

# ENDÜSTRİYEL PROSESLERDE ENERJİ GERİ KAZANIMINDA ISI POMPALARININ KULLANIMI

Ali GÜNGÖR  
Esra KURTULUŞ  
Özay AKDEMİR

## ÖZET

Günümüzde yaygın bir kullanım alanı bulan ısı pompalarının endüstriyel ısı geri kazanımında kullanılması, uygulama tipleri verilmiştir. Kapalı çevrim ısı pompası uygulamaları, hava-hava, hava-su, su-su sistemleri olarak ele alınmıştır. Isı pompalarının açık çevrim ve yarı açık çevrim uygulandığı sistemler üzerinde durulmuştur. Isı geri kazanımı tasarım kuralları verilmiştir. Uygulamalı ısı geri kazanım sistemleri ise, atık ısı geri kazanımı, su çevrimli ısı pompası sistemleri ve dengelenmiş ısı geri kazanımı sistemleri şeklinde başlıklar halinde incelenmiştir.

## 1. GİRİŞ

Isı Pompaları enerjinin düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklık kuyusuna (kaynağına) aktarıldığı düzenekler olup; prensip olarak uzun yıllardan beri bilinmektedir. Isıl enerjinin değişik şekillerinin kullanıldığı soğurmalı ısı pompalarında verim birincil enerjiden itibaren tüm enerji dönüşümlerinin dikkate alınması halinde klasik sistemlerden yüksek olmaktadır. Ayrıca bu tip sistemlerde enerji depolama imkanı bunlara kesikli olarak kullanılabilirliği olan enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde uygulama avantajı sağlamaktadır. Çeşitli adsorbentler ile yapılmış olan teorik ve deneysel çalışmalar adsorpsiyonlu ısı pompalarının özellikle güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısının kullanılabilmesi ve elektrik enerjisinin az kullanıldığı saatlerde depolanarak daha sonra kullanılmasına imkan sağlaması açısından önemini göstermiştir.

Gerek sanayide ve gerekse günlük yaşamda ısıtma ve soğutmanın önemi ve bu amaç ile sarfedilen enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payının yüksekliği, araştırmaların enerji kullanımında verimliliğin artırılmasında ve güneş enerjisinden atık ısıya kadar geniş bir yelpaze içerisinde çeşitli kaynakların değerlendirilmesinde yoğunlaştırılmasına neden olmuştur.

Son yıllarda ülkemizde de adını özellikle konut ısıtma amaçlı olarak sıkça duymaya başladığımız ısı pompası sistemlerinde dış hava, toprak, nehir suyu, göl suyu gibi bir ortam kış şartlarında düşük sıcaklık kaynağı olarak kullanılarak alınan ısı, ısıtılması hedeflenen hacime aktarılmakta; yaz şartlarında ise serinletilmesi hedeflenen hacimden alınan ısı bu sefer yüksek sıcaklık kuyusu olarak görev yapan dış hava, toprak, nehir suyu, göl suyu vb.'ne transfer edilmektedir. Sıcaklık kaynağı veya kuyu olarak kullanılacak ortamın seçilmesi ise iklim şartları, coğrafik yerleşim, ilk yatırım maliyeti gibi pek çok faktöre bağlı olmaktadır.

Carnot, buharlı güç çevriminin ters çalıştırılması ile ısının çevreden alınıp, yüksek sıcaklık bölgesine transfer edilebileceğini farketmiş; ancak, bu prensibe dayanan ısı pompalarının pratikte uygulanabilirliği fikri ilk defa William Thompson (daha sonra Lord Kelvin) tarafından ortaya atılmış (1852); belirgin bir şekilde uygulama alanına girmesi ise II. Dünya Savaşından sonra olmuştur.

Isı Pompaları kullanılan enerji şekline göre elektrik enerjisi ile tahrik edilen ısı pompaları (mekanik ısı pompaları) ve termal enerji ile tahrik edilen ısı pompaları olmak üzere iki ana grupta toplanabilmektedir. Klasik buhar sıkıştırımlı ısı pompaları ilk grup içinde yer almakta olup, birincil enerjinin ( kömür, fuel oil kaynaklı enerji) elektrik enerjisine dönüşüm verimindeki düşüklük elektrik enerjisine dayalı ısı pompalarının toplam veriminde düşüğe ve kısıtlı kullanımına neden olmaktadır. Elektrik enerjisinin ucuz olduğu ülkelerde şehirlerin ısıtma ve serinletmesine yönelik merkezi sistemlerin uygulanmasına karşılık (İsviçre, İsveç, gibi ) yakıt maliyetinin nisbeten düşük olduğu ülkelerde (İngiltere gibi) binaların ısıtılmasında kullanımı oldukça kısıtlıdır. Birincil enerjiden itibaren tüm enerji dönüşümlerinin irdelenmesi halinde; mekanik enerjiye dönüşümde verimin düşük olması nedeni ile, doğrudan doğruya ısı enerjisinden yararlanılan ısı pompaları, özellikle son yıllarda üzerinde geniş çapta araştırma yapılan bir konu haline gelmiştir (Verim elektrikli buhar sıkıştırımlı ısı pompalarında %90-100, içten yanmalı motorla çalışan buhar sıkıştırımlı ısı pompalarında % 150-180; absorpsiyonlu ısı pompalarında %130-150). Termal ısı pompaları arasında yer alan adsorpsiyon ve absorpsiyonlu ısı pompaları bu bağlamda daha avantajlı olmakla birlikte bu tipin çalışma maddesine dayalı farklı sorunları bulunmaktadır.

Günümüz koşullarında konvansiyonel buhar sıkıştırımlı sistemlerin kömür ve diğer yakıtlar ile yeterince rekabet edememesine bağlı kullanım kısıtlılığı, performans katsayılarının artırılması ve atık ısı enerjisinin değerlendirilmesi ile giderilerek , ısı pompaları çok cazip olabilecektir. Diğer taraftan sanayi kuruluşlarında atık ısının değerlendirilme imkanı paralelinde sanayideki işletme maliyetinin düşürülme imkanı ısı pompalarının kullanılma isteğini daha da arttırmaktadır.

## 2. UYGULAMALI ISI POMPASI SİSTEMLERİ

Isı pompası bir kaynaktan aldığı ısıyı daha yüksek sıcaklıktaki bir ısı kuyusuna transfer eder. Bu tanıma göre soğutucu donanımının bütün parçaları, soğutma çevrimli hava şartlandırıcıları ısı pompası olarak düşünülebilir. Ancak mühendislikte ısı pompası terimi soğutma amaçlı çevreden ısı çekme işleminden ziyade özel amaçlar için ısı veren donanımlar için kullanılır. İkili biçimde çalışan ısı pompaları ısıtma veya soğutma için kullanılır. Modern ısı pompalarının çoğu buhar sıkıştırımlı (Geliştirilmiş Rankine) çevrim veya soğurma çevrimi kullanılır. Isı pompası kompresörlerinin çoğu elektrik motorları ile çalışırken kısıtlı ihtiyaçlar için motor ve türbinden güç kullanılabilir. Uygulamalı ısı pompaları genellikle binaların ısıtma ve soğutmasında kullanılırken, günümüzde su ısıtması, havuz ısıtması ve endüstriyel proses ısıtması için kullanım artmaktadır [1].

Çeşitli amaçlar için kullanılan uygulamalı ısı pompalarının kapasiteleri 7 kW ile 44 MW arasında değişmektedir. Bu makinelerin bazılarında 105°C ye kadar sıcaklıkta su çıkışı ve 400 kPa'a varan basınç (manometrik) elde edilir.

Genel su çevrim dolaşımına eklenen çoklu su kaynaklı ısı pompalarını içeren yerinden denetimli su çevrimli ısı pompaları oldukça kullanışlıdır. Bunlar ayrıca yer devreleri, ısı çeviriciler (kule soğutma ve kuru soğutucular), ilave ısıtıcılar (kazanlar ve buharlı ısı değiştiricileri), çevrim iyileştirici ısı pompaları, güneş enerjisi toplayıcı devreler ve termal depoları içerirler. İlk yatırım maliyeti ucuzdur ve bina içine yerleştirilmesi kolaydır. Toplu veya bölgesel ısıtma ve soğutma sistemleri (merkezi ve dağıtılmış ısı pompası sistemlerine dayanan) ekonomik olarak yapılabilir.

### 2.1. Isı Pompası Çevrimleri

Çeşitli tiplerde uygulamalı ısı pompası sistemleri (açık veya kapalı çevrimle çalışan) elde edilebilir. Bazıları HVAC sistemlerinde ısıtma ve soğutma yapabilmek için çevrimlerini ters çevirirken, diğerleri ise HVAC ve endüstriyel proses uygulamaları için ısıtmada kullanılır. Aşağıda dört temel ısı pompası çevrim örnekleri verilmiştir:

1. Kapalı buhar sıkıştırırmalı çevrim (Şekil 1 )

Bu HVAC ve endüstriyel proseslerde kullanılan en genel tiptir. Bu çevrim tek kademeli, birleşik, çok kademeli veya kaskat tipinde olabilir.

2. Isı değiştircili, mekanik buhar yeniden sıkıştırırmalı çevrim (MVR:Mechanical Vapor Recompression) (Şekil 2)

Proses içinde proses buharı yeniden kullanım için gerekli sıcaklık ve basınca sıkıştırılır. Enerji tüketimi minimumdur; çünkü sıcaklıklar proses için en elverişli durumdadır. Bu çevrimin tipik uygulamaları buharlaştırıcılar (Konsentratörler:yoğunlaştırıcılar) ve damıtma sütunları içerir.

3. Buhar yeniden sıkıştırırmalı açık çevrim (Şekil 3)

Bu çevrim için tipik bir uygulama bir çok buhar basınç değerine sahip bir endüstriyel tesiste, istenilenden az seviyedeki basınçta çok aşırı buhara sahip olunmasıdır. Bu tesiste düşük basınçlı buhar sıkıştırılarak, ısı yüksek basınca pompalanır.

4. Isı ile işletilen Rankine çevrimi (Şekil 4)

Bu çevrim büyük miktarlarda atık ısı ve yüksek enerji maliyetleri olan durumlarda oldukça kullanışlıdır.Çevrimin ısı pompası açık veya kapalı olabilir; fakat Rankine çevrimi çoğunlukla kapalı çalışır. Şekil 4 teki uygulamada atık buhar türbinden geçirilerek üretilen mekanik enerji ısı pompasının kompresörünün direkt olarak tahrik edilmesinde kullanılmaktadır.

**Şekil 1.** Kapalı buhar sıkıştırırmalı çevrim [1]

**Şekil 2.** Isı değiştircili, mekanik buhar yeniden sıkıştırırmalı çevrim [1]

**Şekil 3.** Buhar yeniden sıkıştırılmalı açık çevrim [1]**Şekil 4.** Isı ile işletilen Rankine çevrimi [1]**2.2. Isıl Enerji Kaynakları ve Isıl Enerji Kuyuları**

Tablo 1. ısı kaynakları ve ısı kuyuları için gerekli bilgileri içermektedir. Uygun ısı kaynağı ve kuyuları seçimini coğrafi konum, iklim, ilk yatırım maliyeti, kullanılabilirlik ve yapı tipi etkiler. Bu ısı kaynağı tipleri aşağıdaki başlıklarda incelenmiş ve karşılaştırılmalıdır.

- Hava

Açık hava ısı pompaları için çok yaygın kullanılan bir ısı kaynağı ve kuyusudur, daha çok konutsal ve hafif ticari sistemlerde kullanılır. Genişletilmiş yüzeyli ve zorlanmış taşınım ile ısı transfer eden serpantinler, hava ile soğutucu akışkan arasındaki ısı transferini sağlar. Genel olarak açık hava serpantinlerin yüzey alanları, iç serpantin yüzey alanından % 50-100 fazladır. Kullanılan dış hava hacmi, kullanılan iç hava hacminden aynı oranda (%50-100) fazladır. Isıtma sırasında buharlaştırılan soğutucu akışkan sıcaklığı, dış hava sıcaklığından 6-11 K daha azdır.

Hava kaynaklı bir ısı pompası seçerken veya tasarımı yapılırken iki faktör göz önüne alınır:

1. Uygulanacak yerdeki dış hava sıcaklığı,
2. Buz oluşumunun engellenmesi,

Dış hava sıcaklığı azalır ise hava kaynaklı ısı pompasının kapasitesi de düşer. Bu durum hava kaynaklı ısı pompasının dış hava ısıtma sıcaklığı tasarımının, yakacak olarak yakıt kullanan bir sistem tasarımından çok daha zor olmasını sağlar.

Sistem donanımlarının yaz aylarında gereksiz ve aşırı soğutma kapasitesine sahip olmaması ve uygun bir soğutma için yeterli, dengeli bir çalışma noktası için seçilmeleri gereklidir.

Dış hava serpantin yüzey sıcaklığı  $0^{\circ}\text{C}$  veya altında, dış hava kuru termometre sıcaklığı ise bundan 2-5,5 K fazla ise, serpantin yüzeyinde buz oluşabilir. Buzun birikmesi önlenmezse, bu buz oluşumu ısı transferini engeller. Bu sebepten periyodik olarak buzun eritilmesi gerekir. Eritme periyodunu iklim, hava- serpantin tasarımı ve işletme süresi etkiler. Dış hava şartları  $-10^{\circ}\text{C}$  ve %60 bağıl nemden düşükse az miktarda buz eritilir. Rutubetli ortamlarda havada su damlaları bulunursa, buz tortuları oranı psikrometrik teoriyle bulunan değerün üç kat fazlası olur. Bundan sonra 20 dakika kadar az bir süre operasyon ile ısı pompası buzları eritilir. Hava kaynaklı ısı pompası tasarımında buzlanmaya bağlı ısı kaybı kapasitesi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Ticari soğutma pratiklerinde, buz eritme sıklığını azaltmak amacıyla hava kaynaklı ısı pompalarının kanat boşlukları 5-6 mm arasında tutulmuştur. Deneyimler göstermiştir ki etkili sıcak gaz ile buz eritilmesi, daha sık kanat boşluğu, azaltılmış boyut ve hacim olanağı sağlar. Bugünkü pratikte, kanat aralıkları 1,3-2,5 mm arası yapılır.

Birçok kurum ve ticari binada, havanın bir kısmı yıl boyunca devamlı olarak egsoz edilmelidir. Egsoz havası ısı kaynağı olarak kullanılabilir, buna rağmen ilave ısıya genelde ihtiyaç duyulur.

Kapalı yüzme havuzlarındaki yüksek rutubet tavanda, kapılarda, pencerelerde ve yerlerde yoğunlaşmaya sebep olur, bu da seyircilere rahatsızlık verir. Dış hava ve nem alma serpantileri, bir kazandan tekrar ısıtma ile havuz suyunun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Bu uygulama havadan havaya ve havadan suya çalışan ısı pompaları için oldukça uygundur ve enerji giderlerini oldukça azaltır. ısı pompası elemanları klordan oluşabilecek korozyona ve yüksek rutubete karşı dayanıklı malzemelerden seçilmelidir.

- Su

Su tatmin edici bir ısı kaynağıdır. Tablo 1'de suyun özellikleri verilmiştir. Şehir suyu, fiyatı ve belediyelerin kısıtlamaları sonucu nadiren kullanılır. Yer altı suyu (kuyu suyu) ısı kaynağı olarak oldukça çekicidir; bunun sebebi oldukça yüksek ve neredeyse sabit olan sıcaklığıdır. Su sıcaklığı; kaynağın derinliği, iklime ve bölgeye bağlıdır. Ayrıca su kalitesi analiz edilmeli, kireç oluşma ihtimali ve korozyon gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Bazı durumlarda ilave bir ısı değiştiricisi ile kuyu akışkanının teçhizattan ayrılması gerekebilir. Ayrıca özel akışkanlar için filtre işlemleri ve havuz kurulumu gibi konular da göz önüne alınmalıdır. Diğer dikkate alınacak hususlar ise kazı giderleri, borulama, pompalama ve kullanılan suyun tasarrufudur.

Isı değiştiricileri açık havuz, nehir veya derelere daldırılabilir. Akarsu veya durgun su ısı kaynağı olarak kullanılırsa, kış aylarında buharlaştırıcıdaki sıcaklık düşmesi, buzlanmanın önlenmesi için kontrol altında tutulmalıdır.

Endüstriyel uygulamalarda, atık proses suyu (Örneğin çamaşırhanelerin ılık suları, ılık yoğurturucu (kondenser) suları) ısı pompasının çalışması için uygun bir ısı kaynağı olabilir.

Lağım pisliği durgun veya yer altı sularından daha yüksek bir sıcaklığa sahip olduğu için ısı kaynağı olarak kabul edilebilir. Böyle durumlarda temizlenmiş lağım genelde tercih edilir, fakat uygun ısı değiştiricisi dizaynı ile lağım pisliği de kullanılabilir.

Soğutma esnasında su kullanımı ile su soğutmalı yoğurturucuların gelişimi mümkün olmuştur. Sudan soğutucuya ısı değiştiricileri genellikle direk genişlemeli veya su basmalı soğutuculardır ve tipleri gövde ve serpantin veya gövde ve boruludur. Pirinç kaplamalı levhalı ısı değiştiricileri de kullanılabilir. Büyük uygulanmış ısı pompaları sistemlerinde soğutkan yerine genellikle su dolaştırılır.

- Toprak

Toprak geniş suretle gömülü serpantinlerden ısı transferi ile ısı kaynağı ve kuyusu olarak kullanılır. Toprak bileşimi; ıslak kilden kumlu toprağa kadar değişen, sistemin performansı ve termal özellikleri üzerinde ağır basan bir etkiye sahiptir. Topraktaki ısı transferi prosesi zamana bağlı rejimdedir. Isıl difüzyon baskın bir faktör olup yerel toprak bilgileri olmadan belirlenemez. Isıl difüzyon, ısıl iletkenlik katsayısının yoğunluk ve özgül ısı değerinin çarpımına oranıdır. Toprak nemi bileşenleri termal iletimi etkilemektedir.

Üç çeşit birincil tip toprak kaynaklı ısı pompası vardır:

1. Yer altı suyu (Bir önceki bölümde açıklandı)
2. Direk genişlemeli (Topraktan soğutucuya ısı değiştiricisi toprak altına gömülür.)
3. Toprak çiftli (Toprak kaynaklı kapalı çevrim) Burada topraktan suya ve sudan soğutucuya iki ısı değiştiricisi birbirine salamuralı ikinci bir çevrim olarak bağlanır.

Toprak çevrimleri yatay veya düşey olarak yerleştirilebilir. Yatay sistemde, tekli veya çiftli serpantinli ısı değiştiricisi boruları 1-2 m toprağın altında 1-2 m aralıklarda yatay düzlemde gömülürler. Borular daha da derine gömülebilir; fakat kazı masrafları oldukça yüksek olmaktadır. Düşey sistemde ise ortak eksenli (konsantrik) boru veya U-borulu ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompaları ilgili kaynaklarda bulunabilir [7].

- Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi tek başına veya diğer kaynaklarla birlikte kullanılabilir. Hava, yüzey suları, sıg yer altı suları ve yüzeysel toprak kaynaklı sistemler doğrudan olmasada güneş enerjisi kullanırlar. Güneş enerjisini direkt olarak kullanmanın en büyük avantajı diğer sistemlerden daha yüksek sıcaklarda ısı elde edilmesi ve ısıtma etkinlik katsayısının önemli oranda artmasıdır. Isı pompasız güneş enerjili ısıtma ile kıyaslanırsa, kollektör verimi ve kapasitesi daha düşük kollektör sıcaklığına ihtiyaç duyulduğu için artmaktadır.

Güneş kaynaklı ısı genellikle düzlemsel levhalı araştırma ve geliştirilmesinde iki basit sistem incelenir: Direkt ve indirekt. Direkt sistemde genellikle düzlemsel levhalı güneş kollektörüne soğutkan buharlaştırıcı (evaporatör) boruları yerleştirilir. Araştırmalar göstermiştir ki cam örtüsüz düzlemsel levhalarda dış havadan ısı soğurabilir. Aynı yüzey soğutma uygulamalarında kondenser olarak dış havayı ısı kuyusu olarak kullanmayı sağlayabilmektedir.

İndirek sistemde ise güneş kollektöründe su veya hava dolaştırılır. Eğer hava kullanılırsa kollektörün kontrolü:

1. Kollektör dış hava için ön ısıtıcı olarak kullanılabilir.
2. Dış hava çevrimi kapatılabilir, böylece bütün ısının kaynağı güneş olabilir.
3. Kollektörün ısı kaynağı ve kuyusu olarak iş gören dış havayla bağlantısı kesilebilir.

### 2.3. Isı Pompası Tipleri

Isı pompaları şu kriterlere göre sınıflandırılır:

1. Isı kaynağı ve Kuyusu
2. Isıtma ve soğutma dağıtım akışkanı
3. Termodinamik çevrim
4. Bina özellikleri
5. Boyut ve yerleşim
6. Kaynak ve kuyu kısıtlamaları

Şekil 5'de ısıtma ve soğutma için çok rastlanan kapalı buhar sıkıştırma çevrimli ısı pompaları verilmiştir[1].

### 2.3.1. Havadan Havaya Isı Pompaları

Bu tip ısı pompaları en çok rastlanan ve fabrikasyon üretime uygun tekil ısı pompası tipidir. Genelde konutsal ve ticari uygulamalarda kullanılır. Şekil 5'deki ilk diyagram kullanılan soğutma devresinin en tipik örneğidir.

Havadan havaya ısı pompası sistemlerinde şartlandırılacak ortama ısıtılmış veya soğutulmuş hava temini için hava devreleri motorla işletilen veya manuel kullanımlı damperlerle yönlendirilebilir, değiştirilebilir. Bu sistemde ısı değiştirici serpantinlerinden biri her zaman buharlaştırıcı iken diğeri de her zaman için yoğuşturucudur. Soğutma çevrimi boyunca şartlandırılmış hava buharlaştırıcıdan geçerken dış hava ise yoğuşturucudan geçer. Damperlerin konumlandırılması soğutma ve ısıtma işlemi arasındaki geçişi sağlar. Şekil 5 teki ilk şekilde de belirtildiği gibi soğutucu akışkan yönlerinin değiştirilmesiyle de ısı pompası ısıtma ve soğutma modunda çalıştırılabilir.

### 2.3.2. Sudan Havaya Isı Pompaları

Bu ısı pompaları ısı kaynağı ve kuyusu olarak suya bağlı iken şartlandırılmış ortamdan ısı alışverişi için hava kullanır. Şekil 5'deki ikinci diyagram incelenmelidir. Ayrıca aşağıdaki ısı pompaları da bu grupta incelenebilir:

1. *Yeraltı Suyu Isı Pompaları:* Kuyulardaki yeraltı sularını ısı kaynağı veya kuyusu olarak kullanılır. Toprak çiftli ısı pompaları gibi, bu sistemler ısı pompasında yer altı suyunu direkt olarak kullanabildiği gibi kapalı çevrimde aracı akışkanda kullanılabilir.
2. *Yüzey Suyu Isı Pompaları:* Göl, havuz veya nehirlerdeki yüzey sularını ısı kaynağı veya kuyusu olarak kullanır. Aynı toprak çiftli ve yeraltı suyu ısı pompaları gibi suyu direkt olarak kullanılabildiği gibi veya kapalı çevrimde aracı akışkanda kullanılabilir.
3. *İç Kaynaklı Isı Pompaları:* İç kaynaklı ısı pompaları modern yapılarda üretilen yüksek iç soğutma yükünü direkt olarak veya depolandıktan sonra kullanır. Bu tip pompalar su çevrimli ısı pompalarını da içine alır.
4. *Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompaları:* Bu tip pompalar düşük sıcaklıktaki güneş enerjisini ısı kaynağı olarak kullanırlar. Güneş enerjili ısı pompaları güneş kolektörü ve ısıtma soğutma dağıtım sistemi tipine göre sudan havaya veya diğer tip ısı pompalarına benzemektedir.
5. *Atık Su Kaynaklı Isı Pompaları:* Bu tip pompalar ısı kaynağı olarak temiz atık su ısısını veya pis atık suyun ısısını kullanır. Atık su, ısı pompası buharlaştırıcısına filtre işleminden sonra direkt olarak verilebilir veya depolama tankından alınabilir. Bu uygulamaya bağlıdır. Buharlaştırıcı ve atık su kaynağı arasındaki ısı transferi için aracı bir çevrim kullanılabilir.

### 2.3.3. Sudan Suyu Isı Pompaları

Bu tip ısı pompaları ısı kaynağı ve ısıtma soğutma için ısı kuyusu olarak su kullanır. Isıtma soğutma değişimi soğutma devresinde yapıldığı gibi, Şekil 5'deki üçüncü diyagramda görüleceği üzere değişimin su devresinde yapılması daha uygundur. Diyagramda buharlaştırıcıya direk su girişi verilmesine rağmen, bazı durumlarda kapalı soğutulmuş su sisteminin pislenmesinin önüne geçmek için su indirekt olarak bir ısı değiştiricisi (çift duvarlı buharlaştırıcı) üzerinden sisteme giriş yapar. Bir diğer metodu ise kapalı devre yoğuşturucu su sistemini kullanmaktır.

### 2.3.4. Toprak Çiftli Kaynaklı Isı Pompaları

Toprak ısı kaynağı ve kuyusu olarak kullanılır. Isı pompası soğutucudan suya ısı değiştiricisi veya direkt genişlemeli (DX tipi) ısı değiştiricisi kullanır. Bu iki tipte Şekil 5'de gösterilmektedir. Soğutucudan suya ısı değiştiricisi içeren sistemlerde ; su veya antifriz çözeltisi toprağa gömülü yatay, dikey veya serpantinli borulara basılır. Direkt genişlemeli toprak çiftli ısı pompaları yer borusu serpantini için, soğutucu akışkanı direkt genişlemeli, su basmalı veya sirkülasyonlu buharlaştırıcı devrelerinde kullanılır.

Bu metoddaki ısı değişiminin başarısı toprak tipine, nem miktarına, kompozisyonuna, yoğunluğa ve çevre toprağının özelliklerinin değişmez oluşuna bağlıdır. Boruların malzemeleri, boruların konstrüksiyonu, yerel toprağın korozyon değeri ve yer altı suları ısı transferini ve kullanım ömrünü büyük ölçüde etkiler. Bu çevrimde buharlaştırıcıdaki ısının tamamı veya bir kısmı ile Kompresör sıkıştırma (iş) ısı, su soğutmalı yoğuşturucuya transfer edilir. Bu yoğuşturucu ısı hava veya dahili sıcak su ısıtma gibi işlemlerde kullanılabilir.

#### **Bunlara ek olarak aşağıda sözü geçen ısı pompaları da vardır:**

*Değişimsiz Havadan Suyu Isı Pompaları:* Bunlar genel olarak ısı pompası su ısıtıcısı olarak bilinirler.

*Soğuktan Suyu Isı Pompaları:* Bu tipde kaskat (kademeli) yöntemine göre soğutucu akışkan yoğuşturulur. Kaskat yöntemi ile ısı daha yüksek sıcaklığa basılır ve burada su veya herhangi bir sıvıya verilir. Bu tip ısı pompaları neredeyse bütün akışkan ve prosesin soğutulmasında yoğuşturucu ünitesi olarak görev yapar. İlk kullanılan ısı kaynağı yetersiz kalırsa birden fazla ısı kaynağı kullanılabilir.

### **2.4. Endüstriyel Proses Isı Pompaları**

Endüstrideki ısı kazanımı ihtiyacı uygulamalı ısı pompaları için çok çeşitli olanaklar sunmaktadır. İki en genel endüstriyel ısı pompası sistemi kapalı çevrimli ve açık çevrimli ısı pompalarıdır. Fabrika üretimi kapalı çevrim makinaları akışkanları 50°C ile 105°C arası ısıtacak şekilde üretilir. Açık çevrim ve Yarı açık çevrim makinaları düşük seviyede, doymuş ve kızgın buhar üretmek amacıyla üretilir.

Endüstriyel uygulamalarda ısı pompaları genel olarak ortam ısıtma yerine proses ısıtması için kullanılır. Her bir ısı pompası sistemi kendine özel uygulaması için dizayn edilmelidir. Isı pompası boyutu ve çıkış sıcaklığı hava koşulları veya dizayn standartlarından ziyade ekonomik sınırlamalar, çevre şartları veya istenen düzeydeki ürün kalitesi gibi faktörlerden etkilenir. Bu tasarımcıya ekipman seçiminde esneklik sağlar; çünkü buhar gibi daha geleneksel proses ısıtma sistemleri ile birleşik olarak sıkça uygulanır.

#### **2.4.1. Kapalı Çevrim Sistemleri**

Kapalı çevrim sistemleri bir uygun çalışma akışkanını, genellikle sızdırmaz bir sistem içinde bir soğutkan, kullanılır. Bu sistemler soğurma (absorpsiyon) veya buhar sıkıştırma prensibini kullanırlar. Geleneksel olarak buhar sıkıştırma sistemleri istenen sıcaklıkları elde etmek için R-11, R-12, R-113 ve R-114 akışkanlarını kullanırlar. Bu akışkanların kullanım dışı olmaları nedeniyle (Montreal Protokolü) çıkış sıcaklığı ihtiyacı soğutucu akışkanını basınç kısıtlamaları ve makine seçimine ayarlanırsa, buhar sıkıştırmalı sistemlerde R-22 ve R-134a kullanmak doğrudur. Isı, soğutma sistemi ısı değiştiricilerine benzer olan ısı değiştiricileri üzerinden içeri ve dışarı transfer edilir. Kapalı çevrim ısı pompası sistemleri çoğunlukla endüstriyel soğutma çevrimleri ile aynı gruba dahil edilebilir; fakat kapalı çevrim ısı pompası sistemleri yüksek sıcaklıklarda çalışır.

Sistem için seçilen ısı değiştiricileri uluslararası ve yerel kurallara uygun olmalıdır. Örneğin; ABD'de bazı yetkili mahkemeler içme suyu ve soğutucu akışkan arasında çift boru ile ayırım yapılmasını emretmektedir (zehirlenme vb. tehlikeler). Isı değiştiricileri korozyon ve ısı kaynağı ile ısı kuyusu akışkanlarının kötü ortam şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır.



Soğutucu akışkan ve yağ;

1. bileşim maddeleri ile uygun olarak çalışmalı,
2. beklenen çalışma sıcaklıklarında karşılıklı olarak uygun çalışmalıdır.

Ayrıca, soğutucu akışkan ve yağ karışımlarının akışkanlık ve köpürme karakteristiği, donanımın özgül mekanik yük etkisi altındaki yağlama ihtiyacına uygun olmalıdır. Buharlaştırıcı ve yoğuşturuculardaki asıl yağ dönüşü ve ısı transferi göz önüne alınmalıdır. Kapalı çevrim ısı pompası sıkça birtakım faktörlerin seçimini gerekli kılar. Bu bölümde değişik kapalı çevrim sistemleri ve proseslerin seçimi için önemli olan faktörler verilmektedir.

#### **2.4.1.1. Havadan Havaya Isı Pompaları (Nem Alma Isı Pompaları)**

Bu ısı pompaları (Şekil 6) ürünlerin endüstriyel kurutma veya işletme işlemlerinde sıkça kullanılır. Örneğin; kerestelerin kalitesini arttırmak için kurutma işleminde nem almalı kurutucular (kiln) kullanılır. Sıradan buharlı kurutucular ile kıyaslandığında ısı pompası iki büyük fayda sağlar; ürün kalitesinin artırılması ve giderlerin azaltılması. Nem alma işlemi ile kereste daha düşük sıcaklıklarda kurutulabilir, bu da eğrilme, çatlama, ve renk değişiminin engellenmesini sağlar. Sistem odun tipine (sert veya yumuşak) ve istenen kurutma zamanına göre seçilmelidir. Nem alma ısı pompaları tarımsal ürünlerin (kümesçilik, balık, et, tekstil ve diğer ürünler) kurutulmasında da kullanılır.

**Şekil 6.** Nem alma ısı pompası

#### **2.4.1.2. Havadan Suyu Isı Pompaları**

Bu tip pompaların bir diğer ismi de ısı pompası su ısıtıcısıdır. Bu pompalar kapalı çevrim sistemlerinde genellikle birleşik olan özel bir uygulamasıdır. Ülkemizde de küçük tip sıcak-soğuk su üreticilerinin (çay makinası) imalatları gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür ısı pompaları ile ilgili bazı bilgiler "ASHRAE 2000 Systems and Equipment" el kitabı 45. bölümünde bulunabilir.

#### **2.4.1.3. Sudan Suyu Isı Pompaları**

Bu tip ısı pompaları en yaygın endüstriyel uygulama alanına sahiptir. Isı kaynağı olarak soğutma kulesi suyu, dışarı akan akarsuları ve hatta soğuk su toplama sularını kullanabilirler. Dışarı verilen sıcak su, ürün durulama tankları, donanım temizleme suyu sistemleri ve ürün ön ısıtıcılarında rahatlıkla kullanılır. Sudan suya ısı pompaları oldukça basit olabilir (Şekil 7), proses soğutma kulesinden soğurulan ısı başka bir prosesin su ısıtmasında kullanılır. Şekil 7' de ayrıca proses suyunun ön ısıtılması için ısı değiştiricisinin birleştirilmesi gösterilmektedir. Tipik olarak ısı pompası COP'si 4-6 arasında, sistem COP'si 8-15 arasında değişir.

### Şekil 7. Soğutma kuleli ısı pompası [1]

Sudan suya ısı pompası sistemleri oldukça karmaşık olabilir; tekstil boyama ve son işlem tesisi için kullanılan kademeli (kaskat) çevrimli ısı geri kazanımlı ısı pompası sistemleri gibi (Şekil 8). Prosesin dışarı akan sularından geri kazanılan ısı, prosesin birleşim suyunun ön ısıtılmasında kullanılır. Dışarı akan sular keten tiftiği , iplik ve yüksek korozyon etkisine sahip ısı değiştiricisini kirletebilecek kimyasallar gibi maddeler içerebilir. Bu yüzden özel maddeler ve kirlenmeyi önleyici cihazlar başarılı bir tasarım için ısı değiştiricisine dahil edilebilir.

Birçok yiyecek hazırlama tesisinde, süper ısıtıcı veya süper ısıtıcı-yoğunlaştırma birleşiminin kullandığı su miktarından fazla su kullanılmaktadır ve bu sistemlerde rahatlıkla sudan suya ısı pompası kullanılır (Şekil 9). Su soğutmalı yoğuşturucu yüksek basınçlı soğutucu akışkandan duyulur ve gizli ısıyı geri kazanır. Yoğuşturucuda ısıtılan su iki kola ayrılır; bir tanesi sudan suya ısı pompası için ısı kaynağı diğeri de prosese sıcak su temini ve temizleme suyu ön ısıtılması için sağlar. Ön ısıtma suyu depolama tankından gelen sıcak su ile ısı pompası yoğuşturucusunun sıcaklık farkını 11 K civarında sınırlamak için karıştırılır. Bu soğutucu uygulamaları için standart bir örnektir. Isıtılan su, depolama tankına geri basılır ve bu tankın depolama kapasitesi 1,5 ila 5 saat arasındadır; çünkü soğutucu yükü bütün suyun ısıtılması için yetersiz kalabilir, var olan su ısıtıcıları (genellikle buhar) ek ısı temin edilebilir ve böylelikle kullanım noktasındaki proses suyunun sıcaklık kontrolü ile de sağlar.

Mevcut tesis soğutucu sistemlerine ısı geri kazanımı ünitesi eklerken üç büyük faktör göz önüne alınmalıdır:

1. Arzu edilen ısı değiştiricisinden sıcak gaz soğutkanın akışının zorlanması
2. Uzun bir süre diliminde proses ihtiyaçlarının temini sırasında, yeterli ısı kaynağının sağlanması için soğutma prosesinin planlanması
3. Su soğutmalı ,gövde-boru tipi yoğuşturucuların (kondenserlerin), buharlaştırıcı yoğuşturucularla birleştirilmesi

Soğutucu akışkanın yönü iki yoğuşturucu sistemin seri borulanması veya üçlü basınç ayarlama vanaları ile kontrol edilebilir. Üçlü basınç ayarlama vanalarından birincisi sıcak gaz çözdürme (en düşük basınç ayarı), ikincisi geri kazanım sistemine (orta basınç ayarı), üçüncüsü ise buharlaştırıcı yoğuşturucuya (en yüksek basınç ayarı) bağlanır. Basınç ayarlama vanaları iyi bir kontrol sunmasına rağmen mekanik olarak karışık olabilir. Seri borulama basittir; fakat bütün sıcak gazın su soğutmalı yoğuşturucudan geçebilmesi için ihtiyaç duyulan boru tipi pahalıdır. Her bir soğutma yükü, arzu edilen çıkış ve üretim isteklerinin temini için gözden geçirilmelidir. Örneğin; buz oluşumu temizleme süresinin belirlenmesi ve çalışma süresi sonunda patlama donması oluşmaması için sıklığı planlanmalıdır.

### Şekil 8. Isı geri kazanımlı ısı pompası

### Şekil 9. Soğutma ısı geri kazanımı ısı pompası

Çoklu sistem birleştirmelerde, genişletilmiş sistem birleşimlerindeki gibi; eşitleme hatları, sıvı hatları ve alıcılar (receiver) standart soğutma pratiklerine göre tasarlanmalıdır.

#### 2.4.1.4. Proses Akışkanından Proses Akışkanına Isı Pompaları

Bu tip pompalar buhar kompresörüne zarar veren kimyasallar içeren proses akışkanlarının buharlaştırılması, konsantrasyonu, kristallendirilmesi ve damıtılması için uygulanır. Kapalı çevrim buhar kompresör sistemi; buharlaştırıcı sistemde katı ve sıvının ayrılması, damıtma sisteminde iki sıvının ayrılması için kullanılır (Şekil 10). İki sistemden de genel olarak 8-10 arası COP değeri elde edilir ve soğutma kulesinin ortadan kaldırılması (kullanılmaması) için fayda sağlar.

### Şekil 10. Kapalı çevrim buhar sıkıştırma sistemi

Sudan suya, soğutucu akışkandan suya ve diğer akışkandan akışkana sistemler aşağıdaki faydaları içerir:

1. Yakıt kullanımlı su ısıtıcılarından, ısı geri kazanımlı su ısıtıcıya geçiş sayesinde düşük enerji gideri
2. Buhar kaynaklı sisteme göre kazan için su temizleme kimyasallarında azaltılması
3. Azaltılmış kazan yüklerine karşı NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve diğer zararlı kimyasalların azaltılması
4. Katı parçacıkları ayıran su temizleme prosesinin tesirliliğini yükseltmek için dışarı akan sıcaklığın düşmesi
5. Proses çevriminin başlangıcında uygun su için sıcaklığın yükseltilmesi ve buna bağlı olarak üretimin artması. Daha düşük sıcaklıklara başlangıç olarak ihtiyaç duyan prosesler için ön ısıtılmış su dış su ile karıştırılır.
6. Daha yüksek sıcaklıklarda su ile durulamaya bağlı olarak yüksek ürün kalitesi. Daha düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulursa ön ısıtılmış su ile dış su karıştırılabilir.
7. Soğutma kuleleri ve buharlaştırıcı yoğuşturucular için su ve kimyasal tüketimin azaltılması
8. Soğutma basıncı veya soğutma kulesi dönüş sıcaklığının azaltılması için ısı geri kazanımı kullanımı ile daha verimli proses eldesi.
9. Buhar serpantinleri, zorlanmış hava gaz sistemleri ve rezistans ısıtıcılara göre düşük yüzey sıcaklıklarına sahip ısı pompalarında düşük kirlilik birikimine sahip ısı değiştiricileri mevcuttur.
10. Eğer ısı geri kazanımı soğutma basıncı veya soğutma kulesi dönüş sıcaklığını azaltmada kullanılabiliriyorsa daha etkili (verimli) proses soğutması elde edilir.

#### 2.4.2. Açık Çevrim ve Yarı Açık Çevrim Isı Pompası Sistemleri

Bu sistemler buhar sıkıştırması ile kullanılabilir ısı enerjisinin sıcaklığını arttırmak için proses akışkanı kullanılır ve kimyasal soğutucu akışkana olan ihtiyacı yok eder. En önemli uygulama alanı buharı yeniden sıkıştırma. Sıkıştırma ya mekanik bir kompresör ya da istenen düzeydeki yüksek basınçlı buhar ile tahrik edilen termo sıkıştırma pistonu ile yapılır. Bu çeşit sistemler için üç önemli kontrol faktörü; buhar kalitesi, kaynama noktası yüksekliği ve kimyasal katkıdır.

Kazan üretimli proses buharının yeniden sıkıştırılmasında iki büyük uygulama söz konusudur(Şekil11):

1. Hat kayıplarına rağmen mevcut buhar basıncında düşüğe bağlı büyük kolaylık
2. Düşük, orta ve yüksek seviyede buhar ihtiyaçlarında önemli bir denge sağlanması

### Şekil 11. Kazan üretimli proses buharının yeniden sıkıştırılması

Kazan üretimli proses buharı, sıkıştırma donanımının korozyonunu engellemek için temizlik standartlarına uygun olmalıdır. Bu uygulamalar ile enerji giderlerinin değerlendirilmesi ve buhar değerinin tayini karışık olabilir, bu amaçla pinch teknolojisi gibi analitik araçlar kullanılır.

Açık çevrim ısı pompalarının buharlaşma prosesine uygulamaları oldukça önemlidir. Tek etkili buharlaştırıcılar (Şekil 12) küçük hacime sahip su ve ayrıştırılması gereken katı parçalar içeren durumlarda oldukça yaygındır. En sık uygulama alanı gıda ve süt endüstrisinde görülür. Buharlaştırıcının sabit buharı sıkıştırılır ve dolayısıyla ısıtılır ve sistem ısıtıcısına basılır (Calandria). Isı sulandırılmış çözeltiliye transfer edilir ve buharlaştırıcıya basılır. Yoğunluğu fazla olan kısım dibe, buhar ise yüzeye çıkarken buharlaştırıcı girişinde ani buharlaşma (Flashing) etkisi görülür. Sistem COP'si 10-20 ye yükselir ve calandria da daha düşük ürün bulunurken, buharlaştırıcının uzun dönem performansı artar. Çift etkili buharlaştırıcılar (Şekil 13) daha büyük oranlarda; fakat aynı basit kuralları uygular. Bunlar genelde kağıt ve kimya endüstrisinde görülür. Çift etkili buharlaştırıcılar seri veya paralel olarak borulanabilir. Sistem COP' si 30' u aşabilir.

Açık çevrim ısı pompaları uygulamaları damıtma prosesine uygulanabilir (Şekil 14). Fakat kolay tutuşan gaz bileşiklerinin sıkıştırılması tehlikeli olduğundan oldukça büyük dikkat gerektirir. Sabit buharlar yüksek sıcaklık ve basınca sıkıştırıldıktan sonra yeniden kazanda (reboiler) yoğuşturulur. Bu yeniden kazandaki kazan buharına olan ihtiyacı yok eder ve bütün enerji tüketimini azaltır. Yoğuşturulmuş buhar basıncı genişleme vanasında azaldığı için düşük sıcaklıktaki bir kısım akışkan kolona tekrar akış olarak geri döner ve akışkan ile buhar arasında bir denge kurulur. Gerekli ise buhar yeniden çevrime katılabilir. Sistem COP'si 30-40 seviyesine ulaşabilir.

**Şekil 12.** Tek etkili ısı pompası buharlaştırıcısı**Şekil 13.** Çift etkili ısı pompası buharlaştırıcısı**2.4.2.1. Proses Emisyonundan Buhara Isı Pompası Sistemleri**

Bu sistemler düşük basınçlı doymuş veya kızgın buhar ile çalışan pişirme, iyileştirme ve kurutma sistemlerinde kullanılır. Pişirme prosesinin buharı, örneğin eritme ünitesinin, pişirme için gerekli buharın üretilmesi için geri kazanılabilir (Şekil 15). Buhar vidalı kompresör ile sıkıştırılır, bunun nedeni de prosesden buharla uzaklaştırılan yoğunlaşmayan materyalin karşılıklı çalışan veya merkezkaç kompresörleri aşındırması veya zarar vermesidir. Sıkıştırılmış buhar, pişiriciye ısı kaynağı olarak kullanılır ve burada buhar yoğunlaşır. Yoğuşturulan sıvı daha sonra bir ısı değiştiricisi için proses suyu ısıtılmasında kullanılmak üzere sağlanır. Yoğuşmayan materyal genellikle kazanarak temizlenir ya da yakılır ve su tekrar temizlenir veya pis su olarak tahliye edilir.

**Şekil 14.** Damıtmalı ısı pompası sistemi**Şekil 15.** Eritme tesisindeki ısı geri kazanımlı ısı pompası

Bazı proseslerdeki pislikler yarı açık çevrimli ısı pompalarının kullanımına ortam hazırlar (Şekil 16). Bu sistem genelde yeniden kazan (reboiler) olarak adlandırılan ısı değiştiricisine, baca gazlarından ısı geri kazanımı açısından ihtiyaç duyar. Yeniden kazan düşük basınçta buhar üretir ve bu buhar arzu edilen basınç ve sıcaklığa sıkıştırılır. Pislik miktarı fazla ise yerinde temizleme (CIP) (Clean-inplace) sistemi kullanılabilir.

Daha yakın ve daha verimli kapasite kontrolü için kullanılan bu sistemlerde değişken hızlarda işletme özellikle uygulanır. En iyi verimin sağlanması için nominal işletme koşullarının tespit edilmesinde, geçici olarak fazla hızda kullanım ile acil durumlar için ek kapasite de belirlenir. Özel birleşimler, düzenlemeler için ısı pompası kontrolleri ve sistem kontrolleri gereklidir.

### Şekil 16. Tekstil tesisindeki yarı açık çevrimli ısı pompası sistemi

#### 2.5. Isı Geri Kazanımı Tasarım Kuralları

Isı geri kazanımı sistemlerinin tasarımında aşağıda açıklanan genel kurallar kullanılmalıdır:

1. Karışık prosesler için ısı geri kazanımlı ısı pompalarının termodinamik olarak yerleşiminin temininden önce İkinci Yasa, Pinch Teknolojisi veya diğer termodinamik analiz metotları kullanılmalıdır.
2. İlk yük şartlarına göre dizayn yapılmalı. Isı geri kazanım sistemleri azaltılmış çalışma giderlerine uygun olarak tasarlanır. Daha iyi bir sistem dengesi için proses planlama ve termal depolama (genellikle sıcak su) uygulanabilir. Elde bulunan su ısıtma sistemleri azami yük periyotları ve daha iyi sıcaklık kontrolü için uygulanabilir.
3. Öncelikle ısı değiştirilmeli, daha sonra pompalanmalıdır. Sisteme termal iş sağlamak için ısı değiştiricisi gerekli ise kullanılmalıdır. Isı kaynağı akışının ek soğutuma veya ısı kuyusu akışının ek ısıtılmasına ihtiyaç varsa ısı pompası sisteme dahil edilir.
4. Isı pompasının, tasarımdan kaynaklanan problemleri çözmesi beklenmelidir. Dengelenmemiş soğutma sistemi gibi bir sorunun çözümünde sisteme ısı pompası eklenmesi sorunu şiddetlendirir.
5. Isı değiştiricisi sistemi ile ısı pompası sistemi arasında kapsamlı bir karşılaştırma yapılmalı. Isı değiştiricisinin yalnız olarak kıyaslanmasında, ısı pompası sistemi ek olarak ilk yatırım ve işletme maliyeti açısından oldukça pahalıdır. Eğer,ekonomik olarak mümkün ısı değiştirici kullanılabilecekse ısı pompası sisteminin ön ucuna yerleştirilmelidir.
6. Isı pompası sistemi ile kaybolan ısının maliyeti değerlendirilmeli. Kazan işletmesi değiştirilmezse ya da kazanın verimi düşerse, ısı pompası ekonomik olmaktan çıkar.
7. Yakıt kullanan standart sistemler ve endüstride yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricisi sistemleri ısı pompası tasarımından önce araştırılmalıdır.
8. Geniş bir zaman diliminde ısı kaynağı ve ısı kuyusunun akış ve sıcaklık profili ölçülmelidir. Bu bilgiler sistemin ihtiyaçlarının ve ekonomisinin olduğundan fazla görünmesini engeller.
9. Sistemin kullanılabilirliğini ve termal ihtiyaçlarını etkileyebilecek ilerdeki proses değişiklikleri şimdiden araştırılmalıdır. Tesisin soğuk su temizleme sistemine veya daha düşük sıcaklıklardaki daha az akışkan kullanan prosese dönüşmesi için gerekli olan şartlar belirlenmelidir.
10. Sistem, tesis çalıştırıcılarına (operatörlere) kolaylık sağlayacak şekilde tasarlanmalı. Elle kontrole karşı otomatik kontrol iyice incelenmelidir.



11. Her hangi bir proses akışının kullanılması sırasında gerekli olabilecek malzeme özellikleri belirlenmelidir. Bileşimi bilinmeyen herhangi bir akışın kimyasal analizi önceden yapılmalıdır.
12. Cihaz sağlayıcıların çevre koşulları ve cihazlarda beklenen yük gereksinimleri konusunda bilgilendirilmesi gereklidir.

### 3. SANAYİDE ISI POMPALARI

Bazı üretim proseslerindeki düşük sıcaklık ısı kayıpları, ısı pompası kullanımı ile faydalı enerjiye dönüştürülebilir. Üstelik, enerji veriminin iyileştirilmesinde, ısı pompalarının yatırım ve integrasyonu göz önüne alınmalıdır. Endüstriyel iç enerji sistemlerinde ısı pompasının integrasyonuna karar vermek için; ısı pompası karakteristiklerini göz önüne alan çalışma metodu analizi yapılmalıdır. Proses endüstrisinde enerji geri kazanımı için integral prosesi terimi kullanılır. Proses integrasyonunun amacı verilen herhangi bir proses için sistematik termodinamik analiz kullanarak, minimum fayda ihtiyaçlarını ve minimum istenen ısı transfer alanı saptamaktır.

Isı pompalarının ısı değişimi net işinin optimizasyonu, pinch teknolojisi ve kullanımla ilgili kompozit eğrilerin şekline bağlı araştırmaları önemlidir. Bu değerlendirme [2]'de gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmada endüstride ısı pompasının kullanım kritiği olarak aşağıdaki belirlemelere ulaşılmıştır. Bir başka araştırmada ise [3,10] çalışma dinamiği analizi ile endüstrideki ısı pompaları incelenmektedir.

#### 3.1 Endüstride Isı Pompası İntegrasyonunun Kritiği

Endüstriyel iç enerji sistemlerinde kullanılan ısı pompasının en temel kriteri, konvansiyonel sisteme kıyasla düşük ısı enerjisi giderini başarmasıdır. Pratik olarak bunun başarılması için;

- Isı prosesi integrasyonunda ısı kaynağı ve kuyusu yeterli oranda olmalıdır
- Isı kaynağı ve kuyusu arasındaki sıcaklık farkı tatmin edici olmalıdır.
- Elektrik/ısı fiyatı oranı düşük olmalı
- Senede çalışma saatleri yüksek olmalı
- Elektrik enerjisi tüketimine bağlı verimli çalışma rejimi saptanmalıdır.

Atık ısı kaynağının kullanılabilirliği ve akış sıcaklığındaki ısıya olan talep, ısı pompası kullanıma sebep hazırlar. Isı kaynağının değiştirilmesinin etkileri, günlük, haftalık , aylık ve sezonluk düşük sıcaklık ısısına olan ihtiyaç analiz edilmelidir. Isı pompasının pozitif ekonomik koşullar altında çalışması altında yapılan değerlendirmeler COP değerinin ve çalışma zamanının yüksek olması gerektiğini gösterir. Elektrikli kompresörlü ısı pompalarının kullanımı oldukça kabul görmektedir, bu yüzden pik elektrik ihtiyacına erişmekten sakınmalıdır. Ayrıca görülmüştür ki, diğer kaynaklar (yakıt , gaz vs ) kullanılarak üretilen ısının maliyeti ısı pompası kullanımı ile elde edilen ısının maliyetinden fazladır. Isı pompası çalışmasının geliştirilmesi için iki veya daha fazla ısı pompasının seri olarak bağlanması ile başarılı ve böylece Lorenz prosesine (Şekil 17) yaklaşılmış olunmaktadır [3,11].

Şekil 17. Lorenz çevrimi

## 4. UYGULAMALI ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

### 4.1. Atık Isı Geri Kazanımı

Birçok büyük binada iç ısı kazancı bütün bir yıl boyunca soğuk su üreticilerin (chiller) çalışmasını gerektirir. Soğutma yoğunlaşma suyu genellikle soğutma kulesi tarafından atılır. Şekil 18'de soğutma kulesinden dışarı atılmadan önce, soğutucu yoğuşturucusundan gelen su hattına kurulan bir ısı geri kazanım sistemi görülmektedir. Bu uygulamada ortam ısıtma, yeniden ısıtma ve ev için su ısıtması için gerekli olan yüksek sıcaklıkta ısı temin etmek için atık ısı kullanılır.

**Şekil 18.** Isı geri kazanımlı ısı pompası

**Şekil 19.** Çift paketli yoğuşturuculu ısı geri kazanımı

İhtiyatlı bir tasarım için soğutmalı birleştirilmiş (kademeli kaskat) sistemler paralel veya seri olarak bağlanır. Geniş bir yük aralığı ve sıcaklık ihtiyaçlarını karşılamak üzere alışıla gelmiş elemanlar kullanılabilir. Bu uygulamada karşılıklı veya santrifüj kompresörle çalışan çift boru demetli yoğuşturucu genelde kullanılır. Şekil 19 bu sistemin basit bir yerleşimini gösterir, bu sistemde 40 ile 50° C aralığında ısı elde edilebilir. Ilık su, ısı pompasının ikinci fonksiyonu olarak elde edilir ve ısı geri kazanımı olarak belirtilir.

Şekil 20 benzer bir çevrimdir, yalnız sisteme bir depolama tankı eklenir. Tankta depolanan suyun sıcaklığı artırılarak sistemin çalışma saatleri boyunca ısı depolanmasına olanak verir. Çalışma saatleri dışında ise tanktaki su azar azar buharlaştırıcıya verilerek, sistemin kapalı olduğu saatler boyunca binanın ısıtılması için gerekli kompresör ve yoğuşturucu yükü sağlanmış olur.

Şekil 21'de iki soğutucu sistem birleştirilerek, 55-60°C'ye veya daha ılık suyun üretilmesini sağlayan ısı transfer sistemi görülmektedir. Bu yerleşimde I nolu makine sadece soğuk su üretici (chiller), II nolu makine ise yalnızca ısıtma amaçlı ısı pompası olarak verilmektedir.

Modern çok katlı bir ofisin ısı geri kazanımının büyüklüğü Şekil 22, 23 ve 24'de verilmektedir. Şekil 22 ve 23 çalışma dönemleri boyunca iç ve dış bölgelerdeki net ısı kaybı ve iç ısı kazancını gösterir. Şekil 24'de ise geri kazanım için kullanılabilir toplam ısı miktarı verilmiştir. İç bölgelerden geri kazanılan ısı, dış bölgelerin ısı ihtiyacının bir kısmının veya tamamının karşılanması için kullanılabilir. Geri kazanılan fazla ısı termal depoya çevrilip, çalışma saatleri dışındaki ihtiyaçların karşılanması için harcanabilir. Çalışma periyodu sırasında bu varsayılan bina için -5°C veya üstü dış hava sıcaklıklarında, dış ısı kaynağı veya ilave ısıya ihtiyaç yoktur.

Bağıl performans genel durumları göstermek için bu şekillerde işaretlenmiştir. Tabii ki, her binanın kendine özgü koşulları mevcuttur ve şekillerdeki binaların değerleri ile farklılık gösterebilir.

**Şekil 20.** Depolama tanklı ısı geri kazanımı

**Şekil 21.** Birleştirilmiş ısı transfer sistemi

**Şekil 22.** Çalışma zamanı boyunca dış bölgelerdeki ısı kazancı veya kaybı

**Şekil 23.** Çalışma zamanı boyunca iç bölgelerdeki ısı kazancı veya kaybı

#### 4.2. Su Çevrimli Isı Pompası Sistemleri (WLHP)

Su çevrimli ısı pompası sistemi çoklu sudan havaya ısı pompası sistemlerinin yük transferi özelliklerini birleştirmektedir (Şekil 25). Her bölge veya ortam, bir yada birden fazla sudan havaya ısı pompası içerir. Her iki durumdaki üniteler, binanın iç (çekirdek) ve dış alanlarını (perimeter) sıradan çift borulu sistemle hidrolik olarak birleştirilir. Her bir ünite, özel bölgelere hava sağlanarak ve bütünleyici yoğuşturucu kullanarak ısının iki borulu sisteme atılması sayesinde, kendi kendine soğutulur. Çift borulu sistem ile toplanan fazla ısı, genel bir ısı atma devresi ile atılır. Bu devre genelde bütünleyici püskürtme pompası içeren kapalı devreli buharlaştırıcı (evaporatif) soğutma kulesi ihtiva eder. Eğer bazı bölgeler, özellikle binanın kuzey kısmının ısıya ihtiyacı olursa, özel üniteler (soğutucu akışkanı ters akışa yönelten vanalar) soğutma çevrimine katılır. Bu üniteler yüksek sıcaklıktaki kaynaktan, çift borulu su çevriminden ısı çeker, bu tamamen veya kısmen diğer bölgelerin ısıtılmasını sağlayan ünitelerin yoğuşturucularından dışarı atılan ısı ile sağlanır. Eğer sadece ısıtmaya ihtiyaç varsa, bütün üniteler ısıtma çevrimiyle çalışır ve bu nedenle çevrim sıcaklığının korunması için bir dış ısı kaynağının çevrime dahil edilmesi gerekir. Su çevrimi sıcaklığı genelde 16-32 °C aralığında tutulmaktadır ve bu nedenle, nadiren boru yalıtımı gerekir.

**Şekil 24.** Çalışma zamanı boyunca geri kazanım için uygun iç ısı

İstenilen sayıda sudan havaya ısı pompası böyle sistemlerde kurulabilir. Su, kapalı çevrim üzerinden her bir üniteye dolaşır. Su devresi genellikle iki sirkülasyon pompası içerir (bir pompanın karşılama oranı %100'dür), buda çevrime ve çevrimden dışarı ısı ekleme ve atımına imkan sağlar. Her bir pompa, her bir bölgedeki konfor seviyesinin korunması için ısıtma veya soğutma yapabilir.

Isıtma durumunda çalışan üniteler dolaşan sudan ısı çekerken, soğutma durumunda çalışan üniteler ısıyı suya geri çevirir. Bundan dolayı sistem istenilen yerde ısıyı geri çevirir ve yeniden dağıtır. Hava kaynaklı ısı pompalarının aksine bu sistemin ısıtma verimi dış hava sıcaklığına bağlı değildir. Su çevrimi atılan ısıyı iletir fakat ikinci bir ısı kaynağı (tipik olarak bir kazan) genelde temin edilir.

Bir diğer su çevrimli ısı pompası sistemi ısı kaynağı ve kuyusu olarak toprağa gömülü serpantinler kullanılır. Bu sistemlerde dolaşan suyun uygun sıcaklık değerleri arasında olması için konvansiyonel sistemle kazan ve soğutma kulesinin birleştirilmesine gerek yoktur. Yine de, toprak kaynaklı ısı pompaları düşük su giriş sıcaklıklarında (antifriz karışımı) çalışabilir. Bazı uygulamalar  $-4^{\circ}\text{C}$  ile  $44^{\circ}\text{C}$  arasında değişen su sıcaklıklarına izin veren ısı pompalarını gerektirebilir. Hava şartlandırmanın gerekli olduğu iklimlerde, tüm tesisat giderlerini azaltmak amacıyla bazen soğutma kulesi, toprak kaynaklı ısı pompalarıyla birleştirilir.

Şekil 26'da ise depolama tankı ve güneş kolektörleri içeren bir sistem gösterilmektedir. Çalışma saatleri boyunca yoğunlaştırıcı devresindeki depolama tankı fazla ısıyı depolar ve çalışma saatleri dışında çevrime ısı sağlamış olur. Tanktan ısı depolama ve çekme işlemi sırasında yoğunlaştırıcı sistemin izin verdiği sıcaklıklar dahilinde güneş enerjisi sisteme dahil edilebilir. Bu koşullar altında sıcaklık aralıkları içerdiği için güneş kolektörleri daha etkili ve verimli olur.

Daha fazla ısı kazanımı için ısı geri çevrim devresinden önce kapalı su çevrimine sudan suya ısı pompası eklenebilir. Bu ısı pompası konutsal sıcak su sağlamak veya depolama tankındaki çevrim su sıcaklığının yükseltilmesi için kullanılır. Böylece ısıtma çevriminde ihtiyaç olduğu zaman su çevrime geri akıtılabilir (Şekil 27).

**Şekil 25.** Kapalı çevrimde sudan havaya ısı pompaları kullanan ısı geri kazanım sistemi

### Şekil 26. Güneş kollektörlü ve termal depolu kapalı çevrim ısı pompası sistemi

### Şekil 27. İkincil ısı geri kazanımı

Bazı durumlarda büyük soğutma yüklerine (örneğin; iç bölgeler (zonlar), ışıklar, insanlar, iş makineleri, bilgisayarlar, elektrik tertibatı ve üretim makineleri) ihtiyaç duyulur, buda çalışma saatleri boyunca yani yılın büyük bir kısmında çevrim ısı geri kazanımıyla sonuçlanır. Bu atık ısı geri kazanımı genelde dışardan elde edilen enerjiyi ısı olarak kullanan diğer ısıtma yükleri (havalandırma, yeniden ısıtma ve konutsal sıcak su v.s.) sisteme dahil edildiğinde ortaya çıkar. Sistem tasarımına ikinci bir sudan suya ısı pompası dahil edildiğinde, ekonomik olarak ilave dengeli ısı geri kazanımına ulaşılır. İkinci ısı pompası geri çevrilen ısının geri kazanılmasında etkili bir biçimde kullanılır, sıcaklığını yükseltir ve elde edilen enerjinin tüketimini minimize ederek diğer ısıtma yüklerine hizmet etmek için kullanılır.

Bir başka su çevrimli ısı pompası sisteminde, binanın pülverizatör (sprinkler) sistemi, çevrim su dağıtma sisteminin bir parçası olarak kullanılır. Bu bölümde tanımlanan sistemlerin bazı halleri özeldir ve uygunluk araştırması yapılmadan herhangi bir sistemde kullanılamaz.

#### 4.3. Tasarım Koşulları

Su çevrimli ısı pompası sistemleri çok odalı binaların birçoğunda kullanılır. En sık görülen uygulamalarından biri de iç bölgelerden kazanılan ısının kış ayları boyunca çevreye yeniden dağıtıldığı ofis binalarıdır. Diğer uygulama alanları ise oteller, moteller, okullar, apartmanlar, hastaneler ve üretim faaliyetleridir. Uygulamalar içinde eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma isteklerini karşıladığı için en uygun çalışma gideri olan bu sistemlerdir.

#### 4.3.1. Bölgeleme (zonlama)

Su çevrimli ısı pompası sistemleri üstün zonlama sahiptir. Minimum kanal değişiklikleri ile gelecekte meydana gelebilecek yer değişikliklerine olanak sağlar. Bu da donanımın bölgesel olarak yer değiştirilmesiyle mümkün olur. Bazı sistemler çevre bölgeleri ve tavan için ısı pompaları kullanılır, yalnızca soğutma üniteleri ise iç bölgeler için kullanılır ve bütün bu üniteler aynı çevrimli su devresiyle bağlantılıdır.

#### 4.3.2. Isı Geri Kazanımı ve Depolanması

Su çevrimli ısı pompası sistemleri ısı depolanması için oldukça uygundur. Çeşitli binalar, mesela okullar, kış aylarının bir çok gününde soğuk ve geceleri sıcak olduğu için ısı depolamaya oldukça uygundur. Su, kapalı çevrim içinde kazandan önce büyük bir tank içinde depolanabilir. Bu uygulamada, çevrim sıcaklığı gün boyunca 32°C' ye kadar artırılabilir. 32°C' de depolanmış olan su çalışma saatleri dışında binadaki ısının korunması için kullanılabilir. Bu esnada çevrim sıcaklığı 16°C'ye kadar düşebilir. Su ısıtıcısı (veya kazan) çevrim sıcaklığı tamamen 16°C olmadan kullanılmamalıdır. Depolama tankı ısı birleşimi veya ısı geri dönüşü olmadığı zaman çalışma süresini uzatmak için kullanılır.

#### 4.3.3. Gizli Birimler

Tavana kurulmuş olan teçhizatlar bakım kolaylığı, servis filtreleri, kontrol panelleri ve kompresörler içermelidir. Uygun ,yoğuşan su boşaltma sistemi (drenaj) sağlanmalıdır.

#### 4.3.4. Havalandırma

Havalandırma için dış hava :

- I ) havalandırma sağlama sisteminden ünitelere kanallanmalı
- II )özel ünitelere bir damper aracılığıyla çekilmeli

Yeterli düzeyde çalışma için su kaynaklı ısı pompasına giriş yapan hava sıcaklığı 16<sup>0</sup> C 'den yüksek olmalıdır. Soğuk iklimlerde, havalandırma için kullanılan hava önceden ısıtılmalıdır. Özel üniteler için hazırlanan hava miktarı, baca etkisi, rüzgar ve dengeleme güçlüklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

#### 4.3.5. İkincil Isı Kaynağı

İkincil ısı kaynağı olarak elektrik, gaz, toprak, güneş enerjisi veya atık ısı kullanılabilir. Normal olarak su ısıtıcısı veya kazan kullanılırken özel ısı pompalarında elektrik rezistans ısıtı uygun kontroller yardımıyla kullanılabilir. Elektrikli ısıtıcılara minimum 16°C'ye ulaşıldığında sistemi kontrol eden termostat dahil edilebilir.

Elektrik kazanı 16°C'de çıkış su sıcaklığını denetleyebildiği için doğrudan çevrimde kullanılır. Gaz yakmalı veya yağ yakmalı yanma kazanı, ısıyı çevrime transfer edecek bir ısı değiştiricisi ile kullanılırken, kullanılan kazanın tipine bağlı olarak çevrime katılan sıcak suyun karıştırılmasını sağlayan ayarlama vanası sisteme eklenir.

Toprak veya güneş enerjisi ikincil ısının bir kısmını veya tamamını sağlayabilir. Kollektörlerle sistemde dolaşan su veya antifriz karışımı, ikinci ısı değiştiricisi üzerinden sisteme doğrudan veya indirekt şekilde ısı ekler.

Gece geri ayarlı bir bina ısı pompası tesisat kapasitesine uygun ilave ısıtıcı kazana ihtiyaç duyabilir. Burada bina ısı kaybı önemli değildir. Çünkü sabah ısıtma çevrimi, bina uygun sıcaklığa gelene kadar



en yüksek ısıtma kapasitesinde çalışmak üzere herhangi bir ısı pompasına ihtiyaç duyar. Bu durumda 4,0 COP değerine sahip su kaynaklı ısı pompasına dayanarak, binaya yerleştirilen bütün su kaynaklı ısı pompalarının bütün ısıtma kapasitesinin %75' ini sağlayacak kazan seçilmelidir.

#### 4.3.6. Isı Geri Çevirici (Heat rejector) Seçimi

Kapalı çevrim devresi aynı zamanda bir ısı değiştiricisi olan ısı geri çeviricisi (çevrim suyundan soğutma kulesi suyuna), kapalı çevrim buharlaştırıcı soğutucusu veya yer serpantinlerine ihtiyaç duyar. Isı geri çeviricisi, aşağıda belirtilen kıstaslara göre imalatçının seçim eğrileri ile aşağıdaki parametrelere göre seçilir.

##### a-Su Akış Debileri

Yapımcıların tavsiyelerine göre su akış debileri oranları soğutma kapasitesine göre her kw için 40 ile 50 mL arasında tercih edilmelidir. Düşük yaz dış hava yaş termometre sıcaklığına sahip bölgelerde düşük akış oranları genelde tercih edilmelidir. Daha rutubetli iklimlerde, yüksek akış oranı ısı pompası çıkış sıcaklığında uygun yükselme olmadan ısı geri çeviricisinden ısı pompasına yüksek su sıcaklığı sağlanmasına imkan verir. Bundan dolayı ısı pompalarının performansı azaltılmadan soğutma kulesi veya buharlaştırıcı soğutucunun boyutu ve fiyatı düşürülebilir.

##### b- Su Sıcaklığı Aralığı

Su sıcaklığı aralığı (ısı geri çeviricisinin giriş ve çıkışındaki su sıcaklığının farkı ) ısı pompası soğutma kapasitesi , su akış oranı ve çeşitlilikle değişir. Bu genelde 5 ile 8 K arasındadır.

##### c-Yaklaşım

Yaklaşım, soğutucuyu terk eden su sıcaklığı ile dış havanın yaş termometre sıcaklığı arasındaki farkıdır. Çevrim için sağlanan maksimum su sıcaklığı, tasarım yaş termometre sıcaklığının bir fonksiyonudur.

##### d- Çeşitlilik (Diversity)

Çeşitlilik, binanın maksimum ani soğutma yükünün tesisat soğutma kapasitesine bölümüdür.

$$D=Q_m/Q$$

D= Çeşitlilik

$Q_m$ =Maksimum ani soğutma yükü

Q=Toplam tesisat soğutma kapasitesi

Çeşitlilik ile ortalama ısı pompası aralığının çarpımı toplam sistemin uygulamalı kapasitesini verir. (Sistemdeki bütün ünitelerdeki artış ve ısı geri çeviricisi nedeniyle olan düşüş) yük ihmal edilirse sabit pompalama oranına sahip sistemler için:

$$R_s=D.R_p$$

$R_s$  =Sistem kapasitesi

$R_p$  =Isı pompalarının ortalama kapasitesi

Değişken pompalama oranı ve kompresör işlemi ile ünite üzerindeki ısı akışının başlatılıp, bitirilmesi için kullanılan selenoid vanası ilave edilmiş her bir ısı pompası için

$$R_s \cong R_p$$

Isı pompasını terkeden ortalama su sıcaklığı, ısı geri çeviriciye giren su sıcaklığıdır. Isı geri çeviriciyi terk eden su sıcaklığı ısı pompasına giren su sıcaklığıdır.

#### e.Kış Durumu (Çalışması)

Bütün yıl boyunca soğutma potansiyeline sahip binalar (ofis binaları) için çevrim suyu ısı geri çevirici vasıtasıyla devamlı olarak pompalanmalıdır. Bu kontrol prosedürü donma tehlikesini azaltmaktadır. Bu anlamda ısı kaybını minimize etmek için ısı değiştiricisi kış durumuna uygun çalışmalıdır. Kapalı devre su soğutucusuna en iyi alternatif ayrı bir ısı değiştiricisine sahip açık soğutma kulesidir (Şekil 28).

#### 4.3.7. Kanal Düzeni

Genelde su çevrimli ısı pompası sistemi tavanda gizli ünitelere sahiptir ve tavan alanı geri dönüş basınçlı odası (plenumu) olarak kullanılır. Isı pompasından hava sağlanması sırasında sessiz çalışması tasarlanmalıdır. Kanalla birleştirilmiş ısı pompaları dış statik basınca karşı dayanıklı olmalıdır. Her bir elemanın dayanabileceği maksimum ve minimum dış statik basınçlar, üreticinin tavsiyeleri doğrultusunda göz önünde tutulmalıdır.

#### Şekil 28. Isı değiştiricili soğutma kulesi

#### 4.3.8. Boru Düzeni

Su çevrimli ısı pompaları sistemlerinde ters dönüşlü borulama rahatlıkla kullanılabilir. Bütün üniteler aynı kapasiteye sahip ise bu daha kolay olur. Sistem kollarının her biri dışında dengeleme, bu şekilde minimize edilir. Eğer doğrudan dönüşlü borulama kullanılıyorsa herbir ısı pompasında akışının dengelenmesi gereklidir. Bütün sistemin akışı seri bağlı kazan ve ısı geri çevirici üzerinden dolaşabilir. Su karışımı bütün su çevriminin sabit basınç noktasında elde edilmelidir. Borulama sistemi tasarımı, hava ve su sistemlerinin ikincil su dağıtımıyla oldukça benzerdir.

Su çevrimli ısı pompası sistemlerinde pompalama giderleri oldukça önemlidir; Çünkü sistemdeki yükler oldukça değişkendir ve değişken hızlı pompalama düşünülmelidir. Buda her bir ısı pompasında yalnızca kompresör işlemi sırasında suyun ısı pompası serpantini üzerinden akışına izin veren bir otomatik vana kullanımı gerektirir.

Borulama su kaynaklı ısı pompası sisteminin başarılı performansı için çok önemlidir. Boru tesisat durumunda temiz , yapım sırasında temizliğini korumalı ve tesisat sonrasında ise temizlenmiş ve basınçlı su ile arındırılmış olmalıdır. Geniş ve büyük sistemlerde , sistemin ikinci yolu olarak başlangıç su filtreleri kullanılır.

#### 4.3.9. Kontroller

Su çevrimli ısı pompası sistemi tamamen merkezi sistemlerden daha basit kontrollere sahiptir. Her bir ısı pompası bölge içinde bulunan bir termostat ile kontrol edilir. Sadece iki tane merkezleştirilmiş sıcaklık kontrol noktası vardır. Bunlardan ilki su sıcaklığı belirtilen düşük sıcaklık değerine (genel olarak 16°C ) yaklaştığında sisteme ısı eklerken, ikincisi su sıcaklığı yüksek sıcaklık değerine (genel olarak 32°C) yaklaştığında sistemden ısı çeker.Çıkış su sıcaklığının 16°C civarında tutulabilmesi için kazan kontrollü denetlenmelidir. Çünkü kazan sıcaklığı daha yüksek aralıklarda bulunur. Buharlaştırıcının ısı çekme kapasitesinin soğutucuyu terk eden çevrim su sıcaklığına bağlı olarak azaltıp, artırılmasıyla kontrol edilir. Düşük sıcaklıklarda sistemi çalıştıran ayarlama programı (düşük dış yaş termometre sıcaklıklarından yaralanmak için) çevrim deposundan gelen ısının kullanılmadığı durumlarda enerji tasarrufu sağlar.

Anormal durum uyarıları şöyle çalışır:

- A ) Çevrim sıcaklığı 10°C'ye kadar düştüğünde uyarı başlar. Açık ısı pompası, devreleri 7°C'de kontrol eder.
- B ) Çevrim sıcaklığı 40°C'ye kadar yükseldiğinde uyarı başlar. Açık ısı pompası, devreleri 43°C'de kontrol eder.
- C ) Yetersiz sistem suyu akışının, farkına varılırsa akış anahtarı uyarı başlatır ve ısı pompası kontrol devrelerini açar.

Soğutma kulesi pompasının donma sıcaklıklarında çalışmasını önlemek için dış hava kontrolü sağlanmalıdır.

İsteğe bağlı sistem kontrol uygulamaları:

- A ) Gece yeniden ayarlama kontrolü
- B ) Otomatik ünite başlangıç ve durdurması
- C ) Kızdırma çevrimi
- D ) Pompa alternatör kontrolü

#### 4.4. Su Çevrimli Isı Pompası Sisteminin Avantajları

- İç zonlarda ısı geri kazanımı, gün boyunca soğutma ile elde edilen fazla ısıyı geceleyin kullanmak üzere depolama ve diğer ısıtma kullanımları ile enerji korunumuna fırsat verir.
- Güneş kolektörü veriminin oldukça büyük olduğu durumlarda, düşük akışkan sıcaklıklarında güneş enerjisi geri kazanımına olanak verir.
- Hava soğutmalı yoğuşturucularda ısı geri dönüşünü sağlamak için, binalarda duvar içine işleme gerekli değildir.
- Dağıtılmış çalışma zamanlarında (gece veya hafta sonları) büyük merkezi soğutucu makinasına ihtiyaç olmadan çevresel kontrol sağlar.
- Ünitelerin deniz ve diğer korozyif ortamlardan zarar görmemesi için dış ortama maruz kalmasını önler.
- Hava soğutmalı ısı pompalarından daha yüksek servis ömrüne sahip üniteleri içerir.
- Yoğuşturucu vantilatörlerinin olmadığı ve sıkışma oranı düşük olduğu için gürültü seviyesi hava soğutmalı sisteme kıyasla daha düşüktür.
- İki borulu kazan/su soğutucu (chiller) sistemleri potansiyel olarak bu sisteme kolayca dönüştürülebilir.
- Bir ünite bozulduğunda bütün sistem kapatılmaz. Pompalama kabiliyetinin kaybı, ısı çekme veya ikincil ısıtma sisteminde meydana gelen arızalar bütün sistemi etkileyebilir.
- Isı pompalarında kullanılan enerji her bir devreye dağıtılabilir. Bu dağıtım, merkezi pompa,ısı çekici veya kazan tarafından tüketilen enerjiyi kapsamaz.

- Tesisat gideri, çalışma giderleri ve sistem ömrü göz önüne alındığında merkezi sistemlerle toplam çevrim ömrü gideri kıyaslanabilir.
- Üniteler yerleşim olarak sabit veya değişken olarak tesisatlandırılabilir.

Su Çevrimli Isı Pompası Sistemlerinin Kısıtlamaları:

- Kazan, ısı değiştiricileri, pompalar ve ısı çekiciler için geniş yerleşim alanı gereklidir.
- Çoklu birleşik HVAC ekipmanı kullanan sistemlere göre ilk giderleri fazla olabilir.
- Azaltılmış hava akışı ısı pompasının fazla ısınmasına veya arızalanmasına sebep olabilir. Bu yüzden periyodik filtre bakımı zorunludur.
- Borulama devresinin temizliği sağlanmalıdır.

#### 4.5. Dengelenmiş Isı Geri Kazanım Sistemleri

##### 4.5.1. Tanım

İdeal bir ısı geri kazanım sisteminde, bütün bileşenler dış ısının eklenmesinden önce bütün iç ısının geri kazanılması için yıl boyunca çalışırlar. Fazla ısı ya depolanır yada geri kazanılır. İdealize edilmiş olan bu amaç dengeli ısı geri kazanımı sistemi olarak tanımlanabilir.

Dış hava sıcaklığı önemli derecede düşerse veya bina kapatılırsa (örneğin geceleri ve hafta sonları) iç ısı kazancı ortam ısıtma ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalabilir. Bu durumda dengelenmiş bir sistem ısı deposundan veya bir dış kaynaktan sisteme ısı sağlar. İç ısı tekrar üretilmeye başlandığında, dış ısı kaynağı özel istenen sıcaklığının korunması için otomatik olarak azaltılır. Dengeye ulaşılması için zaman geçmesi gereklidir. Isı depolama özelliğine sahip dengelenmiş bir sistemde ekipman boyutları azaltılıp, dolayısıyla dış ısı kaynağı ihtiyacı azaltılabilir. Değişik dış hava sıcaklıklarındaki dengelenmiş ısı geri kazanımı değerleri, ısı dengesi analizi ile saptanır.

13°C ile 18°C'den daha düşük sıcaklıklardaki dış hava ekonomizer çevrimi ile bina ortamının soğutulmasında kullanılır. Bu soğutma yöntemi göz önüne alındığında, vantilatörler, hava bacaları ve hava kanalları için gerekli olan alan kirleticilerin atılması için gerekli olan yüksek filtre ihtiyaçları ve nemlendiricilerin donma tehlikesi gibi dezavantajlar ile, verimli ısı değişimi ve antifriz akışkanı kullanan çok sıralı serpantin kullanımını gibi avantajlar iyice tartılmalıdır. Isı pompası kurallarının yenilikçi bir yaklaşımla kullanımı hava ekonomizerinden daha fazla önemli enerji tasarrufları ve daha iyi insan konforu sağlanması açısından önemlidir. Her durumda bölge sıcaklıklarının kontrolü için sıcak ve soğuk hava karıştırılmamalıdır, çünkü bu enerjinin atılmasına neden olur.

##### 4.5.2. Isının Yeniden Dağıtımı

Bir çok bina, özellikle bilgisayarlı veya geniş iç hacme sahip olanlar bütün bir sene boyunca kullanılan ısıdan daha fazla ısı üretir. İşletme gideri başa-baş (break even) dış hava sıcaklığında (bina ısı kaybı, iç ısı yüküne eşit olduğunda) sistem sadece ısıtmadan sadece soğutmaya değiştirilirse minimum olur. Eğer ısı gereksiz olarak savrulur veya ortama verilirse değişim sıcaklığı doğal başa-baş sıcaklığından sapor ve bunun sonucu olarak işletme gideri yükselir. Fazla ısı daha sonra dağıtılmak için depolanırsa ısıtma giderleri azaltılır veya yok edilir.

##### 4.5.3. Isı Dengesi Kavramı

Bütün bina projesindeki veya tek bir ortamdaki ideal ısı dengesi kavramı aşağıdaki şartları gerektirir.

- Isı giderilebilmelidir (soğurulmalıdır).
- Isı eklenebilmelidir
- Isı eklemesinin veya giderilmesinin mümkün olmadığı durumlarda, geri kazanılan ısı, sistemin gereksinimi olan ısıyı dengelemelidir.

Yalnızca bir ortama hizmet eden küçük havalandırma şartlandırma projelerinde, termostat talebi ısıtma veya soğutmayı karşılar. Nem kontrolü gerekli değil ise işlem çok basittir. Isıtma ve soğutmanın her ikisinin de kullanılabilir olduğu kabul edilirse otomatik kontrolde termostat her ikisinde sağlamayı gerçekleştirir. Aynı ortamı sistem aynı zamanda ısıtıp soğutamaz.

Çok odalı bazı binaları bazı odaların soğutulması diğerlerinin ısıtılması gerekebilir. En iyi tasarım binayı bir bütün olarak kabul eder ve atık ısıdan aynı zamanda kurtulma gerektiren dış ısıya gerek duyulmadan fazla iç ısıyı bir yerden diğerine transfer eder. Bu durum oluştuğunda ısı dengesi kavramı bozulur.

Nem kontrolü ayrıca ele alınmalıdır. İstenen sıcaklığın sağlanması ve nem kontrolü için herhangi bir sistem yeterli ısıyı eklemeli veya çekmelidir. Yüksek yaş termometre sıcaklığına sahip büyük yüzdelerdeki dış hava, nem kontrolünün belirli tipleri, istenen dengeyi bozabilecek olan yeniden ısıtmaya ihtiyaç duyulabilir. Genelde, nem kontrolü dengeyi bozmayacak şekilde ayarlanabilir. Yeniden ısınma kaçınılmaz ise, kazan gibi dış ısı kaynağı kullanmadan önce ısı geri kazanımıyla içerden transfer edilen ısı kullanılabilir. Yinede, eklenen yeniden ısıtma işlemi etkileri analiz edilmelidir; çünkü bu ısı dengesini etkileyebilir ve değişken iç yük gibi değerlendirilmelidir. Bina ısıya ihtiyaç duyduğunda ve soğutma tesisi kullanılmıyorsa, nem alma işlemine gerek yoktur ve dış hava yeterince kuru olup, herhangi bir iç nem kazancını dengeleyebilir. Bu durum her tasarımda dikkatlice değerlendirilmelidir.

Analitik bir ısı dengesi çalışma örneği [1]'de verilmiştir. Başarılı bir ısı geri kazanım tasarımı yalnızca su soğutma ünitesi (chiller) veya ısı pompasına değil bütün sistemin performansına bağlıdır. Isı geri kazanımı olmayan sistemlere göre dikkatli ve zaman gerektiren bir tasarım analizi gereklidir. Dengelenmiş ısı geri kazanımı kavramı planlama ve tasarım fazlarında dikkate alıp ekonomik yararları ve etkileri ortaya konmalıdır. Genellikle büyük projelerde ısı geri kazanımlı sistemin, olmayan sisteme göre ilk yatırım maliyetlerinde çok az farklılık mevcuttur. Ayrıca enerji giderleri, ömür analizi, dengelenmiş ısı geri kazanımı kullanıldığında dramatik bir tasarruf potansiyeli gösterir.

Çoklu bina komplekslerinde de ısı geri kazanımı uygulaması gerçekleştirilebilir. İncelemeye değer sonuçlara ulaşılabilir.

## SONUÇ

Gerek sanayide ve gerekse günlük yaşamda ısıtma ve soğutmanın önemi ve bu amaçla sarfedilen enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payının yüksekliği, araştırmaların enerji kullanımında verimliliğin artırılmasına ve güneş enerjisinden atık ısıya kadar geniş bir yelpaze içerisinde çeşitli kaynakların değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Bu çalışmada günümüzde yaygın bir kullanım alanı bulan ısı pompalarının endüstriyel ısı geri kazanımında kullanılması, uygulama tipleri verilmiştir. Kapalı çevrim ısı pompası uygulamaları, hava-hava, hava-su, su-su sistemleri olarak ele alınmıştır. Isı pompalarının açık çevrim ve yarı açık çevrim uygulandığı sistemler üzerinde durularak ısı geri kazanım tasarım kuralları verilmiştir. Uygulamalı ısı geri kazanım sistemleri ise, atık ısı geri kazanımı, su çevrimli ısı pompası sistemleri ve dengelenmiş ısı geri kazanımı sistemleri şeklinde başlıklar halinde incelenmiştir. Bu tasarım ilkelerinin kullanımı ile birçok endüstriyel kuruluşta şu anki kullanımda veya ilk yatırım aşamalarında ısı pompalarının kullanım olanakları araştırılmalıdır. Ekonomik çözümler olarak bu tür benzeri uygulamaların artırılması başarılı bir enerji yönetiminin gereği olarak dikkate alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Handbook , HVAC Systems and Equipment, 2000.
- [2] WALLIN, E., FRANCK, P.A., BERNTSSON, T., "Heat pumps in industrial processes- An optimization methodology", Heat Recovery Systems & CHP, Vol.10 No:4 pp.437-446, 1990.
- [3] MANSOUR, F., TOMSIC, M., "Heat pumps in industry", Heat Recovery Systems & CHP Vol.14 No:1 pp.51-60, 1993.

- [4] [http://194.178.172.86/reportts/ar\\_23.htm](http://194.178.172.86/reportts/ar_23.htm).
- [5] DOĞAN, V., "Isı geri kazanım ve sudan suya ısı pompası uygulaması", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildirisi.
- [6] KORUN, B., "Su kaynaklı ısı pompası sistemlerine ilişkin genel inceleme", II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildirisi.
- [7] HEPBAŞLI, A., ERTÖZ, Ö., "Geleceğin teknolojisi:Yer kaynaklı ısı pompaları", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildirisi, 1999.
- [8] LANGLEY, B.C., "Heat pump technology systems design, installation and troubleshooting", Prentice Hall, New Jersey 07632, USA, 1989.
- [9] Pietsch, J.A., P.E., "Optimization of loop temperatures in water loop heat pump systems", ASHRAE Tran.Volume 97 Part 2 pp.713-726, 1991.
- [10] LAZZARIN, M., Renato, "Heat Pumps in industry- I.Equipment' Heat Recovery Systems & CHP, Vol.14 No:6 pp.581-597, 1994.
- [11] DEMİRBAŞ, Evrim, "Sanayide ısı pompaları uygulamaları", Bitirme projesi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, 2000.
- [12] KURTULUŞ, Esra, "Isı pompalarının endüstriyel ısı geri kazanımında uygulamaları ve termodinamik analizi", Bitirme projesi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, 2001.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Ali GÜNGÖR

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör ünvanını aldı. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanı ve Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.

### Esra KURTULUŞ

1978 yılı İstanbul doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Aydın'da tamamladı. 1997 yılında Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı ve halen İmalat ve Konstrüksiyon opsiyonunda öğrenim görmektedir.

### Özay AKDEMİR

1975 yılı Ankara doğumludur. 1997 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Yüksek lisans öğrenimini Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Termodinamik bölümünde 2001 yılında tamamlamıştır ve halen aynı üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsünde doktora yapmaktadır. 1998 yılından itibaren Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Termodinamik, enerji, ısı transferi, ısı tekniği konularında çalışmaktadır.