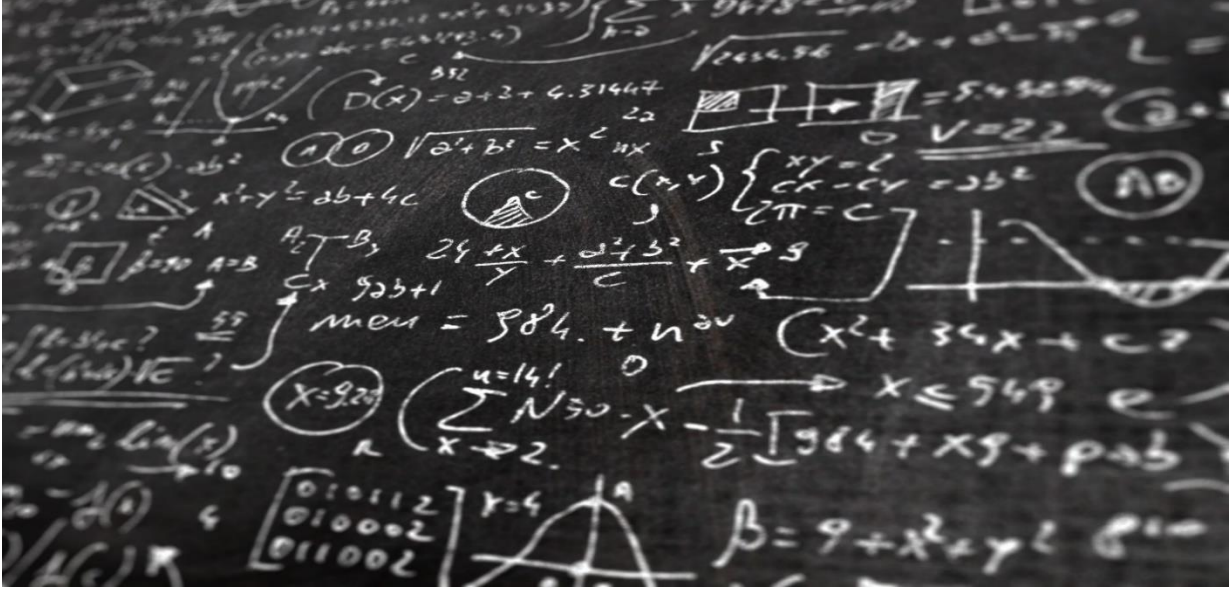


Isı Pompası Kılavuzu



ENERJİ HİZMET ŞİRKETLERİ (ESCOs), ENERJİ ETÜT
FİRMALARI VE ETKB EĞİTMENLERİNİN TEKNİK
KAPASİTELERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNE YÖNELİK
DANIŞMANLIK HİZMETLERİ

MENR/CS-01A



Isı Pompası Kılavuzu

Proje Başlığı

ENERJİ HİZMET ŞİRKETLERİ (ESCOs), ENERJİ ETÜT FİRMALARI VE ETKB EğİTMENLERİNİN TEKNİK KAPASİTELERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNE YÖNELİK DANIŞMANLIK HİZMETLERİ

Sözleşme Numarası

MENR/CS-01A

Proje Başlangıç Tarihi

13 Ağustos 2021

Rapor Tarihi

05 Kasım 2022

İçindekiler

1. GİRİŞ	5
2. ISI POMPASI NEDİR?.....	5
3. KULLANIM ALANLARI	5
4. ISI POMPASI TİPLERİ/ÇEŞİTLERİ/TÜRLERİ.....	6
4.1 Çalışma prensiplerine Göre Isı Pompaları	6
Buhar Sıkıştırırmalı Isı Pompaları.....	6
Sorptionlu Isı Pompaları.....	7
Absorbsiyonlu Isı Pompaları.....	7
Adsorbsiyonlu Isı Pompaları.....	7
4.2. Termodinamik Çevrimlere Göre Isı Pompaları	8
Tek Kademeli.....	8
Çift Kademeli	9
Sıralı Kademeli (Kaskad)	10
4.3. Kullanım Sıcaklıklarına Göre Isı Pompaları	10
30-60 °C.....	10
60-90 °C.....	10
90-160 °C.....	11
160-250 °C.....	11
5. KAYNAKLARINA GÖRE ISI POMPALARI.....	11
5.1. Hava.....	11
5.2. Su.....	13
5.3. Toprak	13
Yatay Sistemler.....	17
Uygulama Şekilleri.....	18
Dikey Sistemler.....	19
5.4. Diğer Kaynaklar	21
Atık Isı.....	21
Direkt Soğutucular	21
Proses Atık Enerjisi.....	22

Güneş	22
6. PERFORMANS HESABI	22
6.1. COP Hesabı	22
7. ISI POMPASI VERİMİNİ ETKİYEN FAKTÖRLER	25
7.1. Evaporatör ve Kondenser Basınç Kayıpları	25
7.2. Kompresör Verimi	26
7.3. Yaklaşım Sıcaklığı	27
7.4. Hız Sürücüsü	28
7.5. Çevrim ile Verim Artırma Modelleri	28
Ekonomizer	28
Subcooler	29
8. SEZONSAL VERİM	30
Sezonsal Verim Hesabı	31
9. HANGİ ISI KAYNAĞI SEÇİLMELİDİR?	34
10. UYGULAMA ÖRNEKLERİ	39
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	39
Hava Kaynaklı Isı Pompası	40
Su Kaynaklı Isı Pompası	40
Güneş + Hava	40
Hava Şartlandırma ve Sıcak Su Üretimi	41
Atık Isı Değerlendirme	41
Isıtma + Soğutma	41
Örnek Su Kaynaklı Isı Pompası Analizi;	42
Örnek Hava Kaynaklı Isı Pompası Analizi;	46
11. ISI POMPASIYLA İLGİLİ STANDARTLAR	64
12. ISI POMPASI UYGUNLUK KRİTERLERİ	65

1. GİRİŞ

Bu kılavuz, projenin “Isı Pompaları ile İlgili Materyal Hazırlanması” faaliyeti kapsamında, ısı pompalarının tipleri, çalışma prensibi ve teknolojik uygulanabilirliği doğrultusunda seçimi hususlarında bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır.

Bu kılavuzda aynı zamanda, ısı pompası sistemlerinin temelleri, gruplandırılması, hesaplamalarının basit şekilde nasıl yapıldığı ve verimliliği etkileyen faktörlerin neler olduğu da aktarılmaktadır.

2. ISI POMPASI NEDİR?

Isı pompası, ısı kaynağından aldığı düşük sıcaklıktaki enerjiyi ısı aktarım noktasına yüksek sıcaklıkta veren cihaz olarak tanımlanabilir. Genel çerçeve olarak soğutma sistemleri de ısı pompası olarak görülebilir; ancak enerjinin bir noktadan diğer noktaya aktarılmasının yanı sıra bu yapılan işten fayda sağlanması (çevreye atılmaması) durumunda da ısı pompası ismi kullanımı tercih edilmektedir.

Isı pompalarının ısıtma/soğutma için gereksinim duydukları güç ve harcadıkları enerji uygun şartlar sağlandığında klasik sistemlere göre daha düşüktür. Çalışma şartlarına göre değişken performans değerleri ortaya koyan ısı pompaları yıl içindeki enerji tüketimine göre değerlendirilmelidir.

Isı pompalarının performanslarını ölçmek için COP (Coefficient of Performance) olarak adlandırılan performans katsayısı kullanılır. COP, ısıtma kapasitesinin harcanan güce oranı ile bulunur.

3. KULLANIM ALANLARI

Isı pompaları çok geniş bir alanda hizmet verebilmektedirler. Binalar ve Endüstriyel İşletmeler olarak ikiye ayrılabilir. Binalarda olan ısı pompaları daha yaygın olmakla birlikte sanayide ısı pompalarının kullanımı her geçen gün artmaktadır.

- Binalar
 - Hava şartlandırma
 - Sıcak su üretimi
 - Yıkama ve kurutma (hastane, otel)
- Endüstriyel İşletmeler
 - Isıtma ve soğutma
 - Buhar
 - Atık Isı geri kazanım

- Kurutma, toz üretimi
- Pastörizasyon, pişirme
- Proses sıcak suları

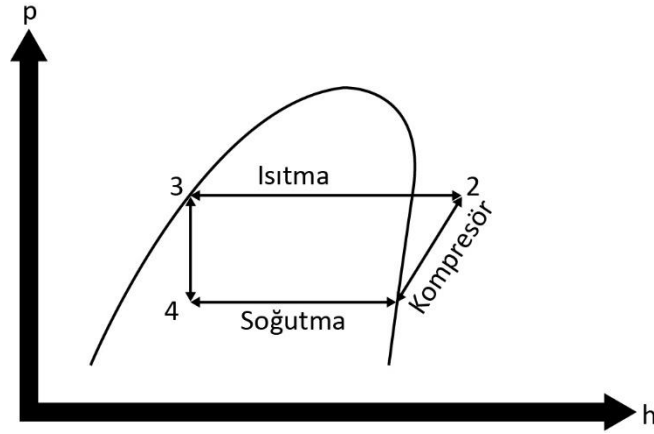
4. ISI POMPASI TIPLERİ/ÇEŞİTLERİ/TÜRLERİ

Isının bir yerden başka bir noktaya taşınması için kullanılan ısı pompaları farklı termodinamik çevrimlerine, teknolojilerine, kaynaklarına, kullanım alanlarına ve çalışma sıcaklıklarına göre çeşitli kategorilere ayrılabilir.

4.1 Çalışma prensiplerine Göre Isı Pompaları

Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Sıklıkla karşılaşılan ve mevcut klimalardaki prensiple çalışan sistemlerdir. Sistemin çalışma prensibi, soğutucu akışkanın buharlaştırılmasına ve basınçlandırıldıktan sonra yoğuşturulmasına dayanmaktadır.



Şekil 1 Ters Rankine Çevrimi / Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompası basınç (p)-entalpi (h) diyagramı

Şekil 1’de gösterildiği üzere, sistem çalışırken sıvı haldeki soğutucu akışkan, ısı kaynağından enerji alarak buharlaşır ve gaz fazına geçer. Gaz haldeki (1) soğutucu akışkan kompresör tarafından basınçlandırıldıktan sonra yüksek basınçlı kızgın gaz (2) olarak kondensere (yoğuşturucu) girer, kondenserde ısını verip yoğuşurken tamamen sıvı olarak (3) kondenserden çıkıp genişleme vanasına girer ve basıncı düşürülen soğutucu akışkan (4) evaporatöre (buharlaştırıcı) girer.

Sorpsiyonlu Isı Pompaları

Maddelerin kimyasal veya fiziksel olarak başka bir madde tarafından tutulmasına ve bu tutulum sırasında kaynama sıcaklığının yükselmesi prensibine dayanarak emilim ile çalışan sistemler mevcut olup bunlar atık ısıların değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Adsorbsiyonlu soğutma sistemleri bu metotla çalışan ve işletmelerde sıklıkla karşılaşılan örneklerdendir. Sistemin asıl enerji kaynağı ısı olduğu içi yapılan ısıtma ve/veya soğutma işlemi için harcanan

$$COP = \frac{\text{Soğutma Kapasitesi}}{\text{Gereken Isıl Güç}}$$

veya

$$COP = \frac{\text{Isıtma Kapasitesi}}{\text{Gereken Isıl Güç}}$$

Absorbsiyonlu Isı Pompaları

Genel olarak çözelti ve çözünme prensibiyle çalışan bu sistemlerde kaynama sıcaklığının yükseltgenmesine odaklanılmaktadır. Yükseltgenen kaynama sıcaklığı sayesinde düşük sıcaklıkta buharlaştırılan soğutucu akışkan herhangi bir basınçlandırma işlemine tabi tutulmadan emilim etkisinden kaynaklı olarak yoğunlaşma enerjisini yüksek sıcaklıkta başka bir noktaya aktarabilmektedir. Genel olarak amonyak – su ve su – lityum bromür çiftleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kullanım alanları, enerji kaynağı olarak ısı enerjisinin yoğun olduğu atık ısı, termal güneş gibi sistemlerin bulunduğu yerler olup genel itibariyle endüstriyel alanlarda veya bölgesel ısıtma sistemlerinde tercih edilebilir. Hem çalışma sıcaklık aralığı hem de performansı adsorpsiyonlu ısı pompası sistemlerine göre daha yüksektir.

Adsorbsiyonlu Isı Pompaları

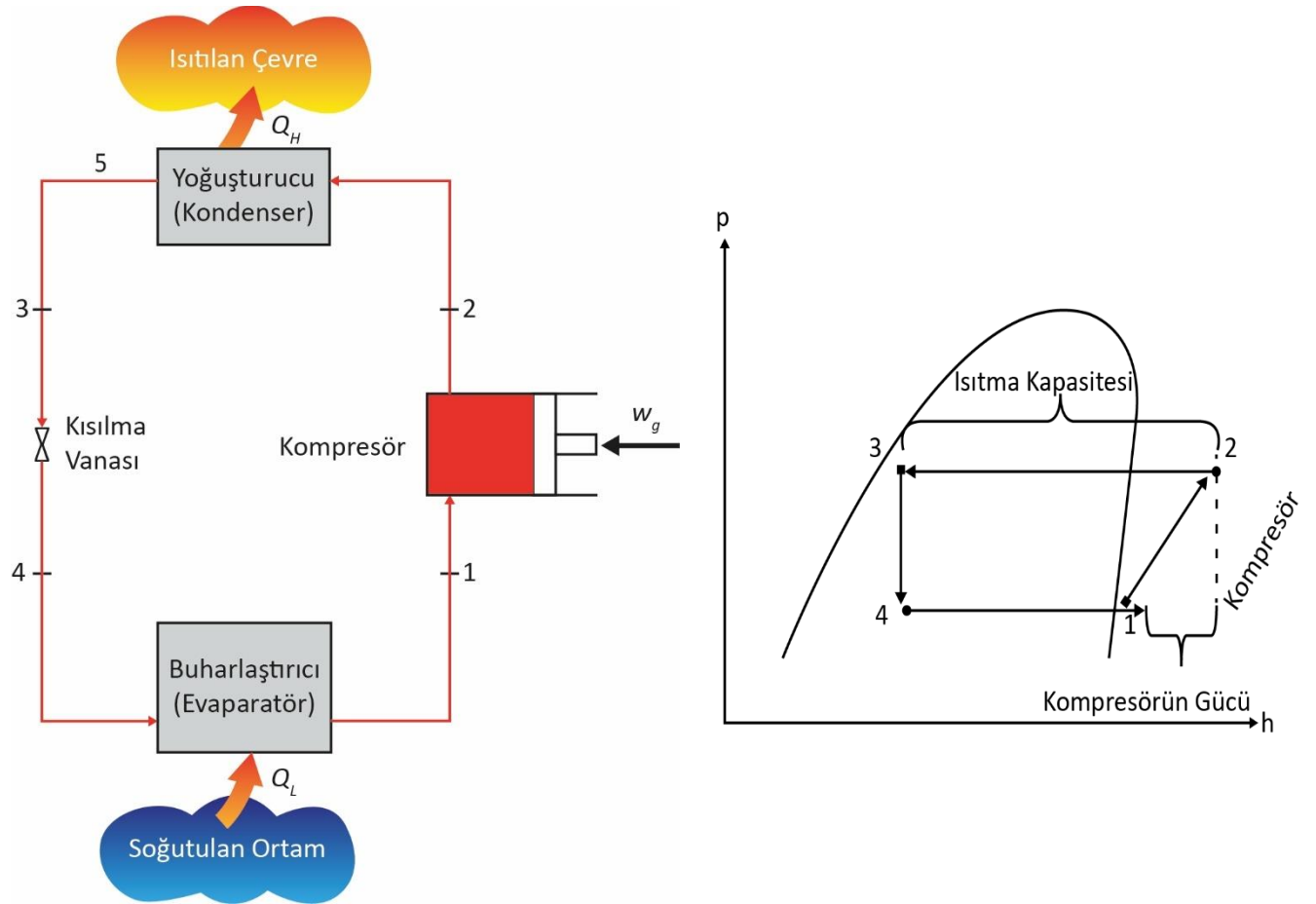
Silika-jel, zeolit gibi su buharı, solvent gazlarını tutma kabiliyeti olan materyallerin kullanıldığı bu sistemlerde tutulan gaz daha yüksek sıcaklıktaki direkt veya indirekt ısı şeklinde aktarılarak adsorbentlerden temizlenir ve yenilenmiş olan adsorbentler tekrardan kullanılabilir hale getirilir. Genel itibarıyla katı olarak kullanılan sistemlerin yanı sıra lityum klorür – su gibi sıvı olarak da kullanılabilir. Adsorbsiyona göre daha düşük sıcaklıktaki kaynaklarla aktive olabildiği için güneş sistemleriyle kolay entegre olabilmektedir.

Absorpsiyonlu ısı pompaları gibi ısı enerjisiyle tahrik olan bu sistemler atık ısı, güneş gibi enerji kaynaklarıyla çalışmaya uygun olup ticari bina iklimlendirilmesinde, endüstriyel hava şartlandırılmasını için kullanılabilir. Kısmen düşük performans sergileyen adsorpsiyonlu sistemler, havanın direkt şartlandırılması açısından etkili sistemlerdendir.

4.2. Termodinamik Çevrimlere Göre Isı Pompaları

Tek Kademeli

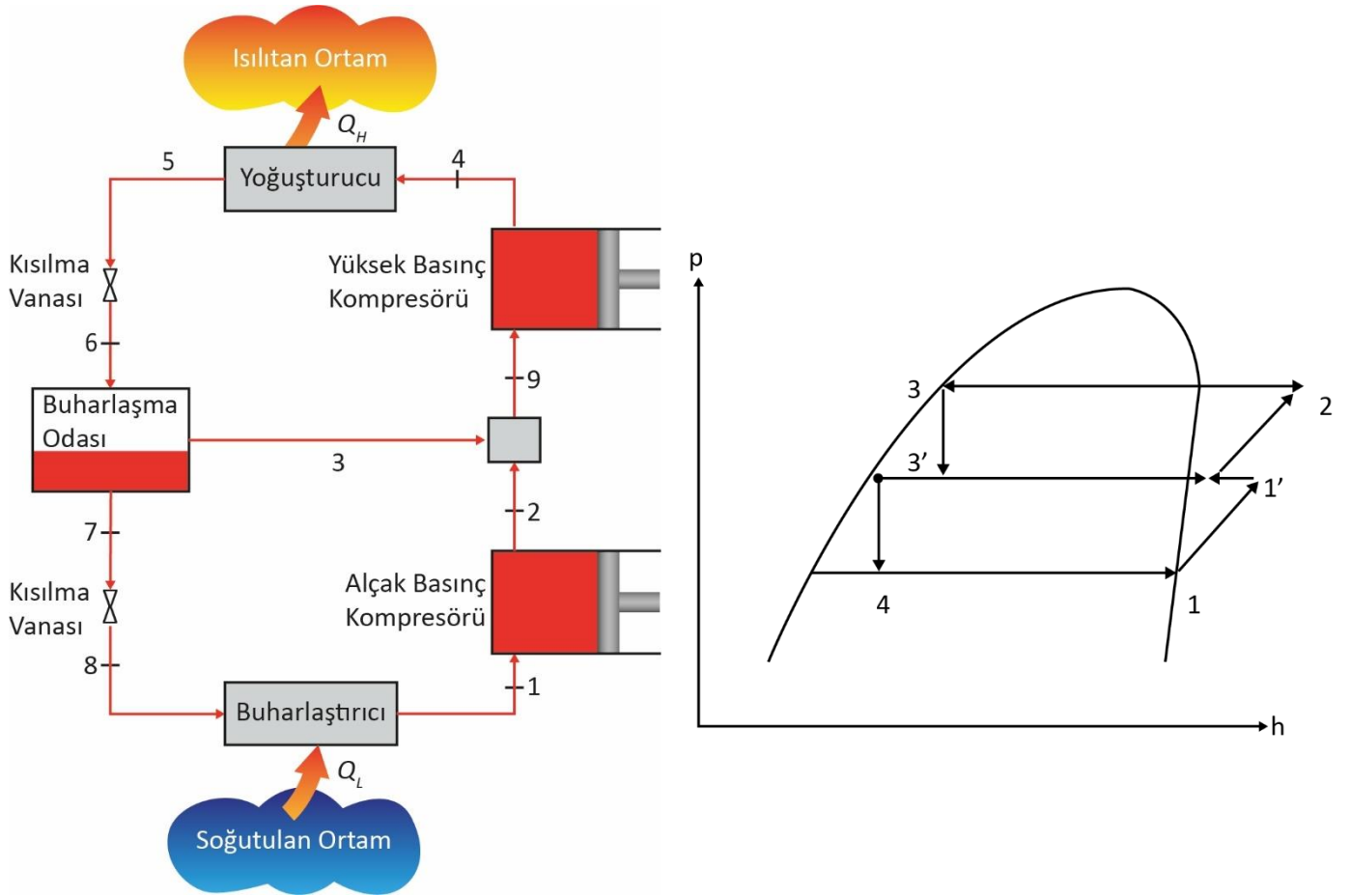
Buhar sıkıştırımlı sistemlerde sıkıştırma işlemi kompresörler ile yapılmakta olup çoğu sistemde tek kademede bu işlem gerçekleştirilmektedir. Düşük basınçlı gazın kompresöre girmesi ve yüksek basınçlı gaz olarak araya herhangi bir gaz veya akışkanın alınmamasıyla yapılan bu sıkıştırma tek kademede gerçekleştirilmekte ve sıklıkla kullanılan çevrim örneklerindedir.



Şekil 2 Tek kademeli ısı pompası çevrim şeması ve basınç (p)-entalpi (h) diyagramı

Çift Kademeli

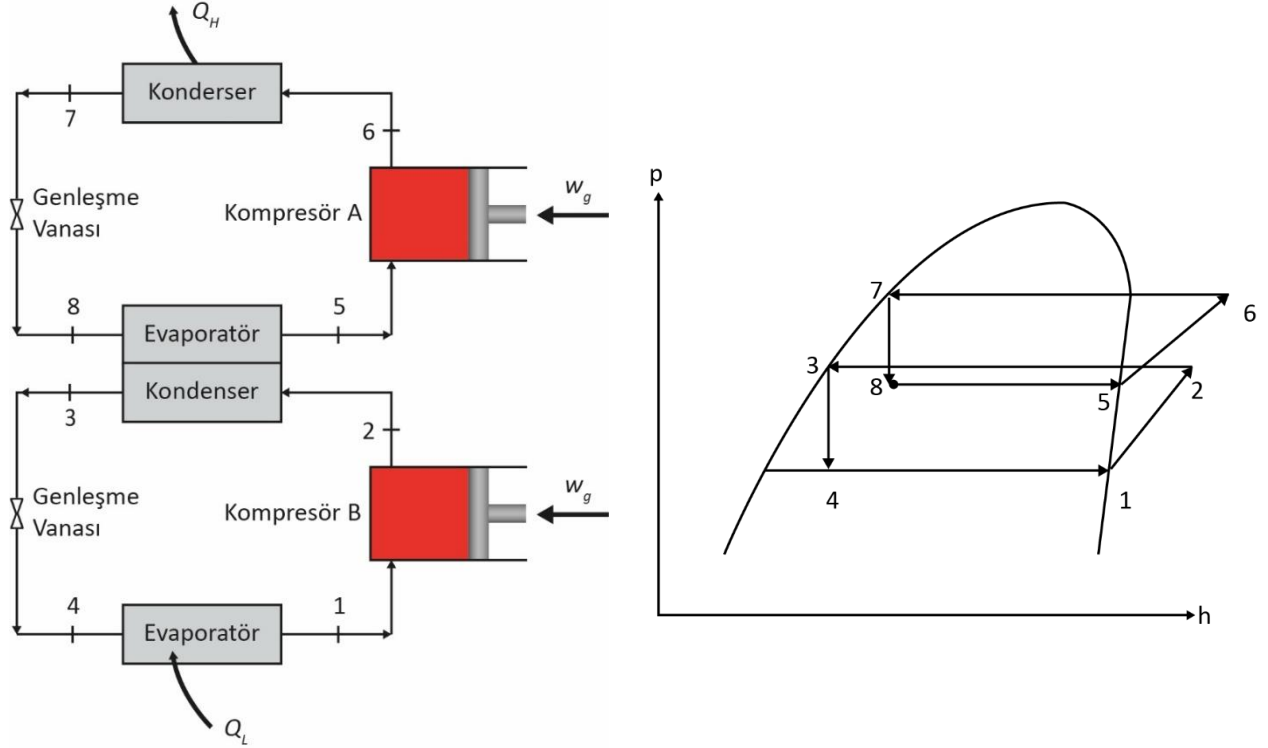
Santrifüj kompresörlerde daha sık rastlanılan, basınçlandırma kademelerine ayrıştırılmış ve ayrıca ekonomizer gibi verim artışı sağlayan çevrim akışlarına izin veren yapılardır. İlk kademede evaporatörden emilen soğutucu akışkan belirli bir basınca kadar çıkartılmakta ve ekonomizerden gelen flaş buharla birleşen gaz ikinci kademenin emişi olarak sıkıştırmaya girmektedir. Tek kademeli sıkıştırmalara göre daha verimli olan bu akıştaki farklılık ara kademedeki flaş buhar girişi ile ilk kademede sıkıştırılması gereken gaz miktarı azaltılmış ve çevrimdeki verim artışı sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3 Çift kademeli ısı pompası çevrim şeması ve basınç (p)-entalpi (h) diyagramı

Sıralı Kademeli (Kaskad)

Tek bir soğutucu akışkan ile çevrimi tamamlamanın mümkün olmadığı durumlarda birden fazla soğutucu akışkanın kullanıldığı ve bir soğutucu akışkanın yoğuşturulduğu noktada diğer soğutucu akışkanın gazlaştırıldığı ve daha yüksek sıcaklıklarda yoğuşmaya imkân tanıyan sistemlerdir. Geniş sıcaklık aralıklarında çalışma gereksinimi karşılayan bu sistemler daha çok endüstriyel ihtiyaçlara yönelik kullanılmaktadır.



Şekil 4 Kaskad ısı pompası çevrim şeması ve basınç (p)-entalpi (h) diyagramı

4.3. Kullanım Sıcaklıklarına Göre Isı Pompaları

30-60 °C

Konutlarda ve binalarda yaygın olarak kullanılan ısı pompaları, ısıtma ve soğutmanın yanı sıra sıcak su sağlayabilen üniteler olarak çok fonksiyonlu sistemlerdir. Normal soğutma kompresörleriyle ulaşılabilecek sıcaklıklarda çalışan bu cihazlar, gün geçtikçe yayılmakta olup genel itibarıyla hava kaynaklı olarak tasarlanmaktadır.

60-90 °C

Hastane ve otel tarzı biraz daha yüksek sıcaklıklarda su ihtiyaçları olan işletmelerde kullanılan bu sistemler çeşitli ısı kaynaklarıyla çalışabilmelerinin yanı sıra genel itibarıyla atık ısıyla çalıştıklarında veya aynı anda

ısıtma ve soğutma yapabildiklerinde daha verimli olmaktadır. R134a ve muadili gazlar için tasarlanmış yüksek basınç kompresörleriyle çalışan bu sistemler, endüstriyel işletmelerde verimlilik açısından gelişime devam etmekte olan ürünler arasındadır.

90-160 °C

Atık ısıların değerlendirilmesi noktasında verimli olan bu ısı pompaları aynı zamanda güneş gibi ısı kaynaklarla da birlikte kullanılabilir. Soğutucu akışkan olarak daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilen gazların tercih edildiği bu sistemlerde kullanılan akışkanlar düşük basınç olarak adlandırılan R245fa, R1233zd, R1366 grubu gibi gazlarla çalışmaktadır. Pastörizasyon, kurutma, buhar üretimi gibi çeşitli şekillerde proses ihtiyaçlarını karşılayabilir.

160-250 °C

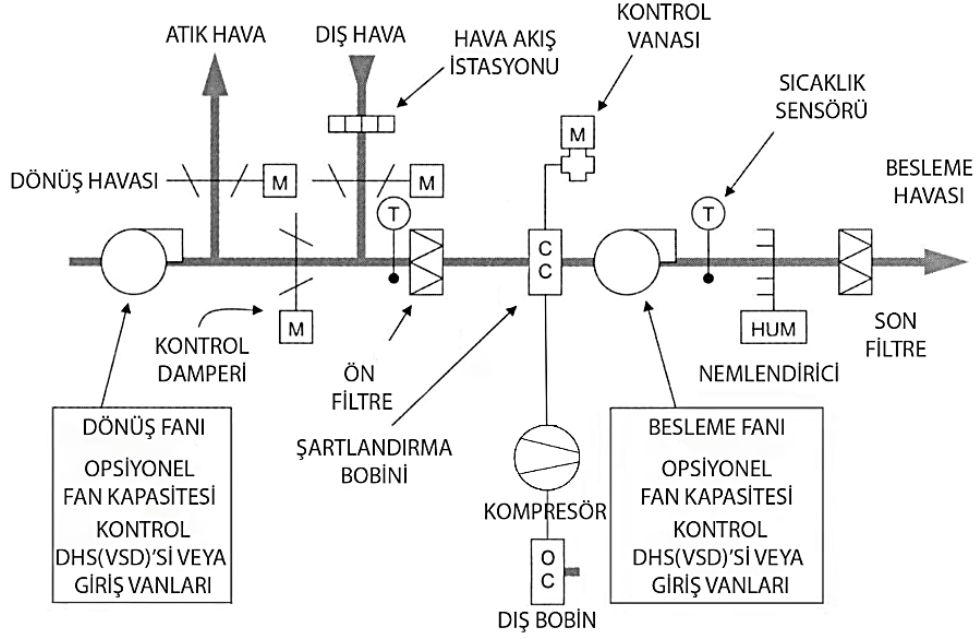
Yüksek sıcaklıktaki ısıları daha da yükseltmek ve artırmak için kullanılan bu yöntemde gerek su gerek organik (hexane, pentane vb) çeşitli soğutucu akışkanlar kullanılmaktadır. Bunlar, özel olarak geliştirilen ısı pompaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstriyel işletmelerde genelde tozlaştırma, kurutma ve benzeri proseslerde ihtiyaç duyulmaktadır.

5. KAYNAKLARINA GÖRE ISI POMPALARI

Isıl enerjinin alındığı noktaya ısı kaynağı denilmekte olup ısı pompaları bu kaynaklara göre isimlendirilmişlerdir.

5.1. Hava

Ortam havasının soğutulması buradaki enerjinin soğutucu akışkana aktarılmasıyla çalışan sistemlere hava kaynaklı ısı pompası denilmekte olup bunlar ortam şartlarından ziyadesiyle etkilenen sistemlerdir. Hava kaynaklı ısı pompalarının verimleri çalışma yerlerine göre çok değişkenlik göstermektedir. Bu ısı pompaları bazı iklimlerde çok verimli iken bazı iklim bölgelerinde maliyet açısından verimsiz olabilmektedir. Hava şartlarının soğuk olduğu zamanlarda havadaki enerji alındıkça hava eksi derecelere kadar soğutulmakta, bu soğutma esnasında havadaki nem sıvılaşır sonrasında evaporatör yüzeyinde buzlanma (karlanma) başlamakta, buzlanma ısı transferini engelleyen ve havanın ısısının alınmasını önleyen bir katman gibi yüzeylere tutunmaktadır. Bu yüzeylerdeki buzların uzaklaştırılması için çeşitli defrost sistemlerinden yararlanılmaktadır. Defrost sırasında sistem ısıtma yapmaz ve sadece oluşan buzlanmayı temizlemeye çalışır. "Hot gas bypass" şeklinde yöntemlerin yanı sıra endüstriyel uygulamalarda elektrikli ısıtıcı rezistanslarla da bu işlem gerçekleştirilmektedir. Hava kaynaklı bir AHU'nun iç görseli aşağıdaki şekildedir.



Şekil 5 Hava Kaynaklı AHU İç Tasarımı

Hava kaynaklı ısı pompalarında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Yerleşim
 - Hava akımı için yeterli açıklık
 - Servis /müdahale için yeterli boşluk
 - Birden fazla dış ünite için mesafe tayini
 - Gölgeleme ve güneşlenme durumu
 - Korozyon durumu olup olmasına göre malzeme seçimi
- Borulama
 - Sıvı ve gaz boru çapı / mesafesi az basınç düşümü için ayarlanmalı
 - Drenaj sistemi
- Filtreleme
 - Temizleme
 - Sıvı ve hava filtreleme

5.2. Su

Yer üstü veya yer altı bir su kaynağının ısı kaynağı olarak kullanıldığı ısı pompalarına su kaynaklı ısı pompaları denilmektedir. Bu ısı pompaların performansı suyun yıl içerisindeki sıcaklığına göre değişmektedir, ancak buradaki değişimler hava kaynağında olduğu kadar büyük değildir. Sıcak su kaynağı gibi yer altı suları veya akarsular gibi yer üstü kaynakların kullanıldığı bu ısı pompalarında kullanılan ekipmanlar ve onların hem suya hem de çevre şartlarına dayanımı, bakımı ve temizliği önemli bir husustur.

Su kaynaklı ısı pompaların dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

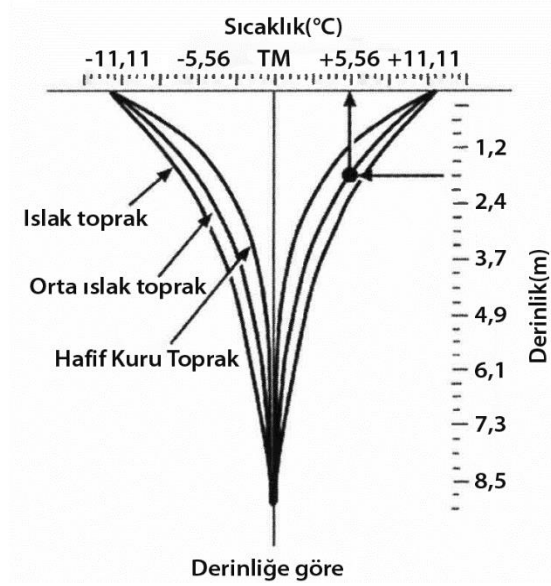
- Pompa Seçimi
 - Basma yüksekliği ve debi gereksinimi
 - Pompa tipi
 - Kapalı sistemler
 - Sirkülasyon
 - Açık sistemler
 - Dalgıç
 - Malzeme seçimi
 - Deniz suyu / korozyif sular
 - Titanyum
 - Termoplastikler
 - Hız sürücüsü ayarlı olması
- Eşanjör Seçimi
 - Basınç kaybı
 - Isı transfer yüzeyi
 - Malzeme ve korozyon şartları
- Isı Kaynağı devamlılığı
- Sıcaklık

5.3. Toprak

Toprağın içerisine yerleştirilmiş ısı değiştiriciler sayesinde toprağın büyük bir enerji kaynağı olmasına dayanan sistemlerde, toprak sıcaklığı hava ve suya göre daha az değişkenlik göstermektedir. Toprak kaynaklarında genel uygulamalar yatay serme ve dikey sondaj olarak yaygınlaşmıştır. Toprağın kazılıp yatay şekilde boruların yerleştirilmesinin maliyetinden dolayı bu işlemin inşaat esnasında yapılması daha

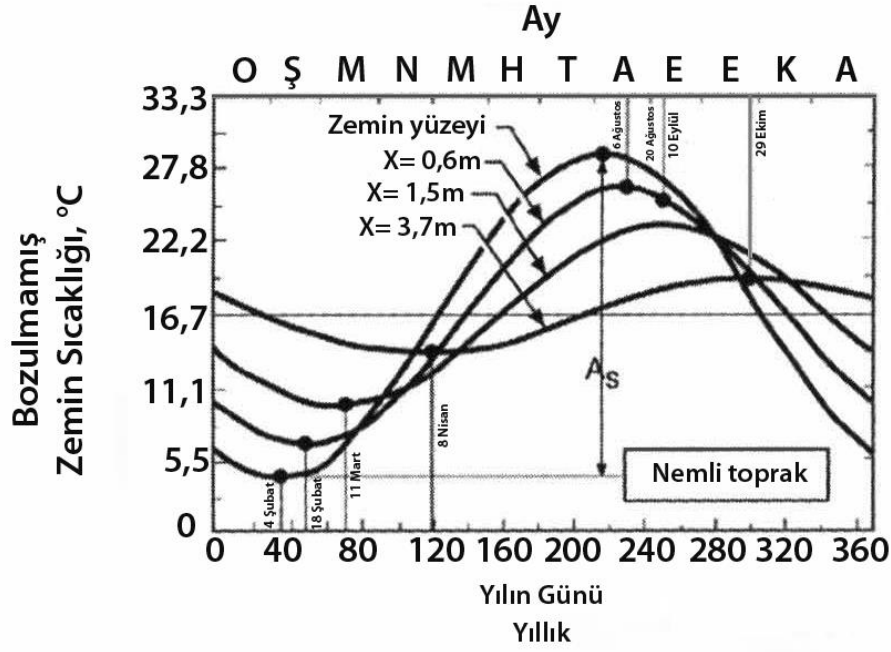
ucuz olmaktadır. Ayrıca sondaj tip dikey daldırma sistemlerinde de benzeri bir yapı bulunmakta olup bunlar sonradan uygulanması kısmen daha kolay sistemlerdir.

Toprak kaynaklı ısı pompalarında dikkat edilmesi gereken birçok değişken yer almaktadır. Bunlardan başlıcaları toprak tipleri, uygulamanın yapılacağı derinlik, topraktaki su miktarı ve uygulamanın yapılacağı bölgedeki toprak ısı kapasitesi olarak sıralanabilir.



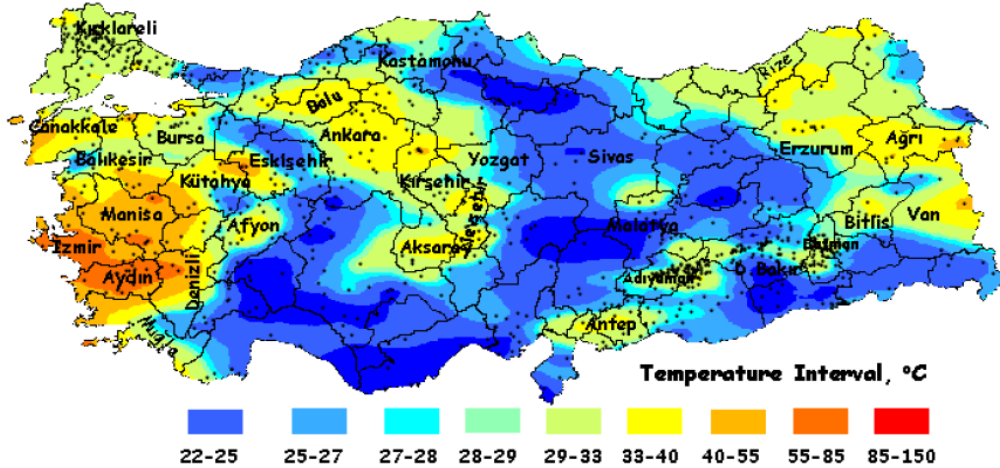
Şekil 6 Toprak tipi ve derinliğine göre sıcaklık değişim grafiği

Toprak altı serme gibi yüzeye yakın olan uygulamalarda hava sıcaklığından etkilenme oranı artarken yüzeyden uzaklaştıkça o bölge için ortalama sıcaklık çizgisine yaklaşılmaktadır. İstanbul için aylara göre farklı derinliklerdeki toprak sıcaklığı grafiğine bakıldığında, derinlik arttıkça hava sıcaklığından etkilenme oranının azaldığı görülmektedir. Toprak yapısına göre değişiklik gösterebilen dış ortam sıcaklığından etkilenme derinliği toprak yüzeyinden itibaren 10-20 m'ye kadar ulaşabiliyor olmakla birlikte, hava-toprak arasındaki sıcaklık farkı etkilenme derinliği sonuna doğru ilerledikçe azalmakta ve büyük oranda sabitlenmektedir. Derinlikle ortalama bir sıcaklık sağlayabilen toprak, ısı kaynağı olarak geniş ve neredeyse sonsuz bir ortamdır. Isıtma ve soğutmanın toprağa aktarılması toprağın uzun vadede aşırı ısınma veya soğumasının önüne geçecektir.



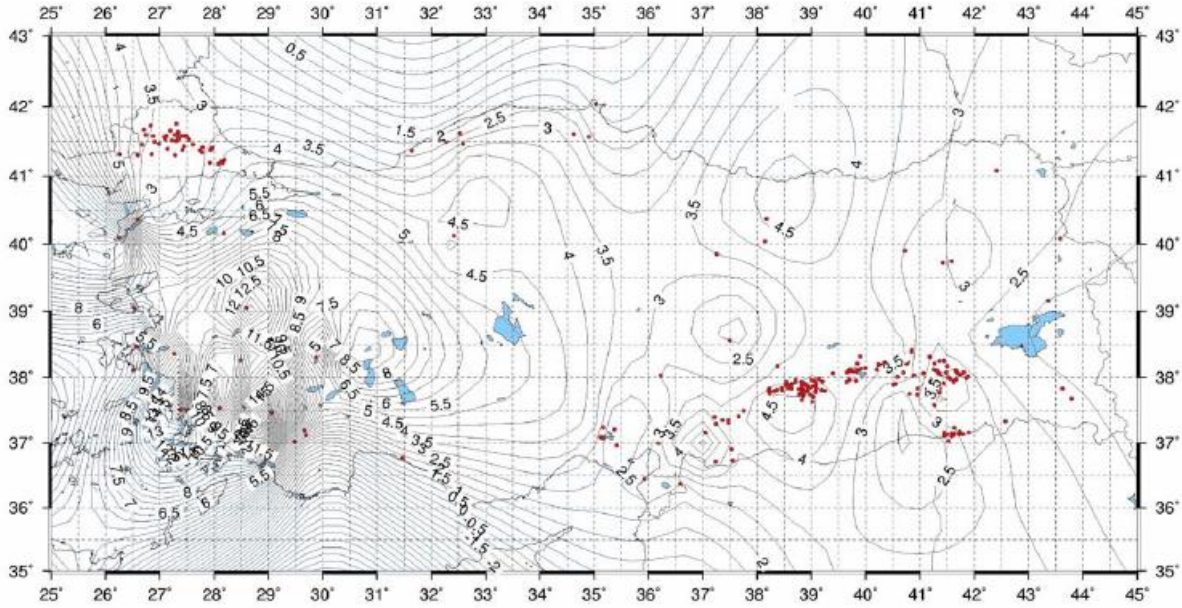
Şekil 7 Toprak Sıcaklığı Değişimi - Kaynak: OSU (1988)

Özellikle dikey tip borulama yapılması planlandığında toprak yapısının ve yer altında bir jeotermal kaynağın bulunup bulunmadığı konusunun araştırılması ve projelendirmede bu etkenlerin dikkate alınması hususu önemsenmelidir. Aşağıdaki Türkiye haritasında, jeotermal kaynakların tespiti konusunda yapılmış çalışmalarda alınan ölçümlerle harmanlanmış ısı dağılım profillerine göre 500 metredeki toprak sıcaklıkları yer almaktadır.



Şekil 8 Türkiye 500 Metredeki Toprak Sıcaklıkları

Dikey uygulamalarda sondaj tekniği ile açılan kuyuya sarkıtılan borular ile ısı transferi sağlanırken bu transferde toprak yapısı, su içerme oranı, termal ısı kaynağı potansiyeli gibi etkenlere göre değişkenlik göstermektedir. Yer kabuğundan aşağıya doğru inilirken çekirdeğe yaklařtıķa, yer altı aktivitelere göre değişmekle birlikte, toprak ısınmaya başlar. Ortalama olarak her 100 metre de 1 – 10 C arasında sıcaklık artışı görülmektedir.



Şekil 9 Türkiye Her 100 Metre için Yaklaşık Sıcaklık Artışı Grafiği

Aynı zamanda her 100 metre için yaklaşık sıcaklık artışı grafiği de harita üzerine işlenmiş durumdadır. Buradan da görüleceği üzere, yüksek Ege bölgesinde yoğun bir jeotermal kapasite yer alırken ülkenin doğusuna doğru bu kapasite azalmaktadır.

Ege bölgesinde kiş aylarında dikey sondaj kuyularında bu sıcaklıktan yararlanarak ısıtma yapmak verimli olacak iken yaz aylarında ters bir etki görülecek ve verim azalacaktır. Serme sistemi ile hibrit uygulama yapılarak ihtiyaç dahilinde bu tip ısı pompalarının kullanımı mümkündür.

Isı transferi için korozyona dayanıklı malzemelerin ve olası donmalara karşı glikol benzeri anti-freeze eklentili suyun kullanılması önemlidir. Toprak yapısına göre borular arası mesafeye karar verilmesi ve toprağın kendini yenileyeceği süre göz önüne alınarak kapasite hesabı yapılması gerekmektedir.

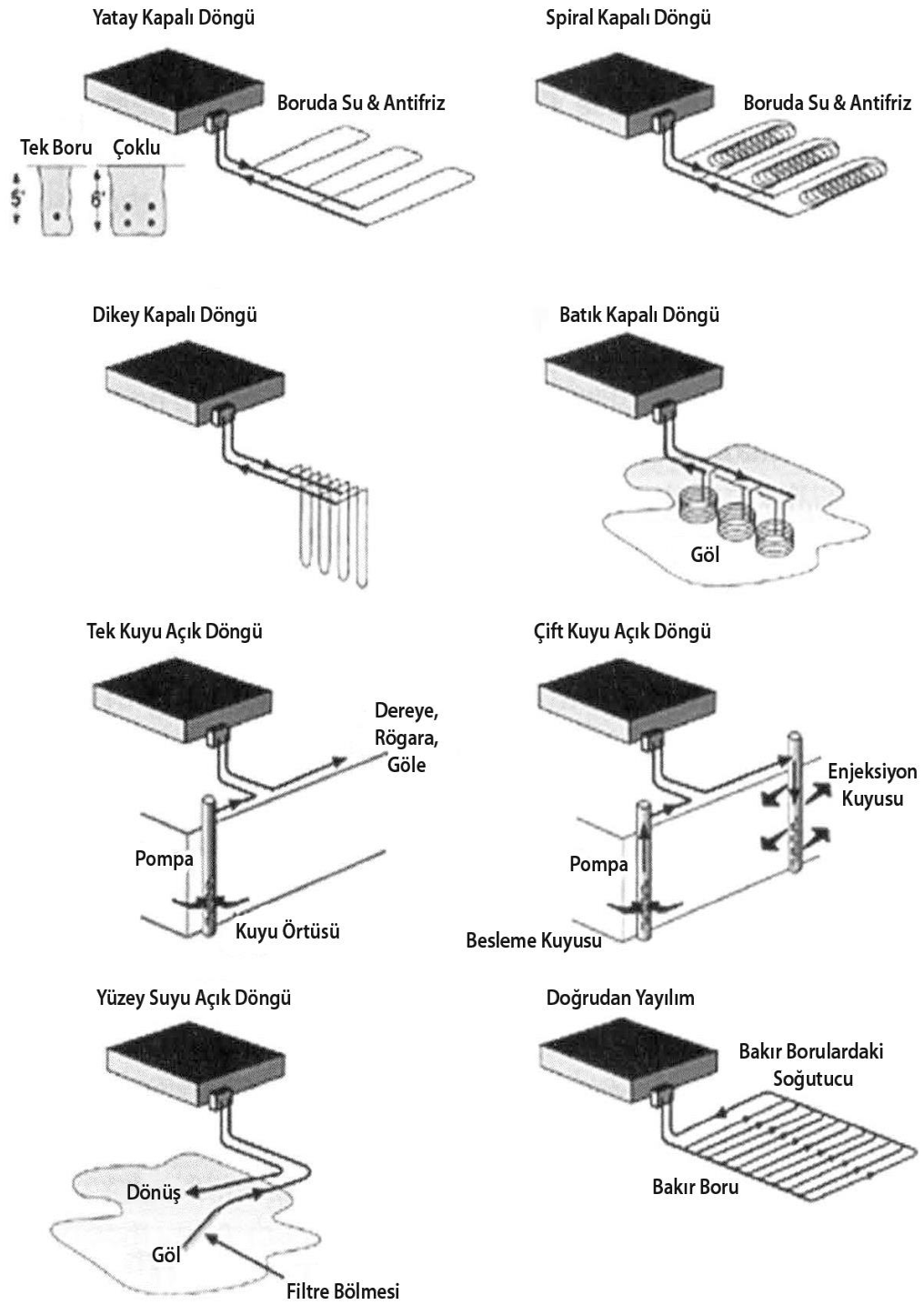
Yatay Sistemler

Serme uygulamalarında toprak yapısına, derinliğe ve bölgeye göre değişmekle birlikte ortalama 10 – 35 m²/kW uygulama alanına ihtiyaç bulunduğu düşünülebilir. Yatay uygulamalarda genel olarak gerekli yüzey alanı artmaktadır.

Tablo 1 Toprağa göre Spesifik Isı Transfer Kapasitesi

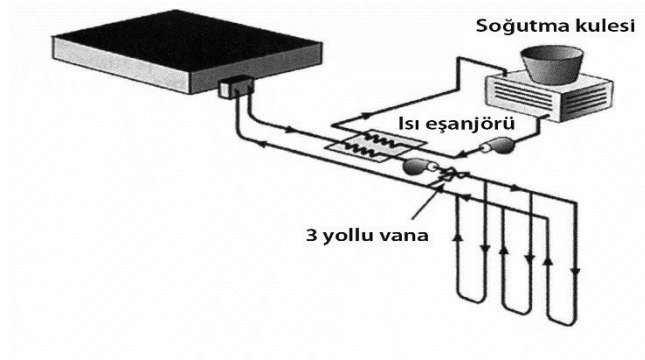
Toprak Kalitesi/Tipi	Spesifik Isı Transfer Kapasitesi
Kuru, Kumlu Zemin	10-15 W/m ²
Nemli, Kumlu Zemin	15-20 W/m ²
Kuru, Balçıklı Zemin	20-25 W/m ²
Nemli, Balçıklı Zemin	25-30 W/m ²
Yeraltı Sulu Zemin	30-35 W/m ²

Uygulama Şekilleri

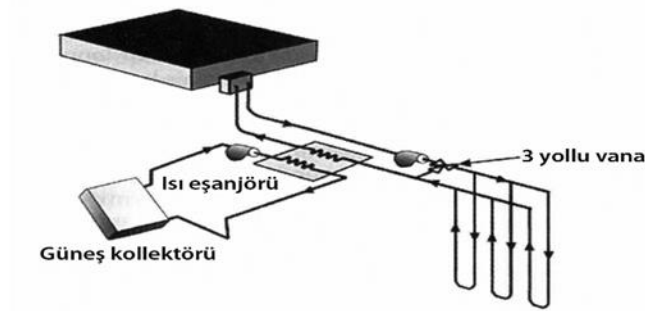


Şekil 10 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Örnekleri

Toprak bağlantı boruları yüksek kaliteli polietilen veya polibütilen malzemeden seçilmelidir. Antifrizli su adı altında yaygın olarak kullanılan ısı transfer sıvılarında suya, sodyum klorür, kalsiyum klorür, potasyum karbonat, potasyum asetat, etilen glikol, propilen glikol, metil alkol veya etil alkol katkısı yapılmaktadır.



Şekil 11 Soğutma Ağırlıklı Yükler İçin Soğutma Kulesi Destekli Sistem



Şekil 12 Isıtma Ağırlıklı Yükler İçin Güneş Enerjisi Destekli Sistem

Dikey Sistemler

11-25 cm çapında kuyulara hazır sarmal halinde oksijen bariyerli borular yerleştirilmeli ve kullanılan boruların statik basınç ile pompanın oluşturacağı basıncın toplamına uygun basınç standardında olmasına dikkat edilmelidir. Boruların yerleşimi tamamlandıktan sonra toprak ile borular arasındaki tüm boşluklar bentonit ve çimento karışımı ile kuyunun dibinden yukarı doğru hesaplanan dozajda doldurulmalıdır. Sondaj kuyuları arasındaki mesafeler, 50,0 m derinliğe kadar en az 5,0 m; 100,0 m derinliğe kadar en az 6,0 m olmalıdır. Toprak kaynaklı ısı pompalarının tasarımında kış ve yaz ısıtma ve soğutma yükleri olabildiğince birbirine yakın tutulmalı, sezonluk ısı denge sağlanmalı, ısıtma veya soğutma modunda toprağın belirli bir doygunluk limitine ulaşması engellenmeli ve toprağın kendini yenileme kabiliyetine göre kuyular arasındaki mesafeler gerekirse yeniden düzenlenmelidir.

Tablo 2 Toprak Kalitesine/Tipine Göre Spesifik Isı Transfer Kapasitesi

Toprak Kalitesi/Tipi	Spesifik Isı Transfer Kapasitesi
Kuru Tortu Zemin	20 W/m
Kuru, Kumlu Zemin	20-40 W/m
Nemli, Kumlu Zemin	50-60 W/m
Yeraltı Sulu Zemin	70-90 W/m
Kireç Taşı Zemin	45-60 W/m
Kumlu Tas Zemin	55-65 W/m
Asitli Magma Zemin	55-70 W/m
Sulu Kum Çakıl Zemin	55-65 W/m

Toprak direnci, toprak içinden geçen ısı akışı direncidir. Kuru hafif toprak, yoğun nemli toprak kadar hızlı bir şekilde, ısı enerjisini taşımaz. Ek olarak, yüzey altındaki boru derinliklerin, borular arasındaki uzaklığın ve toprak ısı değiştiricisinde bulunan boruların boyutu ve sayısının hepsinin toprak direncine bir etkisi vardır. Tablo 3’de, kaya ve ağır nemli toprak içindeki dikey sistemlerin yanı sıra, tek borulu, çift borulu ve dört borulu çoklu sistemlerde kullanılan ¾” den 2” e kadar çeşitli boru ölçüleri için ağır nemli toprak, ağır kuru toprak ve hafif nemli toprak için, toprak direnci tablosunu gösterilmektedir. Örneğin, tek borulu bir toprak ısı değiştiricisi sisteminde, 1 metre de 1" boru çapında, toprak direnci, ağır nemli toprak için 0,97°Cm/W ve ağır kuru toprak veya hafif (yumuşak) nemli toprak için 1,32°Cm/W olacaktır. Bu tablo, belirli koşullar için hesaplama adımlarından çok, toprak koşulları için ortalamalar olarak kullanılır.

Tablo 3 Farklı çaplardaki boruların, ıslak ve kuru toprak için derinliğine ve borulama şekline göre (tek, ikili, dörtlü borulama) toprak direnci tablosu*

B	3/4	<u>1.02</u>	<u>1.06</u>	<u>1.09</u>	<u>1.11</u>	<u>1.31</u>	<u>1.37</u>	<u>2.05</u>	<u>2.15</u>	<u>2.11</u>	<u>1.88</u>	<u>0.6</u>	
		1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06	
O	1	<u>0.97</u>	<u>1.02</u>	<u>1.04</u>	<u>1.06</u>	<u>1.26</u>	<u>1.32</u>	<u>2</u>	<u>2.1</u>	<u>2.07</u>	<u>1.84</u>	<u>0.57</u>	
		1.32	1.37	1.4	1.42	1.7	1.77	2.88	2.79	2.78	2.47	1.01	
R	1 1/2	<u>0.92</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	<u>1.01</u>	<u>1.22</u>	<u>1.27</u>	<u>1.96</u>	<u>2.05</u>	<u>2.02</u>	<u>1.79</u>	<u>0.54</u>	
		1.25	1.31	1.34	1.36	1.63	1.7	2.61	2.72	2.71	2.4	0.96	
U	1 1/2	<u>0.89</u>	<u>0.94</u>	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>1.19</u>	<u>1.25</u>	<u>1.92</u>	<u>2.02</u>	<u>1.99</u>	<u>1.76</u>	<u>0.53</u>	
		1.21	1.27	1.3	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94	
Ç	2	<u>0.85</u>	<u>0.89</u>	<u>0.92</u>	<u>0.94</u>	<u>1.14</u>	<u>1.2</u>	<u>1.88</u>	<u>1.98</u>	<u>1.94</u>	<u>1.71</u>	<u>0.5</u>	
		1.15	1.2	1.24	1.26	1.53	1.6	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89	

*Üst değerler kuru toprak, alttakiler ıslak toprak direnç değerleri olup °C m/W birimindedir.

5.4. Diğer Kaynaklar

Isı pompasında kullanılabilen diğer kaynaklar aşağıda özetlenmektedir.

Atık Isı

Atık ısıların değerlendirilmesinin iki önemli noktası bulunmaktadır. İlki çevreyi ısıtan atık ısıların önüne geçilmiş olmasıdır. Örneğin 60 °C'de atmosfere atılan bir proses bacasındaki havanın enerjisi alınıp 20-30 °C soğutulduğunda çevre daha az ısıtılmış olmaktadır. İkincisi bu ısının tekrardan işe yarar hale getirilmesi ile işletmedeki muadili olan fosil yakıtın daha az tüketilmesini sağlamaktadır. Direkt salımları azaltan bu sistemler sayesinde karbon salımları ciddi ölçüde azalmaktadır.

Direkt Soğutucular

Direkt soğutucular gerek işletmelerdeki makinaları soğutmak gerek soğutma gruplarının kondenser enerjilerini dışarı atmak için kullanılan ve ısıyı çevreye aktarmaya yarayan cihazlardır. Soğutma kuleleri, kuru soğutucular ve havalı kondenserler gibi çeşitli tipleri bulunan bu ısı kaynaklarının değerlendirilmesi için tasarlanmış ve atık ısıyla çalışan ısı pompaları, bazı durumlarda iyi bir seçenek olabilir.

Proses Atık Enerjisi

İşletmelerde çeşitli işlemlerden sonra atık enerjiler çevreye atılmakta ve sanayi işletmelerinin neredeyse tamamında atık enerji atmosfere salınmaktadır. Gerek hava şartlandırma tarafında gerekse de işletmenin ısı ihtiyaçlarını karşılama noktasında işletmelerde bulunan çeşitli bacalardan (egzoz) atılan ısı, ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Bu sayede hem çevreye atılan ısı azaltılmış hem de ek bir fosil yakıt tüketiminin önüne geçilmiş olur.

Güneş

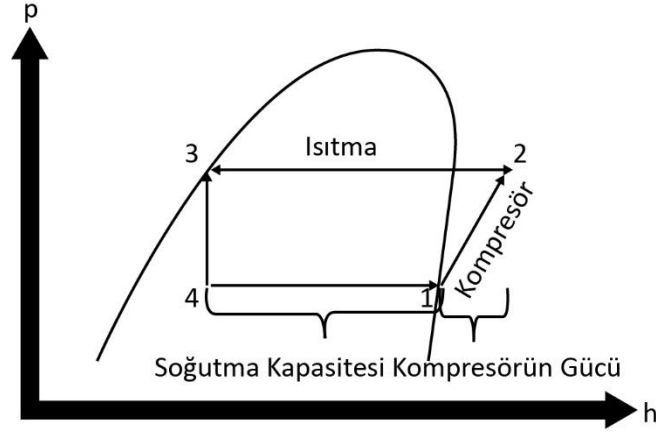
Güneş kolektörleriyle elde edilen sıcaklığın işletme için yetersiz olduğu noktalarda güneşten alınan enerjinin sıcaklığının artırılması için ısı pompası kullanılabilir. Bu açıdan güneş de gerektiğinde ısı pompası sistemleri için bir ısı kaynağı olabilir. Örnek olarak 90 °C sıcak suya ihtiyacı olan bir işletmenin günün tüm saatlerinde bu sıcaklığı direkt güneşten elde etmesi mümkün değilken güneş ile birlikte çalışan ısı pompası sistemi istenilen sıcaklıktaki sıcak suyun teminini sağlayacaktır. Detay olarak, güneş enerjisinin soğurulması ve güneş sistemlerinin sıcaklık ile verim eğrisine bakıldığında düşük sıcaklık daha fazla güneş enerjisi soğurulabilir ve optimum enerji dengesi sağlanabilir. ¹

6. PERFORMANS HESABI

6.1. COP Hesabı

COP (Coefficient of Performance) performans katsayısı, buhar sıkıştırma sistemlerinde sistemin verimini gösteren önemli bir parametredir. Bilindiği üzere verim 1'in üzerine çıkamazken COP 1'in üzerine olabilir. Bunun sebebi, enerjinin bir yerden başka bir yere aktarılması için harcanan enerjinin aktarılan enerjiye oranlanmasıdır. Yapılan işin verimine bakıldığında 1'den küçük olduğu görülebilir. Performans katsayısı, aktarılan ısı enerjinin ve bu enerjinin aktarılması için harcanan enerjiye oranını göstermektedir. EER (Energy Efficiency Ratio) Enerji Verimliliği Oranı soğutma performansına bakılıyorsa soğurulan enerji (Q_{evap}) / harcanan enerji (W_{komp}), eğer ısıtma performansına bakılıyorsa verilen enerji (Q_{kond}) / harcanan enerji (W_{komp}) olarak oranlaması yapılır. Genel itibarıyla COP soğutma değerine 1 eklendiğinde ısıtma COP'sinin elde edildiği kabul edilebilir, ancak ek yağ soğutması gereksinimi ve ısı kayıplar gibi etmenler bu kabulü etkileyebilmektedir.

¹ Uygulama detayları için "Uygulamalar" başlığı incelenebilir.



Şekil 13 Basınç ve Entalpi diyagramı üzerinde soğutma kapasitesi ve kompresörün gösterimi

Soğutma hesabının, ısıyı alınan ve/veya ısıyı alan kütle üzerinden yapılması mümkündür. Örnek olarak suyun 12 °C'den 7 °C'ye soğutulması durumunda 5 °C sıcaklık farkı (Delta T) ile suyun özgül ısı (c) ve kütle (m) çarpımı, soğutma kapasitesini göstermektedir. Aynı örnekte, suyu soğutmak için buharlaştırılan soğutucu akışkanın evaporatöre giriş entalpisi (h1) ve evaporatörden çıkış entalpisi (h2) arasındaki fark ile kütle (m) da aynı şekilde soğutma kapasitesini hesaplamak için kullanılabilir.

$$EER = \frac{\text{Soğutma Kapasitesi}}{\text{Kompresör Gücü}}$$

$$\text{Soğutma Kapasitesi} = m * (h1 - h4)$$

$$\text{Kompresör Gücü} = m * (h2 - h1)$$

$$EER = \frac{m * (h1 - h4)}{m * (h2 - h1)}$$

Performans hesaplaması sırasında kütle değerleri bölüm işleminden dolayı birbirini götürüleceği için sadece entalpi değerleri üzerinden hesap yapmak yeterlidir. Çift kademeli olması durumunda da birim oran üzerinden hesaba dahil edilebilir.

Örnek EER hesabı:

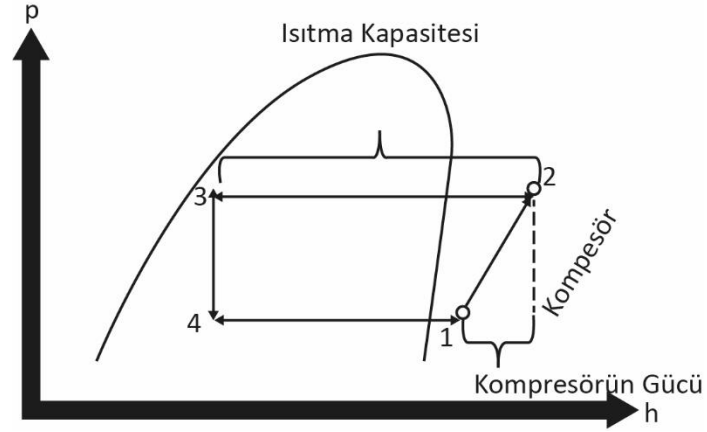
$$h1 = 406,1 \text{ joule}$$

$$h2 = 428,2 \text{ joule}$$

$$h4 = 247,3 \text{ joule}$$

$$EER = \frac{\text{Soğutma Kapasitesi}}{\text{Kompresör Gücü}} = \frac{m * (h1 - h4)}{m * (h2 - h1)} = \frac{m * (406,1 - 247,3)}{m * (428,2 - 406,1)}$$

$$EER = \frac{158,8}{22,10} = 7,18$$



Şekil 14 Basınç ve Entalpi diyagramı üzerinde ısıtma kapasitesi ve kompresörün gösterimi

$$COP = \frac{\text{Isıtma Kapasitesi}}{\text{Kompresör Gücü}}$$

$$\text{Isıtma Kapasitesi} = m * (h2 - h3)$$

$$\text{Kompresör Gücü} = m * (h2 - h1)$$

$$COP = \frac{m * (h2 - h3)}{m * (h2 - h1)}$$

Örnek olarak havanın 15 °C'den 22 °C'ye ısıtılması durumunda 7 °C sıcaklık farkı (Delta T) ile havanın özgül ısı (c) ve kütesinin (m) çarpımı ısıtma kapasitesini göstermektedir. Aynı örnekte havayı ısıtmak için yoğunlaştırulan soğutucu akışkanın kondensere giriş entalpisi (h3) ve kondenserden çıkış entalpisi (h4) arasındaki fark ile kütesinin çarpımı (m), aynı şekilde ısıtma kapasitesini hesaplamak için kullanılabilir.

Örnek COP hesabı:

$$h1 = 406,1 \text{ joule}$$

$$h2 = 428,2 \text{ joule}$$

$$h3 = 247,3 \text{ joule}$$

$$COP = \frac{\text{Isıtma Kapasitesi}}{\text{Kompresör Gücü}} = \frac{m * (h2 - h3)}{m * (h2 - h1)} = \frac{m * (428,2 - 247,3)}{m * (428,2 - 406,1)}$$

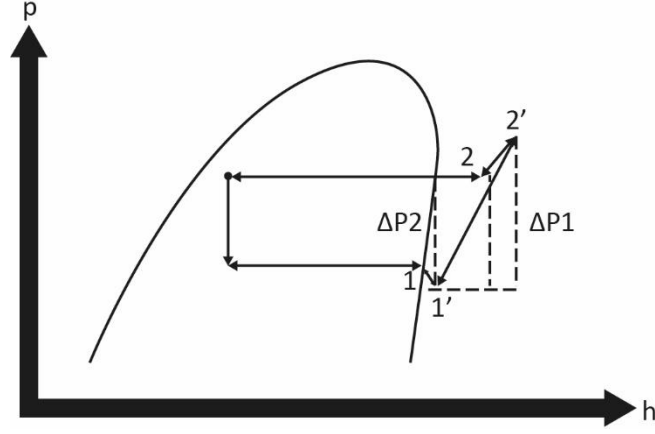
$$COP = \frac{180,90}{22,10} = 8,18$$

7. ISI POMPASI VERİMİNİ ETKİYEN FAKTÖRLER

Çevrimde yapılabilecekler dışında kullanılan ekipmanlar sistem verimini etkileyen çok önemli faktörlerdir. Buhar sıkıştırımlı çevrimde görüldüğü üzere kompresörün emme ve basma basıncı arasındaki fark arttıkça kompresörün ihtiyaç duyduğu enerji miktarı da artmaktadır.

7.1. Evaporatör ve Kondenser Basınç Kayıpları

Genel olarak emme basıncı evaporasyon basıncı ve basma basıncı kondenser basıncı olarak kabul edilse de evaporatör ve kondenser ile kompresör arasındaki basınç kayıpları emme ve basma arasındaki farkın artmasına sebep olmaktadır. Basınç kaybının ana sebebi boru içindeki sürtünmelerden meydana gelen basınç düşümünden kaynaklanmaktadır. Mesafe ve boru çapı seçiminin önemli olduğu bu konuda belirlenen standartlara ve kullanılacak gaza göre boru mesafe ve çap tayinin doğru yapılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 15 Basınç Kayıplarının Basınç ve Entalpi Diyagramında gösterimi

Basınç entalpi diyagramında gösterilen 1 numaralı kompresör giriş noktası yerine daha düşük olan 1' kompresör giriş noktasında ve 2 numaralı kompresör çıkış noktası yerine 2' kompresör çıkışı noktasında çalışılması; daha fazla basınçlandırma ihtiyacı, daha fazla enerji tüketimi, dolayısıyla da daha düşük bir sistem performansı anlamına gelmektedir. Burada 1 noktasından 1' noktasına kaymanın sebebi soğutucu akışkanın kompresöre gelene kadar oluşan basınç kayıplarıdır. 2 noktasından 2' noktasına kaymasının başlıca sebebi kompresörden çıkan soğutucu akışkanın kondensere gidene kadar oluşan basınç kayıplarıdır.

7.2. Kompresör Verimi

Kompresör çeşitlerine bakıldığında pozitif deplasmanlı, santrifüj ve aksiyel tip kompresörler kullanıldığı görülmektedir. Pozitif deplasmanlılara örnek olarak piston, scroll, rotary veya vidalı tipler gösterilebilir ve genel itibarıyla sıkıştırma verimi %40-75 arasında değişmektedir. Bu tip kompresörler yüksek basınçlandırma gereksinimlerini kolay bir şekilde karşılayabilirken sıkıştırılan akışkan debisi sınırlı olmaktadır. Santrifüj kompresörler dönen çarkın oluşturduğu merkezkaç kuvvetine dayanarak çalışmakta olup verimi %70-90 arasında değişmektedir. Basınçlandırma kapasitesi sınırlı olmasına rağmen akışkan debisi yüksektir. Aksiyel tipler basınçlandırma olarak çok düşük kabiliyetli olsalar da kompresör tipleri arasında en yüksek debilere ulaşabilen ve genellikle sıkıştırma yerine genişletme amacıyla kullanılan teknolojilerdir. %95 verimlere ulaşabilen aksiyel tip kompresörler hassasiyetlerinden dolayı çok yaygın olarak kullanılmamaktadırlar.

Bahsedildiği üzere sıkıştırma yöntemine göre sıkıştırmanın verimi değişmektedir. Sıkıştırma yapısı, basma yüksekliği, çalışma sıcaklığı ve kullanılan soğutucu akışkanın tipleri verimi etkileyen faktörler arasındadır.

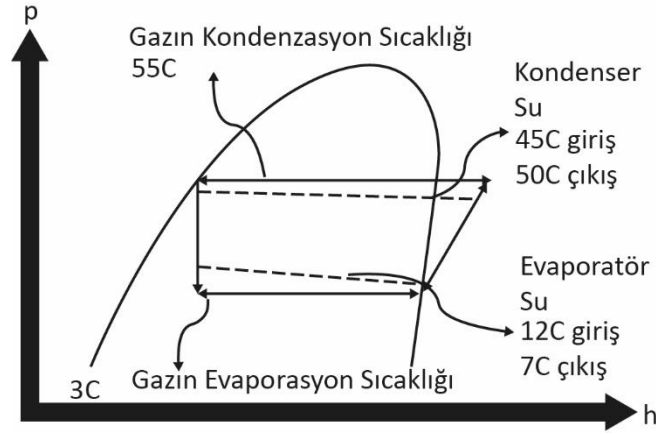
Buhar sıkıştırırmalı sistemlerin kalbi sayılabilecek kompresörlerin verimi, sistemin performans katsayısı için yüksek öneme sahiptir.

7.3. Yaklaşım Sıcaklığı

Isının bir noktadan diğer noktaya aktarılabilmesi için potansiyel bir fark olması gerekmektedir. Isıl enerjide potansiyel fark sıcaklık olup ısı geçişi için önemli bir etkidir. Isı aktarılan akışkanla ısıyı aktaran akışkan arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması ısı geçişini kolaylaştıran bir değer olmasına karşın bu sıcaklık farkının yüksek olması evaporatörde daha düşük emme basıncı ve kondenserde daha yüksek basma basıncı gereksinimi anlamına gelmektedir. Yaklaşım sıcaklığı ne kadar az ise sistemin performansı o kadar yükselir, ancak ısı geçişindeki önemli etken ise yüzey alanıdır. Yaklaşım sıcaklığı azaldıkça yüzey alanı gereksinimi artmakta, dolayısıyla yatırım maliyeti de artmaktadır. Yüzey alanının artmasının bir diğer etkisi de akışkanların sürtünme kayıplarıdır.

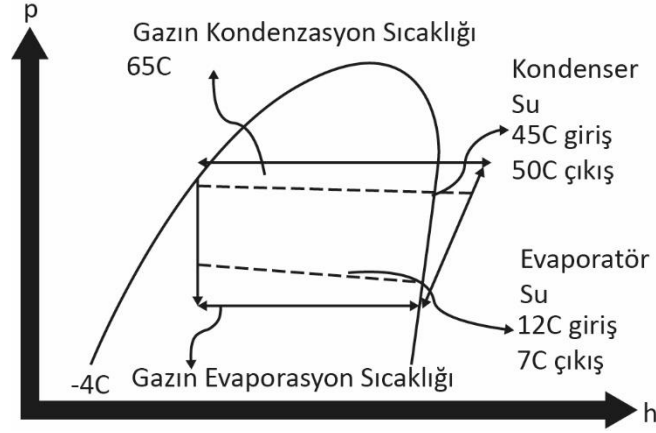
Yaklaşım sıcaklığının değişimin elektrik tüketimindeki etkisi ve aradaki farkın yatırım maliyeti ve işletme maliyeti olarak irdelenmesi yapılacak yatırımlarda optimum noktanın bulunmasıyla ilgili bir öngörü oluşturmak için kullanılabilir.

Tüm bu dengeler hesaba katılarak toplam sistem veriminin irdelenmesi elzemdir.



Şekil 16 Düşük yaklaşım sıcaklığının Basınç ve Entalpi Diyagramında örnek gösterimi

Yukarıdaki örnekte görüldüğü üzere evaporatör yaklaşım sıcaklığı 4K ($7 - 3$), kondenser yaklaşım sıcaklığı ise 5K ($55-50$) olup soğutma performans katsayısı yaklaşık 3,3 iken ısıtma performans katsayısı 4,3 değerindedir.



Şekil 17 Büyük yaklaşım sıcaklığının Basınç ve Entalpi Diyagramında örnek gösterimi

Evaporatör yaklaşım sıcaklığı $11K (7 - (-4))$ ve kondenser yaklaşım sıcaklığı $15K (65-50)$ olan bu örnekte ise soğutma performans katsayısı 2,1 ve ısıtma performans katsayısı 3,1 değerindedir.

7.4. Hız Sürücüsü

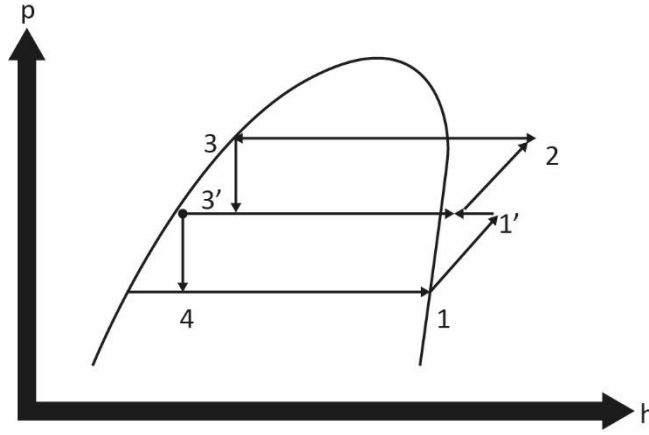
Sistemlerin ihtiyaçları her zaman tam yük kapasite ve/veya basınçta (santrifüj) olmayabilir. Bu sebeple kompresörler sıcaklık veya basınca göre belirli bir algoritmada çalışarak dur kalk veya kılavuz vanaları gibi çeşitli vanaları açarak yük azaltma işlemi yaparlar. Ancak bu durum sistemlerin daha verimsiz çalışmasına sebebiyet verir. Bu problemi yenmek için kompresöre güç veren elektrik motorunun dönme hızı ayarlanarak istenilen miktar ve basınçta sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu sayede verimsiz bir kapasite kontrolü yerine verimi daha yüksek bir kapasite ayarlaması yapılmaktadır. Alternatif veya doğru akım seçenekleri olan hız sürücülü kompresörler günümüzde daha yaygın şekilde uygulanmakta olup yüksek verim için önemli çözümler sunmaktadır. Hız sürücüsü uygulamasının hem kompresörde hem de ısı pompasında fan, pompa gibi yardımcı ekipmanlarda da kullanılması önemli bir etki oluşturacaktır.

7.5. Çevrim ile Verim Artırma Modelleri

Ekonomizer

Ters rankine olarak da adlandırılan buhar sıkıştırımlı sistemlerde sıcak ve yüksek basınçtaki sıvı soğutucu akışkanın basıncı düşürüldüğünde enerjisinin bir kısmını buharlaşmaya gitmekte olup buna flaş buhar denilmektedir. Flaş buharı, soğutma anlamında hiçbir işlem yapmadan sadece sistemde dolaşan ve sürekli basınçlandırılan soğutucu akışkan olarak düşünmek yanlış olmaz. Bu dolaşan kütleyi azaltmak için ekonomizer adı verilen parçalar eklenerek ısı pompası sistemlerinin verimi artırılmaktadır. Ekonomizer çalışma mantığı, evaporatör basıncıyla kondenser basıncı arasında ara bir basınç seviyesinde kompresörün ara kademe emişine bağlanmak, oluşan flaş buhar miktarını azaltmak ve aynı zamanda orta basınçta flaş

buhar oluşmasını sağlayarak daha az basınçlandırma gereksinimine yol açmak ve tüketilen enerjiyi azaltmaktır. Ekonomizer genel olarak sistemlerde %6-10 arasında bir performans artışı sağlamaktadır.



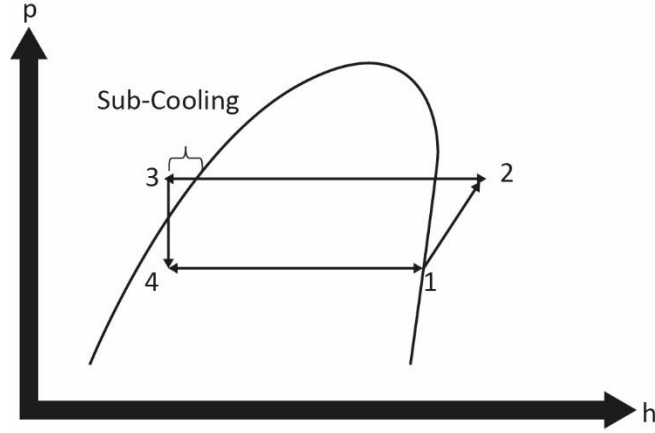
Şekil 18 Isı Pompası Çevriminde Ekonomizer Uygulamasının basınç-entalpi diyagramında gösterimi

Isı pompalarında ekonomizerin çalışma prensibi Şekil 14’de özetlenmiş olup anlaşılması açısından kondenser çıkışından (3) başlayarak sistem ele alındığında şunlar söylenebilir: İlk genişleme vanasından geçerek basıncı düşen soğutucu akışkanın (4) üzerindeki fazla enerjiden dolayı bir miktar flaş buhar oluşumu meydana gelmekte ve orta basınç seviyesindeki gaz soğutucu akışkan (x) ilk kademedeki basınçlandırılmış soğutucu akışkanla birlikte ikinci kademe kompresör tarafından tekrardan yoğunlaştırıcı basıncındaki gaz haline kadar (2) basınçlandırılabilir.

Subcooler

Ekonomizer ile benzer bir amaç için kullanılan subcooler, flaş buhar miktarını azaltmayı hedeflemektedir. Soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan subcooler üniteleri, ısı pompası gibi daha geniş basınçlandırma aralıklarında çalışan sistemlerde daha büyük bir etki yaratmaktadır. Örnek olarak 90 °C sıcaklıkta bulunan sıvı bir soğutucu akışkanın enerjisi bir ısı ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılarak 30-40 °C’lere kadar soğutulabilir. Bu sayede oluşacak olan flaş buhar miktarı azaltılmış ve normalde atık olan bu ısı değerlendirilmiş olmaktadır.

Soğutma sistemleriyle benzer prensipte çalışan ısı pompalarında, çalıştırıldıkları yüksek sıcaklık sayesinde atık ısıların değerlendirilmesi, soğutma sistemlerine göre daha kolay ve ekonomik olarak uygulanabilir.



Şekil 19 Isı Pompası Çevriminde Subcooler Uygulamasının basınç-entalpi diyagramında gösterimi

Şekilde görüldüğü gibi gaz haldeki (1) soğutucu akışkan kompresör tarafından basınçlandırıldıktan sonra yüksek basınçlı kızgın gaz (2) olarak kondensere girer, kondenserde ısıyı verip yoğuşurken tamamen sıvı olarak (3) kondenserden çıkıp genleşme vanasına girmeden önce subcooler gibi bir eşanjöre girerek burada normal çevrimden farklı olarak soğutucu akışkan yoğuşma sıcaklığının da altına soğutulur (4) üzerindeki enerji ısı bir işe çevrilir ve sonrasında genleşme vanasına girer ve basıncı düşürülen soğutucu akışkan (5) evaporatöre girer.

8. SEZONSAL VERİM

Çalışma ömrü içerisinde bir ısı pompasının çalışma şartlarında gerek dış hava şartlarına bağlı olarak gerek prosesin ihtiyaçlarına bağlı olarak değişkenlikler gözlemlenmektedir. Örnek olarak bir binanın ısı kaybı veya kazancı, güneşlenme süresi, sistemin aktif olduğu saatler, ısı kaynağındaki sıcaklık, bina içerisinde istenilen sıcaklık, kullanım suyu miktarı ve sıcaklığı, ısı üreten etkenler vb. birçok detay değişmektedir. Bu parametrelerin değişmesinin sonucu olarak ısı pompası sisteminin tükettiği elektrik, sistemin değişkenlere ayak uydurabilme kabiliyetlerine göre değişmektedir. Farklı ürün ve modeller arasında doğru tercihi yapabilmek için sezonsal verim hesaplamasıyla ilgili bölgelere göre belirli koşullar kabul edilerek hesap yapılmakta ve sezonsal verim değeri ortaya konulmaktadır. IPLV, ESEER gibi farklı yaklaşımlar bulunmakta olup ısı pompasının yıl içindeki senaryosunun bilinmesi durumunda tam karşılaştırma da yapılabilir.

ESEER Avrupa iklim ve kullanım alışkanlıklarına göre standartlaştırılmış ve EUROVENT tarafından hazırlanmış olan sezonsal verim hesabıdır. IPLV ise AHRI tarafından hazırlanmış olan sezonsal verim katsayısıdır.

Ayrıca karşılaştırmalar yapılırken, meseleyi bir sistem bütünlüğü içinde ele almak ve sadece kompresör odaklı olarak düşünmemek daha doğru bir sonuç verecektir. Örnek olarak, direkt evaporasyonlu bir ısı pompasıyla, su soğutmalı bir ısı pompası + pompa + sulu batarya (fan tüketimi) içeren bir sistemin karşılaştırılmasının doğru yapılabilmesi için tüm tüketim değerlerinin ortaya konulması gerekmektedir.

Sezonsal Verim Hesabı

Genel olarak sezonsal verim yıl içerisindeki çalışma süresinin çalışacağı kapasitede ve çalışacağı duruma göre verilen COP değerine göre ağırlıklı ortalamaların toplamı sezonsal verim değerini vermektedir.

Hesaplamalarla ilgili bir örnek aşağıdaki Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4 Sezonsal Verim Hesap Tablosu

Çalışma süresi %- Ağırlık Katsayısı	Çalışma Kapasitesi %	Çalışma Şartları	COP	Hesap	Sonuç
%x	%a	Durum 1	J	%x * J	Hesap edilen değerlerin toplamı sezonsal verimi vermektedir.
%y	%b	Durum 2	K	%y * K	
%z	%c	Durum 3	L	%z * L	
%t	%d	Durum 4	M	%t * M	

ESEER			IPLV		
% Kısmi Yük	Sıcaklık	Ağırlık Kat Sayısı	% Kısmi Yük	Sıcaklık	Ağırlık Kat Sayısı
100	35	0,03	100	35,0	0,01
75	30	0,33	75	26,7	0,42
50	25	0,41	50	18,3	0,45
25	19	0,23	25	12,8	0,12

Örnek ESEER/ IPLV hesabı:

ESEER				
% Kısmi Yük	Sıcaklık	Ağırlık Kat Sayısı	COP	Kapasite Kullanım
100%	35	0,03	6,0	0,0300
75%	30	0,33	7,0	0,2475
50%	25	0,41	9,0	0,2050
25%	19	0,23	5,0	0,0575
ESEER Değeri			7,33	0,54

IPLV				
% Kısmi Yük	Sıcaklık	Ağırlık Kat Sayısı	COP	Kapasite Kullanım
100%	35	0,03	4,0	0,010
75%	30	0,33	4,5	0,315
50%	25	0,41	5,0	0,225
25%	19	0,23	6,0	0,030
IPLV Değeri			4,9	0,58

ESEER Avrupa iklim ve kullanım alışkanlıklarına göre standartlaştırılmış ve EUROVENT tarafından hazırlanmış olan sezonsal verim hesabıdır. IPLV ise AHRI tarafından hazırlanmış olan sezonsal verim katsayısıdır.

Hesaplama programında IPLV ve ESEER tablolarına COP değerlerini girildiğinde, ESEER ve IPLV değerleri görülebilmektedir.

Belirlenmiş standart değerlerin yanı sıra bu doküman (Isı Pompası Kılavuzu) ile birlikte hazırlanan hesaplama çalışma dokümanından da (Excel dokümanı) yararlanılması önerilmektedir. Aylık bazda ısı tarafta güçleri ve yükleri belirterek farklı şartlar için farklı kapasitelerde sistem veriminin gözlemlenebileceği ve yaklaşık olarak olası durumu simüle edilmesini sağlayan bu dokümanda, toplam enerji tüketimlerinin aşağıdaki gibi gösterilmesi sağlanmaktadır.

Bu dokümanda; aylık çözünürlükte farklı hava şartları, farklı ısı kaynakları, farklı çalışma kapasitesi değerlerine göre bir ısı pompasının performansı ve elektrik tüketimi gibi olası senaryolar ve bunun sonuçları ile birlikte karşılaştırma sonuçları izlenebilmektedir.

Örnek bir ısı pompasının hava şartlandırma için kullanılması durumunda, yani yazın soğutma ve kışın ısıtma yaptığı durumda aylık olarak yaklaşık performans değerleri ve aylık elektrik tüketimleri aşağıda gösterilmektedir.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,90	7,90	10,00	13,70	18,70	23,40	25,80	26,00	22,50	17,40	13,40	9,20
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10,30	11,60	14,40	19,10	23,90	28,50	30,90	31,30	27,50	21,70	17,50	12,80
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4,10	5,00	6,50	9,60	14,40	19,30	21,60	22,10	18,70	14,10	10,30	6,30
Isıtma için 20 C ile olan Farkı	13,10	12,10	10,00	6,30	1,30					2,60	6,60	10,80
Soğutma için 22 C ile olan Farkı					1,90	6,50	8,90	9,30	5,50	0,30		
Isıtma Maximize göre Yüzdesele dağılım	100%	92%	76%	48%	10%	0%	0%	0%	0%	20%	50%	82%
Soğutma Maximize göre Yüzdesele dağılım	0%	0%	0%	0%	20%	70%	96%	100%	59%	3%	0%	0%
Aylara Göre Isıtma ve Soğutma COP'si	4,20	4,40	4,80	5,30	5,60	5,20	4,10	3,70	4,20	5,80	5,40	4,90
Isıtma Elektrik Tüketimi	9.428,57	8.312,98	6.297,71	3.593,26	701,74	-	-	-	-	1.355,09	3.694,66	6.662,72
Soğutma Elektrik Tüketimi	-	-	-	-	1.203,92	4.435,48	7.702,60	8.918,92	4.646,70	183,54	-	-
Aylık Toplam Elektrik Tüketimi kW	9.428,57	8.312,98	6.297,71	3.593,26	1.905,66	4.435,48	7.702,60	8.918,92	4.646,70	1.538,63	3.694,66	6.662,72

Şekil 20 Hava şartlandırma için bir kurumun yıllık örnek enerji tüketim yaklaşımı

Yukarıdaki tabloda iş amaçlı kullanılan bir binanın hava kaynaklı ısı pompasıyla ortam şartlandırılması yapılması durumunda yıllık olarak ortalama enerji tüketim yaklaşımı yapılmıştır. Kırmızı renk ısıtmanın yapıldığı ayları, turuncu renk mevsim geçişlerini dolayısıyla da hem ısıtma hem de soğutmanın olduğu ayları, mavi ise soğutmanın yapıldığı ayları göstermektedir. Ortalama gündüz sıcaklıklarına göre kapasite yaklaşımı yapılmış olan modelde dış hava şartlarına göre performans değerleri hesaplanıp gerçekleşme ihtimali olan durumu simüle edilmesi çalışılmıştır. Hava şartlandırma sisteminin enerji tüketimi ve bunun yaklaşık maliyeti hesaplanmıştır. Benzeri bir çalışmanın ısı pompası tasarımı yapan kişiler tarafından yapılması tavsiye edilmekte olup, bölgesel şartlara göre en doğru ısı pompası uygulamasının seçimiyle de yüksek verimli, düşük işletme maliyetli ve geri ödeme süresi açısından uygun bir projelendirmenin yapılmasına dikkat edilmelidir.

9. HANGİ ISI KAYNAĞI SEÇİLMELİDİR?

Isı pompasına kaynak olacak ısı noktasının belirlenmesinde öncelikle ihtiyaç analizi yapılması gerekmektedir. İhtiyaçların belirlenmesiyle birlikte ısı pompasının kapasitesi ve çalışacağı sıcaklıklar ortaya konulmalıdır. Isı pompasının ihtiyacını karşılayacak kapasiteye ve sistem performansına göre ısı kaynağının belirlenmesi önem taşımaktadır.

Isı pompası sistemlerinin verimlerini etkileyen faktörlerle ilgili alt bölümde belirtilen detayları dikkate alarak ısı kaynağını seçmek gerekmektedir. Ayrıca ısı kaynağının sürekliliği ve bağıntılı olması gibi detaylar da önem arz etmektedir. Eğer bir atık ısı varsa ve bu atık ısı kış aylarında ortam sıcaklığından daha yüksekse, atık ısının seçilmesi uygun olabilir. Eğer bir su kaynağı varsa ve bu su kaynağına ulaşım kolay ise, bu kaynaktan yararlanılabilir; ayrıca suyun malzemeler üzerindeki etkisi ve ısı değiştirici maliyeti gibi detaylara da bakılması gerekir.

Bakılması gerekenler,

- İhtiyaç analizi
 - Isıtma ve Soğutma
- İhtiyaç duyulan kapasite
- Isı kaynağının sürekliliği (devamlılığı)
- Isı kaynağının sıcaklığı ve kapasitesi
- Kurulum maliyeti
- İşletme maliyeti karşılaştırması
- Çevreye etkisi

Uygulama yapılması planlanan yerin bölgesel şartlarının irdelenmesi gerekmektedir. Performansın yanı sıra uygulanabilirlik ve maliyet açısından yatırımın incelenmesi önemlidir. Mevsimler arası çok yüksek sıcaklık farklılıkları bulunan bölgeler için toprak gibi görece daha stabil opsiyonlar değerlendirilmesi uygun olurken, hava şartları daha stabil olan bölgelerde toprak kaynaklı ısı pompası yatırım maliyeti işletme ve yatırım maliyetleri açısından değerlendirilmesi gerekmektedir.

Isı pompasının uygulanma amacı fosil yakıt tüketiminin, karbon emisyonlarının, enerjiye ulaşım risklerinin ve enerji maliyetlerinin azaltılması olduğu göz önünde bulundurularak. Isı pompası sistemini komple bir sistem olarak düşünmek ve sadece ısı pompası ünitesi değil pompa, fanlar, iç üniteler vb. tüm yardımcı ekipmanların enerji tüketimlerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Bölgesel şartlar nelerdir?

- Mevcutta hangi yakıt tipi kullanılmaktadır?
 - Yakıtın ulaşmanın maliyeti nedir?
 - Yatırım gerektirmekte midir?
- Bölgede ısı kaynakları nelerdir?
 - Toprak
 - Su
 - Hava
- Bulunan kaynakların her biri için irdelenmesi gerekenler.
 - Uygulanabilme kolaylığı
 - Çevresel etkileri ve yasal zorunluluklar
 - Yatırım Maliyeti
 - İşletme Maliyeti
- Yatırım teşviki ve destekler bulunmakta mıdır?
- Ekonomik olarak uygun mudur?

Sorularına cevap vermek için, mühendislik çalışmasıyla desteklenmiş ısı pompası fizibilite raporunun hazırlanması ve çıkan sonuçlara göre yatırım kararı alınması önerilmektedir.

Hava Kaynaklı Isı Pompası

Uygulaması en kolay olan ve bu özelliğinden dolayı daha çok tercih edilen hava kaynaklı ısı pompaları bir klimadan çok da farklı olmayıp ulaşabildiği minimum ve maksimum çalışma sıcaklıkları açısından farklılaşmaktadır. Bu farklılaşma ile hem sıcak su hem de hava şartlandırma gereksinimi tek bir sistem ile karşılayabilmektedir. Hava kaynaklı ısı pompalarının kurulumunda dikkat edilmesi gereken en önemli nokta kaynağı hava olduğu ve bunu ortamdan aldığı için hava sirkülasyonuna izin veren kurulum dokümanlarında yer alan mesafelerin gözetilmesi gerekmektedir. Kurulum bölgesine göre buzlanma riskleri ve buzlanma olması durumunda buzlanma giderici sistemle donatılmış olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Toprak kaynaklı Isı Pompası

Özellikle toprak kaynaklı ısı pompası uygulamalarının binanın inşası sırasında planlanması ve uygulanması hem maliyet hem de uygulama kolaylığı bakımından en doğru yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, toprak kaynaklı ısı pompası uygulamalarında bina inşaatı sonrasında yapılacak toprak kazım maliyetinin yüksek çıkabileceği ve uygulama zorluğu hususları göz önünde bulundurulmalı, gerekli ısı transfer yüzey alanı ve toprak tipine göre hesaplanan ısıtma/soğutma sistemine ilişkin inşaat faaliyetlerinin (borulama) de önceden tamamlanması gerekmektedir.

Sondaj tip toprak kaynaklı ısı pompalarında sondaj öncesi bölge hakkında bilgi toplamak, ilk sondaj öncesinde ampirik formüllerle yaklaşık değerlere göre sıcaklıklar uygun kabul edildikten sonra gerekirse örnek bir sondaj yapıp karot alınarak daha doğru toprak sıcaklıkları ve yapısının hesaplanması mümkündür ayrıca sondaj öncesinde gerekli izin ve belgelerin alınması önemlidir. Toprak yapısı ve suyun varlığı, sondajlar arası mesafe ve ısı yük kaldırabilme kabiliyetine göre gerekli ön hazırlıkların yapılmış olması gerekmektedir.

Hangi toprak kaynaklı ısı pompasının seçilmesine karar verilebilmesi için ısı pompası yatırımının yaşam döngüsü açısından ele alınması önemli olup, yatırımlara destek olabilecek konular gerekli mercilerle konuşularak irdelenmelidir.

Su Kaynaklı Isı pompası

Su kaynaklı ısı pompası uygulamalarında, suyun kaynağının bulunduğu yer ve tasarımın yapısına göre çeşitlendirilebilir, kapalı çevrim ve açık çevrim olarak iki farklı ısı aktarımı mümkündür. Suyun yapısına ve ısı kaynağına ulaşım imkanına göre karar verilerek uygun yapı seçilir. Isı pompasının gereklilikleri doğru tanımlandıktan sonra sistem performansı değerlendirilir.

- Kapalı Çevrim

Isısı alınan suyla ısı pompası arasında ikincil bir akışkan kullanılır bu sayede ısı kaynağı olan suyun ısı pompasıyla direk teması kesilir ve ısı pompasına olası etkileri bertaraf edilmiş olunur. Genel olarak, korozif veya kirli olan sularda bu yöntem tercih edilmektedir.

- Açık Çevrim

Isısı alınan su, ısı pompasına direkt temas ile ısı geçişi sağlanır. Suyun korozyon veya kirletme gibi yan etkilerinin olmadığı çözümlerde kullanılan yöntem, kapalı çevrime göre aynı sıcaklıktaki su kaynağına göre daha yüksek verimlidir.

- Isı Aktarımı

Isı kaynağı kadar ısının aktarılacağı noktada istenilen sıcaklığında büyük bir önemi bulunmaktadır. Bu sebeple ısı pompası ile çalışacak sistemin özellikle ortam şartlandırma için kullanılması durumunda olabildiğince düşük sıcaklıkta tasarlanması ısı pompası verimini ciddi ölçüde arttıracaktır. Bu minvalde endirekt sistemler yerine soğutucu akışkanın direkt olarak hava ile ısı değişimi yaptığı iç üniteler sistem verimini arttıracaktır. Bu dönüşümün/uygulamanın yapılmadığı sistemlerde, yerden ısıtma gibi düşük sıcaklıkta çalışan sistemlerin tercih edilmesi veya konveksiyonlu ısı transferinde yüzey alanı büyük ısı aktarıcı (kalorifer petek, vb.) ekipman ve sistemlerinin kullanılması önemli rol oynayacaktır.

Tablo 5 ASHRAE- 90.1 2019 – Isı taşıyıcı su olan ısı pompaları için minimum verimlilik tablosu

Ekipman Tipi	Kategori (kapasite)	Isıtma Bölümü Tipi	Derecelendirme Koşulu	Minimum Verimlilik	Test Prosedürü
Sudan havaya, su döngüsü (soğutma modu)	< 5 kW	Hepsi	30 C° giriş suyu	3.6 EER	ISO 13256-1
	≥ 5 kW ve < 19 kW			3.8 EER	
	≥ 19 kW ve < 39,6 kW			3.8 EER	
Sudan havaya, yeraltı suyu (soğutma modu)	<39,6 kW	Hepsi	15 C° giriş suyu	5.3 EER	ISO 13256-1
Tuzlu sudan havaya, toprak döngüsü (soğutma modu)	<39,6 kW	Hepsi	25 C° giriş suyu	4.1 EER	ISO 13256-1
Sudan suya, su döngüsü (soğutma modu)	<39,6 kW	Hepsi	30 C° giriş suyu	3.1 EER	ISO 13256-2
Sudan suya, yeraltı suyu (soğutma modu)	<39,6 kW	Hepsi	15 C° giriş suyu	4.8 EER	ISO 13256-2
Tuzlu sudan suya, toprak döngüsü (soğutma modu)	<39,6 kW	Hepsi	25 C° giriş suyu	3.6 EER	ISO 13256-2
Sudan suya, su döngüsü (ısıtma modu)	<39,6 kW (soğutma kapasitesi)		20 C° giriş suyu	4.3 COPH	ISO 13256-1
Sudan havaya, yeraltı suyu (ısıtma modu)	<39,6 kW (soğutma kapasitesi)		10 C° giriş suyu	3.7 COPH	ISO 13256-1
Tuzlu sudan havaya, toprak döngüsü (ısıtma modu)	<39,6 kW (soğutma kapasitesi)		0 C° giriş suyu	3.2 COPH	ISO 13256-1
Sudan suya, su döngüsü (ısıtma modu)	<39,6 kW (soğutma kapasitesi)		20 C° giriş suyu	3.7 COPH	ISO 13256-1
Sudan suya, yeraltı suyu (ısıtma modu)	<39,6 kW (soğutma kapasitesi)		10 C° giriş suyu	3.1 COPH	ISO 13256-2
Tuzlu sudan suya, toprak döngüsü (ısıtma modu)	<39,6 kW (soğutma kapasitesi)		0 C° giriş suyu	2.5 COPH	ISO 13256-2

Tablo 6 ASHRAE- 90.1 2019 – Isı kaynağı hava olan ısı pompaları için minimum verimlilik tablosu

Ekipman Tipi	Kategori (kapasite)	Isıtma Bölümü Tipi	Derecelendirme Koşulu	Minimum Verimlilik	Test Prosedürü
Hava soğutmalı (soğutma modu)	<19 kW	Hepsi	Tek paket	3.0 COP _{nfcooling}	AHRI 210/240
	≥19 kW ve <39.6 kW		Split sistem ve tek paket	3.4 COP _{nfcooling}	AHRI 340/360
	≥39.6 kW ve <70.3 kW			3.2 COP _{nfcooling}	
	≥70.3 kW			3.1 COP _{nfcooling}	
Hava soğutmalı (ısıtma modu)	<19 kW (soğutma kapasitesi)		Tek paket	3.4 COP _{nfcooling}	AHRI 210/240
	≥19 kW ve <39.6 kW (soğutma kapasitesi)		8.3 C° Kuru T./6.1 C° Yaş T. dış hava	3.4 COP _{nfcooling}	AHRI 340/360
			-8.3 C° Kuru T./-9.4 C° Yaş T. dış hava	2.3 COP _{nfcooling}	
	≥39.6 kW (soğutma kapasitesi)		8.3 C° Kuru T./6.1 C° Yaş T. dış hava	3.4 COP _{nfcooling}	AHRI 340/360
			-8.3 C° Kuru T./-9.4 C° Yaş T. dış hava	2.1 COP _{nfcooling}	

10. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Isı pompası yeni bir teknoloji olmamakla birlikte, gelişen tasarım ve kontrol sistemleriyle geniş bir alana hitap etmeye başlamıştır. Çeşitli üreticiler özel ve farklı ürünler ile kullanıcılara çeşitli çözümler sunmaktadırlar. Konvansiyonel sistemlere alternatif bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Yaz aylarında çok sıcak ve kış aylarında çok soğuk olan iklim bölgelerinde kullanılması oldukça verimli olan bu sistem sayesinde, binaların ve yaşam yerlerinin ısıtma, soğutma ve sıcak su ihtiyaçları kolaylıkla karşılanabilir. Toprak sıcaklığının hava sıcaklığına göre daha stabil olması ve yer altındaki toprak sıcaklığının hava sıcaklığından az etkilenmesi ısıtma ve soğutmada daha performanslı bir çözüm sunmaktadır. Bu sistemler genelde binalar ve yaşam alanlarında yaygınlaşmakta olup, kurulumu hava kaynaklı sistemlere göre daha zor ve maliyetlidir. Bina inşaatı sırasında bu sistemlerin alt yapısının kurulması tercih edilir.

Dikey uygulamalarda toprak altı nem miktarı ve su bulunurluğu ısı geçişi ve yatırım maliyeti açısından önemlidir.

Hava Kaynaklı Isı Pompası

Zorlu iklim şartlarının olmadığı yerlerde daha çok tercih edilebilir olan hava kaynaklı ısı pompaları kurulumlarının kolay olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır. Normal bir klima gibi montajı yapılabilen ısı pompalarının bir diğer önemli özelliği ise sıcak su üretebilmeleridir. Bu sayede hem ortam şartlandırılması yani yazın soğutma ve kışın ısıtma hem de sıcak kullanım suyu üreterek tüm ihtiyaçları karşılayabilmektedir. Ayrıca yerden ısıtma veya kalorifer sistemine entegre edilebilecek olan bu ürünler hızlı bir ısı pompası geçişi olarak gösterilmektedir. Kalorifer sistemine direkt entegrasyon yapılacaksa dikkat edilmesi gereken ne kadar yüksek sıcaklıkta bir kalorifer sirkülasyonu varsa o kadar performansının ters orantılı olarak düşeceğini bilmektir. Bu sebeple konveksiyonel radyatörler yerine fan-coil gibi cebri hava akışı olan hava ısıtıcıları ile birlikte kullanılması toplam sistem verimi önemlidir. DX batarya yapısıyla da tüm mahalin ısıtma ve soğutması yapılabilir DX batarya sisteminin avantajı bir oda ısıtılırken diğer oda soğutulabilir yapıda kurgulanabilir.

Su Kaynaklı Isı Pompası

Yer altı veya yer üstü sularının enerjisinden yararlanan bu sistemler bulunduğu bölgeye göre değişkenlik göstermekte ve yer üstü uygulamalar toprağa nazaran daha fazla hava durumundan etkilenmektedir. Suyun içerisine bir ısı değiştirici yerleştirilebileceği gibi suyun pompa yardımıyla ısı değiştiriciye iletilmesi ve ısı değişimi sonrasında tekrar su kaynağına geri yönlendirilmesi şeklinde yapılabilir. Su kaynaklı ısı pompaları coğrafi koşullara bağlı olduğu için her yerde uygulamak mümkün olmayabilir. Uygulama noktasındaki suyun kaynağına göre sıcaklığı değişebilir. Suyun soğuk olduğu yerlerde kompresör gerek kalmadan mahal soğutma için bile kullanılabilir, aynı şekilde suyun sıcak olduğu kaynaklarda ısıtma için kullanılabilir. Seçenekler çok değişken olabileceği için bulunan bölgedeki kaynağın yapısına göre tasarım yapılması gerekmektedir.

Güneş + Hava

Isıtma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kombinlenen bu hibrit seçenek, soğuk hava şartlarında güneşten de yararlanabildiği için daha yüksek performans değerlerine ulaşmaktadır. Güneş ve hava kaynaklı bu ısı pompaları genel olarak hava şartlandırma ve kullanım suyu ısıtma gibi binaların ve konutların ihtiyaçları karşılamak için kullanılmaktadır. Yaygınlaşan bir ısı pompası tipi olan bu seçenek, güneşlenmenin yüksek olduğu ancak havanın soğuk olduğu yerlerde daha fazla tercih sebebidir.

Hava Şartlandırma ve Sıcak Su Üretimi

Isı pompalarında soğutucu akışkan, basınçlandırılırken kızgın gaz fazına geçmekte ve kondenzasyon sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta bulunmaktadır. Örnek olarak 35 °C kondenzasyon sıcaklığı olan soğutucu akışkan kompresörden çıktığında 65-70 °C sıcaklıklara ulaşabilir. Kullanım sularında istenilen sıcaklık ortalama 40-50 °C aralığında olduğundan kondenzasyon ısıyla ısıtılamazken gazın kızgınlığının aktarılması için uygun bir noktadır. Soğutucu akışkan kullanım suyunu ısıttıktan sonra kondensere geçiş yapar. Çalışma şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte kızgınlık enerjisi soğutucu akışkanın kompresörden çıktığı noktadaki enerjisinin %5-10'u arasında olabilir ve bu enerji sıcak su üretimi için kullanılarak halihazırda harcanacak olan enerjinin değerlendirilmesiyle doğal gaz benzeri yakıt tüketiminin önüne geçilebilir. Bu sistemlerin çok yönlü kullanılabilmesinden dolayı tek bir cihaz yatırımı yapılarak bir yaşam alanının tüm ihtiyaçlarını karşılanabilir.

Atık Isı Değerlendirme

Gerek endüstriyel gerekse binalardaki atık ısıların değerlendirilmesiyle ilgili olarak genel ve özel çözümlere gidilebilir. Çeşitli şartlara bağlı olarak tasarımın değişebileceği bu uygulamalarda, doğal kaynaklara göre daha yüksek performans sunabilecek durumları değerlendirmek önemlidir. Bu bağlamda yapılacak çalışmalar ile sistem iç verimi artırılabilir ve enerji tüketimi azaltılabilir. Atık ısıların değerlendirilmesinin önemli bir diğer noktası da çevreyi ısıtacak enerjinin yararlı hale dönüştürülmesiyle ikincil bir ısı kaynağının ortadan kaldırılmasıdır. Kazan sistemlerinin baca atık ısıları, proseslerden çıkan sıcak hava veya suyun değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilir.

Isıtma + Soğutma

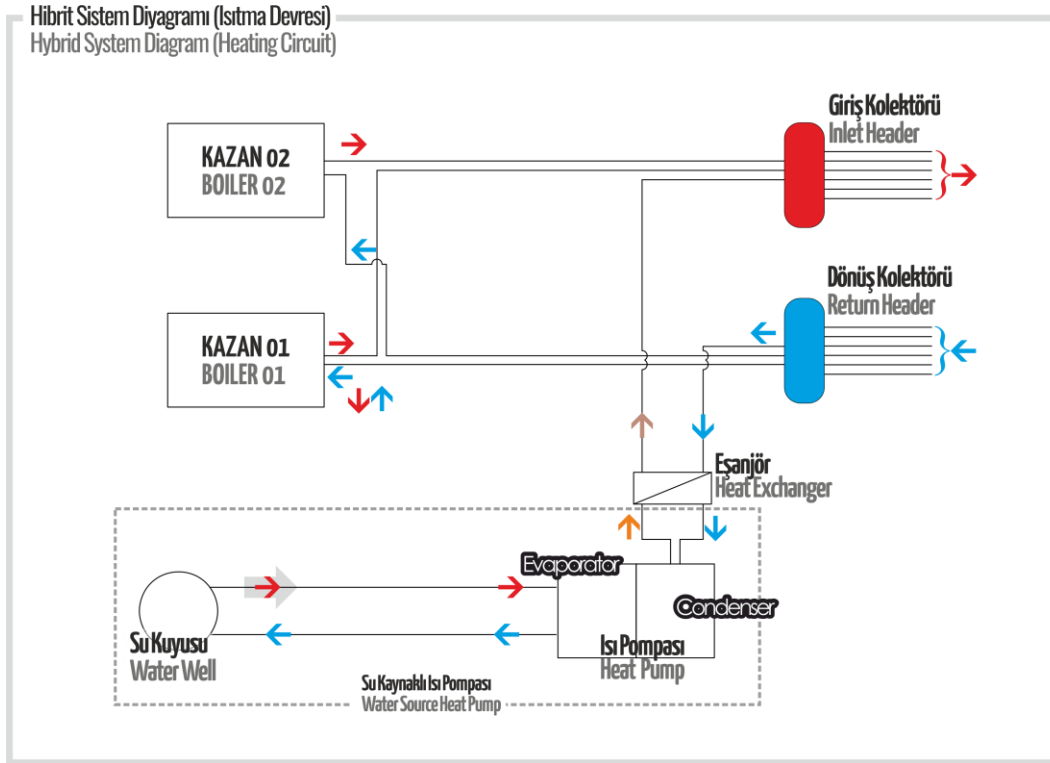
Endüstriyel işletmelerde çeşitli proseslerde ısıtma ve soğutma ihtiyaçları bulunmaktadır. Aynı anda ısıtma ve soğutma ihtiyacı olan işletmelerde ısı pompaları yüksek verimli bir çözüm olabilmektedir. Hem chiller hem de bir sıcak su kazanı görevi gören ısı pompası ile enerji maliyetleri azaltılmaktadır. Çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak performans değerleri değişmesine rağmen soğutmaya da yaptığı, yani kaynak tarafını değerlendirdiği için ısı pompası ekonomik olarak daha uygulanabilir bir çözümdür. Bina ve konutlardaki hava şartlandırma sistemlerinde genelde ya ısıtma ya da soğutma olarak çalışmasına rağmen, geçiş mevsimlerinde farklı istekleri karşılamak için çok borulu tasarımlar ile ısı pompaları verimli çözümler sunabilmektedir.

Örnek Su Kaynaklı Isı Pompası Analizi;

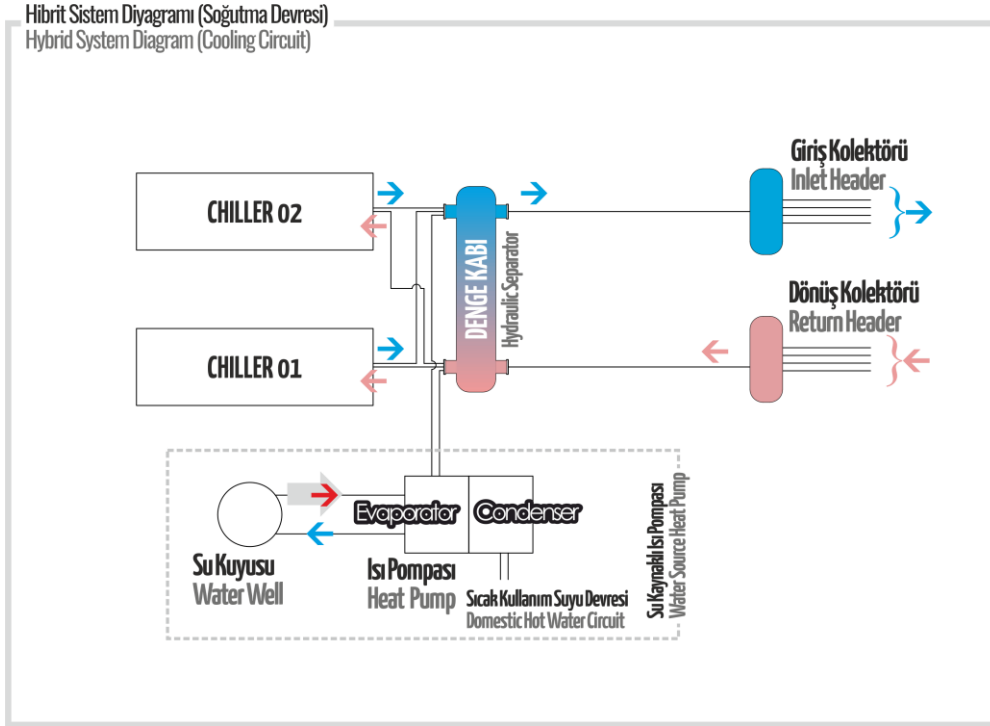
Bu örnekte, mevcuttaki doğal gaz kazanı ve soğutma grubunun iyileştirilmesi ve mevcut iklimlendirme sisteminin su kaynaklı ısı pompası sistemi ile desteklenerek enerji maliyetlerinin azaltılması planlanmış olan bir hastanede yatırıma dönüşen gerçek bir uygulamaya yer verilmiştir. Mevcut verimsiz kazanın yer tipi premix (1000-1149kW) yoğuşmalı kazan ile değiştirilmesi ve mevcut iklimlendirme sisteminin (Isıtma + soğutma) su kaynaklı ısı pompası (700kW) ile desteklenmesi başlıklı projeye ilişkin bilgiler aşağıdaki şekilde raporlanmıştır.

Isıtma Sisteminin Su Kaynaklı Isı Pompası ile desteklenmesi

Isıtma sistemi gidiş hattının öncelikli olarak su kaynaklı ısı pompasından beslenmesi, ısı pompasının yetersiz kalması halinde sıcak su kazanları ile sistemin desteklenmesi sağlanacaktır. Kurgulanan sisteme ilişkin diyagram ve genel açıklamalar aşağıda belirtilmiştir. Aşağıda sunulan diyagram projelendirme esnasında uygulama sahasının uygunluğuna göre değişikliğe uğrayabilir.



- Kuyudan çekilecek suyun, kapasite sınırları (700kW) içinde ihtiyaç duyulan enerjiyi sürdürülebilir şekilde karşılayacağı öngörülmektedir. Kesin sonuçlar saha jeofizik çalışmaları neticesinde belirlenecektir.



Merkezi soğutma sistemi, dengeleme kabı üzerinden su kaynaklı ısı pompası ile desteklenecektir. Bunun yanında söz konusu sistemin, mevsim geçişlerinde (*soğutma ihtiyacının düşük olduğu dönemler*) chiller kullanımını engelleyeceği/azaltacağı düşünülmektedir.

- Su kaynaklı ısı pompası chiller grupları ile birlikte direk sisteme bağlanacaktır. Çalışma esnasında ısı pompası kondenser atık ısı kullanım sıcak su hattına aktarılacaktır. Bu suretle yaz dönemlerinde sıcak kullanım suyu üretimi de desteklenmiş olacaktır.

Genel Değerlendirme

- Simülasyon sonuçları ~700kW kapasiteli su kaynaklı ısı pompası tarafından desteklenecek merkezi ısıtma sistemi yakıt tüketiminin ~75% oranında azalacağını, elektrik tüketiminin ise 6% oranında artacağını göstermektedir.
- Tasarruf potansiyeli ve öngörülen yatırım maliyetleri aşağıda sunulmuştur.
- Kazan Değişimi Tasarruf Potansiyeli;

ENERJİ TİPİ	TOPLAM TÜKETİM	BİRİM	ENERJİ BİRİM MALİYETİ	TASARRUF POTANSİYELİ		
				%	Birim/yıl	₺/yıl
<u>DOĞALGAZ</u>	312.593,97	Sm ³	₺2,60	10,40%	32.509,77	₺84.362,86

- Isı Pompası Tasarruf potansiyeli;

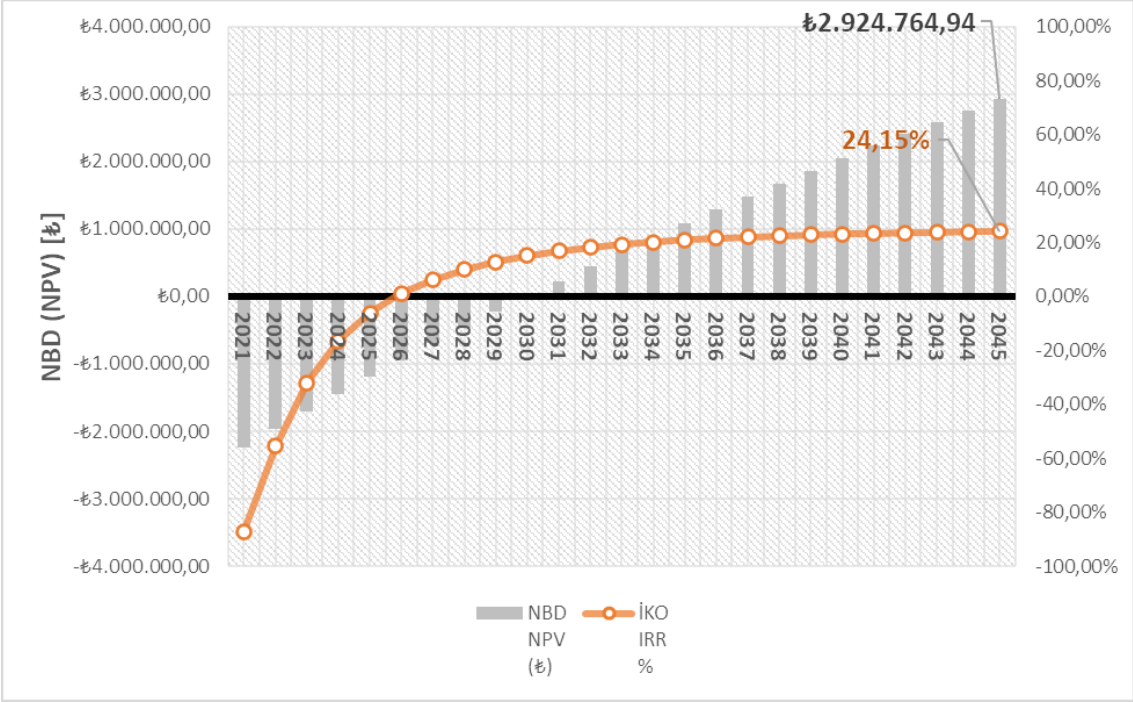
ENERJİ TİPİ	TOPLAM TÜKETİM	BİRİM	ENERJİ BİRİM MALİYETİ	TASARRUF POTANSİYELİ		
				%	Birim/yıl	₺/yıl
Doğalgaz	280.087,32	Sm ³	₺2,60	75,00%	210.065,49	₺545.119,95
Elektrik	2.216.797,04	kWh	₺2,25	-6,00%	-133.007,82	-₺299.799,63
					Toplam	₺245.320,31

- Toplam tasarruf potansiyeli 329.683,17 TL/yıl

ISKONTO OR. **15,00%**

ENERJİ FİYAT ENFLASYONU **12,75%**

EDİNİM BEDELİ ACQUISITION COST (₺)	MONTAJ VE İŞLETMEYE ALMA MALİYETİ INSTALLATION AND COMMISSIONING COST (₺)	EKONOMİK ÖMÜR ECONOMIC LIFE (YEAR)	BAKIM KONTROL VE İŞLETME MALİYETİ MAINTENANCE CONTROL AND OPERATING COST (₺)	TASARRUF MİKTARI FINANCIAL SAVING (₺)	KAZANÇ WINNINGS (₺)	NBD	İKO	BGD
						NPV (₺)	IRR %	SRT (YEAR)
₺2.047.463,31	₺467.701,96	2021	₺12.500,00	₺329.683,17	₺317.183,17	-₺2.239.353,82	-87,39%	7,63
		2022	₺14.375,00	₺371.717,77	₺357.342,77	-₺1.969.151,34	-55,48%	
		2023	₺16.531,25	₺419.111,79	₺402.580,54	-₺1.704.448,10	-31,95%	
		2024	₺19.010,94	₺472.548,54	₺453.537,61	-₺1.445.136,50	-16,48%	
		2025	₺21.862,58	₺532.798,48	₺510.935,90	-₺1.191.111,06	-6,13%	
		2026	₺25.141,96	₺600.730,29	₺575.588,32	-₺942.268,34	1,04%	
		2027	₺28.913,26	₺677.323,40	₺648.410,14	-₺698.506,95	6,18%	
		2028	₺33.250,25	₺763.682,14	₺730.431,89	-₺459.727,47	9,97%	
		2029	₺38.237,79	₺861.051,61	₺822.813,82	-₺225.832,43	12,82%	
		2030	₺43.973,45	₺970.835,69	₺926.862,23	₺3.273,74	15,03%	
		2031	₺50.569,47	₺1.094.617,24	₺1.044.047,77	₺227.684,73	16,76%	
		2032	₺58.154,89	₺1.234.180,94	₺1.176.026,04	₺447.492,41	18,13%	
		2033	₺66.878,13	₺1.391.539,00	₺1.324.660,88	₺662.786,83	19,24%	
		2034	₺76.909,85	₺1.568.960,23	₺1.492.050,38	₺873.656,31	20,14%	
		2035	₺88.446,32	₺1.769.002,66	₺1.680.556,33	₺1.080.187,41	20,89%	
		2036	₺101.713,27	₺1.994.550,50	₺1.892.837,22	₺1.282.465,03	21,50%	
		2037	₺116.970,26	₺2.248.855,68	₺2.131.885,42	₺1.480.572,37	22,02%	
		2038	₺134.515,80	₺2.535.584,78	₺2.401.068,98	₺1.674.591,04	22,45%	
		2039	₺154.693,17	₺2.858.871,84	₺2.704.178,67	₺1.864.601,02	22,82%	
		2040	₺177.897,15	₺3.223.378,00	₺3.045.480,86	₺2.050.680,75	23,13%	
2041	₺204.581,72	₺3.634.358,70	₺3.429.776,98	₺2.232.907,12	23,40%			
2042	₺235.268,98	₺4.097.739,43	₺3.862.470,46	₺2.411.355,53	23,63%			
2043	₺270.559,32	₺4.620.201,21	₺4.349.641,89	₺2.586.099,90	23,83%			
2044	₺311.143,22	₺5.209.276,86	₺4.898.133,64	₺2.757.212,68	24,00%			
2045	₺357.814,70	₺5.873.459,66	₺5.515.644,96	₺2.924.764,94	24,15%			



Örnek Hava Kaynaklı Isı Pompası Analizi;

Bu örnekte, hava kaynaklı ısı pompası uygulaması yapılması uygun görülen bir Teknoloji Enstitüsü'nde yatırıma dönüşen gerçek bir uygulamaya yer verilmiştir. Projeye ilişkin bilgiler aşağıdaki şekilde raporlanmıştır.

Hava kaynaklı ısı pompası sistemi kurulması

- Kapsam dahilindeki binalarda, ısınma ihtiyacı fuel-oil yakıtlı kazanlarla ve soğutma ihtiyacı hava kaynaklı chiller cihazları ile sağlanmaktadır.
- Kışın ısıtılmış su, yazın soğutulmuş su aynı klima santrali ve fan-coiller üzerinden binaları iklimlendirmektedir.
- Sistemler bir ya da birkaç bina için müstakildir.
- Bu sistemler için alternatif olarak hem ısıtma hem soğutma yapabilen hava kaynaklı ısı pompaları önerilmiştir.
- Binaların ısıtma ve soğutma yükleri Carrier HAB 5.1.1 simülasyon programı ile hesaplanmıştır.
- Hem mevcut durumda hem de ısı pompası kullanılması durumunda binaların ne kadar enerji tüketeceği yine aynı program üzerinden hesaplanmıştır.
- Önerilen durumda, fuel-oil tüketimi sınırlanmakta, elektrik tüketimi ise artmaktadır. Ancak toplamda binanın tükettiği enerjide ve maliyette azalma meydana gelmektedir.
- Önerilen durumda, binaların %100 ısı pompası ile iklimlendirilmesi hesaplanmıştır.
- İç ünitelerde değişiklik yapılmayacaktır.
- Binaların mevcut durumları ve önerilen sistem özetleri şu şekildedir:

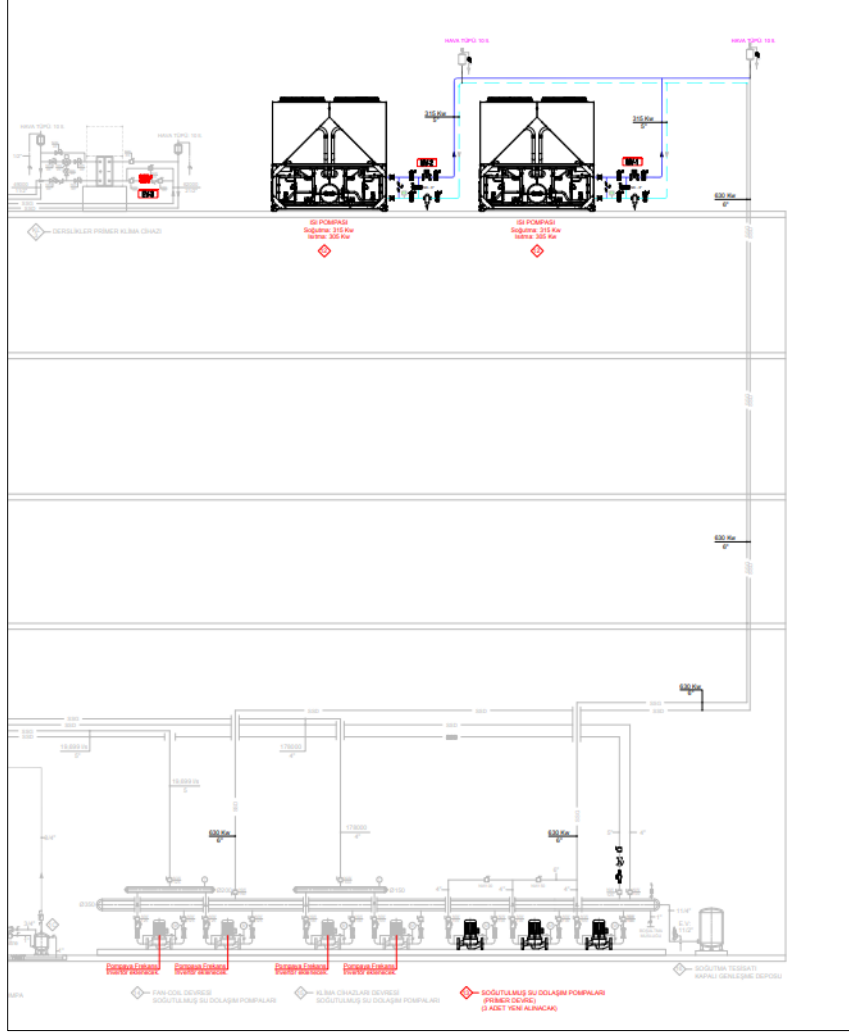
Binalara önerilen cihazların kapasiteleri ve elektrik tüketimleri

Bina Adı	Cihaz Adı	Adet	Qsoğ	Qısı	Qel
			kW	kW	kW
01- İnşaat Mühendisliği	Hava Soğutmalı Isı Pompası	2	315	305	166
03-Makina Mühendisliği	Hava Soğutmalı Isı Pompası	2	350	220	120
04-Matematik Bölümü	Hava Soğutmalı Isı Pompası	2	240	130	106
05-Merkezi Kütüphane	Hava Soğutmalı Isı Pompası	2	400	175	147
06-Mimarlık E Blok	Hava Soğutmalı Isı Pompası	2	90	45	30
07-Moleküler Biyoloji	Hava Soğutmalı Isı Pompası	2	325	325	140

01 İnşaat Mühendisliği:

- Binada ısıtma ihtiyacı 600.000 kCal/h kapasitede 3 adet fuel-oil yakıtlı kazan ile sağlanmaktadır. Ancak bu üç kazan İnşaat Mühendisliği dışında 2 binayı daha beslemektedir. Diğer 2 bina kapsam dışı olduğundan, mevcut ısıtma sistemi aynen korunacaktır. Ancak, İnşaat Mühendisliği ısıtma hatları devre dışı bırakılacaktır.
- Mevcut durumda, kazanda ısıtılan su, ısıtma sirkülasyon pompaları ile klima santrali ve fan-coil hatlarına gönderilmektedir.
- Önerilen sistem hava kaynaklı ısı pompasıdır (havadan suya). 2 adet 305 kW ısıtma kapasiteli sistem, binanın ısıtma ihtiyacını %100 karşılayacak şekilde seçilmiştir.
- Binada soğutma ihtiyacı 1 adet 270 kW kapasiteli hava soğutmalı chiller ile sağlanmaktadır.
- Mevcut durumda, chiller cihazında soğutulan su, soğutma sirkülasyon pompaları ile klima santrali ve fan-coil hatlarına gönderilmektedir.
- Önerilen sistemin soğutma kapasitesi 315 kW olup, soğutma ihtiyacını %100 karşılayacak şekilde seçilmiştir.
- İhtiyaç olmaması ve statik nedenlerden dolayı mevcut chiller sistemi demonte edilecek, yerine önerilen ısı pompası monte edilecektir.
- Mevcut primer soğutma pompaları, değişken hızlı verimli pompalarla değiştirilecektir. Yenilenen pompalar ısı pompaları için primer pompa olarak kullanılacaktır.

- Mevcut soğutma sirkülasyon pompaları da değişken hızlı verimli pompalarla değiştirilecektir. Soğutma pompaları, önerilen sistemde hem ısıtma hem soğutma için kullanılacaktır.
- Mevcut ısıtma sirkülasyon pompaları ise devre dışı bırakılacaktır.
- Önerilen sistem kurulacak merkezi otomasyon ile uyumlu olacaktır. Kontrol için ısı sayacı ve iki yönlü motorlu vanalar eklenmiştir.



Tasarruf miktarının hesaplanması:

- Tasarruf miktarı Carrier HAP 5.1.1 programı ile hesaplanmıştır. Isı pompası kullanıldığında, mevcut elektrik enerjisi tüketimi %29 oranında artmakta, fuel-oil tüketimi ise sıfırlanmaktadır.

Carrier HAP 5.1.1 simülasyon programı sonuçlarına göre	Enerji Türü	Orj. Birim	Mevcut Durum	Önerilen Durum	Tasarruf Oranı
01- İnşaat Müh	Elektrik	kWh	264.195	340.511	-29%
	Fuel-oil	kg	45.272	0	100%

- Simülasyon programında elde edilen değerler, üç yıllık ortalama tüketime oranlandığında; elektrik enerjisi miktarı 72.043 kWh artmış, fuel-oil tüketimi ise 55.437 kg azalarak sıfırlanmıştır. Maliyet tasarrufu toplamda 919.060 TL olarak gerçekleşmiştir.
- Elektrik birim fiyatı 2022 Haziran ayı tarifesine göre 3,2715 TL/kWh, fuel-oil birim fiyatı 20,83 TL/kWh olarak kabul edilmiştir.

3 yıllık ortalama tüketime oranlandığında	Enerji Türü	Orj. Birim	3 yıllık Ortalama Tüketim	3 yıllık Ortalama Tüketim	Önerilen Durum	Tasarruf Miktarı	Tasarruf Maliyeti
			Orj. Birim	kWh	kWh	kWh	TL
01- İnşaat Müh	Elektrik	kWh	249.404	249.404	321.447	-72.043	-235.689
	Fuel-oil	kg	55.437	618.830	0	618.830	1.154.749
						546.786	919.060

Yatırım maliyetinin hesaplanması:

- Yatırım maliyetinin hesaplanmasında, proforma faturalar kullanılmıştır.
- Yatırım maliyetinde kullanılan kalemler ve maliyetleri aşağıdaki tabloda bulunmaktadır.
- Hidrolik soğutma devresi sirkülasyon pompası (2+1) eklenecektir. Her pompa için ayrı bir frekans konvertörü eklenecektir. Bu değişiklik, başka bir öneri altında incelendiğinden maliyet kalemleri içerisine eklenmemiştir.

- Mevcut soğutma devresi motorları da frekans invertörlü verimli pompalarla değiştirilecektir. Bu motorlar hem soğutma hem ısıtma için kullanılacaktır. Bu öneri başka bir öneri altında incelendiğinden, maliyet kalemleri arasına eklenmemiştir.
- Yatırım maliyet kalemleri içerisinde ısı pompası cihazları dahil edilmiştir.
- Pompaların kontrolü ve enerjinin takip edilebilmesi için sisteme ısı sayacı ve iki yönlü vana eklenecektir.
- Sirkülasyon pompa maliyetleri, ısı sayacı ve iki yönlü vana maliyetleri dahil edilmemiştir.
- Maliyet kalemleri içerisinde ayrıca, fan-coiller için kombine balans vanası ve haberleşmeli dijital termostat maliyetleri de dahil edilmiştir.
- Maliyet kalemleri içerisinde yıpranmış tesisatın yenilenmesi için bir kalem eklenmiş, ayrıca montaj ve işletmeye alma maliyeti için bir kalem eklenmiştir.
- Döviz kuru olarak 17,80 TL/Euro kullanılmıştır.

Sistem	Poz No	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (Euro)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)
Hava Soğutmalı Isı Pompası (315 kW)	proforma (Form)	Isı Pompası Qısıtma: 305 kW; Qsoğutma: 315 kW	2	53.425,00	950.965	1.901.930
Hidrolik Soğutma Devresi Sirkülasyon Pompası (frekans kontrollü 4kW)	proforma	Maliyet, D04/K04 önerisine eklendiği için bu öneride eklenmemiştir.				
Sirkülasyon Pompaları	proforma	Maliyet, D04/K04 önerisine eklendiği için bu öneride eklenmemiştir.				
	poz no özel*	FCU lar için kombine balans vanası (pislik tutucu, hortum ve kesme vana dahil)	141		3.590	506.257
	proforma (otomasyon)	Haberleşmeli digital termostat	141	179,00	3.186	449.254
iki Yollu Motorlu Vana	proforma (otomasyon)	Maliyet, D09/K09 önerisine eklendiği için bu öneride eklenmemiştir.				
	proforma (GM)	iki yollu motorlu vana demontaj	2		500	1.000
YIPRANMIŞ TESİSAT EKİPMANLARI YENİLEME (BORULAMA, VANA, VS.)						714.610
TAHMİNİ SİSTEM MONTAJ VE İŞLETMEYE ALMA MALİYETİ						535.958
MÜTEAHHİT KARI						1.027.252
					TOPLAM	5.136.261
					KDV (%18)	924.527
					TAHMİNİ YATIRIM MALİYETİ	6.060.788

03 Makina Mühendisliği:

- Binada ısıtma kazan dairesinde bulunan 2 adet fuel-oil yakıtlı kazan ile sağlanmaktadır. Kazanda ısıtılan su sirkülasyon pompaları ile klima santrali ve fan-coillere gönderilmektedir.
- Binada soğutma ihtiyacı 2 adet hava soğutmalı chiller ile sağlanmaktadır. Chillerde soğutulan su sirkülasyon pompaları ile klima santrali ve fan-coil hatlarına gönderilmektedir.
- Önerilen sistem hava kaynaklı ısı pompasıdır (havadan suya).
- 2 adet 220 kW ısıtma, 350 kW soğutma kapasiteli sistem, binanın ısıtma ve soğutma ihtiyacını %100 karşılayacak şekilde seçilmiştir.
- İhtiyaç olmaması ve statik nedenlerden dolayı mevcut chiller sistemi demonte edilecek, yerine önerilen sistem monte edilecektir.
- Kazan dairesinde bulunan kazanlar devre dışı bırakılacaktır. Mahal ile ilgili sıkıntı olmaması nedeniyle, acil durumlar için yerinde bırakılması önerilmiştir.
- Primer soğutma pompaları, değişken hızlı verimli pompalarla değiştirilecektir.
- Mevcut soğutma sirkülasyon pompaları da değişken hız kontrollü verimli pompalarla değiştirilecektir. Soğutma pompaları, önerilen sistemde hem ısıtma hem soğutma için kullanılacaktır.
- Mevcut ısıtma sirkülasyon pompaları ise devre dışı bırakılacaktır.
- Önerilen sistem kurulacak merkezi otomasyon ile uyumlu olacaktır. Kontrol için ısı sayacı ve iki yönlü motorlu vanalar eklenmiştir.

Tasarruf miktarının hesaplanması:

- Tasarruf miktarı Carrier HAP 5.1.1 programı ile hesaplanmıştır. Isı pompası kullanıldığında, mevcut elektrik enerjisi tüketimi %22 oranında artmakta, fuel-oil tüketimi ise sıfırlanmaktadır.

Carrier HAP 5.1.1 simülasyon programı sonuçlarına göre	Enerji Türü	Orj. Birim	Mevcut Durum	Önerilen Durum	Tasarruf Oranı
03-Makina Müh	Elektrik	kWh	494.606	554.633	-12%
	Fuel-oil	kg	38.999	0	100%

- Simülasyon programında elde edilen değerler, üç yıllık ortalama tüketime oranlandığında; elektrik enerjisi miktarı 52.396 kWh artmış, fuel-oil tüketimi ise 42.167 kg azalarak sıfırlanmıştır. Maliyet tasarrufu toplamda yıllık 706.923 TL olarak gerçekleşmiştir.
- Elektrik birim fiyatı 2022 Haziran ayı tarifesine göre 3,2715 TL/kWh, fuel-oil birim fiyatı 20,83 TL/kWh olarak kabul edilmiştir.

3 yıllık ortalama tüketime oranlandığında	Enerji Türü	Orj. Birim	3 yıllık Ort. Tüketim (kWh)	Önerilen Durum (kWh)	Tasarruf Miktarı (kWh)	Tasarruf Maliyeti (TL)
03-Makina Müh	Elektrik	kWh	487.438	546.595	-59.157	-193.531
	Fuel-oil	kWh	470.700	0	470.700	878.337
					411.543	684.806

Yatırım maliyetinin hesaplanması:

- Yatırım maliyetinin hesaplanmasında, proforma faturalar kullanılmıştır.
- Yatırım maliyetinde kullanılan kalemler ve maliyetleri aşağıdaki tabloda bulunmaktadır.
- Döviz kuru olarak 17,80 TL/Euro kullanılmıştır.

Sistem	Poz No	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (Euro)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)	
Hava Soğutmalı Isı Pompası (350 kW)	proforma (Form)	Clivet ısı pompası 350 kW	2	78.050,00	1.389.290	2.778.580	
Demontaj pompa	proforma (GM)		9		1.750	15.750	
Demontaj iki yollu vana	proforma (GM)		9		500	4.500	
Yıpranmış tesisat ekipmanları yenileme (borulama, vana, vs.)						279.883	
Tahmini sistem montaj ve işletmeye alma maliyeti						419.825	
Müteahhüt karı						874.634	
						Toplam	4.373.172
						KDV (%18)	787.171
						Toplam yatırım maliyeti	5.160.343

04 Matematik Bölümü:

- Binanın ısıtma ihtiyacı Moleküler Biyoloji bölümünde bulunan fuel-oil yakıtlı kazanlar ile sağlanmaktadır. Kazanda ısıtılan su, ısıtma sirkülasyon pompaları aracılığı ile Matematik bölümü klima santrali ve fan-coil hattına gönderilmektedir.
- Binada soğutma ihtiyacı çatıda bulunan 1 adet hava soğutmalı chiller ile sağlanmaktadır.
- Önerilen sistem hava kaynaklı ısı pompasıdır (havadan suya).
- Önerilen 2 adet 130 kW ısıtma, 240 kW soğutma kapasiteli sistem, binanın ısıtma ve soğutma ihtiyacını %100 karşılayacak şekilde seçilmiştir.
- İhtiyaç olmaması ve statik nedenlerden dolayı mevcut chiller sistemi demonte edilecek, yerine önerilen sistem monte edilecektir.
- Önerilen sistem ile, Matematik bölümü binası, Moleküler Biyoloji binasından bağımsız olarak ısınma ihtiyacını karşılayacaktır. Moleküler Biyoloji bölümünde bulunan Matematik bölümüne hitap eden ısıtma sirkülasyon pompaları devre dışı bırakılacaktır.
- Primer soğutma pompaları, değişken hızlı verimli pompalarla değiştirilecektir.
- Mevcut soğutma sirkülasyon pompaları da değişken hızlı verimli pompalarla değiştirilecektir. Soğutma pompaları, önerilen sistemde hem ısıtma hem soğutma için kullanılacaktır.
- Önerilen sistem kurulacak merkezi otomasyon ile uyumlu olacaktır. Kontrol için ısı sayacı ve iki yönlü motorlu vanalar eklenmiştir.

Tasarruf miktarının hesaplanması:

- Tasarruf miktarı Carrier HAP 5.1.1 programı ile hesaplanmıştır. Isı pompası kullanıldığında, mevcut elektrik enerjisi tüketimi %6 oranında artmakta, fuel-oil tüketimi ise sıfırlanmaktadır.

Carrier HAP 5.1.1 simülasyon proramı sonuçlarına göre	Enerji Türü	Orj. Birim	Mevcut Durum	Önerilen Durum	Tasarruf Oranı
04-Matematik Böl	Elektrik	kWh	258.504	274.822	-6%
	Fuel-oil	kg	10.232	0	100%

3 yıllık ortalama tüketime oranlandığında	Enerji Türü	Orj. Birim	3 yıllık Ortalama Tüketim	3 yıllık Ort. Tük. (kWh)	Önerilen Durum (kWh)	Tasarruf Miktarı (kWh)	Tasarruf Maliyeti (TL)
04-Matematik Böl	Elektrik	kWh	211.114	211.114	224.441	-13.327	-43.597
	Fuel-oil	kg	8.998	100.440	0	100.440	187.422
Toplam						87.113	143.825

- Simülasyon programında elde edilen değerler, üç yıllık ortalama tüketime oranlandığında; elektrik enerjisi miktarı 13.327 kWh artmış, fuel-oil tüketimi ise 8.998 kg azalarak sıfırlanmıştır. Maliyet tasarrufu toplamda yıllık 143.825 TL olarak gerçekleşmiştir.
- Elektrik birim fiyatı 2022 Haziran ayı tarifesine göre 3,2715 TL/kWh, fuel-oil birim fiyatı 20,83 TL/kWh olarak kabul edilmiştir.

Yatırım maliyetinin hesaplanması:

- Yatırım maliyetinin hesaplanmasında, proforma faturalar kullanılmıştır.
- Yatırım maliyetinde kullanılan kalemler ve maliyetleri aşağıdaki tabloda bulunmaktadır.
- Döviz kuru olarak 17,80 TL/Euro kullanılmıştır.

Sistem	Poz No	Açıklama	Adet	Birim Fiyat	Birim Fiyat	Toplam Tutar
				Euro	TL	TL
Hava Soğutmalı Isı Pompası (240 kW)	proforma (Daikin)	EWYT265B I	2	55.442,00	986.868	1.973.735
Hidrolik Soğutma Devresi Sirkülasyon Pompası (Inverterli, 1,5 kW)		*K02 önerisi	3			
Demontaj iki yollu vana			3		500	1.500
Montaj, Yıpranmış Tesisat Ekipmanlarının Yenilenmesi (borulama, vana, vs.)						19.752
Müteahhit Karı						498.747
					TOPLAM	2.493.734
					KDV (%18)	448.872
					TOPLAM YATIRIM MALİYETİ	2.942.607

05 Merkezi Kütüphane:

- Binada ısıtma kazan dairesinde bulunan 2 adet fuel-oil yakıtlı kazan ile sağlanmaktadır. Kazanda ısıtılan su ısıtma sirkülasyon pompaları ile klima santrali ve fan-coil hatlarına gönderilmektedir.
- Binada soğutma ihtiyacı binanın dışında bulunan 1 adet hava soğutmalı chiller ile sağlanmaktadır. Soğutulan su, soğutma sirkülasyon pompaları ile klima santrali ve fan-coil hatlarına gönderilmektedir.
- Önerilen sistem hava kaynaklı ısı pompasıdır (havadan suya).
- 2 adet 175 kW ısıtma, 400 kW soğutma kapasiteli sistem, binanın ısıtma ve soğutma ihtiyacını %100 karşılayacak şekilde seçilmiştir.

- Bina dışında bulunan mevcut chiller sistemi demonte edilecek, yerine önerilen sistem monte edilecektir.
- Kazan dairesinde bulunan kazanlar devre dışı bırakılacaktır. Mahal ile ilgili sıkıntı olmaması nedeniyle, acil durumlar için yerinde bırakılması önerilmiştir.
- Primer soğutma pompaları, değişken hızlı verimli pompalarla değiştirilecektir.
- Mevcut ısıtma/soğutma sirkülasyon pompaları tesisatı değiştirilecektir. Pompa sayıları azaltılacak, değişken hız kontrollü inverterlü modeller eklenecektir.
- Önerilen sistem kurulacak merkezi otomasyon ile uyumlu olacaktır. Kontrol için ısı sayacı ve iki yönlü motorlu vanalar eklenmiştir.

Tasarruf miktarının hesaplanması:

- Tasarruf miktarı Carrier HAP 5.1.1 programı ile hesaplanmıştır. Isı pompası kullanıldığında, mevcut elektrik enerjisi tüketimi %10 oranında artmakta, fuel-oil tüketimi ise sıfırlanmaktadır.

	Enerji Türü	Orj. Birim	Mevcut Durum	Önerilen Durum	Tasarruf Oranı
05-Merkezi Kütüphane	Elektrik	kWh	652.174	675.664	-4%
	Fuel-oil	kg	30.450	0	100%

- Simülasyon programında elde edilen değerler, üç yıllık ortalama tüketime oranlandığında;

	Enerji Türü	Orj. Birim	3 yıllık Ortalama Tüketim (Orj. Birim)	3 yıllık Ortalama Tüketim (kWh)	Önerilen Durum (kWh)	Tasarruf Miktarı (kWh)	Tasarruf Maliyeti (TL)
05-Merkezi Kütüphane	Elektrik	kWh	608.469	608.469	630.385	-21.916	-71.697
	Fuel-oil	kg	33.782	377.103	0	377.103	703.682
						355.187	631.984

- Elektrik enerjisi miktarı 21.916 kWh artmış, fuel-oil tüketimi ise 33.782 kg azalarak sıfırlanmıştır. Maliyet tasarrufu toplamda yıllık 631.984 TL olarak gerçekleşmiştir.
- Elektrik birim fiyatı 2022 Haziran ayı tarifesine göre 3,2715 TL/kWh, fuel-oil birim fiyatı 20,83 TL/kWh olarak kabul edilmiştir.

Yatırım maliyetinin hesaplanması:

- Yatırım maliyetinin hesaplanmasında, proforma faturalar kullanılmıştır.
- Yatırım maliyetinde kullanılan kalemler ve maliyetleri aşağıdaki tabloda bulunmaktadır.
- Döviz kuru olarak 17,80 TL/Euro kullanılmıştır.

Sistem	Poz No	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (Euro)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)
ISI POMPASI CİHAZI	Proforma (Form)	400 kW soğutma, 175 kW ısıtma kapasitesinde	2	84.200	1.498.760	2.997.520
	Yaklaşık maliyet	Tesisat ekipmanları yenileme (borulama, vana, vs.)				209.733
		Tahmini sistem montaj ve işletmeye alma maliyeti				449.628
		Müteahhit karı				914.220
					TOPLAM	4.571.101
					KDV (%18)	822.798
					Toplam yatırım maliyeti	5.393.899

06 Mimarlık E Blok:

- Binada ısıtma, Mimarlık D Blokta fuel-oil yakıtlı kazanlar ile sağlanmaktadır.
- Binada soğutma ihtiyacı binanın dışında bulunan 1 adet hava soğutmalı chiller ile sağlanmaktadır. Bu chiller, Mimarlık D Blok'a da hizmet vermektedir
- Önerilen sistem hava kaynaklı ısı pompasıdır (havadan suya).
- 2 adet 45 kW ısıtma, 90 kW soğutma kapasiteli sistem, binanın ısıtma ve soğutma ihtiyacını %100 karşılayacak şekilde seçilmiştir. Önerilen sistem ile Mimarlık E Blok ısıtma ve soğutma ihtiyacını Mimarlık D Blok'tan bağımsız karşılayacaktır.
- Bina dışında bulunan mevcut chiller ve Mimarlık D blok kazan dairesinde bulunan kazanlar, diğer binalara hizmet vermeye devam edeceğinden, yerlerinde bırakılacaktır.

- Önerilen sistem, binanın dışına, mevcut chiller cihazının yanına monte edilecektir.
- Değişken hızlı verimli primer pompaları eklenecektir.
- Mevcut ısıtma ve soğutma sirkülasyon pompaları devre dışı bırakılacak, yeni sirkülasyon pompası eklenecektir.
- Önerilen sistem kurulacak merkezi otomasyon ile uyumlu olacaktır. Kontrol için ısı sayacı ve iki yönlü motorlu vanalar eklenmiştir.

Tasarruf miktarının hesaplanması:

- Tasarruf miktarı Carrier HAP 5.1.1 programı ile hesaplanmıştır. Isı pompası kullanıldığında, mevcut elektrik enerjisi tüketimi %10 oranında artmakta, fuel-oil tüketimi ise sıfırlanmaktadır.

Carrier HAP 5.1.1 simülasyon proramı sonuçlarına göre	Enerji Türü	Orj. Birim	Mevcut Durum	Önerilen Durum	Tasarruf Oranı
06-Mimarlık E Blok	Elektrik (HVAC)	kWh	63.119	69.686	-10%
	Fuel-oil	kg	6.269	0	100%

- Simülasyon programında elde edilen değerler, üç yıllık ortalama tüketime oranlandığında;

	Enerji Türü	Orj. Birim	3 yıllık Ortalama Tüketim (kWh)	Önerilen Durum (kWh)	Tasarruf Miktarı (kWh)	Tasarruf Maliyeti (TL)
06-Mimarlık E Blok	Elektrik (HVAC)	kWh	32.538	35.923	-3.385	-11.075
	Fuel-oil	kg	13.406	0	13.406	279.237
					10.020	268.162

- Elektrik enerjisi miktarı 3.385 kWh artmış, fuel-oil tüketimi ise 13.406 kg azalarak sıfırlanmıştır. Maliyet tasarrufu toplamda yıllık 268.162 TL olarak gerçekleşmiştir.
- Elektrik birim fiyatı 2022 Haziran ayı tarifesine göre 3,2715 TL/kWh, fuel-oil birim fiyatı 20,83 TL/kWh olarak kabul edilmiştir.

Yatırım maliyetinin hesaplanması:

- Yatırım maliyetinin hesaplanmasında, proforma faturalar kullanılmıştır.
- Yatırım maliyetinde kullanılan kalemler ve maliyetleri aşağıdaki tabloda bulunmaktadır.

- Döviz kuru olarak 17,80 TL/Euro kullanılmıştır.
- Maliyet kalemleri içerisinde FCU'lar için kombine balans vanası ve haberleşmeli dijital termostat dahil edilmiştir.
- Sirkülasyon pompaları, başka bir öneride eklendiği için maliyet kalemine eklenmemiştir.

Sistem	Poz No	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (Euro)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)	
Hava Soğutmalı Isı Pompası (90 kW)	proforma (Form)	90 kW soğutma, 45 kW ısıtma kapasiteli	2	21.011,75	374.009	748.018	
	özel poz	FCU lar için kombine balans vanası (pislik tutucu, hortum ve kesme vana dahil)	81		3.678	297.918	
	proforma (otomasyon)	Haberleşmeli digital termostat	60	155	2.759	165.540	
	proforma (otomasyon)	fancoil çoklama rölesi	21	95	1.691	35.511	
Tesisat ekipmanları (borulama, vana, vs.)						187.048	
Tahmini sistem montaj ve işletmeye alma maliyeti						112.203	
Müteahhit karı						386.560	
						Toplam	1.932.798
						KDV (%18)	347.904
						Toplam yatırım maliyeti	2.280.701

07 Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü:

- Binada ısıtma ihtiyacı 2 adet fuel-oil yakıtlı kazan ile sağlanmaktadır. Bu kazanlar Moleküler Biyoloji binası dışında, Matematik binasını da beslemektedir.
- Binada soğutma ihtiyacı 2 adet hava soğutmalı chiller ile sağlanmaktadır.
- Önerilen sistem hava kaynaklı ısı pompasıdır (havadan suya). 2 adet 325 kW ısıtma kapasiteli sistem, binanın ısıtma ihtiyacını %100 karşılayacak şekilde seçilmiştir.
- Önerilen sistemin soğutma kapasitesi 325 kW kapasitededir. Ancak, soğutma ihtiyacını %100 karşılamadığından, mevcut chiller cihazlarından bir tanesi yerinde bırakılacaktır.
- İkinci chiller cihazı demonte edilecek, yerine önerilen sistem monte edilecektir.
- Önerilen sistemle birlikte, kazanlar devre dışı bırakılacak, ancak mahal sorunu olmaması nedeniyle, acil durumlar için yerlerinde bırakılması önerilmiştir.
- Primer soğutma pompaları, değişken hızlı verimli pompalarla değiştirilecektir.
- Mevcut soğutma sirkülasyon pompaları da değişken hız kontrollü verimli pompalarla değiştirilecektir. Soğutma pompaları, önerilen sistemde hem ısıtma hem soğutma için kullanılacaktır.
- Mevcut ısıtma sirkülasyon pompaları ise devre dışı bırakılacaktır.
- Önerilen sistem kurulacak merkezi otomasyon ile uyumlu olacaktır. Kontrol için ısı sayacı ve iki yönlü motorlu vanalar eklenmiştir.

Tasarruf miktarının hesaplanması:

- Tasarruf miktarı Carrier HAP 5.1.1 programı ile hesaplanmıştır. Isı pompası kullanıldığında, mevcut elektrik enerjisi tüketimi %10 oranında artmakta, fuel-oil tüketimi ise sıfırlanmaktadır.

	Enerji Türü	Orj. Birim	Mevcut Durum	Önerilen Durum	Tasarruf Oranı
07-Moleküler Biyoloji	Elektrik	kWh	926.366	1.023.055	-10%
	Fuel-oil	kg	57.762	0	100%

- Simülasyon programında elde edilen değerler, Üç yıllık ortalama tüketime oranlandığında;

	Enerji Türü	Orj. Birim	3 yıllık Ortalama Tüketim	3 yıllık Ort. Tük. (kWh)	Önerilen Durum (kWh)	Tasarruf Miktarı (kWh)	Tasarruf Maliyeti (TL)
07-Moleküler Biyoloji	Elektrik (HVAC)	kWh	895.342	895.342	980.590	-85.248	-278.887
	Fuel-oil	kg	27.535	307.370	0	307.370	573.559
						222.122	294.672

- Elektrik enerjisi miktarı 85.248 kWh artmış, fuel-oil tüketimi ise 27.535 kg azalarak sıfırlanmıştır. Maliyet tasarrufu toplamda yıllık 294.672 TL olarak gerçekleşmiştir.
- Elektrik birim fiyatı 2022 Haziran ayı tarifesine göre 3,2715 TL/kWh, fuel-oil birim fiyatı 20,83 TL/kWh olarak kabul edilmiştir.

Yatırım maliyetinin hesaplanması:

- Yatırım maliyetinin hesaplanmasında, proforma faturalar kullanılmıştır.
- Yatırım maliyetinde kullanılan kalemler ve maliyetleri aşağıdaki tabloda bulunmaktadır.
- Döviz kuru olarak 17,80 TL/Euro kullanılmıştır.

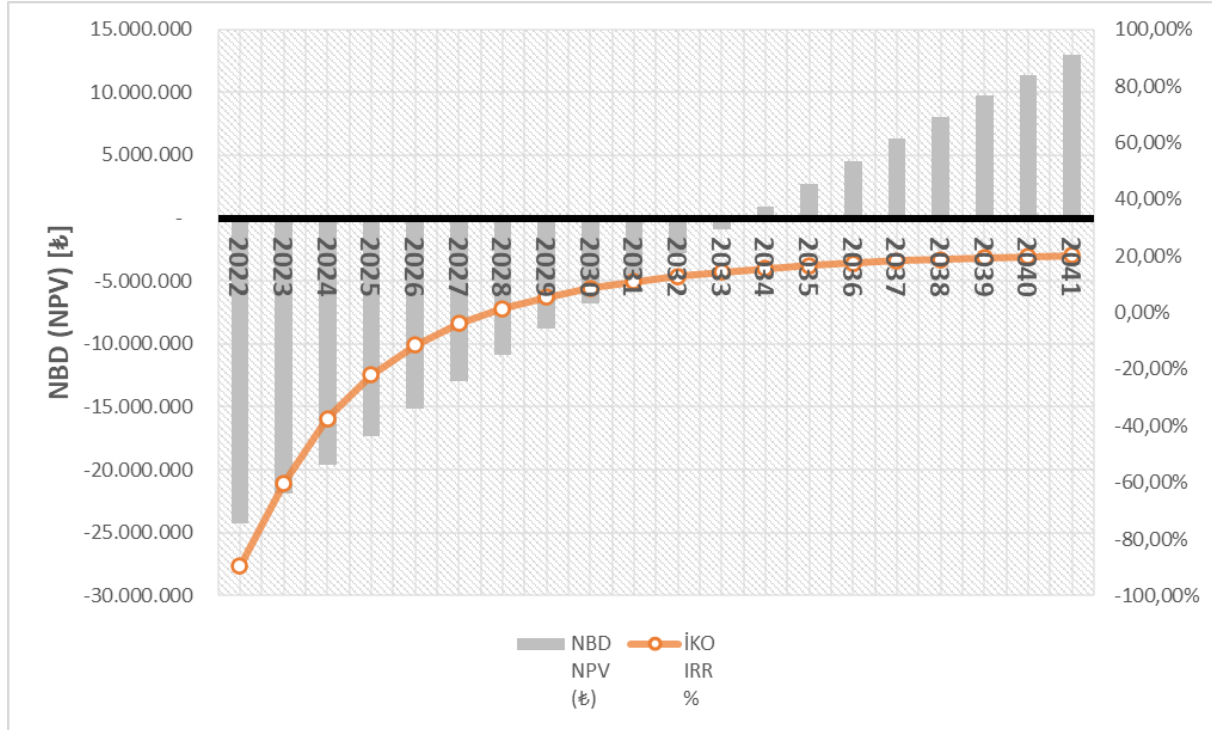
Sistem	Poz No	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (Euro)	Döviz Cinsi	Birim Fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)
Hava Soğutmalı Isı Pompası (325 kW)	proforma (Form)	Hava soğutmalı ısı pompası (325 kW soğutma, 325 kW)	2	78.050	Euro	156.100	2.778.580
		Yıpranmış Tesisat Ekipmanları Yenileme (Borulama, Vana, tesisat Yalıtımı, vb.)					69.465
		Tahmini Sistem Montaj ve İşletmeye Alma Maliyeti					416.787
		Müteahhit Karı					816.208
						TOPLAM	4.081.039
						KDV (%18)	734.587
						TOPLAM YATIRIM MALİYETİ	4.815.626

Isı pompası binalar özet tablosu:

BİNA NO	EEM	ENERJİ KAYNAĞI	TAHMİNİ YILLIK ENERJİ TASARRUFU		TASARRUFUN	TAHMİNİ YILLIK	EMİSYON	TAHMİNİ	BASİT GERİ ÖDEME
			kWh/YIL	TEP/YIL	TOPLAM	MALİYET			
					TÜKETİME ORANI	€/YIL	TON.CO2	€	YIL
01- İnşaat Müh	Hava soğutmalı ısı pompası uygulaması (2 adet 315 kW soğutma, 305 kW ısıtma kapasiteli ısı pompası)	Elektrik	- 72.043	- 6,20	- 0,08	- 235.689	- 39,98	6.060.788	6,59
		Fuel-oil	618.830	53,22	0,71	1.154.749	204,21		
03-Makina Müh	Hava kaynaklı ısı pompası uygulaması (2adet 350 kW soğutma, 220 kW ısıtma kapasitesinde)	Elektrik	- 59.157	- 5,09	- 0,06	- 193.531	- 32,83	5.160.343	7,54
		Fuel-oil	470.700	40,48	0,49	878.337	155,33		
04-Matematik Böl	Hava kaynaklı ısı pompası uygulaması (2 adet 240 kW soğutma, 130 kW ısıtma kapasitesinde)	Elektrik	- 13.327	- 1,15	- 0,04	- 43.597	- 7,40	2.942.607	20,46
		Fuel-oil	100.440	8,64	0,32	187.422	33,15		
05-Merkezi Kütüphane	Hava kaynaklı ısı pompası uygulaması (2 adet 400 kW soğutma, 175 kW ısıtma kapasitesinde)	Elektrik	- 21.916	- 1,88	- 0,02	- 71.697	- 12,16	5.393.899	8,53
		Fuel-oil	377.103	32,43	0,38	703.682	124,44		
06-Mimarlık E Blok	Hava kaynaklı ısı pompası uygulaması (2 adet 90 kW soğutma, 45 kW ısıtma kapasitesinde)	Elektrik	- 3.385	- 0,29	- 0,02	- 11.075	- 1,88	2.280.701	8,50
		Fuel-oil	13.406	1,15	0,07	279.237	4,42		
07-Moleküler Biyoloji	Hava kaynaklı ısı pompası uygulaması (2 adet 325 kW soğutma, 325 kW ısıtma kapasitesinde)	Elektrik	- 101.420	- 8,72	- 0,08	- 331.792	- 56,29	4.815.626	19,92
		Fuel-oil	307.370	26,43	0,24	573.559	101,43		
TOPLAM:		Elektrik	- 271.248	- 23,33	-	- 887.382	- 150,54	26.653.964	9,22
		Fuel-oil	1.887.848	162,35		3.776.986	622,99		
		Toplam	1.616.600	139,03		2.889.604	472,45		

Finansal analiz tabloları:

EDİNİM BEDELİ ACQUISITION COST (₺)	MONTAJ VE İŞLETMEYE ALMA MALİYETİ INSTALLATION AND COMMISSIONING COST (₺)	EKONOMİK ÖMÜR ECONOMIC LIFE (YEAR)	BAKIM KONTROL VE İŞLETME MALİYETİ MAINTENANCE CONTROL AND OPERATING COST (₺)	TASARRUF MİKTARI FINANCIAL SAVING (₺)	KAZANÇ WINNINGS (₺)	NBD NPV (₺)	İKO IRR %	BGD SRT (YEAR)	
26.653.964	-	2022	26.654	2.889.604	2.862.950	-	24.164.442	-89,26%	9,22
		2023	30.652	3.258.029	3.227.376	-	21.724.082	-59,42%	
		2024	35.250	3.673.427	3.638.177	-	19.331.921	-36,43%	
		2025	40.537	4.141.789	4.101.252	-	16.987.017	-20,95%	
		2026	46.618	4.669.867	4.623.249	-	14.688.445	-10,41%	
		2027	53.611	5.265.275	5.211.665	-	12.435.299	-3,01%	
		2028	61.652	5.936.598	5.874.946	-	10.226.689	2,35%	
		2029	70.900	6.693.514	6.622.614	-	8.061.745	6,34%	
		2030	81.535	7.546.937	7.465.402	-	5.939.612	9,38%	
		2031	93.765	8.509.172	8.415.406	-	3.859.452	11,75%	
		2032	107.830	9.594.091	9.486.261	-	1.820.445	13,62%	
		2033	124.005	10.817.338	10.693.333		178.216	15,12%	
		2034	142.605	12.196.548	12.053.943		2.137.319	16,34%	
		2035	163.996	13.751.608	13.587.612		4.057.638	17,35%	
		2036	188.596	15.504.938	15.316.343		5.939.932	18,18%	
		2037	216.885	17.481.818	17.264.933		7.784.945	18,88%	
		2038	249.418	19.710.750	19.461.332		9.593.406	19,46%	
		2039	286.830	22.223.870	21.937.040		11.366.031	19,96%	
		2040	329.855	25.057.413	24.727.559		13.103.521	20,39%	
		2041	379.333	28.252.234	27.872.901		14.806.563	20,75%	
2042	436.233	31.854.394	31.418.160		16.475.831	21,07%			
2043	501.668	35.915.829	35.414.161		18.111.986	21,34%			
2044	576.918	40.495.097	39.918.179		19.715.676	21,58%			
2045	663.456	45.658.222	44.994.766		21.287.536	21,79%			
2046	762.974	51.479.645	50.716.671		22.828.189	21,97%			



11. ISI POMPASIYLA İLGİLİ STANDARTLAR

VDI 4640-5 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Termal Kullanımı Standardı

TS 2164 Kalorifer tesisatı projelendirme kuralları TS 3419 Havalandırma ve iklimlendirme tesisleri- Projelendirme kuralları

TS EN 14511-1 Mekân ısıtma ve soğutma için elektrikle tahrik edilen kompresör ile çalışan iklimlendirme cihazları, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları- Bölüm 1: Terimler, tarifler ve sınıflandırma

TS EN 14511-2 Mekân ısıtma ve soğutma için elektrikle tahrik edilen kompresör ile çalışan iklimlendirme cihazları, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları- Bölüm 2: Deney şartları

TS EN 14511-3 Mekân ısıtma ve soğutma için elektrikle tahrik edilen kompresör ile çalışan iklimlendirme cihazları, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları- Bölüm 3: Deney yöntemleri

TS EN 14511-4 Mekân ısıtma ve soğutma için elektrikle tahrik edilen kompresör ile çalışan iklimlendirme cihazları, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları- Bölüm 4: Çalıştırma özellikleri, işaretleme ve kullanım talimatları

TS EN 14825 Ortam ısıtma ve soğutması için elektrikle çalıştırılan kompresörlü klimalar, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları-Deney ve kısmi yükte sınıflama ve mevsimsel performansın hesaplanması

TS EN 378-1 Soğutma sistemleri ve ısı pompaları- Güvenlik ve çevre kuralları- bölüm 1: Temel kurallar, tarifler, sınıflandırma ve seçim kriterleri

ASHRAE 90.1-2019 Minimum ticari ekipman verimlilik derecelendirme standardı

12. ISI POMPASI UYGUNLUK KRİTERLERİ

- *Elektromanyetik Uyumluluk Yönetmeliği (2014/30/AB)*
- *Basıncılı Ekipmanlar Yönetmeliği (2014/68/AB)*
- *Makina Emniyeti Yönetmeliği (2006/42/AT)*
- *Belirli Gerilim Sınırları İçin Tasarlanan Elektrikli Ekipman ile İlgili Yönetmelik (2014/35/AB)*
- *Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik*
- *Enerji ile İlgili Ürünler Direktifi (2010/30/EU)*
- *Avrupa Birliği'nin Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılmasına İlişkin Direktifi (ROHS 2) (2011/65/EU)*
- *Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğler*
- *Enerji Etiketlemesine Dair Tebliğler*