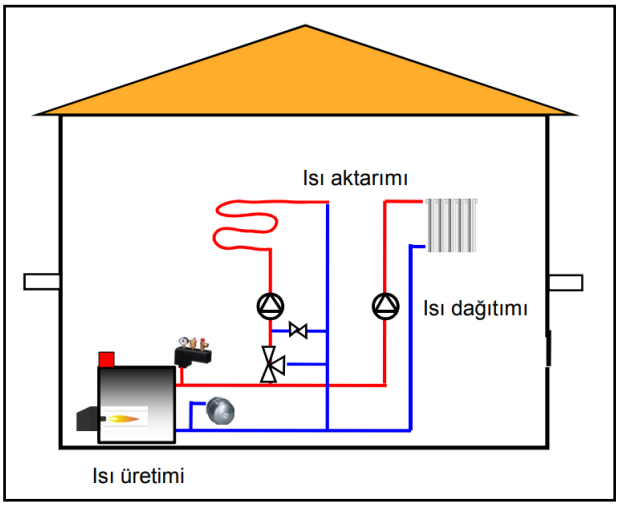
Şekil 3.11. Ters geri dönüşlü 2 borulu dağıtım sistemi



Şekil 3.12. Çeşitli ısıtma şebeke tipleri

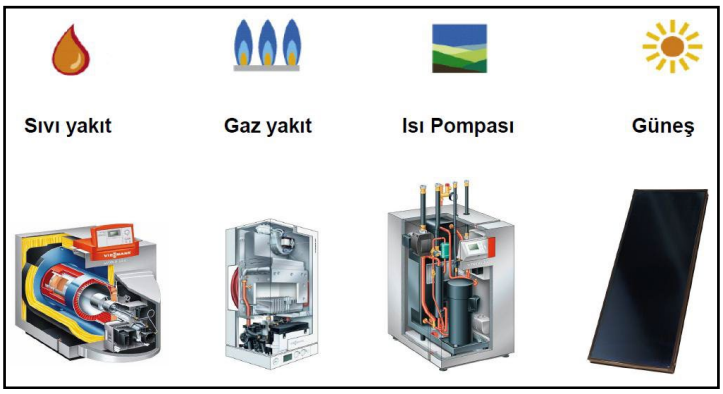
3.7. Isıtma Sisteminin Devre Elemanları

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi ısıtma sisteminin bileşenleri; ısı üreten, ısıyı dağıtan ve ısıyı aktaran ekipmanlardan oluşmaktadır [93].



Şekil 3.13. Isıtma sistemi bileşenleri

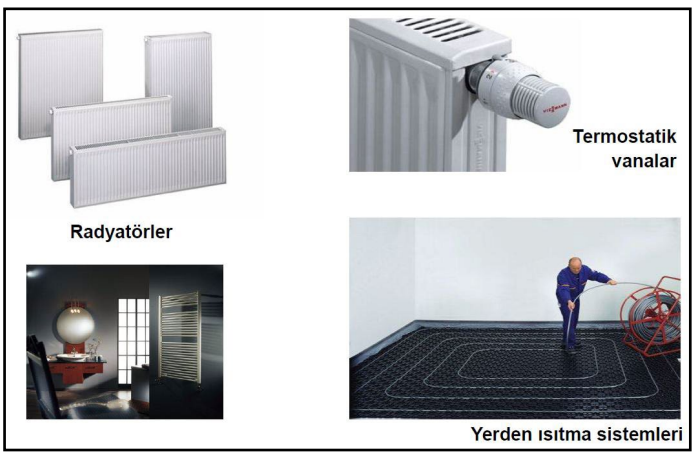
Şekil 3.14'te ısı üretimi amacıyla kullanılan enerji kaynakları ve ısı üreteçleri, Şekil 3.15'te ısı dağıtım ve Şekil 3.16'da ise ısı aktarım ekipmanları verilmiştir [93].



Şekil 3.14. Enerji kaynakları ve ısı üreteçleri



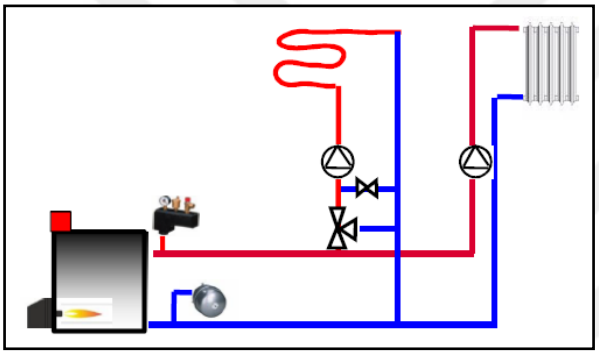
Şekil 3.15. Isı dağıtım ekipmanları



Şekil 3.16. Isı aktarım ekipmanları

3.7.1. Isı dağıtım (boru şebekesi) sistemi

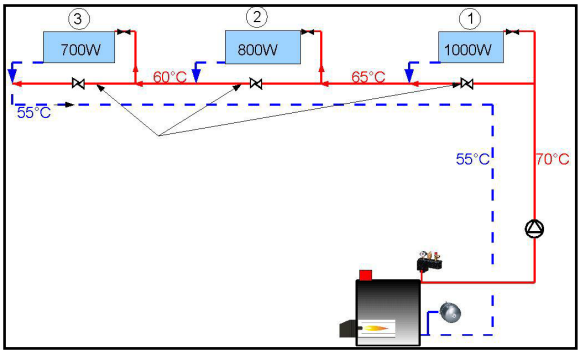
Doğal sirkülasyonlu veya açık ısıtma sistemleri teknolojisi günümüzde neredeyse hiç tercih edilmemektedir. Özellikle yeni yapılarda pompa sistemi bulunduran sıcak sulu kapalı ısıtma sistemleri çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunun en büyük nedeni açık sistemlerde kullanılan açık genleşme depoları hava ile temas halinde olduğundan sisteme sürekli olarak oksijen girmesi sebebiyle sistem ekipmanlarında korozyon ve tesisat suyunda çamurlaşma oluşmasıdır. Bu durum Şekil 3.17'de görülen ısıtma sistemi bileşenlerinden; kazan, boru, pompa, 3-yollu vana, radyatör vb. tüm ekipmanlarda bozulmalara ve maddi hasara neden olmaktadır [93].



Şekil 3.17. Isı dağıtımı (boru şebekesi) sistemi

3.7.2. Tek borulu ısıtma sistemi

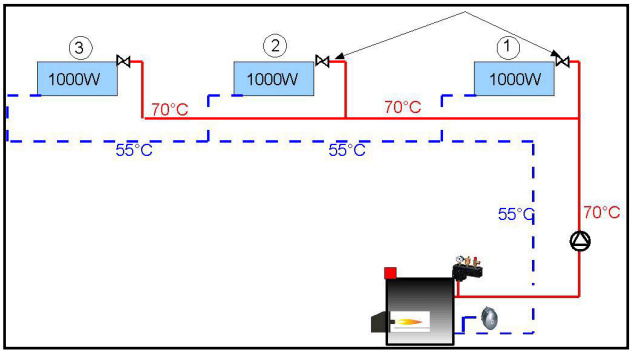
Tek borulu ısıtma sistemleri basit ve fiyatları ucuz sistemlerdir. Radyatörler birbirlerine seri olarak bağlanırlar ve bu nedenle giriş sıcaklığı boru hattı ilerledikçe azalmaktadır. Radyatörlerin boyundaki değişim fark etmeksizin bu sistemlerde tesisattaki bir sonraki radyatörün sıcaklığı bir öncekinden düşük olmaktadır. Bu sebeple, tesisata radyatör ilave edildikçe sıcaklık düşeceğinden radyatörlerin seri olarak bağlanması sınırlı sayıda yapılabilmektedir. Tüm bunlara ek olarak seri bağlı radyatörlerin su akışına karşı gösterdiği yüksek dirençler sebebiyle yüksek güçlerde pompalar kullanılmakta bu da elektrik faturalarının yüksek tutarlarda gelmesine neden olmaktadır [93]. Şekil 3.18'de tek borulu sistemin görüntüsü verilmiştir. Sistemde 3 adet radyatör bulunmaktadır. Gidiş suyu sıcaklığı 1 numaralı radyatöre 70 °C'de, 2 numaralı radyatöre 65 °C'de ve 3 numaralı radyatöre 60 °C'de giriş yaparken dönüş sıcaklığının ise 55 °C değerine düştüğü görülmektedir.



Şekil 3.18. Tek borulu ısıtma sistemi devre şeması

3.7.3. Çift borulu ısıtma sistemi

Mevcut binalarda en yaygın kullanılan sistemler çift borulu sistemlerdir. Bu sistemlerde radyatörler birbirlerine paralel olarak bağlanmakta ve böylece gidiş suyu sıcaklığı boru hattı boyunca eşit kalmaktadır. Böylece ısıtma tesisatına bağlı radyatörlerin ısıtma gücünde herhangi bir azalma olmamaktadır. Bu sistemlerde, paralel bağlı radyatörler suyun akışına karşı düşük direnç gösterdiğinden yüksek güçlü pompalara gerek duyulmamaktadır. Pompa basma yüksekliğinin değeri, sadece kritik yani dirençleri en elverişsiz olan ısıtma sistemi hattına bağlı elemanlarda meydana gelen basınç kayıpları tarafından belirlenmektedir [93]. Şekil 3.19'da görüldüğü gibi tesisat gidiş suyu 70 °C ve dönüş sıcaklığı ise 55 °C değerinde olmasına rağmen tüm radyatörler 1000 W güç üretmektedir.

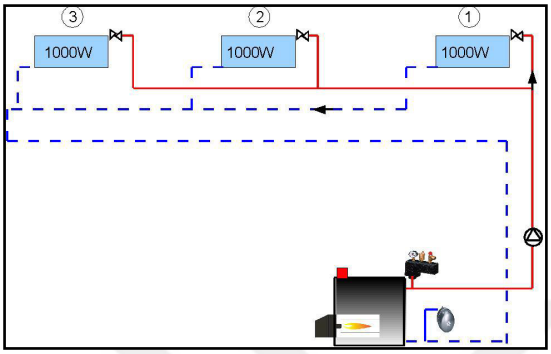


Şekil 3.19. Çift borulu ısıtma sistemi devre şeması

3.7.4. Tichelmann borulu ısıtma sistemi

Şekil 3.20'de Tichelmann borulu sistemine ait devre şeması görülmektedir. Bu sistem çift borulu sistemin benzer bir uygulamasıdır. Her radyatörün kolektöre giriş ve çıkış yapan

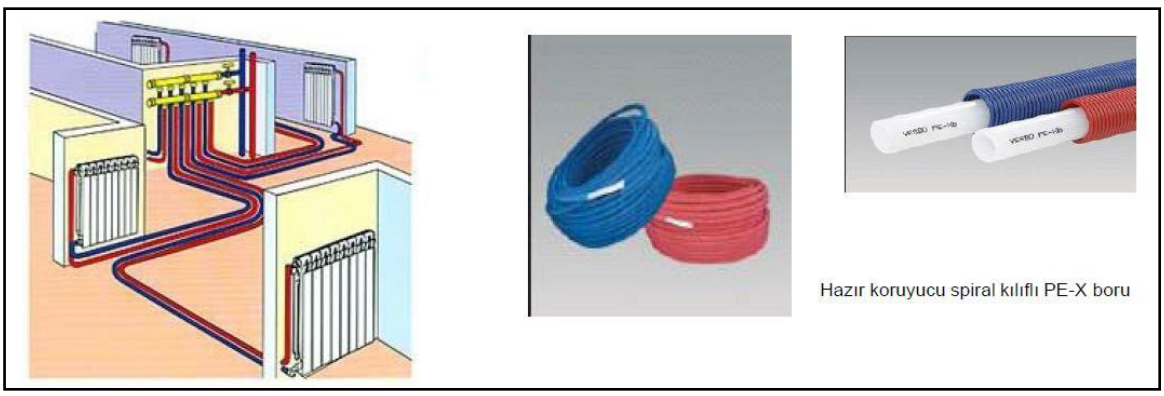
tesisat borusu uzunluklarının toplamı birbirine eşittir. Yani en uzun gidiş hattına sahip radyatörün dönüş hattının uzunluğu en kısa şekilde yapılmıştır. Tichelman sistemi ile tüm radyatörlerde eşit seviyede akış sağlanarak verimsiz radyatörler tamamen ortadan kaldırılmakta ve böylece verim artmaktadır [93].



Şekil 3.20. Tichelmann borulu ısıtma sistemi devre şeması

3.7.5. Mobil sistem

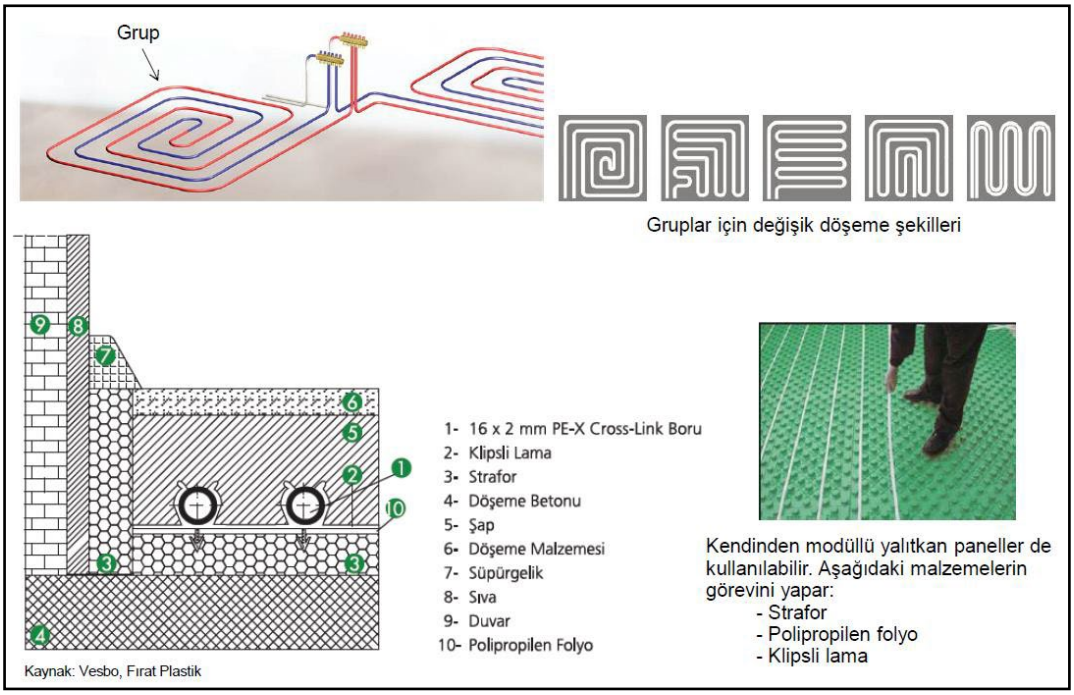
Tek kolon çıkıldıktan sonra, katlarda bulunan kolektör kutularından her radyatöre şap içerisinden gidiş-dönüş boruları döşenerek yapılan sistemlere mobil sistem ya da bir diğer adıyla kolektörlü sistem denilmektedir. Yeni yapılan binalarda genellikle bu sistem kullanılmaktadır. Şekil 3.21'de mobil sistemin bağlantı şekli ve zemine zarar vermemesi için kullanılan, hazır koruyucu kılıfa sahip olan, dekoratif amaçlı kullanılabilen PE-X borular görülmektedir. PE-X borulardan radyatöre giden tesisat borularının rengi kırmızı, radyatörden dönen tesisat borularının rengi ise mavi renktedir. Bu şekilde farklı renkler kullanılarak hatalı bağlantı yapılmasının riski azaltılmış olmaktadır [93].



Şekil 3.21. Mobil sistem ve PE-X ısıtma boruları

3.7.6. Yerden ısıtma sistemleri

Genellikle yeni binalarda kullanılan yerden ısıtma sistemleri yapılardaki zemin döşemesinin altına döşenmektedir. Bu sistemlerde boru çapı ısı transferini değiştirdiğinden ısıl verimi doğrudan etkilemektedir. 16 mm çapında ve 2 mm et kalınlığındaki borunun 1 metresinde 0,113 litre su taşınmakta ve 45º C su verilerek 10'ar cm aralıkla seramik altına 4 cm şapa gömülerek döşendiğinde 24ºC odada, metrekarede 152 W ısı vermektedir. Bu değer parkede %32, halıda %25 ve laminantta %50 oranında azalmaktadır. Şekil 3.22'de yerden ısıtma sistemi ve döşeme şekilleri verilmiştir [93].



Şekil 3.22. Yerden ısıtma sistemi ve döşeme şekilleri

3.8. Genleşme Depoları (Tankları)

Şekil 3.23'te farklı genleşme tanklarının görünümü verilmiştir. Isıtma sistemlerinde ısındıkça hacmi genleşen ve ısıtma sistemi bileşenleri içerisinde dolaşan su daha fazla hacim kaplamaya başlamaktadır. Genleşen ve daha fazla hacim kaplayan suyu bir yerde toplayıp, üzerindeki enerjiyi (ısıyı) bırakmasını sağlayan sistemler genleşme deposu ya da imbisat deposu olarak adlandırılmaktadır. Genleşme depolarının görevleri aşağıda verilmiştir [94].

- Isınan suyu toplayıp soğumasını sağlamak
- Sistemde su eksilmesinde eksilen suyu tamamlamak
- Herhangi bir basınç artmasında sistemin dengesini sağlamak için fazla basıncı absorbe etmek
- Soğuttuğu suyu tekrar kazana göndererek kazan sıcaklığının tehlikeli boyutlara ulaşmasını engellemek

Bir diğer ismiyle genleşme depoları tesisat sistemlerindeki basınç kontrolü ile su desteğini sağlayan ısıtma sistemi tesisat ekipmanlarıdır. Ev ve iş yeri gibi alanlarda kullanılan ısıtma sistemleri içerisinde dolaşan suyun ortalama sıcaklığı 80 °C ve besi suyu sıcaklığı genellikle 10 °C değerindedir. Bu nedenle sistemdeki su sıcaklığı 10-80 °C arasında sürekli olarak değişmektedir. Suyun hacmi de sıcaklığına bağlı olarak artmakta ve azalmakta, bunun sonucunda meydana gelen basınç dengesizlikleri genleşme depoları vasıtasıyla düzenlemektedir. Aksi halde sistemlerde arızalar meydana gelmektedir [27].

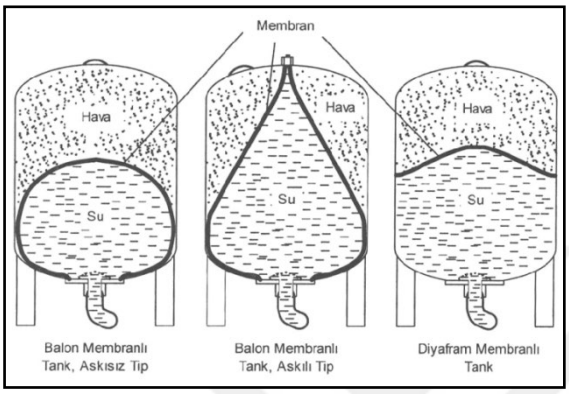


Şekil 3.23. Farklı genleşme tankları [95]

3.8.1. Genleşme tankı membranları

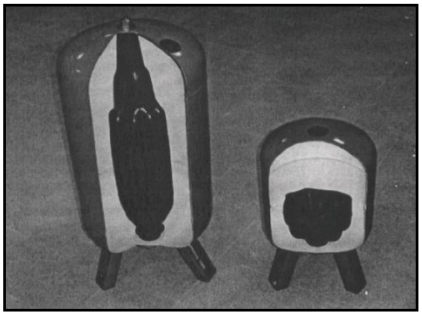
Şekil 3.24'te membran tipleri görülmektedir. Genleşme tankı imalatlarının Türkiye'de yapılmasına rağmen, genleşme tanklarının içerisinde kullanılan membranlar genellikle yurt dışından ithal olarak temin edilmektedir. Yerli olarak üretimi yapılan genleşme tanklarında genellikle balon tipi membranlar kullanılmaktadır. Bu şekilde üretim yapılırken daha az malzeme kullanılmasına rağmen üretim süreçleri daha zordur. Sadece kapalı devre ısıtma sistemlerinde kullanılan diyafram membranlı genleşme tanklarında su tank sacı ile temas halindedir. Kapalı devre ısıtma sistemlerinde kullanılmasının nedeni sadece ilk çalıştırma esnasında sisteme taze su basılması ve bu suyun sürekli olarak sistem içerisinde kalarak kullanılmasıdır. Su içerisinde bulunan oksijen diğer sistem bileşenlerinin (radyatörler,

kazan ve tank vb.) cidarında oksijen bitene kadar korozyon oluşturmaktadır. Sürekli taze su gelen oksijenin fazla olduğu sistemlerde (hidrofor tesisatlarında) veya durumlarda korozyon çok hızlı oluşacağından genleşme tankları delinmektedir. Suyun sac ile temas etmediği balon tip membranlarda ise su daima membranın içerisinde bulunduğundan, hem ısıtma sistemi tesisatlarında hem de hidrofor sistemi tesisatlarında kullanılmaktadır.



Şekil 3.24. Genleşme tankı ve membran tipleri [95]

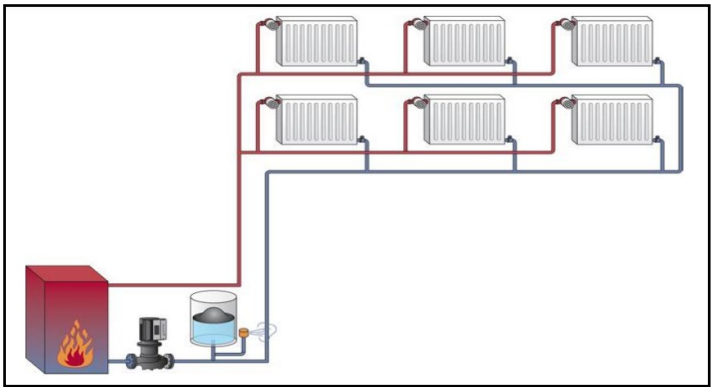
Şekil 3.25'te genleşme tankının kesit görüntüsü ve mebranın tank içerisine yerleşimi görülmektedir. Membran tank içerisine sabitlenmektedir. Balon tip membranların küçük kapasiteli olanlarında membran askısız iken büyük kapasiteli olanlarında membran yukarıdan askıya alınmaktadır.



Şekil 3.25. Genleşme tankı ve membran kesit görüntüsü [95]

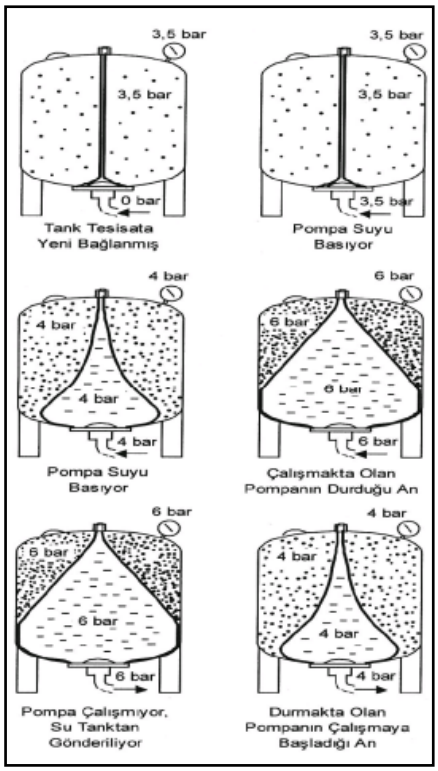
3.8.2. Genleşme tankı çalışma prensibi

Şekil 3.26'da kapalı genleşme deposunun kazana bağlantısı verilmiştir [94]. Kapalı genleşme tankı, kombi bileşenleri, tesisat borular ve petekler gibi içerisinde su dolaşan tüm ısıtma sistemi bileşenleri basınç dalgalanmalarına karşı korumaktadır.



Şekil 3.26. Kapalı genleşme deposunun kazana bağlantısı [94]

Şekil 3.27'de genleşme tankının çalışma prensibi ve basınç değerlerinin değişimi görülmektedir. Genleşme tanklarına basınç dengesinin sağlanması için azot gazı basılması önerilmesine rağmen, şantiye veya binalarda basınçlı havanın bile bulunması oldukça zordur. Bu nedenle azot gazının bulunamadığı durumlarda sisteme içerisinde yüksek oranlarda azot bulunan hava (%75-78) gazı da basılmaktadır. Azot gazının tercih edilmesinin sebepleri; tank içerisinde daha uzun süre kalması, oksijen gibi korozif özellikte olmaması ve ısıtma sistemin bileşenleri üzerinde tanktan suya karıştığında sistem bileşenleri ile tesisat elemanları üzerinde korozyona sebep olmamasıdır [95].



Şekil 3.27. Genleşme tankı çalışma prensibi ve basınç değerleri [95]

3.8.3. Genleşme tankı türleri

Genleşme tanklarının açık ve kapalı olmak üzere iki farklı türü bulunmaktadır. Kullanım yeri ve uygulama biçimine göre seçilen bu türlerden günümüzde yaygın olarak kapalı genleşme tankları kullanılmaktadır.

Açık genleşme tankları

Açık genleşme tankları atmosfere açık şekilde çalışmaktadır. Sistem basıncının atmosfer basınç değerinin üzerine çıkmasını engellemekte ve böylece ısıtma sistemlerini korumaktadır.

Kapalı genleşme tankları

Açık genleşme tankının yerleştirilemeyeceği ve daha büyük kapasiteli ısıtma sistemlerinde manometre ve emniyet ventili ile birlikte çalışan kapalı genleşme depoları tercih edilmektedir [95, 96].

3.8.4. Kapalı genleşme deposu hesabı

Kapalı genleşme depolarının hacim değeri olan V_n Eş. 3.1 ile hesaplanmaktadır [96]. Bu eşitlikte; V_e sistemde genleşen su miktarını, V_v sistem soğukken tankta bulunan su miktarını, P_o kapalı genleşme tankı ön basıncı ve P_e sistem işletme üst basıncını ifade etmektedir.

$$Vn = \frac{(Ve+Vv)x(Pe+1)}{(Pe-Po)} \tag{3.1}$$

Eşitlikteki parametrelerin ne kadar doğru belirlendiği genleşme deposunun ne kadar problemsiz çalışacağını belirlemekte ve parametrelerin doğruluğu çalışma esnasında oluşan problemleri azaltmaktadır. Böylece genleşme depoları ve ısıtma sisteminin diğer bileşenlerinde meydana gelebilecek arızalar, bakım-onarım giderleri ve sistemin enerji kayıpları azalmaktadır.

3.8.5. Kapalı genleşme deposunun kullanım alanları

Isınan su hacimsel olarak %4 civarında artmaktadır. Genleşme depoları, merkezi ısıtma sistemlerinde meydana gelen bu genleşmeyi dengelemek amacıyla kullanılmaktadır [97]. İçerisinde su bulunan güneş enerjisi (güneş kolektörü) sistemlerinde ısı taşıyıcı akışkan türüne göre genleşme depoları kullanılmalıdır [98]. Kapalı ısıtma ve soğutma sistemlerinde suyun hacminde meydana gelen artışı ve azalmayı dengelemek için kullanım sıcak suyu, klima, hidrofor, su transferi ve su temini sistemlerinde de kullanılmaktadırlar [99].

Genleşme tanklarının kullanıldığı sektörlerin; tarım, endüstriyel, sulama, madencilik vb. sektörlerde olduğu bilinmektedir. Bu alanlarda; ısıl genleşme, su sistemleri, sulama sistemler ve hidrolik sistemlerde uygulama alanları bulunmaktadır [100, 101].

Genleşme tanklarının çok farklı tip ve boyutlarda üretimleri yapılmaktadır. Sanayide gıda, kimya, enerji tesislerinde kullanılan genleşme tanklarının, bireysel yaşam alanlarında gaz yakıcı cihaz, hidrofor ve boyler sistemlerinde yaygın olarak kullanıldıkları bilinmektedir.

3.8.6. Isıtma serisi genleşme tankı örnekleri

Bu bölümde günümüz teknolojisinde ısıtma amaçlı sistemlerde yaygın olarak kullanılan bazı genleşme tankları ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır [102].

<u>İçilemeyen su sabit diyaframlı ısıl güç genleşme tankları</u>

Maksimum 100 °C derece su sıcaklığında içilemeyen su ile yakın sirkülasyonlu ısıtma sistemi uygulamaları için kullanılmaktadır. Çalışma basınçları 10-16 ve maksimum çalışma basıncı için 2-200 lt tank boyutlarında üretilmektedirler.

<u>İçilemeyen su sabit diyaframlı güneş enerjisi genleşme tankları</u>

Maksimum 130 °C su sıcaklığında içilemez su ile yakın sirkülasyonlu güneş sistemi uygulamalarında kullanılmaktadır. Çalışma basınçları 10-16 bar arasında ve maksimum çalışma basıncında 2-200 lt tank boyutlarında üretilmektedirler. Bu kazan sistemleri, güneş enerjisi sistemleri vb. alanlarda kullanılabilir.

Temiz içme suyu sabit diyaframlı genleşme tankları

Maksimum 100 °C su sıcaklığındaki kapalı sirkülasyonlu temiz sıcak su sistemi uygulamalarında kullanılmaktadır. Çalışma basınçları 10-16 bar arasında ve maksimum çalışma basıncında 2-200 lt tank boyutlarında üretilmektedirler.

Değiştirilebilir membranlı ısıtma serisi genleşme tankları

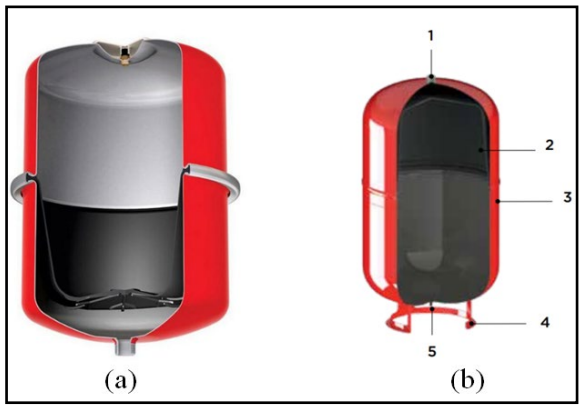
Çalışma basınçları 8, 10, 16, 25 bar ve boyutları 2-10 000 lt arasında farklı standartlarda üretilmektedir. İtalyan membran sayesinde maksimum 100 °C su sıcaklığındaki içme suyu ile kapalı sirkülasyonlu ısıtma sistemi uygulamalarında güvenle kullanılabilmektedir.

Değiştirilebilir membran solar serisi genleşme tankları

Maksimum çalışma basınçları 8, 10, 16, 25 bar ve maksimum çalışma basıncında 2-10 000 lt tank boyutlarında çok farklı standartlarda üretilmektedir. Bu tanklar maksimum 130 °C su sıcaklığında içme suyu ile kapalı sirkülasyonlu güneş enerjisi sistemi uygulamalarında güvenle kullanılabilmektedir.

3.8.7. Membranlı genleşme tanklarının avantaj ve dezavantajları

Şelil 3.28 (a)'da kesit görüntüsü verilen membranlı genleşme tankının bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Şekil 3.29 (b)'de genleşme tankının yapısı verilmiştir. Burada; 1- Su bağlantısı, 2- Kauçuk membran, 3- Tank gövdesi, 4- Ayak desteği, 5- Hava valfidir.



Şekil 3.28. Membranlı genleşme tankının (a) kesit görüntüsü [103] ve (b) yapısı [104]

Modern ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ve pratikte açık genleşme tankların yerini alan membranlı genleşme tanklarının avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.1'de verilmiştir [103].

Çizelge 3.1. Membranlı genleşme tanklarının avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
➢ Suyun havayı emmesini önler	➢ Olası membran yırtılması
➢ Isıtma sisteminin herhangi bir yerine monte edilebilir	➢ Emniyet valfi gereklidir
➢ Montajı kolaydır ve farklı tasarımlarda mevcuttur	➢ Isıtma sistemindeki basınç, su sıcaklığına bağlı olarak değişir
➢ Isıtma sisteminde izin verilen basınç aralığı geniştir	➢ Membran genleşme tanklarının fiyatı, açık tanklardan daha yüksektir.

3.8.8. Genleşme tanklarında meydana gelen problemler

Merkezi ısıtma sistemlerinde genleşme deposunda meydana gelen problemlerin sonucunda ısıtma sisteminin hava ile temas etmesiyle birlikte korozyona uğradığı bilinmektedir. Korozyon ise ısıtma sistemlerinin verimini ve ömrünü düşürmekte, konforu aksatmakta ve ekonomik zararlara neden olmaktadır. Sistemlerde korozyon oluşması istenmez ve korozyon ile meydana gelen arızaların sonucunda aşağıdaki kayıplar meydana gelmektedir.

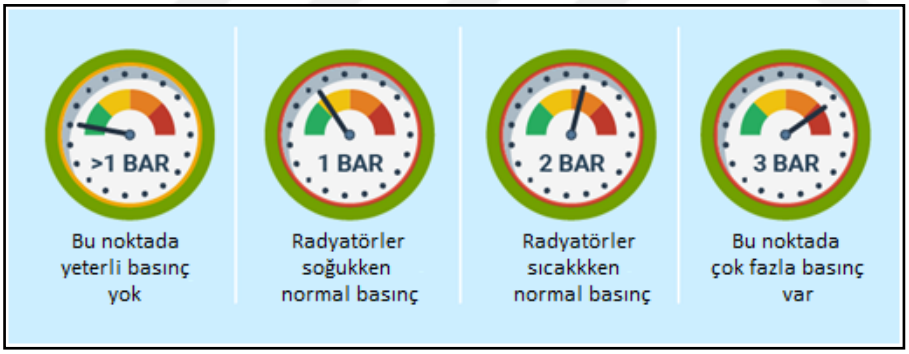
- Sistem devre dışı kaldığı süre boyunca ısıl kayıplar meydana gelmektedir. Kayıplar geçen süre ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir.
- Korozyon neticesinde sistem içerisinde bulunan ekipmanlar zarar görebilmekte ve bu ekipmanların değiştirilmesi veya tamir edilmesi ek maliyetlere neden olmaktadır.
- Korozyon ile birlikte meydana gelen parçacıklar tesisattaki akışkanı kirletmektedir. Bu kirlilik verimi düşürmekte ve tıkanıklıklara neden olmaktadır.
- Korozyon oluşumu sistemde bulunan ısıtma sistemi bileşenleri ve tesisat boruları gibi akışkanın temas ettiği yüzeylerde hasar ve delinme meydana getirmektedir [105].

Çizelge 3.2'de kapalı genleşme tanklarında sık karşılaşılan arızalar, bu arızaların nedenleri ve çözüm önerileri verilmiştir [106].

Çizelge 3.2. Olası kapalı genleşme tankı arızaları, nedenleri ve çözümleri

Olası arızalar	Olası arızaların nedenleri	Olası arızaların çözümleri
➢ Tankın içinde hava yok	➢ Membran patlak	➢ Membranı değiştiriniz.
	➢ Tank herhangi bir yerinden hava kaçırıyor	➢ Tanka hava basınız ve kontrol ediniz.
	➢ Sibop arızalı	➢ Sibopu değiştiriniz.
➢ Membran patlak	➢ Sistemin basıncı fazla	➢ Sisteme uygun tank takınız
	➢ Tank küçük	➢ Yeterli kapasitede tank seçiniz
➢ Tankın manometresi arızalı	➢ Manometre küçük takılmış	➢ Uygun manometre seçiniz.
	➢ Manometre taşıma sırasında kırılmış	➢ Manometreyi yenisi ile değiştiriniz.
➢ Tank su alamıyor	➢ Tank içinde hava fazla	➢ Tankın içindeki havayı sisteme göre ayarlayınız.

Şekil 3.29'da kazan basınç değerleri verilmiştir. Optimum kazan basıncı, çoğu konut kazanında 1-2 bar basınç aralığında kabul edilmektedir. Bu nedenle, yeterli ısıtma için normal bir basınç aralığı olarak kabul edilmektedir. Ticari kazanlar ise daha yüksek basınç değerlerine ihtiyaç duymakta, 2-3 ve bazı durumlarda daha yüksek basınç aralığında çalışmaktadır [107].



Şekil 3.29. Kazan basınç değerleri

Optimum kazan basıncı sağlandığında ısıtma sistemleri; daha verimli, işlevsel, güvenli ve uzun ömürlü olacaktır. Sistemin ömrünü etkileyen bu faktörler aşağıda açıklanmıştır [107].

- Verimlilik: Yetersiz kazan basıncı verimsiz ısı transferine yol açmaktadır. Optimum basınç, suyun veya buharın ısıtma sisteminde dolaşmasını ve ısıyı radyatörlere dağıtmasını sağlamaktadır.
- Sistem işlevselliği: Dengeli ve etkili bir ısıtma dağıtımı yalnızca doğru kazan basıncıyla mümkün olmaktadır.

- Güvenlik: Önerilen basıncın ötesinde çalıştırma, sızıntılara veya kazan arızalarına yol açabilmektedir.
- Uzun ömürlülük: Düzenli izleme ve optimum basıncın korunması, erken arıza olasılığını azaltmaktadır.

Çizelge 3.3'te 2,5 barın üzerine çıkan yüksek kazan ve 1 barın altına inen düşük kazan basıncının nedenleri verilmiştir [107].

Çizelge 3.3. Yüksek kazan ve alçak kazan basıncının nedenleri

Yüksek kazan basıncı (2,5 barın üzerinde)	Düşük kazan basıncı (1 barın altında)
➢ Sistemin aşırı doldurulması	➢ Sistemdeki sızıntılar
➢ Arızalı basınç tahliye vanası	➢ Sistemde sıkışan hava bulunması
➢ Tıkalı genleşme kabı	➢ Arızalı doldurma döngüsü

4. TEORİK ANALİZ

Bu bölümde sistem tasarımı ve imalatı aşamasında kullanılması gereken sistem bileşenlerinin belirlenmesi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır [108-110]. Isı kaybı hesaplamaları için referans alınan dairenin; alanı A ve kat yüksekliği ise h ile ifade edilmiştir. Dairenin hacmi olan V değeri Eş. 4.1 ile hesaplanır.

$$V = A \,.\, \mathrm{h} \tag{4.1}$$

Dairelerde oluşan toplam ısı kaybı Q_T, daire duvarlarının ve çatısının yalıtım durumu, cephesi, cam sayısı, bulunduğu kat, mimari tasarımı vb. birçok parametreden etkilenmektedir. Bunun yanı sıra metreküp başına ısı kaybı değeri genellikle üç farklı bölge için birinci bölgede 30 kcal/h, ikinci bölgede 45 kcal/h ve üçüncü bölgede ise 60 kcal/h olarak kabul edilmektedir. Metreküp başına düşen ısı iletim hızı veya ihtiyaç duyulan ısı kaybı Q_i olarak tanımlandığında, hacmi belirlenen bir dairenin toplam ısı kaybı Eş. 4.2 kullanılarak hesaplanır.

$$\mathrm{Q_T} = \mathrm{V} \,.\, \mathrm{Q_i} \tag{4.2}$$

Oda sıcaklığına göre 1 metre panel radyatörün verdiği ısı miktarı E olarak kabul edildiğinde ihtiyaç duyulan toplam panel uzunluğu L değeri Eş. 4.3 ile belirlenir. Hesaplanan bu değer 1,30 tolerans değeri ile çarpılarak gerekli olan panel uzunluğu hesaplanmaktadır [111, 112]

$$\mathrm{L} = \frac{\mathrm{Q}}{E}\,(1{,}30) \tag{4.3}$$

Bir metre uzunluğunda bir panelin alacağı su miktarı M farklı markalar ve panel tasarım parametrelerine göre değişim göstermektedir. Peteklerin içerisinde bulunan toplam su hacmi Vp değeri Eş. 4.4 ile bulunur.

$$\mathrm{V_p} = \mathrm{L} \,.\, \mathrm{M} \tag{4.4}$$

Isıtma sistemlerinde farklı çaplarda r ve daire mimari tasarımına göre farklı petek yerleşimlerine göre ihtiyaç duyulan boru uzunlukları h değeri olarak belirlenebilen PPRC borular kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan boruların toplam hacmi V_b değeri m^3 cinsinden Eş. 4.5 ile hesaplanır.

$$V_b = \pi r^2 \,.\, h \tag{4.5}$$

Eş. 4.5 kullanılarak hesaplanan değer 1 litre su 0,001 m^3 değerine eşit olduğundan Eş. 4.6 ile litre olarak bulunur.

$$V_b = \pi r^2 \,.\, h \,. \frac{1}{0{,}001} \tag{4.6}$$

Isıtma sisteminin büyüklüğüne göre ihtiyaç duyulan hacimlerde V_g genleşme tankları kullanılabilir. Genleşme tankı hacmi de sisteme eklendiğinde ısıtma sisteminin içerisindeki toplam su hacmi V_T değeri Eş. 4.7 ile hesaplanır.

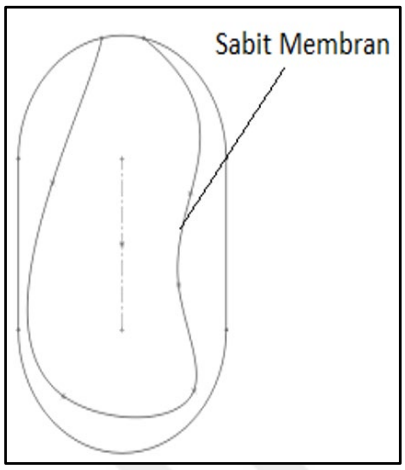
$$V_T = V_p + V_b + V_g \tag{4.7}$$

Eş. 4.7 kullanılarak hesaplanan V_T hacmi suyun sıcaklığına göre değişim göstermektedir. Sistem içerisinde bulunan suyun ilk sıcaklığı T_{ilk} ile son sıcaklığı T_{son} arasında fark ΔT ve suyun genleşme sayısı α olmak üzere suyun hacminde meydana gelen artış miktarı $V_{artış}$ Eş. 4.8 yardımıyla belirlenir.

$$V_{artış} = V_{ilk} \,.\, \alpha \,.\, \Delta T \tag{4.8}$$

Şekil 4.1'de günümüzde yaygın olarak kullanılan bir kapalı genleşme deposu ve içerisinde bulunan tek parça şeklindeki membran iki boyutlu olarak modellenmiştir. Genleşme tankı içerisindeki membran tankın sac kısmına sabitlenmekte ve dışarıdan sistem gereksinimlerine göre hava basılarak basınç değeri istenilen seviyeye ayarlanmaktadır. Basınç ayarlama işlemi tamamlandıktan sonra, ısıtma sistemi çalıştığında oluşan basınç fakları genleşme tankı ve membran vasıtasıyla dengelemektedir. Isıtma sistemlerinde oluşan arızalardan kaynaklı olarak, genleşme tankında meydana gelen yetersiz basınç ya da sistemdeki işletme basıncının aşırı derecede yükselmesi durumunda sistemin

çalışmasında aksaklıklar meydana gelmektedir. Basıncın dengelenemediği durumlarda sistem stabil olarak çalışamamakta ve bazı durumlarda sistem tamamen durmaktadır.



Şekil 4.1. Tek membran içeren mevcut kapalı genleşme tankı modellemesi

Mevcut sistemlerde kullanılan membranlarda meydana gelen genleşme Eş. 4.8 ile litre olarak hesaplanır. Tezin konusunu oluşturan farklı bir membran tasarımı için gerekli olan hacim birimini gösteren değer V_Y ise Eş. 4.9 kullanılarak cm^3 olarak hesaplanır.

$$V_Y = V_{artış} . 1000 \quad (4.9)$$

Eş. 4.9 kullanılarak hesaplanan toplam hacim değerini sağlamak için kullanılması gereken yarı çapı r_{ys} olan küçük plastik top şeklindeki bir membranın son hacmi V_{KS} değeri Eş.4.10 ile hesaplanır.

$$V_{KS} = \frac{4}{3}\pi\,(r_{ys})^3 \quad (4.10)$$

Eş. 4.10 kullanılarak hesaplanan toplam hacim değerini sağlamak için kullanılması gereken yarı çapı r_{yi} olan küçük plastik top şeklindeki bir membranın son hacmi $V_{Kİ}$ değeri Eş. 4.11 kullanılarak hesaplanır.

$$V_{Kİ} = \frac{4}{3}\pi\,(r_{yi})^3 \quad (4.11)$$

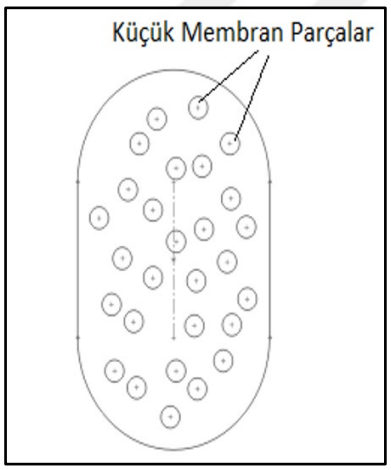
Hesaplanan iki hacim değeri arasındaki fark veya membranın hacmi V_M değeri Eş. 4.12 ile hesaplanır.

$$V_M = V_{KS} - V_{Kİ} \tag{4.12}$$

Kapalı genleşme tankı içerisinde kullanılması gereken yeni membranların toplam sayısı M_T ise Eş. 4.13 ile bulunur.

$$M_T = \frac{V_Y}{V_M} \tag{4.13}$$

Eş. 4.13 ile bulunan küçük membranlar genleşme tankı içerisinde Şekil 4.2'de modellendiği gibi konumlanacaktır. Böylece birkaç membranın zarar görmesi durumunda diğer membranlar sayesinde sistem stabil bir şekilde çalışmaya devam edecektir. Yapılan periyodik kontrollerde sistem içerisine arızalı membran sayısı kadar küçük membran eklenebilecektir.



Şekil 4.2. Çok sayıda membran içeren yeni bir kapalı genleşme tankı modellemesi

5. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, tasarımı yapılan kapalı genleşme deposunun tasarım parametreleri ve imalat aşamaları detaylı olarak açıklanmıştır. İlk aşamada sistemin tasarımı, ardından tasarlanan sistemin imalat süreçleri, sonraki aşamada kullanılan test ve ölçüm cihazlarının özellikleri ve son olarak hazırlanan deney düzeneği hakkında bilgi verilmiştir.

5.1. Tasarımı Yapılan Kapalı Genleşme Deposu

Sistem tasarımında, genleşme deposu içerisine yerleştirilecek membranların hacimsel değişimlerinin dışarıdan görülebilmesi için bir gözetleme camı tasarlanmıştır. Bu camın diğer bir kullanım amacı ise membranların genleşme tankı içerisine kolaylıkla yerleştirilmesini ve istenildiğinde kısa sürede çıkartılmasını sağlamaktır. Membranlar, genleşme tankındaki suyun basınç değeri değiştikçe tankın alt kısmına ya da üst kısmına doğru hareket edecektir. Membranların tankın alt kısmında veya üst kısmında birikmesinin önlenmesi amacıyla bir kafes sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan kafes sistemi ile membranların hareket edebileceği alanın sınırlandırılması amaçlanmıştır. Böylece, membranların tankın orta kısmında toplanmasının sağlanabileceği ve bu sayede membranların rahatlıkla gözlemlenebileceği öngörülmüştür. Şekil 5.1'de dikey ayaksız kapalı genleşme tankı görülmektedir. Tüm tasarım parametreleri ve üretim dosyaları bu genleşme tankının ölçüleri referans alınarak hazırlanmıştır.



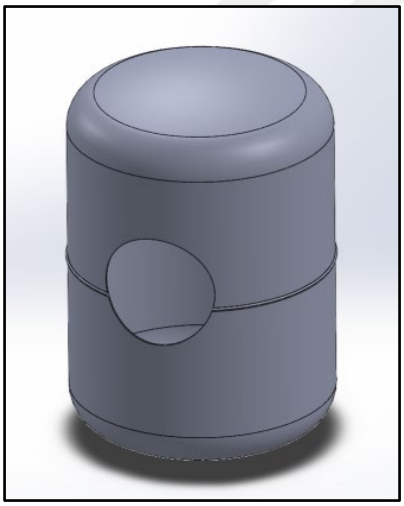
Şekil 5.1. Dikey ayaksız kapalı genleşme tankı

Çizelge 5.1'de dikey genleşme tankı ölçüleri ve teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Genleşme tankı ölçüleri ve teknik özellikleri

Hacim	24 litre
Çap	280 mm
Yükseklik	470 mm
Membran	EPDM
İşletme basıncı	10 Bar
Ön gaz basıncı	2 Bar
Minimum çalışma basıncı	1 Bar
Bağlantı çapı	1 inç

Şekil 5.2'de dikey ayaksız kapalı genleşme tankı ve üzerinde manşon montajı için kesilecek olan alanın SolidWorks programı ile hazırlanan 3 boyutlu katı modellemesi verilmiştir. İmalat aşamasında şekil üzerinde görülen dairesel boşluk 100 mm çapında manşonun yerleştirilmesi için uygun kesme yöntemi kullanılarak kesilecektir. Kesilen bu alan üzerinde oluşturulan kanaldan tankın içerisi gözlemlenebilecektir.



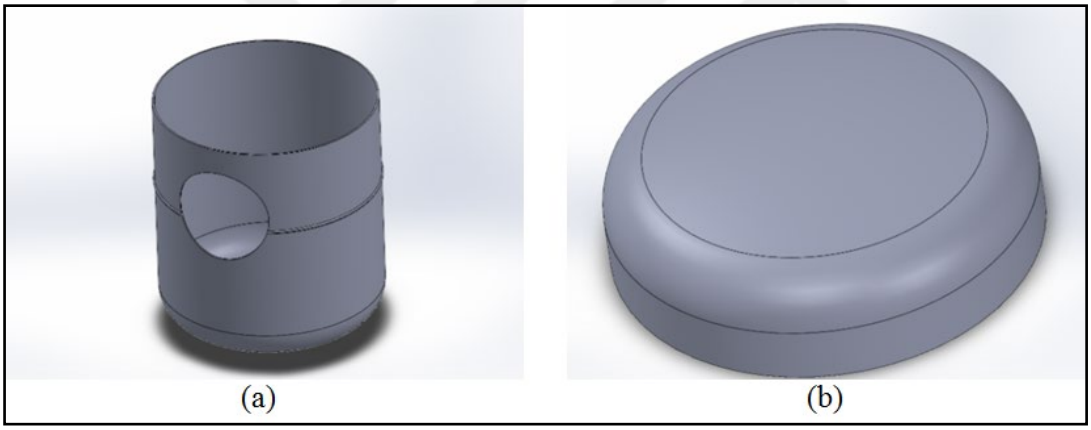
Şekil 5.2. Kapalı genleşme tankının ve manşon montajı için kesilecek alanın modellemesi

İkinci kesme işlemi genleşme tankı içerisine yerleştirilecek olan membranların hareket alanını sınırlayacak kafes sisteminin bileşenlerinin genleşme tankına uygun biçimde monte edilebilmesi için yapılacaktır. Bu nedenle, bir sonraki aşamada genleşme tankının iki parça olacak şekilde kesilmesi gerekmektedir. Şekil 5.3'te kesme işleminin yapılacağı yer görülmektedir.



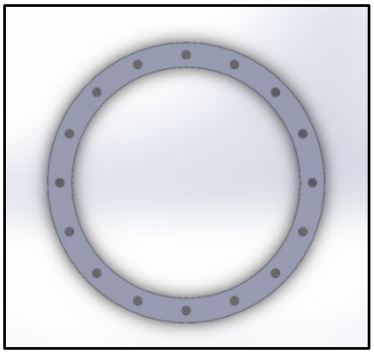
Şekil 5.3. Kesme işleminin yapılacağı yer

Şekil 5.4'te genleşme tankı üzerinde yapılacak olan kesme işlemi sonucunda oluşacak, genleşme tankının alt parçasına ve üst parçasına ait 3 boyutlu katı modellemeleri verilmiştir.



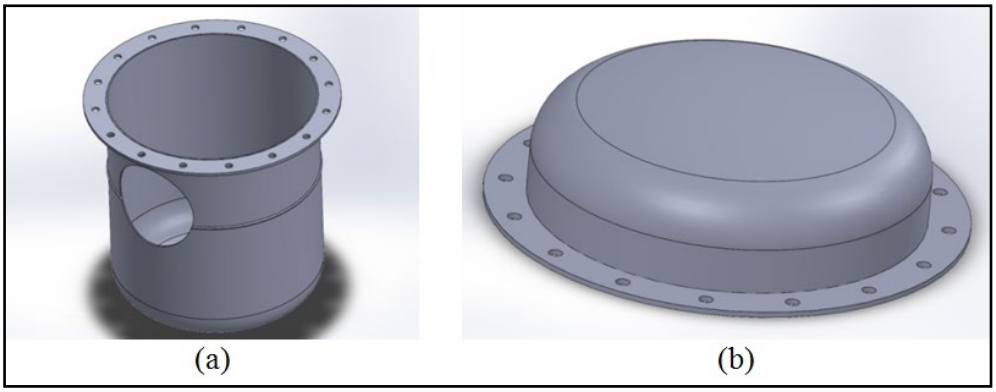
Şekil 5.4. Genleşme tankının; (a) alt parçasının ve (b) üst parçasının modellemesi

Genleşme tankı alt parçası ve üst parçasının birbirine montajının yapılabilmesi, gereksinim duyulduğu zaman tekrar sökülebilmesi ve kafes sisteminin genleşme tankına sabitlenmesi için flanşlı bir bağlantı sisteminin kullanılması uygun görülmüştür. Genleşme tankı alt ve üst parçalarına kaynaklı birleştirme yöntemi ile montajları yapılacak flanşlar Şekil 5.5'te görüldüğü gibi modellenmiştir. Flanşların modellemesi genleşme tankı ölçüleri referans alınarak yapılmıştır. Montaj için kullanılacak cıvata ve somun ölçüleri metrik 10 olarak belirlenmiştir. Tasarımı yapılan flanştan iki adet üretilecek olup, bunlardan bir tanesi genleşme tankının alt parçasına diğeri ise üst paçasına sızdırmaz biçimde kaynaklı birleştirme yöntemi ile sabitlenecektir.



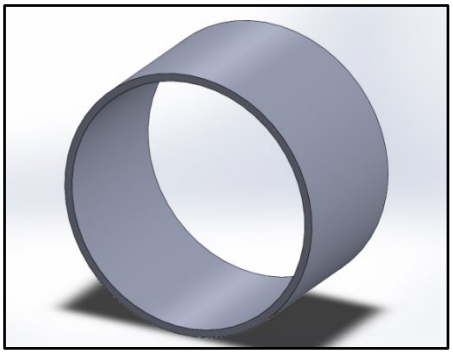
Şekil 5.5. Tasarlanan 2 adet flanşın 3 boyutlu katı modellemesi

Şekil 5.6'da flanşların genleşme tankının alt ve üst parçasına kaynaklı birleştirme yöntemi ile montajı yapıldıktan sonra oluşacak montaj detaylarının görüntüsü verilmiştir. Metrik 10 ölçülerinde açılan cıvata deliklerinin kullanım amaçlarından bir tanesi genleşme tankının alt ve üst kısımlarının vidalı bağlantı ile montajını yapmak, diğeri ise kafes sisteminin flanşlar arasına sabitlenmesini sağlamaktır. Şekilde görülen somun-cıvata bağlantı delikleri, gerek duyulduğunda üst kapağın tekrar sökülebilmesine imkân sağlayacaktır. Böylece, tank içerisine müdahale edilebilecek veya bu deliklere montajı yapılan kafes sistemi tekrar sökülerek çıkartılabilecektir.



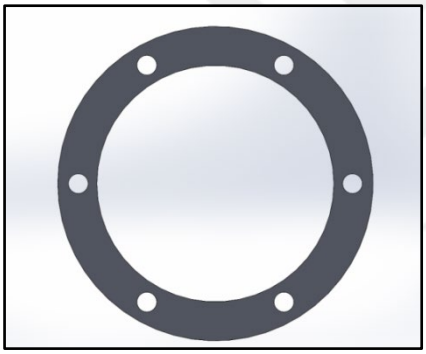
Şekil 5.6. Genleşme tankının (a) alt ve (b) üst kısmına sabitlenen flanşların montaj detayı

Şekil 5.7'de 100 mm'lik manşon ölçülerine uygun olarak hazırlanan manşonun 3 boyutlu katı modellemesinin görüntüsü verilmiştir. Manşon modellemesi yapılırken hali hazırda yaygın olarak kullanılan standart bir manşon ölçüleri referans alınmıştır. Tasarlanan manşonun üretiminin sağlanamadığı durumda, standart manşonun satın alma yoluyla temin edilebilmesi için manşon iç çapı 114 mm ve dış çapı 121 mm kabul edilmiş olup, et kalınlığı 7 mm ölçülerinde belirlenmiştir.



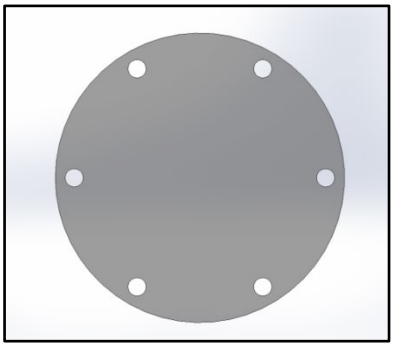
Şekil 5.7. Manşonun 3 boyutlu katı modellemesi

Şekil 5.8'de gözetleme camının sabitlenmesi için gerekli olan flanş modellemesi verilmiştir. Bu flanştan, hareketli ve sabit olmak üzere iki adet kullanılacaktır. Flanşların üzerine gözetleme camını sıkabilmeleri için metrik 10 bağlantı delikleri açılacaktır.



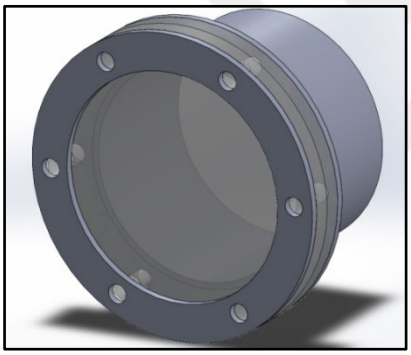
Şekil 5.8. Flanş modellemesi

Şekil 5.9'da gözetleme camının 3 boyutlu modellemesi verilmiştir. Gözetleme camının üzerinde, flanşlar arasına sabitlenebilmesi için metrik 10 bağlantı delikleri açılacaktır. Bu üç parçanın sabitlenmesi için metrik 10 cıvata veya tij seti kullanılacaktır.



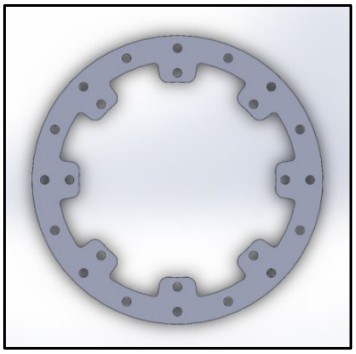
Şekil 5.9. Gözetleme camı modellemesi

Şekil 5.10'da gözetleme camı, manşon ve flanşların montaj detayı görülmektedir. Tasarlanan parçaların montajı yapılırken; sabit flanş manşona kaynak işlemi yapılarak sabitlenecektir. Sabit flanşın üzerine temperli cam ya da pleksiglas malzemeden üretilmesi planlanan gözetleme camı ve gözetleme camının üzerine hareketli flanş yerleştirilecektir. Son olarak bu üç parça bağlantı delikleri ve bağlantı elemanları vasıtasıyla sabitlenerek tasarlanan parçaların montajı tamamlanacaktır. Montajı tamamlanan parça genleşme tankı üzerinde manşon ölçülerinde kesilmiş olan boşluğa kaynaklı birleştirme yöntemi ile sabitlenecektir. Böylece montajı tamamlanan gözetleme kanalının su sızdırmazlığını sağlayan hareketli flaş ve gözetleme camı çıkartılarak tank içerisindeki membranlar değiştirilebilecektir. Kanal üzerini kapatan şeffaf gözetleme camı sayesinde genleşme tankı içerisindeki membranlar gözlemlenebilecektir. Flanşlar ise gözetleme camının sistemde oluşacak sıcaklık ve basınca karşı olan mukavemetini arttıracaktır.



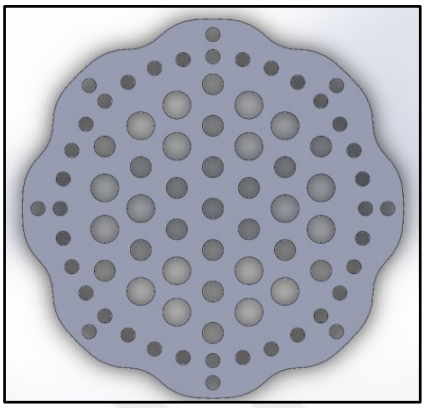
Şekil 5.10. Gözetleme camı, manşon ve flanşların montaj detayı

Şekil 5.11'de tasarımı yapılan genleşme tankı kafes bağlantı parçasının modellemesi verilmiştir. Bu parça, genleşme tankı içerisine yerleştirilecek olan kafes sisteminin, genleşme tankı üzerinde bulunan flanşlara sabitlenmesi amacıyla kullanılacaktır.



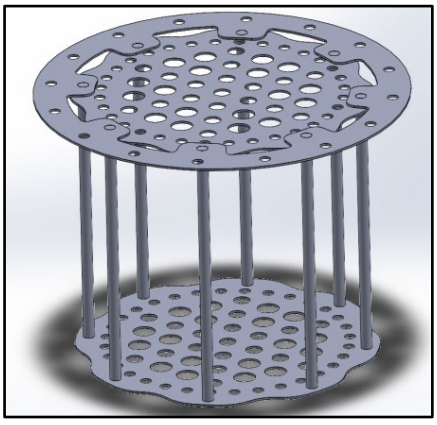
Şekil 5.11. Genleşme tankı kafes bağlantı parçasının modellemesi

Şekil 5.12'de genleşme tankı kafes kapaklarının modellemesi verilmiştir. Tasarımı yapılan bu parçadan iki adet üretilecek ve birisi genleşme tankının alt kısmında diğeri ise üst kısmında olacak şekilde montajı yapılacaktır.



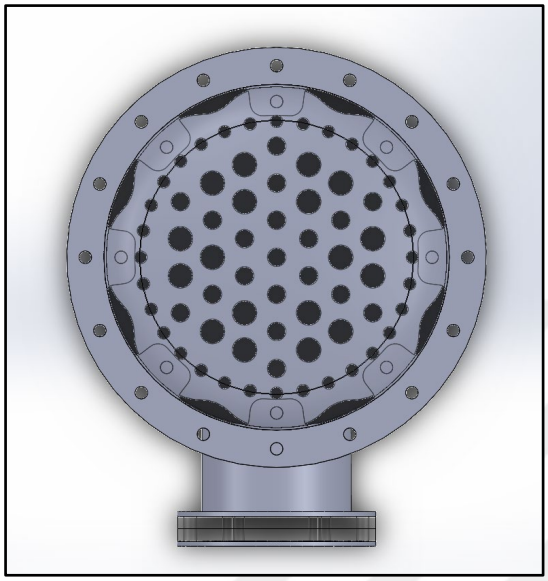
Şekil 5.12. Genleşme tankı kafes kapaklarının modellemesi

Şekil 5.13'te 3 boyutlu olarak modellenen ve genleşme tankı içerisine yerleştirilecek kafes sistemi tasarımının montaj detayı görülmektedir. Kafes bağlantı parçasının dışında boşta duran bağlantı delikleri, kafes sisteminin genleşme tankı üzerinde bulunan flanşın bağlantı deliklerine sabitlenmesi için kullanılacaktır. Kafes bağlantı parçasının iç kısımdaki delikler ise kafes üst kapağına metrik 10 tij bağlantı elemanları kullanılarak kafes bağlantısına monte edilmesi için kullanılacaktır. Genleşme tankı içerisine yerleştirilecek olan kafes kapakları, kafes bağlantı parçası ve metrik 10 tijler şekilde görüldüğü biçimde monte ve istenildiğinde tekrar demonte edilebilecektir. Tij-somun bağlantı elemanları kullanılarak, kafes sisteminin içerisine yerleştirilecek membranların hareket edebileceği hacim ihtiyaç duyulan deney düzeneğinin ölçülerine göre ayarlanabilecektir.



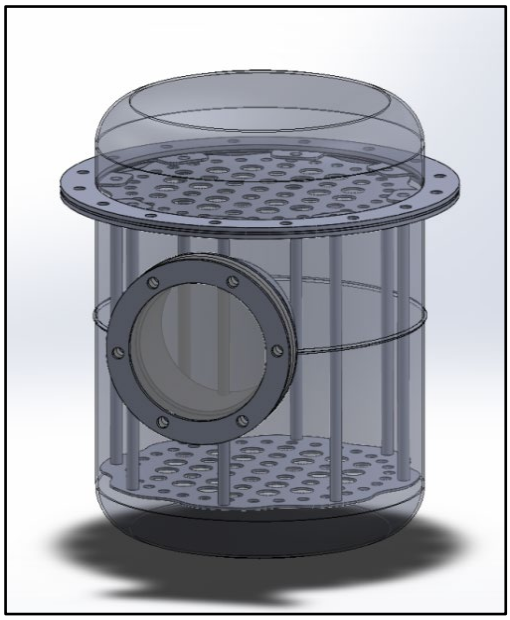
Şekil 5.13. Genleşme tankı kafes sistemi montaj detayı

Şekil 5.14'te genleşme tankı tasarımının üstten görünümü verilmiştir. Genleşme tankı kafes kapakları kenarlarında ve ortasında su akışının rahatlıkla sağlanabilmesi için farklı geometrik desenler oluşturulmuştur. Yuvarlak deliklerin plastik toplar ile tıkanması durumunda su akışı kenarlarda bulunan boşluklardan devam edecektir.



Şekil 5.14. Genleşme tankı 3 boyutlu katı modellinin üstten görünümü

Şekil 5.15'te tasarımı yapılan kapalı genleşme tankının 3 boyutlu katı modellemesine ait şeffaf görüntüsü ve tüm parçaların montajlı hali görülmektedir.



Şekil 5.15. Tasarımı yapılan genleşme tankının şeffaf görüntüsü

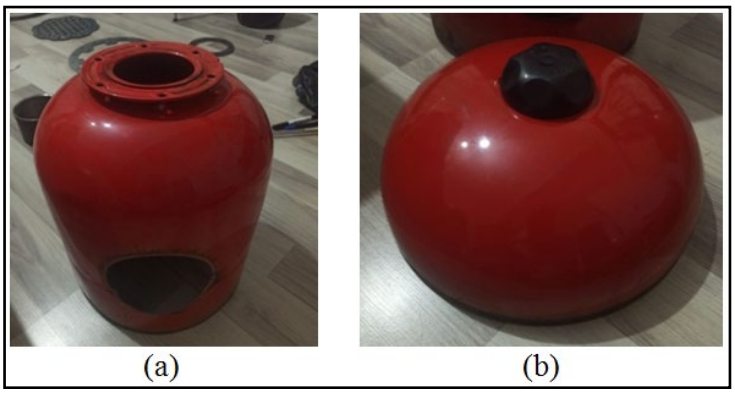
5.2. Tasarımı Yapılan Kapalı Genleşme Deposunun İmalatı

Deney düzeneğinin hazırlanması için ilk olarak tasarım aşamasında teknik özellikleri verilen genleşme tankı satın alma yöntemi ile temin edilmiştir. Resim 5.1'de genleşme tankının lazer kesim ve plazma kesim işlemleri tamamlandıktan sonraki görüntüsü ile farklı sac metal malzemelerden lazer kesimle üretilmiş parçalar görülmektedir.



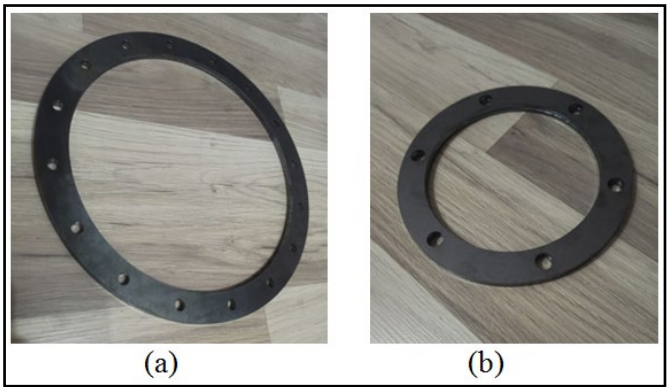
Resim 5.1. Lazer kesim ve plazma kesim işlemleri sonucu oluşan parçalar

Resim 5.2'de lazer ve plazma kesim işlemleri sonucunda üretimi tamamlanan genleşme tankı alt ve üst kısımlarının görüntüsü verilmiştir.



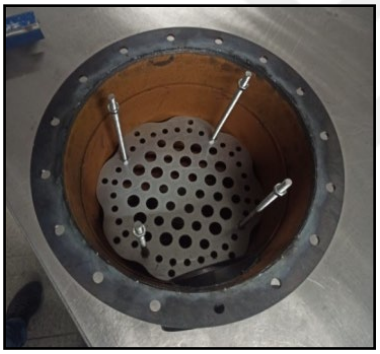
Resim 5.2. Lazer ve plazma kesim sonucu oluşan genleşme tankı (a) alt ve (b) üst kısımları

Resim 5.3'te büyük ve küçük flanş görüntüsü verilmiştir. Genleşme tankı montajında kullanılan flanşlar 4 mm siyah sac malzemeden lazer kesim yöntemiyle üretilmiştir. Siyah sac malzeme kullanılmasının sebebi, flanşların manşon ve genleşme tankına kaynak işlemi yapılırken tüm malzemelerin aynı ham maddeden üretilmesi ile daha uygun biçimde yapılabilecek olmasıdır.



Resim 5.3. İmalatı yapılmış (a) büyük ve (b) küçük flanşların görüntüsü

Resim 5.4'te genleşme tankı alt kısmına flanş montajı yapıldıktan sonraki görüntüsü verilmiştir. Montaj işlemlerinde kazan cidarı 1 mm ve flanşların cidarı ise 4 mm olduğu için TİG kaynağı kullanılmıştır.



Resim 5.4. Genleşme tankı alt kısmına flanşın monte edilmiş görüntüsü

Resim 5.5'te genleşme tankına flanşın TİG kaynağı görüntüsü verilmiştir. Genleşme tankının zarar görmemesi için flanş belirli noktalardan kaynakla sabitlenmiş ve daha sonra kazanın aşırı derecede ısınmamasına dikkat edilerek kaynak işlemi tamamlanmıştır.



Resim 5.5. Genleşme tankına flanşın TİG kaynağı

İstenilen ölçülerde özel bir flanş üretimi çok maliyetli olduğundan satın alma yolu ile temin edilen 100 mm'lik manşonun görüntüsü Resim 5.6'da verilmiştir. Hazır manşonun siyah çelik malzemeden üretilmiş olmasına dikkat edilmiştir. Manşonun iç yüzeyinde bulunan vida kanalları kaynağın düzgün yapılabilmesi için torna makinesinde düzeltilmiştir. Ayrıca manşon genleşme tankı kazanına ve flanş manşon üzerine kaynak yapılırken düzgün yerleştirilebilmesi amacıyla manşonun dış kısmı da torna makinesinde bir miktar inceltilmiştir.



Resim 5.6. 100 mm'lik hazır siyah manşon

Resim 5.7'de 10 mm pleksiglas malzemeden lazer kesim ile üretimi sağlanan gözetleme camının görüntüsü verilmiştir.



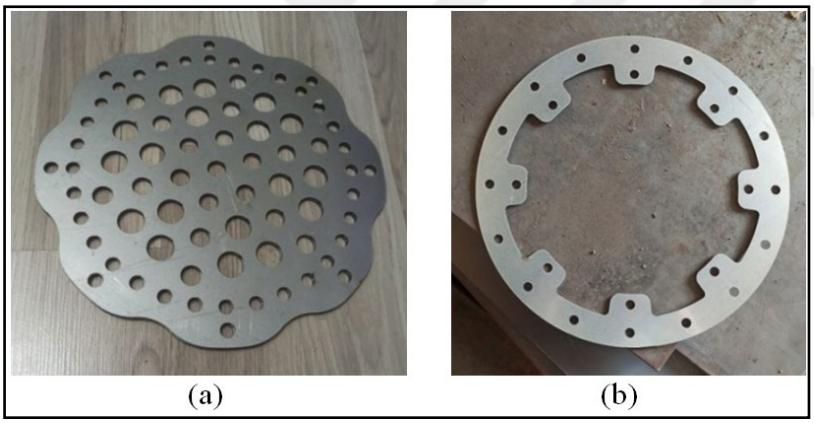
Resim 5.7. Pleksiglas gözetleme camı

Resim 5.8'de TİG kaynağı kullanılarak genleşme tankına monte edilen manşon ile sabit flanşların görüntüsü verilmiştir. Tüm kaynak işlemleri tamamlandıktan sonra cıvata-somun bağlantısı yapılan kapalı genleşme tankının görüntüsü verilmiştir.



Resim 5.8. Manşon ile sabit flanşların genleşme tankına monte edilmiş görüntüsü

Resim 5.9'da genleşme tankı içerisine yerleştirilecek kafes kapağı ve kafes kapağının genleşme tankına sabitlenmesi için kullanılacak kafes bağlantı parçası görülmektedir. Kafes kapakları ve kafes bağlantı parçası üretiminde 2 mm galvaniz sac kullanılmıştır.



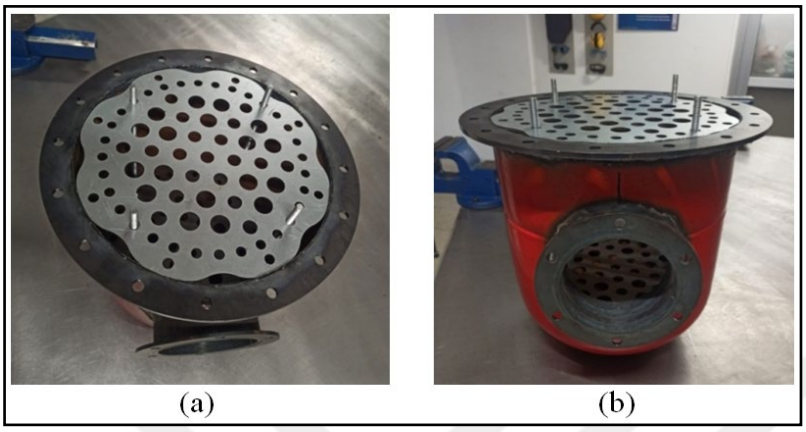
Resim 5.9. Genleşme tankı; (a) kafes kapağı ve (b) kafes bağlantı parçası

Resim 5.10'da genleşme tankı içerisine yerleştirilecek olan kafesin montajında kullanılan tijler, vidalar ve somunlar verilmiştir.



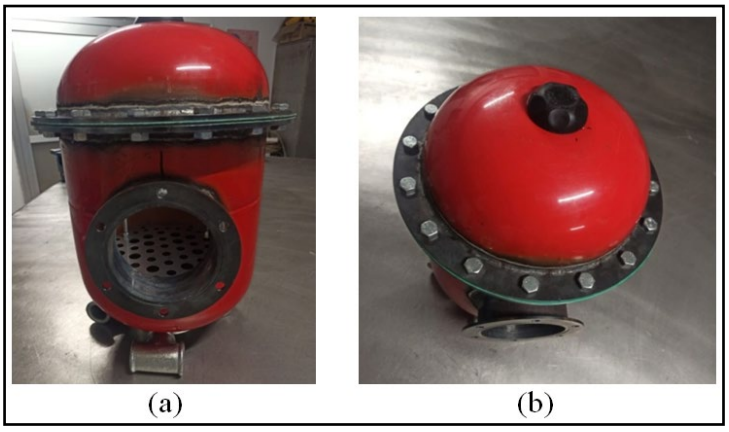
Resim 5.10. Kafes montajında kullanılan tijler, vidalar ve somunların görüntüsü

Resim 5.11'de genleşme tankına kafes sisteminin montajı sonrası üstten ve önden görüntüsü verilmiştir. Genleşme tankı içerisine konumlandırılmış alt ve üst kafes kapakları şekilde görülmektedir.



Resim 5.11. Montajı yapılan kafes kapaklarının (a) üstten ve (b) önden görüntüsü

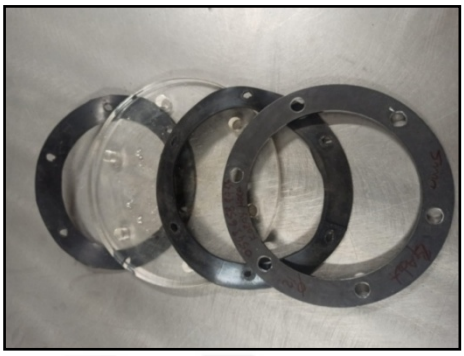
Resim 5.12'de genleşme tankının montajı tamamlandıktan sonraki şekli görülmektedir. Sistem tasarımı yapılırken vidalı montaj elemanları ile istenildiği zaman monte ve demonte edilebilecek şekilde tasarlanmış ve üretimi yapılmıştır. Alt ve üst kapak cıvataları sıkılmadan önce su sızdırmazlığının sağlanması için üretimi yapılan iki adet klingrit conta kafes montaj aparatı ile büyük flanşlar arasına yerleştirilmiştir.



Resim 5.12. Montajı yapılmış genleşme tankının (a) önden ve (b) üstten görüntüsü

Resim 5.13'te gözetleme camı, gözetleme camının montajında kullanılacak silikon contalar ve hareketli flanş görülmektedir. Silikon contaların görevi gözetleme camının sabit flanş ve hareketli flanş arasına yerleştirildikten sonra cıvata-somun bağlantısı ile sıkılırken

çatlamasını ve gözetleme camının bağlantı noktalarından su kaçaklarını önlemektir. Su kaçaklarının ve gözetleme camının zarar görmesinin engellenmesi için gözetleme camının altında ve üstünde olacak şekilde iki adet silikon conta kullanılmıştır.



Resim 5.13. Gözetleme camı, silikon contalar ve hareketli flanş

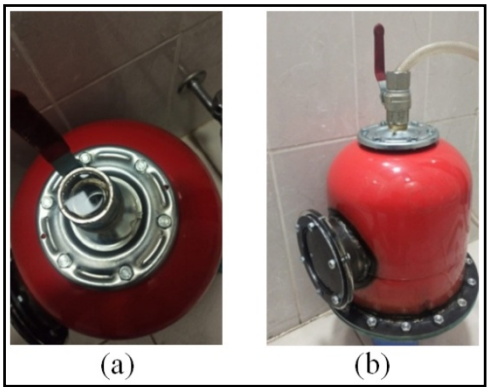
Resim 5.14'te gözetleme camı ve küresel vana montaj detayı verilmiştir. Şekildeki silikon üzerine hareketli flanş yerleştirildikten sonra şekilde görülen vida-somun bağlantıları sıkılarak gözetleme camının montaj işlemi tamamlanmıştır. Son olarak, genleşme tankı su giriş-çıkışına küresel vana takılarak sızdırmazlık testi için hazır hale getirilmiştir.



Resim 5.14. Gözetleme camı ve küresel vana montaj detayı

5.2.1. Sistemin sızdırmazlık ve basınç testi

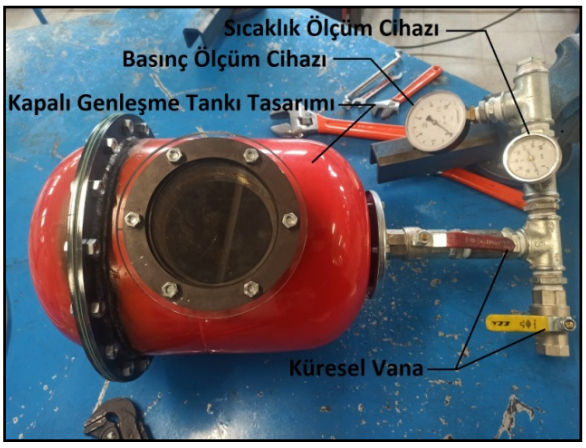
Tüm kaynak işlemleri tamamlandıktan sonra sistem bileşenlerinin montajı yapılarak kapalı genleşme tankı Resim 5.15'te görüldüğü gibi sızdırmazlık ve basınç testine hazır hale getirilmiştir. Sisteme 10 bar basınçta su doldurulmuştur. Su basıncında herhangi bir azalma olmamış ve sistemin kaynaklı-vidalı bağlantı yerlerinde terleme ve/veya su sızıntısı olmadığı gözlemlenmiştir.



Resim 5.15. (a) ve (b) genleşme tankı sızdırmazlık ve basınç testi

5.2.2. Kapalı genleşme tankı deney düzeneğine ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi

Resim 5.16'da genleşme tankı tasarımı deney düzeneği ve üzerinde ölçümlerin yapılacağı cihazların bağlantısı görülmektedir. Bu aşamada, kapalı genleşme tankı tasarımının su giriş-çıkışına basınç değerlerinin ölçülebilmesi amacıyla 10 Bar manometre ve benzer noktadan sıcaklık değerlerinin kontrolü için 160 °C termometre bağlanmıştır. Sisteme su eklenip boşaltılacak tesisat borularına iki adet küresel vana eklenmiştir. Tüm bu işlemlerin tamamlanması sonucunda genleşme tankı tasarımı soğuk ve sıcak su deneyleri için hazır hale getirilmiştir.



Resim 5.16. Kapalı genleşme tankı deney düzeneği ve ölçüm cihazları

5.3. Sıcak ve Soğuk Su Deneylerinde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Çizelge 5.2'de soğuk ve sıcak su basınç deneylerinde kullanılan CAS BI-100D elektronik kantarın özellikleri verilmiştir. Elektronik kantar, genleşme tankı içerisine membranların

yerleştirilmesiyle azalan ve sisteme su girişi olduğu durumlarda artan ağırlığı göstermek amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. CAS BI-100D elektronik kantar özellikleri

Gösterge	VFD (5 Hane)
Güç kaynağı türü	Elektrikle ya da pille çalıştırma
Güç kaynağı özellikleri	DC 12V–850 A adaptör
Şarj süresi	4 saat
Pil özellikleri	1,5 V x 6 adet pil (orta boy)
Şarjlı pil çalışma süresi	100 saat
Pil çalışma süresi	300 saat
Çalışma Sıcaklığı	-10 °C ile +40 °C arası
Minimum ağırlık ölçümü	4 kg
Minimum ağırlık ölçümü	600 kg
Taksimat	200 g

Çizelge 5.3'te su test pompasının özellikleri verilmiştir. Bu cihaz genleşme tankına su basmak için kullanılmakta ve sisteme fazladan su basıldığında sistemin basıncı artmaktadır. Su test pompaları; su tesisatı, sıhhi tesisat, basınçlı hava ve soğutma sistemleri, petrol tesisleri, yangın söndürme hatları, küçük kalibreli boru hatları ve güneş enerjili sistemler vb. tesisatların basınç ve sızdırmazlık testi için kullanılmaktadır. Su test pompası, genleşme tankının istenilen basınç değerine yükseltilmesi ve membranların basınç altında şekil değişiminin gözlemlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. Su test pompası özellikleri

Test basıncı (Min-Max)	0–60 Bar
Çalışma sıcaklığı	0–50 °C
Test ortamı	Glikol/Su karışımları, içme suyu
Pompa gücü	45 ml/Hub
Pil özellikleri	1,5 V x 6 adet pil (orta boy)
Net ağırlık	7,215 kg

Deneysel çalışmalarda, ısıtma suyu gidiş sıcaklığının ölçülmesi amacıyla 16 kanallı Elimko E-680 model sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çizelge 5.4'te Elimko E-680 Serisi üniversal girişli-gelişmiş tarayıcı cihazın teknik özellikleri detaylı şekilde görülmektedir [113].

Çizelge 5.4. Elimko E-680 sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri [113]

Doğruluk Sınıfı	0.5
Gösterge Ayırımı	1/9999
Gösterge	9 Digit LED (14 mm)
A/S Çevirim	16 bit
S/A Çevirim	12 bit
Giriş Seçme Aralığı	0.2–9.9 Saniye / Kanal
Gösterge Tarama Aralığı	1–99 Saniye / Kanal
Çalışma Ortam Sıcaklığı	-10 ÷ 55°C
T/C Ortam Sıc. Kom.	0–50°C
Kontak Formları	Alt (LO) veya üst (HI)
Sabit Band	0–9999 EU*
Çalışma Gerilimi	85–265 V AC 85–375 V DC 20–60 V AC 20–85 V DC
Güç Sarfı Max.	10 VA
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250 V AC 5 amp
Giriş işareti	T/C, R/T, mA, mV, V
Ölçü Elemanı	Termokupl Rezistans termometre Diğerleri = Standart ve özel çıkışlı transmitter ve çeviriciler
Bellek	EEPROM max. 105 yazma
Ağırlık	650 gr

Gaz yakıcı cihazın ısıtma tesisatı gidiş suyu borusuna sıcaklık ölçümü için Elimko E-680 sıcaklık ölçüm cihazı ile uyumlu olarak çalışan K tipi termokupl bağlanmıştır. Ayrıca, ortam sıcaklığının ölçülebilmesi amacıyla bir adet K tipi termokupl daha kullanılmıştır. Resim 5.17'de Elimko E-680 sıcaklık ölçüm cihazı ve ortam sıcaklığının ölçümü için kullanılan K tipi termokupl verilmiştir.



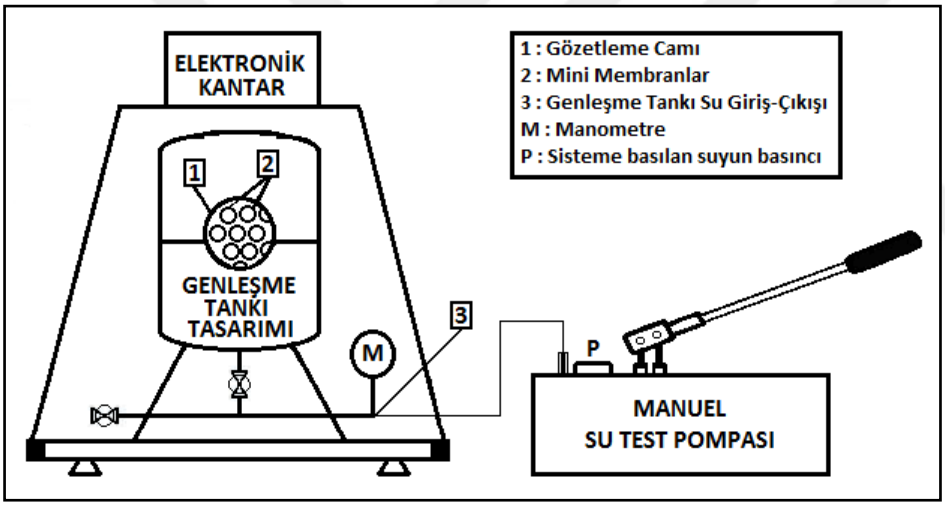
Resim 17. Elimko E-680 sıcaklık ölçüm cihazı ve K tipi termokupl

5.4. Deney Düzenekleri

Tasarımı ve imalatı tamamlanan kapalı genleşme tankı tasarımı üzerinde deneysel çalışmaların yapılabilmesi için iki farklı deney düzeneği kurulmuştur. Soğuk ve sıcak su basınç deneylerinin yapılacağı bu sistemler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

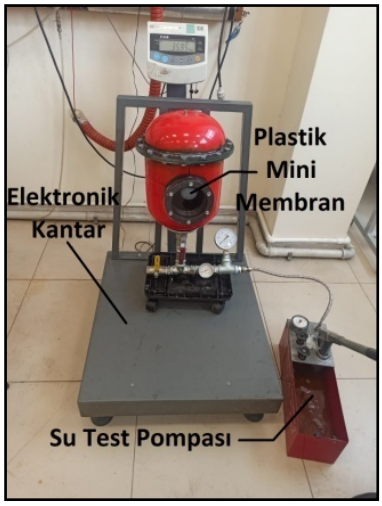
5.4.1. Soğuk su deney düzeneği

Tasarımı ve imalatı yapılan soğuk su deney düzeneği Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'na kurulmuştur. Şekil 5.16'da soğuk su deney düzeneğinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 5.16. Soğuk su deney düzeneğinin şematik görünümü

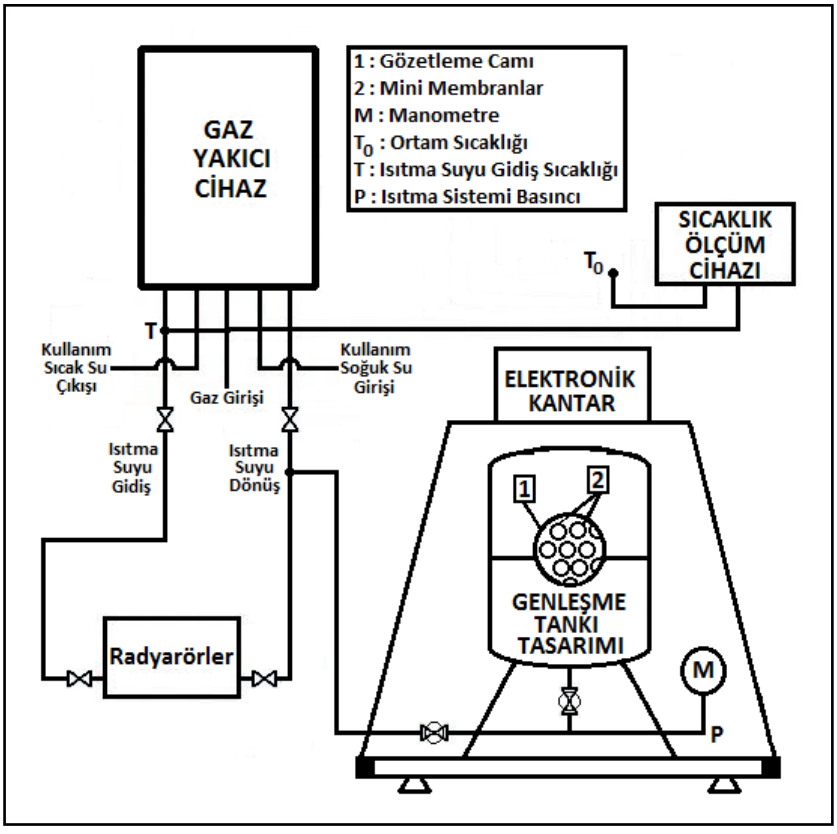
Resim 5.18'de genleşme tankı soğuk su basınç testi için kullanılacak olan elektronik kantar ve su test pompasının genleşme tankına bağlanmış hali görülmektedir. Soğuk su deney düzeneğinde içerisine farklı sayılarda mini membranlar yerleştirilen genleşme tankının yüksek basınç değerlerinde çalışması incelenmiştir. Ayrıca yüksek basınca maruz kalan membranların sağlamlığı ve şekil değişimleri gözlemlenmiştir. Genleşme tankı içerisine giren suyun ağırlığının ölçülebilmesi için elektronik kantar üzerine yerleştirilmiş ve genleşme tankı su giriş-çıkış borusuna su test pompası bağlanmıştır. Genleşme tankına manuel su test pompası ile su basılarak basınç değeri arttırılmıştır. Maksimum basınç değerine ulaşıldıktan sonra tesisat borularına bağlı olan vana açılarak su boşaltılmış ve bu esnada membranların şekil değişimi gözlemlenmiştir.



Resim 5.18. Soğuk su deney düzeneği

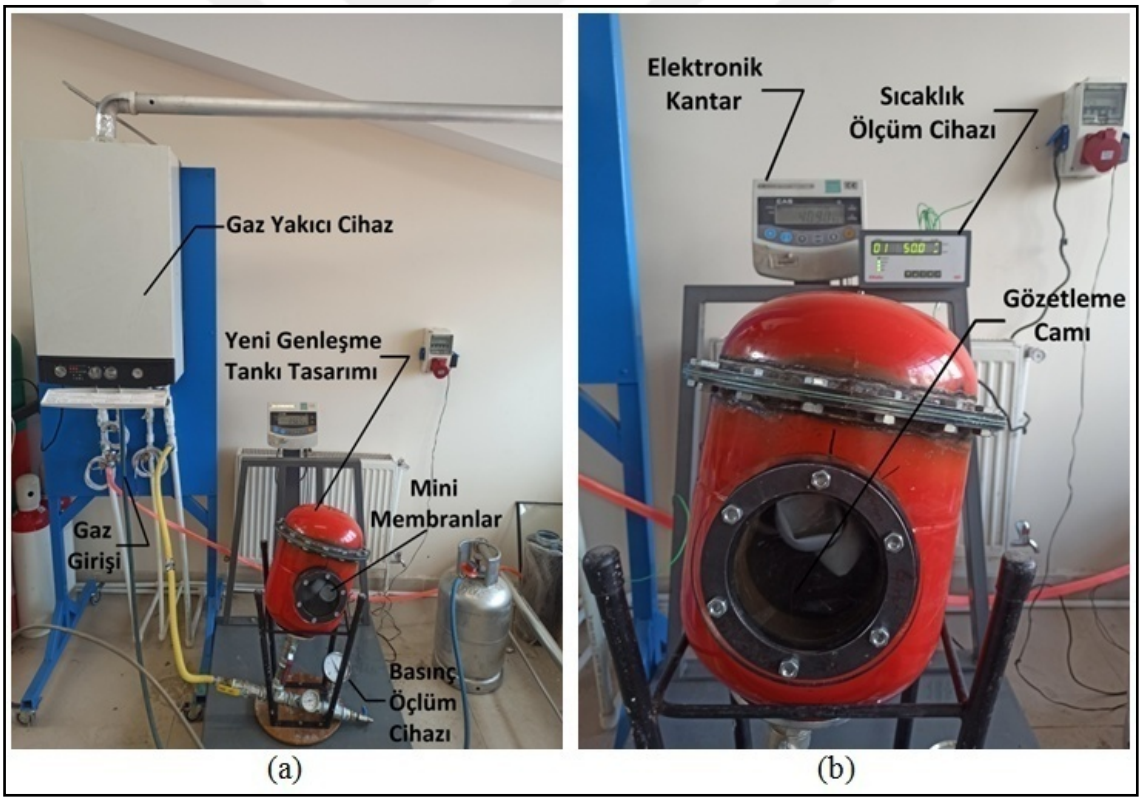
5.4.2. Sıcak su deney düzeneği

Tasarımı ve imalatı yapılan sıcak su deney düzeneği Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Yanma Laboratuvarı'na kurulmuştur. Şekil 5.17'de sıcak su deney düzeneğinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 5.17. Sıcak su deney düzeneğinin şematik görünümü

Resim 5.19'da deneylerde kullanılan kapalı genleşme tankı tasarımının gaz yakıcı cihaza bağlantısı ve deneylerde kullanılacak ölçüm cihazlarının sisteme bağlantısının yapıldığı sıcak su deney düzeneğinin görüntüsü verilmiştir. Isıtma sisteminde 24 kW gücünde gaz yakıcı cihaz kullanılmıştır. Gaz yakıcı cihaz laboratuvarda bulunan tesisat boruları ve radyatörlere bağlıdır. Genleşme tankı, ağırlığının ölçülebilmesi için elektronik kantar üzerine yerleştirilmiştir. Gaz yakıcı cihazdan radyatörlere giden suyun çıkış sıcaklığı, ısıtma tesisatı gidiş borusuna bağlanan termokupl ve sıcaklık ölçüm cihazı vasıtasıyla ölçülecektir. Sistemin basıncı, genleşme tankı su-giriş çıkışına bağlantısı yapılan basınç manometre ile belirlenecektir. Gözetleme camı kullanılarak sistem içerisinde bulunan membranların basınç altında şekil değişimleri gözlemlenecektir. Sıcak su deney düzeneğinde, içerisine farklı sayılarda membranlar yerleştirilen genleşme tankının ısıtma sisteminin çalışması esnasında oluşan basınç değerlerinde çalışması incelenecektir.



Resim 5.19. (a) ve (b) sıcak su deney düzeneği ile kullanılan ölçüm cihazları

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde kapalı genleşme tankı tasarımından elde edilebilecek parametrelere yer verilmiştir. Genleşme tankının sistem gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde çalışabilmesi için içerisine yerleştirilmesi gereken membran sayısı hesaplanmıştır. Bu işlemlerin hızlı bir şekilde farklı sistemler için yapılabilmesi için bir hesaplama programı hazırlanmıştır.

Hesaplamaların yapılabilmesi için bazı verilerin hesaplama programına girilmesi gerekmektedir. Bu parametler; evin kullanım alanı (m^2), tavan yüksekliği (m), metreküp başına düşen ısı kaybı (kcal/h.m^3), oda sıcaklığı (°C) gibi girdileridir. Ayrıca; genleşme tankı hacmi (lt), panel radyatör yüksekliği (mm), PPRC boru çapı (mm) ve uzunluğu (m), panel radyatörün verdiği ısı miktarı (watt/m), suyun genleşme katsayısı (1/°C), panel radyatörün ısıl gücü (kcal/h) ve 1 kW panelin bulundurduğu su hacmi (lt), ısıtma suyu gidiş sıcaklığı (°C), ısıtma suyu dönüş sıcaklığı (°C) ve sıcaklık farkı (°C) gibi ısıtma sistemine ait girdilerdir. Tüm bu veriler girildikten sonra; sistemde kullanılacak mini membran yarı çapı (cm), membranın deneyin başlangıcı ve sonundaki hacmi (cm^3) olarak belirlenen girdi değerleri girildikten sonra hesaplamalar otomatik olarak yapılmakta ve sistem tasarımında kullanılması gereken parametreler otomatik olarak hesaplanmaktadır. Yeni genleşme tankı tasarımına özgü hazırlanan bu program kullanılarak farklı özelliklerdeki ısıtma sitemleri için gerekli membran sayısı hesaplanabilmektedir. Program tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda; evin hacmi (m^3), panel radyatörlerdeki suyun hacmi (lt), tesisat borularındaki suyun hacmi (lt), sistemdeki suyun toplam hacmi (lt), ısı kaybı (kcal/h), suyun hacmindeki artış (lt), membranların hacim değişimi (cm^3), ihtiyaç duyulan panel uzunluğu (m), panellerin ısıl gücü (kcal/h) ve sistemde oluşacak basıncın dengelenmesi için gerekli olan membran sayısı program tarafından hesaplanmaktadır.

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yanma Laboratuvarı'nda bulunan ısıtma sisteminde; 24 kW gücünde gaz yakıcı cihaz, 2 adet 600x1000 radyatör, 2 adet 600x2000 radyatör, 26 metre 25'lik PPRC boru kullanılmıştır. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen kapalı genleşme tankı ısıtma sistemine bağlanmıştır. Oda sıcaklığı 22 °C, ısıtma tesisatı gidiş suyu sıcaklığı 90 °C ve ısıtmatesisatı dönüş suyu sıcaklığı 20 °C olarak belirlenmiştir. Metreküp başına düşen ısı iletim hızı 45 kcal/h.m^3, suyun genleşme katsayısı 0,00021/°C,

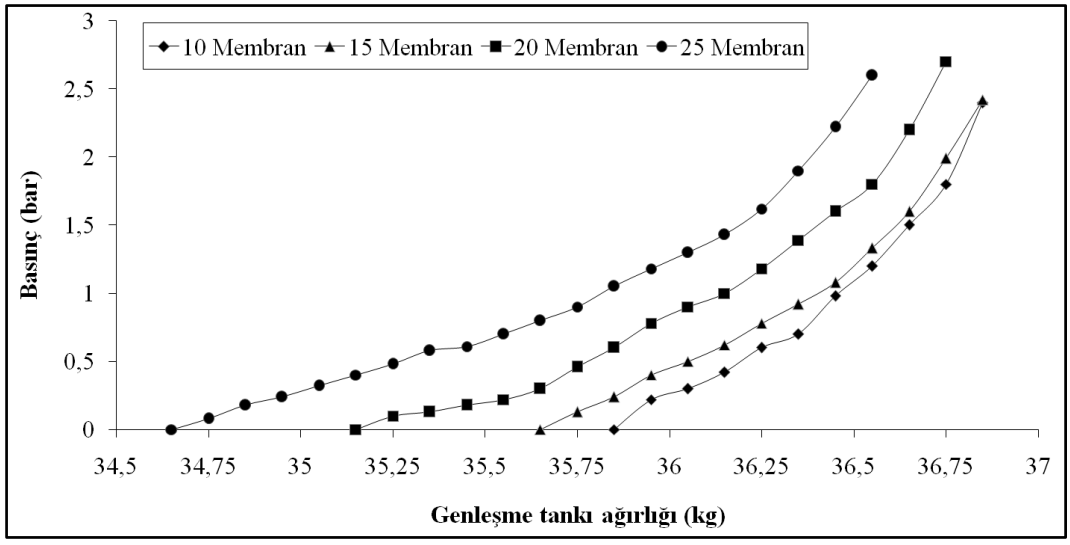
panel ısıl gücü 2200 kcal/h ve 1 kW panelin içerisindeki suyun hacmi 8,5 lt olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda panel radyatörlerde 152,03 litre hacminde su bulunduğu belirlenmiştir. Borularda bulunan suyun toplam hacmi ise 12,76 litre hesaplanmıştır. Genleşme tankı hacmide hesaba katıldığında ısıtma sistemi içerisinde bulunan toplam suyun hacmi 188,08 litre olarak hesaplanmıştır. Sistemde 3 cm yarı çapı değerine sahip mini membranlar kullanılacağından sistemin çalışması için gerekli membran sayısı buna göre hesaplanmıştır. Hazırlanan program tarafından yapılan hesaplama sonucunda kapalı genleşme tankında, ısıtma sisteminde meydana gelen genleşmeyi dengeleyebilmek için 35 adet mini membrana ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir.

6.1. Deneysel Çalışma

Bu bölümde, ilk olarak tasarımı ve imalatı yapılan kapalı genleşme tankına manuel su test pompası bağlanarak soğuk su basınç deneyleri ve sistemin yüksek basınç değerleri altında çalışması test edilmiştir. Daha sonra kapalı genleşme tankının ısıtma sistemi tesisatına bağlanıp sıcak su deneyleri yapılarak elde edilen ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir.

6.1.1. Soğuk su ile basınçlandırılan sistem

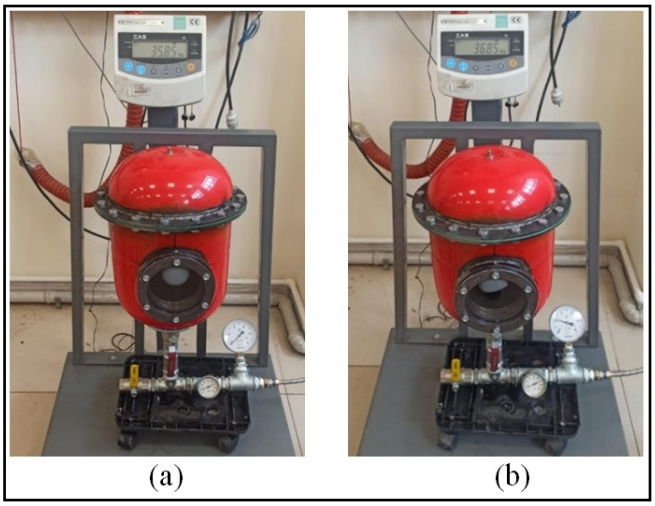
Şekil 6.1'de içerisine farklı sayılarda membran yerleştirildikten sonra manuel su test pompası ile soğuk su eklenerek ağırlığı ve basıncı değiştirilen genleşme tankının ölçüm sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.1. Farklı membran sayıları için genleşme tankı ağırlığı ve basıncındaki değişim

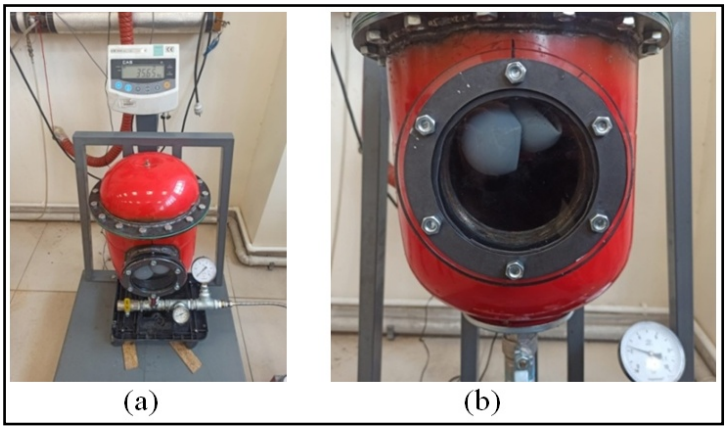
Deneyler 10, 15, 20 ve 25 adet membran kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde başlangıçta basınç 0 bar değerindeyken genleşme tankı ve içerisinde bulunan suyun ağırlığı; 10 membranlı sistemde 35,85 kg, 15 membranlı sistemde 35,65 kg, 20 membranlı sistemde 35,15 kg ve 25 membranlı sistemde 34,95 kg olarak ölçülmüştür. Manuel su test pompası kullanılarak sisteme 0,1 kg aralıklarla su eklenerek basınç değişimi gözlemlenmiştir. Genleşme tankına membranların hacmi küçülene kadar su eklenmiştir. Genleşme tankı içerisindeki membran sayısı; 10 adet iken basınç 2,4 bar olduğunda sistemin toplam ağırlığı 36,85 kg, 15 adet iken basınç 2,42 bar olduğunda sistemin toplam ağırlığı 36,85 kg, 20 adet iken basınç 2,7 bar olduğunda sistemin toplam ağırlığı 36,75 kg ve 25 adet iken basınç 2,6 bar olduğunda sistemin toplam ağırlığı 36,55 kg olarak ölçülmüştür. Sistem tarafından absorbe edilebilen maksimum su miktarı; 10 membran kullanılarak 1 kg, 15 membran kullanılarak 1,2 kg, 20 membran kullanılarak 1,6 kg ve 25 membran kullanılarak 1,9 kg değerine kadar ulaşmıştır. Deney süresince membranların şekil değişimi incelenmiş ve basınç tekrar 0 bar değerine düşürülerek deney tamamlanmıştır. Basınç değeri 0 bar iken membranlarda şekil değişimi gözlemlenmezken, tankın absorbe ettiği su ve basıncı arttıkça membranların hacminin küçüldüğü gözlemlenmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra sistem basıncı tekrar 0 bar değerine kadar düşürüldüğünde membranlar başlangıçtaki şekline dönmüştür.

Resim 6.1'de basınç 0 bar ve 2,4 bar iken 10 mebranlı sistemin görüntüsü verilmiştir.



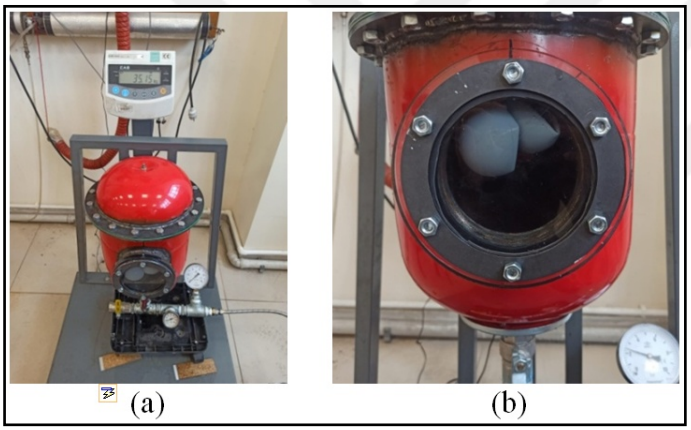
Resim 6.1. Basınç (a) 0 bar ve (b) 2,4 bar iken 10 membranlı sistemin görüntüsü

Resim 6.2'de basınç 0 bar ve 2,42 bar iken 15 membranlı sistemin görüntüsü verilmiştir.



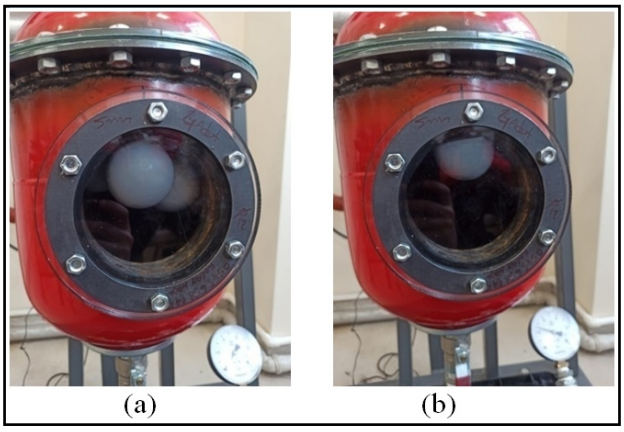
Resim 6.2. Basınç değeri (a) 0 bar ve (b) 2,4 bar iken 15 membranlı sistemin görüntüsü

Resim 6.3'te basınç 0 bar ve 2,7 bar iken 20 membranlı sistemin görüntüsü verilmiştir.



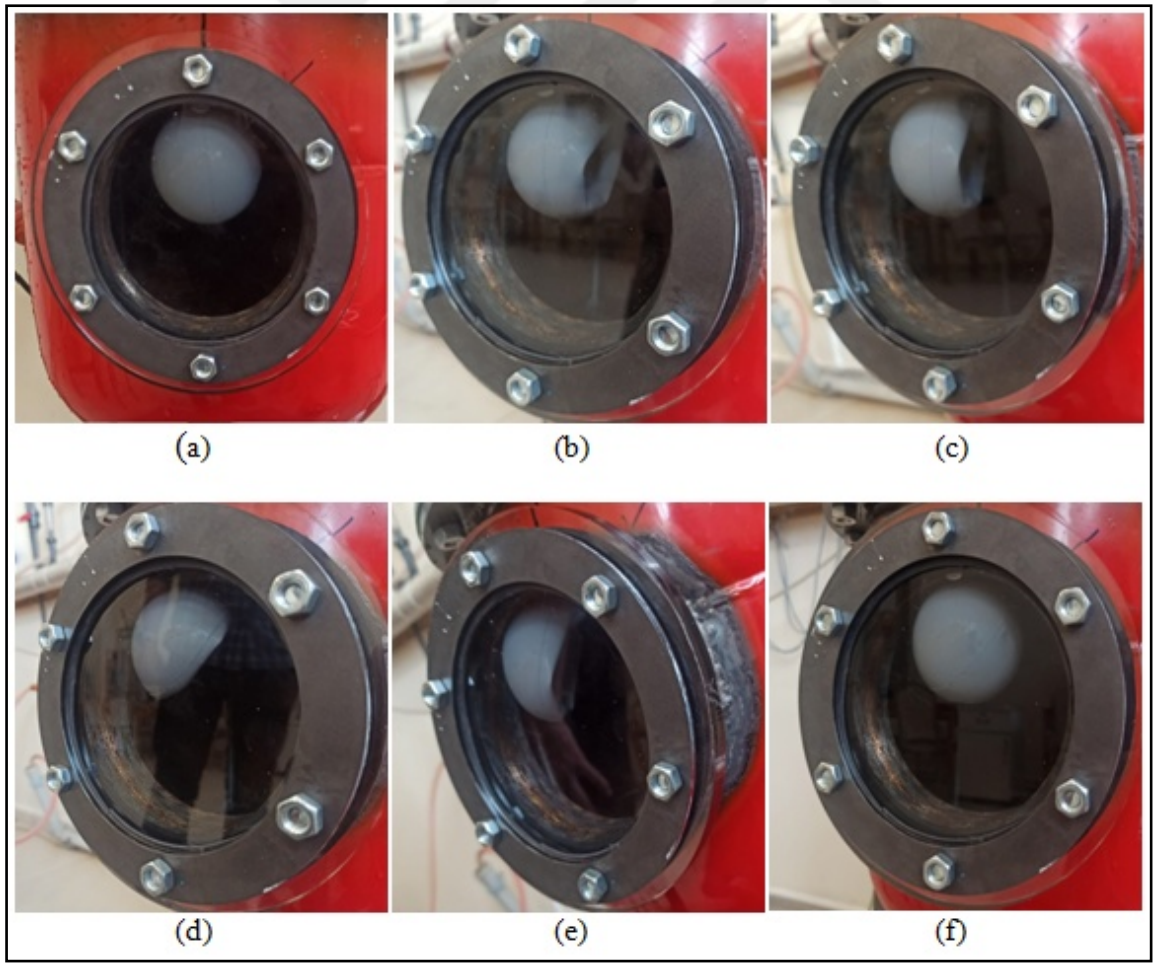
Resim 6.3. Basınç değeri (a) 0 bar ve (b) 2,7 bar iken 20 membranlı sistemin görüntüsü

Resim 6.4'te basınç 0 bar ve 2,6 bar iken 25 membranlı sistemin görüntüsü verilmiştir.



Resim 6.4. Basınç değeri (a) 0 bar ve (b) 2,6 bar iken 25 membranlı sistemin görüntüsü

Resim 6.5'te genleşme tankı içerisine çok sayıda membran yerleştirilmesi ve sistem basıncının manuel su test pompası kullanılarak değiştirilmesi sonucunda membranın hacmindeki değişim görülmektedir. Resim 6.5 (a)'da sistemde basınç yoktur ve sistem dengededir. Resim 6.5 (b)'de sistemin basıncı artırılmaya başlanmış ve tüm membranların hacmi şekilde görüldüğü gibi küçülmüştür. Resim 6.5 (c) ve Resim 6.5 (d)'de görüldüğü gibi membranların hacmi artan basınçla biraz daha küçülmüştür. Resim 6.5 (e)'de membranların hacmi cidarları neredeyse birbirine temas edecek kadar küçülmüştür. Böylece, mini membranlar kullanılarak sistemin basınç dengesi sağlanmıştır. Resim 6.5 (e)'den sonra mebranlar fazla sıkışamayacağı için basınç çok hızlı şekilde artmaya başlamış ve bu nedenle sisteme daha fazla su eklenmemiştir. Resim 6.5 (f)'de görüldüğü gibi basınç değeri başlangıçtaki değerine düşürüldüğünde membranlar deneyin başlangıcındaki şekillerine dönmüştür. Bu deneyler sonucunda membranlarda kalıcı bir şekil değişimi tespit edilmemiş ve membranların esnekliklerini koruduğu görülmüştür.

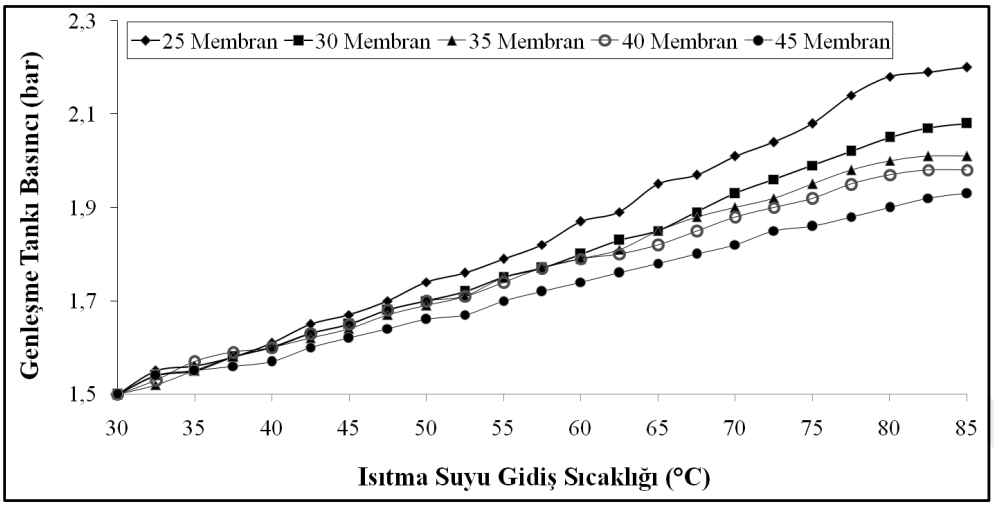


Resim 6.5. Genleşme tankı içerisindeki membranların basınca göre şekil değişimi

6.1.2. Sıcak su ile basınçlandırılan sistem

Bu bölümde ısıtma tesisatına bağlanan ve sistemde meydana gelen sıcaklık artışı sonucunda basınç değeri değişen yeni bir kapalı genleşme tankı tasarımı içerisine farklı sayılarda mini membran yerleştirilerek sistemin çalışması test edilmiştir.

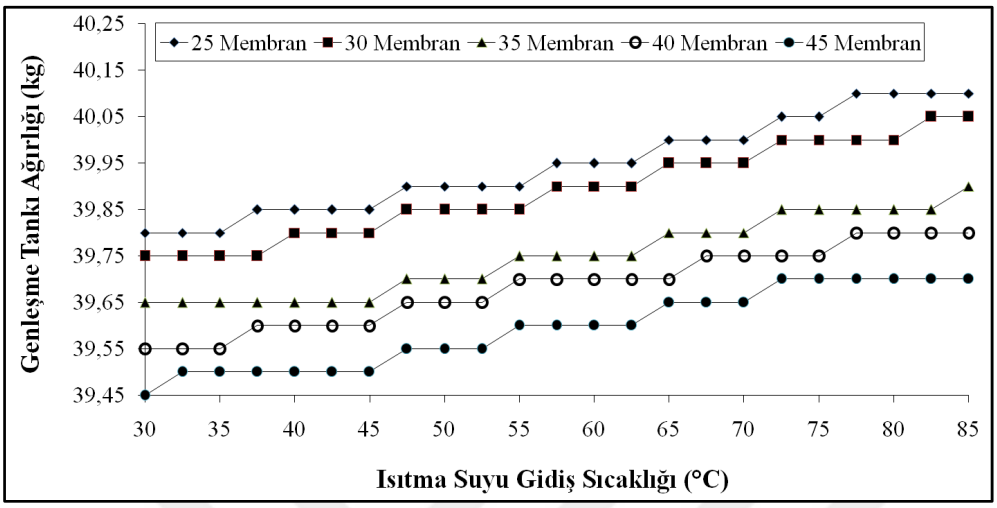
Şekil 6.2'de kombi genleşme tankı pasif durumdayken ısıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak kapalı genleşme tankı tasarımında ölçülen basınç değerleri görülmektedir.



Şekil 6.2. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak ölçülen genleşme tankı basıncı

Deneyler 30 °C ile 85 °C ısıtma suyu sıcaklıkları arasında 5 °C'lik değişimlere göre 25, 30, 35, 40 ve 45 adet membran için yapılmıştır. Farklı sayıda membran ile yapılan deneylerde sistemin başlangıç basıncı 1,5 bar değerine ayarlanmıştır. Daha sonra gaz yakıcı cihazın kalorifer suyu ayar düğmesi en yüksek kademeye getirilip sıcaklığının maksimum değere çıkması beklenmiştir. Daha sonra kalorifer suyu ayar düğmesi en düşük kademeye getirilip sıcaklığının 30 °C olan minimum değere düşmesi beklenmiştir. Bu aralıkta değişim olurken sistemin basıncı ve bu basınç değerinde sistemin ağırlığı 5 °C aralıklarla ölçülmüştür. Kalorifer suyu sıcaklığı 85 °C değerine ulaştığında; en yüksek basınç değeri 25 membran olan sistemde 2,20 bar, en düşük basınç değeri 45 membran olan sistemde 1,93 bar olarak tespit edilmiştir. Basınç değerlerinin 85 °C sıcaklıkta; 40 membran kullanımında 1,98 bar, 35 membran kullanımında 2,01 bar ve 30 membran kullanımında ise 2,08 bar olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerde membran sayısı arttıkça sistem basıncının düştüğü gözlemlenmiştir.

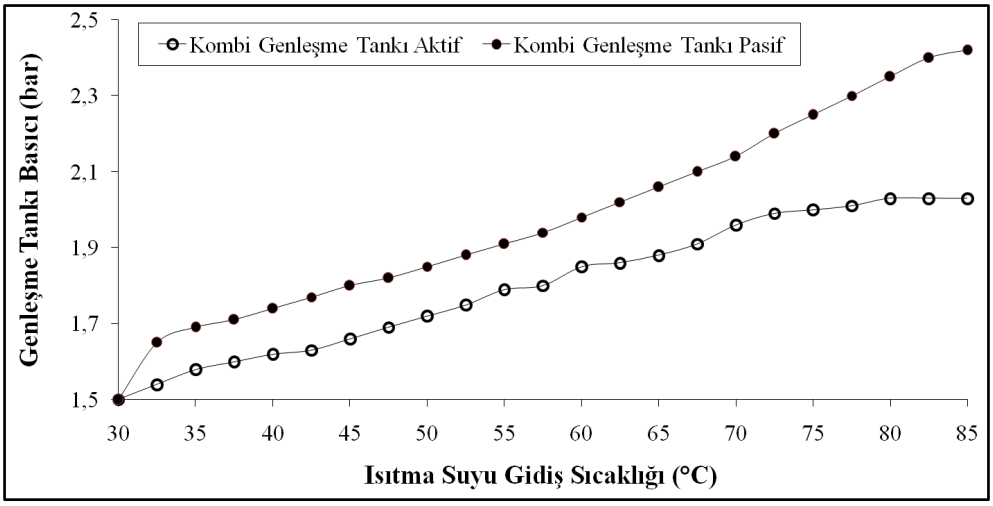
Şekil 6.3'te ısıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak genleşme tankı ağırlığında meydana gelen değişim görülmektedir.



Şekil 6.3. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak genleşme tankı tasarımı ağırlığı

Deneyler 30 °C ile 85 °C ısıtma suyu sıcaklıkları arasında 5 °C'lik değişimlere göre 25, 30, 35, 40 ve 45 adet membran için yapılmıştır. Sistem başlangıçta 1,5 bar değerine ayarlanmış ve sıcaklık 30 °C iken en düşük genleşme tankı ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra gaz yakıcı cihazın kalorifer suyu ayar düğmesi en yüksek kademeye getirilip ısıtma suyu sıcaklığının maksimum değere çıkması beklenmiştir. Maksimum sıcaklık değeri 85 °C olarak ölçülmüş olup, suyun genleşmesine bağlı olarak maksimum genleşme tankı ağırlığı bu sıcaklık değerinde ölçülmüştür. Daha sonra kalorifer suyu ayar düğmesi en düşük kademeye getirilip ısıtma suyu sıcaklığının 30 °C olan minimum değere düşmesi beklenmiştir. Bu aralıkta değişim olurken sistemin ağırlığı 5 °C aralıklarla ölülmüştür. Isıtma suyu sıcaklığı 85 °C değerine ulaştığında; en yüksek ağırlık değeri 25 membran olan sistemde 40,1 kg, en düşük ağırlık değeri 45 membran olan sistemde 39,7 kg olarak ölçülmüştür. Ağırlık değerlerinin 85 °C sıcaklıkta; 40 membran kullanımında 39,8 kg, 35 membran kullanımında 39,9 kg ve 30 membran kullanımında ise 40,05 kg olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmada, membran sayısı arttıkça genleşme tankı içerisinde absorbe edilen su miktarının azaldığı ve genleşme tankının ağırlığının düştüğü tespit edilmiştir.

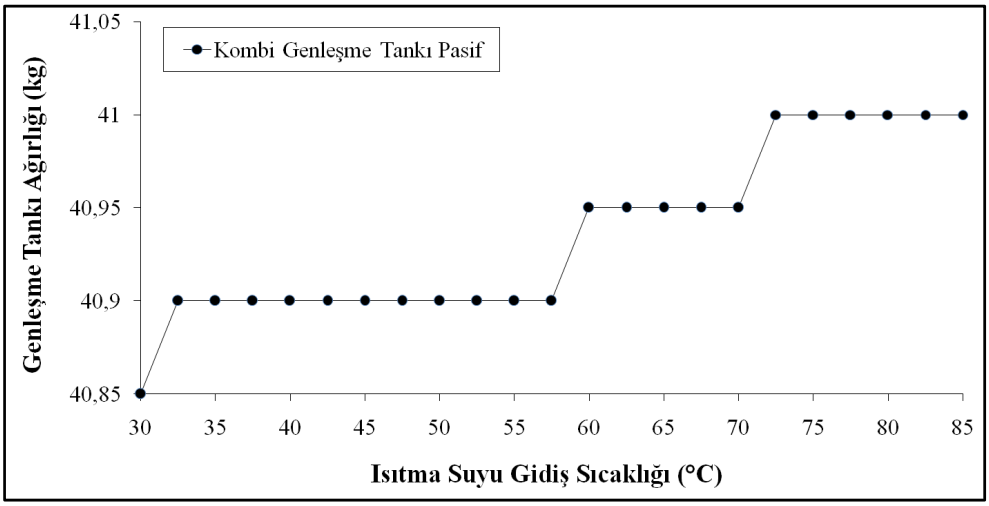
Şekil 6.4'te ısıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak kombi genleşme tankının aktif ve pasif olduğu durumlarda ölçülen basınç değerleri görülmektedir.



Şekil 6.4. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına göre aktif ve pasif kombi genleşme tankının basıncı

Deneyler ısıtma suyu sıcaklıkları arasında 5 °C lik değişimlere göre genleşme tankının aktif ve pasif olduğu durumlar için yapılmıştır. Sistemin başlangıç basıncı 1,5 bar değerine ayarlanmıştır. Daha sonra gaz yakıcı cihazın kalorifer suyu ayar düğmesi en yüksek kademeye getirilip ısıtma suyu sıcaklığının maksimum değere çıkması beklenmiştir. Daha sonra kalorifer suyu ayar düğmesi en düşük kademeye getirilip ısıtma suyu sıcaklığının 30 °C olan minimum değere düşmesi beklenmiştir. Isıtma suyu sıcaklığı 85 °C değerine ulaştığında; genleşme tankı aktif iken maksimum basınç 2,05 bar, genleşme tankı pasif iken 2,44 bar olmuştur.

Şekil 6.5'te kombi genleşme tankının pasif olduğu durumda ısıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak genleşme tankı ağırlığında meydana gelen değişim verilmiştir.



Şekil 6.5. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına bağlı olarak pasif genleşme tankı ağırlığı

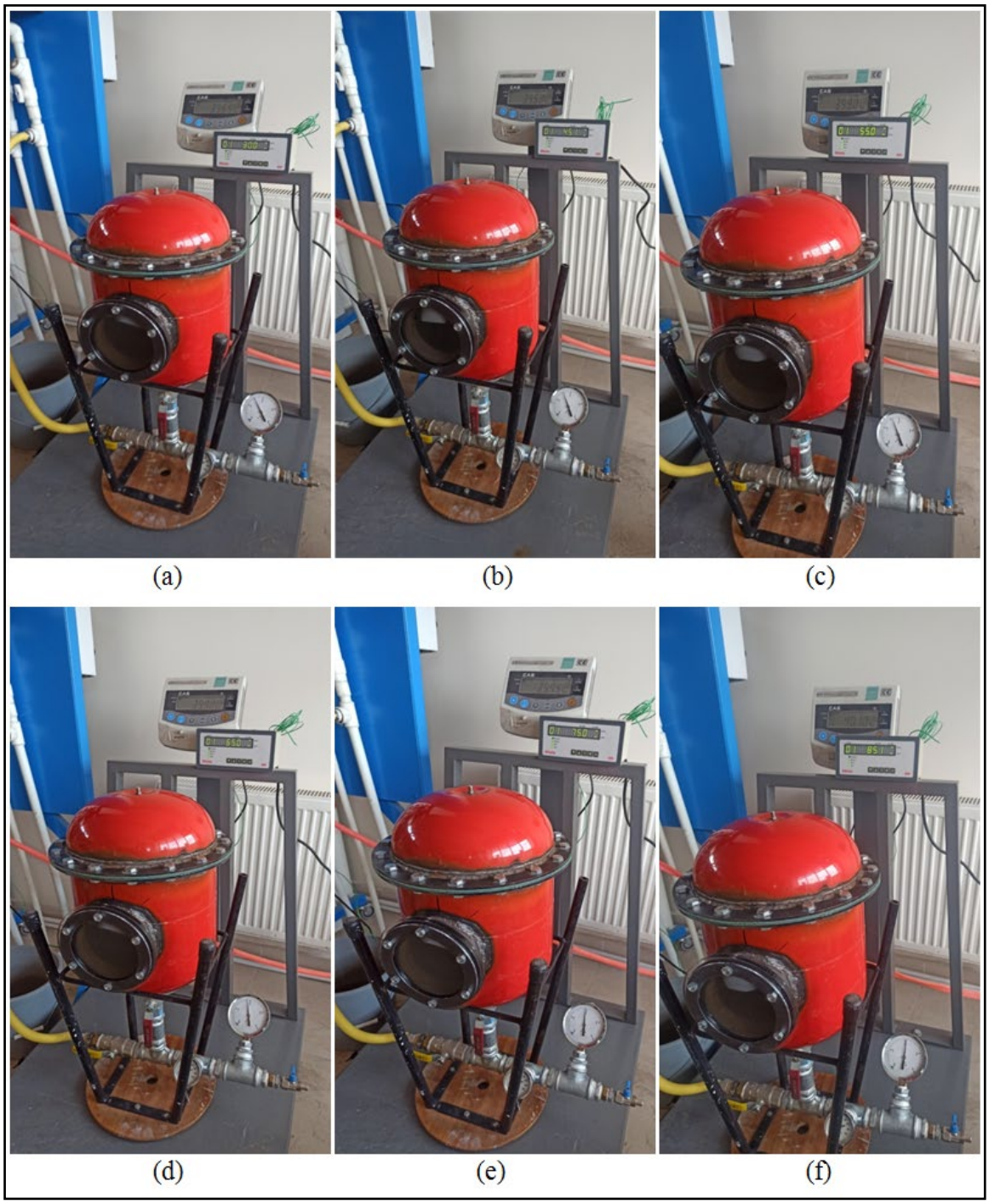
Deneyler 30 °C ile 85 °C ısıtma suyu sıcaklıkları arasında 5 °C lik değişimlere göre genleşme tankı tasarımı içerisinde hiç membran bulunmadığı durumda yapılmıştır. Sistem başlangıçta 1,5 bar değerine ayarlanmış ve sıcaklık 30 °C iken en düşük genleşme tankı ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra gaz yakıcı cihazın kalorifer suyu ayar düğmesi en yüksek kademeye getirilip ısıtma suyu sıcaklığının maksimum değere çıkması beklenmiştir. Isıtma suyu sıcaklığı maksimum değere ulaştığında kalorifer suyu ayar düğmesi en düşük kademeye getirilip ısıtma suyu sıcaklığının 30 °C olan minimum değere düşmesi beklenmiştir. Bu aralıkta değişim olurken sistemin ağırlığı 5 °C aralıklarla ölçülmüştür. Isıtma suyu sıcaklığı, 85 °C değerine yükseldiğinde en yüksek ağırlık değeri 41 kg ve 30 °C değerine düştüğünde en düşük ağırlık değeri 40,85 kg olarak ölçülmüştür. Membran bulundurmayan genleşme tankı içerisinde absorbe edilen su miktarının 0,15 kg olduğu tespit edilmiştir.

Resim 6.6'da farklı sayılarda membranlar ile yapılan deneyler tamamlandıktan sonra genleşme tankı içerisindeki membranların değişimi için hazırlanan genleşme tankının görüntüsü ve 1,5 bar değerinde ölçülen manometre görüntüsü verilmiştir. İlk olarak genleşme tankı basıncı su tahliye musluğu kullanılarak 0 bar değerine düşürülmştür. Genleşme tankı gözetleme camı, zemine paralel olacak şekilde yerleştirildikten sonra çıkartılarak istenilen sayıda membran sisteme yerleştirilerek deneylere hazırlanmıştır.



Resim 6.6. Genleşme tankının membran değişimi için hazırlanması

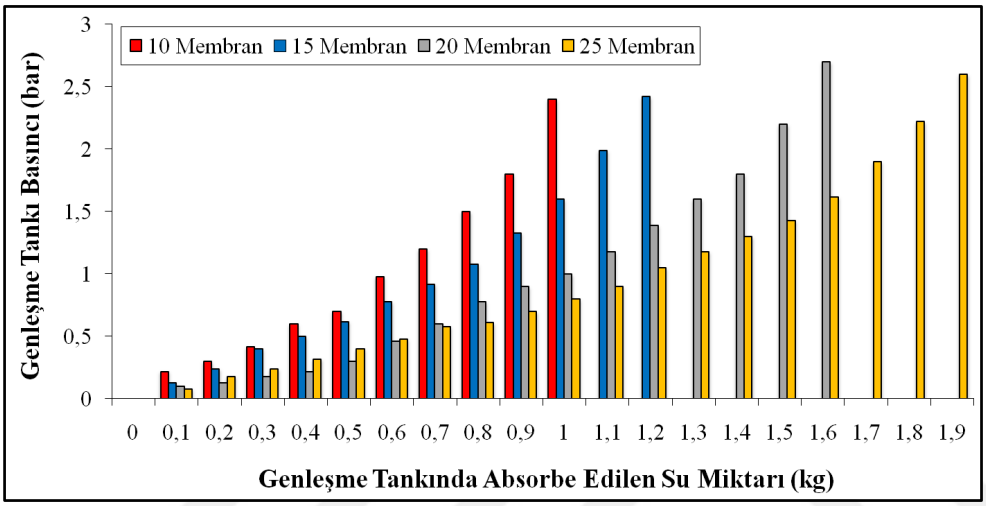
Resim 6.7'de deneylerin farklı membran sayılarında yapılışı esnasında farklı ısıtma gidiş suyu sıcaklığı değerlerinde ölçüm cihazlarında ölçülen değerlerin ve mebranların görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.7. Farklı membran ve ısıtma suyu gidiş sıcaklıklarında deneylerin yapılışı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

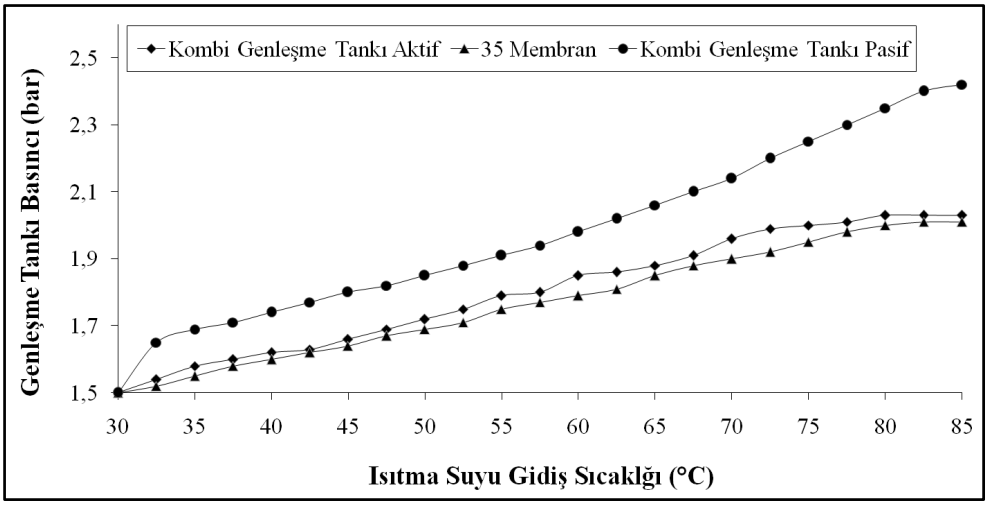
Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen kapalı genleşme tankı ile ilk olarak yüksek basınçta soğuk su deneyleri yapılmıştır. Şekil 7.1'de içerisine; 10, 15, 20 ve 25 adet membran yerleştirilen genleşme tankı tasarımına eklenen su miktarının 0,1 kg aralıklarla arttırılması sonucunda sistemin basıncı ve absorbe edebildiği su miktarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 7.1. Farklı membran sayılarına göre basınç ve absorbe edilen su miktarı değişimi

Genleşme tankına; 10 adet membran yerleştirildiğinde 2,4 bar basınç dengelenebilmiş ve genleşme tankı içerisine maksimum 1 kg su girişi olmuş, 15 adet membran yerleştirildiğinde 2,42 bar basınç dengelenebilmiş ve genleşme tankı içerisine maksimum 1,2 kg su girişi olmuştur. Denelerin devamında genleşme tankına; 20 adet membran yerleştirildiğinde 2,7 bar basınç dengelenebilmiş ve genleşme tankı içerisine maksimum 1,6 kg su girişi olmuş, 25 adet membran yerleştirildiğinde 2,6 bar basınç dengelenebilmiş ve genleşme tankı içerisine maksimum 1,9 kg su girişi olmuştur. Kullanılan membran sayısı arttıkça sistem tarafından absorbe edilebilen su miktarının arttığı ve buna bağlı olarak daha fazla genleşmenin dengelenebildiği tespit edilmiştir. Genleşme tankı tasarımında; 1 kg su absorbe eden 10, 15, 20, 25 membranlı sistemlerde ölçülen basınç değerleri sırasıyla 2,4 bar, 1,6 bar, 1 bar ve 0,8 bar olmuştur. Aynı genleşme miktarında su için membran sayısı arttırılarak basıncın düşürülebileceği belirlenmiştir.

Şekil 7.2'de gaz yakıcı cihaza ait ısıtma suyu gidiş sıcaklığına göre genleşme tanklarının basınç değişimi grafiği verilmiştir.

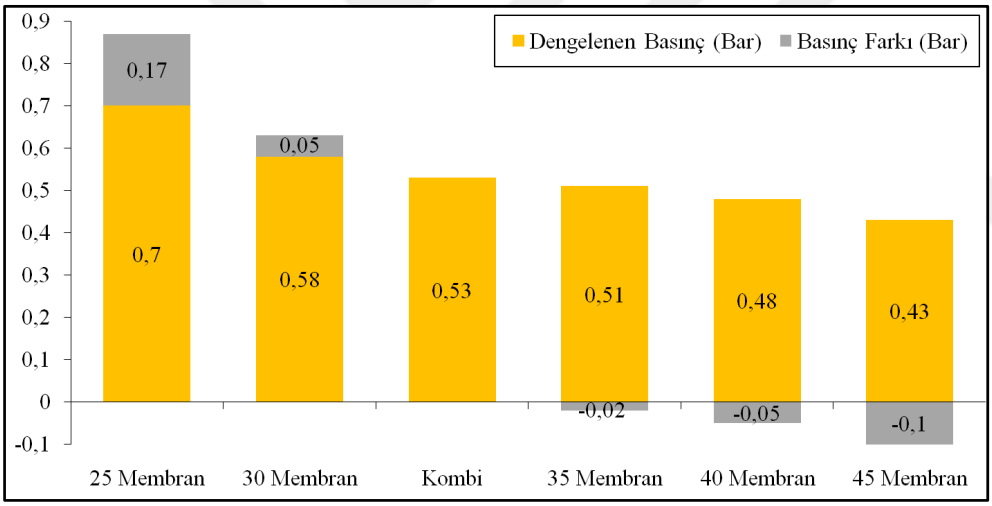


Şekil 7.2. Isıtma suyu gidiş sıcaklığına göre genleşme tanklarının basınç değişimi

Hazırlanan hesaplama programı ile yapılan teorik analizde genleşme tankı içerisinde 35 adet membran kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Deneyler, yapılırken başlangıç sıcaklığı 30 °C ve başlangıç basıncı 1,5 bar olarak ayarlanmıştır. Basınç dengeleyici sistemlerin kullanılmadığı (kombi genleşme tankı pasif ve tasarlanan genleşme tankında hiç membran yok) deneyde, ısıtma gidiş suyu sıcaklığı 85 °C değerine yükseldiğinde sistem basıncı 2,42 bar değerine ulaşmıştır. Genleşme tankı tasarımı ile basıncın 35 membran ile dengelendiği deneyde, ısıtma gidiş suyu sıcaklığı 85 °C değerine yükseldiğinde basınç 2,01 bar olarak ölçülmüştür. Kombi genleşme tankının aktif hale getirildiği deneyde ise ısıtma gidiş suyu sıcaklığı 85 °C değerine yükseldiğinde basınç 2,03 bar değerine ulaşmıştır. Isıtma gidiş suyu sıcaklığı 30 °C değerinden 85 °C değerine yükseldiğinde; kombi genleşme tankı pasif iken 0,15 kg, genleşme tankı 35 membran ile aktif durumda iken 0,30 kg su absorbe edilebilmiştir. Genleşme tankının ağırlığı sıcaklık 30 °C iken; membran bulunmadığı sistemde 40,85 kg ve içerisinde 35 membran bulunduran sistemde 39,65 kg olarak ölçülmüştür.

Deneyleri 25, 30, 35, 40, 45 membran kullanılarak yapılan genleşme tankı tasarımı ile kombi genleşme tankı arasındaki basınç değişiminin birbirine en yakın olduğu deney membran sayısının 35 adet kullanıldığı sistemde olmuştur. Isıtma sistemi basıncının; membran sayısının hesaplanandan fazla kullanıldığında düştüğü, az kullanıldığında ise yükseldiği tespit edilmiştir.

Şekil 7.3'te gaz yakıcı cihaz olarak kullanılan kombi içerisinde buluna genleşme tankı ile tasarımı ve imalatı yapılan genleşme tankının farklı sayıda membranla çalıştırılması karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ısıtma suyu gidiş sıcaklığı 30 °C'de basınç 1,5 bar ile 85 °C'de maksimum basınç arasındaki değişime göre yapılmıştır. Kombi genleşme tankının basınç değişimi 0,53 bar ve 35 membranlı genleşme tankının basınç değişimi 0,51 bar olmuştur. Kombi genleşme tankı ile 35 membranlı genleşme tankı arasındaki basınç farkı -0,02 bar olmuştur. Membran sayısı 35 olduğunda, oluşan basınç farkı %3,77 oranında daha az ve çalışma performanslarının uyumluluğu birbirine en benzer durumda olmuştur. Sırasıyla 25, 30, 40 ve 45 membran ile çalıştırılan genleşme tankında; basınç değişimi 0,7 bar, 0,58 bar, 0,48 bar ve 0,43 bar olmuştur. Kombi genleşme tankı ile karşılaştırıldığında basınç farkları sırasıyla; 0,17 bar (%32,08 daha fazla), 0,05 (%9,43 daha fazla), -0,05 bar (%9,43 daha az) ve -0,1 (%18,87 daha az) olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.3. Kombi genleşme tankı ile membranlı genleşme tanklarının karşılaştırılması

İçerisinde tek parça şeklinde membran bulunduran ve günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanılan genleşme tankı ile çalışan ısıtma sisteminin basıncında çok fazla dalgalanma olduğu gözlemlenmiştir. Stabil olarak çalışmayan kombi genleşme tankında basınç göstergesindeki anlık titreşimler, sistem bileşenlerinde sürekli değişen frekanslarda basınç değişimine neden olmakta, pompa verimini düşürmekte ve sistem bileşenlerine zarar vermektedir. Tasarımı yapılan genleşme tankı içerisinde bulunan çok sayıda membran ile yapılan deneylerde ise en ufak bir dalgalanma dahi gözlemlenmemiş, sistem en ufak basınç değişimlerini dahi çok hassas şekilde dengeleyebilmiş ve stabil bir biçimde

çalışmasına devam etmiştir. Böylece ısıtma sistemi parçaları ve tesisatı oluşturan bileşenleri ani basınç dalgalanmalarına maruz kalmamıştır.

Daha önce yapılan çalışmalarda mebranlar üzerinde farklı deney ve testlerin yapıldığı görülmüştür. Önceki çalışmalarda; oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda kauçuk malzemelerin sertlik deneyi, kalıcı şekil değiştirme deneyi, membranın suda kaldıktan sonra kalıcı şekil değiştirme deneyi, mebranın suda kaldıktan sonra mekanik özelliklerinde değişme deneyi vb. çalışmalara yer verilmiştir. Yapılan çalışmada ise aynı mini membranlar kullanılarak; soğuk su deneyleri ve sıcak su deneyleri kadar 6 ay süresince yapılmıştır. Bu süre zarfında membranlar sürekli genleşme tankı içerisinde suda bırakılmış ve belirli aralıklarla kontrol edilmiştir. Membranlarda her hangi bir kalıcı şekil değişimi gözlemlenmemiştir.

Isıtma sistemlerinin; uyulabilir olması için uygun maliyetli olması [114], konforlu olabilmesi için bakım-onarımlarının kısa sürede kolaylıkla yapılabilmesi [115] ve işletme giderlerinin azaltılması [115] gerekmektedir. Gaz yakıcı cihazların; verimsiz kullanımı yakıt maliyetini arttırmakta ve çevreye zarar vermekte [116], ısıtma sistemlerinde enerji tüketimi ve emisyonların azaltılması [117] gerekmektedir. Dünya su krizi giderek hızla artmakta [118], temiz suya erişim imkânları azalmakta [119] ve bu nedenle su hasat sistemleri ile yağmur suyunun toplanmaya başladığı göz önüne alındığında; malzeme üretimi, suyla çalışan sistemler vb. tüm alanlarda su kaynaklarının olabildiğince temiz ve tasarruflu kullanılması gerekmektedir. Isıtma sistemlerinde kullanılan genleşme tanklarının kullanımı ve küresel pazar büyüklüğü hızla artmaktadır. Yapılan araştırmalara göre; 2024 yılında 1.12 milyar $ olan küresel termal genleşme tankı pazarı büyüklüğünün, 2033 yılına gelindiğinde 1,59 milyar $ olacağı öngörülmektedir [120].

Sistem gereksinimlerini karşılamak için gerekli membranların maliyeti ortalama olarak 425 TL iken tasarımı ve imalatı yapılan sistemde kullanılan membranları maliyeti 70 TL ile 6 kattan daha fazla ucudur. Geometrik tasarımları nedeni ile kullanım ömürlerinin de daha uzun olacağı göz önüne alındığında geliştirilen sistem ile işletme, bakım onarım ve yedek malzeme fiyatlarının da büyük oranda düşürüleceği anlaşılmaktadır. Sistem hem daha stabil hem de daha verimli çalıştığından sağlanan yakıt tasarrufu ile sera gazı emisyonlarını azaltacaktır. Tüm bunlara ek olarak; sistemin kullanımı ile hem malzeme hem su kirliliği azalacağından çevreye daha duyarlı ve daha sürdürülebilir sistem sunulmuştur. Küresel

pazar payının büyüklüğü göz önüne alındığında tasarlanan ve imalatı yapılan yeni bir genleşme deposunun ticarileştirilmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlanabilir.

Yapılan çalışma literatürde ilk olma ve sonraki çalışmalara örnek olma özelliği taşımaktadır. Daha sonra yapılacak çalışmalarda; farklı özellikte malzemelerin kullanım ömrü ve performansı analiz edilebilir. Sistemin elektrik ve fosil yakıt tasarrufu ile baca gazı emisyonlarında oluşturduğu azalma incelenebilir. Tasarımı ve imalatı yapılan sistem için bilgisayar destekli sayısal analiz programları hazırlanabilir, günümüz teknolojisinde kullanılan sıcak sulu ve soğuk sulu basınçlandırma sistemlerinde kullanılmak üzere farklı kazan ve membran tasarımları yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gowlett, J. A. C. (2016). The discovery of fire by humans: a long and convoluted process. *Philosophial Transactions of the Royal Society B,* 371, 1-12.

2. Gowlett, J. A .J., Richard, W. (2013). Earliest fire in Africa: towards the convergence of archaeological evidence and the cooking hypothesis, Azania. *Archaeological Research in Africa,* 48(1), 5-30.

3. Sealy, J. (2009). Modern behaviour in ancient South Africans: Evidence for the heat treatment of stones in the Middle Stone Age. *South African Journal of Science,* 105(9), 323-324.

4. İnternet: Paleolitik Çağ'da Ateş Ve Yerleşim Biçimleri Ateşin Elde Edilmesi. Web: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/158304/mod_resource/content/1/KONU%201-%20ATE%C5%9E%C4%B0N%20ELDE%20ED%C4%B0LMES%C4%B0.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

5. Bean, R., Olesen, B. W., Kwang and W. K., Kwang-Woo. (2010). Part 1. History of Radiant Heating & Cooling Systems. *ASHRAE Journal,* 40-47.

6. Pruitt, N. D. L., Kramer, S. W. (2017). How Historical Solutions to Thermal Comfort Influenced Modern Construction Efforts. *Procedia Engineering,* 196, 880-887.

7. Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina,* 59(592), 86-114.

8. Yağlı, H., Koç, Y., Görgülü, A. and Tandıroğlu, A. (2016). Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat. *Energy,* 111, 923-932.

9. Öztürk, H. K., Yılancı, A., Atalay, Ö. (2007). Past, present and future status of electricity in Turkey and the share of energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 11, 183-209.

10. Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., Kurt, L. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi,* 25, 29-41.

11. Çetin, M., Demirci, O. K. (2016). Erzincan'da Doğalgaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkisi. *Erzincan University Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 9(1), 8-18.

12. Başıbüyük, G. Ö., Ay, F., Acar, S. (2017). Küresel Isınma ve Küresel Isınmanın Yaşlılar Üzerindeki Etkisi. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi,* 21(1), 203-218.

13. Yalçın, A. Z., Doğan, M. (2023). Enerjide Dışa Bağımlılık Sorunu: Türkiye İçin Ampirik Bir Analiz. *Yönetim ve Ekonomi,* 30(2), 203-223.

14. Enerji Verimliliğ Kanunu. (18 Nisan 2007). *Resmi Gazete,* 10059-10072.

15. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. (10 Mayıs 2005). *Resmi Gazete,* 9385-9390.

16. İnternet: İklim Değişikliğiyle Mücadelenin Önemi. Web: https://www.mfa.gov.tr/iklim-degisikligiyle-mucadelenin-onemi.tr.mfa Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

17. United Nations. (2015). *Paris Agreement,* Paris, France, 1-25.

18. Aksu, H., Aksoy, A. (2021). *Covid-19 Pandemisinin İklim Değişikliği Araştırmalarına Etkileri.* Uluslararası Küresel İklim Değişikliği Kongresi, Çanakkale.

19. UN Climate Change Conference-United Arab Emirates. (2023) Dubai, United Arab Emirates.

20. İnternet: 2023 UN Climate Change Conference (UNFCCC COP 28) Web: https://sdg.iisd.org/events/2023-un-climate-change-conference-unfccc-cop-28/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

21. Kaya, H. E. (2020). Kyoto'dan Paris'e Küresel İklim Politikaları. *Meriç Uluslararası Sosyal ve STratejik Araştırmalar Dergisi,* 4(10), 165-191.

22. İnternet: The Global Water Crisis. Web: https://water.org/our-impact/water-crisis/global-water-crisis/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

23. İnternet: Su Krizi. Web: https://sukuyusudernegi.org.tr/blog/su-krizi-8 Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

24. Temizkan. S., Tuna Kayılı, M. (2020). Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinde Optimum Depolama Yönteminin Belirlenmesi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi Örneği. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi,* 5(3), 102-116.

25. Yetkin, E. G., Akman., N. (2021). Geleneksel Sürdürülebilir Yağmur Suyu Depolama Yöntemleri; Emine-Murat Cimrin Koçak Evi Sarnıcının İncelenmesi ve Yeniden Kullanımının Değerlendirilmesi. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi,* 6(3), 1003-1016.

26. F. García-´Avila et al. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. *Results in Engineering,* 18, 1-13.

27. IEA (International Energy Agency). (2021). *Key World Energy Statistics,* France.

28. IEA (International Energy Agency). (2022). *World Energy Outlook,* Paris, France.

29. Ergen, E., Nazlıgül, H. (2021). Energy Criticism of Turkey and Comparison with the World: Energy Harvesting, Development, Challenges, and Opportunities. *Artıbilim: Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 4(1), 43-54.

30. Kaya, H. G., Öztürk, S. (2024). Türkiye'de Bölgeler ve İller Bazında Doğalgaz Tüketimi. *İktisadi Büyüme ve Nüfus Değişimlerinin Değerlendirilmesi,* 1(1), 38-56.

31. Dilek, Ö. (2021). Doğalgaz Kullanım Tercihinde Etkili Olan Sosyo-Ekonomik Faktörlerin Analizi: Rize Örneği. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 25 (3), 951-967.

32. Umutlu H., Bayraç, H. N. (2020). Türkiye'de Doğalgaz Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Granger Nedensellik Analizi. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi,* 20(40), 217-226.

33. İncekara, Ç. Ö. (2020). Türkiye'nin elektrik üretiminde doğalgaz talep tahminleri. *Journal of Turkish Operations Management,* (4)2, 494-508.

34. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA). (2021). *Doğal Gaz Raporu,* Ankara, Türkiye, 43-48.

35. Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği (GAZBİR). (2023). *Aralık Ayı Doğal Gaz Sektör Raporu,* Ankara, Türkiye, 1-12.

36. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2024). *Doğal Gaz Piyası Sektör Raporu Nisan 2024,* Ankara, Türkiye, 2-5.

37. İnternet: Technical Bulletin Expansion Vessels. Web: https://www.altecnic.co.uk/wp/wp-content/uploads/resource-files/008_Expansion_Vessels_Technical_Bulletin.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

38. İnternet: Thermal Expansion Tanks. Web: https://www.amtrol.com/product/therm-x-trol-expansion-tanks-asme/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

39. Akgün, A (1997). *Kapalı Genleşme Depolarının Sıcak Su ve Soğuk Su Sistemlerinde Kullanılması ve Şeçimleri.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 40-110.

40. Küçükyalı, R. (2001). *Isıtma Sistemlerinde Yenilikler*. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi (TESKON). İzmir.

41. Taylor, S. T. (2003). Understanding Expansion Tanks. *ASHRAE Journal,* 24-30.

42. Küçükyalı, R. (2003). Isıtma Sektöründe Yeni Teknolojiler Ve Gelecek. *Tesisat Mühendisliği,* 78, 61-79.

43. Küçüka, S., Musaoğlu, E. (2007). *Kalorifer Tesisatinda Hidrolik Dengesizliğin Radyatör Debileri Ve Isi Aktarimlarina Etkisi*. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.

44. Yılmaz, O. (2010). *Yeni Kazan Cihazı Geliştirme Projesinde Bir Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 95-99.

45. Yürük, M., Variyenli, H. İ., Martin, K., Khanları, A. and Aytaç, İ. (2022). Bireysel ısıtma sistemlerinde tesisat temizliğinin enerji verimliliği açısından deneysel olarak değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi,* 25(3), 1375-1384.

46. Doğan, V., İlhan, C. D. (2012). Kuzgın Sulu Merkezi Isıtma Sistemlerin Basınçlandırılması ve Genleşme Kabı Boyutu. *Tesisat Mühendisliği, 126, 13-26.*

47. Kılıç, B., İpek, O., Öz, A. (2013). Isıtma Sistemlerinde Kullanılan Plakalı Isı Değiştiricilerin Termodinamik Analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 4(1), 13-19.

48. Mohsenian, H., Ghadamian, H., Hamidi, A. A., Alizad, K. (2015). *Expansion Tank Structural Reconstruction for Central Heating Systems with Re-Engineering Consideration and Energetic Losses Minimization.* Proceedings of the ASME 2015 Power and Energy Conversion Conference (PowerEnergy2015). California.

49. Papakostas, K. T., Martinopoulos, G., Papadopoulos, A.M. (2015). *A Comparison of Various Heating Systems in Greece Based on Efficiency and Fuel Cost.* 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia. Sokobanja.

50. Taylor, S. T. (2016). The Fundamentals of Expansion Tanks. *ASHRAE Journal,* 60-66.

51. Doğan, V., Şimşek S. (2016). Sıcak Su ve Kızgın Su Sistemlerinde Genleşme ve Genleşmenin Alınması. *Tesisat Mühendisliği,* 151, 54-70.

52. Martinopoulos, G., Papakostas, K. T., Papadopoulos, A. M. (2016). Comparative analysis of various heating systems for residential buildings in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 124, 79-87.

53. Kılıç, F. C. (2017). Endüstriyel Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyon Azalımı Fırsatları. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarim Ve Teknoloji,* 5(2), 147-158.

54. Mohsenian, H., Ghadamian, H., Hamidi, A. A., Najafian, N., Yousefkhani, M. B. (2017). Energy waste reduction in central heating systems by new type of expansion tank. *Journal of Energy Management and Technology (JEMT),* 3(1), 13-20.

55. Singh, A., Sharma, V., Mittal, S., Pandey, G., Mudgal, D., Gupta, P. (2018). An overview of problems and solutions for components subjected to fireside of boilers. *International Journal of Industrial Chemistry,* 9, 1-15.

56. Demirpolat, H., Demirpolat, S. O. (2019). *Kirlilik Direncinin Bireysel Isıtma Sistemlerine Etkisi.* 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.

57. Öztürk, M. H., Meran, C. (2020). Konaklama İşletmelerinde Çalışan Yöneticilerin Bakım Yönetimi Uygulamalarına Bakışı: Denizli'de Faaliyet Gösteren Konaklama İşletmeleri Örneği. *Mühendis ve Makina,* 61 (700), 208-227.

58. Mahmoud, M., Ramadan, M., Naher, S., Pullen, K.R., Olabi, A-G. (2020). The impacts of different heating systems on the environment: A review. *Science of The Total Environment,* 766, 1-38.

59. Anatça, E., Kulak, E., Arınç, G., Ünver, Ü. (2021). *Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Merkezi Isıtma Sistemleri Uygulamaları.* 3rd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2021). Ankara.

60. Özçörek, A.E., Demiral, B., Paytar, G., Ünver, Ü. (2021). *Enerji Verimliliği Perspektifinde Bina Isitma Sistemlerinin İncelenmesi*. ULIBTK'21 Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi. Gaziantep.

61. National Enviroment Agency (NEA). (4 June 2021). Final Report on Heating Systems (for Industry) Heating Systems Study.

62. Bütün, O. B. (2023). *Merkezi Isıtma Sistemlerinde Korozyon Oluşumunun İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 113-115.

63. Köse, R., Erturhan, Ü. (2023). Doğal Gazın Güvenli Kullanımında Periyodik Kontrollerin Etkisinin Araştırılması. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 9(1), 166-178.

64. Shokri, A., Sanavi Fard, M. (2023). Principles, operational challenges, and perspectives in boiler feedwater treatment process. *Environmental Advances,* 13, 1-10.

65. Yaglioglu, A., Kalkavan, I., Dogan, N., & Sökmen, K.F. (2023). Energy Efficiency in Heater Boilers: Review Article. *ZeroBuild Journal,* 1(01), 35–42.

66. Ivanova, A., Khalzan, T., Ivanov, V. (2023). Reducing emissions into the environment during the operation of small-capacity boilers. *Atlantis Highlights in Engineering,* 22, 139-149.

67. Omar, A.M. (2023). Konutların Isıtılmasında Kullanılan Merkezi ve Bireysel Isıtma Sistemlerinin Karşılaştırılması. *Türk Doğa ve Fen Dergisi,* 12(2), 8-16.

68. Öztürk, S. (2023). ÇATES lojmanları için merkezi ısıtma sistemlerinin farklı türlerinin teknik ve ekonomik yapılabilirliği üzerine bir durum çalışması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 12(3), 1030-1036.

69. İnternet: An Early History Of Comfort Heating. (2001). Web: https://www.achrnews.com/articles/87035-an-early-history-of-comfort-heating Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

70. Sancar, İ. (2014). *Adıyaman İklim Şartlarında Havalı Güneş Kollektörleri İle Mahal Isıtılmasının Araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 1-10.

71. Roth, K., Dieckmann, J., Brodrick, J. Ph.D. (2007). Infrared Radiant Heaters. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Journal,*72-73.

72. İnternet: THERMON, İnfrared Radiant Heaters. Web: https://content.thermon.com/pdf/Caloritech/Catalog/Infrared_Radiant_Heaters.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

73. İnternet: GREENCLIMATE, Industrial Heating Systems. Web: https://www.greenclimate.com.tr/en/our-services/heating-systems/industrial-heating/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

74. İnternet: ORFEJAS, Large Spaces Heating and Cooling. Web: https://www.orfejas.com/heating-equipment/infrared-heaters Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

75. İnternet: Ceramic Infrared Heaters. Web: http://www.rotfil.com/public/downloads/InfraredHeaters_PDF-IRR-009-E.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

76. İnternet: Industrial Heating Systems. Web: https://www.cukurovaisi.com/en/urunler/industrial-heating-systems/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

77. İnternet: U.S. Department of Energy. Industrial Heating: An Overview. (2019). Web: https://iac.msstate.edu/wp-content/uploads/2022/01/Industrial-Heating.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

78. İnternet: U.S. Department of Energy, Home Heating Systems. Web: https://www.energy.gov/energysaver/home-heating-systems Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

79. İnternet: Types of Home Heating Systems (2024 Guide). Web: https://www.thisoldhouse.com/heating-cooling/reviews/types-of-heating-systems Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

80. İnternet: SPRSUN, Types of Heating Systems. Web: https://sprsunheatpump.com/types-of-heating-systems.html Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

81. İnternet: Smarter Hause, Types of Heating Systems. Web: https://smarterhouse.org/heating-systems/types-heating-systems Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

82. İnternet: 10 Types of Home Heating Systems and How to Choose One. Web: https://www.thespruce.com/types-of-home-heating-systems-1824772 Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

83. İnternet: The Best Ductless Mini Split Air Conditioner. (2024). Web: https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/the-best-ductless-mini-split-air-conditioner/ Son Erişim Tarihi: 13.05.2025.

84. İnternet: Indoor Environment and HVAC Systems. Web: http://ibse.hk/spd5132/SPD5132_1617-05.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

85. Heperkan, H. A. (2015). Binaların ısıtma sistemini seçerken (Merkezi- Bireysel), *Termo Klima*, 83, 14-16.

86. Yenice, M. (2010). *Terminal Binalarında Isıtma, Soğutma, Havalandırma Tesisatlarının Projelendirilmesi ve Uygulanması.* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 1-3.

87. Variyenli, H. İ. (2013). ESM – 214 Isıtma Sistemleri Ders Notları. Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliğ Bölümü, Ankara.

88. İnternet: HVAC GLOBAL. Tekil Isıtma (Kat ve Villa Isıtması). Web: https://hvacglobal.org/tekil-isitma-nedir/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

89. İnternet: Isıtma ve Havalandırma Dersine Giriş. (2018). Kocatepe Üniversitesi, Afyon. Web: https://blog.aku.edu.tr/ceyhunyilmaz/files/2019/02/ME401-Chap_01_lecture.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

90. İnternet: HVAC GLOBAL. Merkezi Isıtma. Web: https://hvacglobal.org/merkezi-isitma/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

91. İnternet: Tesisat Teknolojisi. (2013). Balıkesir Üniversitesi. Web: http://deneysan.com/Content/images/documents/yapi-tesisati_22028043.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

92. İnternet: HVAC GLOBAL. Bölge Isıtması (Uzaktan Isıtma). Web: https://hvacglobal.org/merkezi-isitma/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

93. İnternet: Isıtma Tesisat Tekniğinin Temelleri. (2011). Viesmann Akademie. Web: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/statik_sayfa_ekleri/ISITMA%20TES%C4%B0SAT%20TEKN%C4%B0%C4%9E%C4%B0N%C4%B0N%20TEMELLER%C4%B0.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

94. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2015). Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme, Kat Kaloriferi Montajı. Ankara: MEGEP.

95. İnternet: Membranlı Tanklar, Çalışma Prensipleri, Montaj Ve Kullanımda Dikkat Edilmesi Gerekenler. Web: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/da37dd3139aa4d9_ek.pdf. Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

96. Aslan, M. (2007). *Kalorifer Kazanlarının Termoekonomik Analizle Optimizasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 67-77.

97. Anatça, E., Kulak, E., Arınç, G., Ünver, Ü. (2021). *Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Merkezi Isıtma Sistemleri Uygulamaları.* 3rd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2021), Ankara.

98. Küçükyalı, R. (2003). *Güneş Enerjisi Tesisatı* (1. Baskı)*,* Türkiye: Güncel Isısan Yayınları No:325, 91-95.

99. İnternet: TANPERA. TGT Serisi Genleşme Tankları. Web: https://www.tanpera.com.tr/wp-content/uploads/2025/05/Genlesme_Tanklari_TR_V1.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

100. İnternet: Taizhou Tiayang Elecrical Co. Web: How a Diapram Expansion Tank Works. Web: https://aqualeader.en.made-in-china.com/ Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

101. İnternet: WHS Isı Teknolojileri. Genleşme Tankı İşlevi, Çeşitleri ve Kullanım Alanları. Web: https://whsisi.com/genlesme-tanki-nedir Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

102. İnternet: EDS Global Fluid Technologies, Heating Series Expansion Tanks. Web: https://www.eds-global.com/en/category/heating-series-expansion-tanks/109 Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

103. İnternet: TEREN, Design of the expansion tank. Web: https://www.ter-en.com/en/konstruktsiya/brh#google_vignette Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

104. İnternet: CIMM S.p.A., Product Catalogue. Web: https://www.cimmspa.com/Portals/0/Images/Cimm_Catalogo_IT-EN.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

105. Yalçın, H., Koç, T. (1997). *Mühendisler İçin Korozyon* (1. Baskı). Ankara: Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kimya Mühendisleri Odası, 1-3.

106. İnternet: MASDAF, Genleşme Tankları Kullanım Bakım Kitapçığı. (2019). Web: https://masdaf.com/_upload/pdf/GENLESME_TANKI_KBK.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

107. İnternet: Understanding Boiler Pressure: Troubleshooting and Maintenance Tips. (2025). Web: https://www.greenmatch.co.uk/boilers/pressure Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

108. Doğan, V., Çalışır, O. (2011). Yerden Isıtma Sistemlerinin Boyutlandırılması. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.* İzmir.

109. İnternet: Isı Kaybı Hesabı ve Radyatör Seçimi. Web: https://www.tesisat.org/isi-kaybi-hesabi.html Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

110. İnternet: Pratik Radyatör Hesabı. Web: https://www.tesisat.org/pratik-radyator-hesabi.html#google_vignette Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

111. Bulgurcu, H., İlten, N., Kon, O. (2014). Merkezi Isıtma Yapılan Bir Su Dolaşım Pompasının Sistem Eğrileri Yardımıyla Optimum Seçimi ve Hesaplama Yöntemlerinin İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği,* 143, 14-23.

112. İnternet: DemirDöküm, Tesisat Tekniği Temel Esasları. (2020). Web: https://www.demirdokum.com.tr/downloads/products-1/example-training-1/1-tesisat-teknigi-temel-esaslari-8101068243-00-1875771.pdf Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

113. Göktekin, K. (2018). *Gaz Yakıcı Cihazlardaki Atık Isı Enerjisinin Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 48-50.

114. Kaya, M. (2009). Isı Pompası ve Kombi Isıtma Sistemleri Maliyet Analizlerinin Karşılaştırılması. *Makine Teknolojileri Dergisi*, 6(2), 39-47.

115. Turan, A., Onat, A. (2020). VRF ve Fan Coil İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri Açısından Karşılaştırılması. *International Journal of Advances Engineering and Pure Sciences,* 32(3), 309-319.

116. Variyenli H. İ., Göktekin K. (2018) Hermetik gaz yakıcı cihazlardaki atık ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi. *Politeknik Dergisi,* 21(4), 821-830.

117. Kapıcıoğlu, A. (2023). Alan ısıtma uygulamalarında toprak kaynaklı ısı pompasının doğalgaz sistemine alternatif olarak değerlendirilebilmesi için optimum teşvik miktarının belirlenmesi. *Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM),* 4(1), 161-176.

118. İnternet: UNESCO, Imminent risk of a global water crisis, warns the UN World Water Development Report (2023). Web: https://www.unesco.org/en/articles/imminent-risk-global-water-crisis-warns-un-world-water-development-report-2023 Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

119. İnternet: UNICEF, Water Scarcity. (2020). Web: https://www.unicef.org/wash/water-scarcity Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.

120. İnternet: Business Research Insıghts, Thermal Expansion Tank Market Size. Thermal Expansion Tank Market Research Report, (2025). Web: https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/thermal-expansion-tank-market-101638 Son Erişim Tarihi: 13.06.2025.



Gazili olmak ayrıcalıktır