



Bu bir MMO
yayıdır

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

ATIK SU ISI POMPALARININ TASARIMI VE ENERJETİK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

MUSTAFA ARAZ
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

OĞUZHAN ÇULHA
ARİF HEPBAŞLI
ORHAN EKREN
HÜSEYİN GÜNERHAN
EGE ÜNİVERSİTESİ

EMRAH BIYIK
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

ATIK SU ISI POMPALARININ TASARIMI VE ENERJETİK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa ARAZ
Oğuzhan ÇULHA
Arif HEPBAŞLI
Orhan EKREN
Hüseyin GÜNERHAN
Emrah BIYIK

ÖZET

Gelecek ve sürdürülebilir bir enerji sistemi, yenilenebilir enerji teknolojilerinin artan bir payını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin ayrı, hibrit (melez) veya entegre kullanımı üzerine yapılan çalışmalar önemli ölçüde artmıştır. Isı pompaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı çevre dostu teknolojilerin bir parçası olup gelişmiş ülkelerde yıllardır kullanılmaktadır. Atık su, ısı pompaları için yenilenebilir bir ısı kaynağı olarak görülmektedir. 1980'li yılların başlarında, atık (kanalizasyon) su ısı pompaları İsveç ve Norveç gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde yaygın olarak ve Çin'de kısmen uygulanmıştır. Son yirmi yılda, atık su kaynaklı ısı pompası, göreceli daha yüksek enerji kullanım verimi ve çevre koruması yararları sebebiyle, artan bir şekilde popüler olmuştur. Isı pompaları için diğer geleneksel enerji kaynaklarına (yeraltı suyu, jeotermal ısı, dış hava) kıyasla, yerel konut drenaj sistemlerinden çıkan atık su, ısıtma sezonu boyunca göreceli daha yüksek sıcaklıklara sahip olup ortalama 9-14 °C (İzmir'deki Çiğli ilçesinde yaklaşık 14 °C) aralığındadır. Bundan dolayı atık su, ısının kullanımı için ideal bir temel oluşturmaktadır. Yazın ise, atık su sıcaklıkları 20°C'nin (İzmir'deki Çiğli ilçesinde 28-29 °C arasında) üzerindedir. Bu, aynı zamanda iklimlendirme için soğukun üretilmesinde kullanımını mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle atık su ısı pompası prensibi ve işletme şekli açıklanacaktır. Daha sonra, atık su ısı değiştiricisinin ve atık su ısı pompası cihazının tasarımına ilişkin bazı esaslar sunulacaktır. Son olarak, literatürdeki değişik sistemler kısaca tanıtılacaktır. Atık su ısı pompası sistemleriyle uğraşan tasarımcılara, uygulamacılara ve araştırmacılara katkı koymaya çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Atık su, Kanalizasyon suyu, Atık su ısı değiştiricisi, Isı geri kazanımı, Atık su Isı pompası, Enerji verimliliği.

ABSTRACT

A future and sustainable energy system makes it necessary that renewable energy technologies have an increasing share. In this regard, the number of studies on hybrid and integrated use of energy technologies have increased in recent years. Heat pumps are part of the environmentally friendly technologies using renewable energy and have been utilized in the developed countries for years. Wastewater is seen as a renewable heat source for HPs. At the beginning of the 1980s, waste (sewage) water source heat pumps (WWSHPs) were widely applied in North European countries like Sweden and Norway and partially applied in China. In the past two decades, the WWSHP has become increasingly popular due to its advantages of relatively higher energy utilization efficiency and environmental protection. Wastewater collected from the drainage systems of local buildings has relatively higher temperatures during the heating season, being in average 9 to 14 °C, compared to other conventional energy sources like geothermal heat, groundwater and outdoor air. On the other

hand, the wastewater temperature in the cooling season is above 20 °C, which makes it possible to use it for cooling through WWSHPs.

In this study, the WWSHP system and its operation principles will be described first. Some fundamental issues on wastewater heat exchangers and WWSHP units will be then presented. Finally, various WWSHP systems available in the literature will be briefly introduced. It is aimed at contributing to designers, practitioners and investigators dealing with WWSHP systems.

Key Words: Wastewater, Sewage, Wastewater Heat Exchanger, Heat Recovery, Waste Water Source Heat Pump, Energy Efficiency.

1. GİRİŞ

Sanayide ve konutlarda tüketilen enerji miktarı arttıkça bu tüketime bağlı olarak çevre kirliliği oranı da artmaktadır. Hem enerji maliyetlerinin yüksek olması hem de meydana gelen çevre sorunları nedeni ile enerji geri dönüşümü ve atık enerjiden yararlanma son yıllarda önem kazanmıştır. Verimli enerji kullanımı çerçevesinde atık sudan yararlanan ısı pompası sistemi bu çalışma kapsamında ele alınmıştır. Çevre dostu teknolojilerin başında gelen ısı pompaları, yüksek enerji verimlilikleri nedeniyle uzun süredir gelişmiş ülkelerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada atık su, ısı pompası için yenilenebilir ısı kaynağı olarak ele alınacaktır. Özellikle büyük kentlerde yoğun şekilde bulunan ve yüksek ısı kapasitelerinde sabit sıcaklıklara sahip atık sular, yenilenebilir bir ısı kaynağı olarak ele alınabilir ve binaların ısıtılması ve soğutulması için ısı pompalarında enerji kaynağı olarak kullanılabilir [1].

1980 yıllardan beri Almanya, İsviçre ve İskandinav ülkelerinin kanalizasyon sistemlerinde yer alan atık sulardan yararlandıkları görülmektedir. Kullanılan atık sulara ait ısı potansiyelinin 10-20000 kW aralığında olduğu söylenebilir [2]. Atık suların temel özellikleri aşağıda verildiği gibi sıralanabilir:

(i) Atık sular büyük miktarlarda her yıl kentlerde üretilir, (ii) ısıtma ve soğutma sezonlarında atık su sıcaklığındaki dalgalanmalar az miktarda oluşur ve kış aylarında dış hava sıcaklığına göre daha yüksek, yaz aylarında ise daha düşük sıcaklıklara sahiptir, (iii) ısı pompalarında kullanılacak ısı enerjisinin büyük bir kısmı atık sulardan sağlanabilir [3].

Atık su ısı pompalarının tasarımı üzerine dünyada birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Örneğin Çin'in Xi şehrinde yer alan beş adet atık su arıtma tesisinin durumunun ve atık su karakteristik parametrelerinin incelendiği çalışmada, merkezi ısıtma için geleneksel sistemlerin yerine atık su kaynaklı ısı pompalarının kullanımı değerlendirilmiştir. Xi'de bir yerleşim bölgesi ele alınarak atık su kaynaklı ısı pompası teknolojisinin soğutma ve ısıtma amaçlı kullanımı durumunun fizibilite analizleri gerçekleştirilmiştir [4]. Isı kaynağı olarak atık su kullanan bir ısı pompası sisteminin tasarımı ve analizinin gerçekleştirildiği diğer bir çalışmada ise, bir otelin ele alındığı ve otelin anlık sıcak su ihtiyacının karşılamak için sauna ve banyolardan çıkan atık suların kaynak olarak alındığı görülmüştür. Bu kapsamda atık su ısı pompası sisteminin fizibilitesi incelenmiştir. Enerji analizleri yapılarak ısı pompasının yıllık ortalama etkinlik katsayısı (COP) 4,8 olarak hesaplanmış ve kış sezonu hafta sonları haricinde sıcak su ihtiyacının %100'ünü karşılayabileceği belirtilmiştir [5].

Türkiye'de yapılan bir çalışmada, Adana ili için Seyhan Nehri suyunun bir ısı pompası sisteminin ısı kaynağı olarak kullanımı incelenmiştir. Türkiye'de bu tip uygulamaların nadir görüldüğü belirtilen bu çalışmada, öncelikle Seyhan Nehri'nin yıl boyunca olan sıcaklık değişimi incelenerek veri toplanmış ve Adana ili için hava sıcaklıkları ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, ısı kaynağı olarak hem sıvı hem de havayı kullanabilen bir ısı pompasının kullanıldığı deney düzeneğinde analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonunda Seyhan Nehri suyunun ısı kaynağı olarak kullanımının tüm ısıtma ve soğutma sezonu boyunca daha avantajlı olduğu belirtilmiştir [6]. Diğer bir çalışmada ise, ısı kaynağı olarak atık suyu kullanan bir ısı pompasının performansı incelenmiştir. Hazırlanan deney düzeneğinde 20°C, 30°C ve 40°C sıcaklık değerlerine sahip atık su simule edilerek, sistem üzerinden alınan ölçüm verileri ile ısıtma tesir katsayıları hesaplanmıştır. Enerji depolama tankındaki maksimum sıcaklık 50,6°C ölçülmüş ve 20°C, 30°C ve 40°C sıcaklıkları için ısıtma etki katsayıları sırasıyla 3,36, 3,43 ve 3,49 olarak bulunmuştur. Ancak sistemin çalışmaya başlamasından 6 dakika sonra yoğunlaştırıcı tankındaki

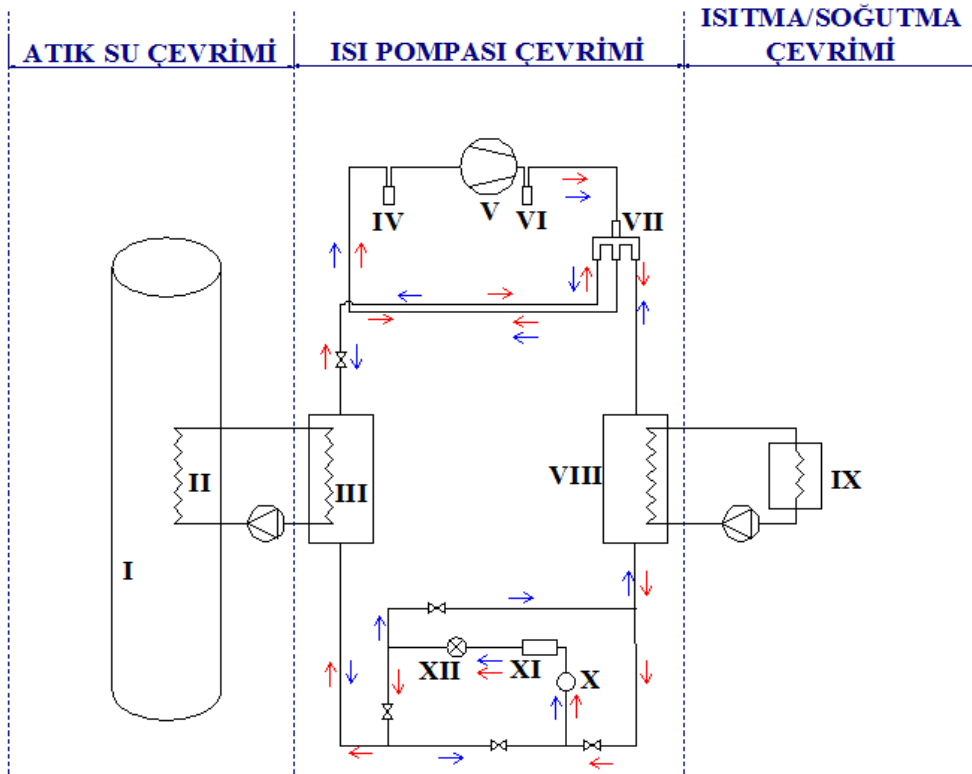
sıcaklığın artması nedeniyle bu değerler 1,87, 1,83 ve 1,77'ye düşmüştür. Tüm şartlardaki ortalama ısıtma tesir katsayısı 2,6 olarak hesaplanmıştır. Bu değer literatürde yer alan birçok çalışmayla karşılaştırılabilir olduğu ve bir ısı değiştirici kullanılması durumunda bu değer daha da yükselebileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise, atık su ısı pompalarının tasarımı üzerine temel bilgiler verilecek ve özellikle enerji performansının değerlendirilmesi ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2. ATIK SU ISI POMPASI SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Sistemin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Sistem atık su çevrimi, ısı pompası çevrimi ve ısıtma/soğutma çevrimi olarak üç ana grupta incelenebilir.

Atık su çevriminde, genellikle özel olarak tasarlanmış ve atık su kanallarının içine entegre edilmiş bir atık su ısı değiştiricisi ve bu ısı değiştirici ile ASIP sisteminin buharlaştırıcısı/yoğuşturucusu arasındaki su sirkülasyonunu sağlayan bir pompa yer almaktadır. Atık su sıcaklıkları ise yaklaşık olarak kış aylarında 9 ile 14 °C, yaz aylarında ise 28 ile 29 °C aralığındadır [8]. ASIP'nin ısıtma modunda atık suyun ısı atık su ısı değiştiricisi vasıtasıyla buharlaştırıcıda soğutucu akışkana aktarılmaktadır. ASIP'nin yoğuşturucu kısmına ise bir fan-coil vb. ekipman bağlanarak iç ortamda ısıtma sağlanmaktadır. Soğutma modunda ise atık su ısı pompasının yoğuşturucusundan ısı çekerek soğutucu akışkanın yoğuşmasını sağlamaktadır. İç ortamın soğutulması ise ASIP'nin buharlaştırıcı kısmına bağlanan bir fan-coil ünitesi vasıtasıyla gerçekleşmektedir.



I. Atık su kanalı, II. Atık su ısı değiştiricisi, III. Su soğutmalı ısı değiştiricisi (Buharlaştırıcı/Yoğuşturucu), IV. Akümülatör, V. Kompresör, VI. Yağ ayırıcı, VII. 4 Yollu Vana, VIII. Su soğutmalı ısı değiştiricisi (Buharlaştırıcı/Yoğuşturucu), IX. Fan-Coil ünitesi, X. Gözetleme camı, XI. Dryer, XII. Genleşme Vanası

Şekil 1. ASIP sistemi şeması

Bu çalışmada, atık su kaynaklı ısı pompası kullanılarak atık suyun sahip olduğu enerjiden yararlanma amaçlandığından öncelikle atık su karakteristikleri ortaya konmuş ve bu kaynağı kullanmanın ekonomik değeri belirlenmiştir. Buna göre:

- (i) Yaz ve kış mevsimleri süresince şehirlerde çok büyük miktarlarda kanalizasyon suyu üretilmekte ve yıl boyunca neredeyse hiç değişmeyen bir akış bulunmaktadır.
- (ii) Kanalizasyon suyu sıcaklığı yaz mevsiminde dış hava sıcaklığından daha düşük, kış mevsiminde ise daha yüksektir. Su sıcaklıklarında yıl boyunca çok küçük bir dalgalanma meydana gelmektedir.

Atık su kaynaklı ısı pompası sisteminin performans denemelerinin yapıldığı İzmir ilinde yer alan Çiğli ilçesi için, kanalizasyon suyu sıcaklıklarının yaz mevsiminde 28-29 °C (Ağustos ayı) ve kış mevsiminde ise yaklaşık 14 °C olduğu ve yağmurlu günlerde ise bunun 9 °C'ye düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca, günlük kanalizasyon suyu miktarının yaklaşık 600.000 m³ belirtilmiştir [8,9].

2.1 Atık Su Isı Pompası Ekonomik Ve Verimlilik Değerlendirmesi

Isı pompasında ısıtma yapıldığı durumda buharlaştırıcıda atık sudan soğutucu akışkana ısı transferi yapılarak soğutucu akışkanın buharlaşması sağlanır. Atık su sıcaklığının 1°C düşürülmesiyle, 600.000 m³/gün debiye sahip atık sudaki enerji potansiyeli yaklaşık 700 MWh/gün olduğu hesaplanmaktadır. Benzer şekilde soğutma modunda ise yoğuşturucuda soğutucu akışkandan atık suya ısı transferi yapılarak soğutucu akışkan sıcaklığının azalması ve soğutucu akışkanın yoğuşması sağlanmış olur. Bu durumda atık su sıcaklığı artırılmış olur.

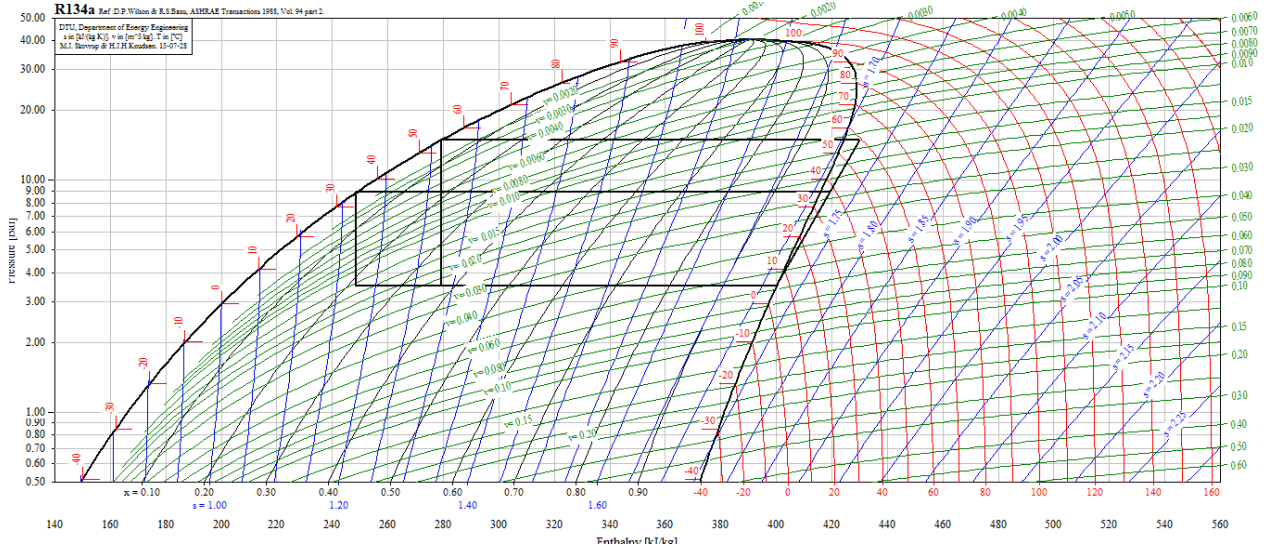
Isı pompasında atık su kullanımının verimlilik ve ekonomik bakımdan değerlendirilmesi:

Isı pompalarında ısının alınacağı ve atılacağı kaynak sıcaklığı soğutma çevrim verimini etkilemektedir. Isıtma mevsimi için (kış) atık su sıcaklığı 14°C, soğutma mevsimi için (yaz) ise 28-29°C olduğu bilinmektedir. Tablo 1 de atık su ve hava kaynaklı bir ısı pompasının soğutma performansı karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Atık su ve hava kaynaklı ısı pompası soğutma modu karşılaştırması

Paremetre	Atık Su Kaynaklı Isı Pompası	Hava Kaynaklı Isı Pompası
Yoğuşturucu atık su giriş sıcaklığı (°C)	28-29	35-40
Yoğuşturucu atık su çıkış sıcaklığı (°C)	33-34	40-45
Buharlaştırıcı sıcaklığı (°C)	5	5
Yoğuşturucu sıcaklığı (°C)	40-45	50-55
Yoğuşturucu atık su hacimsel debisi (m ³ /h)	1	3500
Buharlaştırıcı kapasitesi (kW)	4,5	4,5
Yoğuşturucu kapasitesi (kW)	5,8	5,9
Kompresör kapasitesi (kW)	1,3	1,5
COP _{soğutma}	3,4	3

Hava kaynaklı ısı pompalarında soğutma sırasında yoğuşturucudan geçen hava sıcaklığı arttıkça soğutucu akışkanın yoğuşması zorlaşmakta ve sistem performansı düşmektedir. İzmir ilinde soğutma sezonunda (yaz) ortalama dış hava sıcaklıkları 38 °C'nin üzerinde olmaktadır. Bu durumda ısı pompasının performansı düşmektedir. Isıtma sırasında ise buharlaştırıcının ısı aldığı dış ortam sıcaklığı düştükçe buharlaşma zorlaşmakta ve ısıtma verimi düşmektedir. Benzer şekilde ısıtma sezonunda (kış) dış hava sıcaklıkları düştükçe ısı pompası ısıtma verimi düşmektedir. Isıtma sezonunda (kış) ortalama dış hava sıcaklıkları 0-5 °C civarında olmaktadır. Bu sıcaklık değerlerinden aşağı inildiğinde ısı pompası ısıtma verimi düşmektedir. Atık su kaynaklı ısı pompalarında ise yaz ve kış mevsimlerinde sabit atık su sıcaklığı nedeniyle ısıtma/soğutma performansı daha yüksektir. Şekil 2'de aynı soğutma kapasitesi ve buharlaşma sıcaklığı için yoğuşma sıcaklığının artması durumunda ısı pompası çevriminin (soğutma) verimindeki düşüş görülebilmektedir.



Şekil 2. Hava kaynaklı ve atık su kaynaklı ısı pompası soğutma çevrimi karşılaştırması

Atık su kaynaklı ısı pompasındaki $COP_{soğutma}$ değeri 3,4 iken, hava kaynaklı ısı pompasında 3 olması durumunda kompresördeki elektrik enerjisi kullanımı atık su kaynaklı ısı pompasında yaklaşık %13 daha azdır. Hava kaynaklı ısı pompası yıllık (yıllık ısıtma ve soğutma için toplam 10 ay günlük 10 saat kullanıldığı kabulü ile) elektrik enerjisi kullanım miktarı $1,5 \text{ kWh} \times 3000 = 4500 \text{ kWh}$. Atık su kaynaklı olması durumunda elde edilen tasarruf (%13) sonucu yıllık elektrik enerjisi kullanımındaki tasarrufu 600 kWh olup $40 \text{ krs/kwh} \times 600 \text{ kWh} = 77250 \text{ krs}$ yaklaşık yıllık 240 TL tasarruf sağlanmaktadır [10].

3. ATIK SU ISI POMPALARINDAN YARARLANMA OLANAKLARI

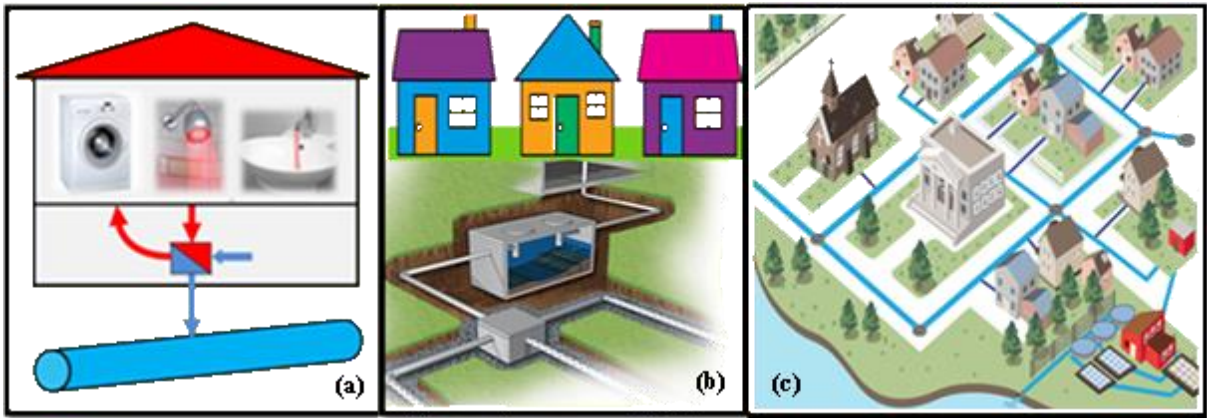
Atık suyun enerjisinden üç farklı şekilde yararlanmak mümkün olup söz konusu yöntemler Şekil 3'te özetlenmiştir. Bunlardan ilki bina içinde atık sudan ısı geri kazanımıdır. Bu yöntemde mutfak, banyo gibi kaynaklarda oluşan atık su kanalizasyona aktarılmadan önce şebekeye bir ısı değiştirici entegre edilerek atık sudan ısı geri kazanılmaktadır. Isı değiştiricinin konumu kaynağa çok yakın olduğu için atık su sıcaklıkları yüksek, ancak debisi düşüktür. İkinci seçenekte atık sudan faydalanma bina dışında gerçekleşmektedir. Bu durumda atık su kanallarına (kanalizasyona) özel tasarlanmış ısı değiştiriciler entegre edilmekte ve ısı geri kazanımı bu ısı değiştiricileri vasıtasıyla sağlanmaktadır. Atık su ısı değiştiricisinde geri kazanılan ısı, ısı pompası sisteminin çalışma moduna (ısıtma/soğutma) bağlı olarak buharlaştırıcısı veya yoğuşturucusunda değerlendirilmektedir. Isı geri kazanımı bina dışında gerçekleştiğinden, atık su hattının uzunluğuna bağlı olarak, daha düşük atık su sıcaklıkları ancak daha çok binadan atık su elde edildiği için atık su debisi göreceli olarak daha yüksek olmaktadır. Son yöntemde ise atık su ısı pompası sistemi atık su arıtma tesisi civarına konumlandırılarak, arıtılmış atık sudan ısı geri kazanımı yapılmaktadır. Bu durumda atık su debisi oldukça yüksek olup, sıcaklığı ise atık su hattının uzun olması nedeniyle daha düşüktür [11]. Atık sudan faydalanılarak mekan ısıtması ve soğutması yapılabileceği gibi aynı zamanda evsel sıcak su elde edilmesi de mümkündür. Bir sonraki bölümde literatürde yer alan farklı atık su ısı pompası sistemleri incelenmiştir.

4. BAZI ATIK SU ISI POMPASI UYGULAMALARI

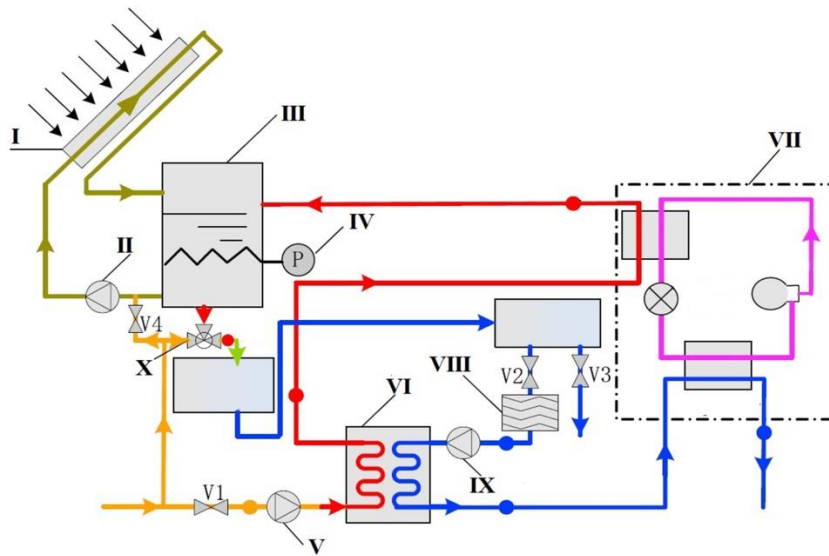
Bu bölümde, atık su ısı pompalarının bazı uygulamaları kısaca açıklanacaktır. Literatürde yer alan farklı ısı pompası uygulamaları yazarların başka çalışmasında detaylı olarak verilmiştir [11].

4.1 Uygulama 1

Liu vd. [12] tarafından yapılan çalışmada halka açık bir duş alma tesisinde bir atık su ısı pompası sistemi kullanılmıştır. Söz konusu sistem Şekil 4'te gösterilmiş olup üç alt sistemden oluşmaktadır: güneş kolektörü sistemi, drenaj toplama sistemi ve ısı geri kazanım sistemi. Güneş kolektörü alt sistemi; güneşten elde edilen enerjinin depolanması için bir tank, bir kolektör, bir elektrikli rezistans ve kolektör ile depo arasında sirkülasyonu sağlamak üzere bir pompadan oluşmaktadır. Depo içerisindeki su sıcaklığının istenilen değere getirilememesi durumunda elektrikli ısıtıcı devreye girerek, gerekli olan ilave ısıyı sağlamaktadır. Drenaj alt sisteminde ise her biri 0,067 L/s debiye sahip olan 50 duştan alan su atık su havuzunda depolanmaktadır. Daha sonra atık su bir filtreden geçirilerek sulu ısı değiştiriciye gönderilerek şebeke suyunun ön ısıtılması sağlanmaktadır. Buradan atık su ısı pompasının buharlaştırıcı kısmına girerek, ısını soğutucu akışkana aktarmakta ve böylece soğutucu akışkanın tamamen buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha sonra ön ısıtılan şebeke suyu atık su ısı pompasının yoğuşturucu kısmında soğutucu akışkan tarafından ısıtılarak depoya gönderilmektedir. Tüm sistem 16.30 – 22.00 saatleri arasında çalışmakta olup, atık su ısı pompasının devreye girip çıkması ısı depo ve atık su havuzundaki su seviyelerine bağlı olarak çalışmaktadır.



Şekil 3. Atık sudan yararlanma olanakları a. Bina içinde b. Binanın dışında (atık su kanallarında) c. Şehrin dışında (atık su arıtma tesislerinde) [11]



- I. Güneş kolektörü
- II. Sirkülasyon pompası
- III. Isıl depo
- IV. Elektrikli ısıtıcı
- V. Isı pompası
- VI. Sulu ısı değiştirici
- VII. Atık su ısı pompası
- VIII. Filtre
- IX. Atık su pompası
- X. T bağlantı vanası
- XI. Duş tesisi
- XII. Atık su havuzu
- XIII. Yoğuşturucu
- XIV. Genleşme vanası
- XV. Kompresör
- XVI. Buharlaştırıcı

Şekil 4. Su ısıtmasında kullanılan atık su ısı pompası sistemi ([12]'den uyarlandı)

Söz konusu sistemin ısı kapasitesi 210 kW olup, ısıtma tesir katsayısı değeri (ITK) ise 3,55 olarak belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ekonomik ve çevresel analizler yapılarak, ASIP sistemi geleneksel sistemler ile (sadece güneş kolektörleri, kömürlü, gazlı, yağlı ve elektrikli kazanlar) karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar Tablo 2’de özetlenmiştir [12]. Görüldüğü gibi ASIP sisteminin yatırım maliyeti diğer geleneksel sistemlere göre (güneş kolektörleri dışındaki) daha yüksek olmasına rağmen işletme maliyetleri ve neden olduğu CO₂ emisyonları karşılaştırıldığında oldukça avantajlıdır.

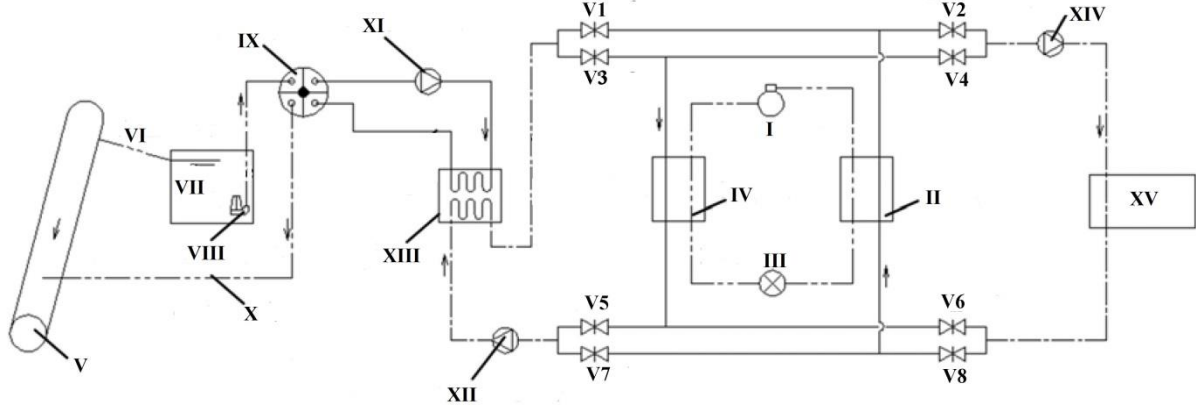
Tablo 2. ASIP sisteminin geleneksel sistemlerle ekonomik ve çevresel karşılaştırılması [12]

Sistem tanımı	Yatırım maliyeti* (TL)	İşletme Maliyeti* (TL)	Yıllık yakıt tüketimi	Yıllık CO ₂ emisyonu (t)
ASIP sistemi	74370	10115,8	60764 kWh	76,9
Sadece güneş kolektörleri	324453	18204	109423 kWh	138
Kömürlü kazan	19980	37259	177515 kg	488
Gazlı kazan	21830	42365	60268 m ³	125
Elektrikli kazan	41440	55537	500361 kWh	652
Yağlı kazan	21830	121767	50625 kg	155

*Orijinal makalede para birimleri Yuan olarak verilmiş olup, 1 Yuan = **0,37** TL alınmıştır.

4.2 Uygulama 2

Liu vd. [13] tarafından yapılan bir başka çalışmada, Çin’in Dalian şehrinde kurulmuş olan arıtılmamış atık su kaynaklı bir ısı pompası incelenmiştir. Sistem şeması Şekil 5’te verilmiş olup, atık su emme sistemi, temiz su ile atık su arasında ısı transferinin gerçekleştiği sistem ve ısı pompası sistemi olmak üzere üç alt sistemden oluşmaktadır. Atık su emme sisteminde drenaj hattından gelen atık su ilk olarak bir atık su havuzunda toplanarak, istenilen atık su debisinin elde edilmesi sağlanmaktadır. Daha sonra atık su bir otomatik filtreleme sisteminden geçirilerek içinde bulunan katı maddelerden arındırılarak atık su ısı değiştiricisine gönderilmektedir. Bu ısı değiştiricide filtrelenmiş atık su ile ara çevrimde bulunan temiz su arasında ısı transferi gerçekleşmektedir. Kış (ısıtma) modunda, 2,3,5 ve 8 numaralı vanalar açılmakta, temiz su atık sudan ısı absorbe ederek ASIP’nin buharlaştırıcısına girmektedir. Burada ısıyı soğutucu akışkana vererek buharlaşmasını sağlamaktadır. Isı pompasının yoğuşturucu tarafında oluşan ısıdan da son kullanıcıların faydalanması sağlanmaktadır. Yaz (soğutma) modunda ise 1,4,6 ve 7 numaralı vanalar açılmakta, ısıtılmış olan temiz su ASIP’nin yoğuşturucusuna gönderilmekte, böylece soğutucu akışkanın ısı alınarak yoğuşması sağlanmaktadır. Son kullanıcılar ise buharlaştırıcıda oluşan düşük sıcaklıktan havalı veya sulu ısı değiştiriciler vasıtasıyla yararlanabilmektedir. Söz konusu çalışmada ASIP sistemi, ısıtma modunda çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre IP ünitesinin ve tüm ASIP sisteminin ITK değerleri sırasıyla 4,3 ve 3,6 olarak bulunmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında bir ekonomik analiz yapılarak, ASIP sisteminden elde edilen sonuçlar geleneksel sistemler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3).



I. Kompresör, II. Yoğuşturucu, III. Genleşme vanası, IV. Buharlaştırıcı, V. Atık su hattı, VI. Atık su emme hattı, VII. Atık su havuzu, VIII. Atık su pompası, IX. Otomatik filtreleme ekipmanı, X. Drenaj hattı, XI. Atık su pompası, XII. Sirkülasyon pompası, XIII. Atık su ısı değiştiricisi, XIV. Sirkülasyon pompası, XV. Son kullanıcı

Şekil 5. ASIP'nin şematik gösterimi ([13]'ten uyarlandı)

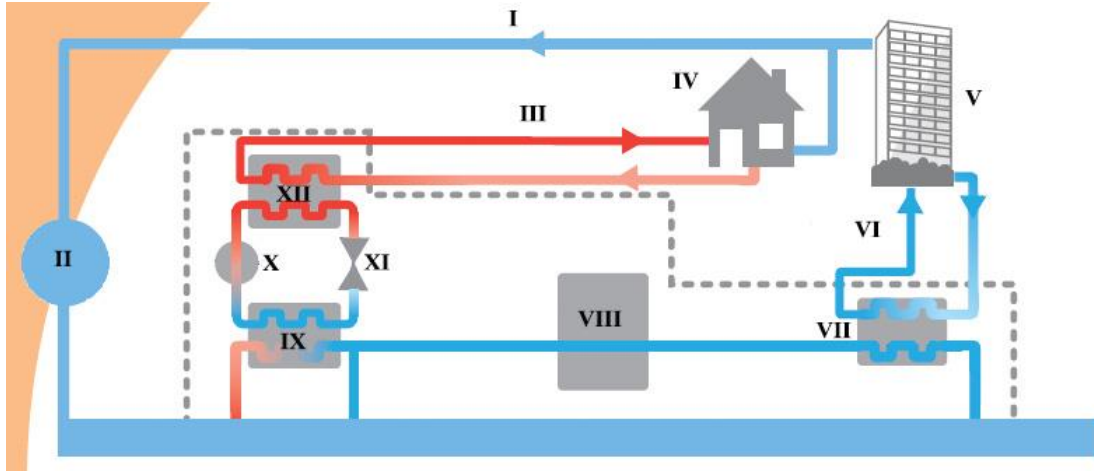
Tablo 3. ASIP sisteminin geleneksel sistemlerle karşılaştırılması [13]

Isıtma sistemi	Yakıt tüketimi	Elektrik tüketimi (kWh)	Birim fiyatlar*	İşletme maliyeti* (TL)
Kömürlü kazan	378569 kg	19800	Kömür: 0,37 TL /kg	145928
Gazlı kazan	169567 m ³	19800	Gaz: 1,036 TL/ m ³	181559
Yağlı kazan	141050 kg	19800	Yağ: 3,164 Yuan/kg	452066
ASIP sistemi	0	547737	Elektrik: 0,296Yuan/kWh	162134

*Orijinal makalede para birimleri Yuan olarak verilmiş olup, 1 Yuan = 0,37 TL alınmıştır.

4.3 Uygulama 3

Bir başka çalışmada 2009 yılında Finlandiya'da kurulan bir ASIP tesisi hakkında bilgi verilmiştir. Söz konusu sistemin soğutma ve ısıtma kapasiteleri sırasıyla 14,5 MW ve 21 MW olup, ITK değeri 3,3'tür. ASIP sistemi ile bölgesel ısıtmada kullanılmak üzere 90 °C'ye kadar sıcak su üretmek mümkündür. Yıllık toplam ısıtma kapasitesi ise 160 GWh (şehir ihtiyacının yaklaşık %8'i) olup, 12000 kişinin ısınma ihtiyacını karşılayabilmektedir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi atık sudan ısı geri kazanımı atık su arıtma tesisinden sonra gerçekleşmektedir. Şehirde yer alan binalarda üretilen atık su (yaklaşık 100000 m³/gün) atık su arıtma tesisine gönderilerek arıtılmaktadır. Daha sonra ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısından geçirilerek ısısını soğutucu akışkana vermektedir. Bölgesel ısıtma işlemi için ısı pompasının yoğuşturucu kısmından su geçirilerek ısıtılmakta (90 °C'ye kadar ısıtılabilir) ve ısıtma işlemi için son kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Bölgesel soğutma için ise ısı pompasının buharlaştırıcı kısmında soğutulmuş olan atık su bir soğuk su akümülatöründe (17000 m³lük) depolanmakta, buradan da ihtiyaca bağlı olarak bölgesel soğutma hattında yer alan ısı değiştiriciye pompalanmaktadır. Bu ısı değiştiricinin diğer tarafından ise temiz su geçirilmekte ve soğuyan bu su bölgesel soğutma işlemi için kullanılmaktadır. Bu tesisin işletmeye alınmasıyla birlikte CO₂ emisyonlarında 50000 ton/yıllık bir düşüş sağlanmıştır [14].



I. Atık su toplama sistemi, II. Atık su arıtma tesisi, III. Bölgesel ısıtma şebekesi, IV. Bölgesel ısıtma kullanıcısı, V. Bölgesel soğutma kullanıcısı, VI. Bölgesel soğutma şebekesi, VII. Isı değiştiricileri, VIII. Soğuk su akümülatörü, IX. Buharlaştırıcı, X. Kompresör, XI. Genleşme vanası, XII. Yoğuşturucu

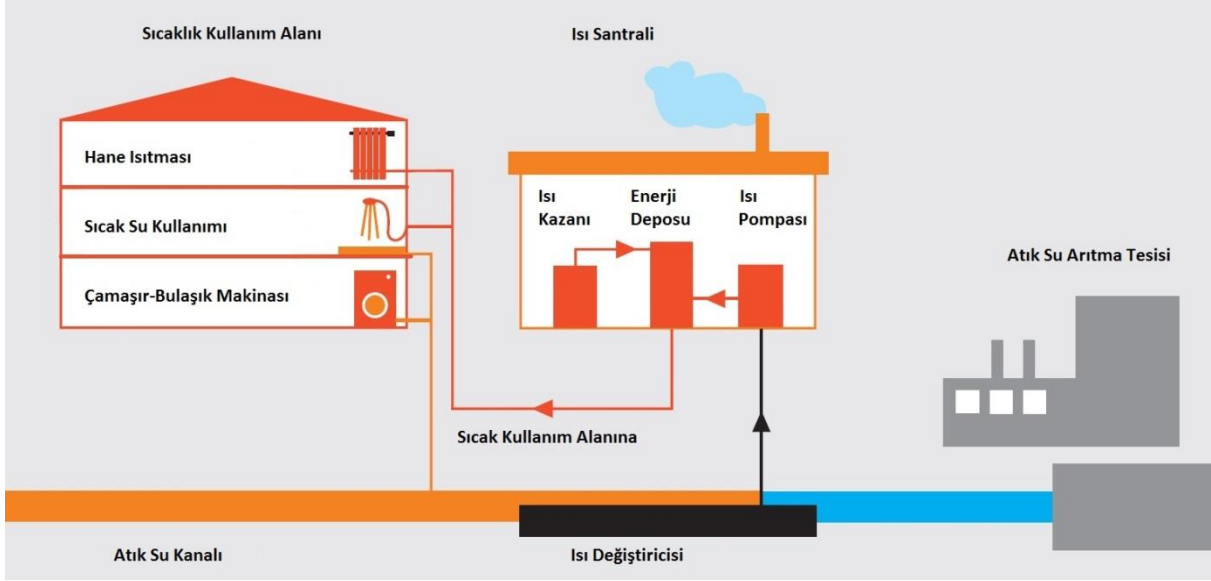
Şekil 6. Kakola ASIP tesisinin şematik gösterimi ([14]'ten uyarlandı)

5. ATIK SU ISI POMPALARINDA KULLANILAN BAZI ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

Atık su ısı pompası sistemlerinde bir taraftan ısıtma diğer taraftan soğutma gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla ısı değiştiricisi sistemlerinden faydalanılır. Ancak atık su çeşitli katı parçacıklar vb. içerdiği için bu sistemlerde kullanılacak ısı değiştiricileri dikkatlice tasarlanmalı ve seçilmelidir [2]. Bu sistemler için teknolojiye ilgi arttıkça sınıflandırmalara girmeyen özel tasarım ısı değiştiricisi sistemleri gün geçtikçe çoğalmaktadır. Isı değiştiricilerin çevrimde kullanımı daha önce verilmiş olan Şekil 3'te görüldüğü gibi üç farklı konumda gerçekleştirilebilir.

Isı değiştiricisinin sistemde nasıl konumlandırılacağı sistemin uygulanacağı bölgedeki atık su sıcaklığı, debisi, kimyasal özelliği, enerji ihtiyacı gibi fizibiliteelerin yapılmasının ardından belirlenir. Genellikle kullanım alanları evler, toplu konutlar, kamu binaları, oteller, hamamlar, yüzme havuzları ve sanayidir. Özellikle oteller, hamamlar, saunalar, yüzme havuzları atık su sistemine evlere nazaran daha yüksek sıcaklıkta atık gönderen binalardır. Bu sebeple bu binaların atık suyunun aktığı kanalizasyon sistemine kurulan ısı değiştiricisi sistemi tekrardan bu binalarda kullanılacak sıcak su için daha yüksek miktarda ısı transferi gerçekleştirebilmektedir.

Kısaca üç konumlandırmaya göre sistemlerin avantajlarına bakılacak olursa, ev tipi kullanımda mesafe çok kısa olduğu için diğer sistemlere göre sıcaklık daha yüksektir ancak debinin ve rejimin düşük olmasından dolayı kullanılabilir kapasite çok düşüktür. Kanal tipi sistemlerde ev tipine göre biraz daha uzun bir transfer mesafesi vardır ancak atık su debisi yüksektir ve rejimi daha düzenlidir. Atık su arıtma tesisinden sonra konumlandırılan sistemlerde ise transfer mesafesi hepsine göre çok daha uzundur ancak arıtma işleminden sonra atık su içerisindeki bir çok katı madde vb. arındırıldığı için ve belli prosesler tamamlanarak tesisten ayrıldığı için hepsine göre daha stabil bir debisi ve rejimi vardır. Diğer sistemlere göre çok daha fazla ısı kapasitesi vardır. [15] Şekil 7'de kanal tipi ısı geri-kazanımı kullanım için uygulanan bir tesisin şematik gösterimi verilmiştir [16].



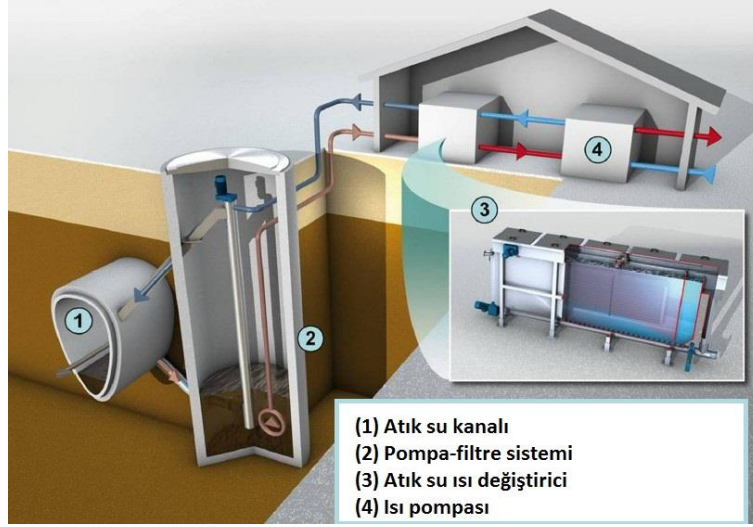
Şekil 7. Kanal tipi ısı-geri kazanımlı ısı değiştiricisi sisteminin kullanıldığı bir ısı pompası sisteminin şematik gösterimi [16]

Isı değiştiricilerin atık su sisteminde konumlandırılmaları dışında ilgili konumda ısı transferi yapabilmesi için uygun olan iki farklı montaj şekli vardır. Bunların ilki ısı değiştiricinin atık su kanalının yatağına yerleştirilmesi, diğeri ise pompa ve filtre sistemi ile atık suyun bir üst seviyeye taşınıp bir ısı değiştiriciden geçirilip tekrar atık su kanalına verilmesidir [2].

Atık su ısı değiştiricisinin atık su kanalına yerleştirildiği sistem, Şekil 3 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Aynı zamanda Şekil 7'de buna örnektir. Bu gösterimlere ek olarak gerçek hayat uygulamaları Şekil 8'de verilen resimler ile gösterilmiştir [16,17-18]. Pompa filtre sisteminin olduğu harici sistemin çizimi ve gerçek hayattaki uygulaması sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir [19].



Şekil 8. Kanal yatağına yerleştirilmiş ısı değiştirici uygulamaları [16,17-18]

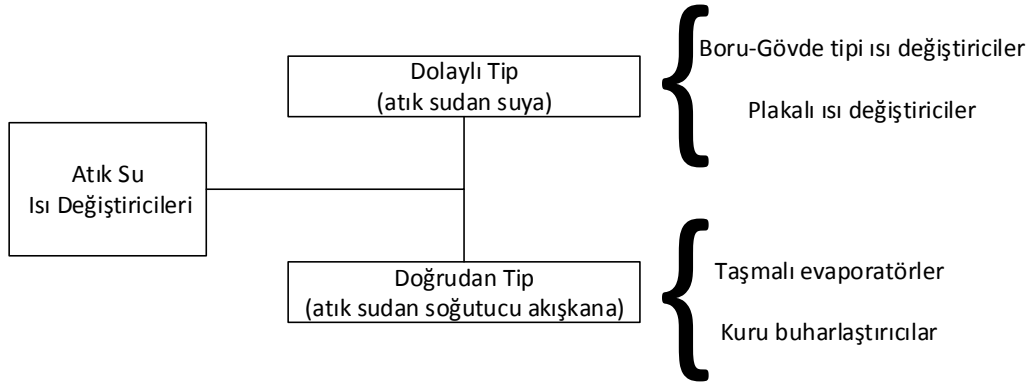


Şekil 9. Pompa-filtre sistemli harici ısı değıştiricisi sisteminin gösterimi [19]



Şekil 10. Pompa-filtre sistemli harici ısı değıştiricisi uygulaması [19]

Isı transferi konumları dışında ısı değıştiriciler dolaylı ve doğrudan olmak üzere ısı transfer ettikleri ortama göre Şekil 11'deki gibi ikiye ayrılır [20].



Şekil 11. Isı Değiştiricilerin ısı transfer ettikleri ortama göre sınıflandırılması [20]

Atık su ısı pompası sistemlerinde kullanılacak ısı değiştiriciler için çeşitli kaynaklarda yapılmış olan bu temel sınıflandırmalar dışında farklı sınıflandırmalar yapmak da mümkündür. İlgilenilen uygulama, gerekli enerji miktarı, kanal boyutu ve şekli, atık su fiziksel özellikleri ve miktarı gibi koşullara bağlı olarak yeni tasarımlar ve modifikasyonlar sistemleri daha verimli hale getirmek için yapılmaktadır.

6. ISI POMPALARINDA KONTROL STRATEJİLERİ

Kontrol stratejileri bir sistemin kararlı çalışmasını, istenmeyen dış etkilere karşı gürbüz olmasını ve aynı zamanda yüksek performans sergilemesini sağladıkları için sistem tasarımı sürecinde büyük önem taşımaktadırlar. Bu kısımda ısı pompası sistemlerinde kullanılan kontrol ve eniyileme (optimizasyon) teknikleri sunulacaktır. Atık su ısı pompaları, kontrol sisteminin temel işleyişi açısından diğer ısı pompası türleriyle oldukça benzerlik taşımaktadır. Bu sebeple, bu kısımda sadece atık su ısı pompalarına bağlı kalınmadan, genel ısı pompası sistemlerinde kullanılan kontrol stratejilerinden bahsedilecektir.

Günümüzde yaygın olarak ısı pompası sistemleri tekil ekipmanlar / ünite üzerinden basit AÇ-KAPA, mantık devreleri, PID, vb. yöntemler ile kontrol edilmekte, bütünsel bir sistem kontrolü tasarımı henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bahsi geçen basit kontrol stratejileri reaktif olarak sınıflandırılır. Sisteme beklenmeyen bir dış etki geldiği zaman sistemin ayar noktalarından sapmalarını gözleyerek reaksiyon gösterirler, ileriki zamanda gerçekleşebilecek etkilerin tahminlerini bütünlük bir çerçevede ele alamazlar.

Toprak kaynaklı ısı pompalarında girişteki akışkan sıcaklığı ile COP arasındaki ilişki Xu [21] tarafından yapılan çalışmada gösterilmiştir. Soğutma modunda girişteki akışkan sıcaklığının düşük olması durumunda ısı pompası yüksek performans sergilerken, ısıtma modunda girişteki akışkan sıcaklığı yüksek sıcaklık tercih edilmektedir. Bu sebeple ısı pompası sisteminin kullanım amacına bağlı olarak etkili bir sıcaklık kontrolünün sağlayacağı avantajlar vurgulanarak, ilave ısı atıcısının dış hava ile sıcaklık farkını girdi olarak kullanan bir mantık devresi ile kontrol edilmiştir. Yavuzturk vd. [22], benzer şekilde toprak kaynaklı ısı pompalarında soğutma kulesinde sıcaklık ayar noktasını kontrol eden bir strateji geliştirmişlerdir.

Lian [23] su döngüsü ısı pompaları üzerine çalışmasında (i) su döngüsü çevrim pompası kontrolü (ii) su döngüsü sıcaklık kontrolü ve (iii) fan kontrolü tasarımları geliştirmiş ve Nebraska, ABD’de bir okulda yaptığı testlerde ortalama %15 elektrik enerjisi tasarrufu sağlandığını göstermiştir. Bu çalışmada da ayar noktaları belirli mantık akış şeması çerçevesinde değiştirilmiş, herhangi bir dinamik model bazlı kontrol uygulaması geliştirilmemiştir.

Bir diğer çalışmada Ceylan [24] PID kontrol kullanarak kurulan bir ısı pompalı kurutma sisteminde enerji analizi gerçekleştirmiştir. Bu çalışmadaki özgünlük, ısı pompası ile meyve kurutması uygulaması geliştirilmesidir. PID kontrolün sağladığı ısı ve nem kontrolü standart teknikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Özyaman [25] tarafından yapılan güneş enerji destekli ısı pompası ile ısıtma çalışması İzmir'de 120 m² bir mahalde uygulanmış ve yıllık ortalamada % 22 güneş enerjisi desteği sağlanmıştır. Bu çalışmada kolektör pompasının çalışma ve durması, kolektör ve sıcak su depolama tankı sıcaklıklarını mantık devreleri ile kontrol eden otomatik kontrol cihazı ile sağlanmış, kolektörlerdeki sıcaklık ile depo sıcaklığı arasındaki fark 8°C'den fazla ise pompa çalışmaya başlamış, bu fark 4°C'nin altına düştüğünde pompa ile depodan kolektörlere ısı kaybı önlenmiştir. Sıcak su tankı su sıcaklığı, radyatörlerden ısı pompasına dönen su sıcaklığından fazla ise otomatik kontrol cihazı üç yollu vanayı kontrol ederek dönüş suyunu ısı pompası yerine sıcak su depolama tankına yönlendirmiştir.

Sistem eniyilemesi temelli eniyi denetim yaklaşımı bir sistemin parçaları arasındaki dinamik ilişkileri modellemesi ve toplam sistem performansını eniyileyebilmesi açısından AÇ-KAPA, basit mantık devreleri veya PID gibi tekil ekipman kontrolü uygulamalarına ve önceden belirlenmiş ayar noktaları planlamasına göre çok daha avantajlıdır. Bu avantajları vurgulayan çalışmada, Karlsson vd. [26], değişken hızlı kompresör, pompa ve fan kullanarak ve sistem operasyonunu gerçek zamanda eniyileyerek ısı pompalarında enerji verimliliğindeki artışı ortaya koymuştur. Standart AÇ-KAPA kontrol yaklaşımına göre Karlsson'un çalışmasında mevsimsel performans faktörü % 30'a kadar artış göstermiştir.

Eniyileme yönteminin kullanıldığı bir diğer çalışmada Kim vd. [27] proses endüstrisinde kullanılan atık su ve ısı değiştiricisi ağlarının yapısını karma tamsayı doğrusal olmayan programlama yöntemi kullanarak tasarlamışlardır. Bu çalışmada amaç sistemin dinamiklerinin gerçek zamanda kontrolünden ziyade en düşük maliyet tahminine göre sistem tasarımıdır. Yazarlar çalışmalarını bir petrol rafinerisi modeli örneğinde uygulamışlar ve herhangi bir atık su ısı geri kazanımı olmayan duruma göre yaklaşık % 50, atık su ısı geri kazanımı olan ancak tasarımında bütünlük bir sistem eniyilemesi olmayan duruma göre ise %10 maliyet kazancı sağladıklarını belirtmişlerdir.

7. SONUÇ

Gelecek ve sürdürülebilir bir enerji sistemi, yenilenebilir enerji teknolojilerinin artan bir payını gerekli kılmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin ayrı, hibrit (melez) veya entegre kullanımı üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Isı pompaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı çevre dostu teknolojilerin bir parçası olup, gelişmiş ülkelerde yıllardır kullanılmaktadır. Geleneksel sistemlere kıyasla, enerji kullanım verimlerinin yüksek olması nedeniyle, ülkemizde de, kullanımını son yıllarda artmaktadır. Atık su, rejeneratif (yenileyici), çevre dostu, kışın dış havadan daha sıcak ve yazın ise, daha soğuk olan, ilginç, pratik olarak yararlanılabilecek, özellikle her yerde ve gelecekte sürekli mevcut olacak enerji kaynağı olan atık suyun kullanıldığı ısı pompaları için, yenilenebilir bir ısı kaynağı olarak görülmektedir.

Aşağıda, atık su ısı pompalarıyla ilgili bazı hususlar listelenmiştir:

- 1980'li yılların başlarında, atık (kanalizasyon) su ısı pompaları, İsveç ve Norveç gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde yaygın olarak ve Çin'de kısmen uygulanmıştır. Son yirmi yılda, atık su kaynaklı ısı pompası, göreceli daha yüksek enerji kullanım verimi ve çevre koruması yararları sebebiyle, artan bir şekilde popüler olmuştur.
- Atık sudan, bina içinde ısı geri kazanımı (ham atık sudan), atık su kanalı içinde ısı geri kazanımı (ham atık sudan) ve arıtma tesisinde ısı geri kazanımı (arıtılmış atık sudan) olmak üzere, esas itibarıyla üç şekilde yararlanmak mümkündür.
- 2010 yılında anketle araştırılan 2950 belediye bazında, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yapılan bir çalışmada, belediyelerde kişi başına çekilen su 217 L tutarken, kişi başına atık su miktarı 182 L

- idi [9,28]. Ülkemizdeki önemli miktarda atık su deşarjı ve cazip atık su sıcaklıkları nedeniyle, atık suyun içeriği yüksek olup, bu sudan bir ısı pompası için verimli bir kaynak olarak yararlanılabilir.
- d) Şehirlerde çok büyük miktarlarda kanalizasyon suyu üretilmekte ve yıl boyunca neredeyse hiç değişmeyen bir akış bulunmaktadır. Kanalizasyon suyu sıcaklığı, yazın; dış hava sıcaklığından daha düşük, kışın ise; daha yüksektir. Su sıcaklıklarında yıl boyunca çok küçük bir dalgalanma meydana gelmektedir. İzmir ilinde yer alan Çiğli ilçesi için, kanalizasyon suyu sıcaklıklarının yazın 28-29 °C (Ağustos ayı) ve kışın ise, yaklaşık 14 °C olduğu ve yağmurlu günlerde ise bunun 9 °C'ye düştüğü belirtilmiştir [8].
- e) Literatürde, ısı pompalarının güneş enerjisi destekli çalıştırılması ile ilgili çok fazla çalışma vardır. Bu çalışmalarda güneş kolektörü evaporatör olarak kullanılmış olup, güneş enerjisinden elektriksel olarak yararlanan ısı pompası uygulamalarında ise alternatif akımlı kompresör kullanılmış olup arada bir invertör kullanılmıştır.
- f) Atık su ısı değiştiricileri, atık su ısı pompası sisteminin en önemli bileşenlerinden biridir. Açık literatürde atık su ısı değiştiricilerinin analizi ve performansının değerlendirildiği sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Atık su, temiz suya göre farklı özellikler içerdiğinden, kullanılacak malzemeler, kirlilik, kabuklaşma ve kirliliğin giderilmesi üzerine olan özel yayınlar yanında, teorik, deneysel ve sayısal hesaplar üzerine de az sayıda özel yayınlar vardır.
- g) Kontrol stratejileri, bir sistemin kararlı çalışmasını, istenmeyen dış etkilere karşı gürbüz olmasını ve aynı zamanda yüksek performans sergilemesini sağladıkları için sistem tasarımı sürecinde büyük önem taşımaktadırlar. Atık su kaynaklı ısı pompalarında sistem dinamiklerini bütünsel olarak ele alan, proses kontrolü ve enerjetik/ekserjetik parametreler arasındaki etkileşimleri eniyileyen bir kontrol stratejisi geliştirilmesi de büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] YAXIU, G., FANG, J., "Research on the Energy-saving and Heat Transfer Performance of Wastewater Source Heat Pump", APEC conference on low-carbon towns and physical energy storage, 376–81, 2013.
- [2] SCHMID, F., "Sewage Water: Interesting Heat Source for Heat Pumps and Chillers", Swiss Energy Agency for Infrastructure Plants, Zürich, Switzerland.
- [3] ZHOU, WZ., LI, JX., "Sewage Heat Source Pump System's Application Examples and Prospect Analysis in China", International refrigeration and air conditioning conference, 2004.
- [4] GU, Y., DENG, H., "The Feasibility Analysis of Wastewater Source Heat Pump Using the Urban Wastewater Heat", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4,18, 3501-3504, 2012.
- [5] BAEK, NC., SHIN, UC., YOON, JH., "A Study on the Design and Analysis of a Heat Pump Heating System using Wastewater as a Heat Source", Solar Energy, 78, 3, 427–440, 2005.
- [6] BÜYÜKALACA, O., EKİNCİ, F., YILMAZ, T., "Experimental Investigation of Seyhan River and Dam Lake as Heat Source-sink for a Heat Pump", Energy, 29, 157-169, 2003.
- [7] KAHRAMAN, A., ÇELEBİ, A., "Investigation of the Performance of a Heat Pump Using Waste Water as a Heat Source", Energies, 2, 697-713, 2009.
- [8] İŞGENÇ, F., "İzmir'de Atık Su Miktarları", Telefonla Kişisel Görüşme, (Görüşme Tarihi: 25.2.2013).
- [9] TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU, "Belediye Atıksu İstatistikleri 2010", <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10753>, (Erişim Tarihi: 2 Mart 2013).
- [10] TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU, "2014 Yılı Konut Elektrik Birim Fiyatları", <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15922>, (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2015).
- [11] HEPBASLI, A., BIYIK, E., EKREN, O., GUNERHAN, H., ARAZ, M., "A Key Review of Wastewater Source Heat Pump (WWSHP) Systems", Energy Conversion & Management 88:700-722 2014 (DOI: 10.1016/j.enconman.2014.08.065).
- [12] LIU, L., FU, L., JIANG, Y., "Application of an Exhaust Heat Recovery System for Domestic Hot Water", Energy, 35, 3, 1476-1481, 2010.
- [13] LIU, Z., MA, L., ZHANG, J., "Application of a Heat Pump System Using Untreated Urban Sewage as a Heat Source", Applied Thermal Engineering, 62, 747-757, 2014.



- [14] NIEMELA, M., SAARELA, R., “The Wastewater Utilization in Kakola Heat Pump Plant”, http://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2012/10/New_scheme_Finland_Turku.pdf, (Erişim Tarihi: 2 Mayıs 2014).
- [15] MÜLLER, K., “Erfassung des Abwasserwärmepotentials in Kommunen”, http://www.muenchner-fachforen.de/jdownloads/2013/2013_11_12_Fachveranstaltung_Abwasserwaerme/01_mueller_fiw_aachen.pdf (Erişim Tarihi: 06.01.2015).
- [16] Fachzentrum Wärme aus Abwasser Dresden GmbH, “Abwasser-zum Wegwerfen zu Schade?”, http://www.waerme-aus-abwasser.de/cms/media/159_prospekt_abwassernutzung.pdf, (Erişim Tarihi: 06.01.2015)
- [17] Kasag Langnau AG, “Heat Exchanger Solutions to Recover Energy from Water, Sewage and Process Heat”, <http://www.kasag.ch/LinkClick.aspx?fileticket=-d4OomPEvQ%3D&tabid=152&language=en-US>, (Erişim Tarihi: 06.01.2015)
- [18] BIESALSKI, M., Heizen und Kühlen mit Abwasser – Erfahrung, Technik und Wirtschaftlichkeit aus über 45 Projekten, <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energieplanung/pdf/gespraech-waermepumpen3.pdf>, (Erişim Tarihi: 06.01.2015).
- [19] POP, C., “Abwasser und Abfall als kommunale Ressource zur Innovativen Energiegewinnung”, <http://www.straubing-sand.de/fileserver/straubingsand/files/140.pdf>, (Erişim Tarihi: 06.01.2015)
- [20] SHEN, C., JIANG, Y., YAO, Y., WANG, X., “An Experimental Comparison of Two Heat Exchangers Used in Wastewater Source Heat Pump: A Novel Dry-expansion Shell-and-tube Evaporator versus a Conventional Immersed Evaporator”, *Energy*, 47, 600–608, 2012 (doi:10.1016/j.energy.2012.09.043).
- [21] XU, X., “Simulation and Optimal Control of Hybrid Ground Source Heat Pump Systems”, (Doktora Tezi), Oklahoma State University, 2007.
- [22] YAVUZTURK, C., SPITLER, J. D., “Comparative Study to Investigate Operating and Control Strategies for Hybrid Ground Source Heat Pump Systems Using a Short Timestep Simulation Model”, *ASHRAE Transactions*, 106, 2, 192-209, 2000.
- [23] LIAN, X., “Optimized Control Strategies for a Typical Water Loop Heat Pump System (Yüksek Lisans Tezi)”, University of Nebraska – USA, 2011.
- [24] CEYLAN, İ., “Energy Analysis of PID Controlled Heat Pump Dryer. Engineering”, 1, 188-95, 2009.
- [25] OZYAMAN, C., “Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası ile Mahal Isıtma Uygulaması”, *Tesisat Mühendisliği*, 123, 68-75, 2011.
- [26] KARLSSON, F., “Capacity Control of Residential Heat Pump Heating Systems (Doktora Tezi)”, Chalmers University of Technology - Sweden, 2007.
- [27] KIM, J., KIM, J., KIM, J., KIM, C., MOON, I., “A Simultaneous Optimization Approach for the Design of Wastewater and Heat Exchange Networks Based on Cost Estimation”, *Journal of Cleaner Production*, 17, 162-71, 2009.
- [28] TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU., “Belediye Atık Su İstatistikleri 2010”, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10752>, Erişim Tarihi: 2 Mart 2013.

TEŞEKKÜR

Burada sunulan bildiri, “Özgün Güneş Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Destekli Bir Atık su Isı Pompası Sisteminin Tasarımı, Kurulumu ve Deneysel Araştırılması” isimli ve 113M532 no’lu proje kapsamında gerçekleşmiş olup, yazarlar, bu projeye verdikleri finansal destek nedeniyle, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkürü bir borç bilir.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ARAZ

1986 yılında Karaman’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2010 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü bitirdi. 2011 - 2013 yılları arasında

Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Makine Yüksek Mühendisi unvanını aldı. Aynı bölümde doktora eğitimine devam etmekte olup, aynı zamanda Ekim, 2012 itibariyle Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çalışma konuları arasında termodinamik, soğutma ve ısı pompası sistemleri, alternatif soğutucu akışkanlar, termal güneş sistemleri ve binaya entegre fotovoltaik sistemler (BIPV) yer almaktadır.

Oğuzhan ÇULHA

1990 İzmir doğumludur. 2008 yılında Alp Oğuz Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra aynı sene Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği bölümünde eğitime başlamış ve 2013 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimine 2014 yılında Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Termodinamik anabilim dalında başlamış ve devam etmektedir. İlgili alanları ve çalışma konuları ısı transferi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ısı sistemleri ve yenilenebilir enerjidir.

Arif HEPBAŞLI

1958 yılı İzmir doğumlu olup, Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesidir. İzmir Motor Teknik Lisesi ile başlayan ve Makina Mühendisi olarak ilk adımını attığı, 34 yıllık meslek hayatının 10 yılı İzmir'deki değişik firmalarda farklı pozisyonlarda çalışarak geçmiştir. Yurt içi ve dışında değişik üniversitelerde araştırmalarda bulunmuş ve öğretim üyesi olarak yer almıştır. 550 adetten fazla bilimsel yayının (270 adetten fazlası SCI bazında makale ve 129 adedi uluslararası bildiri olmak üzere; h-indeks: 35) yazarı/ortak yazarıdır. Hepbaşlı'nın ilgi alanları; enerji/ekserji verimliliği ve yönetimi, ısı sistemleri enerji, ekserji, eksergoekonomik ve eksergoçevresel analizleri ve değerlendirmeleri, düşük ekserjili ısıtma ve soğutma sistemleri, ısı pompaları, alternatif enerji kaynaklarının potansiyeli ve istatistiksel değerlendirilmesi, sürdürülebilir enerji teknolojileri, boru mühendisliği ve değişik ısı tekniği uygulamalarıdır. Çok sayıda ulusal/uluslararası bilimsel etkinliklerin organizasyonunda yer alan/almakta olan Hepbaşlı, prestijli sekiz derginin Uluslararası Yayın Danışma Kurulu Üyesi ve Journal of Energy Engineering-ASCE'nin Yardımcı Editörü olup, ayrıca, enerjiyle ilgili çok sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. 2014 yılında, Horizon 2020 Programı Enerji Alanı Türkiye delegeesi oldu. Bunun yanı sıra, ulusal ve uluslararası bazda, değişik meslek kuruluşları üyelikleri olup, ilgi alanları çerçevesinde sanayiye de uzun yıllardır danışmanlık hizmeti vermektedir. Evli ve bir kız babası olan Hepbaşlı; İngilizce ve Almanca bilmektedir.

Orhan EKREN

1976 İzmir doğumludur. Lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde 1999 yılında tamamlamıştır. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği'nden yüksek lisans derecesi ile mezun olmuştur. Aynı bölümde, 2000-2003 yılları arasında araştırma görevliliği yapmıştır. 2009 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü Termodinamik anabilim dalından doktor unvanını almıştır. 2011 yılında doktora sonrası araştırma için, Southern Illinois University Makina Mühendisliği bölümünde bir yıl süreyle araştırmacı olarak görev almıştır. 2003-2005 yılları arasında DSİ 21.Bölge Müdürlüğünde kontrol mühendisi olarak görev almıştır. 2005- yılından buyana Ege Üniversitesi'nde öğretim elemanı olarak çalışmaktadır. 2014 mart ayından itibaren Ege Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Doç.Dr. unvanı ile çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hibrid Enerji Sistemleri Boyutlandırması, Soğutma Sistem Kapasitesi Modülasyonu ve Enerji Verimliliği, Enerji Depolama, HVAC&R, Isı Pompası Sistemleri, Alternatif Soğutma Yöntemleri yer almaktadır.

Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında ise, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında



öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012 yılından itibaren aynı bölümde doçent doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

Emrah BIYIK

Emrah Bıyık, Boğaziçi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında lisans derecesini aldıktan sonra, yüksek lisans eğitimine ABD'de devam etmiş ve New York Eyaleti'nde bulunan Rensselaer Polytechnic Enstitüsü'nden 2004 yılında Elektrik Mühendisliği ve 2006 yılında Uygulamalı Matematik Yüksek Lisans derecelerini almıştır. Aynı kurumda Elektrik Mühendisliği alanında doktora çalışmalarını 2007 yılında tamamlamıştır. Sonrasında General Electric firmasının ABD'deki AR-GE merkezinde araştırmacı olarak çalışmış, elektrik şebekeleri ve güç santralleri ile ilgili birçok proje yürütmüştür. Halen Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görevini sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında enerji sistemlerinde kontrol ve optimizasyon, akıllı şebekeler, güç sistemleri ve binalarda enerji optimizasyonu bulunmaktadır.

