

# **ISIL SİSTEMLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Serkan KOCAKULAK**

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

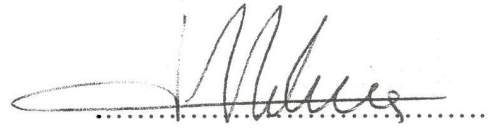
**ZONGULDAK**

**Mayıs 2006**

**KABUL:**

Serkan KOCAKULAK tarafından hazırlanan "ISIL SİSTEMLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Mühendislik Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 10/05/2006

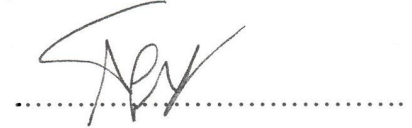
Başkan: Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ (ZKÜ)



Üye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa EYRİBOYUN (ZKÜ)



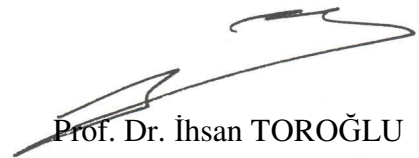
Üye: Yrd. Doç. Dr. Adnan TOPUZ (ZKÜ)



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .... / .... / 2006



Prof. Dr. İhsan TOROĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### ISIL SİSTEMLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

**Serkan KOCAKULAK**

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa EYRİBOYUN**

**Mayıs 2006, 71 sayfa**

Bu çalışmada, ısıtma sistemlerinin dinamik davranışlarını deneysel olarak incelemek amacıyla bir ısıtma sistemi tasarlanmıştır. Sistem; içerisinde 2 adet 2500 W gücünde elektrikli su ısıtıcısı bulunan depo, dökme demirden radyatör dilimleri, sirkülasyon pompası, gidiş ve dönüş boruları ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Deneysel çalışmada, depo çıkışındaki su sıcaklığının 60 °C'ye ulaşması için gereken sürenin, ısıtma sisteminin toplam su kütesine, toplam metal kütesine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak nasıl etkilendiği çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. 60 °C'ye ulaşma süresi üzerinde toplam su kütesinin, toplam metal kütesine göre daha etkili olduğu görülmüştür. Ortam sıcaklığının ısınma süresi üzerindeki etkisi; su ve metal kütlelerinden daha fazla olup ortam sıcaklığı yükseldikçe süre azalmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Isıl sistem, dinamik davranış, regresyon analizi.

**Bilim Kodu:** 625.04.05

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **INVESTIGATION OF THERMAL SYSTEM'S DYNAMIC BEHAVIORS**

**Serkan KOCAKULAK**

**Zonguldak Karaelmas University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa EYRİBOYUN**

**May, 2006, 71 pages**

In this study, heating systems and control elements are introduced, and a heating system was designed to investigate the dynamic behaviours of heating system experimentally. System consists of a reservoir, in which two 2500 W power electric water heater were installed, cast iron radiator, circulation pump, incoming and outgoing pipes, valves and fittings. In the experimental study, required time to reach 60 °C water temperature is investigated based on total water mass in the heating system, total metal mass and ambient temperature. This time is obtained by using multiple regression analysis. Total metal mass was found to be more effective than total water mass over the time to reach 60 °C. The effect of ambient temperature on the warming time is more than the water and metal masses and the duration decreased as the ambient temperature increased.

**Keywords:** Thermal system, dynamic behavior, regression analysis.

**Science Code:** 625.04.05

## **TEŞEKKÜR**

Bu alıőmamda yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yrd. Do. Dr. Mustafa EYRİBOYUN'a ve tez süresince desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 ISIL SİSTEM DAVRANIŞI.....	4
1.2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
BÖLÜM 2 ISITMA SİSTEMLERİ.....	6
2.1 ISITMA SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ.....	6
2.2 GÜNÜMÜZ ISITMA TEKNİKLERİ.....	6
2.2.1 Yerel Isıtma.....	7
2.2.2 Bireysel Isıtma (Kat Kaloriferi).....	7
2.2.3 Merkezi Isıtma.....	8
2.2.4 Bölgesel Isıtma.....	8
2.3 BİNA YÖNETİM SİSTEMLERİ (BYS).....	8
2.4 ISITMA SİSTEMLERİNDE ODA İÇİNDE KULLANILAN ÖLÇME KONTROL VE KUMA NELEMANLARI.....	10
2.4.1 Yardımcı Kuvvetsiz Oda Sıcaklık Ayarlayıcıları.....	10
2.4.2 Tek Oda Ayar Sistemleri.....	12
2.4.3 Ek Enerji İle Çalışan Kontrol Cihazları.....	13
2.5 ISITMA SİSTEMLERİNDE AYARLAMA YÖNTEMLERİ.....	13

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.5.1 Düzensiz Ayarlama.....	13
2.5.2 Düzenli Ayarlama.....	14
<b>BÖLÜM 3 BİNALARIN ISIL DAVRANIŞI.....</b>	<b>15</b>
3.1 BİNA DUVARLARI VE YALITIM MALZEMELERİNİN ISIL DAVRANIŞI	15
3.2 PASİF ISITMA VE SOĞUTMA.....	17
3.2.1 Güneş ile Pasif Isıtma Yöntemleri.....	17
3.2.1.1 Doğrudan (Direkt) Kazanım.....	18
3.2.1.2 Dolaylı (indirekt) Kazanım.....	19
3.2.2 Güneş ile Pasif Soğutma.....	20
3.2.2.1 Havalandırma ve Açılıp Kapanabilen Pencereleer.....	20
3.2.2.2 Kanat Duvarlar.....	21
3.2.2.3 Güneş Bacası.....	21
<b>BÖLÜM 4 KAZANLARIN YAKIT MALİYETİNİN VE ÇEVREYE VERDİKLERİ KARBONDİOKSİT MİKTARININ HESAPLANMASI.....</b>	<b>22</b>
4.1 KAZAN İÇİN HESAPLAMALAR.....	22
4.1.1 Isıl Kapasitesi $Q_k$ ve Isıl Verimi $\eta_k$ Olan Kazanın 1 Saatte Yakacağı Yakıt Miktarının ve Maliyetinin Hesaplanması.....	23
4.1.2 Yakıtların Yanması Sonucunda Oluşan Baca Gazı Miktarının Hesaplanması.....	26
4.2 FARKLI KAPASİTELERE SAHİP KAZANLARIN 1 SAAT ÇALIŞMALARI SONUCUNDA OLUŞACAK YAKIT MALİYETLERİ VE KARBONDİOKSİTMİKTARLARININ HESAPLANMASI27	
<b>BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>	<b>29</b>
5.1 DENEY SETİNİN TANITIMI.....	29

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.1.1 Isıtma Sistemi.....	31
5.1.1.1 Sıcak Su Deposu.....	31
5.1.1.2 Radyatör.....	32
5.1.1.3 Sirkülasyon Pompası.....	32
5.1.1.4 Vanalar.....	33
5.1.1.5 Borular.....	33
5.1.1.6 Isıtıcılar.....	34
5.1.2 Ölçme Sistemi.....	34
5.1.2.1 Data Logger.....	34
5.1.2.2 Bilgisayar.....	35
5.1.2.3 Isıl Çiftler.....	35
5.2 DENEYSEL ÇALIŞMANIN YAPILMASI.....	36
BÖLÜM 6 DENEY SETİNE AİT ZAMAN İFADESİNİN TESPİTİ.....	38
6.1 ISIL SİSTEMLERİN ENERJİ DENGESİ.....	38
6.1.1 Kapalı Sistem İçin Enerji Dengesi.....	38
6.1.2 Açık Sistem İçin Enerji Dengesi.....	39
6.1.3 Zamanla Değişen Açık Sistem İçin Enerji Dengesi.....	40
6.2 ISI TRANSFER TÜRLERİ.....	40
6.2.1 İletimle Isı Transferi.....	40
6.2.2 Taşınım ile Isı Transferi.....	42
6.2.3 Işınım ile Isı Transferi.....	42
6.3 DENEY SETİNE AİT ZAMAN İFADESİ.....	44
BÖLÜM 7 REGRESYON ANALİZİ.....	47
7.1 REGRESYON YÖNTEMİNİN TANIMI.....	47
7.2 TEMEL İSTATİSTİK TERİMLER.....	48
7.2.1 Aritmetik Ortalama.....	48
7.2.2 Standart Sapma.....	48

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.2.3 Varyans.....	48
7.2.4 Basit Doğrusal Regresyon ve Korelasyon.....	49
7.2.4.1 Uyum Kriterleri.....	49
7.2.4.2 Düz Doğru İçin En Küçük Kareler Uyumu.....	51
7.2.4.3 Doğrusal Regresyon Hatasının Büyüklüğü.....	53
7.3 ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON.....	55
<b>BÖLÜM 8 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>57</b>
8.1 SU KÜTLESİNİN DEĞİŞİMİNE BAĞLI DEĞERLENDİRME.....	59
8.2 METAL KÜTLESİNİN DEĞİŞİMİNE BAĞLI OLARAK DEĞERLENDİRME.....	60
8.3 DENEY SONUÇLARININ ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	61
8.3.1 Regresyon Doğrusu İçin Determinasyon Katsayısı.....	62
8.3.2 Regresyon Analizi Sonucu Hesaplanan Standart Sapma Değeri.....	62
8.4 DENEY SONUÇLARINDAN ELDE EDİLEN DEĞERLER İLE REGRESYON DENKLEMİ İLE HESAPLANAN DEĞERLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	62
<b>BÖLÜM 9 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>71</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Türkiye’de sektörlerde enerji tüketimi dağılımı (1998-2001 yıllar ortalaması).....	9
2.2 Termostatik radyatör vanası.....	11
2.3 Otomatik radyatör ventili.....	11
2.4 Mikro işlemcili ve saatli elektronik termostat kafası.....	11
2.5 Mikro elektronik termostat kafası.....	12
2.6 Oda düzeni.....	13
2.7 Karıştırma ventilli elektronik oda sıcaklığı ayarlaması devre şeması. R1, R2, R3, R4 dirençler.....	14
3.1 Duvar içerisinde sıcaklık gradyanının zamana bağlı değişimi.....	16
3.2 Tek ve çift katlı binalarda sera örnekleri.....	18
3.3 Trombe duvarı.....	20
3.4 Kanat duvar ve hava akımları.....	21
3.5 Güneş bacası.....	21
5.1 Deney setinin şeması.....	29
5.2 Sıcak su deposu ve bağlantı elemanları.....	31
5.3 Deney setinde kullanılan radyatör dilimleri ve bağlantıları.....	32
5.4 Deney setinde kullanılan radyatörlerin teknik özellikleri.....	32
5.5 Sirkülasyon pompası.....	33
5.6 Elektrikli su ısıtıcılarının depoya monte edilişi.....	34
5.7 Data logger cihazı ve bilgisayar monitörü.....	35
5.8 Data logger cihazının veri kartı ve üzerindeki kanallara ısı çiftlerinin bağlantısı.....	35
5.9 Isıl çiftlerin ölçüm noktalarına bağlantısı.....	36
6.1 Kapalı sistemin ısı ve iş etkileşimi.....	38
6.2 Açık sistem için kontrol hacminin ısı, iş etkileşimi ve kütle akışı.....	39
6.3 Düz bir duvarda sürekli rejimde bir boyutlu ısı iletimi.....	41
6.4 Sıcak bir cisimden taşınım ile ısı transferi ve yüzeydeki sıcaklık ve hız gradyanı.....	42

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.5 Bir cisim ile onu çevreleyen büyük bir kapalı odanın iç yüzeyleri arasında ışınlama ile ısı geçişi.....	43
7.1 Artıkların toplamını minimum yapan doğru.....	50
7.2 Artıkların mutlak değerlerini minimum yapan doğru.....	50
7.3 Herhangi bir noktadaki maksimum hatayı minimum yapan doğru.....	50
7.4 Bağımlı değişkenin ortalaması etrafında verilerin yayılımı.....	53
7.5 En iyi doğru etrafında verilerin yayılımı.....	54
8.1 Su kütlesi 140 kg için değişik metal kütlelerine göre depo çıkış sıcaklığının zamanla değişimi.....	58
8.2 Metal kütlesi 69,65 kg için değişik su kütlelerine göre depo çıkış sıcaklığının zamanla değişimi.....	58
8.3 Farklı metal kütlelerinde $t_d$ 'nin $m_{su}$ 'ya bağlı olarak değişimi.....	59
8.4 Farklı su kütlelerinde $t_d$ 'nin $m_{metal}$ 'e bağlı olarak değişimi.....	61
8.5 Deneyde gözlenen süre ile regresyon denklemiyle elde edilen süre arasında oluşturulan doğrusal grafik.....	64
8.6 Regresyon ile hesaplanan sürelerle karşılık yüzde hatalar.....	64
9.1 Ortam sıcaklığı dikkate alınmadığı durumda, Metal kütlesi – Ortalama zaman arasındaki ilişki.....	67
9.2 Ortam sıcaklığı dikkate alınmadığı durumda, Su kütlesi - Ortalama zaman arasındaki ilişki.....	68

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Yakıtların yanması sonucu baca gazındaki maksimum CO2 miktarları.....	23
4.2 Yaklaşık kazan verimleri.....	23
4.3 10 Şubat 2005 tarihi için yakıtların birim fiyatları ve ısı değerleri.....	24
4.4 Farklı kapasitelere sahip kazanların 1 saat fazla çalıştırılmaları sonucu hesaplanan ek yakıt miktarları ve ek yakıt maliyetleri.....	28
4.5 Farklı kapasitelere sahip kazanların günde 1 saat fazla çalıştırılmaları sonucu hesaplanan çevreye verdikleri ek CO2 miktarları.....	28
5.1 Isıtma sistemini oluşturan elemanların birim kütleleri.....	30
5.2 Deney setinde 3 dilim radyatör kullanıldığında sistemin toplam metal kütlesi.....	30
5.3 Dilim sayısına göre ısıtma sisteminin toplam metal kütlesi.....	31
5.4 Sirkülasyon pompasının teknik verileri.....	33
8.1 Deneyle ölçülen ve kullanılan değerler verilmektedir.....	57
8.2 Ölçülen zamanlar ile hesaplanan zamanlar arasındaki %Hatalar.....	63
9.1 Metal kütlesi 69,65 kg iken 5 farklı su kütlesinde depo çıkış sıcaklıklarının 60 °C'ye ulaşma zamanları.....	66
9.2 Farklı metal kütlelerine göre hesaplanan depo çıkış sıcaklıklarının 60 °C'ye ulaşma zamanlarının ortalamaları.....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- $A$  : yüzey alanı
- $B_y$  : saatte harcanan yakıt miktarı
- $C_{metal}$  : metal kütlelerinin özgül ısısı
- $CO_{2max}$ : baca gazındaki maksimum  $CO_2$  miktarı
- $C_{su}$  : suyun özgül ısısı
- $E$  : enerji miktarı
- $E$  : gözlemler ile model arasındaki hata
- $E_1$  : sistemin ilk durumdaki enerjisi
- $E_2$  : sistemin son durumdaki enerjisi
- $H$  : ısı taşınım katsayısı
- $H_u$  : yakıtın alt ısı değeri
- $K$  : ısı iletim katsayısı
- $K$  : Isı transfer katsayısı
- $m_{metal}$  : sistemin metal kütlesi
- $m_{su}$  : sistemin su kütlesi
- $Q$  : ısı miktarı
- $Q_{ç}$  : sistem sınırından ısı olarak çıkan enerji
- $Q_g$  : sistem sınırından ısı olarak giren enerji
- $Q_k$  : kazan kapasitesi
- $Q_k$  : kazan kapasitesi
- $\dot{Q}_{ısıtıcı}$  : ısıtıcıların toplam gücü
- $\dot{Q}_{iletim}$  : iletimle geçen ısı miktarı
- $\dot{Q}_{taşınım}$  : taşınım ile geçen ısı miktarı
- $\dot{Q}_{yayılan}$  :  $T_s$  mutlak sıcaklığındaki cismin birim zamanda yaydığı ışıma miktarı
- $q''$  : ısı akısı
- $q''_x$  : x doğrultusunda iletimle ısı akısı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$R$	: korelasyon katsayısı
$r^2$	: determinasyon katsayısı
$S_r$	: ölçülen değer ile model arasındaki artıkların kareleri toplamı
$S_t$	: ortalama ile veri noktaları arasındaki artıkların kareleri toplamı
$s_y$	: standart sapma
$s_{y,x}$	: regresyon doğrusu için standart sapma
$s_y^2$	: varyans
$T_\zeta$	: depo çıkış sıcaklığı
$T_{\zeta_{evre}}$	: çevre sıcaklığı
$t_d$	: depo çıkış sıcaklığının 60 °C'ye ulaşma zamanı
$t_{d0}$	: ortalama zaman
$T_f$	: akışkanın yüzeyden uzaktaki sıcaklığı
$T_{metal}$	: sistemin metal kütesinin ortalama sıcaklığı
$T_o$	: ortam sıcaklığı
$t_r$	: regresyon denklemiyle hesaplanan zaman
$T_s$	: yüzey sıcaklığı
$T_{so}$	: sistemin ortalama yüzey sıcaklığı
$T_{su}$	: sistemdeki suyun ortalama sıcaklığı
$V_{bgmin}$	: baca gazı miktarı
$V_{CO_2}$	: çevreye atılan günlük ek CO <sub>2</sub> miktarı
$W$	: net iş
$W_\zeta$	: sistem sınırından iş olarak çıkan enerji
$W_g$	: sistem sınırından iş olarak giren enerji
$X$	: bağımsız değişken
$Y$	: bağımlı değişken
$\bar{y}$	: veri noktaları toplamının aritmetik ortalaması
$\Delta E$	: sistemin toplam enerji değişimi
$\varepsilon_s$	: yüzeyin yayma oranı
$\eta_k$	: kazanın ısı verimi

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

- $\Theta_{\zeta}$  : kontrol hacminden kütle ile çıkan enerji  
 $\Theta_g$  : kontrol hacmine kütle ile giren enerji  
 $\dot{\Theta}_{\zeta}$  : kontrol hacminden birim zamanda kütle ile çıkan enerji  
 $\dot{\Theta}_g$  : kontrol hacmine birim zamanda kütle ile giren enerji  
 $\sigma$  : Stefan-Boltzmann sabiti

### **KISALTMALAR**

- SYM : saatlik yakıt maliyeti  
BYF : birim yakıt fiyatı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Yeryüzünde varolduğundan bu yana insanoğlunun vazgeçilmez ihtiyaçlarından birisi ısınmadır. Günümüzün modern dünyasında, ısınma yanında sıcak bölgelerde ve diğer yerlerde yazları serinleme de artık bir ihtiyaç olarak hissedilmektedir. İster ısıtma, ister serinleme amaçlı olsun; ortam havasının sıcaklığını, nemini ve havalandırmasını sağlayan sistemlere ısıtma sistemleri denir. Isıtma sistemi tanımı esasen daha geniş bir kavram olup, soğuk hava depoları, su soğutma-dondurma, buharlaştırma, yoğuşurma işlemi yapan cihaz ve araç-gereçlerden oluşan alt sistemleri de kapsamaktadır.

Bu çalışmada ısıtma sistemi olarak, bina ısıtılmasında kullanılan ısıtma (kalorifer) sistemi kastedilmektedir. Kalorifer sistemi; ısı hazırlayıcı kazan, ısı taşıyıcı borular ve ısı yayıcı olarak radyatör, konvektör vb. cihazlardan oluşur. Kalorifer sisteminde iş akışkanı ise genellikle sıcak su ve bazı sistemlerde ise kızgın su veya buhardır.

Isıtma sistemleri projelendirilirken iç ve dış koşulların değişmeden sabit kaldığı varsayılır. Oysa hem dış hem iç koşullar gün boyunca değişiklik arzederler. Bu değişikliklere karşı ortam sıcaklığının istenen değerlerde tutulması otomatik kontrol sistemleri veya elle kumanda etmek suretiyle sağlanabilir.

Günümüzde, dijital teknoloji sayesinde otomatik kontrol sistemleri oldukça gelişmiş ve ucuzlamıştır. Otomatik kontrol sistemlerinin en gelişmiş şekli olarak düşünülebilecek Bina Yönetim Sistemleri (BYS), yalnız büyük veya çok yüksek binalara değil küçük müstakil binalara da kurulabilmektedir. Büyük ya da küçük, BYS uygulanan binalarda tasarruf edilen enerjinin parasal tutarı, sisteme harcanan paranın birkaç yıl içinde geri kazanılmasını sağlayabilmektedir. Tasarruf edilen enerji yalnız para kazancı olarak da düşünülmemelidir. Tüketilen her fosil yakıt çevre üzerinde olumsuz etkiler yapan kirletici maddeler salmaktadır. En temiz yakıt olarak bilinen doğal gaz bile yakıldığında atmosfere karbondioksit salmaktadır ki bu da sera etkisine yol açması nedeniyle istenmeyen bir

durumdur. O halde ısıtma sistemlerinin verimli kullanılması insanoğlu ve diğer canlıların tek yaşam alanı olan yeryüzü ve onu kuşatan atmosfer için son derece önemlidir.

Isıtma sistemlerinin verimli kullanılmasının en temel unsuru; onların ihtiyaç duyulduğu süre boyunca çalıştırılmalıdır. Binalar içinde insanlar bulunduğu sürelerde yeterli ısı konforu sağlayacak şekilde ısıtılmalıdır. Bir binaya ait ısıtma sisteminin kullanıma başlamadan ne kadar önce devreye alınacağına veya binanın boşalmasından ne kadar önce devre dışı bırakılacağına bilinmesi, sistemin gereksiz çalıştırılmasını önlemek için önemlidir. Örneğin müstakil bir konut, 20 konutlu bir apartman ve birkaç bloktan oluşan bir site için bu süreler farklı olacaktır.

Isıtma sistemleri, sezon başlarında ilk devreye alındıklarında veya hafta sonları kullanılmayan kamu binaları için Pazartesi sabahları konfor şartlarını sağlamış olarak hazırlanmasında, bu ön sürelerin bilinmesi yakıt tasarrufu sağlar. Sürekli hizmet verenler hariç kamu binalarında akşam belirli bir saatten, sabah belirli bir saate kadar kimse bulunmamaktadır. Sabah için ısıtma sisteminin mesai saatinden belirli bir süre önce yakılması, akşam paydos saatinden belirli bir süre önce de durdurulması gerekir.

Isıtmada doğalgaz kullanan kentlerde, gün boyunca evde kimsenin bulunmadığı ailelerin ikamet ettiği konutlarda ısıtma sisteminin sabah kendiliğinden devreye girmesi ve herkesin evden ayrıldığı belirli bir saatten sonra devre dışı bırakılması istenir. Aynı şekilde akşam insanların evlerine gelmeden belirli bir süre önce kendiliğinden devreye girmesi, dışarıdan eve geldiklerinde sıcak bir ortama girmeleri için tercih sebebidir. Bunun için otomatik kontrollü ve programlı ısıtma sistemleri (kombi) mevcuttur. Benzer şekilde hafta sonları kullanılan dağ/kır evleri de insanlar eve gelmeden önce ısıtma sistemini devreye sokan sistemlerle donatılabilmektedir.

Bir ısı sistem olarak ele alındığında, herhangi bir bina değişik bileşenlerden oluşur. Bunlar,

- Bina kabuğu ve tüm iç duvarlardan oluşan bütün betonarme duvar ve döşemeler,
- Isıtma sistemini oluşturan cihazların metal kütlesi,
- Isıtma sisteminin barındırdığı su kütlesi ve
- Bina içinde bulunan her türlü ev araçları, mefruşat ve mobilya,

olarak dört ana başlık altında toplanabilir. Bunun dışında kontrol edilemeyen ancak ısınma süresini etkileyen bir parametre de dış ortam sıcaklığıdır.

Sistemde var olan kalorifer kazanı ilk yakıldığında ısınma her bileşende aynı hızla olamayacaktır. Önce su, sonra metal kütlesi ve ardından da bina içindeki eşyalar ile tavan, döşeme ve duvarlar ısınacaktır.

İklimlendirme işlemi uygulanan konser veya tiyatro salonu gibi yerlerde, temsil sırasında sessizliğin sağlanabilmesi için ön soğutma işlemi uygulanır. Temsil saatinden saatler önce salon, olması gereken sıcaklığın biraz altında bir sıcaklığa getirilir ve temsil başlayınca da fanlar vs. kapatılır. Ancak buralarda ön soğutmanın ne kadar süre önce başlatılması gerektiği hakkında bilgi yoktur. Ön soğutma için soğutma yükü hesabı yapılırken salon içindeki koltuk, döşeme, perde duvar kaplaması vs. gibi ısı bileşenlerinin ısı tutumları hesaba katılır. Aynı şekilde bina ısıtma sistemlerinin, ihtiyaç duyulduğu anda gerekli konforu sağlayacak şekilde ne kadar süre önceden devreye sokulması gerektiği konusunda literatürde mevcut bilgiye rastlanmamıştır. Bu devreye alma veya çıkarma ön süresi; ısı sistem olarak bina dahilinde bulunan ve yukarıda sıralanan bileşenlerin ısınma ısıları ve kütleleri ile ilişkili olmalıdır. Sistem bileşenlerinin sayıca fazla ve termofiziksel özellikler bakımından çok çeşitli olması nedeniyle temel formüllerden hareketle matematiksel bir model geliştirilmesi oldukça güçtür. Dolayısıyla kurulu sistemler üzerinde ölçümler alarak, elde edilen değerlerle istatistiksel bir sonuca varılabilir ya da bir model üzerinde sistem parametreleri değiştirilerek deneysel çalışmalar yapılabilir.

Bu çalışmada, sistem parametrelerinden su kütlesi ve metal kütlesi değiştirilebilen, ısıtıcı olarak sabit güçlü elektrikli ısıtıcı kullanılan basit bir ısıtma sistemi kurulmuştur. Bu sistem üzerinde kazan çıkış ve kazana dönüş sıcaklıkları ile dış ortam sıcaklığı, ısıtıcının çalıştırıldığı andan itibaren, kazan çıkış sıcaklığının 60 °C'ye ulaştığı ana kadar düzenli aralıklarla kaydedilmiştir. Isıtıcı olarak kullanılan dökme demir dilimli radyatördeki dilim sayısı değiştirilerek metal kütlesi; ısıtıcıdaki su miktarı değiştirilerek de su kütlesi değişken olarak elde edilmiştir. Deneylerin yapılışı ve elde edilen değerler sonraki bölümlerde anlatılmıştır.

## 1.1 ISIL SİSTEM DAVRANIŞI

Isıl sistemler iki tür davranış gösterirler. Bunlardan ilki dengeli hal davranışdır. Dengeli hal durumunda sistemin herhangi bir noktasındaki parametreler zamanla değişim göstermez. İkinci durum ise dinamik davranıştır. Bu durumda sistemin herhangi bir noktasına ait parametreler zamanla değişmektedir.

Dengeli hal ve dinamik hal simülasyonları farklı nedenlerden dolayı önem taşımaktadırlar. Dengeli hal simülasyonları dinamik simülasyonlardan daha fazla uygulanmakta ve dengeli hal çözümlerine dinamik çözümlerden daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Pek çok durumda, dizayn aşamasında kısmi yük etkinliğini ve potansiyel işletim problemlerini araştırmak için dengeli hal simülasyon çözümleri yaklaşık sonucu vermektedir. Dinamik simülasyonlar, sistemde oluşacak geçici problemleri ele almaktadır. Bu problemler sistemde kesintilere, ve zarara yol açmaktadırlar. Bu problemlerle pek sık karşılaşılmasa da gerçekleştiğinde sistemde kritik zararlara yol açmaktadırlar.

Mühendislik uygulamalarının pek çoğunda dinamik analizin ve geçici problemlerin gerçekleşmeyeceği düşünüldüğünden ihmal edilmektedir. Bu tür bir problem oluştuğu takdirde ya gerçekleştiği bölgede düzeltilir ya da kontrol elemanlarını dinamik analize işaretlenmiş bir yönde ayarlayarak düzeltilir. Bazı durumlarda sistemde pahalıya mal olan modifikasyonlar yapılır. Dinamik analizin anlamı, rahatsızlık veren etkilerin araştırılması, ilk çalıştırma esnasında oluşan geçici davranışların ve kontrol sistemlerinin kararlılığının araştırılmasıdır [1].

## 1.2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bozkır (2003), yaptığı çalışmada konutların ihtiyacı olan sıcak suyun ısı pompası ile üretimini incelemiş ve elektrikli termosifon ile mukayesesini yapmıştır. Deneylerde 40 litre sıcak su elde edebilecek kapasitede hava-su tipi Freon-22 soğutucu akışkan kullanan bir ısı pompası dizayn ederek elektrikli termosifonla mukayese etmiştir. Her iki sistemin mukayesesini sonucunda ısı pompası ile, elektrikli ısıtıcının tükettiği enerjinin yaklaşık %63'ü kullanılarak aynı miktar suyun aynı sıcaklığa kadar ısıtılabilceğini belirlemiştir [2].

Kim et al.(2004), ısı pompalı bir su ısıtma sistemi kurarak sistemin ısı dinamik davranışını incelemiştirlerdir. Sistem bir ısı pompası ve sıcak su devresinden oluşmaktadır. Analiz yapılırken; ısı değiştiricisini tanımlamada sonlu hacim metodunu uygulamışlar, kompresör ve sıcak su deposunu analiz için ise bunları yığık sistem olarak ele almışlardır. Benzeşimden küçük boyutlu sıcak su depolarının daha büyük geçici performans azalmasına sahip olduğu, büyük boyutlu depoların suyun ısıtılması periyodunda ilave ısı kaybına sebep olduğunu bulmuşlardır. Dizayn aşamasında depo boyutlarının, ısı kayıpları ve performans azalmasının beraberce düşünülerek optimize edilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır [3].

Tashtoush et al. (2005), bir bölgesi (zonlu) ısıtma amaçlı kanatlı boru demeti, soğutma ve nem alma kanatlı boru demeti, nemlendirici, kanal sistemi, fan ve karışım odası içeren bir Isıtma, Havalandırma ve Soğutma (HVAC) Sisteminin dinamik modelini elde etmek için bir yöntem tanımlamıştır. Çalışmada, yaz ve kış şartlarında değişik yöndeki duvar sıcaklıklarının oda iç sıcaklığına etkileri, nem oranının değişimi, değişik hava debilerinde oda sıcaklığı ve nem oranındaki değişimi zamana bağlı olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma boyunca HCAV parametreleri PID kontrol sistemi ile sabit tutulmaya çalışılmıştır. PID kontrol elemanları, sistemin geçici davranışlarını düzeltmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak kontrol sisteminin sistemi kısa süre içinde ve küçük hatalarla kararlı hale getirdiği görülmüştür [4].

Özer ve Pıhtılı (2005), yaptıkları çalışmada yaz ve kış şartlarında duvarlardaki ısı yüklerini optimum düzeyde tutacak etkin pasif yöntemlerden yalıtımdan maksimum faydalanma amaçlamışlardır. Beş farklı yalıtım konumunu ele alarak iç ortamın dış sıcaklık dalgalanmalarından en az etkileneceği yalıtım durumunu, ısı kazanç ve kayıplarına göre belirlemişlerdir. Yapılan inceleme sonucuna göre hem ısı kazancı hem de ısı kaybı açısından en iyi konumlandırma durumunun üç parça yalıtım konumlandırma durumu olan birbirine eşit üç parça yalıtımın içte ortada ve dışta olduğunu bulmuşlardır [5].

## BÖLÜM 2

### ISITMA SİSTEMLERİ

#### 2.1 ISITMA SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

İnsanlık tarihinin başlangıcından itibaren insanlar olumsuz iklim şartlarından korunmak için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Kapalı alanların ısıtılması, önceleri tandır adı verilen hacim içerisinde yakılan bir açık ateş ve bacadan oluşan sistemle yapılıyordu. Daha sonraları açık ateşi kontrol altında tutabilen, soba adı verilen metalden yapılmış kapalı ısıtıcılar kullanılarak ortamın ısıtılması sağlanmıştır. Tarihte ilk soba kullanımı Çin ve Rusya'da görülmektedir. Osmanlılar'da ilk sobanın kullanımı ise Tanzimat Devri ile birlikte Avrupa'ya giden aydınların sobayı Osmanlı'ya getirmesi sonucunda olmuştur.

Bir ısı santralinde hazırlanan sıcak akışkanın istenilen ortama taşınması ile bu ortamların ısıtılmasını sağlamak, eski Romalılarından beri bilinen ve günümüzde *merkezi ısıtma* adı verilen bir tekniktir. Bir ocakta yakılan yakacaktan elde edilen sıcak duman gazları, döşeme altındaki veya duvarlar içindeki kanallardan geçirilerek, salonların ve özellikle halka açık banyoların ısıtılmasında kullanılmıştır. Bu yöntem halen uzak doğuda binaların ısıtılması için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde, merkezi ısıtma tekniği Cumhuriyet Dönemi'nden sonra öncelikle resmi binalarda olmak üzere kullanılmaya başlanmış ve 1950'li yıllardan sonra da yaygınlaşmıştır [6].

#### 2.2 GÜNÜMÜZ ISITMA TEKNİKLERİ

Modern ısıtma sisteminin temeli, eski Romalılarından kalan merkezi ısıtma tekniğidir. Günümüzde kullanılan sistemlerin eskilerden farkı, ısıtıcı akışkanlar ve kapasiteleridir. Isıtma sistemlerinde kullanılan ısıtıcı akışkanlar; sıcak su, kaynar su, hava, sıcak yağ veya buhar olarak sıralanabilir. Isıtma sistemleri, kapasiteleri bakımından bireysel, merkezi,

bölgesel veya bileşik (kojenerasyon) sistemler olarak sınıflandırabilir. Bu sistemlerde radyatör, konvektör, yerden ısıtma, duvardan ısıtma gibi değişik ısıtıcı eleman uygulamaları yapılabilmektedir. Bu sistemler birincil enerji kaynağı olarak katı, sıvı veya gaz yakacak kullanırlar. Isıtma sistemlerinin kullanım amacına ve kullandıkları yakıtlara göre çeşitli avantajları ve dezavantajları söz konusudur. Bu nedenle her değişik uygulamada en uygun sistem, ısıtıcı akışkan ve ısıtıcı elemanların seçilebilmesi için bir mühendislik ve ekonomik analizin yapılması gereklidir [6].

Bir ısıtma tesisatının uygun olabilmesi için aşağıdaki koşulları yerine getirmesi gerekir:

- a) Isıtılan ortamın sıcaklığı  $\pm 1$  °C hassasiyetle kararlı olmalıdır.
- b) Hızlı ve etkili bir ayar tertibatına sahip olmalıdır.
- c) Yanma ile açığa çıkan gazlar, ısıtılan ortamı ve çevreyi kirletmemelidir.
- d) Tesisat tesis, işletme ve bakım giderleri yönünden ekonomik ve verimli olmalıdır.
- e) İşletmesi basit olmalıdır.

### **2.2.1 Yerel Isıtma**

Isıtılacak ortamın ısısı ortam içerisine yerleştirilen ısı kaynağından sağlanır. Şömine, odun ve kömür sobaları, elektrikli ısıtma cihazları ile yapılan ısıtma teknikleri bu grup içinde düşünülür. Bu ısıtma tekniğinde ortama 1 ila 10 kW arasında ısı verilir [6].

### **2.2.2 Bireysel Isıtma (Kat Kaloriferi)**

Isıtma ihtiyacı 10 ila 40 kW arasındaki hacimlerin bireysel ısıtılması için kat kaloriferi olarak adlandırılan ısıtıcılar kullanılır. Bu ısıtıcılar yakıt olarak motorin, doğal gaz veya sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanırlar.

Bu sistemlerde genellikle ısıtıcı akışkan olarak sıcaklığı 90 °C olan su kullanılır. Sıcak su bir kat kaloriferi kazanı veya kombi adı verilen cihazlarda hazırlanır ve borular ile ısıtılacak ortamlardaki ısıtıcılara gönderilir. Bazı uygulamalarda ise ısıtıcı akışkan olarak 40 °C ila 50 °C sıcaklığa sahip hava kullanılır. Bu hava bir hava ısıtıcısı tarafından ısıtılarak ısıtılacak hacme gönderilir. Sistemde ısıtılacak ortama gönderilecek hava dış hava ile belirli oranlarda karıştırılarak zorlanmış havalandırma yapılmasını sağlar.

Bireysel ısıtmanın merkezi ısıtmaya göre en büyük üstünlüğü bağımsız ısıtma

yapılabilmesidir. Dezavantajı ise merkezi ısıtmaya göre maliyetli oluşudur [6].

### **2.2.3 Merkezi Isıtma**

Merkezi ısıtma sistemi blok halinde yapılmış bir binanın ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere bir kazan dairesinde hazırlanan sıcak su, binadaki her daire veya birime ayrı ayrı gönderilir. Günümüzde merkezi ısıtma sisteminde yakıt olarak katı yakacaklar yanında doğal gaz ve sıvı yakacaklar da kullanılmaktadır. Bireysel ısıtma sistemleriyle karşılaştırıldığında bilinçli kullanıldığı takdirde hem yatırım hem de işletme açısından daha avantajlıdır [6].

### **2.2.4 Bölgesel Isıtma**

Uzaktan ısıtma sistemi de denilmektedir. Bir şehrin veya bir bölgenin ısıtma ihtiyacını karşılamak amacıyla bir ısı merkezinde hazırlanan sıcak akışkan bu bölgelerde bulunan binalara taşınmak suretiyle ısıtma yapılmaktadır. Bu ısıtma sisteminde ısı merkezinde önce birincil akışkan diye tabir edilen su ısıtılarak kaynar su veya buhar haline getirilir. Daha sonra bu akışkan ısıtılacak bölgedeki binaya gönderilir ve binanın altında bulunan ısı değiştirgeci vasıtasıyla ısısını ikinci devrede bulunan akışkana (genellikle su) aktarır. Suyun sıcaklığı maksimum 90 °C'dir ve tıpkı merkezi sistemde olduğu gibi bina içerisinde dolaştırılmak suretiyle binanın ısıtılması sağlanır. Eğer ısıtılacak bölgedeki binalar ısıtma merkezine 1 km'den daha az mesafede ise sistem doğrudan doğruya 90°C sıcaklıktaki sıcak su kullanılarak tek devreli yapılabilir [6].

## **2.3 BİNA YÖNETİM SİSTEMLERİ (BYS)**

Sürekli artan konfor taleplerine karşın azalan enerji kaynakları enerjinin verimli kullanılması zorunluluğunu doğurmaktadır. Elektronik alanındaki gelişmeler kontrol sistemlerinde elektronik cihazların kullanımını yaygınlaştırmıştır. Binalarda konfor talebinin, ekonomi, kalite ve güvenlik açısından optimum düzeyde karşılanabilmesi için bina yönetim sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemde ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin kontrolü yanında yangın ve güvenlik sistemleri, aydınlatma, acil durum enerji dağıtımı, asansörler ve proses kontrol sistemlerine kadar bir çok değişik sistemin kontrolü merkezi olarak yapılabilmektedir [7].

Bina otomasyon sistemi 3 seviyede incelenebilir:

Saha seviyesi :

Bu seviyedeki elemanlar, sıcaklık, nem, basınç gibi bilgileri algılayan sensörler, presostatlar, anahtarlar gibi kontak girişleri ve kontrolörden gelen bilgileri uygulayan kontrol vanaları, damper motorları gibi analog çıkışlar saha seviyesi elemanlarıdır.

Otomasyon (Kontrol) Seviyesi:

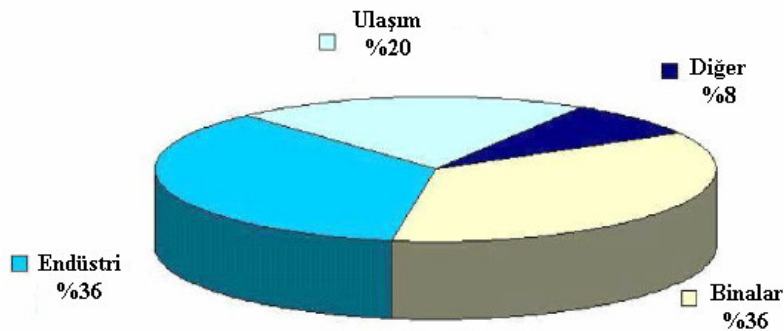
Bu seviyeyi kontrolörler (DDC-PLC üniteler) oluşturmaktadır. Kontrolörler mikroişlemci tabanlı cihazlar olup, saha elemanlarından gelen verileri, yüklenmiş olan kontrol senaryosuna ve merkezden gelen komutlara göre yorumlayıp gerekli çıkışları sağlayan ve izlenen değerleri merkeze ileten cihazlardır.

Yönetim seviyesi:

Bu seviyeyi, bina mekanik ve elektrik sistemlerinin bir bütün olarak izlendiği, kumanda edilebildiği ve raporlamaların yapıldığı ana kontrol bilgisayarları oluşturur [8].

HVAC otomasyon sistemlerinde; egzoz fanları, soğutma grupları, kazanlar, boylerler ve pompaların otomatik kontrolü yapılır.

Binalarda enerji tüketiminin büyük bir bölümünü HVAC sistemlerinde harcanan enerji oluşturur. Türkiye’de sektörel bazda enerji tüketimi dağılımı Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Türkiye’de sektörlerde enerji tüketimi dağılımı (1998-2001 yıllar ortalaması) [9].

Günümüz binalarında BYS büyük önem kazanmaktadır. BYS'nin uygulama alanı çok genişdir. BYS'nin en çok uygulandığı alanlar ve kullanım amaçları aşağıda verilmiştir.

- Bürolar, oteller, üniversiteler, okullar: Konfor, memnuniyet, yüksek çalışma verimi, ve enerji tasarrufu,
- Hastaneler, laboratuvarlar: Özel havalandırma ve nemlendirme sistemleri, enerji tasarrufu,
- Müzeler, kütüphaneler: Özel nem ve sıcaklık kontrolü, ve enerji tasarrufu,
- Alışveriş merkezleri, hava limanları: Konfor ve enerji tasarrufu,
- Ticari ve endüstriyel binalar: Proses kontrolü ve enerji tasarrufu amaçlı.

BYS ciddi yatırımlar gerektiren sistemler olmaları nedeniyle BYS'nin verimliliği, yapılan yatırımın geri dönüşümü açısından çok önemlidir. BYS verimini etkileyen unsurlar, başlıklar halinde verilmiştir.

- Mekanik sistemin tasarımı ve montajı,
- Otomatik kontrol sistemi tasarımı ve planlaması,
- İşletme yönetimi,
- Hizmet ve bakım,
- Bina alt sistemlerinin eşgüdümü.

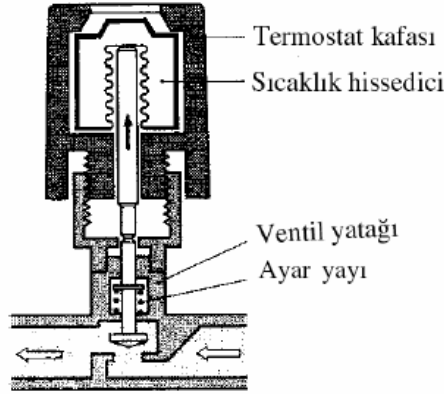
BYS'lerin kapsamı teknolojik olarak geliştirildikçe maliyeti de artmaktadır. Bu durumda bir binaya yerleştirilmesi düşünülen BYS'nin seçiminde, sağlayacağı enerji tasarrufu ile kurulum ve işletim maliyetinin bir optimum noktasının belirlenmesi gerekir. Bu optimum nokta ise BYS'nin teknolojik kapsamı ile maliyet ve verimlilik arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilerden yararlanılarak tespit edilebilir. Ancak, teknolojik kapsamın artması ile maliyet ve verimlilik arasındaki ilişki, sistemlerin yapısına, malzeme fiyatlarına ve piyasa koşullarına göre değişkenlik gösterebilecektir [7].

## **2.4 ISITMA SİSTEMLERİNDE ODA İÇİNDE KULLANILAN ÖLÇME KONTROL VE KUMANDA ELEMANLARI**

### **2.4.1 Yardımcı Kuvvetsiz Oda Sıcaklık Ayarlayıcıları**

Alışılmış radyatörlerin yerine, oda sıcaklığına duyarlı olarak ısı maddesinin radyatörlere geçmesine izin veren termostatik radyatör ventilleri kullanılmaya başlanmıştır. İki parçadan oluşmaktadır; ventil (alt taraf) ve ayarlayıcı (üst taraf).

Ayarlayıcıda bir kap içinde sıvı, buhar veya macun gibi bir maddenin genleşme esasına göre çalışan termostat vardır. Bu madde ısı yoluyla genleşir ve yay basıncına karşı gelerek ventili kapatır. Termostatik radyatör ventil çeşitleri Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de verilmektedir.

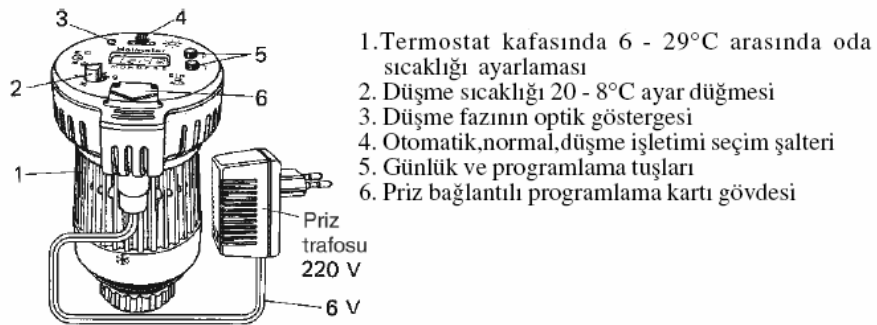


Şekil 2.2 Termostatik radyatör vanası [10].



Şekil 2.3 Otomatik radyatör ventili [10].

Günümüzde gece sıcaklık düşmesi veya ısıtma molaları için mikro işlemcili, ağa bağlanmış, termostat kafalı elektronik devre saatleri vardır (Şekil 2.4). Üzerinde bulunan program kartı ile haftanın her günü için ayrı ayrı programlanması mümkündür. Ayarlayıcı, yardımcı kuvvete gerek kalmadan termostatik genleşme elementi ile çalışır.



Şekil 2.4 Mikro işlemcili ve saatli elektronik termostat kafası [10].

Şekil 2.5'te elektronik ayarlayıcı ve haftalık saat olarak bir ek enerjili termostat kafası gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Mikro elektronik termostat kafası [10].

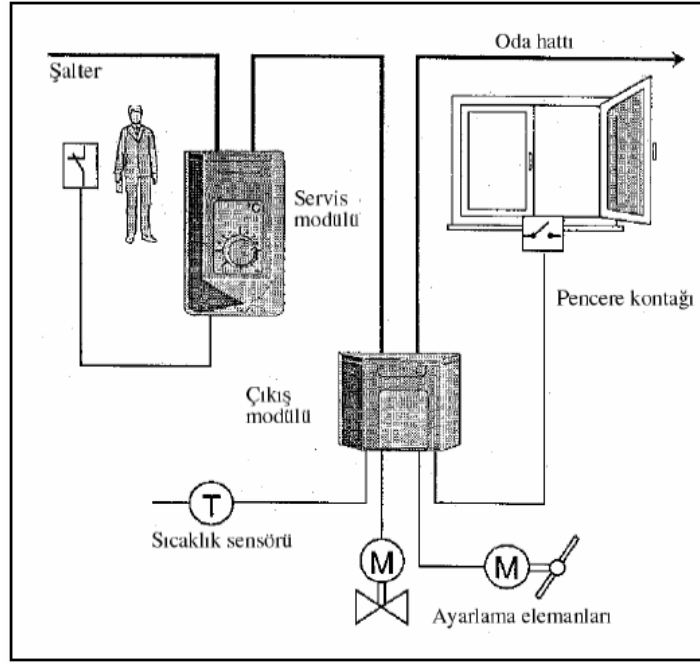
Bu cihazın özellikleri;

- a-Isı hattını boşaltmadan ve elektrik kablosu çekmeden basit montaj.
- b-Kullanıma uygun sıcaklık ve zaman programları sayesinde konfor iyileştirmesi ve enerji tasarrufu.
- c-Pencere havalandırması sırasında ventili kapayarak enerji tasarrufu. Günlük veya haftalık çalıştırma programı.
- c-Üç düğme ile kolay kullanım, aktüel günlük program göstergeli kolay okunan LCD ekran.
- c-Aktüel programın bir düğme ile bir sonraki ısıtma programına geçmesi [10].

#### 2.4.2 Tek Oda Ayar Sistemleri

Günümüz optimizasyon imkanlarıyla tek odalar için de ayarlama imkanları söz konusudur. Şekil 2.6'da üç bölümden oluşan modüler sistem gösterilmektedir.

- 1-Açma kapama bileşenleri
- 2-Bölüme ait ayarlama düzeni
- 3-Bina otomasyon sistemi entegrasyonu ile daha da büyüeyebilen merkezi servis düzeni



Şekil 2.6 Oda düzeni [10].

### 2.4.3 Ek Enerji İle Çalışan Kontrol Cihazları

Bu cihazlar da aynı prensibe göre çalışırlar. Diğerlerinden farklı olarak basınçlı hava veya elektrik enerjisi kullanırlar. Fiyatları daha pahalıdır ancak hassas kontrol sağlarlar. Elektrik ayarlayıcılar sıcaklık sensörü olarak ya bir metal veya değişik genleşme parçacıkları kullanırlar ve ısı düştüğünde otomatik olarak devredeki ventili açarlar [10].

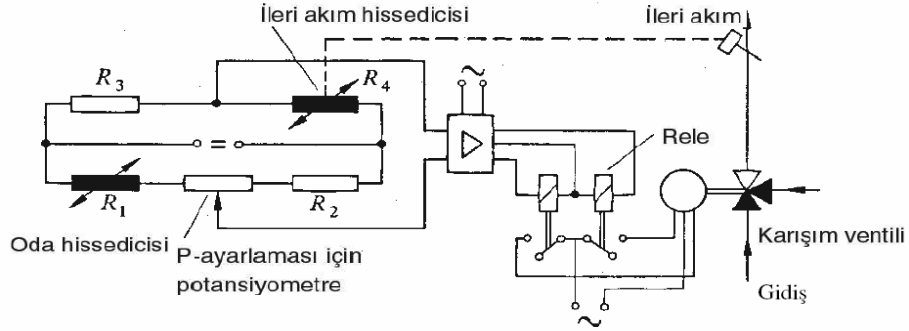
## 2.5 ISITMA SİSTEMLERİNDE AYARLAMA YÖNTEMLERİ

### 2.5.1 Düzensiz Ayarlama

Test odası kabul edilen uygun bir odaya yerleştirilen oda termostatına göre, binanın diğer odalarının gereksinimlerine dikkat etmeden test odasının sıcaklığının sabit kalması sağlanır. Diğer odadaki cihazlar da bu odadaki kadar güç harcar. Bu sistem genellikle müstakil evler, okullar vb. gibi fazla büyük olmayan binalarda kullanılır. Büyük binalar için uygun değildir. Uygulama iki veya üç noktalı elektrikli ayarlayıcılarla olur. Ucuzdur, ancak sıcaklık değişimleri sistemin ölü zamanları nedeniyle yüksektir [10].

## 2.5.2 Düzenli Ayarlama

Elektronik oda sıcaklık ayarlaması motor ve karışım ventilleri ile olabilir (Şekil 2.7). R1 ve R4 ölçüm köprüsünde dirençlerdir. Oda sıcaklığı değişince R1 diyagonal akım ile kuvvetlendiriciler ve karışım ventilleri sayesinde ventili harekete geçirir. Bunun sonucunda R4'teki akım sıcaklığı değişerek köprü'nün yeniden dengeye gelmesi sağlanır [10].



Şekil 2.7 Karıştırma ventilli elektronik oda sıcaklığı ayarlaması devre şeması. R1, R2, R3, R4 dirençler [10].

## BÖLÜM 3

### BİNALARIN ISIL DAVRANIŞI

Dünyada birincil enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Bunun sonucu olarak insanlar enerjii verimli kullanma ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımı üzerinde çalışmaktadırlar. Binalarda harcanan enerjinin büyük kısmını HVAC sistemleri oluşturmaktadır. Bu nedenle HVAC sistemlerinde enerjinin verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. Isıtma sistemlerinin devreye alınma zamanlarının tespitinde, ısıtılacak ya da soğutulacak alanları çevreleyen yapıların ısı özelliklerinin ve ısı davranışlarının tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tahminler simülasyon hesaplamaları sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek ortaya konulmaktadır. Bu hesaplamalar neticesinde enerji tasarrufuna yönelik optimum bina ve ısıtma sistemleri tasarlamak mümkün olmaktadır.

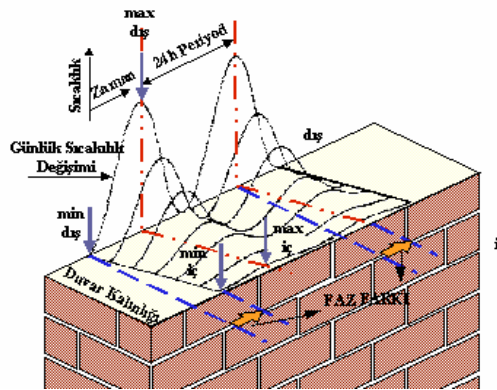
#### 3.1 BİNA DUVARLARI VE YALITIM MALZEMELERİNİN ISIL DAVRANIŞI

Bina kabuğu, enerji korunumunda etkili olan önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Dış duvarlar sürekli olarak iklim şartlarına maruzdurlar [11]. Güneş ışınımı ve ortam sıcaklığının etkisiyle duvarların dış yüzey sıcaklığı ve duvardan iç ortama geçen ısı miktarı zamana bağlı olarak değişim gösterir. Bina malzemelerinin ısı iletim katsayısı, bina kabuklarının ısı kazanım ve kayıplarında en önemli faktörlerden biridir [12]. Uygun malzeme kullanımı ve duvar kalınlıklarının gerekli ölçülerde seçilmesi halinde gün boyunca dış ortamda karşılaşılan yüksek ve düşük sıcaklıkların iç ortama iletilmelerinde başlangıçtaki değerlerinden düşük olarak ve 12 saate kadar varabilen gecikmeyle iç ortama ulaşması sonucu geceleri ortamın ısıtılması ve gündüz ise gece soğuyan duvar malzemesi sayesinde ortamın soğutulması olanaklıdır. Dış yüzey rengi ve dokusu ve güneş enerjisini absorplama özelliği, duvar kesitinde kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve yoğunluğu güneş enerjisi karşısındaki ısı davranışlarının belirlenmesinde önemli rol oynar [11].

Geleneksel mimaride her iklime en uygun mimari ve yerleşim benimsenmiştir. Türkiye’de karasal iklimin yaşandığı sıcak-kuru iklim bölgelerindeki geleneksel mimari örneklerinde bina kabuğunun zaman geciktirmesinden yararlanmak için bina kabuğunun ısı kütlesi yüksek olan malzemelerden oluştuğu görülmektedir. Bu tür kabuk detayları, yaz ayları şiddetli geçen bu iklim bölgelerinde gündüz yüksek olan sıcaklıkların bina içerisine dış sıcaklıkların düştüğü gece saatlerinde değişim genliği de düşmüş olarak geçmesini, dolayısıyla bina içerisinde gün boyunca kararlı konfor koşullarının oluşmasını sağlamaktadır. Bina kabuğunun saydamlık oranının olabildiğince düşük, kabuğun opak bileşenlerinin ise ısı kütlesi ağır malzemelerden olabildiğince kalın yapıldığı görülmektedir. Opak bileşenlerin ısı kütlesinin ağırlığı dışarıdaki sıcaklığın geciktirilerek içeriye girmesini sağlarken saydamlık oranının düşük olması camlardan doğrudan güneş enerjisi kazancını en aza indirmektedir [13].

Binaların dış kabukları çevre sıcaklığı, güneş ışınımı vb. dış iklim koşullarının etkisi altındadır. İklim koşulları sürekli olarak değişir. Gneş ışınımına maruz olan kapalı bir hacmin opak duvarları o anki şartlarda dengeye ulaşmıncaya kadarduvvar kalınlığı boyunca sıcaklık değişimi gözlenir [11].

Güneş ışınımı etkisindeki bir duvar içerisinde sıcaklık, zamana bağlı süreçte termofiziksel özelliklere bağlı olarak sinüzoidal dalgalar halinde yayılır. Sinüzoidal sıcaklık dalgası duvar içinde iletilirken genliği, malzemenin termofiziksel özelliklerine bağlı olarak gittikçe azalmakta ve duvarın iç yüzeyine başlangıçtaki değerinden oldukça küçülmüş olarak belli bir zaman gecikmesi ile ulaşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Duvar içerisinde sıcaklık gradyanının zamana bağlı değişimi [11].

## 3.2 PASİF ISITMA VE SOĞUTMA

Güneş enerjisinin kullanılmasındaki amaç; binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını daha az enerji kullanarak karşılamaktır. Binalar ısıtma kütlelerinden dolayı gündüz güneşten ısı alıp gece ise aldıkları bu ısıyı geri verirler. Pasif sistemler olarak tabir edilen binalar güneşten topladıkları enerjiyi depolarlar ve geceleyin depoladıkları enerjiyi binanın içine verirler. Binaların pasif enerjilerden yararlanma biçimleri buldukları bölgeye göre değişir.

Avrupa’da konutsal binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık %75’i alanların ısıtılması amacıyla kullanılıyordu. 80’li yıllarda ortaya çıkan petrol krizinden sonra alan ısıtma yükü yaklaşık 75 kWh/m<sup>2</sup>·yıl olan evlerin yapımı artmıştır [14]. Özellikle Almanya, Avusturya ve İsviçre’de ısı kazanımıyla enerjiyi düşük miktarlarda kullanma ve verimli bir mekanik havalandırma sistemi temeline dayanan pasif evlerin yapımında büyük bir artış olmuştur. Alanya da 4000’den fazla pasif ev inşa edilmiştir. İlk proje Almanya’nın Darmstadt şehrinde inşa edilmiştir.

Pasif ısıtma-soğutmalı ev standartları enerji etkin dizayn ve konstrüksiyonda standart oluşturur. Bir binanın pasif bina kabulünün yapılabilmesi için yıllık ısıtma ihtiyacı 15 kWh/m<sup>2</sup>·yıl değerini aşmamalıdır. Bunun yanında binanın alan ısıtması, sıcak su ve bina hizmetleri için yıllık birincil enerji tüketimi 60 kWh/m<sup>2</sup>·yıl’ı aşmamalıdır [14].

### 3.2.1 Güneş ile Pasif Isıtma Yöntemleri

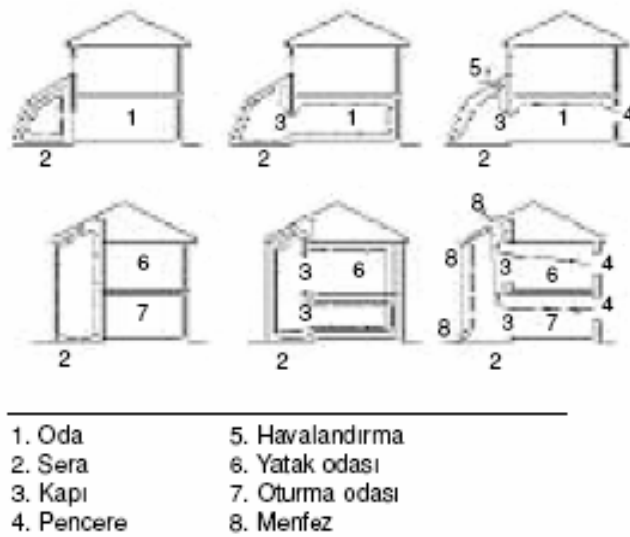
Bu yöntemin kullanımında binanın mümkün olduğunca güneş ışığından faydalanması düşünülerek bina tasarımı yapılmalıdır. Kuzey yarımkürede bulunan binaların pencereleri maksimum güneş ışığından faydalanabilmesi için güneye bakmalıdır. Yeterince güneş ışığı sağlayabilmek için binanın uzun gövdesi güneş gören güney cephesi boyunca uzanmalıdır. Bina kışın ısıtma ihtiyacını azaltacak şekilde tasarlanmalıdır. Güneş ışınlarını depolayabilmek için yapıda termal kütleler (ısıtma kütlesi yüksek malzeme) kullanılmalıdır. Binaların pencerelerinin güneye bakması her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle çok katlı binalarda güneşten yararlanmada sorunlar ortaya çıkmaktadır. Güneş ile pasif ısıtma sisteminde, direkt ısı kazanımı ve dolaylı (indirekt) ısı kazanımı şeklinde iki yaklaşım vardır.

### 3.2.1.1 Doğrudan (Direkt) Kazanım

Bu yöntemle bina, güneş ışınlarını bina içerisine yansıtacak şekilde tasarlanır. Bu yöntem, güneşe bakan yüzeylerde cam giydirme cephe ve ısı camlar kullanılarak yapılabilir. Bina içerisine doğrudan giren güneş ışınımı sayesinde bina içerisinde bulunan yüksek yoğunluklu mobilya ve eşyalarda ısı depolanır daha sonra depolanan ısı ortamı ısıtır.

Kışın içeriye giren güneş ışığının mümkün olduğunca depolanabilmesi için yüksek yoğunluklu ve koyu renkli malzemeler kullanılması ve duvar pencere oranının %15'i geçmemesi istenir. Direkt ısı kazanımı yönteminde malzemenin ilk 10cm'lik kalınlığı etkilidir, ahşap malzemelerde ise uygun kalınlık 2.5 cm'dir. Güneş ışığını depolayan eşyaların mümkün olduğunca güneş ışığından yararlanması için eşyaların önü kapatılmamalıdır. Termal ısı emici malzemeleri içeride kullanmak kabukta kullanmaktan daha iyi sonuçlar verecektir.

Soğuk iklim bölgelerinde geceleri ısı kayıplarını azaltmak için hareketli paneller, perde, panjur gibi elemanlar kullanılmalıdır. İyi tasarlanmış bir güneş evi yazın havalandırma, kışın ise ısıtma ihtiyacını gidermelidir. Bu etkiyi sağlayabilmek için mimar ve mühendisler bina kenarına sera yapılmasını uygun görmüşlerdir. Bazı sera yerleşim şekilleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Tek ve çift katlı binalarda sera örnekleri [16].

Seranın kullanıldığı binalarda ısı kayıpları %50 oranında pasif güneş enerjisinden karşılanmaktadır. Seralar bitki yetiştirme amaçlı ve ikamet amaçlı olarak kullanılabilirler. Seralarda havalandırma için alt ve üst bölgelerde açılabilir (veya menfez) havalandırma kanalları bulunmalıdır. Hava sirkülasyonu için her 10 m<sup>2</sup> cam alanı için 0.8 m<sup>2</sup> menfez alanı bulunmalıdır.

Sıcak ve güneşli bir günde menfezler açıldığında serada ısınan sıcak hava üst menfezden binanın diğer bölümlerine aktarılırken, diğer odalardaki serin hava alt menfezden doğal konveksiyonla seraya emilir. Bu sistem yazın mekanik sistemlere gerek kalmadan binanın havalandırmasını sağlamaktadır. Alt ve üst menfezler termostat kontrollü otomatik damperlerle de kontrol edilebilir. Yaz havalandırmasında, seranın çatı alt havalandırma kanallarının ve kuzey yönüne bakan pencerelerin açılması ile oluşan hava akımı bina iç yüzeylerini süpürerek doğal serinletme sağlar.

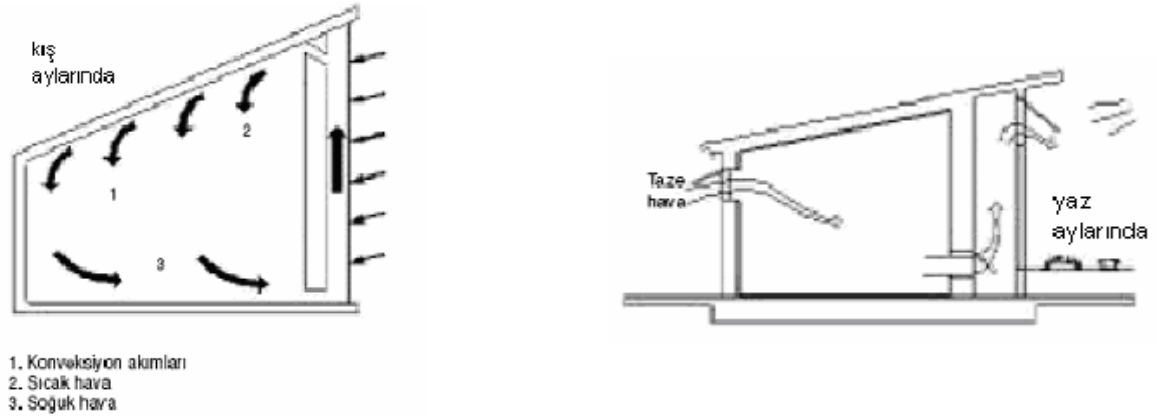
Seranın (güneş odasının) genişliği yüksekliğinden daha fazla ise güneş ışınlarını daha fazla alacaktır. Ayrıca iç yüzeylerde yutuculuğu en az %70 olan malzeme (siyah ya da koyu kırmızı ) kullanılmalıdır.

Bununla birlikte motorlu ve termostat kontrollü gölgeleme elemanları kullanarak, yazın gölgeleme yaparak, kışın ise ısı kayıplarını azaltarak ek konfor sağlanabilir. Pencerelerden giren güneş ışınlarının büyük bir kısmı soğurularak ısıya dönüştürüldüğünden, doğrudan kazanç yöntemlerinin uygun tasarımı ile etkili yöntemler haline dönüşürler. Ortamda bulunan ısı soğurucu yüzey iyi seçildiği takdirde emilen (absorbe) edilen enerji %90'lara kadar çıkmaktadır.

### **3.2.1.2 Dolaylı (indirekt) Kazanım**

Bu yöntemde enerji, binanın bir tarafında depolanarak diğer bölgelere konveksiyonla (zorlanmış veya doğal) aktarılır. Isıl kazanç bir tampon bölge yardımı ile sağlanır. Güneş ışınları doğrudan içeri alınır, ancak iç ve dış mekanlar arasında oluşturulan güneş enerjisini emici ve depolayıcı ara elemanlar yardımı ile enerji depolanmaktadır. Bu konuda en çok kullanılan teknikler termal duvar yöntemi, termal çatı yöntemi, sera yöntemidir.

Termal duvar yöntemi, ısı emici duvar ve bu duvar dışına çekilmiş saydam bir tabakadan oluşur. Termal duvar su, briket, dolu tuğla, taş, kerpiç ve beton gibi yüksek yoğunluklu maddelerden yapılabilir. Bu amaçla en çok kullanılan trombe duvarıdır. Trombe duvarı Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Trombe duvarı [16].

Trombe duvarı binanın güney cephesinden 10 cm daha içeride yüksek yoğunluklu malzemeden yapılmış kalın duvar ve camdan ibarettir. Koyu renkli olarak siyah, kahverengi, koyu yeşil, koyu kırmızı veya seçici yüzeye sahip krom ve alüminyum folyo kaplı bakır kullanarak duvar oluşturulabilir. Burada camdan geçen ışınlar duvar tarafından emilerek depolanır. Böylece duvar ile cam arasında kalan hava ısınır, ısınan hava iç menfezler aracılığı ile diğer mekanlara aktarılır. Duvarın kalın olmasındaki amaç, enerjiyi depolaması ve daha sonra geceleri ısıyı vermeye devam etmesidir. Duvar ile cam arasındaki ısınan hava yükselir ve üstteki menfezden iç mekanlara girer. Hava sahip olduğu enerjiyi burada bırakarak alt menfezlerden tekrar duvar ile cam arasına girer; cam ile duvar arasındaki sıcaklık oda sıcaklığından büyük olduğu müddetçe bu sirkülasyon devam eder.

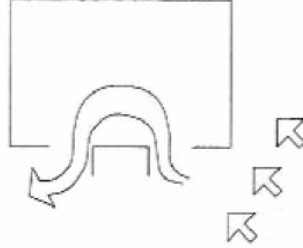
### 3.2.2 Güneş ile Pasif Soğutma

#### 3.2.2.1 Havalandırma ve Açılıp Kapanabilen Pencere

Güneş ile pasif soğutma sistemleri sıcak iklimlerde doğal havalandırma amacıyla uygulanabilir. Bir binada, yüzeyde pencere yerleştirilecekse tek pencere kullanmak yerine aralıklı iki adet pencere kullanmak daha avantajlıdır.

### 3.2.2.2 Kanat Duvarlar

Kanat duvarlar, pencere kenarında duvara dik yerleştirilmiş panel şeklinde duvarlardır. Bu paneller basınç farkını dolayısıyla doğal konveksiyonu arttırıcı etki yapmaktadır (Şekil 3.4).

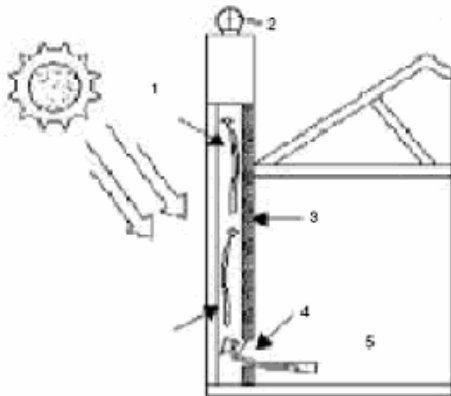


Şekil 3 4 Kanat duvar ve hava akımları [16].

### 3.2.2.3 Güneş Bacası

Güneş bacası bina içinden dışarıya doğru hava akımlarını oluşturmak için kullanılır. Bacanın üst yüzü cam diğer yüzü güneş enerjisini absorbe edici metalle kaplanır ve binaya temas ettiği noktalarda yalıtım yapılarak bacada yüksek sıcaklık elde edilir. Baca binanın en yüksek noktasından daha yükseğe çıkmalı ve bacanın bir şapkası olmalıdır. Ayrıca bacanın açık tarafı rüzgarın tersi yönünde olmalıdır. Şekil 3.5’de güneş bacası gösterilmiştir.

Bu sistemde oluşan sıcaklık farkları, bina içinde hava sirkülasyonu sağlayarak yazın serinletme etkisi yapar [16].



- 1-Yüksek yüzey sıcaklıkları baca çekişini artırır.
- 2-Döner türbin.
- 3-Yalıtım.
- 4-Damper.
- 5-Evin soğuk tarafındaki hava tarafından yer değiştirir.

Şekil 3.5 Güneş bacası [16].

## BÖLÜM 4

### KAZANLARIN YAKIT MALİYETİNİN VE ÇEVREYE VERDİKLERİ KARBONDİOKSİT MİKTARININ HESAPLANMASI

Isıtma sistemlerinin ilk çalıştırıldıkları andan itibaren ısıtılan ortamda istenilen konfor şartlarını sağlayabilmesi için belirli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Isıtma sistemlerinden beklenen ise ilk çalıştırıldıkları andan itibaren konfor şartlarını kısa sürede sağlamalarıdır. Bu sorunu gidermek için ısıtma sisteminin daha erken devreye alınması söz konusudur. Bu süre ise çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu parametreleri; ısıtılacak ortam sıcaklığı, dış ortamın sıcaklığı, ısıtma sisteminin ısıtma kütlesi, bina kabuğunun kütlesi, vb sıralayabiliriz. Bu süre ise bahsedilen değişkenlere bağlı dinamik analiz yapılarak tespit edilebilir. Bu süre tespit edilerek sistemin çeşitli şartlarda istenilen sıcaklık değerine ulaşması için ısıtma sisteminin ne kadar önce devreye alınacağı hesaplanabilir. Ayrıca, ısıtma sisteminin geç devreye alındığında istenilen konfor şartlarına geç ulaşmasını, erken devreye alındığında ise oluşacak ek yakıt maliyetini ve çevreye verdiği zararları önlemiş oluruz.

Bu bölümde sıcak sulu ısıtma sistemlerinde kullanılan kazanların 1 saatte harcadıkları yakıt miktarı ve maliyeti hesaplanmıştır.

#### 4.1 KAZAN İÇİN HESAPLAMALAR

Yakıtlar, birincil enerji kaynağı adı verilen, kömür, fuel-oil, motorin ve doğal gaz olmak üzere fosil yakıtlardır. Her fosil yakıtın yanması sonucu ortama verdikleri CO<sub>2</sub> (karbondioksit) miktarları yakıtın içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> miktarları Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1 Yakıtların yanması sonucu baca gazındaki maksimum CO2 miktarları [17].

Yakıt Türü	CO <sub>2max</sub> (%)
Taş Kömürü	18,7
Kalorifer yakıtında	15,4
5 No.lu Fuel-oil	15,9
Doğal gaz L	11,7
Doğal gaz H	12,0
Propan	13,8
Metan	11,7

Çizelge 4.2 Yaklaşık kazan verimleri [6].

Yakacak cinsi	Kazan Isıl Verimi, $\eta_k$
Linyit Kömürü	0,60
Kok ve maden kömürü	0,65
Fuel-oil	0,75
Doğal gaz	0,75

#### 4.1.1 Isıl Kapasitesi $Q_k$ ve Isıl Verimi $\eta_k$ Olan Kazanın 1 Saatte Yakacağı Yakıt Miktarının ve Maliyetinin Hesaplanması

Kazanın 1 saatte yakacağı yakıt miktarı;

$$B_s = \frac{Q_k}{H_u \eta_k} \quad (4.1)$$

formülüyle hesaplanabilir.

Burada,

$B_s$  : Saatlik yakıt miktarı, (kg/h)

$Q_k$  : Kazan kapasitesi, (kcal/h)

$H_u$  : Yakıtın alt ısıl değeri, (kcal/kg veya kcal/m<sup>3</sup>)

$\eta_k$  : Kazanın ısıl verimini (%)

ifade etmektedir.

Bir saatte yakılan yakıtın (SYM) maliyeti ise,

$$SYM = B_s \times BYF \quad (4.2)$$

olur. Burada,

BYF : Birim yakıt fiyatı olup YTL/kg veya YTL/m<sup>3</sup> olarak Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 10 Şubat 2005 tarihi için yakıtların birim fiyatları ve ısıl değerleri [18].

YAKIT ÇEŞİDİ		ISIL DEĞERİ	BİRİM FİYATI
		Gaz:kcal/m <sup>3</sup> Sıvı ve katı: kcal/kg	Gaz:YTL/m <sup>3</sup> Sıvı ve katı: YTL/kg
DOĞAL GAZ KONUT	(Bursa-BURSAGAZ)	8250	0,380372
	(Eskişehir-ESGAZ)	8250	0,381886
	(Ankara - EGO)	8250	0,409504
	(İstanbul-İGDAŞ)	8250	0,411905
	(İzmit-İZGAZ)	8250	0,423527
DOĞAL GAZ RESMİ DAİRE	(Bursa-BURSAGAZ)	8250	0,380372
	(Eskişehir-ESGAZ)	8250	0,381886
	(Ankara - EGO)	8250	0,409504
	(İstanbul-İGDAŞ)	8250	0,411905
	(İzmit-İZGAZ)	8250	0,423527
KÖMÜR	SOMAKÖMÜRÜ (Eskişehir)	5500	0,185000
	İTHAL KÖMÜR (Eskişehir)	6000	0,230000
	İTHAL KÖMÜR (İstanbul)	7000	0,280000
	SOMA KÖMÜRÜ (İzmit)	5400	0,200000
	İTHAL KÖMÜR (Ankara)	6000	0,250000
	İTHAL KÖMÜR (Bursa)	6000	0,260000
	SOMA KÖMÜRÜ (İstanbul)	5500	0,220000
	İTHAL KÖMÜR (İzmit)	6000	0,260000
FUEL-OİL No:4 KALORİFER YAKITI	KALORİFER YAKITI (İzmit)	9700	1,050000
	KALORİFER YAKITI (Bursa)	9700	1,050000
	KALORİFER YAKITI (İstanbul - Avrupa Yakası)	9700	1,050000
	KALORİFER YAKITI (Ankara)	9700	1,070000
	KALORİFER YAKITI (Eskişehir)	9700	1,080000

**Çizelge 4.3 (Devam Ediyor)**

LPG	PROPAN DÖKME GAZ KONUT	11100	1,758200
	12 kg TÜP (Ankara)	11000	2,008333
	12 kg TÜP (İzmit)	11000	2,045833
	12 kg TÜP (İstanbul)	11000	2,083330
	12 kg TÜP (Bursa)	11000	2,087500
	12 kg TÜP (Eskişehir)	11000	2,125000
MOTORİN	MOTORİN (İzmit)	10200	2,071006
	MOTORİN (Bursa)	10200	2,071006
	MOTORİN (İstanbul - Avrupa Yakası)	10200	2,082840
	MOTORİN (Eskişehir)	10200	2,094675
	MOTORİN (Ankara)	10200	2,094675

Hesaplamalarda referans olarak alınan yakıtlar aşağıda verilmiştir.

Katı yakacak: İthal Kömür (ANKARA) (Çizelge 4.3)

BYF: 0,25 YTL/kg

$H_u = 6000$  kcal/kg

$\eta_k = 0,65$  (Çizelge 4.2)

$CO_{2max} = 0,187$  (Çizelge 4.1)

Sıvı yakacak: Kalorifer yakıtı (ANKARA) (Çizelge 4.3)

BYF = 1,07 YTL/kg

$H_u = 9700$  kcal/kg

$\eta_k = 0,75$  (Çizelge 4.2)

$CO_{2max} = 0,154$  (Çizelge 4.1)

Gaz yakacak: Doğal gaz Konut (Ankara-Ego) (Çizelge 4.3)

BYF = 0,409 YTL/m<sup>3</sup>

$H_u = 8250$  kcal/m<sup>3</sup>

$$\eta_k = 0,75 \text{ (Çizelge 4.2)}$$

$$\text{CO}_{2max} = 0,12 \text{ (Çizelge 4.1)}$$

#### 4.1.2 Yakıtların Yanması Sonucunda Oluşan Baca Gazı Miktarının Hesaplanması

Baca gazı miktarının hesaplanmasında kullanılan Eşitlik 4.3, Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5' te yakıtların alt ısı değerleri ( $H_u$ )'nun birimleri kaynak kitapta kJ/kg olarak verilmiştir [17]. Hesaplamalarda birim dönüşümü yapılmıştır.

Taş kömürü ve linyit için baca gazı miktarı,

$$V_{bg \min} = \frac{0,898 \times 0,239 \times Hu + 1634}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (4.3)$$

formülüyle hesaplanmaktadır [17].

İthal kömür (ANKARA) için baca gazı miktarı,

$$V_{bg \min} = \frac{0,898 \times 0,239 \times 6000 \times 4,182 + 1634}{1000}$$

$$V_{bg \min} = 7,019 \text{ m}^3/\text{kg}$$

olarak hesaplanır.

Fuel-Oil için baca gazı miktarı,

$$V_{bg \min} = \frac{0,28 \times H_u}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (4.4)$$

formülü ile hesaplanmaktadır [17].

Kalorifer yakıtı (ANKARA) için baca gazı miktarı,

$$V_{bgmin} = \frac{0,28 \times 9700 \times 4,182}{1000}$$

$$V_{bgmin} = 11,358 \text{ m}^3/\text{kg}$$

olarak hesaplanır.

Doğal gaz için baca gazı miktarı,

$$V_{bg\ min} = \frac{0,28 \times Hu}{1000} + 0,6 \text{ (m}^3/\text{m}^3) \quad (4.5)$$

formülü ile hesaplanmaktadır [17].

Doğal gaz konut (Ankara) için,

$$V_{bg\ min} = \frac{0,28 \times 8250 \times 4,182}{1000} + 0,6$$

$$V_{bgmin} = 10,260 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

olarak hesaplanır.

## **4.2 FARKLI KAPASİTELERE SAHİP KAZANLARIN 1 SAAT ÇALIŞMALARI SONUCUNDA OLUŞACAK YAKIT MALİYETLERİ VE KARBONDİOKSİT MİKTARLARININ HESAPLANMASI**

Kazanların erken işletmeye alınması sonucu oluşacak olan maliyetler ve çevreye verdikleri karbondioksit miktarları göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur. Oluşan maliyet ve atmosfer kirliliği, yakıtların verimli yakılmalarının yanı sıra yakma sistemlerinin işletmeye alınma zamanlarının tespiti ile de ilgilidir. Bu durum göz önüne alınarak farklı kazan kapasitelerine sahip kazanların 1 saat çalışmaları sonucunda ortaya çıkacak maliyet ve çevreye atılacak karbondioksit miktarları hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda tek bir konutun, bir binanın ve bir sitenin ısınma ihtiyacı göz önünde bulundurularak kazan kapasiteleri 20000, 100000 ve 1000000 kcal/h alınmıştır.

Hesaplamalar sonucunda bulunan yakıt maliyetleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ayrıca 1 saat çalıştırılmaları durumunda çevreye atılacak CO<sub>2</sub> miktarları Çizelge 4.5 verilmektedir.

Çizelge 4.4 Farklı kapasitelere sahip kazanların 1 saat fazla çalıştırılmaları sonucu hesaplanan ek yakıt miktarları ve ek yakıt maliyetleri.

Kazan gücü (kcal/h)	1 saatte harcanan yakıt miktarı			1 saat çalışması sonucu oluşan yakıt maliyeti (YTL/h)		
	Kömür kg/h	Fuel-oil kg/h	Doğal gaz m <sup>3</sup> /h	Kömür	Fuel-oil	Doğal gaz
20000	5,128	2,749	3,232	1,282	2,941	1,321
100000	25,641	13,745	16,161	6,410	14,707	6,610
1000000	256,410	137,457	161,616	64,102	147,078	66,100

Çizelge 4.5 Farklı kapasitelere sahip kazanların günde 1 saat fazla çalıştırılmaları sonucu hesaplanan çevreye verdikleri ek CO<sub>2</sub> miktarları.

Kazan gücü (kcal/h)	Çevreye 1 saate fazladan atılan CO <sub>2</sub> miktarı, (m <sup>3</sup> /h)		
	Kömür	Fuel-oil	Doğal gaz
20000	6,930	4,808	3,979
100000	33,655	24,042	19,897
1000000	336,551	240,430	198,891

Çizelge 4.4 ve 4.5'in incelenmesinden, ister küçük kapasiteli, ister büyük kapasiteli olsun bir kazanın bir saat gereksiz yakılması dahi önemli maddi kayba ve CO<sub>2</sub> salınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada ısıtma sistemlerinde, ortamın istenen sıcaklığa getirilmesi için kazanların ne kadar erken yakılması gerektiği konusunda bilgi üretilmeye çalışılmıştır.

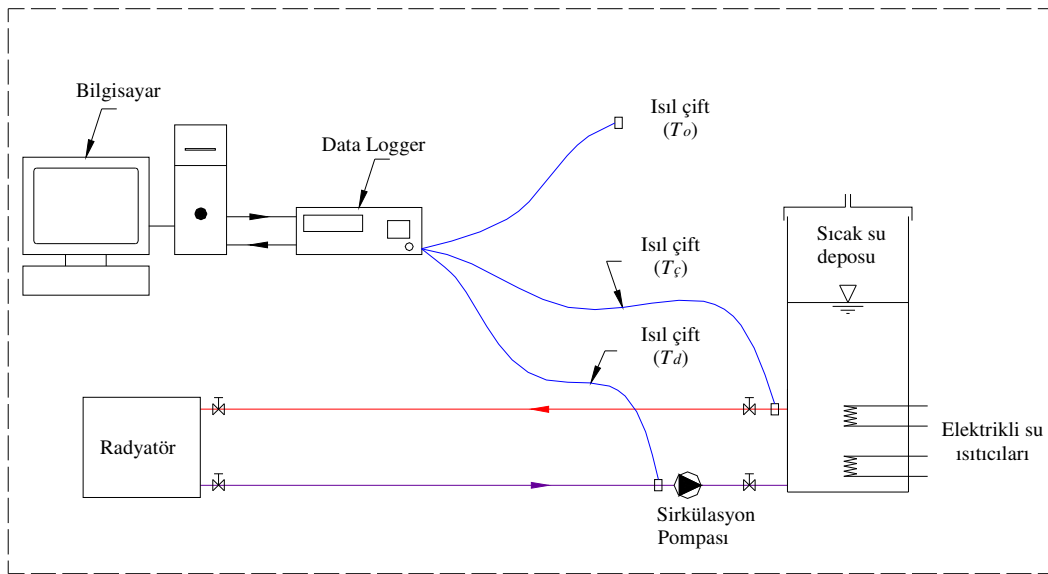
## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 5.1 DENEY SETİNİN TANITIMI

Deney seti, bir sıcak sulu ısıtma sistemi modeli olarak tasarlanmıştır. Deney seti, ısıtma sistemi ve ölçme sisteminden oluşmaktadır. Isıtma sistemi; sıcak su sirkülasyonunu sağlayan 3 hız kademesine sahip sirkülasyon pompası, sıcak su gidiş ve dönüş boruları, dökme dilimli radyatör, iki adet 2500 W gücünde depo içerisine yerleştirilmiş olan elektrikli su ısıtıcısı ve sıcak su deposundan oluşmaktadır. Sıcak su gidiş borusunun depoya giriş kısmında ve sirkülasyon pompası girişinde birer adet su akışını düzenleyen kontrol vanası bulunmaktadır. Ölçme sistemi; 3 adet yüzeye sarılan K tipi ısıl çift (thermocouple), data logger cihazı ve kişisel bilgisayardan oluşmaktadır.

Deneysel çalışmada; depo çıkış sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ölçülmektedir. Isıl çiftlerin uçları data logger cihazına bağlanarak ölçümler 1'er dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Deney setinin kurulumu Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1 Deney setinin şeması.

Isıtma sistemini oluşturan elemanlar hassas terazide tek tek tartılarak her deney için ısıtma sisteminin toplam metal kütlesi hesap edilmiştir. Çizelge 5.1’de deney setinde olup, ısıtma sistemine ait elemanların birim kütleleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 Isıtma sistemini oluşturan elemanların birim kütleleri.

Malzeme	Birim kütlesi (kg)
Depo	32.900
Radyatör dilimi	6.300
Radyatör Vanası(köşe)	0.230
Nipel(1/2")	0,060
Akış Kontrol vanası(1/2")	0,220
Radyatör tapası	0,170
Dirsek(1/2")	0,110
Rakor(1/2")	0,190
Manşon(1/2")	0,040
Radyatör nipel	0,080
Dikişsiz çelik boru(10 m)	11,500
Pompa	2,500

Deneysel çalışmada ısıtma sistemin toplam metal kütlesi radyatör dilim sayıları 3’er artırılarak değiştirilmiştir. Çizelge 5.2’de deney setinde 3 dilim radyatör kullanıldığında sistemi oluşturan elemanlar ve toplam metal kütlesi verilmiştir.

Çizelge 5.2 Deney setinde 3 dilim radyatör kullanıldığında sistemin toplam metal kütlesi.

Malzeme	Birim kütlesi (kg)	Adedi	Toplam kütlesi (kg)
Depo	32.900	1	32,900
Radyatör dilimi	6.300	3	18,900
Radyatör Vanası(köşe)	0.230	2	0,460
Nipel(1/2")	0,060	6	0,360
Akış Kontrol vanası(1/2")	0,220	2	0,440
Radyatör tapası	0,170	4	0,680
Dirsek(1/2")	0,110	4	0,440
Rakor(1/2")	0,190	3	0,570
Manşon(1/2")	0,040	2	0,080
Radyatör nipel	0,080	4	0,320
Dikişsiz çelik boru (10 m)	11,500	1	11,500
Pompa	2,500	1	2,500
<b>Sistemin toplam metal kütlesi</b>			<b>69,65</b>

Isıtma sistemine üç dilim radyatör ilave etmek için 6 adet radyatör nipel kullanılmaktadır. Üç dilim radyatör ilave edildiğinde sistemin metal kütlesi;  $6,300 \times 3 + 0,08 \times 6 = 19,38$  kg artmaktadır. Çizelge 5.3’te dilim sayısına göre ısıtma sisteminin toplam metal kütlesi verilmiştir.

Çizelge 5.3 Dilim sayısına göre ısıtma sisteminin toplam metal kütlesi.

Radyatör Dilim Sayısı	Isıtma sisteminin toplam metal kütlesi ( $m_{\text{metal}}$ ), kg
3	69,65
6	89,03
9	108,41
12	127,79
15	147,17

### 5.1.1 Isıtma Sistemi

Isıtma sistemi; sıcak su deposu, radyatör, sirkülasyon pompası, vanalar, borular ve ısıtıcılardan oluşmakta olup bunlar aşağıda sırayla tanıtılmıştır.

#### 5.1.1.1 Sıcak Su Deposu

40cm x 40cm taban ölçülerine sahip, 120 cm yüksekliğinde 192 litre su hacmine sahip dikdörtgenler prizması şeklinde, 3mm kalınlığında sacdan, üst kısmı açık olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 5.2). Sıcak su deposunda yalıtım kullanılmamıştır. Depo, rakorlu bağlantılar sayesinde tesisattan çıkarılıp takılabilmektedir. Isıtıcıların monte edilebilmesi için içten vida dişi açılmış iki adet boru parçası kaynakla depoya monte edilmiştir. Buharlaşıma sonucu su eksilmesini önlemek amacıyla deponun üst kısmına saçtan kapak yapılmıştır.



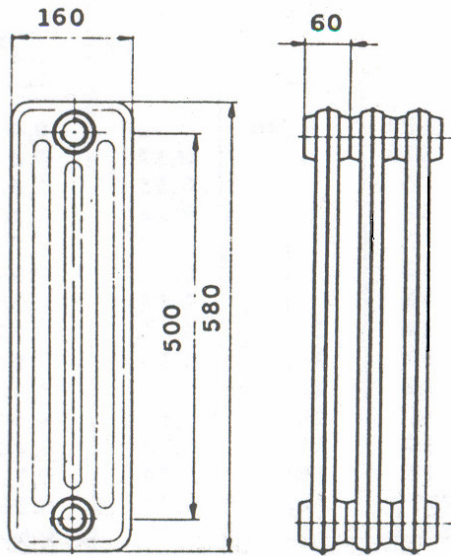
Şekil 5.2 Sıcak su deposu ve bağlantı elemanları.

### 5.1.1.2 Radyatör

Isıtma sisteminin metal kütlesi değişikliğini oluşturabilmek için dökme demir dilimli radyatör kullanılmıştır (Şekil 5.3). Şekil 4.4'te deney setinde kullanılan radyatörün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.3 Deney setinde kullanılan radyatör dilimleri ve bağlantıları.



Tipi	: 160/500
Dilim Yüksekliği	: 580 mm
Anma Ölçüsü	: 500 mm
Dilim Genişliği	: 160 mm
Montaj Kalınlığı	: 60 mm

Isıtma Yüzeyi	: 0,255 m
Aldığı Su	: 0,900 lt
Radyatör Nipeli	: 1/1/4"
Ağırlık (dilim)	: 6,260 kg/dilim
Ağırlık (m <sup>2</sup> )	: 24,550 kg/m <sup>2</sup>

Şekil 5.4 Deney setinde kullanılan radyatörlerin teknik özellikleri [19].

### 5.1.1.3 Sirkülasyon Pompası

Radyatörle sıcak su deposu arasında sıcak su sirkülasyonunu sağlamak amacıyla Şekil 5.5'te gösterilen 3 hız kademesine sahip 220 volt alternatif akımla çalışan Alarko

NPVO- 26-P tipi pompa kullanılmıştır (Şekil 5.5). Pompa sıcak su dönüş hattına bağlanmıştır. Pompa hızı 3. kademe hıza ayarlanıp deneyler boyunca hız kademesi sabit tutulmuştur. Çizelge 5.4'te pompanın teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.5 Sirkülasyon pompası.

Çizelge 5.4 Sirkülasyon pompasının teknik verileri.

POMPA TİPİ	Kütle (kg)	Hız kademe sayısı	Hız d/d	I(A) 1~220V 50Hz	Motor Gücü Nominal, (W)	Kondansatör kapasitesi (µF)
NPVO-26-P	2,5	III	2250	0,38	88	2,5
		II	1750	0,32	60	
		I	1250	0,19	40	

#### 5.1.1.4 Vanalar

Sistemde dört adet pirinçten yapılmış akış kontrol vanası bulunmaktadır. Bu vanalar deney setinin ara işlemlerinde (radyatör dilimi takma) kolaylıklar sağlar.

#### 5.1.1.5 Borular

Deney setinde kullanılan borular ½" çapında siyah çekme borulardır. Sistemde radyatörlerle depo arasında gidiş ve dönüş boruları olmak üzere 10 m boru kullanılmıştır.

### 5.1.1.6 Isıtıcılar

2500 watt gücünde iki adet vidalı monte edilebilen elektrikli su ısıtıcısı kullanılmıştır. Şekil 5.6’da gösterildiği gibi sıcak su gidiş ve dönüş borularının depoya bağlantı noktaları arasına, sıcak su deposunun arka kısmına, aralarında 20 cm uzaklık olacak şekilde yan yana monte edilmiştir. Tek fazlı bir şebekeden beslenen ısıtıcılar (rezistans) suya toplam 5000 W ısı verirler.



Şekil 5.6 Elektrikli su ısıtıcılarının depoya monte edilişi.

### 5.1.2 Ölçme Sistemi

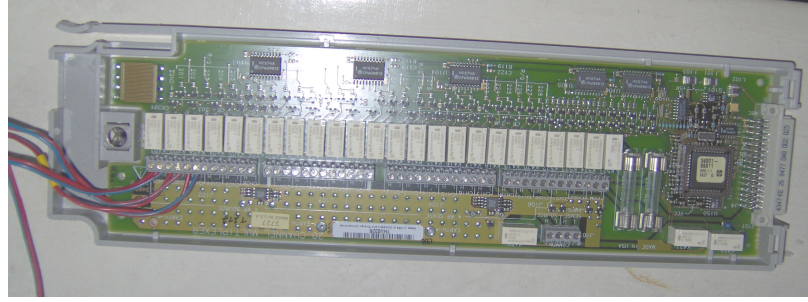
Ölçme sistemi; data logger cihazı, bilgisayar ve ısı çiftlerinden oluşmakta olup aşağıda sırayla tanıtılmıştır.

#### 5.1.2.1 Data Logger

Data logger, deney kontrol noktalarına (depo girişi, depo çıkışı, dış ortam) bağlanan K tipi ısı çiftleri yardımıyla ölçülen sıcaklıkları belirli aralıklarla kaydeder. Ayrıca ekranı vasıtasıyla sıcaklıklar izlenebilir (Şekil 5.7). İsteğe bağlı olarak veri tarama zamanı (1 dakika, 2 dakika, v.b.) ayarlanabilir. Bu çalışmada veri tarama zamanı 1 dakika olarak ayarlanmış. K tipi ısı çiftlerinin uçları data logger cihazının kartı üzerinde bulunan kanallara bağlanmıştır (Şekil 5.8). Data logger aynı anda birçok kanaldan gönderilen veri değişikliklerini izler. Deneyde 3 kanal (201, 202, 203) kullanılmıştır.



Şekil 5.7 Data logger cihazı ve bilgisayar monitörü.



Şekil 5.8 Data logger cihazının veri kartı ve üzerindeki kanallara ısıl çiftlerin bağlantısı.

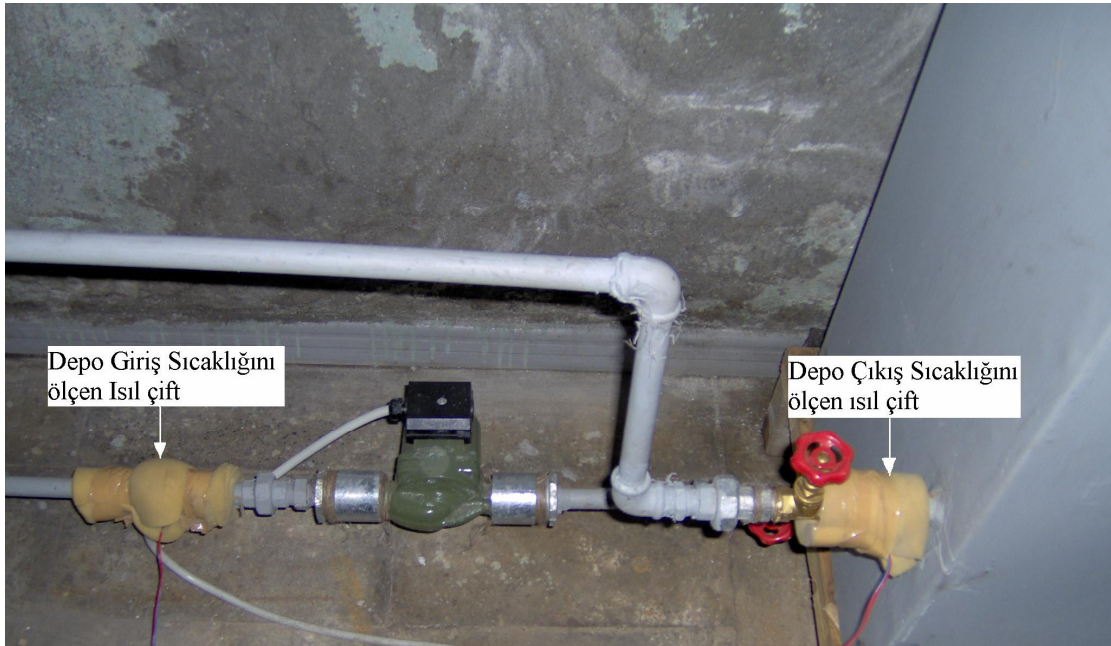
### 5.1.2.2 Bilgisayar

Bilgisayar data logger'dan gelen sinyalleri yazılım vasıtasıyla eş zamanlı olarak monitörde görüntüler (Şekil 5.7). Bilgisayara data loggerdan gelen verileri izlemek ve kaydetmek için HP BenchLink Data Logger yazılımı yüklenmiştir. Bu yazılım sayesinde data logger'in veri taraması başlatılır ve izlenir. Deney süresince sıcaklık değişimleri grafik şeklinde ve sayısal olarak izlenebilmekte ve deneyin sonunda bu veriler bilgisayara kaydedilebilmektedir.

### 5.1.2.3 Isıl Çiftler

K tipi ısıl çiftler boru yüzeylerine sarılarak ölçüm yapabilme özelliğine sahip olup bakır-konstantan malzemesinden yapılmışlardır. Deneyde suyun depoya giriş ve çıkış sıcaklıklarıyla ortam sıcaklığını ölçmek amacıyla 3 adet ısıl çift kullanılmıştır. Depo giriş ve

çıkış sıcaklıklarını ölçen ısı çiftlerinin yüzeyleri ortam sıcaklığından etkilenmemeleri için süngerle sarılarak yalıtılmıştır. Şekil 5.9’da ısı çiftlerinin ölçüm noktaları gösterilmektedir.



Şekil 5.9 Isıl çiftlerin ölçüm noktalarına bağlantısı.

## 5.2 DENEYSEL ÇALIŞMANIN YAPILMASI

Başlangıçta radyatör, 3 dilim olacak şekilde sisteme monte edilmiştir. Isıtma sistemine ölçeklenmiş bir beher ile 110 kg su konulmuştur. Sistemde bulunan tüm vanalar açılarak suyun radyatörlere akması sağlanmıştır. Radyatör purjörü gevşetilerek sistemin havası alınıp sirkülasyon pompası 3. kademe hıza ayarlanarak sistemin ısı dengeye ulaşması için (depo giriş sıcaklığı, depo çıkış sıcaklığı ve ortam sıcaklığının birbirine yakın olması gerekir) 3-5 dakika çalıştırılmıştır. Sonra ısıtıcılar devreye alınmıştır. Ölçüm noktalarına bağlanmış ısı çiftleri tarafından ölçülen sıcaklık değerleri bağlı oldukları data logger cihazı sayesinde izlenerek bilgisayara 1'er dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Depo çıkış sıcaklığı 60 °C'ye ulaştığında deney sonlandırılmıştır. Radyatör dilim sayısı değiştirilmeden su kütlesi 10'ar kg arttırılarak toplam su kütlesi 120 kg, 130 kg, 140 kg, 150 kg için 5 farklı deney yapılmıştır. Daha sonra radyatör dilim sayısı 3'er dilim arttırılarak dilim sayısı 15 oluncaya kadar deneyler tekrarlanmıştır. Deneyler ısıtma sisteminin sıcaklığının ortam sıcaklığıyla ısı dengeye ulaşması için belirli zaman aralıklarında yapılmıştır. Su kütlesi

150 kg ve Radyatör dilim sayısı 15 olduğunda toplam 25 adet deney yapılmış olup deneysel çalışmalar sonuçlandırılarak çoklu doğrusal regresyon analiziyle değerlendirilmiştir.

#### Kabuller

- Ortam sıcaklığı deney süresince çok az değişim gösterdiğinden ( $\pm 1$  °C) sabit kabul edilmiştir.
- Isıtma sistemi deney başlangıcında ortamla ısı dengede olduğundan başlangıçta ısıtma sistemin ortalama sıcaklığı ortam sıcaklığına eşit alınmıştır.

## BÖLÜM 6

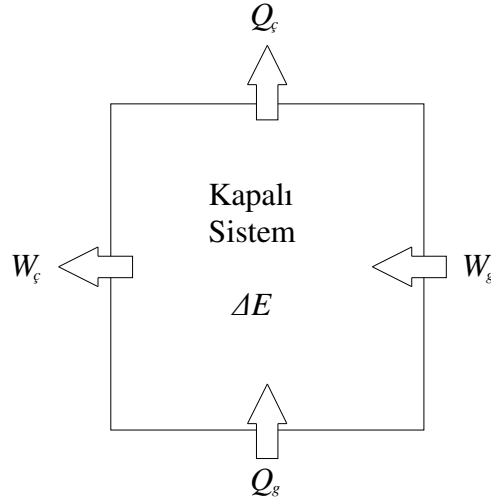
### DENEY SETİNE AİT ZAMAN İFADESİNİN TESPİTİ

#### 6.1 ISIL SİSTEMLERİN ENERJİ DENGESİ

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumu ilkesidir. Sistemle çevresinin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji, çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşittir.

##### 6.1.1 Kapalı Sistem İçin Enerji Dengesi

Kapalı sistem sınırlarından kütle geçişinin olmadığı, ısı ve iş alışverişinin olduğu sistemlerdir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Kapalı sistemin ısı ve iş etkileşimi.

Kapalı sistem için enerji dengesi,

$$Q - W = \Delta E \quad (6.1)$$

$Q$  : Sistem sınırlarından net ısı geçişi ( $=\Sigma Q_g - \Sigma Q_ç$ )

$W$  : Değişik biçimleri kapsayan net iş ( $=\Sigma W_g - \Sigma W_ç$ )

$\Delta E$  : Sistemdeki toplam enerji değişimi ( $E_2-E_1$ )

g ve ç indisleri sistem sınırlarından giren veya çıkan ısı veya işi göstermektedir [20].

### 6.1.2 Açık Sistem İçin Enerji Dengesi

Sınırlarından ısı, iş ve kütle alışverişinin gerçekleştiği sistemlerdir (Şekil 6.2).

Açık sistem için enerji dengesi,

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Sınırları ısı ve iş olarak} \\ \text{geçen toplam enerji} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{KH'ne giren kütle'nin} \\ \text{toplam enerjisi} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{KH'den çıkan kütle'nin} \\ \text{toplam enerjisi} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{KH'nin net} \\ \text{enerji değişimi} \end{array} \right]$$

veya,

$$Q - W + \sum \Theta_g - \sum \Theta_\varphi = \Delta E_{KH} \quad (6.2)$$

$Q$  : Sınırları ısı olarak geçen toplam enerji (J).

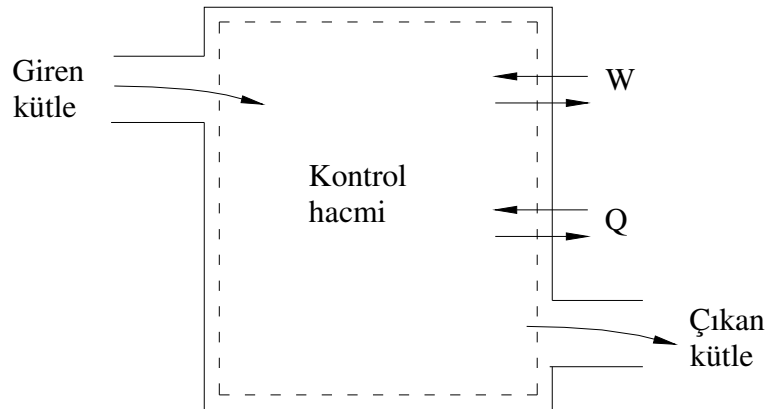
$W$  : Sınırları iş olarak geçen toplam enerji (J).

$\Theta_g$  : KH'ne giren kütle'nin toplam enerjisi (J).

$\Theta_\varphi$  : KH'den çıkan kütle'nin toplam enerjisi (J).

$\Delta E_{KH}$ : KH'nin net enerji değişimi (J).

yazılabilir.



Şekil 6.2 Açık sistem için kontrol hacminin ısı, iş etkileşimi ve kütle akışı.

### 6.1.3 Zamanla Değişen Açık Sistem İçin Enerji Dengesi

Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacmi içerisindeki parametreler zamanla değişmez. Bununla birlikte kontrol hacmi içinde zamanla değişiklik oluyorsa bu tür sistemlere zamanla değişen açık sistemler veya geçici akışlı açık sistemler adı verilir [20].

Açık sistemde anlık enerji dengesi:

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Sınırları} \\ \text{ısı ve iş olarak} \\ \text{geçen enerji} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Kontrol} \\ \text{hacmine kütle} \\ \text{ile giren enerji} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Kontrol hacminden} \\ \text{kütle ile çıkan} \\ \text{enerji} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Kontrol hacmi} \\ \text{içinde net enerji} \\ \text{değişimi} \end{array} \right]$$

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{\Theta}_g - \sum \dot{\Theta}_\varphi = \frac{dE_{KH}}{dt} \quad (6.3)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada  $\dot{Q}$ , kontrol hacmi sınırlarını ısı olarak geçen enerjiyi,  $\dot{W}$ , kontrol hacmi sınırlarını iş olarak geçen enerjiyi,  $\dot{\Theta}_g$ , kontrol hacmine birim zamanda kütle ile giren,  $\dot{\Theta}_\varphi$ , kontrol hacminden birim zamanda kütle ile çıkan enerjiyi göstermektedir. Eşitliğin sağ tarafı ise kontrol hacmi içindeki anlık net enerji değişimini ifade eder.

## 6.2 ISI TRANSFER TÜRLERİ

### 6.2.1 İletimle Isı Transferi

İletim, bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçalar arasındaki etkileşimler sonucunda enerjinin aktarılmasıdır [20]. Isı denklemleri an denkleminle ifade edilir. Bu denklemler birim zamanda geçen enerji miktarını hesaplamak için kullanılabilir. Isı iletimi için an denklemi, Fourier Yasası olarak bilinir. Şekil 6.3'te gösterilen bir boyutlu düz duvar için an denklemi aşağıdaki şekilde yazılır [21].

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (6.4)$$

Burada;

$q_x''$  : Isı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda geçen ısıdır (W/m<sup>2</sup>)

$k$  : Isı iletim katsayısı (W/m·K)

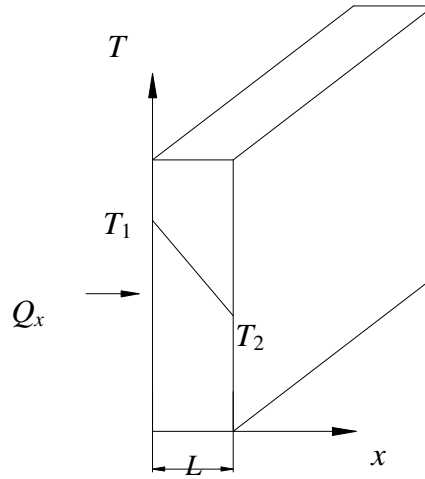
Sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli rejimde, sıcaklık gradyanı;

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (6.5)$$

olarak ifade edilir.  $L$  kalınlığında,  $T_1$  ve  $T_2$  yüzey sıcaklıklarına ve  $k$  ısı iletim katsayısına sahip duvarın ısı akısı;

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (6.6)$$

olur.



Şekil 6.3 Düz bir duvarda sürekli rejimde bir boyutlu ısı iletimi.

Düz bir duvardan birim zamanda geçen ısı miktarı,

$$\dot{Q}_{iletim} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (6.7)$$

formülüyle ifade edilir. Burada,

$\dot{Q}_{iletim}$  : Birim zamanda iletimle geçen ısı miktarı (W).

$A$  : Isı geçişine dik alan. ( $m^2$ ).

### 6.2.2 Taşınım İle Isı Transferi

Katı bir yüzey ile temasta bulunduğu akışkan ortam arasında gerçekleşen ısı transferidir. Birim zamanda taşınım ile ısı geçişi  $\dot{Q}_{taşınım}$ , *Newton'un Soğuma Yasası* adı verilen bağıntıyla ifade edilir. Şekil 6.4'te sıcak bir cisimden taşınım ile ısı transferi ile yüzeydeki sıcaklık ve hız gradyanları gösterilmiştir [20].

$$\dot{Q}_{taşınım} = hA(T_s - T_f) \quad (6.8)$$

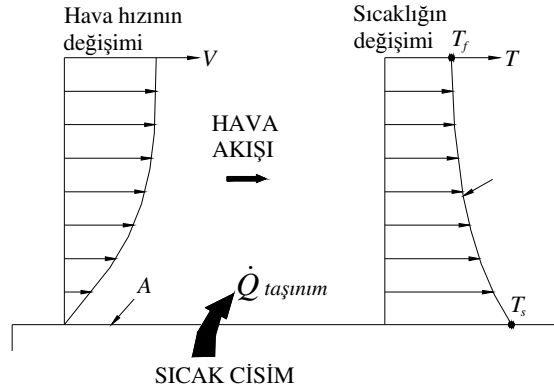
$\dot{Q}_{taşınım}$  : Birim zamanda taşınım ile geçen ısı miktarı. (W)

$h$  : Isı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ )

$A$  : Isı geçişinin olduğu yüzey alanı ( $m^2$ )

$T_s$  : yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_f$  : Akışkanın yüzeyden uzaktaki sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )



Şekil 6.4 Sıcak bir cisimden taşınım ile ısı transferi ve yüzeydeki sıcaklık ve hız gradyanı.

### 6.2.3 Işınım İle Isı Transferi

Isıl ışıınım sonlu sıcaklığa sahip bir cismin yaydığı enerjidir. Işınım bir hacim olgusudur (Şekil 6.5). Tüm katı, sıvı ve gazlar ışıınımı belirli ölçülerde yayarlar, yutarlar ve geçirirler [21].

Yayma oranı  $\varepsilon$  olan,  $T_s$  mutlak sıcaklığındaki bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek ışınım *Stefan-Boltzmann* yasasıyla belirlenmiştir.

$$\dot{Q}_{yayılan} = \varepsilon \sigma A T_s^4 \quad (6.9)$$

$\dot{Q}_{yayılan}$  :  $T_s$  mutlak sıcaklığındaki cismin birim zamanda yaydığı ışınım miktarı (W)

$\varepsilon$  : Yüzeyin yayma oranı değeri ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ )

$\sigma$  : Stefan-Boltzmann sabiti ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

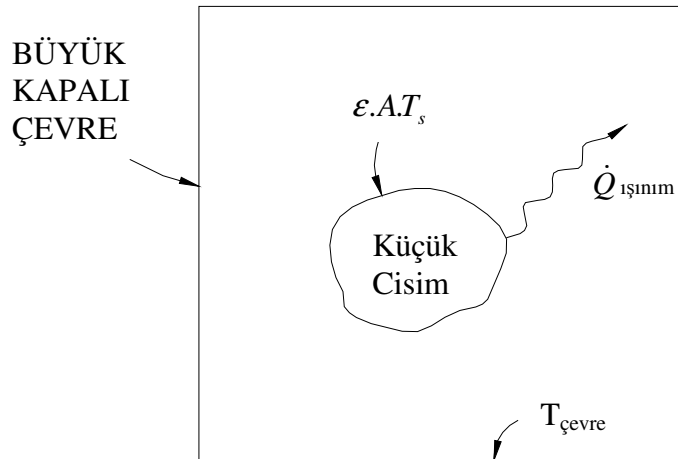
$A$  : Işınım yayan yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )

Yutma oranı, yüzeye düşen ışınımın yüzey tarafından yutulan kısmıdır.

Yutma oranı,  $0 \leq \alpha \leq 1$  arasındadır.

Yayma oranı  $\varepsilon$ , yüzey alanı  $A$ , ve mutlak sıcaklığı  $T_s$  olan bir yüzey,  $T_{\text{çevre}}$  sıcaklığına sahip başka bir yüzey ile çevrelendiğinde cismin çevreye birim zamanda ışınım ile yaydığı ısı enerjisi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\dot{Q}_{ışınım} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{\text{çevre}}^4) \quad (6.10)$$



Şekil 6.5 Bir cisim ile onu çevreleyen büyük bir kapalı odanın iç yüzeyleri arasında ışınım ile ısı geçişi.

### 6.3 DENEY SETİNE AİT ZAMAN İFADESİ

Sistemin ısı davranışını yorumlayabilmek için enerji dengesi yazılarak sistem analiz edilmelidir.. Deney seti (sistem) için enerji dengesini yazarsak,

$$\dot{Q}_{ısıtıcı} - \varepsilon_s \sigma_s A_s (T_{so}^4 - T_o^4) - K_s A_s (T_{so} - T_o) = m_{metal} C_{metal} \frac{dT_{metal}}{dt} + m_{su} C_{su} \frac{dT_{su}}{dt} \quad (6.11)$$

eşitliği elde edilir. Burada,

$K_s A_s (T_{so} - T_o)$  : Sistemden birim zamanda iletim ve taşınım ile olan ısı transferi (W)

$\varepsilon_s \sigma_s A_s (T_{so}^4 - T_o^4)$  : Sistemden birim zamanda ışınım ile olan ısı transferi (W)

$m_{metal} \times C_{metal} \times \frac{dT_{metal}}{dt}$  : Sistemin metal kütlelerinin birim zamandaki ısı enerji değişimi (W)

$m_{su} \times C_{su} \times \frac{dT_{su}}{dt}$  : Sistemin su kütlelerinin birim zamandaki ısı enerjisi değişimi (W)

$\dot{Q}_{ısıtıcı}$  : Isıtıcıların toplam gücü,(W)

$C_{metal}$  : Metal kütlelerinin özgül ısısı (J/kg.K)

$C_{su}$  : Su kütlelerinin özgül ısısı (J/kg.K)

$K_s$  : Sistemin toplam ısı transfer katsayısı (W/m<sup>2</sup>h°C)

$A_s$  : Sistemim dış ortamla temasta olduğu yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$T_{so}$  : Sistemin ortalama yüzey sıcaklığı

$\varepsilon_s$  : Yüzeyin yayma oranı

$\sigma$  : Stefan-Boltzmann sabiti, ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

Denklem 6.11 düzenlenirse,

$$m_{metal} C_{metal} dT_{metal} + m_{su} C_{su} dT_{su} + \varepsilon_s \sigma_s A_s (T_{so}^4 - T_o^4) dt + K_s A_s (T_{so} - T_o) dt = \dot{Q}_{ısıtıcı} dt \quad (6.12)$$

elde edilir. Eşitlik (6.12) metal kütle ve su kütle için enerji dengesi başlangıç ve son durum için düzenlenirse ;

$dT_{metal} = \Delta T_{metal}$  ve  $dT_{su} = \Delta T_{su}$  yazılabilir.

$$m_{metal} C_{metal} \Delta T_{metal} + m_{su} C_{su} \Delta T_{su} + \varepsilon_s \sigma_s A_s (T_{so}^4 - T_o^4) dt + K_s A_s (T_{so} - T_o) dt = \dot{Q}_{ısıtıcı} \Delta t \quad (6.13)$$

Eşitlik (6.13)'te  $\Delta T_{metal}$  , metal kütesinin deney başlangıcındaki sıcaklığı ile deney sonundaki sıcaklık farkıdır.  $\Delta T_{su}$ , su kütesinin deney başlangıcında sıcaklığı ile deney sonundaki sıcaklığı arasındaki farktır. Sistem deney başlangıcında ortam ile ısı dengede olduğundan sistemin su kütesinin ve metal kütesinin başlangıçtaki ölçülen sıcaklığı ortam sıcaklığına yakındır. Hesaplamalarda metal kütesinin ve su kütesinin deney başlangıç sıcaklığı ortam sıcaklığı alınmıştır. Bu durumda  $\Delta T_{metal}$  ve  $\Delta T_{su}$  Eşitlik 6.14 şeklinde yazılır.

$$\Delta T_{metal} = T_{2metal} - T_o \quad (6.14)$$

$$\Delta T_{su} = T_{2su} - T_o$$

Burada;

$T_{2metal}$  : Metal kütesinin deney sonundaki sıcaklığı.

$T_{2su}$  : Su kütesinin deney sonundaki sıcaklığı.

$\Delta t$  : Deney başlangıcında ölçülen zaman ile deney sonunda ölçülen zaman farkıdır.

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (6.15)$$

$t_2$  : Deney başlangıcında ölçülen zaman

$t_1$  : Deney sonunda ölçülen zaman

Deney başlangıç zamanı “0” kabul edilirse deney sonu ölçülen zaman  $t_1$ , depo çıkış sıcaklığının 60 °C’ye ulaşma zamanı olan  $t_d$ ’ye eşit olur.

$$\Delta t = t_d \quad (6.16)$$

Bu durumda Eşitlik(6.13) aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$m_{metal} C_{metal} (T_{2metal} - T_o) + m_{su} C_{su} (T_{2su} - T_o) + \int_0^{t_d} \epsilon_s \rho_s A_s (T_{so}^4 - T_o^4) dt + \int_0^{t_d} K_s A_s (T_{so} - T_o) dt = t_d Q_{istihci} \quad (6.17)$$

Eşitlik(6.17)'den,  $t_d$  ifadesi,

$$t_d = \frac{m_{metal} C_{metal} (T_{2metal} - T_o) + m_{su} C_{su} (T_{2su} - T_o) + \int_0^{t_d} \epsilon_s \sigma_s A_s T_{so}^4 dt + \int_0^{t_d} K_s A_s T_{so}}{\left[ \epsilon_s \sigma_s A_s T_o^4 + K_s A_s T_o + Q_{ısıtıcı} \right]} \quad (6.18)$$

olarak yazılır. Burada “ $T_{so}$ ” zamanla artmaktadır, fakat  $T_{so}$ 'ın zamana bağlı fonksiyonunu bilinmemektedir. Eşitlik (6.18)'den sistemde  $m_{metal}$  artırıldığında  $t_d$  artar. Aynı şekilde  $m_{su}$ 'nun artırılmasıyla da  $t_d$ 'nin artacağı görülmektedir.  $T_o$ 'ın yüksek olmasının ise  $t_d$ 'yi azaltacağı görülmektedir.

## BÖLÜM 7

### REGRESYON ANALİZİ

#### 7.1 REGRESYON YÖNTEMİNİN TANIMI

Regresyon analizi, aralarında sebep sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, bununla ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir [22]. İstatistiksel anlamda iki değişken arasındaki ilişki, bunların değerlerinin karşılıklı değişimleri arasında bir bağıllık şeklinde anlaşılır. Regresyon analizi, biri bağımlı (açıklanan) değişken, diğeri bağımsız (açıklayıcı) değişken olmak üzere en az iki değişken arasındaki ortalama ilişkinin matematik bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır. Bu fonksiyona regresyon denklemi adı verilmektedir [23].

Değişkenler arasında ilişki olup olmadığını anlamak için değişkenlerden birinde değerler azalıp artarken diğerrinin değerleri de azalıp çoğalıyorsa (veya ters yönde değişmeler gösteriyorsa) bu değişkenler arasında bir ilişki vardır. Eğer değişkenlerden birinin değeri çoğalırken diğerrlerinin değerleri hiç değişmiyorsa değişkenler arasında bir ilişki yoktur denilebilir. Bu durumda değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şeklini, yönünü ve derecesini bilmek gerekir. İlişkinin fonksiyonel şekli; değişkenler arasındaki ilişkinin ne tür matematiksel fonksiyon tipine uyduğunu, yani regresyon modelinin doğrusal olup olmadığını belirler. İlişkinin yönü; iki değişkenin aynı ya da ters yönde mi değiştiğini ortaya koyar. ilişkinin derecesi ise iki değişken arasındaki bağıllığın kuvvetini verir ve korelasyon analizinde fikir verir.

Korelasyon, bağımlı değişkenle bağımsız değişken veya değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini gösteren bir katsayıdır.

## 7.2 TEMEL İSTATİSTİK TERİMLER

### 7.2.1 Aritmetik Ortalama

Merkezin konumunu belirlemek için istatistikte aritmetik ortalama kullanılır. Aritmetik ortalama ( $\bar{y}$ ) ile ifade edilip, tek tek veri noktalarının ( $y_i$ ) toplamının nokta sayısına ( $n$ ) bölümü olarak tanımlanan bir değerdir [24].

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (7.1)$$

### 7.2.2 Standart Sapma

Kareli Ortalama Sapma adı da verilen bu ölçü değişkenlerin aritmetik ortalamadan sapmalarının kareli ortalamasıdır.

$$s_y = \sqrt{\frac{S_t}{n-1}} \quad (7.2)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (7.3)$$

Burada  $S_t$ , ortalama ile veri noktaları arasındaki artıkların karelerinin toplamıdır. Genel olarak, standart sapmanın küçük olması; ortalamadan sapmaların ve riskin az olduğunun, büyük olması ise; ortalamadan sapmaların, riskin çok olduğunun ve oynaklığın göstergesidir [25].

### 7.2.3 Varyans

Standart sapmanın karesiyle ifade edilir.

$$s_y^2 = \frac{S_t}{n-1} \quad (7.4)$$

## 7.2.4 Basit Doğrusal Regresyon ve Korelasyon

Regresyon analizinde bağımsız (açıklayıcı) değişken sayısı bir olduğunda basit regresyon modeli iki veya daha fazla olduğunda ise çoklu regresyon modeli söz konusudur. Diğer taraftan değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olup olmadığı da önemlidir. Dolayısıyla değişkenler arasındaki ilişki doğrusal olduğunda doğrusal regresyon modeli söz konusu olur. Bu amacı gerçekleştirmek için en küçük kareler regresyonu diye adlandırılan bir teknik kullanılır.

En küçük kareler yaklaşımının en basit örneği bir gözlem çiftleri setine düz bir doğru uydurmaktır.  $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$ . Düz doğrunun matematiksel ifadesi:

$$y = a_0 + a_1x + e \quad (7.5)$$

şekindedir, burada  $a_0$  ve  $a_1$ , sırasıyla kesme noktası ve eğimi göstermektedir,  $e$  ise gözlemler ve model arasındaki hata ve artık olup, Eşitlik 7.5'in yeniden düzenlenmesiyle şöyle ifade edilebilir:

$$e = y - a_0 - a_1x \quad (7.6)$$

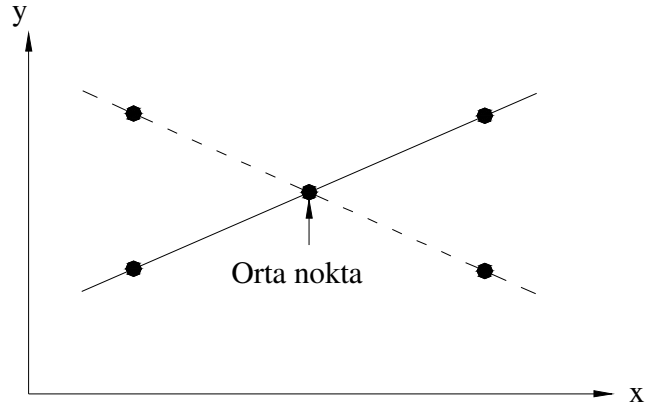
Bu nedenle, hata veya artık,  $y$ 'nin gerçek değeri ile  $a_0 + a_1x$  doğrusal denklemi yardımıyla tahmin edilmiş yaklaşık değeri arasındaki farktır [24].

### 7.2.4.1 Uyum Kriterleri

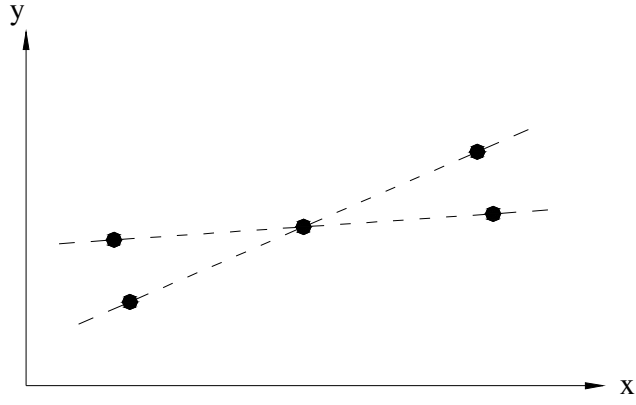
Verilerden en iyi doğruyu geçirmenin bir yolu, bütün mevcut veriler için artıkların toplamının minimum yapmaktır:

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i) \quad (7.7)$$

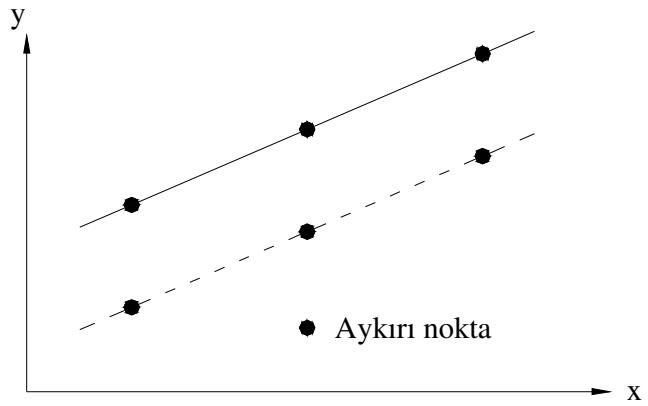
Burada  $n$ , toplam nokta sayısıdır. Şekil 7.1 iki noktayı birleştiren ve artıkların toplamını minimum yapan düz bir doğruyu göstermektedir. Şekil 7.2 artıkların mutlak değerlerinin toplamını minimum yapan düz bir doğruyu, Şekil 7.3 ise herhangi bir noktadaki maksimum hatayı minimum yapan düz bir doğruyu göstermektedir.



Şekil 7.1 Artıkların toplamını minimum yapan doğru.[24]



Şekil 7.2 Artıkların mutlak değerlerini minimum yapan doğru [24].



Şekil 7.3 Herhangi bir noktadaki maksimum hatayı minimum yapan doğru [24].

En iyi uyum, noktaları birleştiren doğrudur. Ancak, noktaları birleştiren doğrunun (tam dikey bir doğru olmamak şartıyla) ortasından geçen herhangi bir düz doğru, hatalar birbirini götürdüğü için Eşitlik 7.7'nin değeri sifıra eşitlenerek minimum yapılır.

Bu nedenle farkların mutlak değerlerinin toplamının minimum yapılması mantıksaldır.

$$\sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n |y_i - a_0 - a_1 x_i| \quad (7.8)$$

Şekil 7.2'de bu kriterin de uygun olmadığı görülmektedir. Gösterilen dört nokta için, kesikli çizgiler arasındaki herhangi bir düz doğru toplamın mutlak değerini minimum yapacaktır. Bu nedenle, bu kriter de tek bir en iyi uyum vermez.

En iyi doğruyu geçirmek için üçüncü bir strateji minimax kriteridir. Bu teknikte, doğrudan sapan herhangi bir noktanın maksimum uzaklığını minimum yapan doğru seçilir. Şekil 7.3'de açıklandığı gibi, bu strateji regresyon için uygun değildir. Çünkü aykırı değerden, yani büyük bir hataya sahip olan tek bir noktadan aşırı etkilenir. Minimax ilkesinin bazen, karmaşık bir fonksiyona basit bir fonksiyon uydurmak için çok uygun olduğu belirtilmelidir [26].

Bu yaklaşımların eksikliğini gideren bir strateji, ölçülen  $y$  ile doğrusal model ile hesaplanmış olan  $y$  arasındaki artıkların karelerinin toplamının minimum yapılmasıdır:

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{i,ölçülen} - y_{i,model})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \quad (7.9)$$

$S_r$  : Ölçülen değer ile model arasındaki artıkların kareleri toplamı

#### 7.2.4.2 Düz Doğru İçin En Küçük Kareler Uyumu

$a_0$  ve  $a_1$  değerlerinin belirlenmesi için Eşitlik 7.9'un her bir katsayıya göre diferansiyeli alınır.

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) \quad (7.10)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n [(y_i - a_0 - a_1 x_i) x_i] \quad (7.11)$$

Hesaplamalarda tüm toplamalar  $i=1$ 'den  $n$ 'ye kadardır. Bu türevlerin sıfıra eşitlenmesi  $S_r$ 'yi minimum yapacaktır. Bu yapılsa, eşitlikler arasındaki gibi ifade edilebilir:

$$0 = \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a_0 - \sum_{i=1}^n a_1 x_i \quad (7.12)$$

$$0 = \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n a_0 x_i - \sum_{i=1}^n a_1 x_i^2 \quad (7.13)$$

Şimdi  $\sum_{i=1}^n a_0 = n a_0$  yerine konulursa, bu denklemleri iki adet iki bilinmeyenli ( $a_0$  ve  $a_1$ ) eş zamanlı denklem seti olarak yazabiliriz.

$$n a_0 + \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) a_1 = \sum_{i=1}^n y_i \quad (7.14)$$

$$\left( \sum_{i=1}^n x_i \right) a_0 + \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_1 = \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (7.15)$$

Bunlar normal denklemler diye adlandırılır. Bu denklemler beraber çözümlerse,

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (7.16)$$

olur. Bu sonuç Eşitlik 7.14 ile birlikte kullanılarak çözümlerse,

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (7.17)$$

elde edilir. Burada sırasıyla  $\bar{x}$  ve  $\bar{y}$ , sırasıyla  $x$  ve  $y$ 'nin ortalamasıdır.

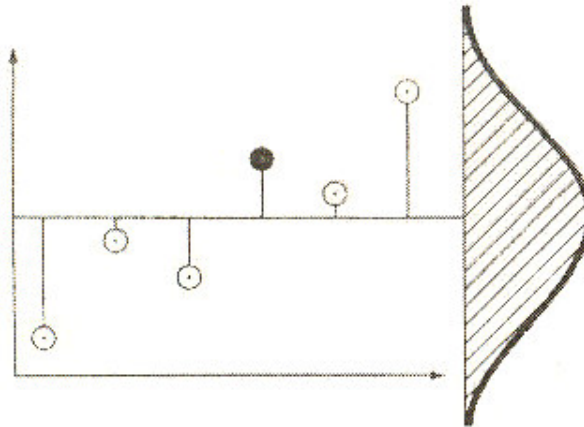
### 7.2.4.3 Doğrusal Regresyon Hatasının Büyüklüğü

En küçük kareler yönteminin en iyi  $a_0$  ve  $a_1$  tahminlerini verebilmesi için; (1) Doğru etrafındaki noktaların yayılışı verilerin tüm aralığı boyunca aynı büyüklükte olmalı. (2) Doğru etrafındaki noktaların dağılımı normal olmalıdır. İstatistikte bu duruma maksimum olasılık ilkesi denilmektedir. Ayrıca bu kriterler sağlanıyorsa, regresyon doğrusu için standart sapma,

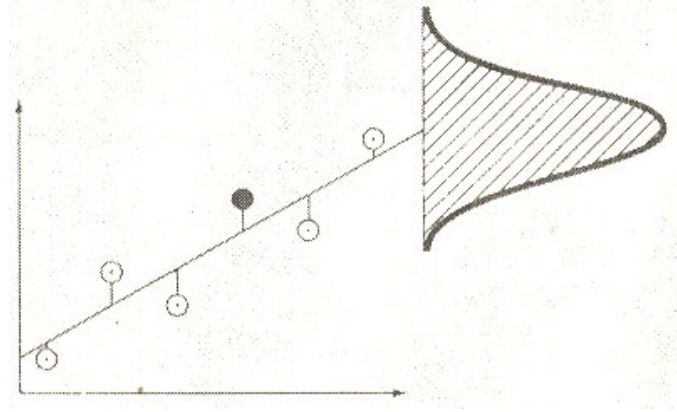
$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{S_r}{n-2}} \quad (7.18)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $s_{y,x}$ , tahminin standart hatası diye adlandırılır. Alt simge  $y, x$ , özel bir  $x$  değerine karşılık gelen  $y$ 'nin tahmini değeri için hatayı göstermek amacıyla konulmuştur. Aynı zamanda,  $S_r$ 'yi hesaplamak için verilerden üretilmiş iki tahmin  $a_0$  ve  $a_1$  kullanıldığı için  $(n-2)$ 'ye bölünür.

Standart sapmada olduğu gibi tahminin standart sapması da verilerin yayılışını göstermektedir. Ancak ortalama etrafındaki yayılışı (Şekil 7.4) gösteren orijinal standart sapmanın ( $s_y$ ) tersine,  $s_{y,x}$ , Şekil 7.5'te gösterildiği gibi regresyon doğrusu etrafındaki yayılışın ölçüsüdür.



Şekil 7.4 Bağımlı değişkenin ortalaması etrafında verilerin yayılışı [24].



Şekil 7.5 En iyi doğru etrafında verilerin yayılışı [24].

Bu kavramlar eğri uydurmanın iyiliğinin ölçüsünü belirlemek için kullanılabilir. Bu, çok sayıdaki regresyonun karşılaştırılmasında yarar sağlar. Bunun için bağımlı değişkenin ( $y$ ) ortalama değeri etrafındaki karelerin tüm toplamı hesaplanır. Bu büyüklük  $S_t$ 'dir. Bu, regresyon öncesinde bağımlı değişkenle ilgili olan artık hatanın büyüklüğüdür. Regresyon yapıldıktan sonra  $S_r$ , yani regresyon doğrusu etrafında artıkların karelerinin toplamı hesaplanabilir. Bu, regresyondan sonra kalan artık hatayı temsil etmektedir. Bu iki büyüklük arasındaki fark, yani  $(S_t - S_r)$ , verileri ortalama bir değerden çok düz bir doğruyla tanımlamak yoluyla hata azalması veya iyileşmenin ölçüsünü belirtir. Bu büyüklüğün şiddeti ölçüğe bağlı olduğu için, fark  $S_t$ 'ye göre normalize edilirse,

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (7.19)$$

$$0 \leq r^2 \leq 1$$

bulunur. Burada  $r^2$ , determinasyon katsayısı ve  $r$ , korelasyon katsayısı ( $r = \sqrt{r^2}$ ) diye adlandırılır. Tam bir uyum için  $S_r = 0$  ve  $r = r^2 = 1$  olup doğrunun, verilerin değişkenliğini yüzde 100 açıkladığını belirtir.  $r = r^2 = 0$  için  $S_r = S_t$ 'dir ve eğri uydurma için hiç iyileşme göstermez. Bilgisayar uygulamaları için genellikle aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (7.20)$$

### 7.3 ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON

Doğrusal regresyonun kullanışlı bir uzantısı,  $y$ 'nin iki veya daha çok bağımsız değişkenin doğrusal fonksiyonu olduğu durumdur. Bu durumda  $y$ 'nin  $\sum_{i=1}^n x_i$  değişkenlerine bağlı olarak çoklu doğrusal regresyon denklemi Eşitlik 7.21 şeklindedir.

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + e \quad (7.21)$$

Ortalama ile veri noktaları arasındaki artıkların karelerinin toplamı

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots - a_n x_{ni})^2 \quad (7.22)$$

Bilinmeyen katsayıların her birine göre türev alınarak Denklem 7.23 elde edilir.

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots - a_n x_{ni})$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_{1i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots - a_n x_{ni})$$

(7.23)

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n x_{2i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots - a_n x_{ni})$$

⋮

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_n} = -2 \sum_{i=1}^n x_{ni} (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - \dots - a_n x_{ni})$$

bulunur. Artıkların karelerinin toplamını minimum yapan katsayılar, kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesi sonucu aşağıdaki gibi matris formunda elde edilir. Toplamlar,

$$\begin{bmatrix}
 n & \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ni} \\
 \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ni} \\
 \sum_{i=1}^n x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{ni} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \sum_{i=1}^n x_{ni} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ni} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{ni} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ni}^2
 \end{bmatrix}
 \times
 \begin{Bmatrix}
 a_0 \\
 a_1 \\
 a_2 \\
 \vdots \\
 a_n
 \end{Bmatrix}
 =
 \begin{Bmatrix}
 \sum_{i=1}^n y_i \\
 \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i \\
 \sum_{i=1}^n x_{2i}y_i \\
 \dots \\
 \sum_{i=1}^n x_{ni}y_i
 \end{Bmatrix}
 \quad (7.24)$$

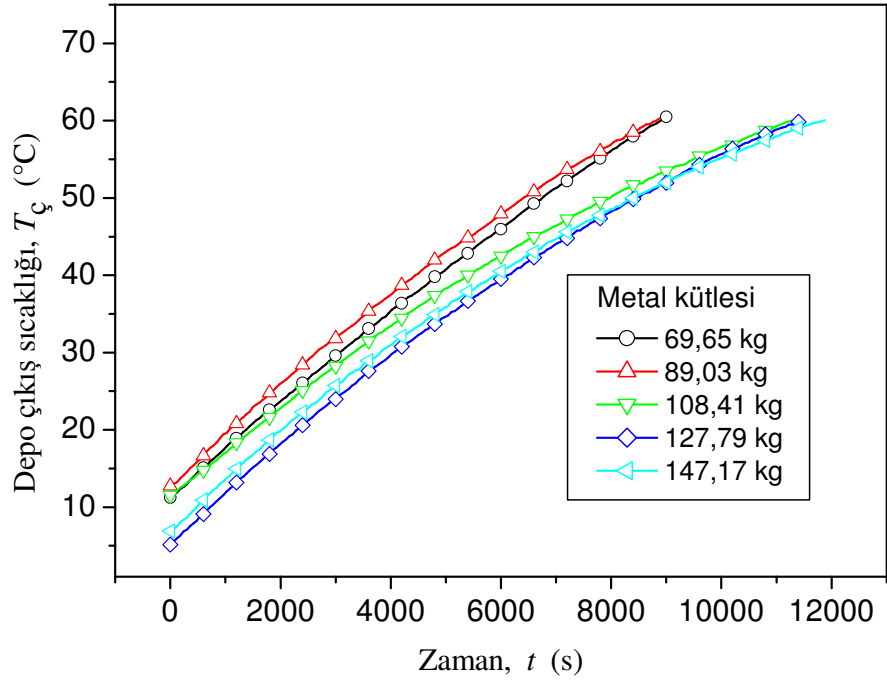
## BÖLÜM 8

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Depo çıkış sıcaklığı zamanla arttıkça ortam sıcaklığıyla sistemin ortalama sıcaklığı arasındaki fark artmakta ve ısı kaybı da zamanla artmaktadır. Isı kaybının artması sonucu depo çıkış sıcaklığındaki artış zamanla azalmaktadır. Şekil 8.1’de su kütlesi 140 kg iken farklı metal kütlelerinde yapılan deneylerde depo çıkış sıcaklığının zamanla değişimleri gösterilmektedir.

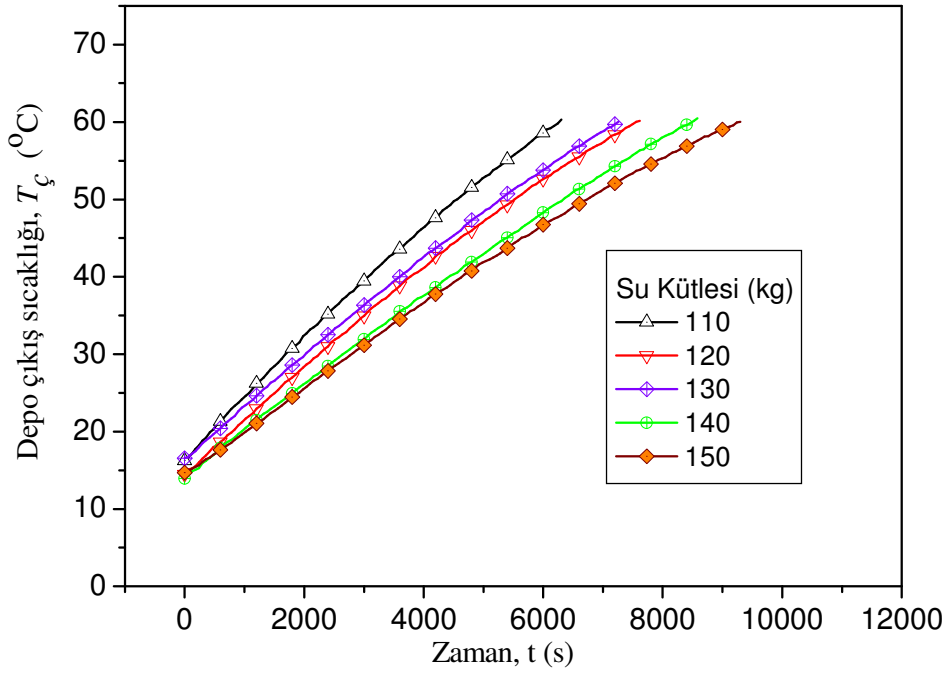
Çizelge 8.1 Deneyleerde ölçülen ve kullanılan değerler verilmektedir.

Deney No:	60 °C ye ulaşma zamanı $t_d$ (s)	Ortam sıcaklığı $T_o$ (°C)	Su Kütlesi $m_{su}$ (kg)	Metal kütlesi $m_{metal}$ (kg)
1	6660	16,4	110	69,65
2	7620	15,6	120	69,65
3	7260	16,0	130	69,65
4	9000	13,7	140	69,65
5	9300	14,3	150	69,65
6	7800	14,6	110	89,03
7	6780	16,7	120	89,03
8	8460	16,9	130	89,03
9	8880	13,4	140	89,03
10	9780	16,3	150	89,03
11	8100	13,6	110	108,41
12	12240	10,3	120	108,41
13	11460	10,8	130	108,41
14	11280	8,3	140	108,41
15	12540	5,9	150	108,41
16	8820	8,6	110	127,79
17	11340	5,3	120	127,79
18	12780	5,5	130	127,79
19	11460	5,8	140	127,79
20	14220	4,5	150	127,79
21	8580	9,3	110	147,17
22	10020	7,4	120	147,17
23	10500	6,7	130	147,17
24	11880	7,9	140	147,17
25	10380	9,2	150	147,17



Şekil 8.1 Su kütlesi 140 kg için değişik metal kütlelerine göre depo çıkış sıcaklığının zamanla değişimi.

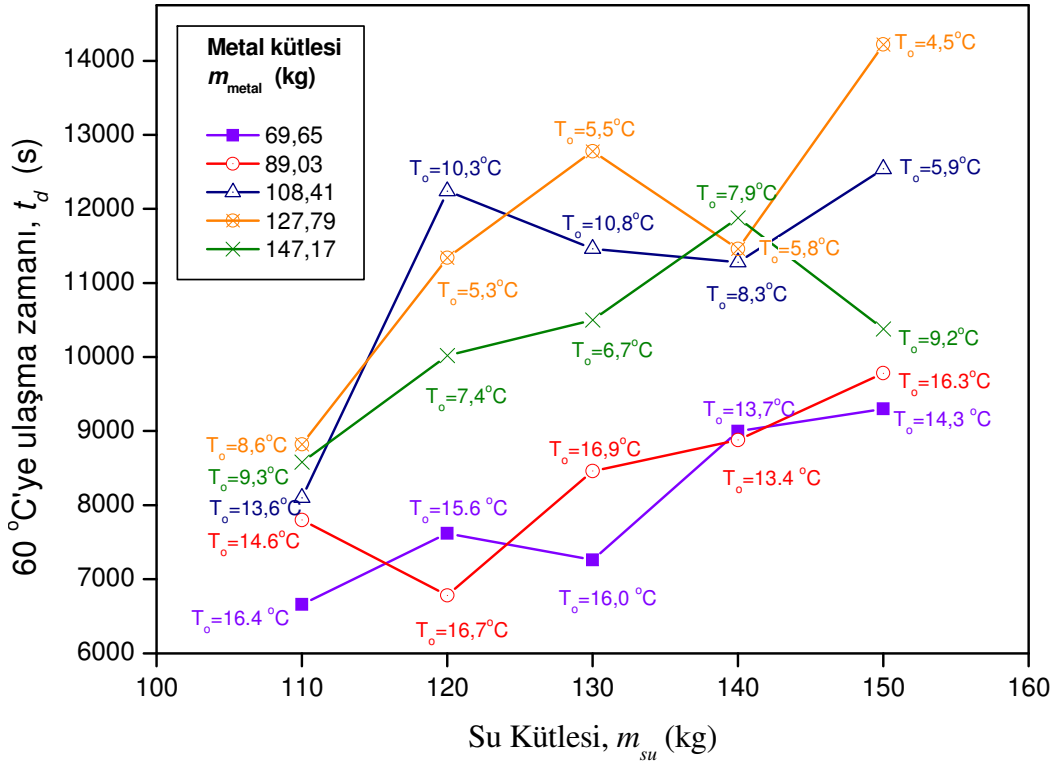
Şekil 8.2’de metal kütlesi 69,65 kg iken değişik su kütlelerinde yapılan deneylerden elde edilen depo çıkış sıcaklığının zamanla değişimi gösterilmektedir. Metal kütlesi arttıkça  $T_{\check{c}}$ ’nin 60 °C’ye ulaşma süresinin de arttığı gözlenmektedir.



Şekil 8.2 Metal kütlesi 69,65 kg için değişik su kütlelerine göre depo çıkış sıcaklığının zamanla değişimi.

## 8.1 SU KÜTLESİNİN DEĞİŞİMİNE BAĞLI DEĞERLENDİRME

Metal kütlesi 69,65 kg'da sabit tutularak yapılan deneylerde su kütlesi 110 kg iken ortam sıcaklığı,  $T_o = 16,4$  °C ve  $t_d = 6660$  s ölçülmüştür. (Çizelge 8.1). Şekil 8.3'de,  $m_{su}=120$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'ın azalması sonucu  $t_d$  artmıştır.  $m_{su}=130$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$  artmasına rağmen  $T_o$ 'ın da artmış olması  $t_d$  'yi azaltmıştır.  $m_{su}=140$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'ın azalmış olması sonucu  $t_d$  artmıştır.  $m_{su}=150$  kg iken yapılan deneyde  $T_o$  artmasına rağmen  $m_{su}$ 'nun artması  $t_d$ 'yi artırmıştır.



Şekil 8.3 Farklı metal kütlelerinde  $t_d$ 'nin  $m_{su}$ 'ya bağlı olarak değişimi.

Metal kütlesi 89,03 kg'da sabit tutularak yapılan deneylerde su kütlesi 110 kg iken ortam sıcaklığı,  $T_o = 14,6$  °C ve  $t_d = 7800$  s ölçülmüştür (Çizelge 8.1). Şekil 8.3'de,  $m_{su}= 120$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$  artmasına rağmen  $T_o$ 'ın artmış olması  $t_d$ 'yi azaltmıştır.  $m_{su}=130$  kg iken yapılan deneyde  $T_o$ 'ın artmasına rağmen  $m_{su}$ 'nun artmış olması  $t_d$ 'yi artırmıştır.  $m_{su}=140$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'ın azalmış olması sonucu  $t_d$  artmıştır.  $m_{su}=150$  kg iken yapılan deneyde  $T_o$  artmasına rağmen  $m_{su}$ 'nun artması  $t_d$ 'yi artırmıştır.

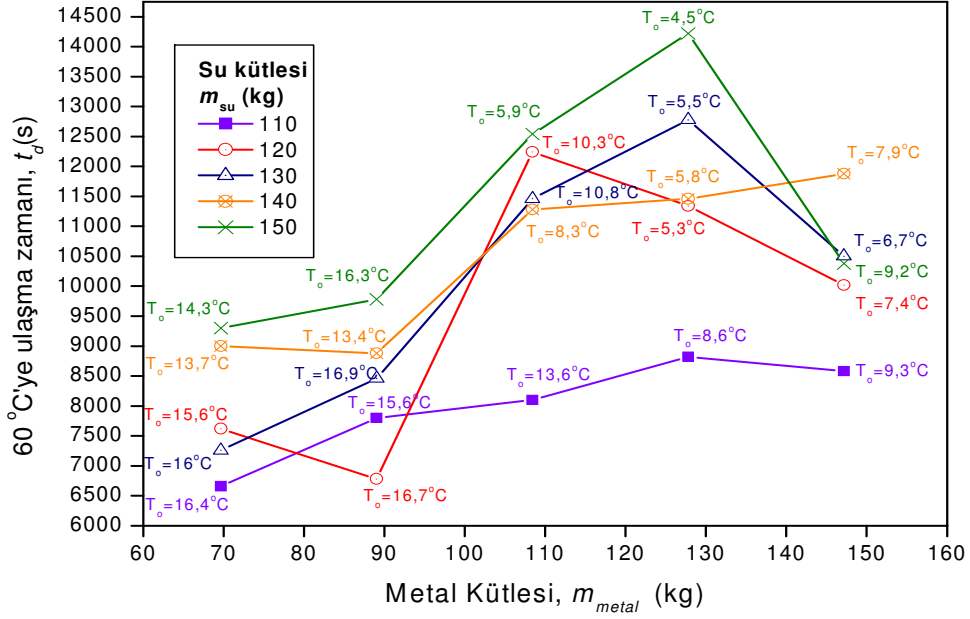
Metal kütlesi 108,41 kg'da sabit tutularak yapılan deneylerde su kütlesi 110 kg iken ortam sıcaklığı,  $T_o = 13,6$  °C ve  $t_d = 8100$  s ölçülmüştür (Çizelge 8.1). Şekil 8.3'de,  $m_{su} = 120$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'in azalmış olması  $t_d$ 'yi arttırmıştır.  $m_{su} = 130$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$  artmasına rağmen  $T_o$ 'in artması  $t_d$ 'yi azaltmıştır.  $m_{su} = 140$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'in azalmış olması sonucu  $t_d$  de artma beklenmesine rağmen  $t_d$  azalmıştır.  $m_{su} = 150$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$  azalmış olması  $t_d$  'yi azaltmıştır.

Metal kütlesi 127,79 kg'da sabit tutularak yapılan deneylerde su kütlesi 110 kg iken ortam sıcaklığı,  $T_o = 8,6$  °C ve  $t_d = 8820$  s ölçülmüştür (Çizelge 8.1).  $m_{su} = 120$  kg iken yapılan deneyde,  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'in azalması  $t_d$ 'yi arttırmıştır (Şekil 8.3).  $m_{su} = 130$  kg iken yapılan deneyde  $T_o$  artmasına rağmen  $m_{su}$ 'nun artmış olması  $t_d$ 'yi arttırmıştır.  $m_{su} = 140$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artmış olmasına rağmen  $T_o$ 'in artmış olması  $t_d$ 'yi azaltmıştır.  $m_{su} = 150$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'in azalmış olması  $t_d$ 'yi arttırmıştır.

Metal kütlesi 147,17 kg'da sabit tutularak yapılan deneylerde su kütlesi 110 kg iken ortam sıcaklığı,  $T_o = 9,3$  °C ve  $t_d = 8580$  s ölçülmüştür (Çizelge 8.1). Şekil 8.3'de,  $m_{su} = 120$  kg iken yapılan deneyde  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'in azalması  $t_d$ 'yi arttırmıştır.  $m_{su} = 130$  kg iken yapılan deneyde de  $m_{su}$ 'nun artması ve  $T_o$ 'in azalması  $t_d$ 'yi arttırmıştır  $m_{su} = 140$  kg iken yapılan deneyde  $T_o$ 'in artmasına rağmen  $m_{su}$ 'nun artmış olması  $t_d$ 'yi arttırmıştır  $m_{su} = 150$  kg iken yapılan deneyde,  $m_{su}$  artmasına rağmen  $T_o$ 'in artmış olması  $t_d$ 'yi azaltmıştır.

## 8.2 METAL KÜTLESİNİN DEĞİŞİMİNE BAĞLI OLARAK DEĞERLENDİRME

Şekil 8.4'de farklı su kütlelerinde  $t_d$ 'nin  $m_{metal}$ 'e göre değişimi gösterilmektedir.  $m_{metal}$  artması ve  $T_o$ 'in azalmasıyla  $t_d$ 'nin arttığı gözlenmektedir. Deneylerde metal kütlesinin artmasına rağmen ortam sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda  $T_c$ 'nin azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 8.4 Farklı su kütlelerinde  $t_d$ 'nin  $m_{metal}$ 'e bağlı olarak değişimi.

### 8.3 DENEY SONUÇLARININ ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, sıcak suyun depodan çıkış sıcaklığının ( $T_c$ ), 60 °C'ye ulaşma zamanı ( $t_r$ ), ortam sıcaklığı ( $T_o$ ), sistemdeki metal kütlesi ( $m_{metal}$ ) ve su kütlesinin ( $m_{su}$ ) fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Bu durumda bağımlı değişken  $t_r$  ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki;

$$t_r = a_0 + a_1 \times T_o + a_2 \times m_{su} + a_3 \times m_{metal} \quad (8.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  regresyon analizi sonucunda bulunan sabitlerdir.

Çizelge 8.1'de deneylerde ölçülen ve kullanılan değerler verilmektedir.

Regresyon analizi sonucunda,

$$a_0 = 9203,67$$

$$a_1 = -415,09$$

$$a_2 = 48,30$$

$$a_3 = -9,83$$

olarak hesaplanmıştır.

Katsayılar eşitlik 8.1’de yerine yazıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$t_r = 9203,67 - 415,09 \times T_o + 48,30 \times m_{su} - 9,83 \times m_{metal} \quad (8.2)$$

### 8.3.1 Regresyon Doğrusu İçin Determinasyon Katsayısı

Regresyon doğrusu için determinasyon katsayısı;

$$r^2 = 0,816$$

olarak hesaplanmıştır. Determinasyon katsayısının 1’e yakınlığı regresyon doğrusunun iyiliğini gösterir. Hesaplanan determinasyon katsayısı 1’e yeterince yakındır. Bu sonuca göre bulunan regresyon denkleminin gerçek değerine yakın olduğunu söyleyebiliriz.

### 8.3.2 Regresyon Analizi Sonucu Hesaplanan Standart Sapma Değeri

Yapılan regresyon analizi sonucu standart sapma değeri;

$$s_{y,x} = 894$$

olarak hesaplanmıştır.

## 8.4 DENEY SONUÇLARINDAN ELDE EDİLEN DEĞERLER İLE REGRESYON DENKLEMİ İLE HESAPLANAN DEĞERLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

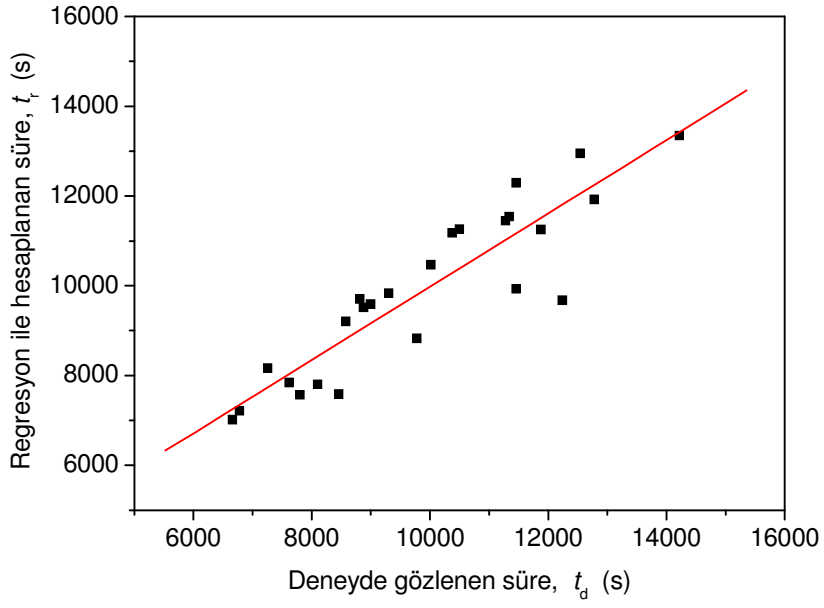
Regresyon denkleminde; ölçülen ortam sıcaklığı, sistemin toplam su kütlesi ve metal kütlesi yerlerine konularak hesaplanan zaman ile deneyler sonucu ölçülen zaman değerleri Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Ölçülen zamanlar ile hesaplanan zamanlar arasındaki %Hatalar.

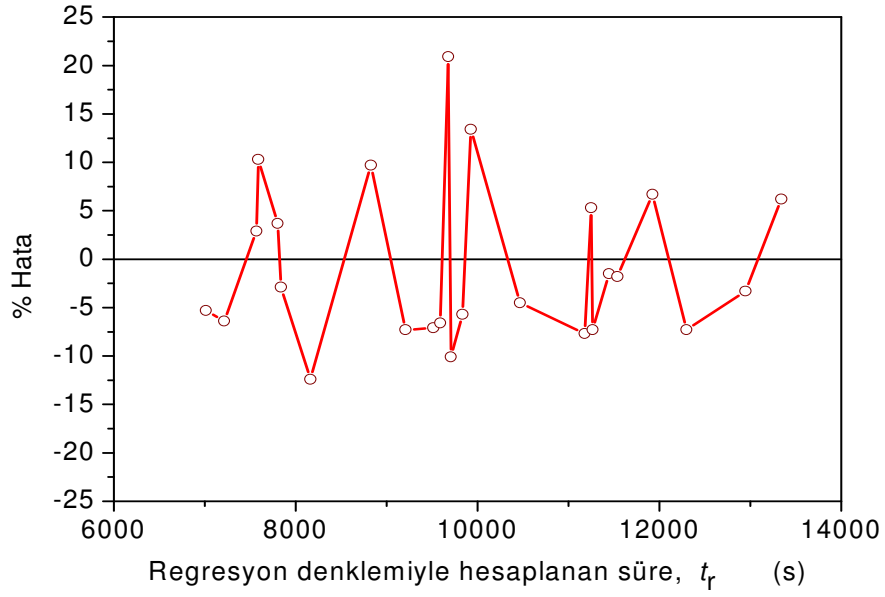
No:	60° C ye ulaşma zamanı (Ölçülen) $t_d$ (s)	Regresyon denklemiyle hesaplanan zaman, $t_r$ (s)	%Hata $(t_d-t_r)/t_d \times 100$
1	6660	7013	-5,3
2	6780	7213	-6,4
3	7260	8162	-12,4
4	7620	7839	-2,9
5	7800	7571	2,9
6	8100	7802	3,7
7	8460	7590	10,3
8	8580	9208	-7,3
9	8820	9708	-10,1
10	8880	9515	-7,1
11	9000	9590	-6,6
12	9300	9835	-5,7
13	9780	8827	9,7
14	10020	10468	-4,5
15	10380	11179	-7,7
16	10500	11265	-7,3
17	11280	11446	-1,5
18	11340	11540	-1,8
19	11460	9928	13,4
20	11460	12297	-7,3
21	11880	11251	5,3
22	12240	9678	20,9
23	12540	12948	-3,3
24	12780	11924	6,7
25	14220	13342	6,2

Çizelge 8.2’de verildiği gibi en yüksek hata değeri 22 no’lu deneyde, en düşük hata değeri ise 17 no’lu deneyde gözlenmektedir.

Deneyde gözlenen süre ile regresyon ile hesaplanan süre dağılımı Şekil 8.5’te gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 8.6’da regresyonla hesaplanan sürelerin deneyde gözlenen süreye göre yüzde hataları gösterilmiştir.



Şekil 8.5 Deneyde gözlenen süre ile regresyon denkleminde elde edilen süre arasında oluşturulan doğrusal grafik.



Şekil 8.6 Regresyon ile hesaplanan sürelerle karşılık yüzde hatalar.

## BÖLÜM 9

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ısıtma sistemi olarak sıcak sulu bir ısıtma sistemi tasarlanmıştır. Değişik kapasitelere sahip sıcak sulu ısıtma sistemlerinin 1 saat erken devreye alındığı takdirde oluşacak maddi kayıplar ve çevreye verdikleri CO<sub>2</sub> miktarları hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada ısıtma sistemini oluşturan elemanların, ısıtma sisteminde dolaşan suyun ve çevre sıcaklığının depo çıkış sıcaklığının 60 °C'ye ulaşması için geçmesi gereken süreye etkisi incelenmiştir. Çoklu doğrusal regresyon analiziyle depo çıkış sıcaklığının 60 °C'ye ulaşması için geçmesi gereken süre sistemin toplam metal kütesine, su kütesine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak tespit edilmiştir.

Isıtma sistemine ait regresyon denkleminin katsayıları; su kütlesi, metal kütlesi ve ortam sıcaklığına bağlı olarak Bölüm 8'de bulunmuştu (Eşitlik 8.2). Elde edilen eşitlik,

$$t_r = 9203,67 - 415,09 \times T_o + 48,30 \times m_{su} - 9,83 \times m_{metal} \quad (8.2)$$

şeklindedir. Deneylerde gözlenen zaman değerleriyle, regresyon denkleminin hesaplanan zaman değerleri karşılaştırılmıştır. Regresyon denkleminin determinasyon katsayısı  $r^2 = 0,816$  olarak bulunmuştu. Hesaplanan determinasyon katsayısı 1'e oldukça yakın bir değer olduğundan denklem gerçek sonuçlara yakın değerler verebilmektedir.

Denklemdaki su kütesinin katsayısı "48,30" olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre su kütesinin artmasıyla  $t_r$ 'nin artacağı görülmektedir. Bu durum enerji dengesi yazılarak elde edilen zaman ifadesiyle (Eşitlik 6.18) uyumludur. Denklemden metal kütesinin katsayısı ise "-9,43" olarak hesaplanmıştır. Katsayının negatif çıkması 6.18 eşitliği ile verilen zaman ifadesiyle çelişmektedir.

Ortam sıcaklığı dikkate alınmaksızın yalnız metal ve su kütleleri kullanılarak regresyon analizi yapıldığında elde edilen regresyon denklemi;

$$t_r = -4210 + 74,04 \times m_{su} + 41,23 \times m_{metal} \quad (9.1)$$

şeklindedir. Bu durumda metal kütesinin katsayısı pozitif değer almaktadır. Dolayısıyla Eşitlik 8.2’de metal kütesine ait katsayının negatif değer alması ortam sıcaklığının değişimine bağlanabilir.

Sabit metal kütleleri için yapılan deneylerde gözlemlenen zaman değerlerinin ortalamaları alınarak, değişik metal kütleleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çizelge 9.1’de metal kütesinin yalnız 69,65 kg olduğu durum için depo çıkış sıcaklığının 60 °C’ye ulaşma zamanları verilmektedir.

Çizelge 9.1 Metal kütesi 69,65 kg iken 5 farklı su kütesinde depo çıkış sıcaklıklarının 60 °C’ye ulaşma zamanları.

Metal kütesi 69,65 kg	
Zaman	Su kütesi, kg
6660	110
7620	120
7260	130
9000	140
9300	150

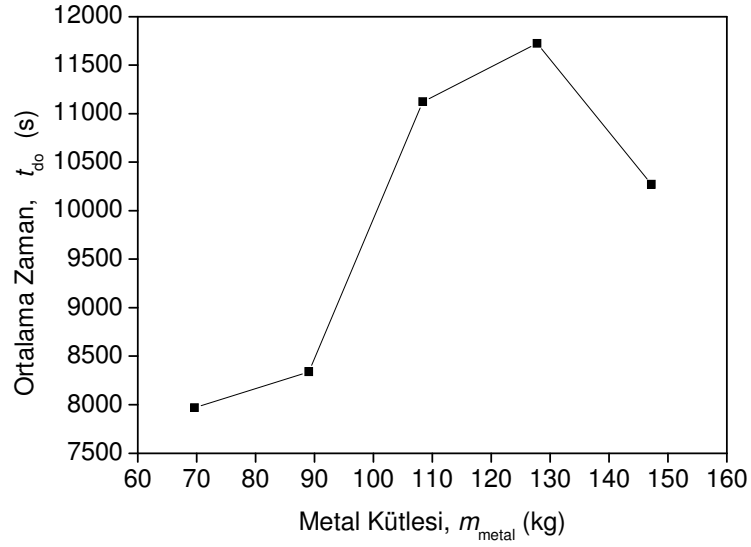
Bu zamanların ortalaması,

$$t_{do} = \frac{6660 + 7620 + 7260 + 9000 + 9300}{5} = 7968 \text{ s} \quad (8.1)$$

olarak hesaplanır. Aynı şekilde beş farklı metal kütesi için hesaplanmış ortalama zaman değerleri Çizelge 9.2’de verilmektedir.

Çizelge 9.2 Farklı metal kütlelerine göre hesaplanan depo çıkış sıcaklıklarının 60 °C’ye ulaşma zamanlarının ortalamaları.

Metal Kütesi	Ortalama zaman, $t_{do}$
69,65	7968
89,03	8340
108,41	11124
127,79	11724
147,17	10272



Şekil 9.1 Ortam sıcaklığı dikkate alınmadığı durumda, Metal kütlesi – Ortalama zaman arasındaki ilişki.

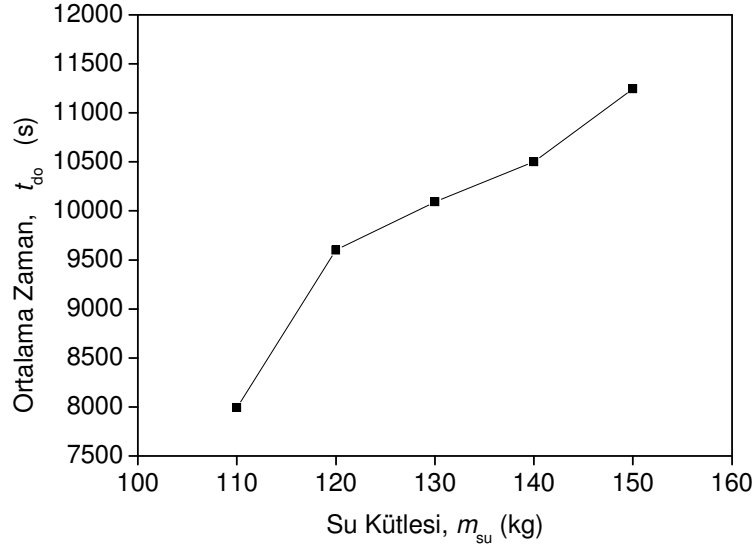
Şekil 9.1’de farklı metal kütlelerine bağlı ortalama zaman değerleri gösterilmektedir. Metal kütlesinin 127,79 kg’a kadar olan artışıyla ortalama zamanın arttığı gözlenmektedir. Fakat bu noktadan itibaren metal kütlesinin artmasıyla ortalama zaman azalmaktadır. Gerçekte metal kütlesinin artmasıyla zamanın da artması gerekir. Bu durumun, deneysel çalışmanın yapıldığı aylarda, her bir deneyin başlangıcı ile sonu arasında olduğu gibi değişik deneyler arasında da ortam sıcaklığının değişken olması, elde olmayan hatalar, deney başlangıcında deney setinin ortamla ısıl dengede bulunmaması gibi nedenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Yukarıda ortam sıcaklığı dikkate alınmaksızın; metal kütlesi ve depo çıkışındaki su sıcaklığının 60 °C’ye ulaşma süreleri arasındaki ilişkinin bulunmasına benzer şekilde aynı işlemler su kütlesi ve ortalama zamanlar için yapılmış ve sonuç Şekil 9.2’de gösterilmiştir.

Şekil 9.2 incelendiğinde su kütlesinin artmasıyla ortalama zamanın arttığı gözlenmektedir. Bu durum beklenen bir durumdur ve Eşitlik 8.2 ve 9.1 ile uyumludur.

Eşitlik 8.2’nin ilave deneylerle yeniden oluşturulması gerekmektedir. Ortam sıcaklığını dikkate almayan Eşitlik 9.1’in de gerçek ısıtma sistemlerine ait bilgi vermesi beklenemez. Ancak Şekil 5.1’dekine benzer bir ısıl sistem için Eşitlik 9.1’den çıkartılabilecek sonuçlar şunlardır:

Böyle bir sistemde su çıkış sıcaklığının 60 °C'ye ulaşma süresi üzerinde, sistemdeki toplam su kütesinin etkisi metal kütesine göre daha fazladır. Dolayısıyla ısıtılan bir ortamın sıcaklığının, istenen bir değere hızla ulaşması isteniyorsa, sistemde; su hacmi büyük dökme demir dilimli radyatörler yerine, su hacmi küçük panel radyatörlerin kullanılması daha uygundur.



Şekil 9.2 Ortam sıcaklığı dikkate alınmadığı durumda, Su kütlesi – Ortalama zaman arasındaki ilişki.

Bu çalışmada elde edilen eşitlik, gerçek sistemlerde kullanmak için yeterli değildir. Gerçek sistemlerde kullanılacak bir eşitlik için bina yapı bileşenlerinin ısı ataletini dikkate alan çalışmalar yapılabilir. Böyle bir çalışmada bina yapı bileşenlerine ilave olarak, bina içindeki mobilya ve her türlü eşyanın ısı tutma kapasiteleri detaylı bir şekilde hesaplara dahil edilmelidir. Bunun için gerçek binalarda uzun süreli deneyler yapılmalıdır.

Kurulu gerçek binaların ısıtma sistemlerinde uzun zamana yayılmış deneysel çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda elde edilecek verilere regresyon analizi uygulanarak elde edilecek eşitliklerin bina yönetim sistemleri yazılımları için gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bunlar yapıldığında, özellikle büyük ölçekli sistemlerde maddi kazançlar ve çevreye atılacak CO<sub>2</sub> miktarında önemli ölçüde iyileşmeler sağlanabilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Stoecker, W. F.** (1989), *Design of Thermal Systems*, Third Edition, McGraw-Hill International Editions, 565 p.
- [2] **Bozkır, O.** (2003), Sıcak Su Üretiminde Elektrikli Termosifona Alternatif Bir Çözüm: Isı Pompası, *Termodinamik Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yalıtım ve Doğalgaz Teknolojisi Aylık Bilimsel Sektör Dergisi*, Sayı 128, s. 87-93
- [3] **Kim, M., Kim, M. S., Chung, J. D.** (2004), Transient Thermal Behavior of a Water heater System Driven by a Heat Pump. *International Journal of Refrigeration*, pp. 415-421
- [4] **Tashtoush, B., Molhim, M., Al-Rousan, M.,** (2005) Dynamic Model of an HVAC System for Control Analysis. *Energy*, Vol. 30, pp. 1729-1745
- [5] **Özel, M., Pıhtılı, K.** (2005), Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması, *DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt:7, Sayı:1, s.87-97
- [6] **MMO** (2003), *Kalorifer Tesisatı*, MMO Yayın No: 352, 411s.
- [7] **Canbay, Ç., Gökçen, S., Hepbaşlı, A.** (2003), Bina Yönetim Sistemleri ve HVAC Sistemlerinde Enerji Tasarrufuna Yönelik Kontrol İlkeleri. *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, MMO Yayın No: E/2003/328-1, s.653-671.
- [8] **Yaparoğlu, E.T.** (2005), Bina Yönetim Sistemleri ve HVAC Otomasyon Sistemlerinde Enerji Tasarrufu, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı:90, s.32-36
- [9] **ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)** [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)
- [10] **Schramek, E.R.** (2003), *Recknagel-Sprenger Schramek El Kitabı*, Isıtma + Klima Tekniği, TTMD Yayınları, 1975 s.
- [11] **Özbalta, N., Göksal, T.** (2002), Enerji Korunumunda 'Düşük Enerjili Bina' Tasarımları, *Mühendis ve Makina*, Sayı 506.
- [12] **Yuan, Y., Cheng, B., Mao, J., Du, Y.** (2005) Effect of Thermal Conductivity of Building Materials on The Steady-State Thermal Behavior of Underground Building Envelopes, *Buildig And Environment*, s. 334
- [13] **Yılmaz, Z.** (2004), Enerji Etkin Tasarımda Isıl Kütleinin Etkisi, *VI. Uluslar arası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s. 511-520.

- [14] **Badescu, V.** (2005), Simulation Analysis of Active Solar Heating System of a Passive House, *Applied Thermal Engineering*, Volume 25, pp. 2754-2763.
- [15] **Wall, M.** (2006), Energy-Efficient Terrace Houses in Sweden Simulation and Measurement, *Energy and Building* pp.627-634
- [16] **Çakmanus, İ. ve Böke, A.** (2001), Binaların Güneş Enerjisi ile Pasif Isıtılması ve Soğutulması, *Yapı* 235, s. 83-88.
- [17] **Dağsöz, A. K.** (1998), *Sıcak Sulu Kalorifer Tesisatı*, 1.Baskı, Demirdöküm Teknik Yayınları, No:6, 652 s.
- [18] <http://www.dosider.org/tablo/konutyakitu.htm>.
- [19] Demirdöküm Kataloğu.
- [20] **Çengel, Y., Boles, M.** (1996) *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Literatür Yayıncılık, İstanbul., 867 s.
- [21] **Incropera, F.P., DeWitt, D.P.**, (2001) *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, 960 s.
- [22] **Sahinler, S.** (2000), En Küçük Kareler Yöntemi İle Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri, *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 5(1-2), s. 57
- [23] **Şıklar, E.** (2000), *Regresyon Analizine Giriş*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Yayın No:16, 133 s.
- [24] **Chapra, S. C., Canale, R. P.** (2003), *Mühendisler için Sayısal Yöntemler (Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla)*, Lüteratür Yayıncılık, İstanbul, 1026 s.
- [25] <http://analiz.ibsyazilim.com/egitim/sts.html>
- [26] **Carnahan, B., Luther, H.A., and Wilkes, J.O.** (1969), *Applied Numerical Methods*, Wiley, NewYork.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Serkan KOCAKULAK, 1975 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Mehmet Çelikel Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1993 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1999 yılında mezun olduktan sonra 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Meslek Yüksek Okulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

## **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Meslek Yüksek Okulu  
78100, Karabük

Tel: (370) 433 66 03

Faks: (370) 433 66 04

E-posta: s\_kocakulak@yahoo.com.tr