Yer Kaynaklı Isı Pompaları Teorik ve Pratik Çevrimleri ve Sistem Uygulamaları



Dr. Alper Yılmaz
Çukurova Üniv., Soğutma ve İklimlendirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (SİMER)

1997 yılında Boğaziçi Üniv. Mak. Müh. Böl.'den mezun oldu. 2004 yılında doktora derecesini Çukurova Üniv. Mak. Müh. Böl.'den aldı. 2000 yılında DAAD (Alman Akademik Değişim Servisi) ödüllüsü olarak Berlin'de çalışmalarda bulundu. Halen Çukurova Üniv., Soğutma ve İklimlendirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (SİMER)'de uzman kadrosunda çalışmalarına devam etmektedir.



Prof. Dr. Orhan Büyükalaca
Çukurova Üniv. Müh. Mim. Fak.

Çukurova Üniv., Müh. Mim. Fak., Mak. Müh. Böl.'den 1984 yılında mezun oldu. Doktorasını İngiltere'nin Manchester Üniversitesi'nde 1993 yılında bitirdi. Daha sonra Türkiye'ye dönerek, Çukurova Üniv., Müh.-Mim. Fak., Mak. Müh. Böl.'de Yardımcı Doçent olarak akademik hayatına devam etti. Aynı bölümde 1998 yılında doçent, 2004 yılında da profesör oldu. Halen Çukurova Üniv., Soğutma ve İklimlendirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (SİMER) Müdürlüğü ve Çukurova Üniv., Müh.-Mim. Fak. Dekan Yardımcılığı görevini yürütmektedir.



Prof. Dr. Tuncay Yılmaz
Çukurova Üniv. Müh.-Mim. Fak.

1968'de Berlin Teknik Üniversitesi'nin Makina Fakültesini bitirdi. 1972 yılında aynı üniversitede doktorasını tamamladı. 1973 yılında Karadeniz Teknik Üniv. Mak. Müh. Böl.'de göreve başladı. 1977 yılında bu bölümde Isı ve Kütle Transferi Bilim Dalında doçent oldu. 1983'te Çukurova Üniv. Mak. Müh. Böl. Termodinamik Anabilim Dalı'na profesör olarak atandı. Almanya dışında İngiltere'de Cambridge ve Liverpool Üniversiteleri'nde, ABD'de Fullbright bursiyeri olarak Massachusetts Institute of Technology'de misafir öğretim üyesi olarak bulundu. 1982-83 yıllarında K.T.Ü. Mak. Müh. Bölüm Başkanlığı görevini yaptı. 1986-89 yılları arasında Ç.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dekanlık görevini yürüttü. Ç.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dekanlığı görevini sürdürmektedir.

ÖZET

Bu makalede, yer kaynağı ve kuyusunun sıcaklık değişimleri ve bu değişimlere hangi parametrelerin etki ettiği, yer kaynaklı ısı pompalarının esası; ısıtma ve soğutma işlemlerinde, soğutma çevrimlerinin ısı kaynağında yerin kullanılması anlatılmıştır.

1. Giriş

Yer kaynaklı ısı pompalarının esası; ısıtma ve soğutma işlemlerinde, soğutma çevrimlerinin ısı kaynağı ve kuyusu olarak yerin kullanılmasıdır. Bundan dolayı normal soğutma çevrimlerinin hatırlatılmasında fayda görülmektedir. Bundan sonra yer kaynağı ve kuyusunun sıcaklık değişimleri ile bu değişimlere hangi parametrelerin etki ettiği açıklanacaktır.

2. Teorik Soğutma Çevrimi

Normal bir soğutma çevriminin ana elemanları **Şekil 1**'de verilmiştir.

Bu soğutma çevriminin T-s diyagramındaki ters Carnot çevrimi **Şekil 2**'de gösterilmiştir.

Soğutma ve ısıtma çevrimlerinde etkinlik, ısıtma ve soğutma için;

$$COP_h = \frac{\dot{Q}_C}{W} \qquad (1)$$

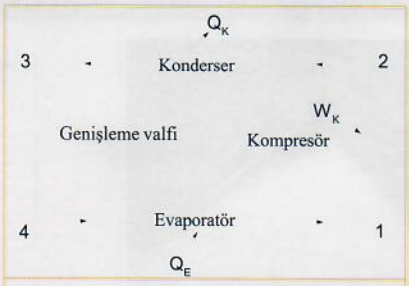
$$COP_c = \frac{\dot{Q}_E}{W} \qquad (2)$$

olarak tarif edilir. Burada $\dot{Q}_E$ ve Q_C sırasıyla kondensere verilen ısı ve evaporatörden çekilen ısıdır. W kompresöre ve genelde sisteme verilen güçtür. İdeal Carnot çevrimine göre ısıtma ve soğutma etkinlikleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

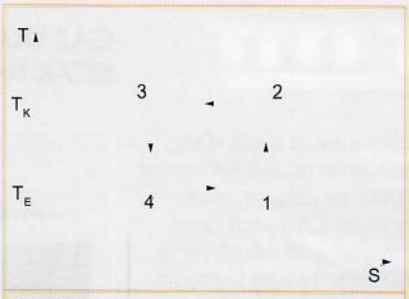
$$COP_{c,h} = \frac{T_C}{T_C - T_E} \qquad (3)$$

$$COP_{c,c} = \frac{T_E}{T_C - T_E} \qquad (4)$$

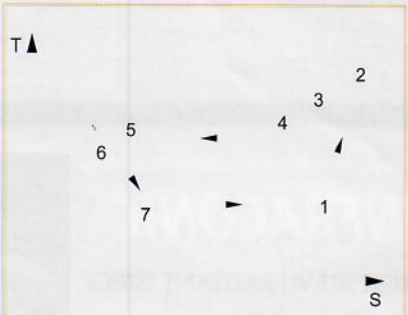
Ancak soğutmanın daha pratik olan ideal çevrimi, ters Rankine çevrimidir. Ters Rankine çevrimi, **Şekil 3** ve **Şekil 4**'te T-s ve p-h diyagramlarında gösterilmiştir.



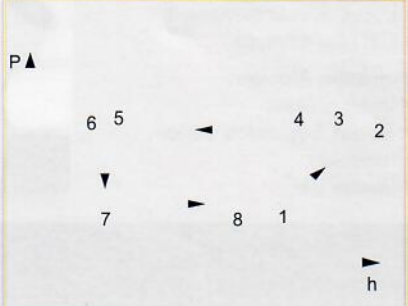
***Şekil 1.** Buhar sıkıştırmalı soğutma makinesinin ana parçaları.*



***Şekil 2.** Ters Carnot çevriminin T-s diyagramında gösterimi.*



***Şekil 3.** Ters Rankine çevrimi için T-s diyagramı.*



***Şekil 4.** Ters Rankine çevrimi için p-h diyagramı.*

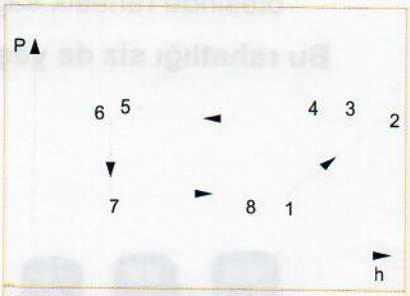
Rankine çevriminde ısıtma ve soğutma etkinlikleri;

$$COP_{r,h} = \frac{h_2 - h_6}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

$$COP_{r,c} = \frac{h_1 - h_7}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

şeklindedir.

Bu eşitlikler, hermetik kompresörlü soğutma çevrimleri için kullanılamaz. Hermetik kompresörlü sistemlerde ters Rankine çevrimi, **Şekil 5**'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Hermetik kompresörlü sistemlerde soğutma çevrimi.

Bu durumda (6) eşitliği aşağıdaki gibi yazılır:

$$COP_{r,c} = \frac{h_9 - h_7}{h_2 - h_1} \quad (7)$$

Ancak pratik ve yaklaşık olarak (5), (6) ve (7) eşitlikleri;

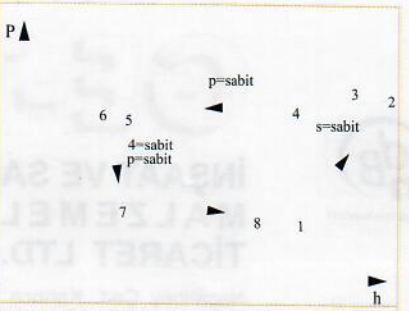
$$COP_{r,h} = \frac{2}{3} COP_{c,h} \quad (8)$$

$$COP_{r,c} = \frac{2}{3} COP_{c,c} \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir.

3. Pratik Isı Pompası Çevrimi

Pratikteki ters Rankine çevrimi, tersinmezlikler ve kayıplardan dolayı **Şekil 6**'daki gibidir [1].



Şekil 6. Pratikteki ters Rankine çevrimi.

Bu şekilden de görüldüğü gibi kompresördeki tersinmezlikler entropi artışına sebep olurken, kondenser ve evaporatördeki basınç kayıpları da sabit basınçtan ayrılmaya yol açar.

Tasarlanan bir sistemde, ısıtma ve soğutma etkinliklerini hesaplamak çok kolay bir işlem değildir. Bunun için tüm kayıpların belirlenmesi gerekir. Ancak tasarlanan bir sistemde COP'leri tahmin için pratikte yaklaşık formüller kullanılabilir. Örneğin;

$$COP_c = \frac{1}{3} COP_{c,c} \quad (10)$$

$$COP_h = \frac{1}{3} COP_{c,h} \quad (11)$$

şeklinde Carnot çevrimine göre hesaplanan etkinliklerden, gerçek etkinlikler tahmin edilebilir. Ancak bu eşitliklerden Carnot etkinlikleri hesaplanırken, T_E ve T_C için evaporatör ve kondanserdeki soğutucu akışkan sıcaklıkları değil, cihazların dış ortamındaki akışkan (hava veya su) sıcaklıkları alınmalıdır. Eğer soğutucu akışkan sıcaklıkları $T_{E,R}$ ve $T_{C,R}$ tahmin edilebiliyorsa, o zaman;

$$COP_c = \frac{1}{2} \frac{T_{E,R}}{T_{C,R} - T_{E,R}} \quad (12)$$

$$COP_h = \frac{1}{2} \frac{T_{C,R}}{T_{C,R} - T_{E,R}} \quad (13)$$

şeklinde hesaplanır. Eğer ortam hava ise kondanserde ve evaporatörde soğutucu akışkan sıcaklıkları;

$$T_{C,R} = T_{C,i} + 16 \quad (14)$$

$$T_{E,R} = T_{E,i} - 16 \quad (15)$$

eğer ortam su ise;

$$T_{C,R} = T_{C,i} + 8 \quad (16)$$

$$T_{E,R} = T_{E,i} - 8 \quad (17)$$

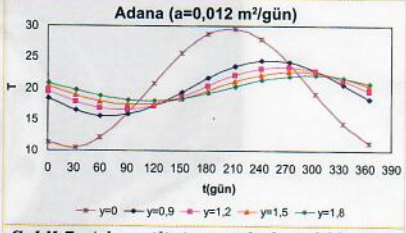
olarak hesaplanmalıdır. Burada $T_{C,i}$ ve $T_{E,i}$ hava ve suyun kondanser veya evaporatöre giriş sıcaklıklarıdır.

4. Yer Sıcaklığı

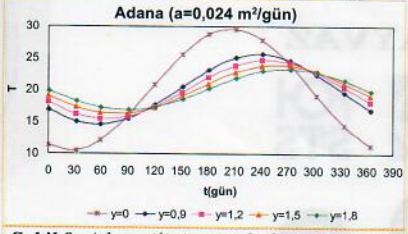
Yer kaynaklı ısı pompalarının kullanılmasında en önemli gerekçe, yer sıcaklığının yazın, ortamdan daha serin ve kışın da ortamdan daha sıcak olmasıdır. **Şekil 7, 8, 9, 10, 11** ve **12**'de aylara göre toprak ve hava sıcaklıklarının değişimi, Adana ili için çeşitli toprak türleri ve toprak derinlikleri için verilmiştir [2]. Çeşitli toprak türleri **Tablo 1**'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli Toprakların Isı Yayınım ve Isı İletim Katsayıları [7.2-7.3].

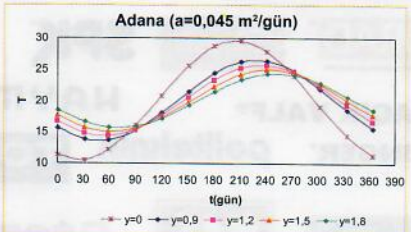
Toprak cinsi	Sembol	a [m²/gün]	k (W/m°C)
Toprak, çakıllı	ÇT	0.012	0.52
Toprak, kumlu	KT	-	1.07
Toprak, nemli, ağır	NAT	0.056	1.30
Toprak, kuru, ağır	KAT	0.045	0.95
Toprak, kuru, hafif	KHT	0.024	-
Toprak, nemli, hafif	NHT	0.048	0.87
Taş, granit	G	0.098	2.93
Taş, mermer	M	0.115	2.80
Su	S	0.012	0,60
Hava	H	1.855	0,026



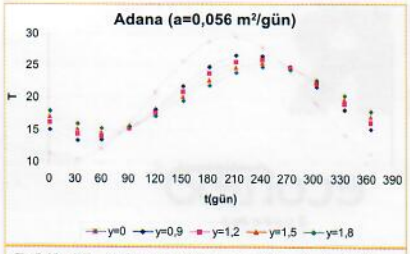
Şekil 7. Adana ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının günlere göre dağılımı (ÇT için).



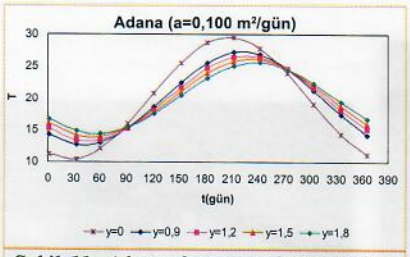
Şekil 8. Adana ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının günlere göre dağılımı (KHT için).



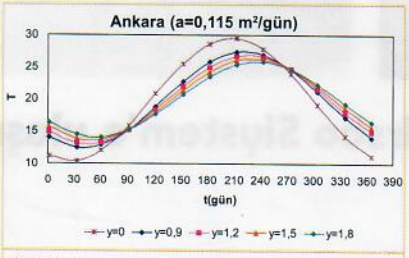
Şekil 9. Adana ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının günlere göre dağılımı (KAT ve NHT için).



Şekil 10. Adana ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının günlere göre dağılımı (NAT için).

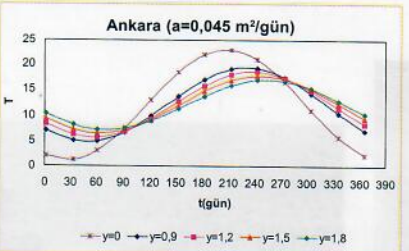


Şekil 11. Adana ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının günlere göre dağılımı (G için).

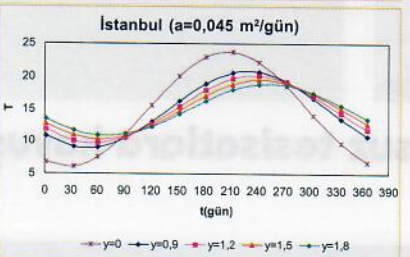


Şekil 12. Adana ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının günlere göre dağılımı (M için).

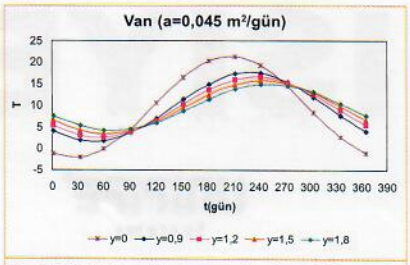
Bu şekillerden toprak türü ve derinliğinin etkisi açıkça görülmektedir. **Şekil 13, 14** ve **15**'te de Ankara, İstanbul ve Van için sıcaklık değişimleri verilmiştir. Görüldüğü gibi Van'da dahi toprak sıcaklıkları, kesinlikle donma noktasının altına düşmemektedir.



Şekil 13. Ankara ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının (y) günlere göre dağılımı (KAT ve NHT için).



Şekil 14. İstanbul ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının (y) günlere göre dağılımı (NHT için).



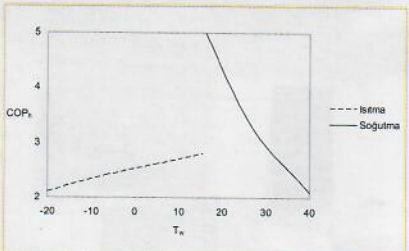
Şekil 15. Van ilinin çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığının (y) günlere göre dağılımı (KAT ve NHT için).

5. YKIP'nin Kapasite Değişimi

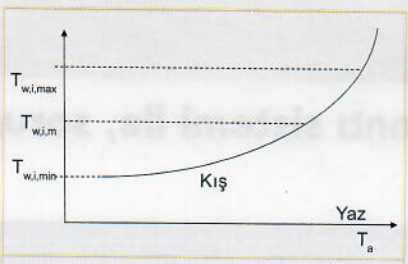
Evlerde kullanılan bir hava-hava ısı pompasının (HHIP) kapasitesi ve harcadığı gücün dış ortam sıcaklığı ile değişimi **Şekil 16**'da gösterilmiştir [3]. Sistem COP'sinin dış sıcaklıkla kışın arttığı ve yazın da azaldığı açıktır. YKIP'lerde COP birçok parametrelere bağlıdır. Bunların en önemlisi, HHIP'deki dış ortam sıcaklığına benzer olarak sisteme giren su sıcaklığıdır. Bunun dışında toprak çeşidi, toprak derinliği, kullanılan borular ve ısı eşanjörleri de sistem performansına etki eden parametrelerdir.

Sisteme giren suyun sıcaklığı $T_{w,i}$ yıl boyunca minimum ($T_{w,i,min}$) ve maksimum ($T_{w,i,max}$) değerlere ulaşacaktır. Suyun ortalama sıcaklığı da $T_{w,i,m}$'dir. Bu durum **Şekil 17**'de gösterilmiştir [4].

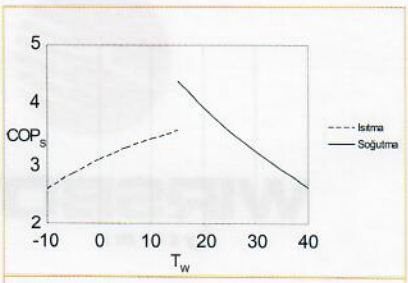
Burada dış hava sıcaklığı ile sisteme giren su sıcaklığı arasında bir bağıntı bulunabilir. Su giriş sıcaklığı belirlendikten sonra, sistem performansı ve sisteme verilen güç de **Şekil 18**'de gösterildiği gibidir [3]. Buradan su sıcaklığı ile COP'nin kışın artacağı yazın da azalacağı açıktır.



Şekil 16. Hava-hava ısı pompası performansı.



Şekil 17. Isı pompasında su giriş sıcaklığının hava sıcaklığı ile değişimi.

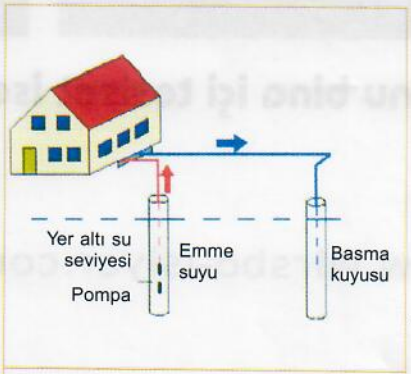


Şekil 18. Su kaynaklı ısı pompası performansı.

6. Uygulama

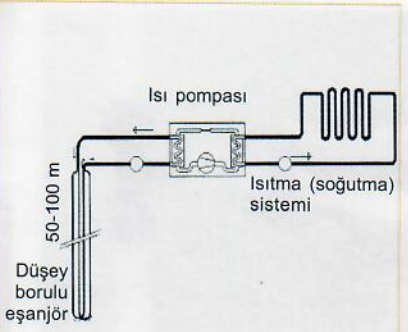
Yer kaynaklı ısı pompaları (YKIP), yeraltı sularını bir kuyudan alıp diğer kuyuya naklederken, **Şekil 19**'da gösterildiği gibi bu ısıdan yararlanma şeklinde uygulama alanı bulabilir [5].

Yaz ve kış sezonunda su akışının yönü değiştirilirse, bu sistemlerle ısı ve soğu depolama imkanı da olabilmekte ve böylece yıllık COP'ler yüksek değerlere ulaşmaktadır.



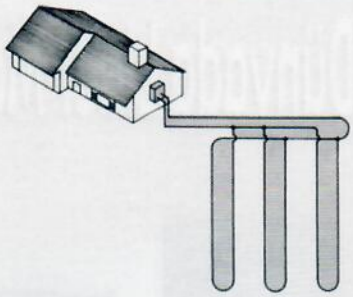
Şekil 19. Yer kaynaklı ısı pompası.

Bu sistemler, su değil de sadece toprak ısısından yararlanmak için **Şekil 20**'deki gibi alanın az olduğu yerlerde düşey ısı eşanjörleri kullanırlar [5]. Bu durumda ısı veya soğu depolama olanağı yoktur.

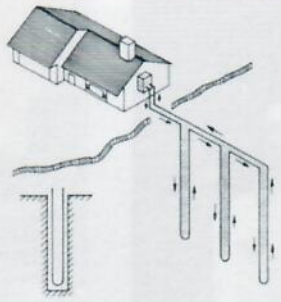


Şekil 20. Yer kaynaklı ısı pompasının şematik görünümü.

Düşey borulu sistemler **Şekil 21** ve **22**'de gösterildiği gibi seri ve paralel olarak bağlanabilir [3].



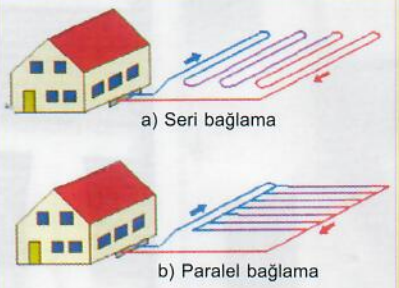
Şekil 21. Düşey yer kaynaklı ısı pompası eşanjörü.



YerTipi Boru	: Düşey-U Borusu
Su Akışı	: Seri
Boru Çapları	: 1, 1 ½. & 2 inç
Delik Uzunluğu	: 17-20 m/kW
Boru Uzunluğu	: 20-40 m/kW

Şekil 22. Düşey seri borulu sistem.

Ayrıca, bilhassa villalarda yatay olarak borular seri veya paralel olarak bağlanarak ısı eşanjörü yapılmaktadır. Yatay boruların seri ve paralel bağlamaları **Şekil 23a** ve **23b**'de gösterilmiştir [5].

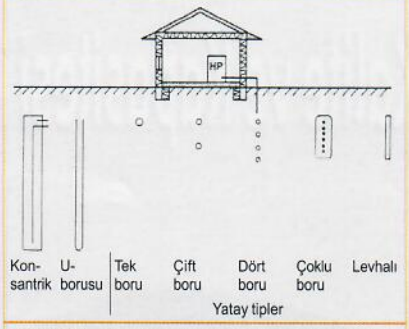


Şekil 23. Yatay yer kaynaklı ısı eşanjörü.

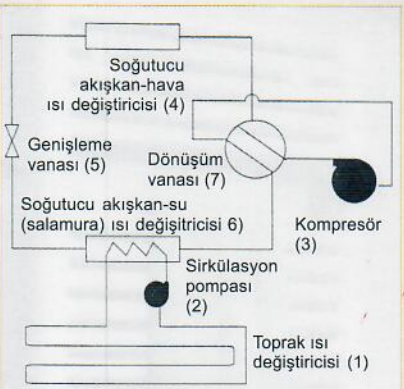
Bu sistemler de büyük bir uygulama alanı bulmuş olup, borular yer altında **Şekil 24**'te gösterildiği gibi tek 2 adet veya 4 adet üst üste yerleştirilmektedir [3]. Bunlarda beher metreden transfer edilen ısı,

$$\dot{q} = \frac{a}{n^{1/4}}$$

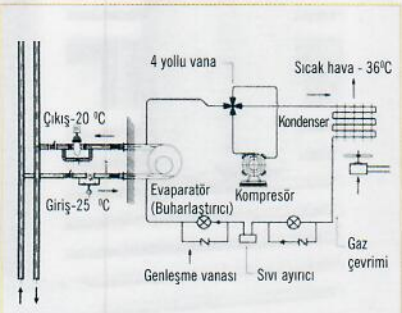
şeklinde yazılabilir. Burada "n" üst üste konulan boru sayısını göstermektedir. "a" ise çeşitli boru çapı ve toprak türlerine göre 25-40 W/m alınabilmektedir.



Şekil 24. Boruları yatay ve düşey yerleştirme durumları.



Şekil 25. Bir YKIP'nın şematik görünüşü.

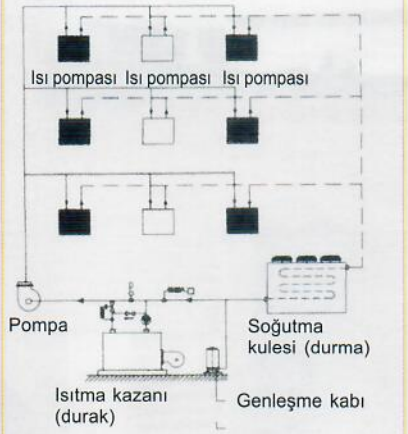


Şekil 26. Su kaynaklı ısı pompasının şematik görünümü (ısıtma konumu).

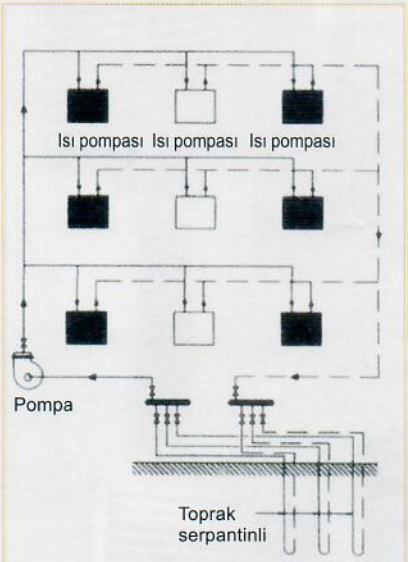
Yer kaynaklı ısı pompasının, yer ısı eşanjörü ile bağlantısı **Şekil 25**'de gösterilmiştir [6]. Su kaynaklı ısı pompasının ısıtma konumunda bağlantısı, **Şekil 26**'da gösterilmiştir.

Yer bağlantısı olmasa ve ısıyı bir kazandan, soğutmayı da bir soğutma kulesi üzerinden sağlayan su kaynaklı ısı pompası sistemi, **Şekil 27**'de gösterilmiştir.

Burada kazan ve soğutma kulesinin çıkarılıp, yer ve ısı eşanjörleri eklenerek **Şekil 28**'de gösterilen YKIP elde edilir [7].



Şekil 27. Su kaynaklı ısı pompası (sadece ısıtma + soğutma).



Şekil 28. Yer kaynaklı ısı pompası.

Kaynaklar

1. *T. Yılmaz, Soğutma Teknolojisi, Mühendislik Güçlendirme Derneği, Adana, 2001.*
2. *T. Yılmaz, Soğutma Sistemleri ve Elemanları, Mühendislik Güçlendirme Derneği, Adana, 2004.*
3. *Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems, Installation Guide, Oklohama State University, Division of Engineering Technology, Stillwater, Oklohama, 1988.*
4. *S. Kavanaugh, Design Consideration for Ground and Water Source Heat Pumps in Southern Climates, CH-89-20-4, 1989.*
5. *B. Sanner, Shallow geothermal energy, GHC Bulletin, 2001.*
6. *A. Hepbaşlı, E. Hancıoğlu, Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Twsti ve Fizibilitesi, Tesisat Mühendisliği Kongresi, 339-382, 2001.*
7. *V. Doğan, Su-Toprak Kaynaklı Isı Pompaları, VI. Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, 1-17, 2003.*