

SU-TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI

Veli DOĞAN

ÖZET

Bilindiği gibi tüm yeni ısıtma ve soğutma sistemlerinin çeşitlilik göstermesi birkaç ana nedene dayanır. Bunlardan en önemlisi; istenilen konfor şartlarını en iyi şekilde sağlayan sistem kurmaktır. Diğer önemli nedenler ise en az enerji tüketen, kuruluş maliyeti düşük olan, çevre dostu olan daha az yer işgal eden sistemleri yaratma fikridir. Enerji talebi ve buna bağlı olarak enerji fiyatlarındaki artış ısı geri kazanım ve ısı pompalarının kullanımını yaygınlaştırmıştır. Isı pompaları özellikle kullandıkları enerji kaynaklarına göre çeşitlilik göstermektedirler. Bu yazıda su kaynaklı ısı pompalarının çalışma prensipleri ile yer (toprak) kaynaklı ısının bu sistemlere nasıl aktarıldığı özetlenecektir. Ayrıca Ankara şartlarında ele alınan bir konutun tüm yıl boyunca ısıtma ve soğutma yük profili çıkartılıp yıllık enerji tüketimi "Bin" metoduna göre tahmin edilmeye çalışılacaktır.

GİRİŞ

Konfor amaçlı kullanılan ısı pompaları, yazın gerekli soğutmayı, kışın ise gerekli ısıtmayı sağlayacak şekilde dizayn edilirler. Isı pompaları kışın dış ortamdaki düşük sıcaklıktaki ısı kayna-

ğından, yüksek sıcaklıktaki iç ortama ısı pompalarlar. Yazın iç ortamdaki ısıyı tam tersine dış ortama atarlar. Burada dış ortam denildiğinde dünyayı saran hava ile toprak, göl ve benzeri yer üstü suları ile yer altı suları kastedilmektedir. Yaygın olarak kullanılan split klimalar dış hava yazın ısıtmada enerji kaynağı olarak kullanılır. Yazın ise içeride biriken ve konforu bozan ısıyı yine bu cihazlar daha sıcak olan dış ortama pompalarlar.

En önemli nokta, ısı pompalarının verimleri enerji pompalandıkları dış ortam sıcaklığına bağlı olarak büyük değişim gösterir. İnsanların yaz ve kış aylarında istemiş olduğu konfor şartı çok değişmez 24 °C'nin bir iki derece altında veya üzerindedir. Kışın çok ısıya ihtiyacımız olduğunda dış hava sıcaklığı en düşük seviyelere iner. Yazın ise tam tersi içerden dışarı ısı atmak isteriz, bu sefer dış hava sıcaklığı en yüksek seviyelere çıkmaya başlar. Yani her iki durumda da iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı büyük değerlere ulaşır, bu da ısı pompaları için düşük verim demektir. Hava sıcaklığı tüm yıl

boyunca diğer doğal ortamlara göre çok büyük değişim gösterir, diğer bahsi geçen toprak, yer altı ve yer üstü sularının sıcaklığı havaya göre daha

Veli DOĞAN

1958 Malatya doğumludur. 1980 yılında Ege Üniversitesi Makina Fakültesini Makina Mühendisi olarak bitirmiştir. 1982 yılında İTÜ Makina Fakültesinde Enerji dalında mastır yapmıştır. 1986 yılına kadar yurt içi ve yurt dışında özel sektörde çalışmıştır. 1986 yılında Vemeks Mühendislik Ltd. 1/2'ti'ni kurmuştur. 9 Temmuz 2001 yılında doktora çalışmasını tamamlamıştır. Halen Yurt içinde ve Yurt dışında HVAC konusunda proje ve taahhüt yapan Vemeks Mühendislik Ltd. 1/2'ti'nin yöneticisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.

az dalgalanırlar. O halde amaç havaya göre daha verimli olan bu sistemleri geliştirmek ve enerji tasarrufuna yardımcı olmak için bu sistemlerin kullanımını ülkemizde yaygınlaştırmaktır.

1. SU KAYNAKLI ISI POMPALARI

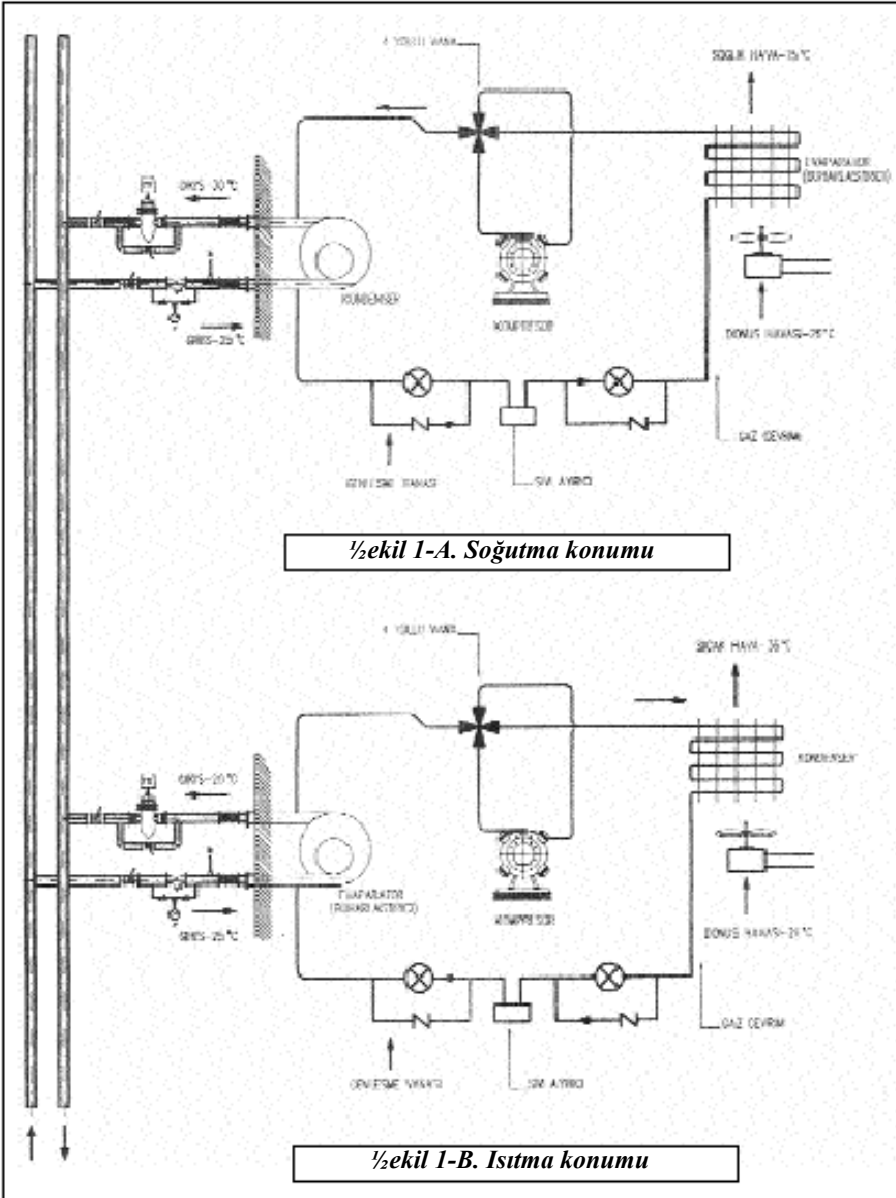
Havadan havaya ısı pompalayan, hava kaynaklı ısı pompalarını bir tarafa bırakacak olursak, diğer yer kaynaklı ısı pompalarının çoğunluğu, sudan havaya veya sudan suya ısı pompalayan, kaynaklı ısı pompasıdır. Toprak kaynaklı ısı pompalarına geçmeden önce su-hava kaynaklı ısı pompalarının yaygın kullanım nedenini ve basit olarak çalışma prensibini özetleyelim. Su kaynaklı ısı pompası sisteminde her cihaz, bir hava

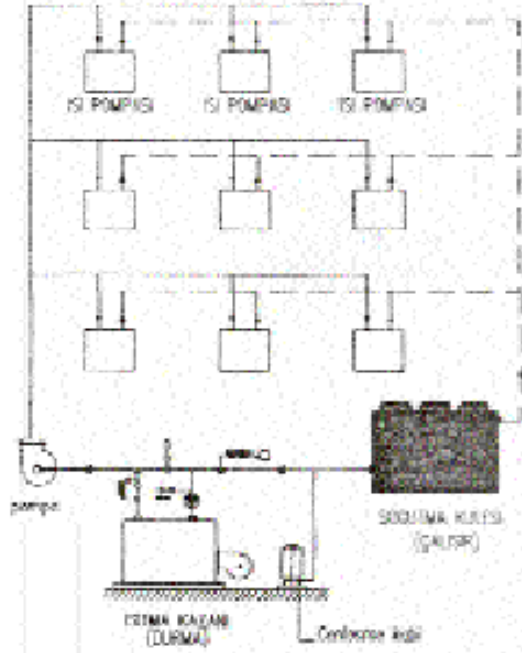
soğutucu evaporatör, evaporatör fanı, su soğutmalı kondenser ve vana içerir. Cihaz bulunduğu ortamın isteğine göre, soğutma yaptığında kondenser hattı suyu ısıtır, ortamı ısıtmaya çalışır -ğında ise, ısı pompası gaz çevrimi değişir ve kondenser hattı suyu soğutur. Bu cihazlar tekli üniteler halinde kullanıldığı gibi yapının büyük lüğüne ve amaca göre aynı su devresine bağlanmış çoklu üniteler şeklinde de kullanılırlar. ½e-sudan havaya veya sudan suya ısı pompalayan, sukil 1-a'da soğutma yapan bir ünite görülmektedir, ısı pompası, boru devresinden 25°C'de su almak ta ve bu suyu 30°C'ye yükselerek boru devresine geri vermektedir. Havadan çekmiş olduğu ısıyı su devresine aktarmaktadır.

½ekil 1-b'de ısıtma konumunda çalışmaktadır; ısı pompası konfor havasını ısıtmak için su devresinden ısı çekmektedir. 25°C'de gelen su ana boru devresine 20°C geri dönmektedir.

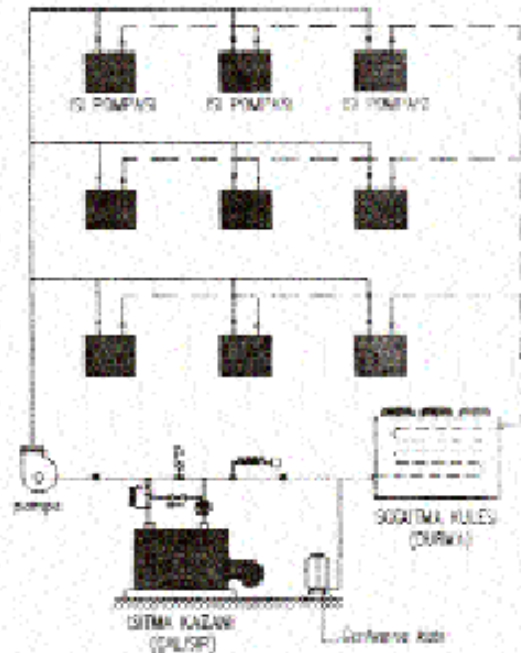
½ekil 2-a,b,c'de görüleceği gibi binanın konfor istenen muhtelif bölümlerine ısı pompaları yerleştirilmektedir. Bu cihazlar buldukları ortama göre ısıtma veya soğutma yapabilmektedir.

½ekil 2-a'da tüm cihazlar soğutma yapmakta ve boru devresine ısı pompalamaktadır. Boru devresinde yükselen ısı kule vasıtası ile sistemden atılmaktadır. ½ekil 2-b'de ise tüm cihazlar ısıtma yapmaktadır, boru devresinden cihazların tamamı ısı almaktadır, soğuyan su ise bir kazan ile takviye edilmektedir. ½ekil 2-c'de ise binayı çevreleyen bir kısım cihazlar ısıtma yaparken iç zonlardaki cihazlar soğutma yapmaktadır. Bu durumda soğutma yapan cihazların su

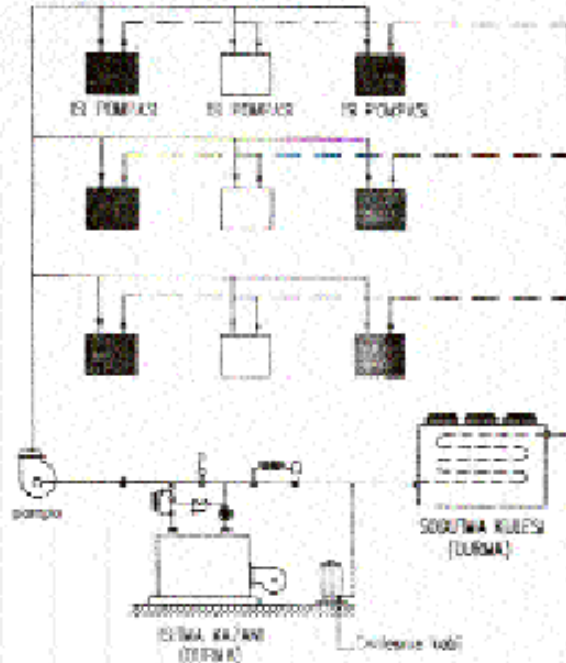




½ekil 2-A. Su kaynaklı ısı pompası (Sadece soğutma)



½ekil 2-B. Su kaynaklı ısı pompası (Sadece ısıtma)



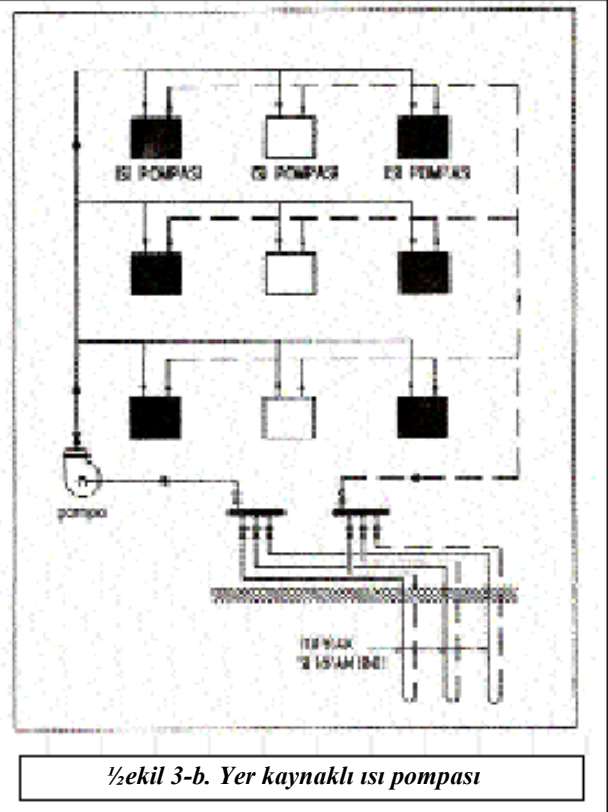
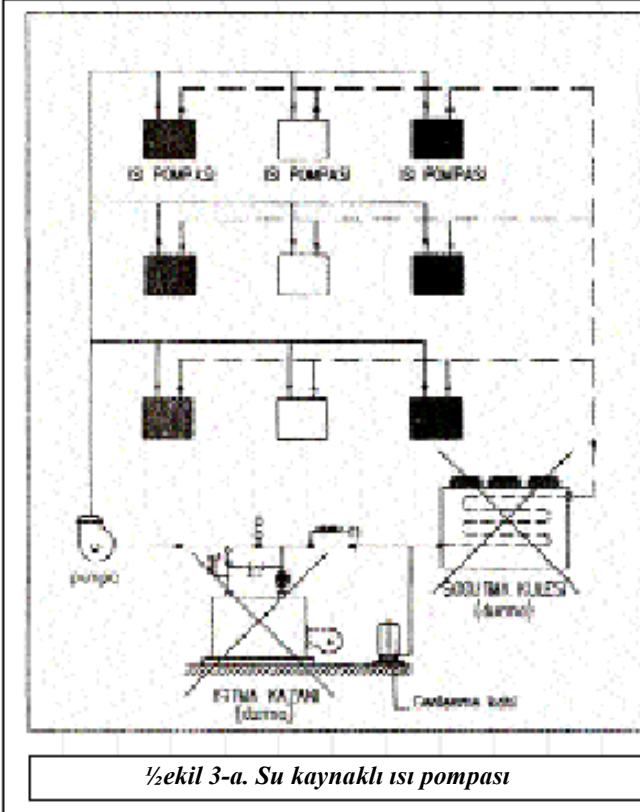
½ekil 2-C. Su Kaynaklı ısı pompası (Sadece ısıtma + soğutma)

devresine attıkları ısı, ısıtma yapan cihazlar tarafından alınmakta, kazan ve kuleye zaman zaman gerek kalmamaktadır.

- Her mekanda bağımsız sıcaklık kontrolü, farklı odalarda aynı anda soğutma ve ısıtma imkanı.
- Dış hava sıcaklığına minimum bağımlılık.
- Sadece istenilen bir odada ısıtma ve soğutma

imkanı.

- Diğer bilinen sistemlerle kıyaslanmayacak kadar yüksek verim ve düşük işletme gideri.
- Küçük makine dairesi, daha küçük kesitte kanal dağılımı.
- Basit dizayn ve kolay otomasyon.
- Arıza durumunda sadece bir cihaz arıza yaptığı için diğer tüm üniteler çalışmaya devam eder.



- Uzun ömürlü sistem kurulabilir, bakım giderleri düşüktür.
- Bina tadilatlarında yeni ilave cihaz kolaylığı ve yeni mimariye en kolay adaptasyon.

2. ANA FİKİR

Bahsi geçen örnekteki (1/2ekil 2 a,b,c) su kaynaklı ısı pompasında kule devresi ısı atılan ortamı kazan ise ısı kaynağını oluşturmaktadır. Bu her iki kaynak yerine, toprak, göl ve benzeri yer üstü suları ile yer altı sularını kullanma fikri, tüm "Yer Kaynaklı Isı Pompalarının" gelişmesi ve yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır (1/2ekil 3 a-b).

3. YER (TOPRAK) KAYNAKLI ISI POMPALARI TİPLERİ (TKIP):

- Yüzeysel Isı Pompaları (YSIP)
- Yer Altı Suyu Isı pompaları (YASIP)
- Toprak Serpantinli Isı Pompaları (TSIP)

3.1. Yüzeysel Isı Pompaları (göl, ırmak ve deniz) (YSIP):

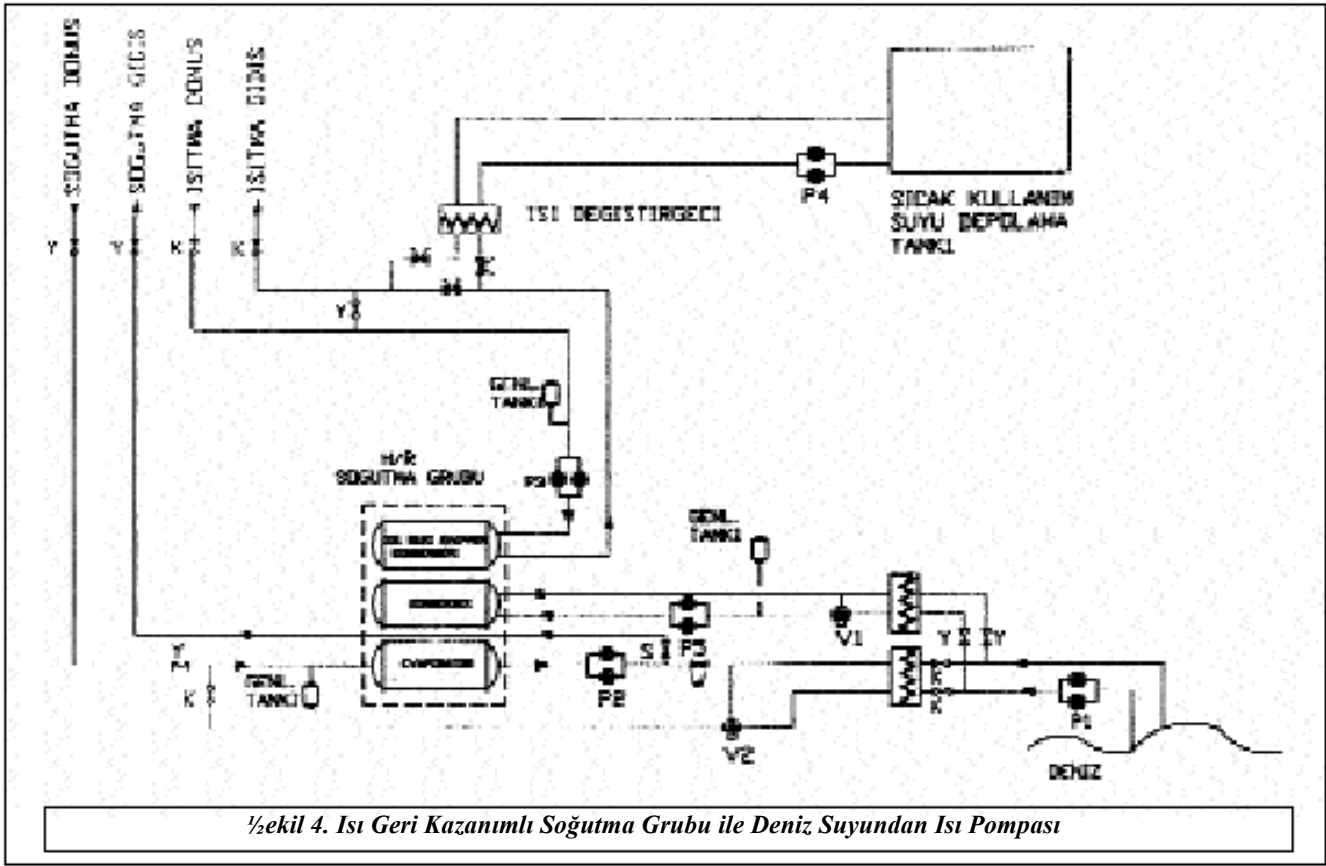
Bir m³ suyun sıcaklığını 1°C düşürerek çekti

len enerji bir m³ havanın sıcaklığını 1°C düşürerek çekilecek enerjiden 3000 defa daha fazladır, havanın yoğunluğu düşük ise 4000 katına varan bir üstünlüğe sahiptir. Bu ısı pompaları kapalı ve açık devre olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Kış aylarında buharlaştırıcıdaki sıcaklık düşmesi, buzlanmanın önlenmesi için kontrol altında tutulmalıdır.

Yüzeysel suyu ısı pompaları açık ve kapalı devre olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

3.1.1. Açık Devre Yüzeysel Isı Pompaları:

Göl, deniz veya ırmaklardan alınan su, çok temiz ve ısı pompasının kondenserinde korozyon için gerekli tedbirler alınmış ise su doğrudan suya veya su-hava için dizayn edilen kondensere pompalanırlar. Daha çok ısı pompaları ile açık su devresi arasında ısı değiştirgeci kullanımı yaygındır. 1/2ekil 4'de Antalya'da bir otel de uygulanmış olduğumuz denizin ısı atılan ve ısı emilen ortam olarak kullanıldığı sistem tarif edilmiştir. Bir adet iki kondenserli su soğutmalı soğutma grubu kullanılmıştır. Soğutma grubunun kondenser devresi soğutma kulesi yerine plaka ti



pi (bir yüzeyi titanyum kaplı) ısı eşanjörüne bağlanmıştır. Evaporatör devresine kış aylarında ısı pompası devresinde kullanılmak üzere ayrı bir plaka tipi ısı eşanjörü konulmuştur. Evaporatör ve kondenser devrelerine birer adet üç yollu vana eklenmiştir. Deniz suyu birisi yedek olmak üzere iki adet bronz fanlı pompa ile pompalanmaktadır. Isı geri kazanım kondenseri bir eşanjör vana taşı ile sıcak su depolama tankına ısı aktarmaktadır. Sistemde yaz ve kış devrelerini ayırtan vanalar gerekli kapalı genleşme tankları mevcuttur. Yaz aylarında binadan çekilen ısı öncelikle sıcak kullanım suyu hazırlamakta kullanılmakta daha sonra fazla gelen ısı deniz suyuna pompalanmaktadır.

Soğuk su üretimi : 6 °C
 Antalya şartları kule devresi : 34 / 39°C
 Deniz suyu kullanımı durumunda kondenser devresi şartı : 28 / 33°C

Isı geri kazanım devresi şartları		: 45 / 50°C
Kondenser su rejimi giriş/çıkış °C	Soğutma grubunun çektiği elektrik gücü (kW)	Soğutma grubunun soğutma kapasitesi (kW)
28/33	135,02	654,6

34/39	155,42	633,2
45/50	200,7	571,0

Yaz çalışması:

Evaporatör pompaları [P2] ve kondens pompaları [P5] normal çalışmasına devam etmektedir. Kış vanaları [K] kapalıdır. Sıcak su depolama tankında su sıcaklığı istenilen değerin altına düştüğünde ısı geri kazanım pompası [P3] ve sıcak su depolama pompası [P4] devreye girmektedir. Bu pompalar devreye girdiğinde kondenser devresindeki üç yollu vana [V1] oransal olarak kapanmakta ve ısı geri kazanım kondenseriinden çıkan suyun sıcaklığı 50 °C'ye kadar yükselmektedir. Sıcak su depolama tanklarında (45 °C sıcak su depolanmaktadır) ısı ihtiyacı azalmaya başladığında kondenser devresindeki üç yollu vana [V1] oransal olarak tekrar açılmaktadır ve fazla ısı deniz suyuna atılmaktadır.

Yaz enerji kazanımı: Isı atılan ortam olarak havaya göre çok soğuk olan deniz suyu kullanıldığı için soğutma grubu daha az enerji harcamıştır, % 16' lık bir tasarruf sağlanmıştır. Beş aylık tasarruf 45733 kW.h' dir.

Saatte 663662 (kcal/h) ısı kullanım için boy-
lere aktarılmıştır,

Bunun fuel-oil karşılığı= $663662(\text{kcal/h}) / 9700(\text{kcal/kg}) / 0.80(\text{verim})=85.52 \text{ kg/h}$ dir.

Bu ısı aktarımında fazladan 88.28 (kW) elekt-
rik tüketmiştir. (P2, P3, pompaları ile cihazın
yüksek kondenzasyonda çalışması bu tüketimi
getirmiştir)

Sonuç olarak, otel yazın beş aylık enerji gi-
derlerinde, ısı geri kazanım sisteminin kullanıl-
masıyla, fuel-oil sistemine nazaran % 75' lik bir
tasarruf sağlanmıştır.

Kış çalışması: Soğutma grubu 45/50 °C
kondenzasyon şartlarında çalışacak ve ısı geri
kazanım kondenserinden hem binayı ısıtmak için
hem de sıcak kullanım suyu hazırlamak için ısı

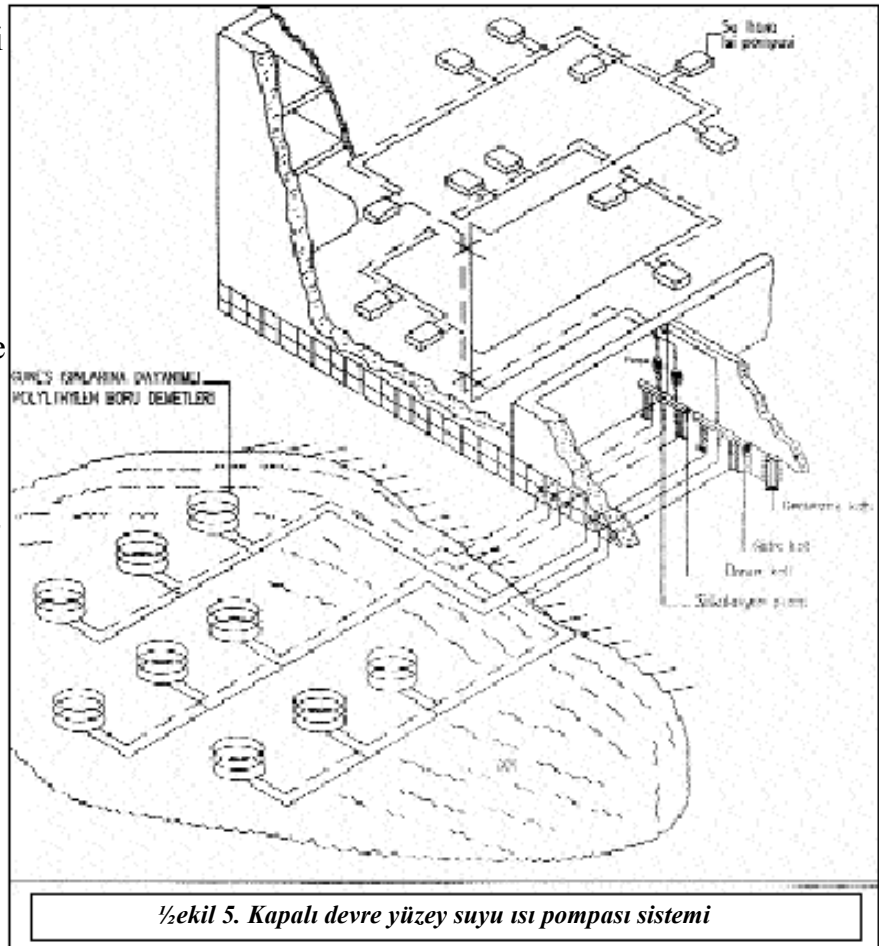
Boru devresi genelde ultraviole radyasyon tip -
lerine karşı korumalı yüksek yoğunluktaki pol-
yethylenidir. Çoğunlukla 20 mm ila 25 mm çapın
da borular kullanılır ancak basınç kayıplarını
azaltmak için 40 mm'ye kadar borular kullanılı-
maktadır. Genelde bu sistemlerin avantajı toprak

bu enerjinin klasik sistem kullanılmış olsaydı
fuel-oil karşılığı 85.52 kg/h'dır. Toplam elektrik
tüketimi 233.7 (kW) olmuştur. Elektrik ve fuel-
oil fiyatları dikkate alındığında, fuel-oil ile yapı-
lan ısıtma sistemine göre %34 daha az enerji pa-
rası ödenecektir.

3.1.2. Kapalı Devre Yüzey Suyu Isı Pompaları:

pompalarına (su-su veya su-hava olabilir) bağlan-
mış olan, göl, deniz, nehir veya atmosfere açık
bir su birikintisi içerisinde yerleştirilen boru dev-
resini içerir (1/2 ekil 5). Kışın donma risklerine
karşın boru devresinde enerji taşıyan suya antif-
riz ilave edilir.

Boru devresi genelde ultraviole radyasyon tip -
lerine karşı korumalı yüksek yoğunluktaki pol-
yethylenidir. Çoğunlukla 20 mm ila 25 mm çapın
da borular kullanılır ancak basınç kayıplarını
azaltmak için 40 mm'ye kadar borular kullanılı-
maktadır. Genelde bu sistemlerin avantajı toprak



Kış enerji kazanımı

Yine binaya saate 663662
(kcal/h) enerji pompalanmıştır,

kaynaklı ısı pompalarına göre düşük maliyet, düşük pompalama maliyeti, yüksek güvenilirlik, ucuz bakım ve işletme gideri. Dezavantaj olarak halka açık yerlerde borular zarar görebilir, toprak kaynaklı ısı pompası ve yer altı suyu ısı pompalarına göre yaz ve kışın dış ortama göre sıcak -lıkları daha fazla değişim gösterir.

3.2. Yer Altı Suyu Isı Pompaları (YASIP):

Toprak kaynaklı ısı pompalarının gelişmesine kadar yaygın olarak kullanılmıştır. Çok küçük araziden yeteri kadar kuyu suyu pompalama fikri yaygın olarak kullanım getirmiştir. Tek yüksek hacimli kuyu, tüm bir bina için kullanılır. İyi tasarlanmış bir sistem yaygın kullanılan klasik sistemlerden daha fazla bakım istemez. Yer altı suyunun alınıp tekrar toprağa veya diğer göl-

mak gibi ortamlara pompalanması ile sistem çeşitlilik gösterir. Küçük sistemlerde yeraltı suları doğrudan ısı pompasının serpantininde sirküle edilir. Büyük ve çoklu ünitelerin kullanıldığı sistemlerde ısı pompaları ayrı bir kapalı devre oluşturur, yer altı suyu dolaştıran açık devreden bir ısı eşanjörü ile ayrılır (1/2 ekil 6).

Yer altı sularını kuyulardan emip ısıtma veya soğutma işleminde kullandıktan sonra başka bir ortama atmaya her zaman yerel belediyeler müsaade etmez. Zaten artan kullanım suyu talebi bu tür sistemleri kurmayı imkansız hale getirmiştir.

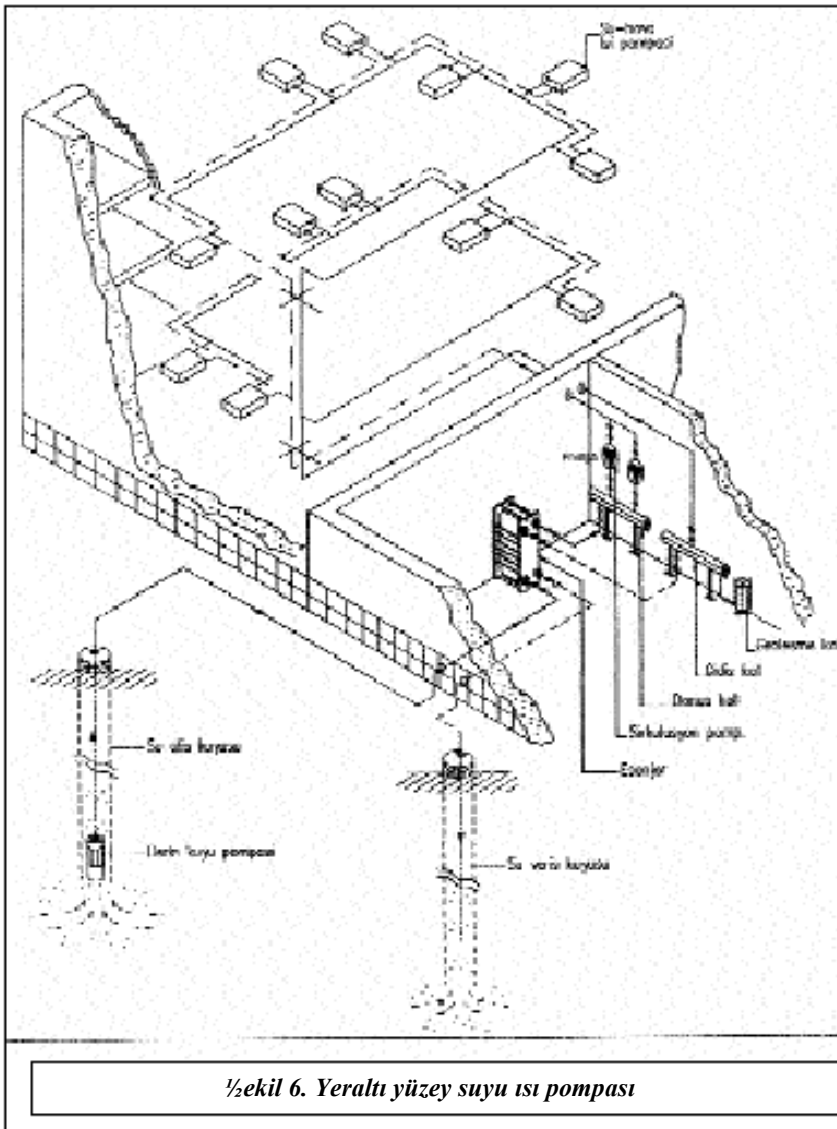
Ancak emilen yer altı suyu işlemde sonra şekil 6'da görüldüğü gibi tekrar yer altına verilebilir.

Emiş kuyusundan yeterli mesafede uzağa tekrar pompalanan su yer altında hareket ederek ilk emiş kuyusuna ulaşacaktır. Bu esnada, kat ettiği yol boyunca toprağın enerjisini ilk kuyuya taşıyacaktır, veya tersi işlemlerle soğutma sezonunda toprağa ısı atacaktır.

Yer altı suyu ısı pompaları toprak serpantinli ısı pompalarına göre daha yüksek ve rimli ve daha düşük maliyetlidirler.

3.3. Toprak Serpantinli Isı Pompaları (TSIP):

Yatay veya düşey olarak toprak içine gömülmüş kapalı bir boru demetine (ısı değiştirici) bağlanmış ısı pompası veya pompalarından oluşur. Bu ısı pompaları su-hava veya su-su ısı pompaları olabilir. 1/2 ekil 3-b'de toprağa dik olarak gömülmüş bir TSIP sistemi tarif edilmiştir. Yaygın olarak su-hava, ısı pompaları kullanılır. Toprak içinde gömülü borularda dolaşan su veya su-antifriz, sıvı-soğutkan serpantini içerisinde dolaşarak geri toprakta gömülü boru demetine döner ve kapalı bir devre



oluşturur. Diğer üçüncü tip ise soğutucunun doğrudan toprağın içine konulmuş bakır boru serpantinlerinde dolaştığı direkt genişmeli sistemdir.

TSIP; toprak içerisine yerleştirilecek boruları dikey veya yatay olarak döşenmesine göre iki ana sınıfta incelenirler.

Dikey TSIP, iki adet küçük çaptaki polietilene tüpün, dikey olarak açılan bir kuyuya yerleştirilmesi ile kurulur. Sisteme ve ihtiyaca göre bir veya birkaç kuyu açılarak bu boru çiftleri yerleştirilir. Kuyunun derinliği sondaj koşullarına ve kullanılan ekipmanların teknolojisine bağlı olarak 15 m ile 200 m arasında değişir. Yatay TSIP'nin büyük toprak alanına ihtiyacı yoktur, derinlere kadar inildiği için toprak sıcaklığı mevsimlere göre büyük dalgalanma göstermez, daha verimlidir, az pompalama enerjisi gerekir, sonuç olarak en etkin TSIP performansına sahiptir. Ancak ilk yatırım maliyeti fazladır ve ciddi bir mühendislik ön çalışması gerektirir.

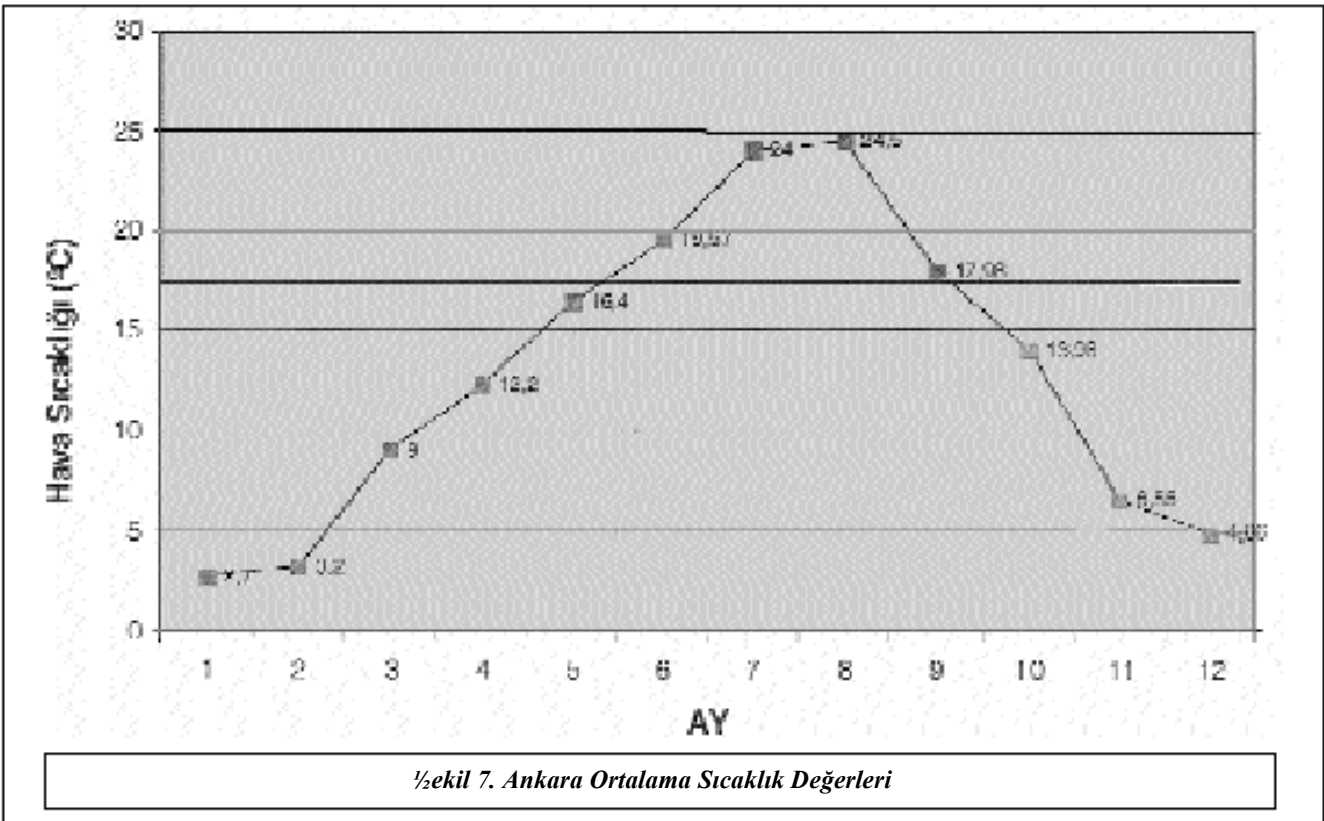
Yatay TSIP toprağa gömülen borulara bağlı olarak tek borulu, çoklu borulu ve serpantinli olarak üç gruba ayrılırlar. Tek borulu sistemde boru

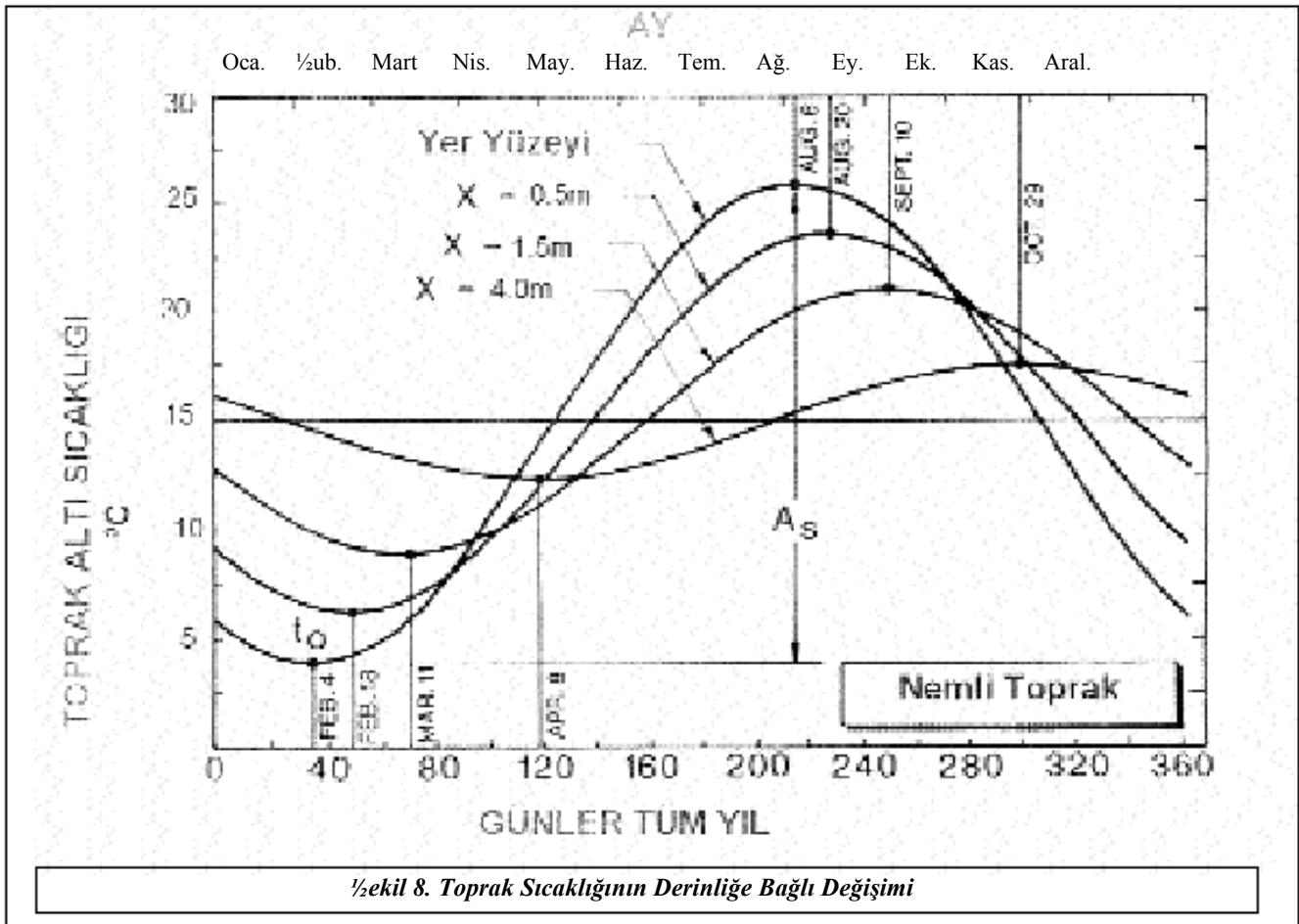
lar en az 1.2 m derinlikte dar hendekler halinde yerleştirilmektedir. Yer tasarrufu açısından çoklu borular 2 veya 4 aynı kanalın içine gömülür. Diğer üçüncü tip ise serpantin tipi yatay ısı pompalarıdır. Yatay ısı pompaları içinde en az alan gereken sistemdir.

Yatay ve düşey olarak toprağa yerleştirilen borular seri veya paralel olarak bağlanırlar.

Genelde 1.5 ila, iki metre derinliğe yerleştirilen yatay tip ısı değiştirgeçlerinin içinde bulunduğu toprak sıcaklığı tüm yıl boyunca dış hava sıcaklığı ile kıyaslanmayacak şekilde az değişim gösterir. Dış hava sıcaklığı ½ekil 7'de görüldüğü gibi yıllık ortalama sıcaklığa göre $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 'ler mertebesinde salınım gösterir. ½ekil 7'de Ankara için yıl boyunca hava sıcaklığının değişimi gösterilmiştir.

½ekil 8'de ise toprak sıcaklığının bir yıl boyunca muhtelif derinliklere bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Toprak derinliği arttıkça salınım azalmaktadır. Bu nedenle dış hava sıcaklığının kış ve yaz aylarında büyük değişim gösterdiği yerlerde TSIP büyük avantaja sahiptir; Daha önce belirttiğimiz gibi iç konfor sıcaklığı ile ısı alış





verişi yapılan yer arasındaki sıcaklık farkı art -"Bin" metodu belirli sıcaklıkların oluştuğu tıkça ısı pompası verimi düşmektedir.

4. ENERJİ TÜKETİMİNİN HESABI

Enerji tasarrufu yapmak amacı ile dizayn edilmiş olan yer (toprak) kaynaklı ısı pompasının enerji tüketimini bir yıl boyunca hesaplamaya çalışalım.

Enerji hesabı için bilinen üç metot öne çıkmaktadır.

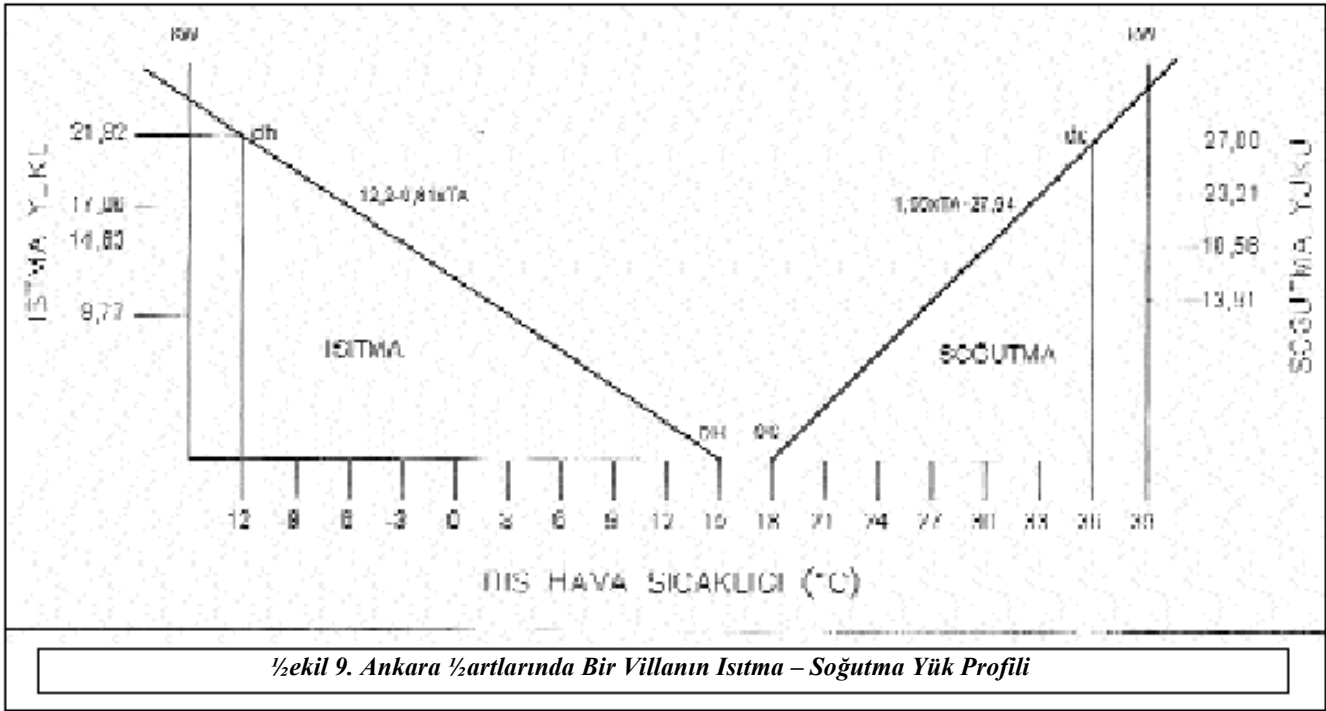
- 1- Derece gün metodu
- 2- "Bin" metodu
- 3- Saat – saat metodu

Derece gün metodu basittir ama çok güvenilir sonuçlar vermez. Dış hava sıcaklığına bağlı verimin değiştiği sistemlerde güvenilir sonuçlar alınmaz.

"Bin" metodu kısmen basittir, dış hava etkisini ve kısmi yükü dikkate alır ve sistem kurmak ve fizibilite yapmak için gerekli verileri sağlayabilir.

Saat-saat metodu genellikle büyük ticari binalarda çok detaylı bilgi gerektiğinde kullanılır.

zamanları tüm yıl boyunca toplanması esasına dayanır. Her sıcaklık dilimi 3 veya daha fazla sıcaklıktan oluşabilir. Bu çalışmada 3'er °C'lik 18 adet "Bin" aralığı oluşturulmuştur. "Bin" metodu ile hesap yapılabilmesi için, örnek alınacak konutun ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının öncelikle hesaplanması gerekmektedir. Ankara şartlarında işyeri olarak kullanılan küçük bir villanın yıl boyunca ısı kaybı ve ısı kazancı hesaplanarak 1/2 ekil 9'daki ısıtma ve soğutma yük profili çıkarılmıştır. Binalara göre değişik açılarda birer farklı doğrular oluştururlar. 1/2 ekil 9'da görüldüğü gibi "Bin" sıcaklığı olan 18°C (OC noktası)nin altında soğutmaya, "Bin" sıcaklığı olan 15°C (OH noktası)nin üzerinde ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Isıtma yükü pik değerine kış aylarında da ve iç ısı kazanımının olmadığı geceleri sabaha karşı oluşmaktadır (dH noktası). Soğutmada ise yaz aylarında iç ısı kazanımının pik olduğu ve dış hava sıcaklığının maksimum olduğu günde oluşmaktadır (dC noktası).



Tablo 1’de Ankara Meteorolijiden alınan bilgiler doğrultusunda 3 adet 8 saatlik periyotlar halinde yıllık "Bin" saatleri özetlenmiştir. Birinci sütun "Bin" sıcaklık değerlerini, sütun 2, 3 ve 4 ise bu sıcaklıkların üç 8 saatlik zaman diliminde kaç defa yaşandığını göstermektedir. ½imdi bu

bahsi geçen konutun sabah 8:00 ile akşam 18:00 arasında hizmet verdiğini ve diğer saatlerde ve hafta sonu pazar günü kapalı olduğunu varsayalım.

Bu durumda

Birinci zaman dilimi, ‘a’ gece 1:00’de başlamakta ve sabah sabah 8:00’de sona ermektedir.

İkinci zaman dilimi, ‘b’ 8:00’de başlamakta ve 16:00 da sona ermektedir.

Üçüncü zaman dilimi, ‘c’ 16:00’da başlamakta ve gece 24:00’de sona ermektedir.

"a" zaman diliminde bu binada kimse bulunmuyor o halde doluluk katsayısı= 0/56=0 (8x7=56 her bölümdeki saat).

Boş olma katsayısı=1-0=1 dir.

"b" zaman diliminde 8 saat bina doludur, 6 gün

Tablo 1. Ankara’da Dış Hava Sıcaklığına Bağlı Yıllık "Bin" Saatleri					
(1) "Bin"	(2) 1-8 a	(3) 9-16 b	(4) 17-24 c	(5) Dolu	(6) Boş
-12	7	0	0	0	7
-9	16	0	0	0	16
-6	20	0	1	0,214	20,786
-3	177	27	41	31,913	213,087
0	388	154	247	184,836	604,164
3	359	215	287	245,673	615,327
6	392	274	349	309,504	705,496
9	289	273	327	303,939	585,061
12	316	330	275	341,66	579,34
15	355	264	284	287,024	615,976
18	290	246	341	283,796	593,204
21	231	282	283	302,236	493,764
24	68	323	233	326,673	297,327
27	12	253	149	248,707	165,293
30	0	190	68	177,382	80,618
33	0	61	26	57,841	29,159
36	0	22	8	20,566	9,434
39	0	6	1	5,356	1,644

için dolu saat $8 \times 6 = 48$, bu durumda doluluk katsayısı $48/56 = 0.857$ ve boşluk katsayısı $1 - 0.857 = 0.143$.

'c' zaman diliminde her gün 2 saat dolu olma durumu vardır $2 \times 6 = 12$ bu durumda doluluk katsayısı $12/56 = 0.214$ ve boşluk katsayısı $1 - 0.214 = 0.786$

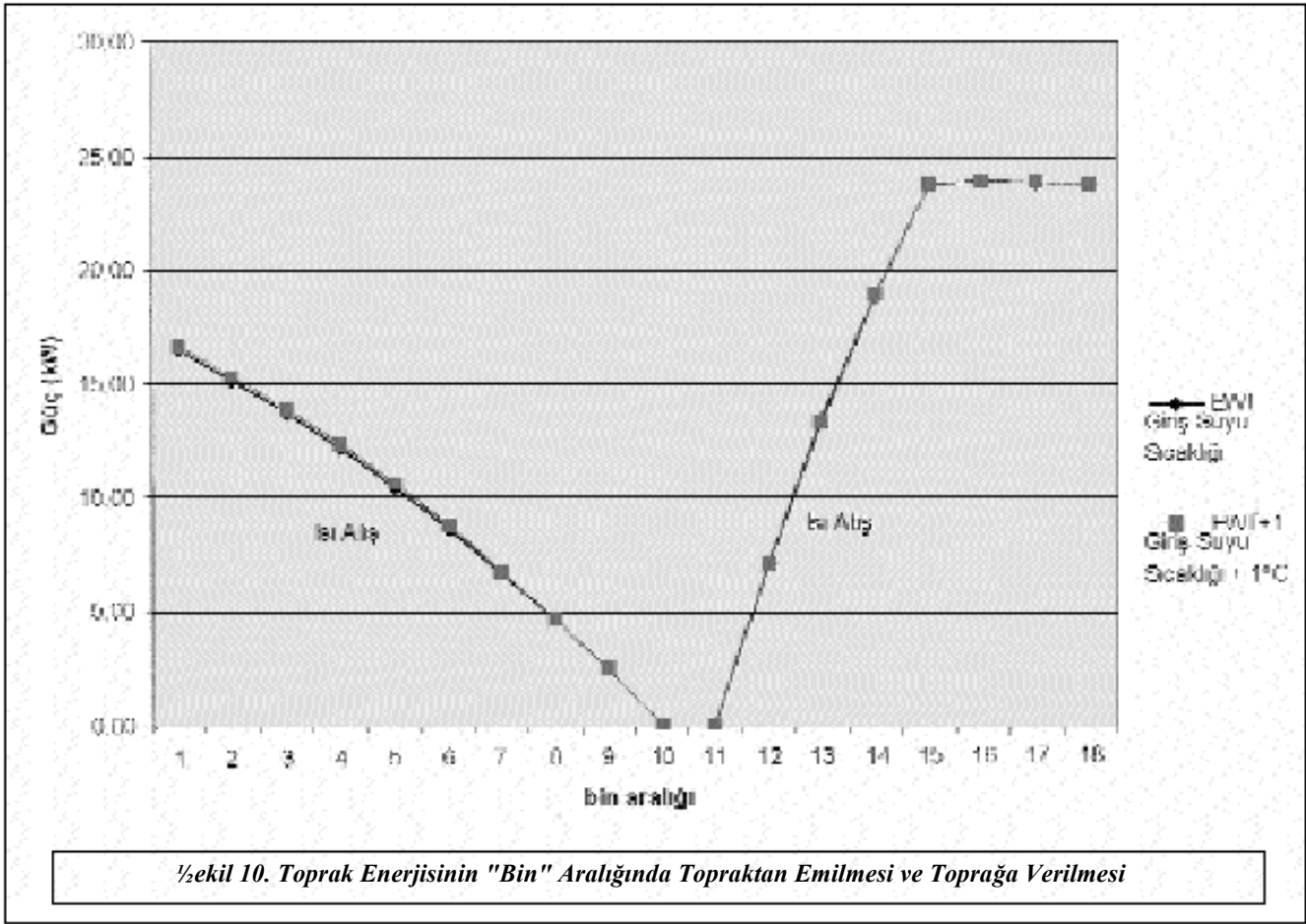
Bu katsayılar birinci, ikinci ve üçüncü zaman dilimleri ile çarpılarak 5 ve 6. sütun'lar doldurulur. Sütun a,b,c deki saatleri topladığımızda bir yıl içindeki toplam 8760 saate erişiriz.

Daha sonra esas çalışmayı belirleyecek olan Tablo 2 oluşturulur. Birinci sütun'a 3°C farkla "Bin" sıcaklıklarını yerleştirilim toplam 18 yıllık toplam saatleri yerleştirilim (Ankara için). Burada CD azaltma faktörüdür genellikle cihaz 3. sütuna şekil 9'dan yararlanarak binanın ısıtma ve soğutma yüklerini koyalım.. Sütun 4'e su giriş

sıcaklıkları (EWT) yerleştirilmiştir bu sıcaklıklar ile ilgili bilgiler 4.1'de verilmiştir. Daha sonra sütun 5'e, şekil 11'den alınan cihaz kapasitelerini, su giriş sıcaklığına (EWT) bağlı olarak yerleştirilim. Sütun 3'ü, sütun 5'e bölerek teorik çalışma faktörünü sütun 6'ya yazalım. Bilindiği gibi teorik çalışma ile cihazın gerçek çalışması farklıdır ve gerçek çalışma teorikten bir miktar daha fazladır. Bu değer kısmi yük çalışma faktörü olarak isimlendirilir (partial load factor). Binanın ısıtma veya soğutma yükü cihaz kapasitesinin üzerine çıkarsa, ısı pompası tam kapasite çalışacağı için bu faktör 1 olacaktır. Kısmi Yük Faktörü: $PLF = 1 - CD$ (1-binanın ısı yükü / Cihaz kapasitesi) üreticisi firmaların deneyimlerine dayanarak 0.25 alınır. Bu faktör cihazın hangi sıklıkla çalış/dur

Tablo 2. "Bin" Metodu ile Toprak Kaynaklı Isı Pompası Enerji Hesabı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$^\circ\text{C}$	"Bin" Saatler'i	Bina Isıtma Soğutma Yükleri	Su Giriş Sıcaklığı	Cihaz Kapasitesi	Teorik Çalışma Faktörü	Kısmi Yük Faktörü	Gerçek Çalışma	Cihaz Güç Girişi	Toprak Çekilen/ Atılan Enerji
Isıtma									
-12	7	21,92	14,07	22,38	0,98	0,99	0,98	5,60	16,44
-9	16	19,49	14,77	22,58	0,86	0,97	0,89	5,62	15,09
-6	21	17,06	15,46	22,77	0,75	0,94	0,80	5,64	13,70
-3	245	14,63	16,14	22,97	0,64	0,91	0,70	5,66	12,13
0	789	12,20	16,81	23,16	0,53	0,88	0,60	5,68	10,48
3	861	9,77	17,47	23,34	0,42	0,85	0,49	5,70	8,64
6	1015	7,34	18,12	23,53	0,31	0,83	0,38	5,72	6,71
9	889	4,91	18,75	23,71	0,21	0,80	0,26	5,74	4,64
12	921	2,48	19,38	23,88	0,10	0,78	0,13	5,76	2,35
15	903	0,00	20,00	24,06	0,00	0,75	0,00	5,78	0,00
Soğutma									
18	877	0,00	21,99	19,55	0,00	0,75	0,00	4,12	0,00
21	796	4,61	23,48	19,38	0,24	0,81	0,29	4,17	6,82
24	624	9,26	24,97	19,21	0,48	0,87	0,55	4,22	12,88
27	414	13,91	26,45	19,04	0,73	0,93	0,78	4,27	18,18
30	258	18,56	27,92	18,88	0,98	1,00	0,99	4,32	22,90
33	87	23,21	29,38	18,71	1,00	1,00	1,00	4,36	23,07
36	30	27,86	30,83	18,55	1,00	1,00	1,00	4,41	22,95
39	7	32,51	32,27	18,38	1,00	1,00	1,00	4,45	22,83



yaptığına bağlı olduğunda farklı fabrika üretimin de değişiklik gösterir. Bu çalışmada 0.25 alınarak çıkan sonuçlar kısmi yük olarak sütun 7'de özetlenmiştir. ½imdi sütun 6'daki teorik çalışmayı sütun 7'deki bu değerlere bölerek sütun 8'de özetlenen gerçek çalışma faktörleri bulunur. Yine ½ekil 11'i kullanarak ısı pompalarının çekmiş olduğu elektrik miktarları sütun 9'a yerleştirilmiştir.

Sütun 2'deki "Bin" saatleri, 8. sütundaki gerçek çalışma faktörü ve 9. sütundaki cihaz elektrik giderleri ile çarpılarak gerçek toplam elektrik tüketimleri bulunur. Bu çarpımlar Tablo 2'de gösterilmemiştir. Bu tabloda 2. sütunda bulunan yıllık bin saatlerinin yerine, Tablo 1'de binanın dolu olması durumu için bulunan bin saatlerini yerleştirerek sadece dolu olması hali için enerji gideri hesaplanabilir. Benzer çalışma bir aylık "bin" saatleri kullanılarak her hangi bir ay için yapılabilir. Sütun 10'da ise toprağa verilen ve alınan enerji özetlenmiştir. Isıtımda topraktan çekilen

enerji cihaz kapasitesinden cihazın çektiği gücün çıkartılıp gerçek çalışma faktörü ile çarpılması ile bulunur. Soğutmada ise elektrik girdisi kadar fazladan enerji toprağa atılacaktır.

½ekil 11'de 18 adet "Bin" sıcaklığı aralığında ısı pompası ile toprağa atılan ve alınan enerji grafik olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi toprağa atılması gereken enerji topraktan alınması gereken enerjiden çok fazladır. Bazı tasarımlarda, bu nedenle sisteme küçük bir soğutma kulesi ilave edilir. Ayrıca ısı pompasına suyun +1 °C (EWT+1°C) yüksek girmesi sonucu cihazdan atılan ve emilen enerji yine Tablo 2'deki gibi bilgi sayar ile hesaplanarak aynı grafikte gösterilmiştir. Sonuç olarak +1 °C'lik su sıcaklığı farkı ısı pompasından alınan ve atılan enerjide çok büyük fark oluşturmamıştır, bu da dizayn yapanlar için önemli bir sonuçtur.

4.1. Isı Pompası performansı:

Toprak serpantinli ısı pompalarının perfor -

mansları büyük oranda aldıkları ve attıkları ısıya bağlıdır. Zor olan toprağa gömülü olan serpantin ile toprak arasındaki ısı alışverişini hesaplamaktır. Her zaman toprağın özellikleri, toprağın nem değeri ve toprak altı su hareketleri kolay sap tanamaz. Bu nedenle çoğu sağlıklı dizayn deneyimlere ve örnek çalışmalara dayanır. Lokal küçük konut ve muhtelif mekanlar için deneysel sonuçlar bulunabilir, ancak ticari boyutlu büyük sistemler için veriler yok denecek kadar azdır.

Tablo 2’de toprak kaynaklı ısı pompası ile ilgili gerekli bilgiler verilmiştir. Bin metoduna göre enerji hesabını tamamlayabilmek için ısı pompası su giriş sıcaklığı ile dış hava arasındaki bağıntıyı kurmak gerekir. Su giriş sıcaklığı, birçok faktöre bağlıdır; yılın hangi zaman aralığı için hesap yapıldığına, toprak özelliklerine, toprak serpantininin boyutlarına v.s. Belirli bir zaman dilimi için su giriş sıcaklığını hesaplamak kolay değildir. Ancak doğru ve çalışır bir dizayn için mühendisin vermiş olduğu alt ve üst su sıcaklık değerleri tüm yıl boyunca aşılmamalıdır. Ortalama bir toprak derinliği alınarak ve toprak malzemesinin yayılımı (difüzivitesi), toprak yoğunluğu gibi benzeri verileri kullanarak bulmuş olduğumuz su giriş sıcaklıkları, Tablo 2 sütun 4’e özetlenmiştir.

Yalnız dış hav sıcaklığına bağlı olarak aşağıda verilen formül ile giriş suyu sıcaklığı yaklaşık hesaplanabilir. Su, en düşük su sıcaklık değerlerine (EWT_{MIN}) kışın, en yüksek sıcaklık değerlerine (EWT_{MAX}) de yazın ulaşacaktır. Bu hesaplamalarda en düşük giriş suyu sıcaklığı (EWT_{MIN}), genelde en soğuk gün sıcaklığından ilk yaklaşımda $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ büyük alınır, en az $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ fark olmalıdır. Yine en yüksek giriş suyu sıcaklığı (EWT_{MAX}), en sıcak gün (TA_{MAX})’dan $5\text{-}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ düşük alınarak ilk yaklaşım yapılır.

Kış (Isıtma)

$$EWT_H = EWT_{MIN} + \frac{EWT_{MEAN} - EWT_{MIN}}{TA_{MEAN} - TA_{MIN}} [TA - TA_{MIN}]$$

Yaz (Soğutma)

$$EWT_C = EWT_{mean} + \frac{EWT_{max} - EWT_{mean}}{TA_{max} - TA_{mean}} [TA - TA_{mean}]$$

EWT_{MEAN} Ortalama su giriş sıcaklığı
 EWT_{MIN} Minimum su giriş sıcaklığı
 TA_{MEAN} Ortalama dış hava sıcaklığı
 TA_{MIN} Minimum dış hava sıcaklığı

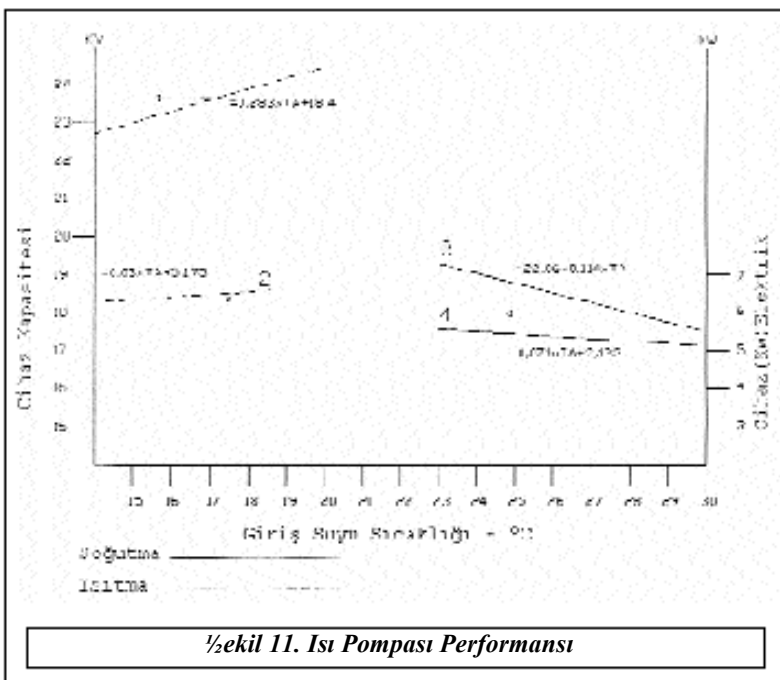
Bahsi geçen örnek için Ankara şartlarında; Su giriş sıcaklıkları:

$$\begin{aligned} EWT_{MAX} &= 32^{\circ}\text{C} \\ EWT_{MEAN} &= 20^{\circ}\text{C} \\ EWT_{MIN} &= 14^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Dış hava sıcaklıkları:

$$\begin{aligned} TA_{MAX} &= 39^{\circ}\text{C} \\ TA_{MEAN} &= 17^{\circ}\text{C} \\ TA_{MIN} &= 12^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

½ekil 11’de, üretici firma katalog değerlerine dayanarak bahsi geçen örnek için seçilen cihazın performansı görülmektedir. Bu hazırlanan şema yardımıyla istenilen su giriş sıcaklığı için cihaz kapasitesi ve cihaz elektrik tüketimi bulunabilir.



½ekil 11. Isı Pompası Performansı

SONUÇ

Yer (Toprak) kaynaklı ısı pompalarının (TKIP), ülkemizde yaygın olarak kullanılması4. enerji tasarrufu açısından önemli olacaktır. Ülkemizde Yer Kaynaklı Isı Pompası kullanımı parmak ile sayılacak kadar azdır. Bunun bence nedeni, dizayn edilme zorluğu değil, bu sistemlerin yeterince bilinmiyor olmasıdır. Yüzeysel Isı Pompaları (YSIP) ve Yer altı Suyu Isı Pompalarının (YASIP) hesap ve ön fizibiliteleri, Toprak Serpantinli Isı Pompasına (TSIP) göre daha kolaydır. Bu ilk iki sistemin de yaygın olarak kullanılmaması sistemin yeterince proje büroları ve ilgili mühendislerce bilinmediğini veya yatırımcıyı ikna etmek için yeterli birikim ve tecrübenin oluşmadığını gösterir. Gerek ısı pompası satan firmaların gerekse konuya ilgi duyan mühendislerin sürekli bu konuyu gündemde tutmalarının gereğine inanıyorum.

KAYNAKLAR

1. Doğan, Veli "Isı Geri kazanım ve Sudan Su ya Isı Pompası Uygulaması" IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi 1999 – İZMİR
2. Hepbaşlı, Arif "Geleceğin Teknolojisi : Yer Kaynaklı Isı Pompaları" IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi 1999 – İZMİR
3. Hepbaşlı, Arif. Hancıoğlu, Ebru "Toprak

- Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının, Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi" V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi 2001-İZMİR
- Güngör, Ali. Kurtuluş, Esra. Akdemir, Özay "Endüstriyel Proseslerde Enerji Geri Kazanımında Isı Pompalarının Kullanımı" V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi 2001-İZMİR
5. "National Rural Electric Cooperative Association, Oklahoma State University International Ground Source Heat Pump Association" Closed – Loop / Ground – Source Heat Pump Systems Installation Guide
6. Eley Associates – San Francisco, California "Water Loop heat Pump Systems"
7. Genlik, Can. İlken, Zafer "Yer Kaynaklı Isı Pompaları" Termodinamik Dergisi Kasım – 2000
8. Hepbaşlı, Arif "Türkiye Binalarında Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompası Uygulamaları, Enerji Verimliliği Değerlendirmesi" Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi Eylül – Ekim 2002
9. Korun, Bedii, "Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerine İlişkin Genel İnceleme" II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi 1995 – İZMİR.
10. American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers, Inc. "Ground Source Heat Pump" 1997 – ATLANTA.
11. American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineer, Inc. "Çe

merical Ground Source Heat Pump Systems "
1995 – ATLANTA.

12. American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineer, Inc. "Ground Source Heat Pump Engineering Manual"
1995 – ATLANTA.

12. ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals
Chapter 28 "Energy Estimating methods".

13. Climate Master Water Source Heat Pump
Catalouge.