

# Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Ayşegül ÇOKGEZ KUŞ  
Kemal ÇOMAKLI

## ÖZET

Dünya çapında en fazla enerji ısıtma ve soğutma uygulamalarında tüketilmektedir. Ülkemizde de tüketilen enerjinin büyük bir bölümü ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Enerji kaynaklarındaki sorunlar göz önüne alındığında, ısıtma sektöründeki gelişmeleri yönlendiren iki etkenden söz edilebilir. Bunlar; fosil yakıtların tükenmesiyle fiyatların artması sonucu ortaya çıkan enerji maliyeti sorunu ve enerji tüketimi ile artan CO<sub>2</sub> emisyonu sonucu oluşan çevre kirliliği sorunudur. Enerji kaynaklarında belirtilen bu olumsuzluklar, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve yenilenebilir enerji kaynaklı teknolojileri ön plana çıkarmıştır. Isı pompası sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklı teknolojilerin en önemlilerinden biridir. Bu sistemlerin en önemli giderleri elektrik enerjisidir. Bu çalışmada ısı kaynağı olarak hava ve suyun kullanıldığı, hava-hava, hava-su, su-su ve su-hava olmak üzere dört farklı şekilde çalışabilen ısı pompası sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Sabit yoğunlaştırıcı sıcaklığında buharlaştırıcı sıcaklığı artırılarak elde edilen ısı pompası COP değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Belirlenen COP değerlerine bağlı elektrik tüketim miktarı ve yıllık elektrik maliyeti, dört farklı çalışma şekli için hesaplanmıştır. Mevcut ısı pompası sistemi ile aynı kapasiteye sahip bir elektrikli ısıtıcı ekonomik yönden karşılaştırılmıştır. İşletme ve kurulum maliyetleri göz önüne alınarak yapılan ekonomik analizlerde "Geri Ödeme Süresi Metodu" ve "Net Bugünkü Değer Metodu" kullanılmıştır. Mevcut ısı pompası sisteminin dört farklı çalışma şekline hangisinin, hem verimlilik hem de ekonomik yönden elektrikli ısıtıcıya göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı Pompaları, Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Analiz.

## 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi ile başlayan enerji ihtiyacı, artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün artmaktadır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak farklı enerji kaynakları kullanılmaktadır. Enerji kaynağı olarak ilk zamanlarda odun ve benzeri yakacaklar kullanılırken, daha sonra kömür ve son zamanlarda petrol ve doğal gaz kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise tüketilen enerjinin büyük bir kısmı fosil ve benzeri kaynaklardan sağlanmaktadır. Geriye kalan çok az bir

## Abstract:

World-wide the most energy is consumed in heating and cooling applications. A large part of the energy consumed in our country for the purpose of heating is used. Given the problems of energy resources, there may be mentioned two factors that guide the developments in the heating sector. They are CO<sub>2</sub> emission problem and increasing energy cost. Energy sources specified for these negativities, renewable energy resources and renewable energy source technologies has the fore. Heat pump systems is one of the most important renewable energy source technologies. The most important cost of heat pump systems are electric energy consumption. In this study, an economic comparison is made between four different heat pump systems, air to air, air to water, water to water and water to air. Firstly, COP change of heat pump modes under the condition of constant condenser temperature according to different evaporator temperature is presented. Then, electricity consumption rates of heat pumps compared with respect to COP values. Secondly, economic treatments of four different heat pump types are assessed in accordance with an electrical heater. Operation and installation costs in economic analysis made by considering the "payback period method" and "Net present value method" has been used. The present study of four different types of heat pump systems in which both efficiency was determined to be both economically more advantageous than the electric heater.

## Key Words:

Heat Pumps, Renewable Energy, Economic Analysis.

## Makale

kısım enerji ihtiyacı ise nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Enerji gereksiniminin büyük bir kısmını karşılayan fosil kaynaklı enerji rezervleri artan ihtiyaçla ters orantılı olarak çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser öngörüler bile 2030 ile 2050 yılları arasında petrol rezervlerinin gereksinimi karşılamayacağını göstermektedir. Petrol üreten ülkelerdeki çatışmalar bazı ülkeleri rahatsız etmektedir. Kalkınmakta ve nüfusu hızla artmakta olan ülkemizde de enerji tüketimi hızla artmakta, buna karşın tabi kaynaklarımız hızla azalmaktadır [1]. Bazı enerji türlerinde ise dışa bağımlılık söz konusudur. Bu nedenlerle, değeri ve önemi her geçen gün artan enerji yalnızca ekonomik bir sorun olmakla kalmayıp, siyasi bir güvenlik meselesine de dönüşmektedir. Bu sorunların giderilmesi için izlenmesi gereken ilk yol mevcut enerjinin en fazla tüketildiği alanları tespit ederek, kullanımının en aza indirilmesini sağlamaktır [2]. Bunlara ilaveten aşırı fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan çevre kirliliği tüm dünyanın en önemli sorunlarından. Sera etkisinin oluşmasının temelinde yanma sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu vardır. CO<sub>2</sub> emisyonunun küresel ısınmadan başka olumsuz etkileri olduğu gibi, yanma sonucunda yalnızca CO<sub>2</sub> emisyonu değil, aynı zamanda SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi diğer zararlı emisyonlar da açığa çıkmaktadır.

Bu sorunlar, enerji ihtiyacının temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, füzyon enerjisi, biokütle enerjisi, toprak, hava ve su olarak sayılabilir [1]. Mevcut ve gelişmekte olan yenilenebilir enerji teknolojileri arasında ısı pompaları önemli bir yer tutmaktadır [3]. Yaşamsal faaliyetlerin konfor şartları altında sürdürülebilmesi için yaşam alanlarının ısıtılması ve soğutulmasında harcanan enerji, küresel ölçekteki toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Avrupa ülkelerinde birincil enerji tüketiminin % 40'lık bölümü, ülkemizde ise % 50'lik bölümü binaların enerji ihtiyacı için kullanılmaktadır [4, 5, 6]. Isı pompası sisteminin ısıtmada kullanılması hem ekonomik bir kazanç sağlamakta, hem de doğal kaynakların ve çevrenin korunması

bakımından önem arz etmektedir. Isı pompaları geleneksel sistemler ve elektrikli ısıtıcılar ile karşılaştırıldığında, geleneksel sistemlere göre enerji giderini önemli ölçüde azaltırken, elektrikli ısıtıcılara göre önemli bir enerji kazancı sağlamaktadır. Çevremizdeki hava, toprak ve su gibi doğal ısı kaynaklarından yararlanan ısı pompaları, endüstriyel uygulamalarda da büyük oranda kullanılmaktadır [7]. Isı pompası sistemlerinde en önemli gider elektrik enerjisidir. Isı pompasına sağlanan elektriğin daha düşük fiyattan sunulması ve düşük faizli kredi olanakları bu sistemlerin yaygınlaşmasında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Isı pompalarının kullandığı elektrik enerjisinin termik santralden sağlanması durumunda, çevre ile olan ilişkinin de değerlendirilmesi gerekmektedir [8].

## 2. ISI POMPALARININ TEMEL PRENSİBİ

Isıl enerjinin azalan sıcaklık yönünde, diğer bir deyişle yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru kendiliğinden geçtiği herkes tarafından bilinen doğal bir olgudur. Bu olgu hiçbir makineye gerek kalmadan kendiliğinden gerçekleşmektedir. Buna karşın, bu olgunun tersi, yani düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi kendiliğinden oluşmamaktadır. Bu işlem soğutma makineleri ve ısı pompaları adı verilen özel makinelerin kullanımını gerektirmektedir [9]. Isı pompaları ve soğutma makineleri aynı çevirme göre çalışmaktadır. Fakat kullanım amaçları farklıdır. Soğutma makineleri ile bir mahalın soğutulması amaçlanırken, ısı pompalarında amaç bir mahalın ısıtılmasıdır [10]. Isı pompası sistemlerinde ısı enerjisinin alındığı ortam kaynak, ısı enerjisinin aktarıldığı ortam ise kuyu olarak adlandırılmaktadır. Isı pompaları çevremizdeki hava, toprak, güneş, su vb. ısı kaynaklarından yararlanmaktadır. Bu sistemler genellikle kaynak tiplerine göre ya da kaynak-kuyu tiplerine göre adlandırılmaktadır. Örneğin ısı kaynağı olarak toprağın kullanıldığı ısı pompası toprak kaynaklı ısı pompası olarak adlandırılmaktadır. Isı enerjisini havadan alıp suya aktaran ısı pompası sistemi havadan suya ya da hava-su ısı pompası olarak adlandırılabilir [11]. Isı pompalarının teknik ve ekonomik performansı, kullanılan ısı kaynağının

niteliği ile yakından ilgilidir. Bu nedenle ısı pompası sistem seçiminde kullanılacak ısı kaynağı ve ısı kuyusunun türü çok önemlidir [12]. Isı pompasında kullanılacak ideal ısı kaynağı bazı özelliklere sahip olmalıdır. Bu özelliklerden bazıları şöyle sıralanabilir.

- Isıtma sezonu boyunca yüksek ve kararlı sıcaklığa sahip olmalıdır.
- Bol ve kolay bulunabilir olmalıdır.
- Termofiziksel özellikler bakımından uygun olmalıdır.
- Kirletici ve aşındırıcı (korozif) etkisi olmamalıdır.
- Düşük yatırım işletme maliyeti gerektirmelidir.

### 2.1. Hava Kaynaklı Sistemler

Hava, her yerde bulunabilmesi, kullanımının kolay olması ve ekonomikliği ile en çok kullanılan ısı kaynağıdır. En büyük dezavantajı kararlı sıcaklığa sahip olmaması ve özellikle karasal iklimlerde kış aylarında, hatta gün içerisinde hava sıcaklığının çok düşmesidir. Isı pompalarında ısı kaynağı ile ısı kuyusu arasındaki sıcaklık farkı arttıkça sistem performansı azaldığı için dış hava sıcaklığının düşmesi ısı pompasının kapasite ve performansını düşürmektedir. Bu nedenle hava kaynaklı ısı pompaları karasal iklimlerde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ayrıca, hava kaynaklı ısı pompalarında 0 °C ve altındaki sıcaklıklarda buharlaştırıcı serpantini üzerinde buzlanma olmaktadır. Oluşan buzlanma, ısı transferini azaltarak ısı pompasının performansını düşürmektedir. Buzlanmayı çözmek için ısı pompasının ters yönde çalıştırılarak defrost yapılması gerekmektedir. Defrost sıklığı arttıkça enerji tüketimi de artacağından ısı pompası performans katsayısı düşecektir [12,13].

### 2.2. Yüzey Suyu Kaynaklı Sistemler

Bu sistemlerde ısı kaynağı olarak deniz, göl, gölet, vb. büyük su kütleleri kullanılmaktadır. Deniz ve göl suyu sıcaklıkları, hava ve toprağa kıyasla daha az değişiklik göstermektedir. Nehir ve göl suyu kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri toprak kaynaklı ısı pompalarından daha düşüktür. Ancak kullanım ve tahliyesi, yerel yönetimlerin yap-

tıkları düzenlemelere bağlı olduğundan çeşitli kısıtlamalar veya yasaklar söz konusu olabilmektedir. Nehir ve göl suyu kaynaklı ısı pompalarında su derinliğinin 2 m'den az olmaması ve yüzey alanının kurulu ısı pompası kapasitesinin her bir kW'ı için en az 80 m<sup>2</sup> olması gerekmektedir. Kış sıcaklıklarının yaklaşık 0 °C'ye kadar düşmesi bu ısı kaynaklarının en büyük dezavantajlarıdır [12, 14].

### 2.3. Yeraltı Suyu Kaynaklı Sistemler

Yeraltı suları yeterli miktarda, kalitede ve uygun derinlikte bulunmaları durumunda ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Yeraltı sularının en avantajlı yönü, 10 m ve daha derinlerde, daha yüksek ve neredeyse sabit sıcaklığa sahip olmasıdır. Pek çok bölgede yeraltı suları 4–10 °C arasında kararlı sıcaklığa sahiptir. Suyun sıcaklığı;

- Çıkarıldığı derinliğe,
- İklim,
- Bölgenin jeolojik yapısına bağlıdır.

Bu ısı kaynağından yararlanmak için de açık ve kapalı sistemler kullanılmaktadır. Açık sistemlerde yeraltı suyu ısı pompasına pompalanmakta, ısı almakta ve daha sonra ayrı bir kuyuya veya yüzey suyuna geri göndermektedir. Kapalı sistemlerde ise direkt genleşmeli tip (soğutkan yeraltı ısı değiştiricide buharlaşmaktadır) veya salamura çevrimli tip olabilmektedir [12,14].

Yeraltı suyunun mevsime bağlı sıcaklık değişimi azdır. Bu nedenle, bu ısı kaynağını kullanan sistemler özellikle hava sıcaklığının yaz ile kış arasında büyük değişim gösterdiği karasal iklimler için avantajlıdır. Bir mahaldeki yeraltı suyu sıcaklığı yıl boyunca lokal olarak ortalama yıllık hava sıcaklığına eşittir. Aşırı kuyu derinliğine sahip yeraltı suyu sıcaklıkları ortalama yıllık çevre sıcaklığından daha yüksektir. Yeraltı suyunun başlıca dezavantajları;

- Suyun bulunabilirliği,
- Miktarının yeterliliği,
- İlk yatırım maliyetinin yüksek oluşu,
- Düşük kalitedeki suların sebep olduğu sorunlar,

## Makale

- Yerel yönetmeliklerden kaynaklanabilecek kısıtlamalar,
- Çevre kirliliği oluşturma ihtimalidir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada su-hava, su-su, hava-hava ve hava-su olmak üzere dört farklı çalışma şekline sahip bir ısı pompası sistemi kullanılmıştır. Sistemin dört farklı çalışma şekli için, sabit yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı kaynak akışkan sıcaklığındaki artışa bağlı, yıllık elektrik enerjisi maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu sistemler ile aynı kapasiteye sahip bir elektrikli ısıtıcı arasında ekonomik analiz yapılarak, verimlilik ve ekonomiklik yönünden sistemlerin avantajlılığı karşılaştırılmıştır. Isı pompası ile ilgili çalışmalar Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Laboratuvarı'nda bulunan çok fonksiyonlu bir ısı pompası sisteminde yapılmıştır (Şekil 1). Sistem dört farklı şekilde çalışabilmektedir. Sistemde birer adet havalı yoğuşturucu ve buharlaştırıcı, birer adet sulu yoğuşturucu ve buharlaştırıcı, bir adet kompresör, iki adet kısılma vanası ve çok sayıda solenoid vana bulunmaktadır. Kullanılan kompresör ve ölçüm ekipmanları bütün çalışma şekilleri için aynıdır [11].

Hava-hava ısı pompası sisteminde ısı kaynağı olarak

dış hava kullanılmaktadır. Isı kaynağından alınan ısı doğrudan mahal havasına transfer edilmektedir. Hava-su ısı pompası sisteminde ısı kaynağı yine havadır. Isı kaynağından alınan ısı suya aktarılmaktadır. Su-hava ısı pompası sisteminde ise ısı kaynağı olarak şebeke suyu kullanılmaktadır. Isı kaynağından alınan enerji doğrudan mahal havasına transfer edilmektedir. Su-su ısı pompası sisteminde ise ısı kaynağı olarak şebeke suyu kullanılmakta ve ısı kaynağından alınan enerji yine suya aktarılmaktadır.

#### 3.1. Isı Pompası Hesaplamalarında Kullanılan Bağıntılar

İdeal ısı pompası çevriminde ısı pompasının etkinlik katsayısı değeri eşitlik (1) ve eşitlik (2) ile ifade edilmektedir.

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} \quad (1)$$

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_{Kond.}}{\dot{W}_{Komp,elektrik}} \quad (2)$$

Kondenser, evaporatör kapasiteleri ve kompresör gücü aşağıdaki eşitliklerden elde edilir.

$$\dot{Q}_{kond} = \dot{m}_r (h_g - h_c) \quad (3)$$



(a) Önden görünüm

(b) Yandan görünüm

Şekil 1. Isı Pompası Deney Düzeneği

$$\dot{Q}_{\text{evap.}} = \dot{m}_r (h_{\dot{c}} - h_{\dot{g}}) \quad (4)$$

$$\dot{W}_{\text{komp}} = \dot{m}_r (h_{\dot{c}} - h_{\dot{g}}) \text{ veya}$$

$$\dot{W}_{\text{komp}} = V \cdot \cos(\phi) \cdot \sqrt{3} \quad (5)$$

Burada  $r$  alt indisi soğutucu akışkanı,  $g$  ve  $\dot{c}$  alt indisleri sırasıyla giren ve çıkan terimlerini,  $I$  kompresörün çektiği akımı,  $V$  kompresörün kullandığı elektrik gerilimini ifade etmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan havalı ve sulu yoğusturucular için sabit  $\dot{Q}_{\text{kond}}$  değerleri; sırasıyla 6.35 kW ve 6.978 kW olarak belirlenmiştir [11].

## 3.2. Ekonomik Analiz için Kullanılan Metotlar

### 3.2.1. Şimdiki Değer Metodu

Mühendislik proje ve yatırımlarının ekonomik karşılaştırılmasında en çok kullanılan metottur. Bu metod ile gelecek zaman içindeki tüm para akışları şimdiki değere getirilir ve alternatif yatırımların şimdiki değerleri karşılaştırılarak en ekonomik olan alternatif seçilir. Alternatiflerin maliyet karşılaştırması yapılıyorsa, toplam masrafların şimdiki değerinin en düşük olduğu alternatif tercih edilmelidir [7]. Alternatif yatırımların maliyetlerinin şimdiki değer hesabı için aşağıdaki korelasyon kullanılmıştır.

$$BD = \sum_{n=1}^t \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad ; n = 1, 2, 3, \dots, t \quad (6)$$

Burada  $F_n$  gelecekteki nakit akımlarını,  $t$  planlanan ödeme süresini ve  $i$  kırdırma oranını göstermektedir. Nakit girişleri yerine nakit çıkışlarının söz konusu olduğu durumlarda, giderlerin bugünkü değeri  $BD_C$  ile ifade edilmektedir.

Bu durumda  $C_n$ ,  $n$  periyodu sonundaki giderleri göstermek üzere;

$$BD_C = \sum_{n=1}^t \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (7)$$

olarak yazılmaktadır. Bir alternatifin ekonomik ömrü süresince sağladığı gelirlerin bugünkü değeri ile

maliyetlerin bugünkü değeri arasındaki fark net bugünkü değeri vermektedir. Bu durumda net bugünkü değer (NBD);

$$BD_C = \sum_{n=1}^t \frac{C_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=1}^t \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (8)$$

yazılmaktadır.

Alternatifler arasında seçim yapılırken net bugünkü değeri maksimum olan alternatifin tercih edilmesi gerekmektedir [15].

### 3.2.2. Geri Ödeme Süresi Metodu

Geri ödeme süresi, yatırımın kazançlarının, yatırımın maliyetine eşit oluncaya kadar geçen süredir. Geri ödeme süresi analizinde karar kriteri, geri ödeme devresi en küçük olan projeyi seçmektir. Geri ödeme süresi analizinde her yatırımın kazançları birikimli olarak ele alınmaktadır. Birikimli kazanç ne zaman yatırım maliyetine eşit olursa o zamana kadar geçen süre geri ödeme süresi olarak alınır [15]. Geri ödeme süresi;

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Yıllık Tasarruf}} \quad (9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Dört Farklı Çalışma Şekli İçin Yıllık Elektrik Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Çalışmada yoğusturucu sıcaklığı sabit tutularak, buharlaştırıcı sıcaklığının artışına bağlı olarak ısı pompası sisteminin her bir çalışma şekli için COP değerindeki değişim belirlenmiştir. Daha sonra ısı pompası sistemi COP değerlerindeki değişim ile kompresör gücündeki değişimler belirlenerek ısı pompası sisteminin yıllık elektrik tüketim miktarının değişimi hesaplanmıştır. Mevcut ısı pompası sisteminin dört farklı çalışma şekli için ısıtma tesir katsayısı (COP) ve yıllık elektrik maliyetlerinin, evaporatör kaynak akışkan sıcaklık artışına göre değişimi Şekil 2'de grafikler şeklinde sunulmuştur. Kaynak akışkan sıcaklığının artması ile evaporatörden alınan

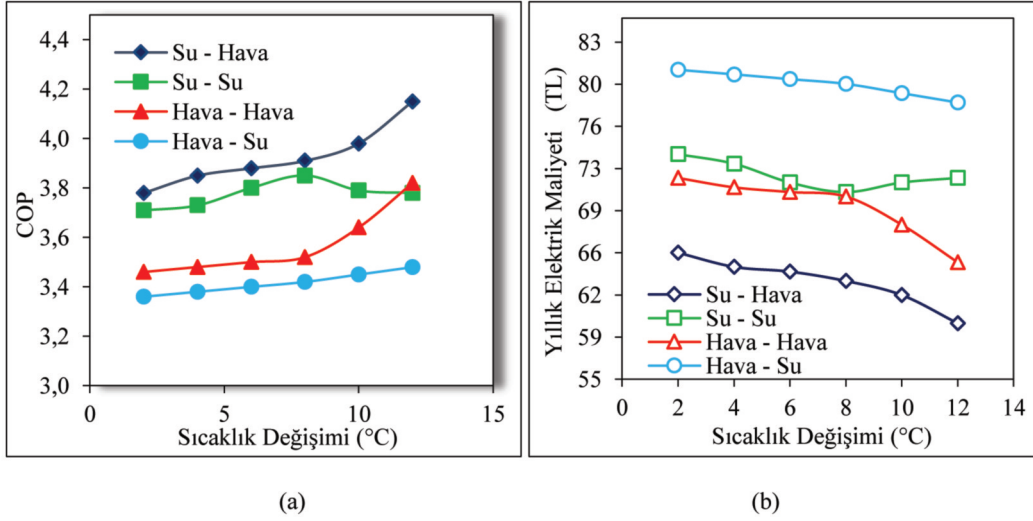
## Makale

ve kondenslerden atılan ısı enerjisi miktarı artarken, ısı pompası sistemi ısıtma tesir katsayısı da (COP) artmaktadır. Ayrıca, her bir çalışma şekli için, buharlaştırıcı kaynak akışkan sıcaklık değişimine bağlı yıllık elektrik maliyet değişiminin karşılaştırılması Şekil 3'te grafiksel olarak sunulmuştur. Bütün çalışma şekilleri için ısı pompası ısıtma tesir katsayısı (COP), kaynak akışkan birim sıcaklığındaki artış ile artmaktadır. Isıtma tesir katsayısındaki (COP) en fazla artış hava-hava ve su-hava çalışma şekillerinde gerçekleşmektedir. Yıllık elektrik maliyetleri ise COP değerlerindeki artmaya paralel olarak azalmaktadır. Ancak su-su çalışma şekline sahip ısı pompası

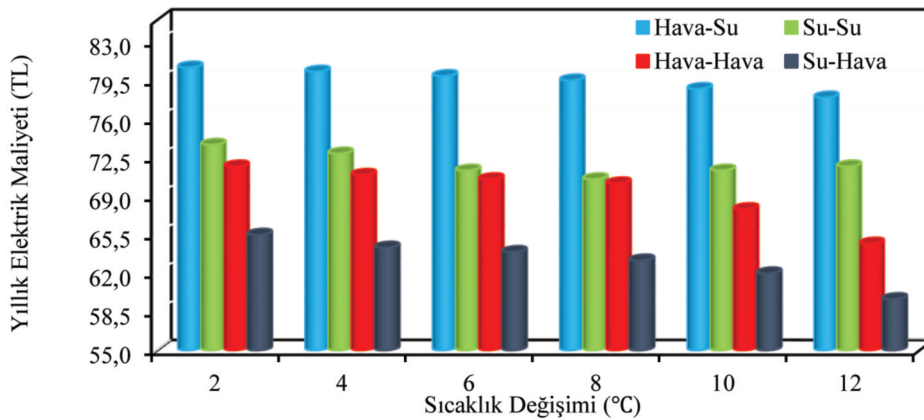
sisteminin ısıtma tesir katsayısı (COP), hava-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin ısıtma tesir katsayısı (COP) değerinden daha yüksek olmasına rağmen, yıllık elektrik tüketiminin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum sistemde kullanılan havalı kondenser ile sulu kondenser arasındaki kapasite farkıyla açıklanabilmektedir.

### 4.2. Isı Pompası Sisteminin Dört Farklı Çalışma Şekli İle Bir Elektrikli Isıtıcının Ekonomik Analizi

Bir ısı pompası sisteminin uygulanabilir olabilmesi için termodinamik bakımdan uygun olduğu kadar



Şekil 2. Isı Pompası Sisteminin Dört Farklı Çalışma Şekli İçin (a) COP Değerinin, (b) Yıllık Elektrik Maliyetinin Evaporatör Kaynak Akışkan Sıcaklık Artışına Bağlı Değişimi



Şekil 3. Isı Pompası Sisteminin Dört Farklı Çalışma Şekli İçin Yıllık Elektrik Maliyetinin, Buharlaştırıcı Kaynak Akışkan Sıcaklığındaki Birim Artışına Göre Değişiminin Sütun Grafiği

ekonomik bakımdan da uygun bir maliyette olması gerekmektedir. “Geri Ödeme Süresi Metodu” ve “Net Bugünkü Değer Metodu” bir yatırımın ekonomik olup olmadığını değerlendirmek için kullanılan yöntemlerdendir.

#### 4.2.1. Geri Ödeme Süresi Metoduna Göre Ekonomik Analiz

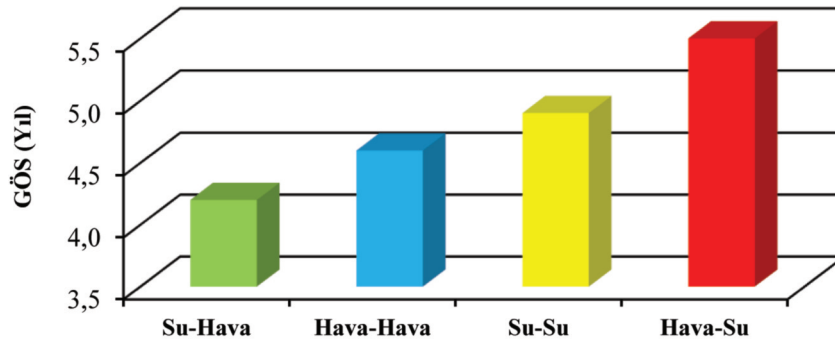
Yapılan ekonomik analizde, ısı pompası sisteminin her bir çalışma şekli için yıllık elektrik maliyetinin en düşük olduğu kompresör gücü dikkate alınmıştır. Karşılaştırma için kullanılan elektrikli ısıtıcının 6 kW gücünde olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda, cihazların ısıtma sezonu boyunca 180 gün ve her gün 10 saat çalıştığı esas alınmıştır. Ekonomik analizde kullanılan elektrik birim fiyatı, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi tarafından Kasım 2011 tek zamanlı tarife fiyatı olan 0,21659 L/kWh alınmıştır [16]. Isı pompası sisteminin dört farklı çalışma şekli için elde edilen sonuçlar Tablo1’de sunulmuştur.

Su-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin

geri ödeme süresi 4,2 yıl, su-su çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin geri ödeme süresi 4,9 yıl, hava-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin geri ödeme süresi 4,6 yıl ve hava-su çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin geri ödeme süresi 5,5 yıl olarak hesaplanmıştır. Isı pompası sisteminde tüm çalışma şekillerinin, elektrikli ısıtıcıya göre daha kârlı olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca ısı pompası sisteminin farklı çalışma şekilleri içerisinde en avantajlı olan su-hava çalışma şekline sahip sistem olduğu görülmüştür. Isı pompası sisteminin farklı çalışma şekillerindeki geri ödeme süreleri arasındaki ilişki Şekil 4’te grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu çalışma şekillerinden herhangi birinin elektrikli ısıtıcı yerine kullanılması durumunda kullanıcının kârlı olduğu saptanmıştır.

#### 4.2.2. Net Bugünkü Değer Metoduna Göre Ekonomik Analizi

Geri ödeme süresi metodunda paranın zamana göre değişimi dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle bu metod paranın zamana göre değişimini hesaba katan



Şekil 4. Isı Pompası Sistemi Farklı Çalışma Şekillerinin Elektrikli Isıtıcıya Göre Geri Ödeme Sürelerinin Karşılaştırılması

Tablo 1. Isı Pompası Sistemi Farklı Çalışma Şekillerinin Elektrikli Isıtıcıya Göre Geri Ödeme Süreleri

Sistem	İlk Yatırım Maliyeti (TL)	Yatırım maliyeti (Maliyet Farkı) (TL)	Elektrikli Isıtıcıya Göre Yıllık Enerji Tasarrufu (TL)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Elektrikli Isıtıcı	340	–	–	–
Su-Hava	7690	7350	1743	4,2
Hava-Hava	8125	7785	1692	4,6
Su-Su	8366	8026	1622	4,9
Hava-Su	8930	8590	1559	5,5

## Makale

başka bir yöntem ile birlikte kullanılmalıdır. Bu nedenle yapılan maliyet analizinde, “Geri Ödeme Süresi Metodu” yanında paranın zamana göre değişimini dikkate alan “Net Bugünkü Değer Metodu” kullanılmıştır.

Net bugünkü değer; bir alternatifin ekonomik ömrü süresince sağladığı gelirlerin bugünkü değeri ile maliyetlerin bugünkü değeri arasındaki farkı vermektedir.

Mevcut alternatiflerin kurulum maliyeti, her yıl sağlayacağı tasarruf, yıllık bakım maliyeti, hurda değer, projenin ekonomik ömrü ve yıllık faiz oranı gibi değerlerin ne kadar olacağı, vs. bilinmesi gerekmektedir. Tablo 2’de ısı pompası sisteminin dört farklı çalışma şekli için “Net Bugünkü Değer Metodu” kullanılarak elde edilen net bugünkü değerler verilmiştir.

Hesaplamalarda ısı pompası sisteminin yıllık bakım maliyeti ve hurda değeri ihmal edilmiştir. Yıllık faiz oranı,  $i = \%10$  ve toplam sistem ömrü,  $n = 15$  yıl olarak alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda su-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin net bugünkü değeri 1.034 TL, hava-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin net bugünkü değeri -177 TL, su-su çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin net bugünkü değeri -1.483 TL ve hava-su çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin net bugünkü değeri -3005 TL olarak elde edilmiştir. Alternatifler arasında seçim yapılırken net bugünkü değeri maksimum olan alternatifin tercih edilmesi gerekmektedir (Okka 2009). Buna göre ısı pompası sisteminin dört farklı çalışma şekli için tercih edil-

mesi gereken sistemin su-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sistemi olduğu belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada bir ısı pompası sisteminin su-hava, su-su, hava-hava ve hava-su olmak üzere dört farklı çalışma şekli için, ısıtma tesir katsayısının buharlaştırıcı kaynak akışkan sıcaklığının artışına bağlı değişimi incelenmiştir. Dört çalışma şekli için de en yüksek ısıtma tesir katsayısının (COP) elde edildiği kompresör gücüne göre ısı pompası sisteminin yıllık elektrik maliyeti hesaplanmıştır. Isı pompası sisteminin bir elektrikli ısıtıcıya göre uygulanabilirliğini incelemek amacıyla ekonomik analiz yapılmıştır. Yapılan ekonomik analizde “Geri Ödeme Süresi Metodu” ve “Net Bugünkü Değer Metodu” kullanılmıştır.

Yapılan hesaplamalara göre en yüksek yıllık elektrik maliyeti havadan suya ısı pompası sisteminde, en düşük yıllık elektrik maliyeti ise sudan havaya ısı pompası sisteminde elde edilmiştir. Buradan yüksek buharlaştırıcı kaynak akışkan sıcaklığına sahip sistemlerin daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Isı pompası sisteminin dört farklı çalışma şekli için de elektrik tüketiminin, elektrikli ısıtıcıya göre en az 3 kat daha az olduğu saptanmıştır. Bu çalışma şekillerinden herhangi birinin elektrikli ısıtıcı yerine kullanılması durumunda, her bir sistemin elde edilen geri ödeme süresi sonunda kendini amorti ettiği ve sonraki yıllarda kullanıcıya kâr sağladığı saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en avantajlı sistemin, geri ödeme süresi en kısa olan su-hava çalışma şekline

**Tablo 2. Isı Pompası Sisteminin Net Bugünkü Değerleri**

	Su-Hava	Hava-Hava	Su-Su	Hava-Su
Alış Maliyeti (TL)	7690	8125	8366	8930
Yıllık İşletme Gideri (TL)	596	647	717	780
Yıllık Sağlanacak Tasarruf (TL)	1743	1692	1622	1559
Ekonomik Ömür (Yıl)	15	15	15	15
Yıllık Faiz Oranı	10%	10%	10%	10%
Net Bugünkü Değer (TL)	1034	-177	-1483	-3005



sahip ısı pompası sistemi olduğu belirlenmiştir. Net bugünkü değer metodu ile yapılan ekonomik analiz sonucuna göre de en avantajlı sistemin, su-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sistemi olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, su-hava çalışma şekline sahip ısı pompası sisteminin en kısa geri ödeme süresi ve pozitif net bugünkü değere sahip olması ile bu sistemin diğer çalışma şekillerine ve elektrikli ısıtıcıya göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ünlü, K., Hava ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2005.
- [2] Bayraktar, T. N. M., Konutlarda En İyi Isıtma Ve Soğutma Sisteminin Türkiye Şartlarında Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [3] Küçükçalı, R., Isıtma Sektöründe Yeni Teknolojiler Ve Gelecek, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Kasım-Aralık, 78, 61-79, 2003.
- [4] Pastakkaya, B., Bir Konutun Isıtılması ve Soğutulmasında Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorbsiyonlu Sistemlerin Kullanılması, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2012.
- [5] Karşlı, S., Kaya, M., Erdoğan, S. ve Çomaklı, Ö., Erzurum İlinde Jeotermal Kaynaklı Isı Pompalarının Kullanımı, ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kong., Kayseri, 2007.
- [6] Özyurt, Ö., Bakırcı, K., Ekinci, D. A., Çomaklı, K., Erzurum'da Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi, ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kong., Kayseri, 2007.
- [7] Aybers, N., Şahin, B., Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, Yayın No: 299, 1995.
- [8] Kılıkış, B. İ., Isı Pompalı Birleşik Isı ve Güç Sistemlerinin Parametrik Değerlendirmesi. Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, s. 53, 22-25, 2008
- [9] Çengel, Y., Boles, M., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Güven Bilimsel İzmir Güven Kitabevi, 946 s, İzmir, 2011.
- [10] Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., Yamankaradeniz, N., Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, Dora Yayınları, 690, Bursa, 2009.
- [11] Çakır, U., Isı Pompalarının Kondenser ve Evaporatörde Kullanılan Akışkana Göre Ekserjetik Olarak Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Türkiye, 2011.
- [12] Erdoğan, S., Yılmaz, M., Şahin, B., Özyurt, Ö., Isı pPompası Sistemlerinin Seçimi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, s. 92, 40-49, 2006.
- [13] Yılmaz, V., Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Klasik Sistemlerle Tekno-Ekonomik Karşılaştırılması, Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2000.
- [14] Anonim, 2006, International Energy Agency (IEA) Heat Pump Centre, www.heatpumpcentre.org, 28.05.2014.
- [15] Okka, O., Mühendislik Ekonomisi Teori ve Çözümlü Problemler, Nobel Yayın Dağıtım, 1076, Ankara, 2009.
- [16] Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi "2011 Tarifeleri", [http://www.tedas.gov.tr/tarifeler\\_xls/2011trf/temmuz\\_%202011%20tarifeler%20Bid.xls](http://www.tedas.gov.tr/tarifeler_xls/2011trf/temmuz_%202011%20tarifeler%20Bid.xls), 25.11.2011.