

# ISITMA SEKTÖRÜNDE YENİ TEKNOLOJİLER VE GELECEK

Rüknettin KÜÇÜKÇALI

## ÖZET

Özelde ısıtma sektöründe, genelde enerji sektöründe geleceği belirleyen iki temel kısıt söz konusudur. Bunlardan birincisi klasik enerji kaynağı olan fosil yakıtların tükenmekte oluşu, diğeryse yanma sonucu oluşan ürünlerin doğayı tüketmekte oluşudur. Bu iki ana kısıt kendini somut olarak enerji maliyeti ve CO<sub>2</sub> emisyonu sınırlamaları olarak göstermektedir. Isıtma sektörünün gelişmesi ve yönelimini de enerji maliyetleri ve CO<sub>2</sub> sınırlamaları belirleyecektir.

Mevcut ve gelişmekte olan teknolojileri, esas olarak fosil yakıt tüketen teknolojiler ve yenilenebilir enerji teknolojileri şeklinde sınıflamak mümkündür. Fosil yakıt yakan teknolojilerde ana yönelim verimin artırılmasıdır. Mevcut en etkin teknoloji yoğunlaşmalı kazan teknolojisi. Yakın gelecekte bu alanda küçük ölçekli kojenerasyon teknolojisi pazara girmektedir. Yaygınlaşma eğiliminde olan diğer teknoloji grubu ise kısmen yenilenebilir teknolojilerdir. Bunlar içinde ısı pompaları önemli bir yer tutmaktadır. Üzerinde yoğun çalışılan bu gruptaki bir diğer önemli teknoloji ise yakıt pilleridir. Orta vadede yakıt pilleri ısıtma ve birlikte elektrik üretiminde önemli bir paya sahip olacaktır. Isıtma sektöründe yenilenebilir teknoloji olarak güneş enerjisi öncelikli bir yere sahiptir. Güneş enerjisi kullanma suyu ve bina ısıtmasında kullanılabildiği gibi fotovoltaikler yoluyla binalarda elektrik enerjisi üretiminde de kullanılacaktır.

## 1. GİRİŞ

Bugün için ısıtma sektöründeki gelişmeleri yönlendiren iki ana etken ileri sürülebilir. Bunlar enerji maliyetleri ve çevrenin korunmasıdır. Klasik enerji kaynağı olan fosil yakıtlar tükenmektedir. Bu nedenle fiyatları sürekli bir biçimde artmaktadır. Bir dönem varili 9 \$ olan petrol fiyatları bugün 28 \$ mertebelerindedir. Bu fiyatın 30 \$ mertebelerine kadar çıktığı dönemler olmuştur. Diğer yakıt fiyatlarının da petrole bağlı olarak tırmandığını düşündüğümüzde, enerji maliyetlerinin sistemlerin en önemli özelliği haline geldiğini söylemek mümkündür. Tablo 1'de konutlarda ve sanayide yakıt fiyatlarının son yıllardaki değişimi verilmiştir. Örneğin LPG 1999-2000 arası yıllık artış oranı %100 ve 1999-2003 arası 4 yıllık artış oranı %900 mertebesinde.

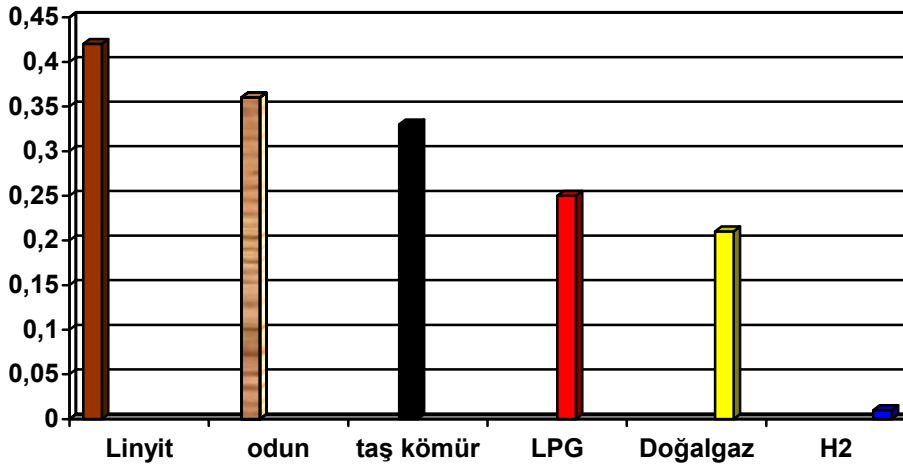
**Tablo 1.** Konutlarda yakıt fiyatları değişimi

Yakıt fiyatları döviz kurları	01.01.1999	11.09.2000	30.07.2003	Artış yüzdesi 1999-2000	Artış yüzdesi 1999- 2003
Dolar	315.000 TL	670.000 TL	1.439.200 TL	%113	%357
Doğal Gaz	68.040 TL/m <sup>3</sup>	145.800 TL/m <sup>3</sup>	370.148 TL/m <sup>3</sup>	%114	%361
Fuel Oil (No.4)	80.600 TL/kg	221.350 TL/kg	848.000 TL/kg	%175	%792
Motorin	176.200 TL/kg	517.621 TL/kg	1.645.553 TL/kg	%194	%691
LPG (Dökme)	138.000 TL/kg	277.000 TL/kg	1.605.000 TL/kg	%101	%886
Elektrik	26.290 TL/kWh	56.425 TL/kWh	158.344TL/kWh	%115	%386

Bugün yakıt fiyatları ve ilk yatırım maliyetlerine bakıldığında çarpıcı bir tablo ile karşılaşmaktadır. Buna göre, binaların bir mevsim yakıt harcaması, kazan bedelinin 2 ile 10 katı olmaktadır. Bu durumda geçmişte pahalı olarak değerlendirilen yüksek verimli sistemler günümüzde kullanılabilir hale gelmişlerdir. Bu, yüksek verimli, daha az yakıt tüketen veya hiç yakıt tüketmeyen sistemlerin gelişmesine yol açmıştır. Daha önce üzerinde teorik olarak çalışılan ısıtma sistemleri, bugün ticari ürün olarak kullanıma sunulabilmektedir.

Diğer ana etkense yanma sonucu oluşan ürünlerin doğayı tüketmekte oluşudur. Yanma sonucu oluşan zehirli ürünler insan sağlığını ve doğayı tehdit ve tahrip ederken, CO<sub>2</sub> emisyonu sera etkisiyle dünyanın ısıl dengesini bozmaktadır. Bu nedenle SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> gibi zararlı gaz emisyonlarına ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına sınırlamalar getirilmektedir. Özellikle CO<sub>2</sub> sınırlamasının ısıtma sektörünün geleceğine büyük etkisi olacaktır. Çünkü ne kadar iyi yakılırsa yakılsın, fosil yakıt yanması sonucu CO<sub>2</sub> oluşmaktadır. Birim ısıtma enerjisi için farklı yakıtların CO<sub>2</sub> emisyonu farklıdır. Bu emisyonlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre en düşük emisyonlu yakıt doğal gazdır.

Hiç CO<sub>2</sub> emisyonu olmayan yakıt ise, Hidrojen gazı olmaktadır. Ancak Hidrojen gazı ticari olarak bugün için yaygın değildir. Ama bu özelliği nedeniyle ticari bir yakıt haline gelebilmesi ve çeşitli amaçlarla kullanılabilmesi için üzerinde geniş çaplı araştırmalar yapılmaktadır ve hidrojene geleceğin yakıtı olarak bakılmaktadır.



Şekil 1. Farklı yakıtlar için özgül CO<sub>2</sub> emisyonu (kgCO<sub>2</sub>/kWh)

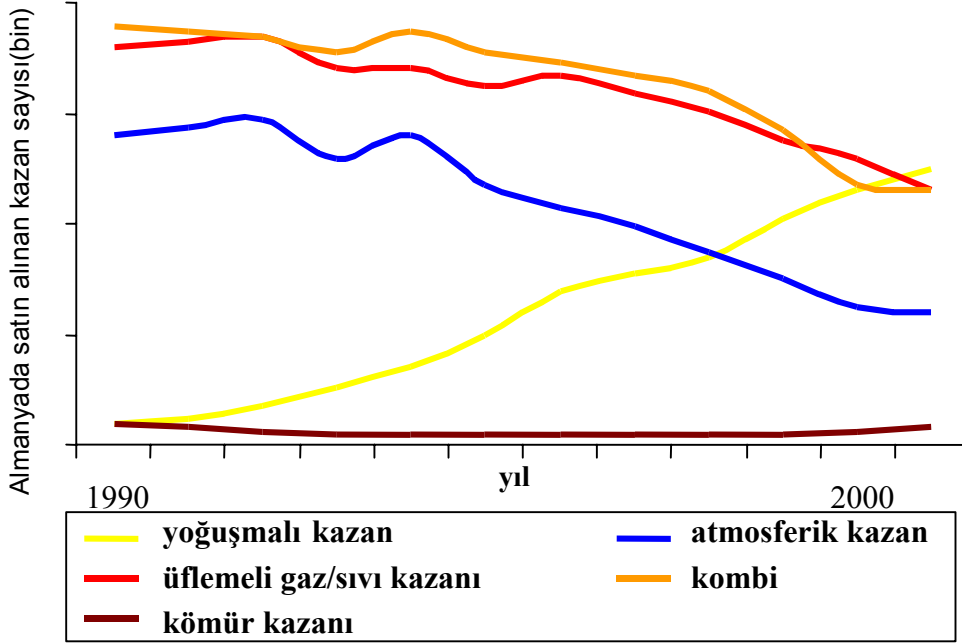
CO<sub>2</sub> emisyonlarını ortadan kaldırmanın bir yolu da yanma içermeyen güneş, rüzgar, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir. Her ne kadar bu sistemler konvansiyonel sistemlere göre daha büyük yatırım maliyeti gerektirse de yukarıda sözü edilen zorlamalar nedeniyle yenilenebilir kaynaklardan yararlanma giderek artmaktadır. Özetle ısıtma sektörünün gelişmesi ve yönelimini yakın gelecekte, enerji maliyetleri ve CO<sub>2</sub> sınırlamaları belirleyecektir.

## 2. GELECEĞİN ISITMA SİSTEMLERİ NELER OLACAKTIR?

Geleceğin ısıtma sistemlerinde gelişme iki yönde olmaktadır. Birinci yöndeki gelişmeler sistem verimlerinin artırılmasına yöneliktir. Yakın geçmişte ve günümüzde ısıtma sistemlerindeki asıl gelişme kazan verimlerinin artırılması yönünde olmuştur. Bu yöndeki gelişmeler yoğuşmalı doğal gaz kazanlarının ortaya çıkışıyla en uç noktaya ulaşmıştır. Doğal gaz yakan yoğuşmalı kazanlar ısıtma sektöründe en yüksek verimli cihazlar olarak bugün yaygın bir kullanım noktasına ulaşmıştır. Şekil 2 Almanya pazarında farklı tip kazanların son yıllardaki satış rakamlarındaki gelişmeyi göstermektedir.

Bütün diğer tip kazanlar satış olarak gerilerken, yoğuşmalı doğal gaz kazanları hızla artmaktadır. Eğilim bu artışın devamı yönündedir.

Aynı şekilde Avrupa pazarında çeşitli ısıtma sistemlerinin satış rakamlarına bakıldığında da aynı eğilim görülebilmektedir. Tablo 2'de Avrupa'daki 24 önemli pazarda cihaz satış rakamları verilmiştir. Konvansiyonel ürünlerin toplam satış rakamı, hala 5 milyon adet mertebelerindedir. Buna karşılık 700.000 adet ile yoğuşmalı duvar tipi kazanlar önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerjisi de dikkate değer bir gelişme göstermiştir. Diğer sistemler pazara yeni girmektedir.



Şekil 2. Almanya pazarında çeşitli tip kazanların satış rakamlarındaki değişim.

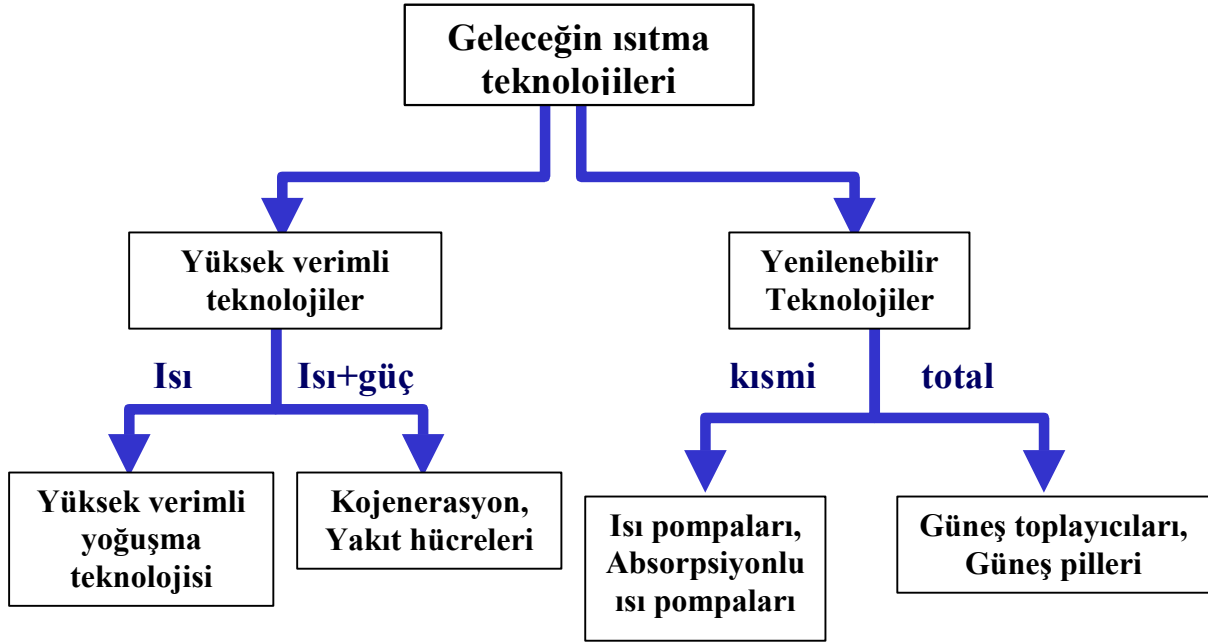
Tablo 2. Avrupa pazarında merkezi ısıtma cihazları 2002 yılı satış rakamları

Cihaz Tipi	Satış Adedi
<b>1 Kazanlar</b>	7.200.000
1.1. Yer Tipi Kazanlar	2.100.000
1.1.1. Sıvı/Gaz Yakıtlı Üfleli Brülörlü Kazanlar	960.000
1.1.2. Atmosferik Brülörlü Kazanlar	890.000
1.1.2.1. Yoğuşmasız	860.000
1.1.2.2. Yoğuşmalı	30.000
1.1.3. Katı Yakıt Kazanları	250.000
1.2. Duvar Tipi Kazanlar	5.100.000
1.2.1. Yoğuşmalı	875.000
1.2.2. Yoğuşmasız	4.225.000
<b>2. Isı Pompaları</b>	60.000
<b>3. Güneş Kolektörleri</b>	1.150.000
<b>4. BHKW Kojenerasyon Cihazları</b>	3.000

Sistem verimlerini artırma yönündeki yeni gelişme alanı elektrik enerjisi ve ısıtma enerjisinin birlikte üretilmesidir. Elektrik üretiminde konvansiyonel sistemlerde verim %30-40 arasındadır. Geri kalan enerji ısı olarak dışarı atılmaktadır. Dışarı atılan ısının ısıtmada kullanılmasıyla bedava ısıtma yapmak mümkündür. Kojenerasyon adı verilen bu sistem endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kojenerasyonun konutlarda ve ticari yapılarda kullanılması ise ısıtma sistemlerinde yeni bir gelişme olarak ortaya çıkmaktadır.

Kojenerasyon alanında yeni bir gelişmeye yakıt hücreleridir. Yakıt hücrelerinde yakıtın sahip olduğu kimyasal enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Ayrıca ortaya çıkan atık ısı yine ısıtmada kullanılabilir. Yakıt hücrelerindeki doğrudan dönüşüm nedeniyle verimler konvansiyonel sistemlere göre çok daha yüksek olabilmektedir. Yakıt hücrelerinde farklı yakıtlar kullanılabilirle birlikte, bugün için en iyi yakıt hidrojen olarak ortaya çıkmaktadır. Hidrojenin geleceğin yakıtı olmasında bir önemli neden de yakıt hücreleridir.

Geleceğin ısıtma sistemlerinde diğer bir grup gelişme yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliktir. Isıtma açısından en önemli kaynak güneş enerjisidir. Jeotermal yerel bir kaynak olduğundan, universal uygulamalarda güneş enerjisi öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi doğrudan ısıtmada kullanılabilir gibi, elektrik üretiminde de kullanılabilir. Bugün kullanılan ve giderek yaygınlaşan bir teknoloji de ısı pompalarıdır. Isı pompalarında elektrik enerjisi tüketilmekle birlikte ısı enerjisi kaynağı toprak, su ve hava gibi yenilenebilir kaynaklardır. Bu nedenle ısı pompaları yarı yenilenebilir olarak tanımlanmaktadır. Buna göre geleceğin ısıtma sistemlerini Şekil 3'de gösterildiği gibi sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 3. Geleceğin ısıtma sistemleri

### 3. YOĞUŞMALI KAZANLAR

Bugün kendinden yoğuşmalı kazanlar ile daha küçük boyutlarda daha yüksek verimler elde edilmektedir. Yakıt tüketimi azaltılırken, montaj için daha küçük alanlar yeterli olmaktadır. Yoğuşmalı tip kazanlarda yanma ürünleri içindeki su buharının yoğuşturulmasıyla, buharın yoğuşma enerjisinden çok yüksek oranda yararlanmak mümkün olabilmektedir. Yoğuşmalı kazanlarda tasarımın ana gayesi yoğuşma yaratmaktır. Fazladan yoğuşma enerjisinin kullanılmasıyla alt ısıl değere göre tanımlanan ısıl verim %100 değerinin üzerine çıkabilmektedir. İdeal olarak doğal gazda alt ısıl değere göre tanımlanan ısıl verim %111 değerine kadar çıkabilir. Bunun için duman gazı ile temas eden yüzeylerin sıcaklıklarının 55°C altına indirilmesi gerekir. Dönüş suyu sıcaklıkları ne kadar düşük olursa, duman aynı oranda soğutulabilir ve yoğuşma aynı oranda yüksek olur. Pratik olarak en düşük dönüş suyu sıcaklıklarına düşmeden ısıtma sistemlerinde inilebilmektedir. Bu tip uygulamalarda %109'a varan norm kullanma verimlerine ulaşılabilir.

Yoğuşmalı kazanlarda yüzeylerde yoğuşan suyun yarattığı korozyon etkisine karşı özel malzeme kullanmak gerekmektedir. Genellikle paslanmaz çelik veya benzeri paslanmaz malzeme kullanılır. Bu malzeme pahalı olduğundan yoğuşmalı kazanlar diğer kazanlara göre pahalıdır. Ancak aradaki fiyat farkını zaman içinde yakıttan olan kazanç ile geri öderler.

#### **Duvar tipi yoğuşmalı kazanlar** (Kapasite aralığı 11 kW – 60 kW)

Yoğuşmalı tip kazanların en küçük kapasite aralığında duvar tipi cihazlar bulunmaktadır (Şekil 4). Bu cihazlar modülasyonlu kapasite kontrol (havayı ve gazı birlikte oransal olarak ayarlar) imkanına sahiptirler. Modülasyonlu brülörler yoğuşmalı kazan teknolojisine en uygun brülör tipleridir. Bu durumda verimleri, özellikle düşük yüklerde maksimize etmek mümkündür. Bu kazanlarda kapasite yaklaşık %30 mertebesine kadar modüle edilebilmektedir. Cihaz verimi 40/30 °C döşemeden ısıtma sistemlerinde %109 değerlerine kadar ulaşabilmektedir. Bu durumda baca gazı sıcaklığı 38°C değerine kadar inebilmektedir. Bacada gazların hareketi fanla gerçekleştirilmektedir. Ön karışımli seramik brülör sayesinde düşük sıcaklıkta tam yanma sağlanabilmektedir. Böylece CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları çok düşüktür.



**Şekil 4.** Duvar tipi yoğuşmalı kazan

**Kaskad Sistem** (kapasite aralığı 60 kW – 480 kW)

Tek büyük döşeme tipi kendinden yoğuşmalı kazan yerine, birden fazla sayıda duvar tipi cihazın paralel bağlanarak kaskad sistem oluşturulması belirli kapasitelere kadar yatırım maliyeti açısından daha ekonomik olabilmektedir (Şekil 5). Örneğin tek 80 kW döşeme tipi cihaz yerine 2 adet 43 kW duvar tipi cihaz daha ekonomiktir. Kaskad sistemde özel kontrol panelleriyle sekiz cihaza kadar duvar tipi yoğuşmalı kazanı paralel çalıştırmak ve tek bir kazan gibi kullanmak mümkündür. Kaskad sistemde bütün kazanlar modülasyonlu olarak çalıştırılmaktadır ve kazanlara otomatik olarak rotasyon uygulanmaktadır.

Yoğuşmalı duvar tipi kazanlardan oluşturulan kaskad sistemler ilave çok sayıda avantaja sahiptir. Bu avantajları aşağıdaki gibi maddeler halinde sıralamak mümkündür:

- Bu sistemler tam modülasyonlu brülörlere sahiptir ve bu brülörlerde hava ve yakıt birlikte oransal olarak ayarlanır.
- Oransal kontrol yanında aynı zamanda sıra kontrol avantajına da sahiptir. Böylece toplamda kapasite %4 ile %100 arasında sürekli kontrol edilebilmektedir.
- En alttaki %4'e kadar olan dilimde ise pompa start-stop ile modülasyon sağlanır.
- Yer kaybı çok azdır.
- Gövdesi küçük olduğundan ışıınım kaybı çok azdır.
- Alev sıcaklığı çok düşüktür. Bu nedenle NO<sub>x</sub> emisyonları 20 mg/kWh değerinin altında kalmaktadır ve nötralizasyona gereksinim duymaz.



**Şekil 5.** Duvar tipi yoğuşmalı kazanlardan oluşturulan kaskad sistem

## **Döşeme Tipi, Orta Kapasitede Yoğuşmalı Kazanlar**

(Kapasite aralığı 60 kW – 1.200 kW)

Üç tam geçişli olarak üretilen bu kazanların yanma odası ve yoğuşmalı ısı geçiş yüzeyleri paslanmaz çeliktir. Yoğuşma doğrudan kazan içindeki ısıtıcı yüzeylerde meydana gelmektedir. Gaz ve suyun akışı ters yöndedir. Gaz, sıcaklığının en düşük olduğu noktada sistemden dönen en düşük sıcaklıktaki su ile karşılaşır.

Yoğuşmalı ısı geçiş yüzeylerinde ısı geçişini optimize etmek üzere duman tarafında sıvı filmi oluşmasını önleyecek yapıda borular kullanılmalıdır. Oval borular gaz geçiş kesitini aşağıdan yukarı doğru genişletme imkanı verir. Böylece düşük basınç kaybı ve sabit hız elde etmek mümkündür. Ayrıca düşey yapı ve aşağı doğru gaz akışı, kondensin aşağı akışına imkan verir. Kazana iki ayrı dönüş suyu bağlantı ağızı vardır. Böylece farklı dönüş suyu sıcaklığına sahip iki ayrı devreyi kazana bağlama imkanı vardır. En düşük sıcaklıktaki dönüş devresi en sona bağlanır. Tek girişe göre iki girişle %4'e kadar tasarruf yapmak mümkündür.

## **Kendinden yoğuşmalı büyük kapasiteli kazanlar (Kapasite aralığı 1.000 kW– 20.000 kW)**

Dört tam geçişli olarak üretilen bu kazanlarda, yoğuşma için korozyona dayanıklı paslanmaz çelik malzemeden yüzeyler kazanın son bölümlerinde yer almaktadır. Bu paket tip çözümde yine norm kullanma verimleri %108 mertebelerine kadar yükselebilmektedir. Duman gazlarındaki ısının büyük kısmı yoğuşmanın olmadığı yüksek su sıcaklıklarında kazandaki suya geçmektedir. Geri kalan ısı geçişi ise son bölümde düşük su sıcaklıklarında ve düşük duman gazı sıcaklıklarıyla gerçekleşmektedir. Bu bölümde yoğuşma olmaktadır. Duman borularında türbülötör bulunmamalıdır. Bu kazanlarda da iki farklı sıcaklıkta dönüş devresi bağlama imkanı bulunmaktadır. En düşük sıcaklıktaki dönüş yoğuşma bölümüne bağlanır.

## **4. ISI POMPALARI**

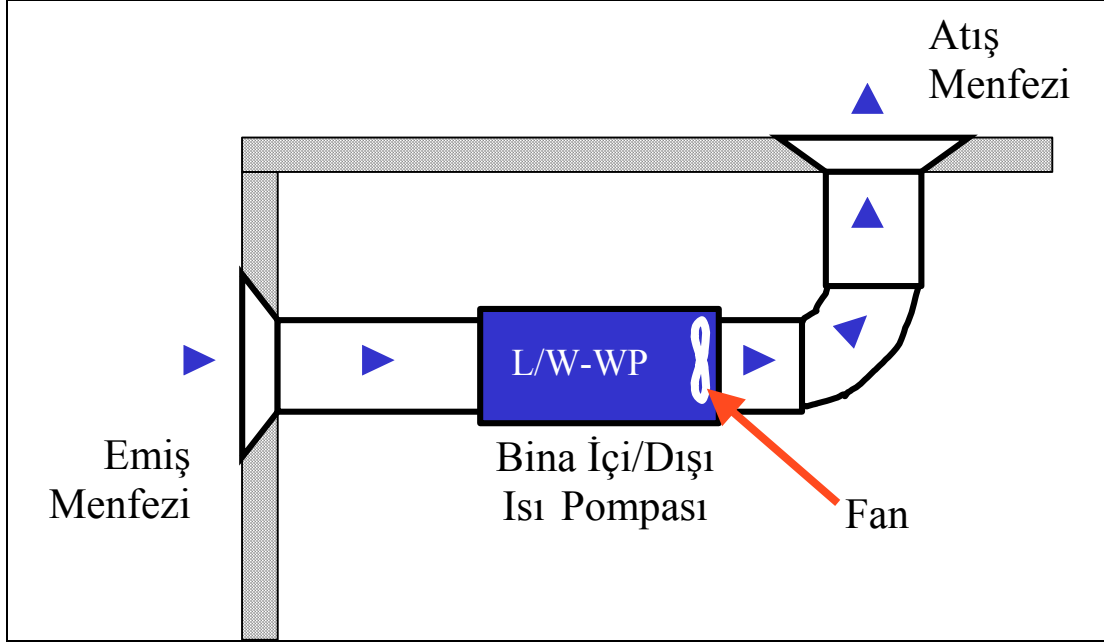
Isı pompası teknolojisi uzun yıllardır bilinmekle birlikte ticari yaygın kullanılmaya başlanması, ancak son yıllarda mümkün olabilmektedir. Isı pompaları hava, su veya toprak kaynaklı olabilir. Bu üç kaynaktan yararlanarak ısıtma yapabilen çok sayıda alternatif çözüm üretilebilir. Burada havadan suya, sudan suya ve topraktan suya olmak üzere, üç tip üzerinde durulacaktır.

### **4.1. Hava Kaynaklı Isı Pompaları**

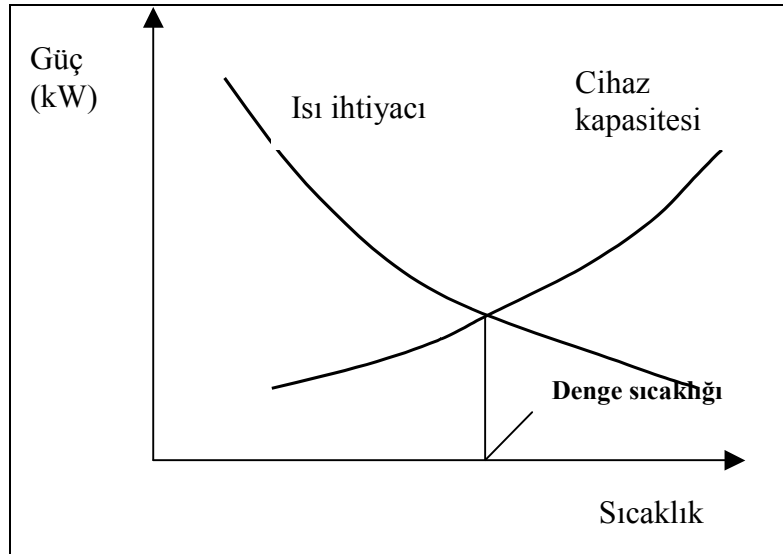
Hava kaynaklı ısı pompaları prensip şeması Şekil 6'da görülmektedir. Bu cihaz dış ortama veya kazan dairesine iç ortama yerleştirilebilir. İç ortama yerleştirildiğinde, hava kanalı bağlantısı yapılmalıdır. Dış hava kanalla cihaza ulaştırılıp, kullanılmış hava cihazdan tekrar dışarı kanalla taşınmalıdır. Hava hareketini sağlayan fan, cihazın entegre bir elemanıdır ve performans değerleri hesaplanırken bu fan da göz önüne alınmaktadır. Havadan çekilen ısı, kapalı sıcak sulu ısıtma devresinde dolaşan suya aktarılır. Sıcak sulu ısıtma devresinde su sıcaklığı 55 °C değerinin üzerine çıkamaz. Bu nedenle ısı pompalarının kullanıldığı sıcak sulu ısıtma sistemleri düşük sıcaklık ısıtma sistemleri olmak zorundadır. Bu amaca en uygun çözüm döşemeden ısıtma sistemleridir.

Konutlarda ve küçük ticari uygulamalardaki ısı pompalarında hava çok kullanılan universal bir ısı kaynağıdır. Hava sıcaklığı –18 ile 24 °C kabul edilebilir. Cihaz çalışma aralığı –8 ile 35 °C değerindedir. Soğutucu akışkan sıcaklığı ısıtma modunda dış hava sıcaklığından 6-11°C daha soğuktur. Hava kaynaklı ısı pompalarında dış hava sıcaklığı ve buz oluşumu en önemli iki tasarım parametresidir. Hava sıcaklığı düştükçe ısıtmada pompanın verimi ve kapasitesi düşer. Cihaz kışın ısıtma yükünü belli oranda karşılarırken, yazın soğutma modunda aşırı büyük kalmamalıdır.

Optimum cihaz boyutları açısından seçilecek denge sıcaklığı çok önemlidir. Isı pompasının binanın ısı yükünün tamamını karşıladığı en düşük dış sıcaklık değerine denge sıcaklığı denir. Bu sıcaklığın altındaki hava sıcaklıklarında ikinci bir yardımcı ısıtıcı devreye girmelidir. Bu ısıtıcı genellikle elektrikli ısıtıcıdır. Denge sıcaklığı tanımı şematik olarak Şekil 7'de gösterilmiştir. Öte yandan dış hava sıcaklığı 5,5 °C mertebelerine indiğinde dış serpantin yüzey sıcaklığı 0 °C mertebelerindedir. Bu dış sıcaklığın altında çalışmada eşanjör buz yapar. Oluşan buzun eritilmesi için defrost yapılır. Defrost sayısı pek çok faktöre bağlıdır. Nemli iklimlerde defrost ihtiyacı 20 dakikada bir değerine kadar inebilir. Bu sırada kaybedilen zaman ve harcanan elektrik enerjisi sistem veriminde hesaba katılmalıdır. Genellikle denge sıcaklığı 5 °C mertebelerinde veya üzerinde olacak şekilde ısı pompası seçilir. Havadan suya ısı pompalarında mutlaka takviye ısıtma yapılması ihtiyacı vardır.



Şekil 6. Havadan suya ısı pompası bina içi tesisi şeması

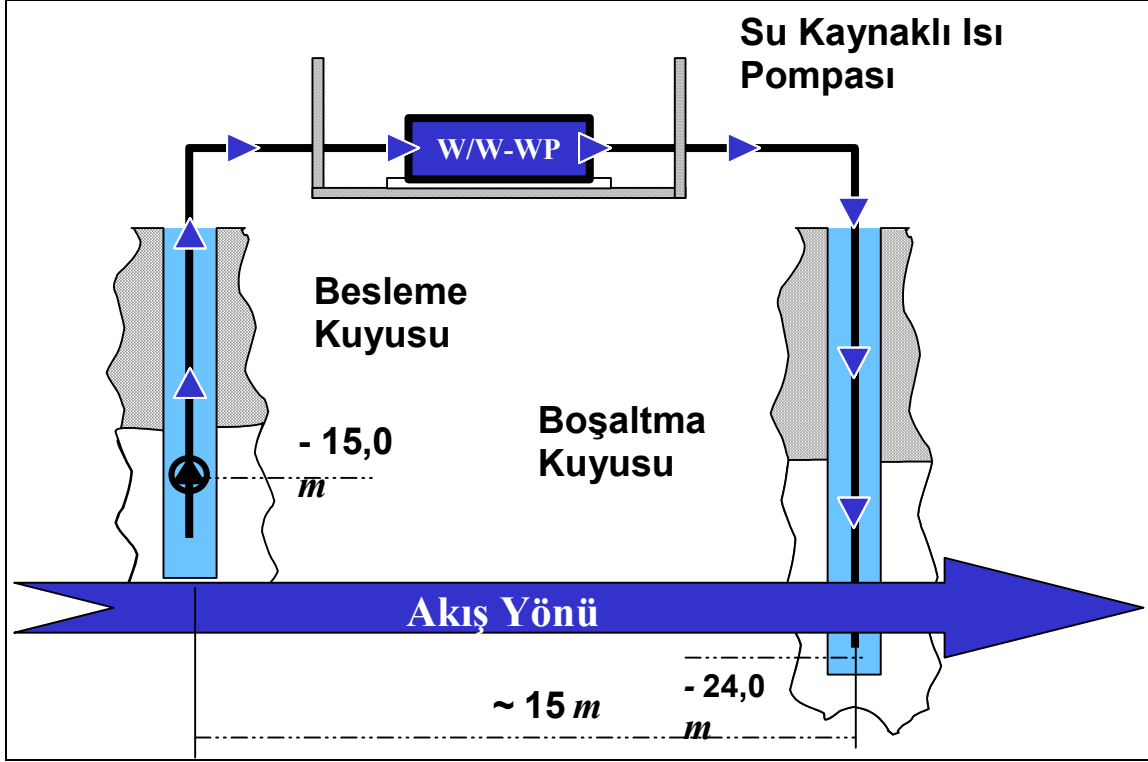


Şekil 7. Denge sıcaklığının şematik tanımı



#### 4.2. Yeraltı Sulu Isı Pompaları

Su kaynaklı ısı pompaları olarak açık devreli sistemler ele alınmıştır. Burada kaynak su kuyularıdır. Kuyudan bir pompa ile basılan su ısı pompasından geçerek tekrar toprağa döndürülür. Normal uygulamada ikinci bir kuyu açılarak su buraya verilmeli, yüzeye deşarj edilmemelidir. Burada, kullanılan kuyu suyunun kalitesi cihaz ömrü açısından çok önemlidir. Öncelikle su analiz edilmelidir. Su kimyası uygunsa bakır eşanjör kullanılabilir. Uygun su yoksa, paslanmaz çelik eşanjörlü ısı pompası kullanmak gerekir. Isıtma devresi hava kaynaklı ısı pompası gibidir. Su kaynaklı sistem şeması Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Sudan suya ısı pompası şeması

Yeraltı sulu ısı pompalarında iki çözüm vardır. A) kuyudan pompalanan su ısı pompası eşanjöründen dolaşır ve bir başka kuyuya geri verilir. Bu direk sistemler villa ısıtması gibi küçük uygulamalarda kullanılır. B) kuyu suyu bir eşanjör aracılığı ile kapalı bir su devresinden ısı alır veya verir. Bu kapalı su devresine çok sayıda ısı pompası bağlıdır. Klasik kapalı su devreli su/su ısı pompası sistemlerindeki su soğutma kulesi/kazan çifti yerine su kuyusu gelmiştir.

Yeraltı sulu ısı pompaları çok avantajlı sistemlerdir. Dezavantajları kaliteli ve bol su ihtiyacı, ısı değiştirgeçlerinde kireçlenme sorunları ve pompa enerjisine olan gereksinimdir. Bu sistemlerde suyun kalitesi çok önemli bir parametredir. Yer altı suyu sıcaklığı 7-12 °C kabul edilebilir. Cihaz çalışma aralığı 7-25 °C değerindedir. Kaynak sıcaklığının göreceli olarak sabit kalması nedeniyle kapasite yıl boyu fazla değişmez ve defrost sorunu yoktur. Bu nedenle bütün yıl boyunca ısıtma ihtiyacını tek başına karşılayacak şekilde seçilebilirler. Pratik olarak 30 kW güce kadar kullanılan ısı pompalarında pompalama derinliği 15 m'yi aşmamalıdır.

#### 4.3. Deniz Suyu Veya Kalitesiz Su Kullanan Isı Pompaları

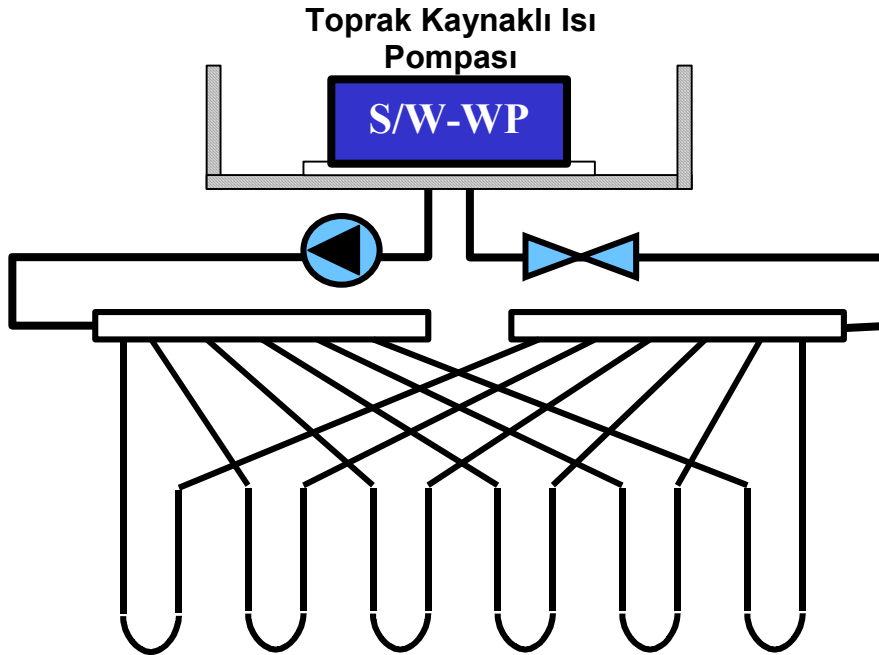
İtalyada yapılan bir çalışmada Akdeniz kıyılarında deniz suyu kullanan ısı pompaları ile COP değerlerinin 5 mertebesinde olacağı ifade edilmektedir. Bu uygulamada deniz suyu boru ile kazan

dairesine pompalanır. Bu su filtre edilir, biyolojik oluşumlar için dozajlanır veya elektrotlar arasında geçirilerek yüklenir. Sonrasında bir ısı değiştirgecinden geçtikten sonra tekrar denize geri verilir. Burada deniz suyunun alım ağızı, deniz suyu ile temastaki yüzeylerde yosun teşkili ve tuzlu suyun korozyon etkisi özel problemlerdir. Isı değiştiricisinde sekonder kapalı devre akışkanı olan temiz su soğutulur. Isı pompasının eşanjöründe bu temiz su dolaşır. Bu sistem göl gibi yüzey suları, endüstriyel atık sular, kalitesiz sular halinde de kullanılabilir.

Primer ve sekonder devre arasında plakalı ısı değiştirgeci kullanılır. Plakalı ısı değiştirici seçiminde basınç düşümü ile, toplam ısı geçiş katsayısı arasında bir optimizasyon yapılması gerekir. Basınç düşümü işletme maliyetini artırırken, ısı geçiş katsayısının artması küçülen yüzeyler dolayısıyla yatırım maliyetlerini azaltır. Genellikle ısı değiştirgeçleri 1,7 °C (luptan dönen su sıcaklığı ile eşanjörü terk eden su sıcaklıkları arasındaki fark) yaklaşımı ve basınç düşümünün 70 kPa'dan daha düşük olmasıyla seçilirler. Plakalı eşanjörler kolayca temizlenebildiğinden büyük kirlilik faktörleri hesaba konmamalıdır.

#### 4.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları (GSHP)

Toprak kaynaklı ısı pompasında bir kapalı devre söz konusudur. Bu kapalı devrede antifirizli su dolaşır. Toprağa gömülen borulardan oluşan toprak ısı değiştirgecinde ısı topraktan çekilir ve kapalı devre akışkanı tarafından ısı pompası eşanjörüne taşınır. Bu devrede antifirizli suyu dolaştıran bir sirkülasyon pompası bulunur. Sıcak sulu ısıtma devresi yine aynıdır. Bu sistemin şeması da Şekil 9'da verilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprağa yerleştirilen ısı değiştirgeci borular için iki konum mümkündür. Yatay yerleştirmede, toprak 1-2 m kadar kaldırılarak borular serpantin halinde yatay olarak toprağa serilir ve tekrar üstü kapatılır. Bu durumda topraktaki sıcaklık dış havanın sıcaklık değişimlerinden belirli ölçüde etkilenmektedir.



Şekil 9. Toprakta suya ısı pompası şematik gösterimi

Düsey yerleşimde ise, dar bir sondaj deliği delinerek ısı değiştirici borular toprağa düsey olarak yerleştirilir. Sondaj derinliği 100 m mertebelerinde olabilir. Derin toprakta sıcaklık yaklaşık yıl boyunca sabit olarak kalır. Kaynak sıcaklığının göreceli olarak sabit kalması nedeniyle kapasite yıl boyu fazla değişmez ve defrost sorunu yoktur. Bu nedenle bütün yıl boyunca ısıtma ihtiyacını tek başına karşılayacak şekilde seçilirler.

**1 m derinlikte Yer sıcaklığı -7 ile 17 °C , 15 m derinlikte yer sıcaklığı 8 ile 12 °C arasında değişir. Cihaz çalışma aralığı -5 ile 25 °C değerindedir.** Dik borulu eşanjörde U şeklinde kıvrılmış iki boru delinen delikten toprağa yerleştirilir. Boru çapı 20 – 40 mm ; delik derinliği 15-100 m olabilir. Birden fazla deliğin kullanılması halinde, delikler arasındaki mesafe en az 6 m olmalıdır. Genellikle yıllık ısıtma yükü soğutma yükünden daha fazladır. Düşey borulu GSHP avantajı yüksek verimli olması, dezavantajı pahalı olmasıdır. Ayrıca tesis edilmesi özel uzmanlık ister.

Yatay borulu tiplerde eşanjör toprağa açılan 1-2 m derinlikte kanallara yerleştirilen 1, 2 veya 4 sıra boru veya spiral şeklinde kıvrılmış borulardan veya tamamen kaldırılan toprağın altına serpantin şeklinde döşenen borulardan oluşur. Birbirine paralel devrelerden oluşan sistemde, bir devrenin boru uzunluğu 100 m'den fazla olmamalıdır. Borular arasında en az 0,7 ile 0,8 m aralık olmalıdır. Ayrıca bu kapalı devrede hava yapmamasına ve havanın tahliye edilebilmesine dikkat edilmelidir. 12 kW gücünde bir sistem için gerekli minimum alan 450 m<sup>2</sup> mertebesindedir. Bu boruların üzerine inşaat yapılamaz. Bu nedenle yoğun yapılaşma olan şehirlerde uygulama şansı zayıftır.

#### 4.5. Yıllık Yakıt Ve Enerji Tüketimi

##### 4.5.1. Havadan Suya Isı Pompası

Havadan suya ısı pompasıyla aynı kapasitede alternatif 3 farklı tip konvansiyonel kazan seçilmiştir. Bu kazanlar doğal gaz kombi, LPG kombi ve motorin kazanı olarak belirlenmiştir. kazanların ve ısı pompasının yıllık enerji veya yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3. SİSTEM ANMA GÜCÜ 19 kW hesap sonuçları**

	D.Gaz	LPG	Mazot	Isı pompası
Isı ihtiyacı (kWh)	34200	34200	34200	34200
Yakıt tüketimi (m3)	4113	3057	3314	
Yakıt maliyeti (MTL/yıl)	<b>1522</b>	<b>4906</b>	<b>5451</b>	
Isı pompası elektrik tüketimi (kWh/yıl)				9712
Isı pompası elektrik maliyeti (MTL/yıl)				<b>1537</b>
Yakıt-elektrik maliyet Farkı (MTL/yıl)	-15	3369	3914	
Cihaz maliyetleri (MTL)	1420	1420	1950	13000
	YOK	3,8	3,3	

##### 4.5.2. Su-Su Isı Pompası Fizibilitesi

Aynı kapasitelerde 4 farklı tip kazan seçilmiştir. Bu kazanlar yoğuşmasız doğal gaz kazanı, yoğuşmalı doğal gaz kazanı, yoğuşmasız LPG kazanı ve motorin kazanı olarak belirlenmiştir. Her kazan ve ısı pompası için yıllık enerji veya yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4'de verilmiştir.

Sudan suya ısı pompasında ayrıca enerji tüketen kuyudan cihaza suyu basan dalgıç pompaları bulunmaktadır. Bu pompaların yıllık enerji tüketimleri de hesaplanmış ve tabloya ilave edilmiştir.

**Tablo 4.** sistem anma gücü 25 kw ; 50/40 c sıcak sulu sistem

	Doğal Gazlı	Yoğuşmalı	LPG	Mazot	Isı pompası
Isı ihtiyacı (kWh)	45000	45000	45000	45000	45000
Yakıt tüketimi (m3)	5412	4435	4023	4361	
Yakıt maliyeti (MTL/yıl)	2003	1641	6457	7176	
Isı Pom. Elektrik tüketimi (kWh/yıl)					8601
Pompalama Elek. Tük. (kWh/yıl)					875
Toplam elk. Tük. (kWh/yıl)					9476
Elektrik maliyeti (MTL/yıl)					1471
Yakıt- elektrik Maliyet Farkı (MTL/yıl)	532	170	4986	5705	
Cihaz maliyetleri (MTL)	1420	1880	1420	1420	11700
Geri ödeme süresi(yıl)	22	YOK	2,3	2	

#### 4.5.3. Toprak-Su Isı Pompası Fizibilitesi

Toprak- su ısı pompaları yatay ve düşey eşanjörlü olmasına bağlı olarak farklı fizibilite değerlerine sahiptir. Bu açıdan her iki tip ısı pompası ayrı değerlendirilmelidir. Burada daha uç değerlere sahip Düşey Eşanjörlü Toprak-Su Isı Pompası üzerinde durulacaktır. Karşılaştırma amacıyla aynı kapasitelerde 4 farklı tip kazan seçilmiştir. Bu kazanlar yoğuşmasız doğal gaz kazanı, yoğuşmalı doğal gaz kazanı, yoğuşmasız LPG kazanı ve motorin kazanı olarak belirlenmiştir. Her kazan için yıllık enerji veya yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 5’de verilmiştir. Topraktan suya ısı pompasında ayrıca enerji tüketen sirkülasyon pompaları bulunmaktadır. Bu pompaların yıllık enerji tüketimleri de hesaplanmış ve tabloya ilave edilmiştir.

**Tablo 5.** sistem anma gücü 27kw ; 50/40 c sıcak sulu sistem

	D.Gaz	D.Gaz Yoğ.lı	LPG	Mazot	Isı pompası
Isı ihtiyacı (kWh)	48600	48600	48600	48600	48600
Yakıt tüketimi (m3)	5844	4790	4345	4710	
Yakıt maliyeti (MTL/yıl)	2162	1773	6973	7748	
Isı Pom. Elektrik tüketimi (kWh/yıl)					8629
Pompalama Elek. Tük. (kWh/yıl)					750
Toplam elk. Tük. (kWh/yıl)					9379
Elektrik maliyeti (MTL/yıl)					1483
Yakıt-elektirik Maliyet Farkı (MTL/yıl)	679	290	5490	6265	
Isı pompası maliyeti (MTL)					11375
Tesis Maliyeti (MTL)					15000
Kazan/Isı Pomp. toplam maliyeti (MTL)	1420	1880	1420	2000	26375
Geri ödeme süresi(yıl)	39	91	4,8	4,2	

#### 4.6. Isı Pompası Değerlendirmesi

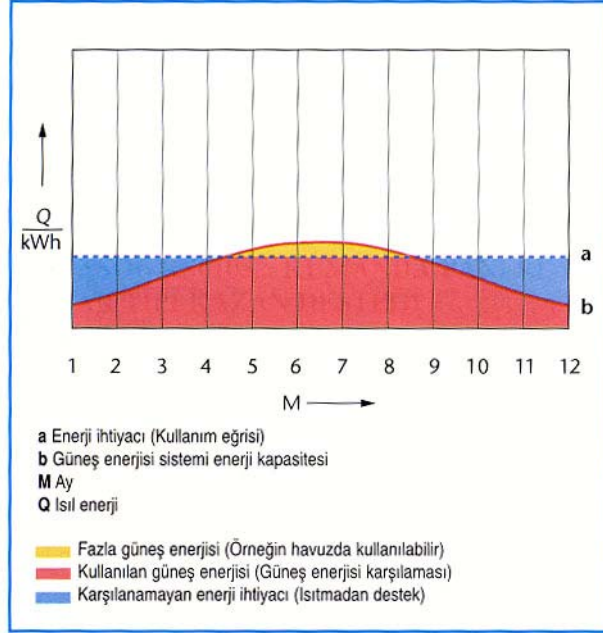
Isı pompalarının sıcak sulu ısıtma amacıyla kullanımında bir potansiyel bulunmaktadır. Özellikle yeterli ve uygun kalitede yeraltı suyu bulunması durumunda su-su ısı pompası cazip olabilmektedir. Yakıt fiyatları yükseldikçe gelecekte ısı pompaları daha yaygın kullanılacaktır. Isı pompalarının çevreyi koruma yönündeki üstünlüğü ve aynı zamanda yazın soğutmada kullanılabilme özelliği, kullanımlarını teşvik eden diğer önemli faktörlerdir.

- Doğal gaz kullanma imkanı varsa, yoğuşmalı tip kazanlar çok avantajlı konumdadırlar. Isı pompaları bugünkü koşullarda yoğuşmalı kazanlarla rekabet edemez konumdadırlar. Ancak doğal gazın bulunmadığı alanlarda ısı pompaları ticari bir alternatif oluşturabilmektedirler.
- En cazip alternatif sudan suya ısı pompalarıdır. Uygun yeraltı suyu kaynağı bulunması halinde bu tiplerin geri ödeme süresi 3 yıla kadar inebilmektedir.
- Toprakta suya ısı pompalarında eşanjör maliyetleri çok yüksektir. Eşanjör ve tesisat maliyeti ısı pompasının kendi fiyatından daha fazla olabilmektedir. Ayrıca sistem iyi hesaplanmazsa, beklenen performansın elde edilmesi mümkün değildir.
- Hava-su ısı pompaları her yerde uygulanabilme avantajına ve kolay tesis özelliğine sahiptir. Ancak bir yardımcı enerji kaynağına gereksinim mutlaka bulunmaktadır. Yüksek denge sıcaklıkları seçilerek makul geri ödeme süreleri olan basit ve temiz bir sistem oluşturulabilir.
- Sıcak sulu ısıtma sistemi mutlaka düşük sıcaklık ısıtması olmalıdır.

#### 5. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

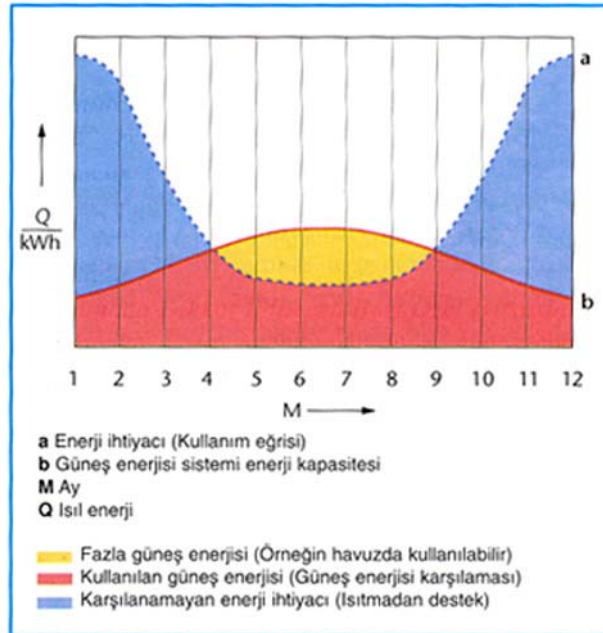
Türkiye'nin her bölgesinde güneş enerjisini verimli olarak kullanılmak mümkündür. Yıllık güneş ışınımı 1000 kWh/m<sup>2</sup> ile 1700 kWh/m<sup>2</sup> arasındadır. Bina tesisatında güneş enerjisi sistemleri, güneş enerjisiyle kullanma suyu ısıtması ve istenirse ısıtmaya destek için kullanılmaktadır. Kullanma suyu ısıtmasında kullanılan güneş enerjisi sistemleri günümüz koşullarında ekonomiktir, enerji tasarrufu sağlar ve çevreyi kirletmez. Bu nedenle kullanımları yaygındır. Kullanma suyu ısıtmasıyla beraber ısıtma desteği sağlayan güneş enerjisi sistemleri ise giderek yaygınlaşmaktadır.

Güneş kolektörü sistemlerinin en yaygın kullanım şekli kullanma suyu ısıtmasıdır. Yıllık sıcak su gereksiniminin belirli bir oranı güneş enerjisinin sağladığı enerji ile karşılanabilir. Yazın kullanma suyu ısıtması için gereken enerjinin neredeyse tamamı güneş enerjisi sistemi tarafından karşılanır (Şekil 10). Buna rağmen mevcut konvansiyonel ısıtma sistemi, güneş enerjisinden bağımsız olarak kullanma suyu ısıtma ihtiyacını karşılayabilmelidir. Uzun süre hava koşullarının kötü gitmesi durumunda, sıcak su konforu garanti edilmelidir. Kullanma suyu ısıtmasında, değişik talepler doğrultusunda komple paket güneş enerjisi sistemleri mevcuttur. Bu sistemlerle yerin büyüklüğüne göre yıllık kullanma suyu ısıtması için gereken enerjinin %60 ila %80'i karşılanır. Kullanma sıcak suyu ihtiyacı hesaplamalarında baz olarak kişi başına günlük 50 lt. sıcak su ihtiyacı esas alınır. Kolektörler için güneşe bakan, 30° - 35° eğimli çatılar seçilmelidir. Yüksek yapılardaki kullanımda ve farklı çatı yönlerinde özel seçimler yapılması tavsiye edilir.



Şekil 10. Kullanma suyu ısıtması için gereken enerjinin güneşten karşılanma oranı

Çevre bilinci ile hareket ederek, güneş kolektörü sistemlerini sadece kullanım suyu ısıtmasında değil, aynı zamanda ısıtmaya destek olarak da düşünmelidir. Isıtma sadece; ısıtma sistemi dönüş suyu sıcaklığı, güneş kolektörü sıcaklığından daha düşük olduğu zaman yapılabilir (Şekil 11). Bu nedenle, ısıtma sistemi olarak düşük sistem sıcaklığında çalışan geniş yüzeyli ısıtıcılar kullanan sistemler veya yerden ısıtma sistemleri güneş enerjisinden yararlanmada idealdir. Kullanma suyu ısıtmasıyla beraber ısıtma desteği de sağlayan, özel Kombi veya Termosifon tip-Kombi boylerlerle komple paket güneş enerjisi sistemleri mevcuttur. 4 kişilik kullanımda günlük ortalama sıcak su ihtiyacı 200 lt. alınarak; uygulamanın yapılacağı yerin özelliklerine ve ısıtma sisteminin kalitesine bağlı olarak yıllık sıcak su ve ısıtma ihtiyacının %20 ila %40'ı güneş enerjisi sistemleriyle karşılanabilir.



Şekil 11. Isıtmaya destek için güneş enerjisinden yararlanma oranı

## 5.1. Sistem Hesabı

### Boyer Hacmi

Basit hesap yöntemi ile günlük sıcak su tüketiminin iki katını boyler hacmi olarak kabul etmek mümkündür. Bu hesap yapılırken konutta yaşayan insan sayısı ve yaşayanların ortalama günlük su tüketimi dikkate alınmalıdır. 45°C sıcaklığında kullanım suyu ihtiyacı aşağıdaki gibi alınabilir;

- düşük 40 lt/kişi gün
- orta 50 lt/kişi gün (genel kabul)
- yüksek 75 lt/kişi gün

### Kollektör sayısı

Tecrübe sonucu ortaya çıkmıştır ki, kollektörlerin doğru yerleşimi sonucu m<sup>2</sup> kollektör yüzeyi başına günlük 60 ila 80 litre arasında sıcak kullanım suyu sağlanabilmektedir. Bu hesap yönteminin kullanılabileceği durumlar;

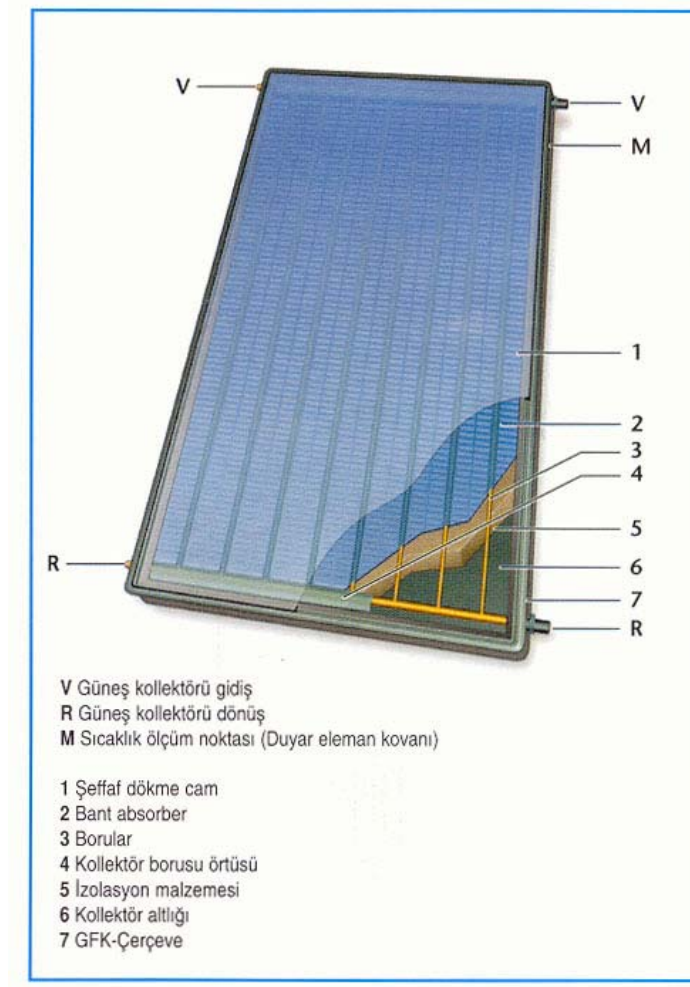
- Güneyden sapma 10° batı veya doğuyu geçmiyor ise
- Yerleşim açısı 30° ila 40° arasında ise

## 5.2. Modern Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Güneş sistemlerinde kullanılan modern bir düzlemsel güneş kollektörü Şekil 12'de görülmektedir. Temel Özellikler:

- Enerji tasarrufuna yönelik üretilmiştir.
- Geri dönüşümlü malzeme ile çevre dostudur.
- Dayanıklı malzeme ile çok uzun ömürlüdür.

Düzlemsel Kollektörlerin dış gövdeleri plastiktir. GFK cam elyaf katkılı plastik çerçeve, kollektör dış gövdesinin rijit kalmasını sağlar. Kollektörler 3mm kalınlığında dayanımı artırılmış özel emniyet camıyla kaplıdır. Şeffaf dökme cam parlaktır, yüksek ışınım geçirgenliğine sahiptir (%92 Transmisyon) ve noktasal ve yayılı yük dayanımı çok fazladır. Gövde 60 mm kalınlığında cam yünüyle izole edilmiştir. İyi ısı yalıtımı ve yüksek verim sağlar ve toplanan ısı enerjisinin kaybolmasını önler. Absorber yüzey, siyah krom tabaka ile kaplanmış şeritlerden meydana gelir. Absorber şeritlerine omega formunda bağlanan bakır borular, iyi bir ısı geçişi sağlar. Düzlemsel Kollektör kalıcı olarak özel sıvı ile doldurulmuş sistemlere uygundur. Özel sıvı -37 °C'den, +120 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda çalışma garantisi sağlar. Bu sayede; kollektör içindeki sıvı donmaz ve buharlaşmaz. Tablo 6'da düzlemsel güneş kollektörlerinin bazı teknik özellikleri verilmiştir.



**Şekil 12.** Düzlemsel güneş kolektörleri

**Tablo 6.** düzlemsel kolektör için teknik veriler

Kolektör alanı ( Brüt alan)	m <sup>2</sup>	2,4
Absorber yüzeyi alanı ( Net alan)	m <sup>2</sup>	2,1
Seçicilik (Absorpsiyon katsayısı)		0,92 – 0,94
Seçicilik (Emisyon değeri)		0,12 – 0,16
Ağırlık	kg	43
Verim	%	75
Kapatma Sıcaklığı	°C	120
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	°C	179

### 5.3. Boylerler

#### 5.3.1. Kullanım Suyu Isıtması İçin Çift Serpantinli Güneş Enerjisi Boyleri

Sistemlerin kullanım amacı ve kapasitelerine göre farklı boylerler tercih edilmektedir. İkinci serpantin sayesinde ihtiyaç duyulduğunda klasik bir sıcak su kazanı ile ısıtma desteği sağlamak mümkündür. Çift serpantinli boylerlerin geniş olan serpantin yüzeyleri sayesinde çok iyi ısı transferi gerçekleşir ve



güneş enerjisi devresinin boyler giriş ve çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması sağlanır.

### 5.3.2. Termosifon Boyler

Termosifon tip boylerler her koşulda, boyler çıkış suyu sıcaklığını, kollektör çıkış suyu sıcaklığına yaklaştıracak şekilde belirli miktarda kullanım suyu hazırlar. Özel iletim borusu içerisinde ısıtılan su, yukarı doğru hareket eder ve boyler içerisinde öncelikli olarak üst hacimdeki su ısıtılır. Birincil hedef, istenen sıcaklıkta kullanım suyunu temin edebilmektir. Böylelikle, normal ışımaya zamanlarında dahi, çok kısa sürede istenilen sıcaklıkta kullanım suyu temin edilebilmektedir. Böylece kazan desteği daha seyrek devreye girecektir. Özel iletim borusu içerisinde ısınarak yukarıya doğru çıkan suyun hareketi sıcaklık dengesi oluşana kadar devam eder. İletim borusunun belirli bir noktasında iç ve dış boyler sıcaklığı eşitlendiğinde silikon klapeler açılır ve boyler tabaka tabaka yukarıdan aşağıya doğru ısınır.

### 5.4. Kontrol Paneli

Güneş enerjisi kontrol paneli sirkülasyon pompası, emniyet ventili, manometre, gidiş ve dönüş hattı üzerinde vanalı termometre, debi sınırlayıcı ve ısı izolasyonu ile komple paket halindedir. Kontrol modülü, kollektör ile boyler arasında  $\Delta T$ , 10K olacak şekilde kontrol yapar. Kollektör üzerinden ve boylerin alt noktasından iki adet duyar eleman yardımıyla sürekli ölçüm yapılır. Kontrol paneli, yeterli güneş ışınımında, yani  $\Delta T$  ayar sıcaklık farkının üzerine çıktığında, solar sirkülasyon pompasını çalıştırarak boyler ısıtmasına başlar.

Mevcut güneş ışınımında, sıcaklık farkı  $\Delta T$  ayar değerinin altına düştüğünde pompa devrini düşürür. Kollektör devresinde dolaşan düşük debi ile gidiş su sıcaklığı istenilen seviyede tutulmaya çalışılır. Kapama sıcaklık farkının yarısı aşıldığında solar sirkülasyon pompası durur. Daha sonra solar sirkülasyon pompası minimum devirde çalışmaya devam eder. Boyler sıcaklığı istenilen değere ulaşmadığı takdirde kazan devreye girer ve destek ısıtma işlemini gerçekleştirir.

Düşük debili işletmede iken, kollektör ile boyler duyar elemanları arasındaki  $\Delta T$  sıcaklık farkı, ayarlanan değerinin iki katında tutulmaya çalışılır. Böylece öncelikli olarak termosifon tip boylerin üst kısmındaki bölge ısıtılır. Hem kullanım suyu istenilen sıcaklığa çok hızlı bir şekilde ulaşır hem de kazan desteği mümkün olduğunca az devreye girer. Yüksek debili işletmede öngörülen sıcaklık farkı korunur. Bu koşullarda kollektör ışınım kaybı azalır ve boyler ısıtması daha yüksek bir verimle sağlanır.

### 5.5. Geri Toplama Kaplı Kumanda Paneli

Kumanda paneli geri boşaltma prensibine göre çalışır. Sistemde, kollektör ve boru içerisindeki tüm suyu depolayan geri toplama kabı bulunmaktadır. Kumanda paneli, geri boşaltma sistemi ve değişken debili çalışma şekline uygun tasarlanmıştır. Mevcut dişli pompa yüksek basma yüksekliğine sahiptir. Düşük enerji harcayan pompa, ufak boru çapında bile 15 metre basma yüksekliğine sahiptir. Boru yüzeyinden olan düşük ısı kaybı ve düşük enerji kullanımı ile yüksek tasarruf sağlar.

Klasik Güneş Enerji Sistemlerinde donmaya karşı koruma, sisteme antifiriz madde ilavesi ile yapılmaktadır. Bu katkılar yazın özel sıvının çok yüksek sıcaklıklara ulaşmasına sebep olmaktadır. Sistemin çalıştırılmadığı ( tatil dönemlerinde ) veya elektrik kesintisinin olduğu zamanlarda özel sıvının aşırı ısınması sistem basıncını artırmakta ve emniyet ventili açılarak antifiriz katkılı özel sıvının dışarı atılmasına sebep olmaktadır. Genleşme tankının küçük seçilmesi halinde emniyet ventili çok daha sık açacaktır. Buna karşın Geri Toplama Kaplı Kumanda Paneli kullanılması halinde kollektörler, sadece pompanın çalıştığı zamanlarda ısı taşıyıcı akışkan ile dolu olmaktadır. Sistemin çalışmadığı anlarda, ısı taşıyıcı akışkan kontrol paneline entegre geri toplama kabına dolmaktadır. Bu durumda, geri toplama kabındaki hava da güneş kollektörlerine taşınmaktadır. Böylece boşalan kollektörler içinde su bulunmadığından kaynama riski ortadan kalkmakta, sistem basıncı kontrol altında tutulabilmektedir.

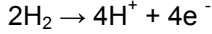
## 6. YAKIT HÜCRELERİ

Yakıt hücrelerinin çalışma prensibi elektrolizin tersi olarak düşünülebilir. Elektrolizde anot ve katot olarak kullanılan iki elektrot bir elektrolitik sıvı içine daldırılır ve bir elektrik akımı uygulanır. Uygulanan elektrik doğru akımdır. Elektrik akımı anot ve katotta iki ayrı reaktantın ayrışmasına neden olur. Elektrolitik sıvı su olduğunda, anot ve katotta ayrışan reaktantlar Hidrojen ve Oksijendir.

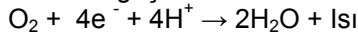
Yakıt hücrelerinde ise anot ve katota ayrı ayrı yakıt (Hidrojen) ve Oksijen beslenir. Arada elektrolitik ortam yine mevcuttur. Bu durumda hidrojen ve oksijen elektrotlar ve elektrolitik ortam aracılığıyla reaksiyona girerken, iki elektrodu birleştiren telden elektrik (elektron) akımı gerçekleşir. Ortaya çıkan elektrik akımı doğru akımdır ve katot üzerinde tamamlanan oksidasyon (yani yanma) sonucu ısı açığa çıkar. Böylece yakıt hücresinde yakıtın yanması sonucu doğrudan elektrik üretilirken, aynı zamanda ısı üretilir.

Yakıt hücrelerinde çeşitli yakıtlar kullanılabilir. Ancak klasik yakıt Hidrojendir. Bugün için de yakıt hücrelerinde en uygun yakıt hidrojenidir. Asit elektrotlu hidrojen yakıtlı yakıt hücresinde temel reaksiyon aşağıdaki gibi gerçekleşir:

Anotta hidrojen gazı iyonize olarak elektron ve H<sup>+</sup> iyonlarına ayrışır.



Ortaya çıkan elektronlar elektrik akımı olarak tel üzerinden katota ulaşırken H<sup>+</sup> iyonları elektrolit üzerinden katota geçer ve katot üzerinde Oksijenle birleşirler. Bu sırada ısı açığa çıkar.

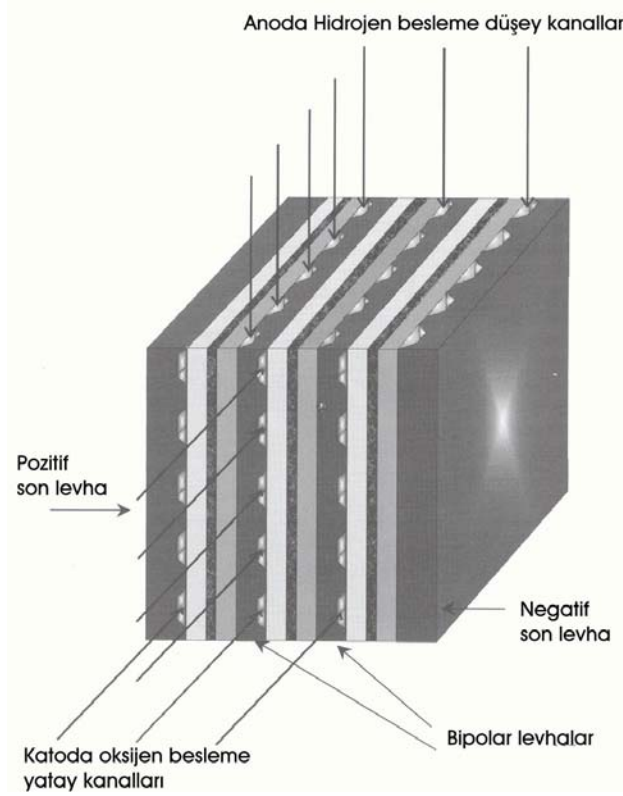


Yakıt hücrelerinin üstünlüğü kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmesidir. Klasik elektrik üretiminde kimyasal enerji önce yanma sonucu ısı enerjisine dönüştürülür, ısı enerjisi taşıyıcı bir çevrim akışkanına yüklenir ve bu akışkan üzerindeki ısıdan, iş çevriminde mekanik enerji üretilir ve mekanik enerji yardımıyla elektrik jeneratörlerinde elektrik üretilir. Klasik elektrik jeneratörleri içten yanmalı motorlar ve gaz türbini sistemleri olarak gelişmiştir. Bu dolaylı yöntemde üstüste toplanan verimsizlikler nedeniyle toplam sistem verimi düşük olmaktadır. Ayrıca sistemde sürekli bakım ve servis gerektiren dönen mekanik parçalar bulunmaktadır. Halbuki yakıt hücreleri yüksek verimli ve basit yapıdadırlar. Özellikle yakıt olarak hidrojen kullanmaları halinde, çevre kirliliği ve çevrenin sürdürülebilirliği bakımından mükemmel sistemlerdir.

Yakıt hücresinde üretilen elektriğin fazla olabilmesi veya elektrik üretim veriminin yüksek olabilmesi için,

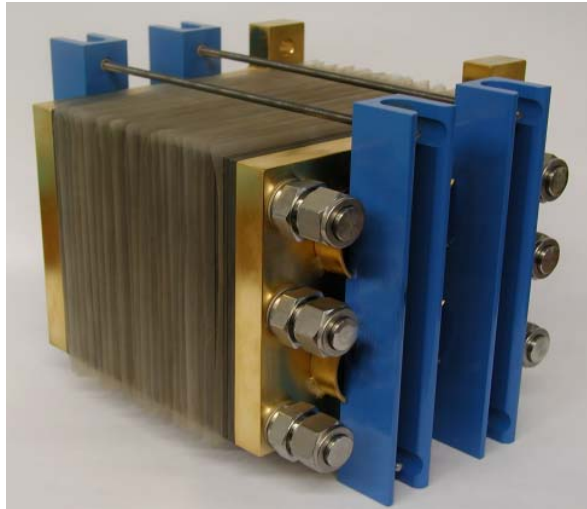
1. Reaksiyon elektrot yüzeylerinde meydana geldiğinden, elektrot yüzeylerinin mümkün olduğu kadar büyük olması gereklidir. Bunun için elektrotlar levha halinde ve poroz malzemedendir yapılır.
2. Reaksiyon hızını artırmak için yüzeylerde katalizör kullanılır. Böylece yüzey verimi artırılmış olur.
3. İki elektrot levha arasında kullanılan elektrolitik ortamın, aynı zamanda filtre görevi gören bir membran olması gerekir. Bu membrandan iyonlar tek yönlü olarak geçerken, elektronlar geçmemelidir. Böylece elektrik akımı iki levha arasında by-pass olmamalı, iki levhayı bağlayan tel üzerinden (elektrik devresi) geçmelidir.
4. Reaksiyonun başlaması için gerekli aktivasyon enerjisinin temini amacıyla sıcaklık yükseltilebilir. Sıcaklık artırdıkça reaksiyon hızlanacaktır.

Yakıt hücrelerinde üretilen voltaj çok küçüktür. Bir hücredeki faydalı gerilim 0,7 Volt mertebesindedir. Bu voltajı artırmak için hücreler seri bağlanır. Hücrelerin seri bağlantısında tel yerine "Bipolar levha" kullanılır. Bipolar levha bir hücrenin anoduyla diğer hücrenin katodu arasında boydan boya yer alır ve iki hücre arasında elektrik iletir. Elektrik akımını iyi iletibilmesi ve voltaj düşümü yaratmaması için mümkün olduğunca ince olmalıdır. Şekil 13'de de üç hücrenin seri bağlantısı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 13. Üç hücrenin seri bağlantısının şematik gösterilimi

İki hücre arasındaki mekânı tamamen kapladığından, bipolar levha aynı zamanda bir tarafa yakıt, diğer tarafa oksijen besleyecek yapıda olmalıdır. Böylece bipolar levha hem çok iyi bir iletken, hem de yakıt ve hava akımlarını kesinlikle ayıran bir izolatör görevi yapacak yapıda olmalıdır. Bipolar ara levhada üretilen ısıyı almak ve dışarı taşımak için soğutucu su akış kanalları da bulunmalıdır. Yanma ürünü gazlar (Hidrojen yanması halinde su buharı) yakma havası sirkülasyonu ile dışarı taşınabilir. Bütün bu özellikleri taşıyan bipolar levhanın tasarımı ve üretimi en önemli sorunlardan biridir. Bu levhalar genellikle grafitten yapılır. Sonuç olarak da yakıt hücresinin en pahalı elemanı olma özelliğindedir. Şekil 14’de prototip olarak üretilmiş bir yakıt hücresi demeti görülmektedir.



Şekil 14. Prototip yakıt hücresi demeti

## Yakıt Hücresi Tipleri

Şekil 14. Prototip olarak üretilmiş bir yakıt hücresi demeti

Günümüzde mevcut yakıt hücresi tipleri 5 ana grupta toplanabilir. Bu gruplar ve özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Günümüzde mevcut yakıt hücresi tipleri ve özellikleri.

Tipi	Hareketli iyon	Çalışma sıcaklığı	Uygulamalar ve notlar
AFC	$OH^-$	50-200 °C	Uzay araçlarında kullanılmıştır.
PEM	$H^+$	50-200 °C	Araçlar ve hareketli uygulamalar için özellikle uygundur.
PAFC	$H^+$	~220 °C	Çok sayıda 200 kW güçte kojenerasyon sistemlerinde kullanımdadır.
MCFC	$CO_3^{2-}$	~650 °C	MW kapasitelere kadar orta ve büyük kapasitelerde kullanımdadır.
SOFC	$O^{2-}$	500-1000 °C	2 kW güçten birkaç MW güce kadar bütün kojenerasyon boyutlarına uygundur.

### 6.1. Yakıt Hücresi Sisteminin Diğer Parçaları

Bir yakıt hücresi sisteminin çekirdek ünitesi yakıt hücreleridir. Ancak sistemin çalışması için gerekli diğer yardımcı ekipman ve elemanlar sistemde daha büyük yer kaplarlar ve çözülmesi gerekli mühendislik problemleri açısından daha fazla hacme sahiptirler. Özellikle kojenerasyon olarak kullanılan yüksek sıcaklıklı yakıt hücrelerinde yakıt hücreleri toplam sistemin çok küçük bir bölümünü oluştururlar.

Öncelikle bütün yakıt hücresi tiplerinde, yakıt ve havayı dolaştırmak için pompalara, fanlara, kompresörlere ve ara soğutuculara gereksinim vardır. Yakıt hücresi demetinde elde edilen DC akım, devreye bağlanmak için mutlaka düzenlenmelidir. Bunun için regülatörlere, DC/AC dönüştürücülere gereksinim vardır. Ayrıca elektrik motorları sistemin ayrılmaz parçalarıdır. Yakıt depolaması bir çok tipte sistemin bir parçasıdır. Eğer yakıt hücresi hidrojen kullanmıyorsa bir biçimde yakıt işleme ünitesine gereksinim vardır. Bunlar genellikle büyük ve kompleks sistemlerdir. Çeşitli kontrol vanaları, basınç regülatörleri ve kontrol sistemleri gereklidir. Sistemin çalıştırılması ve susturulması karmaşık işlemleri gerektirir. Bunlar kontrol sisteminin görevleridir. Küçük yakıt hücreleri hariç mutlaka bir soğutma sistemine gereksinim vardır. Kojenerasyon sistemlerinde bu amaçla bir ısı dönüştürücü kullanılır.

### 6.2. Sistemlerin Karşılaştırılmasında Kullanılan Rakamlar

Bir yakıt hücresi sisteminin belirli gücü, hacmi ve kütlesi vardır. Elektrik jeneratörlerinin karşılaştırılması amacıyla özgül güç ve güç yoğunluğu değerleri kullanılır. Bu değerler aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned} \text{Güç yoğunluğu} &= \text{Güç} / \text{Hacim} && (\text{kW/m}^3) \\ \text{Özgül güç} &= \text{Güç} / \text{Kütle} && (\text{kW/kg}) \end{aligned}$$

Yakıt hücresi sisteminin maliyeti önemli bir göstergedir. Bu değer USD/kW olarak ifade edilebilir. Yakıt hücresi sisteminin ömrü diğer makinalarda olduğu gibi tanımlanamaz. Yakıt hücresi zaman içinde giderek üretebildiği güç olarak zayıflar. Bu nedenle yakıt hücreleri anma güçlerinin altına düştüklerinde ömürlerini tamamlamış sayılırlar. Örneğin 10 kW gücündeki yakıt hücresi gücü 10 kW altına düştüğünde ömrünü tamamlamıştır. Yeni yakıt hücresi ise genel olarak anma gücünün %25 üzerinde bir güçtedir. Örneğin yeni bir 10 kW anma gücündeki sistem 12,5 kW güç verebilir.

Son performans değeri ise diğer sistemlerde olduğu gibi verim değeridir. Ancak verim değeri net olarak verilemez ve dikkatli biçimde kullanılmalı ve yorumlanmalıdır. Kojenerasyon sistemlerinde hedef maliyet 1000 USD/kW mertebelerindedir. Sistem ömrü ise minimum 40.000 saat olmalıdır. Otomatik sektöründe bu değerler çok daha düşüktür. Maliyet 10 USD/kW ve ömür 4000 saat mertebelerindedir.

### 6.3. Avantajları ve Uygulamaları

Bütün yakıt hücresi sistemleri için bugün en önemli dezavantaj maliyettir. Buna karşılık sistemlerin önemli avantajları vardır. Bu nedenle üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır. Avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Verim: Yakıt hücrelerinde verim pistonlu veya türbinli sistemlere göre daha yüksektir. Bundan da önemlisi sistem verimi sistemin büyüklüğünden bağımsızdır. Bu nedenle küçük kojenerasyon sistemlerinde yakıt hücrelerinin daha fazla rekabet şansı olmaktadır.
2. Basitlik: Yakıt hücrelerinin dayandığı esas çok basittir. Sistemde dönen parça yoktur veya çok azdır. Bu nedenle bakım ve servis istemez ve uzun ömürlüdür.
3. Düşük emisyon: Yakıt olarak hidrojen kullanıldığında ürün su olup, bu sıfır emisyon anlamına gelir. Ancak unutulmamalıdır ki bugün için hidrojen üretiminde hemen daima CO<sub>2</sub> emisyonu olmaktadır.
4. Sessizlik: Yakıt hücreleri çok sessizdir. Hatta içinde yakıt dönüşüm sistemlerini barındıran yakıt hücreleri bile aynı özelliğe sahiptir. Özellikle yerel güç üretiminde bu özellik tercih nedeni olmaktadır.

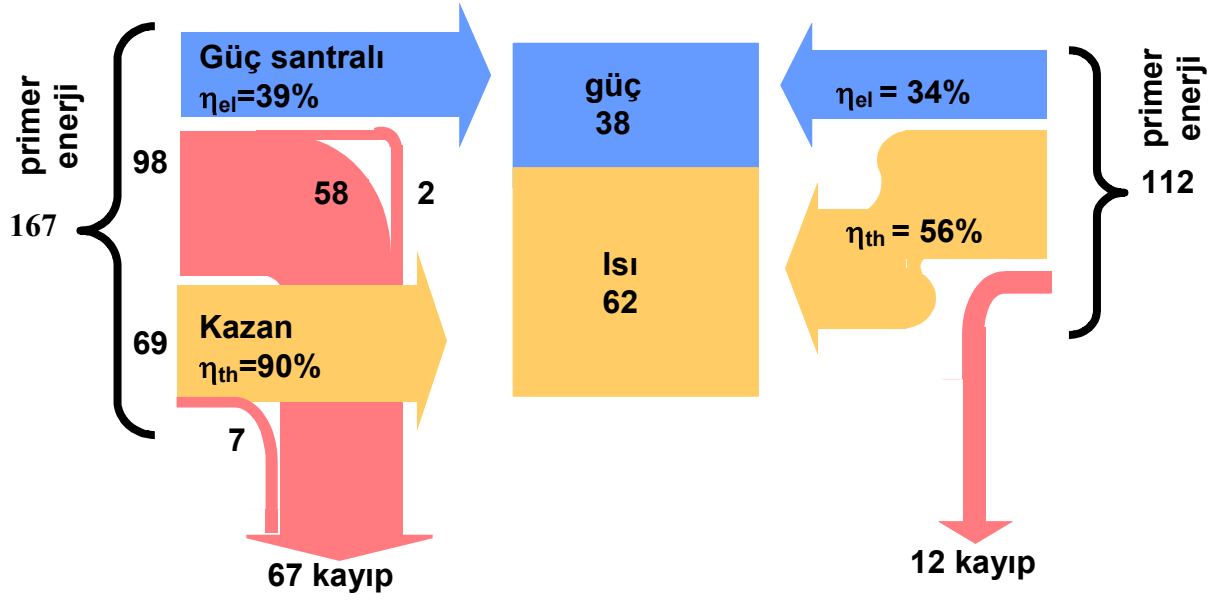
Yakıt hücrelerinin en önemli kullanım alanları büyük ve küçük ölçekli kojenerasyon sistemleri, otomatik endüstrisi, askeri ekipmanlar ve taşınabilir kompüter ve telefon gibi cihazlardır.

## 7. KOJENERASYON ÜNİTELERİ

Güç üretimi sırasında üretilen ısıdan faydalanmak, genel verimi artırmak ve zararlı gaz emisyonlarını azaltmak için iyi bir imkandır. Böylece elektrik üretimi yapılırken aynı zamanda ısı enerjisinden de yararlanılmaktadır. Kojenerasyonun binalarda kullanılmasında elde edilen avantaj Şekil 15'de enerji akış diyagramı içinde grafiksel olarak anlatılmaktadır. Bir binanın enerji ihtiyacı, 38 birim elektrik enerjisi ve 62 birim ısı enerjisi olarak belirlenmiş olsun. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla iki alternatif yöntem düşünülebilir:

- a. Sol tarafta bu ihtiyaç konvansiyonel yolla karşılanmaktadır. Bu yöntemde elektrik üretim verimi %39 olan büyük bir termik santralde üretilen elektrik binaya beslenmektedir. Isı enerjisi ise ısı verimi %90 olan modern bir sıcak su kazanından karşılanmaktadır. Bu durumda toplamda 167 birim primer yakıt enerjisi tüketildiği şekilden görülmektedir. Santralde 98 birim primer enerjiden 38 birim elektrik üretilirken 60 birim enerji dışarı atılmaktadır. Kazanda ise 69 birim primer enerjiden 62 birim ısı enerjisine dönüştürülürken 7 birim dışarı atılmaktadır.
- b. Sağ tarafta ise binanın enerji ihtiyacı bir kojenerasyon sistemiyle karşılanmaktadır. Burada diesel motorlu bir jeneratör (ısı-güç sistemi) kullanılmaktadır. Sistem daha verimli çalışmaktadır. Bir yandan elektrik üretirken dışarı atılacak ısı enerjisi binanın ısı ihtiyacında kullanılmaktadır. Bu sistem için sadece 112 birim primer enerji (yakıt enerjisi) kullanılması yeterlidir.

Sonuç olarak basit bir karşılaştırma kojenerasyon sisteminin , konvansiyonel sisteme göre yaklaşık 1/3 oranında daha az primer enerji tüketerek aynı ihtiyacı karşılayabildiğini göstermektedir. Daha az yakıt tüketimi yakıt ekonomisi olduğu kadar çevrenin daha az kirletilmesi açısından da önem taşımaktadır.



Şekil 15. Kojenerasyon sistemi ve konvansiyonel sistem için enerji akış diyagramı

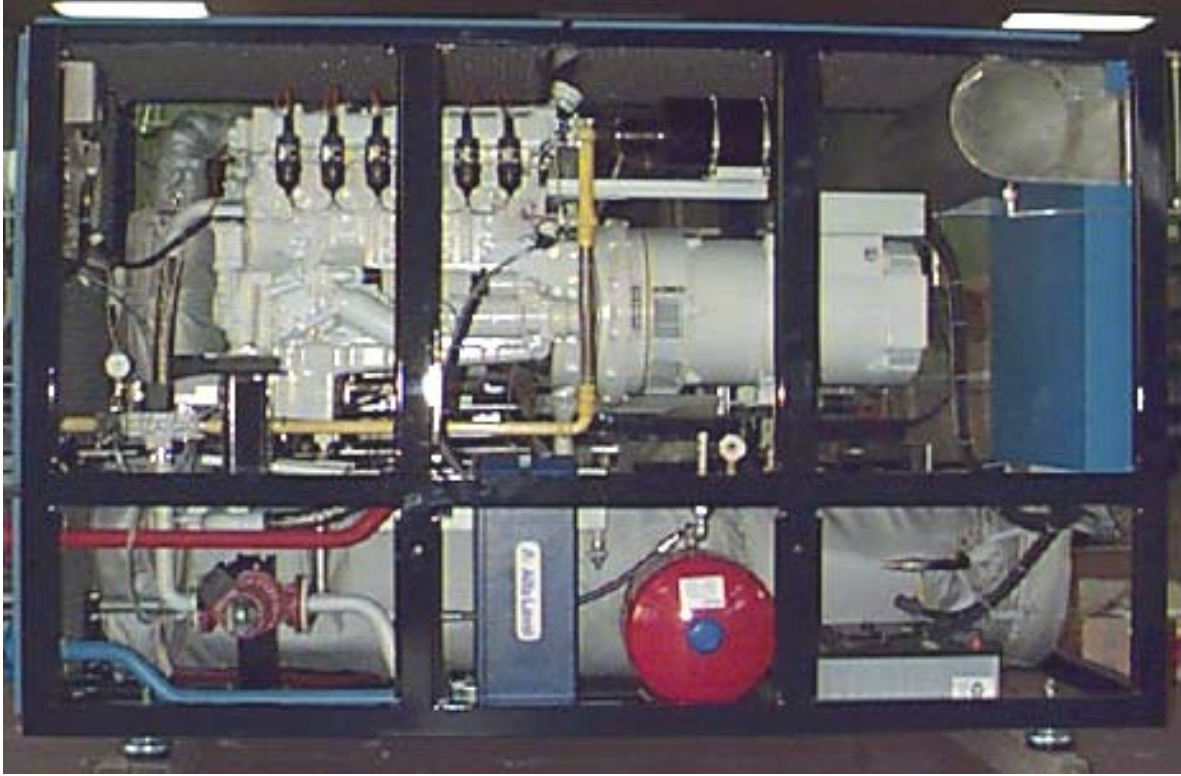
### 7.1. Kojenerasyon Paket Üniteleri

Paket kojenerasyon üniteleri ticari ve endüstriyel binalarda kullanılacak ölçekte ünitelerdir. Bölge ısıtma sistemlerinde, spor salonları, hastaneler, alışveriş merkezleri ve ofis binaları gibi yerlerde kullanılabilir. Sistem paket halinde düzenlenmiş olup ana ekipman gaz motorudur. Motordan elde edilen güç elektrik jeneratöründe elektrik üretiminde kullanılırken, egzoz gazlarından ve motor soğutma suyundan ısıtımada yararlanır. Şekil 16'da örnek bir unite görülmektedir. Bu paketdeki ana elemanlar 1. Motor, 2. Isı değiştirici, 3. Jeneratör ve 4. Dış kılıf olarak sayılabilir.

Enerji kullanım oranı %90 değerlerine çıkarken, kıymetli enerji olan elektrik enerjisi üretilmektedir ve konvansiyonel yöntemlere göre %40 mertebelerinde primer enerji kullanımında tasarruf gerçekleşmektedir. Kullanılan primer enerjini yaklaşık %35,4 oranı elektrik enerjisine, yaklaşık %55,2'si ısı enerjisine dönüştürülür ve yaklaşık %9,4 oranında enerji kaybolur.

Kojenerasyon sistemleri seçilirken binanın elektrik ve ısı gereksinimleri birlikte gözönüne alınır. Isı ihtiyacının tamamını karşılayacak güçte bir cihaz gereksiz yere pahalı olacaktır. Tam güce yakın ihtiyaçların karşılanmasında konvansiyel yolla elektrik ve ısı enerjisi takviyesi yapılır. Cihaz ise genellikle elektrik enerjisi ihtiyacına göre belirlenen optimum güçte seçilir.

Paket ünitenin gücü genellikle elektrik üretim gücüne göre belirlenir. Bu ünitelerde 90/70 °C sıcak su üretildiğinde üretilen ısı enerjisi yaklaşık elektrik gücünün 2 mislidir. Motor emisyonları yönetmelik değerlerinin altında olmalı ve gürültü düzeyi çevreyi rahatsız etmeyecek düzeylere akustik izolasyonla indirilmiş olmalıdır. Isı enerjisi motorda üç noktadan alınır. Birinci kaynak motor yağı soğutmasıdır. İkinci kaynak motor soğutma suyudur. Üçüncü kaynak egzoz gazlarıdır. Kapalı devre glikol-su karışımı önce yağ, sonra motor ve en son da egzoz gazı soğutucusundan geçerek kademeli olarak ısıtılır. Bu sıcak su bir plakalı eşanjörde ısıtılacak devreden gelen maksimum 70 °C sıcaklıktaki suyu 90 °C sıcaklığa kadar ısıtır. Motor gövdesinde dolaşan su korozyon önleyici özellikte ve kapalı devre olmalıdır. Egzoz gazı, ısı değiştiricisinde en fazla 120 °C'ye kadar soğutulur. Soğutma devresinde ve sıcak su devresinde dolaşan su debileri sabit olmalıdır.



Şekil 16. örnek bir paket kojenerasyon ünitesi iç görüntüsü.

## SONUÇ

Geleceğin ısıtma sistemlerinde gelişme iki yönde olmaktadır. Birinci yöndeki gelişmeler sistem verimlerinin artırılmasına yöneliktir. Konvansiyonel sıcak su kazanlarında verim değerleri yoğunlaşmalı doğal gaz kazanlarının ortaya çıkışıyla en uç noktaya ulaşmıştır. Yoğunlaşmalı kazanlar günümüzde kullanıldığı gibi önümüzdeki yıllarda da artan oranda kullanılmaya devam edecektir.

Sistem verimini artırma yönündeki diğer bir gelişme kojenerasyon sistemleridir. Binalarda kullanılacak büyüklükte paket tipi konvansiyonel kojenerasyon sistemleri pazara girmiştir. Bu ünitelerde genellikle gaz motoru kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi ve ısıtma enerjisi birlikte karşılanmakta olup, toplam primer enerji olarak bakıldığında %40 mertebesinde daha fazla verimden söz edilebilir.

Kojenerasyon alanında yeni bir gelişme yakıt hücreleridir. Yakıt hücrelerinde yakıtın sahip olduğu kimyasal enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Ayrıca ortaya çıkan atık ısı yine ısıtmada kullanılabilir. Yakıt hücrelerindeki doğrudan dönüşüm nedeniyle verimler konvansiyonel sistemlere göre çok daha yüksek olabilmektedir. Yakıt hücreleri bu gün için pahalı olmaları nedeniyle binalarda kullanılmaları ve ticari ürünler olarak pazarda yer almaları zamana gerek duymaktadır. Ancak üzerinde yoğun olarak çalışılan bir konudur.

Geleceğin ısıtma sistemlerinde diğer bir grup gelişme yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliktir. Özellikle CO2 emisyonlarının indirilebilmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasını gerektirmektedir. Isıtma açısından en önemli yenilenebilir kaynak güneş enerjisidir. Jeotermal yerel bir kaynak olduğundan, üniversal uygulamalarda güneş enerjisi öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi doğrudan ısıtmada kullanılacağı gibi, elektrik üretiminde de kullanılabilir.



Bugün kullanılan ve giderek yaygınlaşan bir teknoloji de ısı pompalarıdır. Isı pompalarında elektrik enerjisi tüketilmekle birlikte ısı enerjisi kaynağı toprak, su ve hava gibi yenilenebilir kaynaklardır. Bu nedenle ısı pompaları yarı yenilenebilir olarak tanımlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] LARMİNİE, J., DİCKS "Fuel cell systems explained", J. Wiley, 2000.
- [2] Planungsunterlage, Erdgas- Blockheizkraftwerk Loganova BHKW – Modul, Buderus, 12/2001
- [3] Isısan Çalışmaları No : 285, Isı Pompaları, 2002
- [4] Isısan Çalışmaları No : 325 Güneş Enerjisi Tesisatı Kitabı, 2003
- [5] GRABENHENRICH H.B., Kohle-Heizöl-Erdgas-Wasserstoff?, Generationzyklen in der haustechnischen warmerversorgung, 40. Landesinventionskonferenz des schornsteinfegerhandwerks, Baden-Württemberg, 2002.

## ÖZGEÇMİŞ

### Rüknettin KÜÇÜKÇALI

1950 yılında doğdu. 1972 yılında İTÜ Makina Fakültesinden Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. Sungurlar ve Tokar firmalarında mühendis ve şantiye şefi olarak görev yaptıktan sonra, 1975 yılında ISISAN A.Ş.'yi kurdu. Halen bu firmanın yöneticisi olarak görev yapmaktadır. MMO, TTMD ve ASHRAE üyesidir. Evli ve tek çocuk sahibidir.