

ISI POMPALARININ TEMEL PRENSİPLERİ VE ÇEŞİTLİ
UYGULAMALARI

Kemal ALTINIŞIK, Necdet ALTINTOP

E.Ü. Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

ÖZET

Bu çalışmada, ısı pompalarının tanımı, çalışma şekli ve termodinamik esasları ile, son gelişmeler dikkate alınarak mümkün olabilen en yüksek ısıtma tesir katsayısı, (ITK) değerinin nasıl artırılacağı ve ısı pompalarına enerji temin eden kaynaklar ile bu kaynakların, ısı pompası nasıl uygulanacağı incelenmiştir.

Gittikçe pahalılaşan fosil yakıtla enerji üreten sistemlerinin, işletilmesindeki ekonomik güçlükler, bu kaynaklardan üretilen enerjinin daha ekonomik kullanımının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Isıtma ve serinletme maksadıyla, günlük sıcaklık dağılımı kararlı olan bölgelere, ısı pompası uygulamaları yapılarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Çalışmanın sonunda ısı pompalarının ekonomikliğini ortaya koyan bir misal verilerek, ısı pompaları ile, diğer ısı kaynaklarının işletmedeki avantajları karşılaştırılmıştır.

THE FUNDAMENTALS OF HEAT PUMPS AND THEIR SOME
APPLICATIONS

SUMMARY

In this study, description, thermodynamics principles, Coefficient of performance, some applications and energy sources of heat pumps have been given.

Due to increase of energy prices, energy sources have to be used economical. For that reason, heat pumps can be applied to save the energy for heating and air conditioning in buildings. Especially,

they can be recommended for the warm regions and so energy save can be ensured by means of heat pumps applications.

At the end of this study according to other heating and air conditioning systems, the advantages of heat pumps have been shown with an example and have been compared by the others heating systems.

1- GİRİŞ

1924 yılında Nicholas Carnot, verilen iki ısı kaynağı arasında çalışan bir ısı makinasının maksimum verimini bulmak için, çevrimin içinde ve dışında, bütün hal değişimlerinin tersinin olduğu bir çevrim tarif etti. Çevrimdeki bütün hal değişimlerinin tersinir olması nedeni ile, çevrim ters yönde çalıştırılabilir. Ters Carnot çevrimi olarak bilinen bu çevrim, gerçekte tersinir soğutma çevrimidir. Kullanma amacına göre, bir yerin ısıtılması veya soğutulması söz konusu ise, bu çevrim ısı pompası veya soğutma çevrimi adını alır.

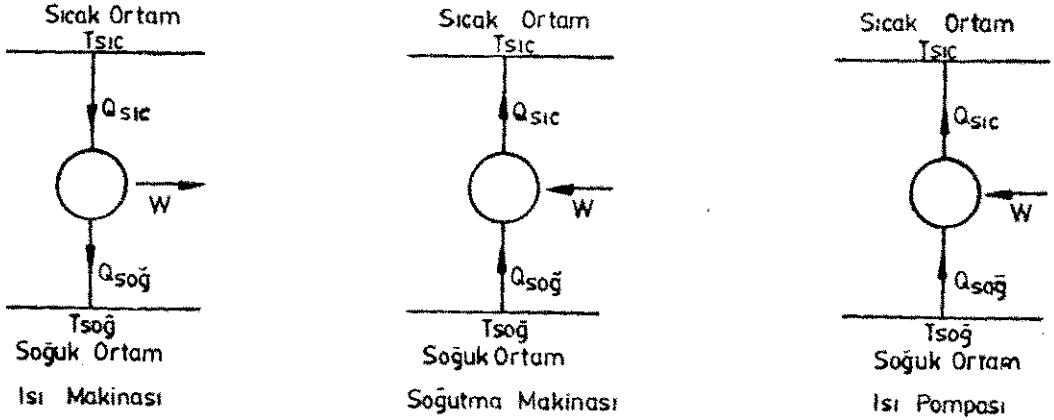
Herhangi bir ortamda, düşük sıcaklıktaki ısının, teknik bakımdan önemi yoktur. Halbuki ek bir enerji yardımı ile, bu kıymetsiz ısıdan faydalanma ortamı meydana getirilirse, bu ısı teknik olarak önem kazanır. Bu işlemi gerçekleştiren sistemler ısı pompası olarak bilinir.

Bilindiği gibi, termodinamiğin sıfırıncı kanununa göre; ısı yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan, düşük sıcaklıktaki bir ortama, kendiliğinden geçer. Termodinamiğin ikinci kanunu ise, düşük sıcaklıktaki ısının, yüksek sıcaklıktaki ortama nakli, ancak sisteme dışardan iş vermekle mümkün olacağını ifade eder. Isı makinaları, prensip olarak ısıyı, yüksek sıcaklıktaki ortamdan, düşük sıcaklıktaki ortama nakleder ve bu esnada iş elde edilir. Isı pompalarında ise, bu olayın tersi söz konusudur. Şekil 1.a, b ve c; ısı makinası, soğutma makinası ve ısı pompasının termodinamik modellerini göstermektedir. [1] .

Isı pompası ile ilgili ilk çalışma 1852 yılında Prof. Thomson tarafından yapıldı. Teorik çalışmanın bu kadar eski olmasına rağmen, ilk deneysel çalışma İngiltere'de ancak 1927 yılında gerçekleştirilmiştir.

1 . Soğutma sistemlerinin gelişmesi, ısı pompası sistemlerinin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Soğutma maksadı ile ilk soğutma makinasını yapan, Prof.Piazzi Smyth'den sonra, 1920 yılında ilk amonyaklı soğutma sistemi gerçekleştirildi [1]. 1930 yılında freon-12'nin

bulunmasıyla küçük soğutucu ünitelerin üretimi arttı. Soğutma sistemlerinin gelişimine paralel olarak; İngiltere, İsviçre, Amerika ve Almanya'da değişik maksatlar için, değişik kaynaklardan ısı çeken, farklı tiplerde ısı pompaları geliştirilerek uygulamaya konuldu. 1930-1960 yılları arasında, ısı pompaları ile ilgili çalışmaların artmasına rağmen, 1960'dan sonra enerji temininin ucuzluğu nedeni ile, bu çalışmalar hemen hemen durmuştur. 1973'deki enerji krizinden sonra, ısı pompaları yeniden gündeme gelmiş ve son 10 yıl içinde, üzerinde en çok çalışılan biri olmuştur [1] .



Şekil-1: Isı makinası, soğutma makinası ve ısı pompasının termodinamik modelleri [1,2] .

2- ISI POMPALARININ TERMODİNAMİK PRENSİPLERİ

Atmosfer basıncında, çok düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen soğutucu akışkanlar, düşük sıcaklıktaki ortamdan (hava, su ve toprak) buharlaşma yolu ile ısı çekerler. Buharlaşan bu akışkana dışardan iş verildiği zaman, sıcaklığı ve basıncı artar. Kızgın haldeki soğutucu akışkan, bir yoğusturucuda yoğusturulduğu zaman, soğuk ortamdan çektiği ısıyı ve kompresör aracılığı ile aldığı W kompresör işinin karşılığı olan ısıyı, soğuk kaynağın ısısına ilave ederek, yoğusturucu vasıtası ile ısıtılacak ortama terk eder [2,3] .

Isı makinası ve ısı pompası için, soğutma ve ısıtma tesir katsayıları en genel şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir [2] .

$$\left. \begin{array}{l} \eta \\ \text{ITK} \\ \text{STK} \end{array} \right\} = \frac{\text{İşlem sonunda elde edilen faydalı enerji}}{\text{Kullanılan faydalı enerji}} \quad (1)$$

Aynı şekilde, ısı makinası ve ısı pompası için sıra ile; ısı verim (η), Carnot ısıtma tesir katsayısı (ITK_c) ve Carnot soğutma tesir katsayısı (STK_c) ifadeleri;

$$\eta_o = \frac{W_{net}}{Q_{s1c}} = \frac{Q_{s1c} - Q_{soğ}}{Q_{s1c}} = 1 - \frac{Q_{soğ}}{Q_{s1c}} = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{s1c}} \quad (2.a)$$

$$\text{ITK}_c = \frac{Q_{s1c}}{W_{net}} = \frac{Q_{s1c}}{Q_{s1c} - Q_{soğ}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_{soğ}}{Q_{s1c}}} = \frac{1}{1 - \frac{T_{soğ}}{T_{s1c}}} = \frac{1}{\eta_o} \quad (2.b)$$

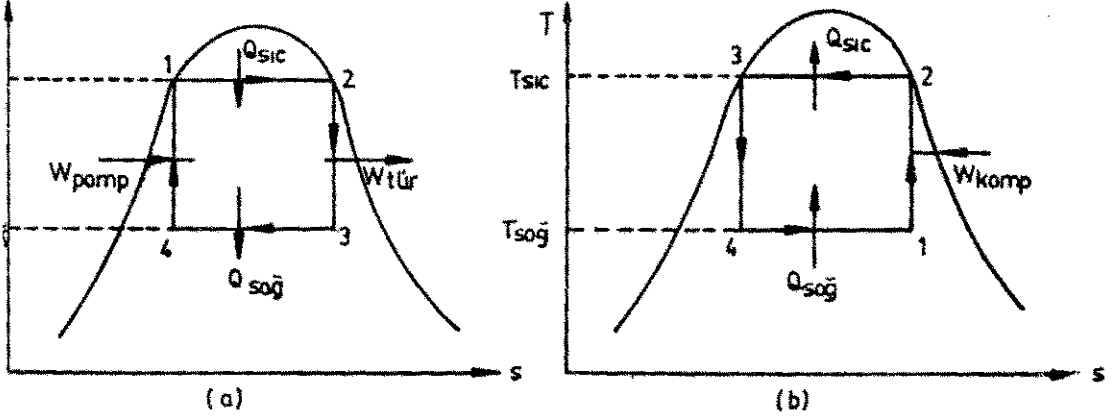
$$\text{STK}_c = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}} = \frac{Q_{soğ}}{Q_{s1c} - Q_{soğ}} = \frac{1}{\frac{Q_{s1c}}{Q_{soğ}} - 1} = \frac{1}{\frac{T_{s1c}}{T_{soğ}} - 1} \quad (2.c)$$

şeklinde yazılabilir [2,4,5]. Şekil 2.a'da Carnot, ters Carnot çevrimi ve teorik ısı pompası çevriminin, T,s diyagramları verilmiştir. Ters Carnot çevriminin teorik ısı pompası çevrimi daha önce belirtilmiş idi. (2.a) ile verilen eşitlik, ısı makinasının Carnot verimi ve tesir katsayısıdır. Bu ifade (2.b)'de görüldüğü gibi, ısı pompaları için yazıldığı zaman, verim ifadesi olmaktan çıkmaktadır. Bu nedenle (2.b) ifadesi, sadece tesir katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Verim ifadesi ile tesir katsayısını birbirinden ayırmak gereklidir. Tesir katsayısını, verim ifadesinden ayırmak için, tesir katsayısını kârlılık olarak ifade etmek daha doğru olacaktır.

Isı makinelerinde, kaynakların sıcaklıkları birbirine yaklaştıkça verim ifadesi sıfıra yaklaşır. Her iki kaynağın sıcaklıkları birbirine eşit olduğu zaman (3) eşitliğinde açıkça görüldüğü gibi verim sıfır olur.

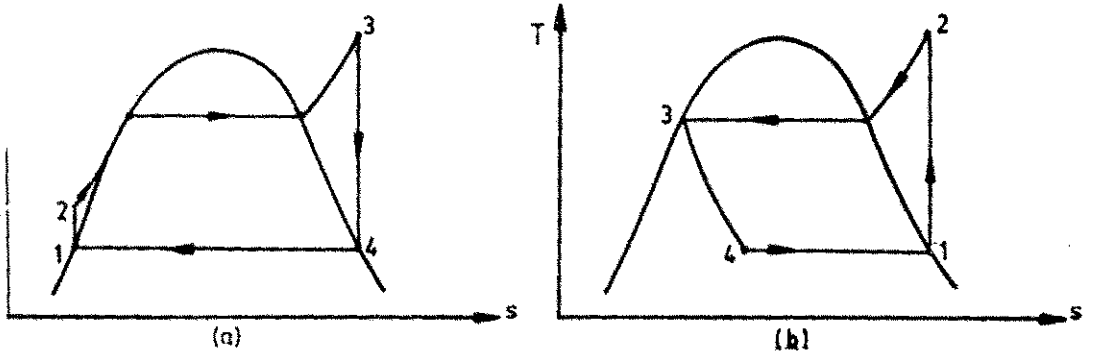
$$\eta_o = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{s1c}} \quad (3)$$

Isı pompalarında ise; kaynak sıcaklıkları birbirine yaklaştıkça tesirlilik ifadesi maksimuma yaklaşır. Her iki kaynağın sıcaklığı birbirine yaklaştığında tesir katsayısı artmakta ve iki kaynağın sıcaklığı birbirine eşit olduğu zaman, ITK₀'un değeri sonsuz olmaktadır.



Şekil-2: Carnot ve ters Carnot çevriminin T,s diyagramı [6].

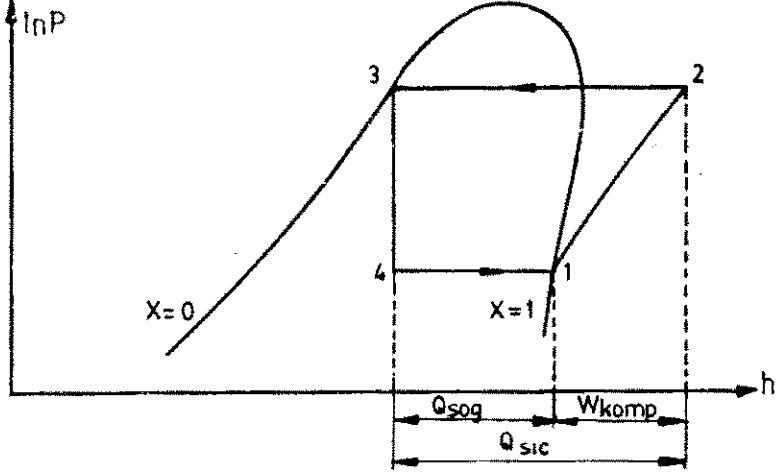
Pratikte, Carnot çevrimini uygulamak mümkün olmadığı için, Carnot verimliliğinede ulaşamamaktadır. Bu nedenle ısı makinaları için Rankin çevrimi, ısı Rankin çevriminde % 100 sıvı, ters Rankin çevriminde ise % 100 buhar sıkıştırılır. Şekil 3.a ve b'de Rankin çevriminin T,s diyagramları görülmektedir [6].



Şekil-3: Rankin çevrimi (a) ve ters Rankin çevriminin (b) T,s diyagramı.

Rankin çevriminin, her iki uygulaması arasındaki farklardan biride, ısı pompalarına uygulanan ters Rankin Çevriminde, genişleme olayı esnasında iş elde edilmesidir [7]. Isı pompalarının lnp,h diyagramı

çizilirse, sisteme verilen ile alınan $Q_{sıc}$ ısı ve soğutucu akışkanın soğuk ortamdaki aldığı $Q_{soğ}$ ısı kavramları, daha iyi açıklanabilir.



Şekil-4: Soğutucu çevriminin 1 noktasında girdiği düşünülürse, çevrimde;

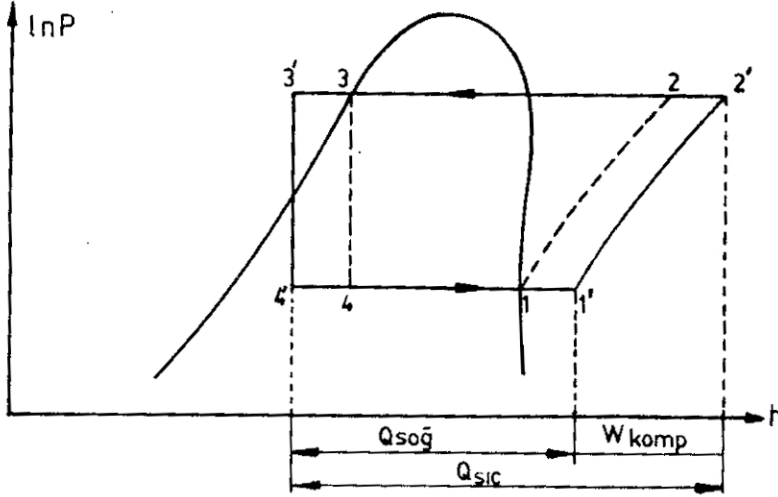
Şekil 4'de, soğutucu akışkanın kompresöre 1 noktasında girdiği düşünülürse, çevrimde;

- $\overline{12}$: Kompresörde izentropik sıkıştırma.
- $\overline{23}$: Kondansörde soğulma ve yoğunlaşma
- $\overline{34}$: Genişleme elemanında, genişleme
- $\overline{41}$: Evaporatörde buharlaşmadır.

$Q_{sıc}$ değerinin büyüklüğüne ve kayıpların miktarına bağlı olarak, ITK değeri değişmektedir. ITK değerinin büyüklüğü, ısı pompasının kârlılığını arttırmaktadır. ITK değerini büyütebilmek için, akışkanın kompresöre 1 noktasında değil, akışkanı aşırı kızdırarak Şekil 5'de görüldüğü gibi 1'noktasında kompresöre girmesi sağlanır. Benzer olarak yoğunlaştırucudan çıkan soğutucu akışkanı, genişleme valfine 3 noktası yerine 3' noktasında girmesi sağlanabilmektedir.

Bu iki işlem ve konstrüksiyondaki optimizasyon ile, ITK değeri büyütülmeye çalışılır. Aşırı kızdırma ve aşırı soğutmanın miktarı, termodinamik ve dizayn verimsizlikleri nedeniyle, istenildiği gibi ayarlanamamaktadır. Pratikte ITK değeri 3 ila 7 mertebesinde dir. Bu ifadelerden, sisteme verilen işin 7 katı kadar faydalı ısı alınabildiğidir [1]

ITK değeri, sisteme enerji sağlayan soğuk ısı kaynağı sıcaklığının kararlılığına bağlı olarak değişmektedir. En düşük ITK değeri hava'dan, en yüksek ITK değeri ise genelde su'dan elde edilmektedir [8,9] .



Şekil-5: Isı pompalarında, aşırı kızdırma ve aşırı soğutmanın lnP,h diyagramında gösterilişi.

3- ISI POMPALARININ ENERJİ KAYNAKLARI

3.1. Toprak kaynaklı ısı pompaları

Isı kaynağı olarak toprağı kullanılan ısı pompalarının uygulama şeması, şekil 6'da görülmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompaları, açık toprak yüzeyi olan her yere kurulabilir. Gerekli olan toprak yüzeyi yaklaşık, ısıtılacak olan yüzeye eşit olmalıdır. Daha hassas bir hesap için gerekli olan yüzey aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir [3] .

$$F_{\text{top.yüz.}} = \frac{F_1 \times q_1 \times (\epsilon - 1) \times 0,75}{q_s \times \epsilon} \quad (4)$$

F_1 : Isıtılacak olan (m²)

q_1 : Isıtılacak ortamın özgül ısı ihtiyacı (kcal/m²h)

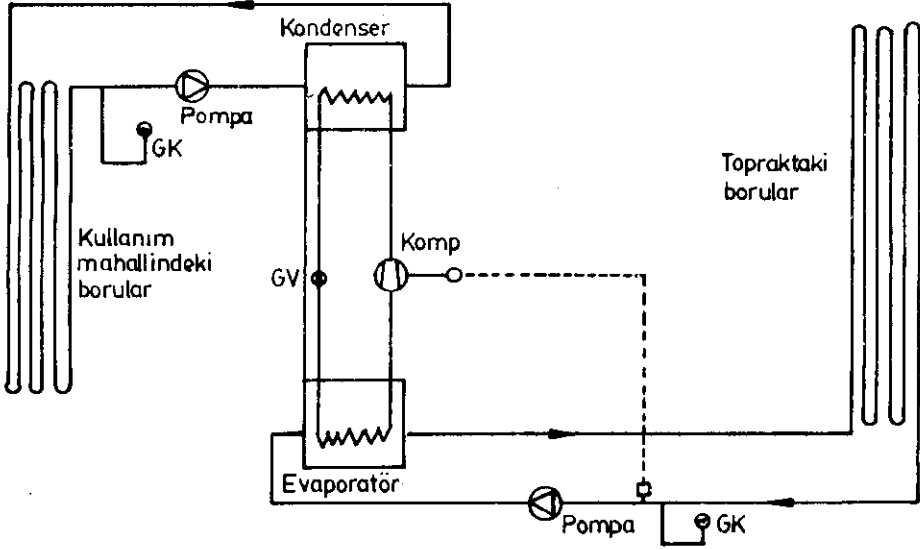
ϵ : Isı pompasının tesir katsayısı

q_s : Toprağın özgül ısı verme miktarı (kcal/m²h)

0,75 : Kısıtlama faktörü

Toprak kaynaklı ısı pompalarında, evaporatör devresinin yerleştiril-

diği toprağın sulu veya nemli olması gerekir. Kumlu topraklardan çekilebilecek ısı daha azdır. Toprak kaynaklı ısı pompalarının, yeni yapılan binalara uygulanması çok zordur. Bu tür ısı pompaları, genelde konutların bodrumlarına yerleştirilmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi esas ısı pompası devresinin dışındaki kısımlarda, soğuk suyu (su + glykol) olarak adlandırılan donma sıcaklığı düşük (-15°C civarında) bir akışkan dolaştırılmaktadır [3]. Gerekli toprak yüzeyi büyük ölçüde tesir katsayısına ve binanın yalıtımına bağlıdır.

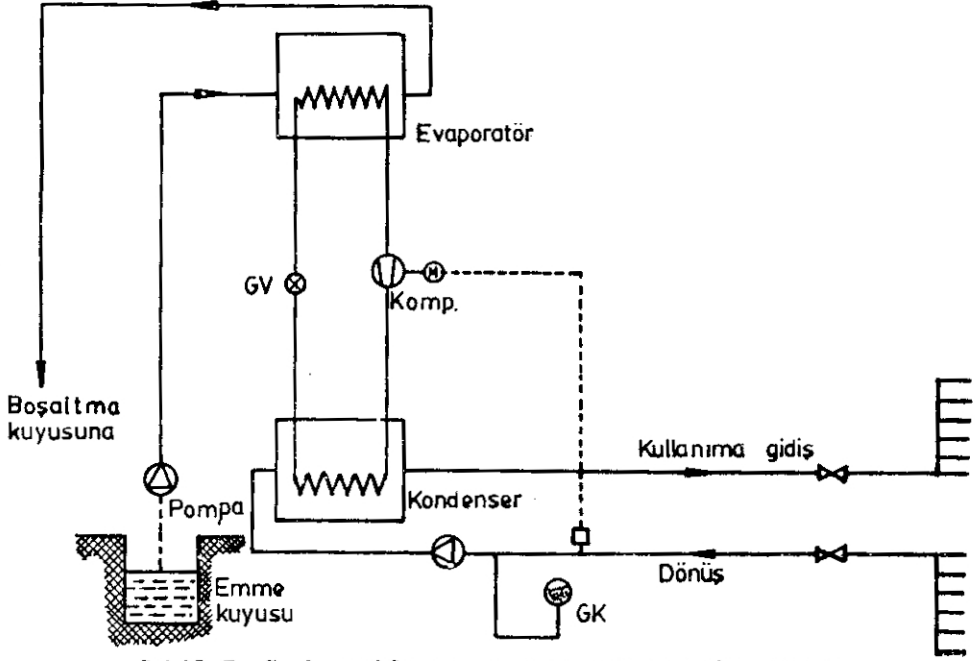


Şekil-6: Toprak kaynaklı ısı pompasının prensip şeması [3].

Toprak tarafındaki borular plastik olup $1,5 \div 2\text{m}$ toprak altına yerleştirilir. Isıtılacak ortama döşenen borular ise, tavana veya döşemeye yerleştirilir. Toprak, ısı kaynağı olarak genellikle sıcaklığı kararlı bir kaynak olarak kabul edilir [2,3] .

3.2. Su kaynaklı ısı pompaları

Isı çekmek için kullanılan su; yeraltı kaynak suyu, deniz, göl, nehir, jeotermal olabileceği gibi Güneş kolektörüyle ısıtılan bir sıvıda olabilir. Toprak kaynaklı ısı pompaları gibi, ısı pompasının tesis edileceği her yerde, su kaynağı olmayabileceği için, uygulama imkanı sınırlıdır.



Şekil-7: Su kaynaklı ısı pompasının prensip şeması.

Su sıcaklığı kararlı bir ısı kaynağıdır. Kaynak sularının sıcaklığı genelde 8-10 °C'den aşağı düşmez. Kaynak suları, çekildikleri kuyuya değil, başka bir kuyuya boşaltılırlar ve iki kuyu arasındaki sızıntı ile topraktan ısı kazanılmaktadır, [3].

3.3. Hava kaynaklı ısı pompaları

Isı kaynağı olarak havayı kullanan ısı pompalarında, ısı kaynağının sıcaklığı genelde ve kararsız olduğu için, tesir katsayısı diğer tip ısı pompalarına göre daha düşük olmasına rağmen her yerde ve soğutucu akışkanın buharlaşabileceği her türlü şartlarda, uygulama imkanı bulunmaktadır [6]. Sistem; balkon, çatı katı, bodrum ve pencerelere yerleştirilebilir. Özellikle bürolar ve küçük iş yerlerinde uygulanabilme kolaylıkları nedeni ile, son yıllarda hava kaynaklı ısı pompalarının imalatı artmıştır. Kış aylarında dış ortam sıcaklığı düşük olduğu için, yoğunlaştırıcı sıcaklığıda düşmekte ve sistem ihtiyaç duyulan ısıyı karşıyamamaktadır. Bu durumda ek enerji kaynaklarının devreye girmesi söz konusu olur. Dış ortam sıcaklığı düştükçe, ısı pompasının ısı kapasitesi azalmakta ve ısıtılacak ortamın ısı ihtiyacı artmaktadır. Dış ortam sıcaklığının düşüklüğü ve kararsızlığı nedeni ile ek sistem gerekmektedir [2]. Bu yüzden hava kaynaklı ısı pompaları, esas ısıtma sistemiyle beraber kullanılmaktadır. Hava kaynaklı ısı pompalarında

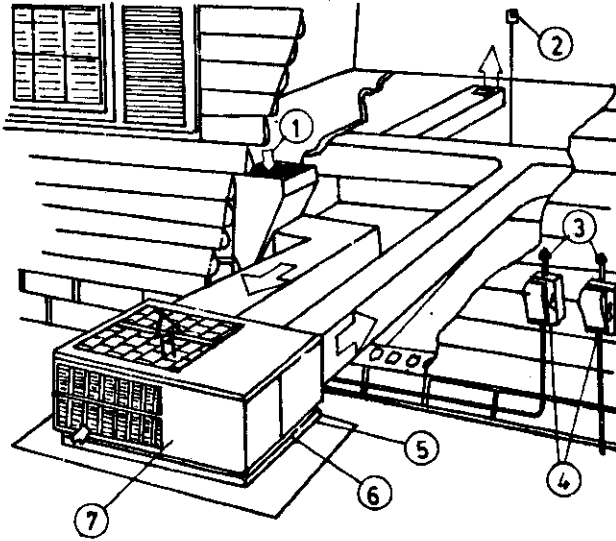
ITK deęerlerinin dūşūklūęü ve ek enerjiye ihtiyaç duymalarının yanı sıra, aynı tesisle yaz mevsiminde serinletme yapılabilmesi ve ortam havasının deęiştirilebilmesi, bu sistemi cazip hale getirmektedir. Őekil 8'de havadan-havaya ısı pompalarının uygulama Őekli ile ilgili bir sistem gōr÷lmektedir [1,7].

3.4. Kombine kaynaklı ısı pompaları

Isı pompalarına ısı temin eden enerji kaynakları, tek olabildiği gibi birden fazla da olabilmektedir. Mesela;

Hava + Sudan	Havaya
Su + Toprakdan	Havaya
Hava + Sudan	Suya
Su + Toprakdan	Suya,

gibi değişik kaynaklardan ısı çekmek m÷mk÷nd÷r.

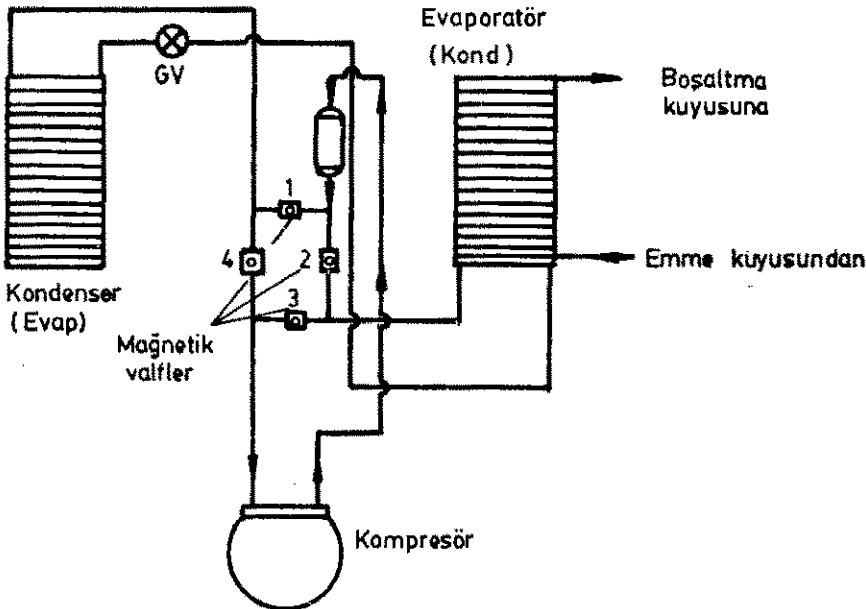


- | | |
|-------------------|-------------------------------|
| 1- Dōn÷ř Havaşı | 4- Elektrikli ısıtıcı Ünitesi |
| 2- Oda termistatı | 5- Beton Yastık |
| 3- Güç Kaynağı | 6- Servis paneli |
| | 7- Isı pompası |

Şekil-8: Havadan-Havaya alışan ısı pompalarının uygulanması.

Su ve toprak sıcaklığının kararlı olmasının yanısıra, sıvılarda ısı transfer katsayıları, havaya göre çok daha büyük olduğundan, hava + Su kaynaklı ısı pompaları, eğer imkânlar uygun olursa daha karlıdır. Şekil 9'da su + havadan-havaya bir ısı pompasının prensip şeması görülmektedir [2] . Bu sistemlerde dizayn edilen evaporatör, iç içe iki borudan oluşmaktadır. İç borudan cebri olarak kaynak suyu dolaştırılmakta, iki boru arasında ise soğutucu akışkan ve dış yüzeylerdende, boru eksenine dik istikamette hava, cebri olarak akmaktadır. İç boruda kaynak suyu yerine, Güneş kolektöründe dolaştırılan bir sıvıda dolaştırılabilir [2] .

Isı pompaları konut, büro, iş yeri, mağaza gibi yerlerin ısıtılmasının yanı sıra, endüstride, kurutma odalarında nem giderilmesinde, damıtma da, süt endüstrisinde, yıkama ve bazı meyve ve sebzeleri kurutma işlemlerinde ekonomik olarak uygulanmaktadır [1] .



Şekil-9: Hava+sudan - havaya ısı pompaları ile ilgili bir uygulamanın prensip şeması [2] .

Isı pompası sisteminde elde edilen faydalı ısının, sisteme verilen işe oranı olarak tarif edilen değeri ters Carnot çevrimi için (ITK₀), ideal buhar sıkıştırırmalı çevrim için (ITK_i) ve gerçek çevrim için (ITK) olarak birbirinden ayırt edilmektedir. Ayrıca sistem dışındaki elemanlara verilen işlerde, W_{komp} işine eklenerek sistem için harcanan iş ifadesi elde edilir. Havadan-havaya ısı pompası sistemi için ITK ifadesi, ITK_s olarak adlandırılmakta ve aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$ITK_s = \frac{Q_{sıc} + W_{fy}}{W_{komp} + W_{fy} + W_{fb}} \quad (5)$$

Bu ifadelerde; W_{fy} : Yoğuşturucu fanının işi

W_{fb} : Buharlaştırıcı fanının işidir.

Sudan - havaya ısı pompası için bu ifade;

$$ITK_s = \frac{Q_{sıc} + W_{fy}}{W_{komp} + W_{fy}} \quad (6)$$

şeklinde yazılmaktadır [5]. Eğer evaporatör ünitesinde, su veya diğer bir sıvı akışkanın sirkülasyonunun sağlanması için, harcanan pompa işide eklenirse [6] bağıntısı;

$$ITK_s = \frac{Q_{sıc} + W_{fy}}{W_{komp} + W_{fy} + W_{pompa}} \quad (7)$$

şeklini alır [2 , 5], 6, ve 7 ifadelerindeki W_{fy}, W_{fb} ve W_{pompa}'nın değerleri Q_{sıc} ile W_{komp} değerlerinin yanında çok küçüktür.

Sistemde elde edilen sıcak havanın, kanallarla kullanım yerlerine dağıtımını yerine, ısıtılacak ortama direk olarak verilmesi düşünülmelidir. Isı pompaları daha çok, bölmesiz olan hacimlerin ısıtılmasında kârlı olmaktadır. Konutlar ve işhanları için, merkezi ısı pompaları yerine, her oda için ayrı ısı pompası daha ekonomik olmaktadır [10].

4- SONUÇ

Isı pompaları ilk dizayn edildikleri günden bugüne kadar ITK değerleri,

gittikçe artmaktadır. ITK değeri, ısının çekildiği ve terk edildiği ortamın türüne bağlı olarak değişmektedir. İngiltere'de 1945 yılında "Norwich Offices"e uygulanan sudan-suya ısı pompasının ITK değeri 3 olarak belirlenmiştir [1] . 1961 yılında "Nuffield Collage"ye uygulanan, lağımdan - suya, ısı kaynaklı ısı pompasının ITK değeri 3,98 olarak belirlenmiştir. Konu ile ilgilenen araştırma kuruluşlarının laboratuvarlarında elde edilen ITK değeri 7'ye kadar yükselmiştir [4] . Endüstri ve ticari sahadaki uygulamalarda da, bu değere ulaşılmaya çalışılmaktadır. İşletme masrafları dikkate alındığında, sisteme verilen faydalı işin, 4 ila 7 misli faydalı ısı elde etmesi büyük bir değerdir.

Isı pompası sistemlerinin tesis maliyetleri çok yüksektir. İşletmesi çok ekonomik olduğu halde, ilk yatırımının çok büyük olması geçmişte ısı pompalarının yaygın kullanımını engellemiştir[3] . Günümüzde, enerjinin eskisi gibi ucuza elde edilmemesi, bu sistemin önemini gittikçe arttırmaktadır. Ayrıca ısı pompalarının, hava kirliliğine sebep olmaması, ısı pompaları için hacim ısıtması konusunda iyi bir gelecek vaad etmektedir. Isı pompaları için, mevcutlardan daha iyi soğutucu akışkanların geliştirilmesi ve konstrüksiyonlarının iyileştirilmesi, sistemin cazipliğini daha da arttıracaktır.

Sistemin kârlılığı bir misalle belirtilmek istenirse; tesir katsayısı dört olan bir ısı pompası, Kayseri İli için, 28-8-1984 tarihinde geçerli olan, taş kömürü, linyit kömürünü, fuel oil ve elektrik enerjisinin resmi fiatları dikkate alınarak hesap yapıldığında, ısı pompası işletme maliyeti yönünden;

Taş kömürüne göre	: % 86
Linyit kömürüne göre	: % 100
Fuel oil'e göre	: % 201
Elektrik enerjisine göre	: % 300

daha kârlı olmaktadır [2, 10] . Mevcut ısı pompası teknolojisine göre, normal bir değer sayılan bir tesir katsayısı için, yapılan hesaplamalar sonunda ortaya çıkan değerler, ısı pompası sistemlerinin karlılığını ve yapılan enerji tasarrufunun oranını belirtmek için yeterlidir.

KAYNAKLAR

- 1- Reay, D.A. Mac Micheal, D.B.A., "Heat pumps, desing and applica-
tions", Pergamon Press, 1979, Oxford.
- 2- Altıntop, N., "Havadan - havaya ve hava + sudan - havaya ısı pom-
palarının termodinamik analizi ve optimum dizaynı", yük.lis.tezi,
Erc.Üniv.Müh.Fak., 1984, Kayseri.
- 3- Rinck, T., "Biwalente wärmepumpen-heizung", Teopischer Ausbau,
1982, Essen.
- 4- Heap, R.D., "Heat pumps", spon ltd, 1979, London.
- 5- Yamankaradeniz, R., "Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik
ve deneysel olarak incelenmesi", doktora tezi, İ.T.Ü., 1982 İstanbul.
- 6- Altınışık, K., "Soğutma Tekniği Ders Notları", Erc.Üniv.Müh.Fak.,
Yayınlanmamış, 1983, Kayseri.
- 7- Cematini, E. and Kester,T., "Heat pumps and their contribution to
energy conservation", Noordhoof, 1976, London.
- 8- Sullivan, H.F., "Prenciples of vapur compression heat pumps", ASI
Heat pumps fundamentals, 1-2 September 1980, Espinho.
- 9- Sullivan, H.F., "Energy analys thermodynamics, performance creteria",
ASI Heat pumps fundamentals, 1-2 September 1980, Espinho.
- 10- Altınışık, K., "Isı yalıtımı ders notları", Erc.Üniv.Müh.Fak., ya-
yınlanmış, 1983, Kayseri.