

# ISITMA SİSTEMLERİNDE KÜTLE ve SICAKLIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Mustafa EYRİBOYUN  
Serkan KOCAKULAK  
Eyüp DUMAN

## ÖZET

Bir kalorifer kazanının gereğinden uzun süre yakılması hem yakıt israfına hem de atmosfere fazladan CO<sub>2</sub> atılmasına neden olmaktadır. Pazartesi sabahları işyerlerinin sıcak olması için ısıtma sisteminin kaç saat önceden devreye alınması gerektiği, sistemin büyüklüğüne, kullanılan elemanların malzemesine, yapısına ve dış sıcaklığa bağlıdır. Bu çalışmada bir ısıtma sistemini oluşturan metal elemanların toplam kütlesi, sistemdeki su kütlesi ve ortam sıcaklığının kazan çıkışındaki su sıcaklığının belirli bir değere ulaşma süresini nasıl etkilediği deneysel olarak incelenmiştir.

Bunun için içerisinde 2x2500=5000 W'lık elektrikli su ısıtıcısı bulunan depo (kazan), dökme demir dilimli radyatör, dolaşım pompası, gidiş ve dönüş boruları, bağlantı elemanları ile ölçü ve kayıt cihazlarından oluşan deney seti kurulmuştur. Kazandaki su seviyesi değiştirilerek, su kütlesi ve radyatör dilim sayısı değiştirilerek, metal kütlesi bağımsız değişken olarak alınmıştır. Her bir deneyde, su gidiş sıcaklığı ile ortam sıcaklığı bir data logger ile kaydedilmiş; gidiş sıcaklığı 60 °C'ye ulaştığında deney bitirilmiştir. Sonra sistem soğumaya bırakılmış, soğumanın ardından kütleler değiştirilerek bir başka deneye geçilmiştir. 31 farklı deneyden elde edilen verilere bağlı olarak, çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile değişkenler arasında ilişki kurulmuştur.

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN MASS AND TEMPERATURE OF HEATING SYSTEMS

### ABSTRACT

Unnecessary operating of boiler causes fuel wasteful and extra CO<sub>2</sub> emission to the atmosphere. How many hours before must start up of the boilers on Monday mornings to become warm of offices depends on the size of systems, materials, types and outdoor temperature. In this study, the effect of the total metal mass of an heating system, total water mass in the system and ambient temperature were investigated on the outlet temperature of the boiler, experimentally.

For this reason, an experimental set-up were built consisting of a depot as boiler with 2x2500=5000 W electric heater, cast iron radiator, circulation pump, supply and return pipes, fittings, measurement and recording equipment. Changing water level in the boiler, water mass and changing the numbers of sections of radiator, metal mass were obtained independent variables. In each operation, supply water temperature and ambient temperature recorded when supply water temperature reach 60 °C the system were shut down. After the system cooling, metal and water mass were changed and other experiment were done. Multiple linear regression method were used to obtain a relationship between variables by using data from 31 different operations.

## 1. GİRİŞ

Yeryüzünde var olduğundan bu yana insanoğlunun vazgeçilmez ihtiyaçlarından birisi ısınmadır. Günümüzün modern dünyasında, ısınma yanında yazları serinleme ve nem alma da artık bir ihtiyaç olarak hissedilmektedir. İster ısıtma, ister serinleme amaçlı olsun; ortam havasının sıcaklığını, nemini ve havalandırmasını sağlayan sistemlere ısı sistemler denir. Isıl sistem tanımı esasen daha geniş bir kavram olup, soğuk hava depoları, su soğutma-dondurma, buharlaştırma, yoğunlaştırma işlemi yapan cihaz ve araç-gereçlerden oluşan alt sistemleri de kapsamaktadır.

Isıtma sistemleri projelendirilirken iç ve dış koşulların değişmeden sabit kaldığı varsayılır. Oysa hem iç hem dış koşullar gün içinde olduğu gibi günden güne de değişime uğrar. Bu değişime karşın ortam sıcaklığının istenen değerde tutulması elle (manüel) kumanda edilerek veya otomatik kontrol sistemleri ile 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 düşünülmemelidir. Yeryüzünde fosil yakıtların miktarı sınırlıdır. Gereksiz kullanımı doğal kaynakların erken tükenmesi demektir. Ayrıca yakıldıklarında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gibi gazlar da sera etkisi nedeniyle küresel ısınmaya yol açmaktadır. O halde ısıtma sistemlerinin verimli kullanılması insanoğlu ve diğer canlıların tek yaşam alanı olan yeryüzü ve onu kuşatan atmosfer için son derece önemlidir.

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.

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 çalıştırılmaması bakımından önemlidir. Örneğin müstakil bir konut, 20 konutlu bir apartman ve birkaç bloktan oluşan bir site için bu süreler farklı olacaktır.

Isıtmada doğalgaz kullanan kentlerde, gün boyunca evde kimsenin bulunmadığı ailelerin ikamet ettiği konutlarda, ısıtma sisteminin sabah kendiliğinden devreye girmesi ve herkes evden ayrıldıktan sonra devre dışı kalması istenir. Aynı şekilde akşam insanlar eve gelmezden 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 uzaktan kontrol ile 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 betonarme duvar ve döşemeler,
- Isıtma sistemini oluşturan cihazların 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 olmayacaktır. 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 de enerjinin etkin kullanımı için önemlidir. Ön soğutma

için soğutma yükü hesabı yapılırken salon içindeki koltuk, döşeme, perde duvar kaplaması vs. gibi ısı bileşenlerin ısı tutumları hesaba katılır. Aynı şekilde bina ısıtma sistemlerinin, ihtiyaç duyulduğu anda gerekli konforu sağlayacak şekilde ne kadar süre önceden devreye sokulması gerektiği konusunda 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 termo-fiziksel 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.

Konu üzerinde yapılan çalışmaların genellikle akıllı binaların ve yüksek binaların yıl boyu enerji tüketimlerinin azaltılması ve optimizasyonu üzerine yapıldığı görülmektedir. Yılmaz, bina kabuğunu oluşturan opak bileşenlerin ısı iletim katsayısı, genlik küçültme faktörü, zaman geciktirmesi ve yutuculuk gibi fiziksel özellikleri ile saydam bileşenlerin güneş ışınımına karşı geçirgenlik, yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları gibi optik özelliklerinin ısıtma sisteminin ısı performansını üzerine etkilerini örneklerle incelemiştir [1].

Uygun malzeme kullanımı ve duvar kalınlıklarının gerekli ölçülerde seçilmesi halinde gün boyunca dış ortamda karşılaşılan yüksek ve düşük sıcaklıkların iç ortama iletilmelerinde, başlangıçtaki eğrilerinden düşük olarak ve 12 saate kadar varabilen gecikmeyle iç ortama ulaşması sonucu geceleri ortamın ısıtılması; gündüzleri ise gece soğuyan duvar malzemesi sayesinde ortamın soğutulması olanaklıdır. Dış yüzey rengi ve dokusu ve güneş enerjisini soğurma özelliği, duvar kesitinde kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve yoğunluğu güneş enerjisi karşısındaki ısı davranışlarının belirlenmesinde önemli rol oynar [1].

Arısoy ve Çetegen [2], yeni bir örnek yapı için belirli bir iklim koşulunda HVAC amaçlı enerji tüketiminin minimizasyonu amacıyla ısı yalıtımı ile birlikte HVAC sistemi optimizasyonunu incelemiştir. Optimizasyon parametreleri; pencere cinsleri, kazan cinsleri ve termostatik vana kullanımı olarak almışlardır. Örnek üzerinde gösterilmiştir ki enerji tüketimini minimize eden en uygun çözümler ısı yalıtımı + HVAC sistemi ortak iyileştirmesiyle elde edilmektedir. Hesaplarını kendi geliştirdikleri tek zonlu bir bina simülasyon programı kullanarak yapmışlardır.

Bina kabuğu, enerji korunumunda etkili olan önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Dış duvarlar sürekli olarak iklim şartlarına maruzdurlar. 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 kabuğunun ısı kazanım ve kayıplarında en önemli faktörlerden biridir [3].

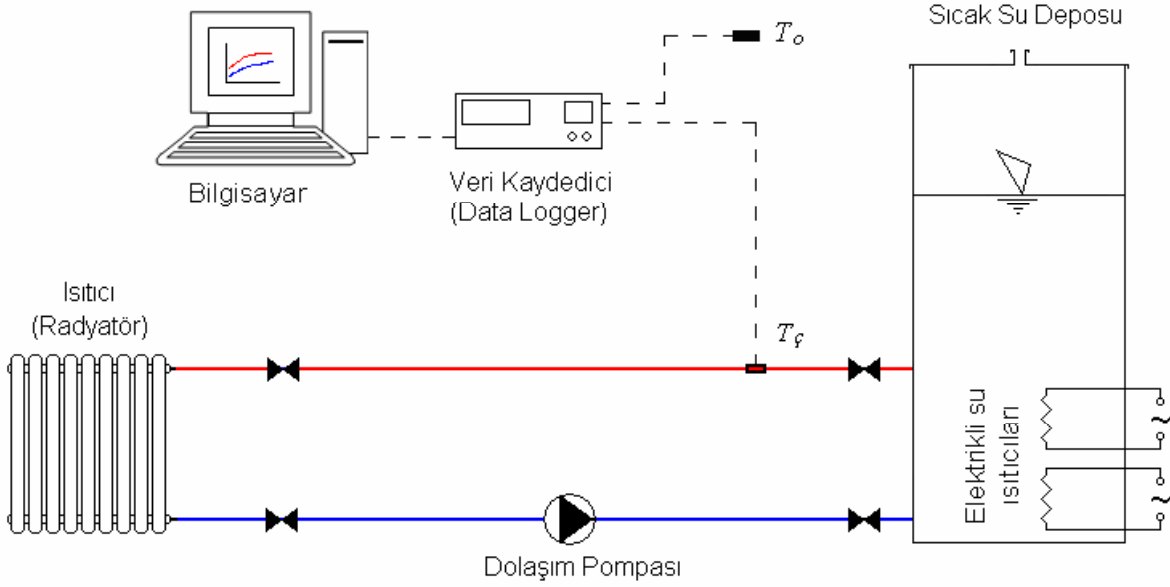
Isı pompalı su ısıtıcının dinamik modeli sunulmuştur. Simülasyon çalışmasında kompresör ve sıcak su tankı toplam kütle yaklaşımı modellenmiştir. Isı değiştirgeçleri sonlu hacim elemanı ile modellenmiş ve genişleme valfi kompresör girişinde istenen aşırı kızgınlık derecesine göre modellenmiştir. Dinamik simülasyon değişik sıcak su tankı boyutları için yapılmıştır. Değişik tank boyutları için, gerçek işlem süresi ile karşılaştırmak için boyutsuz zaman tanımlanmış ve zaman sabiti kısmi-denge koşullarına dayalı olarak tank boyutlarının fonksiyonu olarak tanımlanmıştır [4].

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 sıcaklığı 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; kazandaki su miktarı değiştirilerek de su kütlesi bağımsız değişken olarak elde edilmiştir.

## 2. DENEY SETİNİN TANITIMI

Deney seti, ısıtma sistemi ve ölçme sisteminden oluşmaktadır. Isıtma sistemi; sıcak su dolaşımını sağlayan 3 hız kademesine sahip dolaşım (sirkülasyon) pompası, sıcak su gidiş ve dönüş boruları, dökme demirden dilimli radyatör, depo ve içerisine yerleştirilmiş 2 adet 2500 W gücünde elektrikli su ısıtıcısından oluşmaktadır. Su borularının kazana ve ısıtıcıya (radyatöre) giriş-çıkışlarında birer vana bulunmaktadır. Dolaşım pompası dönüş hattına yerleştirilmiştir. Ölçme sistemi; 2 adet K tipi ısı-çift (thermo-couple) ve veri kaydedici (data logger) cihaz ile kişisel bilgisayardan oluşmaktadır. Isıl-çiftlerden biri gidiş suyu sıcaklığını diğeri ortam sıcaklığını ölçmektedir (Şekil 1).

Deneylerde, sıcak su gidiş sıcaklığı ile ortam sıcaklığı ölçülerek, veri kaydedici (data logger) üzerinden 1'er dakika aralıklarla bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.



Şekil 1. Deney setinin şematik gösterimi.

Isıtma sistemini oluşturan elemanların teknik özellikleri Tablo1'de verilmiştir. Sistemi oluşturan elemanların her biri hassas terazide tartılmış ve bu bilgilerle her deney için sistemin toplam metal kütlesi bulunmuştur. Tablo 2'de ısıtma sistemine ait elemanların birim kütleleri ve 3 dilimli ısıtıcı kullanılan durum için sistemin toplam metal kütlesi verilmiştir.

Tablo 1. Isıtma sistemini oluşturan elemanların teknik özellikleri

Dolaşım Pompası						
POMPA TİPİ	Kütle (kg)	Hız Kademe Sayısı	Hız (dev./dak.)	Akım (A) ~ 220 V, 50 Hz	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	
Isıtıcı (Radyatör) (Değerler bir dilim içindir.)						
Dilim Yüksekliği (mm)	Dilim Genişliği (mm)	Kütle (kg)	Isıtma Yüzeyi (m <sup>2</sup> )	Aldığı su miktarı (litre)		
580	160	6.260	0.255	0.900		
Sıcak Su Deposu						
Boy (m)	En (m)	Yükseklik (m)	Su hacmi ( litre)	Kütle (kg)		
0.4	0.4	1.2	192	32.9		
Elektrikli su ısıtıcısı						
Gücü	2500 W (2 adet)					

**Tablo 2.** Elemanların birim kütlesi ve 3 dilim radyatör kullanıldığında sistemin toplam metal kütlesi.

Malzeme	Birim kütlesi (kg)	Adedi	Toplam kütlesi (kg)
Kazan (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>69.650</b>

Deneylerde ısıtıcının dilim sayıları üçer artırılarak sisteminin toplam metal kütlesinin değişken olması sağlanmıştır. Her üç ısıtıcı dilimi ilave edildiğinde, 6 nipel ile birlikte sistemin metal kütlesi;  $6.300 \times 3 + 0.08 \times 6 = 19.38$  kg artmaktadır. Tablo 3'de, deney setinde 3, 6, 9, 12 ve 15 dilim ısıtıcı bulunduğu durumlar için toplam metal kütleleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Dilim sayısına göre ısıtma sisteminin toplam metal kütlesi.

Radyatör Dilim Sayısı	Isıtma Sisteminin Toplam Metal Kütlesi ( $m_{metal}$ ), (kg)
3	69.65
6	89.03
9	108.41
12	127.79
15	147.17

Deney setindeki belli başlı birimler ve özellikleri şöyledir:

**Kazan:** 40 cm x 40 cm x120 cm yüksekliğinde, manşonlu bağlantı uçları olan çelik sac'tan su tankı.

**Vanalar:** 4 Adet, 1/2" çapında akış kontrol vanası.

**Elektrikli Isıtıcı:** Her biri 2500 W gücünde 2 adet metal borulu ısıtıcı (boru rezistans) kullanılmıştır.

**Veri Toplayıcı:** The Agilent 34970A Data Acquisition/Switch Unit. HP BenchLink Data Logger Yazılımı ile birlikte çalışmaktadır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylere 3 dilim ısıtıcı içeren durum ile başlanmıştır. Sisteme ölçeklenmiş bir beher ile 110 litre (110 kg) su konulmuştur. Başlangıçta su ve ortam sıcaklığı ya eşit ya birbirine çok yakın değerlerdedir. Sonra ısıtıcılar devreye alınıp, veri kayıt cihazının ilgili kanallarına bağlı olan ısı-çiftler tarafından algılanan sıcaklık değerleri RS-232 arayüzü ile 1'er dakika aralıklarla bilgisayara aktarılmıştır. Depo çıkış sıcaklığı 60 °C'ye ulaştığında deney sonlandırılmıştır. Radyatör dilim sayısı değiştirilmeden su kütlesi 10'ar kg artırılarak toplam su kütlesi 120 kg, 130 kg, 140 kg, 150 kg için deneyler yapılmıştır. Sonra ısıtıcıya 3 dilim eklenerek, metal kütlesi 19.36 kg artırılmış ve bu metal kütlesi için de su kütlesi yine 110, 120, 130, 140 ve 150 kg olarak değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Dilim sayısı üçer artırılarak 15 oluncaya kadar deneyler tekrarlanmıştır. Her iki deney arasında tüm sistemin soğuması için 12 saatten fazla beklemek gerekmiştir. Kocakulak [5] tarafından 26 ve Duman [6] tarafından 5 olmak üzere toplam 31 deney yapılmıştır. Her deneyde ortam sıcaklıkları da kaydedilmiştir. Deney verisinde metal kütlesi, su kütlesi ve ortam sıcaklığı bağımsız değişkenleri, kazan çıkış suyu sıcaklığının 60 °'ye ulaşma süresi bağımlı değişken olarak alınmıştır. Her bir deney için deney boyunca ortam sıcaklığı çok az değiştiğinden, ( $\pm 1$  °C) sabit kabul edilmiştir. Deneylerde elde edilen değerler, zaman

bağımlı değişkeni küçükten büyüğe sıralı olarak ve regresyon analizi sonuçları ile birlikte Tablo 4'de topluca gösterilmiştir.

#### 4. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİ

Bu çalışmada, sıcak suyun depodan çıkış sıcaklığının 60 °C'ye ulaşma zamanı ( $t_r$ ), ile sistemdeki metal kütlesi ( $m_{metal}$ ), su kütlesi ( $m_{su}$ ) ve ortam sıcaklığı ( $T_o$ ) arasında çoklu doğrusal ilişki olduğu varsayımı ile regresyon analizi yapılmıştır. Buna göre bağımlı değişken  $t_r$  ile bağımsız değişkenler  $m_{metal}$ ,  $m_{su}$  ve  $T_o$  arasındaki ilişki;

$$t_r = a_0 + a_1 \times m_{metal} + a_2 \times m_{su} + a_3 \times T_o \quad (1)$$

şeklinde olmalıdır. Burada  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  regresyon analizi sonucunda bulunan sabitlerdir. Tablo 4'de verilen deney sonuçlarına uygulanan çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen katsayılar aşağıda sunulmuştur:

$$a_0 = 2669,25$$

$$a_1 = 20,77$$

$$a_2 = 59,90$$

$$a_3 = -241,99$$

Katsayılar 1 no'lu eşitlikte yerine yazılırsa zaman ifadesi, metal kütlesi, su kütlesi ve ortam sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki şekilde elde edilmiş olur:

$$t_r = 2669,25 + 20,77 \times m_{metal} + 59,90 \times m_{su} - 241,99 \times T_o \quad (2)$$

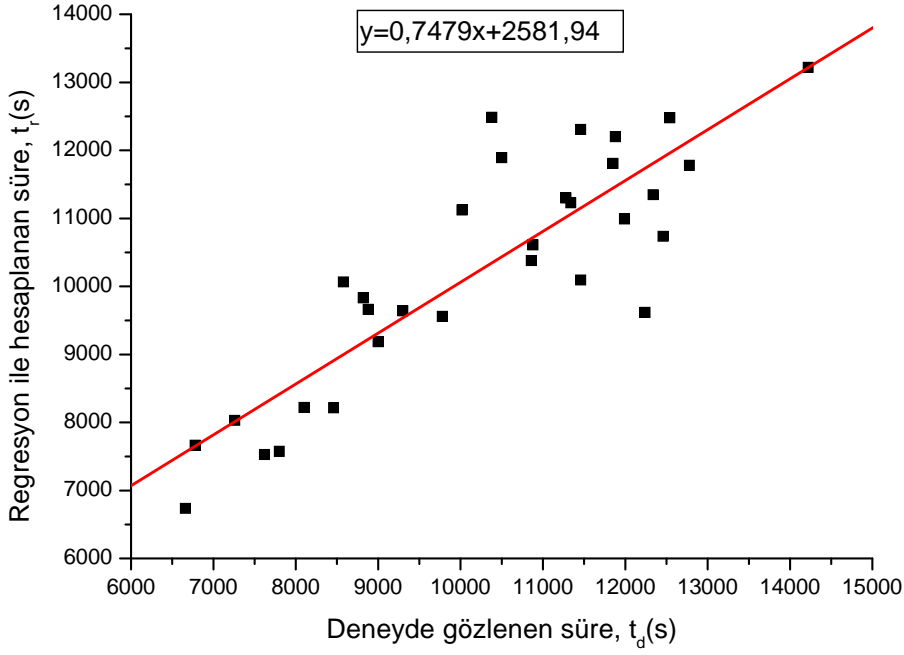
Regresyon doğrusu için determinasyon katsayısı;  $r^2 = 0,747$  olarak hesaplanmıştır. Determinasyon katsayısının 1'e yakın değeri regresyon eşitliğinin iyi uyum sağladığını göstermektedir. Regresyon eşitliği ile hesaplanmış zaman ve hata değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'den görüldüğü gibi en yüksek hata değeri % 21,43 olarak 26 no'lu deneyde, en düşük hata değeri %-0,17 değeri ile 19 no'lu deneyde ortaya çıkmıştır. Hata ortalaması -0,907, standart sapma ise 1053,84 değerindedir.

Deneyde ölçülen süre ile regresyon ile hesaplanan süreler Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 3'te ise hata dağılımı görülmektedir.

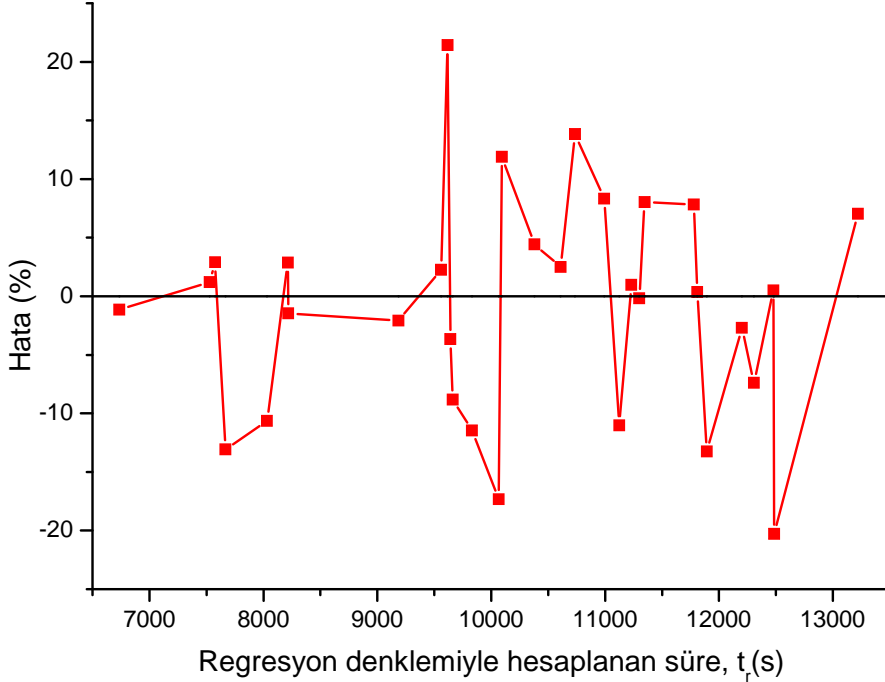
**Tablo 4.** Deneylerde kullanılan, ölçülen ve hesaplanan değerler\*.

Deney No:	60 °C'ye Ulaşma Zamanı, $t_d$ (s)	Metal Kütlesi $m_{metal}$ (kg)	Su Kütlesi $m_{su}$ (kg)	Ortam Sıcaklığı $T_o$ (°C)	Regresyon Denklemiyle Hesaplanan Zaman, $t_r$ (s)	% Fark $(t_d-t_r)/t_d \times 100$
1	6660	69,65	110	16,4	6736,6	-1,15
2	6780	89,03	120	16,7	7665,6	-13,06
3	7260	69,65	130	16,0	8031,4	-10,63
4	7620	69,65	120	15,6	7529,2	1,19
5	7800	89,03	110	14,6	7574,8	2,89
6	8100	108,41	110	13,6	8219,3	-1,47
7	8460	89,03	130	16,9	8216,2	2,88
8	8580	147,17	110	9,3	10065,1	-17,31
9	8820	127,79	110	8,6	9831,9	-11,47
10	8880	89,03	140	13,4	9662,2	-8,81
11	9000	69,65	140	13,7	9187,0	-2,08
12	9300	69,65	150	14,3	9640,8	-3,66
13	9780	89,03	150	16,3	9559,4	2,26
14	10020	147,17	120	7,4	11123,9	-11,02
15	10380	147,17	150	9,2	12485,3	-20,28
16	10500	147,17	130	6,7	11892,3	-13,26
17	10860	147,17	110	8,0	10379,7	4,42
18	10880	147,17	130	12,0	10609,7	2,48
19	11280	108,41	140	8,3	11298,9	-0,17
20	11340	127,79	120	5,3	11229,5	0,97
21	11460	108,41	130	10,8	10094,9	11,91
22	11460	127,79	140	5,8	12306,5	-7,39
23	11850	147,17	150	12,0	11807,7	0,36
24	11880	147,17	140	7,9	12200,9	-2,70
25	11990	147,17	140	12,9	10990,9	8,33
26	12240	108,41	120	10,3	9616,9	21,43
27	12340	147,17	150	13,9	11348,0	8,04
28	12460	147,17	120	9,0	10736,7	13,83
29	12540	108,41	150	5,9	12478,7	0,49
30	12780	127,79	130	5,5	11780,1	7,82
31	14220	127,79	150	4,5	13220,1	7,03

\*: 17, 18, 25, 27 ve 28 no.lu deneyler için kaynak [5], diğerleri için [6].



**Şekil 2.** Deneyde gözlenen süre ile regresyon denkleminde elde edilen süre arasında oluşturulan doğrusal grafik.



**Şekil 3.** Regresyon ile hesaplanan sürelerle karşılık yüzde hatalar.



## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, metal kütlesi ve su kütlesi değiştirilebilen sıcak sulu bir ısıtma sistemi laboratuvar ortamında kurumuş ve sistemde dolaşan su sıcaklığının 60 °C'ye ulaşma süresi farklı metal ve su kütleleri için ölçülmüştür. Deneyler boyunca değişen ortam sıcaklığı da ayrı bir parametre olarak dikkate alınmıştır.

Deney sonuçlarına uygulanan çoklu regresyon analizinden, 60 °C'ye ulaşma süresinin

$$t_r = 2669,25 + 20,77 \times m_{metal} + 59,90 \times m_{su} - 241,99 \times T_o \quad (2)$$

ifadesi ile iyi derecede ( $r^2=0.747$ ) belirlenebileceği görülmüştür. Buna göre ısınma süresi üzerinde; sistemdeki toplam su kütlesinin etkisi, toplam metal kütlesinin etkisinden daha fazladır. Her iki kütlelerin artışı, sürenin ( $t_r$ ) de artması yönünde etki ederken bunların tersine ortam sıcaklığının artışı sürenin düşmesi yönünde etki etmektedir. Bu, beklenen yönde bir sonuçtur.

Sistemdeki toplam su kütlesinin, zaman üzerindeki etkisi toplam metal kütlesinden daha fazladır. Dolayısıyla ısıtma sistemlerinde dökme demir dilimli ısıtıcı yerine panel ısıtıcı kullanılması hem metal kütlesini hem de su kütlesini azaltacağı için sistemin ısınması daha kısa sürede gerçekleşecektir.

Regresyon denkleminde en yüksek katsayı ortam sıcaklığınıninkidir. Kurulu bir sistemde ortam sıcaklığının yüksek olması sıcaklığın yükselme süresini kısaltacaktır. Buradan hareketle yalıtımın ve güneş alan cephelere konulan pencerelerden giren ışınım ısısının ortamın hızlı ısınmasında önemi görülebilmektedir.

Bu çalışma, daha fazla parametreyi ölçüme dahil ederek geliştirilebilir. Isıtma sistemlerinde kullanılan ısıtıcıların malzemesi, geometrik tasarımı, su hacimleri, bina yapı bileşenlerinin kütle ve malzemeleri dış hava sıcaklığı gibi faktörlerini ısınma süresi üzerindeki etkileri geniş kapsamlı bir araştırma konusu olabilir.

## 8. KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, Z., Enerji Etkin Tasarımda Isıl Kütlelerin Etkisi, VI. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 511-520, 2004.
- [2] Arısoy, A. ve Çetegen, E., Binalarda Yıl Boyu Soğutma + Isıtma Enerji Maliyetlerinin Optimizasyonu, TTMD, VI Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, İstanbul, 3-5 Mayıs 2004.
- [3] Badescu, V., Simulation Analysis of Active Solar Heating System of a Passive House, Applied Thermal Engineering, Volume 25, pp. 2754-2763, 2005.
- [4] Kim, M., at all, Transient Thermal Behavior of a Water Heater System Driven By A Heat Pump, International Journal of Refrigeration 27, 415–421, 2004.
- [5] Kocakulak, S., Isıl Sistemlerin Dinamik Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2006.
- [6] Duman, E., Isıl Sistemlerin Dinamik Davranışının İncelenmesi, Bitirme Projesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 2007.

## ÖZGEÇMİŞ

### Mustafa EYRİBOYUN

1959'da Çaycuma/Zonguldak'ta doğdu. 1982'de Makine Mühendisliği lisans, 1985'de yüksek lisans, 1997'de doktora diplomasını aldı. Kontrol mühendisi asteğmen olarak bir yıl çalıştı. Japonya'da üç ay süreli Klima Mühendisliği Kursu'na katıldı. Yardımcı doçent olarak çalıştığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde Isı Transferi, İklimlendirme - Soğutma gibi dersler vermektedir. Yanma ve Yakma Sistemleri, Isıtma Havalandırma, Makine Mühendisleri için Elektronik Bilgisi, Mühendisler için Estetik ve Temel Fotoğraf Bilgisi gibi dersler de vermiştir. Uygulamalı temel elektronik ve fotoğraf kursları da vermektedir. İşi dışında, mesleki ve görüntü işleme konularında bilgisayar yazılımı geliştirmek, fotoğraf, sinema, felsefe, yazmak ve okumak hobileri arasındadır.

### Serkan KOCAKULAK

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 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi, Karabük Meslek Yüksek Okulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

### Eyüp DUMAN

Eyüp DUMAN, 1981 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. General Ali Rıza Ersin Lisesi'nden 1998 yılında mezun olduktan sonra 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversite Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2007 Mart ayında mezun oldu. Askerliğini henüz tamamlamıştır.